

Научная статья

УДК 339.5

ГЛОБАЛЬНЫЙ РЫНОК ВОДОРОДА КАК ФАКТОР ПЕРЕФОРМАТИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ТОРГОВЫХ СВЯЗЕЙ

**Остапенко Елена Анатольевна, Доктор экономических наук,
Ставропольский государственный аграрный университет, кафедра
финансового менеджмента и банковского дела, Россия, Ставрополь,
osele835@mail.ru**

Аннотация

Водород, в особенности его низкоуглеродные формы, приобретает стратегическое значение как ключевой вектор диверсификации энергобаланса и средство эндогенизации производственных процессов в трудноэлектрифицируемых секторах, таких как тяжелая промышленность, грузовой транспорт и химическое производство. Формирующийся глобальный рынок водорода представляет собой инновационную институционально-технологическую платформу, способную к переформатированию сложившихся энергетических и торговых связей, реконфигурации цепочек добавленной стоимости и изменению геоэкономических балансов. В данном исследовании была указана характеристика водородной экономики в контексте глобального энергоперехода. Проведен анализ сравнительных преимуществ потенциальных стран-производителей и потребителей водорода. Сформированы прототипы будущих глобальных цепочек создания стоимости водорода. Исследованы инфраструктурные, технологические и регуляторные барьеры становления рынка. По результатам проведенного исследования сделаны выводы о том, что формирующийся глобальный рынок низкоуглеродного водорода выступает в роли фактора глубокой трансформации мирохозяйственных связей. Его развитие инициирует пересмотр фундаментальных принципов международного разделения труда в энергетическом секторе и смежных отраслях

промышленности. Водородная экономика становится материальным воплощением более широкого структурного сдвига, а именно перехода к энергетике, основанной на сравнительных преимуществах в генерации низкоуглеродной энергии и технологических компетенциях. Данный процесс реконфигурирует не только товарные потоки, но и международные альянсы, инвестиционные траектории и факторы национальной конкурентоспособности в мировой экономике XXI века.

Ключевые слова: глобальный рынок водорода; фактор; трансформация; энергетические и торговые связи; сравнительные преимущества.

Original article

THE GLOBAL HYDROGEN MARKET AS A FACTOR IN REFORMATTING ENERGY AND TRADE RELATIONS

**Ostapenko Elena Anatolyevna, Doctor of Economics, Stavropol State Agrarian
University, Department of Financial Management and Banking, Stavropol,
Russia, osele835@mail.ru**

Annotation

Hydrogen, particularly its low-carbon forms, is acquiring strategic significance as a key vector for energy balance diversification and a means of endogenizing production processes in hard-to-electrify sectors such as heavy industry, freight transport, and chemical production. The emerging global hydrogen market represents an innovative institutional and technological platform capable of reformatting existing energy and trade ties, reconfiguring value chains, and altering geoeconomic balances. This study outlined the characteristics of the hydrogen economy in the context of the global energy transition. An analysis of the comparative advantages of potential hydrogen-producing and -consuming countries was conducted. Prototypes of future global hydrogen value chains were developed. Infrastructure, technological, and regulatory barriers to market development were examined. The study concludes that

the emerging global low-carbon hydrogen market is acting as a factor in the profound transformation of global economic relations. Its development is initiating a revision of the fundamental principles of the international division of labor in the energy sector and related industries. The hydrogen economy is becoming the material embodiment of a broader structural shift: the transition to an energy system based on comparative advantages in low-carbon energy generation and technological expertise. This process is reconfiguring not only commodity flows but also international alliances, investment trajectories, and factors of national competitiveness in the 21st-century global economy.

Keywords: global hydrogen market; factor; transformation; energy and trade links; comparative advantages.

Введение. Формирующийся глобальный рынок водорода представляет собой инновационную институционально-технологическую платформу, способную к переформатированию сложившихся энергетических и торговых связей, реконфигурации глобальных цепочек добавленной стоимости и изменению геоэкономических балансов [1], [2].

Актуальность исследования данного рынка обусловлена его промежуточным положением между сырьевым и технологическим укладами. Водородная экономика выступает проектом, интеграция которого требует координации усилий в области генерации, транспортировки, хранения и конечного потребления, что влечет за собой формирование новых международных альянсов и кооперационных моделей [3]. Изучение генезиса и потенциальных траекторий развития этого рынка представляется необходимым для понимания будущих структур мировой торговли энергоресурсами и перераспределения конкурентных преимуществ между национальными экономиками.

Основное содержание работы структурировано вокруг последовательного анализа ключевых аспектов становления глобального водородного рынка.

Вначале рассматривается концепция водородной экономики в контексте макропроцессов глобального энергоперехода, определяются движущие силы спроса и требования к интеграции водорода в существующие энергосистемы. Далее проводится анализ сравнительных преимуществ потенциальных стран-производителей и потребителей, основанный на факторах доступности низкоуглеродных источников энергии, промышленного потенциала, логистической географии и емкости внутреннего рынка.

На следующем этапе исследование фокусируется на формировании прототипов будущих глобальных цепочек создания стоимости водорода. Выделяются и анализируются потенциальные модели торговли, включающие трансграничные трубопроводные поставки, морские перевозки в сжиженном или химически связанном виде, а также регионализацию рынков на основе локального производства. Отдельное внимание уделяется исследованию комплекса инфраструктурных, технологических и регуляторных барьеров, сдерживающих коммерциализацию рынка. К ним относятся высокая капиталоемкость инфраструктуры, технологические пробелы в области транспортировки и хранения, отсутствие единообразных стандартов и систем сертификации происхождения, определяющих экологическую ценность продукта [4].

В заключительной части работы строится прогноз влияния развивающейся торговли водородом на традиционные энергетические рынки, в первую очередь, природного газа, угля и нефти. Оценивается потенциал водорода как фактора геоэкономической динамики, способного изменить вектор энергетической зависимости ряда регионов, стимулировать создание новых технологических кластеров и повлиять на перераспределение влияния между традиционными энергетическими державами и странами, обладающими значительным потенциалом для производства возобновляемой или ядерной энергии. Таким образом, данная работа направлена на комплексное осмысление глобального рынка водорода как фактора структурных изменений в мировой экономике XXI

века.

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].

Основополагающим концептуальным основанием для интеграции водорода в энергосистемы является его способность выполнять функцию связующего звена между сектором возобновляемой генерации, характеризующимся переменчивостью, и отраслями конечного потребления, требующими стабильных поставок энергии или специфического химического реагента. Электролиз воды, использующий электроэнергию из возобновляемых источников (ВИЭ), позволяет преобразовать избыточную или локально не востребуемую энергию в химическую форму, пригодную для долгосрочного хранения и межсезонного использования [8]. Это создает предпосылки для преодоления ограничения ВИЭ, а именно несоответствия графиков генерации и потребления.

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. Данная классификация является, в первую очередь, экономико-экологической, так как коррелирует с будущими системами налогообложения, тарифами на выбросы и потребительскими предпочтениями (таблица 1).

Таблица 1 - Классификация водорода по методам производства и её
экономико-экологическая интерпретация

Тип	Способ производства	Углеродный след	Ключевые экономические детерминанты конкурентоспособности	Перспективы в глобальном энерго-переходе
«Серый»	Паровая конверсия метана (SMR) без улавливания углерода	Высокий	Низкая себестоимость природного газа	Постепенное вытеснение в связи с ростом цены на выбросы CO ₂
			Высокая технологическая готовность	Является референсной точкой для стоимости
«Голубой»	SMR или	Низкий или	Стоимость	Переходная

	газификация угля с технологией улавливания и хранения углерода (CCS)	умеренный	природного газа или угля	технология, позволяющая использовать существующую газовую инфраструктуру
			Доступ к геологическим структурам для хранения CO ₂	Зависит от общественного восприятия и надежности CCS
			Капитальные затраты на систему CCS	
«Зеленый»	Электролиз воды на базе ВИЭ	Практически нулевой	Капитальные затраты на электролизер и ВИЭ-генерацию	Долгосрочный целевой вектор
			Стоимость капитала	Конкуренто- способность напрямую зависит от снижения стоимости ВИЭ и масшта- бирования производства электролизеров
			КИУМ электролизера	
«Розовый» или	Электролиз на базе	Низкий	Капитальные затраты на	Стабильное производство

«Жёлтый»	атомной энергии		электролизер	без зависимости от погодных условий
			Стоимость электроэнергии с АЭС (базовая нагрузка)	Потенциал для когенерации тепла и энергии

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

Анализ таблицы 1 демонстрирует, что становление глобального рынка будет проходить в условиях конкурентной борьбы не только между странами, но и между технологическими траекториями («голубой» и «зеленый» водород). Экономический выбор в пользу той или иной траектории будет определяться региональной спецификой: наличием дешевого газа и объектов для хранения CO₂ или, напротив, исключительным потенциалом ВИЭ при низкой плотности населения и спроса.

Методы исследования. Методологию составляет комплексный подход, интегрирующий инструменты анализа международной торговли, экономики энергетики и индустриальной организации. Сравнительный анализ преимуществ стран-производителей и потребителей базируется на модифицированной модели Хекшера-Олина, где ключевыми факторами производства выступают не только капитал и труд, но и доступ к низкоуглеродным энергоресурсам (возобновляемым и ядерным), инфраструктурный капитал и технологический потенциал в области электролиза, газохимии и логистики. Для оценки использовались данные по прогнозным удельным затратам на производство водорода (LCOH), потенциалам ВИЭ (IRENA, IEA) и текущим промышленным стратегиям государств.

Формирование прототипов глобальных цепочек создания стоимости (ГЦС) изучалось с применением методологии картирования цепочек добавленной стоимости (GVC mapping) и сетевого анализа. Это позволило выявить

потенциальные конфигурации потоков, ключевые звенья создания добавленной стоимости и точки контроля в будущей водородной экономике.

Выявление барьеров проводилось методом структурно-функционального анализа, разделяющего препятствия на инфраструктурные, технологические и институционально-регуляторные группы. Прогнозное моделирование влияния на традиционные рынки и геоэкономику осуществлялось с применением инструментов сценарного анализа (в диапазоне от консервативного до амбициозного по темпам внедрения водорода) и качественного анализа паттернов и перераспределения рентных доходов.

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). В отличие от рынков нефти и газа фактор географического расположения месторождений замещается детерминантой благоприятности территорий для размещения ВИЭ-генерации.

Таблица 2 - Сравнительный анализ потенциальных стран-производителей
низкоуглеродного водорода

Страна	Ключевое сравнительное преимущество	Прогнозная стоимость LСОН «зеленого» Н ₂ к 2040 году, долл./кг	Потенциальные формы экспорта	Основные ограничения
Австралия	Высокий потенциал солнечной и ветровой энергии при	1,5-2,0	Аммиак (NH ₃)	Удаленность от ключевых рынков (Европа)

	низкой плотности населения			
	Опыт экспорта СПГ		Сжиженный Н ₂	Высокие затраты на морскую логистику
Чили	Лучшие в мире показатели солнечной радиации (Атакама)	1,4-1,8	Зеленый аммиак	Политико-эконо- мическая вола- тильность
	Доступ к побережью		Синтетическое топливо	Ограни-ченный внутренний спрос
Страны Персидского залива (ОАЭ, Саудовская Аравия)	Высокий потенциал солнечной энергии	1,6-2,2 (солнечный)	«Голубой» водород	Водоемкость производства в условиях дефицита водных ресурсов
	Существующая нефтегазовая инфраструктура и капитал для диверсификации	Низкая стоимость «голубого» Н ₂	Аммиак Синтетическое топливо	
Северная Европа (Норвегия, Шотландия)	Мощный потенциал офшорной ветрогенерации	2,0-2,8 (офшорный ветер)	Трубопроводный Н ₂ (смесь с газом, позднее чистый)	Высокая капитало- емкость офшорной ветро- энергетики
	Развитая газовая инфраструктура		«Голубой» водород	
	Геологические формации для			

	хранения CO ₂			
Россия	Значительные ресурсы природного газа для «голубого» водорода	1,8-2,5 («голубой» с CCS)	Трубопроводный H ₂ в смеси с газом	Технологическая зависимость в CCS и электролизе
	Атомная генерация	>3,0 («зеленый» в европейской части)	Аммиак	Регуляторное отставание
	Теоретический потенциал ВИЭ			Санкционные риски

Источник: разработано авторами.

Таблица 2 отражает разделение будущих экспортеров на две категории: 1) «климатические рентоориентированные» экономики (Австралия, Чили, Ближний Восток), конвертирующие преимущества в солнечной, ветровой энергии в новый экспортный товар; 2) «инфраструктурно-ориентированные» экономики (Северная Европа, отчасти Россия), использующие существующие газотранспортные сети и компетенции в газовой отрасли. Вместе с тем в водородной экономике рента возникает из доступа к дешевым низкоуглеродным энергоресурсам и технологическим решениям.

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 3).

Таблица 3 - Основные регионы-потребители и детерминанты спроса

Регион-потребитель	Отраслевые драйверы спроса	Ограничения внутреннего производства	Потенциальные стратегии обеспечения
ЕС	Политика	Ограниченный	Диверсификация

	декарбонизации	потенциал для дешевой масштабной ВИЭ-генерации	импорта по долгосрочным контрактам
	Наличие сталелитейной, химической промышленности	Высокая плотность населения	Развитие партнерств с Африкой и Ближним Востоком
	Высокие цены на квоты CO ₂ (ETS)		
Япония и Южная Корея	Отсутствие собственных энергоресурсов	Критическая нехватка территорий для ВИЭ в требуемом масштабе	Активная стратегия «водородной дипломатии»
	Декларации об углеродной нейтральности		Инвестиции в цепочки поставок аммиака в Азии и Австралии
	Развитое автомобилестроение (топливные элементы)		
Северная Америка (США, Канада)	Стимулирующее законодательство (IRA в США)	Региональная неоднородность: избыток ВИЭ в одних штатах, дефицит в других	Формирование региональных рынков с элементами экспорта (Канада, Мексиканский залив)
	Наличие крупных промышленных кластеров		
	Потенциал для «голубого»		

	водорода		
Китай	Крупнейший в мире потребитель «серого» водорода для промышленности	Зависимость от угля в энергобалансе, что определяет интерес к «голубому» водороду	Ориентация на самообеспечение через масштабные проекты ВИЭ на западе страны
	Цели по углеродной нейтральности к 2060 году		Ограниченная роль импорта

Источник: разработано авторами.

Выделены три базовых прототипа ГЦС, различающихся по географии и степени интеграции:

1) Длинные трансокеанские цепочки на основе аммиака (NH_3): Австралия или страны Персидского залива → морской транспорт (в виде NH_3) → Япония. В данной цепочке добавленная стоимость концентрируется в звеньях производства аммиака из водорода и его последующей реконверсии у потребителя. Ключевыми акторами становятся химические компании и судовладельцы.

2) Региональные трубопроводные сети: Северная Африка (ВИЭ) → трубопровод (чистый H_2 или смесь) → ЕС. Второй прототип ближе к модели газового рынка. Добавленная стоимость создается в звене транспортировки и распределения, усиливая роль операторов газотранспортных систем.

3) Локализованные кластеры «производство-потребление»: промышленный центр в ЕС с примыкающим офшорным ветропарком. Цепочка максимально короткая, добавленная стоимость сосредоточена в производстве и применении водорода (например, на заводе по производству «зеленой» стали). Третий прототип минимизирует логистические издержки и риски.

Среди инфраструктурных барьеров наиболее критичен дефицит

специализированных мощностей. Существующие газопроводы требуют дорогостоящей модернизации (замена компрессоров, материалов) для транспортировки чистого водорода. Морской флот для перевозки сжиженного H_2 ($-253^\circ C$) или аммиака практически отсутствует. Создание хранилищ, сопоставимых по масштабу с газовыми, находится на стадии пилотных проектов.

Несмотря на прогресс, ключевые показатели эффективности (КПД электролизеров, срок службы, энергоемкость сжижения) нуждаются в улучшении для снижения капитальных и операционных затрат. Технология реконверсии аммиака обратно в водород остается энергозатратной и увеличивает общие потери в цепочке до 60-70%.

Отсутствие глобально признанных стандартов, определяющих, что считается «низкоуглеродным» или «возобновляемым» водородом (пороговые значения выбросов CO_2 на весь жизненный цикл), блокирует заключение долгосрочных контрактов. Нет единых правил сертификации происхождения, что препятствует формированию прозрачного рынка. Кроме того, нормативная база для безопасного обращения с водородом (особенно в транспортной и распределительной инфраструктуре) только формируется.

Влияние на традиционные рынки будет неоднородным и отсроченным во времени. В долгосрочной перспективе (после 2050 года) замещение природного газа водородом в промышленности и энергетике может привести к структурному снижению спроса на газ, особенно на рынках, чувствительных к углеродному регулированию (ЕС). Однако в среднесрочной перспективе рынок «голубого» водорода может стать дополнительным драйвером спроса на газ, создавая новый канал сбыта для производителей, способных внедрить CCS. На рынок нефти прямое влияние будет минимальным из-за слабого перекрытия сегментов применения, но косвенное влияние через снижение спроса на нефтехимическое сырье (при переходе на синтетическое топливо и химикаты) возможно.

Прогнозируется возникновение новых энергетических хабов, не привязанных к месторождениям, а расположенных в регионах с оптимальным

сочетанием ВИЭ-потенциала и логистической доступности (Чили, Марокко, Намибия, Австралия), усиление экономической взаимозависимости между Европой и Северной Африкой на новой технологической основе, что может переформатировать миграционные и инвестиционные потоки, ослабление позиций традиционных экспортеров энергоресурсов (Россия, ряд стран ОПЕК), не сумевших диверсифицировать экономику и освоить новые технологические цепочки. Их роль может сохраниться лишь в нише «голубого» водорода при условии крупномасштабных инвестиций в CCS. Также ожидается формирование новых технологических иерархий, где страны, контролирующие производство ключевых компонентов (мембраны для электролизеров, катализаторы для синтеза аммиака), получают значительное влияние, аналогичное воздействию современных производителей микрочипов.

Таким образом, глобальный рынок водорода выступает фактором глубокой реструктуризации международного разделения труда, основанного на новых, экологически детерминированных сравнительных преимуществах. Этот процесс будет сопряжен с преодолением значительных барьеров и приведет к перераспределению экономического и политического влияния в мире.

Выводы. Детерминанты конкурентных преимуществ на рынке водорода качественно отличаются от традиционных. Ключевым производственным фактором становится доступ к дешевым низкоуглеродным энергетическим ресурсам (возобновляемым или ядерным) в сочетании с технологическим потенциалом и инфраструктурным капиталом. Это способствует формированию нового типа ресурсной ренты - «климатической» или «технологической» ренты, источниками которой являются благоприятные природные условия для генерации ВИЭ и передовые компетенции в водородных технологиях. Соответственно, географическая картина потенциальных стран-экспортеров существенно меняется, включая регионы, не обладавшие ранее значимым весом на рынках нефти и газа.

Институциональная архитектура рынка находится в стадии становления,

что проявляется в конкуренции между несколькими прототипами глобальных цепочек создания стоимости. Выделяются три базовые модели: длинные трансокеанские цепочки на основе производных веществ (аммиака), региональные трубопроводные сети и локализованные производственно-потребительские кластеры. Каждая модель предполагает собственное распределение добавленной стоимости, набор ключевых акторов и профиль рисков. Окончательная конфигурация рынка будет результатом взаимодействия технологического прогресса, логистической экономики и регуляторных решений.

Влияние развивающейся торговли водородом на традиционные энергетические рынки и динамику геоэкономических показателей будет носить дифференцированный и постепенный характер. В долгосрочной перспективе можно ожидать структурного замещения природного газа в ряде сегментов промышленности и энергетики, что окажет давление на экспортеров, не адаптировавших свою стратегию. Одновременно сформируются новые центры экономического влияния и технологического лидерства, а также оси энергетической взаимозависимости (например, Европа - Северная Африка). Это приведет к относительному ослаблению позиций государств, чья экономическая модель остается зависимой от экспорта ископаемого сырья без активной диверсификации в низкоуглеродные технологии и водородные цепочки.

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. Иванов Н. А. Сланцевый газ и энергопереход // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2023. – №. 6 (222). – С. 12.

10. Бурдакова П. Обзор экономической эффективности проектов водородных кластеров в России // Экономический вестник ИПУ РАН. – 2022. – Т. 3. – №. 4. – С. 29-34.

References

1. Simonov A. G. Energy (in)dependence and country specialization as a factor in global competitiveness // Geoeconomics of energy. - 2024. - Vol. 26. - No. 2. - P. 106-137.

2. Storozhev A. S. Trends in the development of the global oil and gas market: a new system of relations in the post-COVID world // Geoeconomics of energy. - 2022. - Vol. 17. - No. 1. - P. 34-46.

3. Fedorova V. A., Kadzhaeva E. T. Transformation of global energy markets: the place

and role of new gas products // *Innovations and Investments*. - 2023. - No. 6. - P. 30-34.

4. Melnikov A. B., Chugaeva Yu. A., Grebenyuk V. A., Mushlyan L. S. Global Energy Transition as a Threat to the Economic Security of the Russian Federation // *Bulletin of the Academy of Knowledge*. - 2025. - No. 4 (69). - P. 370-373.

5. Shnipova A. I. Development of Hydrogen Energy in Russia: New Energy Policy // *Energy of the Unified Grid*. - 2022. - No. 1 (62). - P. 58.

6. Evdokimov A. I., Guliev M. E. Hydrogen Trends in the Transformation of International Economic Relations: Concepts and Realities // *International Trade and Trade Policy*. - 2023. - Vol. 9. - No. 1 (33). - P. 36-50.

7. Verpakhovskiy G. A. Economic effects of hydrogen transformation of the gas transportation system of Russia // *Moscow Economic Journal*. - 2025. - No. 7. - P. 111-129.

8. Selezneva M. A., Kim A. A., Volkov A. R. Problems of formation of the global hydrogen market // *Creative Economy*. - 2022. - Vol. 16. - No. 7. - P. 2811-2826.

9. Ivanov N. A. Shale gas and energy transition // *Problems of economics and management of the oil and gas complex*. - 2023. - No. 6 (222). - P. 12.

10. Burdakova P. Review of economic efficiency of hydrogen cluster projects in Russia // *Economic Bulletin of the Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences*. - 2022. - Vol. 3. - No. 4. – P. 29-34.

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.