

# Российский акцент в мировом энергопереходе

## Russian accent in the global energy transition

Владимир АРУТЮНОВ

Иностраный член НАН Республики Армения,  
профессор, д. х. н., главный научный сотрудник,  
Федеральный исследовательский центр  
химической физики им. Н.Н. Семенова РАН,  
Институт проблем химической физики РАН  
e-mail: v\_arutyunov@mail.ru

Краковский уезд, Польша

Vladimir ARUTYUNOV

Foreign member of NAS of Republic Armenia,  
professor, Dr. Sci. in Chemistry, chief researcher,  
N.N. Semenov Federal Research Center  
for Chemical Physics, RAS, Institute of Problems  
of Chemical Physics, RAS  
e-mail: v\_arutyunov@mail.ru

Источник: welcomia / Depositphotos.com



Аннотация. Рассмотрены причины современных мировых трендов отношения к углеводородным ресурсам. Отмечены необоснованность культивируемых в настоящее время надежд на будущую глобальную роль возобновляемой энергетики и ее определяющий вклад в стабилизацию еще плохо понимаемых климатических процессов, а также долговременный потенциал традиционных углеводородных ресурсов. Основной вывод – необходимость формирования отечественных приоритетов в области энергетики и нефтегазохимии на основе отечественных реалий и интересов, а не трендов, отражающих зарубежные приоритеты.

*Ключевые слова:* энергетика, глобальный климат, углеводородные ресурсы, нефтегазохимия.

Abstract. The reasons for the current global trends in the attitude to hydrocarbon resources are considered. It is noted that the currently cultivated expectations for the future global role of renewable energy and its decisive contribution to the stabilization of still poorly understood climate processes, as well as the long-term potential of traditional hydrocarbon resources, are groundless. The main conclusion is the need to form national priorities in energy and petrochemistry on the basis of national realities and interests, and not trends that reflect foreign priorities..

*Keywords:* energy, global climate, hydrocarbon resources, petrochemistry.



## Энергия солнца – единственный первоисточник возобновляемой энергии. Энергии приливов, ветра и биомассы являются ее производными

### Введение

Мировую политику в области энергетики в настоящее время определяют глобальные тренды, наиболее активными проводниками которых выступают развитые европейские страны. Катализатором формирования этих трендов стали наблюдаемые изменения глобального климата, прежде всего высокие темпы роста средней температуры земной поверхности [1]. Несмотря на не очень убедительную научную аргументацию и наличие альтернативных точек зрения [2], общественное мнение развитых стран однозначно связывает эти процессы с повышением концен-

трации парниковых газов в атмосфере [3], вызванным антропогенными факторами. Столь высокая чувствительность европейцев к проблеме глобального климата вполне объяснима, так как современные благоприятные климатические условия Западной Европы формируются тонким балансом морских и воздушных течений, любое серьезное изменение которых может его необратимо нарушить [4]. Достаточно отметить, что имеющие столь разные климатические условия Стокгольм и Магадан расположены на одной широте.

Еще одним фактором, влияющим на отношение населения большинства развитых стран к современной энергетике и, соответственно, государственную политику в этой области, являются постоянно растущие требования к качеству жизни, включая не только объем доступных материальных благ, но и качество окружающей среды. Возникшие во многих странах природозащитные движения и связанные с ними политические партии предъявляют постоянно растущие требования к чистоте воздуха, воды, утилизации промышленных и бытовых отходов, качеству продуктов питания, с которыми уже не могут не считаться их правительства.

В конце прошлого века политики и бизнесмены осознали в общем-то очевидный факт, что ресурсы ископаемых углеводородов, обеспечивающие современный высокий уровень жизни и энергопотребления, не только не вечны, но и уже близки к исто-

щению. И рано или поздно человечеству придется переходить на другие источники энергии.

Реакцией на изменение климата и экологические проблемы густонаселенных регионов планеты стало обвинение современной индустрии и энергетики в ущербе, наносимом ими окружающей среде не только промышленных регионов, но и биосфере планеты в целом. Несомненно, экологические движения стимулировали повсеместный переход на более эффективные и экологически дружелюбные промышленные и энергетические технологии, способствовали повышению внимания к сокращению объема промышленных и бытовых отхо-



Солнечные панели на крышах Амстердама  
Источник: commons.m.wikimedia.org

дов и повышению степени их утилизации. Но на фоне очевидных успехов в снижении локального промышленного прессинга на окружающую среду и повышения качества жизни, особенно в густонаселенных промышленных регионах, природозащитные движения перешли к тотальному прессингу на современную промышленность и энергетику. К сожалению, при этом часто не учитывается то, что полномасштабный переход к «зеленому» промышленным технологиям, «зеленой» энергетике и не использующему минеральные удобрения, пестициды и генномодифицированные сорта сельскохозяйственных культур «органическому» сельскому хозяйству невозможен без повышения стоимости и сокращения

объема продукции соответствующих отраслей. А это означает снижение объема их потребления населением, то есть уровня жизни. Кроме того, полномасштабная реализация выдвигаемых экологических требований невозможна без прогрессивного роста затрат энергии и тех же самых природных ресурсов, то есть увеличения техногенной нагрузки на окружающую среду и ускорения антропогенного прессинга на природу.

Примером явно неразумных решений, на которые толкают правительства природозащитные движения ряда стран, является принятое федеральным правительством Германии и одобренное бундестагом решение отказаться от национальной ядерной энергетики. Замена наименее травмирующей окружающую среду атомной энергетики выращиванием в промышленных масштабах биотопливных монокультур или другими видами возобновляемых источников энергии (ВИЭ) не только ведет к дополнительным проблемам с энергоресурсами в стране, но и гораздо сильнее травмирует природные экосистемы [5].

Прогрессивное развитие человечества, являющееся закономерной реализацией фундаментальных природных процессов, невозможно без постоянного роста потребления им природных ресурсов и энергии, что, к сожалению, нереально без постоянной трансформации окружающей нас среды [6]. Поэтому наиболее разумная глобальная политика в области экономического развития, энергетики и экологии должна быть направлена не на сохранение существующих условий, а на адаптацию к происходящим переменам.

### Энергетика и климатические процессы

Одной из главных обвиняемых в глобальных климатических изменениях объявлена современная энергетика. С середины XIX века и вплоть до настоящего времени она более чем на 80 % базируется на ископаемом углеводородном сырье. В XIX веке это был уголь, в XX веке доминировала нефть, в недалеком будущем первенство ресурсам природного газа [7]. Несмотря на прогнозируемые проблемы с нефтяными ресурсами, их ожидаемое сокращение с лихвой может быть компенсировано ре-



Ветровая электростанция на побережье Франции

Источник: Amandine26 / Depositphotos.com

сурсами природного газа и угля и быстро прогрессирующими технологиями GTL (Gas to Liquids) и CTL (Coal to Liquids), которые позволяют производить синтетическую нефть и нефтехимические продукты [8, 9].

Однако под давлением обвинений углеродной энергетики в глобальных климатических изменениях как следствия эмиссии CO<sub>2</sub> началось интенсивное развитие альтернативных, «зеленых» методов генерации энергии. Ведущими среди них являются солнечная, ветровая и биоэнергетика. Дополнительным стимулом этих усилий является понимание того, что со временем человечество все равно будет вынуждено искать замену углеродной энергетике.

При анализе перспектив возобновляемых источников энергии необходимо помнить, что все они, за исключением крайне незначительной по своему потенциалу геотермальной энергетики, являются производными падающей на Землю солнечной радиации. Энергия солнечного излучения – единственный первичный источник возобновляемой энергии на Земле. Все остальные: гидроэнергетика, энергия приливов, ветра и биомассы являются ее производными. Поэтому глобальный потенциал возобновляемой энергетики определяется только потоком падающей на земную поверхность солнечной энергии.

Полный ресурс солнечной радиации огромен – верхней границы атмосферы Земли за год достигает поток энергии в  $\sim 5,6 \cdot 10^{24}$  Дж, что примерно в 5 тысяч раз превышает современный объем потребляемой в мире энергии. Примерно 35 % этой энергии атмосфера Земли отражает обратно в космос, а остальная энергия расходуется на нагрев земной поверхности, испарительно-осадочный цикл в атмосфере, образование волн в морях и океанах, воздушных и океанских течений и ветра, а также процессы фотосинтеза. В ходе этих процессов высокопотенциальная энергия ультрафиолетового и видимого диапазонов солнечной радиации превращается

---

**Прогрессивное развитие человечества невозможно без постоянного роста потребления природных ресурсов и энергии, что, к сожалению, нереально без постоянной трансформации окружающей нас среды**

---

в низкопотенциальную энергию нагретой поверхности Земли, средняя температура которой примерно 20°C, испускаемую в виде инфракрасного излучения обратно в космическое пространство.

Принципиальный недостаток солнечной радиации для использования в промышленной энергетике был отмечен еще 40 лет назад П. Л. Капицей [10] – низкая плотность потока энергии и, соответственно, огромные площади, сотни тысяч квадратных километров, с которых необходимо собирать солнечное излучение для промышленных целей. При масштабах современной энергетике в земной коре может просто не хватить сырья для производства не только редких элементов, используемых при изготовлении солнечных панелей, но и обычных конструкционных материалов. Неизбежны и серьезные экологические проблемы из-за рассеивания в биосфере вредных отходов производства и последующей утилизации панелей. К сожалению, проблеме доступности сырья для производства самих возобновляемых источников [11] и связанным с их производством, эксплуатацией и утилизацией экологическим проблемам [7] пока не уделялось должного внимания.

### Декарбонизация мировой энергетики

Несмотря на очевидные проблемы использования возобновляемых источников энергии в промышленных масштабах, существующие мировые тенденции отводят им определяющую роль в стабилизации глобального климата и перспективах долгосрочного развития мировой экономики. А главной целью развития мировой энергетики провозглашена ее декарбони-

**Экологические движения и партии многих стран предъявляют постоянно растущие требования к чистоте воздуха, воды, утилизации отходов, с которыми уже не могут не считаться правительства**



Геотермальная энергетика Исландии  
Источник: [digitalsubstation.com](http://digitalsubstation.com)

зация. В 2015 г. представители 196 стран подписали Парижское соглашение по климату, вступившее в силу 4 ноября 2016 г. Целью соглашения является разработка и реализация стратегии снижения эмиссии парниковых газов, в основном CO<sub>2</sub>, путем снижения доли углеводородных источников в мировом энергобалансе за счет перехода на возобновляемые источники энергии и не содержащие углерод энергоносители, в первую очередь водород.

Однако реальный потенциал возобновляемых источников энергии значительно ниже даже текущих потребностей мировой энергетики [7]. Он вряд ли будет способен обеспечить быстро растущее мировое потребление энергии, необходимое для стабилизации экономической и социальной обстановки в развивающихся странах, в которых живет более половины населения планеты. Поэтому, несмотря на очевидные успехи последних лет в области ВИЭ и энтузиазм их поклонников, все серьезные прогнозы на обозримый период отводят им долю в мировом энергобалансе всего в несколько процентов [12]. Вследствие этого, несмотря на провозглашенную ведущую роль ВИЭ в декарбонизации, в последнее время основное внимание переключилось на более широкое использование водорода как более реальному пути декарбонизации энергетики.

Водород является самым распространенным элементом Вселенной, но Земля, в силу недостаточной силы тяжести, не способна удерживать в своей атмосфере свободный водород, выделяющийся в результате геотектонических процессов. Поэтому в земной атмосфере и коре нет

сколько-нибудь значительных ресурсов свободного водорода. С точки зрения энергетике водород – это вторичный энергоноситель, который может быть получен только на основе первичных источников. Его промышленное потребление с 1975 г. выросло в три раза и продолжает быстро увеличиваться, но практически исключительно за счет использования ископаемых источников, на что расходуется примерно 6 % мировой добычи природного газа и 2 % мировой добычи угля, сопровождаемое эмиссией около 830 млн т CO<sub>2</sub> в год [13].

В зависимости от объема CO<sub>2</sub>, образующегося в процессе его получения, водород принято делить на «серый» (получаемый конверсией ископаемых углеводородов), «голубой» (то же самое, но со сбором и захоронением образующегося при этом CO<sub>2</sub>) и «зеленый», получаемый исключительно на основе возобновляемых источников сырья и энергии.

Наиболее эффективная современная технология получения водорода, на которую приходится около 80 % его производства – паровой риформинг природного газа (Steam Reforming of Methane – SRM) [14, 15]. С учетом последующей паровой конверсии образующегося монооксида углерода из одной молекулы метана можно получить 4 молекулы H<sub>2</sub>. Энергия, выделяемая при их сгорании (низшая теплота сгорания водорода при нормальных условиях 10 800 кДж/м<sup>3</sup>), примерно эквивалентна энергии, выделяемой при сгорании исходной молекулы метана – 35 840 кДж/м<sup>3</sup>. Но с учетом большого дополнительного расхода энергии,

Солнце является единственным первоисточником возобновляемой энергетики  
Источник: [Shad.off / Depositphotos.com](http://Shad.off / Depositphotos.com)



### Несмотря на очевидные проблемы использования ВИЭ в промышленных масштабах, мир отводит им определяющую роль в стабилизации глобального климата и перспективах развития мировой экономики

в данном случае того же природного газа, на нагрев сырья и производство большого объема пара реальный расход природного газа в сложной и капиталоемкой технологии SRM примерно в два раза выше. При мировом производстве водорода в 2019 г. около 75 млн т (в основном на производство аммиака и нефтехимические процессы) расход природного газа на это составил примерно 205 млрд м<sup>3</sup>.

Поскольку получение водорода паровым риформингом сопровождается образованием CO<sub>2</sub> (примерно 10 кг CO<sub>2</sub>/кг H<sub>2</sub>), по экологической градации такой водород рассматривается, как «серый», то есть экологически непривлекательный и не способствующий снижению эмиссии CO<sub>2</sub> в атмосферу. Для того чтобы водород можно было считать «экологически» более чистым и повысить его привлекательность для решения экологических и климатических проблем, необходимо секвестировать как CO<sub>2</sub>, содержащийся в дымовых газах, образующихся при нагреве реагентов и производстве пара, так и CO<sub>2</sub>, образующийся при паровой конверсии монооксида углерода, то есть дополнить процесс SRM технологией сбора и захоронения углерода (Carbon Capture and Storage – CCS). Получаемый в таком совмещенном процессе водород можно квалифицировать как «голубой». Однако добавление технологии CCS увеличивает капитальные затраты технологии SRM на ~90 %, а операционные затраты – на ~33 %. При этом стоимость получаемого водорода возрастает почти в полтора раза – до 1,8 евро за кг, а цена утилизации CO<sub>2</sub> достигает 70 евро за тонну CO<sub>2</sub> [16]. Таким образом, помимо немалых капитальных затрат и сложного процессинга, переход на использование в качестве топлива «голубого» водорода, получае-

мого на основе совмещения технологий SRM+CCS, потребует почти утроения общего потребления природного газа по сравнению с его непосредственным использованием в энергетике. Соответственно, в три раза возрастет скорость истощения его природных ресурсов.

«Голубой» водород может быть также получен пиролизом природного газа [17, 18]. Такие процессы сейчас в небольшом объеме используют для производства технического углерода (сажи). Термодинамические оценки показывают, что дополнительный расход энергии непосредственно на пиролиз составит примерно 20 % от энергосодержания полученного  $H_2$ . Но реально на это потребуется не менее 50 %, то есть для пиролиза  $1 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$  потребуется  $2 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$  с суммарной низшей теплотой сгорания примерно  $71\,700 \text{ кДж}$ . При этом будет получено  $2 \text{ м}^3$  водорода с суммарной низшей теплотой сгорания  $21\,600 \text{ кДж}$ . Полный энергетический выход по отношению к затраченным ресурсам составит  $\sim 30\%$ . Таким образом, переход с природного газа в качестве источника энергии на водород, получаемый пиролизом метана, также потребует примерно трехкратного увеличения мирового потребления метана с  $\sim 4 \text{ трлн м}^3/\text{год}$  до  $\sim 12 \text{ трлн м}^3/\text{год}$ . Последняя величина примерно эквивалентна суммарному

### Переход с природного газа в качестве источника энергии на водород, получаемый пиролизом метана, потребует увеличения мирового потребления метана с 4 трлн м<sup>3</sup>/год до 12 трлн м<sup>3</sup>/год

мировому потреблению газа, нефти и угля. Для выхода на такой уровень добычи газа мировой экономике потребуются десятилетия и колоссальные инвестиции, а ресурсы газа будут убывать в 3 раза быстрее. Кроме того, ежегодно будет образовываться примерно 9 млрд т/год неостребованного мелкодисперсного углерода, современное мировое потребление которого всего около 40 млн т/год. Чтобы полученный водород мог считаться «голубым», этот углерод нельзя использовать в качестве топлива, и возникнет дополнительная проблема его транспортировки и захоронения.

Получение же «зеленого» водорода электролизом на основе возобновляе-

мых источников энергии остается самой дорогой технологией его производства. Стоимость такого водорода в 3 раза выше стоимости водорода, получаемого паровой конверсией метана, поэтому, несмотря на все усилия, доля «зеленого» водорода в его мировом производстве много меньше 1 %. И до сих пор в мире нет сколько-нибудь масштабных реализованных проектов получения водорода с использованием ВИЭ. Более реальные планы получения «безуглеродного» водорода пока предлагает только атомная энергетика при КПД электролиза около 40 %. Но доля самой атомной энергетики в мировом энергобалансе всего около

и дешевая электроэнергия, вырабатываемая термоядерными электростанциями, работающими в режиме базовой нагрузки, будет использоваться для получения водорода электролизом воды. Однако создание термоядерной энергетики оказалось гораздо более сложной проблемой, чем это представлялось в середине прошлого века, и практическое освоение энергии термоядерного синтеза, единственного реального глобального источника энергии для человечества в более отдаленном будущем, пока прогнозируется не ранее конца текущего века. Попытки же связать концепцию водорода как глобального энер-

Производство «зеленого» водорода

Источник: «Газпром»



Граффити с изображением производства водорода

Источник: «Газпром»

4 % и по ресурсным соображениям принципиально не может значительно превысить эту величину. Поэтому глобальные потребности в водороде этот источник обеспечить не может.

Необходимо напомнить, что сама идея использовать водород в качестве глобального энергоносителя возникла еще в конце 1960-х годов, когда отечественные успехи в области термоядерного синтеза, прежде всего, в создании токамаков, породили надежды на быстрое освоение этого вида энергии. Предполагалось, что обильная

гоносителя, изначально рассчитанную на доступную и дешевую электроэнергию, вырабатываемую на установках большой единичной мощности, с дорогой энергией маломощных и рассредоточенных источников возобновляемой энергии выглядят неубедительно.

Необходимо также учитывать, что в настоящее время более 90 % водорода производят непосредственно на месте его потребления (так называемый кэптивный продукт) и лишь менее 10 % поставляют специализированные компании, работа-

## С учетом проблем хранения и транспортировки водорода, наиболее разумным способом его экспорта могла бы быть поставка смеси природного газа с $H_2$ (до 40–50 % об.) по существующим газопроводам

ющие на рынке промышленных газов (Air Liquide, Linde, Praxair и др.). Переход к более широкому использованию водорода в различных секторах энергетики и на транспорте невозможен без практического решения отдельной не менее сложной проблемы, чем его получение – проблемы его хранения, транспортировки и распределения. И пока эта проблема еще далека от практического решения не только в промышленных масштабах, но и на уровне коммунального сектора и транспорта. Кроме того, массовое использование водорода, имеющего значительно более широкие пределы воспламенения и более высокую скорость горения, чем метан, невозможно без разработки мер, гарантирующих его безопасную эксплуатацию в быту и на транспорте.

### Перспективы углеводородной энергетики в России

Следует обратить внимание, что наиболее активными и даже агрессивными проводниками политики глобального перехода на ВИЭ являются те страны, которые испытывают наиболее серьезные проблемы с энергоресурсами. Эта политика не ограничивается стремлением обеспечить национальное энергопотребление за счет ВИЭ, но ставит своей целью побудить и другие страны, обладающие вполне достаточными традиционными энергоресурсами, такие как Россия, под предлогом глобальных климатических или экологических проблем перейти на такие источники. Причина такой политики очевидна. Высокая стоимость энергии, производимой из возобновляемых источников, делает ее потребителей менее конкурентоспособными на мировом рынке. В этом отношении очень показа-

тельны зигзаги последних десятилетий в энергетической политике США. До начала текущего века США были крупнейшим импортером энергоресурсов, и в попытке сбить цены на них активно финансировали проекты в области ВИЭ. Особенно ярко это проявилось в мощном государственном дотировании производства и потребления биотоплив. Однако, как только началась масштабная разработка месторождений сланцевых нефти и газа, превратившая США из импортера в экспортера энергоресурсов, большинство программ в области ВИЭ были свернуты или закрыты, дотация производства биотоплив сокращена, интерес к ним упал, а сами Соединенные Штаты вышли из Парижского соглашения по климату. Возвращение же новой администрации США в это соглашение носит не экономический, а исключительно политический характер.

Россия занимает уникальное положение на мировом рынке энергоресурсов. Страна обладает мощными запасами углеводородов, является одним из ведущих производителей и экспортеров первичных энергоресурсов, и, одновременно, – одним из крупнейших производителей и потребителей энергии. В то же время Россия – это страна с наиболее суровыми климатическими условиями, расположенная в высоких широтах, более 60 % территории которой находится в зоне вечной мерзлоты. Поэтому полагаться на серьезный вклад в ее энергетику даже в отдаленном будущем солнечных электростанций или биотоплива вряд ли разумно. Огромные ресурсы

Хранилище водорода  
Источник: *about.bnef.com*



Установка по производству биоэтанола  
Источник: *uzotoka.ru*

относительно дешевых углеводородов являются стратегическим преимуществом России в мировой конкурентной борьбе, и это преимущество необходимо максимально эффективно использовать.

До еще не скорого появления термоядерной энергетики Россия должна максимально полагаться на свои углеводородные ресурсы и исходить из своих экономических и стратегических интересов, а не следовать зарубежным веяниям. Но учитывать эти веяния необходимо, извлекая из них максимальную пользу и выгоду. Принимая во внимание растущий интерес за рубежом к низкоуглеродному топливу и, прежде всего, водороду, своим распоряжением от 12 октября 2020 года правительство РФ утвердило план мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года» [19]. Задачей плана является организация работ по формированию в РФ высокопроизводительной экспортно ориентированной области производства водорода и развития водородной энергетики. Огромный ресурсный потенциал РФ (запасы природного газа, нефти и угля) и наличие незагруженных мощностей в электроэнергетике, при наличии спроса, гарантируемого Парижским соглашением по климату и ожидаемым введением Евросоюзом «углеродного налога», делает экспорт низкоуглеродного топлива (водорода или его смеси с природным газом) перспективным направлением. Оно вполне может компенсировать прогнозируемые для РФ потери от введения «углеродного налога» на импорт в страны Евросоюза, который предполагает, что по-

ставщики товаров на европейский рынок, которые сжигают слишком много ископаемого топлива в процессе их производства, будут платить за каждую тонну углекислого газа, попавшего в атмосферу.

Без масштабных поставок водорода из России выполнение собственных планов стран Европейского союза по развитию водородной энергетики вряд ли реально [20]. Поэтому развитие ориентированного на экспорт производства водорода в РФ представляется вполне целесообразным. Учитывая наличие нерешенных проблем хранения и транспортировки больших объемов водорода, наиболее разумным способом экспорта низкоуглеродного топлива могла бы быть поставка смеси природного газа с водородом (до 40–50 % об.) по уже существующим газопроводам. Как показывают исследования, пределы воспламенения и скорость горения таких смесей еще не сильно отличаются от пределов воспламенения и скорости горения природного газа [21, 22], что позволяет эксплуатировать их на том же оборудовании и при соблюдении тех же мер безопасности, которые давно отработаны для работы с природным газом.

Менее очевидна целесообразность перехода на водород для самой отечественной энергетики. Конечно, большинство типов газовых турбин может работать на водороде или его смеси с природным газом. Недавно компании «НОВАТЭК» и Nuovo Pignone заключили соглашение о сотрудничестве в области электрических и газотурбинных решений по добыче и сжижению газа, а также сокращения выбросов  $CO_2$ , в рамках которого приступят к реализации проекта по переводу турбин на работу на водородсодержащих смесях [23]. Но как показывают исследования,

**Переход на использование метановодородных смесей с содержанием  $H_2$  менее 50 % не дает дополнительных экологических преимуществ, кроме снижения эмиссии  $CO_2$ , причем только в месте потребления**

переход на использование в энергетике метановодородных смесей с содержанием водорода менее 50 % не дает дополнительных экологических преимуществ, кроме соответствующего снижения эмиссии CO<sub>2</sub> из-за более высокой доли водорода, причем только непосредственно в месте потребления. Но при этом, как было показано выше, вырастут глобальная эмиссия CO<sub>2</sub> в атмосферу, стоимость получаемой энергии, расход первичных энергоресурсов. Учитывая, что энергетический КПД экологически чистого преобразования природного газа в водород, как было показано выше, около 30 %, КПД современных газовых турбин также ~30 %, суммарный энергетический коэффициент полезного действия использования природного газа по такой схеме будет ~10 %. Вряд ли желание следовать зарубежным политическим и экономическим трендам оправдывает реализацию таких низкоэффективных проектов.

Поэтому в отечественной модели развития водородной энергетики, помимо ориентированного на экспорт производства водорода, имеет смысл ограничиться его использованием в транспортном секторе крупных мегаполисов для решения действительно серьезных локальных эколо-

гических проблем на основе использования топливных элементов с КПД до 60 %. А основным, помимо энергетики, направлением использования отечественных углеводородных ресурсов должна стать их переработка в нефтехимические продукты с высокой добавленной стоимостью.

### Заключение

Развитие отечественной энергетики и нефтегазохимии не может происходить в отрыве от мировых тенденций в этой сфере. Но слепо следовать им также неразумно, как игнорировать их наличие. Главный вопрос в том, как увязать мировые тенденции с отечественными интересами и реальными условиями, поскольку относящиеся к этой сфере решения окажут сильнейшее влияние практически на все сферы отечественной экономики, а также социальной и даже внешней политики.

*Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук, тема ФИЦ ХФ РАН 0082-2019-0014, номер госрегистрации АААА-А20-120020590084-9 и тема ИПХФ РАН 0089-2019-0018, номер госрегистрации ААА-А-19-119022690098-3.*



Изменения климата наиболее заметны в Арктике

Источник: grabieckrzysiek@gmail.com / Depositphotos.com

## Использованные источники

1. The Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: <https://www.ipcc.ch/> (последнее посещение 25.01.2021).
2. Шполянская Н.А. Климат и его динамика в плейстоцене-голоцене как основа для возникновения разнообразных рисков при освоении районов криолитозоны // Геориск. № 1, 2019. С. 6–24. URL: [http://www.geomark.ru/journals\\_list/zhurnal-georisk-1-2019/](http://www.geomark.ru/journals_list/zhurnal-georisk-1-2019/)
3. Lindsey R., 2020. Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. URL: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide#:~:text=The%20global%20average%20atmospheric%20carbon,least%20the%20past%20800%2C000%20years> (последнее посещение 09.01.2021).
4. Арутюнов В.С. Глобальное потепление: Миф или реальность? Катастрофа или благо? // Российский химический журнал. №4, 2005. Т. 49. С. 102–109.
5. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивой жизни // М.: Изд-во ВИНТИ, 1995. 470 с.
6. Арутюнов В.С. Концепция устойчивого развития и реальные вызовы цивилизации // Вестник РАН. №3, 2021. Т. 91. С. 3–12.
7. Арутюнов В.С., Лисичкин Г.В. Энергетические ресурсы XXI столетия: проблемы и прогнозы. Могут ли возобновляемые источники энергии заменить ископаемое топливо? // Успехи химии. №8, 2017. Т. 86. С. 777–804. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1070/RCR4723/pdf>
8. Савченко В.И., Макарян И.А., Арутюнов В.С. Анализ зарубежных промышленных технологий по переработке углеводородных газов и оценка перспектив их реализации в нефтегазохимическом комплексе России // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. №11, 2013. С. 3–12.
9. Макарян И.А., Берзигияров П.К., Седов И.В., Арутюнов В.С., Савченко В.И. Перспективы производства нефтехимических продуктов с высокой добавленной стоимостью на основе GTL-процессов нового поколения // Мир нефтепродуктов. №7, 2015. С. 4–17.
10. Капица П.Л. Успехи физ. наук // 1976. Т. 118. С. 307.
11. Speirs, J., McGlade, C., Slade, R. Uncertainty in the availability of natural resources: Fossil fuels, critical metals and biomass. Energy Policy. 2015. 2015. V. 87. P. 654–664. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.031>
12. BP Energy Outlook 2035: February 2015. URL: <http://www.bp.com/energyoutlook> (accessed January 09, 2021).
13. IEA. Fuels and technologies, 2021. URL: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies> (последнее посещение 10.01.2021).
14. Арутюнов В.С., Голубева И.А., Елисеев О.Л., Жагфаров Ф.Г. Технология переработки углеводородных газов: Учебник для вузов // М.: Юрайт, 2020. 723 с. ISBN 978-5-534-12398-2
15. Макарян И.А., Седов И.В., Никитин А.В., Арутюнов В.С. Современные подходы к получению водорода из углеводородного сырья // Научный журнал РГО. № 1(24), 2020. С. 50–68.
16. Mitrova, N., Melnikov, Y., Chugunov, D., 2019. The hydrogen economy – a path towards low carbon development. Skolkovo Energy Centre, Moscow School of Management, Skolkovo. URL: [https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO\\_EneC\\_Hydrogen-economy\\_Eng.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Hydrogen-economy_Eng.pdf)
17. Amin A.M., Croiset E., Epling W. Review of methane catalytic cracking for hydrogen production. Int. J. Hydrogen En. 2011. V. 36. P. 2904–2935. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2010.11.035
18. Ashik U.P.M., Wan Daud W.M.A., Hazzim A.F. Production of greenhouse gas free hydrogen by thermocatalytic decomposition of methane – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. V. 44. P. 221–256. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.025>
19. План мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года».
20. Кочетков А. Россия будет развивать водородную энергетику, окончательно и бесповоротно. URL: <https://zen.yandex.ru/media/dbk/rossiia-budet-razvivat-vodorodnuu-energetiku-okonchatelno-i-bespovorotno-5ff0a0b4fe4e686f6ac32417> (последнее посещение 01.02.2021).
21. Арутюнов В.С., Беляев А.А., Арутюнов А.В., Трошин К.Я., Царенко А.А., Никитин А.В. Об использовании метан-водородных смесей в двигателях внутреннего сгорания // НефтеГазоХимия. № 3–4, 2019. С. 5–17. DOI: <https://doi.org/10.24411/2310-8266-2019-10401>
22. Арутюнов А.В., Беляев А.А., Иновенков И.Н., Арутюнов В.С. Влияние водорода на нормальную скорость горения метан-воздушных смесей при повышенных температурах // Горение и взрыв. №4, 2019. Т. 12. С. 4–10. DOI: 10.30826/CE19120401
23. URL: <https://globuc.com/ru/news/novatyek-i-nuovo-pignone-podpisali-soglashenie/>