



МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ
РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Министерство
экономического развития
Российской Федерации



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Важнейший инновационный проект государственного значения
«Единая национальная система мониторинга
климатически активных веществ»



РОСГИДРОМЕТ



ИНП РАН



Конференция: “Национальная система
мониторинга климатически активных веществ:
проблемы и решения”

Москва ИНП РАН, 1-2 ноября 2023 г.

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ВИЭ ПО ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

О.С. Попель¹, С.В. Киселева^{1,2}, Н.В. Лисицкая¹, А.Б. Тарасенко¹, С.Е. Фрид¹

¹-ОИВТ РАН, ²- НИЛ ВИЭ МГУ им. М.В. Ломоносова



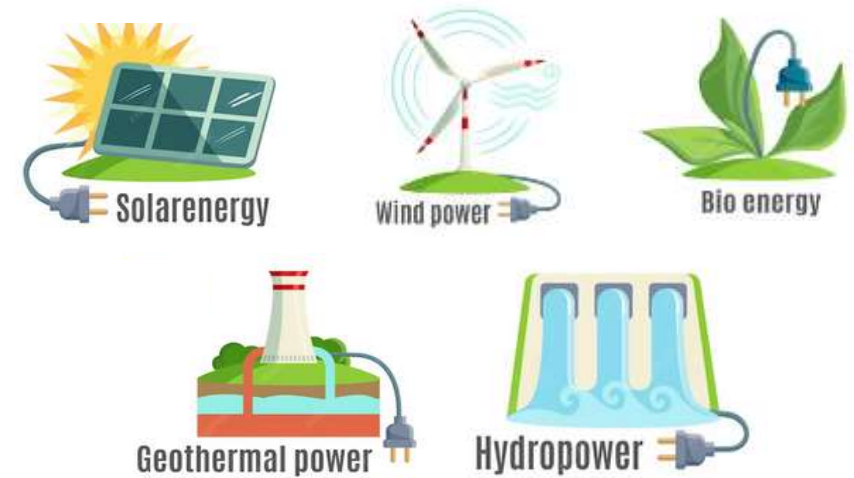
Объединенный институт высоких температур РАН

Цель работы:

Обеспечение массивами исходных данных для разрабатываемых партнерами сценариев развития отечественной энергетики на период до 2060 года с целью обоснования оптимального пути решения проблемы ее декарбонизации и оценки разумного вклада в энергобаланс страны и ее регионов возобновляемых источников энергии

Постановка задачи:

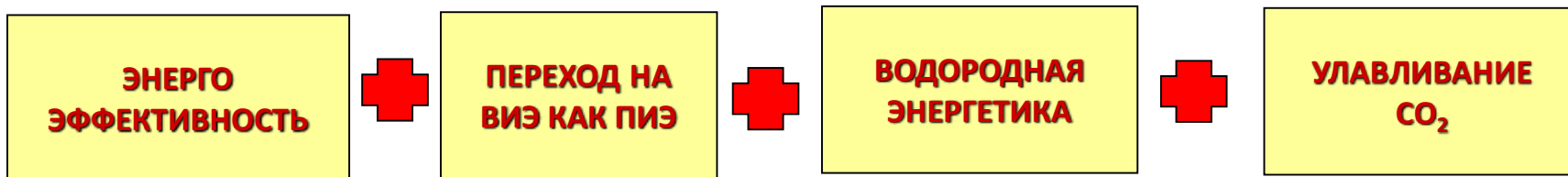
Оценка технических энергетических потенциалов различных ВИЭ (с учетом эффективности преобразования в электрическую и тепловую энергию) с детализацией по ОЭС и субъектам РФ.



Целевые результаты:

- Ранжирование регионов страны по уровню технического потенциала ВИЭ для дальнейших оценок влияния ВИЭ на декарбонизацию энергетики России;
- Выбор перспективных регионов для размещения объектов возобновляемой энергетики;
- Формирование исходных данных для учета доли ВИЭ в структуре генерации в целом;
- Формирование исходных данных для технико-экономических оценок декарбонизации энергетики с использованием ВИЭ.
- Развитие работы в направлении детализации технических потенциалов ВИЭ по регионам и анализа влияния различных ограничений, сокращающих возможности размещения объектов возобновляемой энергетики.

КЛЮЧЕВЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ IV ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА



Требуемый прогресс для достижения цели ограничения потепления уровнем 1,5 °C (IRENA)

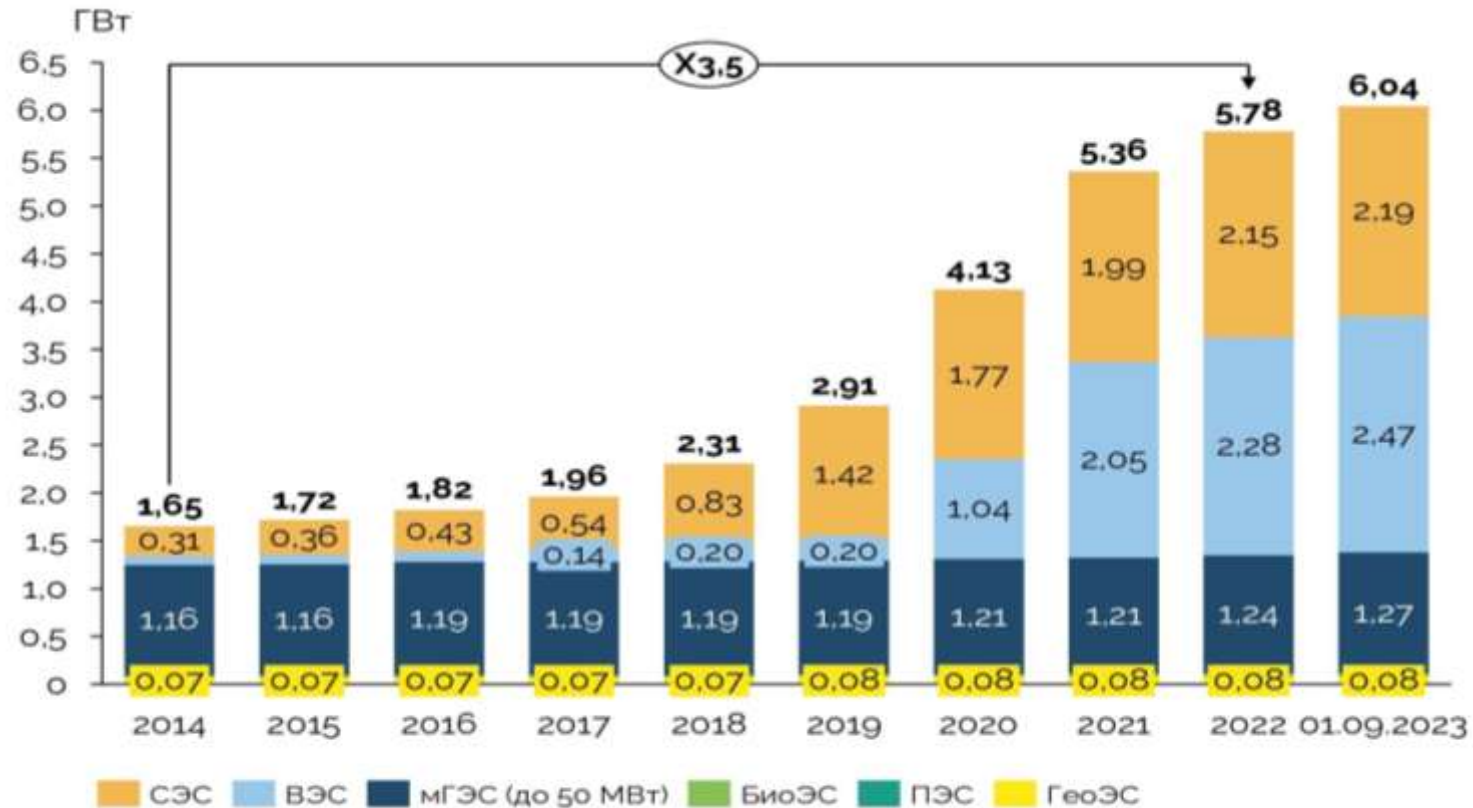
Показатель	Текущая (2022 г) величина	Величина, требуемая для достижения цели к 2050 г.
Доля ВИЭ в производстве электроэнергии, %	26%	90%
Наращивание мощностей ВИЭ, всего, ГВт/год	264	836
Наращивание солнечных фотоэлектрических мощностей, ГВт/год	126	444
Наращивание ветровых мощностей, ГВт/год	115	248
Доля ВИЭ в конечном потреблении энергии	16%	79%
Ввод новых площадей солнечных коллекторов, млн м ² /год	25	165
Потребление современного биотоплива, ЭДж/год	18	58
Потребление геотермальной энергии, ЭДж/год	0,9	4,0
Снижение энергоёмкости экономики, %/год	1,2%	2,9%

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

Общие мировые инвестиции в энергетику должны быть увеличены с текущего уровня около \$1,5 трлн. в год до \$3-4 трлн. в год.

В России стоимость полного энергетического перехода к 2060 году по пути зарубежных стран оценивается экспертами около 400 трлн. рублей, а ежегодный объём инвестиций в ТЭК в связи с этим должен вырасти с 4,5 трлн. до 10 трлн. руб./год (для справки: бюджет России в 2022 г – 22 трлн. руб.)

Установленная мощность электростанций на ВИЭ в России, ГВт



ис: АРВЭ, АО «СО ЕЭС», НП «Совет рынка», Ассоциация «Гидроэнергетика России»

По состоянию на 01.09.2023 г. в рамках ДПМ ВИЭ 1.0 на оптовом рынке электроэнергии и мощности введены в эксплуатацию 100 объектов ВИЭ-генерации совокупной мощностью **4 219 МВт** СЭС – **1 788 МВт** (70 объектов), ВЭС – **2 360 МВт** (25 объектов), мГЭС – **71 МВт** (5 объектов).

Совокупная установленная мощность объектов ВИЭ в России составляет 6,04 ГВт, включая объекты ВИЭ в изолированных энергосистемах и собственную генерацию промышленности

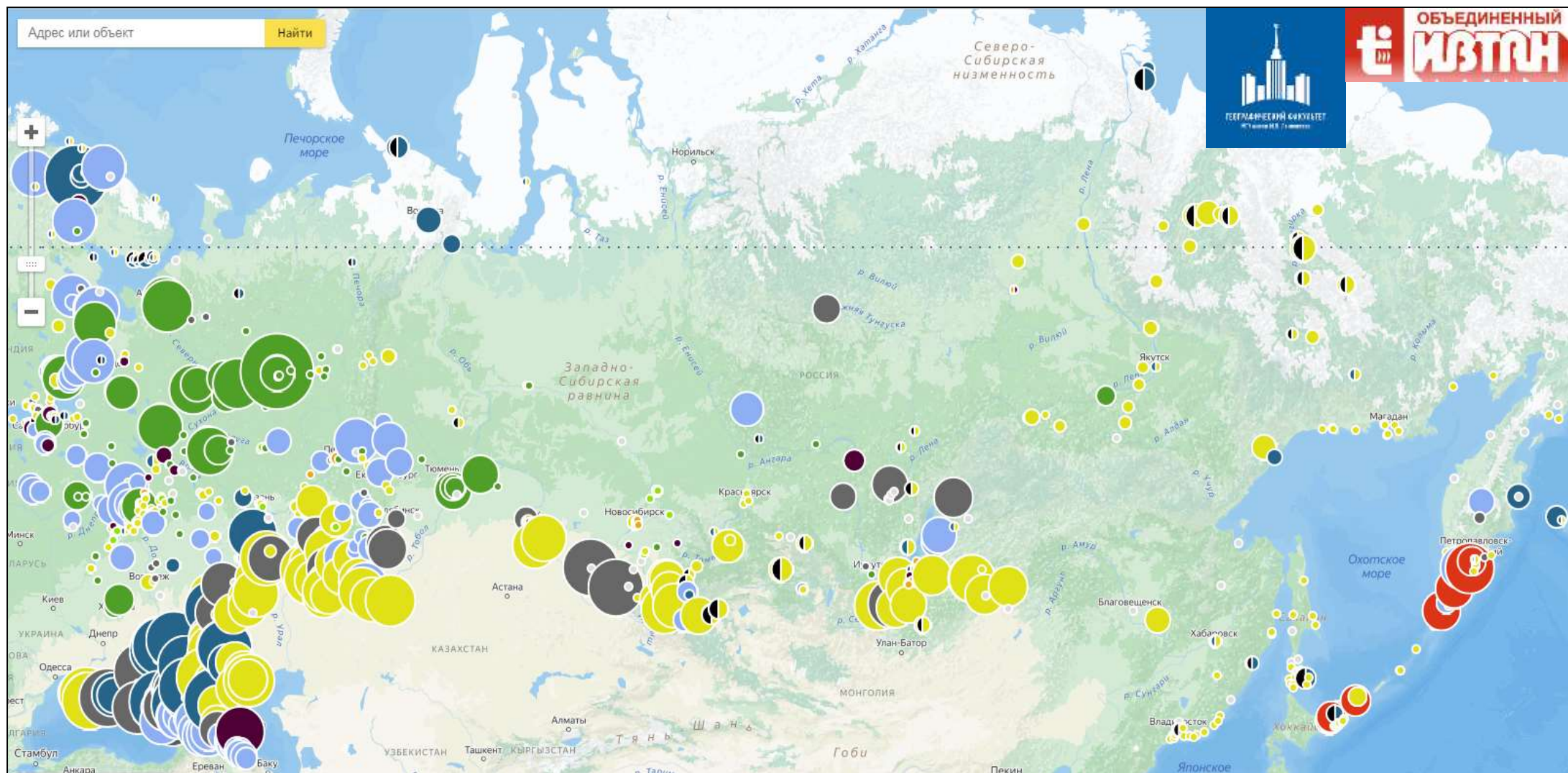
Доля установленной мощности ВИЭ-генерации в энергосистеме РФ – 2,4% (ДПМ ВИЭ – **1,7%**). Электростанции на основе биомассы, биогаза, свалочного газа, энергии приливов и геотермальной энергии, совокупной мощностью более **100 МВт**.

Выработка электроэнергии объектами ВИЭ-генерации, построенными в рамках ДПМ ВИЭ, по итогам январь-август 2023 г. – **5,8 млрд кВт·ч**.

Доля ДПМ ВИЭ в общем объеме потребления электроэнергии в ЕЭС России – 0,79%

Средний коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) электростанций: СЭС – **16,8%**, ВЭС – **29,5%**, мГЭС – **54,3%**

ОБЪЕКТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ (Источник: ГИС ВИЭ России <http://gisre.ru>)



Условные обозначения:



СЭС



ВЭС



Дизель



Теплоснабжение



Биоэнергетика



Электро-
снабжение



Тепловой насос



Приливная
станция



Малая ГЭС



Строящийся
объект

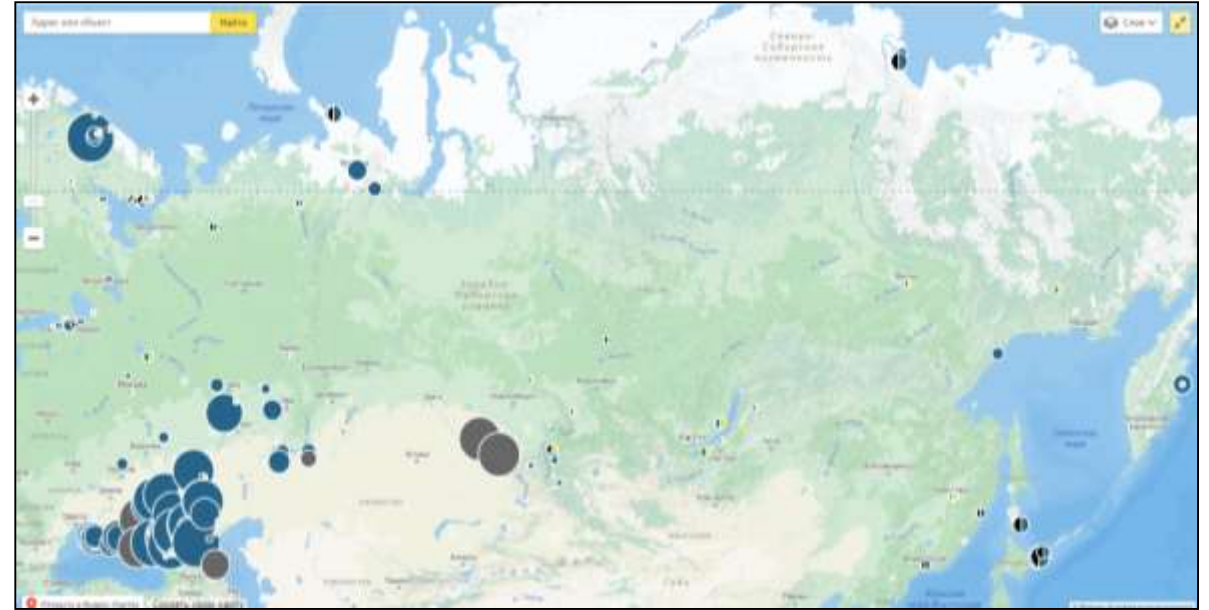


Проектируемый
объект

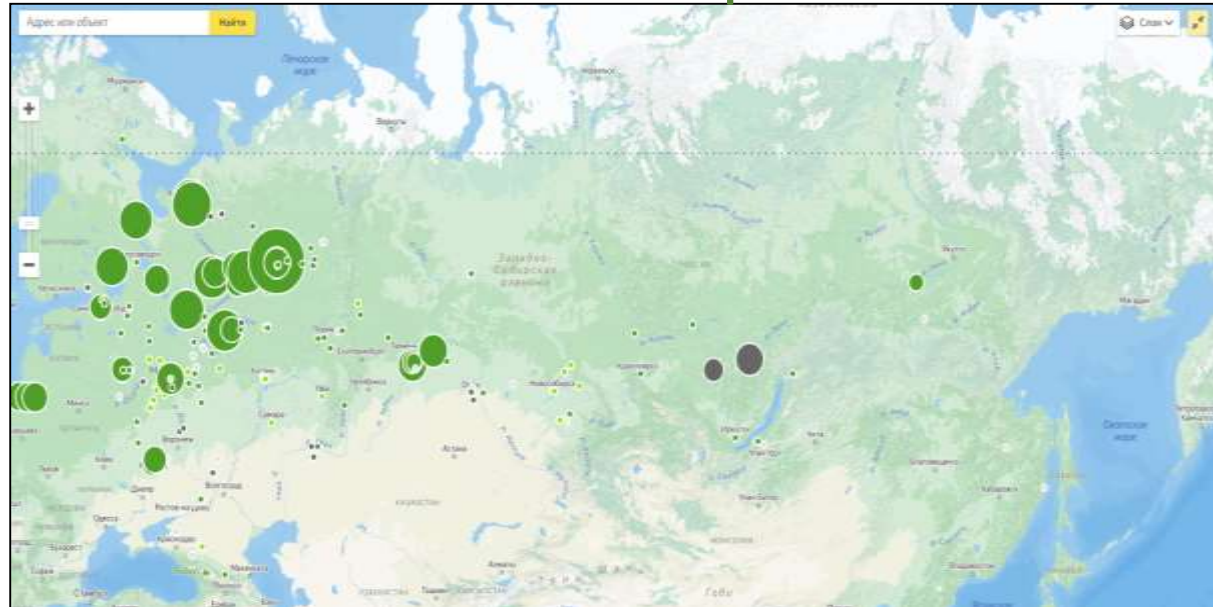
Солнечные энергоустановки



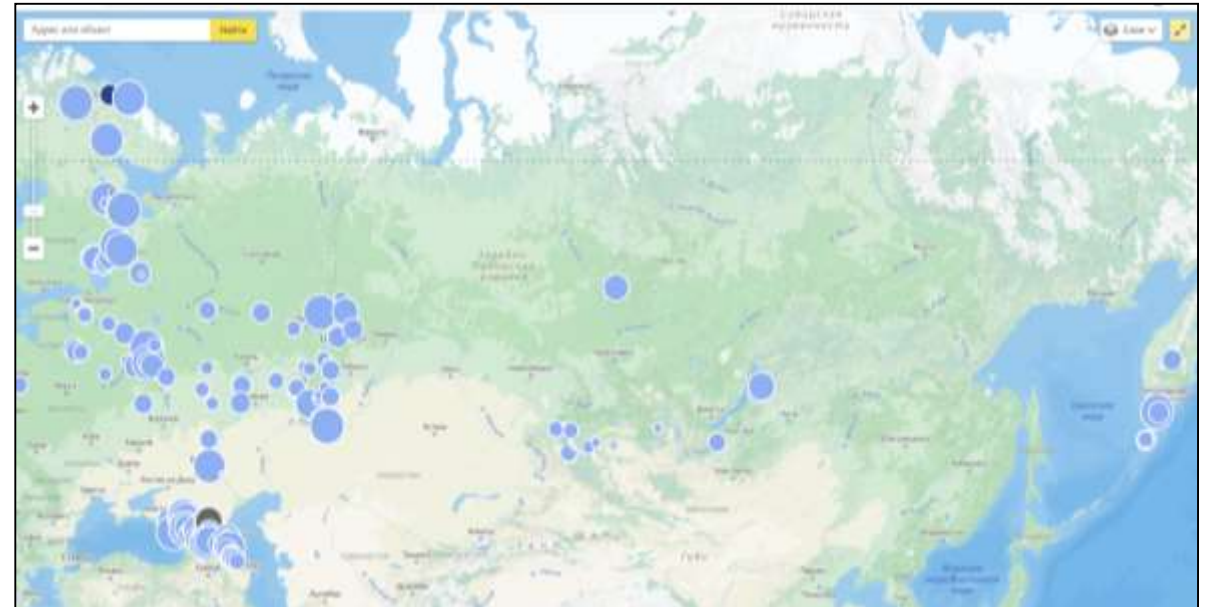
Ветровые энергоустановки



Объекты биоэнергетики



Объекты малой гидроэнергетики (< 50 МВт)



ТЕКУЩАЯ РОЛЬ ВИЭ В ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

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

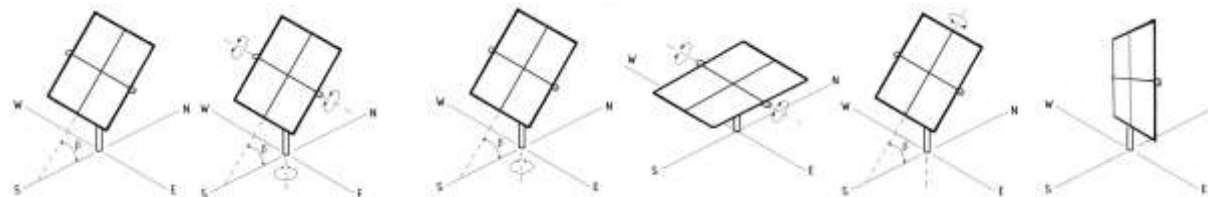
Год	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2028
ОЭС Средней Волги	0,00	0,00	0,00	0,21	0,61	0,72	0,70	5,24
ОЭС Урала	0,00	0,02	0,05	0,07	0,13	0,20	0,22	0,22
ОЭС Северо-Запада	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
ОЭС Юга	0,01	0,01	0,97	1,15	1,68	4,62	7,79	9,74
ОЭС Сибири	0,00	0,02	0,03	0,06	0,08	0,31	0,42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

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

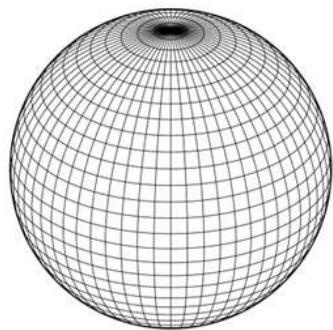
Год	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2028
ОЭС Средней Волги	0	0	1	70-80	200 -235	215-250	230-270	1700 -2000
ОЭС Урала	1	30-36	74-87	100-120	190-225	260-305	315-370	315-370
ОЭС Северо-Запада	1	1	1	2-3	6-7	6-7	6-7	6-7
ОЭС Юга	2-3	2-3	305-360	350-420	480-560	1300-1500	2500-3050	3100-3700
ОЭС Сибири	4	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
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 инфраструктуры, состав региональной генерации и др. факторы

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ СОЛНЕЧНОЙ (ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСТВО) и ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ



SYN1deg



Часовые суммы
солнечного излучения

1° × 1°
3498 точек

01.01.2001 00:00 –
31.12.2022 23:00

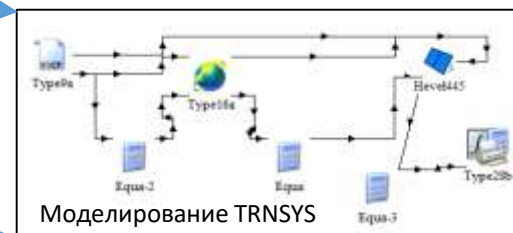
¼° × ¼°
46812 точек

Температура

Ветер на 10 м

Ветер на 100 м

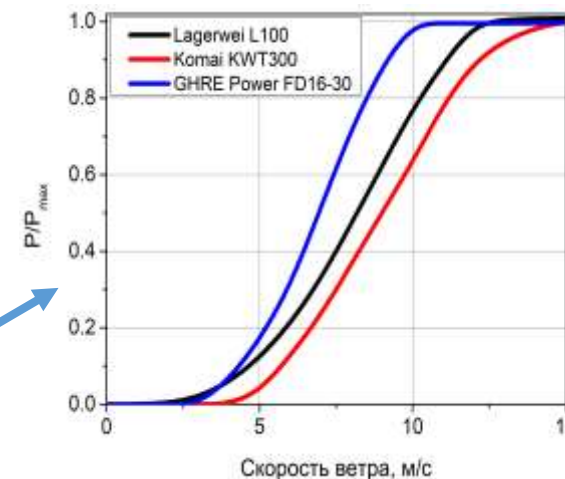
- LONGi, LR5-54HTH 445 M (IBC)
- Suntech Ultra V STP-405S-C54 (PERC)
- Suntech Ultra V Pro STP-420S-C54 (TOPCon)
- Suntech Ultra X STP-665S-D66 (PERC)
- Хевел HVL 445MBB (HJT)
- Хевел HVL-390/HJT MBB (HJT)



Удельная
часовая
выработка =
= КИУМ
(часовой)
3498 × 6
ориентаций

	P _{max} кВт	h, м
GHRE Power FD16-50	50	16
Komai KWT 300	300	41.5
Lagerwei L100	2500	99

$$v = v_{100} \left(\frac{h}{100} \right)^{\lg\left(\frac{v_{100}}{v_{10}}\right)}$$



Удельная
часовая
выработка =
= КИУМ
(часовой)
46812 × 3 ВЭУ



ECMWF Reanalysis
v5 (ERA5)

Административное деление России



88 регионов

Объединены:

- Москва с Московской областью
- Санкт-Петербург с Ленинградской областью
- Севастополь с Республикой Крым

4 крупных региона разделены по внутренним административным границам:

- Красноярский край (3 зоны)
- Республика Саха (Якутия, 3 зоны)
- Хабаровский край (2 зоны)
- Иркутская область (2 зоны)

ТИЭС совпадают с соответствующими регионами (Таймырская – с северной зоной Красноярского края)

ФОРМАТЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МАССИВОВ ДАННЫХ

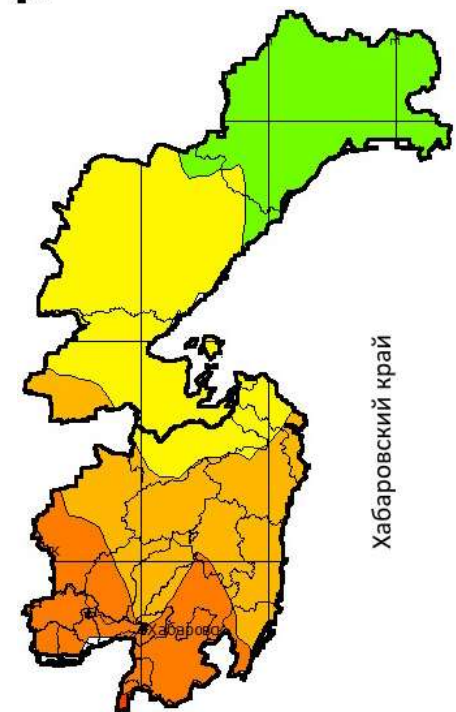
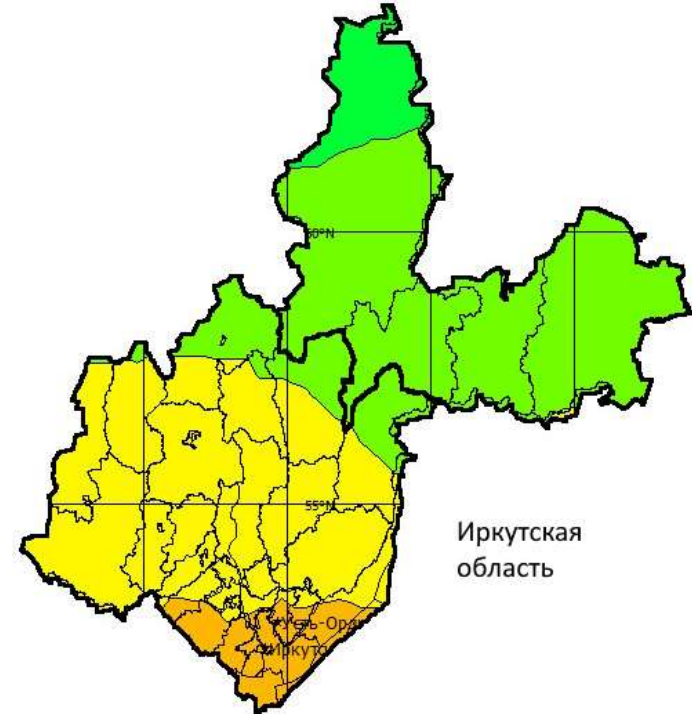
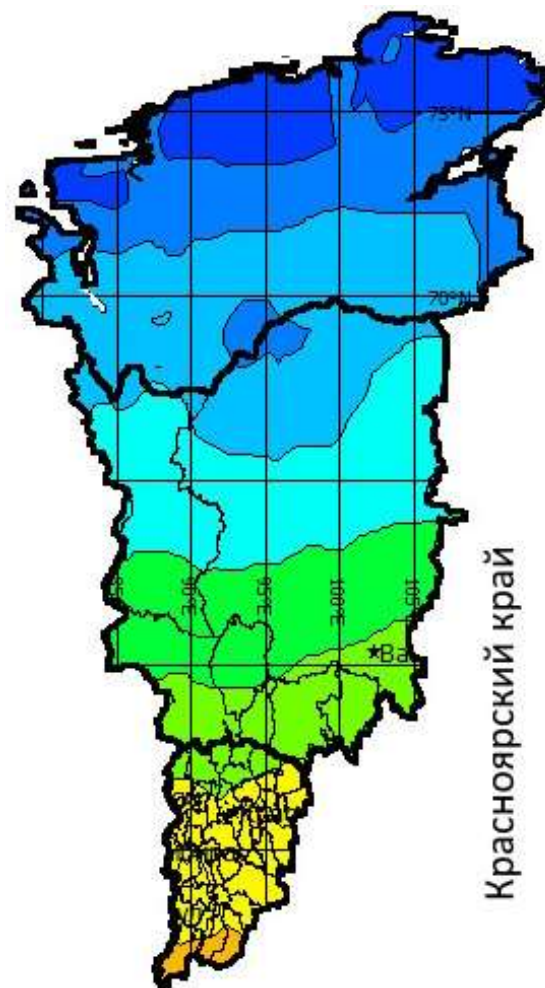
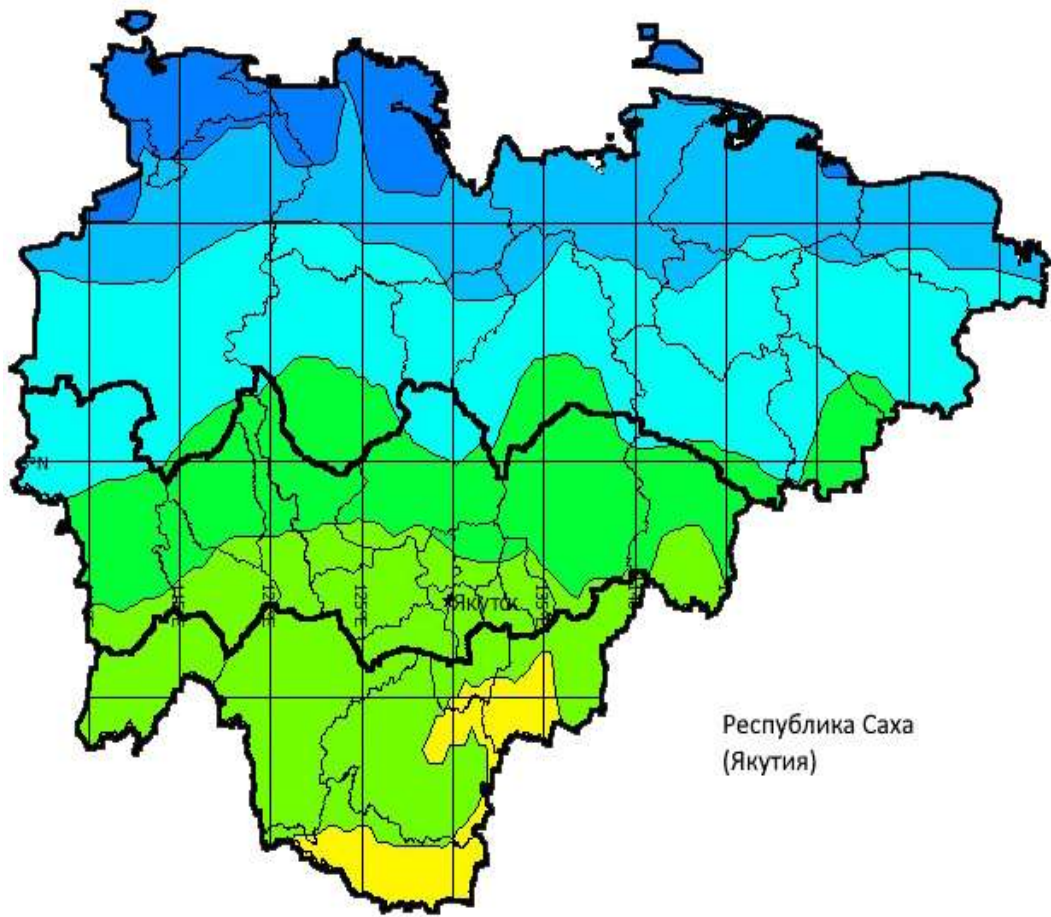
СЭС
Удельная часовая выработка =
= КИУМ
(часовой)
3498 × 6
ориентаций

ВЭС
Удельная часовая выработка =
= КИУМ
(часовой)
46812 × 3 ВЭУ

Структура энергосистемы



ДЕЛЕНИЕ КРУПНЫХ РЕГИОНОВ НА ЗОНЫ (вариации КИУМ СЭС)



БИОЭНЕРГЕТИКА. ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ.

Ресурсы биомассы: отходы наиболее крупных отраслей растениеводства (солома зерновых, стебли и лузга подсолнечника и др.), животноводства (навоз крупного рогатого скота, свиней, помёт кур), твердые коммунальные отходы (ТКО)

Количественные характеристики технологий: нормы образования отходов (растениеводства, животноводства, ТКО), энергосодержание отходов, типовые КПД установок преобразования отходов в тепловую и электрическую энергию, затраты энергии на собственные нужды.

Источники данных по численности постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям, валовому сбору сельскохозяйственных культур и поголовью скота и птицы:

1. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) <https://fedstat.ru/>
2. База данных показателей муниципальных образований / Федеральная служба государственной статистики <https://www.gks.ru/dbscripts/munst>

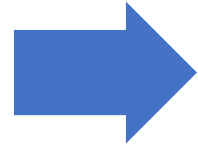
РАССМАТРИВАЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ:

- сжигание в топках котлов для получения тепловой энергии;
- получение биогаза с последующим его использованием в качестве топлива когенерационных энергоустановок на основе газопоршневых машин, газовых микротурбин, расплав-карбонатных и твердооксидных топливных элементов.

БИОЭНЕРГЕТИКА. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

Оценка валового энергopotенциала отходов растениеводства

- Расчет количества отходов и их энергоемкости с учетом возможностей использования их и в других отраслях промышленности

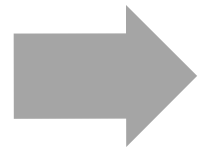


Оценка технического энергopotенциала отходов растениеводства

- Расчет потенциала производства тепловой энергии с учетом теплотворной способности отходов

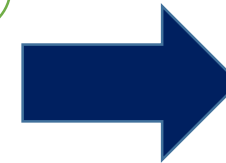
Оценка валового энергopotенциала отходов животноводства и ТКО

- Расчет количества отходов с учетом половозрастного состава скота и численности населения в муниципальных образованиях РФ.
- Оценка выхода биогаза/биометана из отходов животноводства и свалочного газа на полигонах ТКО.



Оценка технического энергopotенциала отходов животноводства и ТКО

- Расчет потенциала производства электрической и тепловой энергии из биогаза и свалочного газа



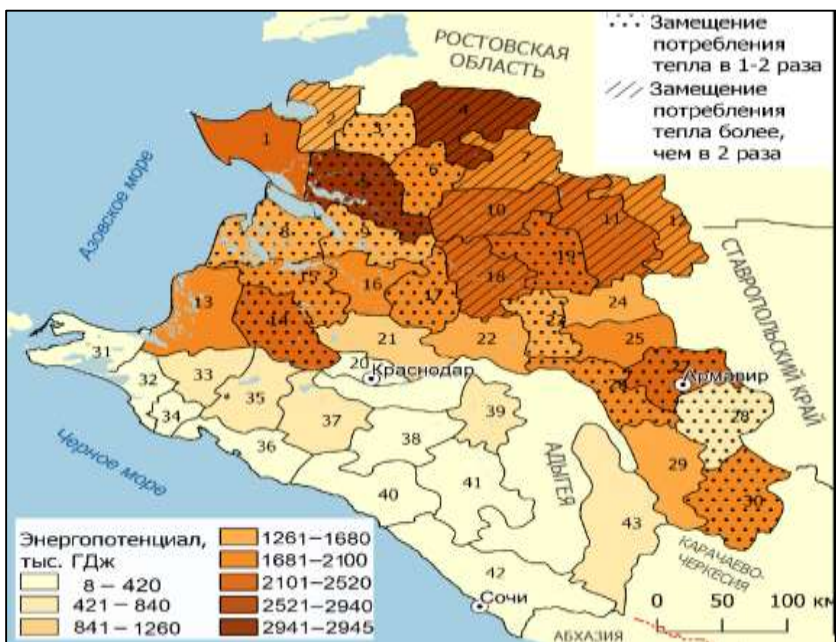
Пространственный анализ:
- карты потенциалов производства энергии из отходов биомассы
- определение территорий с высоким потенциалом замещения энергопотребления

Перспективы:

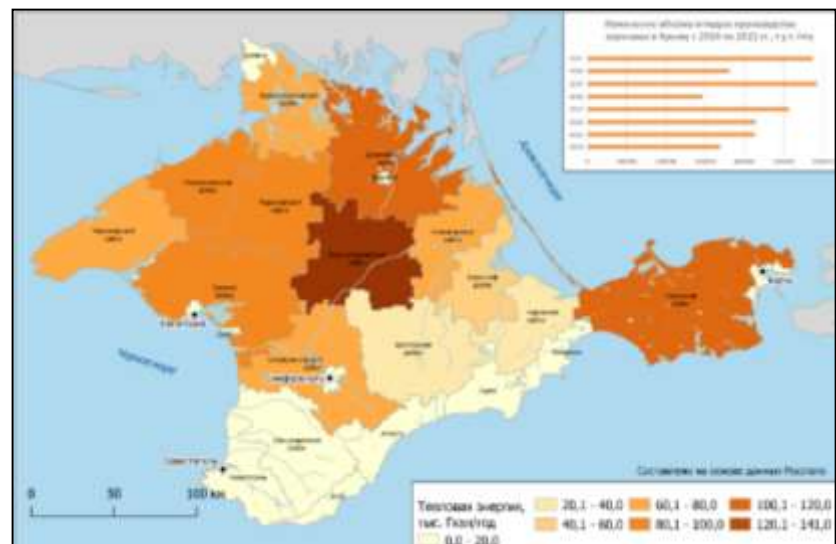
Анализ территорий с учетом логистических, производственных и др. затрат на транспортировку биотоплива

БИОЭНЕРГЕТИКА. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОК

Пространственный анализ результатов оценки технического энергопотенциала отходов растениеводства средствами ГИС

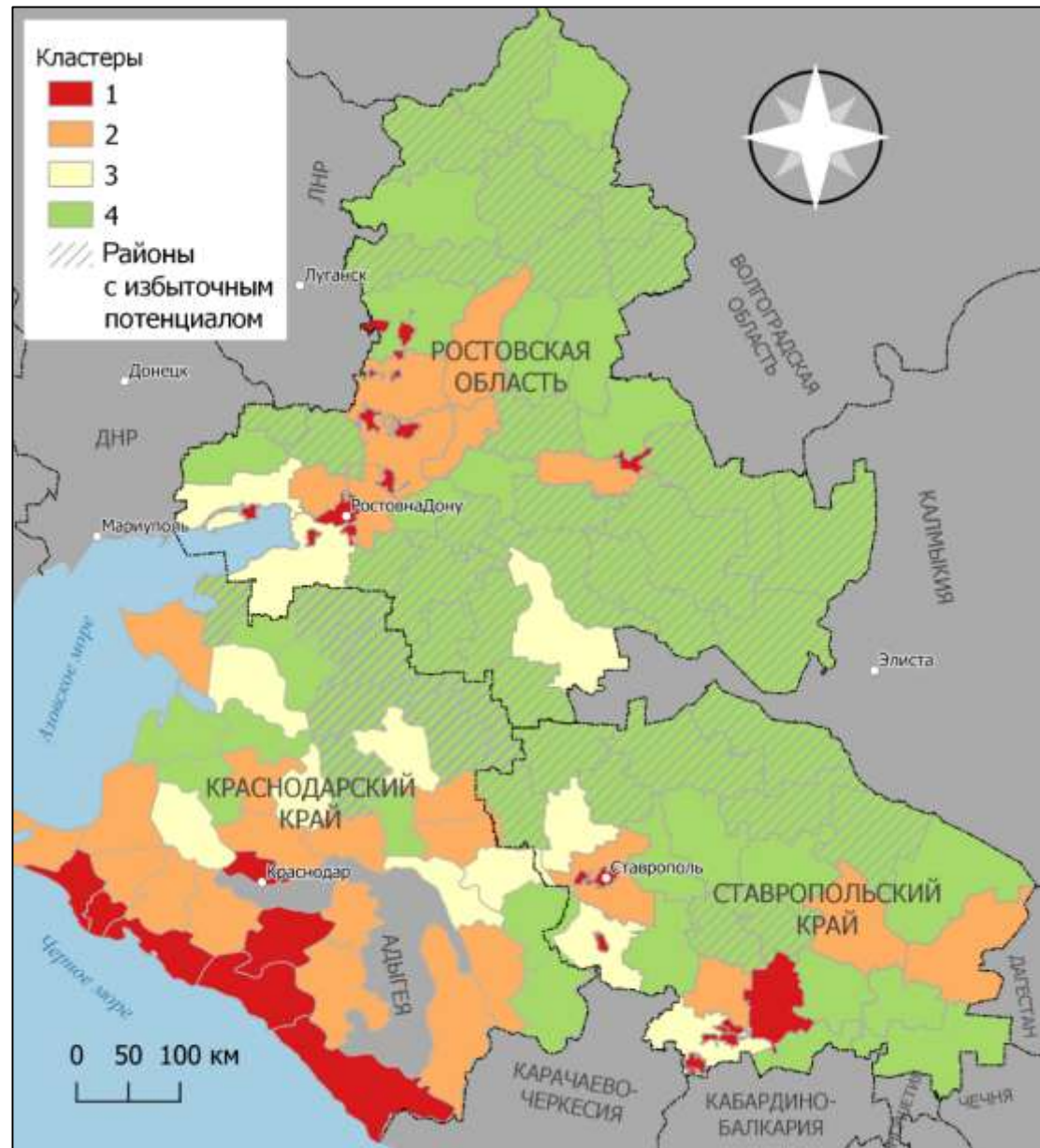


Валовый потенциал и степень замещения тепловой энергии в районах Краснодарского края



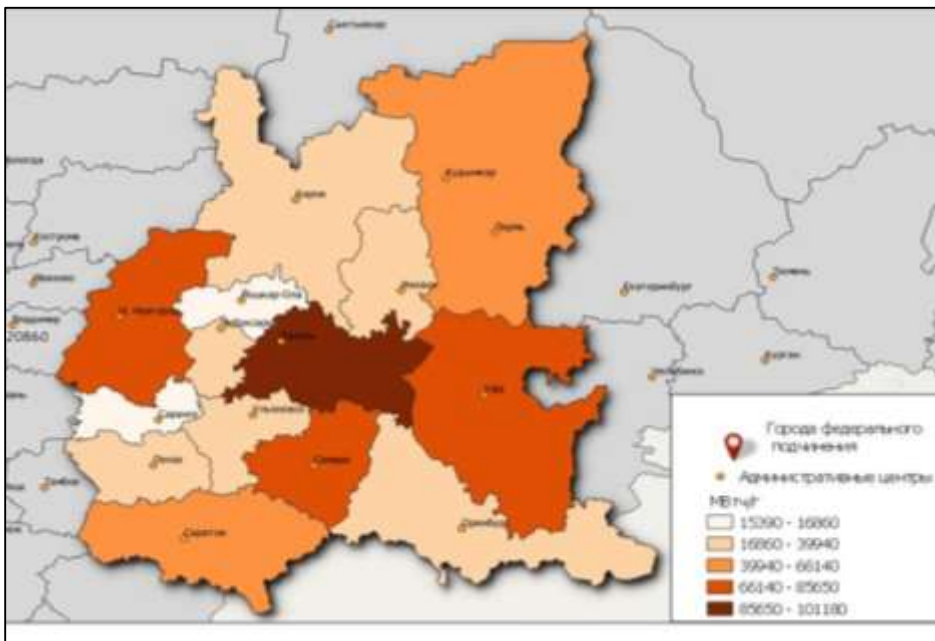
Потенциал производства тепловой энергии из отходов сельского хозяйства в Республике Крым

Кластерный анализ возможностей энергозамещения за счёт использования отходов сельского хозяйства в регионах Юга России

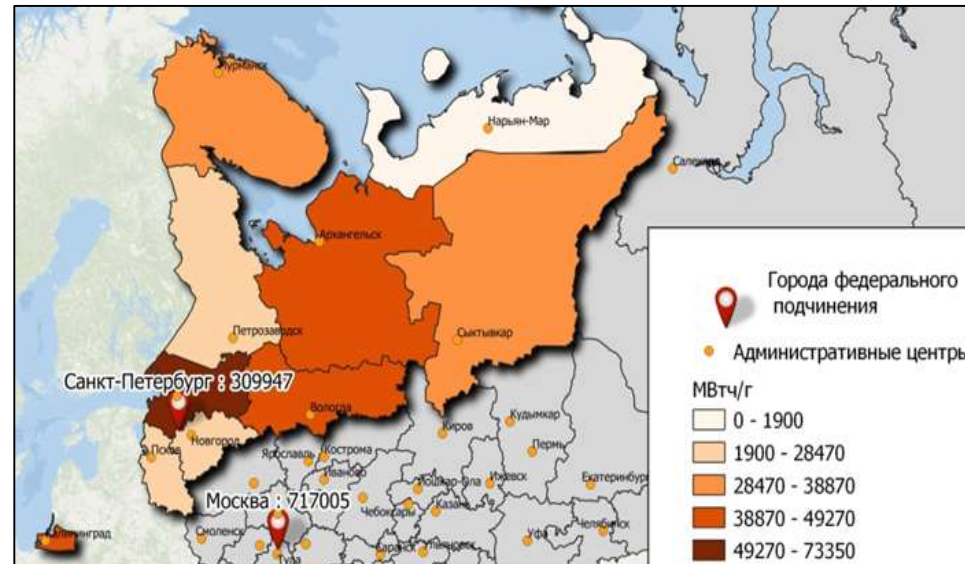


БИОЭНЕРГЕТИКА. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОК

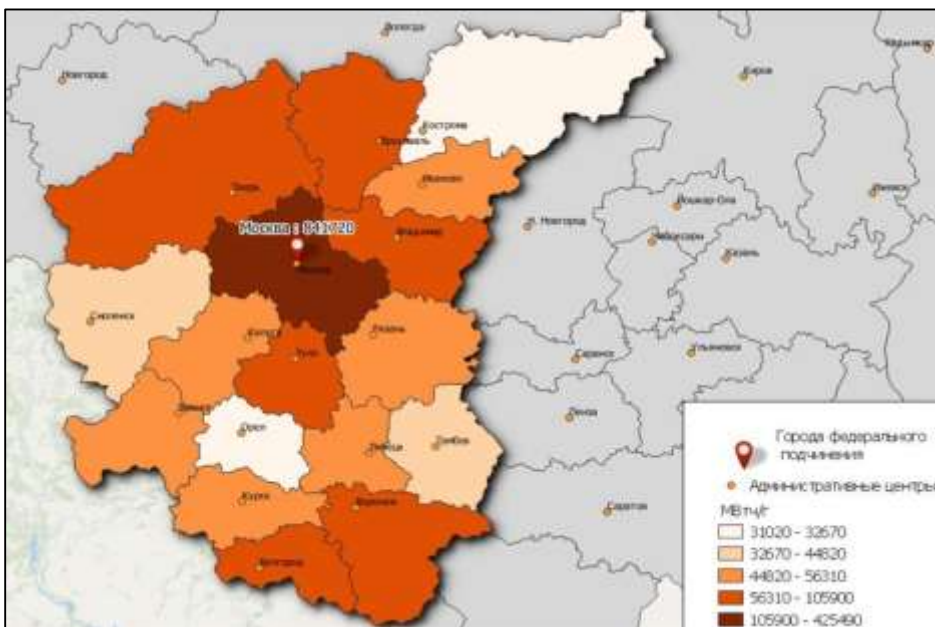
Пространственный анализ результатов оценки технического энергопотенциала свалочного газа средствами ГИС



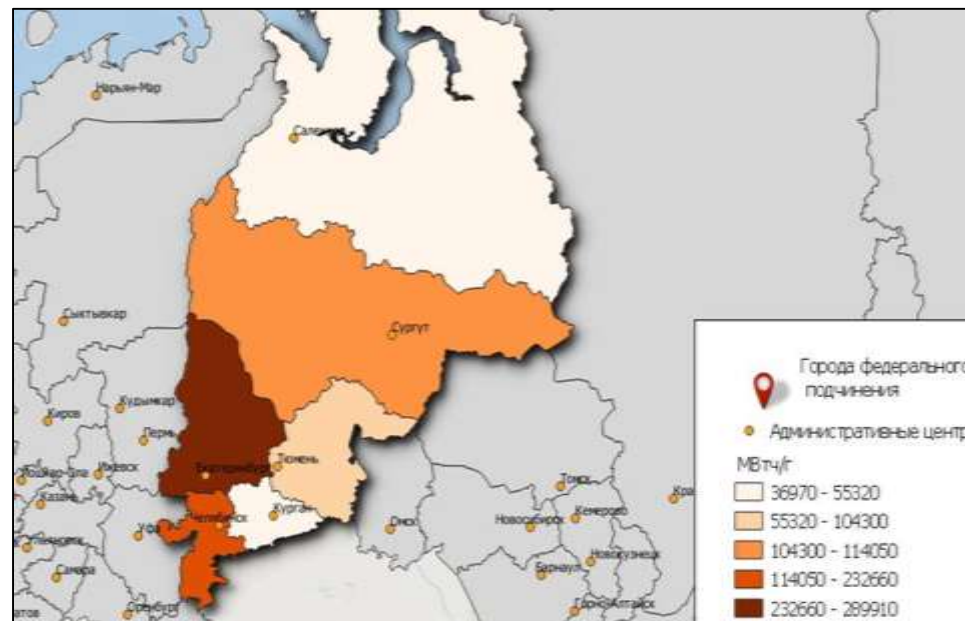
Приволжский
Федеральный
округ РФ



Северо-Западный
Федеральный
округ РФ



Центральный
Федеральный
округ РФ



Уральский
Федеральный
округ РФ

УЧЕТ ОГРАНИЧЕНИЙ - ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНОК ТЕХНИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Помимо климатических на дальнейших этапах работы требуется более детальный учет ограничений на использование ВИЭ в регионах:

1. Ограничения, связанные с несовпадением графиков выработки энергии ВИЭ и ее потребления, что заставляет предусматривать дополнительные затраты на создание накопителей электрической энергии и гарантирующих систем на основе органического топлива при питании крупных промышленных потребителей
2. Ограничения, связанные с объемами потребления энергии и мощности в конкретных регионах и предельно возможными перетоками энергии и мощности между соседними регионами
3. Ограничения, связанные с невозможностью использования ряда территорий из-за их категорий (особо охраняемые территории, земли обороны и безопасности, с/х земли, лесные территории и т.п.)
4. Экономические ограничения, связанные с затратами на транспортировку энергии ВИЭ к потребителям, расположенным вдали от районов с высоким потенциалом ВИЭ, включая стоимость строительства новых линий электропередачи и трансформаторных подстанций.

На следующем этапе работ планируется выделение наиболее перспективных регионов по КИУМ ВИЭ и проведение детального анализа ограничений в этих регионах.

ВЫВОДЫ

- 1. Проведены оценки потенциалов выработки электрической и тепловой энергии с использованием основных видов возобновляемых источников энергии (солнце, ветер, биомасса, малые водные потоки, геотермальная энергия) для территории России с детализацией по административным районам страны и по региональным объединенным энергосистемам.**
- 2. В рамках выполненных оценок учтены климатические особенности территорий, параметры современного оборудования для получения электрической и тепловой энергии из возобновляемых источников, вопросы локализации оборудования.**
- 3. Результаты представлены как в виде массивов данных, так и в виде отдельных карт. Выполнение данной работы позволяет перейти к детальным оценкам влияния использования возобновляемых источников энергии на степень декарбонизации энергетики в различных регионах России.**
- 4. Проведена оценка вклада ВИЭ в сокращение выбросов CO₂. 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 около 0,5% от суммарных выбросов энергетики России.**
- 5. Дальнейшие исследования будут направлены на более детальный учет ограничений по развитию ВИЭ в регионах страны с учетом несовпадения графиков выработки энергии ВИЭ и ее потребления, предельно возможных перетоков энергии и мощности между соседними регионами, невозможности использования ряда территорий из-за их категорий (особо охраняемые территории, земли обороны и безопасности, с/х земли, лесные территории и т.п. и т.п.), экономических ограничений, связанных с затратами на транспортировку энергии ВИЭ к потребителям, расположенным вдали от районов с высоким потенциалом ВИЭ.**