



ИПЕМ

Институт проблем
естественных монополий

Аналитический доклад

**«Водород: формирование рынка
и перспективы России»**

Москва 2022



Оглавление

КЛЮЧЕВЫЕ ВЫВОДЫ	3
1. ВВЕДЕНИЕ	5
1.2 ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА.....	6
1.3 НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА	10
1.4 СПОСОБЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВОДОРОДА.....	11
2. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИМПОРТЁРЫ ВОДОРОДА	13
2.1 ЕВРОПЕЙСКИЙ СОЮЗ (ЕС)	13
2.2 ГЕРМАНИЯ	19
2.3 ЯПОНИЯ	22
2.4 РЕСПУБЛИКА КОРЕЯ (ЮЖНАЯ КОРЕЯ).....	27
3. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ЭКСПОРТЁРЫ ВОДОРОДА.....	30
3.1 АВСТРАЛИЯ.....	30
3.2 ЧИЛИ	32
3.3 ПРОЧИЕ СТРАНЫ.....	34
4. СТРАНЫ, ПЛАНИРУЮЩИЕ САМООБЕСПЕЧЕНИЕ ВОДОРОДОМ	37
4.1 ВЕЛИКОБРИТАНИЯ	37
4.2 КИТАЙ.....	39
5. РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ	40
6. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО	52
7. ПЕРСПЕКТИВЫ РОССИИ В СФЕРЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....	56
8. ВЫВОДЫ	61



Ключевые выводы

- Масштабное применение водорода в различных сферах хозяйственной деятельности – принципиально новое направление, перспективы которого до сих пор остаются неопределёнными. При этом объём инвестиций, который необходимо затратить на развитие водородной энергетики, весьма высок – только для Евросоюза он оценивается в 320–458 млрд евро в период с 2020 по 2030 гг., и без государственной поддержки в обозримой перспективе «водородное будущее» не может быть построено.
- Тема водорода очень неоднозначна и порождает активную борьбу лоббистов водородной энергетики и её критиков. В первую очередь критика касается возможного применения водорода для теплоснабжения жилых помещений и в автомобильном транспорте из соображений безопасности и эффективности. В то же время использование водорода для декарбонизации промышленности (при выплавке стали, производстве цемента и удобрений), в энергетике, а также в качестве альтернативного топлива для крупнотоннажного грузового (в особенности водного) транспорта признаётся экспертным сообществом вполне целесообразным.
- Развитию водородной энергетики препятствует ряд серьёзных барьеров:
 - высокие издержки производства «возобновляемого» и «низкоуглеродного» водорода;
 - отсутствие оптимальных и доступных по цене технологий транспортировки и хранения водорода;
 - отсутствие технологий по улавливанию и хранению углекислого газа в ряде стран, стремящихся стать значимыми производителями «низкоуглеродного» водорода;
 - дефицит пресной воды в ряде стран, планирующих крупномасштабное производство водорода методом электролиза.
- Развитие водородной энергетики должно сопровождаться тщательными исследованиями в области экологии и климатологии, т.к. негативные эффекты от значительных утечек водорода в атмосферу могут превысить положительный эффект в части сокращения выбросов парниковых газов.
- О желании занять свои ниши на зарождающемся рынке водорода заявило достаточно большое количество стран с различным потенциалом в этой сфере. В связи с этим России перед выходом на рынок целесообразно провести тщательный анализ всех возможных конкурентов и разработать оптимальную стратегию в части позиционирования на глобальном рынке водорода.
- Целевые показатели по экспорту водорода, заложенные в российской концепции развития водородной энергетики и программе развития низкоуглеродной водородной энергетики, достаточно амбициозны с учётом отсутствия многих технологий и компетенций (например, в части улавливания и хранения CO₂).
- В свете сложной геополитической ситуации России следует ориентироваться в первую очередь на расширение объёмов и направлений внутреннего потребления водорода. Для сохранения конкурентного преимущества необходимо разрабатывать и развивать водородные технологии, направлять инвестиции в НИР, НИОКР и создание пилотных установок.



- В рамках расширения возможностей по реализации экспортного потенциала России необходимо ускорить принятие решений по сотрудничеству в сфере водородной экономики, в особенности со странами Восточной Азии (поскольку они уже начали пилотные поставки водорода из других стран).



1. Введение

В августе 2021 г. Правительство Российской Федерации утвердило «Концепцию развития водородной энергетики в Российской Федерации»¹, которая определяет цели, задачи, стратегические инициативы и ключевые меры по развитию водородной энергетики в стране на перспективу до 2050 г. В декабре Минэнерго России подготовило программу развития низкоуглеродной водородной энергетики². Это первые шаги в стремлении России стать частью нового, только зарождающегося рынка – рынка водорода. В данной работе проведена оценка экспортного потенциала России в сфере водорода на основе анализа данных о перспективах потребления водорода в ряде стран и объединений, планов других потенциальных экспортёров водорода, а также возможностей по производству водорода в РФ – с учётом анонсированных планов отечественных компаний.

Первой страной, утвердившей водородную стратегию, стала Япония ещё в 2017 г. За ней последовали Франция, Республика Корея, Нидерланды, Германия и другие страны. Основное количество документов в этом направлении было утверждено в 2020–2021 гг. в свете активизации мировой тенденции к декарбонизации и климатической нейтральности. В июле 2020 г. утверждена водородная стратегия Европейского союза³, а в начале августа 2021 г. – Великобритании⁴. Всего около 20 стран и объединений обнародовали свои стратегии, концепции и «дорожные карты» в области водородной энергетики. Условно их можно разделить на несколько групп:

- ориентированные на внутреннее производство и / или импорт водорода (страны Европейского союза, в частности, Германия, Япония, Республика Корея, США и др.);
- ориентированные на внутреннее производство и экспорт водорода (Россия, Австралия, Чили и др.);

¹ Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации (утв. распоряжением Правительства РФ от 05.08.2021 № 2162-п)

² Бюджет водородящий // Коммерсант. – 24.12.2021. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5143450>

³ COM (2020) 301 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions / European Commission – Brussels. – 2020. – 23 с. – URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf

⁴ UK Hydrogen Strategy / HM Government. – 2021. – 120 с. –

URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1011283/UK-Hydrogen-Strategy_web.pdf



- ориентированные на внутреннее производство и потребление водорода (Великобритания, Китай).

Соответственно, страны, ориентированные на импорт водорода, являются потенциальными партнёрами России, а страны, планирующие экспортировать водород на мировой рынок – потенциальными конкурентами. Отдельно рассмотрены Великобритания и Китай в качестве примеров государств, стратегии которых предполагают самообеспечение водородом.

1.2 Технологии производства водорода

Прежде чем начинать разбор водородных стратегий стран мира, следует отметить один важный момент – развитие водородной энергетики подразумевает рост производства и применения водорода именно **с низким углеродным следом**. В настоящее время в мире ежегодно производится около 70 млн т водорода в чистом виде и около 20 млн т в виде синтез-газа (без учёта ещё около 30 млн т водорода в смешанных газах, используемых для производства тепловой и электрической энергии в промышленных процессах)⁵, при этом более 78% водорода получают углеродоёмкими методами (с выбросами от 8 кг CO₂/кг H₂)⁶ – **паровой конверсией (риформингом) метана и газификацией угля** (Рисунок 1). Ещё около 21% водорода производится в качестве побочного продукта, в основном на НПЗ при преобразовании нефти в бензин, а также при производстве хлора, то есть тоже в ходе «грязных» процессов. Соответственно, основная задача, которая стоит перед странами, намеревающимися увеличивать или начинать производство водорода, – создание и развитие низкоуглеродоёмких (с выбросами 2 кг CO₂/кг H₂⁷ и менее) и «чистых» технологий его получения – **электролиза на базе низкоуглеродной электроэнергии, паровой конверсии биогаза, пиролиза метана**, а также текущих методов с **использованием технологий улавливания и хранения CO₂** (carbon capture and storage, CCS).

⁵ Global Hydrogen Review 2021 / International Energy Agency. – 2021. – 222 с. – URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3a2ed84c-9ea0-458c-9421-d166a9510bc0/GlobalHydrogenReview2021.pdf>

⁶ The Future of Hydrogen. Assumptions annex / International Energy Agency. – 2020. – 14 с. – URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/29b027e5-fefc-47df-aed0-456b1bb38844/IEA-The-Future-of-Hydrogen-Assumptions-Annex_CORR.pdf

⁷ The Future of Hydrogen. Assumptions annex / International Energy Agency. – 2020. – 14 с. – URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/29b027e5-fefc-47df-aed0-456b1bb38844/IEA-The-Future-of-Hydrogen-Assumptions-Annex_CORR.pdf

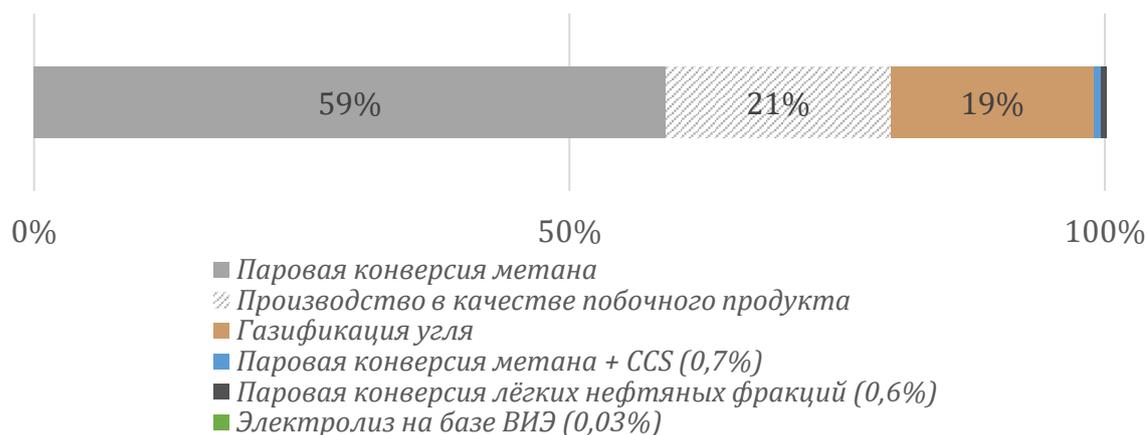


Рисунок 1 – Структура производства водорода в 2020 г.

Примечание: составлено по данным Международного энергетического агентства⁸

Существует условная классификация, в рамках которой выделяется несколько типов водорода по способу производства и степени углеродоёмкости, различающихся по цвету (Таблица 1). Поскольку данная классификация не является официальной и универсальной, периодически возникает путаница, связанная с так называемой «цветовой дифференциацией» водорода. В разных источниках один и тот же тип водорода может именоваться по-разному. Например, водород, получаемый методом электролиза с использованием электроэнергии от АЭС, может называться как «жёлтым», так и «розовым» или «красным», а водород, получаемый методом газификации угля – «коричневым», «чёрным» или «серым». В связи с этим, говоря о типе водорода, следует конкретизировать способ его производства во избежание неоднозначного толкования.

Таблица 1 – Основные типы водорода

Тип водорода	Способ производства водорода	Углеродный след производства водорода
«Серый»	Паровая конверсия (риформинг) метана	Высокий
«Коричневый»	Газификация угля	
«Голубой»	Паровая конверсия (риформинг) метана + CCS	Низкий
	Газификация угля + CCS	
«Бирюзовый»	Пиролиз метана	
«Жёлтый»	Электролиз воды с помощью электроэнергии, полученной на АЭС	
«Оранжевый»	Электролиз воды с помощью электроэнергии из сети ⁹	

⁸ Global Hydrogen Review 2021 / International Energy Agency. – 2021. – 222 с. – URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3a2ed84c-9ea0-458c-9421-d166a9510bc0/GlobalHydrogenReview2021.pdf>

⁹ Может относиться к низкоуглеродному водороду при условии, что выбросы парниковых газов за жизненный цикл существенно ниже, чем при паровой конверсии метана



Тип водорода	Способ производства водорода	Углеродный след производства водорода
«Зелёный»	Электролиз воды с помощью электроэнергии, полученной на ВИЭ ¹⁰	Близкий к нулевому
	Паровая конверсия биогаза	

Примечание: составлено ИПЕМ по данным журнала Энергетическая политика¹¹

Помимо технологий, перечисленных в таблице 1, существует ещё целый ряд методов получения водорода, которые пока применяются только в пилотном режиме, в том числе:

- термохимическая и биохимическая обработка биомассы;
- пиролиз и анаэробное сбраживание бытовых отходов;
- синтез водородсодержащими из морской воды или канализационных стоков;
- фотоэлектрокатализ (получение водорода из солнечного света без электролиза);
- прямой термолиз (в т. ч. с применением тепла от высокотемпературных ядерных реакторов) и другие.

Основная проблема перехода на менее углеродоёмкие технологии производства водорода – высокие издержки. В настоящее время технологии получения водорода электролизом на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) неконкурентоспособны по сравнению с традиционным методом паровой конверсии метана, однако в будущем это соотношение может измениться. В частности, согласно данным Hydrogen Council¹², издержки на производство водорода методом паровой конверсии метана будут расти из-за повышения цены на CO₂, а издержки на производство водорода электролизом – сокращаться по мере развития технологий (Таблица 2). При этом затраты на производство водорода с использованием технологий улавливания и хранения углерода (carbon capture and storage, CCS), как ожидается, будут примерно на уровне 2020 г. и в целом будут зависеть от развития технологий CCS.

¹⁰ Вопрос отнесения гидроэнергетики к ВИЭ является дискуссионным

¹¹ Аксютин О., Ишков А., Романов К. и др. Роль российского природного газа в развитии водородной энергетики // Энергетическая политика. – 25.03.2021. – URL: <https://energypolicy.ru/o-aksyutin-a-ishkov-k-romanov-r-teterevlev-rol-rossijskogo-prirodnogo-gaza-v-razvitii-vodorodnoj-energetiki/gaz/2021/12/25/>

¹² Hydrogen decarbonization pathways. A life-cycle assessment / Hydrogen Council. – 2021. – 22 с. – URL: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/01/Hydrogen-Council-Report-Decarbonization-Pathways-Part-1-Lifecycle-Assessment.pdf>



Таблица 2 – Издержки производства водорода в мире, долл. / кг H₂

Способ производства водорода	Издержки производства водорода, долл. / кг H ₂		
	2020	2030	2050
Паровая конверсия метана	0,6–1,9	0,8–2,1	0,8–4,9
Паровая конверсия метана + CCS	1,0–2,2	1,0–2,1	1,0–2,6
Электролиз воды на базе ВИЭ	3,7–6,1	1,8–2,7	0,9–1,9

Примечание: составлено по данным Hydrogen Council¹³

Ещё одним препятствием, с которым неизбежно столкнутся некоторые потенциальные производители водорода с низким углеродным следом – дефицит пресной воды, необходимой для электролиза. Для получения 1 кг водорода методом электролиза необходимо от 9 до 18 кг деионизированной воды (в зависимости от типа электролизёра)¹⁴. По данным консалтинговой компании Rystad Energy, если учитывать заявленные проекты во всех странах мира по производству водорода методом электролиза, к 2040 г. годовая потребность в очищенной воде составит 620 млн м³. Для опреснения и деионизации воды понадобится электроэнергия, которая должна быть получена из возобновляемых источников, если речь идёт о производстве «чистого» водорода. Таким образом, необходимо будет строительство дополнительных мощностей ВИЭ. На сегодняшний день в мире насчитывается буквально несколько крупнотоннажных опреснительных установок, действующих на базе ВИЭ – в Австралии и Саудовской Аравии. Согласно приблизительным расчётам, выполненным на основе данных по действующим опреснительным заводам на ВИЭ в Австралии (Kurnell Desalination Plant и Perth Seawater Desalination Plant), для обеспечения деионизированной водой электролизёра мощностью 10 МВт потребуется 1 МВт дополнительных установленных мощностей ВИЭ для опреснения. По данным Международного энергетического агентства (МЭА), стоимость опреснения составляет около 0,7–2,5 долл. / м³, что увеличивает затраты на производство водорода всего на 0,01–0,02 долл. / кг¹⁵, однако в материалах не указано, какие источники электроэнергии для опреснительных станций используются в расчётах (возобновляемые или нет).

¹³ Hydrogen decarbonization pathways. A life-cycle assessment / Hydrogen Council. – 2021. – 22 с. – URL: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/01/Hydrogen-Council-Report-Decarbonization-Pathways-Part-1-Lifecycle-Assessment.pdf>

¹⁴ Mehmeti A., Angelis-Dimakis A., et al. Life Cycle Assessment and Water Footprint of Hydrogen Production Methods: From Conventional to Emerging Technologies // Environments. – 2018. – Vol. 5., Issue 2. – 19 с. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3298/5/2/24>

¹⁵ Global Hydrogen Review 2021 / International Energy Agency. – 2021. – 222 с. – URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3a2ed84c-9ea0-458c-9421-d166a9510bc0/GlobalHydrogenReview2021.pdf>



1.3 Направления применения водорода

В настоящее время водород практически полностью используется непосредственно в местах потребления (в нефтеперерабатывающей отрасли, производстве аммиака, метанола и пр.), поэтому мировая торговля H₂ ведётся в весьма ограниченных масштабах – согласно данным Trade Map, в 2020 г. мировой рынок водорода оценивался всего в 134 млн долл. В перспективе ожидается как увеличение объёмов торговли водородом, так и расширение направлений его использования. Водород и продукты на его основе планируется активно применять для декарбонизации энергетики, транспорта, промышленности, жилищно-коммунального сектора:

- в **энергетике** водород может применяться в качестве резервного топлива, покрывающего потребности в электроэнергии в периоды с низкой выработкой электроэнергии из ВИЭ;
- в **транспортном секторе** водород может быть использован как в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания, так и для топливных элементов. При этом, согласно ряду исследований¹⁶¹⁷, целесообразность перевода различных видов транспорта на водород разная. В частности, для авиационного и морского транспорта она признана высокой, для грузового – средней, а для легкового автомобильного – низкой (поскольку его проще декарбонизировать с применением аккумуляторов и электродвигателей);
- в **промышленности** водород может применяться как восстановитель, сырьё и энергоресурс во многих отраслях, например, при производстве стали (метод прямого восстановления железа, ПВЖ), цемента, азотных удобрений, химических веществ. В настоящее время в различных отраслях промышленности ежегодно используется около 50 млн т водорода, большей частью для производства аммиака (Рисунок 2);
- в **жилищно-коммунальном секторе** водород может применяться для теплоснабжения зданий и использования в газовых плитах, однако

¹⁶ Liebreich: 'Oil sector is lobbying for inefficient hydrogen cars because it wants to delay electrification' // Recharge. – 30.06.2021. – URL: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/liebreich-oil-sector-is-lobbying-for-inefficient-hydrogen-cars-because-it-wants-to-delay-electrification-/2-1-1033226>

¹⁷ Making renewable hydrogen cost-competitive. Study / Agora Energiewende. – Berlin. – 2021. – 95 с. – URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_11_EU_H2-Instruments/A-EW_223_H2-Instruments_WEB.pdf



целесообразность и безопасность данного направления в настоящее время находится под вопросом¹⁸.

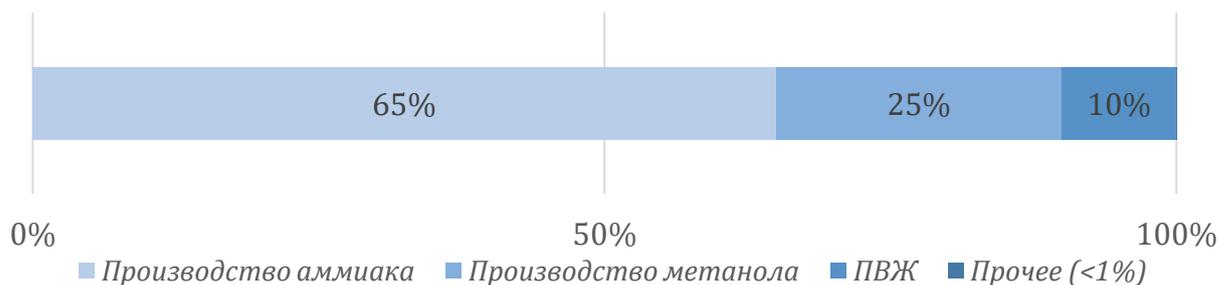


Рисунок 2 – Структура применения водорода в промышленности

Примечание: составлено по данным Международного энергетического агентства¹⁹

1.4 Способы транспортировки водорода

Важно учитывать, что помимо высокой стоимости производства водорода с низким углеродным следом, развитию водородной энергетики в целом и мировой торговли в частности препятствует **отсутствие дешёвых технологий транспортировки и хранения водорода**. Эта проблема связана со свойствами водорода: высокой взрывоопасностью, низкой температурой сжижения (-253°C), низкой плотностью в газообразном виде и чрезвычайно высокой летучестью, а также способностью просачиваться через различные материалы, включая высокопрочные стали. Для крупнотоннажного хранения водорода оптимальным решением является его закачивание в подземные хранилища газа (ПХГ), наиболее эффективными из которых признаны соляные каверны. Таким образом, на данном этапе эффективное крупнотоннажное хранение водорода может быть обеспечено только в регионах с благоприятными для этого геологическими условиями, что предполагает активное развитие технологий транспортировки водорода от площадок по его производству до непосредственных потребителей. В настоящее время предлагаются следующие решения по накоплению водорода для его последующей транспортировки.

- В **газообразном** (сжатом, компримированном) виде. Проблемы – высокие потери, сложность обеспечения безопасности;

¹⁸ Safety Assessment: Conclusions Report (incorporating Quantitative Risk Assessment) / Hy4Heat. – 2021. – 140 с. – URL: <https://static1.squarespace.com/static/5b8eae345cfd799896a803f4/t/60e399b094b0d322fb0dad4/1625528759977/conclusions+inc+QRA.pdf>

¹⁹ Global Hydrogen Review 2021 / International Energy Agency. – 2021. – 222 с. – URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3a2ed84c-9ea0-458c-9421-d166a9510bc0/GlobalHydrogenReview2021.pdf>



- В **сжиженном** состоянии (при температуре -253°C). Проблемы – необходимость поддержания крайне низкой температуры (высокая энергоёмкость), высокие потери при сжижении.
- В **жидких носителях водорода** – **аммиаке** и **метаноле**. Проблема – высокие потери при конверсии и реконверсии.
- В **жидких органических носителях водорода** (liquid organic hydrogen carriers, LOHC) – органических соединениях, которые могут поглощать и выделять водород в результате химических реакций (например, в метилциклогексане). Проблема – высокие потери при конверсии и реконверсии.
- В **твёрдых носителях водорода** (например, металлогидридах). Проблема – отсутствие промышленных технологий.

Транспортировка водорода возможна следующим образом:

- через **подмешивание водорода к природному газу** в действующих газопроводах, что, однако, влечёт за собой «водородное охрупчивание» (разрушение металла под воздействием водорода) и сопровождается другими проблемами (см. раздел «Европейский союз»);
- через **специальные водородные трубопроводы**;
- **наземным или железнодорожным транспортом** в сжатом виде (в баллонах под давлением) или в сжиженном виде (в контейнерах-цистернах), в виде неорганических жидких носителей (аммиак, метанол);
- **морским транспортом** в сжиженном виде, в виде неорганических жидких и органических жидких носителей.

В целом важно учитывать, что из-за специфических физических свойств H_2 , его транспортировка и хранение не только существенно снижают общий КПД использования водорода как энергоносителя, но и ведут к увеличению взрывоопасности такой инфраструктуры²⁰.

²⁰ Литвиненко В. С., Цветков П. С., Двойников М. В. и др. Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики // Записки Горного института. – 2020. – № 244. – С. 428–438.



2. Потенциальные импортёры водорода

В рамках работы в первую очередь рассмотрены планы по развитию водородной экономики в странах, которые являются потенциальными партнёрами России в данной сфере. На западе это страны Европейского союза, в первую очередь – Германия, на востоке – Япония и Республика Корея (Южная Корея).

2.1 Европейский союз (ЕС)

Особенностью водородной стратегии Европейского союза является достаточно подробно рассмотренная классификация водорода, в рамках которой выделены типы водорода по виду сырья и степени углеродоёмкости, а цвета не используются в принципе (Таблица 3).

Таблица 3 – Классификация водорода по версии Евросоюза

Способ производства водорода	Тип водорода по виду сырья	Тип водорода по углеродоёмкости производства
Паровая конверсия метана	Водород на основе ископаемого топлива	–
Газификация угля		
Паровая конверсия метана + CCS	Водород на основе ископаемого топлива с улавливанием CO ₂	«Низкоуглеродный» водород
Газификация угля + CCS		
Пиролиз метана ²¹		
Электролиз на базе атомной энергии	Водород на основе электроэнергии	«Возобновляемый», «чистый» водород
Электролиз на базе электроэнергии из сети ²²		
Электролиз на базе ВИЭ	–	«Возобновляемый», «чистый» водород
Паровая конверсия биогаза		

Примечание: составлено ИПЕМ по данным водородной стратегии Европейского союза²³

Тип водорода по углеродоёмкости производства для водорода на основе ископаемого сырья и тип водорода по виду сырья для водорода, получаемого методом конверсии биогаза, в материалах стратегии не указан.

Водородную энергетику Евросоюз намерен развивать в три фазы: I (2020–2024 гг.), II (2025–2030 гг.), III (2030–2050 гг.). При этом в течение первых двух фаз (до 2030 г.)

²¹ Технология не предполагает прямые выбросы CO₂

²² При условии, что выбросы парниковых газов за жизненный цикл существенно ниже, чем при паровой конверсии метана

²³ COM (2020) 301 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions / European Commission – Brussels. – 2020. – 23 с. – URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf



предполагается производство и применение как «возобновляемого», так и «низкоуглеродного» водорода, а **в третью фазу ожидается полный переход на «чистый» водород.**

Водородная стратегия Европейского союза весьма амбициозна – она предполагает строительство не менее **6 ГВт электролизных мощностей** для производства «возобновляемого» водорода в течение первой фазы развития (2020–2024 гг.) и не менее **40 ГВт** в течение второй фазы (2025–2030 гг.). Эти планы согласованы с намерениями стран ЕС, отражёнными в их национальных водородных стратегиях. В частности, к 2030 г. Германия планирует построить электролизёры общей установленной мощностью 5 ГВт²⁴, Испания – 4 ГВт²⁵, Франция – 6,5 ГВт²⁶, прочие страны ЕС с утвержденными водородными стратегиями (Нидерланды, Португалия, Италия, Польша) – в сумме 12,75 ГВт. Ещё 11,75 ГВт электролизных мощностей предполагается построить в других странах Евросоюза.

Согласно данным Международного энергетического агентства (МЭА), суммарная мощность действующих во всём мире электролизёров в 2020 г. составляла 290 МВт, а в 2030 г., на основании данных по заявленным проектам, она может достигнуть 54 ГВт²⁷, в том числе в странах Европы – 22 ГВт, что почти вдвое меньше, чем заложено в водородной стратегии Евросоюза.

Стратегия ЕС содержит и планы по производству водорода – 1 млн т / год в первую фазу и 10 млн т во вторую, при этом речь идёт исключительно о «возобновляемом» («зелёном») водороде, планы по производству «низкоуглеродного» водорода в стратегии не обозначены. После 2030 г. (третья фаза развития водородной энергетики в ЕС) планируется полный переход на «возобновляемый водород», а доля водорода в энергобалансе ЕС, как ожидается, возрастет до 13–14%.

²⁴ The National Hydrogen Strategy / Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. – Berlin. – 2020. – 28 с. – URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.pdf>

²⁵ Hoja de Ruta del Hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno removable. Executive Summary / Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. – 2020. – 4 с. – URL: https://www.miteco.gob.es/images/es/h2executivesummary_tcm30-513831.pdf

²⁶ National strategy for the development of decarbonised and renewable hydrogen in France / The French government. – 2020. – 15 с. – URL: <https://www.bdi.fr/wp-content/uploads/2020/03/PressKitProvisionalDraft-National-strategy-for-the-development-of-decarbonised-and-renewable-hydrogen-in-France.pdf>

²⁷ Global Hydrogen Review 2021 / International Energy Agency. – 2021. – 222 с. – URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3a2ed84c-9ea0-458c-9421-d166a9510bc0/GlobalHydrogenReview2021.pdf>



По прогнозам нескольких аналитических агентств, учитывающих различные сценарии развития водородной энергетики в Евросоюзе, к 2050 г. доля «возобновляемого» и «низкоуглеродного» водорода в его энергобалансе может составить от менее, чем 1% до 23%, а потребление водорода – от 223 до 3 250 ТВт·ч²⁸ (от 6,7 до 98,5 млн т в год). Столь высокая вариативность свидетельствует о наличии большой доли неопределённости в становлении «водородного будущего».

В качестве одного из главных препятствий развития водородной энергетики в ЕС в стратегии указывается высокая стоимость производства «возобновляемого» и «низкоуглеродного» водорода в сравнении с водородом, получаемым традиционными методами паровой конверсии метана и газификации угля. Согласно тексту стратегии, в перспективе издержки на производство «возобновляемого» водорода будут снижаться за счёт сокращения затрат на производство электролизёров (на 50% к 2030 г.). Считается, что к этому же периоду «чистый» водород сможет конкурировать с «водородом на основе ископаемого топлива» в регионах с дешёвой электроэнергией из ВИЭ.

Основная цель развития водородных технологий в странах Евросоюза – достижение климатической нейтральности к 2050 г.

Водород планируется использовать следующим образом:

- в энергетике (в том числе для обеспечения резервной генерации, а также накопления энергии, получаемой из ВИЭ);
- в промышленности (прежде всего в производстве стали, азотных удобрений, цемента);
- в транспортном секторе (для изготовления топливных элементов и синтетического топлива).

Амбициозные планы Евросоюза по развитию водородной энергетики предполагают **активное международное сотрудничество**, в том числе (согласно тексту стратегии):

²⁸ Hydrogen use in EU decarbonisation scenarios / European Commission. – 2019. – 2 с. – URL: https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/final_insights_into_hydrogen_use_public_version.pdf



- со странами «Восточного партнёрства»²⁹;
- со странами Балканского полуострова в рамках Инвестиционной программы Западных Балкан (WBIF³⁰);
- со странами «Южного партнёрства»³¹, а также в рамках Африкано-европейской инициативы по зелёной энергетике³².

Стоит отметить, что в странах «Восточного» и «Южного» партнёрства Евросоюз намерен разместить ещё 40 ГВт электролизных мощностей до 2030 г., то есть столько же, сколько и на своей территории.

Для организации импорта водорода и развития его рынка ЕС планирует пересмотреть систему Трансъевропейских энергетических сетей и рассмотреть **возможность перепрофилирования газовой инфраструктуры для трансграничной транспортировки водорода.**

Возможность использования существующих газопроводов для импорта водорода – один из ключевых факторов водородной стратегии Евросоюза, имеющий принципиальное значение для России. На сегодняшний день подмешивание водорода к метану в газовых сетях – один из самых перспективных способов его транспортировки, однако у него есть ряд существенных недостатков.

- Ограничены возможности добавления водорода в природный газ в связи с водородным охрупчиванием (максимум – 20%) позволяют сократить выбросы CO₂ лишь на 7%³³.
- Ограничение допустимого уровня добавок к природному газу различается в разных странах, в том числе в пределах Евросоюза. Например, в Германии

²⁹ В страны «Восточного партнёрства» входят Армения, Азербайджан, Грузия, Беларусь, Молдова, Украина

³⁰ WBIF (Western Balkans Investment Framework) – региональный механизм, поддерживающий социально-экономическое развитие в Албании, Боснии и Герцеговине, Косово, Черногории, Северной Македонии и Сербии

³¹ В страны «Южного партнёрства» входят Алжир, Египет, Израиль, Иордания, Ливан, Ливия, Марокко, Палестина, Сирия, Тунис

³² JOIN (2020) 4 final. Joint Communication to the European Parliament and the Council towards a comprehensive Strategy with Africa / European Commission. – Brussels. – 2020. – URL: https://ec.europa.eu/international-partnerships/system/files/communication-eu-africa-strategy-join-2020-4-final_en.pdf

³³ Green Hydrogen Supply. A Guide to Policy Making / International Renewable Energy Agency. – 2021. – 63 с. – URL: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/May/IRENA_Green_Hydrogen_Supply_2021.pdf



этот допустимый уровень составляет 10%³⁴, во Франции – 6%, в Австрии – 4%, в Финляндии – 1%, в Бельгии и Латвии – 0%³⁵.

- Существуют риски нарушения долгосрочных контрактных обязательств по качеству газа, что актуально, например, для ООО «Газпром экспорт»³⁶.

В январе 2022 г. немецкий институт экономики и технологий энергетических систем (Fraunhofer IEE) опубликовал доклад³⁷, в котором делается вывод о нецелесообразности подмешивания водорода в газотранспортные сети. Добавление 20% H₂ к природному газу позволит снизить выбросы ПГ всего на 6–7%, при этом увеличит расходы домохозяйств и предприятий на существенно большую величину³⁸.

В то же время, согласно исследованию, проведённому в рамках инициативы European Hydrogen Backbone, при реализации всего производственного потенциала, к 2050 г. внутреннее производство водорода в Евросоюзе может превысить возможное потребление³⁹. При этом в исследовании указывается, что из-за неравномерного размещения будущих водородных производств на территории ЕС, импорт водорода из таких регионов как Северная Африка, Восточная Европа и Норвегия останется перспективным.

Объём необходимых инвестиций на развитие водородной энергетики в ЕС оценивается в 320–458 млрд евро в период с 2020 по 2030 гг. Оценка включает затраты на строительство электролизёров, создание систем транспортировки, распределения и хранения водорода, модернизацию предприятий системами улавливания и хранения CO₂ (CCS), увеличение мощности СЭС и ВЭС на 80–120 ГВт. При этом именно на последний пункт, как ожидается, придётся около 70–75% затрат.

³⁴ Только в том случае, если к сети не подключена заправочная станция сжатым природным газом, иначе предельный уровень составляет 2%

³⁵ Current limits on hydrogen blending in natural gas networks and gas demand per capita in selected locations / International Energy Agency. – 12.03.2020. – URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/current-limits-on-hydrogen-blending-in-natural-gas-networks-and-gas-demand-per-capita-in-selected-locations>

³⁶ «Газпром» заявил о возможном пересмотре цен на газ из-за экспорта водорода // ТАСС. – 25.03.2021. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/10992241>

³⁷ The Limitations of Hydrogen Blending in The European Gas Grid / Fraunhofer IEE. – 2022. – 50 с.

³⁸ Не подмешивайте водород в газовые сети – Fraunhofer // RenEn. – 31.01.2022. – URL: <https://renen.ru/ne-podmeshivajte-vodorod-v-gazovye-seti-fraunhofer/>

³⁹ Analysing future demand, supply, and transport of hydrogen / European Hydrogen Backbone. – 2020. – 113 с. – URL: https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/EHB_Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen_June-2021.pdf



Согласно другой оценке, также приведённой в тексте стратегии, инвестиции на создание мощностей по производству водорода с 2020 по 2050 гг. составят 180–470 млрд евро.

Обеспечить финансирование планируется за счёт фонда **InvestEU**, который, как ожидается, привлечёт около 370 млрд евро государственных и частных инвестиций на проекты, способствующие инновациям и цифровому переходу, поддержке малого и среднего бизнеса, в особенности пострадавшего от COVID-кризиса, развитию устойчивой инфраструктуры. Не менее 30% всех инвестиций фонда должны быть направлены на создание более «зелёной» Европы, чему как раз соответствует направление по развитию водородной энергетики. Однако, больший интерес вызывает другой инструмент по привлечению частных стратегических инвестиций, также упоминаемый в стратегии – **Next Generation EU**. Это пакет программ, направленных на восстановление экономики стран ЕС, пострадавших от пандемии COVID-19. Размер фонда по состоянию на июль 2020 г. составлял 750 млрд евро.

Кроме того, ещё 10 млрд евро выделяется в рамках инновационного фонда системы торговли квотами на выбросы ЕС (EU ETS) в период с 2020 по 2030 гг. для финансирования демонстрационных водородных проектов, выбор которых осуществляется на конкурсной основе.

Для стимулирования спроса и производства «возобновляемого» и «низкоуглеродного» водорода Евросоюз планирует применить комплекс мер, среди которых разработка пилотной схемы углеродных контрактов на разницу цен (CCfD), введение минимальных квот на использование «возобновляемого» водорода, введение схемы прямой рыночной поддержки производства «возобновляемого» и «низкоуглеродного» водорода через тендеры на конкурсной основе.

Планы ЕС по финансированию водородных проектов были **подвергнуты критике**, в частности – со стороны аналитиков Центра европейской политики (Германия)⁴⁰. По их мнению, государственные деньги следует использовать только для поддержки фундаментальных исследований. Субсидии, особенно для демонстрационных проектов и проектов по инвестициям в развитие водородных технологий, должны

⁴⁰ EU Hydrogen Strategy (cepPolicyBrief) / Centrum fur Europaische Politik. – 01.12.2020. – URL: <https://www.cep.eu/en/eu-topics/details/cep/eu-hydrogen-strategy-ceppolicybrief.html>



быть отменены из-за риска того, что они будут планироваться только для получения средств поддержки, а затем прекращаться из-за отсутствия жизнеспособной бизнес-модели. Также существует риск того, что вместо экономической конкуренции разовьется конкуренция за фонды, в которой будут побеждать компании с наиболее многообещающими заявками на финансирование, что приведёт к постоянным субсидиям для поддержания прибыльности инвестиций в уже начатые проекты. Более того, специалисты Центра европейской политики считают, что предоставление водороду отдельной поддержки составляет технологическую предвзятость и должно быть отвергнуто в принципе, поскольку на данный момент отсутствует уверенность в том, что водородные технологии смогут в будущем достичь более эффективного по цене сокращения выбросов, чем другие методы декарбонизации.

2.2 Германия

Среди стран Европейского союза наиболее активную деятельность в области развития водородной энергетики ведёт Германия, принявшая свою национальную водородную стратегию за месяц до европейской. Как и Евросоюз в целом, Германия ориентируется на производство и потребление **«возобновляемого»** водорода, но в кратко- и среднесрочной перспективах допускает использование **«низкоуглеродного»** водорода, получаемого из газа и угля с применением технологий CCS и из метана методом пиролиза.

Правительство Германии оценивает **потребности страны в водороде в 90–110 ТВт·ч (2,7–3,3 млн т) к 2030 г.** Для этих целей в стране планируется построить **5 ГВт** электролизных мощностей к 2030 г., что обеспечит производство 14 ТВт·ч (0,4 млн т) «чистого» водорода и потребует 20 ТВт·ч электроэнергии, получаемой из ВИЭ. При необходимости, до 2035 г. (самое позднее – до 2040 г.) будут построены ещё электролизёры совокупной мощностью 5 ГВт.

Среди направлений применения водорода наиболее перспективным является декарбонизация промышленности, в частности – чёрной металлургии. **«Зелёную» сталь**, получаемую методом прямого восстановления железа (ПВЖ) с использованием «возобновляемого» водорода вместо ископаемых источников энергии (технология HYBRIT), уже производит (пока в пилотном режиме) совместное



предприятие компаний SSAB, LKAB и Vattenfall в Швеции⁴¹. Металлургическая компания ArcelorMittal планирует построить на своей производственной площадке в Гамбурге завод по ПВЖ, работающий на водороде, и начать производство «зелёной» стали в 2025 г. Инвестиции в проект составят 110 млн евро, половину из которых обеспечит Федеральное министерство окружающей среды, охраны природы и ядерной безопасности Германии⁴².

Водородные технологии активно применяются для декарбонизации транспорта в Германии, в особенности – железнодорожного. Первый в мире **поезд на водородных топливных элементах**, произведённый компанией Alstom (Coradia iLint), был запущен на северо-западе Германии ещё в 2018 г.⁴³, а в 2019 г. с Alstom был заключен контракт на поставку 41 поезда на водородной тяге в Германию. В 2023 г. планируется начать испытания водородного поезда, создаваемого компанией Siemens Mobility. Кроме того, Siemens анонсировала начало строительства завода в Баварии по производству водорода методом электролиза мощностью 1,35 тыс. т H₂ в год, который планируется открыть летом 2022 г.⁴⁴ Компания Linde Engineering планирует в 2021 г. начать строительство первой в мире стационарной водородной заправочной станции для поездов, которая также будет запущена в 2022 г.⁴⁵

Наиболее спорным направлением применения водорода является его использование **для теплоснабжения зданий**. Эту инициативу, предполагающую перестройку газовых сетей под водород, активно продвигают газотранспортные компании, развитие которых может оказаться под угрозой из-за курса на декарбонизацию и отказа от природного газа, обеспечивающего основу снабжения тепловой энергией

⁴¹ HYBRIT: SSAB, LKAB and Vattenfall first in the world with hydrogen-reduced sponge iron / SSAB. – 21.06.2021. – URL: <https://www.ssab.com/news/2021/06/hybrit-ssab-lkab-and-vattenfall-first-in-the-world-with-hydrogenreduced-sponge-iron>

⁴² Federal Environment Ministry to support transition to green steel production at ArcelorMittal Hamburg / Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. – 07.09.2021. – URL: <https://www.bmu.de/en/pressrelease/federal-environment-ministry-to-support-transition-to-green-steel-production-at-arcelormittal-hamburg>

⁴³ Towards clean and future-oriented mobility / Alstom. – URL: <https://www.alstom.com/solutions/rolling-stock/coradia-ilinttm-worlds-1st-hydrogen-powered-train>

⁴⁴ Siemens to build one of Germany's largest carbon-free hydrogen generation plants in Wunsiedel / Siemens. – 09.07.2021. – URL: [Siemens to build one of Germany's largest carbon-free hydrogen generation plants in Wunsiedel | Press | Company | Siemens](https://www.siemens.com/press/2021/07/siemens-to-build-one-of-germany-s-largest-carbon-free-hydrogen-generation-plants-in-wunsiedel)

⁴⁵ High-performance hydrogen refueling technologies / Linde Engineering. – 2021. – URL: <https://www.linde-engineering.com/en/plant-components/hydrogen-refueling-technologies/index.html>



жилья в Германии⁴⁶. При этом опубликован целый ряд исследований⁴⁷, в которых обосновывается нецелесообразность использования водорода для отопления в сравнении с применением тепловых насосов и повышением энергоэффективности зданий. Так или иначе, решение относительно способа декарбонизации сектора ЖКХ в Германии (и ряде других стран ЕС) будет политическим и от него, в том числе, будут зависеть объёмы поставок импортируемого водорода.

В водородной стратегии Германии отмечена чрезвычайная важность международного сотрудничества в вопросах развития новой энергетики, как со странами – членами ЕС (в особенности имеющими выход к Северному и Балтийскому морям и странами южной Европы), так и с другими странами, в том числе развивающимися. Это связано с тем, что для обеспечения внутренних потребностей в водороде Германии потребуется его **ежегодный импорт в количестве около 2,3–2,9 млн т к 2030 г. и 1,9–2,5 млн т к 2035–2040 гг.** С учётом того, что в мае 2021 г. Германия повысила амбициозность своей цели по достижению климатической нейтральности (не к 2050 г., а к 2045 г.⁴⁸), оценка будущего потребления водорода может быть скорректирована в сторону увеличения.

Для транспортировки водорода Германия намерена использовать существующие развитые газотранспортные сети, а в перспективе строить новые трубопроводы исключительно для водорода. Также планируется наладить транспортировку водорода в сжиженном виде, в виде аммиака и метанола, и в жидких органических носителях водорода (ЛОHC).

⁴⁶ Дискуссии вокруг водорода: газовики против электроэнергетиков // RenEn. – 15.09.2021. – URL: <https://renen.ru/diskussii-vokrug-vodoroda-gazoviki-protiv-elektroenergetikov/>

⁴⁷ Hydrogen in the energy system of the future: focus on heat in buildings / Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology. – 2020. – 46 с. – URL: https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energysystemtechnik/en/documents/Studies-Reports/FraunhoferIEE_Study_H2_Heat_in_Buildings_final_EN_20200619.pdf

Hydrogen for heating? Decarbonization options for households in the European Union in 2050 / International Council on Clean Transportation. – 2021. – 12 с. – URL: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Hydrogen-heating-eu-feb2021.pdf>

⁴⁸ Revised Climate Change Act sets out binding trajectory towards climate neutrality by 2045 / Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. – 12.05.2021. – URL: <https://www.bmu.de/en/pressrelease/revised-climate-change-act-sets-out-binding-trajectory-towards-climate-neutrality-by-2045>



Правительство Германии финансирует проекты по развитию водородных технологий с 2006 г. (в период с 2006 по 2016 гг. было выделено 700 млн евро), а в перспективе планирует значительно увеличить объём финансирования, в том числе:

- 1,4 млрд евро должно быть выделено в период с 2016–2026 гг. в рамках Национальной инновационной программы в области водородных технологий и технологий топливных элементов;
- 2,11 млрд евро – в период с 2020 по 2023 гг. в рамках различных программ по энергетическим исследованиям и декарбонизации;
- 7 млрд евро для ускорения вывода на рынок водородных технологий в стране;
- **2 млрд евро для развития международного партнёрства.**

Таким образом, общая сумма инвестиций составит **12,5 млрд евро.**

В марте 2022 г. германские компании RWE AG (крупнейшая энергетическая компания Европы) и газотранспортный оператор Open Grid Europe GmbH объявили о планах по созданию первой в стране водородной сети (проект H2ercules)⁴⁹. В рамках проекта предполагается соединить мощности по производству чистого водорода и терминалы по его импорту на севере страны с промышленными потребителями на западе и юге Германии.

2.3 Япония

Япония стала первой в мире страной, утвердившей национальную водородную стратегию в декабре 2017 г.⁵⁰ Позже в 2019 г. целевые показатели стратегии были актуализированы в «дорожной карте» по развитию водородных технологий и топливных элементов⁵¹. В 2021 г. опубликован «Базовый план развития энергетики», включающий, в числе прочего, положения по развитию водородной отрасли⁵².

⁴⁹ Hydrogen fast track: OGE and RWE present national infrastructure concept “H2ercules” // RWE AG. – 24.03.2022. – URL: <https://www.rwe.com/en/press/rwe-ag/2022-03-24-oge-and-rwe-present-national-infrastructure-concept-h2ercules>

⁵⁰ Basic Hydrogen Strategy / Ministerial Council on Renewable Energy. Hydrogen and Related Issues. – 2017. – 37 с. – URL: https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003b.pdf

⁵¹ The Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells / Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council. – 2019. – 59 с. – URL: https://www.meti.go.jp/english/press/2019/pdf/0312_002b.pdf

⁵² Базовый план развития энергетики / Министерство экономики, торговли и промышленности Японии. – 2021. – 128 с. – URL: https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf



Водородная стратегия Японии возможно даже более амбициозна, чем европейская. В рамках достижения цели по выходу на углеродно-нейтральный уровень к 2050 г. Япония рассматривает переход к «водородному обществу», предполагающему использование водорода в качестве альтернативного топлива как в повседневной жизни, так и в производственной деятельности. В ближайшей перспективе страна планирует сделать основной упор на развитие водородных технологий в сфере мобильности – **транспортном секторе и производстве топливных элементов** – поскольку именно в этой сфере японские компании обладают высокими компетенциями.

Мелкосерийное производство автомобилей (Honda FCX) началось ещё в 2000-е гг.⁵³, **массовый коммерческий водородный автомобиль** – Toyota Mirai – Япония выпустила ещё в 2014 г. На начало 2020 г. в стране было 3,8 тыс. легковых автомобилей на топливных элементах. К 2025 г. планируется увеличить их количество до 200 тыс., к 2030 г. – до 800 тыс. Сеть водородных заправочных станций в Японии – самая крупная в мире (134 станции по данным на 2021 г.⁵⁴), к 2030 г. их количество планируется увеличить до 900. К 2050 г. планируется перевести на водород весь дорожный транспорт и все газовые АЗС.

Оригинальным решением применения водородных топливных элементов являются **когенерационные энергоустановки для домашнего использования Ene-Farm**, разработанные компанией Panasonic⁵⁵. Установки представляют собой компактные энергосистемы, получающие водород из газового топлива (природного газа или сжиженных углеводородных газов) и преобразующие его в электроэнергию. При этом улавливается остаточная тепловая энергия, которая используется для нагрева воды. По сравнению с обычными системами электроснабжения, Ene-Farm обладают способностью обеспечивать высокий КПД – 97% против 95%⁵⁶. По данным на 2018 г.,

⁵³ 2002 FCX / Honda. – 2002. – URL: <https://global.honda/heritage/timeline/product-history/automobiles/2002FCX.html>

⁵⁴ Number of hydrogen fueling stations for road vehicles worldwide as of 2021, by country / Statista. – 30.04.2021. – URL: <https://www.statista.com/statistics/1026719/number-of-hydrogen-fuel-stations-by-country/>

⁵⁵ Panasonic Launches New “Ene-Farm” Product, a Fuel Cell for Condominiums // FuelCellsWorks. – 19.05.2020. – URL: <https://fuelcellsworks.com/news/panasonic-launches-new-ene-farm-product-a-fuel-cell-for-condominiums/>

⁵⁶ Panasonic Launches New “Ene-Farm” Product, a Fuel Cell for Condominiums // FuelCellsWorks. – 19.05.2020. – URL: <https://fuelcellsworks.com/news/panasonic-launches-new-ene-farm-product-a-fuel-cell-for-condominiums/>



в Японии применялось 230 тыс. таких установок, в 2030 г. их количество будет увеличено до 5,3 млн. К 2050 г. планируется перевести на водород все системы энергоснабжения домохозяйств.

Япония принимает активные меры по декарбонизации энергетики в стране и планирует в этих целях использовать аммиак. В частности, крупнейшая генерирующая компания Японии JERA совместно с машиностроительной компанией INI в мае 2021 г. заявила о начале демонстрационного **проекта по совместному сжиганию аммиака и угля на одном энергоблоке угольной ТЭС** мощностью 1 ГВт. Ожидается, что к 2024–2025 гг. доля аммиака в балансе ТЭС составит 20%. Половину затрат на реализацию проекта (сумма которых не раскрывается) обеспечит правительство⁵⁷. Компания Mitsubishi Power разрабатывает газовую турбину мощностью 40 МВт, полностью работающую на аммиаке. Коммерческое использование турбины ожидается в 2025 г.⁵⁸ Аммиак для этих целей будет производиться в Саудовской Аравии компанией Saudi Aramco из природного газа с применением технологий CCS и поставляться в Японию в сжиженном виде⁵⁹.

В базовом плане развития энергетики указаны следующие долгосрочные цели по применению аммиака в энергетике: использовать 3 млн т аммиака (500 тыс. т водородного эквивалента) на ТЭС в 2030 г. и 30 млн т аммиака (5 млн т водородного эквивалента) в 2050 г.⁶⁰

Также для декарбонизации коммунального сектора планируется широкое использование **синтетического метана**, который планируется транспортировать по существующей газопроводной сети. К 2050 г. планируется производить до 25 млн т такого синтетического топлива⁶¹.

⁵⁷ Japan's JERA aims to use 20% ammonia at coal power plant in 2024 // Reuters. – 24.05.2021. – URL: <https://www.reuters.com/business/energy/japans-jera-aims-use-20-ammonia-coal-power-plant-2024-2021-05-24/>

⁵⁸ Mitsubishi Power Developing 100% Ammonia-Capable Gas Turbine // Access Intelligence. – 03.03.2021. – URL: <https://www.powermag.com/mitsubishi-power-developing-100-ammonia-capable-gas-turbine/>

⁵⁹ Saudi Aramco sends first blue ammonia shipment to Japan // Argus Media. – 28.09.2020. – URL: <https://www.argusmedia.com/en/news/2144939-saudi-aramco-sends-first-blue-ammonia-shipment-to-japan>

⁶⁰ Базовый план развития энергетики / Министерство экономики, торговли и промышленности Японии. – 2021. – 128 с. – URL: https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf

⁶¹ Базовый план развития энергетики / Министерство экономики, торговли и промышленности Японии. – 2021. – 128 с. – URL: https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf



До 2030 г. Япония планирует использовать «низкоуглеродный» водород, определяемый как водород, выбросы от генерации которого составляют 40% или ниже по сравнению с выбросами, производимыми в рамках текущей наилучшей доступной технологии (НДТ), представляющей собой паровую конверсию метана. После 2030 г. выбросы CO₂ в цепочке поставок водорода должны быть практически равны нулю, то есть **Япония перейдёт на «чистый» водород**. При этом углерод, полученный из ископаемых углеводородов с применением CCS, рассматривается как «чистый» и допустимый к применению и в долгосрочной перспективе⁶².

В японской стратегии основное внимание уделяется мерам по сокращению первоначальных затрат за счёт будущего прогресса в развитии технологий производства и потребления водорода. Например, разработкам технологий для следующего поколения топливных элементов для коммерческих и промышленных целей. Планируется увеличить их КПД выработки электроэнергии до более 65%, что превосходит КПД современных парогазовых установок.

Среди технологий производства водорода в стратегии уделяется внимание таким инновационным разработкам как технология метанирования (производство синтетического метана из водорода и оксидов азота), высокотемпературный электролиз водяного пара, искусственный фотосинтез и другим.

Особенный интерес вызывает опыт японцев в разработке технологии производства водорода **на АЭС с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами (ВТГР)** с использованием йодно-серного цикла без выбросов CO₂. В 2019 г. японским специалистам удалось непрерывно производить водород в течение 150 часов с применением термохимического йодно-серного процесса⁶³.

Япония является передовиком не только в сфере развития водородных технологий, но и его перевозки. В мае 2021 г. компания Kawasaki Heavy Industries объявила о создании **первого в мире танкера для перевозки сжиженного водорода**. Танкер сможет перевозить 75 т жидкого водорода при температуре -253°C. Ожидается, что в

⁶² Базовый план развития энергетики / Министерство экономики, торговли и промышленности Японии. – 2021. – 128 с. – URL: https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf

⁶³ JAEA Achieves 150 Hours of Continuous Hydrogen Production Toward Utilization of Heat from HTGRs / JAIF. – 01.02.2019. – URL: <https://www.jaif.or.jp/en/jaea-achieves-150-hours-of-continuous-hydrogen-production-toward-utilization-of-heat-from-htgrs/>



2022 г. будет транспортирована первая партия водорода из Австралии, полученного методом газификации бурого угля с использованием технологий CCS⁶⁴.

Помимо этого, Япония уже осуществляет импорт водорода в форме **аммиака и жидких органических носителей**. Так, с 2020 г. реализуется опытный проект по импорту водорода из Брунея в форме метилциклогексана⁶⁵. В 2021 г. были осуществлены поставки «голубого» аммиака из ОАЭ⁶⁶.

В рамках работ по развитию технологий транспортировки и хранения водорода в водородной стратегии страны выделены следующие направления развития:

- создание высокоэффективных ожижителей водорода и долговечных материалов для хранения жидкого водорода;
- разработка высокоэффективных недорогих энергоносителей (синтез жидких органических носителей водорода, синтез аммиака при более низких температурах и давлении и др.);
- разработка компактных, высокоэффективных, высоконадежных и недорогих технологий топливных элементов;
- разработка инновационных методов химического синтеза с использованием водорода и углекислого газа.

Согласно «Базовому плану развития энергетики» к 2030 г. в Японии планируется использовать 3 млн т водорода, а в 2050 г. – 20 млн т⁶⁷. При этом согласно водородной стратегии **к 2030 г. страна планирует ежегодно закупать 300 тыс. т водорода по цене 3 долл. / кг, к 2050 г. – 5–10 млн т в зависимости от уровня потребления в энергетике по цене 2 долл. / кг**⁶⁸. Если перевести эти цены в долл. / МДж, получится 0,021 долл. / МДж к 2030 г. и 0,014 долл. / МДж к 2050 г. Для сравнения, в 2019 г. цена

⁶⁴ Kawasaki Heavy builds world's first tanker for liquid hydrogen // The Asahi Shimbun. – 25.05.2021. – URL: <https://www.asahi.com/ajw/articles/14357692>

⁶⁵ The World's First Transocean Shipment of Hydrogen Begins to Fuel Gas Turbines for Power Generation / Advanced Hydrogen Energy Chain Association for Technology Development. – 26.05.2020. – 2 с. – URL: https://www.ahead.or.jp/en/pdf/20200526_ahead_press.pdf

⁶⁶ UAE sells another blue ammonia shipment to Japan in push toward hydrogen // The Japan Times. – 19.08.2021. – URL: <https://www.japantimes.co.jp/news/2021/08/19/business/corporate-business/uae-blue-ammonia-japan/>

⁶⁷ Базовый план развития энергетики / Министерство экономики, торговли и промышленности Японии. – 2021. – 128 с. – URL: https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf

⁶⁸ Basic Hydrogen Strategy / Ministerial Council on Renewable Energy. Hydrogen and Related Issues. – 2017. – 37 с. – URL: https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003b.pdf



электроэнергии для промышленных потребителей в Японии составляла 0,044 долл. /МДж, СПГ – 0,010 долл. / МДж, нефти Dubai – 0,011 долл. / МДж.

Как следствие, Япония сосредоточена на налаживании международных отношений в области водородной энергетики. В стратегии отмечается важность снижения затрат на закупку и поставку водорода, а также сокращения выбросов CO₂ от всей цепочки поставок водорода. В «Базовом плане развития энергетики» упоминается важность налаживания связей в части поставок водорода с экспортёрами традиционных энергоресурсов – странами Ближнего Востока и Россией⁶⁹.

Надо отметить, что Япония заключила целый ряд международных соглашений в области водорода и является первой страной, координирующей развитие водородной энергетики с диверсификацией энергетического импорта. Более подробно соглашения Японии с различными странами будут рассмотрены далее.

Правительство Японии выделило **77 млрд иен** (около 632 млн евро) в 2020 г. на развитие водородных технологий, такую же сумму (или около **593 млн евро** по среднему курсу ЕЦБ за январь–сентябрь 2021 г.) планировалось выделить в 2021 г. Кроме того, до 2030 г. планируется инвестировать в развитие инновационных технологий для достижения углеродной нейтральности **2 трлн иен**⁷⁰ (около 15,4 млрд евро) по следующим направлениям:

- электрификация и экологизация электроэнергии;
- реализация концепции «водородного общества»;
- технологии улавливания и повторного использования CO₂ (CCUS) и т.д.

2.4 Республика Корея (Южная Корея)

Южная Корея в 2019 г. разработала и утвердила «дорожную карту» развития водородной экономики до 2040 г.⁷¹ Планы Южной Кореи в области развития водородной экономики в целом сходны с японскими – страна также планирует

⁶⁹ Базовый план развития энергетики / Министерство экономики, торговли и промышленности Японии. – 2021. – 128 с. – URL: https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20211022_01.pdf

⁷⁰ Summary of Japan's Hydrogen Strategy / Ministry of the Environment Government of Japan. – 2020. – 6 с. – URL: https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/PDF/Summary_of_Japan's_Hydrogen_Strategy.pdf

⁷¹ Hydrogen Economy Roadmap of Korea / Ministry of Trade, Industry and Energy. – 2019. – 12 с. – URL: https://docs.wixstatic.com/ugd/45185a_fc2f37727595437590891a3c7ca0d025.pdf



развивать технологии, в особенности в сфере транспорта и топливных элементов, и удовлетворять основной объём спроса на водород за счёт импорта. Республика Корея планирует занять нишу на мировом рынке **легковых автомобилей на топливных элементах**, поставляя на экспорт 3,3 млн экземпляров к 2040 г. Как у японских, так и у корейских компаний существуют значительные компетенции в данной отрасли. Так, именно южнокорейская компания Hyundai первой вывела на рынок массовый водородный автомобиль (Hyundai ix35 FCEV) в 2013 г.

Основные целевые показатели «дорожной карты» страны приведены в таблице ниже (Таблица 4).

Таблица 4 – Целевые показатели «дорожной карты» развития водородных технологий Республики Корея

Показатель	2018	2022	2040
Спрос на водород в транспортном секторе и производстве ТЭ, млн т/год	0,13	0,47	5,26
Количество легковых автомобилей на ТЭ, шт.	889	81 тыс.	6,2 млн ⁷²
Количество грузовых автомобилей на ТЭ, шт.	0	-	30 тыс.
Количество автобусов на ТЭ, шт.	2	-	40 тыс.
Количество водородных АЗС, шт.	14	310	1200
Мощность ТЭ для генерации энергии, МВт	308	1 500	15 000
Мощность бытовых ТЭ для генерации энергии, МВт	7	50	2 100

Примечание: ТЭ – топливные элементы, составлено по данным MOTIE⁷³

Также в Южной Корее развивается рельсовый водородный транспорт. В частности, институт железнодорожных исследований Южной Кореи (KRRRI) реализует проект создания **самого мощного на сегодняшний день водородного локомотива** мощностью 2,7 МВт, который будет работать на **жидком водороде**. Завершить строительство планируется к 2024 г. Инвестиции в проект составят 18,6 млрд вон (16,6 млн долл.), в том числе 14,5 млрд вон вложит корейское правительство⁷⁴.

В ноябре 2021 г. в Южной Корее введена в строй крупнейшая в мире электростанция на водородных топливных ячейках Shinincheon Bitdream мощностью 79 МВт электроэнергии. Строительство велось компанией Doosan Fuel Cell с 2017 г. и потребовало затрат в количестве 292 млн долл. Источник водорода для снабжения

⁷² В том числе 2,9 млн на внутреннее потребление и 3,3 млн на экспорт

⁷³ Hydrogen Economy Roadmap of Korea / Ministry of Trade, Industry and Energy. – 2019. – 12 с. – URL: https://docs.wixstatic.com/ugd/45185a_fc2f37727595437590891a3c7ca0d025.pdf

⁷⁴ Korean project to develop liquefied hydrogen fuel cell traction // International Railway Journal. – 21.04.2021. – URL: [Korean project to develop liquefied hydrogen fuel cell traction | International Railway Journal \(railjournal.com\)](http://www.railjournal.com)



электростанции не указывается, но к 2023 г. здесь планируется строительство завода по производству сжиженного водорода мощностью 30 тыс. Н₂ в год⁷⁵.

Также компания Doosan Heavy Industries & Construction разрабатывает для Korean Southern Power (KOSPO) турбину, работающую на 100% водороде (в промежутке будет создана турбина, работающая на смешанном метан-водородном топливе) и работает над строительством завода по производству сжиженного водорода мощностью 5 т в сутки (1,8 тыс. т в год)⁷⁶.

В настоящее время в Южной Корее водород **активно применяется в нефтехимическом секторе** и ежегодно около 1,64 млн т водорода циркулирует в водородных трубопроводах общей протяжённостью 200 км (действуют в окрестностях нефтехимических комплексов в Ульсане и Йосу⁷⁷). Также в стране есть действующий парк из 500 трейлеров для перевозки сжатого водорода под низким давлением. В перспективе правительство Республики Корея планирует поддерживать разработку новых технологий транспортировки и хранения водорода, в том числе в сжиженном и твёрдом состоянии⁷⁸. Планируется создать национальную сеть трубопроводов, которые не будут подвержены водородному охрупчиванию.

Также правительство намерено развивать **инфраструктуру для импорта водорода**, в том числе строить заводы по его регазификации, суда для транспортировки и приёмные базы в портах. Ожидается, что после 2025 г. к этим приёмным базам будет подключена национальная трубопроводная сеть. В тексте корейской водородной «дорожной карты» обращает на себя внимание тот факт, что помимо «возобновляемого» водорода страна планирует использовать «водород, получаемый из бурого угля экологически чистым способом». Судя по всему, имеется в виду австралийский водород, получаемый газификацией угля с использованием CCS, который также намерена импортировать Япония.

⁷⁵ World's largest hydrogen fuel cell power plant put into service in South Korea // Current Affairs (Ca) Daily Updates. – 06.11.2021. – URL: <https://www.universalcurrentaffairs.com/2021/11/worlds-largest-hydrogen-fuel-cell-power.html>

⁷⁶ Doosan working on 'green' hydrogen power plant // Diesel and Gas Turbines Worldwide. – 01.11.2021. – URL: <https://www.diesलगasturbine.com/news/doosan-working-on-green-hydrogen-power-plant/8015920.article>

⁷⁷ The Hydrogen Economy South Korea / UK's Department for International Trade. – 2021. – 24 с. – URL: <https://www.intralinkgroup.com/Syndication/media/Syndication/Reports/Korean-hydrogen-economy-market-intelligence-report-January-2021.pdf>

⁷⁸ Hydrogen Economy Roadmap of Korea / Ministry of Trade, Industry and Energy. – 2019. – 12 с. – URL: https://docs.wixstatic.com/ugd/45185a_fc2f37727595437590891a3c7ca0d025.pdf



3. Потенциальные экспортёры водорода

Далее рассмотрим потенциальных конкурентов России на будущем мировом рынке водорода, в том числе Австралию, Чили и ряд других стран.

3.1 Австралия

Австралия приняла национальную водородную стратегию в конце 2019 г.⁷⁹ Особенностью австралийской стратегии является тот факт, что под «чистым» водородом в ней понимается не только «возобновляемый» водород, но и водород, получаемый из ископаемого сырья с применением технологий CCS (как в Японии). Именно такой водород планируется производить в рамках совместного с Японией проекта HESC⁸⁰ (Hydrogen Energy Supply Chain), предполагающего **получение водорода методом газификации бурого угля с улавливанием и хранением углерода** в долине Латроб (Latrobe Valley) в штате Виктория и его транспортировку в Японию (а также, вероятно, в Южную Корею) в сжиженном виде на судах компании Kawasaki Heavy Industries. Пилотная фаза развития проекта, предполагающая годовое производство в количестве 3 т водорода, должна начаться в 2021 г., коммерческое производство водорода (в случае успеха пилотной фазы) – в 2030 г.

В качестве одного из обоснований привлекательности проекта в стратегии приведены данные по углеродоёмкости производства водорода различными способами. По приведённым в стратегии данным Австралийского государственного объединения научных и прикладных исследований (CSIRO⁸¹) углеродный след от производства методом газификации угля с CCS меньше, чем при использовании метода паровой конверсии метана с CCS (0,71 кг CO₂-экв. / кг H₂ против 0,76 кг CO₂-экв. / кг H₂). В то же время, согласно другим материалам, в частности МЭА, ситуация совершенно иная – углеродный след для паровой конверсии метана с CCS составляет

⁷⁹ Australia's National Hydrogen Strategy / COAG Energy Council. – 2019. – 99 с. – URL: https://australiaminerals.gov.au/data/assets/pdf_file/0005/106448/australias-national-hydrogen-strategy.pdf

⁸⁰ HESC / Hydrogen Engineering Australia. – 2021. – URL: <https://hydrogenenergysupplychain.com>

⁸¹ National Hydrogen Roadmap / CSIRO. – 2018. – 92 с. – URL: https://www.csiro.au/-/media/Do-Business/Files/Futures/18-00314_EN_NationalHydrogenRoadmap_WEB_180823.pdf



1 кг CO₂-экв. / кг H₂ и 2,1 кг CO₂-экв. / кг H₂ – для газификации угля с CCS при одинаковом уровне улавливания CO₂ (90%)⁸².

В более отдалённой перспективе Австралия планирует переходить на производство «возобновляемого» водорода, отмечая в своей водородной стратегии наличие большого потенциала для строительства ВЭС и СЭС, а также водных ресурсов (морской воды). Согласно тексту стратегии, в период с 2018 по 2020 гг. в Австралии планировалось создание новых ВЭС и СЭС суммарной мощностью 16 ГВт. И действительно, по данным IRENA, суммарная установленная мощность австралийских ВЭС и СЭС за этот период увеличилась на 12,8 ГВт (с 14,3 до 27,1 ГВт)⁸³, то есть на 80% планы выполнены. Кроме того, в Австралии уже есть пилотные проекты по производству «возобновляемого» водорода. Например, проект инновационного хаба чистой энергии (Clean Energy Innovation Hub) канадской компании ATCO, реализованный в 2019 г. в г. Джандакот (Западная Австралия)⁸⁴. Водород получают методом электролиза на базе СЭС и используют в качестве топлива, в том числе в смеси с природным газом⁸⁵.

С технологиями CCS, которые также планируется активно применять в стране, планы пока не выполняются в полной мере. К примеру, проект CCS, реализуемый компанией Chevron совместно с ExxonMobil, Royal Dutch Shell и рядом японских компаний на заводе по производству СПГ Горгон (Gorgon) в штате Западная Австралия, за пять лет так и не вышел на плановую мощность – 4 млн т CO₂ в год, а компании выплатили правительству страны компенсацию⁸⁶. В то же время необходимо учитывать, что предприятие было введено в эксплуатацию только в 2019 г., и за два года в пласт было закачено 5 млн т CO₂, то есть план был выполнен более, чем на 60%. Кроме того, надо отметить, что Горгон – одно из крупнейших на сегодняшний день предприятий

⁸² The Future of Hydrogen. Assumptions annex / International Energy Agency. – 2020. – 14 с. – URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/29b027e5-fefc-47df-aed0-456b1bb38844/IEA-The-Future-of-Hydrogen-Assumptions-Annex_CORR.pdf

⁸³ Renewable Capacity Statistics 2021 / IRENA. – 2021. – 62 с. – URL: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2021.pdf

⁸⁴ ATCO'S Hydrogen Journey / ATCO. – 2021. – URL: <https://www.atco.com/en-au/projects/hydrogen.html>

⁸⁵ ATCO Hydrogen Microgrid / ARENA. – 20.10.2021. – URL: <https://arena.gov.au/projects/atco-hydrogen-microgrid/>

⁸⁶ Monster problem: Gorgon project is a test case for carbon capture // Financial Times. – 25.07.2021. – URL: <https://www.ft.com/content/428e60ee-56cc-4e75-88d5-2b880a9b854a>



по улавливанию и хранению CO₂ в мире даже с учётом работы на неполную мощность⁸⁷.

Согласно стратегии, к 2030 г. в стране планируется производить 1 млн т / год «чистого» водорода, половину из которого отправлять **на экспорт в страны восточной Азии** – Японию, Южную Корею, Сингапур и Тайвань. К 2050 г. объём производства должен составить 9 млн т в год, экспорта – 6,75 млн т (75% от производства).

Основной барьер на пути к развитию водородного производства в Австралии – **дефицит пресной воды**, который создаёт необходимость строительства дополнительных мощностей ВИЭ для опреснительных станций.

3.2 Чили

Национальная стратегия по «зелёному» водороду принята Чили в ноябре 2020 г.⁸⁸ Как следует из названия стратегии, Чили ориентирована на производство исключительно «возобновляемого» водорода. Для этого в стране планируется активно развивать ВИЭ, что также соответствует объявленной в 2020 г. цели Чили по достижению углеродной нейтральности к 2050 г.

По данным IRENA на 2020 г., суммарные установленные мощности ВИЭ (СЭС и ВЭС) в Чили составляли 5,3 ГВт⁸⁹, а с 2014 по 2020 гг. они увеличились в 5 раз. Уровень **инсоляции на севере Чили является одним из самых высоких в мире**, и КИУМ фотоэлектрических СЭС здесь может достигать 35%. КИУМ береговых ВЭС на юге Чили, при этом, может превысить 60% (по данным стратегии).

В соответствии со стратегией, стоимость электроэнергии из ВИЭ будет сокращаться, а вместе с ней сократятся и издержки на производство «зелёного» водорода – с 1,7–2,6 долл. / кг (в зависимости от региона) в 2025 г. до 0,8–1,1 долл. / кг в 2050 г. К 2030 г. Чили планирует производить **самый дешёвый «зелёный» водород в мире** –

⁸⁷ Global Status of CCS 2020 / Global CCS Institute. – 2021. – 80 с. – URL: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/03/Global-Status-of-CCS-Report-English.pdf>

⁸⁸ National Green Hydrogen Strategy / Ministry of Energy, Government of Chile. – 2020. – 30 с. – URL: https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf

⁸⁹ Renewable Capacity Statistics 2021 / IRENA. – 2021. – 62 с. – URL: <https://www.irena.org/Statistics/Download-Data>



менее 1,5 долл. / кг. Однако надо иметь в виду, что это только себестоимость производства водорода без учёта затрат на сжатие, транспортировку и хранение. Согласно совместному исследованию учёных из Чили и Италии, посвящённому технико-экономическому анализу производства водорода в Чили и его экспорта в Японию⁹⁰, полная приведённая стоимость водорода (Levelized Cost of Hydrogen; LCOH) при различных вариантах его производства, конверсии и транспортировки к 2025–2030 гг. составит 3,94–6,22 долл. / кг H₂, что в любом случае превышает целевую цену на водород, установленную правительством Японии на 2030 г. (3 долл. / кг H₂)⁹¹.

В стратегии используются данные агентства McKinsey & Company, согласно которым чилийский рынок «зелёного» водорода и его производных может достичь 33 млрд долл. к 2050 г. (Таблица 5) при необходимом инвестировании 330 млн долл. и дополнительных мощностях ВИЭ 300 ГВт. В 2025 г., по прогнозу, необходимые инвестиции оценены в 8 млн долл., дополнительные мощности ВИЭ – в 5–8 ГВт. Большую часть водорода планируется **поставлять на экспорт**. В качестве потенциальных партнёров рассматриваются в первую очередь **Европейский союз, Япония и Корея**, а также Китай, США, страны Латинской Америки.

Что касается планов по производству водорода в натуральном выражении, то в стратегии указаны только приблизительные цифры – 0,2 млн т водорода в как минимум в двух «водородных долинах» к 2025 г. По другим источникам, к 2030 г. производство «возобновляемого» водорода в стране может составить 1 млн т к 2030 г.⁹² и 25 млн т к 2050 г.⁹³

Таблица 5 – Прогноз производства «зелёного» водорода и аммиака в Чили, млрд долл.

Направление использования	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Внутреннее использование	0,5	2	5	7	8	9
Экспорт	0,5	3	11	16	19	24
Всего	1	5	16	23	27	33

⁹⁰ Gallardo F. I., Ferrario A. M., et al. A Techno-Economic Analysis of solar hydrogen production by electrolysis in the north of Chile and the case of exportation from Atacama Desert to Japan // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – Vol. 46, Issue 26. – С. 13709–13728

⁹¹ Basic Hydrogen Strategy / Ministerial Council on Renewable Energy. Hydrogen and Related Issues. – 2017. – 37 с. – URL: https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003b.pdf

⁹² Rich in renewable energy, Chile seeks to become global hydrogen powerhouse // S&P Global. – 30.08.2021. – URL: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/rich-in-renewable-energy-chile-seeks-to-become-global-hydrogen-powerhouse-66012212>

⁹³ Chile spearheads green hydrogen strategy // Argus Media. – 14.10.2020. – URL: <https://www.argusmedia.com/en/news/2150326-chile-spearheads-green-hydrogen-strategy>



Примечание: составлено по данным Chile National Green Hydrogen Strategy⁹⁴

Ещё одно препятствие, с которым Чили предстоит столкнуться на пути реализации водородной стратегии – дефицит водных ресурсов. Чили входит в число стран с самым высоким уровнем дефицита пресной воды и, согласно исследованию Rystad Energy⁹⁵, помимо мощностей ВИЭ для генерации электроэнергии, необходимой для электролиза воды, потребуются **дополнительные мощности ВИЭ для опреснения морской воды.**

3.3 Прочие страны

Помимо стран, стратегии которых направлены в первую очередь на экспорт водорода, есть страны, которые рассматривают поставки водорода за рубеж лишь как одну из возможностей, например, – **Норвегия**. Согласно норвежской национальной водородной стратегии⁹⁶, вышедшей в июне 2020 г., в ближайшем будущем страна не планировала экспортировать водород в ЕС в крупных масштабах и считала строительство новой инфраструктуры (в частности, водородных трубопроводов) экономически нецелесообразным. При этом страна рассматривала варианты строительства предприятий по производству водорода непосредственно в ЕС (рядом с потребителями) из норвежского природного газа с транспортировкой CO₂ обратно в Норвегию. В стратегии отмечалось, что власти Норвегии будут способствовать равной конкуренции «возобновляемого» и «низкоуглеродного» водорода на энергетическом рынке Евросоюза. Однако в марте 2022 г. ситуация изменилась – в прессе появились сообщения о планах по строительству водородного трубопровода между Германией и Норвегией для транспортировки водорода (сначала «голубого», а затем – «зелёного»)⁹⁷.

⁹⁴ National Green Hydrogen Strategy / Ministry of Energy, Government of Chile. – 2020. – 30 с. – URL: https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf

⁹⁵ Green hydrogen projects will stay dry without a parallel desalination market to provide fresh water / Rystad Energy. – 17.09.2021. – URL: <https://www.rystadenergy.com/newsevents/news/press-releases/green-hydrogen-projects-will-stay-dry-without-a-parallel-desalination-market-to-provide-fresh-water/>

⁹⁶ The Norwegian Government's hydrogen strategy / Norwegian Ministry of Petroleum and Energy, Norwegian Ministry of Climate and Environment. – 2020. – 54 с. – URL: <https://www.regjeringen.no/contentassets/8ffd54808d7e42e8bce81340b13b6b7d/hydrogenstrategien-engelsk.pdf>

⁹⁷ Germany Weighs Norway Hydrogen Pipeline to Avoid Russian Energy // Bloomberg. – 16.03.2022. – URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-03-16/germany-weighs-norway-hydrogen-pipeline-to-avoid-russian-energy>



Также Норвегия рассматривает вариант транспортировки жидкого водорода, водорода в жидких органических носителях (ЛОHC) или в виде аммиака. Работы в этом направлении уже ведутся – в декабре 2020 г. норвежский проект компании Wilhelmsen по строительству судна для транспортировки жидкого водорода получил государственное финансирование в размере 25 млн долл.⁹⁸

Не все страны, планирующие стать значимыми игроками на будущем мировом рынке водорода, имеют национальные стратегические документы. В первую очередь речь идёт о странах Ближнего Востока: **Саудовской Аравии, ОАЭ и Омане.**

Саудовская Аравия и ОАЭ (точнее, компании Saudi Aramco и Abu Dhabi National Oil Co.) намерены производить «низкоуглеродный» водород и аммиак с применением технологий CCS, и оба государства заключили соглашения с Японией⁹⁹ и выполнили первые поставки «голубого» аммиака¹⁰⁰. Также страны планируют производство «возобновляемого» водорода, но на сегодняшний день относительно высоким потенциалом в этой сфере располагает только ОАЭ с установленными мощностями ВИЭ в 2,5 ГВт. В Саудовской Аравии они составляют лишь 413 МВт (по данным IRENA). Аналогичная ситуация с действующими мощностями ВИЭ наблюдается в Омане, где их всего 159 МВт. Однако именно здесь реализуется один из самых амбициозных проектов по производству «возобновляемого» водорода и аммиака – **HYPORT Duqm**. В рамках проекта предполагается строительство **ВЭС и СЭС общей мощностью 1,3 ГВт и электролизёра мощностью 250–500 МВт**, запуск которого намечен на 2026 г. Транспортировку водорода планируется осуществлять в виде аммиака из порта Дукм, где будет создана соответствующая инфраструктура. Потенциальные страны-импортёры оманского «чистого» аммиака не называются, но географическое положение страны благоприятствует экспорту как в страны Азии (Японию, Южную

⁹⁸ Wilhelmsen's Topeka hydrogen project awarded NOK 219 million / Wilhelmsen. – 17.12.2020. – URL: <https://www.wilhelmsen.com/media-news-and-events/press-releases/2020/wilhelmsens-topeka-hydrogen-project-awarded-nok-219-million/>

⁹⁹ FEATURE: Saudi Arabia, UAE vying for hydrogen exports as oil output capacity expands // S&P Global Platts. – 29.06.2021. – URL: <https://www.spglobal.com/platts/ru/market-insights/latest-news/electric-power/062921-feature-saudi-arabia-uae-vying-for-hydrogen-exports-as-oil-output-capacity-expands>

¹⁰⁰ World's first blue ammonia shipment opens new route to a sustainable future / Saudi Arabian Oil Co. – 27.09.2020. – URL: <https://www.aramco.com/en/news-media/news/2020/first-blue-ammonia-shipment>
UAE sells another blue ammonia shipment to Japan in push toward hydrogen // The Japan Times. – 19.08.2021. – URL: <https://www.japantimes.co.jp/news/2021/08/19/business/corporate-business/uae-blue-ammonia-japan/>



Корею), так и в Европейский союз (через Суэцкий канал). В июле 2021 г. к проекту HYPORТ Duqm присоединилась немецкая энергетическая компания Uniper¹⁰¹.

Страны Северной Африки (прежде всего, **Марокко** и **Тунис**), упоминаемые в водородной стратегии как потенциальные партнёры Евросоюза, также рассчитывают занять свои места в ряду экспортёров «чистого» водорода. Их преимущества – это близость к странам ЕС и значительный потенциал развития ВИЭ. В то же время оба государства испытывают дефицит водных ресурсов¹⁰², и создание водородных производств, скорее всего, потребует дополнительных мощностей ВИЭ на опреснительные установки, как в Чили, Австралии и странах Ближнего Востока. В любом случае, развитие водородных технологий в этих странах напрямую зависит от международного сотрудничества со странами ЕС, которое не всегда является плодотворным.

Водородные амбиции есть у ещё одной североафриканской страны – **Мавритании**. Страна планирует реализовать 2 проекта по производству «возобновляемого» водорода:

- Нур (Nour), предполагающий строительство 10 ГВт электролизных мощностей в сотрудничестве с британской компанией Chariot,
- АМАН (AMAN) по созданию 30 ГВт электролизных мощностей и производству 1,7 млн т водорода в год совместно с австралийской CWP Global¹⁰³.

В водородной гонке хотят поучаствовать и страны Южной Африки, в частности, **Намибия**, которая в ноябре 2021 г. планирует выпустить национальную водородную стратегию. Намибия заявила о своём намерении производить самый дешёвый в мире «чистый» водород – по 1,5-2,0 евро (1,76-2,34 долл.) за кг и начать его экспорт до

¹⁰¹ HYPORТ® Duqm signs cooperation agreement with Uniper to explore green ammonia offtake / Uniper. – 19.07.2021. – URL: <https://www.uniper.energy/news/hyport-duqm-signs-cooperation-agreement-with-uniper-to-explore-green-ammonia-offtake>

¹⁰² Green hydrogen projects will stay dry without a parallel desalination market to provide fresh water / Rystad Energy. – 17.09.2021. – URL: <https://www.rystadenergy.com/newsevents/news/press-releases/green-hydrogen-projects-will-stay-dry-without-a-parallel-desalination-market-to-provide-fresh-water/>

¹⁰³ Mauritania expands green H2 ambitions with new deal // Argus Media. 28.09.2021. – URL: <https://www.argusmedia.com/news/2258395-mauritania-expands-green-h2-ambitions-with-new-deal>



2025 г.¹⁰⁴ Однако эти оценки могут оказаться чересчур оптимистичными, поскольку организация производства «возобновляемого» водорода в стране потребует дополнительных мощностей ВИЭ для работы опреснительных установок. Профинансировать создание производства пообещала Германия, заявившая о намерении выделить 40 млн евро в рамках поддержки программы экономического стимулирования, а до этого – о выплате в размере 1,1 млрд евро в качестве компенсации колониальных преступлений, совершенных Германией в 1904–1907 гг.

В начале ноября 2021 г. Намибия объявила о начале реализации проекта по производству «возобновляемого» водорода производственной мощностью 300 тыс. т H₂ в год на базе. Для этого к 2026 г. планируется построить 2 ГВт мощностей ВИЭ с последующим увеличением до 5 ГВт. Инвестиции в проект составят 9,4 млрд долл.¹⁰⁵

В число стран, планирующих развивать производство и экспорт водорода, входят также Новая Зеландия, Уругвай, Малайзия, Бруней и другие, но в рамках данной работы они не рассмотрены.

4. Страны, планирующие самообеспечение водородом

4.1 Великобритания

Водородная стратегия Великобритании¹⁰⁶ была принята через несколько дней после утверждения российской концепции. Она предполагает создание водородной экономики, основанной на производстве водорода внутри страны без планируемого импорта. Правительство Великобритании планирует выделить на эти цели около 1,8 млрд фунтов стерлингов (около 2,1 млрд евро).

Британская стратегия предполагает производство как **«возобновляемого»**, так и **«низкоуглеродного» водорода**, причём основные целевые показатели, заявленные в перспективе до 2030 г., указаны именно для последнего. Водород планируется производить методом паровой конверсии метана с использованием технологий

¹⁰⁴ Germany eyes world's cheapest green hydrogen from Namibia amid global 'race for best sites' // Recharge. – 25.08.2021. – URL: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/germany-eyes-worlds-cheapest-green-hydrogen-from-namibia-amid-global-race-for-best-sites/2-1-1057335>

¹⁰⁵ \$9.4bn hydrogen megaproject set for Namibia // H2 View. – 05.11.2021. – URL: <https://www.h2-view.com/story/9-4bn-hydrogen-megaproject-set-for-namibia/>

¹⁰⁶ UK Hydrogen Strategy / HM Government. – 2021. – 120 с. – URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1011283/UK-Hydrogen-Strategy_web.pdf



улавливания и хранения CO₂, для чего, как ожидается, будут созданы **4 кластера по улавливанию и хранению углерода** (в настоящее время действующих предприятий по CCS в Великобритании нет, но государство участвует в совместных проектах в Северном море, например, Northern Lights¹⁰⁷). К 2025–2027 гг. планируется создание **1 ГВт** мощностей по производству «низкоуглеродного» водорода и 2 кластеров CCS, к 2028–2030 гг. – **5 ГВт** мощностей и ещё 2 кластеров CCS. Кроме того, к 2028–2030 гг. Великобритания намерена построить **морские ВЭС суммарной установленной мощностью 40 ГВт**, на базе которых будет создаваться уже производство «возобновляемого» водорода. Важный нюанс – в стратегии указано, что показатели не являются окончательными.

Среди вариантов применения водорода, предусматриваемых британской стратегией, наибольший интерес и споры вызывает **теплоснабжение зданий**. К 2023 г. Великобритания намерена реализовать пилотный проект в районе Левенмут (Levenmouth), Шотландия, по созданию водородного трубопровода для подачи топлива непосредственно в дома и его использованию для отопления и приготовления пищи вместо газа¹⁰⁸. Водород планируется производить методом электролиза на месте с использованием электроэнергии от морских ВЭС. Всего в эксперименте будет участвовать около 300 домов, а на основании полученного опыта будет принято стратегическое решение о переводе на водород других поселений (**программа Ну4Heat**).

Ещё до выхода водородной стратегии Великобритании, в мае 2021 г. было опубликовано исследование консалтинговой компании ARUP по оценке безопасности использования водорода в жилых домах¹⁰⁹. Согласно полученным данным, **водород в быту в разы опаснее природного газа: при переходе на H₂ количество взрывов в домах может увеличиться с 9 до 39 случаев в год, а количество возможных пострадавших – с 17 до 65 человек.**

¹⁰⁷ Northern lights project / European Commission. – 2021. – 3 с. – URL: https://ec.europa.eu/energy/maps/pci_fiches/PciFiche_12.4.pdf

¹⁰⁸ H100 Fife / SGN. – 2021. – URL: <https://www.sgn.co.uk/H100Fife>

¹⁰⁹ Safety Assessment: Conclusions Report (incorporating Quantitative Risk Assessment) / Ну4Heat. – 2021. – 140 с. – URL: <https://static1.squarespace.com/static/5b8eae345cfd799896a803f4/t/60e399b094b0d322fb0dad4c/1625528759977/conclusions+inc+QRA.pdf>



В сентябре 2021 г. группа учёных составила открытое письмо премьер-министру Борису Джонсону¹¹⁰, в котором выразила свою **обеспокоенность перспективами реализации водородной стратегии, а именно использованием водорода для отопления жилых домов и в транспортном секторе**. По мнению учёных, данные варианты применения водорода неэффективны и не имеют экономического смысла. **Для отопления зданий целесообразно использовать тепловые насосы, а для декарбонизации легкового транспорта – расширять производство электромобилей**¹¹¹.

Однако, судя по всему, данная попытка не возымела должного эффекта (во всяком случае, в части применения водорода в автотранспорте) – в октябре 2021 г. Б. Джонсон выступил с заявлением о том, что к 2035 г. электроэнергия Великобритании будет генерироваться только из «чистых» источников – ВИЭ и АЭС, а использование природного газа в энергетике будет допускаться только с применением технологий CCS. Также в заявлении было сказано о том, что с 2030 г. в государстве будут запрещены продажи автомобилей с двигателями внутреннего сгорания в рамках перехода на электромобили и автомобили на водородных топливных элементах¹¹².

4.2 Китай

В Китае в марте 2022 г. утверждён план развития водородной энергетики на период 2021–2035 г.¹¹³, согласно которому страна планирует к 2025 г. производить от 100 до 200 тыс. т возобновляемого водорода. К 2035 г. ожидается значительное увеличение доли водорода, получаемого из возобновляемых источников в энергобалансе Китая, однако конкретные цифры не указываются. Также к 2025 г. КНР планирует увеличить парк автомобилей на водородном топливе до 50 тыс. с текущих 7,5 тыс.

¹¹⁰ Open Letter to Prime Minister Boris Johnson about Hydrogen Strategy / Heriot-Watt University. – 17.09.2021. – URL: <https://www.csrf.ac.uk/2021/09/letter-to-prime-minister-boris-johnson-about-hydrogen-strategy/>

¹¹¹ Группа ученых выступила против использования водорода для отопления и на транспорте // RenEn. – 18.09.2021. – URL: <https://renen.ru/gruppa-uchenyh-vystupila-protiv-ispolzovaniya-vodoroda-dlya-otopleniya-i-na-transporte/>

¹¹² UK electricity to be powered by clean energy sources from 2035, Boris Johnson says // Independent. – 04.10.2021. – URL: <https://www.independent.co.uk/climate-change/boris-johnson-energy-renewable-clean-b1931797.html>

¹¹³ China unveils national 2025 target for green hydrogen and new strategies for further H2 growth / Recharge. – 23.03.2022. – URL: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/china-unveils-national-2025-target-for-green-hydrogen-and-new-strategies-for-further-h2-growth/2-1-1189877>



В рамках нового водородного плана Китая к 2035 г. планируется решить следующие задачи:

- создание централизованной инновационной платформы для продвижения исследований и разработки прорывных технологий для постоянного повышения конкурентоспособности водородного сектора;
- строительство водородной энергетической инфраструктуры (производственные складские, транспортные и заправочные мощности);
- «неуклонное продвижение» направлений использования водорода, в том числе в транспортной отрасли, авиации, для хранения энергии, в тяжёлой промышленности и для теплоснабжения зданий;
- разработка и улучшение законодательства в водородной сфере, в том числе строительстве инфраструктуры, ценообразованию на электроэнергию для производства «зелёного» водорода, а также установление и совершенствование стандартов качества и безопасности.

На сегодняшний день Китай является крупнейшим в мире производителем водорода (около 25 млн т в год), в основном, методами газификации угля и парового риформинга метана. В конце 2021 г. китайская компания Sinopec запустила самый крупный в мире электролизёр – установку мощностью 150 МВт в регионе Нинся (центральный Китай). Она способна ежегодно производить до 23,7 тыс. т «зелёного» водорода¹¹⁴.

Благодаря значительному потенциалу производства водорода на базе ВИЭ и широкому спектру направлений его использования Китай может полностью обеспечивать свои потребности, не являясь ни импортёром водорода, ни его экспортёром¹¹⁵.

5. Российская Федерация

В завершении обзора стратегических документов в сфере водорода стран мира вернёмся к России. Утверждённая 5 августа 2021 г. «Концепция развития водородной

¹¹⁴ Baofeng Energy brings world's largest green hydrogen project on line in China / NHST Media group. – 02.02.2022. – URL: <https://www.upstreamonline.com/hydrogen/baofeng-energy-brings-worlds-largest-green-hydrogen-project-on-line-in-china/2-1-1161221>

¹¹⁵ China's Hydrogen Industrial Strategy / Center for Strategic and International Studies. – 03.02.2022. – URL: <https://www.csis.org/analysis/chinas-hydrogen-industrial-strategy>



энергетики в Российской Федерации» определяет цели, задачи, стратегические инициативы и ключевые меры по развитию водородной энергетики в стране на перспективу до 2050 г.

Основные стратегические цели российской водородной концепции: развитие отечественных технологий в сфере водородной энергетики и обеспечение конкурентоспособности экономики страны в условиях глобального энергетического перехода.

Согласно тексту концепции, развитие водородной энергетики в России прежде всего **ориентировано на экспорт**. Это подтверждает и тот факт, что единственные целевые показатели, установленные в концепции, даны по экспорту:

- 2024 г. – 0,2 млн т водорода;
- 2035 г. – 2 млн т водорода (оптимистичная цель – 10 млн т);
- 2050 г. – 10 млн т водорода (оптимистичная цель – 50 млн т).

Тип водорода, который планируется производить в России, в концепции указан как **«низкоуглеродный»**. Под этим термином авторы концепции подразумевают водород, полученный следующим образом:

- из ископаемого топлива с применением технологий улавливания CO₂ и методом пиролиза углеводородного сырья;
- методом паровой конверсии природного газа с использованием тепловой энергии атомных энерготехнологических станций (АЭТС);
- методом электролиза воды с использованием электроэнергии АЭС, ГЭС, ВИЭ и энергосистемы (при условии обеспечения соответствующего углеродного следа).

Кроме того, согласно тексту концепции, «низкоуглеродным» считается водород, углеродный след которого компенсирован за счет реализации климатических проектов (проектов по сокращению выбросов и (или) увеличению поглощения углекислого газа). Такая формулировка не встречается ни в одном из рассмотренных выше документов различных стран мира в сфере развития водородной энергетики. Также не совсем понятно, почему водород, полученный методом электролиза с использованием электроэнергии из ВИЭ, отнесён к «низкоуглеродному», хотя



фактически он «чистый». При этом понятия «чистый», «возобновляемый», «зелёный» водород в тексте концепции не упомянуты совсем.

Несмотря на то, что развитие водородных технологий в России в первую очередь направлено на обеспечение экспорта, предполагается и применение водорода внутри страны, хоть и в довольно ограниченных масштабах. В том числе планируется:

- создание опытных образцов автомобильного (в первую очередь автобусов и грузовых автомобилей) и железнодорожного транспорта, а также водородных заправочных станций с последующей реализацией пилотных проектов применения водородного транспорта в крупных городах в целях снижения экологической нагрузки;
- создание производства водородных накопителей энергии для использования в локальных энергосистемах (прежде всего, в арктической зоне);
- реализация пилотных проектов по использованию водорода в жилищно-коммунальном хозяйстве при условии подтверждения их безопасности и экономической эффективности.

В период с 2021 по 2024 гг. (в рамках I этапа развития водородной энергетики в России), согласно концепции, планируется создание как минимум трёх производственных кластеров: Северо-Западного, Восточного, Арктического, а также, возможно, Южного.

В декабре 2021 г. Минэнерго России подготовило **программу развития низкоуглеродной водородной энергетики**, утвердить которую планировалось в первом квартале 2022 г. Согласно имеющимся материалам¹¹⁶, **инвестиции в реализацию программы составят 26 млрд долл.**, из которых около 9 млрд долл. могут составить средства господдержки для создания логистической инфраструктуры.

Программа предполагает производство как «низкоуглеродного», так и «возобновляемого» водорода, и включает четыре возможных сценария развития водородной энергетики России.

¹¹⁶ Бюджет водородящий // Коммерсант. – 24.12.2021. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5143450>



1. «Развитие экспорта водорода» – базовый сценарий, предполагающий экспорт водорода из России в количестве **2,75–2,9 млн т к 2030 г., 11,3–11,9 млн т – к 2050 г.** (что примерно соответствует нижней границе ожиданий, указанных в Концепции развития водородной энергетики РФ).
2. «Ускоренное развитие экспорта водорода» – сценарий, согласно которому объёмы поставок увеличатся до 6,4 млн т к 2030 г. и 30 млн т к 2050 г.
3. «Сценарий Минэнерго» – помимо экспорта водорода, предполагающий рост его внутреннего потребления до 0,2 млн т к 2030 г. и 4 млн т к 2050 г. Кроме того, в 2030–2050 гг. будет ежегодно производиться 0,5–2 млн т водорода для транспорта и 1–4 млн т – для заправок.
4. «Интенсивное развитие внутреннего рынка водорода» – сценарий активного развития российского рынка водорода, согласно которому в 2030–2050 гг. производство для внутреннего потребления составит 0,6–1,2 млн т, для транспорта – 1,5–5,25 млн т, для заправок – 3–10,5 млн т.

Возникший в России в последние годы (в особенности, в 2021 г., после выхода концепции) «водородный ажиотаж» привёл к появлению большого числа заявленных проектов по производству «низкоуглеродного» и «возобновляемого» водорода. В октябре–ноябре 2021 г. Минпромторг России представил атлас, в первый вариант которого вошло более 30, а во второй – более 40 проектов по производству водорода и аммиака¹¹⁷. Однако практически все они находятся на раннем этапе реализации (в лучшем случае, на стадии разработки ТЭО или предварительного ТЭО). Инвесторы не спешат вкладывать деньги в водород, поскольку перспективы развития мировой водородной энергетики имеют высокую степень неопределённости, что, кстати, также отмечено в тексте российской концепции. В то же время, атлас проектов позволил конкретнее определить географическое расположение будущих водородных кластеров, что отражено в программе Минэнерго. Согласно программе, планируется создание следующих кластеров: Ямал, Мурманская область, Восточная Сибирь, Сахалин. Основные проекты по производству водорода сведены в таблице ниже (Таблица 6).

¹¹⁷ Атлас российских проектов по производству низкоуглеродного и безуглеродного водорода и аммиака / Минпромторг России. – 23.11.2021. – URL: <https://minpromtorg.gov.ru/common/upload/docVersions/6169a90492dde/actual/atlas.pdf>

Таблица 6 – Основные российские проекты в сфере водородной энергетики

Компания / инициатор проекта	Название проекта	Описание проекта
ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА		
ГК «Росатом», Air Liquide, ПАО «Газпром», правительство Сахалинской обл.	Создание водородного кластера в Сахалинской области	В апреле 2021 г. между компаниями «Росатом Оверсиз», Air Liquid и правительством Сахалинской области подписан меморандум о взаимопонимании, предусматривающий сотрудничество с целью изучения возможности организации производства «низкоуглеродного» водорода. Планируется строительство завода по производству водорода из природного газа методом паровой конверсии с технологиями CCS и к 2024 г. получать около 30 тыс. т водорода, к 2030 г. – до 100 тыс. т. Водород будет поставляться на экспорт в Японию, в каком виде – пока неизвестно. По данным на сентябрь 2021 г. готово предварительное ТЭО проекта ¹¹⁸ . В сентябре 2021 г. ГК «Росатом», ПАО «Газпром» и правительство Сахалинской обл. подписали соглашение о сотрудничестве в сфере водородной энергетики. ПАО «Газпром» станет поставщиком газа для будущего предприятия ¹¹⁹ .
ГК «Росатом»	Производство водорода на базе Кольской АЭС	Планируется строительство электролизёра мощностью 1 МВт (150 т H ₂ в год) с перспективой увеличения до 10 МВт. Начало производства водорода намечено на 2023 г. Также планируется начать строительство 2 новых энергоблоков в 2028 г., ввести в эксплуатацию первый – в 2033–34 гг. ¹²⁰
	Производство водорода на базе АЭС	В августе 2018 г. АО «Концерн Росэнергоатом» заключило контракт с АО «ОКБМ Африкантов» на обоснование разработки проектных предложений по энергоэффективному и экологически чистому промышленному производству водорода на АЭС. Сооружение головной АЭС, как заявляется, может быть завершено к 2030 г. ¹²¹
Enel, АО «Роснано»	Производство «чистого» водорода в Мурманской области	К 2024 г. планируется производить около 12 тыс. т «чистого» водорода в год на основе электроэнергии, вырабатываемой строящейся Кольской ВЭС ¹²² . Инвестиции оценены в 320 млн долл.
En+ Group	Производство водорода на свободных мощностях ГЭС	В августе 2021 г. En+ Group сообщила о планах по производству 18 тыс. т/год водорода методом электролиза на свободных мощностях Иркутской, Братской, Усть-Илимской ГЭС в Иркутской области и Ондской ГЭС – в Республике Карелия, суммарной мощностью 9 ГВт (для производства водорода доступно 228 МВт). Водород в сжиженном виде или в виде аммиака предполагается экспортировать в Южную Корею, Японию и Финляндию.

¹¹⁸ Завод по производству водорода на Сахалине планируют построить к 2024 году // Интерфакс-Россия. – 02.09.2021. – URL: <https://www.interfax-russia.ru/far-east/main/zavod-po-proizvodstvu-vodoroda-na-sahaline-planiruyut-postroit-k-2024-godu-pervuyu-partiyu-topliva-otgruzit-v-2025-godu>

¹¹⁹ Росатом, правительство Сахалинской области и ПАО «Газпром» развивают сотрудничество в сфере водородной энергетики / Росатом. – 03.09.2021. – URL: <https://rosatom.ru/journalist/news/rosatom-pravitelstvo-sakhalinskoy-oblasti-i-pao-gazprom-razvivayut-sotrudnichestvo-v-sfere-vodorodno/>

¹²⁰ Росатом запустит производство водорода на Кольской АЭС к 2023 году, строительство новых блоков - к 2028 году / Росатом. – 18.06.2021. – URL: [Росатом запустит производство водорода на Кольской АЭС к 2023 году, строительство новых блоков - к 2028 году \(rosatom-easteurope.com\)](https://rosatom-easteurope.com)

¹²¹ Энергетический бюллетень. Водородная энергетика / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. – 2020. – Выпуск 89. – 28 с. – URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/energo_oct_2020.pdf

¹²² Россия начнет выпускать «зеленый» водород // Коммерсант. – 22.01.2021. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4654965>

Компания / инициатор проекта	Название проекта	Описание проекта
		По расчетам En+, стоимость аммиака составит 4,1–4,5 долл., сжиженного водорода – 4,3–5,2 долл. за 1 кг с учетом доставки ¹²³ .
	Производство водорода на мощностях проектируемой ГЭС	En+ Group рассматривает вариант строительства Мотыгинской ГЭС на р. Ангара мощностью 1 ГВт и создание производства водорода мощностью 115 тыс. т в год. Предварительные капитальные затраты – 1,3 млрд долл., срок строительства – 9 лет. Ориентировочная цена водорода – 2,9 долл. за 1 кг, аммиака – 4,9 долл., сжиженного водорода – 4,4 долл., включая доставку ¹²⁴ .
ПАО «Газпром нефть»	Проекты по разработке технологий получения, транспортировки, хранения и использования водорода, а также утилизации CO ₂	Компания планирует реализовывать в России проекты по улавливанию и хранению CO ₂ (CCS) с учётом своего опыта по реализации подобных проектов в Сербии. К 2024 г. планирует увеличить производство водорода на своих площадках со 100 тыс. т до 250 тыс. т ¹²⁵ .
ПАО «НОВАТЭК», ПАО «Северсталь», JVIC	Производство «низкоуглеродного» водорода с использованием технологии CCS	В июне 2021 г. в рамках ПМЭФ ПАО «НОВАТЭК» и ПАО «Северсталь» заключили меморандум о сотрудничестве в сфере водородной энергетики, предусматривающий реализацию пилотного проекта по производству «низкоуглеродного» водорода с использованием технологий улавливания и хранения CO ₂ . Также компании намерены сотрудничать в вопросах разработки и производства решений для транспортировки и хранения водорода ¹²⁶ . В сентябре 2021 г. в рамках ВЭФ ПАО «НОВАТЭК» и JVIC (Японский банк для международного сотрудничества) подписали соглашение о сотрудничестве в сфере водородных технологий, предусматривающее реализацию проекта по производству «низкоуглеродных» водорода и аммиака на п-ове Ямал ¹²⁷ .
Фонд Энергия	Производство «низкоуглеродного» аммиака и «возобновляемого» водорода в ЯНАО	Планируется создание производства «низкоуглеродного» аммиака методом паровой конверсии метана с применением технологий улавливания и долговременного подземного хранения CO ₂ в ЯНАО (Байдарацкая губа). К 2025 г. компания намерена получать 2,2 млн т аммиака в год. Также планируется производство «возобновляемого» водорода на базе электроэнергии ВЭС.

¹²³ Стоит ли водород горючий // Коммерсант. – 02.08.2021. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4927078#id2118401>

¹²⁴ Стоит ли водород горючий // Коммерсант. – 02.08.2021. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4927078#id2118401>

¹²⁵ «Газпром нефть» займется развитием водородных технологий / Газпром нефть. – 03.08.2021. – URL: https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom_neft_zaymetsya_razvitiem_vodorodnykh_tekhnologiy/

¹²⁶ «НОВАТЭК» и «Северсталь» подписали Меморандум по водородной энергетике и снижению выбросов парниковых газов / НОВАТЭК. – 04.06.2021. – URL: https://www.novatek.ru/ru/press/releases/index.php?id_4=4506

¹²⁷ «НОВАТЭК» и JVIC подписали соглашение о стратегическом сотрудничестве по низкоуглеродным проектам / НОВАТЭК. – 02.09.2021. – URL: https://www.novatek.ru/ru/press/releases/index.php?id_4=4635

Компания / инициатор проекта	Название проекта	Описание проекта
Fortescue Future Industries (Австралия), Минэнерго России	Оценка потенциала производства «чистого» водорода в России	В июне 2021 г. в рамках ПМЭФ стороны объявили о создании рабочей группы, которая займётся изучением развития проектов по производству экологически чистого водорода в России (Камчатский край, Республика Саха (Якутия), Эвенкийский район Красноярского края). Инвестиции на начальном этапе оценены в 25 млрд долл. ¹²⁸
Правительство Ленинградской области	Производство «чистого» водорода в Ленинградской области	В сентябре 2021 г. в рамках BRIEF губернатор Ленобласти заявил о планируемом запуске в регионе проекта по производству «чистого» водорода, предполагающего создание ВЭС. Возможные площадки: Выборгский, Кингисеппский и Сланцевский районы. Возможные компании-операторы: ПАО «ТГК-1», ООО «ВЭС Свирица», ПАО «Энел Россия» ¹²⁹ .
ООО «Н2 Чистая Энергетика»	Производство «чистого» и «низкоуглеродного» водорода	Планируется производство водорода методом электролиза на базе ВЭС и ГЭС в Мурманской области, а также Мамаканской ГЭС в Иркутской области ¹³⁰ .
ООО «Н2 Чистая Энергетика», ПАО «Русгидро»	Совместное проведение НИИ в области водородной энергетики на Дальнем Востоке	Рассматривается вариант производства водорода на избыточных мощностях Усть-Среднеканской ГЭС в Магаданской области. До конца 2021 г. планируется завершение разработки концепции Пенжинской приливной электростанции (ПЭС) в Охотском море; рассматривается проект строительства завода по производству водорода ¹³¹ .
H4Energy	Производство водорода / аммиака в Мурманской области	Планируется производство водорода и аммиака методом электролиза воды с использованием электроэнергии ГЭС в Мурманской области в объёме 17 тыс. т к 2024 г. и 170 тыс. т – к 2030 г.
	Производство водорода в Сахалинской области	Планируется производство водорода методом электролиза воды с использованием электроэнергии ВЭС в Сахалинской области в объёме 16 тыс. т к 2024 г. и 150 тыс. т – к 2030 г.
Агентство Амурской области по привлечению инвестиций	Производство «возобновляемого» водорода в Амурской области	К 2027 г. планируется создать производство «возобновляемого» водорода методом электролиза воды с использованием электроэнергии ГЭС мощностью 110 тыс. т в год.
ООО «НПО «Северо-Восточный альянс»	Производство «низкоуглеродного» аммиака в Якутии	Планируется создание производства «низкоуглеродного» аммиака на базе газовых месторождений с применением технологий улавливания CO ₂ . Плановая мощность: 3 млн т к 2026 г., 6 млн т к 2030 г.
ТРАНСПОРТИРОВКА И ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДА		

¹²⁸ Австралийская FFI планирует производить в России зеленый водород // ТАСС. – 03.06.2021. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/11554085>

¹²⁹ Проект по выпуску «топлива будущего» в Ленобласти может оказаться успешным // Ведомости. – 24.09.2021. – URL: <https://vedomosti-spb.ru/economics/articles/2021/09/24/888123-proekt-po-vipusku-topliva>

¹³⁰ Компания СЕО «Полюса» завершит подготовку концепции Пенжинской ПЭС до конца года // Переток.ру. – 15.07.2021. – URL: <https://peretok.ru/news/generation/23731/>

¹³¹ «РусГидро» и «Н2 Чистая Энергетика» подписали соглашение о сотрудничестве // Интерфакс-Россия. – 02.09.2021. – URL: <https://www.interfax.ru/business/788082>

Компания / инициатор проекта	Название проекта	Описание проекта
ГК «Росатом», ОАО «РЖД», АО «Трансмашхолдинг», правительство Сахалинской обл.	Запуск поездов на водородных топливных элементах в Сахалинской области	В сентябре 2021 г. стороны подписали протокол о признании проекта организации ж/д сообщения с применением поездов на водородных топливных элементах на Сахалине целесообразным и технически осуществимым. Планируется спроектировать и изготовить опытную партию из 7 поездов, запустить регулярное пассажирское сообщение ¹³² .
ГК «Росатом», ПАО «КАМАЗ», АО «Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики» и АО «Корпорация развития Сахалинской области»	Развитие водородного транспорта в Сахалинской области	В сентябре 2021 г. стороны подписали меморандум о сотрудничестве в сфере развития транспорта на водородных топливных элементах ¹³³ .
En+ Group	Производство алюминиевых танк-контейнеров для перевозки аммиака и сжиженного водорода	En+ Group планирует запустить опытное производство танк-контейнеров для транспортировки водорода автомобильным, ж/д и морским транспортом в 2024 г. Предварительное ТЭО проекта выполнено, ведётся НИОКР ¹³⁴ .
Правительство ЯНАО, МФТИ	Строительство международной автономной арктической станции «Снежинка» в ЯНАО	В июле 2021 г. подписано соглашение о реализации стратегического проекта, запустить станцию планируется в 2023 г. Планируется, что станция будет полностью работать на ВИЭ и водороде ¹³⁵ .

Примечания: составлено ИПЕМ по материалам СМИ; жирным шрифтом выделены проекты, являющиеся наиболее конкурентоспособными по мнению Минэнерго России

¹³² На Сахалине появится водородный полигон РЖД // Vgudok. – 09.09.2021. – URL: <https://vgudok.com/lenta/na-sahaline-poyavitsya-vodorodnyy-poligon-rzhd-transmashholding-i-rosatom-predostavyat>

¹³³ Четыре компании планируют совместно развивать водородный транспорт на Сахалине // ТАСС. – 29.09.2021. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/12535633>

¹³⁴ Стоит ли водород городить // Коммерсант. – 02.08.2021. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4927078#id2118401>

¹³⁵ Международная станция «Снежинка» на Ямале начнет работу в 2023 году // ТАСС. – 09.09.2021. – URL: <https://tass.ru/obschestvo/12343541>



На **о. Сахалин** возможна организация крупнейшего центра развития водородной энергетики России. Сахалинская область – «экспериментальный» регион, в котором планируется создание пилотной системы торговли углеродными единицами в рамках проекта по снижению выбросов парниковых газов. Неоспоримым плюсом создания на Сахалине водородного производства является его географическое положение – рядом с потенциальными рынками сбыта – Японией и Южной Кореей. В то же время необходимо понимать, что остров Сахалин – регион с высокой сейсмической активностью, и применение технологии улавливания и хранения CO₂, которое предполагается в рамках совместного проекта ГК «Росатом», ПАО «Газпром», Air Liquide, и правительства Сахалинской обл., должно быть спроектировано с особой тщательностью. При этом надо учитывать, что подобные технологии в России в настоящее время не применяются.

В **Мурманской области** основные перспективы развития водородной энергетики связаны с проектами по производству водорода методом электролиза с использованием электроэнергии ГЭС в рамках проекта компании АО «Аш-ФОР-Энерго» (H4Energy). К 2024 г. планируется ежегодно получать 17 тыс. т водорода, к 2030 г. – 170 тыс. т. К числу перспективных относят проект ГК «Росатом» по производству водорода на базе избыточных (запертых) мощностей Кольской АЭС, однако, фактически, он является наименее амбициозным среди прочих, поскольку предполагает производство лишь 150 т водорода в год. Гораздо более многообещающим выглядит проект Группы Роснано по производству водорода на базе возобновляемой электроэнергии строящейся Кольской ВЭС (12 тыс. H₂ в год к 2024 г.).

На полуострове **Ямал** планируемое производство будет ориентировано не на водород, а на «низкоуглеродный» аммиак, получаемый методом паровой конверсии газа с применением технологий CCUS. При этом, если согласно концепции развития водородной энергетики РФ, производство водорода в Арктике должно было быть нацелено в первую очередь на энергообеспечение Арктических территорий России, а не на внешний рынок, то по данным о проектах в последнем варианте атласа Минпромторга (от 23.11.2021), планируется экспорт аммиака из ЯНАО в страны Европы и Азии.



В **Восточной Сибири** также планируется помимо водорода производить аммиак. В частности, на территории Республики Саха (Якутия) предполагается создание производства аммиака на базе газовых месторождений (проект ООО «НПО «Северо-Восточный альянс»). Несколько водородных проектов планировала реализовать компания En+ Group на базе свободных мощностей ГЭС в Иркутской области.

Если оценить планируемые объёмы производства «низкоуглеродного» и «чистого» водорода в России на основе данных о проектах атласа Минпромторга, то получится, что к 2030 г., когда экспорт водорода из России (согласно базовому сценарию программы Минэнерго) должен быть на уровне 2,75–2,9 млн т в год, оно составит только около **1,5 млн т**, из которых 500 тыс. т планируется получить на мощностях Мезенской ПЭС, проект строительства которой (а также Пенжинской и Тугурской ПЭС) обсуждался ещё в советское время, но не был реализован из-за чрезвычайно высокой стоимости.

К 2035 г. годовое производство водорода с низким углеродным следом в России может быть увеличено до 7,4 млн т, но этот рост планируется обеспечить исключительно за счёт вышеперечисленных приливных электростанций, которые, как ожидается, обеспечат около 6,4 млн т водорода (5 млн т к 2031 г. Пенжинская ПЭС, 1 млн т к 2033 г. Мезенская ПЭС и 350 тыс. т к 2035 г. – Тугурская ПЭС). **Ни один из проектов производства водорода на базе ПЭС не вошёл в число приоритетных в программе, подготовленной Минэнерго**¹³⁶.

Проекты по получению «низкоуглеродного» аммиака, которые также присутствуют в атласе Минпромторга, предполагают его производство в объёме около 13,4 млн т к 2030 г. Если пересчитать это количество на водород (жидкий аммиак содержит 17–18% водорода по массе¹³⁷), получится порядка 2,4 млн т H₂, что в совокупности с водородными проектами, позволит обеспечить необходимый объём для экспорта и внутреннего потребления, по крайней мере, до 2030 г. Однако стоит учитывать, что эти проекты достаточно амбициозные и предполагают активное применение технологий CCUS, которые в настоящее время в России не используются. Кроме того, в основном

¹³⁶ Бюджет водородящий // Коммерсант. – 24.12.2021. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5143450>

¹³⁷ Водород – основа энергетики будущего? // Атомный эксперт. – 2019. – URL: https://atomicexpert.com/hydrogen_energy_future



они планируются на полуострове Ямал – территории с крайне суровыми климатическими условиями и слабо развитой инфраструктурой.

В то же время потенциал производства «низкоуглеродного» водорода в России достаточно высокий. Если учитывать только возможности неиспользуемых генерирующих мощностей, то по данным Минэнерго России он оценивается в 3,5 млн т (резерв мощностей – 45 ГВт, КИУМ – 40%), по данным фонда «ЦСР» – в 5–6 млн т (резерв мощностей – 45 ГВт, КИУМ – 70–80%), а по данным центра EnergyNet – в 1,9–3,5 млн т (при КИУМ – 46–85%)¹³⁸. Однако сложность представляет то, что большая часть недозагруженных генерирующих мощностей приходится на ТЭС, причём в большинстве случаев наименее эффективных.

Для организации в России производства «низкоуглеродного» водорода из природного газа серьёзным препятствием является создание предприятий по улавливанию и хранению CO₂ (CCS). По мнению главы Госкомиссии по запасам Игоря Шпурова, **Россия не располагает технологиями по консервации углекислого газа в подземных хранилищах**, поскольку в стране не проводилось геологических исследований по особенностям их строения и отсутствует понимание критериев, по которым они должны работать¹³⁹. Схожая точка зрения у руководителя департамента стратегии и инноваций компании ПАО «Газпром нефть» Сергея Вакуленко, который считает, что даже наличие возможности закачивания углекислого газа в пласты отработанных месторождений на Ямале не решает проблемы, поскольку транспортировать CO₂ из промышленных регионов в районы нефте- и газодобычи экономически нецелесообразно, а искать и создавать специальные ловушки – сложно из-за геологических особенностей и рискованно для населения¹⁴⁰. В то же время, именно ПАО «Газпром нефть» планирует реализовать пилотный проект по улавливанию и утилизации углекислого газа в Оренбургской области¹⁴¹.

¹³⁸ Энергетический бюллетень. Водородная энергетика / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. – 2020. – Выпуск 89. – 28 с. – URL: https://ac.gov.ru/uploads/2-Publications/energo/energo_oct_2020.pdf

¹³⁹ Глава ГКЗ: Хранилищ для CO₂ в РФ нет // Нефть и капитал. – 13.09.2021. – URL: <https://oilcapital.ru/news/markets/13-09-2021/glava-gkz-hranilishh-dlya-so2-v-rf-net>

¹⁴⁰ Отсутствие хранилищ CO₂ – это проблема для новой энергетики РФ // Энергетическая политика. – 15.09.2021. – URL: <https://energypolicy.ru/otsutstvie-hranilishh-so2-eto-problema-dlya-novoj-energetiki-rf/novosti/2021/01/15/>

¹⁴¹ «Газпром нефть» готовит проект по утилизации углекислого газа в Оренбургской области // ТАСС. – 13.08.2021. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/12125315>



Технологии по улавливанию и хранению углекислого газа планируется использовать ещё для одного способа получения водорода – из метана на базе **энергии атомных энерготехнологических станций (АЭС) с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами (ВТГР)**. Такой проект в перспективе планирует реализовать компания ПАО «Росатом», сооружение первой промышленной АЭС в России может быть завершено в 2030 г.¹⁴². Преимуществами данного способа является высокая производительность – до 1 млн т водорода в год на 3 ГВт тепловой мощности АЭС и более низкое потребление природного газа (вдвое) в сравнении с методом паровой конверсии метана¹⁴³. На базе АЭС с ВТГР возможно получение «чистого» водорода, но только при использовании термохимического йодно-серного цикла¹⁴⁴ (см. раздел «Япония»). В любом случае, производство водорода на АЭС в России – дело средне- и даже, скорее, долгосрочной перспективы из-за отсутствия серийного производства ВТГР.

Крупнотоннажное получение в России «чистого» водорода на базе ВИЭ в значимых масштабах на сегодняшний день маловероятно из-за недостаточного количества возобновляемой генерации. Суммарные установленные мощности ВЭС и СЭС в стране по данным на 26.10.2021 составляли около 3,5 ГВт¹⁴⁵ – в 7 раз меньше, чем в Австралии¹⁴⁶. Даже с учётом оптимистичного варианта вводов в рамках ДПМ ВИЭ¹⁴⁷ совокупная мощность ВИЭ-генерации в России к 2035 г. достигнет примерно 14 ГВт¹⁴⁸, что является довольно скромным значением по мировым меркам.

Создание в стране производства «низкоуглеродного» и «возобновляемого» водорода – это только половина дела, необходимо также решить вопрос с его

¹⁴² Росатом к 2030 году разработает коммерческое предложение по производству водорода на АЭС // ТАСС. – 13.10.2021. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/12651515>

¹⁴³ Водородная энергетика — тренд XXI века // Атомный эксперт. – 2021. – URL: https://atomicexpert.com/hydrogen_energy

¹⁴⁴ JAEA Achieves 150 Hours of Continuous Hydrogen Production Toward Utilization of Heat from HTGRs / JAIF. – 01.02.2019. – URL: <https://www.jaif.or.jp/en/jaea-achieves-150-hours-of-continuous-hydrogen-production-toward-utilization-of-heat-from-htgrs/>

¹⁴⁵ Оценка по данным региональных схем и программ развития электроэнергетики, генерирующих компаний и ассоциации «НП «Совет рынка»

¹⁴⁶ State of the energy market 2021 data / Australian Energy Regulator. – 2021. – URL: <https://www.aer.gov.au/publications/state-of-the-energy-market-reports/state-of-the-energy-market-2021-data>

¹⁴⁷ Максимов: «Минэнерго оценивает объём вводов по ДПМ ВИЭ 2.0 более чем в 8 ГВт» // Переток.ру. – 23.09.2021. – URL: <https://peretok.ru/news/generation/24011/>

¹⁴⁸ Оценка ИПЕМ по данным о фактических мощностях ВИЭ и планах их развития в рамках существующих регуляторных механизмов



транспортировкой. Для экспорта водорода в страны ЕС наиболее привлекательным выглядит вариант его подмешивания к природному газу в действующих трубопроводах. Однако, как было отмечено выше, у этого варианта есть целый ряд существенных недостатков. В частности, ПАО «Газпром», которое прорабатывало этот вопрос¹⁴⁹, пришло к выводу, что транспортировка метаново-водородной смеси сопряжена с рисками технического, юридического и регуляторного характера. **Оптимальным решением компания считает организацию производства водорода из российского природного газа на территории Евросоюза, рядом с крупными потребителями, например, сталелитейными предприятиями**¹⁵⁰. Интересно, что к такому же выводу пришли специалисты из Норвегии, что отражено в её водородной стратегии. При этом в Норвегии, в отличие от России, предполагается обратная транспортировка CO₂ для утилизации.

Также стоит отметить, что подмешивать водород к природному газу физически возможно только в газообразном состоянии, добавить его в СПГ не получится из-за разной температуры ожижения.

Что касается перспектив экспорта водорода в Японию и Южную Корею, то здесь, вероятно, нужно рассматривать вариант транспортировки морским транспортом в жидких органических носителях (ЛОНС), в сжиженном виде, а также в виде аммиака и метанола. В России таких технологий пока нет, зато их активно осваивает Япония в сотрудничестве с Брунеем и Австралией. При этом о. Сахалин, где планируется создание водородного кластера, несопоставимо ближе к Японии, чем эти (и вообще любые другие) государства.

6. Международное сотрудничество

Япония не только стала первой в мире страной, утвердившей водородную стратегию, но и первой страной, начавшей заключать международные соглашения о сотрудничестве в сфере водородных технологий. В 2018 г. страна заключила первый меморандум о сотрудничестве в этой области с Новой Зеландией, а затем с Австралией, Саудовской Аравией, ОАЭ и в 2021 г. – с Россией (Таблица 7). Кроме того,

¹⁴⁹ Литвиненко В. С., Цветков П. С., Двойников М. В. и др. Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики // Записки Горного института. – 2020. – № 244. – С. 428–438.

¹⁵⁰ «Газпром» заявил о возможном пересмотре цен на газ из-за экспорта водорода // ТАСС. – 25.03.2021. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/10992241>



японские компании реализуют проект по производству водорода в Брунее, в рамках которого в конце 2020 г. была совершена первая в мире международная транспортировка водорода в виде жидких органических соединений (ЛОНС). При этом сам водород не является «чистым» или даже «низкоуглеродным» – он производится методом паровой конверсии метана. Интересно, что прочие страны, с которыми Япония заключила соглашения о сотрудничестве (включая Россию), также не планируют в ближайшее время делать акцент на производстве «чистого» водорода. В основном речь идёт о «голубом» водороде, получаемом методом паровой конверсии метана или газификацией угля (например, в Австралии в рамках проекта HESC) с использованием технологий улавливания и хранения углекислого газа.

Среди стран Евросоюза наиболее активную политику в сфере водородной экономики проводит Германия. Вслед за Японией она начала работать над обеспечением диверсификации поставок водорода, заключив соглашения о сотрудничестве с целым рядом стран вне ЕС (Таблица 7). Интерес потенциальных производителей водорода к партнёрству с Германией стимулировал выделение средств на международное сотрудничество в сфере водорода в размере 2 млрд евро. Однако если учесть, что в большинстве стран мощности по производству водорода с низким углеродным следом надо создавать с нуля, а также, что ещё более важно – разрабатывать и создавать технологии его транспортировки и хранения, 2 млрд евро – не такая большая сумма, особенно если она будет разбита на несколько стран. При этом достижение каких-либо договорённостей, подкреплённых заключением соглашений, не является гарантом плодотворного сотрудничества. Например, Марокко, с которой Германия заключила своё первое соглашение о сотрудничестве в сфере водорода в июне 2020 г., через год расторгла его по политическим причинам¹⁵¹.

Что касается возможного сотрудничества Германии с Россией, то его перспективы пока только обсуждаются. В сентябре 2021 г. Российско-Германская внешнеторговая палата выступила за более интенсивное сотрудничество между Германией и Россией в области водородной энергетики. При этом важно, что речь шла именно о «чистом» водороде¹⁵².

¹⁵¹ Morocco halts green hydrogen agreement with Germany // Atalayar. – 31.05.2021. – URL: <https://atalayar.com/en/content/morocco-halts-green-hydrogen-agreement-germany>

¹⁵² Российско-Германская ВТП призывает к пилотному проекту по водороду / Российско-Германская внешнеторговая палата. – 24.09.2021. – URL: <https://russland.ahk.de/ru/mediacentr/novosti/detail/rossiisko-germanskaja-vtp-prizyvaet-k-pilotnomu-proektu-po-vodorodu>



Обсуждается также возможность взаимодействия России с Южной Кореей, в частности, в сфере развития водородного транспорта¹⁵³.

Таким образом, на сегодняшний день Россия заключила соглашение о сотрудничестве в сфере водородной энергетики только с одним из трёх потенциальных партнёров – Японией. В этом отношении страна серьёзно отстает от многих возможных конкурентов.

Таблица 7 – Международное сотрудничество Германии, Японии и Южной Кореи в сфере водорода

Потенциальный импортёр	Потенциальный экспортёр	Международные соглашения и заявления
Германия	Марокко	Июнь 2020 Водородное соглашение Германии и Марокко ¹⁵⁴ Май 2021 г. Марокко прекратила действие соглашения ¹⁵⁵
	Тунис	15.12.2020 Соглашение о создании альянса «зелёного» водорода Германии и Туниса ¹⁵⁶
	Саудовская Аравия	11.03.2021 Меморандум о взаимопонимании по водородному сотрудничеству Германии и Саудовской Аравии ¹⁵⁷
	Австралия	13.06.2021 Совместная декларация о сотрудничестве в сфере «зелёного» водорода ¹⁵⁸
	Чили	29.06.2021 Соглашение о продвижении «зелёного» водорода между Германией и Чили ¹⁵⁹
	Оман	19.07.2021 Соглашение о сотрудничестве в рамках проекта HYPORТ Duqm с компанией Uniper ¹⁶⁰

¹⁵³ Russia, South Korea considering projects on hydrogen transport // TASS. – 02.09.2021. – URL: <https://tass.com/economy/1332835>

¹⁵⁴ Bundesregierung unterzeichnet Wasserstoff-Abkommen mit Marokko / Ghorfa Arab-German Chamber of Commerce and Industry. – 12.06.2020. – URL: <https://ghorfa.de/de/bundesregierung-unterzeichnet-wasserstoff-abkommen-mit-marokko/>

¹⁵⁵ Morocco halts green hydrogen agreement with Germany // Atalayar. – 31.05.2021. – URL: <https://atalayar.com/en/content/morocco-halts-green-hydrogen-agreement-germany>

¹⁵⁶ New MOU signed for the establishment of a Tunisian-German green hydrogen alliance (Power-to-X) / RCREEE. – 16.12.2020. – URL: <https://www.rcreee.org/news/new-mou-signed-establishment-tunisian-german-green-hydrogen-alliance-power-x>

¹⁵⁷ Minister Altmaier signs Memorandum of Understanding on German-Saudi hydrogen cooperation/ Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. – 11.03.2021. – URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2021/03/20210311-altmaier-signs-memorandum-of-understanding-on-german-saudi-hydrogen-cooperation.html>

¹⁵⁸ Australia and Germany Partner on Hydrogen Initiatives / Prime Minister of Australia. – 13.06.2021. – URL: <https://www.pm.gov.au/media/australia-and-germany-partner-hydrogen-initiatives>

¹⁵⁹ Chile and Germany Sign Agreement for the Promotion of Green hydrogen / Energy Partnership Chile-Alemania. – 29.06.2021. – URL: <https://www.energypartnership.cl/newsroom/chile-and-germany-sign-green-hydrogen-agreement/>

¹⁶⁰ HYPORТ® Duqm signs cooperation agreement with Uniper to explore green ammonia offtake / Uniper. – 19.07.2021. – URL: <https://www.uniper.energy/news/hyport-duqm-signs-cooperation-agreement-with-uniper-to-explore-green-ammonia-offtake>



Потенциальный импортёр	Потенциальный экспортёр	Международные соглашения и заявления
	Намибия	25.08.2021 Совместное коммюнике о намерениях установить водородное партнерство Германии и Намибии ¹⁶¹
	Россия	24.09.2021 Выступление Российско-Германской внешнеторговой палаты за более интенсивное сотрудничество между Германией и Россией в области альтернативной энергетики, в том числе водородной ¹⁶²
Япония	Новая Зеландия	23.10.2018 Меморандум о сотрудничестве в сфере водорода между Японией и Новой Зеландией ¹⁶³
	Австралия	10.01.2020 Совместное заявление о сотрудничестве Японии и Австралии в сфере водорода и топливных элементов ¹⁶⁴
	Бруней	18.12.2020 Первая поставка водорода в виде жидких органических соединений (ЛОНС) из Брунея в Японию в рамках проекта, реализуемого консорциумом японских компаний ¹⁶⁵
	Саудовская Аравия	25.03.2021 Меморандум о взаимопонимании по сотрудничеству в сфере «голубого» водорода и «голубого» аммиака между компаниями ENEOS (Япония) и Saudi Aramco (С. Аравия) ¹⁶⁶
	ОАЭ	08.04.2021 Меморандум о сотрудничестве в сфере водорода между Японией и ОАЭ ¹⁶⁷
	Россия	02.09.2021 Совместное заявление о сотрудничестве Японии и России в области устойчивой энергетики ¹⁶⁸
Южная Корея	ОАЭ	04.03.2021 Соглашение между Южной Кореей и ОАЭ о сотрудничестве в сфере водородной экономики ¹⁶⁹
	Австралия	Сентябрь 2021 Соглашение с Австралией о намерении по объединению усилий в развитии водородных технологий ¹⁷⁰

¹⁶¹ Karliczek: Germany and Namibia form partnership for green hydrogen / Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. – 25.08.2021. – URL: https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/2021/08/172_namibia_eng.pdf?blob=publicationFile&v=1

¹⁶² Российско-Германская ВТП призывает к пилотному проекту по водороду / Российско-Германская внешнеторговая палата. – 24.09.2021. – URL: <https://russland.ahk.de/ru/mediacentr/novosti/detail/rossiisko-germanskaja-vtp-prizyvaet-k-pilotnomu-proektu-po-vodorodu>

¹⁶³ METI and New Zealand Government Sign Memorandum of Cooperation on Hydrogen / METI. – 23.10.2018. – URL: https://www.meti.go.jp/english/press/2018/1023_006.html

¹⁶⁴ Joint Statement on Cooperation on Hydrogen and Fuel Cells Between the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan and The Department of Industry, Innovation and Science of Australia / METI. – 10.01.2020. – URL: <https://www.meti.go.jp/press/2019/01/20200110007/20200110007-3.pdf>

¹⁶⁵ The World's First International Hydrogen Supply Chain realised between Brunei and Japan / Ministry of Energy. – Brunei Darussalam. – 05.05.2020. – URL: <https://www.me.gov.bn/Lists/News/View.aspx?ID=214>

¹⁶⁶ ENEOS signs MoU with Aramco for blue hydrogen and blue ammonia Collaboration / ENEOS. – 25.03.2021. – URL: https://www.eneos.co.jp/english/newsrelease/2020/pdf/20210325_01.pdf

¹⁶⁷ State Minister Ejima Signs MOC on Hydrogen with H.E. Suhail Mohamed Al Mazrouei, Minister of Energy and Infrastructure, UAE / METI. – 09.04.2021. – URL: https://www.meti.go.jp/english/press/2021/0409_001.html

¹⁶⁸ Joint Statement of Intent between the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan and the Ministry of Energy of the Russian Federation on Cooperation in the field of Sustainable Energy / METI. – 02.09.2021. – URL: <https://www.meti.go.jp/press/2021/09/20210903002/20210903002-1.pdf>

¹⁶⁹ Korea partners with UAE for hydrogen economy // The Korea Herald. – 04.03.2021. – URL: <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20210304000936>

¹⁷⁰ South Korea and Australia Sign a Letter of Intent for Hydrogen Cooperation // FuelCellsWorks. – 23.09.2019. – URL: <https://fuelcellworks.com/news/south-korea-and-australia-sign-a-letter-of-intent-for-hydrogen-cooperation/>



Потенциальный импортёр	Потенциальный экспортёр	Международные соглашения и заявления
	Россия	03.09.2021 Рассмотрение возможности реализации совместных проектов России и Южной Кореи по развитию водородного транспорта ¹⁷¹

Примечание: составлено ИПЕМ по материалам СМИ

7. Перспективы России в сфере водородной энергетики

Если сравнить потенциальных экспортёров водорода по некоторым показателям, характеризующим их сильные и слабые стороны в этой сфере (Таблица 8), можно отметить, что в каждой из рассмотренных стран есть и те, и другие. При этом наиболее выигрышно среди прочих стран выглядит Австралия, в которой действуют ВИЭ с самой высокой (среди потенциальных рассмотренных экспортёров) установленной мощностью, уже есть действующие предприятия по производству «возобновляемого» водорода и опыт в технологиях улавливания и хранения CO₂ для развития производства «низкоуглеродного» водорода, а также заключены соглашения о сотрудничестве с тремя возможными импортёрами. В то же время географическое положение Австралии обуславливает длинное плечо перевозок, в особенности со странами ЕС, а высокий уровень дефицита пресной воды – необходимость строительства дополнительных мощностей ВИЭ для опреснительных станций.

Благоприятны также перспективы Норвегии как потенциального поставщика водорода в Евросоюз.

Развитие производства «чистого» водорода в Чили потребует значительных вложений, главным образом на строительство мощностей ВИЭ, которые понадобятся, в том числе, для работы опреснительных предприятий. Даже если в Чили действительно будет налажено производство самого дешёвого «возобновляемого» водорода, существенную долю затрат обеспечит его транспортировка, во всяком случае в кратко- и среднесрочной перспективе.

В странах Ближнего Востока (Саудовская Аравия, Оман, ОАЭ) основной проблемой является очень высокий уровень дефицита пресной воды. При этом их стоит рассматривать как серьёзных конкурентов России, поскольку эти страны заключили целый ряд международных соглашений о сотрудничестве. Благодаря

¹⁷¹ Russia, South Korea considering projects on hydrogen transport // TASS. – 02.09.2021. – URL: <https://tass.com/economy/1332835>



географическому положению этих ближневосточных стран экспорт водорода и продуктов на его основе может осуществляться морским транспортом как в страны ЕС, так и в страны Азии. В 2020–2021 гг. уже была осуществлена транспортировка «низкоуглеродного» аммиака из Саудовской Аравии и ОАЭ в Японию¹⁷².

Что касается стран Африки (Марокко, Тунис, Намибия, Мавритания), то их амбиции как поставщиков водорода напрямую зависят от финансирования со стороны ЕС и политических решений, в том числе внутренних.

Перспективы России в качестве экспортёра водорода на мировые рынки на фоне рассмотренных стран выглядят умеренными. Основные преимущества страны – близость к потенциальным рынкам сбыта и наличие значительных ресурсов пресной воды. В число слабых сторон входит низкий уровень международной активности в данном направлении и отсутствие апробированных в России технологий как по производству «низкоуглеродного» и «возобновляемого» водорода, так и по его транспортировке. К примеру, все страны, нацеленные прежде всего на производство «низкоуглеродного» водорода, за исключением РФ, имеют опыт реализации технологий улавливания и хранения углекислого газа.

¹⁷² World's first blue ammonia shipment opens new route to a sustainable future / Saudi Arabian Oil Co. – 27.09.2020. – URL: <https://www.aramco.com/en/news-media/news/2020/first-blue-ammonia-shipment>
UAE sells another blue ammonia shipment to Japan in push toward hydrogen // The Japan Times. – 19.08.2021. – URL: <https://www.japantimes.co.jp/news/2021/08/19/business/corporate-business/uae-blue-ammonia-japan/>

Таблица 8 – Сравнение России и её потенциальных конкурентов по экспорту водорода

Показатель	Россия	Австралия	Чили	Норвегия	Сауд. Аравия	Оман	ОАЭ	Марокко	Тунис	Намибия	Мавритания
Тип водорода ¹⁷³	н.-угл.	н.-угл.	возоб.	н.-угл.	н.-угл.	возоб.	н.-угл.	возоб.	возоб.	возоб.	возоб.
Степень географической близости, в т. ч. к рынкам:											
стран ЕС	высокая	низкая	низкая	высокая	средняя	средняя	средняя	высокая	высокая	низкая	средняя
Японии и Ю. Кореи	высокая	средняя	низкая	низкая	средняя	средняя	средняя	низкая	низкая	низкая	низкая
Соглашения на нац. уровне в сфере водорода, в т. ч.:											
с Германией	-	+	+	-	+	+	-	-*	+	+	-
с Японией / Ю. Кореей	+ / -	+ / +	- / -	- / -	+ / -	- / -	+ / +	- / -	- / -	- / -	- / -
Действующие проекты по пр-ву «возоб.» водорода	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Действующие проекты по CCS ¹⁷⁴	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-
Установленные мощности ВИЭ (СЭС и ВЭС) ¹⁷⁵ , ГВт	3,5 ¹⁷⁶	27,1	5,4	4,1	0,4	0,2	2,5	2,1	0,3	0,2	0,1
Уровень дефицита пресной воды ¹⁷⁷	низкий – средний	высокий	высокий	низкий	очень высокий	очень высокий	очень высокий	высокий	высокий	высокий	средний – высокий

Примечания: составлено ИПЕМ;

сокращения: С. Аравия – Саудовская Аравия, Ю. Корея – Южная Корея, н.-угл. – «низкоуглеродный», возоб. – «возобновляемый», в т. ч. – в том числе, пр-ву – производству;

* соглашение о сотрудничестве в сфере водорода между Марокко и Германией было заключено в июне 2020 г. В мае 2021 г. его действие было прекращено Марокко

¹⁷³ Приоритетный тип водорода, который планирует производить страна

¹⁷⁴ По данным Global CCS Institute на 2020 г.

¹⁷⁵ По умолчанию – по данным IRENA на конец 2020 г.

¹⁷⁶ Оценка по состоянию на 26.10.2021 по данным схем и программ развития электроэнергетики, генерирующих компаний и ассоциации «НП «Совет рынка».

¹⁷⁷ По данным Rystad Energy на 2021 г.



Для оценки перспектив России также можно рассмотреть данные о планируемых объёмах импорта и экспорта водорода некоторых стран, взятые из стратегических документов (Таблица 9). В частности, потребности Японии в водороде, обозначенные в водородной «дорожной карте» страны, теоретически могут быть удовлетворены Австралией и Чили как к 2030 г., так и к 2050 г. В то же время надо учитывать, что водородные стратегии этих стран предполагают диверсификацию поставок водорода и выход также на другие рынки. Потребности Германии к 2030 г. могут быть достаточно существенными, чем Россия могла бы воспользоваться при благоприятных обстоятельствах. В то же время оптимистические планы России по экспорту 30 млн т водорода к 2050 г. кажутся не вполне обоснованными с учётом того, что Япония к этому периоду планирует потреблять только 5–10 млн т. В этой связи показатель в 11 млн т выглядит оптимальным при условии форсирования сотрудничества с Японией (а также Южной Кореей).

Конечно, доля условности таких оценок чрезвычайно высока, поскольку данные есть далеко не по всем странам, они неполные и не вполне репрезентативные, но тем не менее позволяют сделать некоторые выводы. К примеру, о важности скорости, с которой должны приниматься решения, в том числе о международном сотрудничестве в сфере водорода; о важности развития технологии для занятия своей ниши на зарождающемся мировом рынке водорода.

Таблица 9 – Планируемые объёмы импорта и экспорта водорода в ряде стран, млн т

Страна	2030	2035	2050
<i>Планируемый объём импорта</i>			
Германия	2,3–2,9*	1,9–2,5*	н / д
Япония	0,3	н / д	5–10
<i>Планируемый объём экспорта</i>			
Австралия	0,5	н / д	6,75
Чили	0,6*	н / д	18*
Россия	2,75–2,9 (6,4)	н / д	11,3–11,9 (30)

Примечания: составлено ИПЕМ по данным водородных стратегий и «дорожных карт» стран;
н / д – нет данных;

* оценка ИПЕМ по данным водородных стратегий и «дорожных карт» стран;
для России использовались данные программы Минэнерго (не утверждена); в скобках указаны оптимистические планы по экспорту

В программе развития низкоуглеродной водородной энергетики, подготовленной Минэнерго, в качестве одного из потенциальных импортёров российского водорода указывается Китай. Однако, перспективы сотрудничества России и КНР в сфере водорода невелики, поскольку, как было отмечено выше (см. раздел 4.2), Китай планирует обеспечивать себя водородом самостоятельно.



Более того, сложная геополитическая ситуация, возникшая в начале 2022 г., ставит под вопрос экспортные перспективы России в целом и по водороду – в частности. Все главные потенциальные партнёры страны по торговле водородом (Германия, Япония, Южная Корея) вошли в перечень недружественных стран¹⁷⁸. Несомненно, в будущем ситуация может измениться, однако напрашивается вывод о том, что **стратегия, ориентированная на экспорт водорода из России, – нецелесообразна.** России необходимо создавать и развивать технологии производства низко- и безуглеродного водорода, а также его хранения и транспортировки в первую очередь для **увеличения внутреннего потребления H₂.** В том случае, если отечественные водородные технологии по уровню технологической готовности будут соответствовать мировым, обеспечение экспортных поставок в необходимом объёме при наличии благоприятной конъюнктуры не вызовет проблем. В ином случае, даже своевременный выход на проектную производственную мощность предприятий по производству «голубого» и «зелёного» водорода может не привести к положительному экономическому эффекту, например, из-за отсутствия налаженных каналов сбыта H₂ за рубеж и ограниченности направлений потребления на внутреннем рынке. Таким образом, **инвестиции (в особенности, из федерального бюджета), в первую очередь необходимо направить на НИР и НИОКР в сфере водородных технологий,** а также строительство пилотных установок.

В целом, рассуждая о будущем мировом рынке водорода, необходимо учитывать целый ряд аспектов, включая экологические. В основе идеи масштабного использования водорода – его климатическая нейтральность¹⁷⁹. Однако существуют исследования, в которых рассматривается вклад непосредственно водорода в парниковый эффект: указывается, что он является косвенным парниковым газом, увеличение его концентрации в атмосфере приведёт к росту содержания в ней метана¹⁸⁰. Влияние водорода на уровень парниковых газов в атмосфере подтверждает и недавнее исследование учёных из США, изучавших образцы керна антарктического льда¹⁸¹. К сожалению, в настоящее время эти фундаментальные

¹⁷⁸ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 05.03.2022 г. № 430-р

¹⁷⁹ Имеется в виде именно «возобновляемый» и, отчасти, «низкоуглеродный» водород

¹⁸⁰ Prather, Michael J. Atmospheric science. An environmental experiment with H₂? // Science. – 2003. – Vol. 302. – С. 581–582

Atmospheric implications of increased Hydrogen use / OGL. – 2022. – 75 с.

¹⁸¹ Patterson, John D; Aydin, Murat, etc. H₂ in Antarctic firn air: Atmospheric reconstructions and implications for anthropogenic emissions // PNAS. – 2021. – Vol. 118. – Number 36. – 13.07.2021. – 8 с.



вопросы поднимаются крайне редко и не принимаются во внимание при принятии стратегических решений.

8. Выводы

1. Масштабное применение водорода в различных сферах человеческой деятельности – принципиально новое направление, перспективы которого до сих пор остаются неопределёнными. При этом объём инвестиций, который необходимо затратить на развитие водородной энергетики, весьма высок – только для Евросоюза он оценивается в 320–458 млрд евро в период с 2020 по 2030 гг., и без государственной поддержки в обозримой перспективе «водородное будущее» не может быть построено.
2. Тема водорода очень неоднозначна и порождает активную борьбу лоббистов водородной энергетики и её критиков. В первую очередь критика касается возможного применения водорода для теплоснабжения жилых помещений и в автомобильном транспорте из соображений безопасности и эффективности. В то же время использование водорода для декарбонизации промышленности (при выплавке стали, производстве цемента и удобрений), в энергетике, а также в качестве альтернативного топлива для крупнотоннажного грузового (в особенности водного) транспорта признаётся экспертным сообществом вполне целесообразным.
3. Развитию водородной энергетики препятствует ряд серьёзных барьеров:
 - высокие издержки производства «возобновляемого» и «низкоуглеродного» водорода;
 - отсутствие оптимальных и доступных по цене технологий транспортировки и хранения водорода;
 - отсутствие технологий по улавливанию и хранению углекислого газа в ряде стран, стремящихся стать значимыми производителями «низкоуглеродного» водорода;
 - дефицит пресной воды в ряде стран, планирующих крупномасштабное производство водорода методом электролиза.
4. Развитие водородной энергетики должно сопровождаться тщательными исследованиями в области экологии и климатологии, т.к. негативные эффекты



- от значительных утечек водорода в атмосферу могут превысить положительный эффект в части сокращения выбросов парниковых газов.
5. Актуальным вопросом является стандартизация типов водорода по способу производства и сырью. За основу можно взять классификацию, изложенную в водородной стратегии Европейского союза. Это позволит более квалифицированно обсуждать применимость тех или иных технологий производства водорода, а также сопоставлять возможности экспортёров и требования импортёров в части углеродного следа водорода.
 6. О желании занять свои ниши на зарождающемся рынке водорода заявило достаточно большое количество стран с различным потенциалом в этой сфере. В связи с этим России перед выходом на рынок целесообразно провести тщательный анализ всех возможных конкурентов и разработать оптимальную стратегию в части позиционирования на глобальном рынке водорода.
 7. Целевые показатели по экспорту водорода, заложенные в российской концепции развития водородной энергетики и программе развития низкоуглеродной водородной энергетики, достаточно амбициозны с учётом отсутствия многих технологий и компетенций (например, в части улавливания и хранения CO₂).
 8. В свете сложной геополитической ситуации России следует ориентироваться в первую очередь на расширение объёмов и направлений внутреннего потребления водорода. Для сохранения конкурентного преимущества необходимо разрабатывать и развивать водородные технологии, направлять инвестиции в НИР, НИОКР и создание пилотных установок.
 9. В рамках расширения возможностей по реализации экспортного потенциала России необходимо ускорить принятие решений по сотрудничеству в сфере водородной экономики, в особенности со странами Восточной Азии (поскольку они уже начали пилотные поставки водорода из других стран).
 10. Для эффективного сотрудничества с Евросоюзом в перспективе оптимальным вариантом представляется создание заводов по производству водорода из российского природного газа на территории стран ЕС рядом с промышленными предприятиями-потребителями. При таком варианте



появляется возможность использования разрабатываемых странами Европы проектов CCS. В этой связи наиболее перспективным является создание водородного кластера на Северо-Западе России.

11. Создание производственного водородного кластера на о. Сахалин позволит обеспечить эффективное сотрудничество с Японией и Южной Кореей, но необходимо учитывать риски высокой сейсмичности данных территорий.