

О прогнозах глобального энергоперехода

В.С. АРУТЮНОВ

E-mail: v_arutyunov@mail.ru; ORCID: 0000-0003-0339-0297

ФИЦ химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва;

Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка

Аннотация. Оценка реального потенциала возобновляемых источников энергии показывает необоснованность прогнозов их будущего доминирования в мировой энергетике и надежд на возможность изменения за счет этого наблюдаемых климатических процессов. В связи с этим не имеют под собой реальной почвы прогнозы ожидаемого глобального энергоперехода, по крайней мере, до освоения человечеством энергии термоядерного синтеза. Вплоть до этого основным источником энергии для мировой экономики, как и в течение двух предыдущих столетий, могут быть только все еще обильные ресурсы имеющихся в земной коре углеводородов. При разработке и реализации своих энергетических программ России следует исходить исключительно из отечественных реалий и интересов, без оглядки на доминирующие на Западе тенденции и принимаемые там решения.

Ключевые слова: мировая энергетика; возобновляемые источники энергии; углеводородные ресурсы; низкоуглеродная энергетика; водородная энергетика; глобальный энергопереход

Введение

Прогнозы – один из важных видов научной продукции, позволяющий оценивать перспективы различных направлений и оптимально распределять усилия и ресурсы. Хотя прогнозы не могут предсказывать научные открытия и появление принципиально новых технологий, они дают определенные ориентиры развития в пределах доступного горизонта событий, обычно протяженностью не более нескольких десятилетий. Конечно, далеко не все из них оправдываются, но если они претендуют на предсказательную достоверность, то должны адекватно учитывать реальную картину окружающего мира и протекающие в нем физические процессы.

Проводимая журналом «ЭКО» дискуссия о планах и прогнозах низкоуглеродного развития и энергетического перехода России и мира в средне- (до 2030 г.) и долгосрочном (до 2060 г.) периодах и социально-экономических последствиях реализации различных сценариев в данной области открывается публикацией обзора книги профессора Тэйна Густафсона *Klimat. Russia in the*

Age of Climate Change [Gustafson, 2021]. В нашу задачу не входит детальный анализ ее содержания и выводов, достаточно типичных для большого числа аналогичных работ последнего времени. Мы хотим обсудить саму базовую концепцию подобных прогнозов и, прежде всего, развиваемые в них представления об ожидающем мир в ближайшем будущем глобальном энергопереходе.

Согласно Википедии, отражающей общепринятые или наиболее популярные подходы, «в последние годы термин “энергетический переход” используется для обозначения перехода к устойчивой энергетике за счёт более широкой интеграции возобновляемых источников энергии в сферу повседневной жизни (переход к так называемой “зелёной экономике”)¹». То есть ожидаемый энергопереход обосновывается необходимостью глобального отказа от традиционных источников энергии в пользу «низкоуглеродной» энергетике, которая в современных условиях может быть реализована только за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

В принципе, в истории цивилизации глобальный энергопереход уже имел место на рубеже XVIII и XIX веков. Тогда человечество перешло от возобновляемой, но малоэффективной энергетике на основе мускульной энергии животных, ветра и биотоплива (дров) к более эффективной угольной, а затем и углеводородной энергетике. В достаточно отдаленном будущем человечество, безусловно, ожидает переход от используемых сегодня ископаемых источников энергии к термоядерной энергетике. Это неизбежно хотя бы потому, что ископаемое топливо, включая и ресурсы урана для атомной энергетике, не бесконечно, а другие глобальные источники энергии, кроме энергии термоядерного синтеза, в окружающем нас мире пока не известны.

Вряд ли можно и стоит рассматривать как глобальный энергопереход поэтапное введение в мировую энергетике различных видов ископаемого топлива: угля, нефти и газа. Ни по масштабам изменений относительного их вклада в энергобаланс, ни по их темпам, ни по технологическому влиянию на мировую энергетике и экономику на глобальный энергопереход эти плавно

¹ Энергетический переход. Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%85%D0%BE%D0%B4

происходившие на протяжении двух столетий и продолжающиеся в настоящее время изменения не тянут. Таким образом, в отсутствие реальных ожиданий перехода в ближайшие несколько десятилетий на термоядерную энергетику, любые перспективы глобального энергоперехода сводятся к вопросу о принципиальной возможности замены доминирующей сейчас углеводородной энергетики известными нам ВИЭ. Поэтому прежде чем обсуждать механизм, сроки и последствия такого энергоперехода, разрабатывать его дорожные карты, необходимо понять: возможен ли в принципе в результате научно-технического прогресса обратный переход от углеводородного топлива к ВИЭ? От ответа на этот важнейший вопрос зависит реальный прогноз развития мировой энергетики и экономики, и в немалой степени прогноз развития России.

Реальный потенциал ВИЭ

Все известные нам разновидности ВИЭ: гидроэнергия, энергия ветра, морских волн, приливов, биотоплива и т.п., за исключением крайне незначительной по своему потенциалу геотермальной энергетики, являются производными солнечной радиации, единственного реального внешнего источника поступления энергии на Землю. Еще в 1970-х годах в работах Джея Форрестера, Денниса Медоуза и Эдуарда Пестеля [Форрестер, 1978; Медоуз et al., 1972; Медоуз et al., 1973; Пестель, 1988], выполненных по заказу Римского клуба, а также в работах отечественных специалистов по глобальной динамике Н. Н. Моисеева [Моисеев, 1997], В. Г. Горшкова [Горшков, 1995] и других было установлено, что при современном уровне душевого энергопотребления развитых стран за счет возобновляемых источников энергии на Земле может существовать не более 500 млн человек. Сейчас население Земли почти в 20 раз превышает эту цифру и продолжает быстро расти, как и среднечеловеческое потребление энергии.

Поскольку все разновидности ВИЭ являются производными поступающей на Землю солнечной радиации, нет смысла подробно анализировать достоинства и недостатки каждого из них. Рассмотрим на основе известных базовых физических параметров солнечной радиации принципиальный вопрос о ее реальном потенциале как первоисточнике доступных нам ВИЭ,

так же как в свое время на основе базовых физических принципов был решен принципиальный вопрос о возможности создания «вечного двигателя».

Формально ресурс поступающей на Землю солнечной радиации огромен – верхней границы атмосферы Земли за год достигает колоссальный поток солнечной энергии – $\sim 5.6 \cdot 10^{24}$ Дж. Эта величина примерно в 5 000 раз превышает ежегодную потребность человечества в энергии. Примерно 35% этой энергии атмосфера Земли отражает обратно в космос. Остальное количество 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 всех этих процессов высокопотенциальная энергия солнечной радиации ультрафиолетового и видимого диапазона превращается в низкопотенциальную энергию нагретой поверхности Земли (ее средняя температура примерно 20 °С), испускаемую нашей планетой в виде инфракрасного излучения обратно в космическое пространство.

Почему возобновляемая солнечная энергетика не может быть основой мировой промышленной энергетике, выдающийся отечественный ученый академик П. Л. Капица еще 50 лет назад объяснил на основе представлений о плотности потока энергии [Капица, 1976]. Действительно, количество энергии, рассеянной в окружающем нас пространстве, огромно. Но как ее извлечь? Все разновидности ВИЭ используют «низкопотенциальную энергию», плотность которой в применяемом энергоносителе (источнике энергии) крайне мала. Для того чтобы представить себе, как отличаются низкопотенциальная энергия, в изобилии рассеянная вокруг нас, и высокопотенциальная энергия, используемая в традиционной энергетике, достаточно сравнить поток энергии, переносимый дуновением ветерка или ласковыми солнечными лучами, с концентрированной энергией в камере сгорания газовой турбины или в атомном реакторе. Именно проблема концентрирования и использования рассеянной низкопотенциальной энергии, которой оперируют все без исключения возобновляемые источники, является главным препятствием на пути их промышленного использования.

Для иллюстрации проведем простую оценку потенциала солнечной радиации, а следовательно, и всех порождаемых

ею вторичных источников энергии. Поток солнечной радиации в полдень на экваторе составляет ~ 1 кВт/м². С учетом смены дня и ночи его среднее значение в три раза ниже, а в средних широтах оно ниже еще в два раза и составляет ~ 150 Вт/м². При реальном КПД солнечных панелей менее 24% для обеспечения средней мощности в 1 кВт необходимо собрать и преобразовать в электроэнергию излучение с площади в ~ 30 м² [Arutyunov, 2021].

Мировое производство энергии в 2019 г. составило 160 000 ТВт*ч². Чтобы обеспечить производство такого объема энергии за счет солнечных панелей, необходимо будет оборудовать ими площадь в $\sim 6 \cdot 10^{11}$ м², или 0,6 млн км². С учетом вспомогательных площадей для оборудования, подстанций, систем преобразования и аккумулирования энергии, дорог, линий электропередач и т.д. необходимая площадь превысит 1 млн км², то есть около 1% земной суши [Arutyunov, 2021]. Чтобы покрыть такие площади сложным технологическим оборудованием, в земной коре не хватит не только редких элементов, необходимых для изготовления солнечных панелей, но даже обычных конструкционных материалов. А изъятие такой значительной площади из экономического использования и природных экосистем нанесет непоправимый ущерб и тем, и другим. Что касается других видов ВИЭ, плотность потока производимой ими энергии еще на порядок ниже, поэтому производство такого же объема энергии за их счет потребует примерно в десять раз большей площади, чем солнечная энергетика.

В заключение этого раздела отметим, что удовлетворение постоянно растущих потребностей мира в энергии, без чего немислимо его прогрессивное развитие, при любом источнике этой энергии неизбежно будет нарушать тепловой баланс планеты и приводить к повышению температуры ее поверхности. Например, увеличение поглощения солнечной радиации при ее преобразовании в электроэнергию приведет к снижению альбедо планеты. И сохранение ее теплового равновесия как изолированного космического тела, в соответствии с законом Стефана-Больцмана, потребует увеличения испускаемого обратно в космос

² BP Statistical Review of World Energy, 2020. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>

инфракрасного излучения, то есть температуры ее поверхности [Арутюнов, 2021а].

Климатический фактор

В чем же причина продолжающегося активного интереса к возобновляемым источникам энергии? Первоначальным поводом было осознание конечности ископаемых углеводородных ресурсов и неизбежности их будущего исчерпания, сформировавшееся в 1970-х годах и послужившее толчком для работ под эгидой Римского клуба. Но в начале текущего века стало ясно, что в земной коре еще имеются огромные ресурсы нетрадиционных углеводородов (сланцевые нефть и газ, газовые гидраты и др.) [Арутюнов, Лисичкин, 2017], которые способны обеспечивать мировую экономику многие десятилетия, вплоть до практического освоения энергии термоядерного синтеза. И после «сланцевой революции» 2008 г. угроза глобального энергетического кризиса перестала быть актуальной.

Нынешний интерес к ВИЭ связан, в первую очередь, с климатическими проблемами и опасениями их серьезных последствий. Сам факт повышения в последний период средней температуры земной поверхности не вызывает сомнений, хотя дискуссия о его происхождении продолжается, и по-прежнему существуют различные точки зрения на причины и долговременность наблюдаемой тенденции. Несмотря на наличие объективных свидетельств естественных факторов, влияющих на повышение средней температуры земной поверхности [Кондратьев, 2004; Шполянская, 2019], преобладающей точкой зрения, отраженной в материалах Межправительственной комиссии по изменению климата (The Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), стало антропогенное воздействие на состав атмосферы, отражаемое быстрым повышением в ней концентрации парниковых газов, прежде всего CO_2 , которая в 2019 г. достигла почти 410 ppm, хотя еще в 1900 г. составляла 296 ppm³.

Отметим, что сам по себе наблюдаемый температурный тренд ничего необычного не представляет, и подобные колебания уже неоднократно отмечались в истории климата нашей планеты. Однако западноевропейские политики очень болезненно и даже

³ The Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: <https://www.ipcc.ch/>

агрессивно реагируют на наблюдаемые процессы, что вполне объяснимо. Современное климатическое, а следовательно, и экономическое благополучие Западной Европы базируется на тонком балансе климатических процессов, поддерживаемых теплым течением Гольфстрим. И если для большинства других регионов мира последствия ожидаемых климатических изменений будут не слишком болезненны, а может быть, даже и благоприятны, в том числе и для России, то для Европы радикальное изменение параметров Гольфстрима обернется климатической, а следовательно, и экономической катастрофой. Напомним, что критическая величина повышения температуры, преодоление которой приведет к необратимым изменениям ледникового покрова планеты, уровня мирового океана и характера циркуляции потоков в атмосфере и океане, оценивается всего в 2 °C [Randalls, 2010].

В попытке остановить наблюдаемые, но плохо понимаемые климатические процессы, и несмотря на отсутствие научных доказательств того, что их причиной является именно антропогенный фактор [Шполянская, 2019], а тем более того, что предпринимаемые усилия могут реально изменить их ход, представители 196 стран приняли в 2015 г. Парижское соглашение по климату. Целью его является разработка и реализация стратегии снижения антропогенной эмиссии парниковых газов, прежде всего CO₂. Главным виновником климатических бед названа энергетика, которая с середины XIX века и по настоящее время более чем на 80% базируется на углеводородном топливе, несмотря даже на то, что вклад современного сельскохозяйственного производства в глобальную антропогенную эмиссию парниковых газов, по крайней мере, не ниже. Основной заявленной целью Парижского соглашения⁴ является снижение доли углеводородных источников в мировом энергобалансе, что может быть осуществлено только за счет перехода на альтернативные источники энергии. Вполне очевидная невозможность обеспечить современные потребности мира в энергии за счет ВИЭ вынуждает искать другие решения, одним из которых стал анонсированный несколько лет назад переход к «водородной энергетике».

⁴ Парижское соглашение. URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf

Водородная энергетика: проблемы, проблемы, проблемы...

Огромный поток публикаций последних лет на тему водородной энергетике и обнаруженные многими государствами амбициозные программы ее развития, подкрепляемые солидным финансированием, не позволяют обойти эту тему вниманием. Тем более что водородная энергетика заявлена как решающий фактор разрешения климатических проблем и одна из главных составляющих предстоящего энергоперехода.

Действительно, водород можно рассматривать как экологически чистое топливо, так как при его сгорании образуются только пары воды. Но при этом не всегда учитывают, что в земной коре и атмосфере нет значительных ресурсов свободного водорода. Строго говоря, водород – не источник энергии, а лишь вторичный энергоноситель, который может быть получен только на основе первичных источников энергии. А для того, чтобы водород можно было рассматривать как экологически чистое топливо, он должен быть получен на основе экологически чистых источников. Кроме того, при любой технологии его производства общие затраты энергии и ее стоимость для потребителя всегда будут выше, чем при непосредственном использовании первичных источников энергии, на основе которых он получен. А полные экологические последствия применения водорода будут определяться экологическим воздействием всех первичных источников, использованных для его получения.

При обсуждении достоинств водородной энергетике в большинстве случаев по умолчанию предполагается, что необходимый водород будет производиться исключительно на базе «чистых» возобновляемых источников энергии, хотя, как уже было сказано, они не способны полностью обеспечить глобальные потребности в энергии, и их реальный вклад в мировую энергетике не превышает нескольких процентов. Сегодня в мире производится менее 90 млн т/г. водорода, в основном на нужды нефтепереработки и нефтехимии, что в 100 раз ниже объема, необходимого для замены углеводородной энергетике. Как легко подсчитать, за счет потенциала всех существующих на данный момент в мире ВИЭ может производиться не более 50 млн т водорода в год [Arutyunov, 2021b]. Это почти в 200 раз меньше, чем нужно для замены современной углеводородной

энергетики, а ведь ее объем, по прогнозам, к середине текущего века минимум удвоится. При этом стоимость «зеленого», или «чистого» водорода, получаемого на основе ВИЭ, примерно в пять раз выше, чем «серого», получаемого в результате конверсии углеводородов и обеспечивающего 99% его текущего производства. Указанная разница в стоимости принципиально неустранима технологическими новациями, так как обусловлена различием в термодинамике процессов получения водорода паровой конверсией углеводородов и электролизом воды на основе ВИЭ [Арутюнов, 2021b; Арутюнов, 2022].

Однако даже относительно дешевый, но экологически непривлекательный «серый» водород как источник энергии в несколько раз дороже природного газа. А предлагаемые технологии повышения экологической привлекательности водорода за счет улавливания и захоронения CO_2 , образующегося при его производстве, или использования для получения технологии пиролиза природного газа, еще минимум в два-три раза увеличат его стоимость и расход природного газа, но не приведут к заметному снижению глобальной эмиссии CO_2 [Там же].

К сожалению, проблемы водородной энергетики не ограничиваются только процессами получения водорода. Водород – это самое низкокалорийное из реально рассматриваемых видов топлива. Плотность жидкого водорода в шесть раз ниже, чем жидкого метана, в 11 раз ниже, чем бензина [Pearson et al., 2012]. Поэтому, несмотря на высокое гравиметрическое энергосодержание, его объемная теплота сгорания в 2,5 раза ниже, чем CH_4 , в 4 раза ниже, чем бензина. А объемное содержание энергии в газообразном водороде в 4 раза ниже, чем в природном газе.

Но и этим не исчерпываются потребительские недостатки водорода как топлива. Затраты энергии на компримирование водорода в 8,5 раза выше, чем CH_4 . И если сейчас примерно 7% всей вырабатываемой в России энергии уходит на трубопроводную транспортировку природного газа до границ страны, то трудно даже представить, какая ее доля потребуется на транспортировку водорода. Впрочем, вопрос этот слишком абстрактный, так как существующие газопроводы для транспортировки водорода в принципе непригодны, – при высоком давлении взаимодействие водорода с материалами трубопровода и газопроводной арматуры приводит к их охрупчиванию и разрушению. А сооружение

специальных газопроводов для транспортировки водорода потребует колоссальных инвестиций⁵.

Отдельной и очень серьезной проблемой является обеспечение безопасности транспортировки и использования водорода и метановодородных смесей. Скорость горения и пределы воспламенения водорода в пять-шесть раз превышают соответствующие величины для природного газа [Makaryan et al., 2022], что требует принципиально новых и гораздо более жестких правил безопасности при их широком применении, особенно на транспорте и в коммунальном секторе.

Таким образом, переход на водород как энергоноситель потребует кратного роста затрат и потребления первичных источников энергии, прежде всего тех же ископаемых углеводородов, и приведет к соответствующему ускорению истощения их ресурсов, не гарантируя реального снижения глобальной эмиссии CO₂, то есть достижения поставленных климатических целей. А низкие потребительские качества водорода как энергоносителя, трудности его хранения и транспортировки, проблемы с безопасностью [Арутюнов, 2021b; Арутюнов, 2022] вряд ли будут способствовать широкому распространению его как энергоносителя.

Экономический фактор

Еще один фактор, заставляющий европейцев не только самих активно использовать возобновляемые источники энергии, но и требовать этого от тех стран, которые не испытывают проблем с энергоресурсами и где ВИЭ малопригодны для широкого использования в силу климатических, географических и иных особенностей, например, от России – это их собственные энергетические проблемы. Испытывая острый дефицит энергоресурсов, Европа вынуждена использовать дорогостоящие альтернативные источники энергии, что серьезно подрывает ее конкурентоспособность и экономические позиции на мировом рынке. Для сохранения своих экономических позиций европейцам необходимо вынудить потенциальных конкурентов перейти на такие же дорогостоящие источники энергии, даже

⁵ Hydrogen pipeline systems. Doc 121/14. European Industrial Gases Association AISBL. URL: <https://www.eiga.eu/publications/eiga-documents/doc-12114-hydrogen-pipeline-systems/>

если у тех в этом нет никакой необходимости. Это совершенно очевидная подоплека жесткой «экологической» риторики и навязывания миру соответствующих экономических санкций, таких как активно обсуждаемый «углеродный налог». Поэтому даже безотносительно отсутствия реальных предпосылок того, что предпринимаемые усилия по борьбе с глобальным потеплением дадут какие-либо результаты, у России нет причин и необходимости жертвовать своим благополучием, и потенциальной будущей выгодой ради экономических интересов Западной Европы. Возможность появления каких-либо дополнительных проблем для российского экспорта углеводородов, да и других продуктов, которые требовали бы учета вероятности введения такого налога в сложившихся в настоящее время обстоятельствах вряд ли стоит принимать во внимание. Тем более бессмысленно учитывать эти требования при планировании направлений развития отечественной энергетики.

Экологический фактор

Помимо климатического фактора в обоснование усилий по внедрению ВИЭ обычно приводятся экологические аргументы. В массовом сознании сложилось представление об экологической чистоте этих источников энергии, что далеко не соответствует действительности. Мы не будем рассматривать обсуждаемые уже десятилетия экологические проблемы гидроэнергетики. Что касается солнечной энергетики, то достаточно отметить, что производство, регулярная замена и последующая утилизация солнечных панелей при учете их полного жизненного цикла приводят к попаданию в окружающую среду огромного количества всевозможных высокотоксичных соединений. Столь же необоснованны и утверждения об отсутствии связанного с их эксплуатацией потребления дополнительных природных ресурсов. Например, располагаемые в пустынной местности солнечные электростанции требуют большого объема дефицитной в этих местах чистой воды для регулярного промывания поверхности солнечных панелей или концентрирующих солнечное излучение зеркал.

Не меньшие проблемы связаны и с ветроэнергетикой. Помимо деградации почвенных экосистем под воздействием генерируемых ветряками акустических колебаний, изменения объема и направления переносимых осадков, гибели птиц и прочего,

необходима регулярная замена лопастей из неразлагающихся и несгораемых композитных материалов, которая уже привела к появлению огромных по площади занятых ими свалок [Ладыгина, 2021].

Вряд ли стоит подробно обсуждать экологические проблемы промышленного производства «зеленого» биотоплива, связанные с деградацией почв, потреблением значительного объема удобрений, воды для полива и практически такого же объема традиционного углеводородного топлива во всех звеньях этой производственной цепочки [Арутюнов, Лисичкин, 2017]. Все это наглядно продемонстрировала тихо умирающая американская программа производства биоэтанола.

Низкий энергетический КПД (отношение полученной энергии к энергии, затраченной на сам процесс ее производства – EROEI [Арутюнов, Лисичкин, 2017]) всех видов ВИЭ делает неизбежной потребность в огромных площадях и капитальных затратах, многократно превосходящих типичные показатели для традиционной углеводородной энергетики. Поэтому утверждение об экологических преимуществах ВИЭ по сравнению с традиционными источниками при объективном анализе их полного жизненного цикла и при адекватном учете всех связанных с ними экологических факторов далеко не беспорно.

Заключение

Какой же смысл вкладывается в утверждения об ожидающем наш мир глобальном энергопереходе? От чего и к чему должна перейти мировая энергетика? Как было отмечено, в реальных условиях речь может идти только о повышении вклада ВИЭ в мировую генерацию с сегодняшних 3–4% до максимально возможных 6–8%, причем ценой огромных и не всегда оправданных затрат. Вряд ли такому изменению можно придавать глобальное значение.

Конечно, все мы хотим чистой окружающей среды и комфортного стабильного климата. Но вряд ли большинство населения нашей планеты готово отказаться от тех возможностей и благ, которые предоставляет современная энергетика, основа нашей цивилизации. А за все блага приходится платить, причем самой дорогой и надежной в мире валютой – энергией. Поэтому приходится выбирать оптимальное соотношение между двумя

факторами – благосостоянием и обеспечивающей его энергетикой, с одной стороны, и экологией – с другой. Мы всегда изменяли окружающую нас среду и будем продолжать это делать, в этом, если угодно, эволюционная миссия человечества [Арутюнов, 2021a]. Этот процесс начался не вчера, он продолжается уже тысячи лет, начиная с палеолита. Человечество и само изменяется в соответствии с происходящими в этой среде изменениями. О некоторых из них можно сожалеть, но бессмысленно бороться с естественными эволюционными процессами.

Среди множества разнообразных сфер человеческой деятельности энергетика – одна из наиболее фундаментальных и материально обусловленных. Адсорбируя и реализуя все самые передовые идеи и технические достижения, в силу своих фантастических масштабов она остается одной из наиболее консервативных областей мировой экономики. Финансовые и ресурсные затраты на масштабные преобразования в ней столь велики, что даже при очевидных преимуществах на их практическую реализацию уходят десятилетия. Поэтому, анализируя те энергетические проекты, которые реализуются сегодня, и которые наверняка будут функционировать еще много лет, чтобы окупить вложенные в них огромные средства, мы можем достаточно хорошо представить себе структуру мировой энергетики середины века. Подавляющая ее доля, не менее 70%, а скорее всего, значительно выше, будет по-прежнему приходиться на углеводороды. И пока не представлено никаких реальных аргументов, способных серьезно поколебать эти прогнозы.

Интересующий многих вопрос о том, почему на Западе продолжается кампания за «зеленые и возобновляемые» источники энергии, несмотря на приведенные аргументы, лежит вне научной сферы. Помимо указанных здесь геополитических и экономических соображений, можно отметить низкий уровень естественнонаучного образования западной элиты и, к сожалению, меркантильные соображения части научного сообщества, а также необходимость подстраиваться под то, что диктует, исходя из своих интересов, политический и финансовый мейнстрим западных стран. В 1998 г. большая группа американских учёных опубликовала петицию, в которой на основе детального анализа было сделано заключение, что «не существует никаких убедительных научных свидетельств, что антропогенный выброс диоксида углерода, метана и других парниковых газов может

вызвать катастрофическое прогревание атмосферы Земли и разрушение её климата» [Шполянская, 2019]. Однако это обращение было попросту проигнорировано «мейнстримом», определяющим распределение научных грантов и контролирующим подавляющую часть высокорейтинговых журналов.

Большинство специалистов, безусловно, понимают, что природные системы настолько сложны, а существующие представления о них настолько несовершенны, что «публикуемые результаты моделирования влияния антропогенных факторов на климатические изменения не более как подгонка фактического материала под выдвинутую идею» [Кондратьев, 2004]. Однако желающих подвергнуться остракизму «мейнстрима» и быть отлученным от финансирования и возможности публиковать свои работы, как это сейчас мы видим в отношении независимых СМИ, совсем немного.

В сложившихся обстоятельствах участвовать в каких-либо ориентированных на Запад «глобальных» проектах и мероприятиях, сопряженных с немалыми и неактуальными для нас затратами, России абсолютно бессмысленно. Поэтому развивать отечественную энергетику нужно только исходя из национальных потребностей и условий.

Литература

Арутюнов В. С. Водородная энергетика: Значение, источники, проблемы, перспективы // Нефтехимия. 2022. Т. 62. № 4. (в печати).

Арутюнов В. С. Концепция устойчивого развития и реальные вызовы цивилизации // Вестник РАН. 2021а. Т. 91. № 3. С. 3–12. DOI: 10.31857/S0869587321030026

Арутюнов В. С. Проблемы и вызовы водородной энергетики // Горение и плазмохимия. 2021b. Т. 19. № 4. С. 245–255. <https://doi.org/10.18321/cpc462>

Арутюнов В. С., Лисичкин Г. В. Энергетические ресурсы XXI столетия: проблемы и прогнозы. Могут ли возобновляемые источники энергии заменить ископаемое топливо? // Успехи химии. 2017. Т. 86. № 8. С. 777–804. <https://doi.org/10.1070/RCR4723>].

Горшков В. Г. Физические и биологические основы устойчивой жизни. М.: ВИНТИ, 1995.

Катица П. Л. Энергия и физика // Успехи физических наук. 1976. Т. 118. № 2. С. 307–314.

Кондратьев К. Я. Неопределённости данных наблюдений и численного моделирования климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 93–119.

Ладыгина О. Темная сторона альтернативной энергетики // Discovery. 2021. № 5(140). С. 14–16.

Моисеев Н. Н. Мировое сообщество и судьба России. М.: Изд-во МНЭПУ, 1997.

Моисеев Н. Н. Сочинения в 3-х томах. Т. 3. М.: Изд-во МНЭПУ, 1997.

Пестель Э. За пределами роста. М.: Прогресс, 1988.

Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: Наука, 1978.

Шполянская Н. А. Климат и его динамика в плейстоцене-голоцене как основа для возникновения разнообразных рисков при освоении районов криолитозоны // *Геориск*. 2019. № 1. С. 6–24.

Arutyunov V.S. On the sources of hydrogen for the global replacement of hydrocarbons. *Academia Letters*. 2021. Article 3692. DOI:10.20935/AL3692

Gustafson T. *Klimat. Russia in the Age of Climate Change*. Harvard University Press, 2021.

Makaryan I. A., Sedov I. V., Salgansky E. A., Arutyunov A. V. and Arutyunov V. S. A Comprehensive Review on the Prospects of Using Hydrogen-Methane Blends: Challenges and Opportunities. *Energies*. 2022. Vol. 15. 2265. <https://doi.org/10.3390/en15062265>

Meadows D.L., Meadows D.H., Randers J. *Dynamics of Growth in a Finite World*. Cambridge, MA: Wright-Allen Press, 1973.

Meadows D.L., Meadows D.H., Randers J. *The Limits to Growth*. N.Y.: Universe Books, 1972.

Randalls S. *WIREs Climate Change* 1. 2010. 598–605. DOI: 10.1002/wcc.62

Pearson R.J. et al. *Proceedings of the IEEE*. 2012. Vol. 100. P. 440–460.

Статья поступила 13.04.2022

Статья принята к публикации 16.04.2022

Для цитирования: *Арутюнов В. С.* О прогнозах глобального энергоперехода // *ЭКО*. 2022. № 7. С. 51–66. DOI: 10.30680/ЕКО0131-7652-2022-7-51-66

Summary

Arutyunov, V.S. N. N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics, RAS, Moscow, Institute of Problems of Chemical Physics, RAS, Chernogolovka

On Forecasts of the Global Energy Transition

Abstract. Assessment of the real potential of renewable energy sources shows the groundlessness of forecasts of their future dominance in the global energy sector and hopes for the possibility of changing by this means the observed climatic processes. Forecasts of the expected global energy transition, at least until mankind mastered the energy of thermonuclear fusion, are groundless. Until then, the main source of energy for the world economy, as during the previous two centuries, can only be the still abundant resources of hydrocarbons available in the earth's crust. In developing and implementing its energy programs Russia should be guided exclusively by the domestic realities and interests, without regard to the trends and decisions dominating in the West.

Keywords: *world energy; renewable energy sources; hydrocarbon resources; low-carbon energy; hydrogen energy; global energy transition*

References

- Arutyunov, V.S. (2021). *On the sources of hydrogen for the global replacement of hydrocarbons*. Academia Letters. Article 3692. DOI:10.20935/AL3692
- Arutyunov, V.S. (2021a). The Concept of Sustainable Development and Real Challenges of Civilization. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, Vol. 91. No. 2. Pp. 102–110. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1019331621020027>
- Arutyunov, V.S. (2021b). Problems and challenges of hydrogen energy. *Combustion and plasmochimistry*. Vol. 19. No. 4. Pp. 245–255. (In Russ.). <https://doi.org/10.18321/cpc462>
- Arutyunov, V.S. (2022). Hydrogen energy: Significance, sources, problems, prospects. *Petroleum Chemistry*. Vol. 62. No. 4. (In press). (In Russ.).
- Arutyunov, V.S., Lisichkin, G.V. (2017). Energy resources of the 21st century: problems and forecasts. Can renewable energy sources replace fossil fuels? *Chem. Rev.* Vol. 86 (8). Pp. 777–804. (In Russ.). <https://doi.org/10.1070/RCR4723>
- Forrester, J.W. (1971). *World Dynamics*. New York: Wiley Publ.
- Gorshkov, V.G. (1995). *Physical and Biological Foundations of Sustainable Life*. Moscow. VINITI Publ.
- Gustafson T. (2021). *Klimat. Russia in the Age of Climate Change*. Harvard University Press.
- Kapitsa, P.L. (1976). Energy and Physics. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk*. Vol. 19. Pp. 169–173. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.1070/PU1976v019n02ABEH005135>
- Kondratiev, K. Ya. (2004). Uncertainties of observational data and numerical climate modeling. *Meteorology and Hydrology*. No. 4. Pp. 93–119. (In Russ.).
- Ladygina, O. (2021). The dark side of alternative energy. *Discovery*. No. 5 (140). Pp. 14–16 (In Russ.).
- Makaryan, I.A., Sedov, I.V., Salgansky, E.A., Arutyunov, A.V. and Arutyunov, V.S. (2022). *A Comprehensive Review on the Prospects of Using Hydrogen-Methane Blends: Challenges and Opportunities*. *Energies*. Vol. 15. 2265. <https://doi.org/10.3390/en15062265>
- Meadows, D.L., Meadows, D.H., Randers, J. (1972). *The Limits to Growth*. N.Y.: Universe Books.
- Meadows, D.L., Meadows, D.H., Randers, J. (1973). *Dynamics of Growth in a Finite World*. Cambridge, MA: Wright-Allen Press.
- Moiseev, N.N. (1997). *The world community and the fate of Russia*. Moscow. MNEPU Publ. (In Russ.).
- Moiseev, N.N. (1997). *Works*. Moscow. MNEPU Publ. Vol. 3. (In Russ.).
- Pearson, R.J. et al. (2012). *Proceedings of the IEEE*. Vol. 100. Pp. 440–460.
- Pestel, E. (1988). *Beyond limits of growth*. Moscow. Progress Publ. (In Russ.).
- Randalls, S. (2010). *WIREs Climate Change* 1. 598–605. DOI: 10.1002/wcc.62
- Shpolyanskaya, N.A. (2019). Climate and its dynamics in the Pleistocene–Holocene as the basis for the emergence of various risks in the development of cryolithozone areas. *GeoRisk*. Vol. 13. Pp. 6–24. (In Russ.).

For citation: Arutyunov, V.S. (2022). On Forecasts of the Global Energy Transition. *ECO*. No. 7. Pp. 51–66. (In Russ.). DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2022-7-51-66