

Научная статья

УДК 339.9:620.9

ГЛОБАЛЬНЫЙ РЫНОК ВОДОРОДА КАК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ТОРГОВЫХ СВЯЗЕЙ

**Остапенко Елена Анатольевна, Доктор экономических наук,
Ставропольский государственный аграрный университет, кафедра
финансового менеджмента и банковского дела, Россия, Ставрополь,
elena_ostapenko@mail.ru**

Аннотация. Формирование рынка низкоуглеродного водорода создаёт новые предпосылки для изменения пространственной организации энергетики, международной торговли и промышленных цепочек добавленной стоимости. Цель исследования состоит в выявлении факторов, определяющих конкурентные позиции стран в формирующейся водородной экономике, и систематизации основных моделей международного перемещения водорода и его производных. Методическая основа исследования включает сравнительный анализ факторов, картирование цепочек добавленной стоимости и качественный сценарный анализ. Показано, что современный мировой рынок водорода по-прежнему сосредоточен преимущественно в традиционных отраслях и базируется главным образом на ископаемом сырье, тогда как международный рынок низкоэмиссионного водорода находится на ранней стадии становления. В этой связи потенциальная трансформация мирохозяйственных связей рассматривается как формирующийся, а не завершённый процесс. Уточнены факторы сравнительных преимуществ будущих производителей: стоимость низкоуглеродной электроэнергии, стоимость капитала, доступ к воде и земле, технологические компетенции, наличие инфраструктуры, расстояние до центров спроса и соответствие требованиям сертификации. Выделены три базовые конфигурации международных цепочек: дальние морские поставки водородных производных, региональные трубопроводные сети и локализованные

промышленные кластеры «производство - потребление». Показано, что международная торговля может развиваться не только в форме перемещения молекулярного водорода, но и через аммиак, метанол, восстановленное железо и иную продукцию, произведённую с использованием низкоуглеродной энергии. Ключевыми ограничениями остаются разрыв в стоимости между низкоэмиссионными и традиционными технологиями, недостаток твёрдых контрактов на покупку, высокая капиталоемкость инфраструктуры и различия систем сертификации.

Ключевые слова: водород; низкоуглеродный водород; мировая экономика; международная торговля; глобальные цепочки добавленной стоимости; энергетический переход; сравнительные преимущества; аммиак; энергетическая инфраструктура; декарбонизация.

Original article

THE GLOBAL HYDROGEN MARKET AS A DRIVER OF TRANSFORMATIONS IN ENERGY AND TRADE RELATIONS

Ostapenko Elena Anatolyevna, Doctor of Economics, Stavropol State Agrarian University, Department of Financial Management and Banking, Stavropol, Russia, elena_ostapenko@mail.ru

Abstract. The formation of a low-emission hydrogen market creates new conditions for changes in the spatial organisation of energy systems, international trade and industrial value chains. This study aims to identify the factors shaping countries' competitive positions in the emerging hydrogen economy and to systematise the main models of international hydrogen and hydrogen-derivative flows. The methodological framework combines comparative factor analysis, value-chain mapping and qualitative scenario analysis. The study shows that the current global hydrogen economy remains concentrated in traditional industrial applications and is still largely based on unabated fossil fuels, while international trade in low-emission hydrogen is only at an early stage

of development. The transformation of global economic relations is therefore interpreted as an emerging rather than completed process. The main determinants of future producer competitiveness include the cost of low-carbon electricity, cost of capital, access to water and land, technological capabilities, infrastructure availability, distance to demand centres and compliance with certification requirements. Three basic configurations of international value chains are identified: long-distance maritime trade in hydrogen derivatives, regional pipeline networks and localised production-consumption clusters. International trade may develop not only through molecular hydrogen but also through ammonia, methanol, reduced iron and other products embedding low-carbon energy at the production stage. The principal constraints remain the cost gap between low-emission and conventional hydrogen, insufficient firm offtake commitments, capital-intensive infrastructure and fragmented certification systems.

Keywords: hydrogen; low-emission hydrogen; global economy; international trade; global value chains; energy transition; comparative advantage; ammonia; energy infrastructure; decarbonisation.

Введение. Водород является крупным промышленным продуктом, однако это обстоятельство не следует отождествлять с наличием сформировавшегося глобального рынка низкоуглеродного водорода.

По данным Международного энергетического агентства, мировой спрос на водород в 2025 г. превысил 100 млн т. Практически весь этот объём по-прежнему приходится на традиционные сферы применения - нефтепереработку и промышленность. Производство низкоэмиссионного водорода приблизилось к 1 млн т, то есть остаётся небольшой частью совокупного рынка [11].

Таким образом, современный этап характеризуется сосуществованием двух различных экономических систем.

Первая представляет сложившуюся промышленную водородную экономику, где водород производится главным образом непосредственно вблизи

потребителя и используется прежде всего как сырьё в нефтепереработке, производстве аммиака, метанола и других химических процессов.

Вторая - формирующаяся экономика низкоэмиссионного водорода и его производных, для которой создаются новые производственные проекты, торговая инфраструктура, механизмы поддержки, системы сертификации и долгосрочные контракты.

Именно второй процесс способен в перспективе изменить географию международного разделения труда.

В 2026 г. ориентация на международную торговлю остаётся одной из основных характеристик новых проектов: более 40% заявленного объёма низкоэмиссионного водорода на 2030 г. ориентировано на международные поставки. Однако менее 8% соответствующего экспортного портфеля приходится на проекты, уже работающие, строящиеся или имеющие подтверждённые инвестиционные решения [11]. Это означает наличие значительного разрыва между объявленным экспортным потенциалом и фактически формирующимся рынком.

Особенность водорода как предмета мировой торговли заключается также в множественности возможных форм перемещения.

Чистый газообразный водород может транспортироваться по трубопроводам. Для морской торговли возможны сжиженный водород и различные носители. При этом всё большее значение приобретают производные и продукты дальнейшей переработки - аммиак, метанол, синтетические топлива, прямовосстановленное железо и другие товары [12-16].

В результате международная специализация может формироваться не только по принципу «производитель водорода - импортёр водорода». Страна с дешёвой низкоуглеродной электроэнергией способна экспортировать непосредственно водород, его химическое производное либо энергоёмкий промышленный продукт, произведённый с использованием низкоэмиссионного водорода.

Это существенно расширяет исходную экономическую постановку вопроса.

Цель исследования состоит в выявлении факторов международной конкурентоспособности в формирующейся водородной экономике и анализе возможных конфигураций трансграничных цепочек добавленной стоимости.

Исследовательская задача включает сопоставление преимуществ потенциальных производящих и потребляющих регионов; выделение основных моделей международных водородных цепочек; определение инфраструктурных, экономических и институциональных условий, способных ускорять либо ограничивать становление рынка.

Основное положение исследования состоит в том, что новая география энергетической торговли будет определяться не одним природно-ресурсным фактором. Конкурентоспособность определяется сочетанием стоимости энергии и капитала, состояния инфраструктуры, технологических и логистических возможностей, промышленного спроса и регуляторного признания продукта.

Обзор литературы. Глобальный энергопереход, понимаемый некоторыми исследователями [5], [6] как структурная трансформация мировой энергетической системы от доминирования ископаемых топлив к низкоуглеродным источникам, представляет собой комплексный макропроцесс, затрагивающий технологические, экономические и геополитические основы современного развития. Водородная экономика формируется в качестве одного из ответов на ключевой вызов этого перехода - необходимость декарбонизации секторов, сложно поддающихся прямой электрификации. Роль водорода в этом процессе определяется его двойственной природой: он функционирует как энергоноситель, способный аккумулировать и транспортировать энергию, и как сырьевое вещество, весьма важное для промышленных процессов [7].

Роль водорода в энергетическом переходе необходимо рассматривать дифференцированно.

Наиболее обоснованные сферы его низкоэмиссионного применения

связаны прежде всего с теми процессами, где прямая электрификация затруднена либо где водород уже используется как химическое сырьё. К ним относятся производство аммиака и метанола, часть нефтепереработки, прямое восстановление железа, отдельные виды морского и авиационного топлива [11, 12].

В противоположность этому тезис о превращении водорода в универсальный энергоноситель для всех отраслей требует осторожности. Конверсия электроэнергии в водород, последующее хранение, транспортировка и возможное обратное преобразование сопровождаются дополнительными потерями энергии и капитальными затратами.

Поэтому экономическое значение водорода определяется не возможностью технически использовать его в определённом секторе, а сравнением с альтернативами - прямой электрификацией, аккумуляторами, биотопливом, улавливанием углерода и другими технологиями.

Международная торговля дополнительно увеличивает значение данного сравнения. Исследование W. Antweiler и D. Schlund показывает, что транспортные расходы и выбранный способ поставки являются одними из существенных факторов будущей структуры международной торговли водородом [15]. Обзор современных моделей также показывает, что структура будущей торговли существенно зависит от стоимости производства водорода и его производных, состояния инфраструктуры, государственной политики и формирования спроса [16].

Формирование рынка осложняется тем, что низкоэмиссионный водород пока во многих случаях не способен вытеснять традиционные технологии только за счёт текущей ценовой конкурентоспособности. Его распространение связано с климатическим регулированием, требованиями к промышленной декарбонизации, государственной поддержкой и созданием гарантированного спроса [11, 17].

Научная новизна рассмотрения данного вопроса в рамках экономических

наук заключается в смещении фокуса с технико-технологических аспектов на анализ водорода как нового товара на мировом рынке, формирование которого инициирует перераспределение факторов производства, пересмотр критериев сравнительных преимуществ и возникновение новых форм международной кооперации и конкуренции. В отличие от традиционных энергоресурсов, стоимость водорода в решающей степени определяется стоимостью использованной для его производства низкоуглеродной энергии и капитальными затратами на электролизеры или системы улавливания углерода. Таким образом, конкурентные преимущества смещаются в сторону регионов с высоким потенциалом дешевой возобновляемой (солнечной, ветровой) или атомной энергии.

Важным для понимания экономических перспектив является анализ так называемой «цветовой» классификации водорода, отражающей углеродоемкость методов его производства. Эта классификация имеет экономическое и экологическое значение, поскольку связана с будущими системами налогообложения, регулированием стоимости выбросов и потребительскими предпочтениями (таблица 1).

Таблица 1 - Основные производственные траектории водорода и их экономические характеристики

Производственная траектория	Условное распространённое обозначение	Эмиссионная характеристика	Основные факторы конкурентоспособности	Роль в формирующемся рынке
Производство из природного газа или угля без улавливания CO ₂	«Серый», для угольной технологии также используется «бурый/чёрный»	Высокие выбросы жизненного цикла	Цена природного газа или угля; масштаб существующих производств	Сегодня доминирует в мировом производстве, но не относится к низкоэмиссионному водороду
Производство из природного газа или иного ископаемого сырья с CCUS	«Голубой»	Может соответствовать категории низкоуглеродного только при достаточной эффективности улавливания и низких сопутствующих выбросах	Цена газа; CAPEX CCUS; фактическая доля улавливания CO ₂ ; выбросы метана на предшествующих стадиях цепочки поставок; доступ к транспортировке и хранению CO ₂	Возможная переходная и долгосрочная низкоуглеродная траектория в отдельных регионах

Электролиз с использованием возобновляемой электроэнергии	«Зелёный»	Низкие выбросы при соблюдении требований к происхождению электроэнергии и учёте жизненного цикла	Стоимость электроэнергии; CAPEX электролизёра; коэффициент использования мощности; стоимость капитала; вода	Основная траектория развития возобновляемого водорода
Электролиз на основе атомной электроэнергии	Часто «розовый»	Низкие выбросы жизненного цикла, но регуляторная классификация зависит от конкретной юрисдикции	Стоимость электроэнергии и капитала; загрузка электролизёра; доступ к АЭС; действующие правила сертификации	Потенциальный источник стабильного низкоуглеродного производства в странах с атомной генерацией
Электролиз с электроэнергией из сети смешанного происхождения	Единого корректного цветового обозначения нет	Может существенно различаться в зависимости от структуры генерации	Рыночная цена электроэнергии; углеродная интенсивность сети; режим работы электролизёра	Экологический статус определяется фактической методикой учёта выбросов

Источник: составлено авторами на основе [9], [10].

Сравнение производственных траекторий показывает, что конкуренцию между «голубым» и «зелёным» водородом нельзя сводить к противопоставлению двух фиксированных технологий.

Эмиссионные и экономические характеристики зависят от конкретного проекта.

Для производства из природного газа с CCUS существенны не только стоимость газа и капитальные затраты на улавливание, но также фактическая степень улавливания и выбросы метана по всей цепочке поставок.

Для электролиза определяющее значение имеют стоимость и происхождение электроэнергии, коэффициент использования электролизёра и стоимость финансирования.

Регламент ЕС 2025/2359 демонстрирует переход от цветового к жизненно-циклового подходу: при определении низкоуглеродных топлив учитываются производство исходного сырья, технологический процесс, транспортировка и фактическое сокращение посредством CCS [18].

Следовательно, в будущей международной торговле всё большее значение будут иметь подтверждённые показатели выбросов и полная стоимость поставленного продукта.

Методы исследования. Логика сравнительных преимуществ используется в расширенном виде. Наряду с традиционными факторами производства учитываются характеристики, непосредственно значимые для водородных цепочек:

- стоимость и углеродная интенсивность электроэнергии;
- стоимость капитала;
- доступ к воде и земельным ресурсам;
- наличие природного газа и возможности CCUS для соответствующих производственных траекторий;
- производственные компетенции и оборудование;
- существующая газовая, химическая, портовая и транспортная инфраструктура;
- расстояние до потенциального покупателя;
- величина внутреннего промышленного спроса;
- доступ к системам сертификации и регулирования.

Анализ цепочек добавленной стоимости проводится методом качественного картирования. Для каждой модели выделяются четыре функциональных звена:

производство → преобразование/производное → транспортировка → конечное использование.

Подобный подход позволяет анализировать не только поставки чистого водорода, но и товарные формы, в которых водород входит в международную торговлю косвенно: аммиак, метанол, синтетические топлива, прямовосстановленное железо и другие продукты [12-16].

Результаты исследования и их обсуждение. Конкурентные позиции стран определяются двумя группами факторов (таблица 2): производственными (стоимость генерации низкоуглеродной энергии, наличие земель и воды) и логистико-рыночными (близость к центрам спроса, наличие экспортной инфраструктуры).

Таблица 2 - Ключевые характеристики мировой водородной экономики на этапе формирования международного низкоэмиссионного сегмента

Показатель	Современное состояние	Экономическая интерпретация
Мировой спрос на водород	Более 100 млн т в 2025 г. [11]	Уже существует крупный промышленный рынок водорода
Основные сферы потребления	Нефтепереработка и промышленность обеспечивают практически весь спрос [11]	Новые энергетические применения пока имеют ограниченный масштаб
Производство низкоэмиссионного водорода	Около 1 млн т в 2025 г. [11]	Низкоуглеродный сегмент находится на ранней стадии развития по сравнению с общим рынком водорода
Инвестиционно подтверждённое производство к 2030 г.	Около 4,3 млн т в год по проектам с подтверждёнными обязательствами [11]	Объём проектов, имеющих инвестиционное подтверждение, существенно меньше общего объёма заявленных проектов
Доля ориентированных на торговлю проектов	Более 40% заявленного низкоэмиссионного объёма на 2030 г. [11]	Международная торговля является важной частью проектных стратегий
Реализация экспортного проектного портфеля	Менее 8% экспортно ориентированных объёмов относится к действующим, строящимся или инвестиционно подтверждённым проектам [11]	Между торговыми ожиданиями и фактическими инвестициями сохраняется значительный разрыв
Формирующаяся модель контрактов	Преобладают долгосрочные двусторонние договорённости; существенную роль играют аммиак и его производные [11]	На раннем этапе рынок развивается преимущественно через двусторонние долгосрочные контракты на покупку, а не через ликвидную биржевую торговлю
Заявленные водородные трубопроводы	Более 40 тыс. км к 2035 г.; около 9% уже действует либо имеет подтверждённые инвестиции [11]	Инфраструктурная база формируется, но пока существенно отстаёт от объявленных планов

Источник: составлено авторами по данным IEA [11].

В отличие от рынков нефти и газа, где важную роль играет расположение месторождений, для водородной экономики ключевое значение приобретает пригодность территорий для размещения объектов ВИЭ-генерации (таблица 3).

Таблица 3 - Сравнительные предпосылки участия отдельных стран и регионов в международных водородных цепочках

Страна / регион	Основная потенциальная база конкурентоспособности	Перспективные формы включения в торговлю	Основные ограничения
Австралия	Значительный солнечный и ветровой потенциал; земельные ресурсы; опыт крупномасштабного сырьевого экспорта и портовой логистики	Аммиак, производные водорода, энергоёмкие низкоуглеродные материалы	Удалённость от ряда центров спроса; стоимость капитала и морской цепочки; необходимость твёрдых контрактов на покупку
Чили	Высокое качество солнечных ресурсов на севере и ветровых ресурсов на юге; выход к морю	Аммиак, синтетические топлива, энергоёмкая продукция	Удалённость от крупных рынков; необходимость масштабного развития инфраструктуры и внутреннего промышленного спроса
Государства Персидского залива	Солнечный потенциал; капитал; существующие нефтегазовые, химические и портовые компетенции	Возобновляемый и низкоуглеродный водород, аммиак, метанол, синтетические топлива	Дефицит пресной воды; необходимость достоверного учёта выбросов для газовых маршрутов; конкуренция между экспортом и локальной переработкой
Северо-Западная Европа, включая Норвегию и Великобританию	Офшорная ветроэнергетика; газовая инфраструктура; близость к крупным промышленным потребителям; возможности хранения CO ₂	Трубопроводные поставки, локальное производство, водород для промышленности	Высокие капитальные затраты; ограниченность отдельных инфраструктурных мощностей; конкуренция за низкоуглеродную электроэнергию
Северная Африка	Высокий солнечный и ветровой потенциал; географическая близость к Европе; возможность развития портов и трубопроводных связей	Аммиак, локальная промышленная переработка, потенциальные трубопроводные поставки	Стоимость финансирования, инфраструктура, водообеспечение, необходимость сочетать

			экспортные проекты с внутренним развитием [14, 17]
Россия	Значительная газовая и атомная ресурсная база; промышленная и трубопроводная инфраструктура; компетенции в газохимии	Потенциально низкоуглеродный водород, аммиак и другие производные; использование водорода внутри промышленности	Доступ к технологиям и внешнему финансированию; неопределённость экспортных маршрутов; требования зарубежной сертификации; санкционные и рыночные ограничения
Китай	Крупнейшая производственная и промышленная база, быстро растущие электролизные мощности, масштабный внутренний спрос	Преимущественно внутренние промышленные цепочки, оборудование, отдельные региональные экспортные возможности	Высокая неоднородность углеродной интенсивности электроэнергии и регионов; необходимость дальнейшего формирования спроса

Источник: составлено авторами на основе [7, 11, 12, 14, 17].

Представленное сопоставление позволяет выделить три модели формирования международного преимущества.

Первая основана преимущественно на ресурсном потенциале - высоком качестве солнечной, ветровой или иной низкоуглеродной генерации.

Вторая опирается на ранее накопленные инфраструктурные активы: газопроводы, порты, химические предприятия, хранилища, газоперерабатывающие компетенции.

Третья формируется вокруг технологического и промышленного лидерства - производства электролизёров, оборудования, компонентов, специализированных материалов и способности перерабатывать водород в более сложную продукцию.

В исследовании понятие «низкоуглеродной ресурсной квази-ренты» используется для обозначения временного дополнительного преимущества

территории, располагающей сочетанием дешёвой низкоуглеродной энергии и благоприятных условий реализации проекта.

Важно, что такое преимущество определяется не только природными условиями. IRENA подчёркивает роль стоимости капитала, воды, инфраструктуры и институциональной среды наряду с качеством возобновляемых ресурсов [12, 14].

Анализ потребителей подтверждает гипотезу о формировании нового типа энергетической зависимости - технологически опосредованной. Страны-импортеры (ЕС, Япония) будут зависеть не только от поставщиков сырья, но и от производителей специализированного оборудования (электролизеров, танкеров) и владельцев технологий (таблица 4).

Таблица 4 - Крупные центры потенциального спроса и модели обеспечения водородом

Регион	Основные источники спроса	Возможности внутреннего предложения	Вероятная модель обеспечения
Европейский союз	Декарбонизация существующего производства водорода, химической промышленности, стали, транспорта и отдельных видов топлива	Собственное производство на основе возобновляемой и иной допустимой низкоуглеродной энергии, но с существенными различиями между странами	Сочетание внутреннего производства, региональных трубопроводов и импорта производных; высокое значение сертификации [13, 18]
Япония и Республика Корея	Промышленность, энергетические и морские применения, государственные программы формирования спроса	Ограниченные возможности дешёвого крупномасштабного производства относительно потенциального спроса	Долгосрочные международные контракты, прежде всего по аммиаку и другим переносимым производным

Северная Америка	Нефтепереработка, химия, промышленность, новые низкоуглеродные производства	Значительная собственная ресурсная база и возможности как возобновляемого, так и CCUS-маршрутов	Преимущественно внутренние и региональные цепочки с отдельными экспортными проектами
Китай	Крупнейший действующий промышленный спрос на водород, химическая промышленность и металлургия	Очень крупная собственная производственная база и быстрое развитие электролиза	Внутренняя локализация значительной части цепочки; потенциальная роль региональных поставок и экспорта оборудования
Промышленные центры других азиатских экономик	Удобрения, нефтепереработка, металлургия, судоходство	Зависит от доступа к газу, ВИЭ и финансированию	Сочетание внутренней модернизации и поставок аммиака/других производных

Источник: разработано авторами.

Выделены три базовые модели ГЦС, различающиеся по географии и степени интеграции:

1) Дальняя морская цепочка на основе водородных производных. Экономическое преимущество данной модели состоит в возможности использовать уже существующий опыт международной торговли некоторыми химическими товарами. Особенно значим аммиак. По данным IEA, существующая портовая инфраструктура для перевалки производных значительно более развита, чем инфраструктура перевозки чистого сжиженного водорода [11].

При этом реконверсия аммиака обратно в чистый водород требуется не

всегда. Если импортёр использует аммиак непосредственно в химической промышленности, удобрениях или как топливо, можно исключить дополнительное энергоёмкое звено. Именно поэтому международная торговля производными способна оказаться экономически более значимой, чем морская торговля чистым H_2 [12-14].

2) Региональная трубопроводная цепочка. Преимуществом являются относительно низкие транспортные расходы при достаточном масштабе и высоком коэффициенте использования инфраструктуры. Недостатками выступают высокая стоимость первоначальных инвестиций, необходимость гарантированного долгосрочного спроса и ограничение географии фиксированным маршрутом.

В 2026 г. совокупная длина анонсированных водородных трубопроводов к 2035 г. превышает 40 тыс. км, однако только около 9% уже действует либо имеет подтверждённые инвестиционные решения [11].

3) Локализованный промышленный кластер. Такая конфигурация минимизирует расходы на дальнюю транспортировку и может быть особенно эффективна для металлургии, аммиака, нефтепереработки и химических производств. Локализованный кластер не противоречит развитию международной торговли. На экспорт может поступать произведённый с использованием водорода низкоуглеродный промышленный товар.

Ключевое ограничение современного водородного рынка заключается в несогласованности темпов развития производства, инфраструктуры и гарантированного спроса.

Для чистого водорода специализированная инфраструктура действительно остаётся ограниченной. Строительство трубопроводов требует значительных капитальных вложений, а возможность переоборудования существующей газотранспортной системы зависит от технических характеристик конкретного участка.

Морская транспортировка чистого водорода развита ещё слабее.

Сжижение требует температур около $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ и сопровождается значительными затратами энергии и капитала.

С водородными производными ситуация иная. Международная инфраструктура аммиака и метанола существует уже сегодня. IEA в 2026 г. указывает примерно на 170 действующих аммиачных и 130 метанольных портовых терминалов, что создаёт исходную инфраструктурную базу для части будущей низкоэмиссионной торговли [11].

Однако использование аммиака как переносчика чистого водорода создаёт дополнительное звено реконверсии. Если конечному потребителю нужен молекулярный H_2 , стоимость дальних морских цепочек заметно возрастает. IEA оценивает минимальную дополнительную стоимость морской поставки с последующим получением чистого водорода приблизительно от 2 долл./кг H_2 , а энергетические затраты соответствующих процессов могут превышать 30% энергетического содержания продукта [11].

Различия определений низкоуглеродного и возобновляемого водорода остаются существенным барьером международного рынка, однако они уже не означают полного отсутствия правил.

В различных юрисдикциях формируются собственные требования к происхождению электроэнергии, расчёту выбросов жизненного цикла, временной и географической корреляции генерации, эффективности CCS.

IRENA подчёркивает, что основная проблема заключается в совместимости и сопоставимости систем сертификации [13].

Для экспортёра это означает появление самостоятельного регуляторного фактора конкурентоспособности. Произвести водород с низкими физическими выбросами недостаточно - необходимо иметь систему измерения и документации, признаваемую на целевом рынке.

В Европейском союзе эта тенденция получила дальнейшее развитие после принятия в 2025 г. специальной методики оценки сокращения выбросов, предусматривающей расчёт по жизненному циклу [18].

Поэтому международное сближение методик MRV, сертификации и цифрового прослеживания происхождения продукта становится одним из условий роста ликвидности рынка [12, 13].

Воздействие низкоэмиссионного водорода на рынки ископаемого топлива будет различаться по секторам и временным горизонтам.

В кратко- и среднесрочной перспективе первым направлением является не вытеснение природного газа из мировой энергетики в целом, а замещение традиционного водорода, который сегодня производится преимущественно из ископаемого сырья.

При расширении электролитического производства это способно уменьшать потребность в природном газе и угле, используемых непосредственно для получения водорода.

Одновременно производство низкоуглеродного водорода из природного газа с CCUS способно сохранять или создавать дополнительный спрос на газ в тех юрисдикциях, где данная технология соответствует установленным требованиям по выбросам.

В металлургии развитие DRI потенциально уменьшает потребность в коксующемся угле для отдельных технологических маршрутов.

Воздействие на нефть будет более опосредованным. Водород и его производные способны участвовать в производстве синтетических топлив для авиации и морского транспорта, однако масштаб соответствующего рынка зависит от стоимости электроэнергии, устойчивого источника углерода, климатической политики и конкуренции с иными низкоуглеродными решениями.

Более вероятна секторальная конкуренция технологий, при которой роль водорода особенно высока в ограниченном наборе промышленно значимых применений [11, 12].

Развитие низкоэмиссионного водорода потенциально расширяет круг территорий, способных участвовать в международной энергетической торговле.

В отличие от нефти и природного газа, география производства возобновляемого водорода не определяется наличием месторождения. Она формируется сочетанием качества возобновляемых ресурсов, стоимости капитала, инфраструктуры, воды, промышленной базы и расстояния до потребителя [12, 14].

Это создаёт возможности для Австралии, стран Северной Африки, отдельных государств Латинской Америки, Ближнего Востока и других территорий с благоприятными условиями низкоуглеродной генерации.

IRENA и современная литература по ГЦС указывают на альтернативный путь: размещение энергоёмкой переработки непосредственно в регионе дешёвой энергии с последующим экспортом аммиака, метанола, железа, стали или иной продукции [14, 17].

Такой вариант способен переносить в страну-производителя большую долю добавленной стоимости, чем экспорт молекулярного водорода.

Россия располагает рядом активов, потенциально применимых в водородных цепочках: крупной газовой ресурсной базой, атомной генерацией, химическими и газоперерабатывающими компетенциями, трубопроводной инфраструктурой и опытом производства аммиака.

Поэтому участие страны одновременно в производстве низкоуглеродного водорода из природного газа с CCUS и в электролитическом производстве может быть экономически целесообразным [7].

Экспортные перспективы определяются доступом к рынкам, стоимостью финансирования, наличием технологического оборудования, возможностью верифицировать выбросы по методике покупателя, санкционными ограничениями и географией будущего спроса.

Выводы. Формирование низкоэмиссионной водородной экономики создаёт предпосылки для изменения существующих энергетических и торговых связей, однако современное состояние рынка требует отделять реализованные процессы от долгосрочных проектных ожиданий.

Мировое потребление водорода уже превышает 100 млн т, но производство с низкими выбросами остаётся небольшой частью совокупного предложения [11]. Поэтому говорить о завершившейся водородной трансформации мировой энергетики преждевременно.

Одновременно международная составляющая имеет существенный потенциал. Более 40% объёма заявленных низкоэмиссионных проектов на 2030 г. ориентировано на экспорт, хотя инвестиционно подтверждена пока лишь ограниченная часть соответствующего портфеля [11].

Исходный вывод о возникновении новых сравнительных преимуществ сохраняется. Однако их источником выступает не только доступ к солнцу, ветру, газу или атомной энергии.

Конкурентная позиция формируется комбинацией стоимости низкоуглеродной энергии; стоимости капитала; технологического потенциала; инфраструктуры; водных и земельных ресурсов; расстояния до потребителя; промышленного спроса; способности выполнить требования сертификации.

В связи с этим используется понятие «низкоуглеродной ресурсной квазиренды», характеризующее потенциальное преимущество территории, которое реализуется только при наличии необходимых комплементарных активов. Она характеризует потенциальное преимущество территории, которое реализуется только при наличии необходимых комплементарных активов.

Результаты анализа позволяют выделить три модели цепочек: дальние морские поставки производных, региональные трубопроводные сети и локализованные производственно-потребительские кластеры.

Особое значение получает торговля производными. Аммиак, метанол, синтетические топлива и низкоуглеродная металлургическая продукция могут использоваться для международного перемещения низкоуглеродной энергии без обязательной реконверсии в чистый водород. Это позволяет предположить, что будущая «водородная торговля» будет значительно шире статистической торговли товаром H₂.

Инфраструктурные ограничения различаются по сегментам: инфраструктура чистого водорода находится на раннем этапе развития, тогда как для торговли аммиаком и метанолом уже существует значительная инфраструктурная база. Наиболее серьёзным коммерческим ограничением наряду с инфраструктурой является отсутствие достаточного числа твёрдых долгосрочных контрактов.

Регуляторный фактор также меняет содержание международной конкурентоспособности. Цветовая классификация постепенно уступает место расчёту фактической интенсивности выбросов по жизненному циклу. Поэтому способность подтвердить происхождение энергии, выбросы метана, параметры CCS и транспортный след становится одним из условий доступа продукта на отдельные рынки [13, 18].

Воздействие на традиционные энергетические рынки будет постепенным и сегментированным. Низкоэмиссионный водород прежде всего способен заменять высокоэмиссионный водород в существующих промышленных процессах; дальнейшее влияние на газ, уголь и нефтепродукты зависит от сравнительной конкурентоспособности технологий в конкретных отраслях.

В результате главным проявлением водородной трансформации может стать не возникновение нового рынка энергосырья по образцу нефти или СПГ, а перестройка размещения энергоёмких производств и соответствующих глобальных цепочек добавленной стоимости.

Список литературы

1. Симонов А. Г. Энергетическая (не) зависимость и страновая специализация как фактор глобальной конкурентоспособности // Геоэкономика энергетики. – 2024. – Т. 26. – №. 2. – С. 106-137.
2. Сторожев А. С. Тенденции развития мирового рынка нефти и газа: новая система отношений в постковидном мире // Геоэкономика энергетики. – 2022. – Т. 17. – №. 1. – С. 34-46.
3. Федорова В. А., Каджаева Е. Т. Трансформация мировых энергетических

- рынков: место и роль новых газовых продуктов // Инновации и инвестиции. – 2023. – №. 6. – С. 30-34.
4. Мельников А. Б., Чугаева Ю. А., Гребенюк В. А., Мушлян Л. С. Глобальный энергетический переход как угроза экономической безопасности РФ // Вестник Академии знаний. – 2025. – №. 4 (69). – С. 370-373.
5. Шнипова А. И. Развитие водородной энергетики в России: новая энергополитика // Энергия единой сети. – 2022. – №. 1 (62). – С. 58.
6. Евдокимов А. И., Гулиев М. Е. Водородные тренды трансформации международных экономических отношений: концепции и реалии // Международная торговля и торговая политика. – 2023. – Т. 9. – №. 1 (33). – С. 36-50.
7. Верпаховский Г. А. Экономические эффекты водородной трансформации газотранспортной системы России // Московский экономический журнал. – 2025. – №. 7. – С. 111-129.
8. Селезнева М. А., Ким А. А., Волков А. Р. Проблемы формирования глобального водородного рынка // Креативная экономика. – 2022. – Т. 16. – №. 7. – С. 2811-2826.
9. Родыгина Н. Ю., Мусихин В. И., Сотников А. В. Современные тенденции и перспективы развития водородной энергетики в ФРГ // Российский внешнеэкономический вестник. – 2023. – № 11. – С. 73–87. DOI: 10.24412/2072-8042-2023-11-73-87.
10. Бурдакова П. Обзор экономической эффективности проектов водородных кластеров в России // Экономический вестник ИПУ РАН. – 2022. – Т. 3. – №. 4. – С. 29-34.
11. World Bank. Evaluating, Benchmarking and Implementing Deep Trade Agreements. Module 1: Quantifying the Benefits of Deepening and Expanding Preferential Trade Agreements. – Washington, DC: World Bank, 2023.
12. Herman P. R. In Too Deep? The Economic Impacts of Deep Trade Agreements. Economics Working Paper 2024-12-D. – Washington, DC: U.S. International Trade

Commission, 2024.

13. Pomerlyan E., Belitski M. Regional Integration and Economic Performance: Evidence from the Eurasian Economic Union // *Eurasian Geography and Economics*. – 2024. – Vol. 65. – No. 5. – P. 627–655. DOI: 10.1080/15387216.2022.2163414.

14. Декларация о дальнейшем развитии экономических процессов в рамках Евразийского экономического союза до 2030 года и на период до 2045 года «Евразийский экономический путь». – Санкт-Петербург, 25 декабря 2023 г.

15. Eurasian Economic Commission. Social and Economic Development over 10 Years of EAEU Membership. – Moscow: Eurasian Economic Commission, 2025.

16. Вардомский Л. Б. Обеспечение сопряжения китайской инициативы «Пояс и путь» и проекта ЕАЭС // *Общество и экономика*. – 2024. – № 7–8. – С. 112–126. DOI: 10.31857/S0207367624070088.

17. Sahakyan M. D., Zheng Y. China's Belt and Road Initiative and the Eurasian Economic Union Cooperation over Competition // *Iran and the Caucasus*. – 2024. – Vol. 28. – No. 3. – P. 317–331. DOI: 10.1163/1573384X-02803007.

18. Еникеев Ш. М., Лукин А. В., Новиков Д. П. Шанхайская организация сотрудничества в новых геополитических условиях // *Вестник международных организаций*. – 2024. – Т. 19. – № 1. – С. 129–148. DOI: 10.17323/1996-7845-2024-01-06.

19. Shanghai Cooperation Organisation. Astana Declaration of the Council of Heads of State of the Shanghai Cooperation Organisation. – Astana, 4 July 2024.

20. State Council Information Office of the People's Republic of China. The Belt and Road Initiative: A Key Pillar of the Global Community of Shared Future. – Beijing, 2023.

21. Zhang W. The Belt and Road Initiative and the Eurasian Economic Union: Why Cooperation Not Confrontation? // *Frontiers in Political Science*. – 2025. – Vol. 7. – Article 1721059. DOI: 10.3389/fpos.2025.1721059.

References

1. Simonov A. G. Energeticheskaya (ne) zavisimost' i stranovaya spetsializatsiya kak

- faktor global'noi konkurentosposobnosti // *Geoekonomika energetiki*. – 2024. – T. 26. – №. 2. – S. 106-137.
2. Storozhev A. S. Tendentsii razvitiya mirovogo rynka nefi i gaza: novaya sistema otnoshenii v postkovidnom mire // *Geoekonomika energetiki*. – 2022. – T. 17. – №. 1. – S. 34-46.
3. Fedorova V. A., Kadzhaeva E. T. Transformatsiya mirovykh energeticheskikh rynkov: mesto i rol' novykh gazovykh produktov // *Innovatsii i investitsii*. – 2023. – №. 6. – S. 30-34.
4. Mel'nikov A. B., Chugaeva Yu. A., Grebenyuk V. A., Mushlyan L. S. Global'nyi energeticheskii perekhod kak ugroza ekonomicheskoi bezopasnosti RF // *Vestnik Akademii znanii*. – 2025. – №. 4 (69). – S. 370-373.
5. Shnipova A. I. Razvitie vodorodnoi energetiki v Rossii: novaya energopolitika // *Energiya edinoi seti*. – 2022. – №. 1 (62). – S. 58.
6. Evdokimov A. I., Guliev M. E. Vodorodnye trendy transformatsii mezhdunarodnykh ekonomicheskikh otnoshenii: kontseptsii i realii // *Mezhdunarodnaya trgovlya i trgovaya politika*. – 2023. – T. 9. – №. 1 (33). – S. 36-50.
7. Verpakhovskii G. A. Ekonomicheskie efekty vodorodnoi transformatsii gazotransportnoi sistemy Rossii // *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal*. – 2025. – №. 7. – S. 111-129.
8. Selezneva M. A., Kim A. A., Volkov A. R. Problemy formirovaniya global'nogo vodorodnogo rynka // *Kreativnaya ekonomika*. – 2022. – T. 16. – №. 7. – S. 2811-2826.
9. Rodygina N. Yu., Musikhin V. I., Sotnikov A. V. Sovremennye tendentsii i perspektivy razvitiya vodorodnoi energetiki v FRG // *Rossiiskii vneshneekonomicheskii vestnik*. – 2023. – № 11. – S. 73–87. DOI: 10.24412/2072-8042-2023-11-73-87.
10. Burdakova P. Obzor ekonomicheskoi effektivnosti proektov vodorodnykh klasterov v Rossii // *Ekonomicheskii vestnik IPU RAN*. – 2022. – T. 3. – №. 4. – S.

29-34.

11. World Bank. Evaluating, Benchmarking and Implementing Deep Trade Agreements. Module 1: Quantifying the Benefits of Deepening and Expanding Preferential Trade Agreements. – Washington, DC: World Bank, 2023.
12. Herman P. R. In Too Deep? The Economic Impacts of Deep Trade Agreements. Economics Working Paper 2024-12-D. – Washington, DC: U.S. International Trade Commission, 2024.
13. Pomerlyan E., Belitski M. Regional Integration and Economic Performance: Evidence from the Eurasian Economic Union // Eurasian Geography and Economics. – 2024. – Vol. 65. – No. 5. – P. 627–655. DOI: 10.1080/15387216.2022.2163414.
14. Deklaratsiya o dal'neishem razvitii ekonomicheskikh protsessov v ramkakh Evraziiskogo ekonomicheskogo soyuza do 2030 goda i na period do 2045 goda «Evraziiskii ekonomicheskii put'». – Sankt-Peterburg, 25 dekabrya 2023 g.
15. Eurasian Economic Commission. Social and Economic Development over 10 Years of EAEU Membership. – Moscow: Eurasian Economic Commission, 2025.
16. Vardomskii L. B. Obespechenie sopryazheniya kitaiskoi initsiativy «Poyas i put'» i proekta EAES // Obshchestvo i ekonomika. – 2024. – № 7–8. – S. 112–126. DOI: 10.31857/S0207367624070088.
17. Sahakyan M. D., Zheng Y. China's Belt and Road Initiative and the Eurasian Economic Union Cooperation over Competition // Iran and the Caucasus. – 2024. – Vol. 28. – No. 3. – P. 317–331. DOI: 10.1163/1573384X-02803007.
18. Enikeev Sh. M., Lukin A. V., Novikov D. P. Shankhaiskaya organizatsiya sotrudnichestva v novykh geopoliticheskikh usloviyakh // Vestnik mezhdunarodnykh organizatsii. – 2024. – T. 19. – № 1. – S. 129–148. DOI: 10.17323/1996-7845-2024-01-06.
19. Shanghai Cooperation Organisation. Astana Declaration of the Council of Heads of State of the Shanghai Cooperation Organisation. – Astana, 4 July 2024.
20. State Council Information Office of the People's Republic of China. The Belt and Road Initiative: A Key Pillar of the Global Community of Shared Future. – Beijing,

2023.

21. Zhang W. The Belt and Road Initiative and the Eurasian Economic Union: Why Cooperation Not Confrontation? // *Frontiers in Political Science*. – 2025. – Vol. 7. – Article 1721059. DOI: 10.3389/fpos.2025.1721059.

Статья поступила в редакцию 26.11.2025; одобрена после рецензирования 21.01.2026; принята к публикации 30.03.2026.

The article was submitted 26.11.2025; approved after reviewing 21.01.2026; accepted for publication 30.03.2026.