

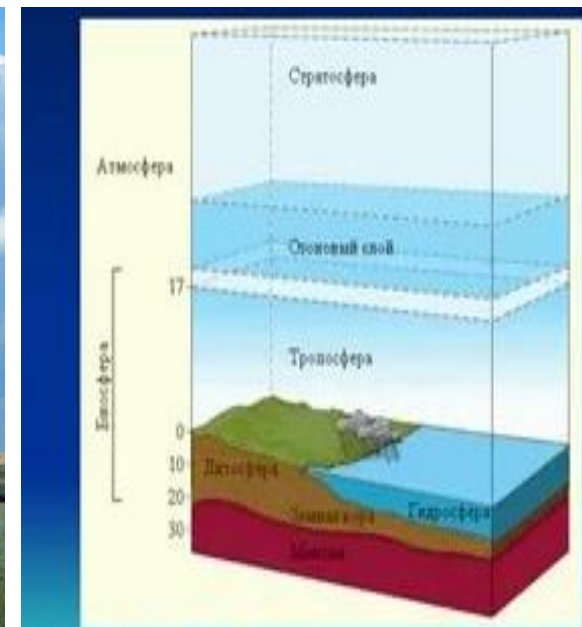
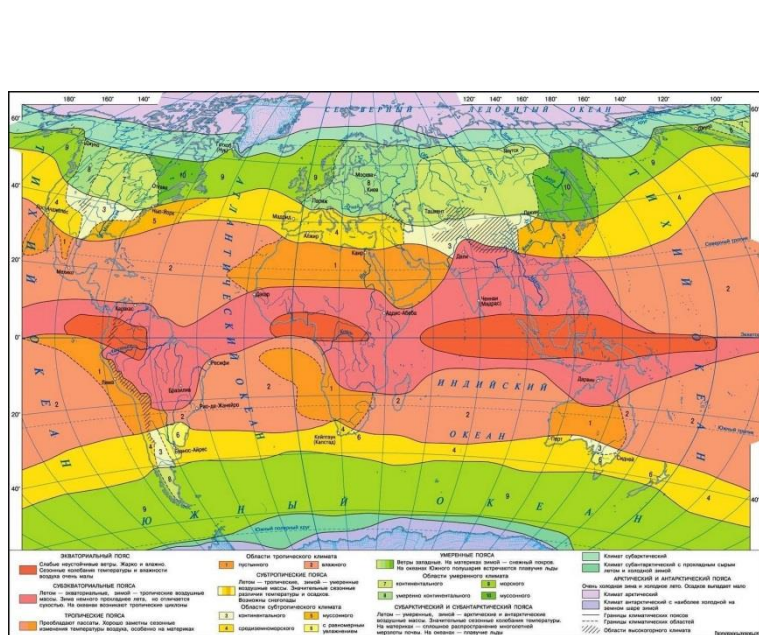
**ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ
ЭНЕРГОРЕСУРСЫ.
ГЕОГРАФИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.**

К.С. Дегтярев

Научно-исследовательская лаборатория
возобновляемых источников энергии

Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

kir1111@rambler.ru



ГЕОГРАФИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

- возобновляемые источники энергии и их обусловленность географическими факторами, связь возобновляемых энергоресурсов с географической оболочкой, поясностью и зональностью;
- потенциал возобновляемых источников энергии и его распределение по земной поверхности;
- география возобновляемой энергетики, различия между регионами в степени и характере использования возобновляемых энергоресурсов.

**ЧАСТЬ 1. ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА, ПРИРОДНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

ЧАСТЬ 2. ГЕОГРАФИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ МИРА

ЧАСТЬ 1. ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА, ПРИРОДНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ):

*«источники на основе постоянно
существующих или периодически возникающих
процессов в природе, а также жизненном цикле
растительного и животного мира и
жизнедеятельности человеческого общества»*

=

*энергетические потоки в географической
оболочке*

Виды возобновляемых источников энергии

Солнечная энергия;

Ветровая энергия;

Гидроэнергия:

- энергия рек, или текущей речной воды;
- энергия океанических приливов;
- волновая энергия;

Биоэнергия:

- естественный прирост биомассы (например, прирост древесины в лесу или торфяных слоёв)
- технические культуры (рапс, подсолнечник);
- отходы лесопереработки;
- отходы сельскохозяйственного производства;
- бытовые отходы;

Геотермальная энергия:

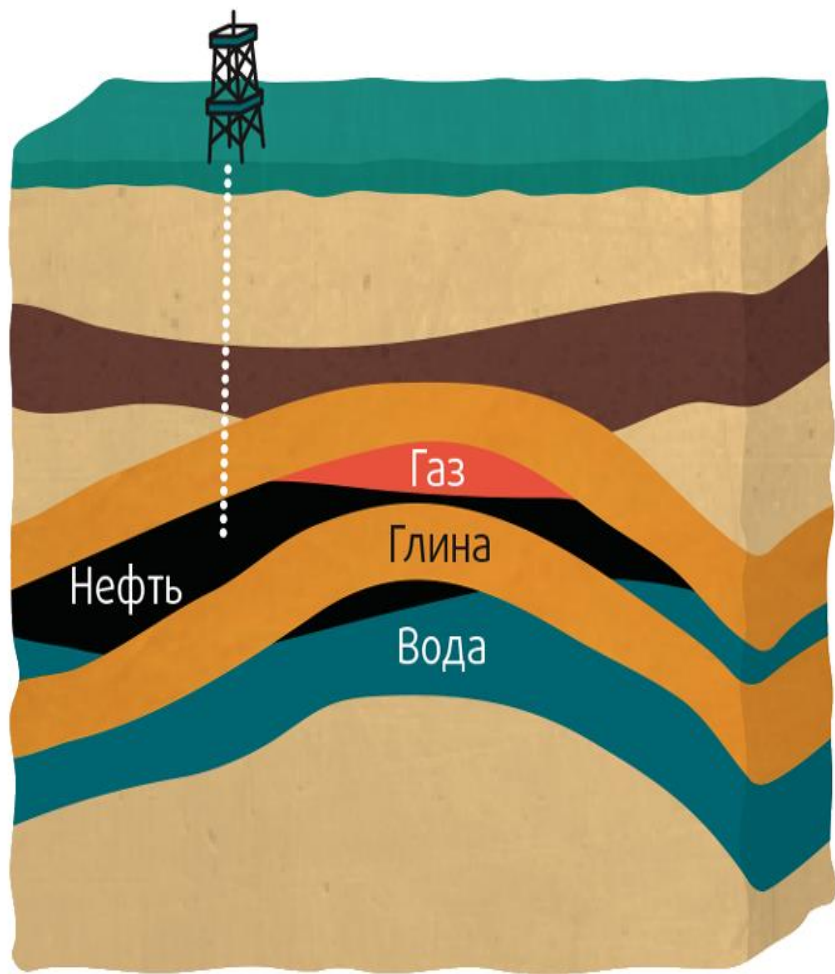
- гидротермальная энергия – разогретых подземных вод и водяного пара;
- петротермальная энергия – тепло горных пород;
- низкопотенциальная энергия поверхностных слоёв Земли.

Геологические и географические ресурсы

Нефть, газ, уголь, урановая руда

Солнечная, ветровая, гидро- и
биоэнергия

Геотермальная энергия

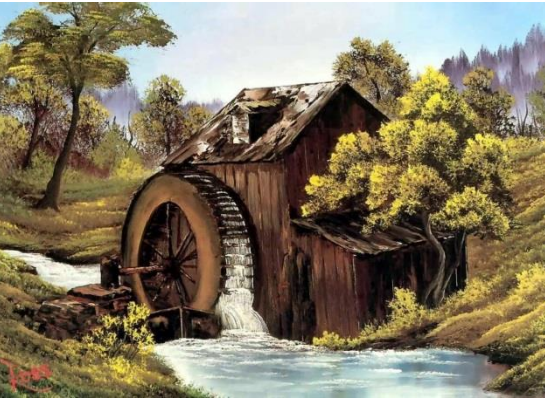


Различия между возобновляемыми и невозобновляемыми энергетическими ресурсами

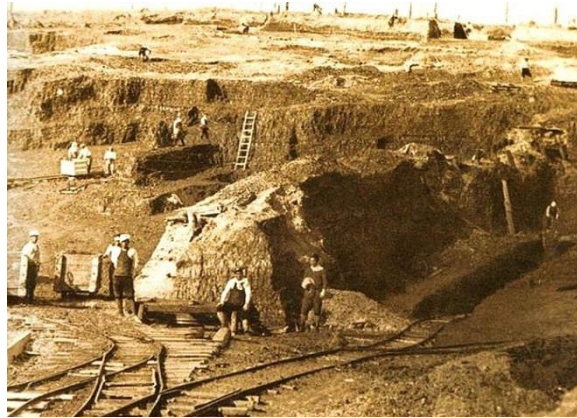
Критерий	Невозобновляемые (геологические, пассивные, статичные) ресурсы	Возобновляемые (географические, активные, динамичные) ресурсы
Местонахождение	Литосфера, преимущественно, на больших глубинах – от нескольких сотен метров	Все геосферы Земли: литосфера, атмосфера, гидросфера, биосфера; преимущественно, в приземном слое
Происхождение	Эндогенное	Экзогенное
Воспроизводство	Возникли в связи с уникальными и не повторяющимися в масштабах человеческой истории геологическими событиями	Определяется суточными и сезонными ритмами в географической оболочке или ритмами хозяйственной деятельности
Возможность использования	Как правило, перед использованием требует дополнительной подготовки	Как правило, можно использовать в «готовом» виде
Тип экономики, использующей ресурс	Производящая	Присваивающая

Использование энергоресурсов разных типов на разных этапах экономического развития

до XVIII-XIX вв.



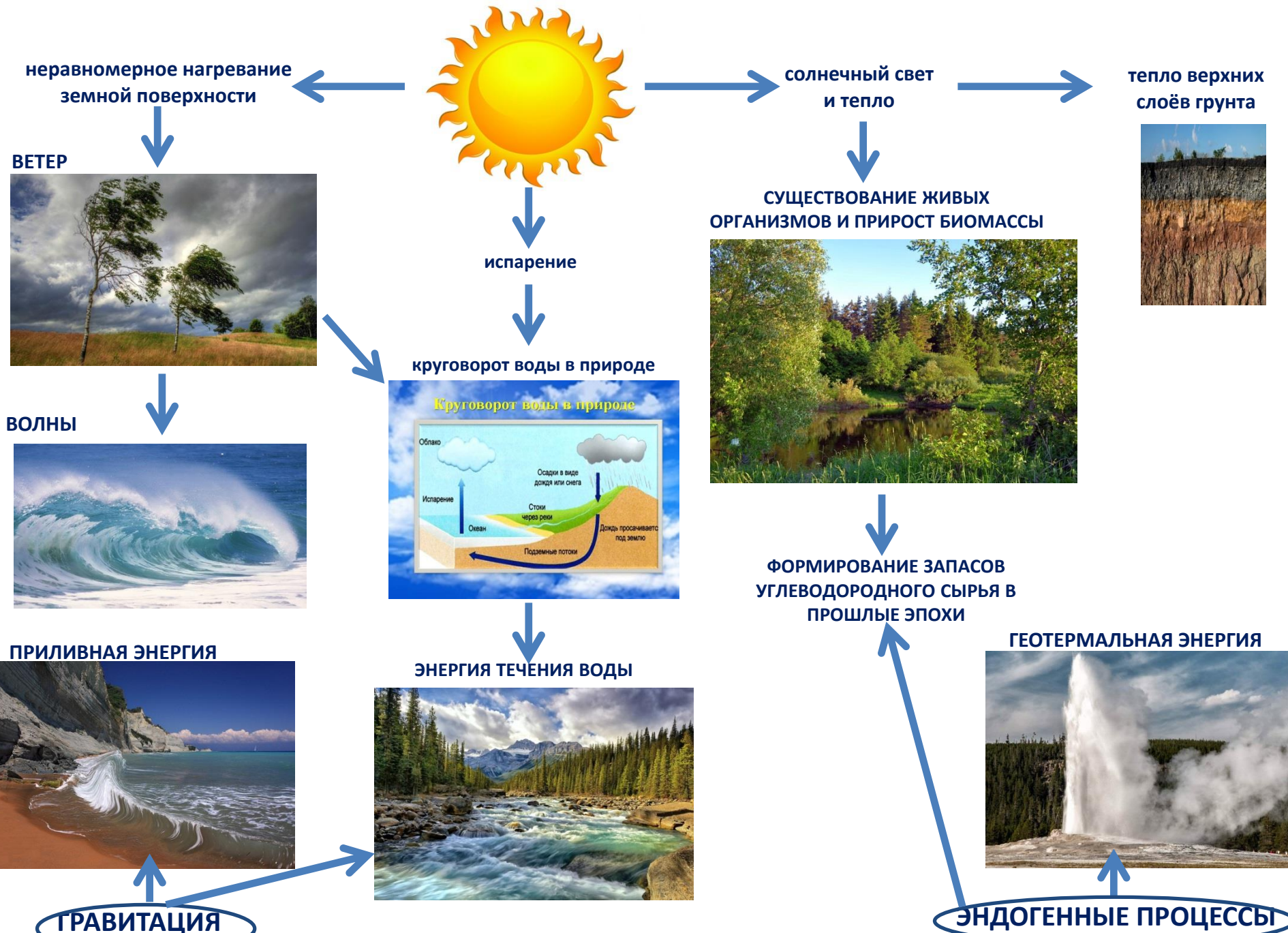
с XVIII-XIX вв.



с XX в.



Солнечная энергия и производные от неё



Факторы возникновения возобновляемых энергетических потоков в географической оболочке

- 1. Солнечная энергия.**
- 2. Гравитация.**
- 3. Эндогенные процессы.**
- 4. *Антропогенные факторы.***

Факторы возникновения возобновляемых энергетических потоков



Географическая оболочка, геосферы и ВИЭ

Географическая оболочка, или ландшафтная оболочка: *«целостная и непрерывная оболочка Земли, среда деятельности человека; охватывает нижние слои атмосферы, верхние толщи литосферы, почти всю гидросферу и всю биосферу»*



Солнечная

Ветровая



Биоэнергия

Геотермальная

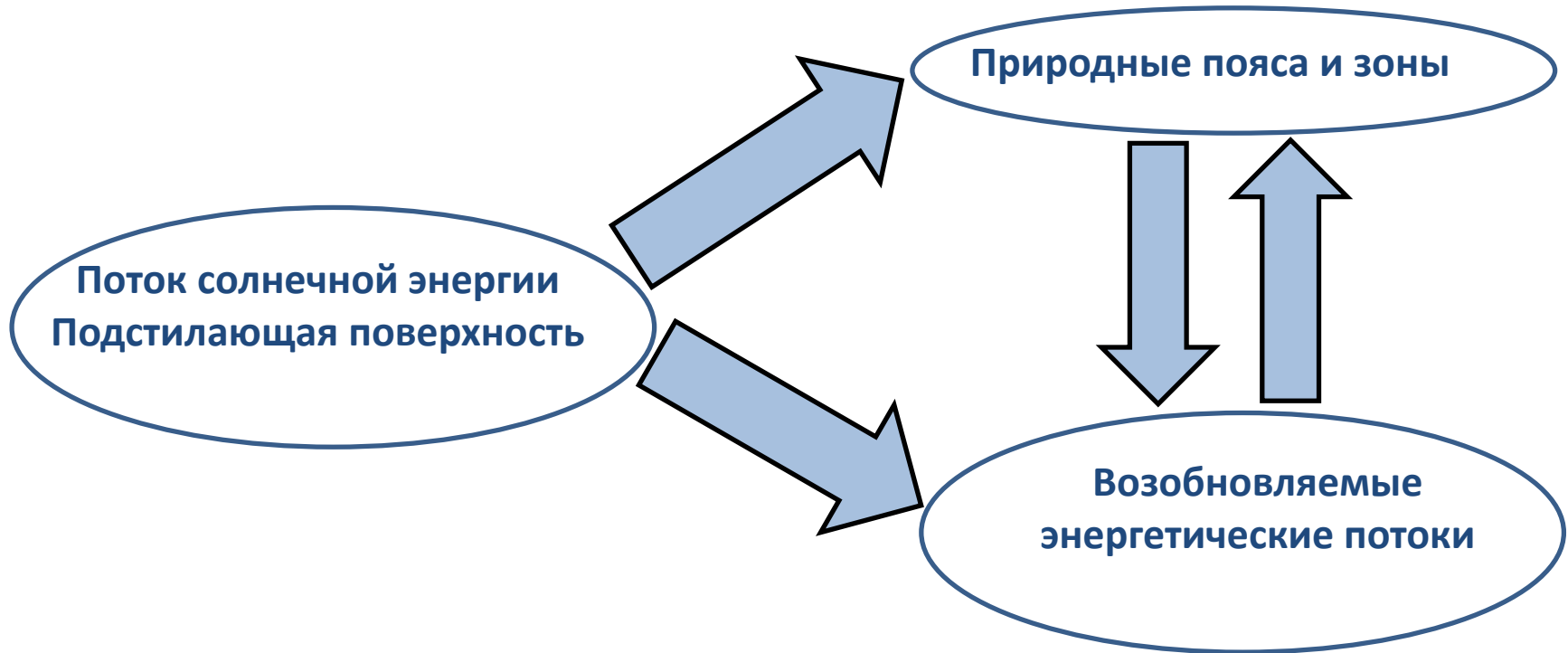
Гидроэнергия рек,
приливная,
волновая

Природная поясность и зональность

Климатическая поясность и природная зональность созданы сочетанием двух главных факторов:

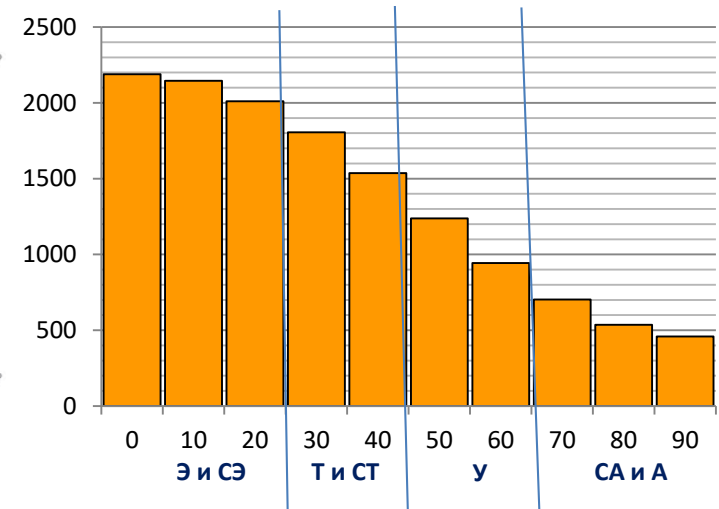
1. Поток солнечной энергии.
2. Характером подстилающей поверхности

Природные пояса и зоны различаются мощностью возобновляемых энергетических потоков и, как следствие, потенциалом возобновляемых источников энергии



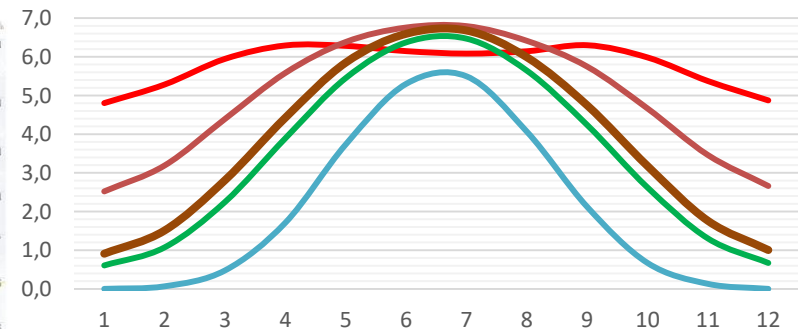
Поток солнечной энергии и климатические пояса Земли

Среднее поступление солнечной энергии на горизонтальную поверхность при ясном небе по широтам, кВтч/м² в год*

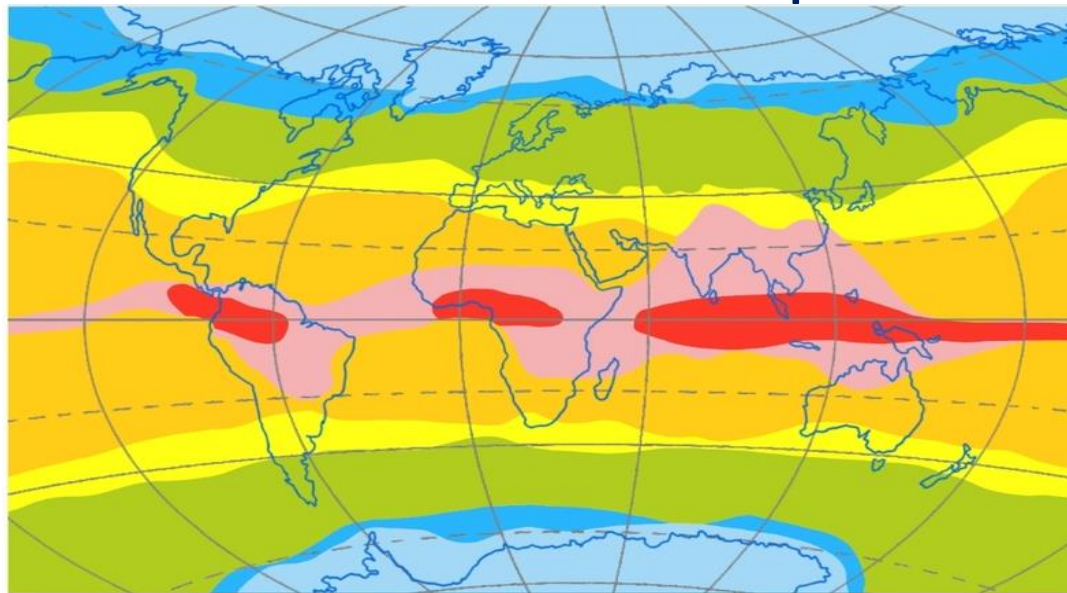


*Источник: Д.С. Стребков. Физические основы солнечной энергетики. Физические основы солнечной энергетики // Под ред. д.т.н. Безруких П.П. – М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2015. – 160 с.; стр.96

Среднее поступление солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе по месяцам в разных климатических поясах, кВтч/кв.м. в сутки



- Экваториальный и субэкваториальный (0-20 гр.)
- Тропический и субтропический (20-40 гр.)
- Широта Крыма (45 гр.)
- Умеренный (40-60 гр.)
- Субарктический и арктический (60-80 гр.)



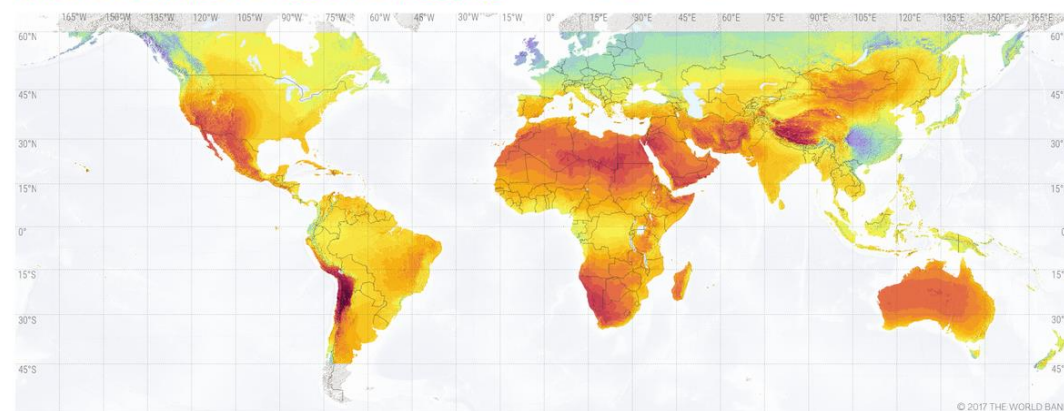
- Экваториальный
- Тропический
- Умеренный
- Арктический и Антарктический
- Субэкваториальный
- Субтропический
- Субарктический и субантарктический

SOLAR RESOURCE MAP PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL

WORLD BANK GROUP
THE WORLD BANK IFC

ESMAP
Energy Sector Management Assistance Program

SOLARGIS



Long-term average of daily/yearly sum
Daily sum: < 2.0 2.4 2.8 3.2 3.6 4.0 4.4 4.8 5.2 5.6 6.0 6.4 > kWh/kWp
Yearly sum: < 730 876 1022 1168 1314 1461 1607 1753 1899 2045 2191 2337 >

This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

Общий потенциал солнечной энергии и мировое потребление электроэнергии

Среднее количество солнечной энергии, поступающее на 1 м^2 земной поверхности – около $1\,500 \text{ кВтч}$. Это значит, что на 1 км^2 приходит уже $1,5 \text{ млрд. кВтч}$ (или $1,5 \text{ ТВтч}$), а на 500 млн. км^2 поверхности Земли – 750 млн. ТВтч . И даже на 150 млн. км^2 земной суши – более 200 млн. ТВтч .

Для сравнения: весь годовой объём потребления энергии человечеством – менее 200 тыс. ТВтч – в 1000 раз меньше, чем количество солнечной радиации, приходящее только на поверхность земной суши.

При размещении солнечных электростанций в приэкваториальных зонах:

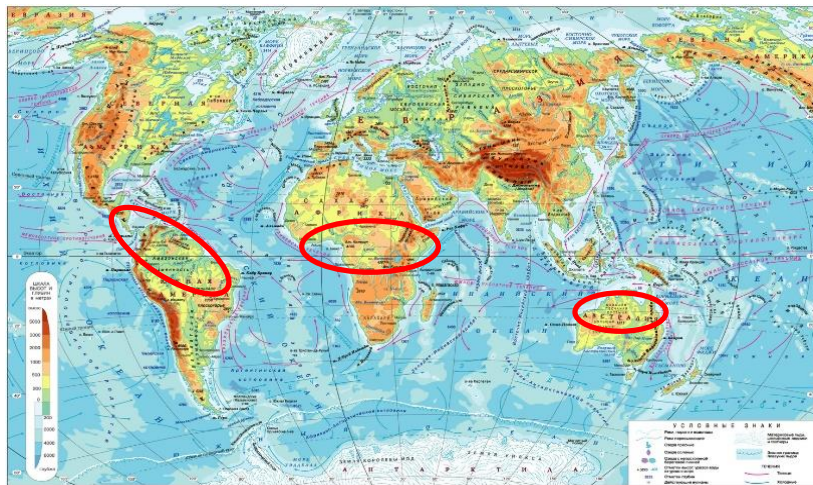
Годовое поступление энергии – 2000 кВтч/м^2 .

Возможность использования – $10\% = 200 \text{ кВтч/м}^2 = 200 \text{ млн. кВтч/км}^2 = 2000 \text{ млрд. кВтч}$ (тераваттчас; ТВтч)/ 1000 км^2

Мировое потребление электроэнергии – менее 30 тыс. ТВтч в год

Площадь, требуемая для установки солнечных фотовольтаических мощностей, достаточных для производства электроэнергии в количестве, равном мировому производству электроэнергии: $1000 \text{ км}^2 \cdot 30000 \text{ ТВтч} / 200 \text{ ТВтч} =$

$150\,000 \text{ км}^2$. Это $0,1\%$ площади земной суши. Такие территории в приэкваториальных зонах могут быть выделены (см. карту) – более того, были такие предложения.



Предложение создать глобальную солнечную энергетическую систему, способную обеспечить потребности всего человечества в электроэнергии (акад. Д.С. Стребков)

Источник: <https://clck.ru/ZVHrK> (Д.С. Стребков. Источники и способы передачи энергии – глобальные решения // Окружающая среда и энергосбережение. 2021. - №1)

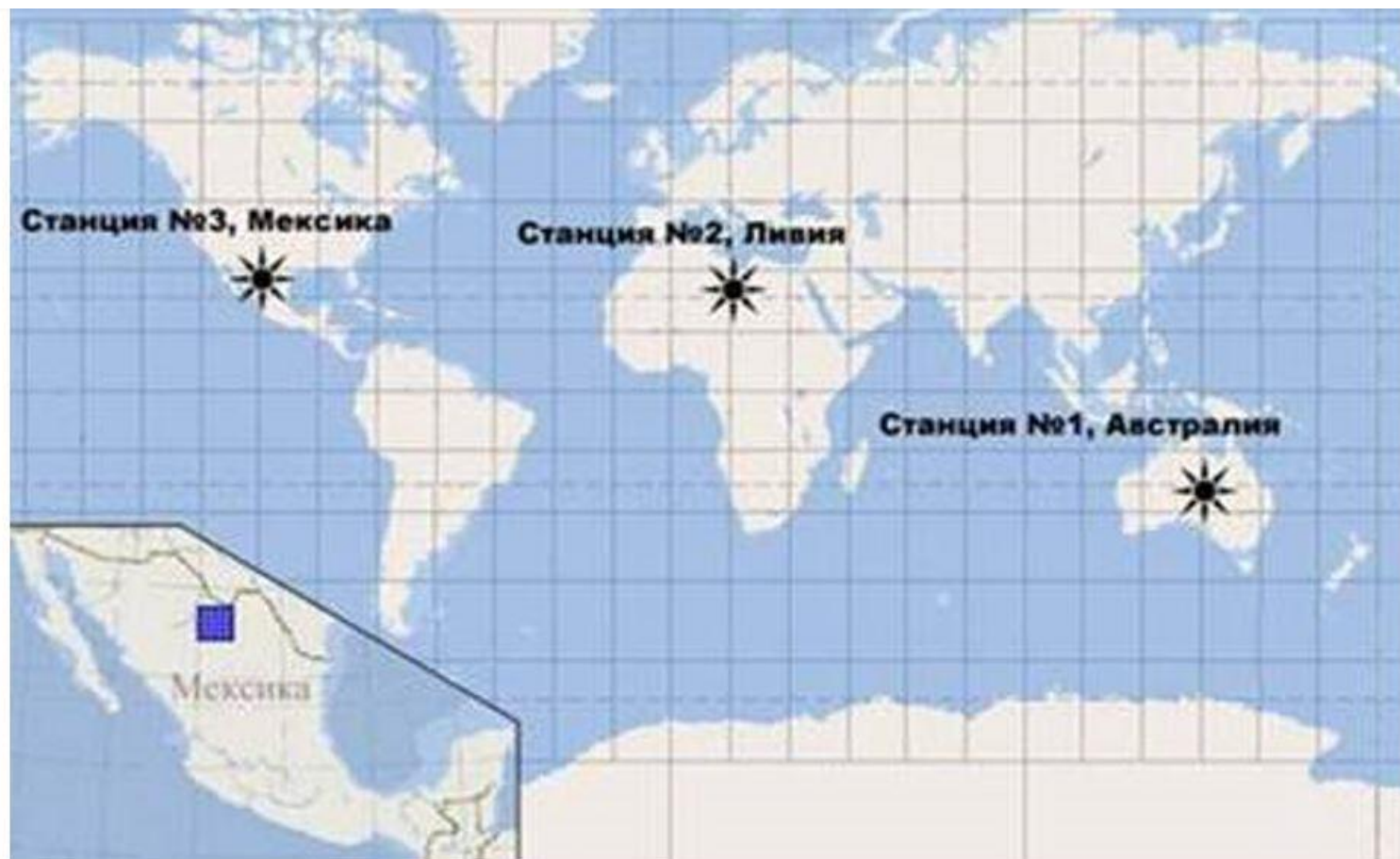


Рис. 2. Глобальная солнечная энергетическая система из трёх солнечных станций [2]

Параметры:

- Три станции по 2,5 ТВт каждая, всего 7,5 ТВт (мировое потребление электроэнергии – 25 000 ТВтч; каждый кВт мощности должен производить 3 500 кВтч электроэнергии в год, т.е. КИУМ должен составить $3500/8760 = 40\%$). Модули можно наращивать.
- Станции расположены в тропических широтах с минимальными различиями между поступлением солнечной энергии летом и зимой, а также таким образом, чтобы над двумя из трёх всегда светило солнце (через 120° долготы друг от друга).
- Общая площадь станций - около 75 тыс. км² (по 25 тыс. км² каждая)

Однако:

При реальном КИУМ = 20% потребуется более 15 ТВт (или 15 млрд. кВт) мощностей (это уже площадь около 150 тыс. км²).

При стоимости \$500/кВт установленной мощности общая стоимость составит около \$ 7,5 трлн., с учётом магистральной и распределительной сети – возможно, \$10-20 трлн., или 15%-20% мирового ВВП.

Кроме того, общий объём потребления энергии в мире с учётом роста в будущем – около 200 000 ТВтч. Электроэнергия в структуре потребления энергоресурсов составляет всего 15%. ВИЭ (гидро-, ветровая, солнечная) ориентированы, прежде всего, на производство электроэнергии. Перевод на ВИЭ транспорта и тепловой энергии – отдельная и более трудная задача.

Оценки мирового теоретического потенциала ВИЭ

Вид энергии	Теоретический потенциал, ТВтч (10^{12} Втч)/год
Солнечная	885 млн
Ветровая	840 тыс.
Геотермальная	280 млрд. (или $5,4 \times 10^{21}$ МДж - суммарный объём тепла, содержащийся в земной коре)
Гидроэнергия рек	39 тыс.
Океаническая энергия (приливная, волновая, осмотическая)	20-80 тыс.
Биоэнергия	> 800 тыс. (исходя из ежегодного продуцирования биомассой около 10^{11} тонн углерода ежегодно)
Мировое потребление энергии	170 тыс. (14 млрд. тонн нефтяного эквивалента)

Теоретический потенциал солнечной энергии в 5000 раз превышает потребление энергии человеком (иными словами, за 2 часа Солнце поставляет на Землю количество энергии, равное нашему потреблению за 1 год). Теоретический потенциал ветровой энергии оценивается в величину примерно в 5 раз большую всего годового потребления энергии, гидроэнергетический – в 20%-25% от этой величины, океанический – в 10%-50%, биоэнергетический – в 4-5 раз большую.

Источники:

Solar Energy Perspectives. International Energy Agency URL:

http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Energy_Perspectives2011.pdf

Wind Energy Factsheet URL: <http://css.umich.edu/factsheets/wind-energy-factsheet> .

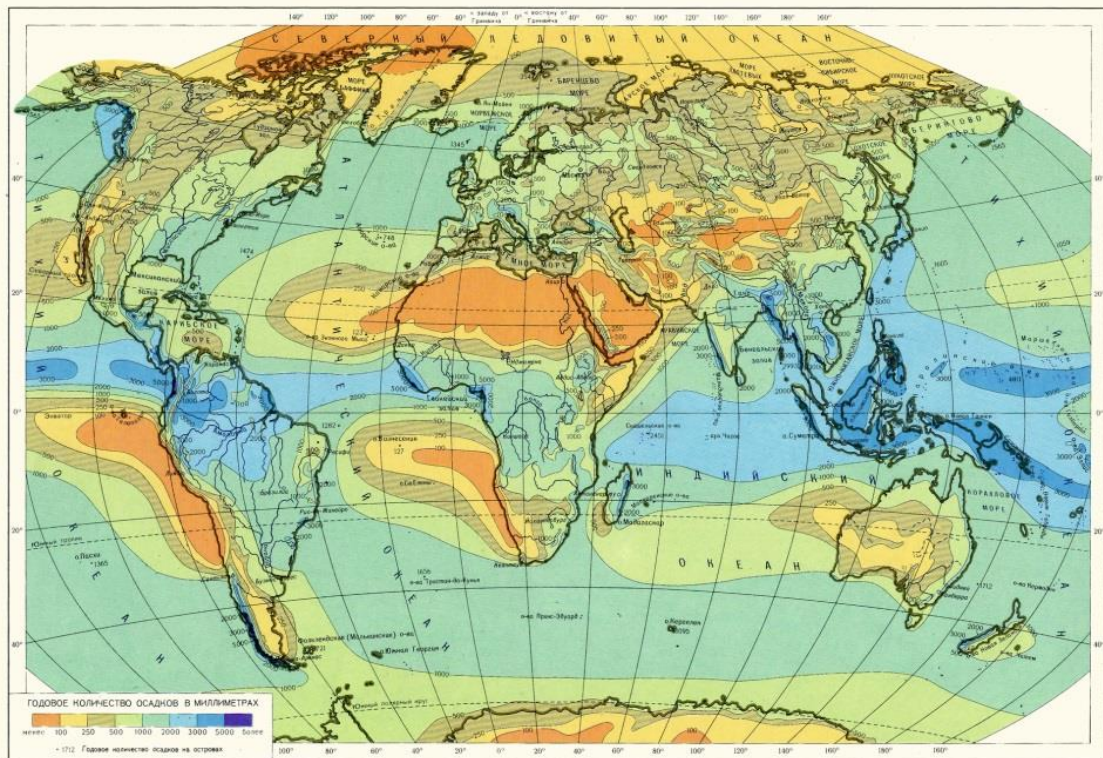
Geothermal. World Energy Council. 2013. URL: http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WER_2013_9_Geothermal.pdf

International Energy Agency URL: <https://www.iea.org/techinitiatives/renewableenergy/ocean/>

Field CB, Behrenfeld MJ, Randerson JT, Falkowski P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components // Science. 1998 Jul 10;281(5374):237-40.

Связь ресурсов гидроэнергии с природной зональностью

Годовое количество осадков



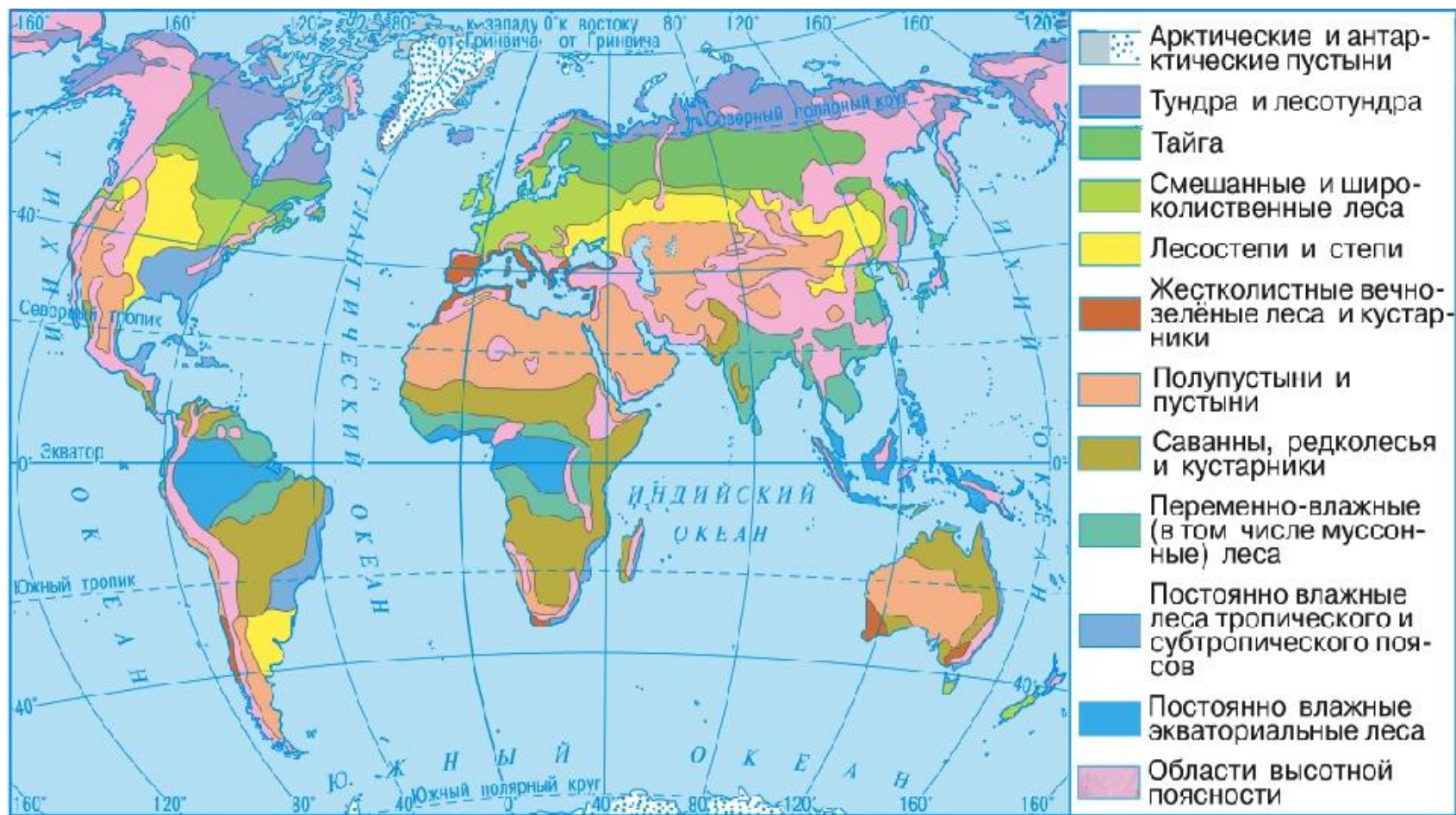
Годовой сток самых полноводных рек

Название	Объём стока за год, км ³	Доля от мирового, %
Амазонка	6 903	18,4%
Конго	1 445	3,9%
Янцзы	1 080	2,9%
Ориноко	913	2,4%
Енисей	624	1,7%
Миссисипи	598	1,6%
Парана	551	1,5%
Лена	536	1,4%
Токантинс	513	1,4%
Замбези	504	1,3%
Меконг	504	1,3%
Ганг	450	1,2%
Остальные реки	22 879	61,0%
Мировой сток	37 500	100,0%

Рост поступления солнечной энергии вызывает рост испарения; как следствие, рост количества осадков; как следствие, увеличение речного стока и, соответственно, гидроэнергетического потенциала. В целом, за исключением зон тропических пустынь, этот принцип работает. Мы видим тенденцию к росту количества осадков и речного стока (и, соответственно, потенциала гидроэнергии) с понижением широты, а 9-10 крупнейших мировых рек, протекающих в экваториальной, субэкваториальной и тропической зонах, дают почти 40% мирового речного стока.

Природная зональность и продуктивность биомассы

Природные зоны



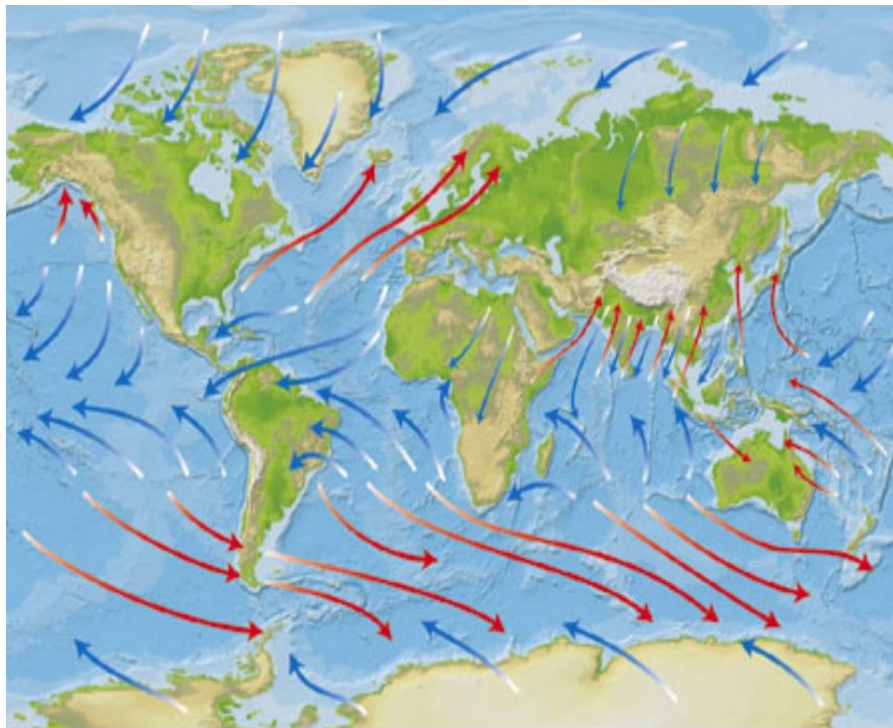
Продуктивность биомассы, т/га*:

- Тундра – 0,1
- Тайга – 2,0
- Лиственные леса умеренного пояса – 2,5-4
- Субтропические леса – 3,5
- Тропические и экваториальные леса – 7,5

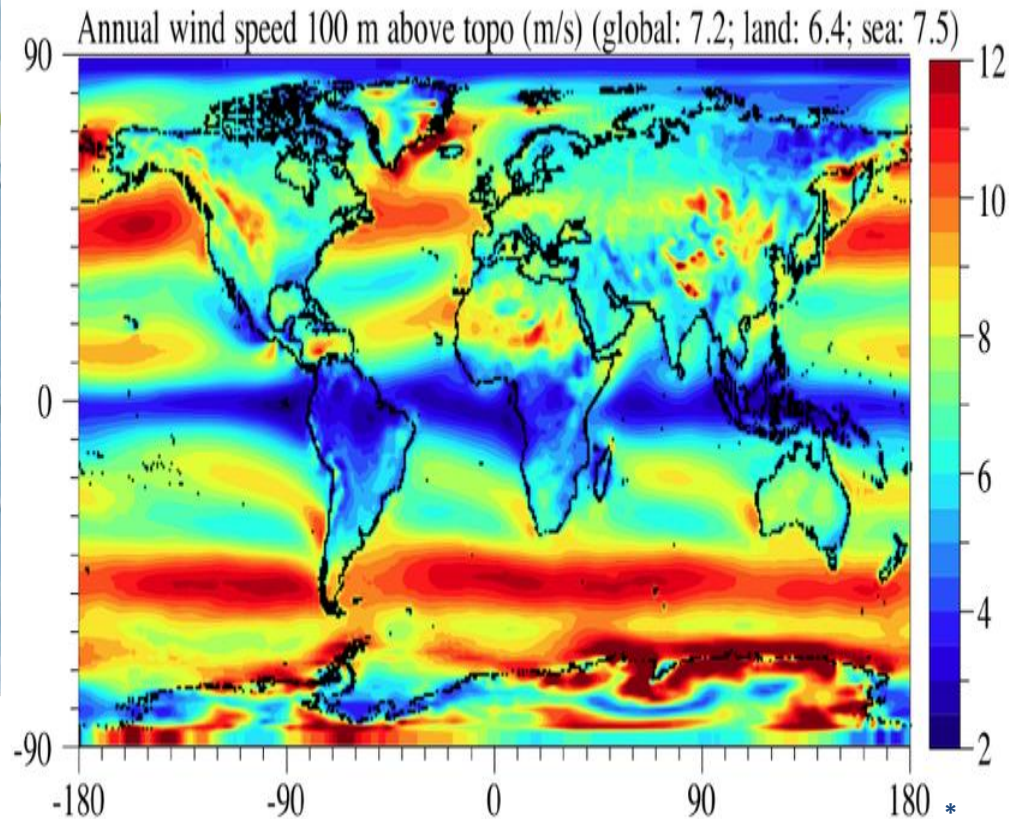
*Biomass Productivity URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/biomass-productivity>

Потенциал ветровой энергии и географическая зональность

Схема ветров



Распределение средних скоростей ветра*



https://www.researchgate.net/profile/Mark_Jacobson2/publication/242537047/figure/download/fig1/AS:298531970666501@1448186976469/Modeled-map-of-the-yearly-averaged-world-wind-speed-m-s-at-100-m-above-sea-level.png?_sg=fjFLZR-D50o6g4sm9riZp9NFPsLaUcfkEPPKr3L3K1ERHNYIRL4viiawZN9VFgquWyS4ioBkAA

Факторы движения воздушных масс:

1. Неравномерность нагревания земной поверхности.
2. Силы вращения Земли.
3. Характер подстилающей поверхности.

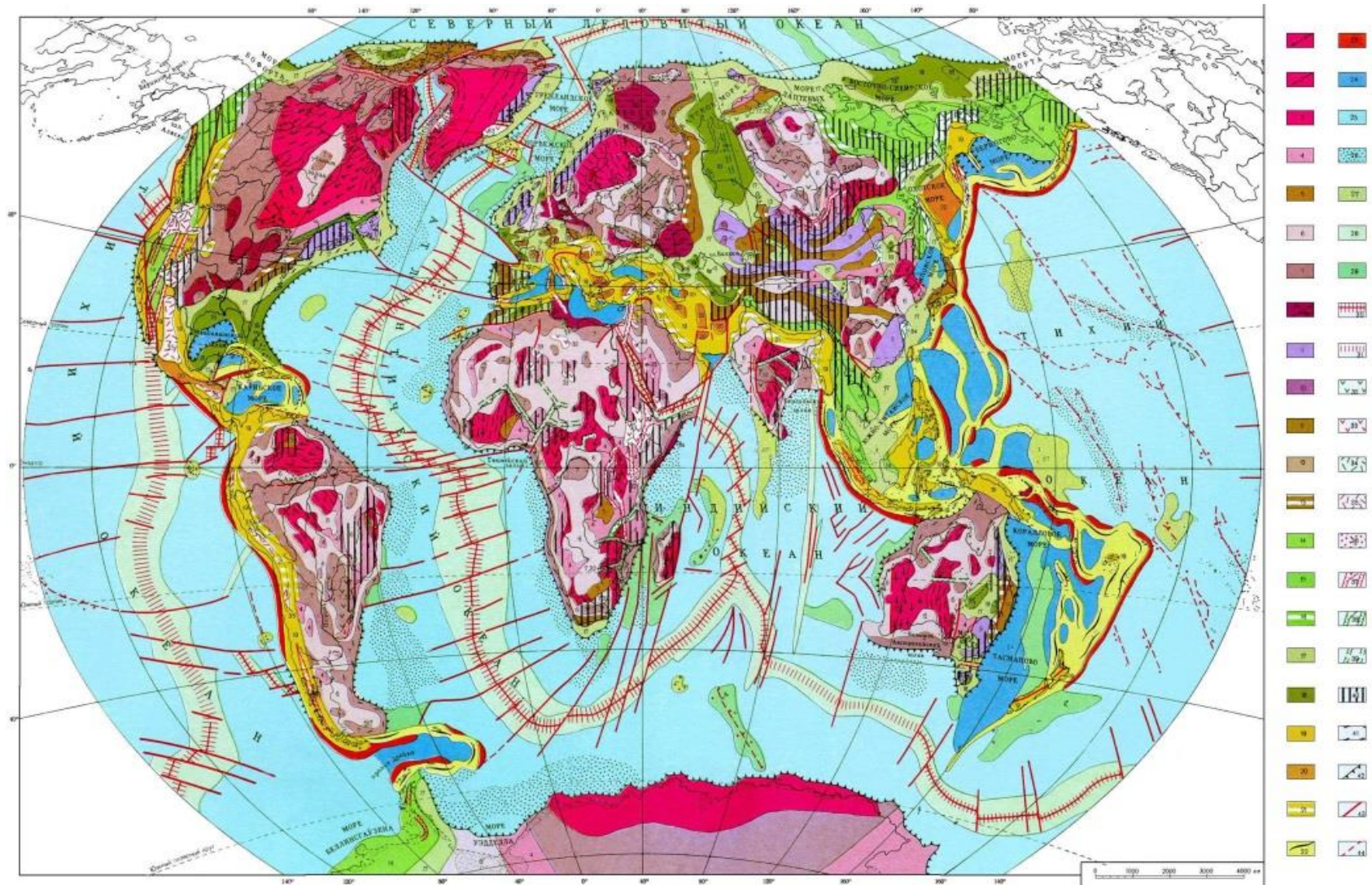
Основные ветровые зоны:

- Пассаты – от 30-х широт к экватору – тропический пояс;
- Муссоны– сезонный перенос воздушных масс между морем и сушей - тропический и субэкваториальный пояс;
- Зоны западного переноса между 40 и 60 градусами широты – умеренный пояс;
- Зоны полярной циркуляции – арктический и антарктический пояса

Локальные зоны с повышенной ветровой энергией:

- Контакты разных сред: суша и море, горы и равнины;
- Открытые пространства: степь, море;
- Повышение ветровой энергии с высотой

Геотермальная энергия



Ведущий фактор – геологическая активность; горные и предгорные территории; зоны повышенной сейсмической и вулканической активности.

Зона Тихоокеанского огненного кольца (включая Камчатку и Курильские острова) .Молодые горные системы с Альпийской складчатостью – Альпы, Кавказ, Гималаи. Рифтовые зоны: Восточно-Африканский рифт, Атлантический (Исландия).

Свободный водород?

Водород часто рассматривается как топливо будущего, но его получение связано с большими затратами энергии и загрязнением окружающей среды. Ситуация была бы принципиально иной, если бы была возможна добыча свободного водорода в достаточных масштабах.

Теоретическая основа – гипотеза о гидридном ядре Земли (В.Н. Ларин и др.). Под действием радиоактивных процессов водород высвобождается и поднимается к поверхности.

Водородная дегазация Земли, преимущественно в рифтовых зонах – хорошо известный процесс (В.Л. Сывороткин и др.).

В ряде точек, в т.ч. на суше, наблюдаются выходы водорода, в т.ч. в высоких концентрациях.

Поиск в этом направлении может принести положительные результаты – в этом случае изменится вся картина мировой энергетики (возможность дешёвого и экологически чистого получения неуглеродного топлива).

Другие возможные следствия из водородной гипотезы:

- воспроизводство запасов углеводородного сырья (нефти и газа);
- влияние на климат и смену естественноисторических периодов;
- разрушение озонового слоя, погодные аномалии.

В то же время, вопрос остаётся открытым, делать выводы рано.

Приливная энергия



Приливная энергия, так же, как и геотермальная энергия, является аazonальной с точки зрения географической зональности, будучи обусловленной силами гравитации. В то же время, её концентрация в определённых точках обусловлена географическими (геоморфологическими) факторами – конфигурацией береговой линии и рельефом морского дна. Как правило, максимальные приливы в зонах с изрезанной береговой линией с заливами, глубоко вдающимися в сушу и с достаточно резким уменьшением глубины и открытых в сторону достаточно большой морской акватории.

Побережье Северной Америки (о. НьюфаундлендФранции (эстуарий Гаронны), фьорды Скандинавии, Кольский полуостров, Белое море, Охотское море в России.

Высотная поясность и ВИЭ; рельеф и ВИЭ



- Рост гидроэнергетического потенциала в предгорных и горных областях благодаря большим углам наклона поверхности (в ещё большей степени, если горы выступают орографическим барьером на пути влажных воздушных масс);
- Рост ветроэнергетического потенциала в предгорьях благодаря перепадам высот и связанным с ними изменениями ветрового режима;
- Рост солнечного потенциала с высотой благодаря увеличению прозрачности атмосферы;
- Как правило, горные районы – территории с повышенным геотермальным потенциалом;
- Потенциал приливной энергии также обусловлен рельефом местности.

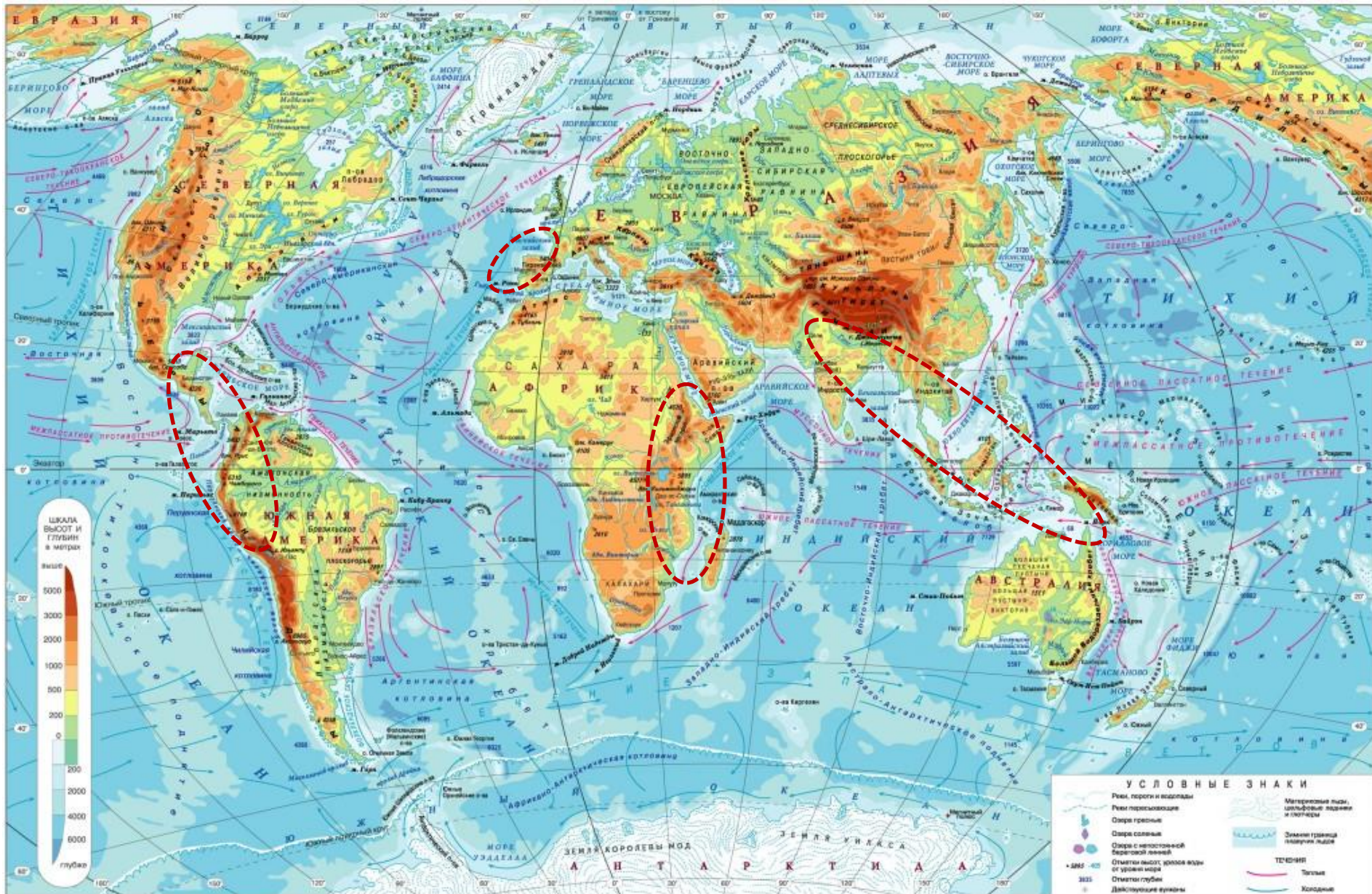
Факторы, определяющие интегральный потенциал ВИЭ:

- 1. Широта.**
- 2. Годовое количество осадков; влажность климата.**
- 3. Рельеф, характер подстилающей поверхности, наличие контакта природно-территориальных комплексов.**

Комбинация достаточного количества солнечного тепла, увлажнения и неоднородности подстилающей поверхности образует области повышенной интенсивности энергетических потоков и «сгущения» потенциала ВИЭ . Как правило, это предгорные территории, расположенные в низких широтах и зонах с большим количеством осадков. Там представлен весь спектр ВИЭ – солнечная, биоэнергия, гидроэнергия, ветровая энергия; в большинстве случаев – также повышенный геотермальный энергетический поток

В мире: южные предгорья Гималаев, предгорные районы Юго-Восточной Азии, Центральной и Южной Америки, Центральной и Восточной Африки. В России - предгорные районы Крыма и Кавказа, а также юга Сибири и Дальнего Востока.

Зоны с наибольшим интегральным потенциалом возобновляемых энергоресурсов в мире



Территории России с высоким потенциалом ВИЭ



Географически зональные и азональные возобновляемые энергетические ресурсы

Зональные: солнечная, ветровая, гидроэнергия рек, биоэнергия, низкопотенциальное тепло верхних слоёв земли.

Азональные: геотермальная, приливная.

ЧАСТЬ 2. ГЕОГРАФИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ МИРА

Три ключевых фактора развития возобновляемой энергетики

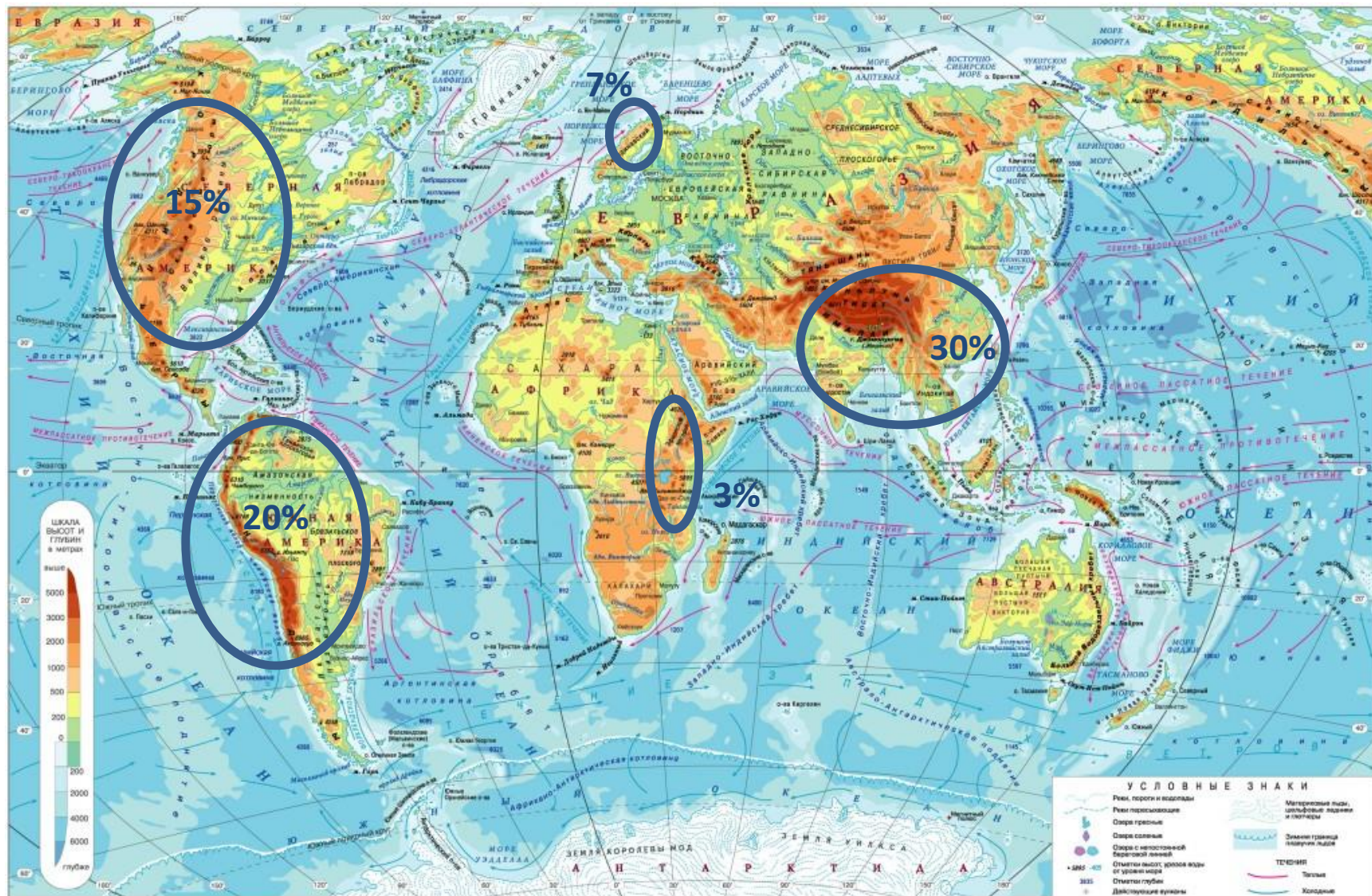
1. Диффузия инноваций от «Центра» к «Периферия» (понятие мир-системного анализа);
 2. Наличие специфических экономико-географических и геополитических предпосылок;
 3. Привязка к территориям с более благоприятными природными условиями.
-
- 1) От стран «Триады» (Северная Америка, Западная Европа, Япония) в остальной мир;
 - 2) Пример: в Западной Европе возобновляемая энергетика занимает существенно больше места в энергобалансе, чем в США. Ключевым фактором является более высокие риски дефицита ресурсов.
 - 3) Развитие возобновляемой энергетики на территориях с более высоким природным потенциалом, независимо от общего уровня технико-экономического развития.

Геотермальная энергетика. 10 стран с наибольшей общей мощностью геотермальных станций, МВт (2019)

Страна	МВт	Доля в мировой мощности , %
США	2 555	18,3%
Индонезия	2 131	15,3%
Филиппины	1 928	13,8%
Турция	1 515	10,9%
Новая Зеландия	965	6,9%
Мексика	936	6,7%
Кения	823	5,9%
Италия	800	5,7%
Исландия	735	5,3%
Япония	525	3,8%
Всего 10 ведущих стран	12 913	92,7%
Остальной мир	1 018	7,3%
Весь мир	13 931	100,0%

<https://irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>

Гидроэнергетика. Доля регионов в мировом производстве гидроэлектроэнергии



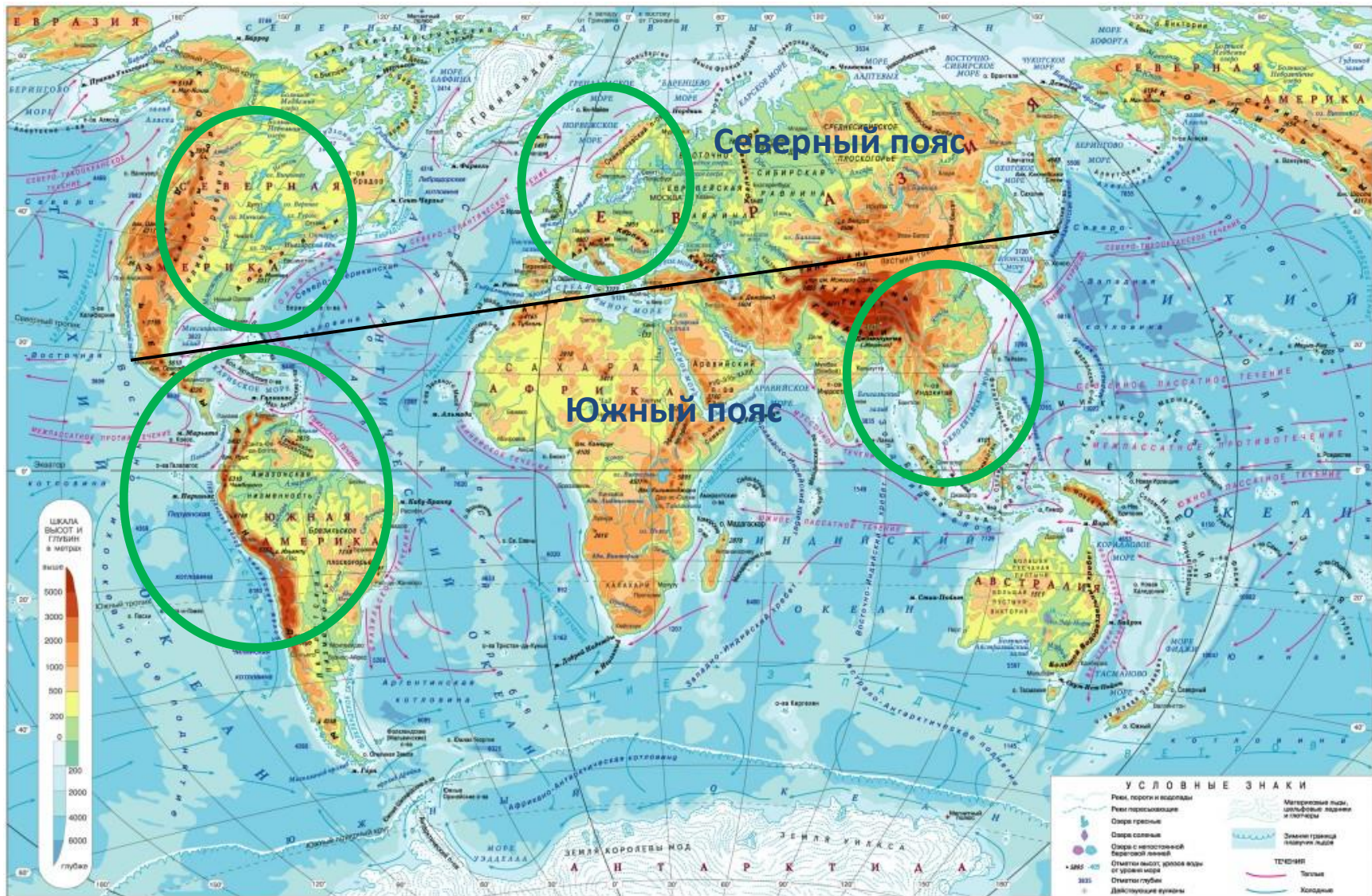
Гидроэнергетика. 10 стран с наибольшей общей мощностью ГЭС, МВт (2019)

Страна	МВт	Доля в мировой, %
Китай	326 113	28,8%
Бразилия	109 092	9,6%
США	83 617	7,4%
Канада	80 879	7,1%
Россия	52 579	4,6%
Индия	45 440	4,0%
Норвегия	32 592	2,9%
Турция	28 503	2,5%
Япония	28 114	2,5%
Франция	24 086	2,1%
Всего 10 ведущих стран	811 015	71,6%
Остальной мир	321 739	28,4%
Весь мир	1 132 754	100,0%

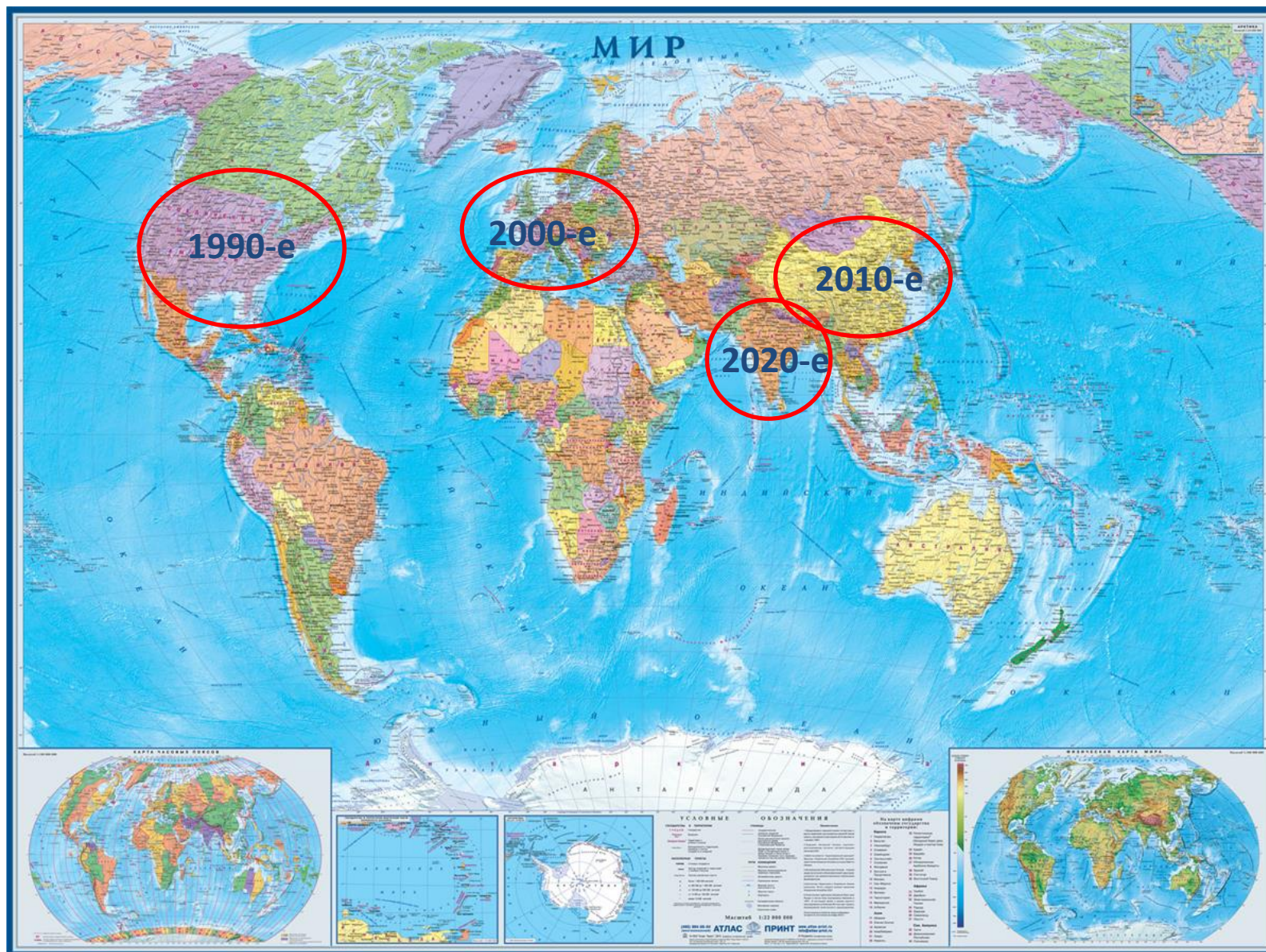
Биоэнергетика. 10 стран с наибольшей общей мощностью станций, МВт (2019)

Страна	МВт	Доля в мировой, %
Китай	16 537	12,7%
Бразилия	14 992	11,5%
США	12 450	9,6%
Индия	10 228	7,9%
Германия	9 972	7,7%
Великобритания	7 006	5,4%
Швеция	5 021	3,9%
Таиланд	4 258	3,3%
Италия	3 891	3,0%
Канада	3 376	2,6%
Всего 10 ведущих стран	87 731	67,5%
Остальной мир	42 269	32,5%
Весь мир	130 000	100,0%

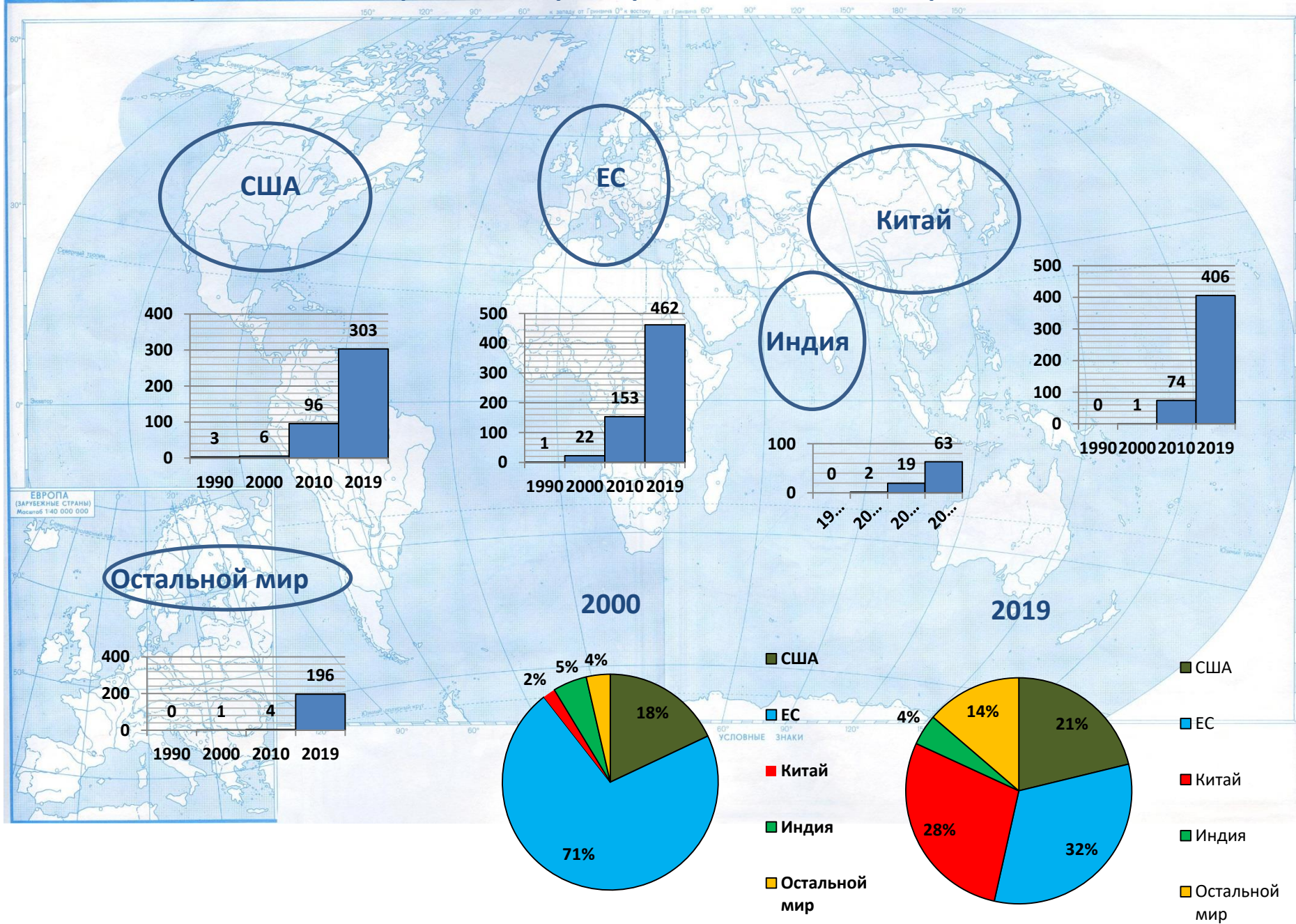
Биоэнергетика. Регионы с наибольшим развитием



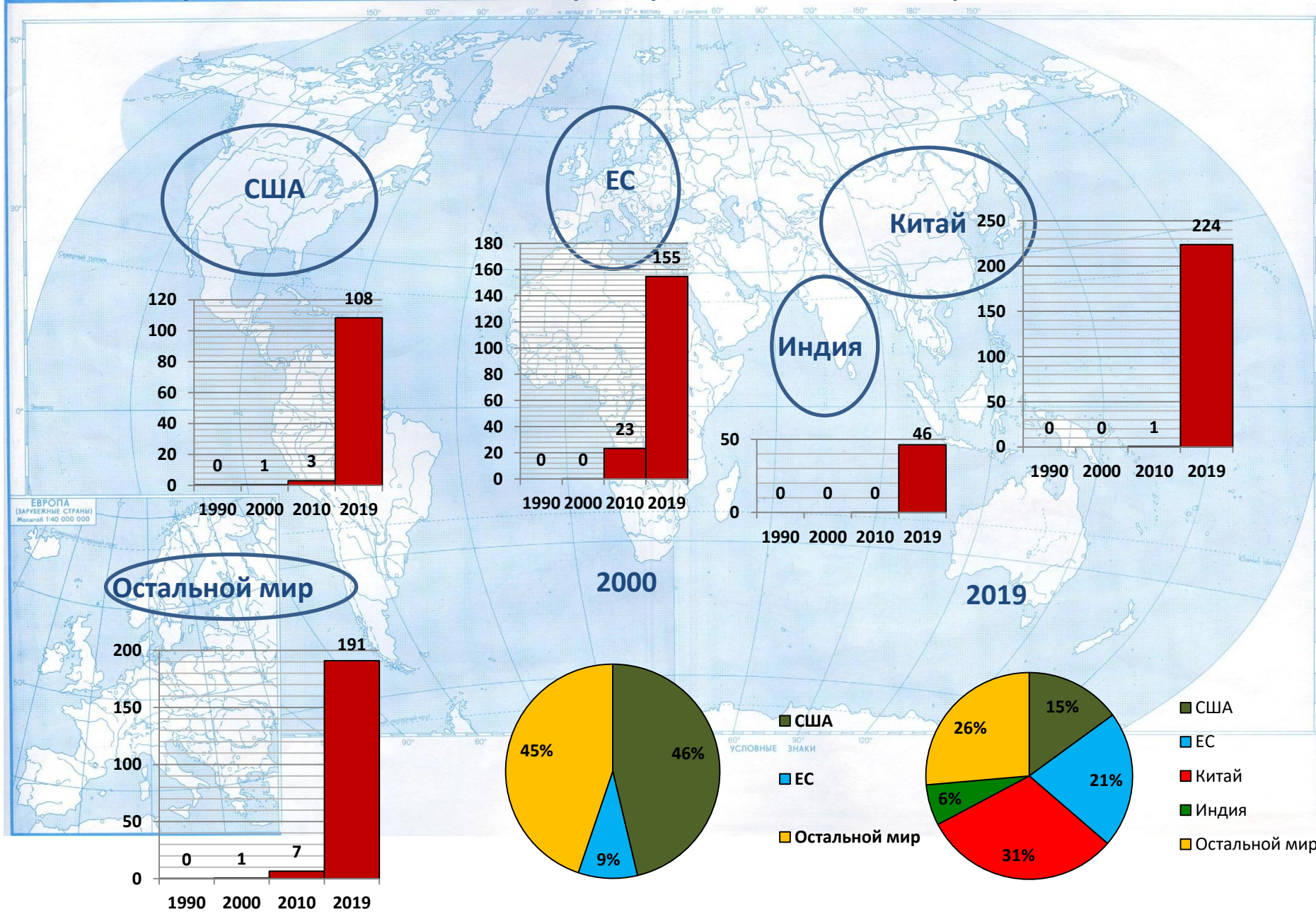
Ветровая и солнечная энергетика. Смещение центров развития



Производство ветровой электроэнергетики в 2000-2019 гг. по регионам, ТВтч



Производство солнечной электроэнергии в 2000-2019 гг. по регионам, ТВтч



10 крупнейших в мире солнечных электростанций

Название электростанции	Страна	Координаты, °широты	Мощность, МВт	Год строительства
Солнечный парк Бхадла	Индия	22°32′с.ш.	2 245	2020
Солнечный парк Павагада	Индия	14°06′с.ш.	2 050	2019
Солнечный парк Тенггер	Китай	37°33′с.ш.	1 547	2016
Солнечный парк Бенбан	Египет	24°27′с.ш.	1 500	2019
Нур Абу Даби	ОАЭ	24°27′с.ш.	1 177	2019
Солнечный парк Курнул	Индия	15°41′с.ш.	1 000	2017
Солнечная станция Датонг	Китай	40°04′с.ш.	1 000	2016
Солнечный парк Кунта	Индия	14°01′с.ш.	900	2020
Солнечный парк Луньянся	Китай	36°11′с.ш.	850	2015
Солнечный парк Вильянуэва	Мексика	25°36′с.ш.	828	2018

10 крупнейших в мире ветроэлектростанций

Название электростанции	Страна	Координаты, °широты	Мощность, МВт
Ветропарк Ганьсу	Китай	40°12′с.ш.	7 965
Энергетический центр Альта-Винд	США	35°1′с.ш.	1 548
Ветропарк Муппандал	Индия	26°57′с.ш.	1 054
Ветропарк Джайсалмер	Индия	24°27′с.ш.	1 500
Ветропарк Лос-Вьентос	США	26°20′с.ш.	912
Ветропарк Шефферд-Флэт	США	45°42′с.ш.	845
Ветропарк Маркбюдген	Швеция	65°25′с.ш.	814
Ветропарк Мидоу-Лейк	США	40°36′с.ш.	801
Ветропарк Роско	США	32°16′с.ш.	782
Ветроэнергетический центр Хорс-Холлоу	США	32°11′с.ш.	736

Резюме

1. Возобновляемые источники энергии (возобновляемые энергетические ресурсы) обусловлены энергетическими потоками в географической оболочке.
2. Можно выделить три основных естественных фактора образования возобновляемых энергетических потоков: солнечная энергия, силы гравитации и эндогенные процессы. В качестве четвёртого фактора, становящегося всё более значимым, можно выделить антропогенный или техногенный.
3. Возобновляемые энергоресурсы привязаны к геосферам: гидроэнергия – к гидросфере, ветровая энергия – к атмосфере, биоэнергия – к биосфере, геотермальная – к литосфере. В связи с этим возобновляемые источники энергии могут именоваться географическими или геосферными.
4. Большая часть возобновляемых энергетических потоков и энергоресурсов, включая ветровые, гидро- и биоэнергетические, являются производными от солнечной энергии.
5. Теоретический потенциал возобновляемых источников энергии многократно превосходит текущее потребление энергии в мире; в частности, теоретический потенциал солнечной энергии – примерно в 5000 раз. В то же время, на данный момент он на несколько порядков ниже, исходя из технологических и экономических факторов.
6. Распределение большей части возобновляемых энергоресурсов подчиняется законам природной (климатической, географической) поясности (зональности) – как широтной, так и высотной. Природные пояса и зоны формируются возобновляемыми энергетическими потоками в географической оболочке и различаются с точки зрения их характера и потенциала.
7. Существует тенденция увеличения потенциала как солнечных, так и большей части других возобновляемых энергоресурсов с понижением широты.
8. В то же время, распределение возобновляемых энергоресурсов подчиняется сложным сочетаниям факторов, основные из которых: 1) солнечная энергия, 2) количество осадков (увлажнение), 3) характер подстилающей поверхности: рельеф и перепады высот, контакты между средами с разными свойствами (суша – море, горы – предгорья).
9. Комбинация данных факторов создаёт зоны сгущения, повышения концентрации возобновляемых энергоресурсов. Это, прежде всего, зоны с низкоширотным положением, в предгорьях, недалеко от морского побережья и с большим количеством осадков.
10. Можно с определённой долей условности разделить возобновляемые энергоресурсы на 1) географически зональные (солнечная, ветровая и волновая, гидро- и биоэнергия, низкопотенциальное тепло земли) и 2) географически азональные (геотермальная и приливная энергия). Первая группа непосредственно связана с географической зональностью. Вторая группа отличается отсутствием привязки к географической зональности, но потенциал данных видов возобновляемой энергии маркируется, в том числе, географическими (прежде всего, геоморфологическими) признаками.
11. Фактическое развитие возобновляемой энергетики в мире определяется следующими факторами:
 - Диффузия инноваций от «Центра» к «Периферия»;
 - Наличие специфических экономико-географических и геополитических предпосылок;
 - Привязка к территориям с более благоприятными природными условиями.
12. Наблюдается тенденция к смещению производств энергии на основе возобновляемых источников в более низкоширотные регионы, являющиеся, в то же время, развивающимися в экономическом отношении.

Задания

1. Краткое эссе (1-2 страницы) на тему: «Какие изменения произойдут с возобновляемыми потоками энергии при исчезновении, ослаблении либо усилении одного из факторов: солнечной энергии, гравитации, эндогенных процессов». Возьмите любой из факторов, на ваш выбор.
2. Охарактеризуйте кратко природные и социально-экономико-политико-географические предпосылки развития возобновляемой энергетики по основным регионам мира (три региона на выбор). Объём 1-2 страницы. Сделайте и обоснуйте вывод - какие направления возобновляемой энергетики предпочтительно развивать в данном регионе?
 - Примечание: регион может быть внутренне неоднороден. В таком случае можете разбить его по своему усмотрению на несколько частей и охарактеризовать каждую часть отдельно.
 - Регионы (выберите любые три из перечисленных ниже либо какие-то другие на ваше усмотрение): Европейская часть России, Урал, Западная Сибирь, Центральная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Северная Европа, Центральная и Восточная Европа, Южная Европа, Ближний Восток, Средняя Азия, Китай, Япония, Индия, Юго-Восточная Азия, Северная Африка, Центральная Африка, Южная Африка, Австралия, Океания, Канада, США, Центральная и Южная Америка, Антарктида.

Публикации и ссылки по теме

1. Дегтярев К. С. Географические факторы развития возобновляемой энергетики // Журнал С.О.К. Сантехника. Отопление. Кондиционирование. (Москва, издатель ИД Медиа Технолоджи). — 2015. — № 6. — С. 86–95.
2. Берёзкин М. Ю., Дегтярев К. С. Географические особенности развития возобновляемой энергетики. В сборнике:
3. География и рациональное использование возобновляемых источников энергии. — ИД Энергия Москва, 2019.
4. Березкин М.Ю., Синюгин О.А. Экономико-географические особенности возобновляемой энергетики // Окружающая среда и энерговедение, №1/2020, с. 4-18.
5. ГИС «Возобновляемые источники энергии»: <https://gisre.ru/>
6. Дегтярев К.С. Географические основы возобновляемой энергетики // *Окружающая среда и энерговедение*. — 2021. — № 3. — С. 25–42.
7. Ларин Н.В. Строение Земли и водородная энергетика // *Окружающая среда и энерговедение*. — 2021. — № 3. — С. 43–61.
8. Сывороткин В.Л. Водородная дегазация Земли и энергетические проблемы // *Окружающая среда и энерговедение*. — 2021. — № 3. — С. 43–61.

Публичные лекции по теме:

1. Дегтярев К.С. Возобновляемая энергетика: светлое будущее? // Лекторий Русского географического общества, 14.10.2020. Ссылка на онлайн-трансляцию:

<https://www.rgo.ru/ru/event/vozobnovlyaemaya-energetika-svetloe-budushchee-vzglyad-ekonomiko-geografa>

2. Дегтярев К.С. Возобновляемая энергетика в России: история, география, экономика, экология // Семинар Российской ассоциации ветроиндустрии, 17.11.2020. Ссылка на онлайн-трансляцию: <https://rawi.ru/2020/11/lekciya-vozobnovlyaemaya-energetika-v-rossii-istoriya-geografiya-ekonomika-ekologiya/>

3. Дегтярев К.С. Возобновляемая энергетика: крупнейшие мировые проекты // Лекторий Русского географического общества, 27.01.2021. Ссылка на онлайн-трансляцию:

<https://www.rgo.ru/ru/event/vozobnovlyaemaya-energetika-krupneyshie-mirovye-proekty>

Некоторые другие полезные ссылки:

International Energy Agency: <https://www.iea.org/>

International Renewable Energy Agency: <https://irena.org/>

Ассоциация развития возобновляемой энергетики: <https://rreda.ru/>

BP Statistical Review of World Energy: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

BP Energy Outlook: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html>

U.S. Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/>

Экономика возобновляемой энергетики. Тенденции развития возобновляемой энергетики в мире. Роль ВИЭ в энергобалансе мира и регионов

К.С. Дегтярев

Научно-исследовательская лаборатория
возобновляемых источников энергии

Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

kir1111@rambler.ru



Часть I. Экономика возобновляемой энергетики:

1.1. Основные показатели, используемые для оценки экономической эффективности. Условия экономической эффективности электростанций.

1.2. Сравнение экономической специфики возобновляемой и углеводородной энергетики.

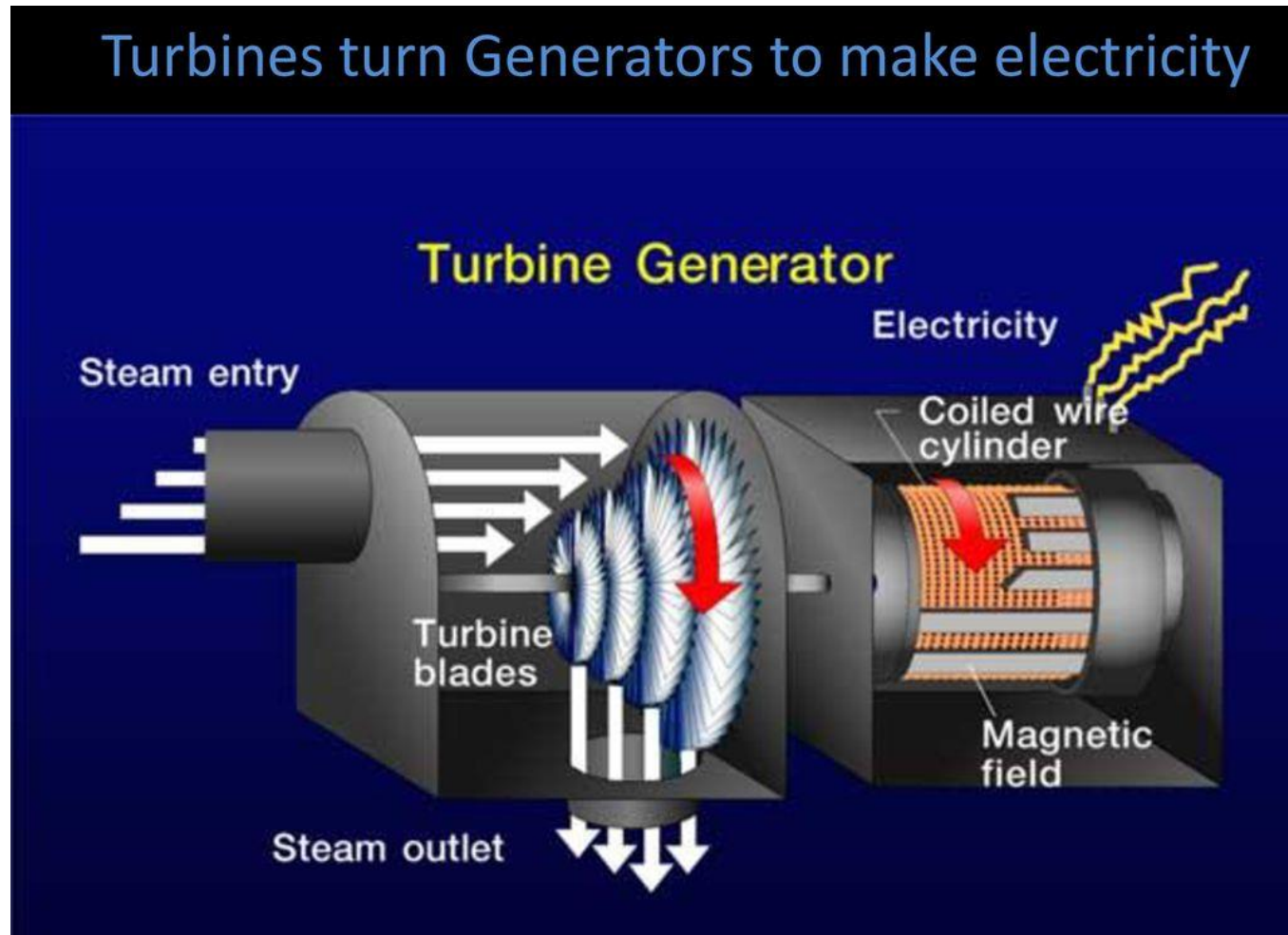
1.3. Основные экономические показатели и расчёт экономической эффективности проектов в возобновляемой энергетике.

Часть II. Тенденции развития возобновляемой энергетики в трети XX века и начале XXI века. Роль ВИЭ в энергобалансе мира и отдельных регионов.

Принцип работы электростанции

Главные составляющие:

- Электрогенератор, вырабатывающий электроэнергию;
- Турбина, приводящая его в движение;
- Рабочее тело, подающееся на лопасти турбины, заставляя их вращаться - обычно это пар, вода или газ;
- Источник энергии (энергоноситель), преобразующий и приводящий в движение рабочее тело - сгорающее углеводородное топливо (тепловые электростанции (ТЭС)), уран в процессе радиоактивного распада с выделением энергии (атомные электростанции (АЭС)), текущая вода (гидроэлектростанции (ГЭС)), приливные станции (ПЭС)), движущийся воздух (ветроэлектростанции (ВЭС))...



Схемы электростанций разных типов

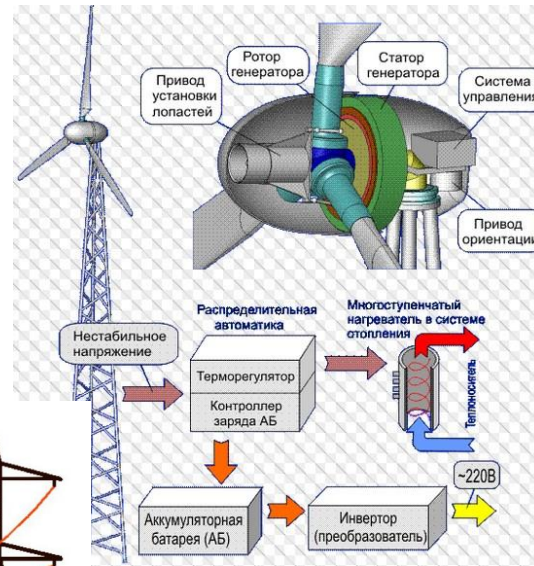
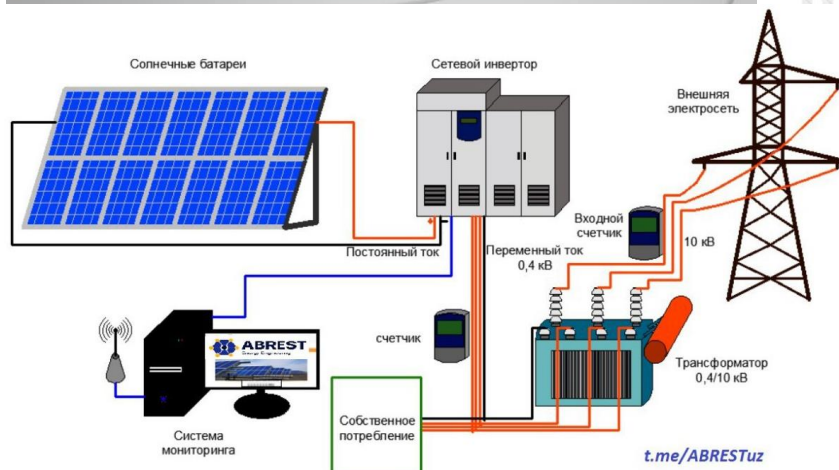
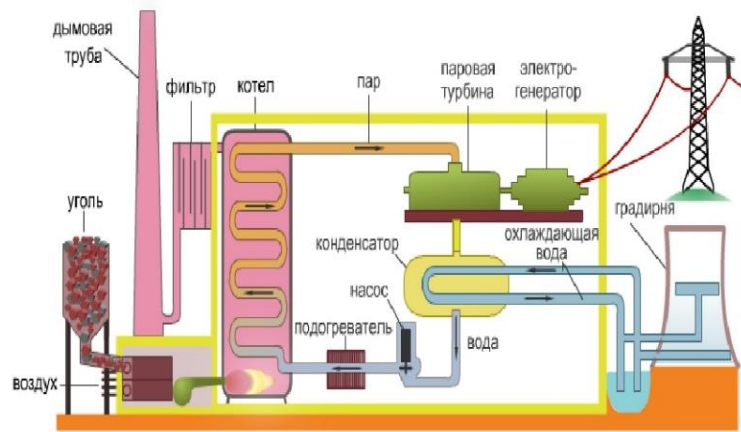


Схема работы везде примерно одна:

1. Топливо (энергоноситель) нагревает или преобразует рабочее тело.
2. Рабочее тело (газ, вода или пар) подается на лопасти турбины, заставляя её вращаться.
3. В результате вращения приводится в движение ротор электрогенератора, и вырабатывается электроэнергия.

Различия: на тепловых электростанциях в качестве топлива используется уголь, газ или нефтепродукты; на атомных – ядерное топливо (уран), выделяющее энергию при радиоактивном распаде; на геотермальных – естественный горячий пар из глубин Земли, на биостанциях – растительное топливо; на гидро- и ветровых – «топливом» и, одновременно, рабочим телом служит, соответственно, вода и воздух.

Исключение – солнечные фотовольтаические станции, где в солнечном модуле идет преобразование солнечной в электромагнитную энергию на основе фотоэффекта. Солнечный свет (солнечная энергия) выступает в роли и источника энергии, и рабочего тела

Основные понятия и единицы измерения

- Мощность (электрическая) — физическая величина, характеризующая скорость передачи или преобразования электрической энергии. Единицей измерения в Международной системе единиц (СИ) является ватт (русское обозначение: Вт, международное: W). Мощность можно также рассматривать как работу по производству электроэнергии в единицу времени: $P = W/t$.
- Энергия (электроэнергия) - физический термин, широко распространённый в технике и в быту для определения количества электрической энергии, выдаваемой генератором в электрическую сеть или получаемой из сети потребителем. Основной единицей измерения выработки и потребления электрической энергии служит киловатт-час (и кратные ему единицы).
- Основная характеристика электрогенератора – его мощность, измеряемая в ваттах (киловаттах, мегаваттах...). Размерность: 1 киловатт (кВт) = 1 000 Вт, 1 мегаватт (МВт) = 1 000 000 Вт, 1 гигаватт (ГВт) = 1 000 000 000 Вт, 1 тераватт (ТВт) = 1 000 000 000 000 Вт.

Различия между Вт и Вт-час: лампочка мощностью 100 Вт за 1 час горения потребляет 100 Вт-часов электроэнергии.

Электрогенератор мощностью 1 кВт за 1 час работы вырабатывает 1 кВтч электроэнергии. При непрерывной работе в течение суток (24 часа) он выработает 24 кВтч электроэнергии, за месяц (30 дней, или 720 часов) – 720 кВтч, за 1 год (8760 часов) – 8760 кВтч.

8760 кВтч – максимальная теоретически возможная выработка электроэнергии на 1 кВт установленной мощности.

Отношение между реальной выработкой и максимальной теоретически возможной называется Коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ) – это энергетический аналог понятия загрузки оборудования в промышленности.

Если электростанция работает в среднем 5 000 часов в году, её КИУМ = $(5000/8760) \cdot 100\% = 57\%$.

Если ваша настольная лампа горит в среднем 2 часа в сутки, её КИУМ = $(2/24) \cdot 100\% = 8,3\%$.

Задание:

Электростанция мощностью 100 МВт за год выработала 450 000 МВт-ч электроэнергии. Рассчитайте КИУМ станции.

КПД и КИУМ. Средние значения для электростанций разных типов

Коэффициент полезного действия (КПД) – отношение выработанной энергии к затраченной.

Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) – отношение фактически выработанной энергии к максимально возможной теоретически.

Оба показателя важны, но прямой связи между ними нет, и они зависят от разных причин: КПД – от характеристик электродвигателя (и, в целом, оборудования), КИУМ – от интенсивности его использования.

КПД и КИУМ на примере ТЭС, работающей на природном газе:

КПД: Для выработки 1 кВтч электроэнергии требуется сжигание примерно 0,3 м³ природного газа. Количество энергии в природном газе – 9,6 кВтч/м³, или 2,9 кВтч/ м³. Следовательно, КПД (электрический) = $(1\text{кВтч}/2,9\text{кВтч}) * 100\% = 34\%$.

КИУМ зависит от того, какую часть времени ТЭС работает (см. выше).

КПД основных видов электростанций: ТЭС (электрический, без учёта теплового) – до 60%, в среднем 30%-40%; АЭС – до 45%, в среднем 30%-40%; ГЭС и ПЭС – 90%-95%; ВЭС – до 40%; СЭС – до 20%.

КИУМ ТЭС и АЭС, с одной стороны, и КИУМ электростанций, работающих на возобновляемой энергии - ГЭС, ПЭС, ВЭС, СЭС, зависят от разных причин.

В первом случае, КИУМ зависит от подачи энергоносителя (угля, газа, ядерного топлива) человеком. Во втором случае, КИУМ зависит от естественного потока энергии, который человек не контролирует (солнце, ветер) или контролирует не полностью (ГЭС).

КИУМ ТЭС и АЭС, теоретически, может быть равен 100%. Фактически он ниже, поскольку необходимы периодические остановки для ремонтных и профилактических работ. Также мощности могут простаивать по другим причинам (отсутствие спроса на электроэнергию, подачи топлива по разным причинам и т.д.).

КИУМ ГЭС, ПЭС, ВЭС и СЭС в силу нестабильности энергоносителей, зависящих от суточных, сезонных, многолетних циклов и других флуктуаций – прежде всего, погодных.

В связи с этим, средний КИУМ станций, работающих на возобновляемых источниках энергии, обычно существенно ниже, чем КИУМ ТЭС или АЭС. Средние значения КИУМ для разных типов станций: АЭС – до 90%, ТЭС – до 80%, ГЭС – 45%, ВЭС – до 30%-35%, СЭС – до 20%-25%.

Вопросы:

- 1) Каков максимально возможный КИУМ солнечной электростанции?
- 2) Как КПД влияет на стоимость электроэнергии?
- 3) Как КИУМ влияет на стоимость электроэнергии?

Важная характеристика работы электростанций – коэффициент использования установленной мощности.

Коэффициенты использования установленной мощности электростанций по
ЕЭС России и отдельным ОЭС в 2018 и 2019 гг., %

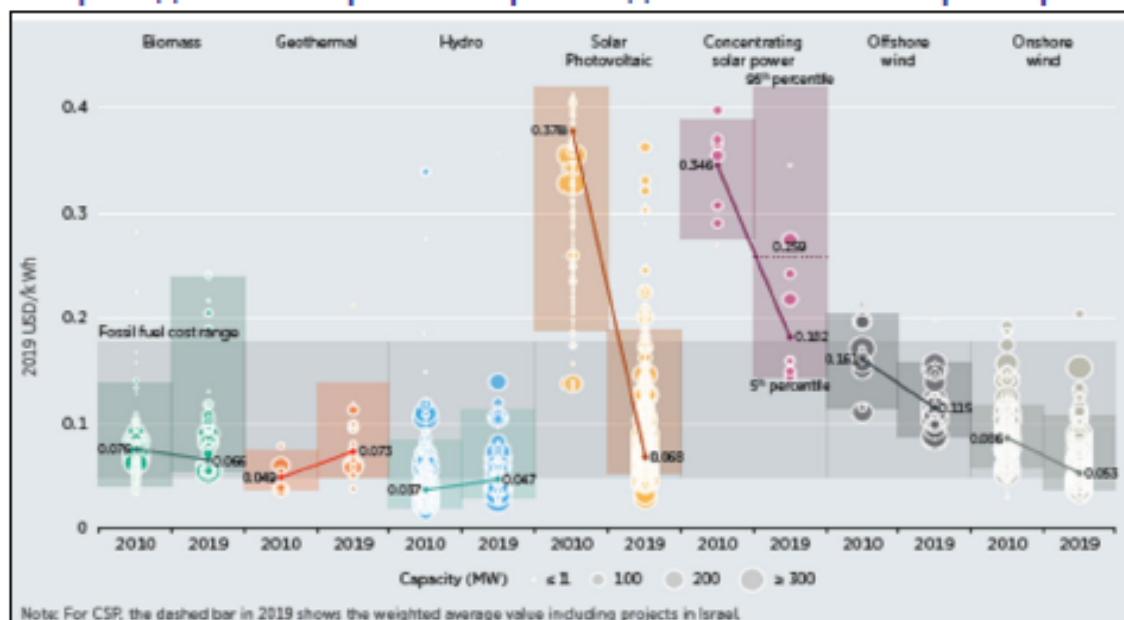
	2018					2019				
	ТЭС	ГЭС	АЭС	ВЭС	СЭС	ТЭС	ГЭС	АЭС	ВЭС	СЭС
ЕЭС России	46,51	43,27	78,41	18,29	14,65	45,68	43,85	79,82	19,91	14,14
ОЭС Центра	38,67	24,08	79,71	-	-	40,35	22,06	76,53	-	-
ОЭС Средней Волги	29,92	40,70	90,93	28,59	11,99	38,94	37,71	85,60	27,77	14,23
ОЭС Урала	55,50	36,76	67,94	7,04	13,68	54,98	44,90	75,17	6,24	13,17
ОЭС Северо-Запада	44,51	51,46	66,84	5,90	-	44,20	46,71	74,09	23,36	-
ОЭС Юга	49,87	42,31	84,71	15,54	15,42	41,38	37,77	95,98	12,70	14,91
ОЭС Сибири	44,09	45,98	-	-	13,53	42,99	48,64	-	-	12,18
ОЭС Востока	49,87	37,21	-	-	-	47,04	41,01	-	-	-

Киум – коэффициент использования установленной мощности = отношение фактической годовой производительности (выработки электрической энергии) к максимально возможной производительности станции (если бы она работала на свой пиковой/максимальной мощности все время в течение года).

ВИЭ В МИРЕ

В 2019 г на ВИЭ пришлось 2/3 вновь введенных электрогенерирующих мощностей в мире. Суммарная установленная мощность энергоустановок (без ГЭС) сегодня ок. 1,5 ТВт – > 20% суммарной мощности всех действующих в мире энергоустановок (ок. 7 ТВт). Лидеры: Китай – 420 ГВт; ЕС – 350 ГВт, в т.ч. Германия – 120 ГВт; США – 200 ГВт; Индия – 80 ГВт; УК – 45 ГВт). В ряде стран доля выработки электрической энергии на ВИЭ уже составляет значительную величину: Дания – 52%, Уругвай – 36%, Ирландия – 30%, Германия – 27%, Португалия – 23%, Испания и Греция – 22%, УК – 21%.

Приведенные затраты на производство 1 кВтч электроэнергии



Прогресс в развитии технологий возобновляемой энергетики за последние 10 лет

Технологии	Капитальные затраты, \$/kW		Приведенная стоимость, \$/kWh		КИУМ	
	2010	2019	2010	2019	2010	2019
Фотоэлектрические установки	4600	1200	0,37	0,085	0,14	0,18
Солнечные тепловые электростанции	8800	5200	0,34	0,19	0,35	0,45
Ветроустановки - береговые	1900	1500	0,084	0,055	0,27	0,34
- морские	4600	4400	0,16	0,13	0,38	0,43
Биоэнергетические установки	2600	2100	0,074	0,061	0,72	0,78
Геотермальные установки	2500	4000	0,048	0,072	0,87	0,84
Малые ГЭС	1200	1500	0,041	0,048	0,44	0,47

Расчёт КИУМ. Ветростанции*

Страна	Мощности, ГВт, 2017	Производство, ГВтч, 2018	КИУМ, %
Мир в целом	495 539	1 270 000	29,3%
Китай	161 586	357 340	25,2%
США	87 568	275 732	35,9%
Германия	50 174	90 484	20,6%
Индия	32 848	55 009	19,1%
Испания	23 119	50 885	25,1%
Франция	13 497	28 599	24,2%
Великобритания	12 597	30 217	27,4%
Канада	12 403	31 848	29,3%
Бразилия	12 294	48 489	45,0%
Италия	9 737	17 700	20,8%

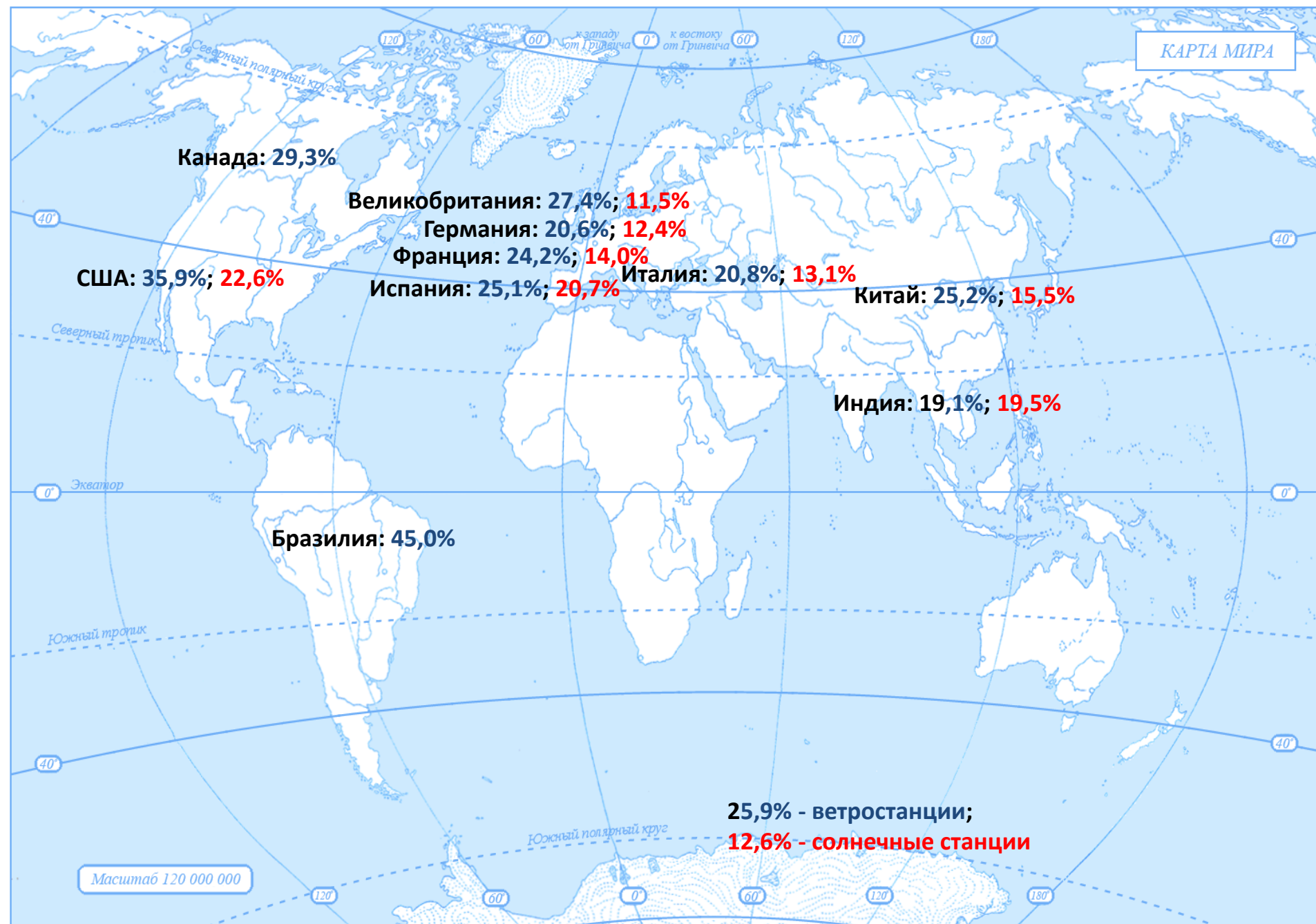
**Оценка на основе данных IRENA по установленным мощностям и производству*

Расчёт КИУМ. Солнечные станции*

Страна	Мощности, ГВт, 2017	Производство, ГВтч, 2018	КИУМ, %
Мир в целом	383 596	585 000	17,4%
Китай	130 822	178 071	15,5%
Япония	44 226	62 668	16,2%
США	43 115	85 184	22,6%
Германия	42 293	45 784	12,4%
Италия	19 688	22 666	13,1%
Индия	18 152	31 067	19,5%
Великобритания	12 782	12 857	11,5%
Франция	8 610	10 569	14,0%
Австралия	7 354	9 930	15,4%
Испания	7 027	12 744	20,7%

**На основе данных IRENA по установленным мощностям и производству*

Средний КИУМ солнечных и ветровых станций по регионам



Общие подходы к оценке экономической эффективности проекта (предприятия)

Основные финансово-экономические показатели проекта / предприятия:

1. Доходы (Д) (выручка, поступления, приток денежных средств) в результате реализации проекта (работы предприятия, например, электростанции) на определённом интервале времени.
2. Затраты (З) (издержки, отток денежных средств; также на определённом интервале времени):
 - 2.1. Инвестиционные затраты (ИЗ) (капиталовложения, инвестиции) – строительство завода, установка оборудования.
 - 2.2. Операционные (ОЗ) (эксплуатационные, текущие) затраты - связанные с выпуском продукции (например, генерацией электроэнергии), как правило: сырьё, материалы и комплектующие, оплата труда персонала.
 - 2.2.1. Постоянные затраты (ПтОЗ) - не зависящие от объёма выпускаемой продукции, которые необходимо нести даже при отсутствии выпуска продукции (обычно существенная часть затрат на оплату труда персонала (прежде всего, управленческого и вспомогательного), обслуживание оборудования, охрану и обеспечение безопасности предприятия и т.д.).
 - 2.2.2. Переменные затраты (ПрОЗ) – зависящие от объёма выпускаемой продукции (обычно сырьё, материалы, оплата труда большей части основного производственного персонала и т.д.).

Вопросы:

Основная статья переменных затрат на ТЭС? В чём главное различие в структуре затрат между электростанциями на углеводородном топливе и на возобновляемых источниках энергии?

3. Чистый поток денежных средств (ЧПДС), денежный поток (ДП) – разница между доходами и затратами.

Оценка эффективности (финансового результата работы):

$$\text{ДП} = \text{Д} - \text{З} = \text{Д} - (\text{ИЗ} + \text{ОЗ}) = \text{Д} - (\text{ИЗ} + \text{ПтОЗ} + \text{ПрОЗ})$$

ПРИМЕР

Объём реализации продукции – 100 ед./год.

Цена реализации – 10 руб./ед. => Выручка от реализации продукции = $100 \cdot 10 = 1000$ руб./год.

Постоянные затраты – 100 руб./год.

Переменные затраты – 5 руб./ед. = $> 5 \cdot 100 = 500$ руб. в год.

Всего операционные затраты = $100 + 500 = 600$ руб./год.

Чистый поток денежных средств (по текущей деятельности) = $1000 - 600 = 400$ руб. в год.

Задачи.

1. *ТЭС, работающая на газе, мощностью 100 МВт, работает с КИУМ, равным 70%. Рассчитайте объём производства электроэнергии. Цена реализации – 3 руб./кВтч. Рассчитайте выручку от реализации электроэнергии. Постоянные операционные затраты составляют 300 руб./кВтч. Рассчитайте общую сумму постоянных операционных затрат. В структуре переменных затрат 80% составляет газ. Стоимость газа для электростанции – 5 руб./м³. Для производства 1 кВтч электроэнергии требуется 0,3 м³ газа. Рассчитайте общую сумму переменных затрат и, далее, всех операционных затрат. Рассчитайте годовой денежный поток по операционной деятельности.*
2. *ВЭС мощностью 100 МВт работает с КИУМ, равным 30%. Рассчитайте объём производства электроэнергии. Цена реализации – 3 руб./кВтч. Рассчитайте выручку от реализации электроэнергии. Постоянные операционные затраты составляют 1500 руб./кВтч. Рассчитайте общую сумму постоянных операционных затрат. Рассчитайте годовой денежный поток по операционной деятельности.*

Инвестиционные затраты

Теперь учтём инвестиционные затраты.

Допустим, они составляют 2000 руб. Надо понять, когда они окупятся.

Тогда суммарный накопленный денежный поток по итогам 1-го года (с момента запуска) составит $400 - 2000 = -1600$ руб., по итогам 2-го года $= 400 * 2 - 2000 = -1200$ руб., по итогам 3-го года $= 400 * 3 - 2000 = -800$ руб.

Формула расчёта простого **срока окупаемости**: $O = I/D$, где O – срок окупаемости в годах, D – чистый годовой доход от текущей деятельности, I – объём первоначально вложенных инвестиций. В нашем случае $O = 2000/400 = 5$ лет.

Теперь посмотрим, каков ЧПДС на некотором выбранном нами временном интервале, например, 10 лет.

Он составит $400 * 10 - 2000 = 2000$ руб.

Возврат (рентабельность) инвестиций $= (D/I) * 100\% = (400/2000) * 100\% = 20\%$ в год; рентабельность продаж $= D/B$ (где B – выручка) $= (400/1000) * 100\% = 40\%$ в год.

Задачи.

Требуется электростанция, вырабатывающая 1000 млн. (1 млрд.) кВтч электроэнергии в год. Проведите расчёт денежного потока на интервале 10 лет для: 1) ТЭС на газе; 2) ВЭС.

- 1. ТЭС. КИУМ составляет 70%. Рассчитайте мощность станции, которая потребуется для выработки 1000 млн. кВтч в год. Рассчитайте инвестиционные затраты, исходя из того, что они составят 80 000 руб./1 кВт установленной мощности. Рассчитайте выручку от реализации, если цена 1 кВт – 3 рубля. Рассчитайте переменные операционные затраты (в год), если в структуре переменных затрат 80% составляет газ, стоимость газа для электростанции – 5 руб./м³, а для производства 1 кВтч электроэнергии требуется 0,3 м³ газа (те же условия, что и в предыдущем примере). Рассчитайте постоянные операционные затраты, если они составляют 300 руб./кВт установленной мощности. Рассчитайте денежный поток на интервале 10 лет и простой срок окупаемости.*
- 2. ВЭС. КИУМ составляет 30%. Рассчитайте мощность станции, которая потребуется для выработки 1000 млн. кВтч в год. Рассчитайте инвестиционные затраты, исходя из того, что они составят 100 000 руб./1 кВт установленной мощности. Рассчитайте операционные затраты, исходя из того, что они составляют 1500 руб./кВт установленной мощности. Рассчитайте денежный поток на интервале 10 лет и простой срок окупаемости.*

Себестоимость продукции

Допустим:

Переменные затраты – 5 руб./ед.

Постоянные затраты: – 100 руб./год, производство – 100 ед./год => доля постоянных затрат = $100/100 = 1$ руб./ед.

Всего себестоимость (исходя из текущих затрат) = $5+1 = 6$ руб./ед.

Теперь допустим, что у нас объём производства упал до 50 ед./год.

Тогда доля постоянных затрат составит $100/50 = 2$ руб./ед., а общая себестоимость (также исходя только из текущих затрат) – $5+2 = 7$ руб.

Далее – учёт инвестиционных затрат. Допустим:

Инвестиционные затраты – 2000 руб. Жизненный цикл – 10 лет. За 10 лет при производстве 100 ед. продукции в год будет произведено 1000 ед. Тогда инвестиционная составляющая в себестоимости оценивается в $2000/1000 = 2$ руб./ед., а общая себестоимость = $6+2 = 8$ руб./ед.

При объёме производства 50 ед. в год инвестиционные затраты в себестоимости составят 4 руб./ед., а общая себестоимость – $7+4 = 11$ руб./ед.

Вывод: стоимость (себестоимость) продукции есть смысл рассматривать только в привязке к: 1) определённому интервалу времени (жизненного цикла, горизонта планирования); 2) определённому объёму производства; 3) определённой группе затрат (учитываются только переменные операционные затраты, все операционные затраты, все операционные и инвестиционные затраты). Оценки стоимости продукции могут кардинально меняться в зависимости от изменения этих показателей.

Дисконтирование денежных потоков

Ставка дисконтирования учитывает обесценение денег во времени. Может рассматриваться как интегральный показатель финансово-экономических рисков.

Формула расчёта дисконтированного денежного потока в n -ный год: $D_d = D/(1+i)^n$, где D_d – дисконтированный денежный поток, i – ставка дисконтирования, n – номер года (периода).

Рассмотрим наш пример, приняв ставку дисконтирования равной 10%. Тогда денежный поток составит по годам:

$$0) -2000/(1+10\%)^0 = -2000$$

$$1) 400/(1+10\%)^1 = 364$$

$$2) 400/(1+10\%)^2 = 331$$

$$3) 400/(1+10\%)^3 = 301$$

$$4) 400/(1+10\%)^4 = 273$$

$$5) 400/(1+10\%)^5 = 248$$

$$6) 400/(1+10\%)^6 = 226$$

$$7) 400/(1+10\%)^7 = 205$$

$$8) 400/(1+10\%)^8 = 187$$

$$9) 400/(1+10\%)^9 = 170$$

$$10) 400/(1+10\%)^{10} = 154$$

Всего дисконтированный денежный поток за 10 лет = 458 руб. (не дисконтированный – 2000 руб.)

ЧПДС (дисконтированный) за 10 лет: $364 + 331 + 301 + \dots + 154 = 2458$ руб., среднегодовой = $2458/10 = 246$ руб.

Дисконтированный срок окупаемости = $2000/246 = 8,1$ лет (не дисконтированный – 5 лет)

Прим.1: ЧПДС = NPV (net present value). Величину ЧПДС (NPV) проекта есть смысл рассматривать только на определённом интервале времени и при определённой ставке дисконтирования.

Прим.2.: ВНД (внутренняя норма доходности; или IRR – internal rate of return) – ставка дисконтирования, при которой ЧПДЧ на

Резюме. Основные различия между электростанциями на ископаемом топливе (ТЭС, АЭС) и на ВИЭ (ГЭС, ВЭС, СЭС)

Показатель	Станции на ископаемом топливе	Станции на ВИЭ
Инвестиционные затраты на 1 кВт установленной мощности	От нескольких сотен \$ до нескольких тысяч \$ (АЭС – около \$6000)	От \$500 до нескольких тысяч \$; существенно снизились за последние годы; большой резерв снижения сохраняется у СЭС
Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ*)	Как правило, высокий, выше 60%-70%; у АЭС – 80%-90%	В среднем, в 2-3 раза ниже; около 15%-20% у СЭС, до 30% у ВЭС, до 40%-50% у ГЭС. Есть некоторая тенденция к росту
Постоянные операционные затраты	Сравнительно низкие.	Сравнительно высокие (станции на ВИЭ требуют больших площадей, как правило, большего количества обслуживающего персонала и затрат на обслуживание на единицу мощности)
Переменные операционные затраты	В наибольшей степени зависят от цен на энергоносители (газа, угля, нефти); в структуре операционных затрат ТЭС затраты на топливо до 80%-90%	Практически нулевые (бесплатные энергоносители)
Основное отличие	Ниже инвестиционные затраты на единицу вырабатываемой энергии	Ниже операционные затраты на единицу вырабатываемой энергии (АЭС по этим параметрам ближе к станциям на

ТЭС на газе и ВЭС – сравнительный расчёт затрат на производство электроэнергии на 25-летнем интервале		
Показатель	Газовая ТЭС	ВЭС
Интервал времени (горизонт планирования, жизненный цикл)	25 лет	
Требуемый объём производства энергии, млн. кВтч/год	1 000	
КИУМ	60%	25%
Мощность, требуемая для выработки данного количества энергии, кВт	(1млрд.кВтч/8760)/60% = 190 259; округлённо: 200 000	(1млрд.кВтч/8760)/25% = 456 621; округлённо: 450 000
Инвестиционные затраты на 1 кВт установленной мощности, руб.	100 000	100 000
Всего инвестиционные затраты, млн. руб.	20 000	45 000
Постоянные операционные затраты на 1 кВт/год, руб.	500	1000
Постоянные операционные затраты, всего, млн. руб. в год	100	450
Переменные операционные затраты, руб., на 1 кВтч выработанной энергии	1,9*	0
* Расчёт для ТЭС: допустим, стоимость газа – 5 руб./м³, а для выработки 1 кВтч энергии требуется 0,3 м³ газа. Тогда затраты на газ составят 5*0,3 = 1,5 руб. Допустим, что в общей структуре переменных затрат затраты на газа составляют 80%; тогда переменные затраты составят 1,5/80% = 1,9 руб.		
Переменные операционные затраты, всего, млн. руб. в год	1 900	0
Операционные затраты всего, млн. руб. в год	2 000	450
Срок окупаемости (простой) ВЭС относительно ТЭС	(2000-450)/(45000-20000) = 16 лет	
Операционные затраты за 25 лет, млн. руб. в год	50 000	11 250
Всего затраты за 25 лет, включая инвестиционные	70 000	56 250
Электроэнергия, произведённая за 25 лет, млн. кВтч	25 000	
Выровненная (нормированная) стоимость электроэнергии (LCOE - levelized cost of energy) (простая, без учёта дисконтирования) на 25-летнем интервале, руб./кВтч	70000/25000 = 2,8 руб./кВтч	56250/25000 = 2,3 руб./кВтч
Всего затраты за 25 лет при ставке дисконтирования 5%	48 200	51 300
Производство электроэнергии за 25 лет, дисконтированное (5%)	14 000	
LCOE (при ставке дисконтирования 5%)	48200/14000 = 3,4 руб./кВтч	51300/14000 = 3,7 руб./кВтч

Выровненная (нормированная) стоимость электроэнергии (LCOE – levelized cost of energy)

Обычно считается на интервале 25-30 лет при ставке дисконтирования (или средневзвешенной цене капитала, WACC – weighted average cost of capital) равной 6%-9%.

Считается как дисконтированное по годам отношение затраченных средств к количеству произведённой энергии на данном интервале времени.

Общая формула:

$$\frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

I_t = Investment expenditures in year t (including financing)

M_t = Operations and maintenance expenditures in year t

F_t = Fuel expenditures in year t

E_t = Electricity generation in year t

r = Discount rate

n = Life of the system

В числителе: сумма затрат за весь жизненный цикл, разбитая по годам и дисконтированная с учётом коэффициента дисконтирования для каждого года при данной ставке. В знаменателе: сумма всей произведённой энергии, также разбитая по годам и дисконтированная с учётом коэффициента дисконтирования для каждого года при данной ставке.

I_t – инвестиционные затраты; M_t – затраты на обслуживание (примерно соответствуют постоянным); F_t – затраты на топливо (основная часть переменных затрат); E_t – производство электроэнергии; r – ставка дисконтирования, %; n – длительность жизненного цикла (рассматриваемый интервал времени), лет.

Упрощённая версия (без дисконтирования): LCOE = Все затраты/Вся произведённая электроэнергия за определённый интервал времени.

Задание на дом. ТЭС на газе и ВЭС – сравнительный расчёт затрат на производство электроэнергии на 25-летнем интервале (без учёта дисконтирования)

Показатель	Газовая ТЭС	ВЭС
Интервал времени (горизонт планирования, жизненный цикл)	25 лет	
Требуемый объём производства энергии, млн. кВтч/год	1 000	
КИУМ	70%	30%
Мощность, требуемая для выработки данного количества энергии, кВт		
Инвестиционные затраты на 1 кВт установленной мощности, руб.	80 000	100 000
Всего инвестиционные затраты, млн. руб.		
Постоянные операционные затраты на 1 кВт/год, руб.	500	1000
Постоянные операционные затраты, всего, млн. руб. в год		
Переменные операционные затраты, руб., на 1 кВтч выработанной энергии	1,9*	0
* Расчёт для ТЭС: допустим, стоимость газа – 5 руб./м ³ , а для выработки 1 кВтч энергии требуется 0,3 м ³ газа. Тогда затраты на газ составят 5*0,3 = 1,5 руб. Допустим, что в общей структуре переменных затрат затраты на газа составляют 80%; тогда переменные затраты составят 1,5/80% = 1,9 руб.		
Переменные операционные затраты, всего, млн. руб. в год		0
Операционные затраты всего, млн. руб. в год		
Срок окупаемости (простой) ВЭС относительно ТЭС		
Операционные затраты за 25 лет, млн. руб. в год		
Всего затраты за 25 лет, включая инвестиционные		
Электроэнергия, произведённая за 25 лет, млн. кВтч	25 000	
Выровненная (нормированная) стоимость электроэнергии (LCOE - levelized cost of energy) (простая, без учёта дисконтирования) на 25-летнем интервале, руб./кВтч		

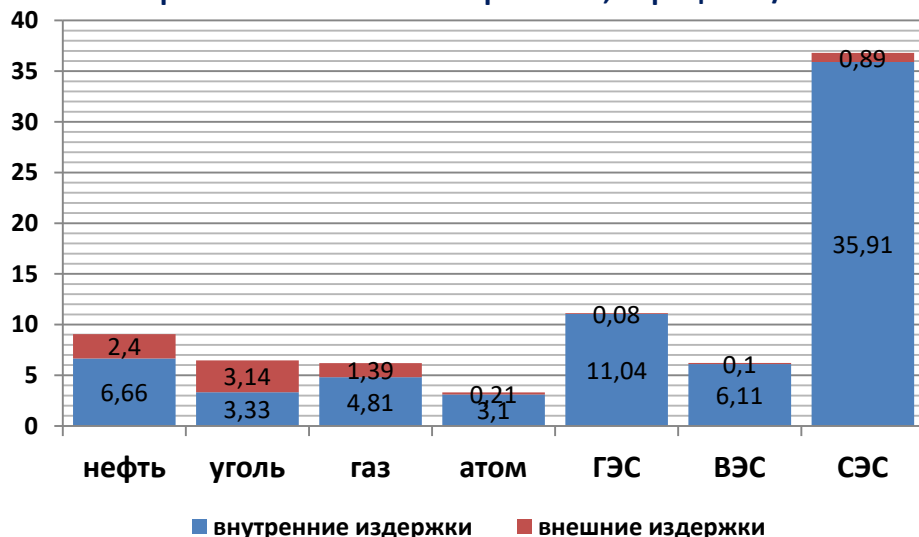
Стоимость электроэнергии из возобновляемых источников, 2019*

Инвестиционные затраты, \$/кВт установленной мощности	КИУМ (Capacity factor), %	Средневзвешенная стоимость 1 кВтч (LCOE), \$/кВтч	То же, руб. (курс 70)	Снижение стоимости с 2010
Ветроэлектростанции на суше (оншорные)				
1 473	36%	0,053	3,71	Затраты – на 24% (с \$2 000/кВтч); КИУМ – рост с 27%; LCOE – снижение на 39% с 0,086)
Ветроэлектростанции в море (офшорные)				
3 800	44%	0,115	8,05	Затраты – на 18% (с \$4 650/кВтч); КИУМ – рост с 37%; LCOE – снижение на 29% с 0,16)
Солнечные фотовольтаические станции				
997	18%	0,068	4,76	Затраты – в 5 раз (с \$4 700/кВтч); КИУМ – рост с 17%; LCOE – снижение в 5 раз с 0,38)
Гидроэлектростанции				
1 709	48%	0,047	3,29	Рост затрат с \$1 640; КИУМ – с 44%, LCOE с 0,037%
Геотермальные				
3 916	79%	0,073	5,11	Существенно не изменились

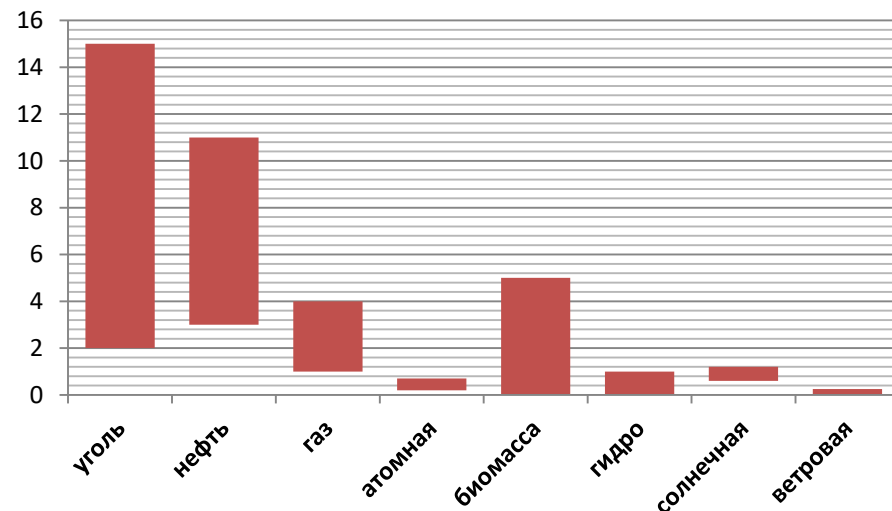
*данные IRENA

Внутренние и внешние (external) издержки

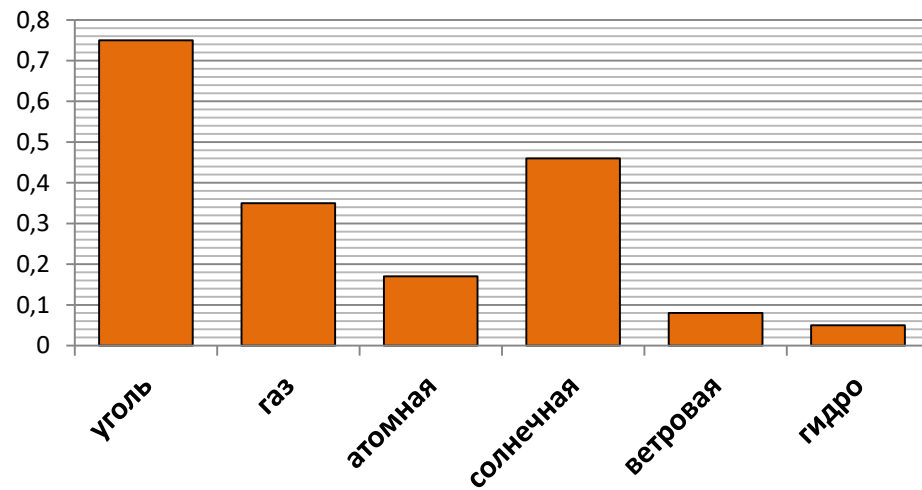
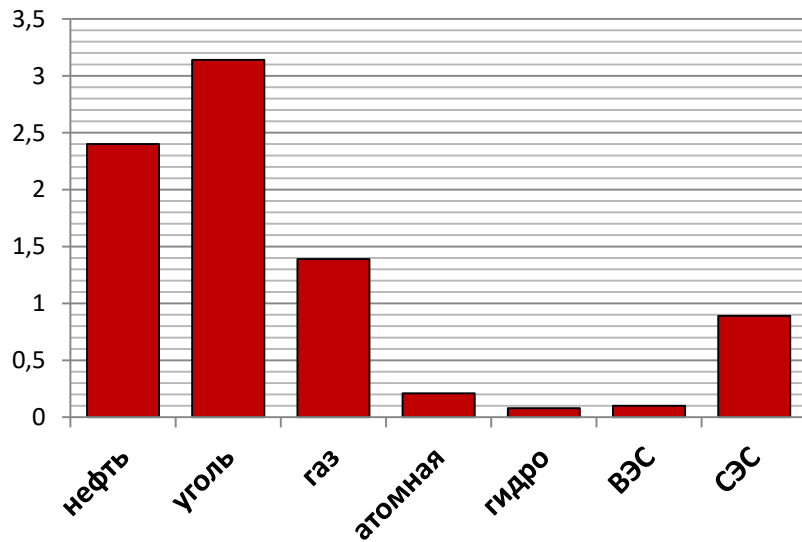
Внутренние и внешние издержки производства энергии из разных источников в странах ЕС, евроценты/кВтч



Диапазон внешних издержек производства энергии из разных источников в странах ЕС, евроценты/кВтч



Внутренние издержки производства энергии из разных источников в Германии, евроценты/кВтч



Внешние издержки, €/МВтч, ЕС

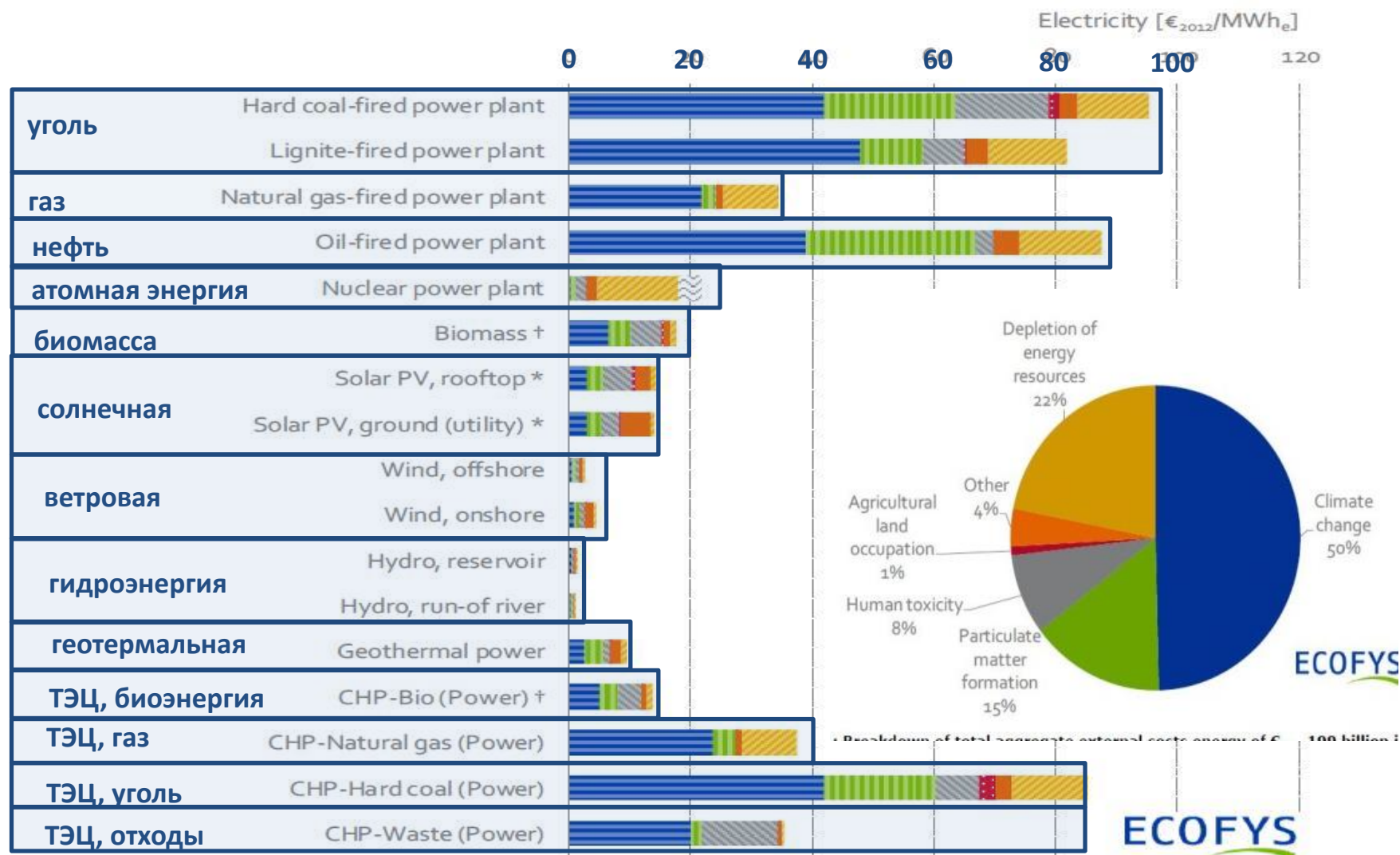


Figure 3-8: External costs per technology for electricity technologies, EU28 weighted averages (in €₂₀₁₂/MWh_e).

Источник: : Comparing Externalities from Energy Sources. By [E. Donald Elliott](https://www.insideenergyandenvironment.com/2014/11/comparing-externalities-from-energy-sources/) on November 20, 2014 URL: <https://www.insideenergyandenvironment.com/2014/11/comparing-externalities-from-energy-sources/>

Экономика ВИЭ в России

Параметры проектов российских ветровых и солнечных станций, прошедших конкурсный отбор (2018):

- КИУМ: 27% для ВЭС и 14% для СЭС;
- Инвестиционные затраты: около 70 тыс. рублей/кВт (от 60 тыс. до 130 тыс.) для СЭС; около 76 тыс. рублей/кВт для СЭС (от 60 тыс. до 120 тыс.)
- Операционные затраты – около 1300 рублей/кВт установленной мощности в год.

Источник: АО «АТС», <https://www.atsenergo.ru/vie/proresults>

Расчёт LCOE российских солнечных и ветровых станций на 30-летнем интервале

ВЭС

без учёта дисконтирования:

КИУМ = 27%; выработка электроэнергии

1 кВт за 30 лет:

$$8760 \cdot 27\% \cdot 30 = 70\,956 \text{ кВтч}$$

Инвестиционные затраты – 70 000 руб.

Операционные затраты за 30 лет – 39 000 руб.

Всего затраты за 30 лет – 109 000 руб.

$$\text{LCOE: } 109000/70956 = \underline{1,54 \text{ руб./кВтч}}$$

При ставке дисконтирования 10%:

дисконтированное производство ЭЭ: 22 297 кВтч

дисконтированные затраты за 30 лет: 82 255 руб.

$$\text{LCOE: } 82255/22297 = \underline{3,69 \text{ руб./кВтч}}$$

СЭС

без учёта дисконтирования:

КИУМ = 14%; выработка электроэнергии

1 кВт за 30 лет:

$$8760 \cdot 14\% \cdot 30 = 36\,792 \text{ кВтч}$$

Инвестиционные затраты – 76 000 руб.

Операционные затраты за 30 лет – 39 000 руб.

Всего затраты за 30 лет – 115 000 руб.

$$\text{LCOE: } 115000/36792 = \underline{3,13 \text{ руб./кВтч}}$$

При ставке дисконтирования 10%:

дисконтированное производство ЭЭ: 11 561 кВтч

дисконтированные затраты за 30 лет: 88 255 руб.

$$\text{LCOE: } 88255/11561 = \underline{7,63 \text{ руб./кВтч}}$$

КИУМ российских солнечных станций

СЭС, регион	Период	Мощность станции	Выработка электроэнергии	Фактический КИУМ
Кош-Агачская СЭС, Республика Алтай	апрель 2015 – ноябрь 2016 (1,6 года)	5 МВт	12 000 МВтч	17,1%
Бугульчанская СЭС, Башкирия	январь – июль 2016 (0,6 года)	5 МВт	4 500 МВтч	17,1%
Абаканская СЭС, Хакасия [216]	декабрь 2015 – октябрь 2016 (0,8 года)	5,2 МВт	6 000 МВтч	15,8%
северо-восток Якутии, 4 СЭС «Сахаэнерго»	2014 год	100 кВт (общая мощность)	100 000 кВтч	11,4%
Солнечные модули на Нижне-Бурейской ГЭС	январь-июнь 2020	1,2 МВт	559 МВтч	10,6%

КИУМ солнечных станций «Хевел» в 2018

Станция, местоположение	Мощность, МВт	Выработка ЭЭ в 2018, МВтч	КИУМ, %
Кош-Агачская (Респ. Алтай)	5	7421	16,9%
Кош-Агачская – 2 (Респ. Алтай)	5	7467	17,0%
Майминская (Респ. Алтай)	20	20316	11,6%
Усть-Канская (Респ. Алтай)	5	6329	14,4%
Онгудайская (Респ. Алтай)	5	5350	12,2%
Нива (Астраханская обл.)	15	15080	11,5%
Бурибаевская (Башкортостан)	20	25313	14,4%
Исянгуловская (Башкортостан)	9	10198	12,9%
Бичурская (Бурятия)	10	12515	14,3%
Переволоцкая (Оренбургская область)	5	6494	14,8%
Соль-Илецкая (Оренбургская область)	25	29114	13,3%
Пугачёвская (Саратовская область)	15	19574	14,9%
Орлов-Гайская (Саратовская область)	15	6829	5,2%

КИУМ солнечных станций по регионам России



Актуальность и преимущества использования возобновляемых источников энергии

1. Отсутствие «углеродного следа», низкие внешние издержки (external costs);
2. Отсутствие переменных операционных затрат благодаря (условно) бесплатным энергоносителям.
3. Возобновляемый и потенциально неисчерпаемый энергоноситель, который можно использовать в случае исчерпания запасов ископаемого топлива (именно этот аргумент в пользу ВИЭ был основным в начале и середине XX века)
4. Автономия; независимость от внешних источников энергии (импорта и поставок ископаемых энергоносителей), на разных уровнях - от стран до отдельных домохозяйств и индивидуального уровня.
5. Более равномерное распределение по земной поверхности (иногда говорят о «более справедливом» доступе к энергии, который обеспечивают возобновляемые энергоресурсы). Во всяком случае, ВИЭ – более «прозрачные» источники энергии, и их потенциал легче рассчитать.
6. Диверсификация источников энергии.
7. Новое направление, новые технологии, стимул общего экономического и технологического развития. Создание новых рабочих мест. Инструмент развития регионов.

Слабые стороны и ограничения использования возобновляемых источников энергии

1. Зависимость от природных условий, суточной, сезонной, в ряде случаев – многолетней, изменчивости.
2. Потребность в больших площадях. Ветропарк мощностью 1000 МВт требует площади около 100 км², солнечная станция – около 10 км², ТЭС той же мощности займёт площадь до 20-30 га, при этом сможет вырабатывать в 2-3 раза больше энергии благодаря более высокому КИУМ.
3. Нестабильность источника и низкий КИУМ- в силу как технологических особенностей, так и нестабильности энергоносителя.
4. В силу больших площадей и конструктивных особенностей, могут быть высокие постоянные операционные затраты и трудности в обслуживании.
5. Высокая материалоемкость. Масса конструкции до 5000-6000 тонн (для генераторов в 7-8 МВт). Ежегодный ввод 100 ГВт ветроэнергетических мощностей потребует около 100 млн. тонн металла (около 5% от мирового производства стали). Массивность конструкции также создаёт повышенные инженерно-геологические требования. Возможен дефицит ряда материалов при масштабном развитии возобновляемой энергетики.
6. Проблемы утилизации и переработки.
7. «Эстетическое загрязнение» территории, исчезновение традиционных культурных и природных ландшафтов, снижение эстетической ценности и рекреационного потенциала территорий



Часть II. Тенденции развития возобновляемой энергетики в XX и начале XXI века

Катализаторы развития возобновляемой энергетики на современном этапе (прежде всего, ветровой и солнечной):

1. Декларации о «пределах роста» (limits to growth), выдвинутые в 1970-е, и связанные с нарастающими экологическими проблемами*;
2. Нефтяной кризис начала – середины 1970-х, связанный с политическими факторами; стремление западных стран к большей энергетической независимости;
3. Концепция «устойчивого развития» (sustainable development**), выдвинутая в 1980-е

Возобновляемая энергетика рассматривалась и рассматривается в качестве инструмента:

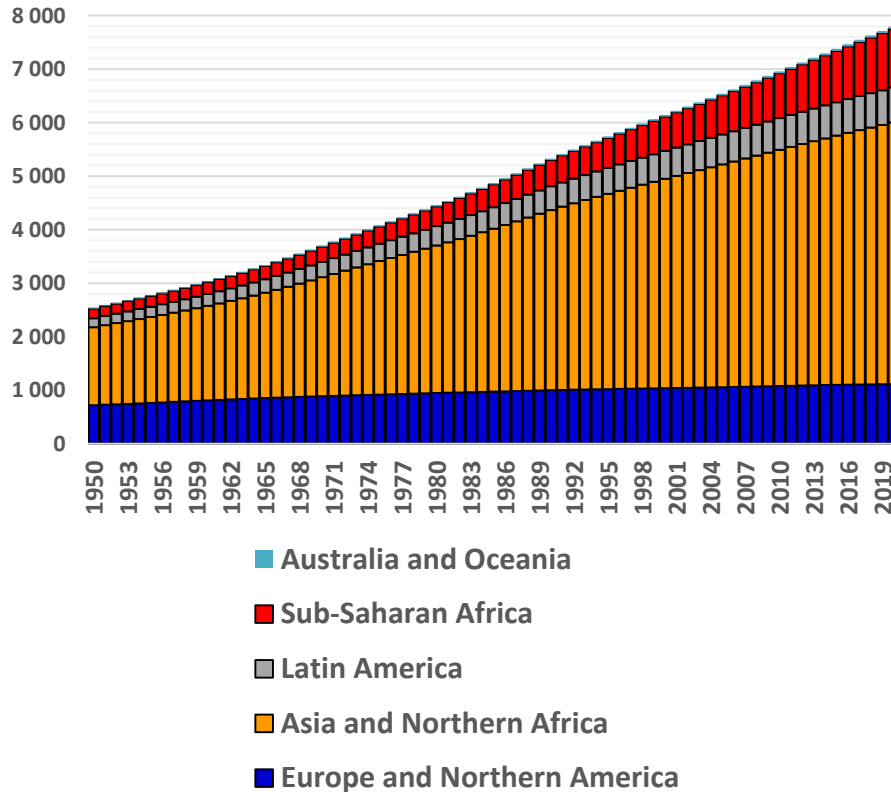
- Ресурсосберегающего и экологически безопасного энергоснабжения населения и хозяйства;
- Снижения энергетической зависимости стран – импортёров ископаемых энергоресурсов;
- Рационального использования энергоресурсов территорий;
- Обеспечения более «справедливого» доступа пользователей к энергоресурсам (учитывая более равномерный характер распределения ВИЭ по земной поверхности по сравнению с ископаемыми энергоресурсами);
- Инновационного и социально-экономического развития, создания новых отраслей экономики и рабочих мест.

*Meadows Donella H., Meadows Dennis L., Behrens III Jorgen Randers William W.
The Limits to Growth; A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind //
New York: Universe Books. 1972.

**Our Common Future. World Commission on Environment and Development //
Oxford University Press. 1987.

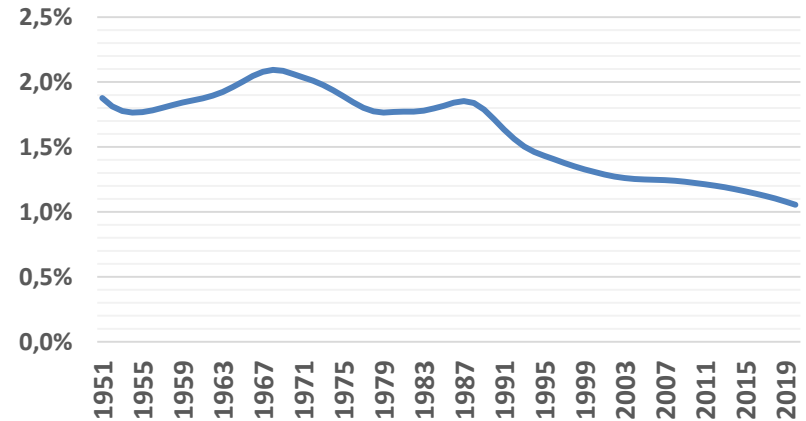
Рост населения мира с 1950

Население мира в 1950-2020

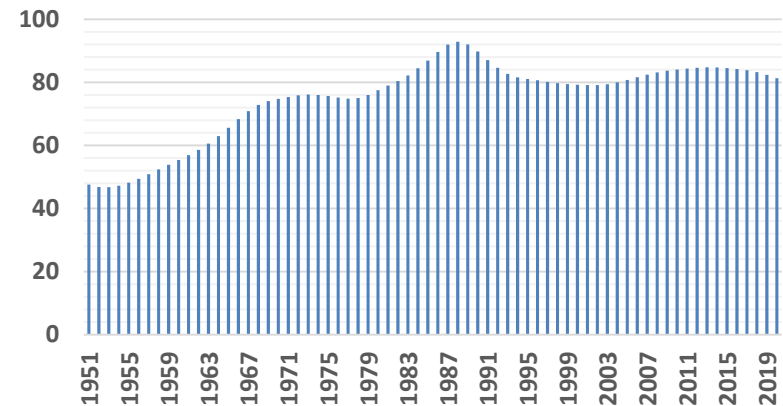


Население мира выросло с 1950 по 2022 год с 2,5 млрд. до 7,8 млрд. – более, чем в три раза, но скорость роста снижается с 1970-х, а с 1990-х снижается даже абсолютный рост

Рост населения, % к предыдущему году



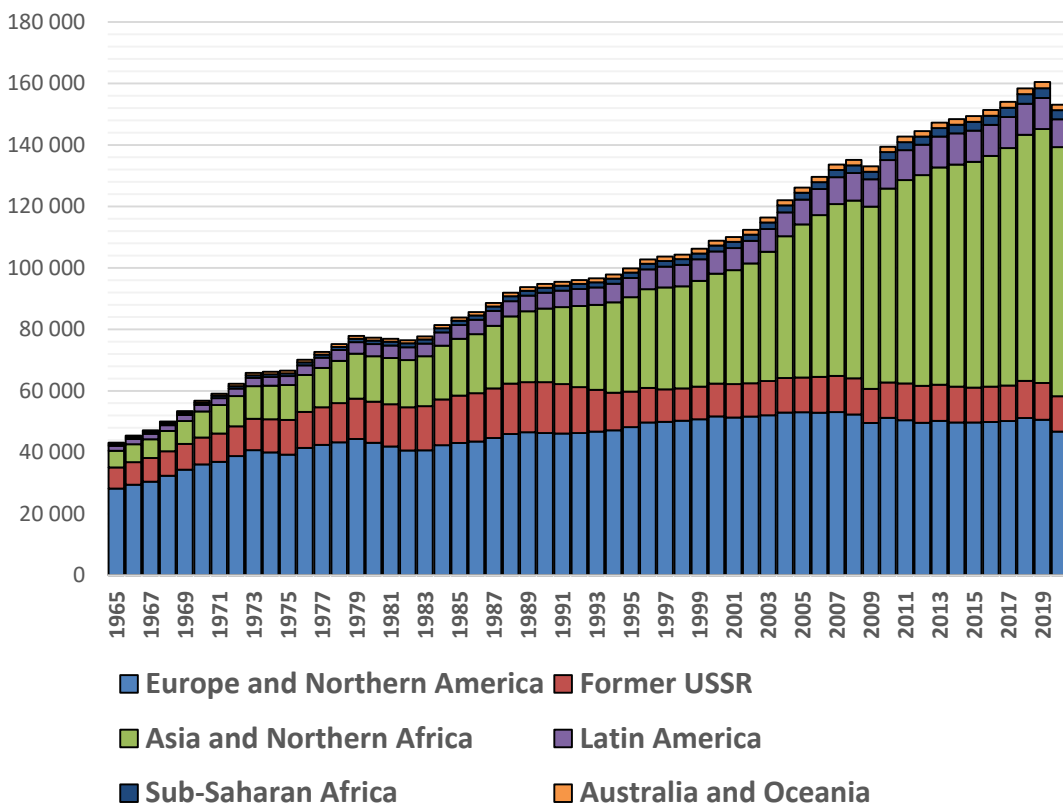
Рост населения, млн. к предыдущему году



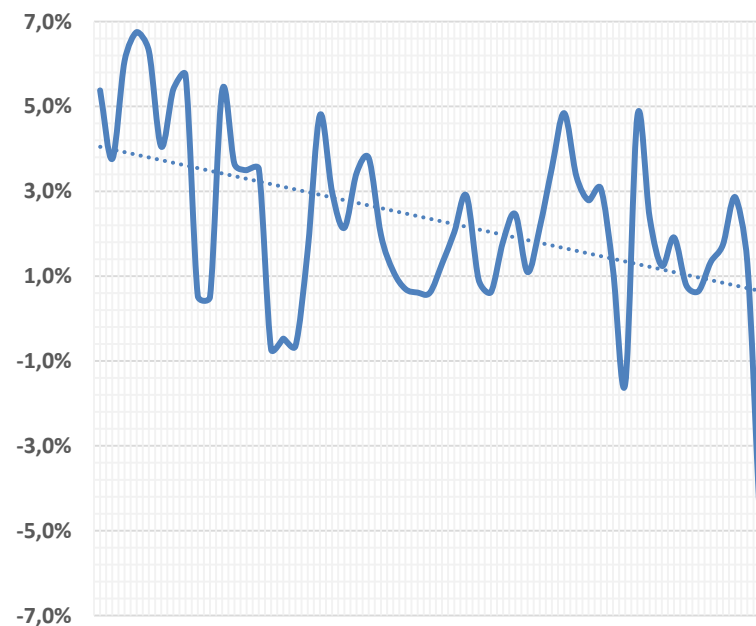
Мировое потребление энергии

Мировое потребление энергии в 1965-2020 выросло с 40 000 ТВтч до 160 000 ТВтч (14 млрд. тонн нефтяного эквивалента, или 18 млрд. тонн условного топлива) – в 4 раза, хотя его рост, так же, как и рост населения, замедляется

Мировое энергопотребление в 1965-2020, ТВтч



Рост мирового энергопотребления в 1966-2020, % к предыдущему году

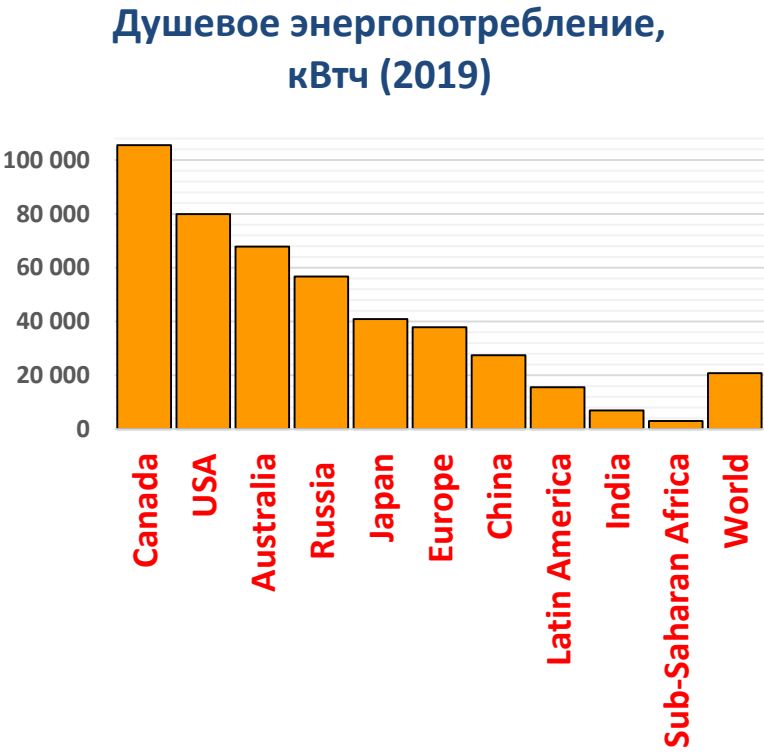


Мировой энергобаланс

На входе	На выходе
Ежегодная добыча: Нефть – 4 500 млн. тонн; Газ – 4 000 млрд. м³; Уголь – 7 000 млн. тонн. Для энергетических целей используется: Нефть – почти все 4500 млн. тонн; Газ – около 3 700 млрд. м³; Уголь – около 5 400 млн. тонн. Всего – 12 000 млн. тонн нефтяного эквивалента (остальное используется в промышленности) В энергетическом эквиваленте это 135 000 ТВтч. И около 25 000 ТВтч – поступление из всех неуглеродных источников (атомная энергия, гидроэнергия и другие ВИЭ) Всего около 160 000 ТВтч	Три основных направления использования энергии: 1. Производство электроэнергии – почти 50% всего энергопотребления: 70 000 - 80 000 ТВтч с 25 000 – 27 000 ТВтч на выходе. - Прямое использование: 2. Транспорт– 25%-30% всего энергопотребления. 3. Отопление и другие хозяйственные нужды 20%-25% всего энергопотребления.
Использование по источникам: • Нефть – главным образом, для транспорта; • Газ: 40% для производства электричества; более 55% - для отопления; менее 5% - для транспорта. • Уголь: 80% - для производства электроэнергии; 20% - для отопления. • Атомная энергия и ВИЭ используются почти полностью для выработки электроэнергии	<i>Sources: iea.org, eia.gov, bp.com</i>

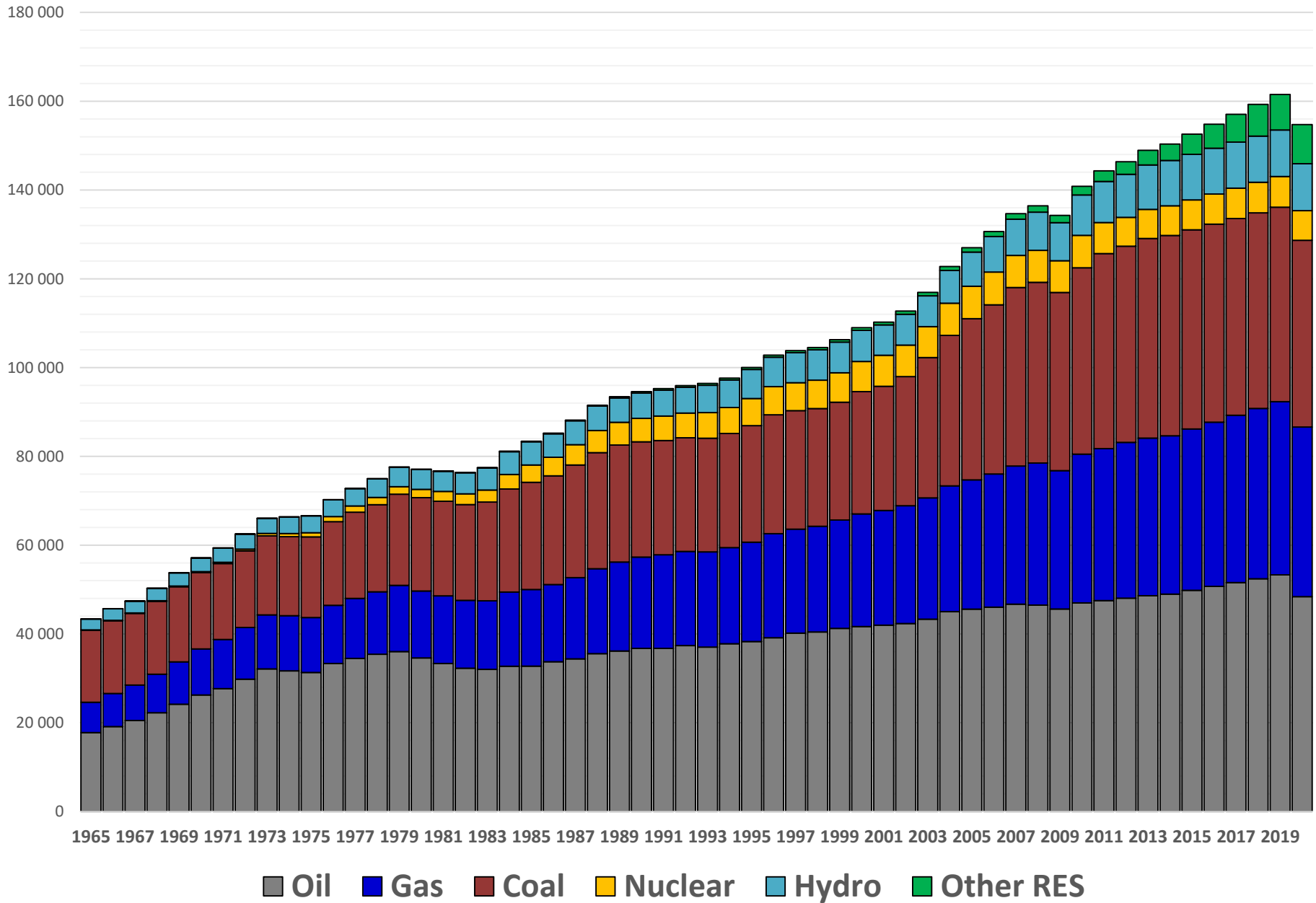
Потребление энергии на душу населения по странам и регионам

Страна/регион	Население, млн. (2019)	Доля в мировом, %	Энергопотребление, ТВтч (2019)	Доля в мировом, %	Душевое энергопотребление, кВтч
США	329	4,3%	26 291	16,4%	79 897
Канада	37	0,5%	3 948	2,5%	105 540
Европа (ЕС)	538	7,0%	20 355	12,7%	37 846
Россия	146	1,9%	8 279	5,2%	56 707
Др. страны бывшего СССР	148	1,9%	3 703	2,3%	25 090
Китай	1 434	18,6%	39 361	24,5%	27 452
Индия	1 366	17,7%	9 461	5,9%	6 924
Япония	127	1,6%	5 187	3,2%	40 889
Др. страны Азии и Северной Африки	1 843	23,9%	28 609	17,8%	15 524
Латинская Америка	648	8,4%	10 092	6,3%	15 570
Субсахарская Африка	1 066	13,8%	3 183	2,0%	2 985
Австралия и Новая Зеландия	30	0,4%	2 035	1,3%	67 865
Остальной мир	1	0,0%	0	0,0%	0
Всего	7 713	100,0%	160 503	100,0%	20 808



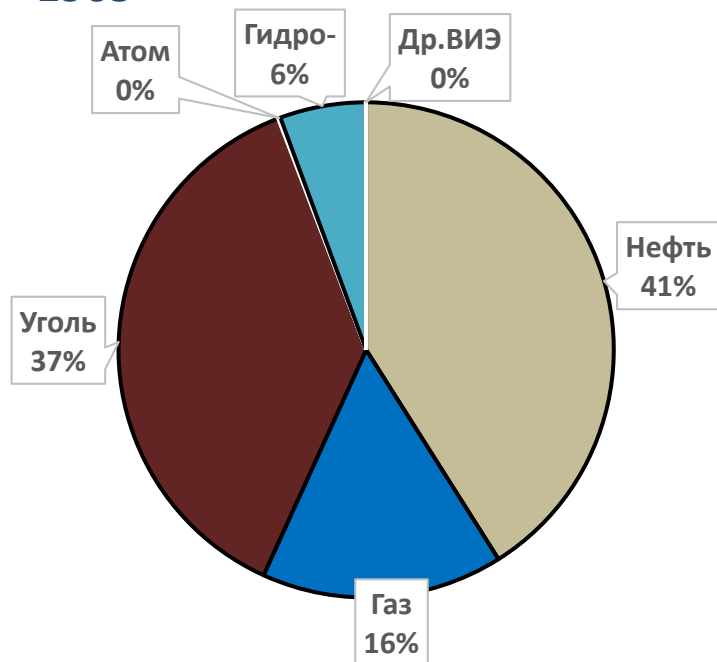
Рост мирового энергопотребления по энергоносителям

Потребление энергии в мире в 1965 – 2020 гг., ТВтч

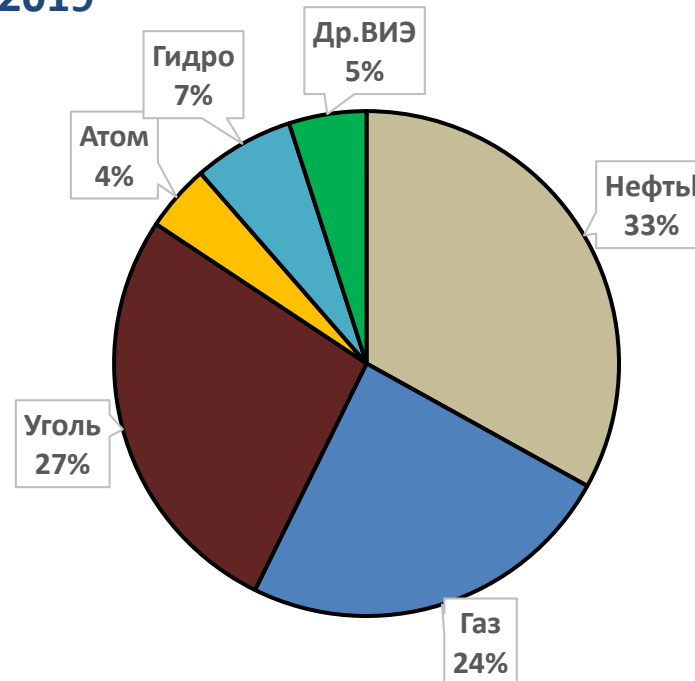


Структура мирового энергопотребления

1965



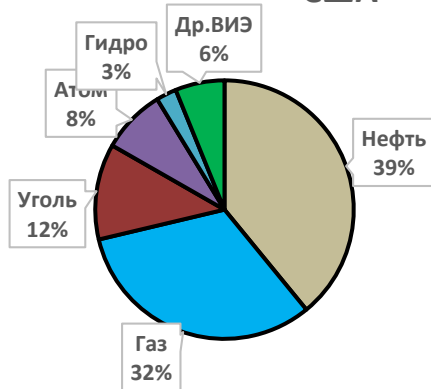
2019



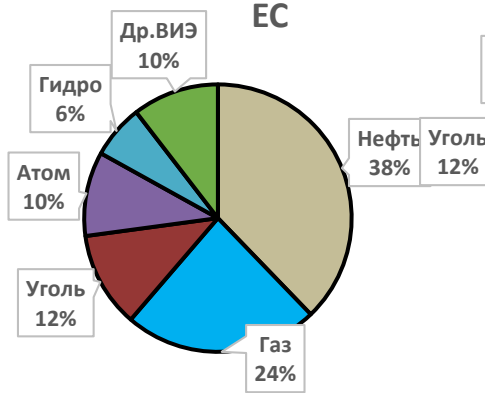
В 1965 доля углеродного топлива (нефть + газ + уголь) была 94%, в 2019 – 84%. Снижение его доли произошло благодаря атомной энергии (+4%) почти в той же степени, в какой и благодаря ВИЭ (1% - ГЭС и +5% - остальные ВИЭ).

Структура энергопотребления в разных странах, 2019

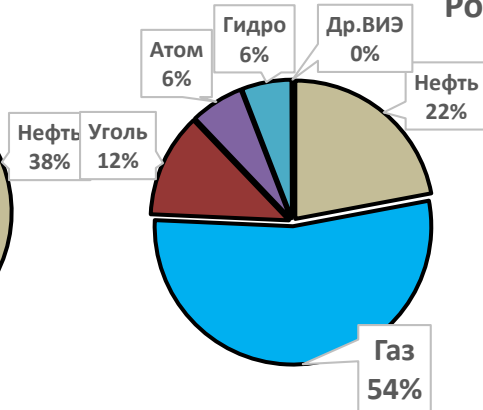
США



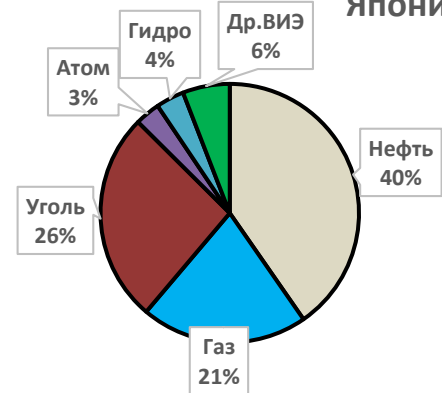
ЕС



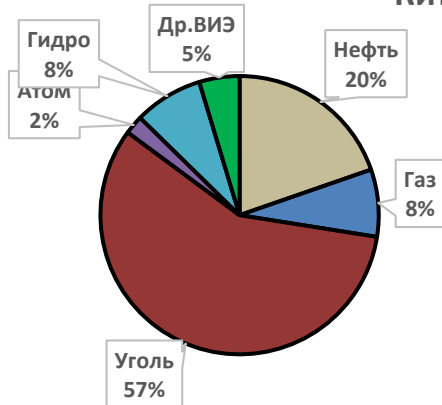
Россия



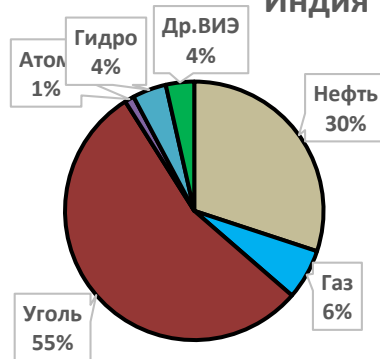
Япония



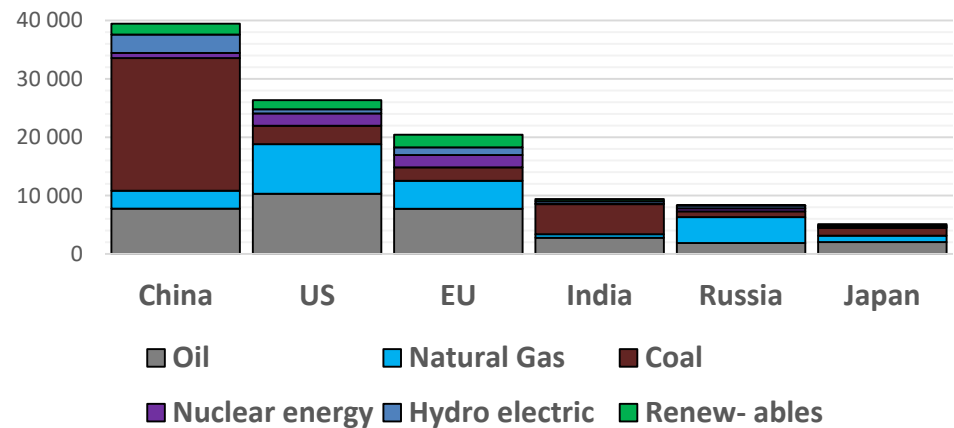
Китай



Индия



Энергопотребление по странам и источникам энергии, ТВтч, 2019

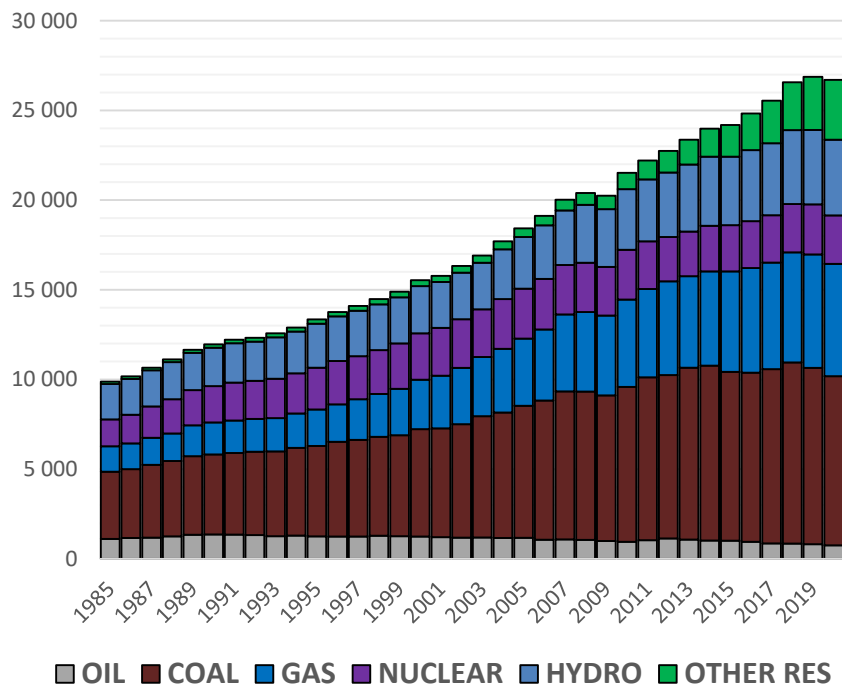


Доля углеводородов в энергопотреблении: ЕС – 74%, США – 83%, Китай – 85%, Япония – 87%, Россия – 88%, Индия – 91%.

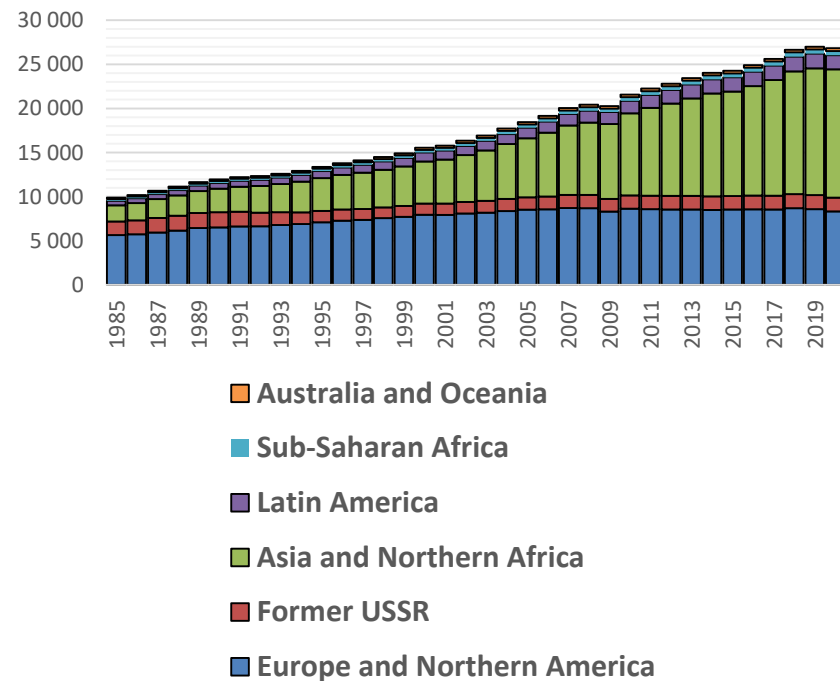
В России наиболее велика доля газа – 54%, В Китае и Индии угля – 57% и 55%, соответственно.

Структура мирового производства электроэнергии

Производство электроэнергии по источникам, ЕВтч, 1985-2020

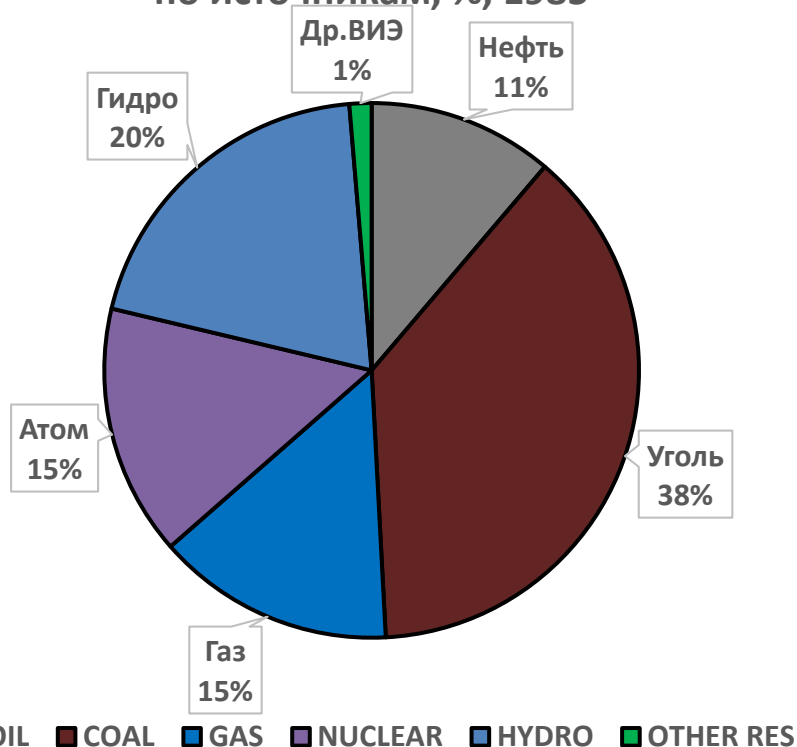


Производство электроэнергии по регионам, ТВтч, 1985-2020

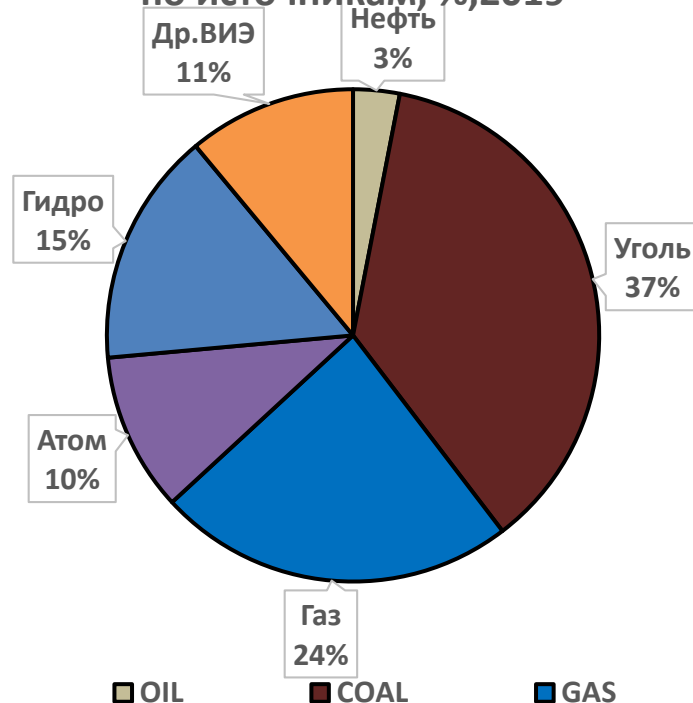


Сравнение структуры производства электроэнергии по источникам в 1985 и 2019 гг.

Мировое производство электроэнергии по источникам, %, 1985

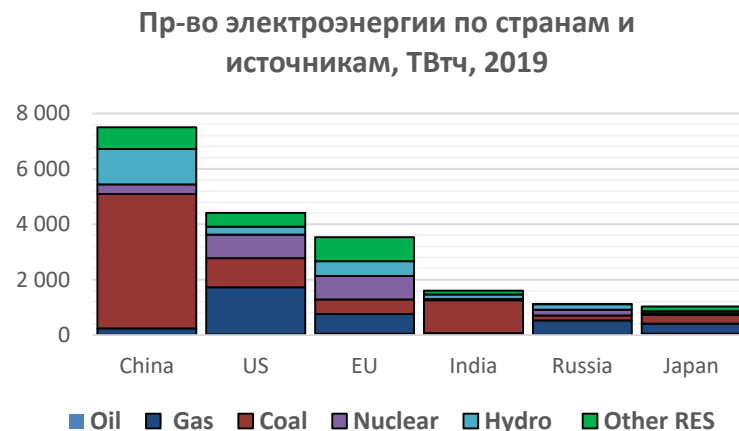
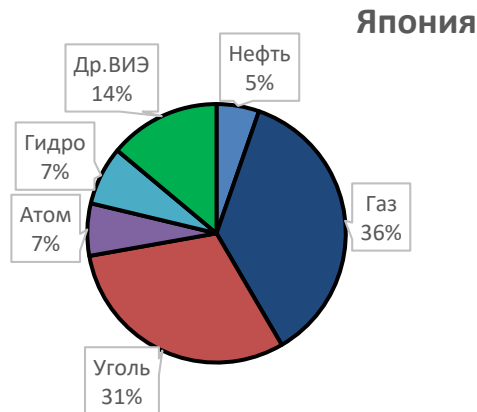
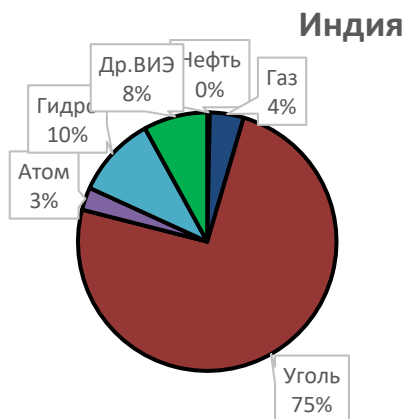
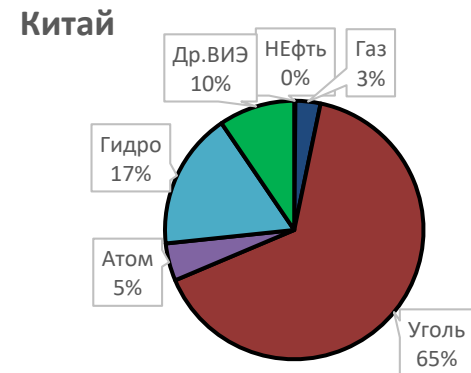
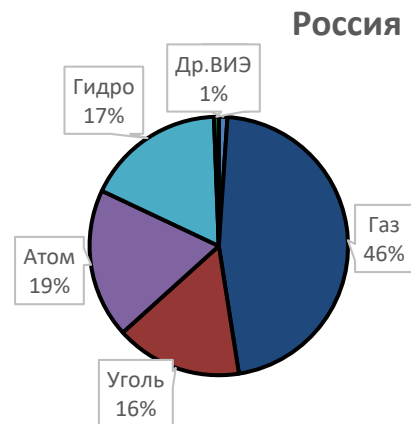
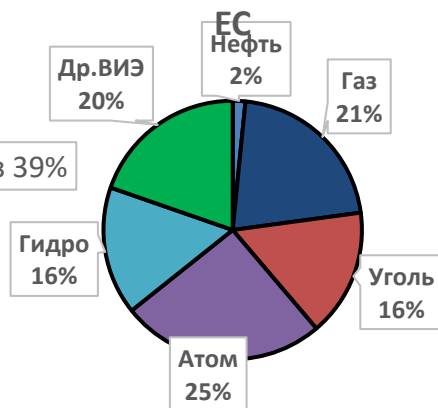
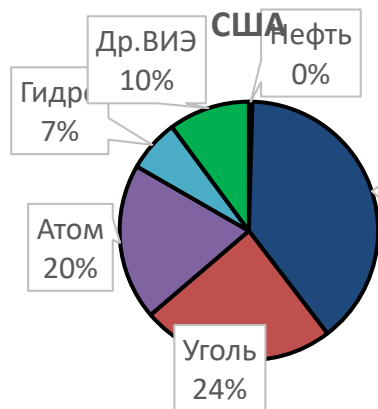


Мировое производство электроэнергии по источникам, %, 2019



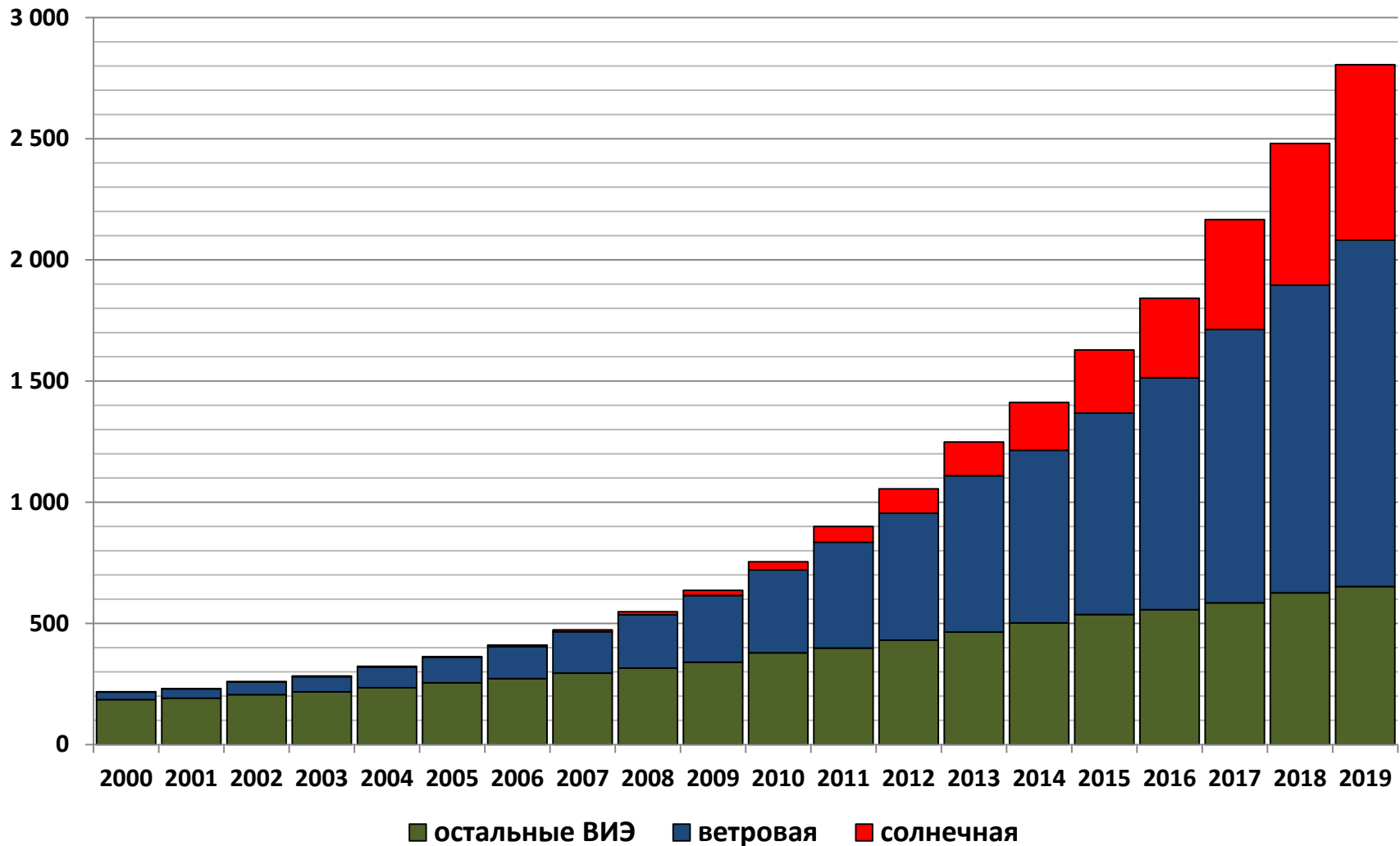
В 1985 на долю углеводородов приходилось 64% мировой выработки электроэнергии, в 2019 году она оставалась на уровне 64%. Доля ветровой и солнечной энергии выросла, но доля атомной и гидроэнергии сократилась.

Структура производства электроэнергии по странам



Доля углеводородов в производстве электроэнергии: ЕС – 39%, Россия – 62%, США – 63%, Китай – 68%, Япония – 72%, Индия – 79%

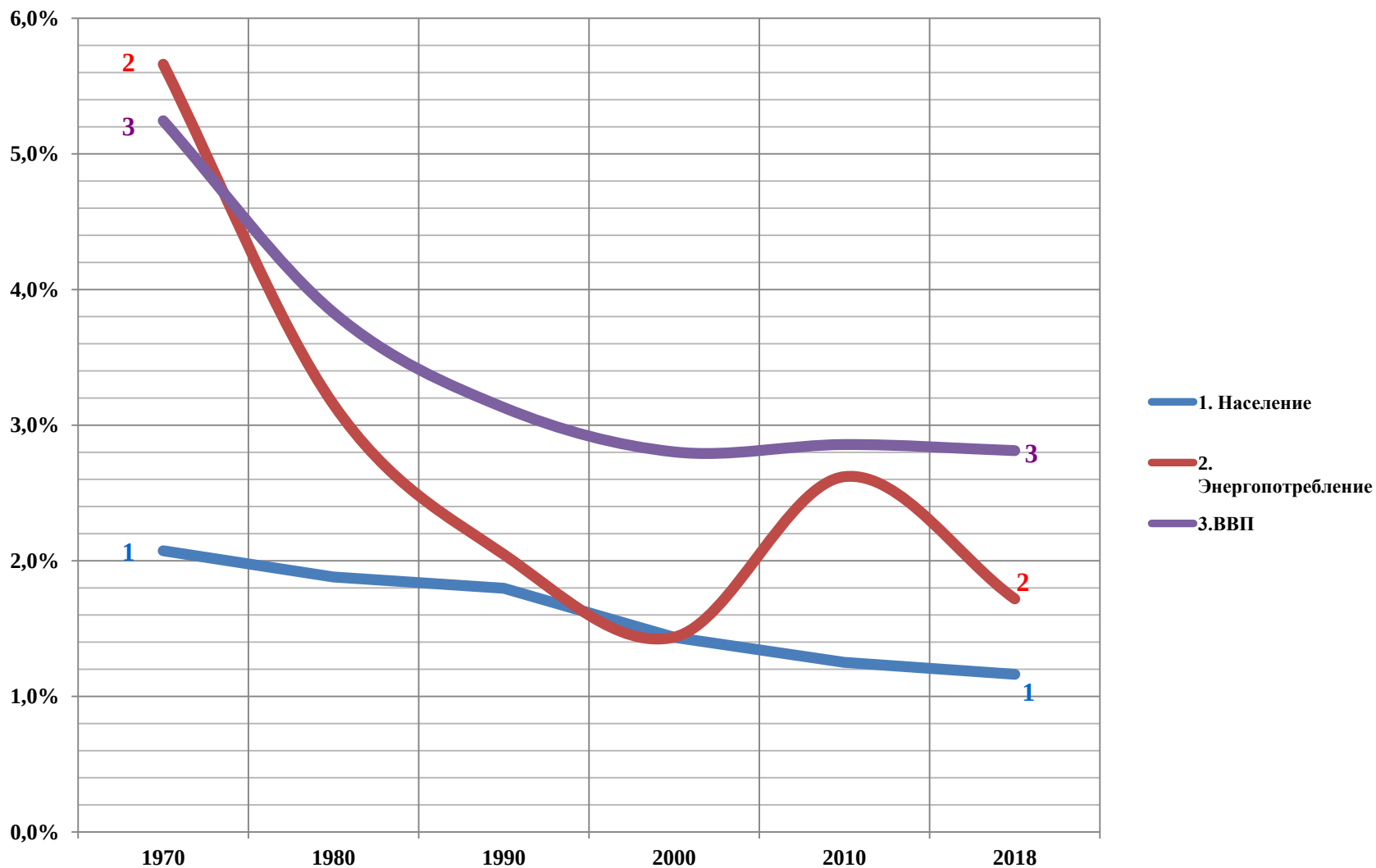
Рост производства электроэнергии за счёт ВИЭ (кроме ГЭС), ТВтч, в 2000-2019 гг.*



В абсолютных единицах производство электроэнергии за счёт ВИЭ (кроме гидроэнергии) с 2000 по 2019 год выросло с 200 ТВтч до 3000 ТВтч – в 15 раз

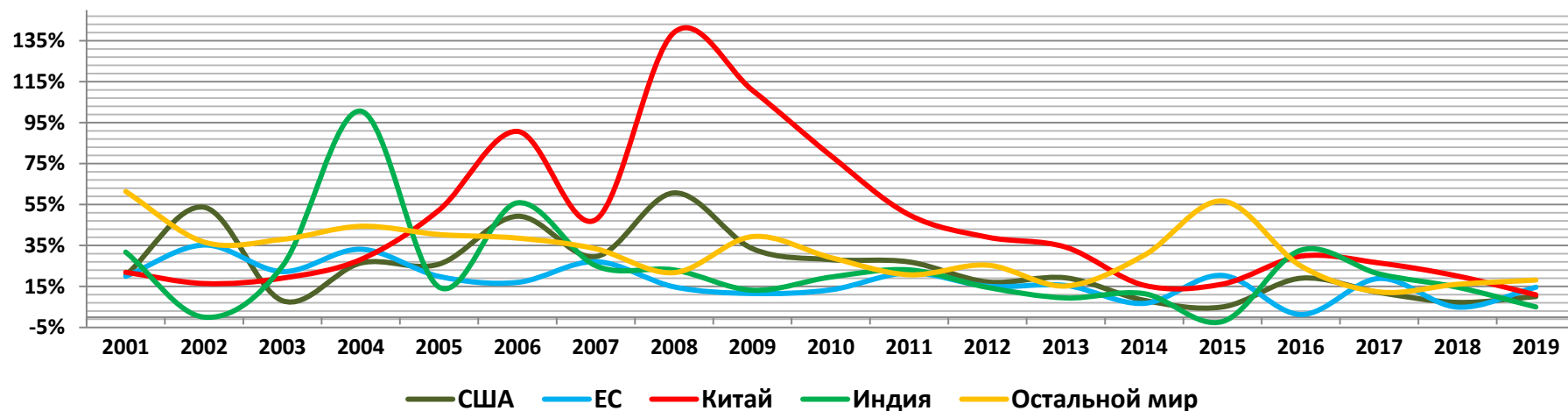
**по данным BP World Energy Statistical Review, 2020*

Темпы роста мирового населения, энергопотребления и ВВП, % к предыдущему году, 1970-2018

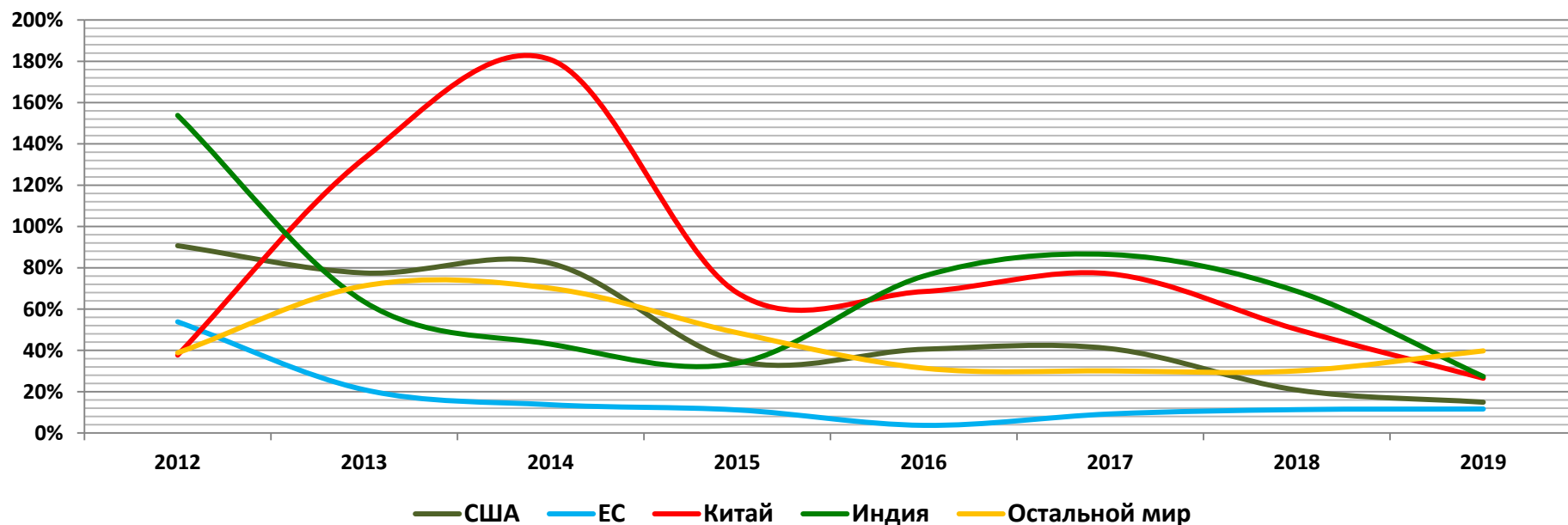


Темпы роста производства солнечной и ветровой электроэнергии по регионам, % к предыдущему году

Ветроэлектроэнергетика



Солнечная электроэнергетика



Задание на дом

Прилагаются объёмы энергопотребления по источникам по всем странам мира и по источникам (файл в excel) в 2019 и 2020 гг.

Каждый выбирает любые три страны (распределите между собой, чтобы не повторялись) и рассчитывает долю (в %) каждого источника (нефть, газ, уголь, атомная энергия, гидроэнергия, другие ВИЭ) в структуре энергопотребления – за 2019 или 2020 год, на ваш выбор.

Можете, при желании, взять не три страны, а три любых региона (из указанных там: Северная Америка, Центральная и Южная Америка, Европа, СНГ, Ближний Восток, Африка, Азиатско-Тихоокеанский регион) или части региона.

Постарайтесь по возможности объяснить различия в структуре энергопотребления между выбранными странами/регионами (если будут серьёзные различия).

Прим. Цифры в файле даны в эксаджоулях (10^{18} джоулей). При желании вы можете перевести их в мега-, гига- или тераватт-часы ($1 \text{ кВтч} = 3600 \text{ Дж}$), в тонны условного топлива ($1 \text{ т.у.т.} = 8130 \text{ кВтч}$) или нефтяного эквивалента ($1 \text{ т.н.э.} = 11630 \text{ кВтч}$) но для расчёта структуры это не обязательно.

Литература по теме:

Анатолий Копылов. Экономика ВИЭ. Издание 2-е, переработанное и дополненное. 2017.

Дегтярев К. С., Берёзкин М. Ю., Залиханов А. М. Инвестиционные проекты в возобновляемой энергетике: экономический практикум. Учебное пособие под редакцией профессора А.А. Соловьева. — КДУ Москва, 2018. — 98 с.

К вопросу об экономике возобновляемых источников энергии / К. С. Дегтярев, А. М. Залиханов, А. А. Соловьев, Д. А. Соловьев // Энергия, экономика, техника, экология. — 2016. — № 10. — С. 10–20.

Дегтярев К. С. Экономика возобновляемой энергетики в мире и в России // Сантехника, отопление, кондиционирование. — 2017. — № 9. — С. 80–87.

С.П. Капица. «Парадоксы роста. Законы развития человечества». 2010.

https://booksafe.net/read/kapica_servey-paradoksy_rosta_zakony_razvitiya_chelovechestva-229783.html#p6

Тенденции и перспективы развития возобновляемой энергетики. Проблемы энергетического перехода

К.С. Дегтярев

Научно-исследовательская лаборатория
возобновляемых источников энергии

Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

kir1111@rambler.ru



Предпосылки развития возобновляемой энергетики в современном виде с 1970-х

Катализаторы развития возобновляемой энергетики на современном этапе (прежде всего, ветровой и солнечной):

1. Декларации о «пределах роста» (limits to growth), выдвинутые в 1970-е, и связанные с нарастающими экологическими проблемами*;
2. Нефтяной кризис начала – середины 1970-х, связанный с политическими факторами; стремление западных стран к большей энергетической независимости;
3. Концепция «устойчивого развития» (sustainable development**), выдвинутая в 1980-е

Возобновляемая энергетика рассматривалась и рассматривается в качестве инструмента:

- Ресурсосберегающего и экологически безопасного энергоснабжения населения и хозяйства;
- Снижения энергетической зависимости стран – импортёров ископаемых энергоресурсов;
- Рационального использования энергоресурсов территорий;
- Обеспечения более «справедливого» доступа пользователей к энергоресурсам (учитывая более равномерный характер распределения ВИЭ по земной поверхности по сравнению с ископаемыми энергоресурсами);

- Инновационного и социально-экономического развития. создания новых отраслей

ЭКОНС

*Meadows Donella H., Meadows Dennis L., Behrens III Jorgen Randers William W.
The Limits to Growth; A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind //
New York: Universe Books. 1972.

**Our Common Future. World Commission on Environment and Development //
Oxford University Press.1987.

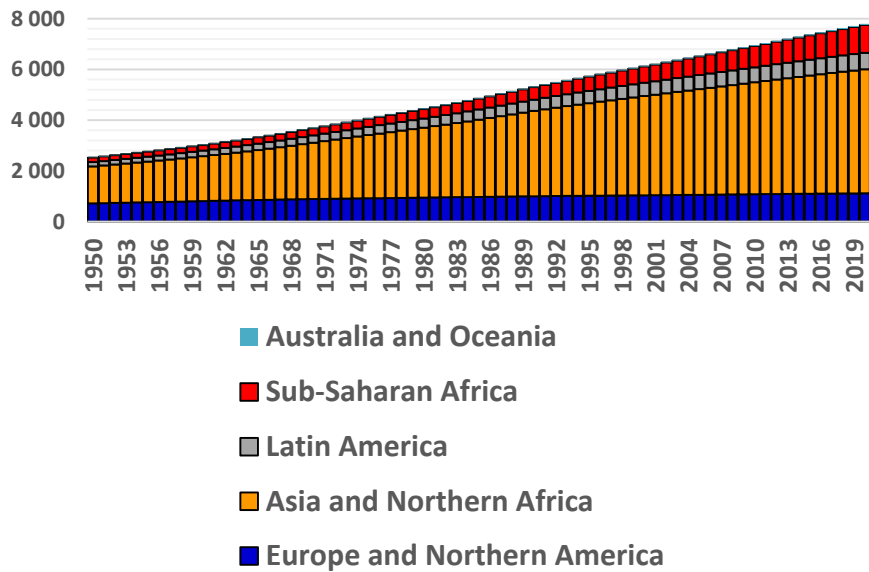
В последние 15-20 лет развитие возобновляемой энергетики рассматривают, в первую очередь, в контексте борьбы с антропогенным изменением климата. В связи с этим провозглашён глобальный «энергетический переход» к «углеродной нейтральности» – нулевым антропогенным выбросам парниковых газов, что возможно только при полном замещении углеводородных источников энергии неуглеродными – возобновляемыми источниками и атомной энергией. Большинство крупнейших стран мира взяли на себя более или менее жёсткие обязательства перейти к «углеродной нейтральности» экономики к 2050 – 2060 гг.

“The energy transition is a pathway toward transformation of the global energy sector from fossil-based to zero-carbon by the second half of this century. At its heart is the need to reduce energy-related CO₂ emissions to limit climate change. Decarbonization of the energy sector requires urgent action on a global scale, and while a global energy transition is underway, further action is needed to reduce carbon emissions and mitigate the effects of climate change”

Source: <https://www.irena.org/energytransition>

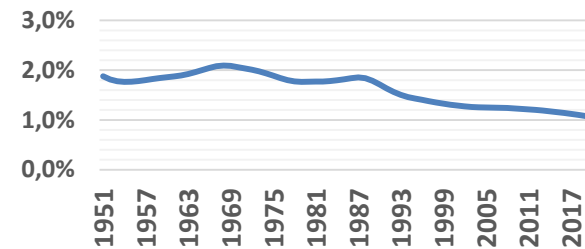
Рост населения мира с 1950

Население мира в 1950-2020

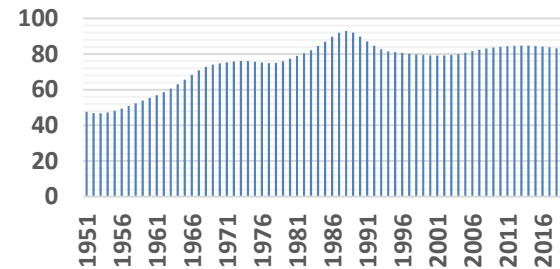


Население мира выросло с 1950 по 2022 год с 2,5 млрд. до 7,8 млрд. – более, чем в три раза, но скорость роста снижается с 1970-х, а с 1990-х снижается даже абсолютный рост

Рост населения, % к предыдущему году

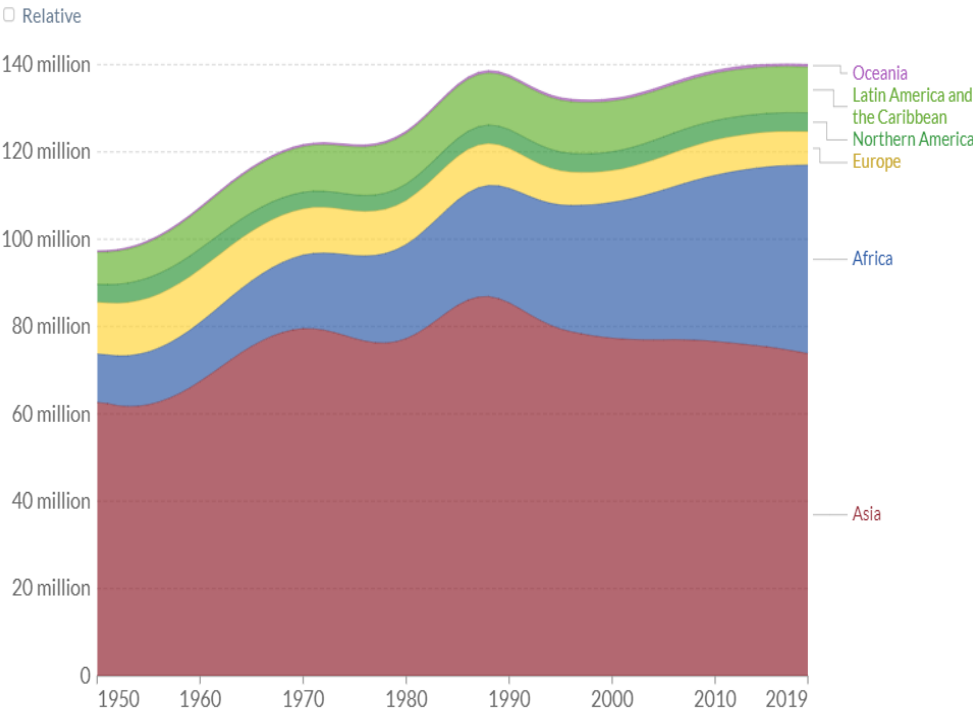


Рост населения, млн. к предыдущему году



Коэффициент рождаемости (Fertility Ratio)

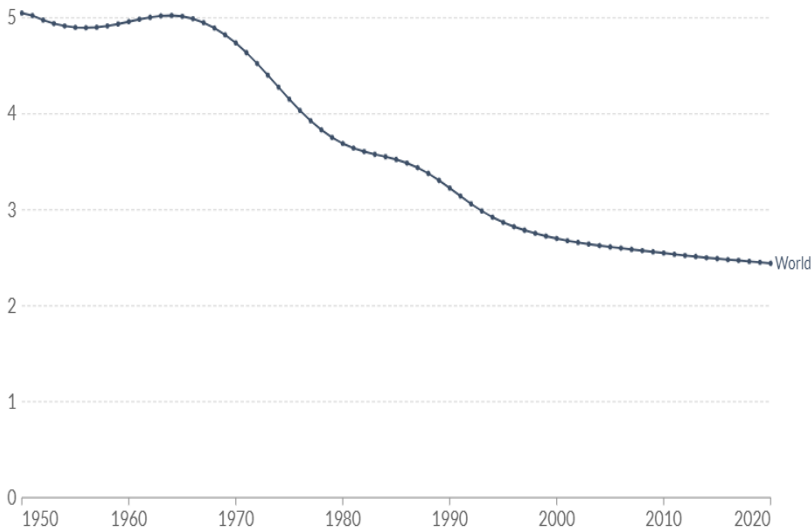
Annual number of births by world region



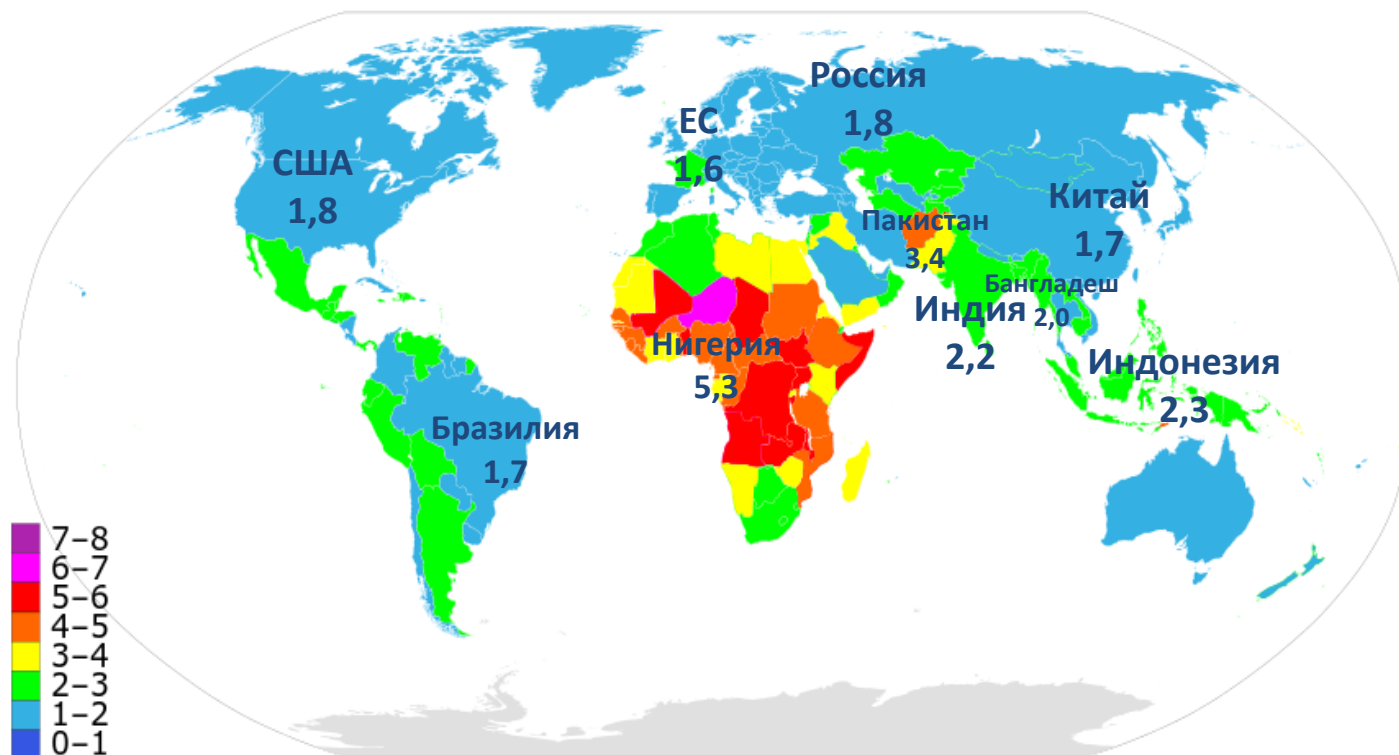
Children per woman

Measured as the total fertility rate, which is the number of children that would be born to the average woman if she were to live to the end of her child-bearing years and give birth to children at the current age-specific fertility rates.

+ Add country



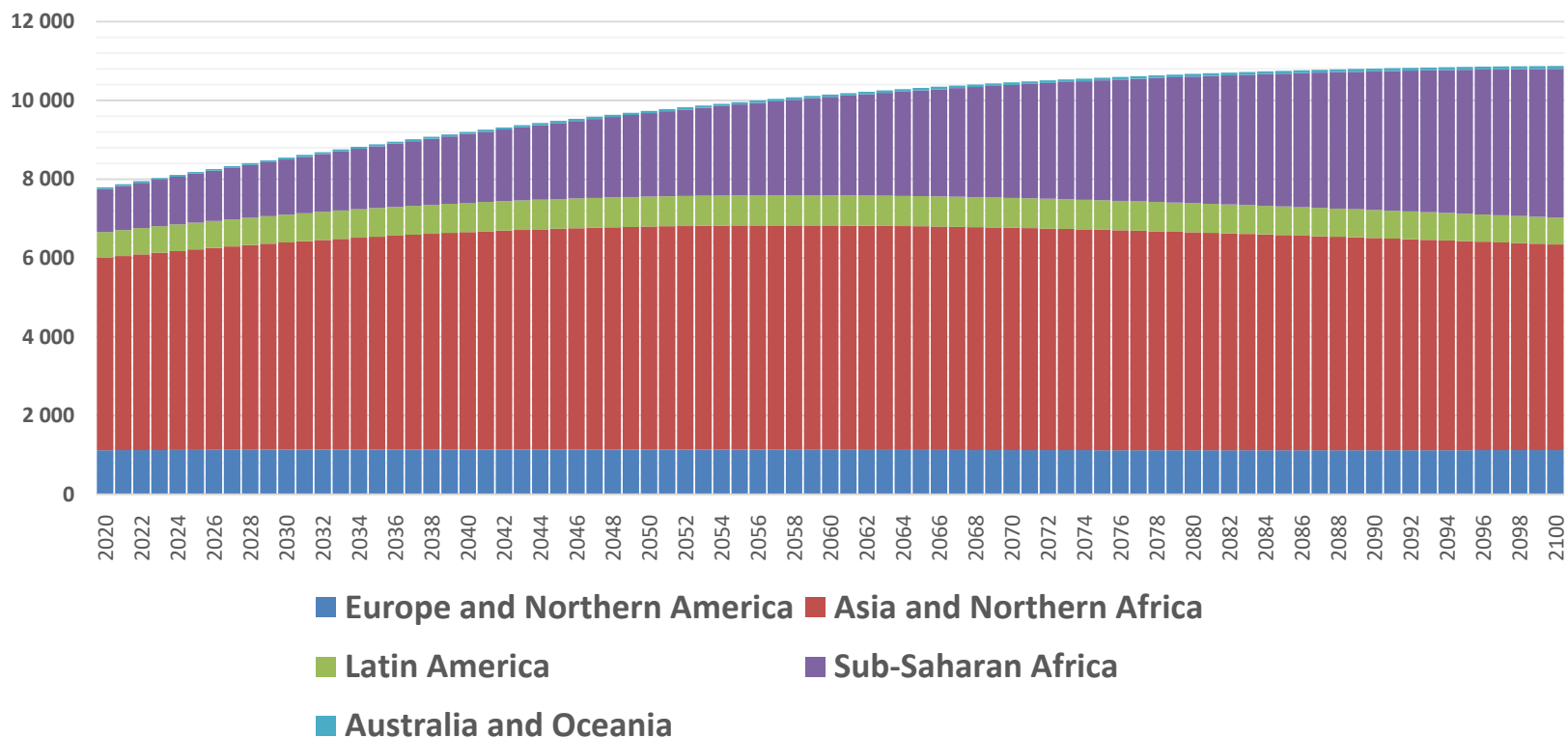
Коэффициент рождаемости (fertility ratio) по странам мира, 2021



Средний прогноз ООН по росту населения до 2100 года

К 2050-м мировое население вырастет на 2 млрд. – до 10 млрд., в т.ч. на 1 млрд. в Субсахарской Африке (где оно удвоится) и на 1 млрд. – в остальном мире (главным образом, в Южной и Юго-Восточной Азии – с 3,4 млрд. до 4,2 млрд.) С 2050 до 2100 население мира вырастет ещё на 1 млрд. – до 11 млрд., при этом в Субсахарской Африке оно вырастет более, чем на 1 млрд., а в остальном мире население будет сокращаться.

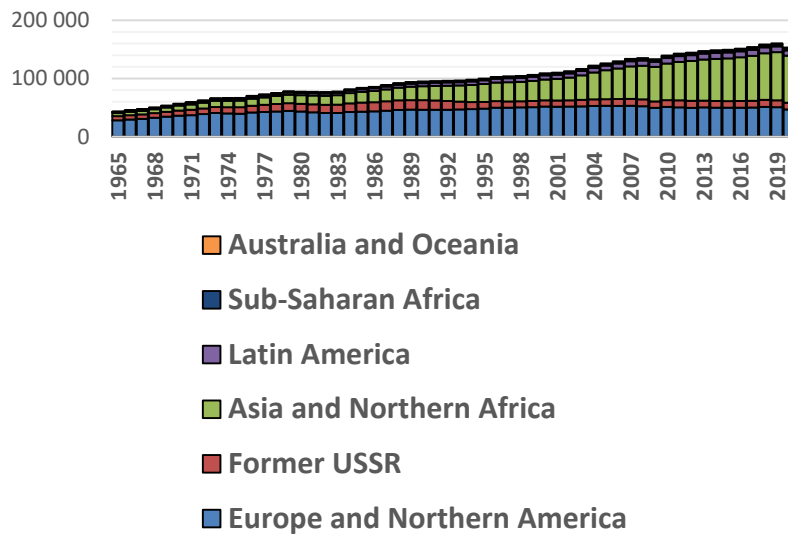
Средний прогноз ООН по численности населения мира до 2100 года



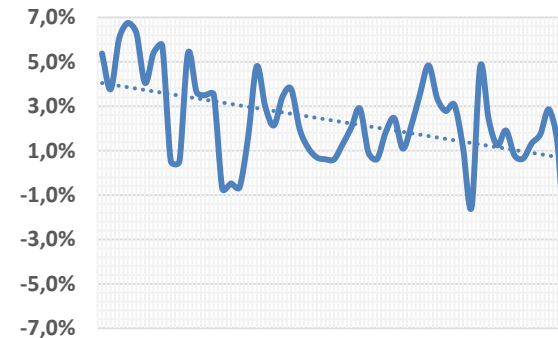
Мировое потребление энергии

Мировое потребление энергии в 1965-2020 выросло с 40 000 ТВтч до 160 000 ТВтч (14 млрд. тонн нефтяного эквивалента, или 18 млрд. тонн условного топлива) – в 4 раза, хотя его рост, так же, как и рост населения, замедляется

Мировое энергопотребление в 1965-2020, ТВтч



Рост мирового энергопотребления в 1966-2020, % к предыдущему году



Мировой энергобаланс

На входе	На выходе
Ежегодная добыча: Нефть – 4 500 млн. тонн; Газ – 4 000 млрд. м³; Уголь – 7 000 млн. тонн. Для энергетических целей используется: Нефть – почти все 4500 млн. тонн; Газ – около 3 700 млрд. м³; Уголь – около 5 400 млн. тонн. Всего – 12 000 млн. тонн нефтяного эквивалента (остальное используется в промышленности) В энергетическом эквиваленте это 135 000 ТВтч. И около 25 000 ТВтч – поступление из всех неуглеродных источников (атомная энергия, гидроэнергия и другие ВИЭ) Всего около 160 000 ТВтч	Три основных направления использования энергии: 1. Производство электроэнергии – почти 50% всего энергопотребления: 70 000 - 80 000 ТВтч с 25 000 – 27 000 ТВтч на выходе. 2. Транспорт– 25%-30% всего энергопотребления. 3. Отопление и другие хозяйственные нужды 20%-25% всего энергопотребления.
Использование по источникам: • Нефть – главным образом, для транспорта; • Газ: 40% для производства электричества; более 55% - для отопления; менее 5% - для транспорта. • Уголь: 80% - для производства электроэнергии; 20% - для отопления. • Атомная энергия и ВИЭ используются почти полностью для выработки электроэнергии	<i>Sources: iea.org, eia.gov, bp.com</i>

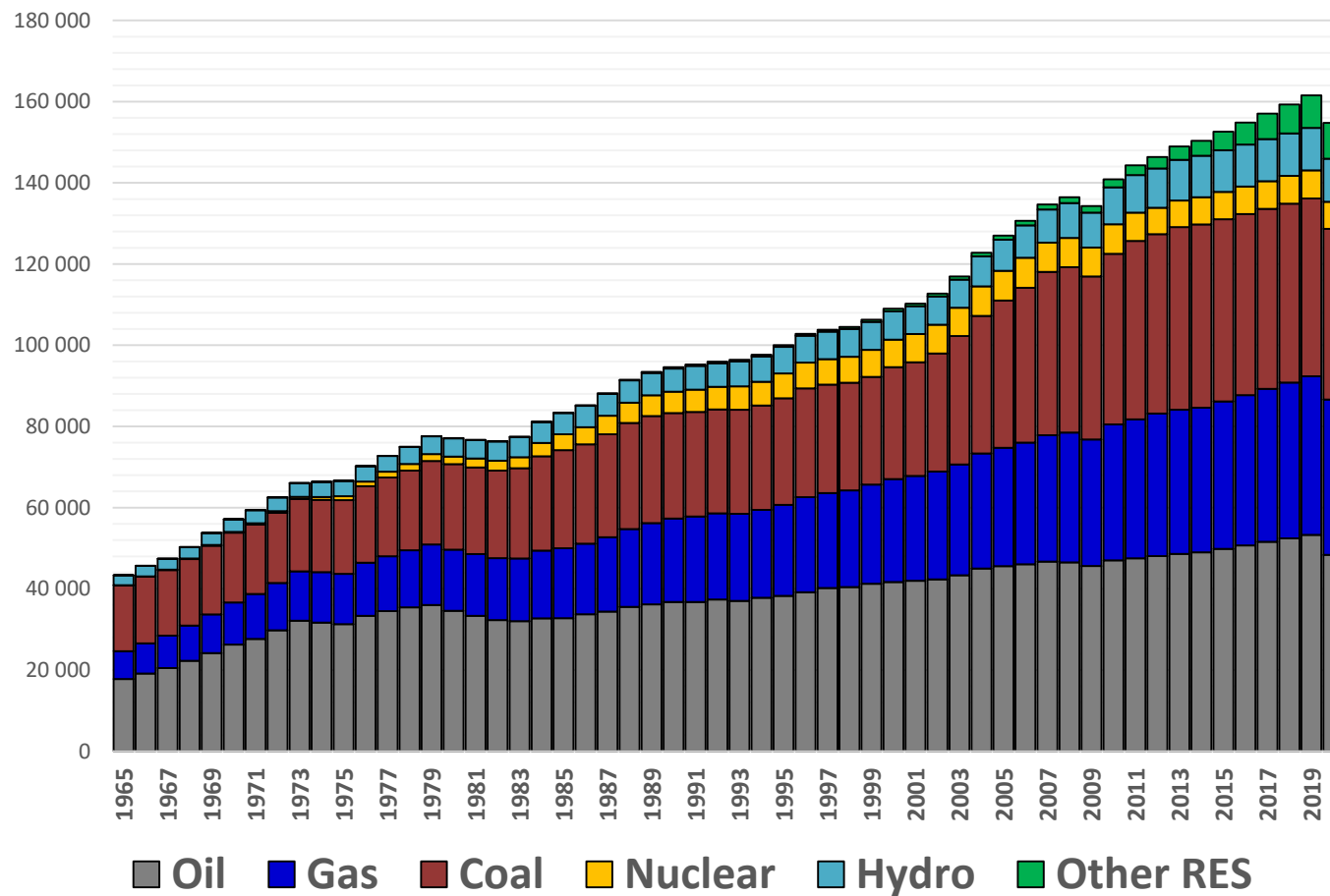
Потребление энергии на душу населения по странам и регионам

Страна/регион	Население, млн. (2019)	Доля в мировом, %	Энергопотребление, ТВтч (2019)	Доля в мировом, %	Душевое энергопотребление, кВтч
США	329	4,3%	26 291	16,4%	79 897
Канада	37	0,5%	3 948	2,5%	105 540
Европа (ЕС)	538	7,0%	20 355	12,7%	37 846
Россия	146	1,9%	8 279	5,2%	56 707
Др. страны бывшего СССР	148	1,9%	3 703	2,3%	25 090
Китай	1 434	18,6%	39 361	24,5%	27 452
Индия	1 366	17,7%	9 461	5,9%	6 924
Япония	127	1,6%	5 187	3,2%	40 889
Др. страны Азии и Северной Африки	1 843	23,9%	28 609	17,8%	15 524
Латинская Америка	648	8,4%	10 092	6,3%	15 570
Субсахарская Африка	1 066	13,8%	3 183	2,0%	2 985
Австралия и Новая Зеландия	30	0,4%	2 035	1,3%	67 865
Остальной мир	1	0,0%	0	0,0%	0
Всего	7 713	100,0%	160 503	100,0%	20 808

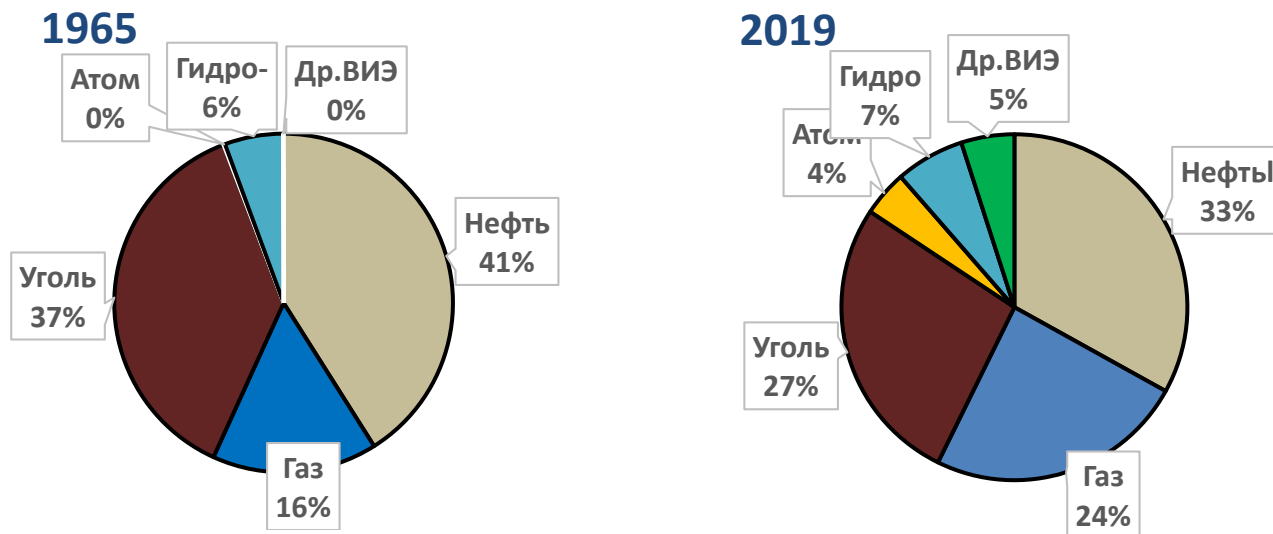


Рост мирового энергопотребления по энергоносителям

Потребление энергии в мире в 1965 – 2020 гг., ТВтч

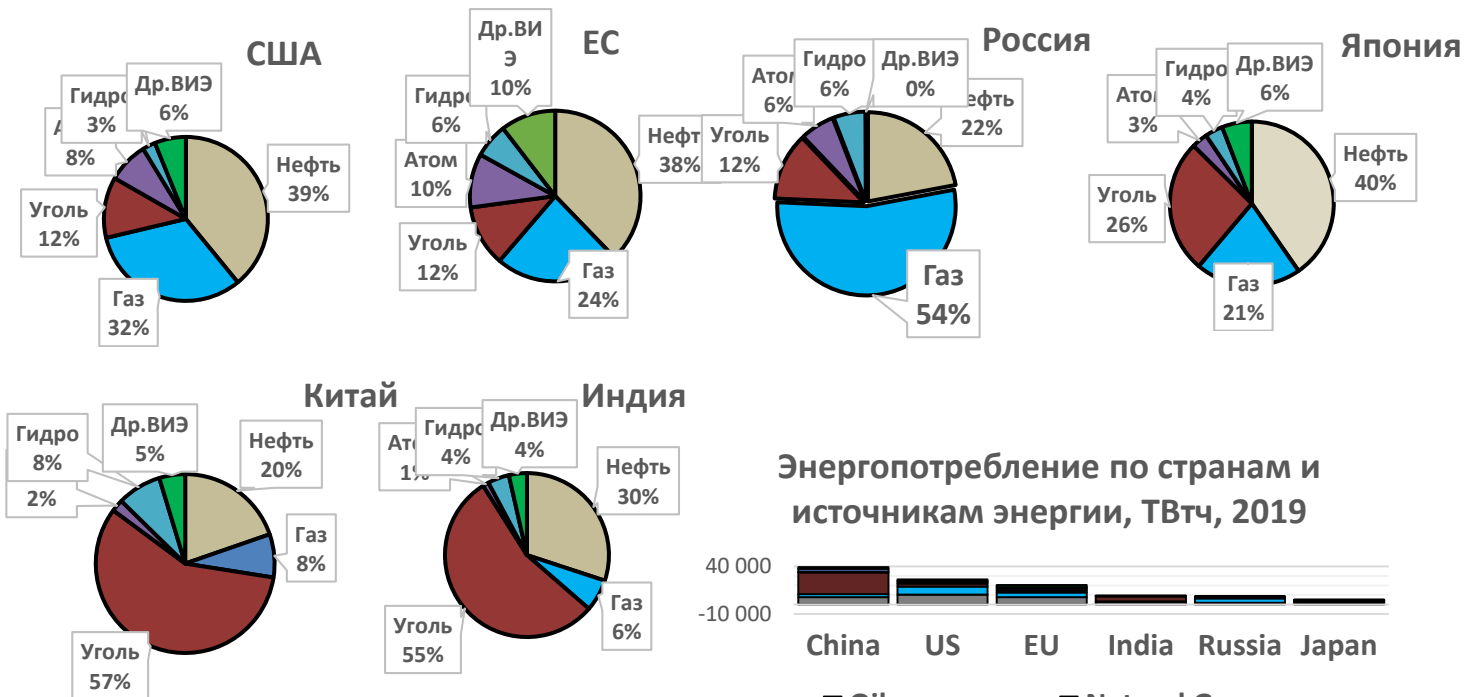


Структура мирового энергопотребления

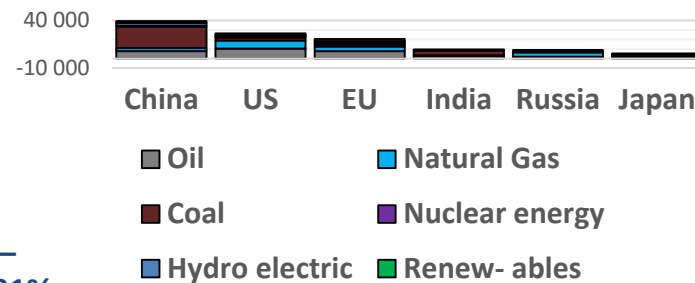


В 1965 доля углеродного топлива (нефть + газ + уголь) была 94%, в 2019 – 84%. Снижение его доли произошло благодаря атомной энергии (+4%) почти в той же степени, в какой и благодаря ВИЭ (1% - ГЭС и +5% - остальные ВИЭ).

Структура энергопотребления в разных странах, 2019



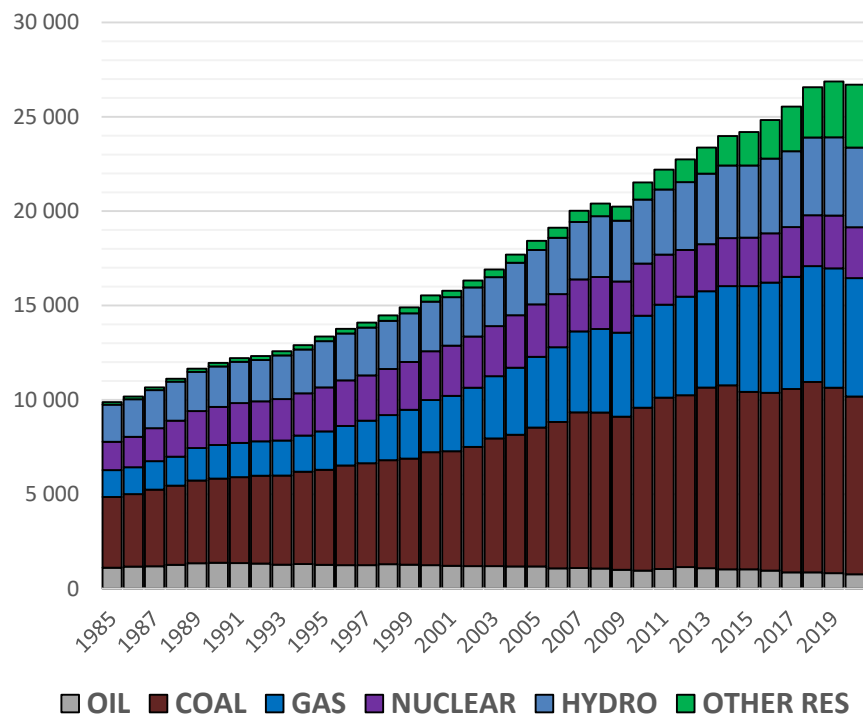
Энергопотребление по странам и источникам энергии, ТВтч, 2019



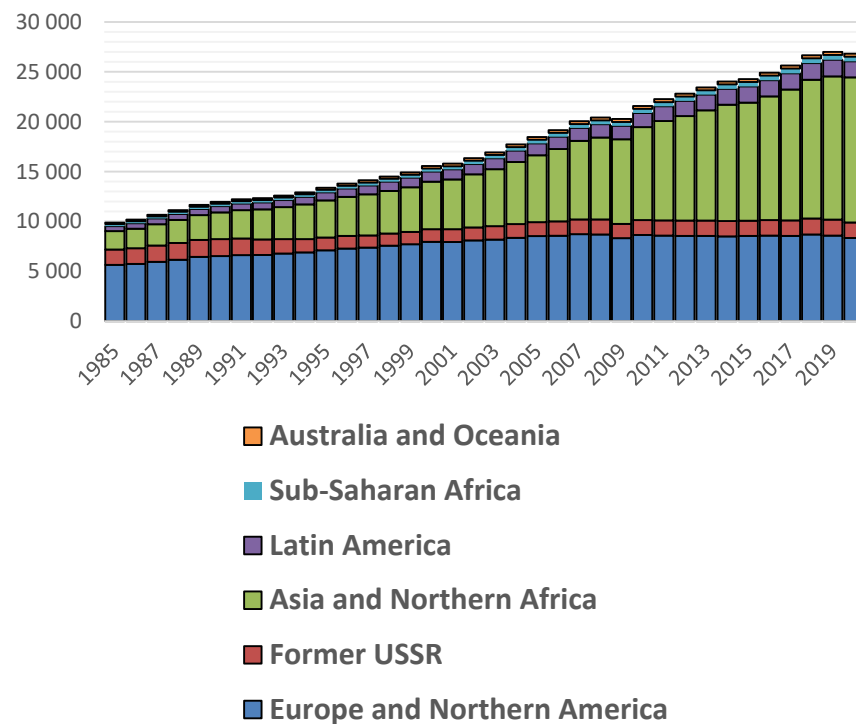
Доля углеводородов в энергопотреблении: ЕС – 74%, США – 83%, Китай – 85%, Япония – 87%, Россия – 88%, Индия – 91%.
В России наиболее велика доля газа – 54%, В Китае и Индии угля – 57% и 55%, соответственно.

Структура мирового производства электроэнергии, 1985-2020

Производство электроэнергии по источникам, ТВтч, 1985-2020

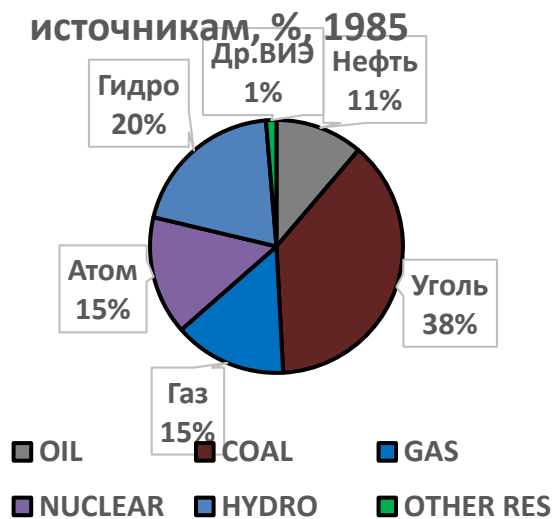


Производство электроэнергии по регионам, ТВтч, 1985-2020

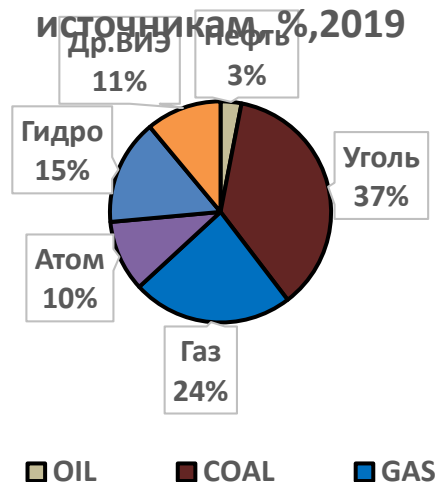


Сравнение структуры производства электроэнергии по источникам в 1985 и 2019 гг.

Мировое производство электроэнергии по источникам, %, 1985



Мировое производство электроэнергии по источникам, %, 2019



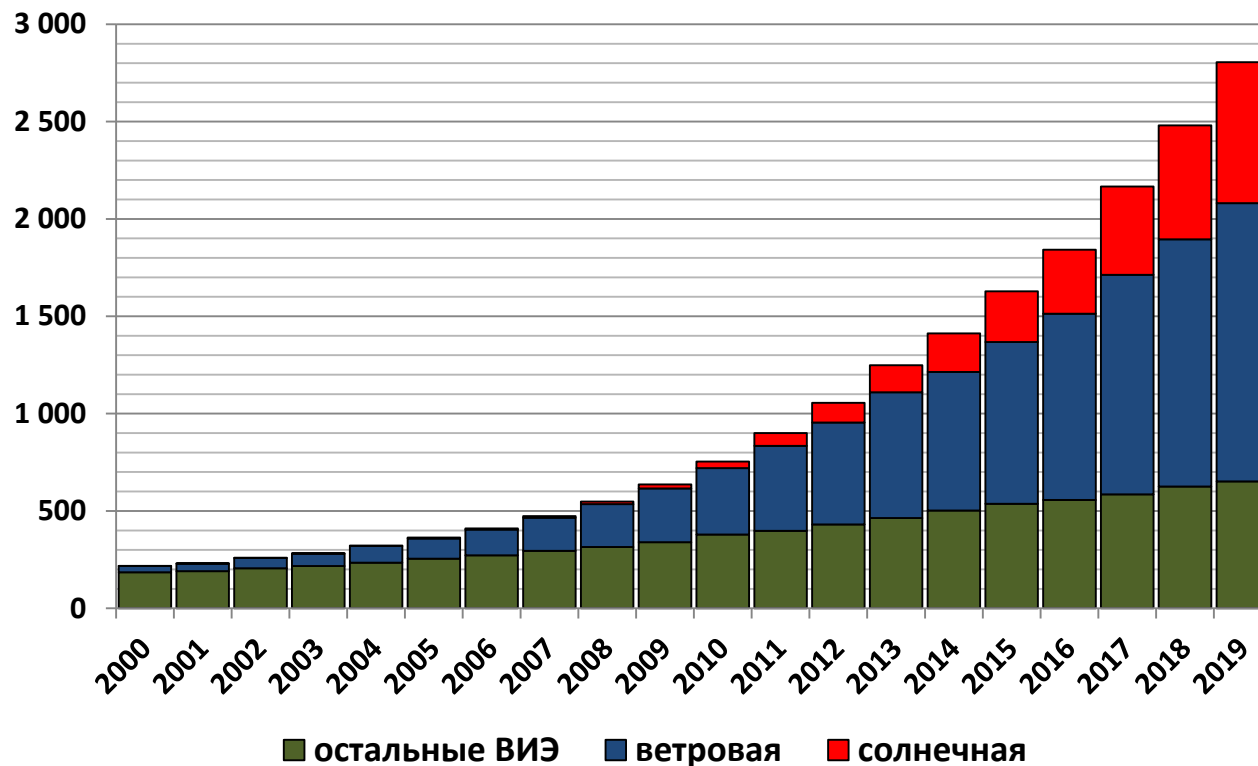
В 1985 на долю углеводородов приходилось 64% мировой выработки электроэнергии, в 2019 году она оставалась на уровне 64%. Доля ветровой и солнечной энергии выросла, но доля атомной и гидроэнергии сократилась.

Структура производства электроэнергии по странам



Доля углеводородов в производстве электроэнергии: ЕС – 39%, Россия – 62%, США – 63%, Китай – 68%, Япония – 72%, Индия – 79%

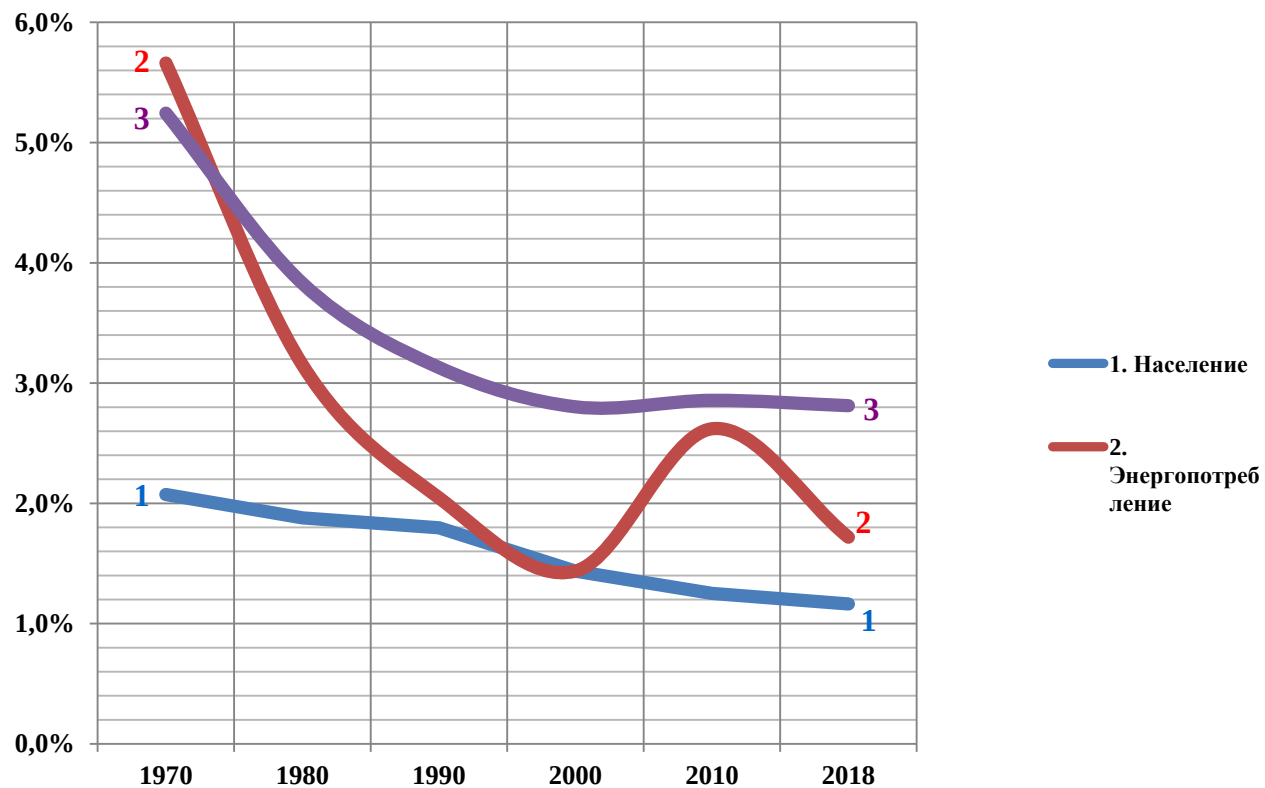
Рост производства электроэнергии за счёт ВИЭ (кроме ГЭС), ТВтч, в 2000-2019 гг.*



В абсолютных единицах производство электроэнергии за счёт ВИЭ (кроме гидроэнергии) с 2000 по 2019 год выросло с 200 ТВтч до 3000 ТВтч – в 15 раз

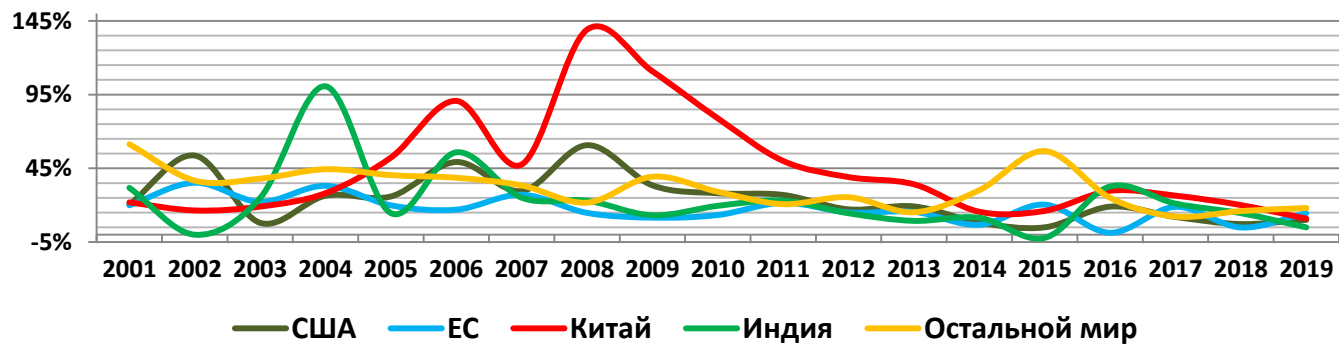
**по данным BP World Energy Statistical Review, 2020*

Темпы роста мирового населения, энергопотребления и ВВП, % к предыдущему году, 1970-2018

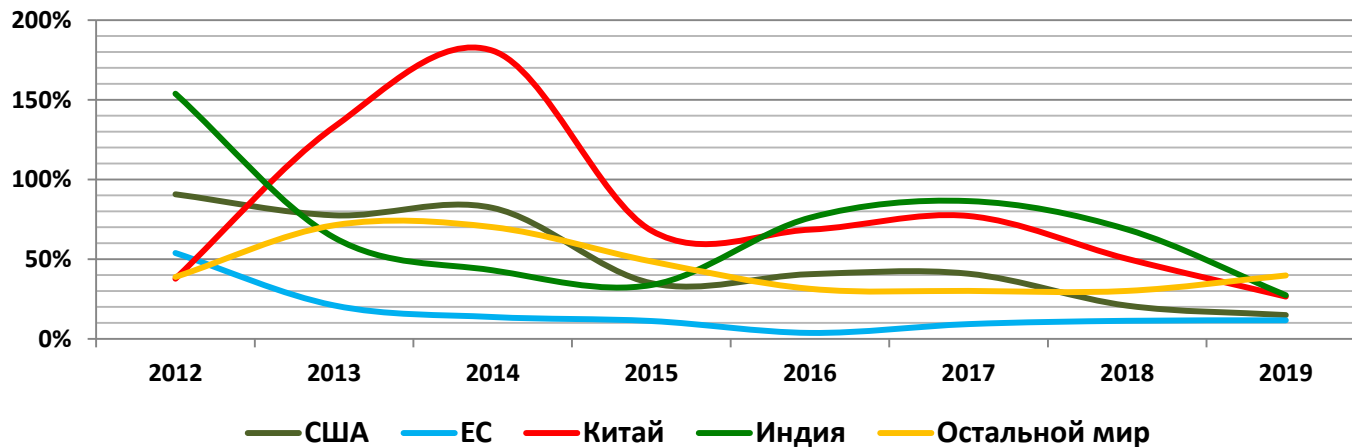


Темпы роста производства солнечной и ветровой электроэнергии по регионам, % к
предыдущему году

Ветроэнергетика



Солнечная электроэнергетика



Объём потребления энергии к 2050 году

В настоящее время мировое энергопотребление составляет 160 000 ТВтч (84%, или 135 000 ТВтч – за счёт ископаемых энергоносителей). Потребление на душу населения:

- В среднем по миру – 20 000 кВтч;
- Европа, Россия, Северная Америка, Япония, большинство стран Ближнего Востока - 35 000 – 40 000 кВтч и выше;
- Большинство стран Южной и Юго-Восточной Азии – менее 10 000 кВтч (Индия – 6 000 кВтч, Пакистан – 6 000, Бангладеш – 3 000, Индонезия – 7 000, Филиппины – 5 000, Вьетнам – 12 000...)
- Субсахарская Африка – менее 3 000 кВтч;

Только при росте душевого энергопотребления в Субсахарской Африке до 10 000 кВтч мировое энергопотребление вырастет на 7 000 ТВтч; с учётом двукратного роста населения в регионе к 2050 году – на 14 000 ТВтч.

При росте душевого потребления энергии в Южной и Юго-Восточной Азии до 15 000 кВтч общее потребление вырастет ещё на 20 000 – 30 000 ТВтч.

Итого, мировое энергопотребление с учётом роста только в этих регионах к 2050 году превысит 200 000 ТВтч (на 25% выше нынешнего уровня); но более реальна перспектива ещё более существенного роста – в 1,5 раза до 250 000 ТВтч.

Вопрос, возможно ли обеспечение данных потребностей в энергии только за счёт неуглеродных источников, если на данный момент они обеспечивают менее 20%, и эта величина существенно не изменилась за последние несколько десятилетий?

Сколько стоит тотальная декарбонизация к 2050 году?

По разным расчётам, полный переход человечества на неуглеродные источники может обойтись в \$100 – 150 трлн. (в т.ч. около \$ 30 трлн. в США, \$ 16 трлн. (100 трлн юаней) в Китае и т.д.).

Мы можем провести свой приблизительный расчёт:

- Исходя из того, что на неуглеродных источниках вырабатывается, главным образом, электроэнергия,
- 200 000 ТВтч (минимальная оценка потребностей человечества в энергии к 2050 году) должны быть поставлены в виде электроэнергии; сколько электроэнергетических мощностей (атомных, гидро-, ветровых, солнечных) для этого потребуется?
- Допустим, средний КИУМ составит 50%. Тогда потребуется $(200\,000/8760)/0,5 = 45\text{ ТВт}$ (или 45 млрд кВт).
- Допустим, средние инвестиционные затраты на 1 кВт составят \$2000.
- Тогда общий объём инвестиций составит $\$2000 \cdot 45\text{ млрд.кВт} = \underline{\$ 90\text{ трлн.}}$

Другие проблемы:

- Возможен дефицит земли и ряда материалов (кобальт, никель, редкоземельные элементы и др.);
- В ряде случаев отсутствуют безуглеродные технологические решения (в частности, для воздушного и морского флота);

В настоящее время мировой объём инвестиций в энергообеспечение – около \$ 1,5 трлн в год. Затраты порядка \$ 100 трлн до 2050 года означают объём инвестиций порядка \$ 3 трлн в год, или в 2 раза выше нынешнего уровня.

Требуется ежегодный рост мощностей примерно в 10%. При этом, ветровые и солнечные мощности растут со скоростью 15%-30% в год, но атомные и гидроэнергетические – менее 2%-3% в год.

Проблемы водорода и электротранспорта:

Водород. Не является первичным энергоносителем. Два основных способа получения: 1) Конверсия углеводородов (больше частью газа); 2) Электролиз воды. Недостаток первого способа – использование углеводородов, создание «углеродного следа»; второго – большие затраты электроэнергии.

Электротранспорт. Потребитель электроэнергии, широкое развитие электротранспорта потребует и существенного наращивания электроэнергетических мощностей и производства электроэнергии (притом, что более 60% её сейчас производится на углеводородном топливе).

Вопрос – если декарбонизация экономики в обозримом будущем нереально, как быть с изменениями климата?

Что происходит с климатом

Потепление действительно идёт; примерно с XVIII-XIX вв. Оно сменило Малый Ледниковый период (продолжавшийся примерно с XIII-XIV до XVIII-XIX вв.). В то же время, текущее потепление (последних 200 лет) идёт на фоне похолодания последних 5000-6000 лет, сменившего Оптимум голоцена.

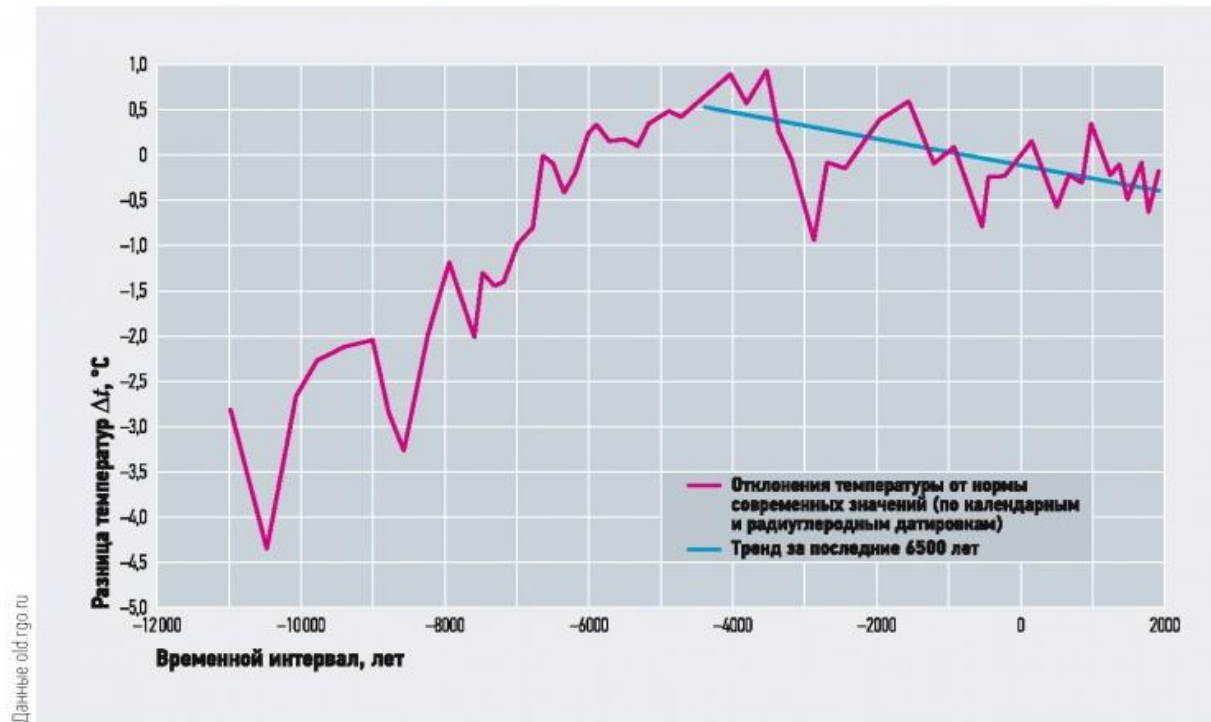


Рис. 1. Колебания температуры относительно современных значений в историческое время [13]

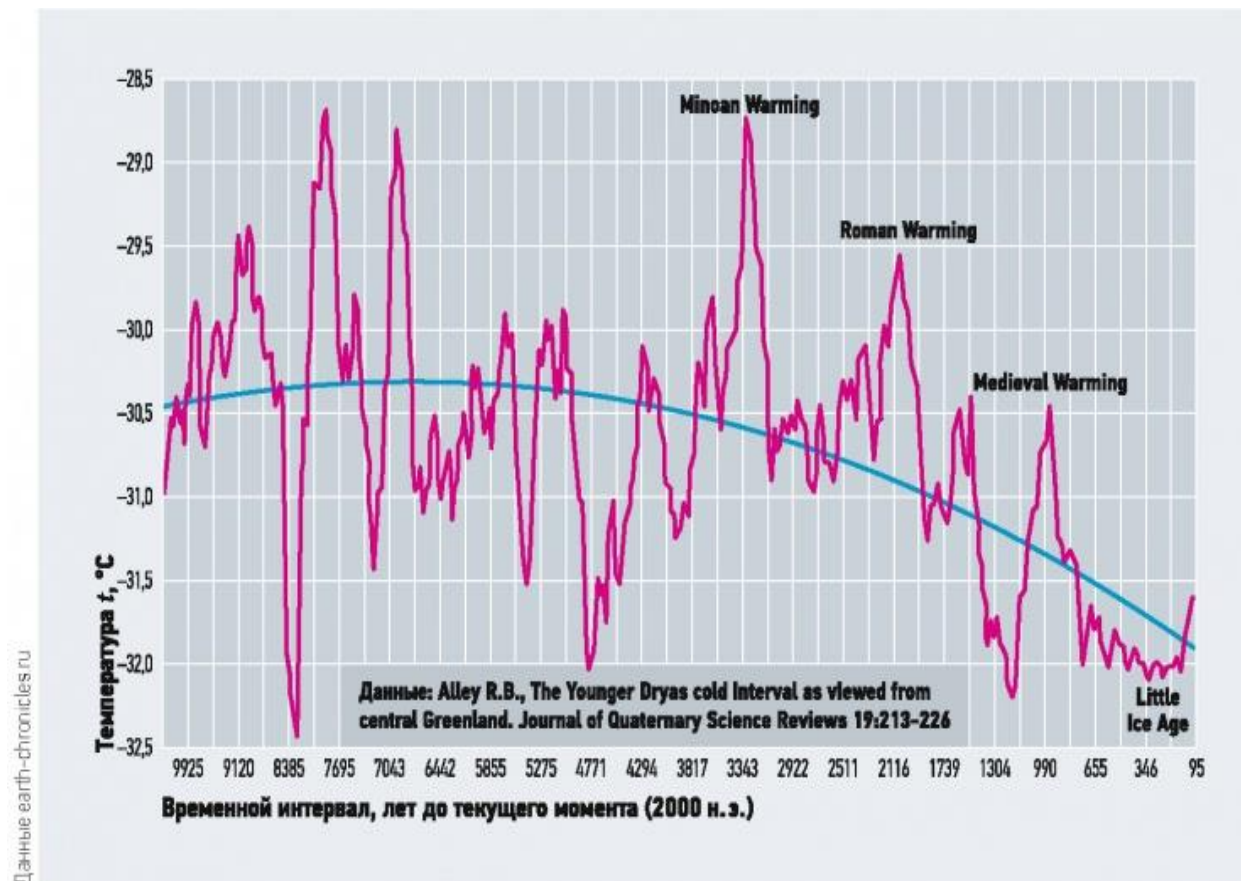


Рис. 2. Колебания глобальной температуры на Земле в последние 10 тыс. лет — по данным анализа керна гренландского льда [14]

Основные вехи изменений климата в историческом прошлом:

- - Послеледниковое потепление, завершившееся Климатическим оптимумом голоцена 5000-6000 лет назад (температура на 2⁰ выше современной, уровень океана на 1-2 метра выше современного); появление первых цивилизаций (Древний Египет, Шумер, Индская цивилизация)
- - Относительно холодный период (холоднее современного) 2000-3000 лет назад (эпоха Римской империи и зарождения христианства);
- - Средневековый климатический оптимум - пик около 1000 года (температура на 1⁰ выше современной); викинги – освоение Гренландии; Русь – освоение междуречья Оки и Волги;
- - Малый ледниковый период – 13-18 вв.; пик похолодания около 1550 года (температура на 2⁰ ниже современной); период Великих географических открытий; с другой стороны – больших социальных потрясений, революции и религиозных войн; Великая Смута на Руси;
- - Начало текущего потепления – с 18-19 вв.

2. Причины текущих изменений климата. Аргументы сторон.

Крайние позиции – полное отрицание антропогенной составляющей глобального потепления либо полное отрицание естественных процессов, в научной среде встречается редко, если встречается вообще. Другой вопрос – медиа и политики акцентируют внимание именно на «антропогенном потеплении».

Доводы сторонников концепции антропогенного потепления:

Ускорение потепления с середины XX века

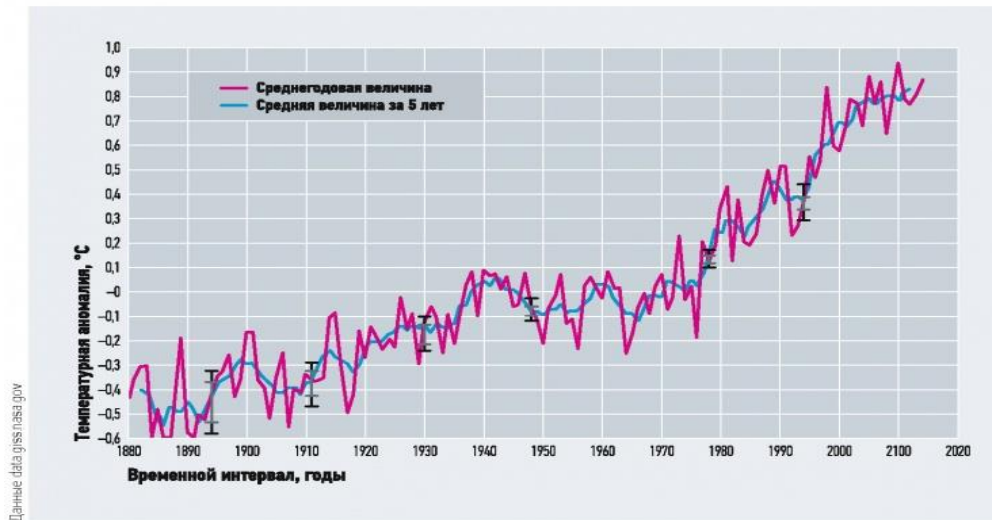
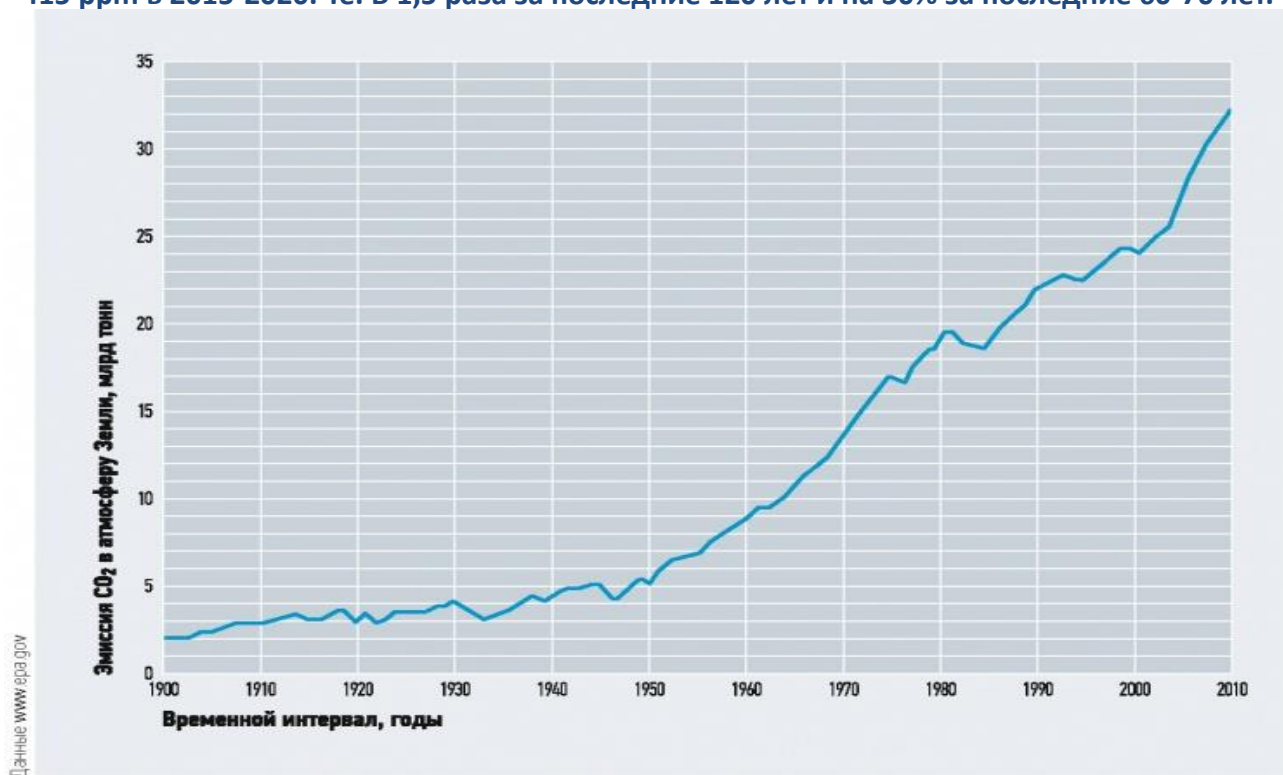


Рис. 3. Изменение глобальной температуры воздуха с конца XIX века [15]

Потепление идёт на фоне роста антропогенной эмиссии углекислого газа и концентрации парниковых газов, прежде всего, углекислого газа – CO_2 , в атмосфере: с 280 ppm (частей на миллион) в конце XIX – начале XX в., и около 310-320 ppm в середине XX века до 410-415 ppm в 2015-2020. Те. В 1,5 раза за последние 120 лет и на 30% за последние 60-70 лет.



■ ■ Рис. 6. Рост эмиссии CO_2 в результате сжигания ископаемого топлива с 1900 года [18]

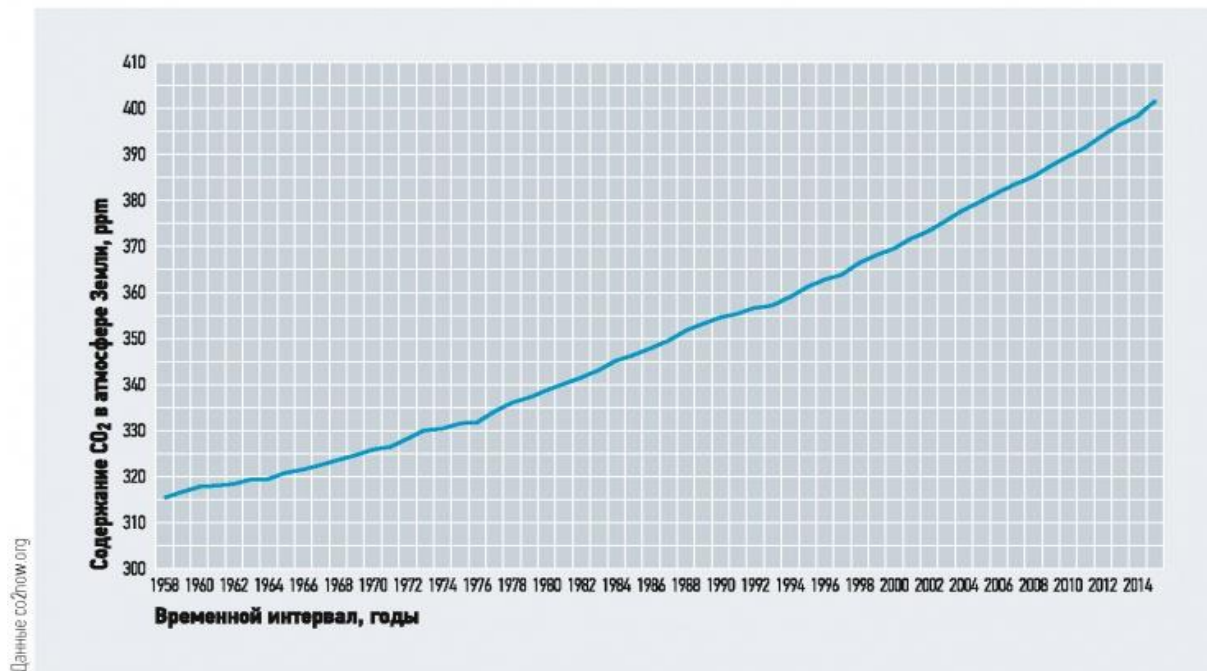


Рис. 5. Рост концентрации CO₂ в атмосфере в 1958–2015-х годах, по данным обсерватории Мауна-Лоа (Mauna Loa Observatory, MLO) на Гавайских островах [17]

И остаётся просто сопоставить факты потепления, роста антропогенных выбросов парниковых газов и роста их содержания в атмосфере, чтобы сделать однозначный вывод об антропогенном характере потепления

Отметим, что идея антропогенного потепления развивается давно и пережила ряд стадий:

- Парниковый эффект обнаружил Жан-Батист Фурье ещё в начале XIX века.
- В конце XIX века Сванте Аррениус предположил, что парниковый эффект может быть связан с двуокисью углерода.
- В 1938 Гай Стюарт Каллендер (Guy Stewart Callendar) на основе имевшихся тогда данных о росте содержания CO_2 в атмосфере и его выбросах при сжигании топлива, предположил, что парниковый эффект и потепление климата может иметь антропогенное происхождение. В СССР идею антропогенного характера потепления поддержал Михаил Иванович Будыко в 1970-е, один из крупнейших учёных – климатологов XX века. Интересно, что и Каллендер, и Будыко рассматривали потепление скорее как благо.

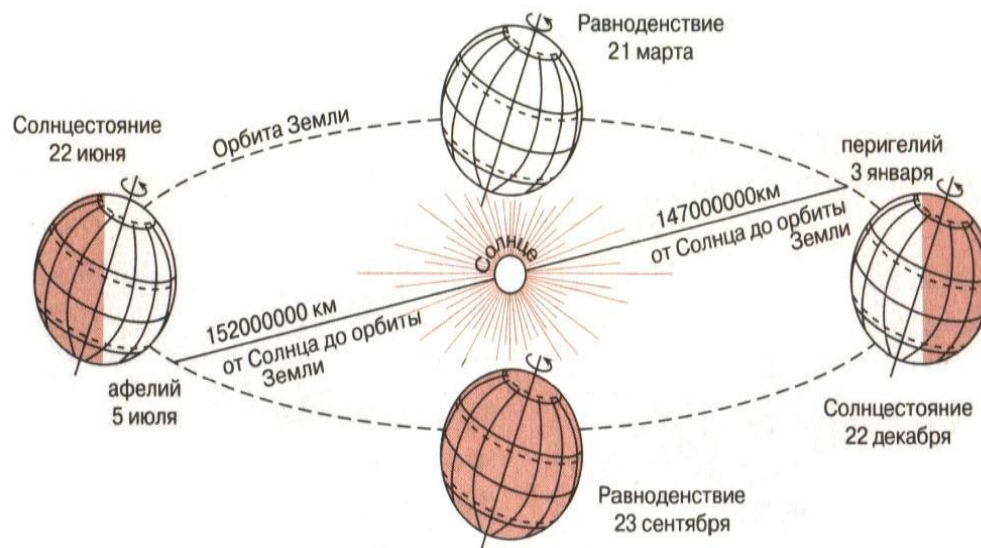
Тогда идея Каллендера не нашла поддержки, тем более, что в 1940-е потепление сменилось похолоданием, несмотря на продолжавшийся рост эмиссии CO_2 . Но эта идея была реанимирована позже, с 1970-х – 1980-х, в том числе, при политической и медийной поддержке и, к настоящему времени, стала доминирующей, вышла на политический и даже идеологический уровень, стала определяющей для государственной политики ряда стран и даже инструментом принуждения стран и человечества в целом к проведению определённой «климатической» политики.

Выдвигается ряд контраргументов разного характера (в целом, у сторонников «естественной» концепции точки зрения по ряду позиций могут не совпадать).

Доводы сторонников естественной природы потепления:

Изменения климата определяются изменениями параметров орбиты Земли, определяющими изменение инсоляции, которая, в свою очередь, определяет параметры теплообмена.

- На основе солярной концепции изменения климата Милутина Миланковича.



Чередование похолоданий и потеплений обнаруживает корреляцию с циклами солнечной активности.

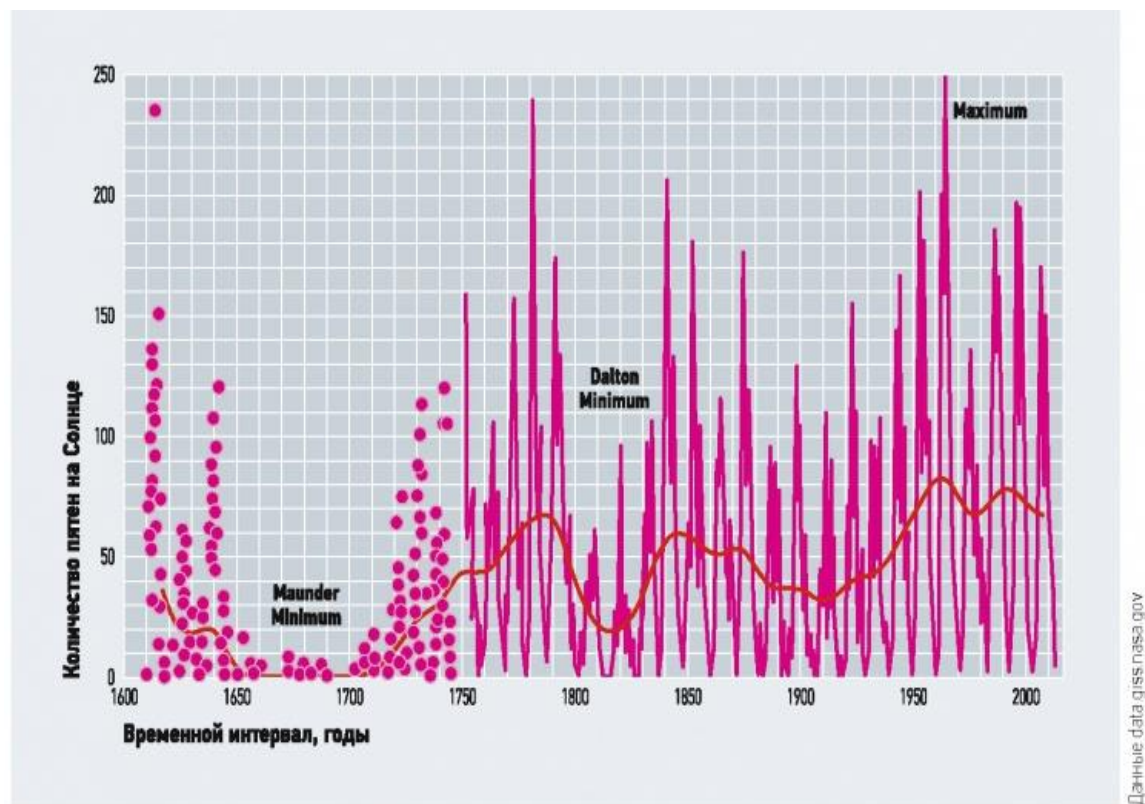


Рис. 7. Колебания солнечной активности в последние 400 лет

- На Земле были периоды теплее нынешнего, в том числе в историческом прошлом (голоценовый оптимум, оптимум средневековья), при этом углекислого газа в атмосфере было в 1,5 раза меньше, чем сейчас.
- Также был период похолодания 1940-х – 1960-х, несмотря на продолжение роста эмиссии парниковых газов.
- Основным парниковым газом является не углекислый газ, а водяной пар, которого в атмосфере в 5 раз больше (по массе), чем CO_2 .
- При этом, доля антропогенной эмиссии CO_2 - около 30 млрд. тонн в год в настоящее время, составляет менее 1,5% всего содержания CO_2 в атмосфере.
- Кроме того, основным резервуаром CO_2 является океан, где его содержится в десятки раз больше, чем в атмосфере. При нагревании океана его способность к растворению CO_2 снижается, соответственно, его содержание в атмосфере растёт. И, если связывать нагревание океана с естественными причинами, то причинно-следственная связь «эмиссия – потепление климата» обратна – именно первичное потепление вызывает рост содержания CO_2 .

Изменения уровня океана в голоцене

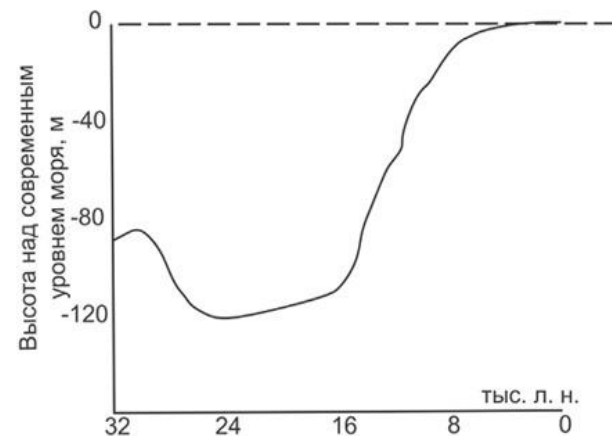
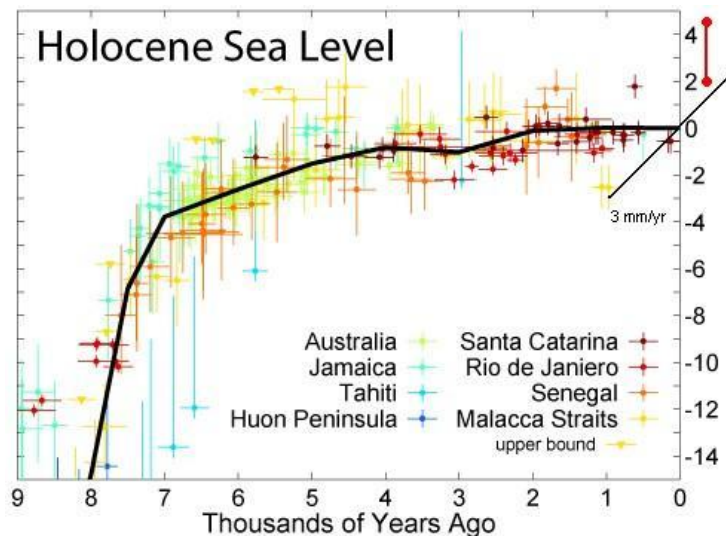
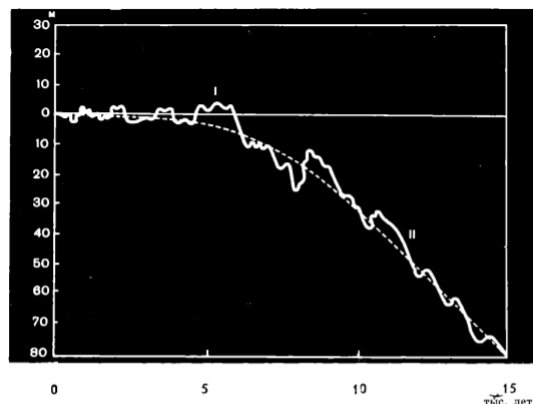


Рис. 86. Изменение относительного уровня Мирового океана по данным изучения коралловых построек [Peltier, Fairbanks, 2006].



Графическое изображение колебаний уровня (в метрах) Мирового океана, по Р. Фейрбриджу (I) и Ф. Шепарду (II).

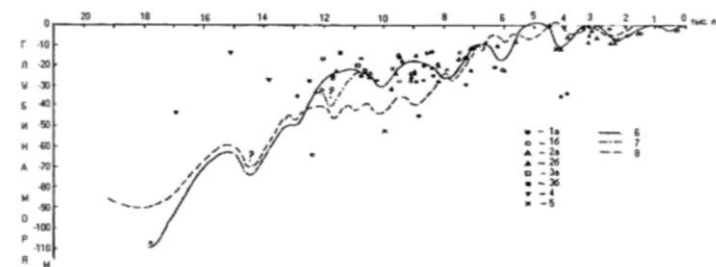


Рис. 2. Кривые колебаний уровней Черного моря (6 — достоверная, 7 — предполагаемая) и Мирового океана (8):

Точки датирования возраста отложений по радиоуглеродному методу: 1 — на северо-западном шельфе: а — по торфам и растительным остаткам; б — по моллюскам; 2 — в причерноморских лиманах: а — по моллюскам; б — по торфам; 3 — в Азовском море: а — по моллюскам; б — по торфам; 4 — аллювиальных отложений по торфам; 5 — на кавказском шельфе по моллюскам.

Плюсы и минусы потепления

Общие характерные особенности потепления:

- Потепление идёт неравномерно, сильнее в высоких широтах. Если в среднем в мире за последние 100-120 лет температура поднялась на 1° , то, например, в Российской Арктике – на 4° , в России в целом – на 2° , в экваториальных зонах практически не меняется.
- Идёт смещение природных зон в более высокие широты (соответственно, на север – в Северном полушарии и на юг – в Южном).

Основные плюсы: улучшение условий хозяйства в высоких широтах (нынешняя зона тайги и смешанных лесов; Сибирь и средняя полоса России). Плюсы роста концентрации CO₂ – также рост продуктивности растений.

Любопытно, что Каллендер, первый, выдвинувший концепцию антропогенного потепления, рассматривал его как благо – улучшение условий сельского хозяйства в высоких широтах и предотвращение очередного Ледникового периода.

Основные минусы: рост засушливости в субтропических широтах, нынешних зонах степи и лесостепи. Рост частоты катастрофических природных явлений (ураганы, лесные пожары, наводнения) также связывают с потеплением климата. Кроме того, указывается на опасность роста уровня Мирового океана, что может привести к затоплению обширных территорий (в настоящее время повышение уровня Мирового океана – около 3-3,5 мм в год).

Возможно, более разумной стратегией является не «борьба с изменениями климата», а приспособление к ним. Также развитие низкоуглеродной энергетики невозможно с опорой только на ВИЭ; скорее, разумнее опираться на своего рода триаду:

- 1) Возобновляемые источники энергии;
- 2) Атомную энергию;
- 3) Газ.

Также, возможно развитие новых направлений в энергетике:

- управляемый термоядерный синтез;
- использование реакторов – размножителей (nuclear breeding), в частности, реакторов на быстрых нейтронах (российский пример – Белоярская АЭС);
- использование свободного водорода (?)

Источники и материалы для дополнительного изучения

Мальтус Т.Р. Опыт о законе народонаселения. https://batrachos.com/sites/default/files/pictures/Books/meadows_dr_2014_predely_rosta_30_let_spustya.pdf

The Limits to Growth (Доклад Римскому клубу, 1972). <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>

То же, сокращённая версия: <https://web.ics.purdue.edu/~wggray/Teaching/His300/Illustrations/Limits-to-Growth.pdf>

За пределами роста (30 лет спустя): https://batrachos.com/sites/default/files/pictures/Books/meadows_dr_2014_predely_rosta_30_let_spustya.pdf

Our common future. https://www.netzwerk-n.org/wp-content/uploads/2017/04/0_Brundtland_Report-1987-Our_Common_Future.pdf

IRENA: <https://www.irena.org/energytransition>

Данные о населении мира:

<https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/database/index.asp>

<https://clck.ru/aoHoS>

<https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/fertility-rate>

Капица С.П. Парадоксы роста. Законы глобального развития человечества. 2010. <https://www.litmir.me/br/?b=230286&p=1>

Данные и прогнозы по мировому потреблению энергии:

International Energy Agency: <https://www.iea.org/>

British Petroleum: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

Дегтярев К.С. Ключевые тенденции потребления энергии в XXI веке. *Энергетическая политика* — 2021. — № 5. — сс. 54–63. DOI: 10.46920/2409-5516_2021_5159_54 <https://energypolicy.ru/klyuchevye-tendenczii-potrebleniya-energii-v-xxi-veke/energetika/2021/12/21/>

Данные по мировому ВВП:

<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>

<https://www.worldometers.info/gdp/>

<https://worldpopulationreview.com/countries/countries-by-gdp>

Данные по стоимости перехода к неуглеродной экономике:

Carbon neutrality to cost 100 trillion yuan

<https://www.chinadaily.com.cn/a/202102/01/WS60173bf6a31024ad0baa649c.html>

Powering to the Transition to Net Zero

<https://www.brookfield.com/insights/powering-transition-net-zero>

U.S. Secretary Yellen Puts Climate Change Transition Efforts Topping at \$150 Trillion

<https://www.swfinstitute.org/news/89398/u-s-secretary-yellen-puts-climate-change-transition-efforts-topping-at-150-trillion>

Carbon-Neutral Pathways for the United States

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2020AV000284>

Making America Carbon Neutral Could Cost \$ 1 trillion a year

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-05-13/making-america-carbon-neutral-could-cost-1-trillion-a-year>

Дегтярев К.С., Березкин М.Ю. О проблемах водородной экономики // Окружающая среда и энергоснабжение. 2021 - №1 – с. 14-23. <http://jeees.ru/wp-content/uploads/2021/05/jeees2021-01.pdf>

Дегтярев К.С. Где взять водород? // Наука и жизнь. 2022 - №1. <https://www.nkj.ru/archive/articles/43176/>

Инвестиции в мировую энергетику: Global Investment in Energy Supply, 2010-2020. IEA. URL: <https://clck.ru/aurQ6>

Вопросы изменения климата:

Фёдоров В.В. Соляная теория изменений климата // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2021 - №2. – с. 78–95. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5091967>
<http://jeees.ru/wp-content/uploads/2021/07/2021-02.pdf>

Ronan Connolly *et al* 2021. How much has the Sun influenced Northern Hemisphere temperature trends? An ongoing debate. *Res. Astron. Astrophys.* 21 131 DOI: <https://doi.org/10.1088/1674-4527/21/6/131>

<https://www.researchgate.net/publication/351901488> How much has the Sun influenced Northern Hemisphere temperature trends An ongoing debate

Дегтярев К.С. Изменения климата и ВИЭ – мнения, факты, прогнозы. // СОК – 2015 - №8. <https://www.c-o-k.ru/articles/izmeneniya-klimata-i-vie-mneniya-fakty-prognozy>

Замолодчиков Д.Г. Углеродный цикл и изменения климата // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2021 - №2 – с. 53-69. <http://jeees.ru/wp-content/uploads/2021/07/2021-02.pdf>

Семинар «Причины изменений климата и вес антропогенной составляющей: модели и результаты. Оценки роли парниковых газов в изменениях климата», запись: <http://jeees.ru/2021/07/03/climate-change-talks/> , <https://www.facebook.com/centeroru/videos/4232680983460542/>
<https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>

Управляемый термоядерный синтез: Нигматулин Р.И. Управляемый термоядерный синтез и будущее энергетики // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2020 - №3 – с.31-38. <http://jeees.ru/wp-content/uploads/2021/04/jeees2020-03.pdf>

Возобновляемая энергетика в России – потенциал, реальность и перспективы

К.С. Дегтярев

Московский гос. Университет им. М.В. Ломоносова

Географический факультет,

Лаборатория возобновляемых источников энергии

kir1111@rambler.ru



Фото: energybase.ru

**Часть 1. Россия – территориальная
дифференциация в контексте ВИЭ**

**Часть 2. Возобновляемая энергетика России
и её регионов – история, реальность, планы
и потенциал**

Условия, благоприятные для развития возобновляемой энергетики на основе данного источника

Вид ВИЭ	Территории и их особенности
Солнечная	Зоны низких широт (экваториальные и субэкваториальные, тропические и субтропические широты), отличающиеся более высоким годовым потоком солнечной энергии и более равномерным его распределением по сезонам. Потенциал увеличивается также в высокогорных районах в силу увеличения прозрачности атмосферы и на территориях с господством антициклональной атмосферной циркуляции в силу большего количества ясных дней.
Гидроэнергетика	Территории с большим количеством осадков и высоким коэффициентом увлажнения, что создаёт условия формирования густой речной сети и больших объёмов стока. Потенциал существенно увеличивается на территориях с большими перепадами высот (горных и предгорных). Большая часть территорий с повышенным гидроэнергетическим потенциалом расположена в низких широтах (Центральная и Южная Америка, Центральная Африка, Южная и Юго-Восточная Азия).
Ветроэнергетика	Зоны стабильных и сильных ветров. Среди крупнейших – зоны глобальной атмосферной циркуляции: пассатов и муссонов в тропических широтах, зоны западного переноса в умеренных широтах и полярной циркуляции – в высоких. Также, на региональном и локальном уровне: открытые пространства (например, степные), прибрежные и предгорные зоны.
Биоэнергетика	Зоны высокой биопродуктивности, связанные с высоким увлажнением и, преимущественно, низкоширотным положением. Также территории (в значительной степени также находящиеся в пределах зон естественной высокой биопродуктивности): 1) с большой площадью лесов и развитым лесоперерабатывающим комплексом, позволяющим развивать биоэнергетику на отходах лесопереработки; 2) с развитым сельским хозяйством и, как следствие, возможностью развития биоэнергетики на отходах сельского хозяйства; 3) городских агломераций с большим количеством бытовых и коммунальных отходов.
Приливная энергетика	Прибрежные зоны больших морей и океанов с изрезанной береговой линией.
Геотермальная энергетика	Зоны повышенной тектонической активности, на суше чаще всего приурочены к горным территориям, в океане – к рифтовым зонам. Примеры: периметр Тихоокеанского «огненного кольца» (включая Дальний Восток России), зона Восточно-Африканского рифта, Альпийско-Гималайский горный пояс (включая Кавказ), Срединно-Атлантический хребет (с которым связана, в частности, геотермальная энергия Исландии).

Территории с благоприятными природными условиями для развития возобновляемой энергетики

Особенности территории	Факторы, определяющие высокий потенциал ВИЭ
Низкие широты	Большее количество солнечной энергии с меньшей неравномерностью её сезонного распределения. В свою очередь, большое количество солнечной энергии создаёт предпосылки для более активного: 1) движения воздушных масс и, как следствие, ветровой энергии; 2) испарения и круговорота воды и, как следствие, большей полноводности водотоков и высокого гидроэнергетического потенциала; 3) роста биомассы и высокого биоэнергетического потенциала.
Территории с большим количеством осадков и высоким коэффициентом увлажнения территории	Предпосылки для: 1) формирования густой речной сети с большими объёмами стока воды и, как следствие, высокого гидроэнергетического потенциала. При сочетании с большими перепадами высот, как правило, в предгорных и горных районах он существенно увеличивается. 2) активного роста биомассы и высокого биоэнергетического потенциала, существенно увеличивающегося при сочетании с большим количеством солнечной энергии.
Открытые (степные) пространства	Предпосылки для более высоких скоростей ветра вследствие отсутствия преград и, как следствие, высокого ветроэнергетического потенциала.
Предгорная и горная местность	Предпосылки для формирования высокого потенциала почти всех видов возобновляемой энергии: 1) гидроэнергии вследствие большого перепада высот; потенциал существенно усиливается, если горы выступают в качестве барьера на пути влажных воздушных масс, и на территории выпадает большое количество осадков; 2) ветровой энергии вследствие более высоких скоростей ветра; 3) биоэнергии при сочетании с большим количеством осадков; 4) солнечной энергии в высокогорных районах вследствие увеличения прозрачности атмосферы; 5) как правило, горные территории связаны с зонами повышенной тектонической активности и, как следствие, высоким геотермальным потенциалом.
Береговая линия, прибрежная зона	1) Как правило, высокие скорости ветра и, как следствие, ветроэнергетический потенциал; 2) При изрезанной береговой линии, на побережьях океанов и больших морей – высокий потенциал приливной энергии
Территории с высокой тектонической активностью	Высокий потенциал геотермальной энергии

Территории с благоприятными хозяйственными и социальными предпосылками развития возобновляемой энергетики

Особенности территории	Преимущества для развития энергетики на основе возобновляемых энергоресурсов
Территории с большой площадью леса и развитой лесоперерабатывающей промышленностью	Образование большого количества отходов лесопереработки для развития биоэнергетики
Территории с развитым сельским хозяйством	Образование большого количества отходов сельского хозяйства для развития биоэнергетики
Городские агломерации, густонаселённые территории	Образование большого количества бытовых и коммунальных отходов для развития биоэнергетики
Редконаселённые и отдалённые территории, малые и отдалённые населённые пункты	Предпосылки для развития малой автономной энергетики на основе местных возобновляемых энергетических ресурсов, связанные с высокими затратами на поставку энергоносителей извне (наиболее яркий пример – проблема «северного завоза» на арктические территории; но такие территории и районы есть и в европейской части России). Кроме того, низкая плотность населения и инфраструктуры создаёт больше возможностей и для размещения крупных ветропарков и солнечных станций, требующих больших площадей.
Территории с низким уровнем экономического развития	Преимущественно это сельские территории с сельским хозяйством в качестве основы экономики, также часто сталкивающиеся с дорогим и ненадёжным энергоснабжением извне. Развитие энергетики на основе местных возобновляемых ресурсов помогает решить проблему энергоснабжения, а также стать драйвером общего экономического роста.

**Информация, требуемая для оценки (комплексной географической экспертизы или диагностики)
предпосылок развития возобновляемой энергетики на данной территории**

- Географическое положение территории – широтное положение, положение относительно моря, гор, других регионов;
- Геологические условия территории, тектоническая и вулканическая активность, инженерно-геологические условия;
- Характер подстилающей поверхности, рельеф территории, перепады высот;
- Климат, распределение температур по сезонам;
- Годовое количество осадков, коэффициент увлажнения, распределение осадков по сезонам;
- Принадлежность к природно-растительной зоне, характер растительности;
- Гидрография территории, густота речной сети, объёмы речного стока и его распределение по сезонам;
- Население – плотность населения, характер расселения, распределение по городам и сельским населённым пунктам;
- Особенности хозяйства – в частности, лесного хозяйства, сельского хозяйства;
- Объём и структура энергопотребления территории, источники энергии, используемые в настоящее время, проблемы с энергообеспечением в настоящее время, наличие избытка или дефицита производства энергии на собственной территории;
- Общий уровень экономического развития региона, уровень доходов, бюджет территории, возможность финансирования развития возобновляемой энергетики за счёт собственных средств и потребность во внешней финансовой поддержке;
- Социальные и институциональные факторы развития возобновляемой энергетики (осведомлённость общества о ВИЭ и возможности энергообеспечения на их основе и готовность их использовать; наличие кадров и институтов, способных продвигать развитие возобновляемой энергетики и т.д.).

Специфика России

- Высокие энергетические потребности, обусловленные природными условиями и расстояниями;
- В то же время, недостаточная энерговооружённость по сравнению с сопоставимыми странами – потребление энергии на душу населения (тыс. кВтч): Россия – 57, США – 80, Канада – 107, Австралия – 70.
- Сравнительно низкие значения солнечной и ветровой энергии на большей части территории страны;
- В то же время, высокий гидроэнергетический потенциал и биоэнергетический потенциал (связанный с отходами лесопереработки или сельского хозяйства) на значительной части территории;
- Высокий потенциал геотермальной и приливной энергии в определённых зонах;
- Большое разнообразие и неоднородность условий развития возобновляемой энергетики;
- Развитая единая система энергоснабжения на основе ТЭС, АЭС и крупных ГЭС;
- В то же время - обширные территории с высокой дисперсностью расселения и удалённые от источников энергии (не только в Сибири и на Крайнем Севере).

Вопрос «дешёвой нефти и газа» и «нефтегазового лобби»:

1. В ряде случаев выгоднее экспорт, чем поставки на внутренний рынок;
2. В настоящее время проекты ВИЭ продвигают, большей частью, крупные корпорации с большими финансовыми ресурсами.

Структура производства и потребления энергии по источникам принципиально не отличается от остального мира

Часть 1. Россия – территориальная дифференциация в контексте ВИЭ

Пояс	Территория	Особенности
Север (арктическая зона)	Крайний север Европейской части, большая часть Сибири и Дальнего Востока	Локально высокий природный потенциал ВИЭ. Низкая плотность и высокая дисперсность расселения населения, удалённость от централизованных сетевых источников энергии
Северно-Центральный лесной	Север и Центр Европейской части, Верхнее и Среднее Поволжье, Северный и Средний Урал, средняя часть Сибири, южная часть Дальнего Востока	Высокий потенциал гидроэнергии и биоэнергии на основе лесной биомассы, торфа и лесопереработки, локально – сельского хозяйства. Сравнительно низкий солнечный и ветровой, Высокая дисперсность расселения сельского населения на большей части территории
Центрально-Южный степной	Центр и Юг Европейской части России, Нижнее Поволжье, Южный Урал, южные районы Западной, Средней Сибири, Прибайкалья и Забайкалья	Высокий потенциал солнечной и ветровой энергии, а также биоэнергии на отходах сельского хозяйства. Низкий потенциал гидроэнергии. Высокая доля сельского населения, часто сталкивающегося с проблемами в энергоснабжении.
Южный горный	Крым и Кавказ, горы Южной Сибири, юг Хабаровского края и Приморский край	Максимальный потенциал солнечной и ветровой энергии, гидроэнергии, геотермальной энергии; высокий потенциал биоэнергии на отходах с/х. Высокая доля сельского населения, часто сталкивающегося с проблемами в энергоснабжении.
Области повышения и сгущения потенциалов (выделены красной штриховкой на карте)		
1. Кольская	Кольский полуостров и прилегающие акватории	Повышенный потенциал гидроэнергии, ветровой и приливной энергии. Близость к экспортным рынкам.
2. Южная	Кавказ, Предкавказье, Крым	Повышенный потенциал солнечной, ветровой, гидро-, геотермальной и биоэнергии
3. Алтайская	Горы и предгорья Алтая	Повышенный потенциал солнечной, ветровой и биоэнергии
4.1. Камчатско-	Камчатка, Курильские острова и	Повышенный потенциал геотермальной, приливной,

Часть 2. Возобновляемая энергетика России и её регионов – история, реальность, планы и потенциал

Краткая история развития возобновляемой энергетики в России и СССР.

Начало XX века

Энергетический баланс Российской Империи перед Первой Мировой:

«До войны Россия покрывала почти две трети своего промышленного потребления топлива каменным углем: донецким, домбровским и заграничным, а остальную треть – нефтью и дровами. Торф и местные угли играли лишь ничтожную роль. На отопление домов потреблялось больше, чем на промышленность, и здесь преобладающее значение имели дрова»

(Г.М. Кржижановский, «Торф и кризис топлива», 1920).

Первые ГЭС:

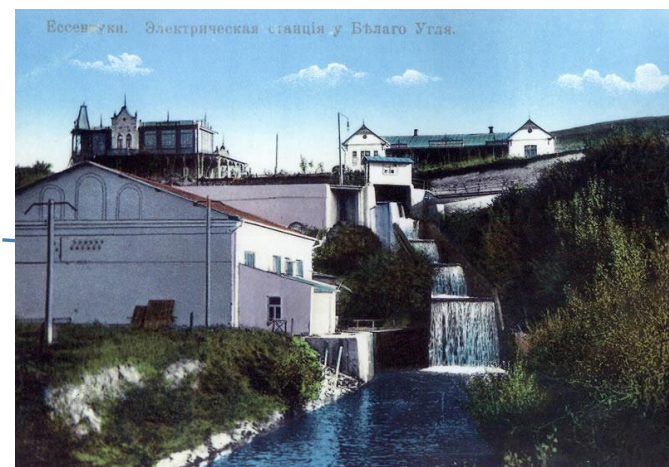
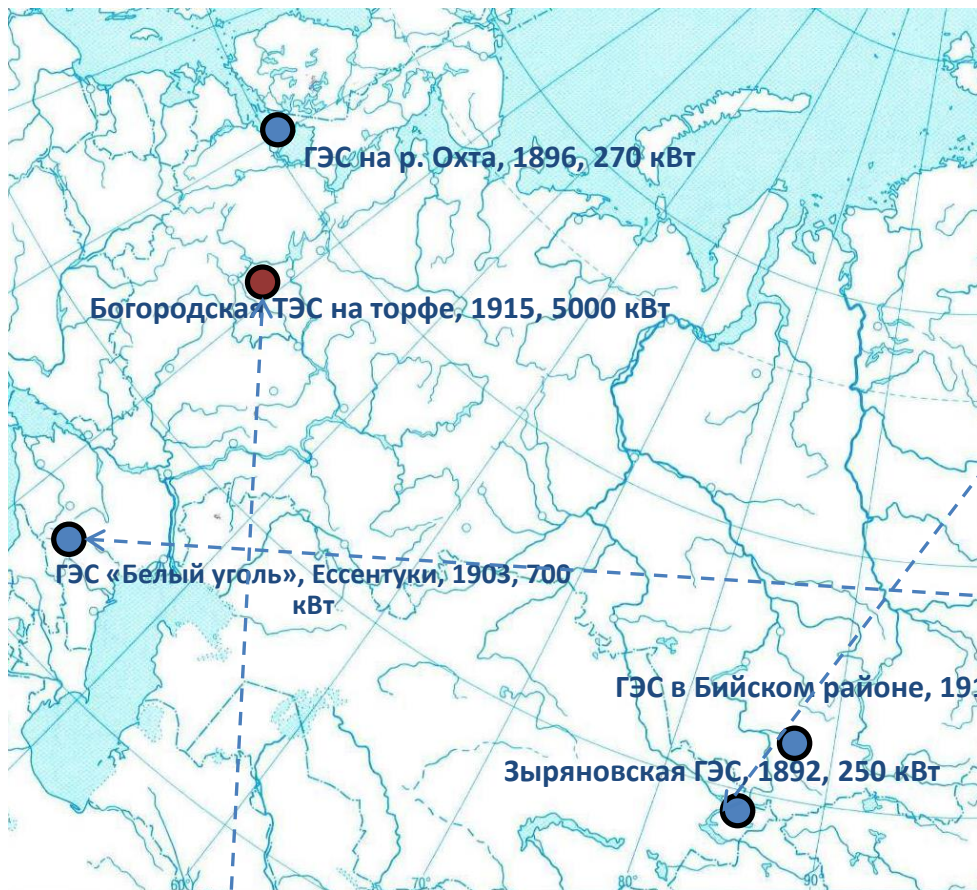
- Берёзовская ГЭС на Алтае в 1892 году (в настоящее время Восточно-Казахстанская область Казахстана) мощностью 200 кВт; проект горного инженера Николая Кокшарова;
- ГЭС на реке Охте в 1896 году мощностью 270 кВт; построена инженерами Владимиром Николаевичем Чиколевым и Робертом Эдуардовичем Классоном для электроснабжения охтинского порохового завода в Петербурге.
- ГЭС «Белый уголь» в Ессентуках на реке Подкумок мощностью 700 кВт в 1903.
- Гиндукушская ГЭС (1909 г.) на р. Мургаб, мощностью 1 350 кВт.

Всего около 80 ГЭС к 1913 году

Первая крупная ТЭС на торфе:

- Богородская ТЭС (в настоящее время – Ногинский район Московской области), 1915, мощность 5 МВт, в проектировании и строительстве участвовал Г.М. Кржижановский

Первые электростанции на возобновляемых источниках на территории России



«С Алтая сообщают о таком на первый взгляд маловероятном событии, как проникновению в нашу деревню электрического освещения. Мысль о появлении электричества в селе Старо-Бардинском Бийского уезда близка к осуществлению. Уже в октябре в каждой избе будет гореть электролампочка, так как фирма „Эрлангер“ обязана по договору с местной маслобойной артелью закончить оборудование к этому времени. Электрическая энергия будет поступать от водяной мельницы, которая устанавливается этой же фирмой. Средства берутся от продажи, в том числе и за границу, производимого здесь коровьего масла. Динамо-машина ставится такой силы, что кроме освещения энергии хватит ещё и для электрических маслобоек».

«Электричество и жизнь», 1912

Работы Г.М. Кржижановского:

- *Доклад «Областные электрические станции на торфе и их значение для Центрального промышленного района России» от 21 ноября 1915 г. на совещании по подмосковному углю и торфу под эгидой Бюро объединённых технических организаций.*
- *Кржижановский Г.М. Избранное // М., Гос. изд-во политической литературы, 1957, с. 9-20.*
- *Кржижановский Г.М. К 35-летию плана ГОЭЛРО // План ГОЭЛРО. – М., ИД ЭНЕРГИЯ, 2006, с.5-39*

После 1917 года

В.И. Ленин, «Набросок плана научно-технических работ», апрель 1918:
«Водные силы и ветряные двигатели вообще и в применении к земледелию...».

Г.М. Кржижановский, «Торф и кризис топлива», 1920:

«Потеря домбровского и заграничного углей лишила нас сразу 30% всего промышленного топлива. Потребление топлива в Центрально-промышленном районе в средних круглых цифрах за 1914 и 1915 гг. даёт уже такой годичный баланс, учитывающий всю стационарную промышленность и всё централизованное отопление Москвы (в переводе на донецкий уголь в 7 тыс. калорий и в миллионах пудов): нефть – 77, донецкий уголь – 105, дрова – 114, торф – 41, подмосковный уголь – 3, а всего 340 млн. пудов. Таким образом, топливо местное (дрова, торф и бурый уголь) приблизительно составляют 50% общего баланса...

Нам приходится теперь приступить к переоценке топливных ценностей. Мы не можем рассчитывать на быструю поправку в направлении угля и нефти. Восстановление донецких копей, борьба с транспортной разрухой – работа ряда лет. Дальнейшее «налегание» на дрова грозит государству специфическими бедами, связанными с обезлесением громадных площадей. Подмосковный уголь представляет достаточно капризное топливо: он содержит много золы и серы, выветривается при хранении, мало калориен. Надежда на сланцы пока остаётся надеждой. Ясно, что следует отнестись с особым вниманием к тем перспективам, которые открывает использование торфа».

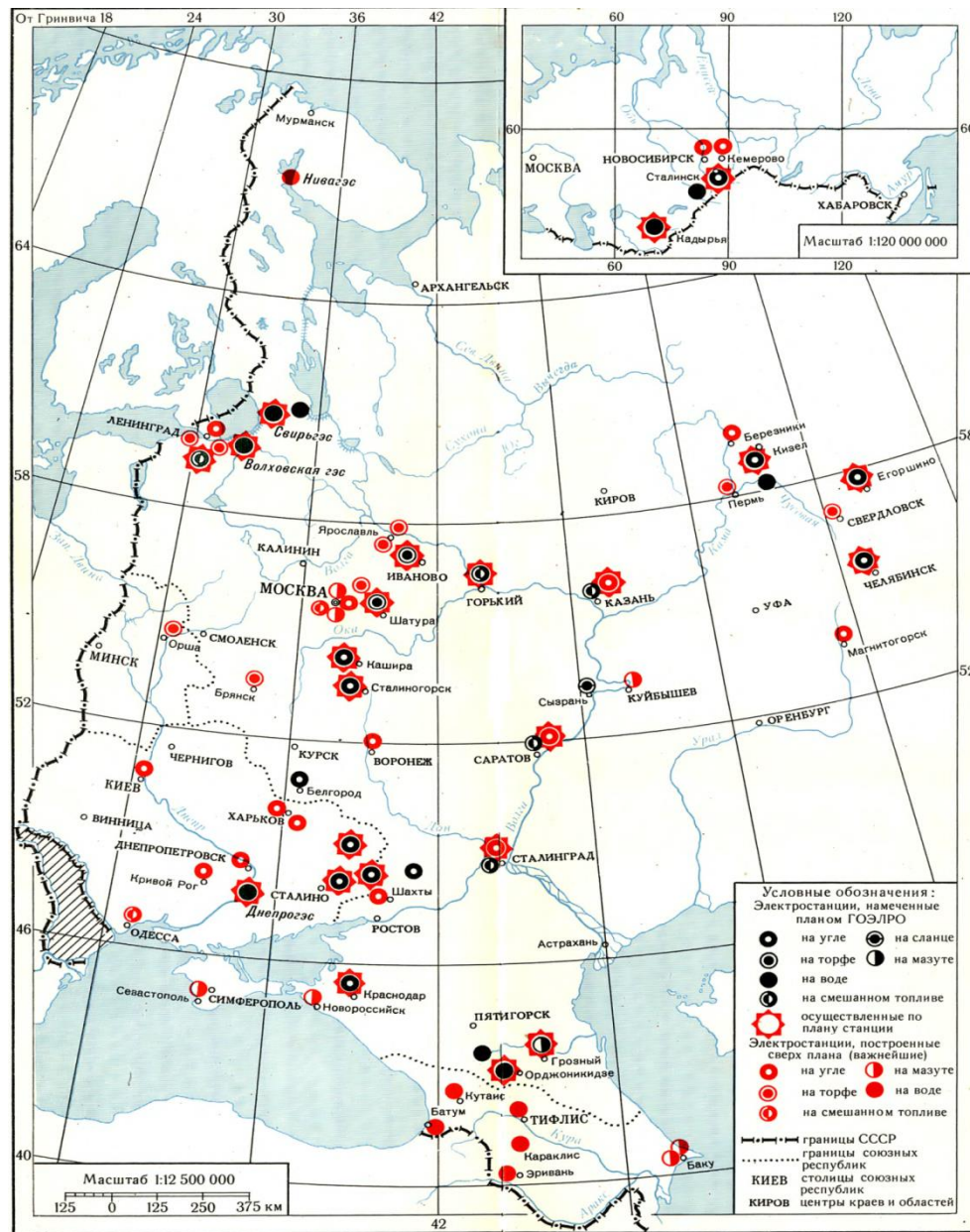
Источники:

Ленин В.И. Набросок плана научно-технических работ // Полное собрание сочинений, т.36, стр. 228.

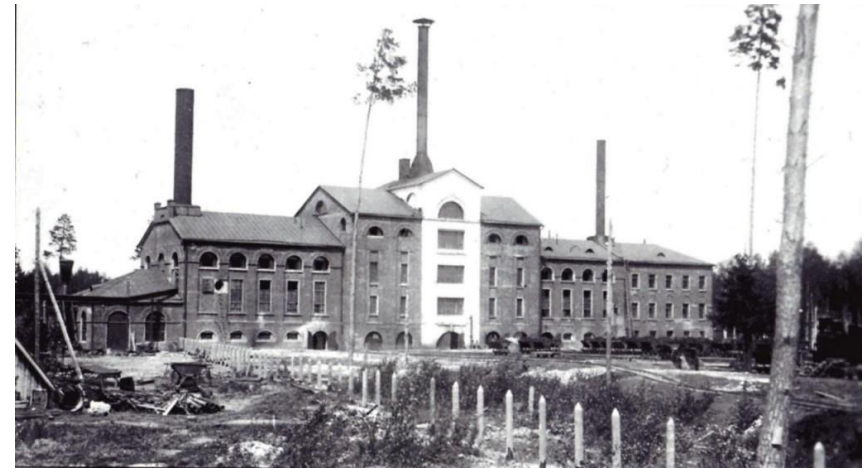
Гвоздецкий В. План ГОЭЛРО. Мифы и реальность // Наука и жизнь – 2001 - №5.

В итоге в рамках первого этапа плана ГОЭЛРО принимается решение о строительстве более 1700 МВт мощностей электростанций, из них 700 – на возобновляемой энергии – ГЭС и ТЭС на торфе. К началу 1930-х они были построены.

Электростанции, построенные в рамках плана ГОЭЛРО к 1936 году



Волховская ГЭС, 1927



Шатурская ГРЭС, 1920

Ветроэнергетика в СССР в 1930-е – 1950-е



ВЭС в Балаклаве, 1931. Мощность 100 кВт,
диаметр колеса 30 метров

К 1950-м гг. в СССР производилось 9000 ветроустановок в год. Во время освоения целины в Казахстане была построена первая многоагрегатная ветроэлектростанция, работавшая в паре с дизельным двигателем, общей мощностью 400 кВт, ставшая прообразом современных европейских ветропарков и систем «ветро-дизель».

Ветроэнергетика на отдалённых территориях в художественной литературе:

«Но, пожалуй, как никогда, жители Улака ждали парохода в эту осень. Он должен был привезти электричество! Привезти новый свет, который еще никогда не горел в ярангах чукчей. ... Пароход ушел. На берегу остались большие кучи угля, штабеля ящиков, бочки, бревна, брусья, сложенные треугольником доски. Здесь же, как скелет гигантского кита, лежал ветродвигатель...»
«Ветер сорвал и спутал электрические провода, изуродовал лопасти и стабилизатор ветродвигателя. Правда, это случилось почти в каждую пургу....»

Юрий Рытхэу, «Время таяния снегов»

Освещение проблематики ВИЭ

Б.П. Вейнберг. «Солнечные двигатели: перспективы гелиотехники» // "Вестник знания", 1928, №4, с.206-220.

Б. Дюшен. Ветер - вода - солнце // "Техника - молодёжи", 1933, №5, с.61-69.

М. Кирпичев, Б. Петухов, Н. Суходрев. Пути использования солнечной энергии в народном хозяйстве // "Большевик", 1941, №10, с. 193-202.

Достижения в возобновляемой энергетике в 1950-е – 1960-е

- Солнечные батареи на первых искусственных спутниках Земли в конце 1950-х.
- Геотермальная энергетика на Кавказе и Камчатке. Первая в мире ГеоЭС с бинарным циклом (1965).
- Одна из первых в мире приливных электростанций на Кольском полуострове (1968).
- Биоэнергетика. В конце 1960-х гг. в СССР уже были созданы промышленные производства биотоплив (биоводород, биометан, биобутанол, биоацетон, биоэтанол).
- Несколько тысяч малых ГЭС.

Дополнительные источники информации по истории возобновляемой энергетике в СССР и России:

- Панцхава Е.С. Биоэнергетика. Мир и Россия. Биогаз: теория и практика: монография // М.: изд-во «Русайнс», 2014. – 972 с., с.752-755.
 - Стребков Д.С. История развития солнечной фотоэлектрической энергетике в России // Сборник трудов XII Международной ежегодной научно-практической конференции «Возобновляемая и малая энергетика – 2015», под. Ред. П.П. Безруких, С.В. Грибкова и др., с.266-278.
 - К. С. Дегтярев, А. М. Залиханов, А. А. Соловьев, Д. А. Соловьев. План ГОЭЛРО и возобновляемые источники энергии / // Энергетическая политика. — 2016. — № 3. — С. 55–64.
 - Журнал «Окружающая среда и энергосистемы» <http://jeees.ru/index.php/JEEES> - статьи В.В. Бутузова и др.

1960-е – 1980-е

- Смещение акцентов в сторону АЭС, крупных ТЭС и ГЭС (при этом большая часть малых ГЭС была закрыта)
- Благодаря строительству крупных ГЭС это основная часть возобновляемой энергетики в стране. На ГЭС приходится около 18% всей выработки электроэнергии.



1980-е – 2000-е годы

Замедление развития; далее экономический кризис 1990-х, затормозивший развитие, в том числе, возобновляемой энергетики.

В то же время:

- 1) Были более (Калининградская область) или менее (Калмыкия) успешные попытки строительства ветропарков и других объектов; отдельные производства солнечных модулей и ветрогенераторов.
- 2) Продолжались научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (в т.ч. в Лаборатории возобновляемых источников энергии (биосоляр, «солнечный камин») и др.



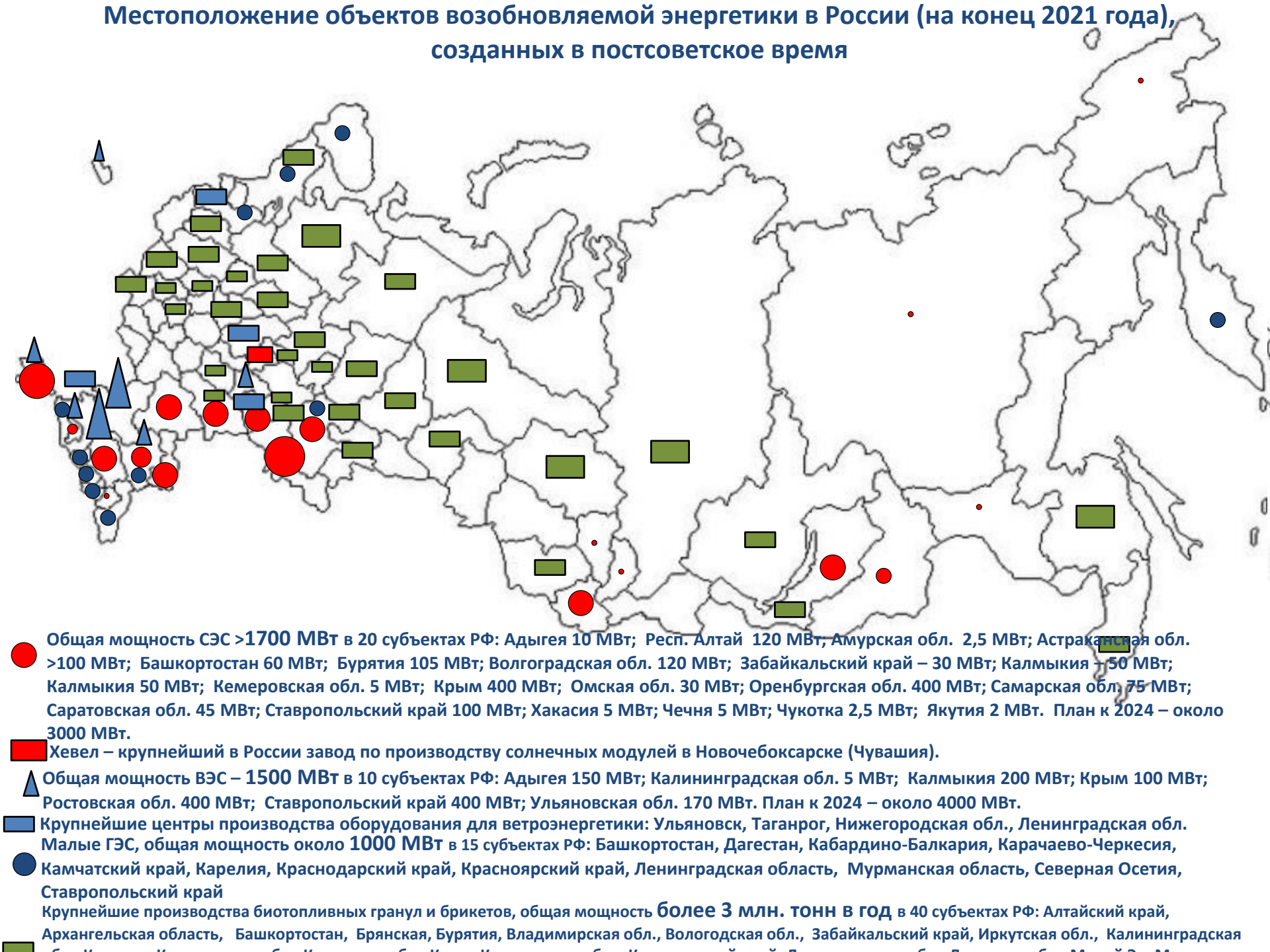
Со второй половины 2000-х гг.

1. Разработка нормативно-правовой базы для развития возобновляемой энергетики (<https://gisre.ru/useful/regulations>);
2. Строительство первых крупных ветропарков, солнечных станций, продолжение строительства малых ГЭС и геотермальных станций;
3. С середины 2010-х – локализация производств оборудования для солнечной и ветроэнергетики; появление крупных предприятий (в частности, завод «Хевел» в Новочебоксарске).

База данных по возобновляемой энергетике в России:

<https://gisre.ru/>

Местоположение объектов возобновляемой энергетики в России (на конец 2021 года), созданных в постсоветское время



● Общая мощность СЭС >1700 МВт в 20 субъектах РФ: Адыгея 10 МВт; Респ. Алтай 120 МВт; Амурская обл. 2,5 МВт; Астраханская обл. >100 МВт; Башкортостан 60 МВт; Бурятия 105 МВт; Волгоградская обл. 120 МВт; Забайкальский край – 30 МВт; Калмыкия – 50 МВт; Калмыкия 50 МВт; Кемеровская обл. 5 МВт; Крым 400 МВт; Омская обл. 30 МВт; Оренбургская обл. 400 МВт; Самарская обл. 75 МВт; Саратовская обл. 45 МВт; Ставропольский край 100 МВт; Хакасия 5 МВт; Чечня 5 МВт; Чукотка 2,5 МВт; Якутия 2 МВт. План к 2024 – около 3000 МВт.

■ Хевел – крупнейший в России завод по производству солнечных модулей в Новочебоксарске (Чувашия).

▲ Общая мощность ВЭС – 1500 МВт в 10 субъектах РФ: Адыгея 150 МВт; Калининградская обл. 5 МВт; Калмыкия 200 МВт; Крым 100 МВт; Ростовская обл. 400 МВт; Ставропольский край 400 МВт; Ульяновская обл. 170 МВт. План к 2024 – около 4000 МВт.

■ Крупнейшие центры производства оборудования для ветроэнергетики: Ульяновск, Таганрог, Нижегородская обл., Ленинградская обл. Малые ГЭС, общая мощность около 1000 МВт в 15 субъектах РФ: Башкортостан, Дагестан, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкесия,

● Камчатский край, Карелия, Краснодарский край, Красноярский край, Ленинградская область, Мурманская область, Северная Осетия, Ставропольский край

■ Крупнейшие производства биотопливных гранул и брикетов, общая мощность более 3 млн. тонн в год в 40 субъектах РФ: Алтайский край, Архангельская область, Башкортостан, Брянская, Бурятия, Владимирская обл., Вологодская обл., Забайкальский край, Иркутская обл., Калининградская

Калмыкия – пример региона

- 1990-е – строительство первого ветропарка у посёлка Хар-Булак (в настоящее время не работает);
- 2006 – н.в. – строительство ветропарка у пос. Песчаное (перспективы непонятны);
- 2020-2022 – строительство 250 МВт солнечных и ветровых мощностей; план к 2024 – увеличение до 750 МВт. Уже имеющиеся мощности позволяют не только покрыть потребности Калмыкии в электроэнергии, но и поставлять «зелёную» энергию в другие регионы.
- С 2000 – поставки солнечных модулей и ветрогенераторов малой мощности в частные хозяйства; оснащение отдельных объектов инфраструктуры.



Дегтярев К. С. Возобновляемая энергетика в Калмыкии в 2017–2021 гг. – особенности развития // Сантехника, отопление, кондиционирование. — 2021. — № 4. — С. 68–71.

Дегтярев К. С., Сангаджиев М. М., Манджиева Т. В. Энергетика на возобновляемых источниках в Республике Калмыкия - потенциал, опыт и перспективы. Монография. — Изд-во Калм. ун-та г. Элиста, 2020. — 140 с.

Дегтярев К. С. Потенциал возобновляемых источников энергии в Республике Калмыкия // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2019. — № 1. — С. 75–82.

Дегтярев К.С. Возобновляемая энергетика в Калмыкии – опыт, проблемы и перспективы региона. <https://www.c-o-k.ru/articles/vozobnovlyаемaya-energetika-v-kalmykii-opyt-problemy-i-perspektivy-regiona>

Перспективы малой автономной энергетики

- Сельские районы России часто сталкиваются с проблемами энергообеспечения из-за высокой степени износа распределительной инфраструктуры.
- Численность сельского населения России – более 35 млн. человек. Кроме того, значительная часть городского населения живёт в частных домах; также миллионы людей сезонно проживают за городом. Речь идёт о миллионах или даже десятках миллионов потребителей.
- В ряде случаев более дешёвый вариант – не прокладывание или модернизация линий электропередач, а создание систем энергообеспечения на месте с участием ВИЭ

Преимущества для регионов

1. Решение задач энергообеспечения. В некоторых регионах, в частности, в Калмыкии, Республике Алтай, Адыгее (небольшие преимущественно сельскохозяйственные регионы) ВИЭ в ближайшей перспективе могут покрыть большую часть или полностью потребности в электроэнергии. Кроме того, местные источники энергии – биотопливо, гидроэнергия, солнечная, ветровая, геотермальная энергия при их комбинированном использовании могут стать основой энергообеспечения на локальном уровне (муниципальных районов, отдельных населённых пунктов и домохозяйств) практически по всей территории страны.
2. Параллельное развитие всей инфраструктуры территории при строительстве энергетических станций на основе ВИЭ.
3. Создание новых рабочих мест.
4. Поступления в бюджета региона.
5. В ряде случаев – экспортная выручка (в настоящее время – топливные брикеты; в перспективе – водород).

Перспективные направления развития

Два направления развития:

- Крупные сетевые станции;
- Малая автономная энергетика.

Первое направление включает строительство крупных объектов ВИЭ на территориях, благоприятных с точки зрения комплекса физико- и экономико-географических факторов:

- СЭС в южном поясе России от Крыма до Дальнего Востока; возможно трансграничное сотрудничество с Казахстаном и другими странами ЕАЭС;
- ВЭС в южном поясе и в береговых зонах (Баренцево, Белое, Чёрное, Балтийское моря);
- Дальнейший рост производства биотоплива на Севере, юге Сибири и Дальнего Востока, в степном сельскохозяйственном поясе;
- ГЭС на Северо-Западе, Кавказе, горном поясе Сибири и Дальнего Востока;
- ПЭС на Баренцевом, Белом море, морях Дальнего Востока (включая мегапроекты в Охотском море)

Малая автономная энергетика требует повсеместного развития с выработкой отдельных мер поддержки.

Технологическое развитие, выстраивание или восстановление технологических цепочек, включающих производство оборудования для ВИЭ, в т.ч. на экспорт.

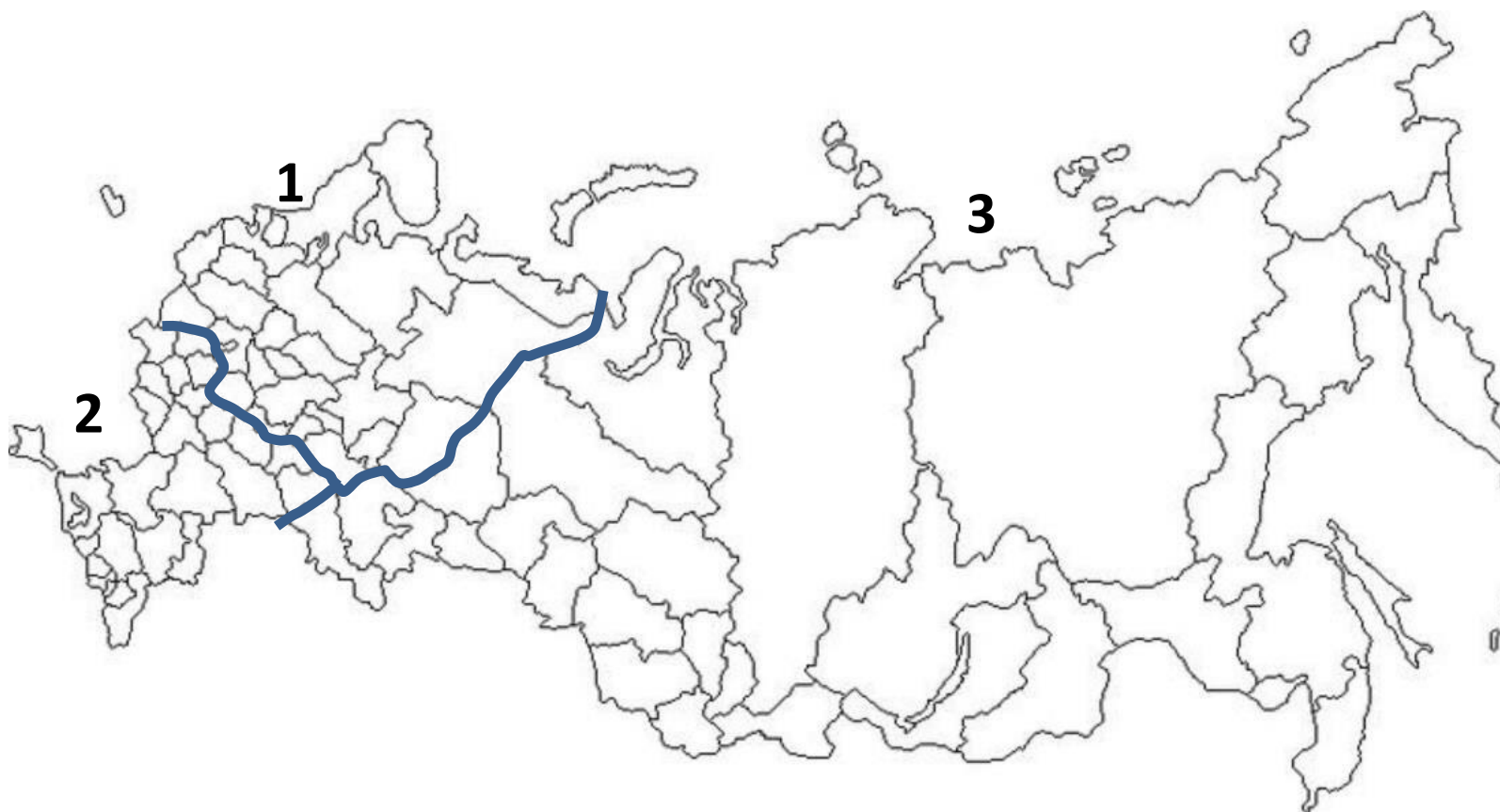
Необходима комплексная географическая экспертиза территорий, в том числе на мезо- и микроуровне, для выявления ниш, благоприятных для развития возобновляемой энергетики



Задание. Охарактеризуйте регионы России с точки зрения условий развития возобновляемой энергетики

Выберите из списка любые три субъекта РФ (один – на севере, другой – на юге, третий – в уральском, сибирском или дальневосточном регионе, см. карту), распределите между собой, чтобы не повторяться.

Укажите, насколько благоприятны условия развития возобновляемой энергетики (поставьте +, +/- или – (благоприятные, средние, неблагоприятные)) по сравнению с другими регионами страны по каждой позиции: гидроэнергетика, солнечная энергетика, ветровая энергетика, биоэнергетика, геотермальная энергетика. Кратко обоснуйте вашу оценку (можно в 1-2 предложения).



Источники

Предыдущие лекции:

1. Возобновляемая энергия – светлое будущее? // Лекция в лектории Русского географического общества 14.10.2020. Ссылка на запись лекции: <https://www.rgo.ru/ru/video/141020-k-degtyaryov-vozobnovlyаемaya-energetika-svetloe-budushchee>
2. Возобновляемая энергетика – крупнейшие мировые проекты Лекция в лектории Русского географического общества 27.01.2021. Ссылка на запись лекции: <https://www.rgo.ru/ru/video/270121-k-degtyaryov-vozobnovlyаемaya-energetika-krupneyshie-mirovye-proekty>
3. Возобновляемая энергетика в России – история, география, экономика, экология // Лекция в Российской ассоциации ветроиндустрии (РАВИ) 17.11.2020. Ссылка на запись лекции: <https://rawi.ru/2020/11/lekciya-vozobnovlyаемaya-energetika-v-rossii-istoriya-geografiya-ekonomika-ekologiya/>

Источники данных для таблицы потенциалов ВИЭ и оценок производства и потребления энергии:

- Solar Energy Perspectives. International Energy Agency URL: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Energy_Perspectives2011.pdf
- Wind Energy Factsheet URL: <http://css.umich.edu/factsheets/wind-energy-factsheet> .
- Geothermal. World Energy Council. 2013. URL: http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WER_2013_9_Geothermal.pdf
- International Energy Agency URL: <https://www.iea.org/techinitiatives/renewableenergy/ocean/>
- https://css.umich.edu/sites/default/files/Wind%20Energy_CSS07-09_e2021.pdf
- Field CB, Behrenfeld MJ, Randerson JT, Falkowski P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components // Science. 1998 Jul 10;281(5374):237-40.
- Безруких П.П. и др. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям). М., «ИАЦ Энергия», 2007
- International Energy Agency: <https://www.iea.org/>
- International Renewable Energy Agency: <https://irena.org/>
- BP World Energy Statistical Review – 2021: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

- География возобновляемых источников энергии / Т. И. Андрееenko, М. Ю. Берёзкин, В. В. Бушуев и др. — ИД Энергия Москва, 2021. — 201 с.
- *Дегтярев К. С., Сангаджиев М. М., Манджиева Т. В.* Энергетика на возобновляемых источниках в Республике Калмыкия - потенциал, опыт и перспективы. Монография. — Изд-во Калм. ун-та г. Элиста, 2020. — 140 с.
- Энерговедение, география и окружающая среда / М. Ю. Берёзкин, В. А. Бутузов, В. В. Бушуев и др. — Издательский дом Энергия Москва, 2020. — 208 с.
- География и рациональное использование возобновляемых источников энергии / под редакцией А.А.Соловьева. Коллективная монография / В. В. Алексеев, Т. И. Андрееenko, М. Ю. Берёзкин и др. — Издательский дом Энергия Москва, 2019. — 288 с.
- *Дегтярев К. С., Берёзкин М. Ю., Залиханов А. М.* Инвестиционные проекты в возобновляемой энергетике: экономический практикум. Учебное пособие под редакцией профессора А.А. Соловьева. — КДУ Москва, 2018. — 98 с.
- *Дегтярев К. С.* Возобновляемая энергетика в Калмыкии в 2017–2021 гг. – особенности развития // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. — 2021. — № 4. — С. 68–71.
- *Дегтярев К. С.* Географические основы возобновляемой энергетики // *Окружающая среда и энерговедение*. — 2021. — № 3. — С. 25–42.
- *Дегтярев К. С.* Ключевые тенденции потребления энергии в ххi веке // *Энергетическая политика*. — 2021. — № 5. — С. 54–63.
- *Дегтярев К. С., Березкин М. Ю.* О проблемах водородной экономики // *Окружающая среда и энерговедение*. — 2021. — № 1. — С. 14–23.
- *Дегтярев К. С.* Потенциал возобновляемых источников энергии в Республике Калмыкия // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. — 2019. — № 1. — С. 75–82.
- *Дегтярев К. С.* Расселение сельского населения как экономико-географический фактор эффективности малой автономной возобновляемой энергетики // *Окружающая среда и энерговедение*. — 2019. — № 4. — С. 28–45.
- *Дегтярев К. С.* Состояние и территориальная организация фотовольтаической солнечной энергетики в России // *Окружающая среда и энерговедение*. — 2019. — № 1. — С. 23–38.
- *Дегтярев К. С.* Экономические оценки проектов малой автономной возобновляемой энергетики // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. — 2018. — № 11. — С. 82–85.
- *Дегтярев К. С.* Экономика возобновляемой энергетики в мире и в России // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. — 2017. — № 9. — С. 80–87.
- К вопросу об экономике возобновляемых источников энергии / К. С. Дегтярев, А. М. Залиханов, А. А. Соловьев, Д. А. Соловьев // *Энергия, экономика, техника, экология*. — 2016. — № 10. — С. 10–20.
- План ГОЭЛРО и возобновляемые источники энергии / К. С. Дегтярев, А. М. Залиханов, А. А. Соловьев, Д. А. Соловьев // *Энергетическая политика*. — 2016. — № 3. — С. 55–64.