

DOI: 10.55105/2500-2872-2023-4-65-80

## Роль Японии на формирующемся глобальном рынке водорода

*О.В. Дёмина, М.Г. Мазитова*

**Аннотация.** В статье проведен анализ текущего состояния формирующегося рынка водорода с низким объемом выбросов углерода по основным его параметрам: емкости, географическим сегментам, технологиям, инвестициям и заявленным проектам. Обобщены оценки развития рынка до 2050 г., определены текущие барьеры для развития и причины широкого разброса оценок емкости рынка. Выделяются три масштабных географических сегмента рынка: Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР), Северная Америка и Европейский Союз. Определены факторы, обуславливающие выбор Японией технологических решений на базе водорода в рамках энергоперехода. Показано, что государственная политика в данной сфере подкреплена соответствующими инвестициями и институциональными условиями. Описана хронология развития государственной энергетической политики в Японии в отношении использования и развития водородных технологий, свидетельствующая о твердости намерений по созданию водородной экономики. Усиление международного сотрудничества направлено как на решение задач по ресурсному обеспечению (соглашения с потенциальными экспортерами водорода и странами, обеспеченными ресурсами, необходимыми для производства новых материалов и оборудования в рамках всей технологической цепочки производства водорода), так и на поиск рынков сбыта японских водородных технологий. Систематизирована информация по основным соглашениям Японии со странами и регионами мира в данной сфере и реализованным к настоящему времени масштабным проектам в части создания международных цепочек поставок водорода. Показана роль Японии как инициатора развития международного взаимодействия и формирования глобального рынка низкоуглеродного водорода, а также как безусловного лидера на формирующемся рынке в плане государственной политики, наличия технологий, крупномасштабных инвестиций и международного сотрудничества в данной сфере. Определено, что на сегодняшнем этапе стимулирование развития глобального рынка водорода со стороны Японии выражается в высокой активности страны в международных проектах и соглашениях по развитию водородных технологий и цепочек поставок водорода, что ведет к росту количества заключенных соглашений о международном сотрудничестве, признанием другими странами ключевой роли водорода в энергопереходе и утверждении ими национальных водородных стратегий. Выявлено, что из-за высокой стоимости японского оборудования, используемого в производстве «зеленого» водорода, страна, скорее всего, будет проигрывать в конкуренции за рыночные ниши на глобальном рынке водорода.

**Ключевые слова:** мировой рынок водорода, зеленый водород, энергетическая безопасность, энергетическая политика, международные цепочки поставок водорода, водородная экономика, Япония.

**Авторы:** Дёмина Ольга Валерьевна, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Институт экономических исследований ДВО РАН (адрес: ул. Тихоокеанская, 153, Хабаровск, Россия, 680042). ORCID: 0000-0002-7992-5852; E-mail: demina@ecrin.ru

Мазитова Марина Гамиловна, научный сотрудник, Институт экономических исследований ДВО РАН (адрес: ул. Тихоокеанская, 153, Хабаровск, Россия, 680042). ORCID: 0000-0002-7978-7904, E-mail: mazitova@ecrin.ru

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Дёмина О.В., Мазитова М.Г. Роль Японии на формирующемся глобальном рынке водорода // Японские исследования. 2023. № 4. С. 65–80. DOI: 10.55105/2500-2872-2023-4-65-80

## Japan's role in the emerging global hydrogen market

*O.V. Dyomina, M.G. Mazitova*

**Abstract.** The article analyzes the current state of the emerging low-carbon hydrogen market in terms of its main parameters: capacity, geographical segments, technologies, investments, and announced projects. Estimates for the development of the low-carbon hydrogen market up to 2050 have been summarized. Barriers to its development and the reasons for different estimates of market capacity have been identified. There are three large-scale geographic market segments: the Asia-Pacific region, North America, and the European Union. The reasons why the energy transition in Japan will be based on low-carbon hydrogen are described. Japan's state policy in this area is supported by investments and institutional conditions. The timeline of Japan's energy policy development shows the determination to create a hydrogen economy. The goals of Japan's international cooperation are to solve the problems of resource provision (agreements with potential exporters of hydrogen and countries provided with resources necessary for the production of new materials and equipment within the entire technological chain of hydrogen production) and to search for markets for Japanese hydrogen technologies. Japan's main agreements with countries and regions of the world in this area and large-scale projects implemented to date in terms of creating international hydrogen supply chains are systematized. The role of Japan as an initiator of the development of international interactions and the formation of a global market for low-carbon hydrogen, as well as a market leader in terms of public policy, availability of technology, large-scale investment and international cooperation is substantiated. It has been determined that Japan's high activity in international projects and agreements on the development of hydrogen technologies and hydrogen supply chains determines the country's leading role in stimulating the development of the global hydrogen market at the current stage. Japan's activity is leading to an increase in the number of international cooperation agreements, recognition by other countries of the key role of hydrogen in the energy transition, and the adoption by more and more countries of their national hydrogen strategies. It was revealed that due to the high cost of Japanese equipment used in the production of "green" hydrogen, the country is likely to lose in competition for market niches in the global hydrogen market.

**Keywords:** global hydrogen market, green hydrogen, energy security, energy policy, international hydrogen supply chains, hydrogen economy, Japan.

**Authors:** *Dyomina Olga V.*, Candidate of sciences (economics), Senior Researcher, Economic Research Institute FEB RAS (153, Tikhookeanskaya Street, Khabarovsk, Russia, 680042). ORCID: 0000-0002-7992-5852; E-mail: demina@ecrin.ru

*Mazitova Marina G.*, Research Fellow, Economic Research Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (153, Tikhookeanskaya Str., Khabarovsk, 680042, Russian Federation). ORCID: 0000-0002-7978-7904; E-mail: mazitova@ecrin.ru

**Conflict of interests.** The authors declare the absence of the conflict of interests.

**For citation:** Dyomina, O.V., Mazitova, M.G. (2023). Rol' Yaponii na formiruyushchemsya global'nom rynke vodoroda [Japan's role in the emerging global hydrogen market]. *Yaponskiye issledovaniya* [Japanese Studies in Russia], 2023, 4, 65–80. (In Russian). DOI: 10.55105/2500-2872-2023-4-65-80

## Введение

На современном этапе развития мировой экономической системы спрос на энергоресурсы удовлетворяется преимущественно за счет ископаемых видов топлива, при этом неравномерность размещения обуславливает их высокую долю в торговле энергоресурсами. Так объем мировой торговли энергоресурсами в 2020 г. оценивался в 1,5 трлн долл., при этом на долю ископаемого топлива приходилось свыше 90% стоимости. В перспективе до 2050 г. ожидается, что масштаб мировой торговли энергоресурсами сохранится на том же уровне, при этом доля ископаемого топлива сократится до 15% [Geopolitics... 2022].

Экономическая доступность энергетических ресурсов является одним из определяющих факторов развития стран. Мировые рынки углеводородов являются олигополистическими: на 10 крупнейших производителей приходится около 73% мирового производства<sup>1</sup>. В данных условиях возможности потребителей влиять на цены и диверсифицировать поставщиков энергоресурсов ограничены. Высокая волатильность цен на энергоресурсы, необходимость обеспечения энергетической безопасности (путем диверсификации поставщиков, создания резервов энергоресурсов и др.) и ужесточение экологической повестки в мире являются основными драйверами поиска альтернативных способов энергоснабжения для стран нетто-импортеров.

Одним из перспективных способов повышения энергобезопасности в современных условиях является масштабное использование в качестве энергоносителей возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и водорода. Интерес к водородным технологиям обусловлен широкой распространенностью водорода и возможностью его длительного хранения. Данные свойства водорода позволяют организовать конкурентный мировой рынок, а стране нетто-импортеру дают возможность увеличить долю собственных ресурсов в энергобалансе. К тому же в рамках современной экологической повестки технологии производства водорода с низким углеродным следом<sup>2</sup> рассматриваются как один из ключевых элементов стратегии достижения углеродной нейтральности во многих странах. Последнее стало возможным по мере стремительного снижения издержек производства энергии на базе ВИЭ и стоимости электролизеров, которые определяют конечную цену производства «зеленого» водорода [Geopolitics... 2022].

Япония является экономически развитой страной с высоким уровнем развития технологий, но при этом практически не обеспечена собственными энергетическими ресурсами, спрос на которые удовлетворяется за счет импорта. Таким образом, основной проблемой для экономики страны является энергетическая безопасность, включающая в себя необходимость снижения стоимости энергоснабжения. На современном этапе развитие водородных технологий является одним из способов решения данной проблемы. Кроме того, включение водорода в стратегию развития национальной экономики приведет к формированию новых секторов производства в стране и позволит Японии создавать ниши для своей продукции на мировых рынках водорода.

Целью данного исследования является анализ роли Японии в формировании мирового рынка водорода и оценка потенциала кооперации Японии с другими странами в данной сфере.

---

<sup>1</sup> Statistical Review of World Energy. <https://www.energyinst.org/statistical-review> (дата обращения 10.11.2023).

<sup>2</sup> «Водород с низким углеродным следом» – водород, произведенный путем электролиза воды с использованием электроэнергии, полученной на основе ВИЭ («зеленый» водород), и водород, произведенный из ископаемого топлива с применением технологий улавливания, использования и хранения углерода (CCUS). В данной статье «низкоуглеродный водород» и «водород с низким углеродным следом» являются синонимами.

## Текущее состояние и перспективы развития мирового рынка водорода

В настоящее время водород используется преимущественно в качестве промышленного газа, будучи элементом промежуточного потребления в рамках технологических процессов. Традиционными сферами потребления водорода являются нефтеперерабатывающая, химическая и сталелитейная промышленность (рис. 1). Практически весь водород используется в качестве химического сырья: для производства аммиака, метанола, синтетического топлива, ракетного топлива и в нефтепереработке (процессы гидроочистки, гидрокрекинга, гидроконверсии) [Афанасьев 2022]. С помощью водорода также осуществляется восстановление металлов из их оксидов.



Рис. 1. Структура потребления водорода по направлениям использования, 2021 г., %  
Составлено по: [Global... 2022].

На сегодняшний день водород не является торгуемым товаром, однако объем его использования в мире по оценкам экспертов превышает годовой объем международной торговли сжиженным природным газом (СПГ) [Geopolitics... 2022].

В 1990–2020 гг. ежегодные темпы роста потребления водорода в мире составляли в среднем 2,9%, что было обусловлено, прежде всего, использованием водорода в нефтепереработке при росте спроса на нефтепродукты<sup>3</sup>.

В 2021 г. мировой спрос на водород увеличился на 5% по сравнению с предыдущим годом (до 94 млн т), что было вызвано восстановлением экономической активности в традиционных сферах его применения после спада, обусловленного пандемией [Global... 2022].

Крупнейшими потребителями водорода в 2021 г. являлись страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) (47% мирового спроса), Северная Америка (17%) и страны Европейского Союза (9%). Максимальные объемы потребления водорода среди стран АТР наблюдались в странах с развитым нефтеперерабатывающим сектором: Китае (27% мирового спроса и 16,9% нефтеперерабатывающих мощностей в мире<sup>4</sup>), Индии (9% и 5%), Японии (2% и 3,1%) и Республике Корея (1,5% и 3,3) [World... 2022].

<sup>3</sup> Развитие водородной энергетики в России. <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/razvitie-vodorodnoy-energetiki-v-rossii-novaya-energopolitika/> (дата обращения: 10.11.2023).

<sup>4</sup> Statistical Review of World Energy. <https://www.energyinst.org/statistical-review> (дата обращения 10.11.2023).

В настоящее время водород получают преимущественно из углеводородного сырья (рис. 2), и его производство сопровождается существенным объемом выбросов углекислого газа. Так, по итогам 2021 г. выбросы оценивались в 900 млн т  $\text{CO}_2$  (около 2,5% от мирового объема эмиссии от промышленных процессов и сжигания топлива). Производство низкоуглеродного водорода в 2021 г. составило всего 0,7% от суммарного производства (около 1 млн т). В основном такой вид водорода производился из ископаемого топлива с применением технологий CCUS, и только 35 тыс. т – из электричества путем электролиза воды [Global... 2022]. Такая структура источников сырья и способов производства водорода обусловлена доминирующими направлениями его использования и стоимостью технологий.

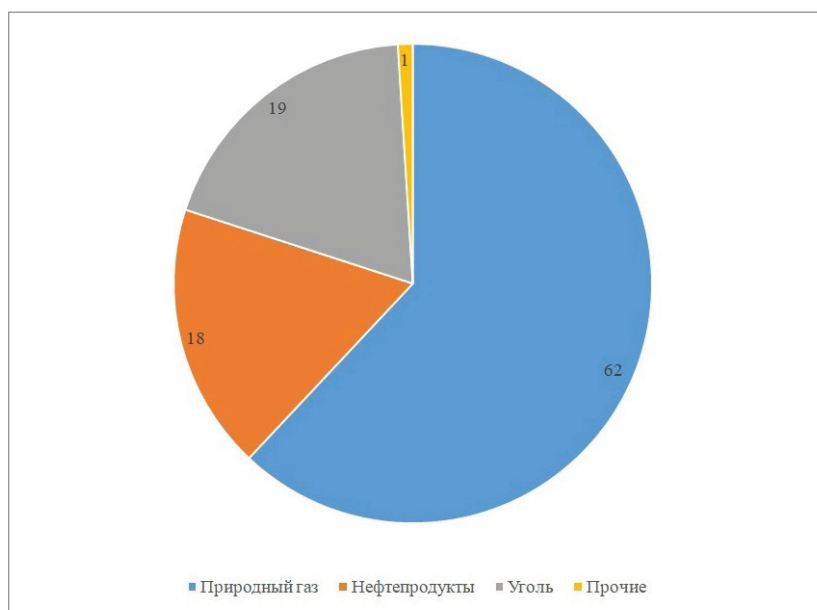


Рис. 2. Структура производства водорода по источникам сырья, 2021 г., %  
Составлено по: [Global... 2022].

В 2021 г. стоимость производства водорода из ископаемого топлива была в несколько раз дешевле, чем при производстве низкоуглеродного водорода. Так, средняя стоимость производства 1 кг водорода из природного газа составляла 1,0–2,5 долл., из природного газа с применением CCUS – 1,5–3,0 долл., из электроэнергии, произведенной на основе ВИЭ – 4,0–9,0 долл. [Global... 2022]. Высокая стоимость производства низкоуглеродного водорода на сегодняшний день выступает одним из ключевых барьеров развития рынка водорода. Поэтому снижение стоимости производства и сбыта водорода рассматривается как одна из ключевых задач по развитию данного рынка.

Экономическая конкурентоспособность «зеленого» водорода в основном определяется стоимостью получения энергии на базе ВИЭ (например, на сегодняшний день стоимость получения электроэнергии на базе солнечной энергии составляет 55% от конечной стоимости водорода). В большинстве экспертных оценок предполагается существенное удешевление такого вида водорода к 2030 г. Так по прогнозам агентства McKinsey & Company его стоимость для конечных потребителей сократится в 2 раза [De Pee et al 2022]. Схожие оценки дают эксперты Международного энергетического агентства: по их прогнозу ожидается снижение стоимости зеленого водорода в 2–3 раза [Global... 2022].

Технологическими лидерами в области водородных технологий в настоящее время являются страны Европейского союза, Япония и США. Республика Корея и Китай только выходят на международный уровень [Hydrogen... 2023]. На сегодняшний день выделяют десяток перспективных технологий, направленных на усовершенствование способов

производства, хранения и потребления водорода: топливные элементы (ячейки) на основе водорода; материалы для водородных компонентов; автотранспорт на водородных топливных элементах; различные способы производства водорода (паровая конверсия метана, электролиз, подземная газификация угля), системы и методы хранения водорода<sup>5</sup>.

Из указанных технологий наиболее распространенными на практике на сегодняшний день являются производство водорода на основе электролиза и транспорт на топливных элементах. Так, в мире к концу 2022 г. действующие электролизные мощности составили 700 МВт, по проектам создания дополнительных 9 ГВт мощностей приняты положительные инвестиционные решения. В перспективе к 2030 г. ожидается, что мощность электролизеров составит 134 ГВт, а лидерами по установленной мощности будут страны Европейского Союза и Китай [Global... 2022].

В настоящее время по всему миру работает более 1070 водородных заправочных станций, в 2022 г. их число удвоилось по сравнению с 2021 г. В основном станции расположены в странах АТР, среди которых лидируют Китай (свыше 300), Республика Корея (210) и Япония (163)<sup>6</sup>.

На данный момент мировой рынок водорода только формируется, а перспективы его развития во многом определяются масштабами государственной поддержки в отдельных странах. О серьезности намерений в данной области свидетельствуют принятые водородные стратегии, подкрепленные государственными инвестициями, а также большое количество оформленных патентов на технологии по всей цепочке создания стоимости водорода в качестве энергоносителя и объявленных в данной области проектов.

Суммарные государственные инвестиции на целевую поддержку развития технологий и проектов водорода с низким уровнем выбросов на период 2021–2030 гг. определены в размере не менее 65 млрд долл. Наибольший объем финансирования приходится на три страны – Францию, Германию и Японию [Geopolitics... 2022].

К настоящему времени в мире анонсировано более 1000 проектов в области водородных технологий, в 80% которых заявленный срок начала реализации – до 2030 г. Планируемые прямые инвестиции в данной сфере – 320 млрд долл., при этом по инвестициям на сумму 29 млрд долл. уже приняты окончательные инвестиционные решения. В соответствии с данными проектами объем мирового производства низкоуглеродного водорода к 2030 г. составит 38 млн т, в том числе 25 млн т будут произведены из электроэнергии на базе ВИЭ, 13 млн т – из ископаемого топлива с технологиями CCUS<sup>7</sup>.

Оценки потенциального объема рынка водорода с низкими выбросами углерода сильно варьируют и характеризуются высокой степенью неопределенности (табл. 1). По мере реализации национальных водородных стратегий, которых к настоящему времени насчитывается около 30, прогнозируется рост международной торговли водородом. Резкий скачок объема торговли ожидается с 2035 г. по мере увеличения спроса на «зеленый» водород [Geopolitics... 2022].

Национальные стратегии по развитию водородных технологий в зависимости от связи с глобальным рынком условно можно разделить на три группы: ориентированные на внутренний рынок (Китай, Великобритания), на экспорт водорода (Россия, Австралия, Чили, Саудовская Аравия, ОАЭ, Оман) и на импорт водорода (страны Европейского Союза, Япония, Республика Корея) [Водород... 2022]. Таким образом, не весь прогнозируемый объем производства водорода будет направлен на мировой рынок. Потенциальный объем мировой

---

<sup>5</sup> Марчук Н.П., Туровец Ю.В. Перспективы водородной энергетики. НИУ ВШЭ. 15.06.2023 <https://issek.hse.ru/news/840275432.html> (дата обращения: 17.07.2023).

<sup>6</sup> Hydrogen Insights 2023. <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2023/05/Hydrogen-Insights-2023.pdf> (дата обращения: 09.11.2023).

<sup>7</sup> Hydrogen Insights 2023. <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2023/05/Hydrogen-Insights-2023.pdf> (дата обращения: 09.11.2023).

торговли водородом с низкими выбросами углерода в 2026 г. оценивается в 2,4 млн т, в 2030 г. – до 12 млн т [Global... 2022]. Прогнозируемый к 2050 г. объем торговли колеблется в пределах от 5 до 73 млн т в зависимости от институциональных условий формирования рынка водорода, при этом на долю торговли предположительно будет приходиться до 22% удовлетворения мирового спроса на водород [World... 2022].

**Таблица 1.** Потенциальный объем глобального рынка водорода с низкими выбросами углерода, млн т

| Источник оценки   | 2021<br>факт. | 2030  | 2050 |
|---|---------------|-------|------|
| bp Energy Outlook: 2023 edition   | 1             |       |      |
| Сценарий ускоренного сокращения выбросов (Accelerated)                  |               | 30    | 300  |
| Сценарий достижения углеродной нейтральности (Net Zero)                 |               | 50    | 460  |
| Hydrogen Insights 2023  |               | 38    | –    |
| Global Hydrogen Review 2022   |               | 24–34 | –    |
| World Energy Outlook-2022   |               |       |      |
| Сценарий, основанный на реализации официально принятой политики (STEPS) |               | 6     | 24   |
| Сценарий, основанный на учете принятых обязательств (APS)               |               | 30    | 225  |
| Сценарий, основанный на достижение нулевых выбросов к 2050 г. (NZE)     |               | 90    | 452  |

Составлено по: [Global... 2022; World... 2022; Geopolitics... 2022; Energy... 2023]; Hydrogen Insights 2023. <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2023/05/Hydrogen-Insights-2023.pdf> (дата обращения: 09.11.2023).

По оценкам экспертов пространственная структура спроса на водород к 2030 г. и 2050 г. сохранится без существенных изменений: на долю АТР будет приходиться 45–48% мирового спроса, на Европейский Союз – 9–11%, Северную Америку – 16–20% [World... 2022].

Прогнозируемый рост спроса на низкоуглеродный водород связан в первую очередь с отраслями, в которых невозможно масштабное использование ВИЭ с целью снижения выбросов парниковых газов (ПГ): в энергетике (накопитель энергии, высокотемпературное отопление), на транспорте (большегрузный транспорт дальнего следования, авиация дальнего следования, международные морские перевозки), в промышленности (сталелитейная промышленность) [Geopolitics... 2022]. Указанные направления использования требуют развития соответствующих технологий.

Таким образом, на сегодняшний день можно выделить несколько основных барьеров на пути формирования глобального рынка водорода:

- экономические (высокая стоимость производства водорода с низкими выбросами углерода, крупнотоннажной транспортировки водорода, выработки электроэнергии на водородных топливных элементах) [Холкин 2019];
- технологические (низкий уровень разработанности отдельных технологий в цепочке производства и сбыта водорода);
- стандартизационные (отсутствие механизмов для отслеживания и подтверждения типа производства водорода и единых международных стандартов в области водородных технологий) [Geopolitics... 2022].

## Государственная политика Японии по развитию водородной экономики

Высокие темпы экономического развития Японии после Второй мировой войны и модернизация экономики страны сопровождались ростом потребления ископаемых видов топлива (нефти, угля и природного газа). Однако нефтяные кризисы 1970-х гг. выявили высокую степень энергосырьевой уязвимости японской экономики и обусловили необходимость коренных изменений в энергетической стратегии страны. Именно тогда в Японии начали разрабатываться основы политики обеспечения энергетической безопасности. Долгосрочными приоритетами были названы энергосбережение, сокращение импорта нефти и поощрение использования альтернативных источников энергии. Прежде всего, ставка была сделана на использование атомной энергии, а также угля и СПГ [Подоба 2021].

Общая энергетическая политика Японии изложена в Стратегических энергетических планах, которые принимаются в соответствии с Основным законом об энергетической политике 2002 г. Главным принципом, лежащим в основе этих планов, является достижение энергетической безопасности, экономической эффективности и экологической устойчивости (обычно называемых «3 Э»<sup>8</sup>).

Последствия аварии на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г. коренным образом изменили энергетическую политику Японии. Так, в четвертом Стратегическом энергетическом плане, принятом в апреле 2014 г., наряду с тремя традиционными принципами была отмечена «безопасность» в качестве ключевого приоритета энергетической политики («3 Э плюс С»)<sup>9</sup>. План предусматривал максимально возможное снижение зависимости от ядерной энергетики при одновременном повышении энергоэффективности, расширении использования ВИЭ и повышении эффективности тепловых электростанций [Japan... 2021]. В плане 2014 г. впервые было включено в повестку создание «общества, основанного на водороде», которое использует водород в качестве энергии.

Также в 2014 г. была составлена Стратегическая дорожная карта в отношении водорода и топливных элементов, в которой была предложена реализация концепции водородного общества в рамках трехэтапной программы. На первом этапе предполагалось резкое расширение использования водорода (стационарных топливных элементов и транспортных средств на топливных элементах), на втором (вторая половина 2020-х гг.) – полноценное внедрение водородной энергетики и создание крупномасштабной системы снабжения водородом, на третьем (примерно к 2040 г.) – создание системы снабжения низкоуглеродным водородом.

В 2016 г. в дорожную карту были включены цели по расширению использования топливных элементов для жилых помещений и транспортных средств на топливных элементах.

После вступления в силу Парижского соглашения в ноябре 2016 г. добавились обязательства по решению проблемы изменения климата, в то время как выбросы парниковых газов в Японии значительно увеличились из-за закрытия атомных электростанций.

В 2017 г. была разработана Базовая водородная стратегия, направленная на решение проблемы энергетической безопасности и сокращение выбросов парниковых газов, а также на создание общества, основанного на водороде. Стратегия включала существующую дорожную карту по внедрению и распространению отдельных технологий, позиционируя водород как новый вариант безуглеродной энергетики.

В Базовой стратегии были сформулированы основные направления развития водородной энергетики и намечены количественные ориентиры использования водорода в производстве и потреблении энергии до 2050 г.

---

<sup>8</sup> От англ. “3 E”: Energy security (энергетическая безопасность), Economic efficiency (экономическая эффективность), Environmental sustainability (экологическая устойчивость).

<sup>9</sup> От англ. “3 E plus S”, где “S” – Safety (безопасность).

1. Заметное увеличение роли водорода в энергоснабжении потребителей и производстве транспортных средств (в том числе грузовиков, автопогрузчиков, локомотивов и даже маломерных морских судов).

2. Развитие инфраструктуры транспортировки водорода – как морским путем, так и через систему трубопроводов на территории Японии. Строительство водородных кластеров, а именно, специальных территорий, на которых водород как энергоресурс будет иметь первостепенное значение.

3. Создание приоритетных возможностей для развития водородной энергетики и повышения ее доли в энергобалансе страны до 25–30% (с учетом доли ВИЭ). Широкое внедрение систем улавливания и хранения углерода.

4. Разработка механизмов международного сотрудничества в вопросах транспортировки и хранения водорода, а также создание единых стандартов для образцов техники, работающей на водородных топливных элементах [Корнеев 2020].

В марте 2019 г. правительство Японии обновило свою Стратегическую дорожную карту в отношении водорода и топливных элементов. В дорожной карте были представлены новые цели по спецификациям базовых технологий, а также определены меры, необходимые для достижения этих целей.

В обновленной дорожной карте определены сроки реализации водородной экономики: 2022 г. – технологическая демонстрация возможности хранения и транспортировки водорода из-за рубежа; 2030 г. – внедрение полномасштабной генерации водорода; 2050 г. – реализация полноценного внутреннего потребления низкоуглеродного водорода<sup>10</sup>.

В последнем на данный момент шестом Стратегическом энергетическом плане 2021 г. декларируется растущее значение водородной энергетики. В нем представлено видение государства инвестиционно-технологических аспектов этого процесса. Так, планируется максимальное стимулирование производства водорода для нужд внутреннего рынка, а также выстраивание цепочек поставок из-за рубежа во взаимодействии с надежными партнерами, среди которых Бруней, Австралия, Норвегия, Россия (дальнейшее сотрудничество с Россией по водородной тематике в настоящее время поставлено на паузу, но не исключается его возобновление при наличии подходящих условий)<sup>11</sup>.

В июне 2023 г. правительство Японии впервые пересмотрело свою Базовую водородную стратегию. Обновленная стратегия охватывает в качестве новых энергоносителей не только водород, но и аммиак, синтетический метан (или «е-метан»<sup>12</sup>) и синтетическое топливо.

В стратегии устанавливаются цели по увеличению поставок водорода и аммиака в страну (2030 г. – до 3 млн т, 2040 г. – 12 млн т, 2050 г. – 20 млн т), снижению стоимости поставок водорода (2030 г. – до 30 иен за м<sup>3</sup>, 2050 г. – 20 иен за м<sup>3</sup>), увеличению количества оборудования для электролиза воды с деталями японского производства (примерно до 15 ГВт мощности электролизеров во всем мире к 2030 г.) и привлечению государственных и частных инвестиций в цепочки поставок водорода и аммиака (на сумму более 15 трлн иен в течение следующих 15 лет)<sup>13</sup>.

<sup>10</sup> Japan: Strategic Hydrogen Roadmap. <https://www.mfat.govt.nz/en/trade/mfat-market-reports/japan-strategic-hydrogen-roadmap-30-october-2020/> (дата обращения: 10.11.2023).

<sup>11</sup> Корнеев К. Новые направления энергетической политики Японии и сотрудничество с Россией в условиях санкций. *Российский совет по международным делам*. 22.03.2022. <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/novye-napravleniya-energeticheskoy-politiki-yaponii-i-sotrudnichestvo-s-rossiei-v-usloviyakh-sanktsii/> (дата обращения: 31.07.2023).

<sup>12</sup> «Е-метан» (англ. e-methane) – альтернативный природный газ, синтезируемый из CO<sub>2</sub> и водорода.

<sup>13</sup> Bocobza, J. & Tanabe, M. Japan Hydrogen Basic Strategy. <https://www.whitecase.com/insight-alert/japan-hydrogen-basic-strategy> (дата обращения: 09.11.2023).

Таким образом, правительство Японии рассчитывает к 2030 г. занять 10% мирового рынка производства водорода методом электролиза воды, к 2040 г. – увеличить в 6 раз ожидаемый годовой объем производства водорода в стране<sup>14</sup>.

Что касается создания международных цепочек поставок, Япония намерена укрепить свои связи со странами-потенциальными экспортерами водорода – странами Северной Америки, Ближнего Востока и АТР.

В рамках достижения вышеуказанных основных целей в Базовую стратегию была включена новая концепция – «Стратегия водородной промышленности» – и определены конкретные области, в которых японские компании имеют преимущества перед своими глобальными конкурентами с точки зрения передовых технологий<sup>15</sup>:

- поставка водорода (включая производство и цепочки поставок водорода);
- декарбонизированная энергетика;
- топливные элементы;
- использование водорода (включая процессы восстановления железа/стали из их соединений, химические продукты и суда, работающие на водороде);
- водородные соединения (включая топливный аммиак и продукты переработки углерода).

В области поставок водорода акцентируется внимание на проектировании крупных судов-перевозчиков различных видов водорода (сжиженный водород, метилциклогексан, аммиак), а в направлении декарбонизации энергетике – на разработке систем сжигания топлива с высоким содержанием водорода<sup>16</sup>.

Таким образом, эволюция энергетической политики Японии свидетельствует о том, что низкоуглеродный водород рассматривается как ключевой элемент энергоперехода.

### **Международное сотрудничество Японии в области водородных технологий и цепочек поставки водорода**

Япония является одним из лидеров в области водородных технологий и заинтересованной стороной в развитии мирового рынка. Она взяла на себя ведущую роль в разработке ряда международных стандартов по водороду: ISO/TC197 (Водородные технологии), IEC/TC105 (Технологии топливных элементов) и UN/GTR13 (Глобальные технические правила для транспортных средств, работающих на водороде/топливных элементах) [Мастепанов, Араи 2020]. Также на долю Японии в 2011–2020 гг. в среднем приходилось 24% международных комплексных патентов в области развития водородных технологий во всех ключевых сегментах: 20% от общего количества патентов в области производства водорода, 22% – в области хранения и транспортировки, 28% – в сфере технологий конечного использования [Hydrogen... 2023].

Однако Япония уступает конкурентам по экономической эффективности отдельных передовых технологий: эксплуатационные расходы на японские щелочные электролизеры выше, чем на европейские и китайские. Прогнозируется, что к 2030 г. стоимость японских электролизеров будет в 2 раза выше китайских [Dellatte 2023]. Это может стать одним из ограничений для экспорта японских технологий на отдельных сегментах мирового рынка водорода.

---

<sup>14</sup> Игнатьева А. Япония планирует в 6 раз увеличить объемы производства водорода к 2040 г. // *Neftegaz. RU*. 03.04.2023. <https://neftgaz.ru/news/Alternative-energy/775442-yaponiya-planiruet-v-6-raz-uvlichit-obemy-proizvodstva-vodoroda-k-2040-g/> (дата обращения: 03.07.2023).

<sup>15</sup> Bocobza, J. & Tanabe, M. Japan Hydrogen Basic Strategy. <https://www.whitecase.com/insight-alert/japan-hydrogen-basic-strategy> (дата обращения: 09.11.2023).

<sup>16</sup> Bocobza, J. & Tanabe, M. Japan Hydrogen Basic Strategy. <https://www.whitecase.com/insight-alert/japan-hydrogen-basic-strategy> (дата обращения: 09.11.2023).

Ключевыми направлениями государственных инвестиций в области развития водородных технологий в Японии являются: проектирование автомобилей с низкими выбросами углерода, создание сети заправочных станций для транспорта на топливных элементах, развитие цепочек поставок водорода с использованием новых источников за рубежом. По трем указанным направлениям аккумулируется около 80% суммарных государственных расходов на исследовательские разработки в области водородных технологий (508 млн долл. в апреле 2020 г. – марте 2021 г.). Кроме того, дополнительное финансирование Японского национального агентства исследований и разработок по развитию новой энергетики и промышленных технологий получают проекты, направленные на создание крупномасштабной цепочки поставок водорода (2,7 млрд долл.) и производство экологически чистого водорода (0,7 млрд долл.).

Япония также обладает преимуществом в технологии производства топливных элементов. Страна продолжает инвестировать в эту технологию и стремится стать ведущим мировым экспортером. Так, объем инвестиций в этой сфере в апреле 2020 г. – марте 2021 г. составил 92,5 млн долл (15% от суммарных государственных расходов на исследовательские разработки в области водородных технологий) [Nakano 2021].

Активный патронат государства и масштабные инвестиции в области развития водородных технологий и реализации проектов в этой сфере позволяют Японии поддерживать технологическое лидерство и выступать пионером в развитии глобального рынка водорода, стимулируя остальные страны на присоединение к формирующемуся рынку.

Одной из основных задач водородной стратегии Японии является выстраивание международных цепочек поставок водорода. С этой целью страна осуществляет масштабное инвестирование в данную сферу, активно налаживает партнерские отношения, скрепляя их двусторонними торговыми соглашениями, меморандумами и другими формами соглашений о сотрудничестве (табл. 2). Переход к преимущественно двухстороннему формату соглашений был обусловлен утратой иллюзий по поводу возможности создания международного режима торговли водородом в среднесрочной перспективе [Корнеев 2020].

**Таблица 2.** Международное сотрудничество Японии в области водородных технологий и поставок водорода

| Контрагент            | Формат взаимодействия, документ  | Цель, результаты  |
|-----------------------|--|---|
| Европейский Союз (ЕС) | Энергетический диалог между ЕС и Японией и сотрудничество в области инноваций для продвижения перехода к чистой энергетике и решения проблемы изменения климата (2019) | Разработка Меморандума о сотрудничестве.  |
|                       | Зеленый альянс (2021)  | Соглашение о сотрудничестве между Японией и ЕС, направленное на расширение усилий по декарбонизации, развитие сотрудничества в области водорода и обеспечение информационного обмена. |
|                       | Меморандум о сотрудничестве в области водорода между Министерством экономики, торговли и промышленности Японии (METI) и Европейской комиссией (2022)                   | Определение областей сотрудничества между ЕС и Японией в производстве, торговле, транспортировке, хранении, распределении и использовании водорода.                                   |

|                       |  |  |
|-----------------------|--|--|
| ЕС, США               | Совместное заявление о будущем сотрудничестве в области технологий водорода и топливных элементов между МЕТІ, Генеральным директором Европейской комиссии по энергетике (ENER) и Министерством энергетики США (DOE) (2019) | Обязательство продолжать трехстороннее сотрудничество в области водородных технологий и топливных элементов.   |
| США, Австралия, Индия | Пакет мер по адаптации к изменению климата и смягчению его последствий в рамках Четырехстороннего диалога по безопасности (QUAD) (Q-CHAMP)   | Сотрудничество в области зеленого водорода: обмен опытом, создание цепочек поставок, совместное регулирование, рабочие группы и пилотные проекты.  |
| Австралия             | Меморандум о сотрудничестве в области энергетики и полезных ископаемых (2019)  | Определение областей сотрудничества между двумя странами в энергетическом и ресурсном секторах, включая создание цепочек поставок водорода, ускорение НИОКР и разработку водородных технологий, а также развитие рынков водорода.  |
|                       | Совместное заявление о будущем сотрудничестве в области водорода и топливных элементов (2020)  | Сотрудничество и обмен передовым опытом в следующих областях: разработка нормативной базы; производство, доставка и хранение водорода; продвижение исследований и разработок в области водорода и технологий топливных элементов; стимулирование перехода отраслей на водород. |
|                       | Партнерство по декарбонизации с помощью технологий с низким уровнем выбросов (2021)  | Укрепление сотрудничества между двумя странами (и странами АСЕАН) для достижения углеродной нейтральности посредством совместных инициатив, направленных на стимулирование технологий с низким уровнем выбросов, включая водородные технологии.                                |
|                       | Программа торговли чистым водородом (2022)   | Экспорт зеленого сжиженного водорода из Австралии в Японию на сумму 150 млн австралийских долларов (93 млн евро).  |
| Канада                | Меморандум о сотрудничестве в области энергетики (2019)  | Развитие технологий улавливания и хранения углерода, в частности, для производства водорода.   |
| Новая Зеландия        | Меморандум о сотрудничестве по водороду (2018)   | Сотрудничество по разработке водородных технологий и пилотных проектов.  |
| Индонезия             | Меморандум о сотрудничестве по реализации энергоперехода (2022)  | Обмен информацией и совместная реализация проектов по разработке и внедрению водородных технологий.  |

|                                     |  |   |
|-------------------------------------|--|---|
| Сингапур                            | Меморандум о сотрудничестве в области разработки норм и технологий с низким уровнем выбросов (2022)  | Обмен информацией, сотрудничество в области НИОКР, поиск путей сотрудничества по созданию стандартов и реализации международных норм в области водородной энергетики.         |
| Таиланд                             | Меморандум о сотрудничестве по реализации энергетического партнерства (2022)   | Сотрудничество в области водородных технологий, включая обмен информацией, совместное обучение и совместные инвестиции.   |
| Вьетнам                             | Совместное заявление о сотрудничестве по достижению углеродной нейтральности (2021)  | Обязательство двух стран о финансовой и технической поддержке в области водородной энергетики.  |
| АСЕАН                               | Экономическое сотрудничество в эпоху после пандемии (2022)   | Инвестиционные планы Японии в регионе АСЕАН, включающие конкретные обязательства по поддержке технологий декарбонизации, в том числе водородных.                              |
| Объединенные Арабские Эмираты (ОАЭ) | Официальные обсуждения по созданию водородного партнерства (2021)  | Формирование цепочки поставок низкоуглеродного водорода из ОАЭ, в которой Япония будет поставлять электролизеры.  |
| Саудовская Аравия                   | Меморандум о взаимопонимании между Институтом экономики энергетики Японии (IEEJ) и компанией Saudi Aramco (2019)                                     | Обсуждение возможностей по производству водорода из нефтяных ресурсов Саудовской Аравии и поставки «голубого» аммиака в Японию.   |
| Россия                              | Совместное заявление о сотрудничестве между METI и Министерством энергетики РФ о сотрудничестве в области устойчивой энергетики (2021) <sup>17</sup> | Развитие перспективных проектов по добыче и поставкам российского СПГ и газового конденсата, ВИЭ, производства водорода, продукции газохимии, аммиака, а также проектов CCUS. |
| Малайзия                            | Меморандум о взаимопонимании между компаниями Petronas, JOGMEC и ENEOS (ранее JX Nippon Oil and Gas Exploration) (2020)                              | Изучение возможностей разработки месторождений природного газа в Малайзии и экспорта в Японию водорода на основе природного газа с применением технологий CCUS.               |
|                                     | Меморандум о взаимопонимании между компаниями ENEOS-Petronas и Malaysia's Petronas (2021)  | Разработка проекта поставок низкоуглеродного водорода в Японию. Проект является частью Зеленого инновационного фонда правительства Японии.                                    |
| Аргентина                           | Меморандум о сотрудничестве с целью стимулирования развития водорода в качестве экологически чистого источника энергии (2019)                        | Японские инвестиции в области развития водородных технологий и интеграция Аргентины в глобальные цепочки поставок водорода.   |

Составлено по: [Delaval et al 2022; Dellatte 2023].

<sup>17</sup> В 2022 г. заседания по сотрудничеству приостановлены.

Для потенциальных контрагентов сотрудничество с Японией представляет интерес по нескольким основным причинам: потенциальный масштабный рынок сбыта (в самой стране практически нет условий для производства водорода, так как нет ни необходимых площадей земли под развитие масштабной ВИЭ генерации, ни собственных запасов ископаемых энергоресурсов); трансферт технологий (страна является одним из лидеров в области водородных технологий); возможность получить иностранные инвестиции (правительство Японии осуществляет масштабные инвестиции для формирования международных цепочек поставок водорода). Тем самым Япония выступает как инициатор формирования взаимовыгодного сотрудничества не только для потенциальных экспортеров водорода, но и стран с ресурсами, необходимыми для производства новых материалов и оборудования в рамках всей цепочки производства и сбыта водорода.

Япония при выборе потенциальных контрагентов ориентирована на обеспечение надежности поставок, максимальную диверсификацию поставщиков, доступ к дефицитным природным ресурсам, необходимым в рамках перехода к углеродной нейтральности, развитие технологического партнерства и поиск потенциальных рынков сбыта японских технологий.

Японскими исследователями был выполнен анализ экономической эффективности поставок «зеленого» водорода, полученного из ископаемого топлива с использованием CCUS. Австралия, Китай, Россия и США определены как наиболее привлекательные страны для развития таких производств [Корнеев 2020].

В настоящее время Япония активно участвует в международных проектах по производству водорода в Норвегии, Австралии, Новой Зеландии, аммиака – в Саудовской Аравии, ОАЭ, Индонезии, Малайзии<sup>18</sup>.

Япония является пионером и в области организации международных цепочек поставки водорода. Одним из направлений является транспортировка водорода в виде смеси с толуолом. Примером служит совместный проект с Брунеем: водород получается из отработанного газа в Брунее, а в японском порту Кавасаки создан завод по дегидрированию для извлечения водорода из смеси. Поставки начали осуществляться с 2017 г., в 2020 г. объем составил около 110 т водорода. Водород в рамках данного проекта используется для питания производящей электроэнергию газовой турбины [Delaval et al 2022].

Другим направлением является транспортировка сжиженного водорода. Для реализации такого проекта в 2021 г. компанией Kawasaki Heavy Industries был построен первый в мире водородный танкер вместимостью 1250 м<sup>3</sup>. Водород производится из австралийского бурого угля и поставляется в японский порт Кобе. Поставка первой партии сжиженного водорода состоялась в 2022 г. [Delaval et al 2022].

Таким образом, Япония, являясь одним из технологических лидеров, обладая существенными финансовыми ресурсами и заинтересованностью в развитии глобального рынка водорода, выступает одним из основных драйверов формирования рынка. Однако, несмотря на достигнутые результаты, объем приложенных правительством и отдельными корпорациями Японии усилий пока не трансформировался в высокие темпы развития рынка низкоуглеродного водорода. От многостороннего формата обсуждения пришлось отказаться в пользу двухсторонних соглашений как наиболее перспективных форм международного сотрудничества. Построение международных цепочек поставок находится на начальном этапе, в настоящее время осуществляется реализация только пилотных проектов.

---

<sup>18</sup> Список проектов подробнее см.: [Delaval 2022], Корнеев К. Политика Японии в области развития возобновляемой энергетики. *Российский совет по международным делам*. 08.12.2020. <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/columns/asian-kaleidoscope/politika-yaponii-v-oblasti-razvitiya-vozobnovlyaemoy-energetiki/> (дата обращения: 31.07.2023).

## Заключение

Проблема энергетической безопасности, которая обрела глобальные масштабы в период нефтяных кризисов 1970-х гг., многократно усилилась с обострением геополитической напряженности и перебоями в поставках энергоресурсов в период пандемии. Под большим давлением в данной ситуации оказались страны нетто-импортеры энергоресурсов.

На сегодняшний день Япония по-прежнему является крупным нетто-импортером энергоресурсов. Решение проблемы энергетической безопасности в стране длительное время виделось в развитии ядерной энергетики. Последнее обеспечивало как высокую долю собственного производства и сокращение импорта первичных энергоресурсов, так и решало проблему снижения выбросов парниковых газов. Однако, последствия аварии на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г. вынудили искать новые пути решения проблемы. Во всем мире приоритетным способом диверсификации топливно-энергетического баланса с учетом требований по снижению выбросов ПГ является широкомасштабное использование ВИЭ. У Японии природно-географические факторы выступают одним из существенных ограничений в плане возможностей использования и расширения данного направления. При нынешнем уровне техники и технологий для Японии наиболее оптимальным решением проблемы представляется развитие водородных технологий.

Япония была первой, кто включил водород как основной элемент энергоперехода, инициируя при этом формирование глобального рынка водорода, что было закреплено в Базовой водородной стратегии, принятой в 2017 г. В данной стратегии Японии отводится роль мирового технологического лидера и экспортера водородных технологий, одного из масштабных рынков сбыта и крупнейшего инвестора. Эволюция нормативно-правовых документов свидетельствует об усилении роли водорода в реструктуризации национальной экономики. Однако из-за высокой стоимости японского оборудования, используемого в производстве «зеленого» водорода, страна, скорее всего, будет проигрывать в конкуренции за рыночные ниши на глобальном рынке водорода.

Высокая активность Японии в международных проектах и соглашениях по развитию водородных технологий и цепочек поставок водорода вызывает рост заинтересованности со стороны множества стран, что отражается в увеличении количества заключенных соглашений о международном сотрудничестве, признанием странами ключевой роли водорода в энергопереходе и утверждении ими национальных водородных стратегий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Афанасьев П.А., Попов Е.Ю., Черемисин А.Н. Потенциал генерации водорода в углеводородных пластах. *Neftgaz.RU*. 2022. №4. С. 102–107. <https://magazine.neftgaz.ru/articles/alternativnaya-energetika/733471-potentsial-generatsii-vodoroda-v-uglevodorodnykh-plastakh/> (дата обращения: 15.07.2023).
- Водород: формирование рынка и перспективы России. 2022. Москва: Институт проблем естественных монополий. <https://ipem.ru/content/vodorod-formirovanie-rynka-i-perspektivy-rossii/> (дата обращения: 15.07.2023).
- Корнеев К.А. Политика Японии в области развития водородной энергетики // *Японские исследования*. 2020. № 4. С. 64–77. DOI: 10.24411/2500-2872-2020-10028.
- Мастепанов А.М., Араи Х. Водородная стратегия Японии // *Энергетическая политика*. 2020. № 11. С. 62–73. DOI: 10.46920/2409-5516\_2020\_11153\_62
- Перспективы России на глобальном рынке водородного топлива / под. ред. А. Холкина. Москва: EnergyNet. 2019. <https://www.eprussia.ru/upload/iblock/ede/ede334adeb4c282549a71d6fec727d64.pdf> (дата обращения: 15.07.2023).
- Подоба З.С. Энергетическая стратегия и переход к зелёной энергетике в Японии // *Японские исследования*. 2021. № 1. С. 6–24. DOI: 10.24412/2500-2872-2021-1-6-24

## REFERENCES

- Afanas'ev, P.A., Popov, E.Yu., & Cheremisin, A.N. (2022). Potentsial generatsii vodoroda v uglevodorodnykh plastakh [Potential for Hydrogen Generation in Hydrocarbon Reservoirs]. *Neftegaz.RU*, 4, 102–107. (In Russian). Retrieved June 21, 2023, from <https://magazine.neftegaz.ru/articles/alternativnaya-energetika/733471-potentsial-generatsii-vodoroda-v-uglevodorodnykh-plastakh/>
- Kholkin, A. (Eds.). (2019). *Perspektivy Rossii na global'nom rynke vodorodnogo topliva* [Prospects for Russia in the Global Hydrogen Fuel Market]. Moscow: EnergyNet. (In Russian). Retrieved June 21, 2023, from <https://www.eprussia.ru/upload/iblock/ede/ede334adeb4c282549a71d6fec727d64.pdf>
- Korneev, K.A. (2020). Politika Yaponii v oblasti razvitiya vodorodnoi energetiki [Japan's Policy in the Field of Hydrogen Energetics Development]. *Yaponskiye issledovaniya* [Japanese Studies in Russia], 4, 64–77. (In Russian). <http://doi.org/10.24412/2500-2872-2021-1-6-24>
- Mastepanov, A.M. & Arai, H. (2020). Vodorodnaya strategiya Yaponii [Japan's Hydrogen Strategy]. *Energeticheskaya politika*, 11, 62–73. (In Russian). [http://doi.org/10.46920/2409-5516\\_2020\\_11153\\_62](http://doi.org/10.46920/2409-5516_2020_11153_62)
- Podoba, Z.S. (2021). Energeticheskaya strategiya i perekhod k zelyonoy energetike v Yaponii [Energy Strategy and Transition to Green Energy in Japan]. *Yaponskiye issledovaniya* [Japanese Studies in Russia], 1, 6–24. (In Russian). <http://doi.org/10.24412/2500-2872-2021-1-6-24>
- Vodorod: formirovanie rynka i perspektivy Rossii [Hydrogen: Market Formation and Prospects for Russia]. (2022). Moscow: Institute for Natural Monopolies Research. (In Russian).

\* \* \*

- De Pee, A. et al. (2022, November 23). The Clean Hydrogen Opportunity for Hydrocarbon-Rich Countries. *McKinsey & Company*. Retrieved June 13, 2023, from <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-clean-hydrogen-opportunity-for-hydrocarbon-rich-countries>
- Delaval, B. et al. (2022). *Hydrogen RD&D Collaboration Opportunities: Japan*. CSIRO, Australia. Retrieved June 13, 2023, from <https://explore.mission-innovation.net/wp-content/uploads/2023/04/H2RDD-Japan-FINAL.pdf>
- Dellatte, J. (2023, March 20). Global Hydrogen Policy: Assessing Japan's Hydrogen Society. *Institute Montaigne*. Retrieved July 31, 2023, from <https://www.institutmontaigne.org/en/expressions/global-hydrogen-policy-assessing-japans-hydrogen-society>
- Energy Outlook 2023 (2023, January). *BP p.l.c.* Retrieved June 21, 2023, from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2023.pdf>
- Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor (2022, January). *IRENA*. Retrieved June 21, 2023, from <https://www.irena.org/Publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>
- Global Hydrogen Review 2022 (2022, September). *IEA*. Retrieved June 21, 2023, from <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>
- Hydrogen Patents for a Clean Energy Future (2023, January). *IEA*. Retrieved June 21, 2023, from <https://www.iea.org/reports/hydrogen-patents-for-a-clean-energy-future>
- Japan 2021. Energy Policy Review (2021, March). *IEA*. Retrieved June 21, 2023, from <https://www.iea.org/reports/japan-2021>
- Nakano, J. (2021, October 21). Japan's Hydrogen Industrial Strategy. *CSIS*. Retrieved June 21, 2023, from <https://www.csis.org/analysis/japans-hydrogen-industrial-strategy>
- World Energy Outlook 2022 (2022, October). *IEA*. Retrieved June 21, 2023, from <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>

---

Поступила в редакцию: 16.08.2023

Received: 16 August 2023

Принята к публикации: 16.10.2023

Accepted: 16 October 2023