

Сергей КАЛУГИН, Игорь ДАБАХОВ

Водород – полезное ископаемое!

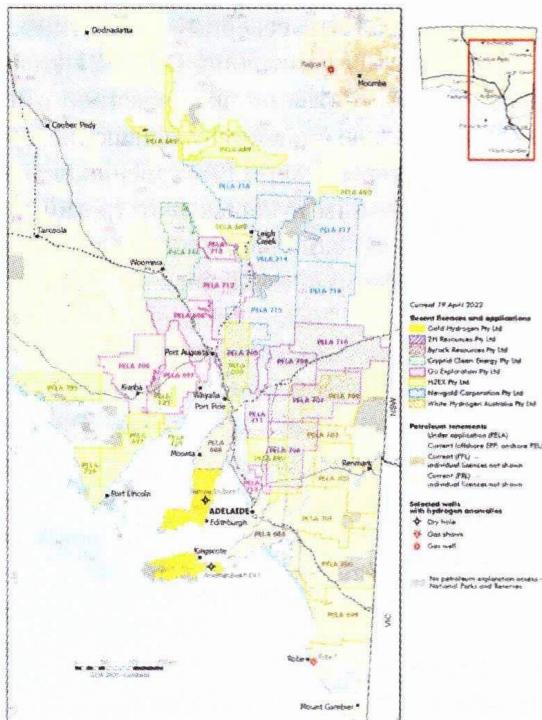
Наконец-то, спустя много лет поддавшись настойчивым доводам учёных, Роснедра признали водород полезным ископаемым! Тем самым под давлением очевидных фактов косвенно признана абиогенность происхождения и неисчерпаемость углеводородов, что давно доказывалось лучшими представителями российской науки (Д. И. Менделеевым, В. И. Вернадским, В. Н. Ларином, В. Л. Сывороткиным), но с большим трудом принималось на Западе.

Водород – энергоноситель нового экономического цикла!

С.Ю. Глазьев

Водородная революция

Первой российских учёных услышала Австралия, которая в ноябре 2021 года приняла водородное законодательство, распространившее национальную систему регулирования добычи нефти и газа



Карта месторождений водорода в Австралии

на водород: правила получения лицензий, предоставление государственных льгот и т.д. Австралия – исключительно системная страна, её экономика во многом держится на полезных ископаемых.

Сегодня она сделала ставку на водород – буквально каждый австралийский штат имеет свою водородную программу! Лидером является Южная Австралия, занимающая территорию около 1,5 млн км², которая выдала 18 поисковых лицензий на 550 тыс. км², то есть на треть территории штата. Одна из компаний по добыче водорода названа «Золотой водород». Её участки находятся в самом хорошем месте, и она уже приступила к работам.

Большая часть современной энергетики до сих пор основана на сжигании углеводородов. При этом неизбежно выделяется парниковый углекислый газ. Альтернативой углеводородной энергетике стала «зелёная»: ветровые, солнечные гидроэлектростанции и атомная энергетика. Но и они не лишены недостатков:

- солнечные станции работают только днём;
- ветровые сильно зависят от капризов погоды;
- «зелёная» энергетика пока остаётся весьма недешёвой;
- АЭС эффективно работают лишь в стабильных режимах, круглосуточно с одной нагрузкой, и имеют риск аварий. Возникает необходимость в обширной энергосистеме и компенсационных станциях, запасающих энергию в периоды низкого потребления и выдающих её, когда оно возрастает.

Но все «альтернативные» способы генерации решают лишь проблемы с энергоснабжением, для транспорта углеводородная энергетика альтернатив практически не имеет. Хотя электромобили сегодня и в моде, но уже понятно, что их использование будет ограниченным. Для авиации электродвигатели малопригодны в обозримом будущем.

Водород – самый экологичный и перспективный вид топлива нового экономического цикла. Действительно, сжигать водород не труднее, чем природный газ, причём в результате сгорания получается чистый водяной пар.

Водород, как и природный газ, можно добывать из-под земли в готовом виде. Но для этого нужно разрабатывать новые методики, способы его добычи и очистки. Благодаря своей химической активности, в чистом виде поверхности планеты достигает не так много первородного газа, в гораздо больших количествах человечество использует его производные: воду, серо- и углеводороды.

Теория В. Н. Ларина изначально гидридной Земли

В 70-х годах XX века В. Н. Ларин предложил *гипотезу гидридного ядра Земли*, содержащего сверхсжатый водород, который проходит путь из центра планеты к поверхности, преобразуясь из ионного газа в молекулы водорода и его соединений.

Водородная дегазация планеты – явление выделения водорода в смеси с другими флюидными газами (чаще всего водяным паром, углеводородами, гелием и радоном) в рифтовых зонах, при извержениях вулканов, из разломов земной коры, кимберлитовых трубок, некоторых шахт и скважин. Гипотеза В. Н. Ларина давно превратилась в теорию благодаря множественным фактам, её подтверждающим:

1. выходы водорода на поверхность (круги на полях, водородные месторождения, окружные озёра, карстовые провалы, бугры пучения);
2. вулканические газы полны соединениями водорода;
3. вода и углеводороды – следы водородной дегазации, присущие всем активным и постактивным планетарным телам, количественно доказывающие факт истечения водорода из недр планет;
4. озоновые дыры и высотные (серебристые и перламутровые) облака образованы выходом водорода в атмосферу.

Единственным спорным моментом теории Ларина является предположение, что источником внутренней энергии Земли служат исключительно реакции радиоактивного распада ядер. Но эти реакции приводят к разложению гидридов металлов внутреннего ядра планеты и увеличению температуры, что в свою очередь приводит к более интенсивному распаду элементов и цепной реакции. В таком случае Землю бы постигла судьба Фаэтона (см. «НиР» № 2, 2023)!

Реакции синтеза как источник водородной дегазации

Статическое давление в центре Земли $\approx 3 \cdot 10^6$ бар. В недрах планеты ежедневно происходит порядка 100 значительных землетрясений, порождающих упругие продольные волны, которые, проходя через вещество в местах пучностей, создают локальные зоны повышения плотности. В этих областях земного гидридного ядра давление может достигать 10^8 бар при температуре порядка 6000°K . В таких условиях плотность вещества в локальных точках достигает уровня, при котором возможно туннелирование и протекание термоядерных реакций. Внутреннее гидридное ядро Земли как бы очень медленно «кипит», подобно смоле, то есть спорадически в разных местах возникают локальные реакции синтеза.

Там, где возникают очаги термоядерных реакций, резко возрастает температура. При этом происходит разложение гидридов, переход водорода из гидрид-ионной формы в протонный газ и, соответственно, выделение большого количества водорода и энергии. Давление в этой зоне резко возрастает, и происходит выдавливание потоков водородной плазмы из ядра наружу. При этом цепной термоядерной реакции не возникает, так как избыток тепла уходит с водородом – теплоносителем – во внешние сферы, образуя поток протонного газа от ядра к поверхности и приводя к падению температуры.

Ярким доказательством протекания реакций синтеза в недрах Земли служит истечение и добыча ^3He на поверхности планеты. Подчеркнём, что ^3He образуется исключительно при синтезе из водорода. Ни при каких химических и реакциях распада тяжёлых элементов его образование невозможно. Группой профессора Мамырина (Ленинградский физико-технический институт) при исследовании химсостава газов вулканических выбросов на Камчатке было обнаружено, что отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ в мантии Земли стабильно и в тысячу раз больше, чем в земной коре.

Способы получения водорода

Методы производства водорода принято разделять по цветам:

1. «Зелёный» водород (безуглеродный) – электролиз с использованием возобновляемых источников энергии.

Самый простой способ – это электролиз воды. Под действием электрического тока молекулы воды разделяются на атомы водорода и кислорода, которые затем соединяются в молекулы газов. На одном из электродов образуется

водород. Большим плюсом электролиза является его экологичность. Но даже при использовании дешёвой атомной энергии стоимость килограмма водорода составляет около 4–6 долларов. По оценкам американских экономистов, чтобы стать реальной альтернативой углеводородной энергетике, его цене должна быть менее 4 долларов.

Сегодня промышленным электролизёрам на производство 1 кг водорода требуется затратить от 48 до 78 кВт^{*}ч электроэнергии (в зависимости от КПД). Если удастся создать промышленные образцы электролизёров с КПД 99 процентов (сегодня этот показатель составляет от 42 до 68 процентов), энергозатраты снизятся до величины 33,5 кВт^{*}ч электроэнергии на 1 кг водорода.

2. «Жёлтый» водород (безуглеродный) – электролиз с использованием атомных электростанций (АЭС).

Если использовать только «зелёные» методы, в которых электричество поставляют солнечные или ветровые электростанции, то стоимость килограмма водорода взлетает до нерентабельных 13–15 долларов за килограмм.

3. «Бирюзовый» водород (малоуглеродный) – пиролиз природного газа (метана).

Благодаря широкому распространению газовых магистралей и сетей заслуживает внимания метод получения водорода из газовых труб, уже применяемый компанией «Тойота», где он в количестве 0,5–1 процент является побочным продуктом транспортировки метана. Но при пиролизе метана образуются выбросы CO и CO₂.

4. «Голубой» водород (среднеуглеродный) – паровая конверсия метана (ПКМ) или угля с утилизацией CO₂ (CCS – технология улавливания и захоронения углерода).

Уголь или газ смешивают с водяным паром и нагревают до 1000°C без доступа кислорода. При таком методе

стоимость килограмма водорода падает до 2–3 долларов, что уже на границе окупаемости. Но в процессе конверсии помимо водорода выделяется углекислый газ в пропорции 1:9 или его родственник – монооксид углерода. От чего пытались избавиться, к тому и пришли!

5. «Серый» водород (высокоуглеродный) – паровая конверсия метана с выбросом CO₂.

Тем же недостатком обладает получение водорода сходным способом из биомассы: ископаемый уголь тут не используется, но с углеродным следом тоже проблемы. Можно, конечно, выделяющиеся в процессе соединения углерода улавливать и утилизировать, но это повышает стоимость процесса.

6. «Бурый» водород (высокоуглеродный) – газификация или паровая конверсия угля.

В процессе образуется синтез-газ: смесь углекислого газа (CO₂), окси углерода (CO), водорода, метана и этилена, а также небольшое количество других газов.

7. «Белый» водород, который производят в ходе своей жизнедеятельности некоторые бактерии и водоросли.

В этой области сегодня ведутся активные исследования в США, Японии и других странах.

8. «Бесцветный» водород – извлекаемый из недр планеты как полезное ископаемое. Это требует нового подхода к геофизике, геохимии, геологии и создания методов разведки и добычи водорода из разломов Земли.

На наш взгляд, самым перспективным было бы получение водорода из скважин или из воздуха в местах его дегазации. Скорее всего, этот метод из-за небольшого дебета водородных скважин способен решать проблемы местного энергопотребления. Но в масштабе всей России даст значительный экономический эффект.

Способы получения водорода:

Номер и тип	Процесс	Формула	dH кДж/моль	Цена 1 кг H ₂	Кол-во электр. энергии на 1 кг H ₂
1. Зелёный	Электролиз ветряных и солнечных Электролиз ГЭС и ПЭС (в перспективе)	2 H ₂ O=2 H ₂ +O ₂	285	10–15\$ 3\$	63 кВтч 33 кВтч
2. Жёлтый	Электролиз АЭС	2 H ₂ O=2 H ₂ +O ₂	285	4–6\$	63 кВтч
3. Бирюзовый	Пиролиз метана	CH ₄ =C+2 H ₂	74	3–4\$	
4. Голубой	Паровая конверсия с утилизацией CO ₂	CH ₄ +H ₂ O=CO ₂ +3 H ₂	226	7–8\$	
5. Серый	Паровая конверсия без утилизации CO ₂	CH ₄ +H ₂ O=CO ₂ +3 H ₂	226	3\$	
6. Бурый	Газификация угля	C+H ₂ O=CO+H ₂	132	2–3\$	
7. Белый	Получение биологическим путём			2\$	
8. Бесцветный	Добыча из недр Земли			1\$	

Программа развития водородной энергетики РФ

Выдержка из текста Энергетической Стратегии Российской Федерации на период до 2035 года: «2 миллиона тонн к 2035 году – это 16 процентов от мирового рынка экспорта водорода. Если прогресс 2024–2035 годов сохранится на должном уровне, то уже к 2050 году экспортный потенциал российского водорода достигнет 100 миллиардов долларов в год, прочно и, пожалуй, навсегда заняв лидирующие позиции. Это означает, что экспорт водорода будет приносить больше денег, чем экспорт природного газа» (Председатель Правительства Российской Федерации М. Мишустин).

Планируется, что Россия в 2024 году будет экспортовать около 200 тыс. тонн водорода, а к 2035 году в 10 раз больше – порядка 2 млн тонн.

Комплексное развитие водородной энергетики и вхождение страны в число мировых лидеров по его производству и экспорту в десятилетнем горизонте может составить 10–15 процентов мирового рынка водорода.

Предлагаемая «дорожная карта» плана развития водородной энергетики в России:

1. Первыми производителями водорода станут «Газпром» и «Росатом». Компании запустят пилотные водородные установки в 2024 году – на атомных электростанциях, объектах добычи газа и предприятиях по переработке сырья.

2. До 2024 года «Газпром» будет изучать применение водорода и метано-водородного топлива в газовых установках (газотурбинных двигателях, газовых бойлерах и т. д.) и в качестве моторного топлива в разных видах транспорта.

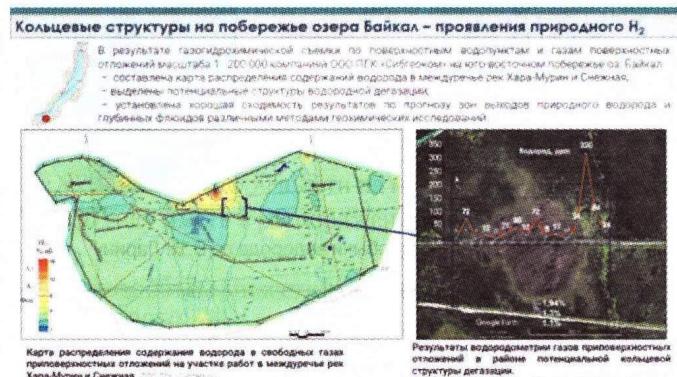
3. «Росатом» в 2024 году построит опытный полигон для железнодорожного транспорта на водороде. Речь идёт о переводе поездов на водородные топливные элементы на Сахалине, о чём в 2019 году объявили РЖД, «Росатом» и «Трансмашхолдинг».

РЕГИОНЫ ВНЕДРЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ



В ноябре 2020 года был создан российский консорциум «Технологическая водородная долина», который будет проводить исследования и разрабатывать водородные технологии. В созданный консорциум вошли Томский политехнический университет, Институт катализа СО РАН, Институт проблем химической физики РАН, Институт нефтехимического синтеза РАН, Самарский государственный технический университет и Сахалинский государственный университет. Резонно включить в консорциум предприятия геологоразведки и прямой добычи водорода из недр. К ним позже смогут присоединиться другие вузы и академические институты.

Крупнейшие российские компании делают ставку на водородную энергетику: «Газпром», «Газпромнефть», «СИБУР», «РЖД», «Северсталь», «Росатом», «НОВАТЭК». Скажем прямо, у нашей страны есть хорошая «фора» в виде собственных разработок генерации водорода на АЭС и прямой добычи из недр, что позволяет нарастить производство H₂ практически сразу.



На российском рынке уже существуют компании, предлагающие услуги поиска водородных месторождений. Например, ПГК «Сибгеоком» предлагает услуги по проведению геологоразведочных работ структур водородной дегазации в районе озера Байкал.

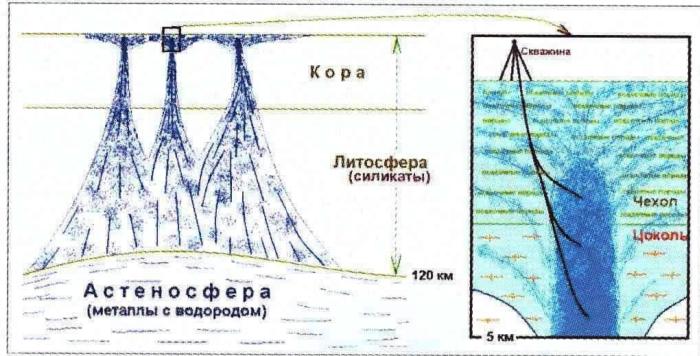
Где добывать бесцветное топливо?

В Мали с 2011 года существует и эксплуатируется водородная скважина.

«Региональная аномалия на глубине 1,5–2–2,5 километра (в кристаллическом цоколе платформы), где собирается в несколько мощных водородных потоков, из которых можно будет отбирать водород скважинами. Это сулит большие перспективы в плане добычи водорода в промышленных масштабах» (В. Н. Ларин).

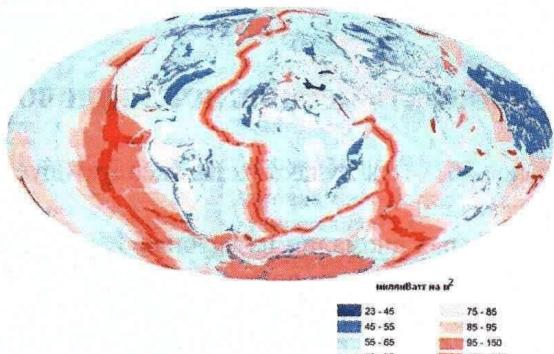


Скважина «Бугу-1» возле Буракебугу, Мали с выходом 98 процентов водорода



Предлагаемая схема добычи водорода по В.Н. Ларину

На долю рифтовых зон срединноокеанических хребтов и разломов приходится до 90 процентов выделяющегося из недр планеты водорода, вулканы извергают порядка двух процентов, а кольцевые структуры на суше около восьми процентов первородного газа. Практика бурения скважин



Снимок выходов эндогенного тепла Земли, сделанный спутником «Aqua»

в Австралии показала, что в центре кольца выход водорода незначителен, гораздо больший дебет дала скважина, пробуренная рядом и попавшая в природный канал «водородо-вода». Это говорит о необходимости изучения и разработки принципиально новой методики добычи водорода.

При поисках и разработке месторождений следует учитывать три типа пород, не пропускающих водород: вулканические, солевые купола и тонкозернистые угольные сланцы. Под такими «водородоупорными куполами» могут скапливаться значительные запасы H_2 .

Очевидными признаками месторождений легчайшего газа могут служить высушенные округлые структуры почвы, круглые озёра, бугры пучения и другие косвенные признаки дегазации, более подробно описанные в статье «Водородное дыхание Земли» (см. «НиР» № 3, 2023).

Как и для воды, особенно высокие концентрации водорода характерны для каустобиолитов, особенно для горючих газов (до 85–90 процентов CH_4 , соответственно до 22,5 процента H_2). Для нефти содержание водорода обычно колеблется от 9,5 до 14,5 процента (на сырую массу); для твёрдого минерального топлива оно составляет (%): горючие сланцы 6–10; древесина 6,23; торф 5–6,5; лигнин 5,24; уголь – бурый 4,5–6,5, битуминозный 5,55, каменный 3,5–6,3; антрацит 1,3–3,0; сапропель 0,75.

Способы использования

Наивысшую удельную теплоту сгорания водорода (1,17 ГДж/кг) подметил ещё К.Э. Циолковский на рубеже XX века.

Автомобили с двигателями на водороде уже разрабатывали многие автомобильные концерны, такие как *Toyota*, *Nissan*, *Hyundai*, *BMW*, *Audi*, *Ford* и другие. Например, выпускается водородный вариант *Ford E450*, а у *BMW* есть двухтопливный (водород или бензин) *Hydrogen 7*.

По улицам Лондона уже бегают водородные автобусы *Mercedes Benz Citaro*. Вскоре водородные виды общественного транспорта от КамАЗ собираются выпустить и на улицы Москвы. В Дании водородный поезд курсирует между городами Вемб, Лемвиг и Тюборон с 2011 года. В Германии первый водородный поезд запущен в 2018 году, Франция планирует запустить 12 водородных поездов в регионах Бургундия, Франш-Конте и Окситания. А *Airbus* намерен в 2035 году начать выпуск самолётов с водородными двигателями на 100–200 пассажиров с дальностью полёта без дозаправки в 3700 км. Но первым самолётом на водороде был всё же наш Ту-155, поднявшийся в воздух 15 апреля 1988 года.



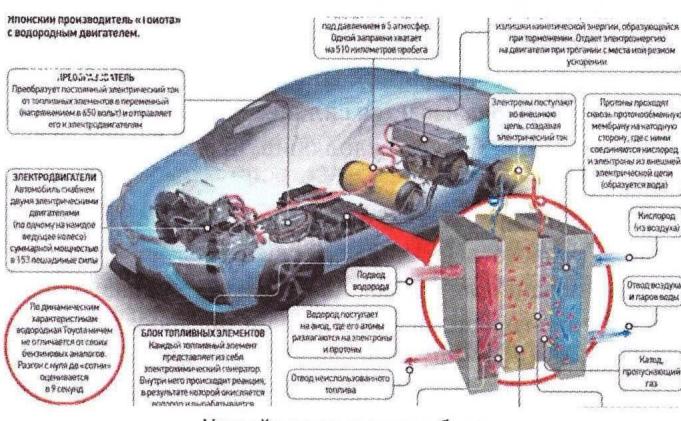
Ту-155 – самолёт на водородном двигателе

Водород можно применять и в теплоэнергостанциях, как природный газ. Соответствующие установки уже производят в США, Китае, Японии, Канаде и России.

Однако энергию из водорода необязательно получать, «сжигая» его. Водород может производить работу, переходя из сжатой фазы в обычную молекулярную фазу, попутно совершая работу перед «сжиганием». Перспективные исследования дают надежду на получение такого рода топливных элементов с удельной энергоёмкостью в пять раз больше, чем у бензина.

На пути к водородному будущему

Эксперты *Hydrogen Council* полагают, что к 2050 году при сжигании водорода будут получать 18 процентов всей энергии в мире, причём его годовое потребление возрастёт с нынешних 100 миллионов тонн до 370, а в 2100 году – до 800 миллионов тонн.



Устройство водородомобиля

Путь этот будет непростым. Потребуются не только технологии дешёвого производства и добычи водорода, но и создание инфраструктуры его транспортировки: трубопроводы, танкеры, водородные терминалы, АЗС и многое другое.

Существуют и чисто технические проблемы. Водородному транспорту ввиду низкой плотности данного газа потребуются большие баки или технологии его компримирования до твёрдых фаз. Кроме того, водород горит при гораздо большей температуре (2800°C), чем метан (2000°C), что потребует массового использования более жаропрочных материалов.

Из-за высокой взрывоопасности водорода при обращении с ним требуется существенно более высокий уровень техники безопасности. Над решением этих и других проблем инженерам ещё предстоит поломать головы.

Развивать водородную энергетику в Российской Федерации планируют в первую очередь на Дальнем Востоке, при значительных мощностях и дешёвой электроэнергии. Существует проект строительства приливной электростанции на севере Охотского моря вместе с водородным заводом. В проекте «Северного потока – 2» предусматривалась возможность транспортировки по нему водорода.

Евросоюз планирует увеличить мощность установок по производству водорода с нынешних 0,1 до 6 гигаватт уже в 2024 году, к 2030 выйти на показатель в 40 гигаватт, а в 2050 году иметь в распоряжении до 500 гигаватт мощности.

В целом объём инвестиций в водородную энергетику в мире до 2050 года оценивается примерно в 500 миллиардов долларов.

«Подрыв» нефтедоллара

В начале 1950-х годов США принадлежало 20 205 тонн золота (70 процентов мирового запаса). Этот драгоценный металл был использован для создания Бреттон-Вудской системы, основанной на золотом долларе. Поскольку США активно использовали золото для поддержания доллара, это сократило их золотой резерв к 1971 году в 2,5 раза – до 8133,5 тонны. Тогда президент США Ричард Никсон 15 августа 1971 года в одностороннем порядке отказался от привязки доллара к золоту. И на уровне около 8 000 тонн золотой резерв США остаётся почти без изменения более 50 лет.

«Когда Никсон отменил золотое обеспечение доллара, он перевёл его на нефтяное обеспечение. Он заключил соглашение с Саудовской Аравией о том, что все энергетические

контракты будут номинированы в долларах. Поэтому нефтедоллар – это сфера спроса, для расчёта по контрактам необходимо покупать доллары. Нефтедоллар – это стандарт, на котором базируется сила доллара США» (Джим Синклер, известный трейдер, консультант ФРС).

В 70-е годы считалось, что углеводороды имеют органическое происхождение и запасы нефти будут исчерпаны на Земле через 30 лет, а газа – через 40 лет (Доклад Римского Клуба по проекту «Проблемы человечества» *The Limits to Growth* 1972 года, основной докладчик Денис Медоуз). С тех пор прошло 50 лет, добыча нефти на планете выросла в два раза. Количество уже добываемой нефти составило порядка 200 млрд тонн, что превышает возможные объёмы биологических останков, из которых могла произойти нефть, за всю геоисторию. Становится понятно, что углеводороды на Земле имеют abiогенное происхождение, их разведанные объёмы (244,6 млрд тонн, по данным ВР на 2019 год) увеличиваются из-за постоянного потока водорода из недр планеты.

Уже мало кто из экономистов всерьёз считает доллар США валютой, обеспеченной чем-либо, и тем более нефтью, имеющей неисчерпаемые запасы в обозримом будущем. Настало время пересмотреть подходы к мировым резервным валютам.

Мир на пороге водородной эры

Учёные уже называют происходящие процессы предвестником новой энергетической революции, которая изменит мир не меньше, чем переход с угля на нефть в первой половине XX века или массовое распространение атомной энергетики во второй его половине. И не исключено, что изменения будут даже более масштабными. Некоторые футурологи уже высказывают опасения относительно возможного распада современного глобального общества, связанного воедино энергетическими артериями, на множество автономных в энергетическом смысле коммун.

Сергей КЛЮЧНИКОВ

Тренировка воли

Википедия, обобщающая мнения различных психологических школ, определяет волю как «способность человека принимать решения на основе мыслительного процесса и направлять свои мысли и действия в соответствии с принятым решением». Из этого определения уходят факторы внимания, осознанности и усилия, которые пронизывают любое волевое действие, а также фактор цели, без которого любое усилие становится слепым. Можно определить волю как способность человека преодолевать препятствия с помощью сознательных усилий.

Существует несколько разновидностей воли. Можно говорить о *внешней* воле, направленной на мир и преодоление объективных препятствий (ею обладают люди, склонные к внешней деятельности, – военачальники, управляемцы, бизнесмены), и *внутренней*, направленной на собственное тело, эмоциональные состояния или мысли, к которой склонны спортсмены, монахи, йоги, мастера боевых искусств. Разумеется, представители внешней воли нередко прибегают к внутренним усилиям, когда им нужно сдерживать свои эмоции или заставлять себя делать то, что не хочется, а мастера внутренней воли

направляют её вовне, когда нужно действовать в сложной среде. Воля может быть направлена на преодоление обстоятельств, но нередко и на то, чтобы сломить сопротивление другого человека, и это происходит сплошь и рядом.

В противоборстве двух или нескольких волей побеждает тот, чья воля сильнее. Иногда сила такой воли – это терпение (вспомним китайскую пословицу: «Если долго сидеть на берегу реки, то можно увидеть, как мимо проплыёт труп твоего врага»). Иногда воля в борьбе с другим человеком оказывается сильнее другой воли, потому что её носитель более трудолюбив, нежели его противники.

Вспомним противоборство двух людей с сильной волей – Троцкого и Сталина. Первый был, наверное, более образованным человеком, прочитал больше умных книг, лучше говорил и писал. Но он предпочитал яркие выступления на митингах рутинным административным задачам. А второй не боялся самой сложной работы и брался за любое дело, которое ему поручали советские власти. В конце концов его безотказную самодисциплину