

На правах рукописи

КОЛОШКИН ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**РАЗВИТИЕ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ ГАЗОВОЙ
ОТРАСЛИ В УСЛОВИЯХ НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭКОНОМИКИ**

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание ученой степени кандидата экономических наук
Специальность 5.2.3 – Региональная и отраслевая экономика
(Экономика природопользования и землеустройства)

Санкт-Петербург – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»

**Научный
руководитель** доктор экономических наук, доцент
Трейман Марина Геннадьевна

**Официальные
оппоненты:** **Губернаторов Алексей Михайлович**, доктор
экономических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный
университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых»,
профессор кафедры «Бизнес -
информатика и экономика»

Череповицын Алексей Евгеньевич, доктор
экономических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II»,
заведующий кафедрой «Организации и управления»

**Ведущая
организация:** Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Северный (Арктический)
федеральный университет имени М. В. Ломоносова»

Защита диссертации состоится «___» _____ 2025 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета 24.2.386.06 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет» по адресу: 191023, город Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32, литер А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://www.unesop.ru/dis-sovety> Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет».

Автореферат разослан «___» _____ 2025 года.

Ученый секретарь

Бездудная А.Г.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования. В настоящее время рынки газовых ресурсов изменялись в современной действительности. Экономическая эффективность функционирования рынка газовых ресурсов напрямую зависит от экономической ситуации как внутри, так и вне страны.

За последние 20 лет газовые рынки динамично развивались и претерпевали существенные регулятивные изменения. На протяжении длительного времени российская газовая отрасль обеспечивала доминирующее положение российского природного газа как в национальном энергобалансе, так и на внешних рынках.

Однако, несмотря на высокий ресурсный потенциал страны, ресурсы газовой отрасли относятся к исчерпаемым, поэтому необходимо развивать и стратегически планировать потребление газовых ресурсов в сложившихся экономических условиях. Достижение сбалансированного использования национальных газовых ресурсов возможно при использовании альтернативных источников энергии (водородная энергетика на основе природного газа) и внедрении мероприятий по снижению углеродного следа и повышению энергоэффективности использования ресурсов.

Другим фактором, оказывающим значимое влияние на развитие энергетики в РФ, являются национальные стратегические задачи России по достижению углеродной нейтральности к 2060 году в соответствии с Климатической доктриной Российской Федерации, что также требует максимальное использование низкоуглеродного потенциала газовой отрасли в целях снижения углеродоемкости энергобаланса России.

В этой связи весьма актуальной научно-практической задачей представляется изучение возможностей использования ресурсной базы газовой отрасли России в вышеуказанных экономических реалиях и условиях решения проблемы снижения углеродного следа. Проведение данного исследования обусловлено необходимостью разработки концепции использования ресурсов газовой отрасли в РФ в современных экономических реалиях, принимая во внимание стратегические национальные инициативы РФ в области низкоуглеродного социально-экономического развития. В основе данной концепции лежит стратегическая продуктовая и географическая диверсификация газовой отрасли РФ за счет возможностей внутреннего и внешних рынков, а также реализация инновационных низкоуглеродных и климатических решений, включая использование низкоуглеродного водородного топлива на основе ресурсов газовой отрасли (природный газ, сероводород), комбинированные углеродно-нейтральные продукты природного газа (СПГ или трубопроводный газ, связанный с углеродными единицами, компенсирующими выбросы парниковых газов), а также климатические проекты по сокращению выбросов парниковых газов с использованием ресурсной базы газовой отрасли. Поскольку в условиях низкоуглеродной экономики России наибольший приоритет для привлечения инвестиций будут иметь продукты с наименьшим углеродным следом,

возникает актуальная задача по разработке методики оценки углеродного следа производства водорода из ресурсов газовой отрасли.

Степень разработанности научной проблемы. Особенности национальной экономики нефтегазовой отрасли РФ, в том числе ее региональные и низкоуглеродные аспекты, активно изучались представителями отечественной экономической науки: А.А. Широным, А.А. Конопляником, С.Н. Лавровым, Л.М. Григорьевым, Е.А. Телегиной, И.В. Гайдой, А.А. Шкутой, А.И. Громовым.

Эколого-экономические аспекты природопользования в области управления, учета и оценки углеродного следа изучались в работах: О.Е. Аксютин, А.Г. Ишкова, К.В. Романова, В.М. Разумовского, А.Г. Бездудной, Р.В. Смирнова, М.Г. Трейман, А.А. Ильинского.

Отдельно следует выделить комплексные системные исследования в области рационального использования газовых ресурсов, включая ее региональные и климатические особенности, проводимые различными профильными исследовательскими центрами и институтами. Среди таких учреждений можно отметить российские (Аналитический центр при Правительстве РФ, Институт энергетики и финансов, Институт энергетических исследований РАН, Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО), Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, Совета РАН по проблемам климата Земли и зарубежные (Международное энергетическое агентство, Международный газовый союз и другие).

Вместе с тем в открытом доступе появляется все больше специализированной аналитической информации, публикуемой энергетическими предприятиями России.

Цель данного исследования: разработка концепции использования ресурсов газовой отрасли России в современных экономических реалиях и условиях решения проблемы снижения углеродного следа с учетом стратегических национальных инициатив РФ.

В соответствии с основной целью в работе сформулированы следующие **задачи:**

- определить основные проблемы и разработать принципы использования ресурсной базы газовой отрасли России в условиях необходимости решения проблемы снижения углеродного следа и его экономической оценки в рамках национального низкоуглеродного развития;
- разработать подходы по совершенствованию системы управления использованием ресурсов газовой отрасли России на базе производства низкоуглеродного водородного топлива;
- систематизировать инструментарий государственного финансового стимулирования развития низкоуглеродной водородной энергетики на основе газовой инфраструктуры Российской Федерации;
- разработать методику оценки углеродного следа производства водорода из ресурсов газовой отрасли.

Объектом исследования является ресурсная база газовой отрасли Российской Федерации.

Предмет исследования – низкоуглеродное развитие газовой отрасли России в современных условиях.

Научная гипотеза исследования заключается в предположении, что в современных экономических реалиях и условиях решения проблемы снижения углеродного следа национальной экономики России возникает потребность в разработке концепции использования ресурсов газовой отрасли России, важными компонентами которой могут стать низкоуглеродные решения, включая использование низкоуглеродного водородного топлива на базе ресурсов газовой отрасли (природного газа, сероводорода), комбинированные углеродно-нейтральные продукты природного газа (СПГ или трубопроводный газ, связанный с углеродными единицами, компенсирующими выбросы парниковых газов от таких поставок), а также климатические проекты на основе ресурсной базы газовой отрасли, связанные с сокращением выбросов парниковых газов.

Теоретической основой исследования послужили концепции и методы, разработанные на основе постулатов таких областей научного знания как: экономика энергетических источников, в том числе альтернативных, региональная экономика, экономика низкоуглеродного развития и рационального природопользования, эколого-экономическое управление промышленными комплексами.

Методологическую основу диссертационного исследования составляет совокупность общенаучных и специализированных методов и принципов научного исследования, обеспечивающих реализацию аналитических исследований с применением следующих методов: анализа и синтеза, индукции и дедукции, применения статистического анализа, экономико-математических методов и методов прогнозирования и другие современные способы обработки статистических данных.

Информационной базой исследования послужили материалы и результаты трудов отечественных и зарубежных авторов, которые отражены в научных монографиях, материалах научных конференций, семинаров, статьях, публикуемых в периодической печати и в электронных ресурсах сети «Интернет», использованы законодательные и нормативно-правовые акты (РФ, ЕС, а также других стран, включая Китай), официальные публикации и годовые отчеты компаний газовой отрасли, аналитические и статистические материалы статистических агентств и ведомств, информационные материалы отраслевых министерств и аналитических центров.

Обоснованность и достоверность результатов исследования обеспечиваются тем, что результаты диссертационного исследования основаны на фундаментальных теориях в области экономики природопользования, экономики ТЭК, экономики ресурсов газовой отрасли, концепции низкоуглеродного развития с применением соответствующих нормативно-правовых документов Российской Федерации и использовании информации из официальных отчетов и статистических данных. При

подготовке диссертационного исследования применены методы системного и комплексного анализа, была проведена апробация результатов исследования на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности.

Область исследования соответствует следующим пунктам Паспорта специальностей ВАК 5.2.3 – Региональная и отраслевая экономика (экономика природопользования и землеустройства): п. 9.10. «Стратегии повышения эффективности использования природных ресурсов в народном хозяйстве. Ресурсо- и энергосбережение», п. 9.19. «Проблема борьбы с климатическими изменениями. Вопросы развития «зеленой» и низкоуглеродной экономики».

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке концепции использования ресурсов газовой отрасли России в современных экономических реалиях и в условиях необходимости снижения углеродного следа. К числу наиболее значимых и обладающих **новизной научных результатов, полученных лично соискателем**, относятся следующие:

1. Предложена систематизация направлений низкоуглеродного развития газовой отрасли Российской Федерации, позволяющая выявить покомпонентно основные группы мероприятий, которые будут направлены на сокращение углеродоемкости национальной экономики.

2. Предложены принципы развития ресурсной базы газовой отрасли России в современных экономических реалиях и условиях решения проблемы снижения углеродного следа, что позволяет разработать концепцию использования ресурсов газовой отрасли, направленную не только на устойчивый рост денежных потоков от операций с природным газом, но и на системное сокращение выбросов парниковых газов.

3. Систематизированы направления развития государственных программ стимулирования создания региональных водородных кластеров и пилотных проектов на основе ресурсов газовой отрасли России, что дает возможность сформировать инструментарий государственного финансового обеспечения водородной энергетики на основе природного газа в Российской Федерации.

4. Разработана методика оценки углеродного следа производства водорода из ресурсов газовой отрасли России (природного газа, сероводорода), что дает возможность повысить точность расчета углеродного следа для перспективных технологий производства водорода из сероводорода.

Теоретическая значимость результатов исследования состоит в том, что основные результаты и выводы, полученные в ходе исследования, позволят углубить научные знания в области низкоуглеродной экономики, изучения углеродного следа, а также расширить представление о состоянии и перспективах развития ресурсов газовой отрасли России. Данные результаты и выводы могут послужить теоретической основой для разработки практических решений по определению концепции использования ресурсов газовой отрасли РФ в современных экономических реалиях и условиях решения проблемы снижения углеродного следа.

Практическая значимость результатов исследования полученных научно-методических положений исследования состоит в целесообразности применения конкретных рекомендаций и предложений предприятиями газовой отрасли России, функционирующими в современных экономических реалиях и условиях решения проблемы снижения углеродного следа. При этом положения, полученные в результате исследования, могут быть применены в работе органов государственной власти при разработке ими программ, стратегий и нормативно-правовых актов, влияющих на использование ресурсов газовой отрасли в национальной экономике страны.

Результаты исследования могут быть также использованы в высших учебных заведениях при подготовке специалистов, получающих образование по специальностям: «Система менеджмента бережливого производства», «Управление изменениями», «Ресурсное обеспечение проектов инновационного развития», «Гармонизация развития инновационной инфраструктуры».

Апробация результатов исследования. Результаты исследования были доложены и получили одобрение на международных и всероссийских научно-практических конференциях: «Современные подходы к развитию научных исследований в XXI веке», «Энергетика XXI века: экономика, политика, экология», «Управление инновационными и инвестиционными процессами и изменениями в условиях цифровой экономики», «Новые технологии в газовой промышленности: газ, нефть, энергетика», «Альтернативная энергетика и экология – WCAEE-2024».

Разработанные методы и подходы внедрены в деятельности ООО «Газпром водород», ГБУ Владимирской области «Экология региона», а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», что подтверждено документами о внедрении.

Публикации результатов исследования. Основные результаты и положения исследования отражены в 18 научных статьях, в том числе в 13 статьях, опубликованных в рецензируемых журналах, включенных в рекомендованный список ВАК Российской Федерации, 2 журналах из базы Scopus, общим объемом 13,5 п.л. (в том числе авторским – 4 п.л.).

Структура диссертации. Цели и задачи диссертационного исследования определили его структуру. Структура диссертационного исследования раскрывается во введении, трех глав, заключении. Диссертационная работа содержит 202 страницы основного текста, включает список использованной литературы из 243 наименований, 14 таблиц, 22 рисунка, 2 приложения.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Предложена систематизация направлений низкоуглеродного развития газовой отрасли Российской Федерации, позволяющая выявить покомпонентно основные группы мероприятий, которые будут направлены на сокращение углеродоемкости национальной экономики.

Систематизация (рисунок 1) позволяет продемонстрировать не только активно внедряемые, прошедшие промышленную апробацию мероприятия газовой отрасли и демонстрирующие значимый вклад в низкоуглеродное развитие России (базовые мероприятия), но и выявляет набор перспективных мероприятий, которые в настоящий момент активно развиваются, находятся по большей части в стадии разработок, НИОКР, ОКР, пилотных проектов, проходят апробацию.

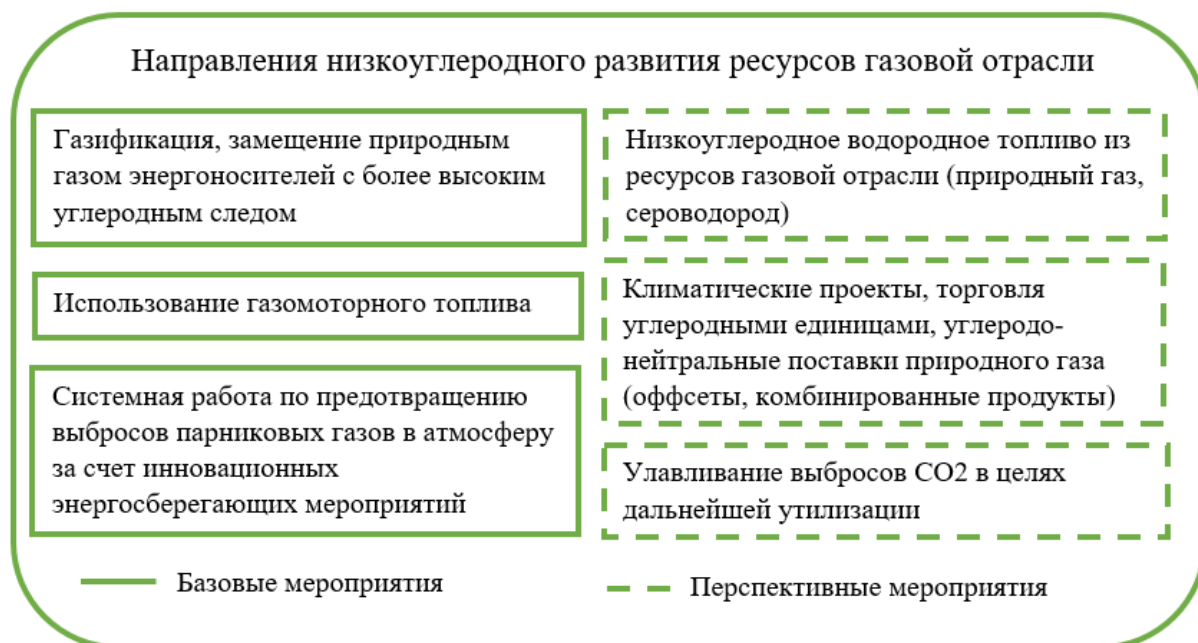


Рис. 1. Направления низкоуглеродного развития газовой отрасли Российской Федерации

Базовые мероприятия включают в себя три группы мероприятий:

- увеличение использования природного газа в электрогенерации, теплогенерации, ЖКХ (эффект предотвращения и снижения выбросов парниковых газов накопленным итогом к 2028 г. составляет 21,4 млн т CO₂-экв);
- перевод всех видов транспорта на природный газ (потенциал снижения выбросов парниковых газов накопительным итогом к 2035 году может составить 47 млн т CO₂-экв);
- системная работа по выявлению и предотвращению утечек метана в атмосферу за счет энергосберегающих мероприятий (внедрения мобильных компрессорных станций и др.), а также модернизации газотранспортных объектов (эффект предотвращения выбросов парниковых газов накопленным

итогом к 2029 г. от использования мобильных компрессорных станций составит около 78 млн т CO₂-экв).

Перспективные мероприятия включают в себя три группы мероприятий:

- развитие использования низкоуглеродного водородного топлива на основе природного газа и сероводорода;
- реализация климатических проектов с получением углеродных единиц для использования их в торговых целях, в том числе в рамках углеродно-нейтральных поставок природного газа (потенциал выпуска углеродных единиц от зарегистрированных климатических проектов с использованием ресурсов газовой отрасли к 2029 г. составляет около 80 млн. углеродных единиц);
- улавливание выбросов углекислого газа CO₂ в целях дальнейшей полезной утилизации или возможного захоронения.

2. Предложены принципы развития ресурсной базы газовой отрасли России в современных экономических реалиях и условиях решения проблемы снижения углеродного следа, что позволяет разработать концепцию использования ресурсов газовой отрасли, направленную не только на устойчивый рост денежных потоков от операций с природным газом, но и на системное сокращение выбросов парниковых газов.

Разработанные принципы развития ресурсной базы газовой отрасли России (таблица 1) позволяют обеспечить устойчивое развитие газовой отрасли в новых экономических реалиях, способствуя достижению Российской Федерации углеродной нейтральности к 2060 году. Для соблюдения данных принципов необходимо слаженное межведомственное взаимодействие различных федеральных органов власти Российской Федерации с участием национальных предприятий газовой отрасли. На основании анализа специфики охвата деятельности, курируемой российскими органами власти, для каждого предложенного принципа подобрана соответствующая группа межведомственного взаимодействия (таблица 1).

Таблица 1. Принципы развития ресурсной базы газовой отрасли России в современных экономических условиях

Принципы	Краткое описание	Межведомственное взаимодействие
Принцип диверсификации	Принцип подразумевает максимальную двухаспектную диверсификацию: продуктовую и географическую.	ПАО «Газпром», независимые производители газа, Минэнерго России.
Приоритет развития внутреннего рынка	Базовое удовлетворение имеющегося и растущего внутреннего спроса на природный газ и другие перспективные продукты газовой отрасли, в т.ч. водород.	ПАО «Газпром», независимые производители газа, Минэнерго России, ФАС.
Принцип вклада газовой отрасли РФ в низкоуглеродное развитие	Максимизация замещения природным газом более углеродоемких источников энергии во всех секторах экономики, а также развитие низкоуглеродных продуктов газовой отрасли, в т.ч. водород.	ПАО «Газпром», независимые производители газа, Минэкономразвития России, Минприроды России, Минэнерго России.
Принцип технологической нейтральности в рамках межтопливной конкуренции	Предоставление равных возможностей для недискриминационного развития всех технологий, включая технологии газовой отрасли, в рамках межтопливной конкурентной среды.	ПАО «Газпром», независимые производители газа, Минэкономразвития России, Минэнерго России, Государственная Дума.
Принцип противодействия санкциям и другим экономическим ограничениям	Мониторинг санкционных инициатив ЕС в целях подготовки адаптационных мероприятий и/или ответных мер, эквивалентных причинному ущербу.	ПАО «Газпром», независимые производители газа, Минэнерго России, Государственная Дума.
Принцип регулятивного суверенитета	Пересмотр всех ныне действующих, заимствованных из практики европейского регулирования подходов, не отражающих интересы национальной экономики России.	ПАО «Газпром», независимые производители газа, Минэнерго России, Государственная Дума.
Технологический суверенитет газовой отрасли РФ	Создание отечественной технологической базы необходимой для надежного функционирования отрасли, воспроизводства ее ресурсной базы и инфраструктурного развития.	ПАО «Газпром», независимые производители газа, Минпромторг России, Минэнерго России.
Принцип непрерывной инновационности	На основе инноваций создание высокомаржинальных цепочек добавленной стоимости, в том числе в сегменте низкоуглеродного развития (в т.ч. водород).	ПАО «Газпром», независимые производители газа, Минэнерго России, Минпромторг России.
Укрепление интеграционных экономических связей с дружественными странами	Интенсификация сотрудничества в дружественных многосторонних форматах (БРИКС+, ШОС, ЕАЭС, ЭСКАТО, Форума стран-экспортеров газа и др.).	ПАО «Газпром», независимые производители газа, Минэнерго России, Минэкономразвития России, МИД.
Принцип системной государственной поддержки	Всесторонняя административная, финансовая и налоговая поддержка со стороны государства.	Минэнерго России, Минэкономразвития России, Минфин России, ЦБ РФ.

На основании предложенных принципов нами разработана концепция использования ресурсов газовой отрасли России в современных экономических реалиях и условиях проблемы снижения углеродного следа (рисунок 2). Концепция использования ресурсной базы газовой отрасли представляет собой комплекс системных мероприятий, направленных на восстановление чистой прибыли газовой отрасли и гармоничное системное развитие отрасли в соответствии с национальными экономическими приоритетами и целями в области низкоуглеродного развития. Отличительной чертой предлагаемой концепции является ее направленность не только на восстановление и устойчивый рост денежных потоков от операций с природным газом, но и на системное сокращение выбросов парниковых газов и снижение углеродоемкости национальной экономики.

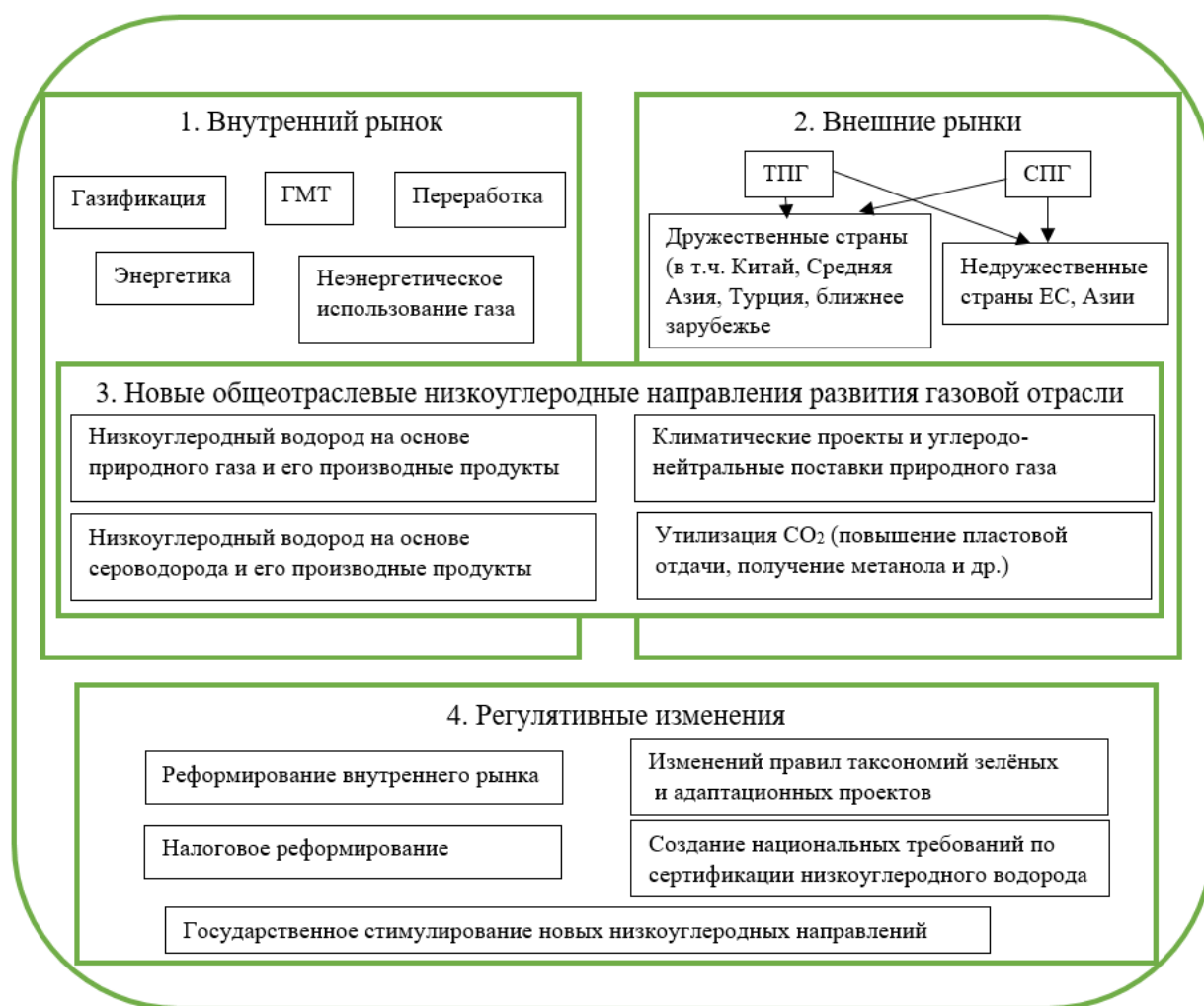


Рис. 2. Концепция использования ресурсов газовой отрасли России в современных экономических реалиях и условиях решения проблемы снижения углеродного следа

3. Систематизированы направления развития государственных программ стимулирования создания региональных водородных кластеров и пилотных проектов на основе ресурсов газовой отрасли России, что дает возможность сформировать инструментарий

государственного финансового обеспечения водородной энергетики на основе природного газа в Российской Федерации.

Учитывая важность государственного стимулирования низкоуглеродных водородных региональных кластеров и проектов, подтвержденную Концепцией развития водородной энергетики в России, на основании проведенного анализа мер государственного стимулирования отраслей промышленности в России, а также имеющихся наилучших практик государственного стимулирования водородных проектов за рубежом применительно к развитию водородной энергетики на основе природного газа систематизированы направления государственного стимулирования водородных региональных кластеров и проектов с учетом налоговых, финансовых и административных факторов (рисунок 3).

В исследовании систематизирован инструментарий государственного финансового стимулирования развития водородной энергетики на основе ресурсов газовой отрасли Российской Федерации, в рамках которого выявлены возможности государственного финансирования водородных кластеров и проектов посредством ассигнований из федерального бюджета, а также государственных «зеленых» облигаций, что позволяет использовать рассмотренные финансовые инструменты для инициирования новых низкоуглеродных цепочек добавленной стоимости и тем самым способствовать адаптации развития ресурсов газовой отрасли в современных экономических реалиях и условиях решения проблемы снижения углеродного следа.

Предлагаемая триада направлений государственного стимулирования, охватывающая налоговые, финансовые и административные подходы, обусловлена высокой капиталоемкостью, комплексностью и высокотехнологичностью низкоуглеродных водородных проектов. Максимальный экономический эффект от применения данных направлений государственного стимулирования для развития региональных водородных кластеров достигается во взаимоувязке предлагаемых мер. Меры государственного стимулирования на рисунке 3 в рамках каждого направления являются экономически равнозначными, что фактически позволяет подобрать оптимальный набор мер под определенный водородный проект в зависимости от его региональных особенностей.

Представленные на рисунке 3 направления в основном относятся к сегменту производства низкоуглеродного водорода, однако для запуска функционирования водородного рынка могут также применяться в целях государственного стимулирования спроса на водород вместе с иными мерами стимулирования спроса, предложенными в исследовании (субсидирование технологии потребителей водорода, субсидирование тарифов на транспорт и цен на водород и др.)

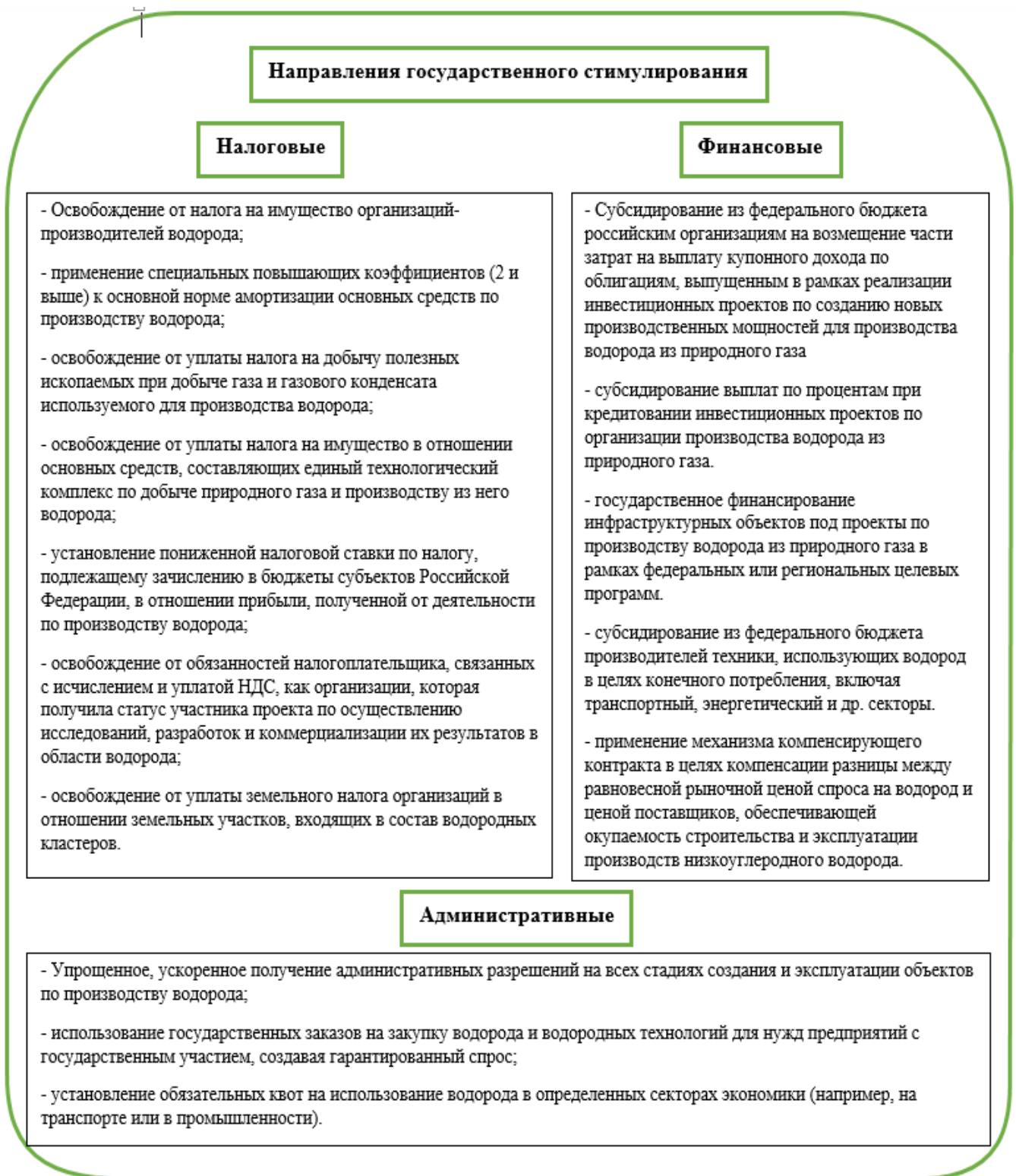


Рис. 3. Направления государственного стимулирования водородной энергетики по экономическому характеру воздействия

4. Разработана методика оценки углеродного следа производства водорода из ресурсов газовой отрасли России (природного газа, сероводорода), что дает возможность повысить точность расчета углеродного следа для перспективных технологий производства водорода из сероводорода.

Нами разработана методика расчета, позволяющая провести оценку углеродного следа производства водорода из ресурсов газовой отрасли (метан CH_4 , сероводород). Данная методика позволит предприятиям газовой отрасли определять уровень углеродного следа производимой водородной продукции, что будет способствовать выявлению наиболее востребованных, низкоуглеродных способов производства водорода и, соответственно, привлечению инвестиций в технологии, имеющие наименьший углеродный след. Предлагаемая методика позволит осуществлять маркировку углеродного следа водородной продукции, ранжировать производителей и их способы производства водорода от наименее углеродоемких к имеющим наибольший углеродный след, что будет являться важным фактором конкуренции на формирующемся водородном рынке, стимулирующим производителей снижать выбросы парниковых газов на жизненном цикле производства.

Границы проведения оценки выбросов парниковых газов при производстве водорода в рамках предлагаемой методики представлены на рисунке 4.



Рис. 4. Области образования выбросов парниковых газов при производстве водорода

Методика расчета позволяет определить, в каком именно сегменте хозяйственной деятельности по производству водорода образуются наибольшие выбросы парниковых газов, что дает возможность производителям водорода проводить целевую системную работу по сокращению выбросов в выявленном сегменте, способствуя совокупному

снижению углеродного следа и, соответственно, получению более высокомаржинальной, премиальной водородной продукции.

Объективная оценка выбросов парниковых газов на всем технологическом цикле производства водорода в соответствии с предлагаемой методикой может быть использована в рамках национальных подходов в области сертификации водорода, что, в свою очередь, будет способствовать установлению численных критериев «низкоуглеродного» водорода.

Для оценки автор предлагает проводить расчет по следующим формулам:

$$УС_i = ПГ_{доб.i} + ПГ_{трансп.i} + ПГ_{произв.i}, \quad (1)$$

где

$УС_i$ – углеродный след производства водорода из ресурсов газовой отрасли в рамках способа производства i , кг CO_2 -экв./ кг H_2 ;

$ПГ_{доб.i}$ – выбросы парниковых газов от добычи природного газа, используемого для производства водорода способом i , кг CO_2 -экв./ кг H_2 ;

$ПГ_{трансп.i}$ – выбросы парниковых газов от транспортировки природного газа, используемого для производства водорода способом i , кг CO_2 -экв./ кг H_2 ;

$ПГ_{произв.i}$ – выбросы парниковых газов от технологических процессов производства водорода в рамках способа производства i , кг CO_2 -экв./ кг H_2 .

$$ПГ_{доб.i} = (m_{сыр.i} + m_{топ.i}) \cdot ПГ_{доб.i}^{уд}, \quad (2)$$

где

$m_{сыр.i}$ – количество сырьевого метана, используемого для производства водорода способом i , кг CH_4 / кг H_2 ;

$m_{топ.i}$ – количество топливного метана, используемого для производства водорода способом i , кг CH_4 / кг H_2 ;

$ПГ_{доб.i}^{уд}$ – удельные выбросы парниковых газов от добычи природного газа, используемого для производства водорода способом i , кг CO_2 -экв./ кг CH_4 .

Удельные выбросы парниковых газов от добычи природного газа $ПГ_{доб.i}^{уд}$ могут быть приняты по данным корпоративной отчетности о выбросах парниковых газов, доступным справочным сведениям или получены путем отношения суммы выбросов парниковых газов от добычи газа (выбросы от стационарного, факельного сжигания топлива вместе с фугитивными выбросами)¹ к общему объему добытого метана.

$$ПГ_{трансп.i} = (m_{сыр.i} + m_{топ.i}) \cdot ПГ_{трансп.i}^{уд}, \quad (3)$$

где

$ПГ_{трансп.i}^{уд}$ – удельные выбросы парниковых газов от транспортировки природного газа, используемого для производства водорода способом i , кг CO_2 -экв./ кг CH_4 .

¹ Каждый из компонентов данных выбросов рассчитывается в соответствии с методикой, утверждённой с приказом Минприроды России от 27.05.2022 № 371

В случае производства водорода непосредственно в месте добычи $ПГ_{\text{трансп.}i} = 0$

Удельные выбросы парниковых газов от транспортировки природного газа $ПГ_{\text{трансп.}i}^{\text{уд}}$ могут быть приняты по данным корпоративной отчетности о выбросах парниковых газов, доступным справочным сведениям или получены путем отношения суммы выбросов парниковых газов от транспортировки газа (выбросы от стационарного, факельного сжигания топлива вместе с фугитивными выбросами)¹ к общему объему протранспортированного метана. В случае СПГ к совокупным выбросам от транспортировки добавляются также выбросы от сжижения и регазификации газа.

$$ПГ_{\text{произв.}i} = ПГ_{\text{топл.}i}^{\text{прям}} + ПГ_{\text{процесс.}i}^{\text{прям}} + ПГ_{\text{электро.}i}^{\text{косв}}, \quad (4)$$

где

$ПГ_{\text{топл.}i}^{\text{прям}}$ – прямые выбросы парниковых газов, образующиеся при выработке тепловой энергии (от сжигания метана как топливного газа), необходимой для технологических процессов производства водорода способом i , кг $\text{CO}_2\text{-экв.}/\text{кг H}_2$;

$ПГ_{\text{процесс.}i}^{\text{прям}}$ – прямые выбросы парниковых газов, образующиеся в процессе реакции производства водорода способом i , кг $\text{CO}_2\text{-экв.}/\text{кг H}_2$ (в случае производства водорода из сероводорода данный показатель равен 0, поскольку в процессе реакции выбросы отсутствуют);

$ПГ_{\text{электро.}i}^{\text{косв}}$ – косвенные выбросы парниковых газов, образующиеся при производстве электроэнергии, необходимой для технологических процессов производства и очистки водорода способом i , кг $\text{CO}_2\text{-экв.}/\text{кг H}_2$.

Фактически показатель $ПГ_{\text{топл.}i}^{\text{прям}}$ представляет собой стационарное сжигание метана, которое с учетом формул (1.1) и (1.4) Приложения №2 к методике количественного определения объема выбросов парниковых газов, утвержденной приказом Минприроды России от 27.05.2022 № 371, при коэффициенте окисления метана равном 1 может быть рассчитано следующим образом:

$$ПГ_{\text{топл.}i}^{\text{прям}} = m_{\text{топл.}i} \cdot 2,744 \quad (5)$$

В случае использования для сжигания иного топлива помимо метана показатель $ПГ_{\text{топл.}i}^{\text{прям}}$ может быть рассчитан по формуле (1.4) Приложения №2 к методике количественного определения объема выбросов парниковых газов, утвержденной приказом Минприроды России от 27.05.2022 № 371.

$$ПГ_{\text{электро.}i}^{\text{косв}} = e_i \cdot ПГ_{\text{электро.}i}^{\text{уд}}, \quad (6)$$

где

e_i – количество электроэнергии, необходимой для технологических процессов производства водорода способом i , кВт×ч./ кг H_2 ;

$ПГ_{\text{электро},i}^{\text{уд}}$ – коэффициент выбросов парниковых газов от электроэнергии, кг CO_2 -экв./ кВт×ч. принимается на основании данных корпоративной отчетности генерирующих компаний, доступной справочной информации, а также данных, публикуемых коммерческим оператором оптового рынка электроэнергии.

Экономическая оценка углеродного следа определяется следующим образом (ЭО УС):

$$\text{ЭО УС} = \text{УС}_i \times \text{Н}_6, \quad (7)$$

где

УС_i – углеродный след производства водорода из ресурсов газовой отрасли в рамках способа производства i , кг CO_2 -экв./ кг H_2 ;

Н_6 – стоимостная характеристика углеродной единицы, руб./ кг CO_2 -экв.

Экономическая оценка углеродного следа позволяет сформировать механизм определения уровня затрат, необходимого для полной компенсации углеродного следа, т.е. достижение нетто-нулевого уровня производства водорода из ресурсов газовой отрасли.

Разработанная методика позволила оценить углеродный след производства водорода из сероводорода (таблица 2), являющегося одним из наиболее перспективных в текущих экономических реалиях альтернативных способов производства водорода из ресурсов газовой отрасли.

Таблица 2. – Выбросы парниковых газов от производства водорода с учетом различных способов генерации электроэнергии

Наименование процессов		Способы генерации электроэнергии			
		Гидро-электро-энергия	Фотовольтаика	Ветреная генерация	Сетевая электро-энергия
Сероводородный риформинг метана	кг CO_2 экв./ кг H_2	2,33	2,31	2,05	4,65
Термическое разложение сероводорода		2,78	2,76	2,38	6,13
Щелочной электролиз воды		2,60	2,50	0,57	19,71

Результаты оценки углеродного следа, представленные в таблице 2 демонстрируют, что использование возобновляемых источников энергии для обеспечения электроэнергией процессов получения водорода из сероводорода (сероводородный риформинг метана, термическое разложение сероводорода) и методом электролиза воды (основной конкурирующий метод по сравнению с методами получения водорода из ресурсов газовой отрасли) приводит к

сопоставимым показателям по выбросам парниковых газов, а в некоторых случаях из сероводорода можно получить даже более низкоуглеродный водород. В случае использования сетевой электрогенерации углеродный след получения водорода из сероводорода более чем в 3 раза ниже, чем при производстве водорода методом электролиза. Таким образом, получение низкоуглеродного водорода из сероводорода на базе ресурсов газовой отрасли России демонстрирует конкурентноспособный уровень снижения углеродного следа в сравнении с другими передовыми способами производства водорода.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования нами предложены принципы развития ресурсной базы газовой отрасли России в современных экономических реалиях и условиях решения проблемы снижения углеродного следа, на основании которых разработана соответствующая концепция использования ресурсной базы газовой отрасли, представляющая собой комплекс системных мероприятий, направленных на восстановление чистой прибыли газовой отрасли, сократившейся в связи с падением экспорта в Европу, и гармоничное системное развитие отрасли в соответствии с национальными экономическими приоритетами и целями в области низкоуглеродного развития.

По результатам исследования установлено, что важнейшим элементом концепции использования ресурсной базы газовой отрасли является развитие водородной энергетики. При этом продемонстрировано, что перспективным источником производства низкоуглеродного водорода может служить не только природный газ, но и сероводород, имеющийся в достаточном количестве в составе некоторых российских газоконденсатных месторождений (Астраханское, Оренбургское месторождения и др.).

Ввиду того, что развитие водородных кластеров и проектов представляет собой капиталоемкое, высокоинновационное направление национальной экономики, требующее поддержки со стороны государства, в исследовании нами были систематизированы направления государственного стимулирования региональных водородных кластеров и пилотных проектов на основе ресурсов газовой отрасли России и предложен инструментарий государственного финансового стимулирования развития водородной энергетики.

Разработанная методика оценки углеродного следа производства водорода из ресурсов газовой отрасли России позволит предприятиям газовой отрасли определять углеродный след производимой продукции, выявлять наиболее низкоуглеродные способы производства водорода на всем жизненном цикле производства, что будет способствовать сбыту низкоуглеродной водородной продукции как на внутреннем, так и на внешних рынках.

По результатам апробации предлагаемой методики на примере оценки углеродного следа получения водорода из сероводорода было установлено, что данный способ получения водорода имеет низкие объемы выбросов парниковых газов на всем жизненном цикле, что подтверждает его перспективность в контексте низкоуглеродной экономики.

IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Колошкин, Е.А. Низкоуглеродный потенциал ресурсов газовой отрасли РФ в современных экономических реалиях и условиях решения проблемы снижения углеродного следа / Е.А. Колошкин // Финансовые рынки и банки. – 2025. – №1. – С. 194-200. – 0,6 п.л.

2. Колошкин, Е.А. Принципы адаптации газовой отрасли РФ в современных условиях энергетической политики ЕС и национального низкоуглеродного развития / Е.А. Колошкин // Инновации и инвестиции. – 2024. – №9. – С. 280-285. – 0,5 п.л.

3. Колошкин, Е.А. Направление государственного стимулирования региональных водородных кластеров и пилотных проектов на основе ресурсов газовой отрасли / Е.А. Колошкин // Экономика строительства. – 2024. – №9 – С. 106-109. – 0,3 п.л.

4. Колошкин, Е.А. Применение уточненных коэффициентов выбросов парниковых газов при транспортировке и хранении природного газа в национальном кадастре России / Е. А. Колошкин и др. // Энергетическая политика. – 2024. – №7 (198). – С. 26-37. – 1,0 п.л. / 0,1 п.л. авт.

5. Колошкин, Е.А. Методологические подходы к оценке углеродного следа и сертификации низкоуглеродного водорода / Е.А. Колошкин и др. // Альтернативная энергетика и экология (ISJАEE). – 2024. – №07 (424), с. 183- 208. – 2,2 п.л. / 0,2 п.л. авт.

6. Колошкин, Е.А. Нормативное регулирование оценки углеродного следа при производстве водорода / Е. А. Колошкин и др. // Энергетическая политика. – 2024. – №4 (195). – С. 54-77. – 2,0 п.л. / 0,3 п.л. авт.

7. Колошкин, Е.А. Риски использования газотранспортной системы для водородной энергетики / Е. А. Колошкин и др. // Энергетическая политика. – 2024. – №2 (193). – С. 56-67. – 1,0 п.л. / 0,15 п.л. авт.

8. Колошкин, Е.А. Физико-химические аспекты и углеродный след получения водорода из воды и углеводородов / Е.А. Колошкин и др. // Записки горного института. – 2024. – №1 (265). – С. 87-94. – 0,7 п.л. / 0,1 п.л. авт.

9. Колошкин, Е.А. Трубопроводная логистика водорода в разрезе технологий, регулирования и контрактной практики. Часть 2 / Е.А. Колошкин и др. // Газовая промышленность. – 2023. – №1 (843). – С. 70-76. – 0,6 п.л. / 0,1 п.л. авт.

10. Колошкин, Е.А. Трубопроводная логистика водорода в разрезе технологий, регулирования и контрактной практики. Часть 1 / Е.А. Колошкин и др. // Газовая промышленность. – 2022. – №12 (842). – С.64-70. – 0,6 п.л. / 0,1 п.л. авт.

11. Колошкин, Е.А. Особенности декарбонизации энергетического сектора ЕС / Е.А. Колошкин // Проблемы современной экономики. – 2021. – №1. – С. 136-140. – 0,4 п.л.

12. Колошкин, Е.А. Влияние глобального экономического кризиса в связи с пандемией COVID-19 на тенденции долгосрочного развития энергетического сектора ЕС / Е.А. Колошкин // Экономика и предпринимательство. – 2020. – №10 (123). – С. 1346-1351. – 0,5 п.л.

13. Колошкин, Е.А. Влияние последствий глобального экономического кризиса в связи с пандемией COVID-19 на газовый рынок ЕС / Е.А. Колошкин // Финансовая экономика. – 2020. – №9 (ч.1). – С. 46-50. – 0,4 п.л.

14. Koloshkin, E.A. H₂S to H₂ production process and its carbon footprint evaluation (伊什科夫·亚·加, 罗曼诺夫·康·弗, 卡洛什金·叶·亚, 等. 硫化氢制氢工艺及其碳足迹评价) / E.A. Koloshkin, et al. // Natural Gas Industry (天然气工业). – 2024. – Vol. 44(11). – P. 170-177. – 0,7 п.л. / 0,1 п.л. авт.

15. Koloshkin, E.A. Methodological approaches to carbon footprint assessment and certification of low carbon hydrogen / E.A. Koloshkin, et al. // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Vol. 96. – P.147-159. – 1,1 п.л. / 0,1 п.л. авт.

16. Колошкин, Е.А. Техничко-экономические и регулятивные аспекты трубопроводной логистики водорода / Е.А. Колошкин // Новые технологии в газовой промышленности: газ, нефть, энергетика: тезисы докладов XIV Всероссийская конференция молодых ученых, специалистов и студентов (14-18 ноября 2022 г.) // Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина. – Москва: Изд-во РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. - 2022. – С. 664-665. – 0,25 п.л.

17. Колошкин, Е.А. Инвестиционные процессы в энергетическом секторе ЕС в условиях глобальной рецессии ввиду пандемии COVID-19 / Е.А. Колошкин // Управление инновационными и инвестиционными процессами и изменениями в условиях цифровой экономики: сборник научных трудов по итогам III международной научно-практической конференции (27-28 октября 2020 г.) / под ред. Г.А. Краюхина, Г.Л. Багиева; Изд-во СПбГЭУ. – СПб, 2020. – С. 117-121. – 0,4 п.л.

18. Колошкин, Е.А. Влияние декарбонизации энергетического сектора ЕС на предприятия производственно-сбытовой цепи газового сектора / Е.А. Колошкин // подходы к развитию научных исследований в XXI веке: материалы научной конференции аспирантов СПбГЭУ, посвященной 90-летию Санкт-Петербургского государственного экономического университета

(7 апреля 2020 г.) / под науч. ред. Е. А. Горбашко; Изд-во СПбГЭУ. – СПб, 2020. – С.84-86. – 0,25 п.л.