



В.П. Полеванов
д-р геол.-мин. наук
академик РАЕН
ФГКУ «Росгеолэкспертиза»¹
заместитель директора по информатизации
недропользования – главный геолог
vrolevanov@rgexr.ru



С.Ю. Глазьев
д-р экон. наук
академик РАН
Евразийская экономическая комиссия²
член Коллегии (министр) по интеграции
и макроэкономике

Поиски месторождений природного водорода в России как основа встраивания в новый технологический уклад

«Каменный век кончился не потому, что кончились камни, и нефтяной век кончится не потому, что кончится нефть».

Шейх Ахмед Заки Ямани

«В мировом масштабе выживет та страна, которая в точности будет знать свои ресурсы, сумеет направить на их использование народные духовные силы».

В.И. Вернадский

¹Россия, 115184, Москва, Малая Ордынка, 34.

²Россия, 119121, Москва, Смоленский бульвар, 3/5, стр. 1.

Смена технологических укладов сопровождается крупномасштабными структурными сдвигами в сырьевой базе экономики, наглядно проявляясь в потреблении первичных энергоносителей. Энергетика, являясь наиболее капиталоемкой из базовых отраслей экономики, определяет инерционность изменений в технологической структуре экономики. Дальнейшее интенсивное развитие современной энергетики и транспорта на базе углеводородного сырья ведет человечество к крупномасштабному экологическому и энергетическому кризису. Развитые страны принимают усилия по поиску альтернативных возобновляемых экологически чистых источников энергии. Перед человечеством встала проблема перевода мировой энергетики и, следовательно, экономики на новый источник энергии – водород. Использование водорода в качестве основного энергоносителя приведет и уже приводит к созданию принципиально новой водородной экономики, становится научно-техническим прорывом, сравнимым по своим социально-экономическим последствиям с тем революционным воздействием на развитие цивилизации, которое – каждый в свое время – оказали нефть и газ, электричество, двигатель внутреннего сгорания, химия и нефтехимия, информатика и связь. Правительству и геологическому сообществу России в кооперации с партнерами по Евразийскому экономическому союзу (в рамках создаваемых технологических платформ и утвержденной карты индустриализации) необходимо начать комплексное изучение этой глобальной проблемы, и в качестве технологического лидера встроиться в набирающий обороты процесс водородной дегазации планеты Земля и неорганического происхождения углеводородов

Ключевые слова: технологический уклад; циклы Кондратьева; структура спроса на энергоносители; новые виды энергоносителей; водородная энергетика; месторождения природного водорода; добыча водорода

Согласно классическому определению, технологические уклады – это группы совокупностей технологически сопряженных производств, выделяемых в структуре экономики, связанные друг с другом однотипными технологическими «цепочками» и образующие воспроизводящую целостности. Каждый такой уклад представляет собой обладающее внутренним единством и устойчивое образование, в рамках которого осуществляется полный макропроизводственный цикл, включающий добычу и получение первичных ресурсов, все стадии их переработки и выпуск набора конечных продуктов, удовлетворяющих соответствующему типу общественного потребления [1].

Опорные конструкции технологических изменений в мировой экономике

Технологический уклад (ТУ), рассматриваемый в динамике функционирования, является воспроизводственным контуром [2], содержащим совокупность развивающихся и воспроизводящихся синхронно базовых технологий. В статике он может быть определен как совокупность близкий по техническому уровню производств, т.е. как хозяйственный уровень [3].

Технологический уклад обладает сложной внутренней структурой, складывающейся в процессе его развития. Ключевую роль в этом процессе играют базисные нововведения, определяющие формирование «ядра» технологического уклада и революционизирующие технологическую структуру экономики. Производства, интенсивно использующие продукцию «ядра» и играющие ведущую роль в его распространении, составляют группу несущих отраслей. Образующие технологический уклад технологические «цепи» охватывают совокупности технологически сопряженных производств (технологические совокупности) всех уровней переработки ресурсов и замыкаются на соответствующий тип воспроизводственного потребления. Последний, завершая воспроизводственный контур технологического уклада, служит одновременно важнейшим источником его расширения, обеспечивая воспроизводство трудовых ресурсов соответствующей квалификации.

Прочность связей между входящими в один технологический уклад производствами обусловлена требованиями качественного соответствия сопряженных технологических процессов. Жесткое «сцепление» элементов технологической совокупности предполагает ее техническую однородность (примерно одинаковые технический уровень производства, качество продукции, сырья и материалов, квалификация заня-

тых, культура организации труда, развитие по согласованным технологическим траекториям). Включение в технологическую совокупность производств, резко отличающихся по своему техническому уровню от остальных, обычно является весьма сложным и экономически невыгодным мероприятием, т.к. требует либо реконструкции смежных процессов (если внедряемая технология превосходит их по техническому уровню), либо чревато падением эффективности производства по всей технологической совокупности и снижением качества ее конечной продукции (при внедрении технологий сравнительно низкого уровня).

Технологический уклад формируется в рамках всей экономической системы, охватывая все стадии переработки ресурсов и соответствующий тип воспроизводственного потребления, образуя *макроэкономический воспроизводственный контур*. Таким образом, каждый технологический уклад является самовоспроизводящейся целостностью, вследствие чего техническое развитие экономики не может происходить иначе, как путем последовательной смены технологических укладов. Жизненный цикл каждого образует содержание соответствующего этапа технико-экономического развития.

Развитие нового технологического уклада опирается на производственный потенциал, созданный в ходе предшествовавшего этапа технико-экономического развития. Он не только использует энергоносители, конструкционные материалы, сырьевые ресурсы, массовый уровень потребления которых был достигнут в результате развития предшествующего технологического уклада, но и приводит технологические совокупности последнего в соответствие с собственными потребностями и в преобразованном виде интегрирует их в свой воспроизводственный контур. При этом воспроизводственный контур нового технологического уклада формируется не сразу. В начальной фазе его развития возникающие в результате внедрения базисных нововведений технологические совокупности не образуют самовоспроизводящейся целостности и остаются некоторое время сопряженными с технологическими совокупностями традиционного технологического уклада. Лишь постепенно, с формированием или реконструкцией традиционных технологических совокупностей складывается целостный воспроизводственный контур нового технологического уклада.

Фаза роста нового технологического уклада сопровождается не только снижением издержек производства, происходящим особенно быстро с формированием его воспроизводственного контура, но и перестройкой экономических оце-

нок в соответствии с условиями его воспроизводства. Изменение соотношения цен способствует повышению эффективности составляющих новый технологический уклад технологий, а с вытеснением традиционного технологического уклада – эффективности всего общественного производства. Наиболее четко эти изменения проявляются в периодически происходящих колебаниях цен на энергоносители – с резкого повышения этих цен начинается падение эффективности доминирующего технологического уклада и процесс его замещения новым, более эффективным. По мере роста последнего энергоемкость общественного производства сокращается, падает спрос на энергоносители, снижаются цены на них, а также на энергоемкие материалы и сырье, что создает благоприятные условия для возобновления экономического роста на базе нового технологического уклада.

На **рис. 1** приведен опубликованный почти 40 лет назад график, совмещающий колебания цен на энергоносители с отклонениями от тренда повышения мирового потребления энергии. Опираясь на отраженную на этом графике закономерность, был сделан своевременный прогноз о неизбежности падения цен на нефть после их резкого подъема в начале нулевых годов, который полностью подтвердился.

Скачок цен на энергоносители происходит в фазе зрелости технологического уклада, когда он достигает пределов роста. В этой фазе у монополистов остается возможность извлечения прибыли путем повышения цен, чтобы «отбить» инвестиции, вложенные в капиталоемкие проекты. А самая капиталоемкая отрасль – это энергетика, в которую в период становления технологического уклада вкладываются большие инвестиции, которые еще могут не окупиться к моменту достижения им зрелости. В любом случае, энергетические компании в период зрелости технологического уклада имеют возможности взвинтить цены, поскольку потребители не могут быстро перейти на альтернативные источники энергопотребления. ТУ – очень инерционная система, которая охватывает огромное количество отраслей производств, базирующихся на соответствующем энергоносителе. Каждому ТУ соответствует свой базовый энергоноситель и составляющие его технологические цепочки ориентированы на его потребление. Поэтому, когда энергетические олигополии взвинчивают цены, потребителям ничего не остается, как нести дополнительные издержки на потребление привычных видов топлива. Значительная часть производств, столкнувшись с резким повышением цен на энергоносители, теряет прибыльность, капитал начинает искать себе новые

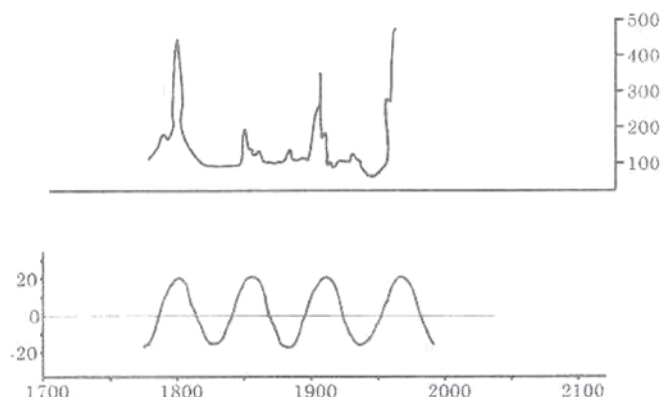


Рис. 1

Отклонение от тренда энергопотребления (внизу) и индекс цен (вверху) (Marchetti C., Nakicenovic N. The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model. RR-79-13 / IIASA. Laxenburg, Austria, 1979)

сферы применения, покидает реальный сектор экономики, так как большая часть технологических территорий перестает приносить отдачу и наступает эпоха финансовых «пузырей».

Резкое повышение цен на энергоносители заставляет всю остальную экономическую среду выходить на путь технологических изменений и запускает тем самым процесс перехода к новому технологическому укладу, предопределяющему выход на рынок другого типа энергоносителя, который постепенно становится доминирующим. Так, типичным примером может служить происходящий в настоящее время процесс распространения светодиодов, являющихся одним из характерных товаров-представителей нового технологического уклада. И, хотя для освоения их массового производства требуется формирование новой технологической совокупности, включающей технологические цепочки от производства поликристаллического кремния до лазерных технологий, овчинка, как видим стоит выделки. Повышение эффективности на два порядка дает возможность извлечения колоссальной интеллектуальной ренты, служащей мощным стимулом для новаторов.

Итак, важный промежуточный вывод состоит в том, что по мере формирования технологических совокупностей нового технологического уклада он переходит в фазу роста, который идет уже на новой энергетической базе. Энергоемкость производства резко снижается, падает темп прироста энергопотребления. Начинается новый подъем волны Кондратьева, рост нового ТУ сопровождается значительно большей энергетической эффективностью, **спрос на традиционные энергоносители снижается, цены на них падают столь же резко, как поднимались.**



Рис. 2
Динамика цены на нефть марки BRENT (долл./баррель)

Смена технологических укладов сопровождается крупномасштабными структурными сдвигами в сырьевой базе экономики, наглядно проявляясь в потреблении первичных энергоносителей (*рис. 3*). Энергетика, являясь наиболее капиталоемкой из базовых отраслей экономики, определяет инерционность изменений в технологической структуре экономики. Как уже говорилось, смена технологических укладов начинается со всплеска цен на основные энергоносители, который влечет резкое изменение структуры экономических оценок, падение доходности множества производств и погружение экономики в депрессию, которая, в свою очередь, стимулирует внедрение базисных технологий нового технологического уклада. При этом львиная доля расходов на антикризисную политику в это период приходится на финансирование НИОКР в сфере повышения эффективности как в сфере потребления энергии, так и ее генерации. Производство нового технологического уклада многократно менее энергоемко и происходящая по мере их распространения технологическая революция влечет быстрое повышение энергоэффективности экономики, снижение энергоемкости ВВП, относительное сокращение спроса на энергоносители и падение их цены. Одновременно **изменяется и структура спроса на энергоносители.**

Скачок в повышении энергоэффективности сопровождается повышением требований к генерации энергии в целом и ее электрической формы в особенности. Наблюдавшимся до последнего времени технологическим укладам соответствовали определенные энергоносители, спрос на которые приводил к опережающему росту их производства по мере распространения и расширения производств соответствующего технологического уклада. Энергетика первого технологического уклада с примитивными механизмами, двигавшимися живой силой, гужевым и парусным транспортом, основывалась на потреблении дров, сена, торфа. Дерево было и основным конструкционным материалом. Переход ко второму технологическому укладу

с паровыми машинами сопровождался резким повышением спроса на уголь. Бурный рост спроса на черный металл как ведущий конструкционный материал и соответствующий рост металлургической промышленности еще более подстегивали увеличение угледобычи. Электрификация как ключевое направление третьего технологического уклада, хоть и сопровождалась увеличением потребления и производства угля, создала и новые возможности – появились гидроэлектростанции, а также новые требования в энергопотреблении. Переход от циклических механизмов второго технологического уклада к гибким системам электрических машин создавал возможности для расширения сферы мобильной техники. Автомобилизация как одна из ключевых составляющих четвертого технологического уклада породила растущий спрос на моторное топливо, основывавшееся на переработке нефти. Использование последней в качестве сырья для органической химии, производящей пластмассы и синтетические волокна как ведущие отрасли конструкционных материалов и материалов для производителей конечной продукции подстегнули спрос на нефть, ставшей ведущим первичным энергоносителем в период роста четвертого технологического уклада. Переход к пятому технологическому укладу, ключевым фактором которого стала микроэлектроника, сопровождался резким снижением энергоемкости экономики и повышением требований к качеству окружающей среды. Последнее повлекло опережающее развитие газовой промышленности. Шестой технологический уклад открыл возможности для бурного развития солнечной энергетики и **водорода**, завершив эру углеводородов.

Таким образом, каждый новый технологический уклад в своем развитии поначалу использует сложившуюся транспортную инфраструктуру и энергоносители, чем стимулирует их дальнейшее расширение; при этом фаза его быстрого роста сопровождается циклическим увеличением производства и потребления ВВП, а также его энергоемкости по сравнению с долгосрочным трендом. По мере развития очередного технологического уклада создается новый вид инфраструктуры, преодолевающий ограничения предыдущего, и осуществляется **переход на новые виды энергоносителей**, которые закладывают ресурсную базу для становления следующего технологического уклада.

Гонка за водородную энергетику

Исходя из четкой диагностики проблемы (понимания закономерностей смены технологических укладов), можно констатировать, что дальней-

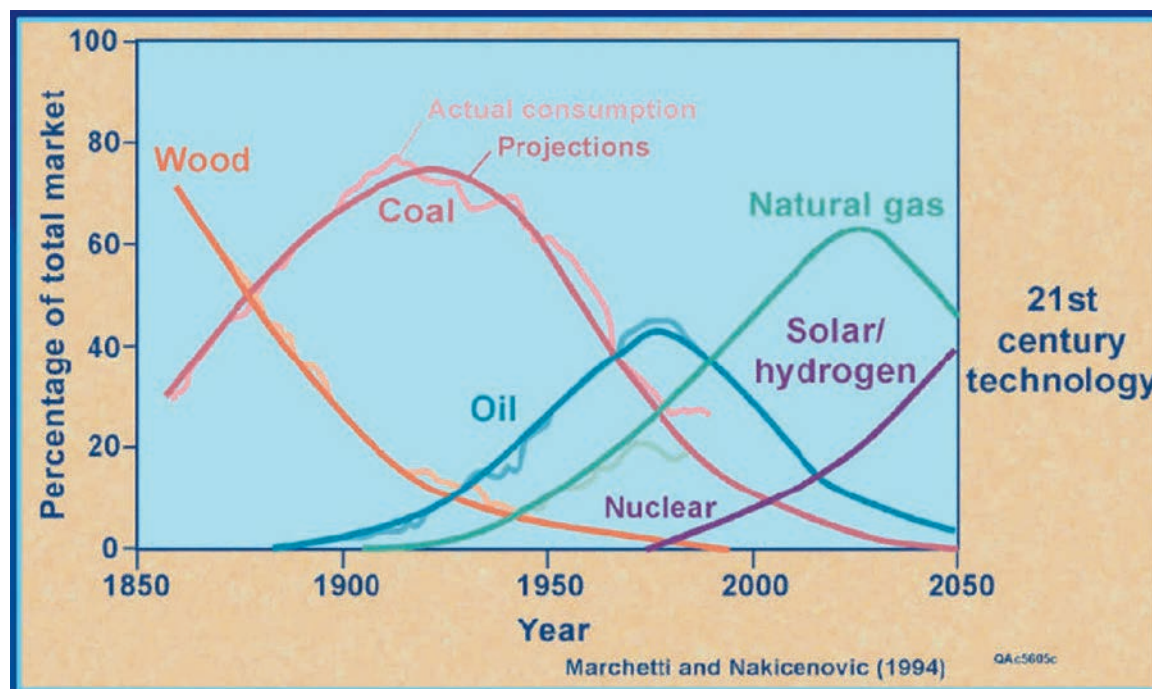


Рис. 3.

Доля преобладающих на рынке видов энергетических ресурсов с 1850 г. и прогнозом до 2050 г. (Nakicenovic N. Energy Strategies for Mitigating Global Change. IIASA. January 1992)

шее интенсивное развитие современной энергетики и транспорта на базе углеводородного сырья ведет человечество к крупномасштабному экологическому и энергетическому кризису. Именно поэтому развитые страны принимают усилия по поиску альтернативных возобновляемых экологически чистых источников энергии. Надежда на «мирный атом» пока не оправдывается, перспектива овладения термоядерной энергетикой и её использования в ближайшем будущем весьма призрачна. Перед человечеством встала проблема перевода мировой энергетики и, следовательно, экономики на новый источник энергии. **Такая энергия есть – водород.** Водород обладает наибольшей энергией на единицу веса из всех топлив и может производиться из местного сырья практически повсеместно. В пересчете на единицу массы генерация энергии из водорода в 3–4 раза выгоднее по сравнению с ее генерацией из природного газа, нефти и каменного угля (рис. 4).

Использование водорода в качестве основного энергоносителя приведет и уже приводит к созданию принципиально новой **водородной экономики**, становится научно-техническим прорывом, сравнимым по своим социально-экономическим последствиям с тем революционным воздействием на развитие цивилизации, которое в свое время оказали нефть и газ, электричество, двигатель внутреннего сгорания, химия и нефтехимия, информатика и связь.

Водород – практически неиссякаемый возобновляемый источник энергии

Основным драйвером развития водородных технологий в наши дни являются обязательства государств, отдельных регионов, компаний и их объединений по борьбе с глобальным изменением климата. Водород является необходимым элементом для реализации этих обязательств: возобновляемые источники энергии могут декарбонизировать в основном электроэнергетику (хотя и там есть ограничения) – в то время, как энергообеспечение зданий, транспортный сектор, промышленность во многом остаются «за бортом» декарбонизации – если не удастся найти новый энергоноситель. Водород претендует на решение этой проблемы, являясь экологически чистым и повсеместным источником энергии. Если прошлое и настоящее водорода связано с понятием «промышленный газ», то будущее – с понятием «новый основной энергоноситель». Экологически и энергетически «безупречный» водород неизбежно приходит на смену углеводородному настоящему планеты Земля.

На сегодняшний день более 20 государств и более 50 корпораций приняли долгосрочные программы развития водородных технологий, поддержанных льготами, финансированием из бюджетов разных уровней и международной технологической кооперацией.

В лидерах освоения водородного топлива – Япония, поставившая целью строительство

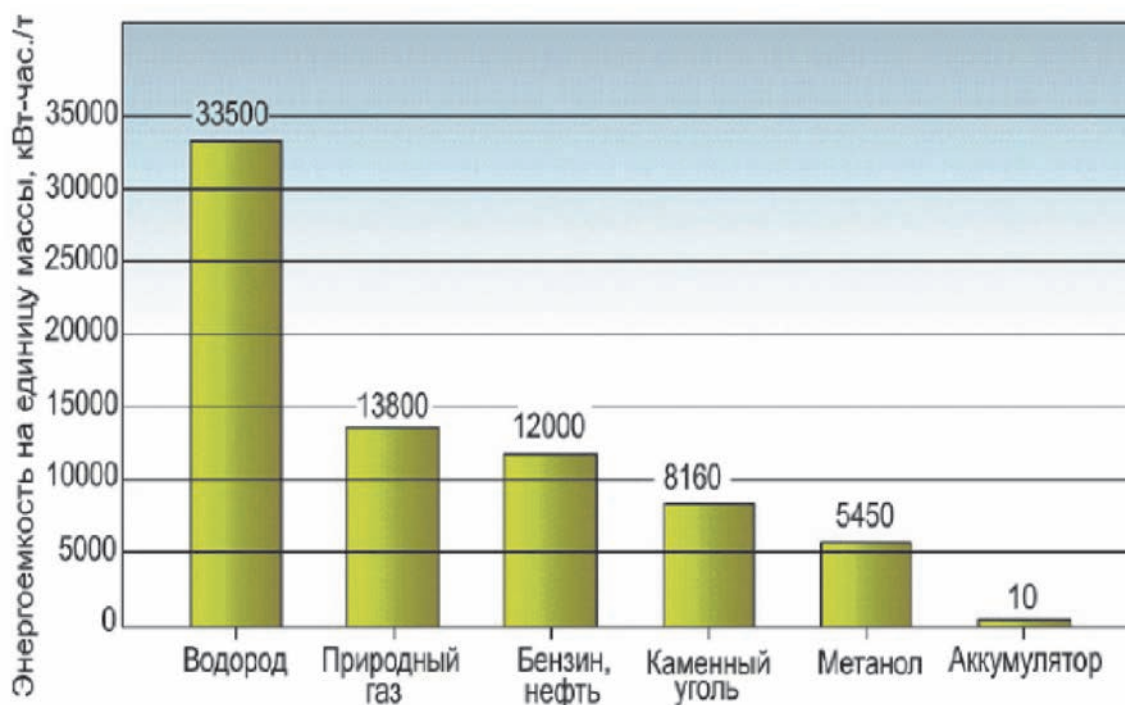


Рис. 4.

Преимущество водорода по сравнению с традиционными источниками энергии (по А.П. Симонову)

«общества, основанного на водороде». Всего в мире насчитываются десятки «водородных сообществ» и несколько сотен пилотных проектов, в первую очередь, в Японии, Германии, Великобритании, США, Южной Корее и других странах. (рис. 5, 6).

Мировое сообщество последние 15 лет активно разрабатывает **водородные топливные элементы** во многих сферах экономики. Немецкий государственный орган (Бундесрат) обратился к Европейской комиссии с предложением к 2030 г. запретить на территории Европы автомобили с традиционными двигателями внутреннего сгорания.

Уже сейчас реально существуют 11 водородных легковых автомобилей: *Toyota Mirai*, *Honda Clarity*, *Lexus*, *Audi H-Tron Quattro*, *BMW*, *Ford*, *Mercedes-Benz GLC F-Cell*, *Riversimple Rasa*, *Pininfarina H2 Speed*, *Chevrolet Colorado ZH2* и китайский автомобиль *Grove* с запасом хода 1000 км (рис. 7).

Рекордсменами могут оказаться гражданские самолеты, оснащенные силовыми установками на базе альтернативных видов топлива, в том числе водорода. Такие разработки успешно ведутся ведущим моторостроительным институтом – ЦИАМом. В широкой кооперации авиационной науки и производственных площадок, задействованных в серийном производстве гражданских лайнеров, можно создать прочную основу для опережающего внедрения в авиационную промышленность водородных техноло-

гий. Если сделать это своевременно, то Россия могла бы претендовать на весомую долю мирового рынка гражданских перевозок, который, в силу преваляровавшего в предыдущие декады «менеджерского» подхода к управлению авиационной промышленностью был нами утрачен.

Ниже представлен анализ практикуемых зарубежных государствами и институтами подходов к промышленному освоению водородных технологий.

В Токио в конце сентября 2018 г. прошла встреча министров энергетики и руководителей энергетических структур из более чем 30 стран. На ней обсуждались перспективы водородных энергетических систем в мире на предстоящее десятилетие. По сообщению агентства *Kyodo News*, цель совещания – добиться, чтобы через 10 лет в мире было «10 миллионов транспортных средств с водородными системами» и «10 тысяч станций заправки водородом».

В январе 2017 г. в Давосе по инициативе японских компаний *Toyota Motor Corp.* и *Air Liq* был создан *Hydrogen Council* – Международный совет по водородным технологиям. Организация к концу 2018 г. довела число своих членов до 53 корпораций из 11 стран с общей численностью сотрудников 3,8 млн человек и годовым доходом 1,8 трлн евро. В него вошли 27 концернов – таких, как *Audi*, *BMW*, *Daimler*, *Shell*, *Total* и др. Переход на водород позволит значительно сократить выбросы CO₂ в таких отраслях, как транспорт, химическая промышлен-

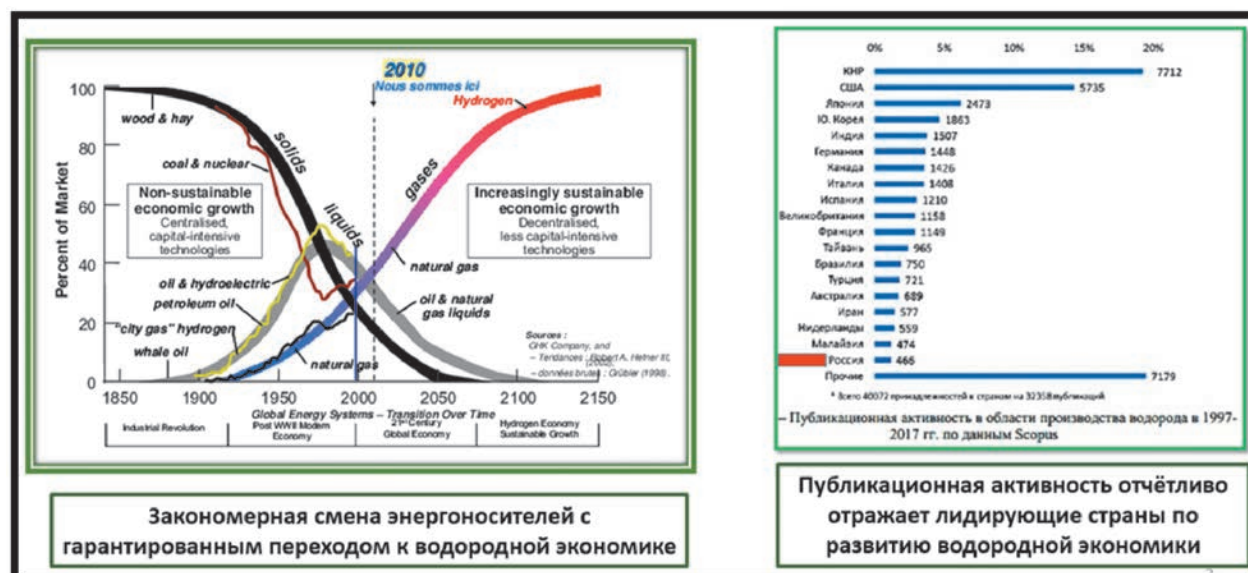


Рис. 5.

Смена энергоносителей с переходом к водородной энергетике

ность и металлургия. В своем программном исследовании Водородный Совет декларировал готовность своих членов инвестировать в течение 2018–2022 гг., как минимум, 1,9 млрд евро в год в НИОКР и развертывание рынков. Встреча стала уникальной демонстрацией участия высокого уровня в водородной сфере и подчеркнула универсальные преимущества расширения водородной технологии, которая была обозначена как потенциальный ключевой вклад в переход к будущему экологически чистой энергии. Участники согласились с тем, что необходимо ускорить внедрение водорода в качестве важного компонента широкого, безопасного, устойчивого и эффективного энергетического портфеля.

«Сейчас, когда добыча водорода на стадии разработки находится на зрелой стадии, промышленность и транспорт готовы к масштабному развертыванию. Участники встречи в Давосе признали, что водород должен двигаться быстрее», – сказал Бенуа Потье, сопредседатель Совета по водороду и председатель и генеральный директор *Air Liquide*. – Теперь задача состоит в том, чтобы продвигаться вперед в рамках многостороннего международного сотрудничества и работать вместе с правительствами и заинтересованными сторонами по всей цепочке создания стоимости, чтобы согласовать приоритеты. В частности, основное внимание будет уделено тому, как **установить соответствующие правила и стандарты**, а также определить необходимые инвестиционные инструменты для продвижения вперед» (рис. 8).

В Германии водородные поезда *Coradia iLint* перевозят пассажиров по стокилометровому маршруту между городами Бремерхафен, Кук-

схафен, Букстехуде и Бремерферде. Они уже успешно отработали свои первые 100 000 км спустя 10 месяцев после запуска регулярных пассажирских перевозок. До конца 2021 г. на этой не электрифицированной железнодорожной линии на северо-западе страны в федеральной земле Нижняя Саксония собираются полностью отказаться от дизельных локомотивов, заменив их на 14 поездов, вырабатывающих электроэнергию в водородных топливных элементах.

Такие же водородные электрички решили использовать и в федеральной земле Гессен. В мае выпускающий их французский концерн *Alstom* получил заказ в 500 млн евро на 27 поездов, которые с 2022 г. планируется использовать для пригородного сообщения с горным массивом Таунус к северо-западу от Франкфурта-на-Майне.

По планам США, Германии, Скандинавии, Норвегии, Швеции, Голландии, Франции, **к 2040 г. дизельные и бензиновые двигатели выпускаться не будут.**

Металлургические компании Германии и Швеции осваивают новые экологичные технологии производства стали. В них вместо сжигания угля используется водород. Хотя затраты пока на 20–30% выше, зато выбросов в атмосферу гораздо меньше. Эксперты предсказывают, что экологи в ближайшее время развернут атаку на традиционные технологии в металлургии по всему миру. Металлургическая промышленность при изготовлении чугуна и стали дает около 7–9% всех антропогенных выбросов углерода. Как утверждает агентство *Bloomberg*, немецкий промышленный конгломерат *Thyssenkrupp* внедряет технологии использования водорода



Рис. 6.

Периодическая смена технологических укладов в мировом технико-экономическом развитии

в металлургии. В частности, будут проведены испытания по использованию водорода в одной из доменных печей в городе Дуйсбург.

Лидер мировой экономики – Китай – активно работает в сфере развития водородной энергетики. Председатель КНР Си Цзиньпин, выступая на Всекитайском совещании по вопросам научно-технических инноваций, 18 совещании членов Академии наук Китая, 13 совещании членов Инженерной академии Китая и 9 Всекитайской конференции Научно-технического общества Китая, поставил задачу: к 2020 г. Китай должен войти в число стран инновационного типа, а к 2030 г. – выйти на лидирующие позиции по инновациям. К 2049 г., когда в стране будет отмечаться 100 годовщина со дня образования КНР, Китай должен стать ведущей мировой научно-технической державой.

В июне 2019 г. китайская водородная ассоциация (*China Hydrogen Alliance*) выпустила Белую книгу о китайской водородной энергетике и топливных элементах, согласно которой в краткосрочной перспективе (2020–2025 гг.) объем промышленного производства водородной промышленности достигнет 148 млрд долларов, а парк автомобилей на топливных элементах составит 50 000 с инфраструктурой в виде 200 водородных заправок. В 2026–2035 гг. объем промышленного производства в отрасли, как ожидается, вырастет до 740 млрд долларов, количество водородных автомобилей достиг-

нет 15 млн, а заправок водорода – 1500 станций. К 2050 г. водород будет составлять 10% от энергопотребления Китая (60 млн т H_2 /год), совокупная выручка от производства водорода достигнет 1,5 трлн долларов.

За первые 7 месяцев 2019 г. установленная мощность водородных топливных элементов в Китае выросла на 642,6% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года (до 45,9 МВт), несмотря на прекращение государственных субсидий для новых энергетических транспортных средств (*NEVs*). Производство и продажа автомобилей на водородных топливных элементах выросла в 8,8 раз (1106 единиц). К 2030 г. Китай планирует иметь 2 млн автомобилей на водородных топливных элементах (*HFCV*).

По данным агентства *Bloomberg*, китайские инвестиции в водородный транспорт до 2023 г. составят более 17 млрд долларов, 7,6 млрд долларов из них вложит Китайская национальная корпорация тяжелых грузовиков. Деньги пойдут на создание водородных автомобилей на заводе в провинции Шаньдун на восточном побережье страны. Также будет налажено масштабное производство топливных элементов, построена сеть высокотехнологичных АЗС и создана цепь поставок.

Шанхай планирует построить в районе Цзядин «водородную энергетическую гавань» мирового класса с целью создания надежной производственной цепочки для *HFCV*-транспорта. На



Рис. 7.

Водородные легковые машины-рекордсмены

базе водородной энергетической гавани сформируется промышленный кластер площадью 2,15 км² и объемом выручки 7,2 млрд долларов в год. На уровне Компартии Китая тему развития водородной промышленности поручено курировать Ван Гану, который ранее возглавлял прорыв Китая в области электромобилей.

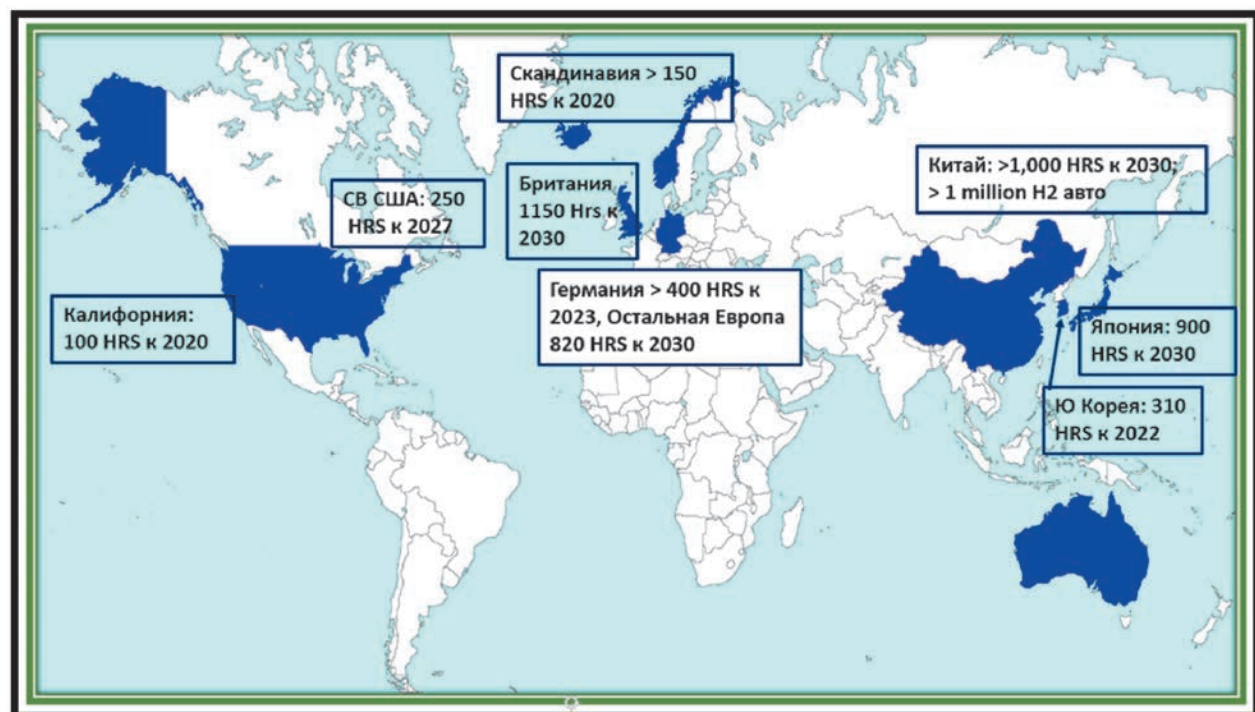
О сверхсерьёзном отношении к водородной энергетике в мире свидетельствуют планы создания «водородных городов». В третьем по

размерам британском городе Лидсе энергетическая компания *Northern Gas Networks* готовит пилотный проект под многозначительным названием *H21*, который конечной целью имеет полностью перевести во всем городе отопление с природного газа метана на водород. Морские ветропарки для его производства методом электролиза имеются.

К 2025 г. Китай рассчитывает превратить город Ухань (*Wuhan*) – столицу провинции Хай-

Рис. 8.

Программа строительства новых водородных заправочных станций (HRS) в некоторых странах



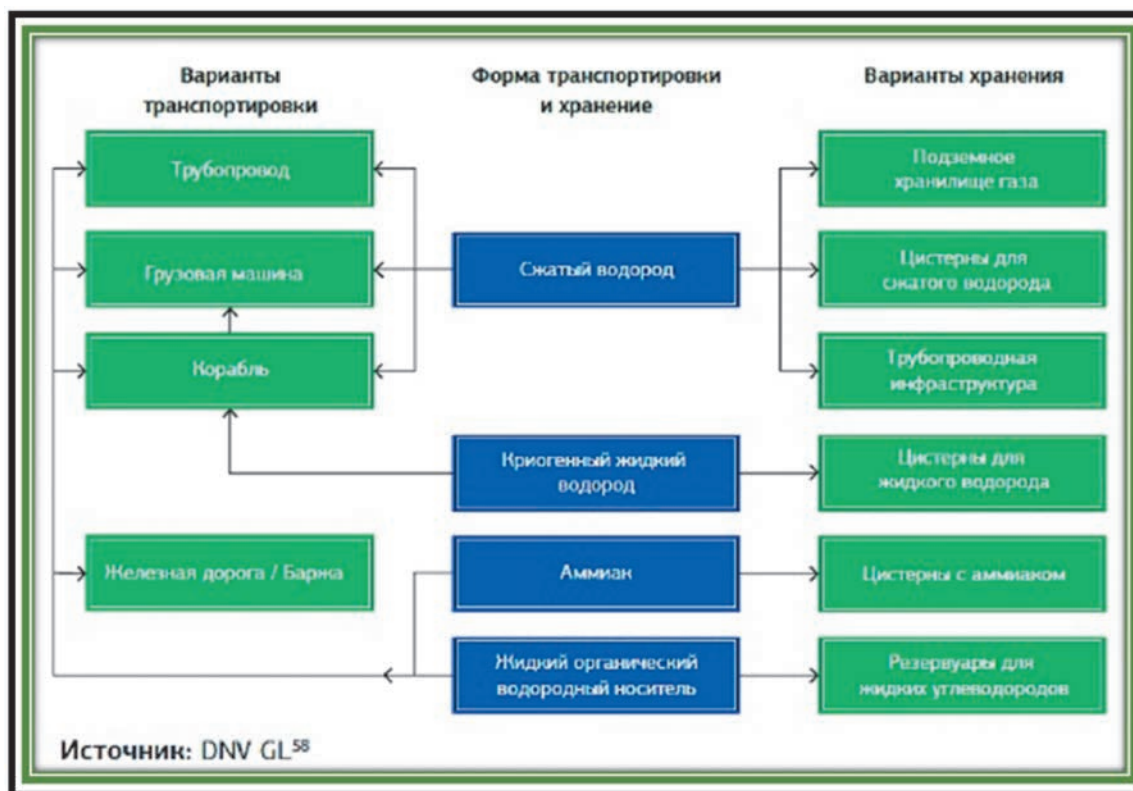


Рис. 9.
Решённые проблемы на пути к водородной экономике

бей – в ведущий водородный хаб страны. На первом этапе там планируется построить 20 ВЗС, обслуживающих около 3000 водородомобилей. К 2025 г. в городе будут сосредоточены крупнейшие предприятия в сфере производства топливных элементов и более 100 предприятий, связанных с водородной энергетикой. Количество ВЗС возрастет до 30–100 единиц. Объем инвестиций оценивается примерно в 1,7 млрд долларов.

Проблемы транспортировки и хранения водорода в мире уже решены (рис. 9).

Сдерживает развитие водородной энергетики лишь необходимость производить водород. По данным на 2019 г. в мире потребляется 75 млн т водорода, в основном в нефтепереработке и производстве аммиака. Из угля и нефти

добывается 11% мирового водорода, из природного газа – 85%, для чего расходуется более 205 млрд м³ газа. Около 0,1 % (~100 000 т) вырабатывается электролизом. При производстве водорода в атмосферу поступает ~830 млн т CO₂. Себестоимость водорода из природного газа оценивается в 1,5–3 доллара за 1 кг.

Рынок водорода в 2050 г. составит 2,5 трлн долларов, будет создавать четверть мировой энергии и создаст около 30 млн рабочих мест.

Что же касается стоимости самого водорода, то сегодня 1 сжиженный килограмм этого продукта стоит примерно в 8 раз дороже 1 литра хорошего бензина. Но надо учесть, что расход его во столько же раз меньше – 1 кг достаточно, чтобы проехать более 100 км пути.

Рис. 10.
Выходы водорода на дневную поверхность. Кольца или циркумменты



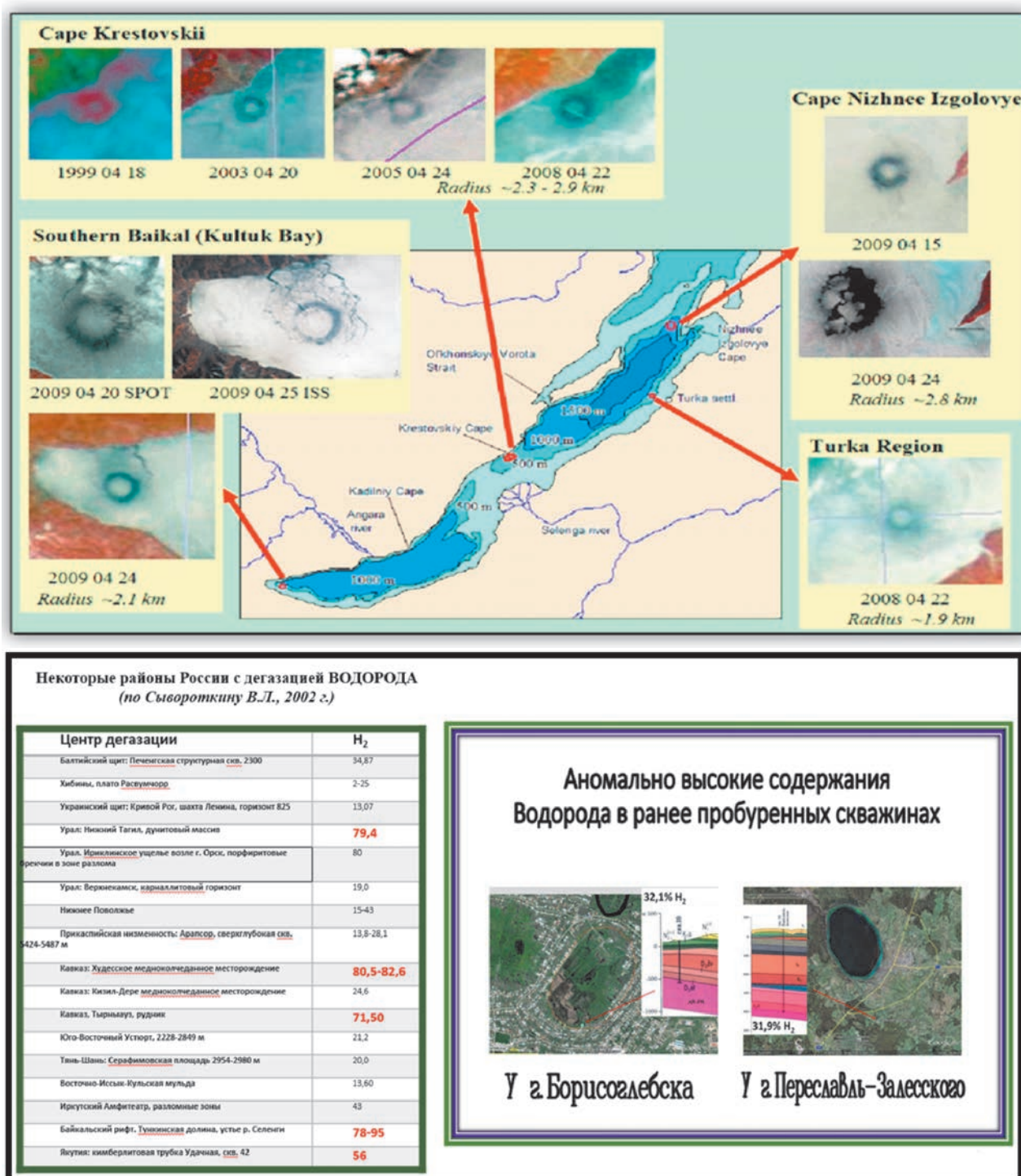


Рис. 11.
Некоторые регионы России с дегазацией водорода

В технологии производства сжатого водорода методом ПКМ (паровая конверсия метана) удельные расходы на 1 кг H₂ составляют: природного газа – 5–5,5 м³; воды – 4–4,5 кг; электроэнергии – 0,7–0,9 кВт/ч. Выбросы CO₂ с учетом потерь природного газа на магистральном транспорте и в процессе выработки электроэнергии в энергосистеме достигают 9,5 кг/кг H₂.

Себестоимость получения водорода главными способами:

- путём конверсии природного газа – 1,5–3 \$/кг;
- газификация угля – 1,9–2,8 \$/кг;
- электролиз воды – 5–8 \$/кг;
- ядерные реакторы – 2 \$/кг;
- из биомассы – 4–7 \$/кг.

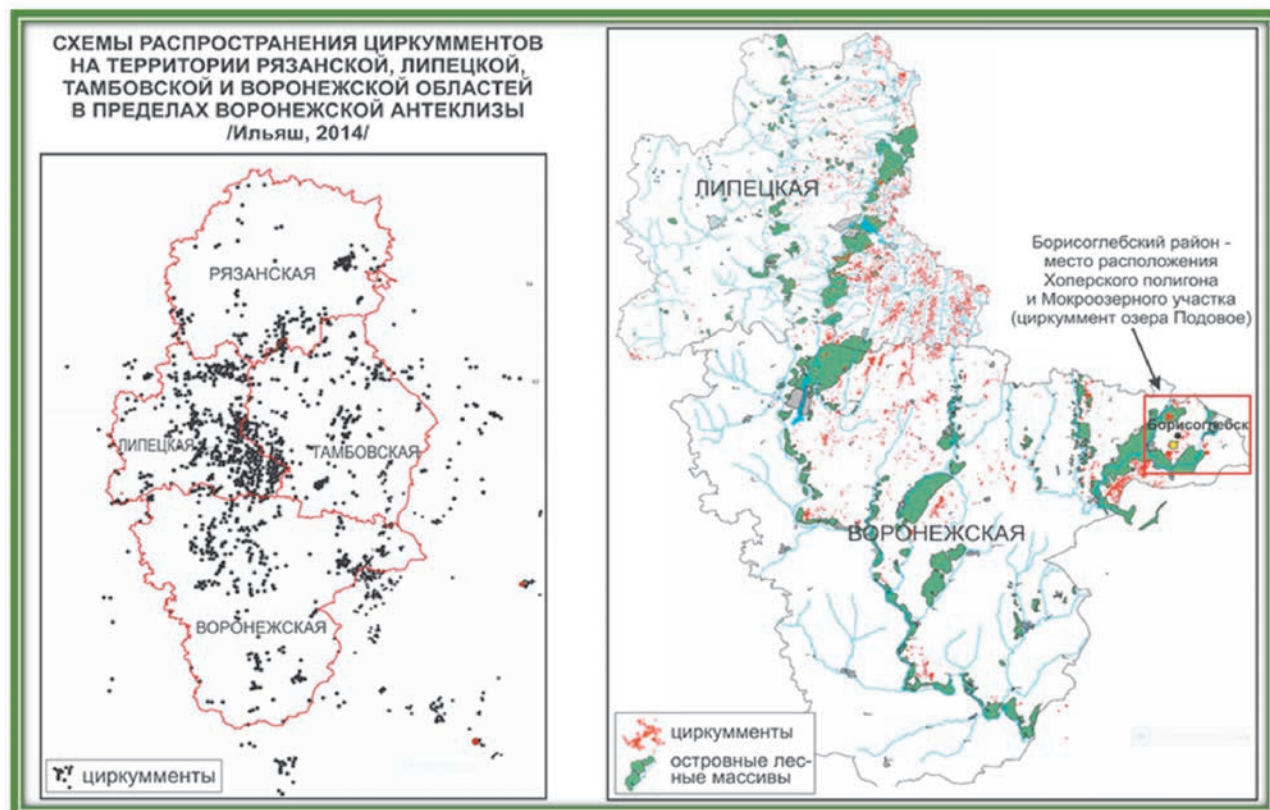


Рис. 12.
Водородные провинции в Воронежской, Липецкой, Тамбовской и Рязанской областях (по А.П. Симонову)

Ключевое звено для триумфа водородной экономики

Решение проблемы добычи водорода из природных месторождений позволит в кратчайшие сроки перейти к водородной энергетике и экономике. Советским учёным В.Н. Лариным несколько десятилетий назад было сделано открытие о гидридном строении ядра Земли и массовой дегазации водорода из ядра с последующим его транзитом в космос [4]. Состав Земли, определённый Лариным на основе фактов, оказался принципиально иным в сравнении с господствующими представлениями всех существующих геологических школ. Содержание кислорода, по его данным, не должно превышать на планете 1% всей массы, преобладающими элементами являются Si, Mg и Fe; далее (по убывающей) – Ca, Al, Na; концентрации прочих не превышают десятых долей процента. Вместе с тем более половины всех атомов (60%) в изначальной Земле принадлежали водороду (4,5% по массе).

На космоснимках места дегазации водорода отчётливо маркируются кольцевыми структурами различного диаметра от сотен метров до первых километров (рис. 10).

Это открытие позволяет искать месторождения природного водорода. В России выявлено более 2000 мест, где дегазация водорода доказана инструментально (рис. 11).

Наиболее перспективное место для организации поисков находится в Воронежской области, на котором можно в кратчайшие сроки организовать пилотный полигон по отработке методики поисков, оценки и разведки месторождений природного водорода (рис. 12).

Вулканическая дегазация водорода происходит в трёх основных геотектонических условиях: срединных океанических хребтах, континентальных и островных вулканических поясах и в континентальных рифтах (ранжировано по убыванию значимости). Последние 200 лет происходит дегазация водорода на континентах вне зон вулканизма, масштабы которой ещё предстоит выяснить (рис. 13).

Выброс водорода при сильных взрывах вулканов (например, Мон-Пеле на Мартинике) может достигать 100 000 км³, что в десятки раз превышает объём ежегодной общепланетарной добычи газа. При извержении Гавайских вулканов периодически возникает «большое пламя» – горящие столбы водорода высотой до 200 м, вулкан Шивелуч на Камчатке в 1954 г. выбросил столб огня (водородный) высотой 20 км.

Водород мигрирует из недр Земли в двух основных формах: свободного газа – H₂ и в виде соединений кремния с водородом – силицидов. В атмосфере Земли содержится 2,5 млрд т водорода, который улетает в космическое простран-

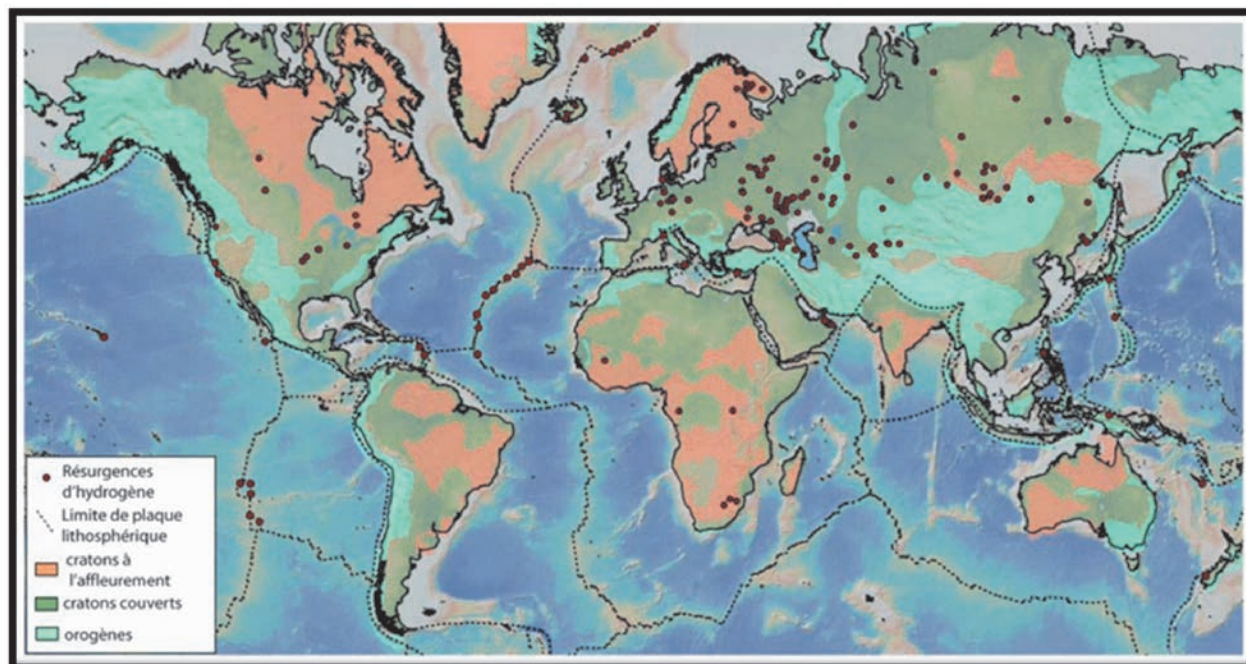


Рис. 13.

Схематическая карта водородной дегазации в мировом океане и на континентах

ство «со скоростью» примерно 250 000 т в год [1]. Очевидно, что раз содержание водорода в атмосфере не меняется, то должен существовать постоянно действующий источник водорода той же мощности. Этим источником, без сомнения, является дегазация Земли, которая протекает в виде вулканической деятельности (например, газ вулкана Этна содержит 16,5% H_2) и непосредственной дегазации через континентальную земную кору.

Российскими геологами накоплен значительный материал по геологии месторождений природного водорода. По числу атомов водород является основным компонентом нефти и природного газа. Поэтому проблема происхождения углеводородов сводится к проблеме источника водорода. Углерода в земной коре более чем достаточно. Когда через неё идут потоки водорода, непременно должны генерироваться углеводородные соединения. При этом струи водорода по пути своего следования образуют обширную систему пор и каверн не только по известнякам и доломитам, но также и по силикатным породам — гранитам и гранито-гнейсам. Эти поры и каверны могут заполняться новообразованной нефтью и таким образом могут формироваться богатейшие месторождения. Не исключено также, что в верхних зонах наиболее зрелых водородопроводов могут находиться месторождения нефти [6].

Достоверно установленные и измеренные (водородометрия) выходы газообразного водорода практически на всех континентах

в комбинации с микросейсмическим зондированием позволяют выявлять скрытые на глубине зоны, из которых можно будет добывать водород буровыми скважинами. При этом глубина бурения в некоторых местах будет порядка 1–1,5 км. Таким образом, можно будет получать водород — уникальный по своим характеристикам энергоноситель, что открывает реальные перспективы для развития водородной энергетики.

Правительству и геологическому сообществу России в кооперации с нашими партнерами по Евразийскому экономическому союзу (в рамках создаваемых технологических платформ и утвержденной карты индустриализации) необходимо начать комплексное изучение этой глобальной проблемы, и в качестве технологического лидера встроиться в набирающий обороты процесс водородной дегазации планеты Земля и неорганического происхождения углеводородов. Став передовиками в разработке перспективных водородных месторождений и промышленном синтезе водородного топлива, одни государства ЕАЭС на длительный исторический промежуток смогут избавиться от так называемого «сырьевого проклятия», а другие — решить застарелую проблему энергетической зависимости.

Решение проблемы поисков месторождений природного водорода и неорганических месторождений нефти и газа имеет не только всероссийское, но и **наднациональное значение.** ¹⁰

Литература

1. Глазьев С.Ю. Методы оценки динамических характеристик НТП // Известия АН СССР. Серия экономическая. 1985. № 1.
2. Данилов-Данильян В.И., Рывкин А.А. Воспроизводственный аспект экономического развития и некоторые проблемы управления // Экономика и математические методы. 1982. Т. XX. Вып. 1.
3. Яременко Ю.В. Структурные изменения в социалистической экономике. М.: Мысль. 1981.
4. Ларин В.Н. Наша Земля (происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли). М.: Агар. 2005. 248 с.
5. Белов С.В. Чистое топливо будущего – водород // Природно-ресурсные ведомости. 2003. Вып. 47. С. 8.
6. Полеванов В.П. Единственная возможность России найти крупные месторождения обычной нефти – перейти на поиски, исходя из абиогенной теории ее образования // Бурение и нефть. 2020. № 1.

UDC 330.33.01;620.92

V.P. Polevanov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Deputy Director for Informatization of Subsoil Use – Chief Geologist of FGKU “Rosgeolekspertiza”¹, pvp1949@mail.ru

S.Yu. Glaziyev, Doctor of Economic Sciences, Academician of RAS, Member of the Board (Minister) for Integration and Macroeconomics of Eurasian Economic Commission²

¹34, Malaya Ordynka str., Moscow, 115184, Russia.

²3/5, bldg. 1 Smolensky blvd, Moscow, 119121, Russia.

Searches for Natural Hydrogen Deposits in Russia as a Basis for Integration into a New Technological Order

Abstract. The change in technological structures is accompanied by large-scale structural shifts in the raw material base of the economy, clearly manifested in the consumption of primary energy carriers. Energy, being the most capital-intensive of the basic sectors of the economy, determines the inertia of changes in the technological structure of the economy. Further intensive development of modern energy and transport based on hydrocarbon raw materials is leading mankind to a large-scale environmental and energy crisis. Developed countries are making efforts to find alternative renewable clean energy sources. Mankind is faced with the problem of transferring world energy and, consequently, the economy to a new energy source – hydrogen. The use of hydrogen as the main energy carrier will lead and is already leading to the creation of a fundamentally new hydrogen economy, is becoming a scientific and technical breakthrough, comparable in its socio-economic consequences with the revolutionary impact on the development of civilization that – each in its own time – had oil and gas, electricity, internal combustion engine, chemistry and petrochemistry, informatics and communications. The government and the geological community of Russia, in cooperation with partners in the Eurasian Economic Union (within the framework of the technological platforms being created and the approved industrialization map), must begin a comprehensive study of this global problem, and, as a technology leader, integrate into the growing process of hydrogen degassing of the planet Earth and inorganic origin of hydrocarbons

Keywords: technological structure; Kondratieff cycles; energy demand structure; new types of energy sources; hydrogen energy; natural hydrogen deposits; hydrogen production.

References

1. Glaz'ev S.Yu. *Metody otsenki dinamicheskikh kharakteristik NTP* [Methods for assessing the dynamic characteristics of scientific and technological progress]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya ekonomicheskaya* [Izvestiya AN SSSR. Economic series], 1985, no. 1.
2. Danilov-Daniil'yan V.I., Ryvkin A.A. *Vosproizvodstvennyi aspekt ekonomicheskogo razvitiia i nekotorye problemy upravleniia* [Reproductive aspect of economic development and some management problems]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economics and Mathematical Methods], 1982, vol. XX, issue 1.
3. Iaremenko Yu.V. *Strukturnye izmeneniia v sotsialisticheskoi ekonomike* [Structural changes in the socialist economy]. Moscow, Mysl Publ., 1981.
4. Larin V.N. *Nasha Zemlia (proiskhozhdenie, sostav, stroenie i razvitie iznachal'no gidridnoi Zemli)* [Our Earth (origin, composition, structure and development of the originally hydride Earth)]. Moscow, Agar Publ., 2005, 248 p.
5. Belov S.V. *Chistoe toplivo budushchego – vodorod* [The clean fuel of the future is hydrogen]. *Prirodno-resursnye vedomosti* [Natural Resources Bulletin], 2003, issue 47, p. 8.
6. Polevanov V.P. *Edinstvennaia vozmozhnost' Rossii naiti krupnye mestorozhdeniia obychnoi nefti – pereiti na poiski, iskhodiat iz abiogennoi teorii ee obrazovaniia* [The only opportunity for Russia to find large deposits of conventional oil is to start searching based on the abiogenic theory of its formation]. *Burenie i neft'* [Drilling and Oil], 2020, no. 1.