

Внешекономический сценарий для российского водорода: развилки на европейском направлении

Андрей А. Конопляник, д.э.н., профессор,
www.konoplyanik.ru

Выступление на конференции «Российский ТЭК в «зеленой» повестке
современности», Россия, Крым, Ялта, 19-20 мая 2021 г.

Заявление об ограничении ответственности: Взгляды, изложенные в настоящей презентации, не обязательно отражают (могут/должны отражать) и/или совпадают (могут/должны совпадать) с официальной позицией Группы Газпром (вкл. ОАО Газпром и/или ООО Газпром экспорт), ее/их акционеров и/или ее/их аффилированных лиц, отражают личную точку зрения автора настоящей презентации и являются его персональной ответственностью.

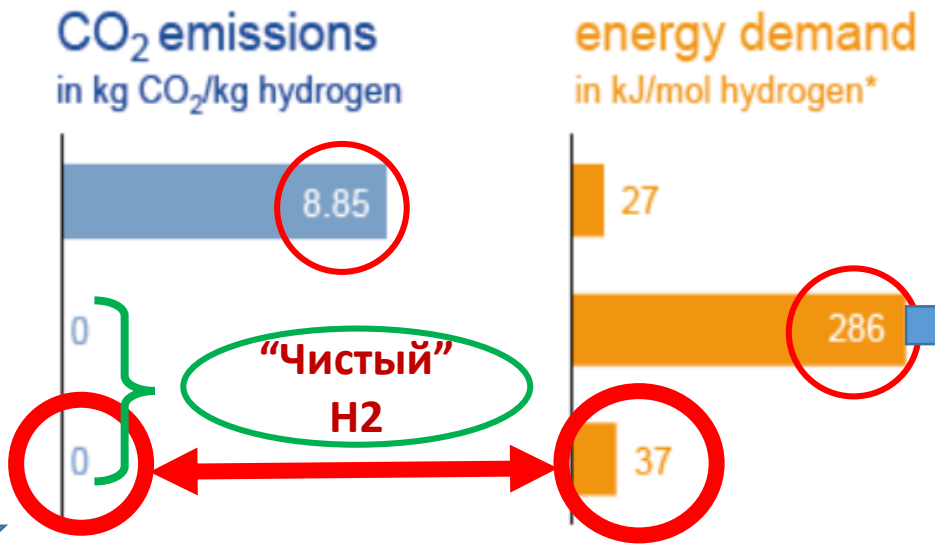
При прочих равных условиях, пиролиз метана (и сходные технологии: без доступа O2 и выбросов CO2) имеют конкурентное преимущество против: (1) электролиза как ключевого и (2) ПРМ+CCS как временного/вспомогательного направления производства H2 в ЕС

Допускается в Водородной стратегии ЕС в качестве временного решения

CCS необходим! => дополнительные вмененные затраты (CAPEX + OPEX) => +20-30% и более (Еврокомиссия: до +100%) => CCS = дополнительный элемент затратной сметы => **ухудшение** финансируемости

Требуются дополнит. энергетические мощности с более высокой материалоемкостью их производства (дополнит. выбросы CO2 при производстве оборудования ВИЭ) => решение проблемы высокой стоимостной энергоемкости = использование «избыточной» электроэнергии ВИЭ по нулевой и/или отрицательной цене => это ведет к рваному характеру и удлинению сроков окупаемости инвестиций => **ухудшение** финансируемости

Steam reforming of natural gas	$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$
Water electrolysis	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
Methane pyrolysis	$\text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{C}$



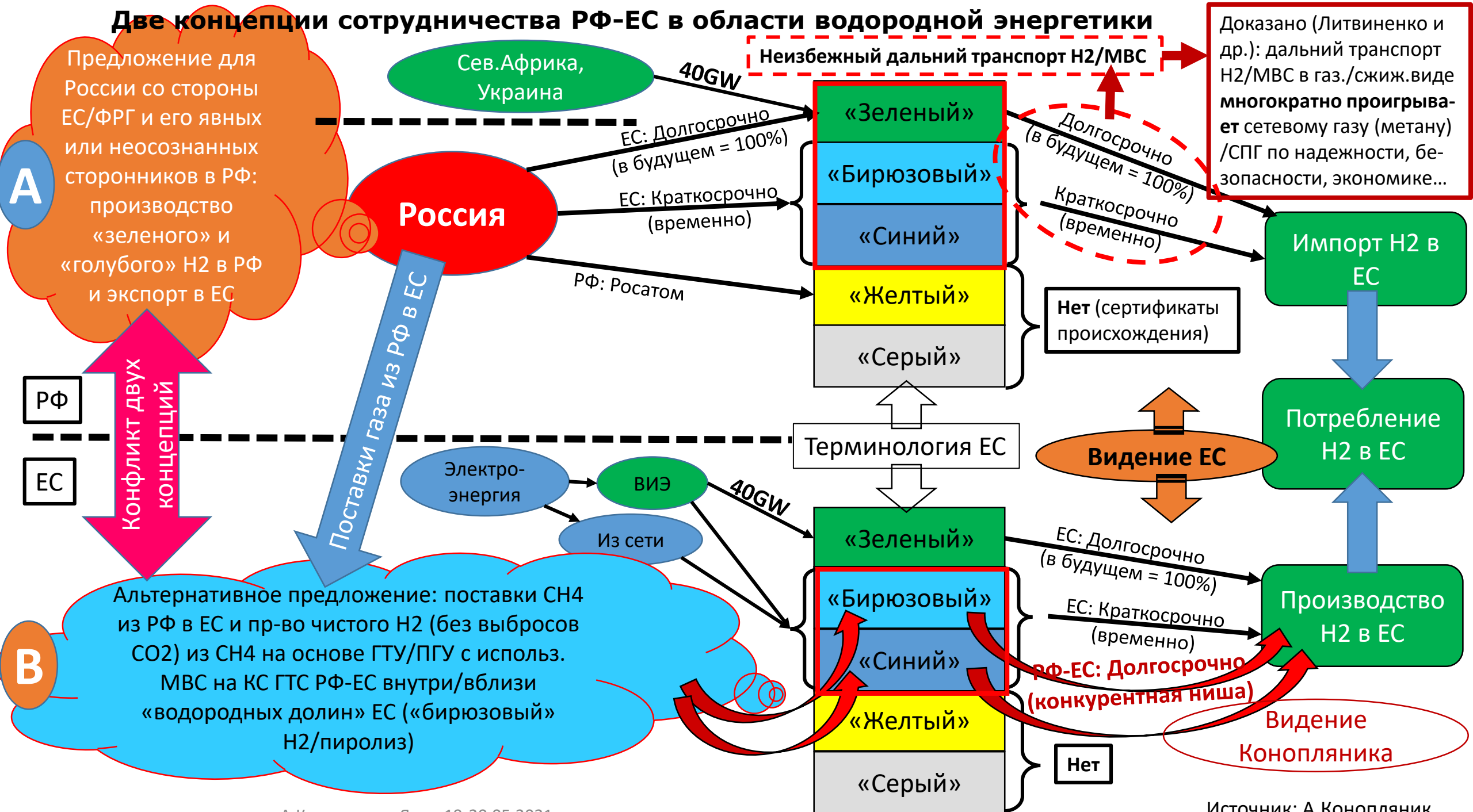
Источник: А.Конопляник на основе: Dr. Andreas Bode (Program leader Carbon Management R&D). New process for clean hydrogen. // BASF Research Press Conference on January 10, 2019 / (<https://www.basf.com/global/en/media/events/2019/basf-research-press-conference.html>)

Безусловный долгосрочный приоритет ЕС

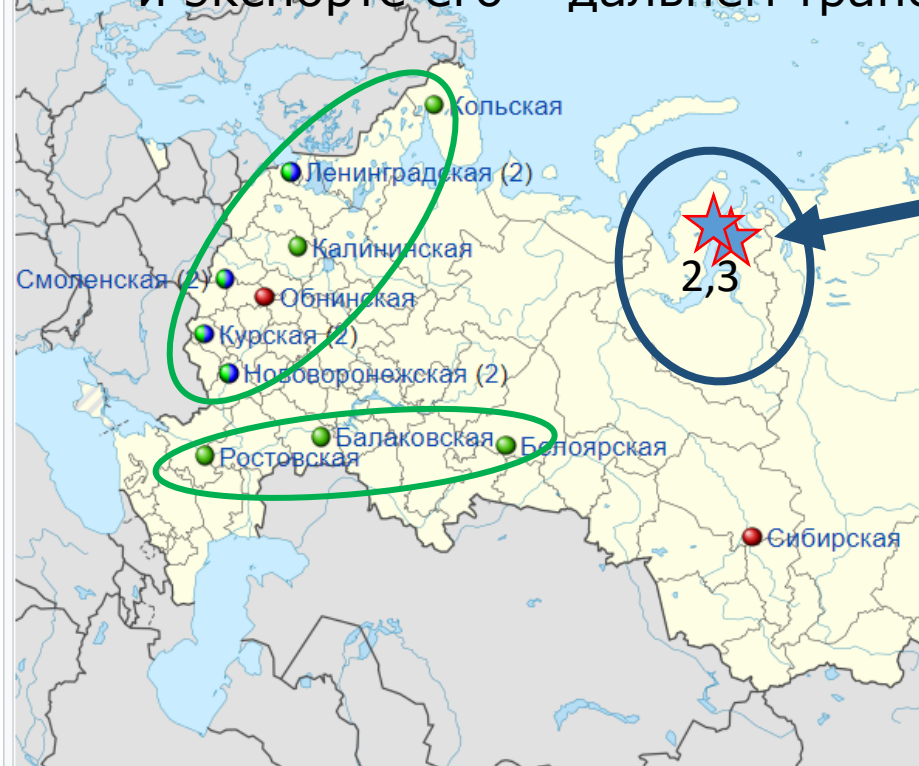
Игнорируется в Водородной стратегии ЕС !

- (1) Нет необходимости в CC(U)S !!! => экономия затрат (CAPEX + OPEX)
- (2) Маркетинг твердого углерода = дополнительный элемент доходной сметы => **дешевле** + запуск новых инвестиционных циклов на основе «С»
- (3) В случае хранения не обладает негативным эффектом CO2 для окружающей среды => **улучшение** финансируемости

Две концепции сотрудничества РФ-ЕС в области водородной энергетики

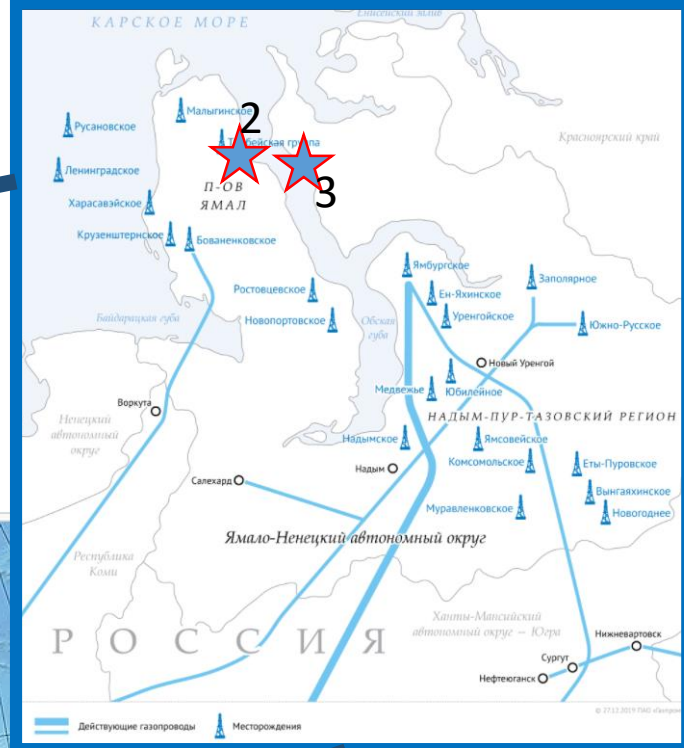


География АЭС, ГЭС и основной район газодобычи в России (Надым-Пур-Таз/Ямал) (к вопросу о производстве H₂ внутри РФ и экспорте его – дальнем транспорте - в ЕС в виде H₂/MBC)

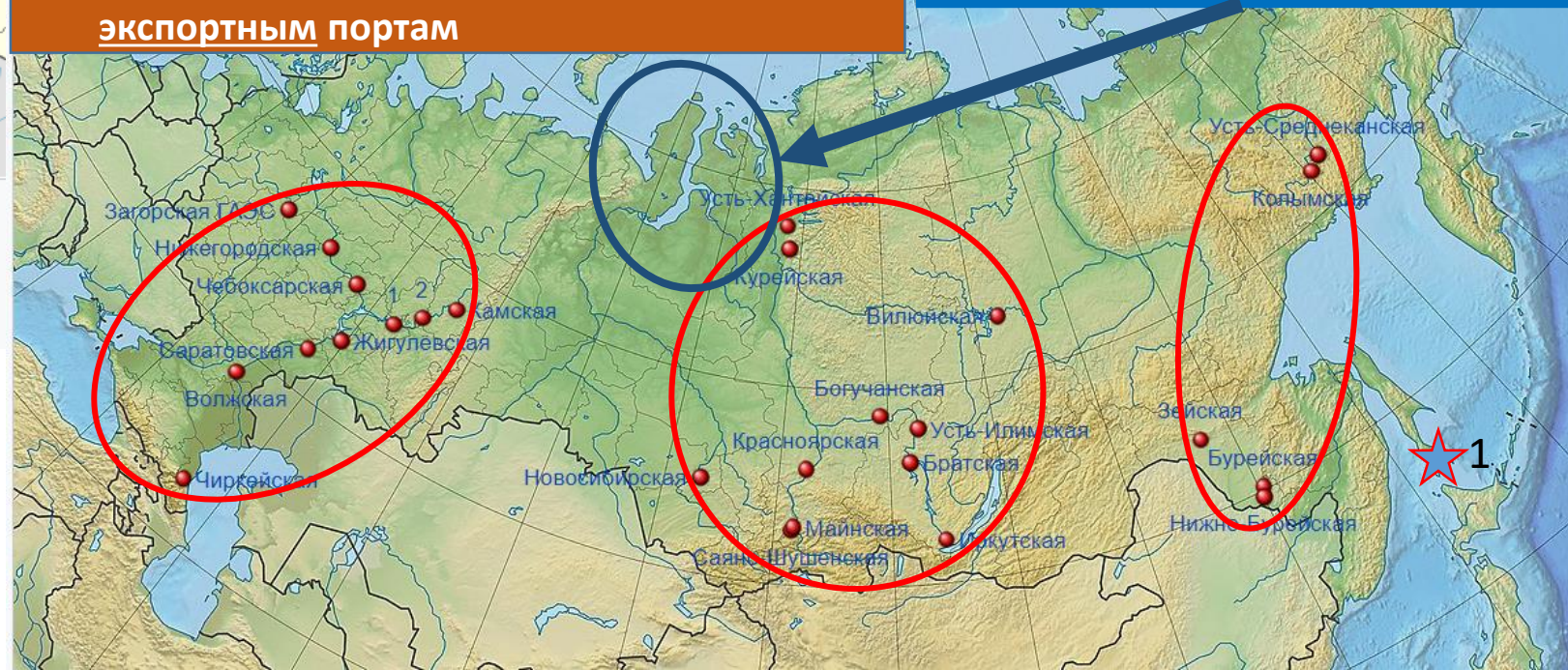


Проект Водородной стратегии РФ => 4 территориальных водородных кластера:

1. Северо-западный - экспорт в страны ЕС,
2. Восточный - экспорт в Азию,
3. Арктический - безуглеродные системы энергоснабжения Арктической зоны РФ и/или экспорт водорода и энергетических смесей на его основе,
4. Южный (на базе ПГ и ВИЭ) – близость к экспортным портам



○ АЭС ○ ГЭС ○ Надым-Пур-Таз и Ямал
★ Действующие кт-СПГ проекты:: (1) Сахалин-2; (2) Ямал СПГ; (3) Арктик СПГ



Источник: <https://www.gazprom.ru/f/posts/15/770293/map-yamal-ru-2019-12-30.png>;
https://ru.wikipedia.org/wiki/Атомная_энергетика_России;
https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_гидроэлектростанций_России;

Физико-химические барьеры для дальнего транспорта водорода (Литвиненко и др.)(*)

(1) Эффективность трубопроводной транспортировки газа напрямую зависит от объема продукции, а значит от плотности газа. Но с увеличением концентрации H_2 в МВС с 10% до 90% **плотность смеси снижается в 4,3 раза**.

(2) При увеличении объемной доли H_2 в МВС с 10 до 100%, теплота сгорания смеси уменьшается в 3,3 раза, то есть **энергия, получаемая из одного объема водорода, в 3,5 раза меньше**, получаемой из того же объема метана.

(3) Увеличение требуемой энергии на сжатие 1 кг МВС для повышения давления на 1 МПа: по мере увеличения доли H_2 в смеси с нуля до 100% **энергозатраты вырастают в 8,5 раз**.

(4) **Растет взрывоопасность** МВС по мере увеличения объемной доли H_2 .

(5) Если экспорт H_2 в жидкой фазе (сжижается при атм. давлении при минус 253 °С, уменьшается в объеме в 848 раз) по аналогии с СПГ (сжижается при атм. давлении при минус 162 °С, уменьшается в объеме в 600 раз), то: (1) по мере приближения температуры вещества к абсолютному нулю в нем все более начинают **проявляться квантовые свойства**. А это требует дополнительного изучения для каждого контактирующего с жидким водородом материала; (2) при прочих равных условиях в одном и том же объеме резервуара можно хранить или транспортировать **почти в 5,9 раз больше СПГ, чем жидкого H_2** .

(6) Из-за минимального размера молекулы, H_2 обладает чрезвычайно высокой проницаемостью, его молекулы проходят практически через любые металлы, при длительном хранении он **способен улетучиваться даже из герметичных резервуаров**.

(7) Одна из наиболее критичных проблем - взаимодействие H_2 с металлом трубопровода (**процесс водородного охрупчивания**). Еще в 1967 году в СССР было сделано открытие «Водородный износ металлов», но реакционная способность водорода еще недостаточно хорошо изучена, хотя ее негативные проявления уже являются большой технической проблемой (**стресс-коррозия**). Особенно это касается мест стыков конструктивных частей **в действующих трубопроводных системах**.

(*) Среди **43** пп. плана Правительства РФ по H_2 (12.10.2020), СПб Горный Университет указан как соисполнитель в **42** пп.

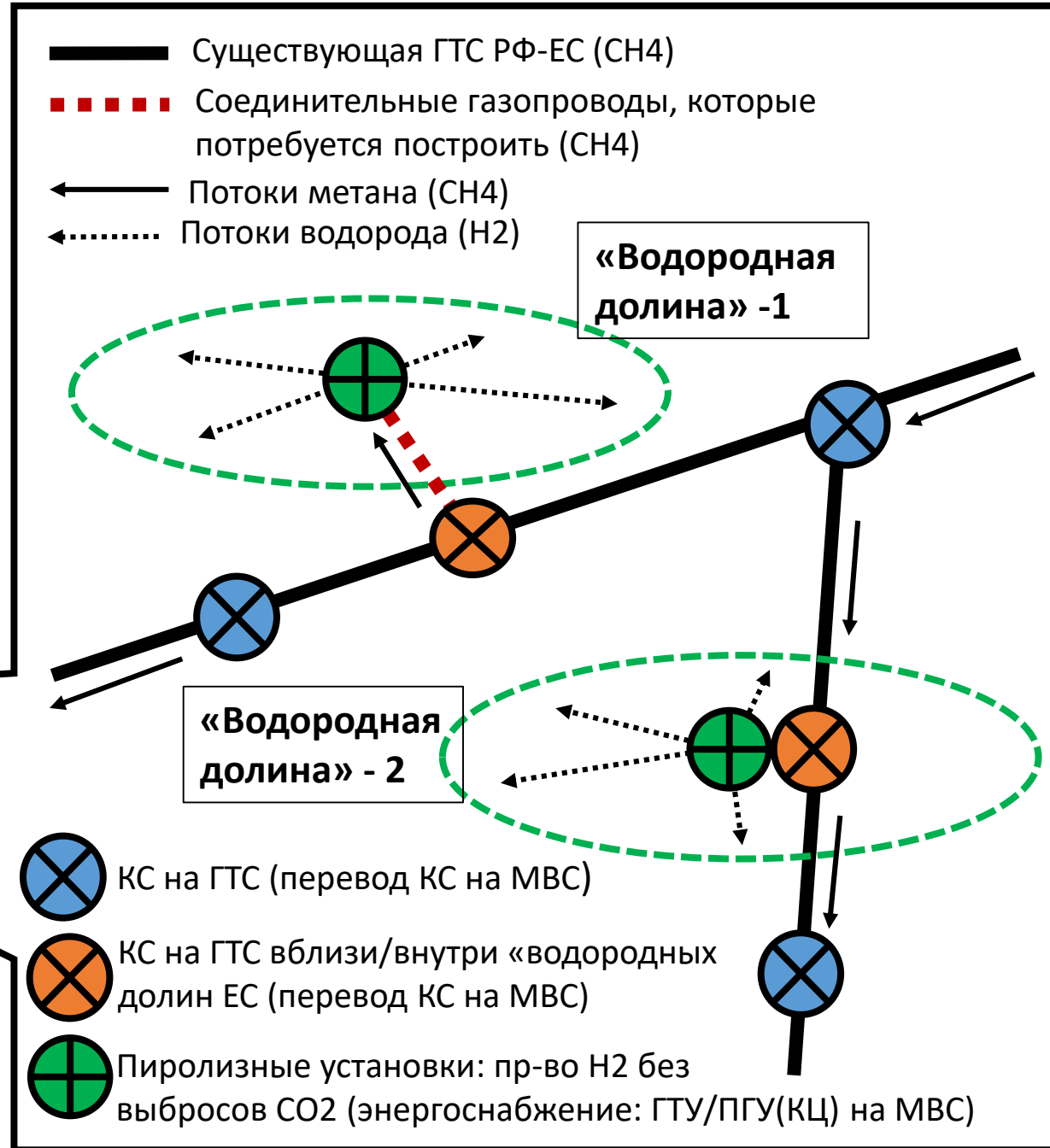
Источник: Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики / В.С.Литвиненко, П.С.Цветков, М.В.Двойников, Г.В.Буслаев // «Записки Горного Института». 2020. Т.244. С.428-438. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.5

А.Конопляник, Ялта, 19-20.05.2021

Примерные возможные зоны распространения (преимущественного применения) основных технологий производства водорода в Европе при государственном регулировании ЕС, основанном на принципах «технологического нейтралитета»

- 
- Электролиз с использованием различных источников первичной электроэнергии
- ветровая
 - гидро
 - солнечная
 - ядерная
- Паровой/автотермический риформинг метана плюс улавливание и захоронение CO₂
- Пиролиз метана, плазмохимический и другие методы производства чистого водорода без выбросов CO₂ (с учетом реализации совместных мер, предусмотренных шагами 2 и 3 «Трех-ходовки Аксютин»).

Источник: А.Конопляник; штрих-пунктирные линии — по итогам бесед с Ральфом Дикелем; точечно-пунктирные линии — с добавлением Украины и Северной Африки согласно документу «Инициатива 2х40 ГВт» ассоциации «Водородная Европа», вкл. в «Водородную стратегию ЕС» (08.07.2020), приводится в иллюстративных целях с учетом скептицизма автора в отношении дальней транспортировки водорода, произведенного в географических регионах за пределами ЕС; источник карты - Европейская сеть операторов газотранспортных систем (ENTSOG)



Производство чистого H₂ из природного газа внутри ЕС на основе ГТС и МВС

- Производство чистого водорода из природного газа у центров спроса на территории ЕС («водородные долины/острова»), расположенных вблизи существующих компрессорных станций (КС) на трансграничной ГТС РФ–ЕС. Использовать природный газ из этой сети:
- в качестве энергоресурса:
 - для совершения транспортной работы: для производства МВС на КС ГТС по маршрутам транспортировки российского газа в ЕС и использования МВС на этих же КС в качестве топливного газа (вместо метана) для дальнейшей прокачки газа по сети. Такое замещение метана на МВС в качестве топливного газа на КС дает уменьшение выбросов CO₂ на КС на треть;
 - для производства чистого водорода из природного газа: на заводах, которые будут (должны быть) построены в непосредственной близости от этих КС в зонах опережающего спроса на H₂ («водородные долины/острова» ЕС), в масштабах, соответствующих ожидаемому спросу на водород на прилегающей территории этих «долин/островов». Привод газовых (паро-газовых) турбин соответствующей мощности может проходить по той же схеме, что указана в предыдущем пункте, только замещение метана на МВС происходит не для совершения транспортной работы, а для выработки необходимой для производства чистого H₂ электрической и/или тепловой энергии;
- в качестве сырья:
 - для новых заводов по производству чистого водорода из метана, которые будут расположены вблизи этих КС и нацелены на удовлетворение локального (а не общеевропейского, чтобы минимизировать потребность в дальней транспортировке водорода и в создании новых специализированных транспортных его систем) спроса в рамках ближайших «водородных долин/островов» ЕС.

Резервные слайды:

- неверные представления, что, якобы, «возобновляемый» H_2 есть единственно «чистый» H_2 и, более того, что он вообще «ЧИСТЫЙ»...
- сомнительные представления о ценовых кривых для H_2 ...

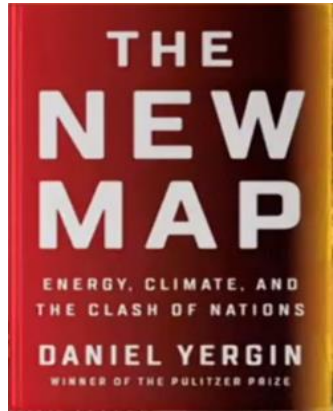
Что есть «чистая» энергия? Зависит от того, как считать углеродный след... и/или от системы допущений...

Водородная стратегия ЕС (Brussels, 8.7.2020 COM(2020) 301 final):

«**‘Возобновляемый H2’** – это H2, произведенный электролизом воды (в электролизере, питаемом электроэнергией), и с использованием электроэнергии, полученной из ВИЭ. Эмиссия тепличных газов за полный жизненный цикл производства возобновляемого H2 **близка к нулю**. **‘Чистый H2’** относится к возобновляемому H2»

Siemens/Gascade/Nowega («Водородная инфраструктура – основа энергоперехода...», сент.2020):

«Если электроэнергия для электролиза поступает только от ВИЭ, источников свободных от выбросов CO2, весь производственный процесс **полностью свободен от выбросов CO2**».



Даниэль Йергин,

Лауреат Пулитцеровской премии за книгу “The Prize” на презентации своей новой книги “The New Map: Energy, Climate, and the Clash of Nations” (US Atlantic Council, 25.09.2020, online):

“NEW SUPPLY CHAINS FOR NET-ZERO CARBON REQUIRES CARBON!!! ... They require diesel to operate shuttle in mining...”

Источник: A conversation with Pulitzer Prize winner and energy expert Daniel Yergin, Atlantic Council, 25.09.2020 (<https://www.youtube.com/watch?v=hWMOU8jRhI>)

А.Конопляник, Ялта, 19-20.05.2021

Углеродный след «возобновляемого» H2 за полный жизненный цикл его пр-ва (в соотв. с H2 стратегией ЕС)

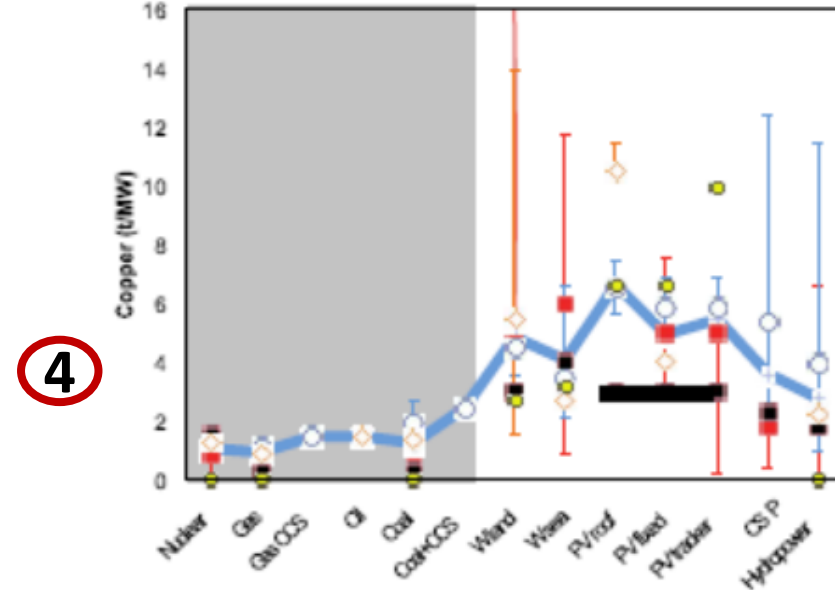
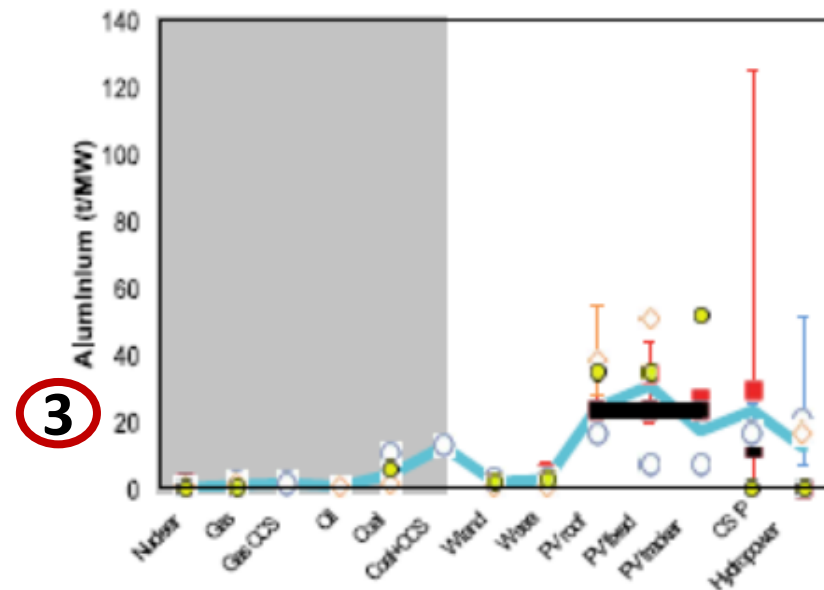
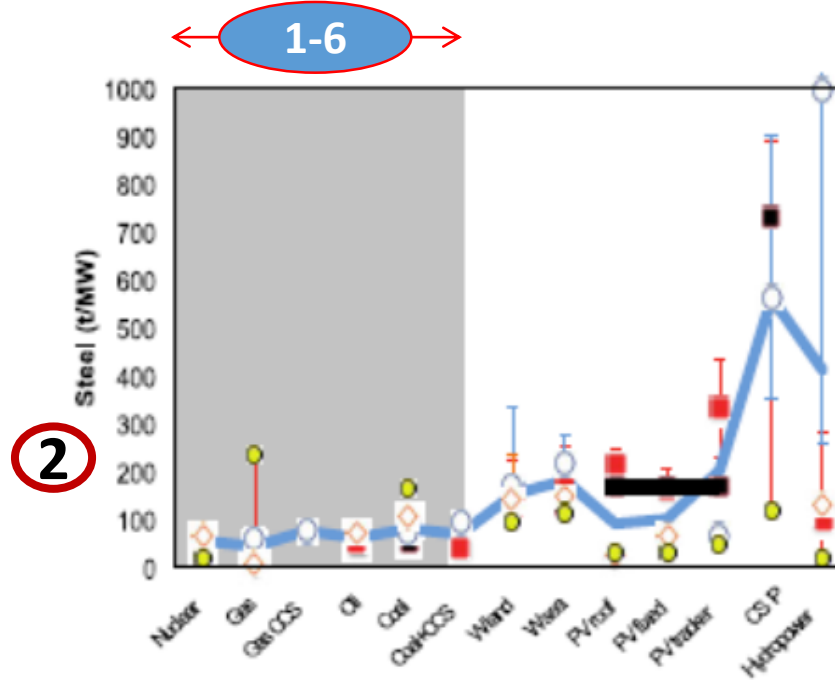
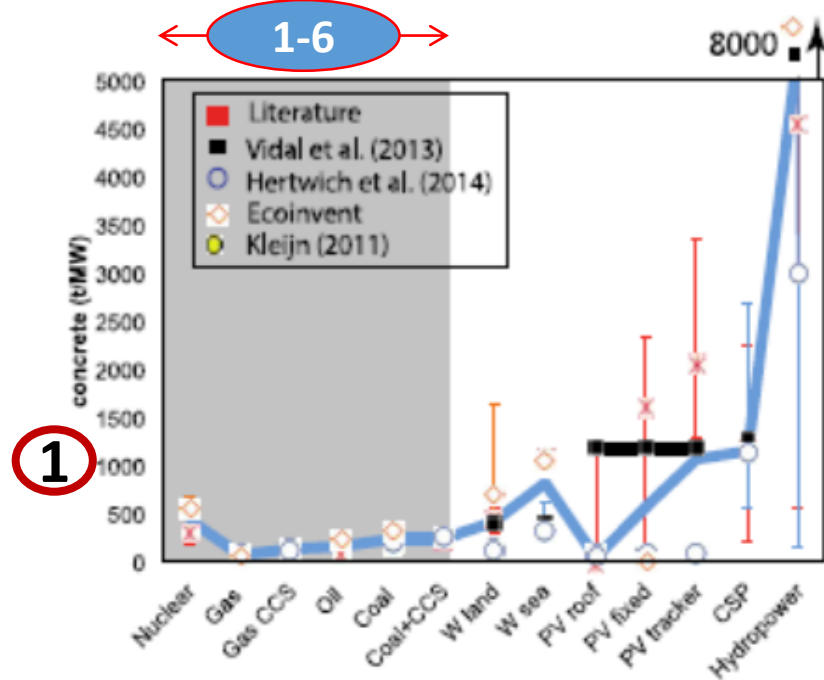
Производство оборудования для производства электроэнергии ВИЭ и «возобновляемого» H2

Производство электроэнергии ВИЭ

Производство «возобновляемого» H2

Выбросы CO2: **НЕ равны нулю**
H2 стратегия ЕС: **НЕ включена**
География размещения пр-в: **за пределами ЕС**

Выбросы CO2: равны/близк к нулю
H2 стратегия ЕС: включено
География размещения пр-в: внутри ЕС



Удельные расходы (т/МВт) четырех конструкционных материалов, применяемых при производстве энергооборудования для различной энергетической инфраструктуры:

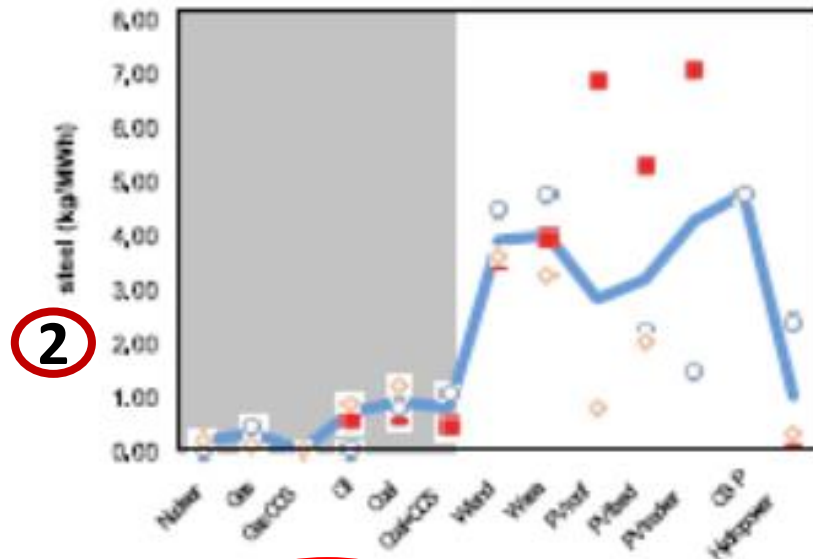
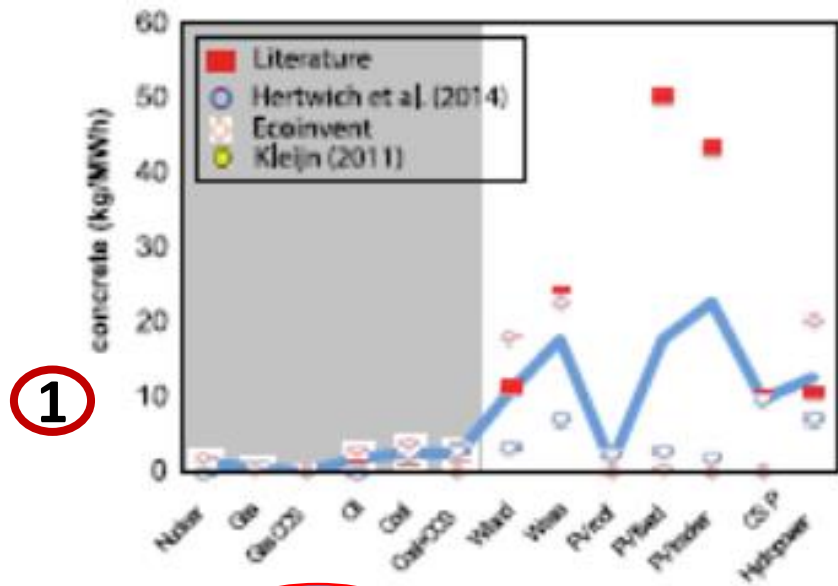
- 1 – бетон,**
- 2 – сталь,**
- 3 – алюминий,**
- 4 – медь**

(энергогенерирующие технологии на органическом топливе – в серой зоне)

Источник: Olivier Vidal. Mineral Resources and Energy. Future Stakes in Energy Transition. // ISTE Press Ltd - Elsevier Ltd, UK-US, 2018, 156 pp. (Figure 5.2./p. 72)

(цветная версия на: www.iste.co.uk/vidal/energy/zip)

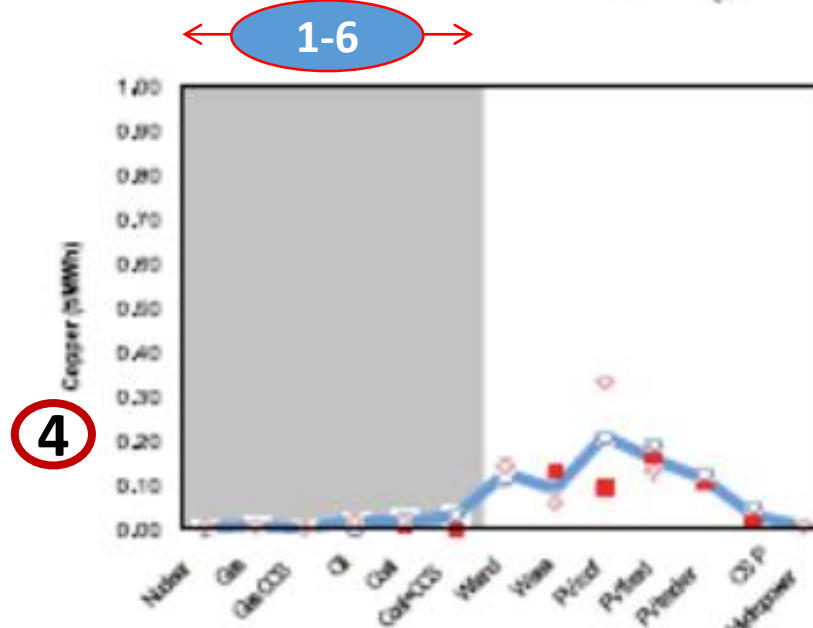
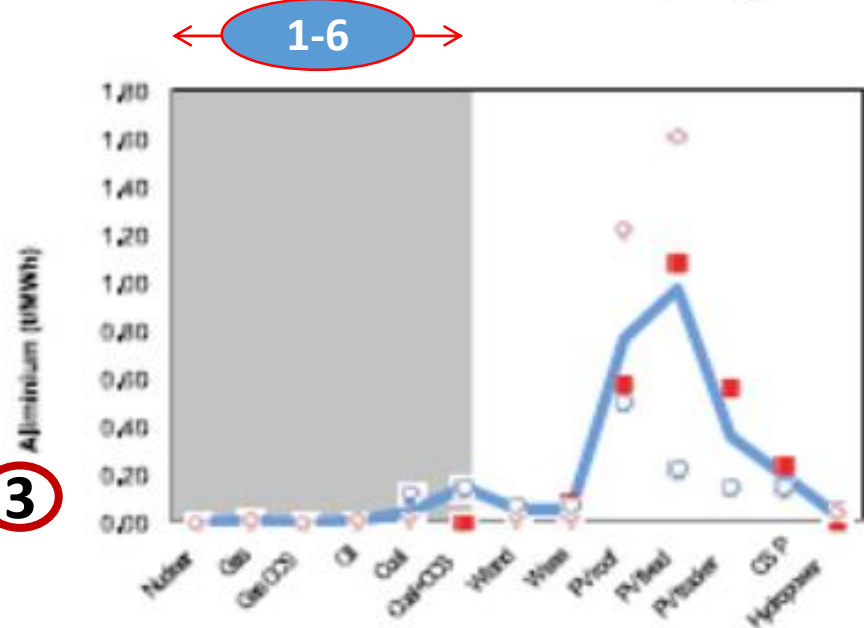
Слева направо: (1) АЭС, (2) газ, (3) газ + CCS, (4) нефть (мазут), (5) уголь, (6) уголь + CCS, (7) ветер/суша, (8) ветер/море, (9) ФЭП индивид./кровельн., (10) ФЭП стац., (11) ФЭП следящие, (12) гелиотерм., (13) ГЭС



Удельные расходы (кг/Мвт*час) четырех конструкционных материалов на производство электроэнергии:

- ① – бетона,
- ② – стали,
- ③ – алюминия,
- ④ – меди

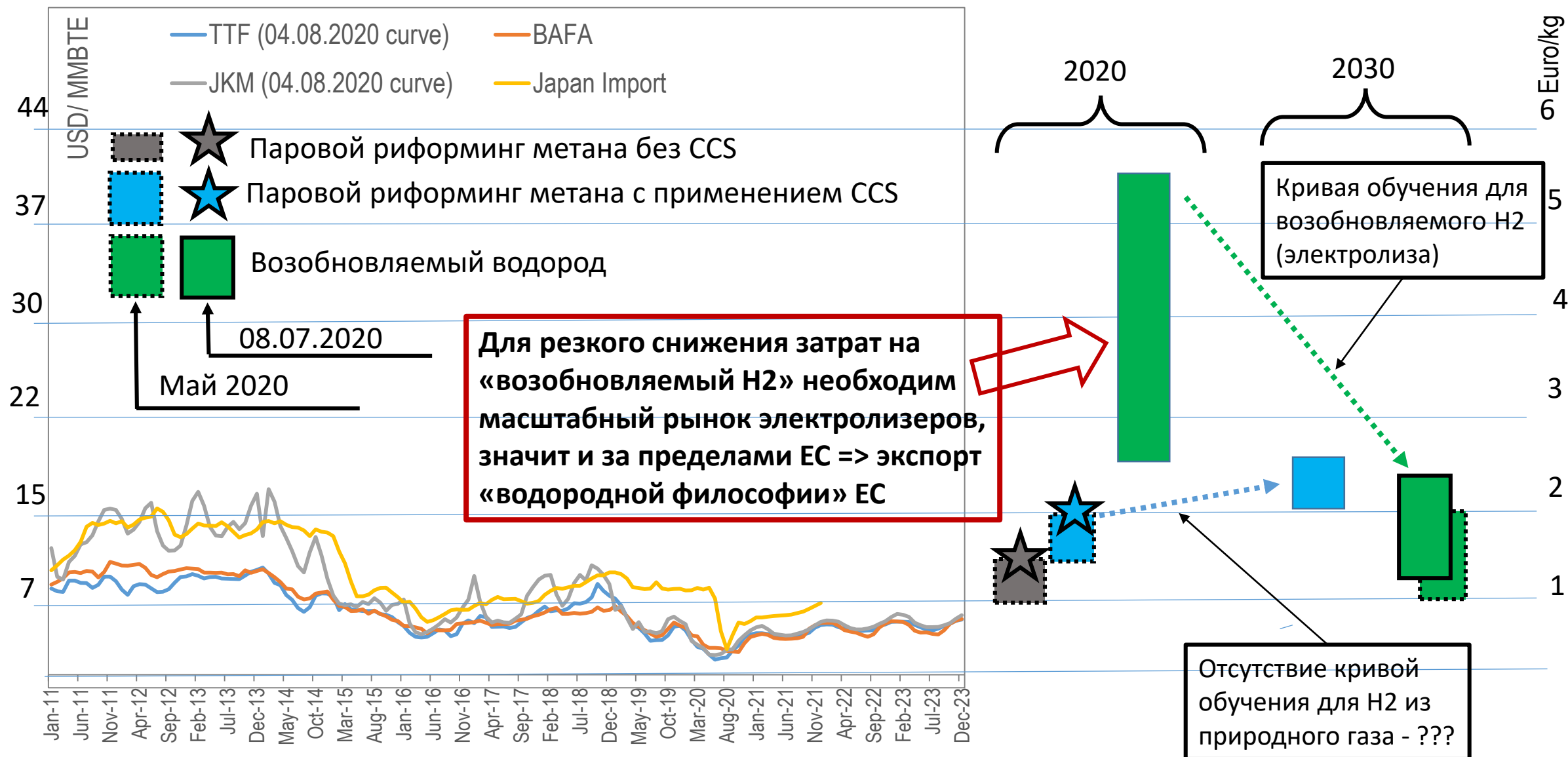
(энергогенерирующие технологии на органическом топливе – в серой зоне)



Source: Olivier Vidal. Mineral Resources and Energy. Future Stakes in Energy Transition. // ISTE Press Ltd - Elsevier Ltd, UK-US, 2018, 156 pp. (Figure 5.3./p. 74) (расчет с использованием уровней материалоемкости с табл.5.1 и на риск.5.2; цветная версия на: www.iste.co.uk/vidal/energy/zip)

From left to right: (1) Nuclear, (2) Gas, (3) Gas+CCS, (4) Oil, (5) Coal, (6) Coal+CCS, (7) Wind land, (8) Wind sea, (9) PV roof, (10) PV fixed, (11) PV tracker, (12) CSP, (13) Hydropower

Оценки Еврокомиссией издержек производства водорода основными технологиями - и цены на газ



Источник: цены на газ – Газпром экспорт; издержки – Еврокомиссия, Водородная стратегия ЕС (пунктирный контур – проект стратегии, май 2020 г., сплошной контур – окончательный документ, 08.08.2020)

Благодарю за внимание!

www.konoplyanik.ru
andrey@konoplyanik.ru

С публикациями и презентациями автора, в том числе по теме выступления, можно ознакомиться на сайте www.konoplyanik.ru

Заявление об ограничении ответственности

- Взгляды, изложенные в настоящей презентации, не обязательно отражают (могут/должны отражать) и/или совпадают (могут/должны совпадать) с официальной позицией Группы Газпром (вкл. ОАО Газпром и/или ООО Газпром экспорт), ее/их акционеров и/или ее/их аффилированных лиц, **отражают личную точку зрения автора настоящей презентации и являются его персональной ответственностью.**

Примечание: Исследование осуществляется при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта «Влияние новых технологий на глобальную конкуренцию на рынках сырьевых материалов», проект № [19-010-00782](#)