

# Переход к углерод-нейтральной энергетике: зачем, каким образом и какой ценой

С.П. Филиппов

Институт энергетических исследований (ИНЭИ) РАН

Москва, ул. Нагорная 31, к.2

Научно-практическая конференция «Национальная система мониторинга климатически активных веществ: Проблемы и решения»,  
Москва, ИНИОН РАН, 1-2 ноября 2023 г.

# Переход к углерод-нейтральной экономике и энергетике России: Зачем? (1)

## ЗА:

- ❖ Климат на планете **меняется**. Это наблюдаемый факт.
- ❖ Есть **международные соглашения** призывающие к декарбонизации (Парижское и др.). Большинство стран мира к ним присоединилось, в т.ч. Россия.
- ❖ Многие страны мира **приняли обязательства** перейти к углерод-нейтральной экономике к 2040-2050 гг., Китай – к 2060 г.
- ❖ В России в 2021 г. **принята Стратегия низкоуглеродного развития** до 2050 г.
- ❖ На конференции по климату в Глазго Россией было **заявлено о намерении** перейти к углерод-нейтральной экономике к **2060 г.**
- ❖ Принята **Климатическая доктрина** Российской Федерации (утв. Указом Президента РФ от 26 октября 2023 г.). В ней подтверждено это намерение.
- ❖ Вероятно **увеличение ущерба** от негативных воздействий на экономику и социальную сферу **экстремальных погодных явлений**.
- ❖ В России около **65%** территории страны находится в зоне **вечной мерзлоты**. Ее таяние создаст угрозу **разрушения инфраструктуры** (энергетической и др.), **заболачивания** и выведения из хозяйственного оборота огромных территорий.

# Переход к углерод-нейтральной экономике и энергетике России: Зачем? (2)

## ПРОТИВ:

- ❖ Изменение климата на планете – это преимущественно **естественный процесс**. Климат менялся **всегда и в широком диапазоне**. И в отсутствие людей.
- ❖ Для Земли привычен **более теплый климат**. Земля только выходит из зоны последнего ледникового периода.
- ❖ Противодействовать этому процессу может оказаться **бессмысленным**. Но **научный анализ** задачи декарбонизации **смысл имеет**.
- ❖ Нужно вовремя **адаптироваться** к меняющемуся климату. **Задача адаптация** представляется приоритетнее.
- ❖ Достижение углеродной нейтральности – **чрезвычайно затратный процесс**. Его реализация **подорвет развитие экономики**, замедлит экономический рост.
- ❖ В стране **мало высокопотенциальных ресурсов ВИЭ** в местах концентрации энергопотребления.
- ❖ Нет собственных высокоэффективных **технологий** использования ВИЭ, недостаточно финансовых и интеллектуальных **ресурсов** для их разработки;
- ❖ Потому **решение** о декарбонизации и, тем более, о достижении углеродной **нейтральности** экономики и энергетики может быть **только политическим**.

## Реализация «климатической повестки» в мире:

- ❖ Климатическая политика постепенно становится **доминирующей** в мире и начинает **в решающей степени** определять долгосрочные перспективы развития мировой экономики и энергетики.
- ❖ Она во многом обусловлена **геополитическими факторами** и является **политически ангажированной**. В мире нет консенсуса в определении причин потепления климата, в частности, роли антропогенного фактора.
- ❖ Удивительно, но реализация ее может **иметь успех**, поскольку здесь парадоксальным образом **сошлись интересы** крупнейших мировых игроков:
  - а) **США и Китай** видят в ней возможность создать **новый глобальный рынок** энергооборудования колоссальной емкости и получить **«технологическую» ренту**;
  - б) **Евросоюз, Япония, Ю.Корея** видят в использовании **ВИЭ** возможность обеспечить свою **энергетическую безопасность**, а **Китай** - сократить потребление угля и решить острейшую проблему оздоровления окружающей среды своих городов.
- ❖ Эти страны имеют **высококачественные ресурсы ВИЭ, технологии и финансы**.
- ❖ Обеспечена **лояльность экспертного сообщества** (во многом за счет **«целевых» грантов** и **«размывания»** его малокомпетентными людьми).

## «Климатическая повестка» для России:

- ❖ Требование обеспечения **углеродной нейтральности** для каждой страны является **ущербным**.
- ❖ Кроме ПГ на климат планеты влияют множество других факторов. Важно обеспечить **глобальный энергетический баланс**, а не **баланс углерода**.
- ❖ Поскольку климатическая проблема является глобальной, то ее решением должно стать отыскание **глобального оптимума** для развития мировой экономики и энергетики.
- ❖ Это возможно с использованием математических **моделей мировой экономики и энергетики** (которые должны использоваться **в тесной «связке»** - как способ декомпозиции задачи очень большой размерности и сложности).
- ❖ Для них **ограничения на выбросы ПГ** должны формироваться на основе анализа решений из **глобальных климатических моделей**.
- ❖ Декарбонизация экономики и энергетики страны должна осуществляться **в оптимальных объемах**, определяемых глобальным оптимумом.
- ❖ **Задача** достижения углеродной нейтральности экономики и энергетики по странам в общем случае становится **не обязательной**.
- ❖ Такая постановка требует тесной экономической, научной и технологической **кооперации** стран мира. В конфронтационном мире ее реализация невозможна.

## Переход к углеродной нейтральности в России: Каким образом и какой ценой (методология и информация):

- ❖ Имеется множество **конкурирующих направлений** декарбонизации экономики и энергетики и, следовательно, достижения углеродной нейтральности.
- ❖ Стоит задача определения **оптимального** (наиболее приемлемого) из них.
- ❖ При этом должны учитываться **особенности страны** (природно-климатические, социально-экономические и др.), а также ее **возможности** (сырьевые, технологические, финансовые и др.).
- ❖ **До** проведения оптимизационных исследований целесообразно определить **потенциальные возможности** конкурирующих направлений декарбонизации и **имеющиеся ограничения** на их реализацию.
- ❖ Это необходимо для корректного формирования граничных условий (**области допустимых решений**) в применяемых моделях.
- ❖ Расчеты выполнены применительно к **текущему состоянию** энергетики. Дальнейшее развитие экономики обеспечивается «безуглеродной» энергией.
- ❖ Важен учет **структурных, технологических и режимных факторов**.
- ❖ **Информационное обеспечение**: данные Росстата, компаний, СО ЕЭС, АЦ при Правительстве РФ, Кадастра, ИНЭИ РАН (в т.ч. **ТЭБ**) и др.
- ❖ Соответствующие задачи решаются в рамках **ВИП ГЗ по климату** (раздел «Энергетика») с участием ИНЭИ РАН, ИСЭМ СО РАН и ОИВТ РАН.

## Требования Стратегии НУР-2021 к объемам выбросов парниковых газов при различных сценарных условиях, млн т CO<sub>2</sub>-экв.

Сценарий	2019	2030	2050	2060*
<b>1. Инерционный сценарий Стратегии НУР</b>				
Выбросы парниковых газов	2119	2253	2521	535
Поглощение парниковых газов	-535	-535	-535	-535
Выбросы-нетто парниковых газов	1584	1718	1986	0
Изменения		134	268	-1986
<b>2. Целевой сценарий Стратегии НУР</b>				
Выбросы ПГ	2119	2212	1830	1200
Поглощение ПГ	-535	-539	-1200	-1200
Выбросы-нетто ПГ	1584	1673	630	0
Изменение выбросов за период		93	-382	-630
<b>3. Компромиссный сценарий (ИНЭИ РАН)</b>				
Выбросы ПГ	2119	2212	1165	535
Поглощение ПГ	-535	-535	-535	-535
Выбросы-нетто ПГ	1584	1677	630	0
Изменение выбросов за период		93	-1047	-630

Примечания: \* С учетом заявления на конференции в Глазго о выходе России на углеродную нейтральность к 2060 году. \*\* Прирост (+), сокращение (-) выбросов ПГ за период.

\* Для достижения углеродной нейтральности России к 2060 г. нужно в Целевом сценарии сократить выбросы ПГ относительно 2019 г. в 1,8 раза при удвоении поглощения CO<sub>2</sub> и в 3,9 раза без него.

\* Задача трудно реализуемая при планировании развития экономики России со средними мировыми темпами (при темпах 3% в год рост ВВП к 2060 г. составит 4 раза).

\* Сценарий «Инерционный» практически нереализуем (сокращение ПГ на 2 млрд т/год за 10 лет!)

## Выбросы парниковых газов в России по типам источников (2019 г.), млн т CO<sub>2</sub>-экв. \*

Источник выбросов	Всего		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O**
		%			
1. Сжигание топлив, вкл. потери	1668	78,7	1490	172	6
2. Промышленные процессы	237	11,2	187	1	50
3. Сельскохозяйственные процессы	114	5,4	1	54	59
3. Обращение с отходами	100	4,7	2	89	10
<b>Всего выбросы</b>	<b>2119</b>	<b>100,0</b>	<b>1679</b>	<b>315</b>	<b>125</b>
Землепользование	-535	-25,2	-576	25	15
<b>Итого выбросы-нетто</b>	<b>1584</b>	<b>74,8</b>	<b>1104</b>	<b>341</b>	<b>140</b>
Структура выбросов по веществам, %					
- суммарные выбросы		100,0	79,2	14,9	5,9
- выбросы нетто		100,0	69,7	21,5	8,8

Примечания: \* Выбросы (+), поглощение (-). \*\* Включая фтористые соединения: гидрофторуглероды (ГФУ), перфторуглероды (ПФУ), гексафторид серы (SF<sub>6</sub>).

+ Основной компонент ПГ - CO<sub>2</sub> (79,2% в суммарных выбросах и 69,7% в выбросах нетто). Велика доля метана (14,9% и 21,5% соответственно).

+ Основной источник выбросов ПГ - «Сжигание топлив, вкл. потери» (78,7% суммарных выбросов ПГ); вклад в выбросы CO<sub>2</sub> - 88,7%, в CH<sub>4</sub> – 50,4%.



## Выбросы парниковых газов энергетикой (2019 г.)

Источники выбросов	Выбросы ПГ, млн. т CO <sub>2</sub> -экв	Структура выбросов, %	Доля в суммарных выбросах, %
<b>1. Сжигание топлив</b>	<b>879,1</b>	<b>80,3</b>	<b>41,5</b>
Добыча и переработка топлив	64,3	5,9	3,0
- добыча нефти и газа	18,0	1,6	0,9
- переработка нефти и газа	43,8	4,0	2,1
- добыча и переработка угля	2,5	0,2	0,1
<b>Производство электро- и теплоэнергии</b>	<b>752,9</b>	<b>68,7</b>	<b>35,5</b>
- электростанции	577,3	52,7	27,2
- котельные	175,5	16,0	8,3
<b>Трубопроводный транспорт нефти и газа</b>	<b>61,9</b>	<b>5,7</b>	<b>2,9</b>
- трубопроводный транспорт газа	0,2	0,0	0,01
- трубопроводный транспорт нефти	61,7	5,6	2,9
<b>2. Утечки и испарение топлив (при их добыче, передаче и переработке)</b>	<b>216,0</b>	<b>19,7</b>	<b>10,2</b>
- нефть и газ	147,8	13,5	7,0
- твердые топлива	68,2	6,2	3,2
<b>Всего</b>	<b>1095,1</b>	<b>100,0</b>	<b>51,7</b>

+ Доля отраслей ТЭК в суммарных выбросах ПГ составляет **51,7%**.

+ В структуре выбросов ТЭК **80,3%** приходится на сжигание топлива и **19,7%** - на утечки.

+ Основной источник выбросов в ТЭК – ТЭС и котельные (**35,5%** суммарных выбросах ПГ).

## Выбросы парниковых газов от сжигания топлив в секторе конечного потребления (2019 г.)

Источники выбросов	Выбросы ПГ, млн. т CO <sub>2</sub> -экв	Структура выбросов, %	Доля в суммарных выбросах, %
<b>1. Промышленность и строительство</b>	<b>161,7</b>	<b>28,2</b>	<b>7,6</b>
- металлургическая	44,8	7,8	2,1
- неметаллических материалов	22,7	4,0	1,1
- химическая	15,0	2,6	0,7
- целлюлозно-бумажная	11,7	2,0	0,6
- пищевая промышленность	6,9	1,2	0,3
- прочие пром. отрасли и строительство	60,7	10,6	2,9
<b>2. Сельское хозяйство</b>	<b>15,8</b>	<b>2,8</b>	<b>0,7</b>
<b>3. Транспорт</b>	<b>184,9</b>	<b>32,3</b>	<b>8,7</b>
- автодорожный (вкл. личный)	160,5	28,0	7,6
- железнодорожный	9,4	1,6	0,4
- водный	1,5	0,3	0,1
- авиационный	13,5	2,4	0,6
<b>4. Прочие отрасли</b>	<b>24,9</b>	<b>4,3</b>	<b>1,2</b>
<b>5. Домашние хозяйства</b>	<b>185,3</b>	<b>32,4</b>	<b>8,7</b>
<b>Всего</b>	<b>572,6</b>	<b>100,0</b>	<b>27,0</b>

- + В секторе КП основным источником выбросов ПГ являются:
- домашние хозяйства (8,7% в суммарных выбросах ПГ);
  - транспорт, включая личный (8,7%); в основном автомобильный;
  - промышленность (7,6%).

# Выбросы парниковых газов промышленными процессами (2019 г.)

Источники выбросов	Выбросы ПГ, млн. т CO <sub>2</sub> -экв	Структура выбросов, %	Доля в суммарных выбросах, %
<b>1. Metallургия</b>	<b>104,9</b>	<b>44,2</b>	<b>5,0</b>
- чугун, сталь	92,6	39,0	4,4
- алюминий	6,5	2,7	0,3
- ферросплавы	3,2	1,4	0,2
- прочие продукты	2,7	1,1	0,1
<b>2. Химия</b>	<b>71,8</b>	<b>30,3</b>	<b>3,4</b>
- аммиак	41,4	17,4	2,0
- этилен	6,7	2,8	0,3
- метанол	3,0	1,3	0,1
- сажа	2,5	1,1	0,1
- прочие продукты	24,5	10,3	1,2
- карбамид	-6,3	-2,7	-0,3
<b>3. Производство минеральных продуктов</b>	<b>36,3</b>	<b>15,3</b>	<b>1,7</b>
- цемент	20,3	8,6	1,0
- известь	8,9	3,7	0,4
- прочие продукты	7,1	3,0	0,3
<b>4. Прочие промышленные процессы</b>	<b>24,3</b>	<b>10,2</b>	<b>1,1</b>
<b>Всего</b>	<b>237,4</b>	<b>100,0</b>	<b>11,2</b>

+ Около 65% выбросов ПГ в данном сегменте образуется при производстве 4-х продуктов: чугуна и стали (39,0%), аммиака (17,4%) и цемента (8,6%). Первые три – экспортные.

# Основные направления перехода к углерод-нейтральной экономике

Выбросы CO<sub>2</sub>

## Направления перехода

Доминирующие вторичные энергоносители

max

### 1. Энергосбережение:

#### 1.1. технологическое

- технологическое обновление энергетики
- модернизация отраслей экономики
- реновация зданий

#### 1.2. структурное

- перестройка структуры экономики

- углеводороды  
- электроэнергия  
- тепловая энергия  
(«традиционная энергетика» - преимущественно топливная)

### 2. Низкоуглеродная энергетика

- 2.1. Замещение угля газом
- 2.2. Улавливание и захоронение CO<sub>2</sub>

- биомасса, ЭЭ, ТЭ  
(«биоэнергетика»)

### 3. Углерод-нейтральная энергетика

- вытеснение ископаемых топлив биомассой

- водород («водородная энергетика»)

### 4. Безуглеродная энергетика

- 4.1. На основе атомной энергии
- 4.2. На базе безуглеродных ВИЭ

- электроэнергия  
(«электрический мир»)

0

# Прогнозирование спроса на электроэнергию (целевой сценарий)



## Целевой сценарий:

- 1) экономика развивается с темпами 3% в год;
- 2) реализуется политика интенсивного энергосбережения:
  - а) технологического и
  - б) структурного.

**Большая неопределенность:** При реализации «новой электрификации» (вследствие развития электротранспорта, электроотопления, роботизации, мобильной связи стандартов 5G и 6G, «новой индустриализации» и т.д.) спрос на электроэнергию к 2060 гг. может возрасти до **1800-2000** млрд кВтч/год.

Обеспечить его будет очень сложно.

# Электрогенерация в России по категориям электростанций (2022 г.)

Категория	Кол-во	Мощность	Выработка	Средняя мощность	КИУМ
	шт.	ГВт	ТВт-ч	МВт	
ЭС общего пользования	5024	244,8	1081,7	48,7	0,504
ЭС других отраслей	36697	24,9	84,3	0,68	0,387
<b>Всего</b>	<b>41721</b>	<b>269,7</b>	<b>1166,0</b>	<b>6,5</b>	<b>0,494</b>
<b>в том числе</b>					
- централизованная зона	911	247,6	1121,5	271,8	0,517
- децентрализованная зона	40810	22,1	44,5	0,54	0,230

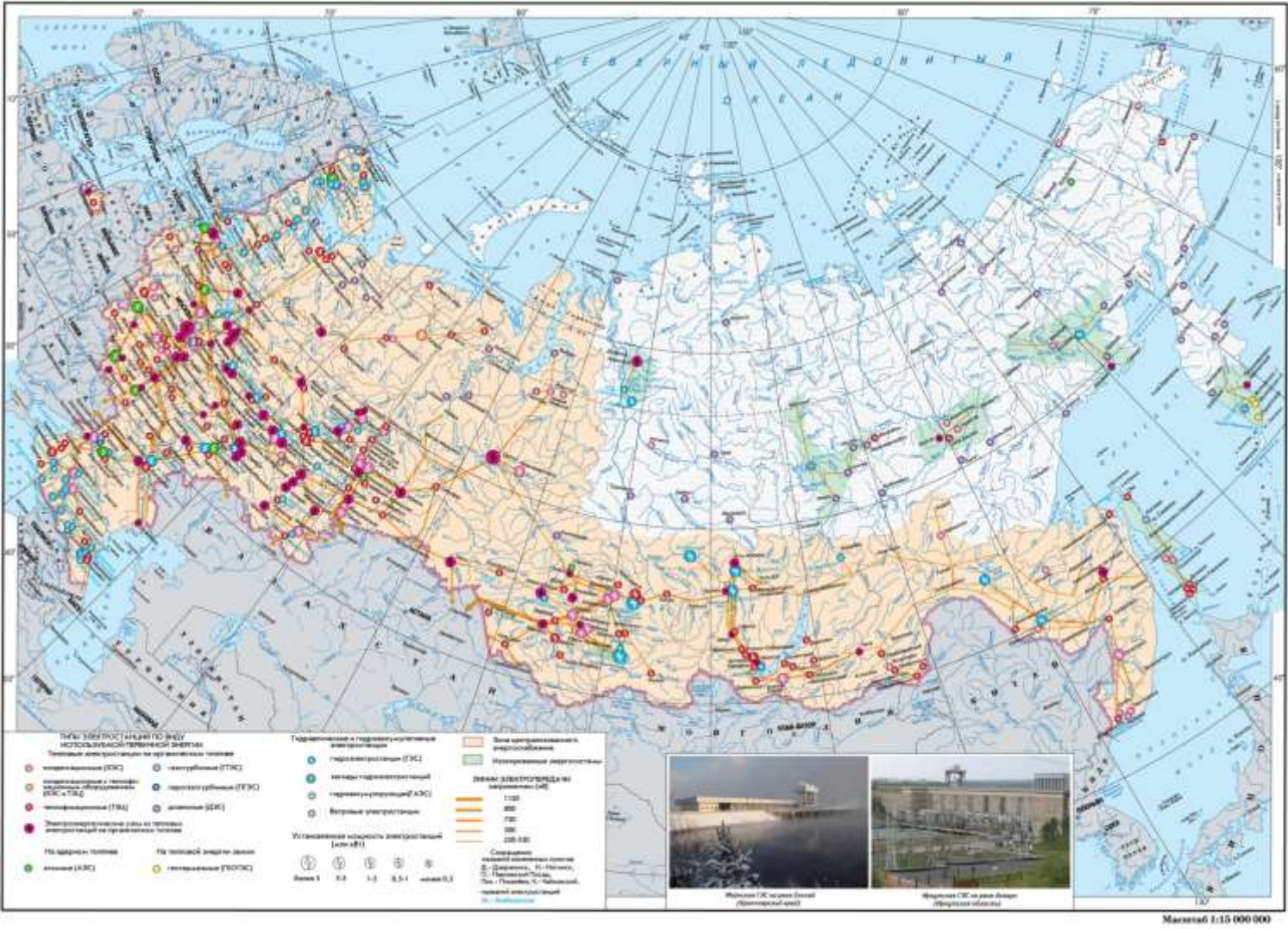
## Структура, %

Категория	Кол-во	Мощность	Выработка
ЭС общего пользования	12,0	90,8	92,8
ЭС других отраслей	88,0	9,2	7,2
<b>Всего</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<b>в том числе</b>			
- централизованная зона	2,2	91,8	96,2
- децентрализованная зона	97,8	8,2	3,8

В энергетике России есть две не связанные зоны, **кардинально различающиеся**.

- В России преобладает централизованное электроснабжение. Его основу составляют электростанции (ЭС) общего пользования (90,8% мощностей и 92,8% выработки).
- На децентрализованную зону приходится 8,2% мощностей и 3,8% выработки.
- Но в децентрализованной зоне находится 40,8 тыс. электростанций из 41,7 тыс. шт.

# Охват территории России централизованным электроснабжением

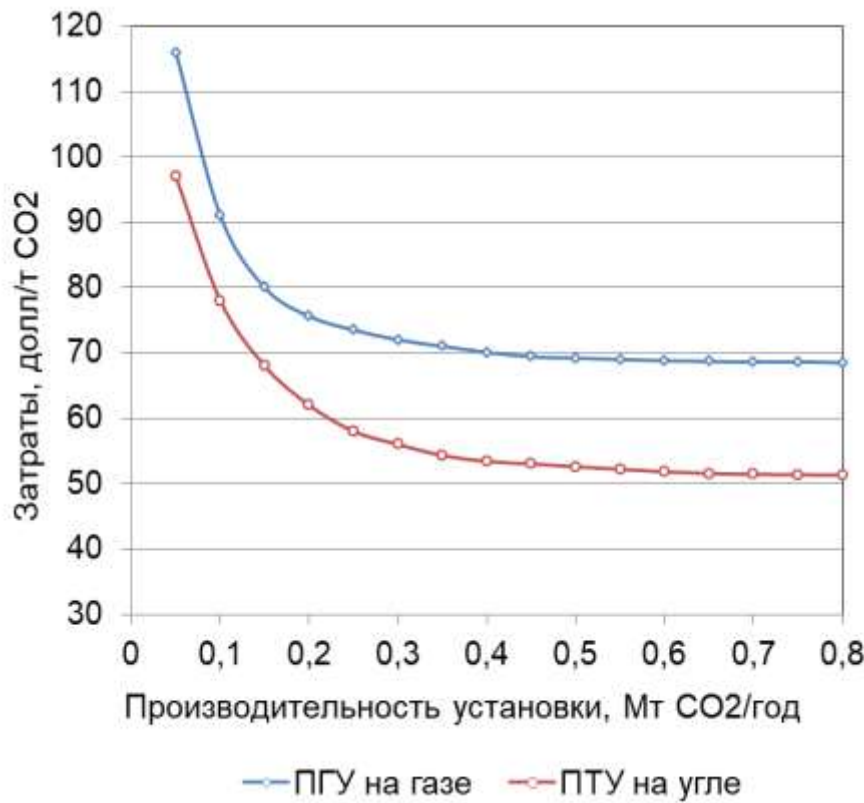


Источник:  
Интернет.  
Данные до  
2020 г.

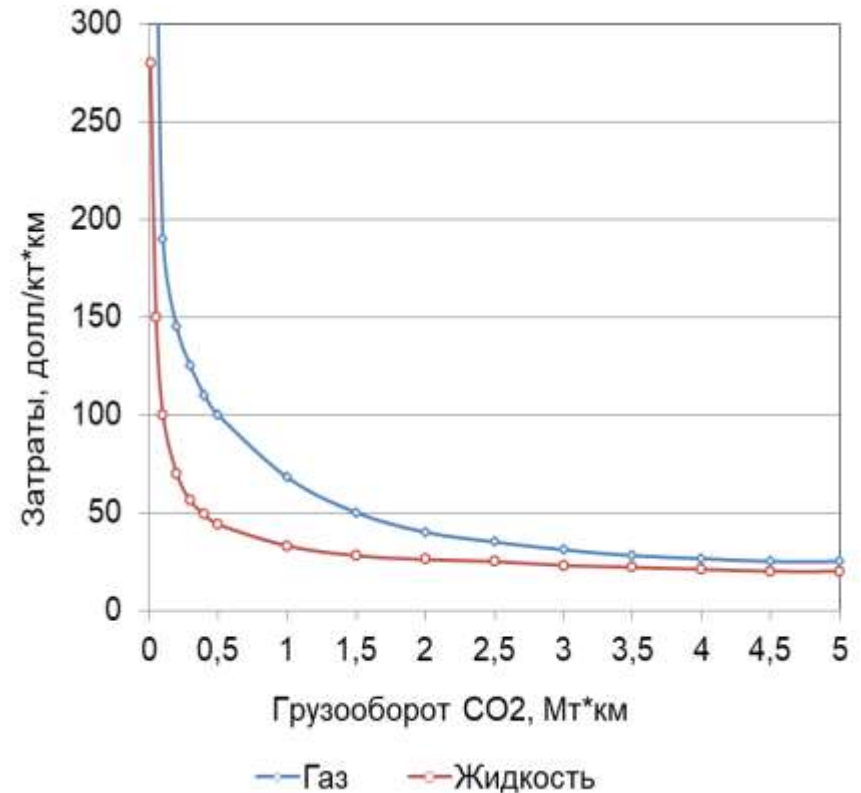
- 2/3 территории России не охвачены централизованным электроснабжением;
- 3/4 - централизованным газоснабжением.

# Учет характеристик технологий: существенная нелинейность и неопределенность

Зависимость удельных затрат на улавливание CO<sub>2</sub> от производительности установки.



Удельные затраты на транспортирование CO<sub>2</sub> по трубопроводам в зависимости от объема передачи.

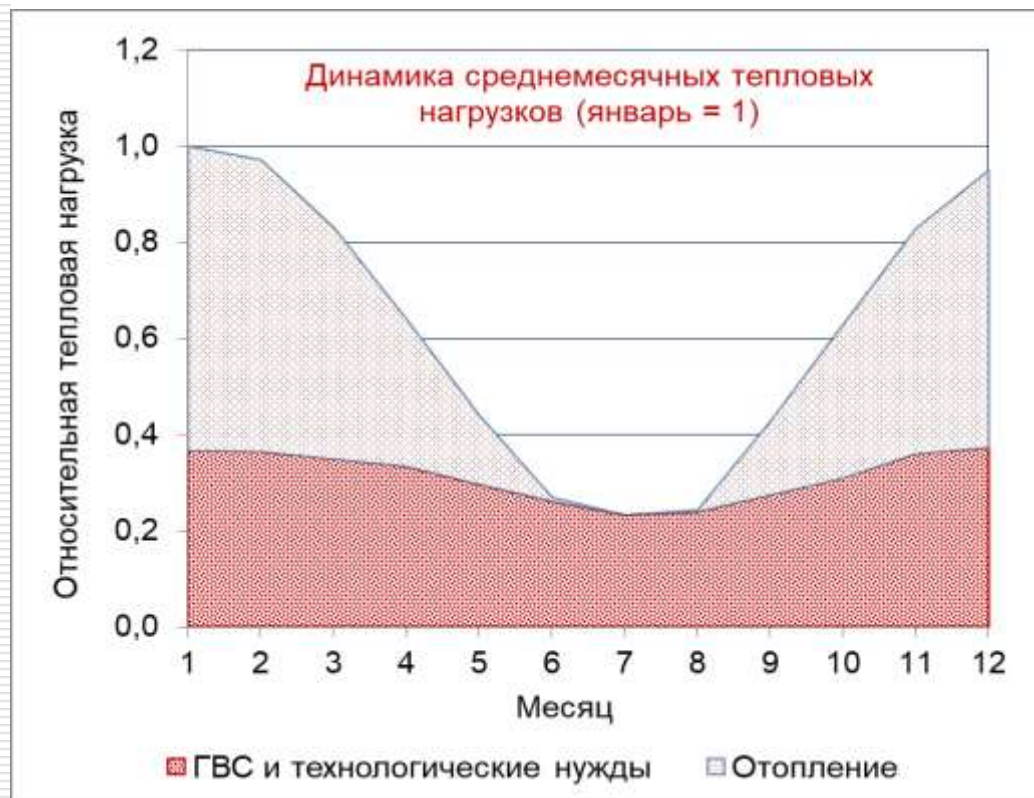


- Энергетические технологии характеризуются существенной нелинейностью и неопределенностью технико-экономических характеристик.



## Учет режимов энергопотребления:

Тепловые нагрузки	ГВт	Тепловые мощности	ГВт
Расчетная (холодная 5-дневка)	<b>402</b>	Установленная	<b>823</b>
Среднемесячная в январе	293	- котельные	467
Среднегодовая	<b>183</b>	- ТЭЦ	315
Среднемесячная в июле	69	- прочие	11



### Централизованная система электроснабжения (ЕЭС):

- + Установленная электрическая мощность – **247,6 ГВт**;
- + Совмещенный максимум электрической нагрузки – **160 ГВт**.

Установленная тепловая мощность в **3,3** раза большей электрической.

# Учет стохастичности электрогенерации на ВИЭ: фактические режимы работы ВЭС (2022 г.)



Источник: АО «СО ЕЭС» Отчет об объемах поставленной на оптовый рынок мощности в 2022 году.

- В условиях России эксплуатация ВЭС оказывается эффективнее, чем СЭС.
- КИУМ ВЭС (0,279) в 2 раза выше, чем СЭС (0,129).
- Работа ВЭС имеет стохастический характер.
- ВИЭ требуют применения аккумуляторов электроэнергии (суточных и сезонных) и/или высокоманевренных электрогенерирующих установок (ГТУ, ДЭС).
- **Использование ВИЭ плохо совместимо с развитием атомной энергетики.**

# Оценка потенциала технологического обновления отраслей ТЭК

Объект	Экономия топлива, ПДж/год	Сокращение выбросов CO <sub>2</sub> , Мт/год
<b>1. КЭС:</b>	<b>461</b>	<b>30.2</b>
угольные	338	18.4
газовые	123	11.8
<b>2. ТЭЦ:</b>	<b>613</b>	<b>36.0</b>
газовые	548	29.8
угольные	65	6.2
<b>3. Котельные:</b>	<b>59</b>	<b>4.5</b>
газовые	30	1.7
угольные	29	2.8
<b>4. Электрические сети</b>	<b>254</b>	<b>17.5</b>
<b>5. Тепловые сети</b>	<b>244</b>	<b>18.2</b>
<b>6. Газотранспортная система</b>	<b>140</b>	<b>7.6</b>
<b>Всего</b>	<b>1771</b>	<b>114.0</b>

➤ Приоритеты:

1) Технологическое обновление ТЭЦ и КЭС (переход на ПГУ, что требует разработки отечественных газовых турбин);

2) реконструкция тепловых сетей и электросетевого комплекса (на базе отечественного оборудования).

# Оценка потенциалов реализации вариантов перехода к углерод-нейтральной экономике с учетом ограничений

Направление декарбонизации	Сокращение выбросов ПГ, Мт CO <sub>2</sub> (экв.)/год	Вклад в декарбонизацию, %	
		целевой сценарий	компромис. сценарий
<b>1. Энергосбережение:</b>			
- Тех. обновление отраслей ТЭК	114	12.4	7.2
- Повышение теплозащиты зданий	106	11.5	6.7
<b>2. Переход к низкоуглеродной энергетике</b>			
- Замещение угля газом (ПТУ на ПГУ)	143	15.5	9.0
- Улавливание и захоронение CO <sub>2</sub> (CCS)	795	86.4	50.2
<b>3. Переход к углерод-нейтр. биоэнергетике</b>			
- древесная биомасса (экон./тех. потенц.)	143/216	15.5/28.3	9.0/16.5
- сельхоз.отходы/ТКО	2/12	0.2/1.2	0.1/0.7
<b>4. Переход к безуглеродной энергетике</b>			
- На основе атомной энергии	920(1585)*	100.0	100.0
- На базе безуглеродных ВИЭ	920(1585)*	100.0	100.0

➤ **Приоритеты:** 1) технологическое обновление отраслей ТЭК, 2) повышение тепловой защиты зданий, 3) разработка технологий **CCS** (позволит сохранить традиционную энергетику), 4) развитие атомной энергетики и ВИЭ.

# Дополнительный спрос на электроэнергию и мощность при переходе к «электрическому миру»

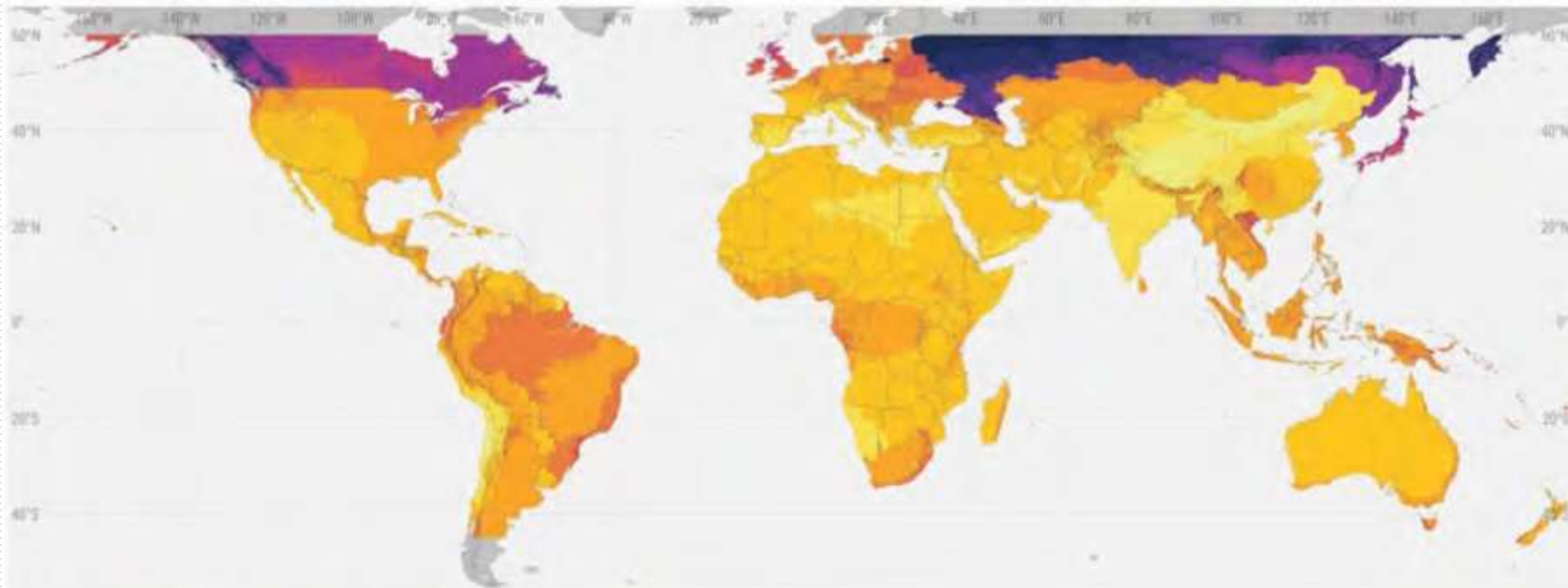
Области замещения топлива электроэнергией от АЭС и ВИЭ	Электроэнергия, ТВт·ч	Электрическая мощность, ГВт	
		АЭС	ВИЭ
<b>Целевой сценарий</b>			
Вытеснение электрогенерации КЭС и ТЭЦ	736	120	350
Вытеснение теплогенерации ТЭЦ и котельных	1360	223	651
Вытеснение теплогенераторов у населения	459	75	220
<b>Всего</b>	<b>2555</b>	<b>418</b>	<b>1221</b>
<b>Компромиссный сценарий</b>			
Вытеснение котельно-печного топлива с ТЭС, котельных и у населения	2555	418	1211
Вытеснение котельно-печного топлива в прочих отраслях экономики	730	120	349
Замещение моторных топлив	205	34	99
<b>Всего</b>	<b>3490</b>	<b>572</b>	<b>1669</b>

- Переход к полностью безуглеродной энергетике в Россия в обозримой перспективе **не реализуем** из-за экономических, технологических и ресурсных ограничений.
- Требуемые вводы **АЭС - 12-16** и на **ВИЭ – 35-47 ГВт в год** **не реальны**.
- Главная проблема – большие потребности в **тепловой энергии**.
- ЭС на ВИЭ в России **не конкурентоспособны** с зарубежными.

## Выводы:

1. Переход в России к углерод-нейтральной экономике к 2060 г. представляется **трудно реализуемым** из-за наличия жестких ограничений.
2. Экономически он **не является состоятельным** из-за неизбежного роста цены энергии для потребителей. Потому решение о нем может быть только **политическим**.
3. Требуется тщательное **обоснование** предлагаемых решений с учетом **специфики России** (природно-климатических условий, структуры экономики и энергетики и др.).
4. Необходимо определить **оптимальный** состав технологий, объемы и сроки внедрения.
5. Первоочередные задачи декарбонизации: **технологическое обновление** отраслей ТЭК и повышение **тепловой защиты зданий**.
6. Важную роль может сыграть **атомная энергетика** при условии гарантированного обеспечения безопасности ее функционирования.
7. Особый интерес представляют **технологии CCS**, обеспечивающее сохранение использования органических топлив в условиях декарбонизации (но **в России их нет**).
8. Необходимостью станет **расширение использования ВИЭ** (в районах с хорошими ресурсами). Но нужны будут дорогие **суточные** и **сезонные аккумуляторы энергии**.
9. Следствием декарбонизации станет **электрификация** экономики. Потребуется рост электрогенерации и развитие электрических сетей.
10. В стране с изобилием природного газа **нет экономических оснований** для развития **водородной энергетики** (из-за плохих потребительских свойств водорода, дороговизны его производства, транспортирования и хранения). **«Электрический мир» предпочтительнее.**

# Стоимость производства электроэнергии (LCOE) на крупных СЭС, цент (США, 2017)/кВтч



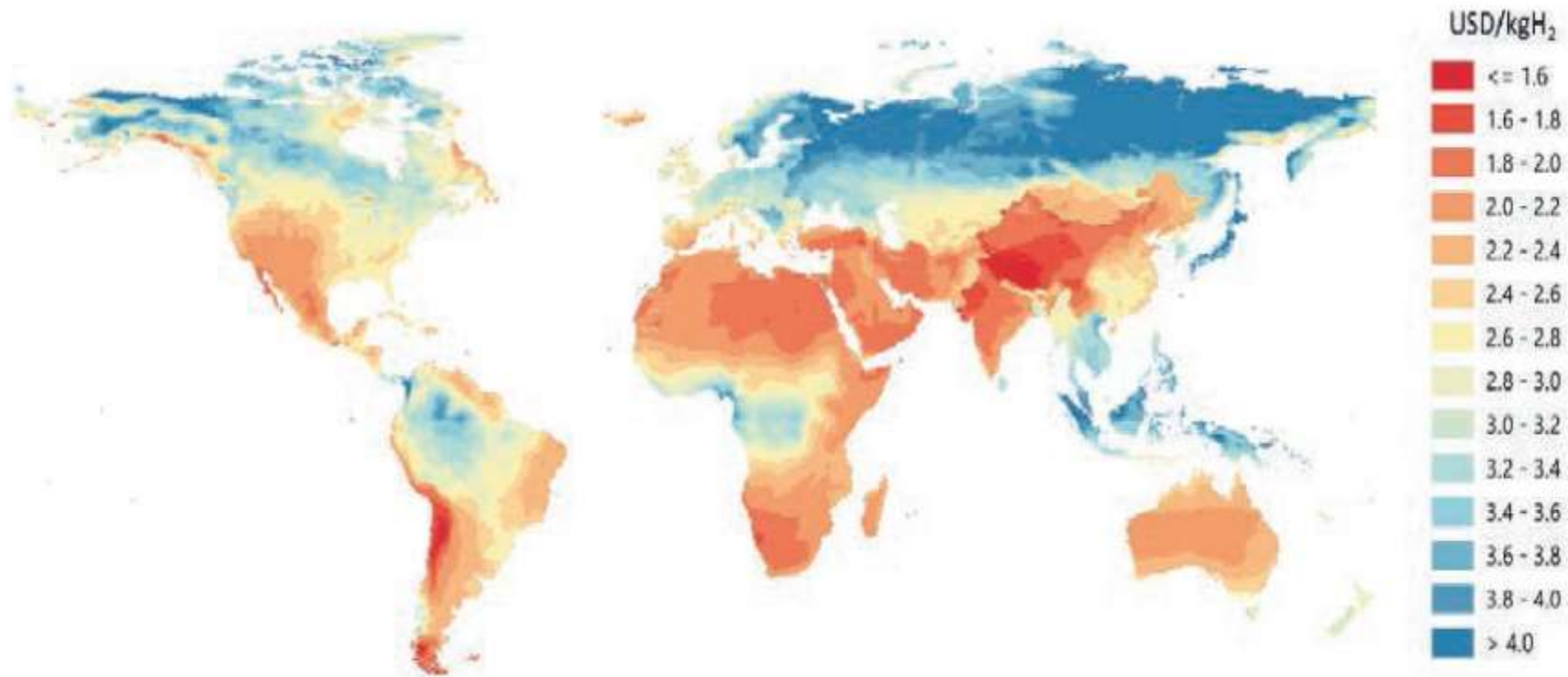
LCOE: Levelised cost of electricity



Credit: Global Photovoltaic Power Potential by Country. - the World Bank, June 2020.

- ❖ Стоимость производства электроэнергии на СЭС в России (LCOE) в 3 и более раз выше, чем в солнечных регионах.

# Стоимость производства водорода на базе ВИЭ по регионам мира (2035-2050) (IEA)



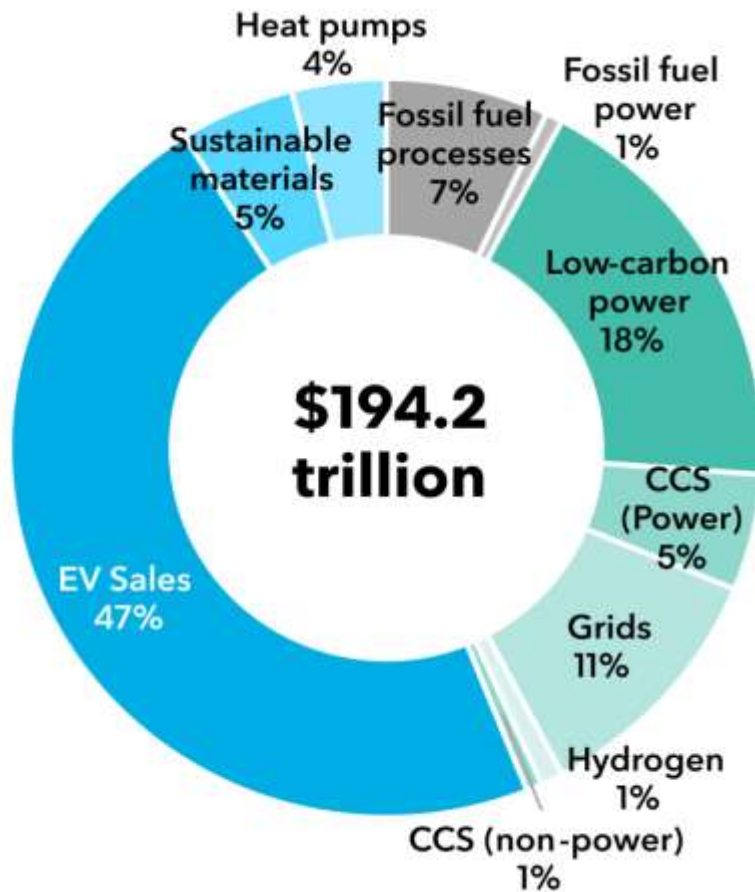
Electrolyser: CAPEX = USD 450/kWe, efficiency (LHV) = 74%; Solar PV: CAPEX USD 400–1 000/kW; Onshore wind CAPEX USD 900–2 500/kW (depending on the region); discount rate =8%. Source: IEA “World Energy Outlook-2019”

**ВЫВОД: Россия оказывается неконкурентоспособной по стоимости производства водорода на базе ВИЭ.**



## Bloomberg: глобальный сценарий «Нетто-Ноль» (Net Zero Scenario, 2023)

Требуемые инвестиции для глобального перехода к углерод-нейтральной экономике до 2050 г., трлн долл.США



### Структура требуемых инвестиций:

- 47% - в электромобили, вкл. аккумуля;
- 18% - в ВИЭ и АЭС;
- 11% - в сети;
- 7% - в переработку топлив,
- 6% - в CCS;
- 5% - в материалы;
- 4% - в тепловые насосы;
- 1% - в традиционные ТЭС;
- 1% - в водород.

**Bloomberg:** а) полное охлаждение к водороду; б) приоритет отдан аккумуляторным технологиям и развитию электротранспорта; в) генерации - CCS; г) в теплоснабжении - тепловым насосам (для России это слабо подходит).

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

**Институт энергетических исследований  
Российской академии наук (ИНЭИ РАН)**

<https://www.eriras.ru/>

