



ИНЭи
РАН

Институт энергетических исследований РАН (ИНЭи РАН),
Географический факультет Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова



ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
МГУ имени М.В. Ломоносова

Всероссийская научная Школа молодых ученых

**«Роль возобновляемой
энергетики при переходе к
углерод-нейтральной
экономике»**

Мероприятие проводится при поддержке Российского
научного фонда в рамках гранта № 21-79-30013

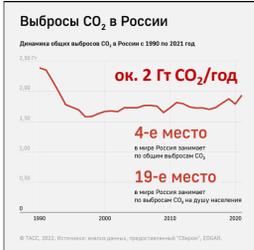
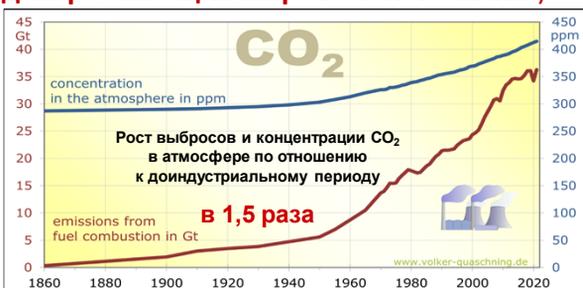
21 – 22 ноября 2024 г.
г. Москва, Научный парк МГУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОГО ВКЛАДА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ДЕКАРБОНИЗАЦИЮ РОССИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

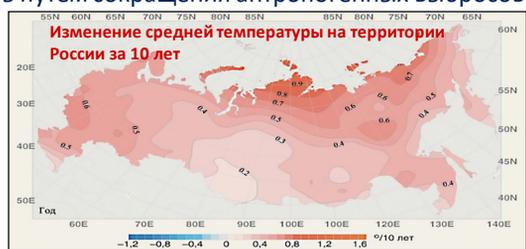
**Попель О.С., Фрид С.Е., Лисицкая Н.В., Киселёва С.В., Тарасенко А.Б.,
Андреев Т.И., Дегтярев К.С., Рафикова Ю.Ю., Шакун В.П**



ПРОБЛЕМА: угрожающее изменение климата, предотвращение которого в соответствии с международными соглашениями рекомендуется решать путем сокращения антропогенных выбросов CO₂ (декарбонизация мировой экономики!)

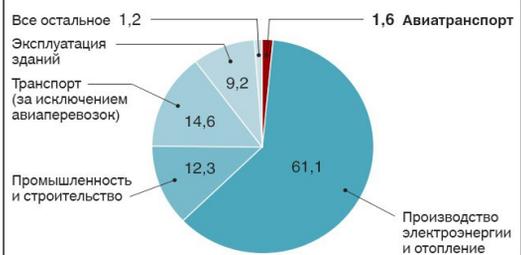


СПРАВОЧНО:
Антропогенный вклад в эмиссию CO₂ – ок. 50 Гигатонн/год или ок. 12% от естественных процессов, Эмиссия CO₂ в результате разложения органики, лесных пожаров и т.п. на Земле – ок. 400 Гигатонн/год Эмиссия CO₂ от вулканической деятельности – в среднем 0,13-0,23 Гигатонн/год



Источники выбросов CO₂ в России

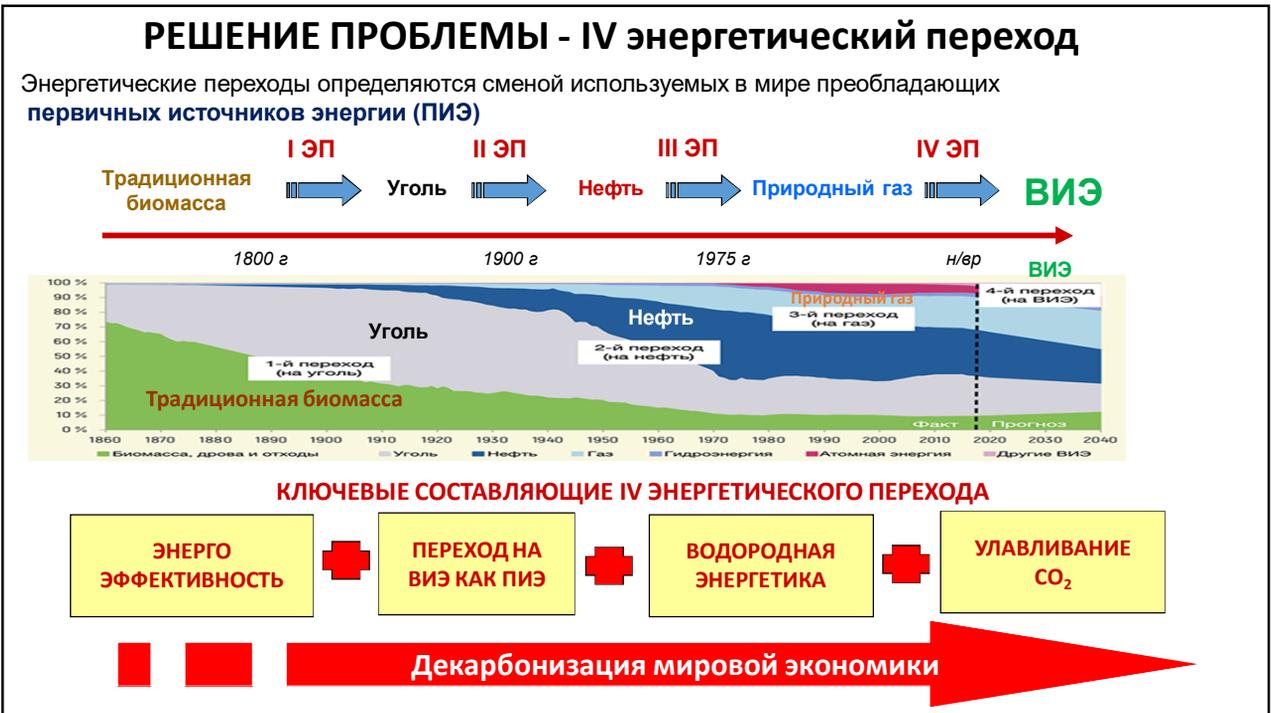
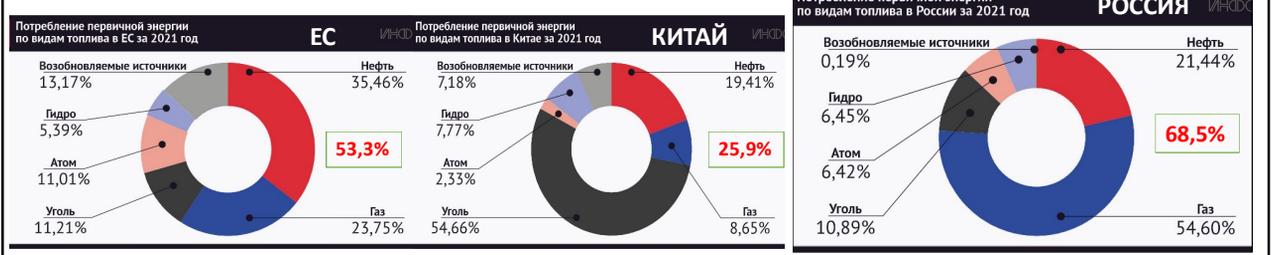
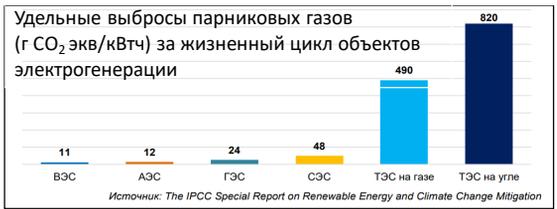
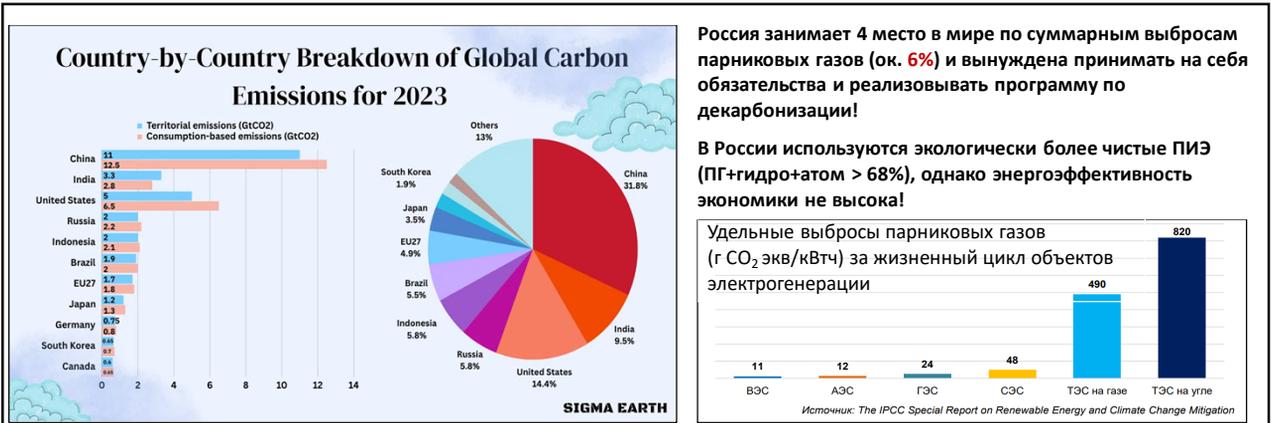
Доля от общего объема выбросов, %



Источник: ourworldindata.org



ЭНЕРГЕТИКА – основной источник антропогенных выбросов CO₂ в мире и в России!



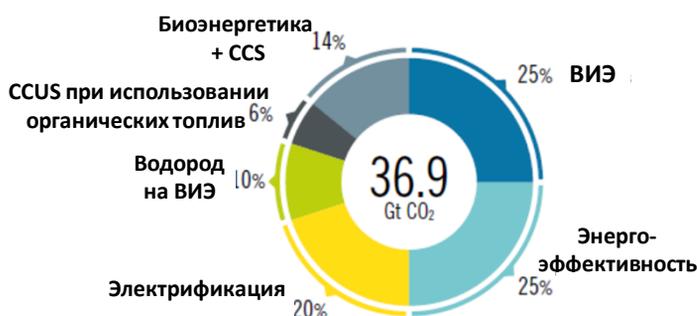
ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ IV ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА, ИХ ЗАДАЧИ И ФУНКЦИИ

ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЭП	ЗАДАЧИ И ФУНКЦИИ
Энергоэффективность	Сокращение потребления энергии и соответственно выбросов парниковых газов с ним связанных
ВИЭ (солнце, ветер, биомасса, малые водные потоки, геотермальная энергия, приливы и др.)	Замещение органических топлив при производстве электроэнергии и тепла.
Водород (экологически чистый!)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аккумулирование энергии, необходимой для согласования графиков производства электрической энергии стохастическими генераторами на ВИЭ и ее потребителями 2. Экологически чистое топливо в энергетике, транспорте и других секторах, 3. Замещение водорода как промышленного газа, получаемого из природного газа, в производстве аммиака, метанола, хлористого водорода, удобрений, взрывчатых веществ, синтетических волокон, пластмассы, лекарств..., 4. Получение (в перспективе) широкого спектра необходимых химических продуктов, сегодня получаемых из нефти, газа и угля с выбросом CO₂ в атмосферу («водородная экономика»).
Улавливание CO₂ (технологии CCS, CCUS и др.)	Извлечение CO ₂ из атмосферы, из продуктов сгорания природного газа и угля с дальнейшим его использованием в промышленности и/или захоронением, в т.ч. для интенсификации нефте- и газодобычи.
Другие технологии	Экологически чистые технологии в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и в других отраслях (в рамках презентации не рассматриваются)

ПЛАНИРУЕМЫЙ ВКЛАД ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДЕКАРБОНИЗАЦИЮ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В 2050 ГОДУ (СЦЕНАРИЙ IRENA)

Требуемый прогресс для достижения цели – потепление < 1,5-2 °C (IRENA)

Показатель	Текущая величина (2022 г.)	Требуемая величина для достижения цели к 2050 г.
Доля ВИЭ в производстве электроэнергии, %	26%	90%
Наращивание ВИЭ, всего, ГВт/год	264	836
Наращивание фотоэлектрических мощностей, ГВт/год	126	444
Наращивание ветровых мощностей, ГВт/год	115	248
Доля ВИЭ в конечном потреблении энергии	16%	79%
Потребление биотоплива, ЭДж/год	18	58
Снижение энергоёмкости экономики, %/год	1,2%	2,9%



Необходимые инвестиции в глобальный энергетический переход к 2050 году - 100 - 150 трлн. долларов

Сегодня (2024) общие мировые инвестиции в энергетику – 3,2 трлн. долларов/год. Для достижения цели 2050 г. их надо увеличить не менее, чем в 2 раза!

В России ясно сформулированные и научно обоснованные сценарии выполнения продекларированного обязательства достижения углеродной нейтральности экономики страны к 2060 году пока отсутствуют. В 2022 году распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2022 г. № 3240-р поставлена задача системно на государственном уровне организовать исследования и разработки по

- объективной оценке фактических выбросов CO₂ различными отраслями экономики, включая энергетику, и ведению научно-методически обоснованного кадастра выбросов – карбоновые полигоны и т.п. и
- обоснованию приоритетных технологий декарбонизации экономики, включая энергетику.

Основные исполнители ВИП ГЗ «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» в области энергетики:

- Институт народно-хозяйственного прогнозирования РАН,
- Институт энергетических исследований РАН и
- Объединенный институт высоких температур РАН – технологии возобновляемой энергетики

Решаемая ОИВТ РАН основная задача - **Выделение и обоснование приоритетных регионов страны для развития возобновляемой энергетики с учётом возможного вклада ВИЭ в производство электроэнергии и тепла.**

Рассматриваемые первичные источники энергии: *солнечная, ветровая энергия, энергия биомассы, энергия малых рек, геотермальная энергия.*

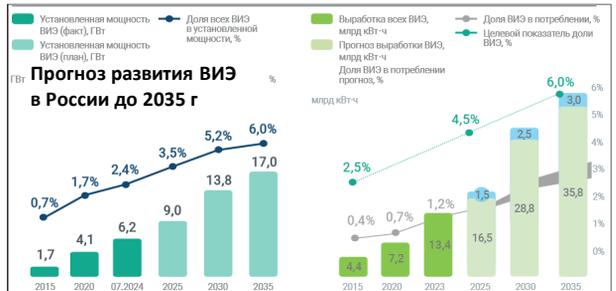
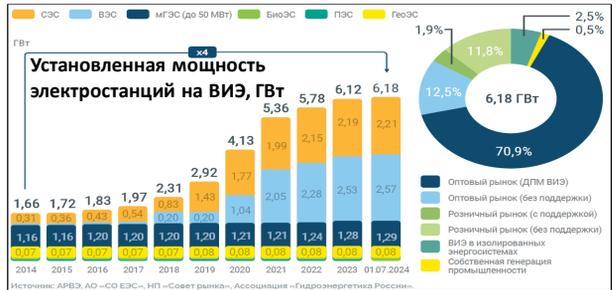
ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ И В МИРЕ

В мире

- 87% введенных мощностей в 2023 г. – на ВИЭ,
- доля органических топлив в ЭЭ сократилась до 60%, а доля ВИЭ возросла до 30% (в ЕС доля ВИЭ в ЭЭ – 36%),
- ежегодный ввод мощностей ФЭС – 250 ГВт/год, ВЭС – 80 ГВт/год (для сравнения установленная мощность электростанций ЕЭС России – 250 ГВт),
- технологии ВЭ в большинстве ведущих стран стали конкурентоспособными



В России



ОБЪЕКТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

(Источник: ГИС ВИЭ России <http://gisre.ru>)

Условные обозначения:



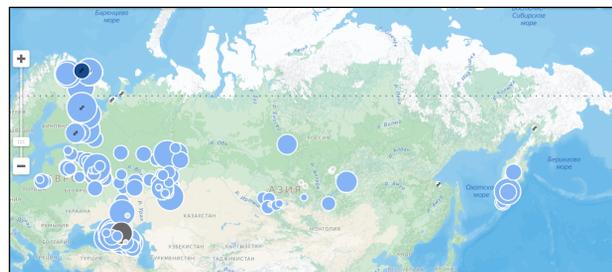
Солнечные энергоустановки ($\Sigma = 2,24$ ГВт)



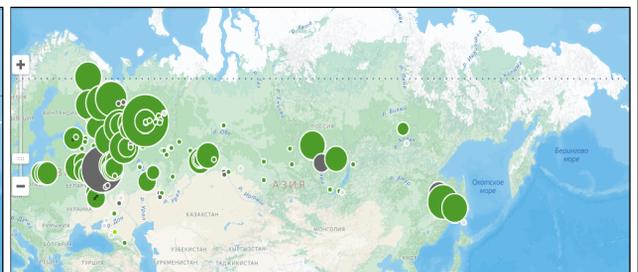
Ветровые энергоустановки ($\Sigma = 2,56$ ГВт)



Объекты биоэнергетики $\Sigma=1,21$ ГВт



Объекты малой гидроэнергетики (< 50 МВт, $\Sigma=0,9$ ГВт)



ТЕКУЩАЯ РОЛЬ ВИЭ В ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

Доля замещения энергии ТЭС, % (оценки на основе данных СО ЕЭС)

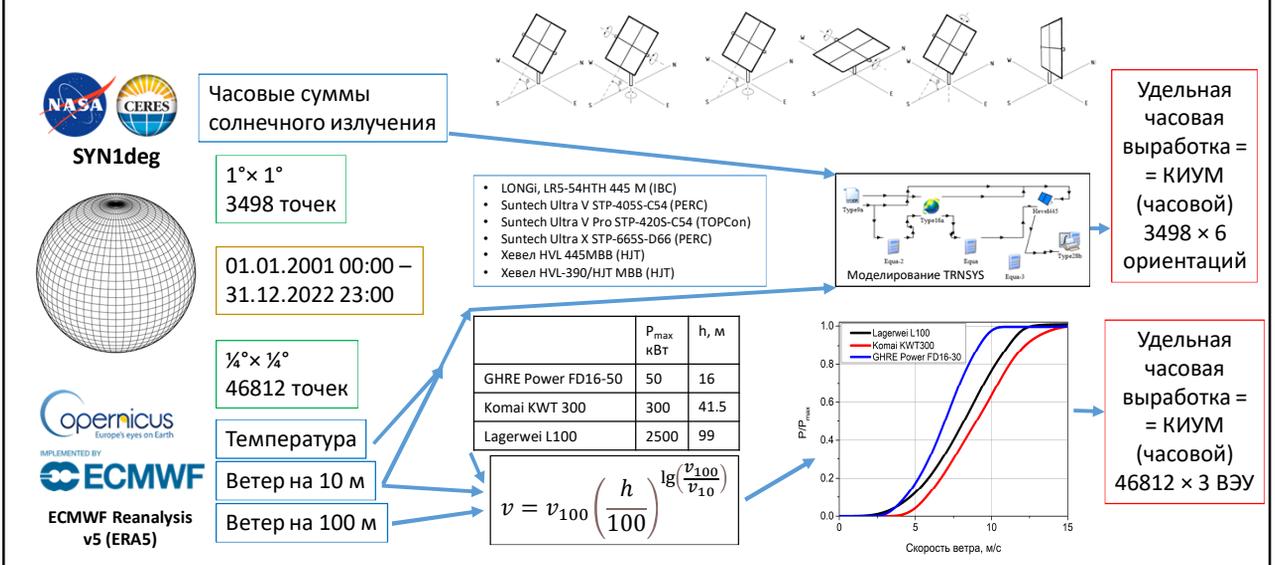
Год	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2028
ОЭС Средней Волги	0,00	0,00	0,00	0,21	0,61	0,72	0,70	5,24
ОЭС Урала	0,00	0,02	0,05	0,07	0,13	0,20	0,22	0,22
ОЭС Северо-Запада	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
ОЭС Юга	0,01	0,01	0,97	1,15	1,68	4,62	7,79	9,74
ОЭС Сибири	0,00	0,02	0,03	0,06	0,08	0,31	0,42	2,51

Предотвращенные выбросы CO₂, тыс. т (сценарные оценки на основе данных СО ЕЭС России)

Год	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2028
ОЭС Средней Волги	0	0	1	70-80	200 -235	215-250	230-270	1700 -2000
ОЭС Урала	1	30-36	74-87	100-120	190-225	260-305	315-370	315-370
ОЭС Северо-Запада	1	1	1	2-3	6-7	6-7	6-7	6-7
ОЭС Юга	2-3	2-3	305-360	350-420	480-560	1300-1500	2500-3050	3100-3700
ОЭС Сибири	4	12-14	17-20	37-45	50-60	160-190	210-250	1250-1500
ВСЕГО, тыс. т							3300-4000	6400-7600

1. На уровне 2028 года ожидаемое снижение выбросов CO₂ в результате развития возобновляемой энергетики возрастет в 1,7-2 раза по сравнению с текущим уровнем и составит ок. 0,5% от суммарных выбросов энергетики России, а к 2035 году не превысит 1%.
2. Имеет место сильная неравномерность развития ВИЭ в рамках ЕЭС. В дальнейшем она будет только усиливаться т.к. новые правила ДПМ ВИЭ «сдвигают» объекты в регионы с высоким КИУМ.
3. При размещении новых объектов ВИЭ важно учитывать состояние сетевой и транспортной инфраструктуры, состав региональной генерации и др. факторы

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ СОЛНЕЧНОЙ (ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСТВО) И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ

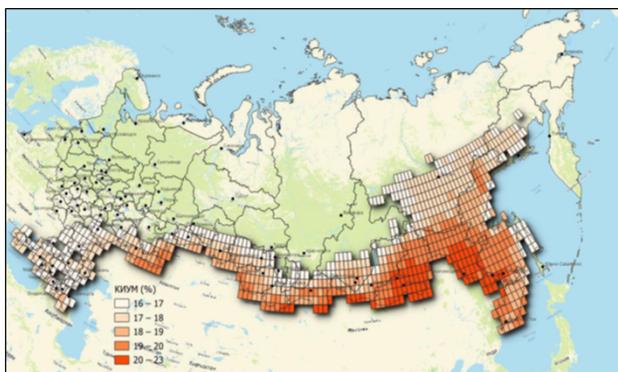


ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЙОНЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ФЭС И ВЭС НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КРИТЕРИЙ ОТБОРА:

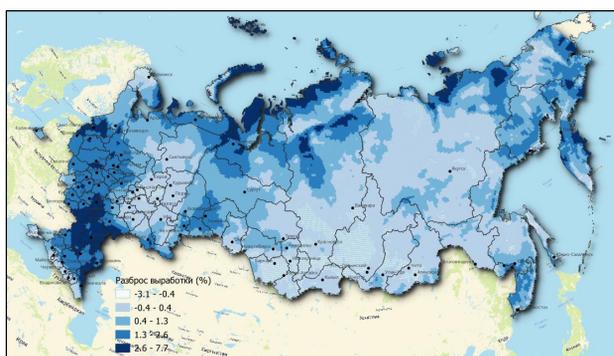
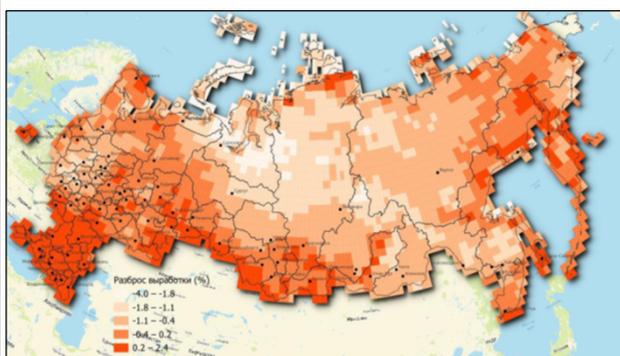
Энергетические показатели ФЭС и ВЭС не хуже существующих и проектируемых российских ФЭС и ВЭС:

- среднегодовой КИУМ за расчетных 23 года (2001-2023) не менее 16% для ФЭС и не менее 21% для ВЭС,
- меньше длительность непрерывных и суммарных перерывов генерации (часовой КИУМ < 10%).



Наиболее перспективны по располагаемым ресурсам солнечной энергии юго-восточные регионы России, а по ветровым ресурсам – северо-западные районы. Перспективные площадки для строительства ФЭС выявлены в 40 регионах страны, а ВЭС – в 74 регионах

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ ФЭС И ВЭС НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА ПЕРИОД 2001-2023 гг.



Более насыщенные цвета: увеличение выработки ФЭС до 2,4%, ВЭС – до 7,3%

Менее насыщенные цвета: уменьшение выработки ФЭС до 4%, ВЭС – до 3,1%

**АНАЛИЗ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ ФЭС И ВЭС
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА ПЕРИОД 2001-2023 гг.**
(Отсутствие генерации – часовой КИУМ < 10%)

Только ФЭС

Только ВЭС (Lagerwey, H=100 м)

Регион	Широта, °с.ш.	Долгота, °в.д.	КИУМ за 2001-2023, %	Максимальное непрерывное отсутствие генерации, ч.	Доля суммарной длительности отсутствия генерации, %	Регион	Широта, °с.ш.	Долгота, °в.д.	КИУМ за 2001-2023, %	Максимальное непрерывное отсутствие генерации, ч.	Доля суммарной длительности отсутствия генерации, %
Забайкальский край	51.5	118.5	21.1	64	62.2	Самарская область	52.5	50.5	22.5	249	47,5
Астраханская область	46.5	49.5	17.8	122	65.5	Саратовская область	51.5	49.5	27.8	166	39,7
Саратовская область	50.5	48.5	17.8	191	65.7	Республика Татарстан	55.5	49.5	25.6	308	43,4
Республика Бурятия	53.5	112.5	20.0	45	63,0	Кольская ВЭС	68.85	34.81	21.5	371	46,5
						пос. Амдерма	69.76	61.67	47.8	160	26,8

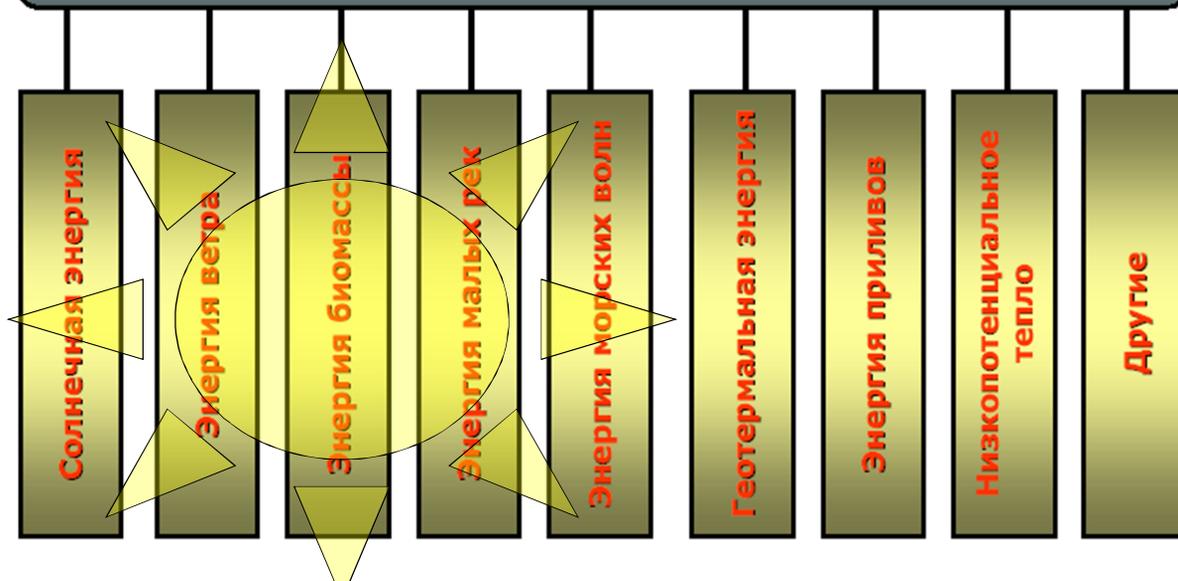
Комбинация ФЭС + ВЭС (Lagerwey, H=100 м)

Географические координаты: 46,5°с.ш., 142°в.д. (юг Сахалина)	КИУМ, %	Максимальная в течение года продолжительность непрерывного отсутствия генерации, ч.	Средняя за год доля времени отсутствия генерации (КИУМ < 0,1), %
ФЭС	15,0	81	66.3%
ВЭС (Lagerwey)	27.0	258	43.0%
ФЭС + ВЭС	–	29	26.5%

ВЫВОДЫ

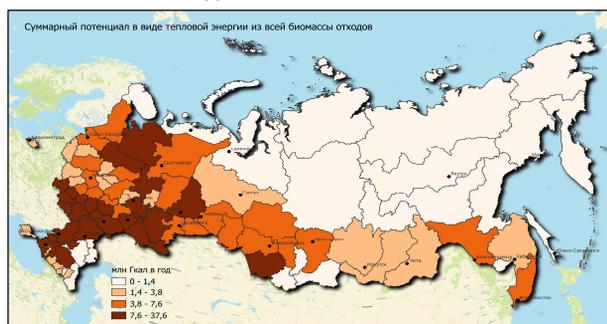
- Проведен анализ энергетических характеристик **ФЭС и ВЭС и ФЭС+ВЭС**, а также характеристик нестабильности их генерации за период 2001 – 2023 гг. **для всей территории России с пространственным разрешением менее 1°x1° (100 x 100 км).**
- В основе ФЭС рассматривался фотоэлектрический модуль HVL395 (ГК «Хевел») с 7 вариантами ориентации: неподвижный модуль, оптимальный фиксированный угол наклона к горизонту, вертикально, двухосная система слежения, вертикально-осевой трекер, горизонтально-осевой трекер с ориентацией оси «север-юг» и «запад-восток», наклонно-осевой трекер с осью, параллельной оси вращения Земли.
- В основе ВЭС рассматривались ветроустановки:
 - Ghrpower GHRE FD16-40 (КНР, ВЭУ – средняя по мощности в линейке GHRE FD16, паспортная мощность – 40 кВт, высоты башни – в диапазоне 16...30 м, рассматривались 2 варианта с высотами башни 16 м и 30 м;
 - Ghrpower GHRE FD25-120, поставляемая ООО «Альтрэн» под маркой WT25-120 (паспортная мощность – 120 кВт, высоты башни – 42 м);
 - Komai KWT300 (Япония, паспортная мощность – 300 кВт, высоты башни – 41.5 м). Распространенная ВЭУ средней мощности для автономных энергосистем, есть вариант арктического исполнения;
 - Lagerwey L100 (паспортная мощность – 2500 кВт, высоты башни – 99 м) – одна из распространенных сетевых ветроустановок, которая полностью локализована и выпускается в настоящее время АО «Росатом Возобновляемая энергия».
- Выявлены перспективные для использования ФЭС и ВЭС регионы РФ, в которых энергетические показатели превышают характеристики уже построенных и/или спроектированных ФЭС и ВЭС.
- Создана научная основа для обоснования выбора перспективных площадок строительства СЭС и ВЭС (как для сетевой, так и для распределенной энергетики) в кооперации с заинтересованными энергетическими компаниями и Системным оператором ЕЭС России с учетом конкретной энергетической инфраструктуры регионов, графиков потребления энергии, технико-экономических ограничений.**

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ



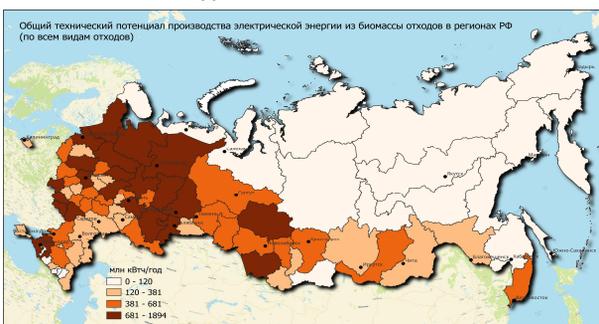
ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОМАССЫ

В ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ



- Отходы лесопромышленного комплекса
- Отходы растениеводства (солома)
- Отходы животноводства (биогаз)
- ТКО (свалочный газ)

В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ



- Отходы лесопромышленного комплекса
- Отходы животноводства (биогаз)
- ТКО (свалочный газ)

Выявлено, что ряд регионов имеет сопоставимые потенциалы отходов ЛПК и животноводства : Ленинградская обл., Тверская обл., Республика Башкортостан. В Московской области основная часть потенциала связана со свалочным газом ТКО.

В ряде регионов, в том числе энергодефицитных, технический потенциал энергетического использования биомассы сопоставим и даже превышает сегодняшнее энергопотребление (Кировская обл., Вологодская обл., Республика Карелия, Брянская обл., Томская обл., Алтайский край и др.

Аналогичные исследования проведены по ресурсам **малой гидроэнергетики** и **геотермальной энергетики**.