

Информационно аналитическая среда «Углерод-Э»: задачи, текущие возможности и планы развития

***Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Бурцев М.А,
Кобец Д.А., Стыценко Е.А.***

Институт космических исследований РАН

Х Всероссийская конференция с международным участием

«Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» (SDM 2025)

Посвященная памяти академика Ю.И. Шохина

г. Белокуриха, Алтайский край, Россия.

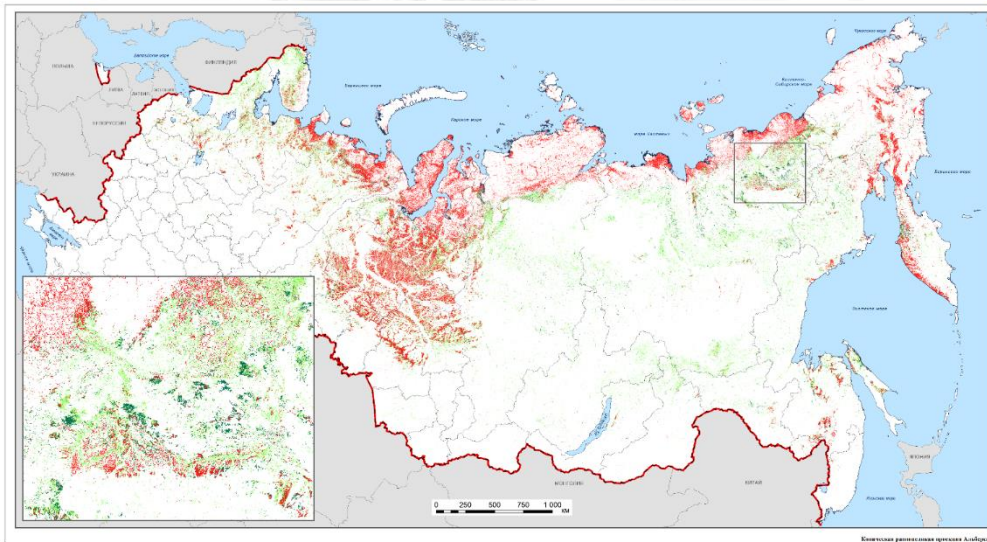
26 августа 2025 года

Важнейший инновационный проект Государственного значения
«Создание системы национального мониторинга углерода»
Консорциум 4 «Углерод в экосистемах: мониторинг»
(в консорциум входят более 20 организаций)



Некоторые результаты первого этапа проекта (2022 – 2023 год)

Оценка динамики зарастания лесной древесной растительностью болот России



- Сформированные на открытых болотах леса
- Открытые болота с наличием леса или редколесий
- Безлесные болота

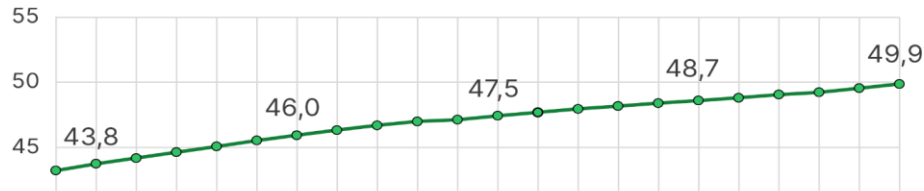


Заросшие в период 2001–2022 годов лесной древесной растительностью территории открытых болот России (слева) и ежегодная динамика их покрытой лесом площади (справа)

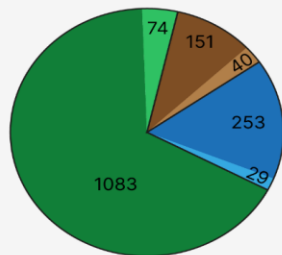
Оценка нетто-поглощения углерода лесами России

$\times 10^9$ т С

Запас углерода в растительной биомассе лесов и редины

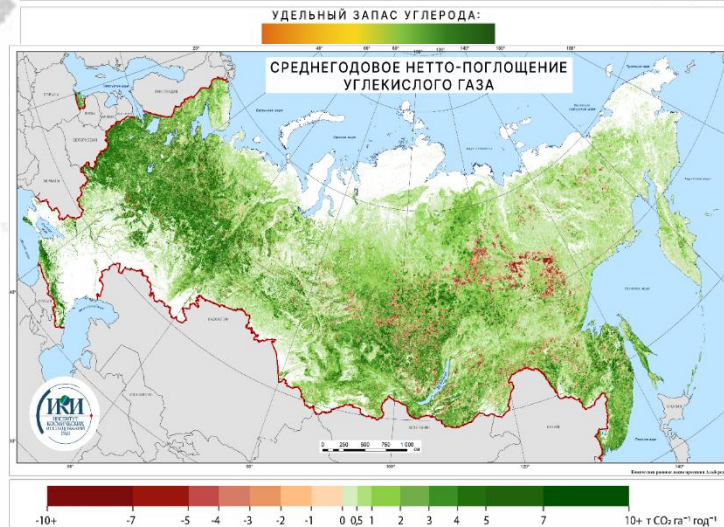
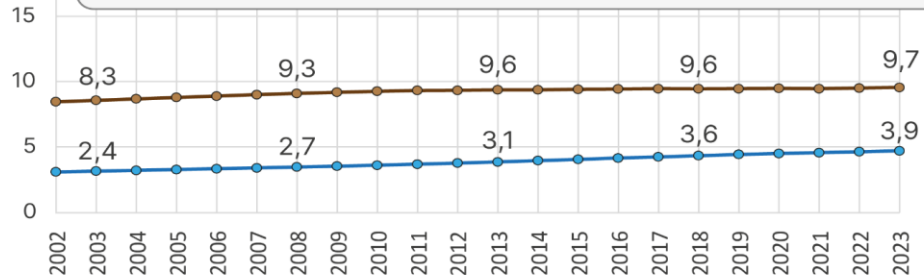


Среднее нетто-поглощение 2002-2023, млн т CO₂ в год:



Управляемые Резервные Неучтенные

Леса	1083,1	151,2	253,2	1487,5
Редины	74,5	40,3	29,1	143,9
	1157,7	191,5	282,3	1631,5



Уточненная оценка запаса и баланса углерода в растительной биомассе лесов России

	Запас углерода, тС (2023 год)	Объем нетто-поглощения CO ₂ , тCO ₂ ×год ⁻¹ (2002-2023)
Фактические средние значения	63,6×10 ⁹	1631,5×10 ⁶
СКО	3,1×10 ⁹	87,8×10 ⁶
Доверительный интервал, 95%	56,9×10 ⁹ – 69,1×10 ⁹	1468×10 ⁶ – 1801×10 ⁶
Потенциальные средние значения	66,6×10 ⁹	2162,2×10 ⁶

Установлено, что в среднем управляемые леса России способны поглощать примерно на 440 мегатонн CO₂ больше, чем считалось ранее.

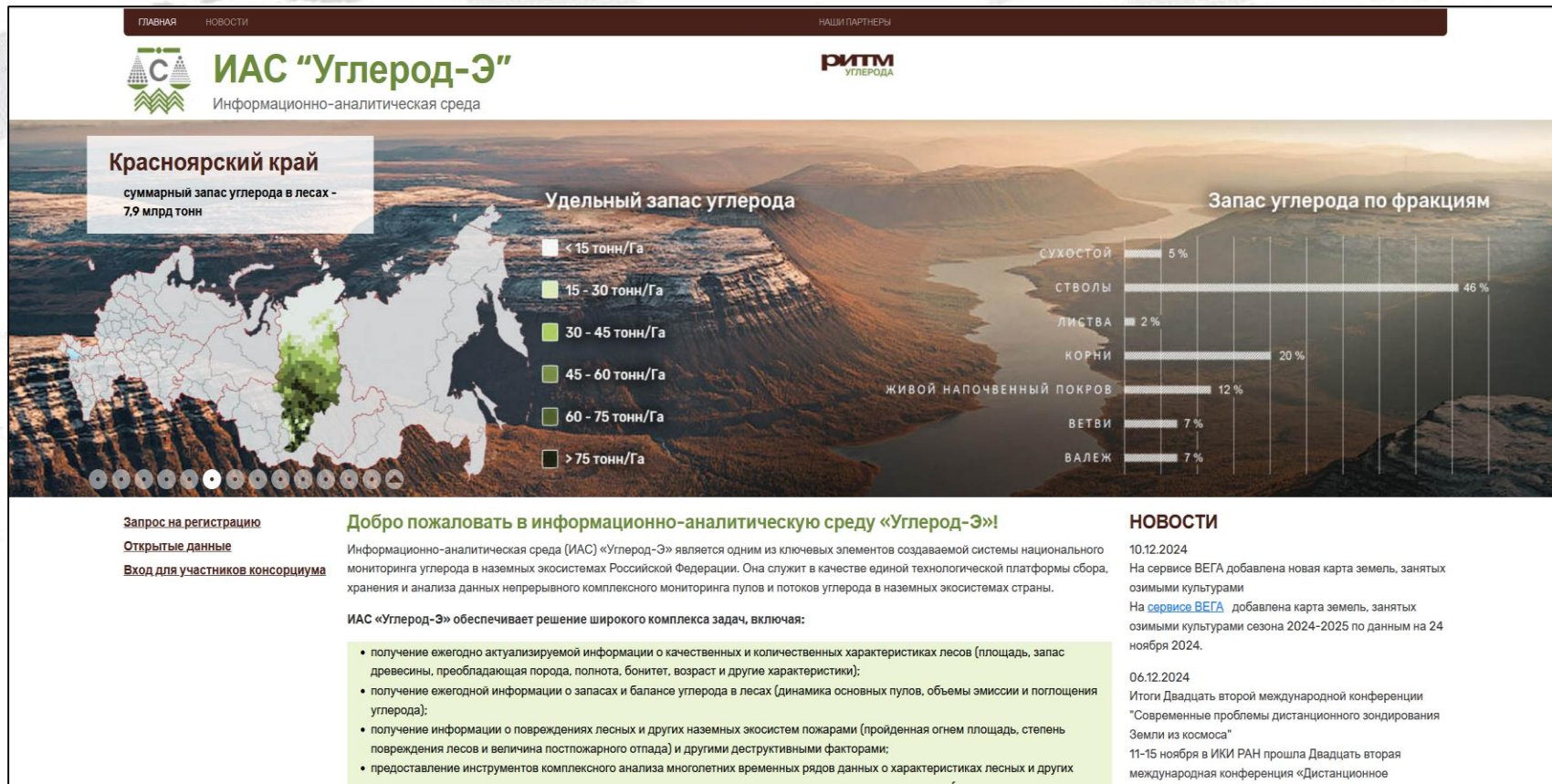
По данным ИНП РАН

(<https://www.interfax.ru/russia/990236>) это

дает экономию для бюджета РФ в части

декарбонизации около 3 трлн руб.

Создание информационно-аналитической среды «Углерод-Э» (<http://carbon.geosmis.ru/>)



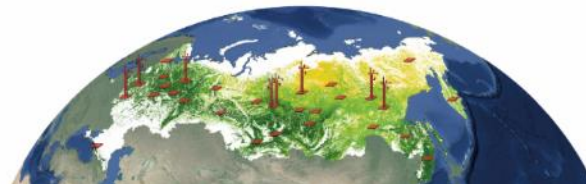
Основные задачи информационно-аналитической системы (ИАС) «Углерод-Э»

- **Организация работы с архивами данных для ведения мониторинга пулов и потоков углерода в наземных экосистемах. В том числе с архивами:**
 - **спутниковых данных и результатов их обработки;**
 - **данных, получаемых на пробных площадях и тестовых полигонах, ориентированных на мониторинг пулов углерода;**
 - **сопутствующей информации (картография, метеоданные и т.д.)**

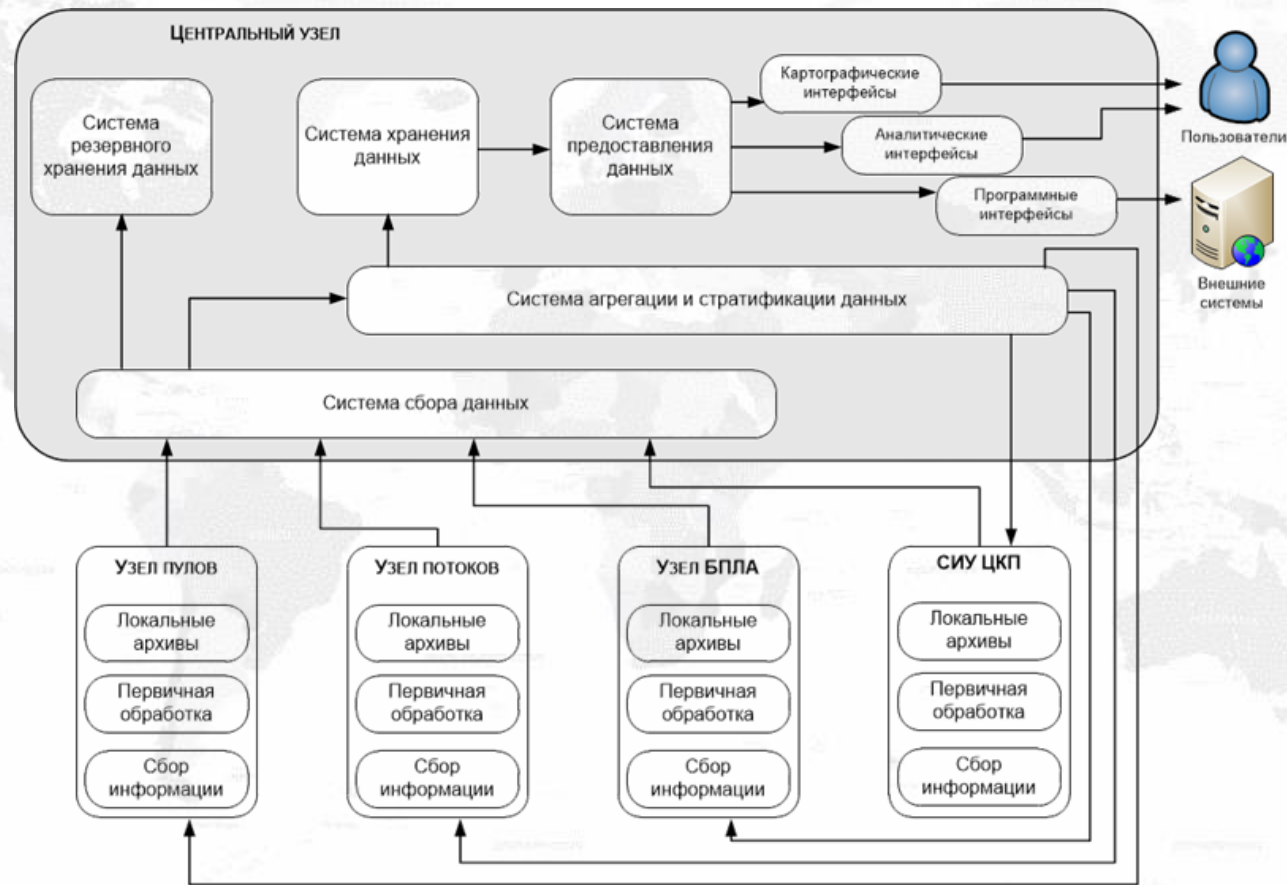
Основные задачи ИАС «Углерод-Э»

- **Проведение комплексной обработки информации**, получаемой из различных источников, для формирования информационных продуктов в интересах решения задач мониторинга бюджета и пулов углерода в наземных экосистемах
- **Предоставление инструментов для автоматизированного и интерактивного распределенного анализа данных** для разработки методов мониторинга бюджета и пулов углерода в наземных экосистемах, в том числе в интересах ведения национального кадастра
- **Предоставление вычислительных ресурсов** для разработки методов мониторинга бюджетов и пулов углерода в наземных экосистемах

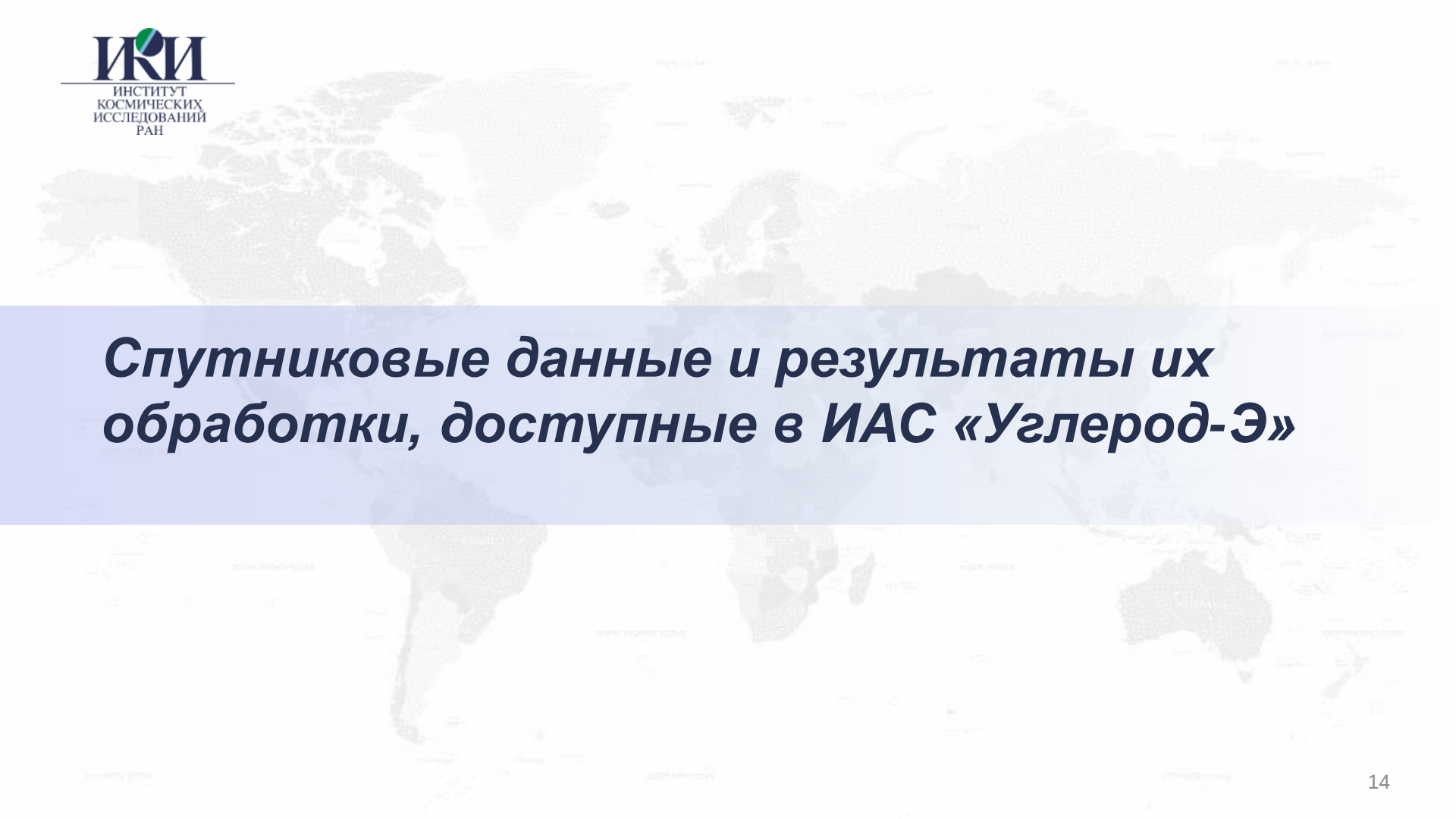
Логическая инфраструктура ИАС «Углерод-Э»



Базовая архитектура ИАС «Углерод-Э»



Информационное наполнение ИАС «Углерод -Э»

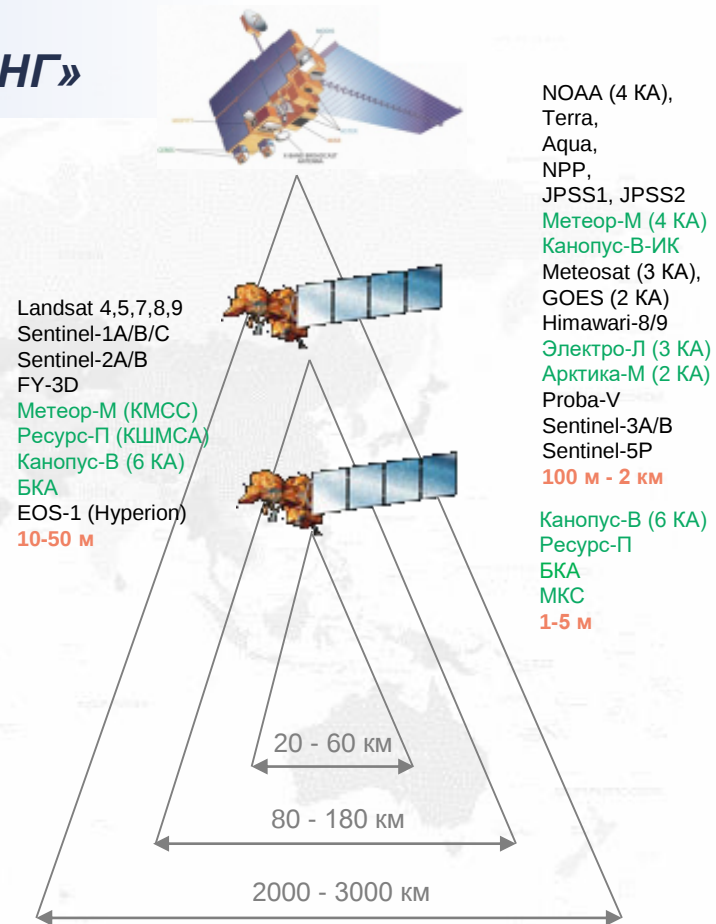


Спутниковые данные и результаты их обработки, доступные в ИАС «Углерод-Э»

Основные спутниковые данные, с которыми работает ЦКП «ИКИ-МОНИТОРИНГ»

- В основном ориентирован на использование **РОССИЙСКИХ** и **ОБЩЕДОСТУПНЫХ** зарубежных данных
- Информация в систему поступает из **РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ЦЕНТРОВ** сбора, обработки и архивации спутниковых данных
- Обеспечивает работу с данными **БОЛЕЕ ЧЕМ 50 СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЙ**
- Обеспечивает работу с данными **БОЛЕЕ ЧЕМ 30 ТИПОВ ПРИБОРОВ** наблюдения
- **ГЛУБИНА АРХИВОВ** более **40 ЛЕТ**

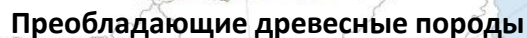
Информация приведена на конец февраля 2025 г.

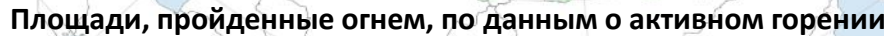


- Зеленым выделены российские и белорусские спутниковые системы

* Система также позволяет работать с различными данными, загружаемыми пользователями

***Примеры доступных в системе
информационных продуктов, получаемых
на основе спутниковых данных***

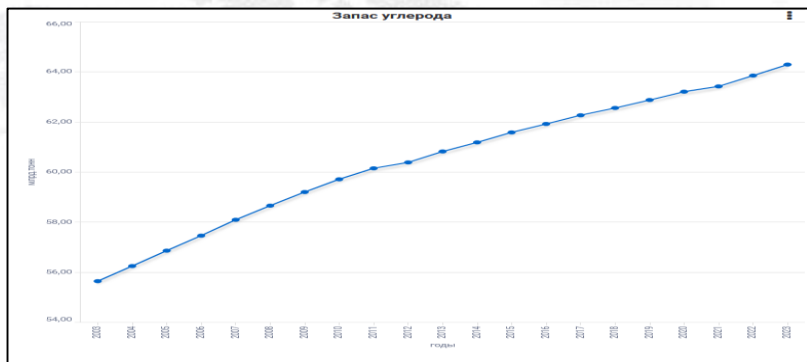




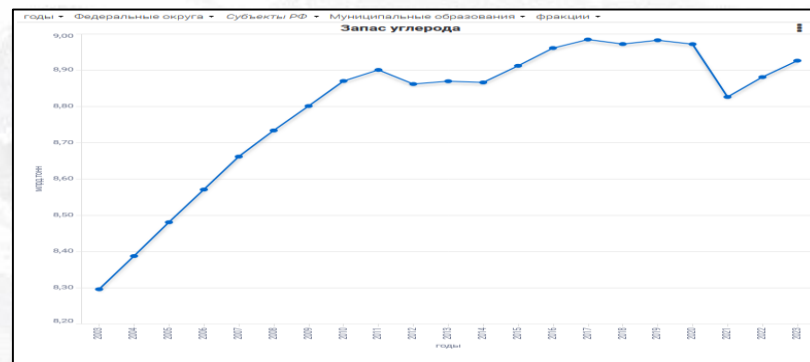
По большинству характеристик в системе сформированы базы данных с однородными рядами наблюдений всей территории России за период с 2001 по 2024 годы.

Ряды данных наблюдений различных характеристик лесов в различных регионах РФ

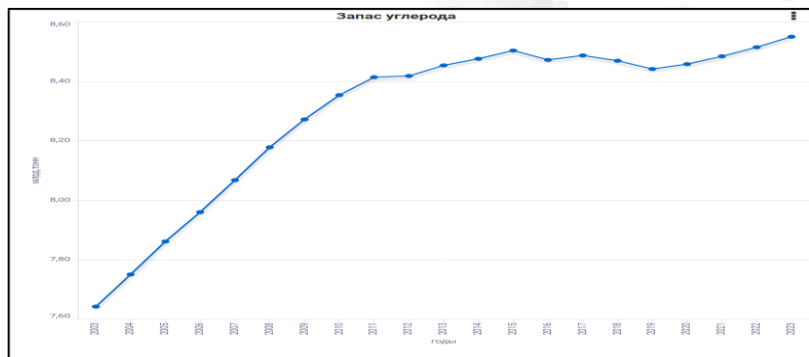
(пример динамики запасов углерода в лесах с 2003 по 2023 годы)



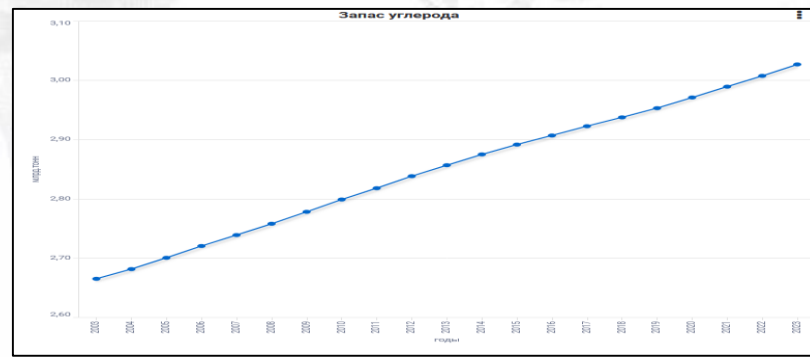
Интегрально по всей территории РФ



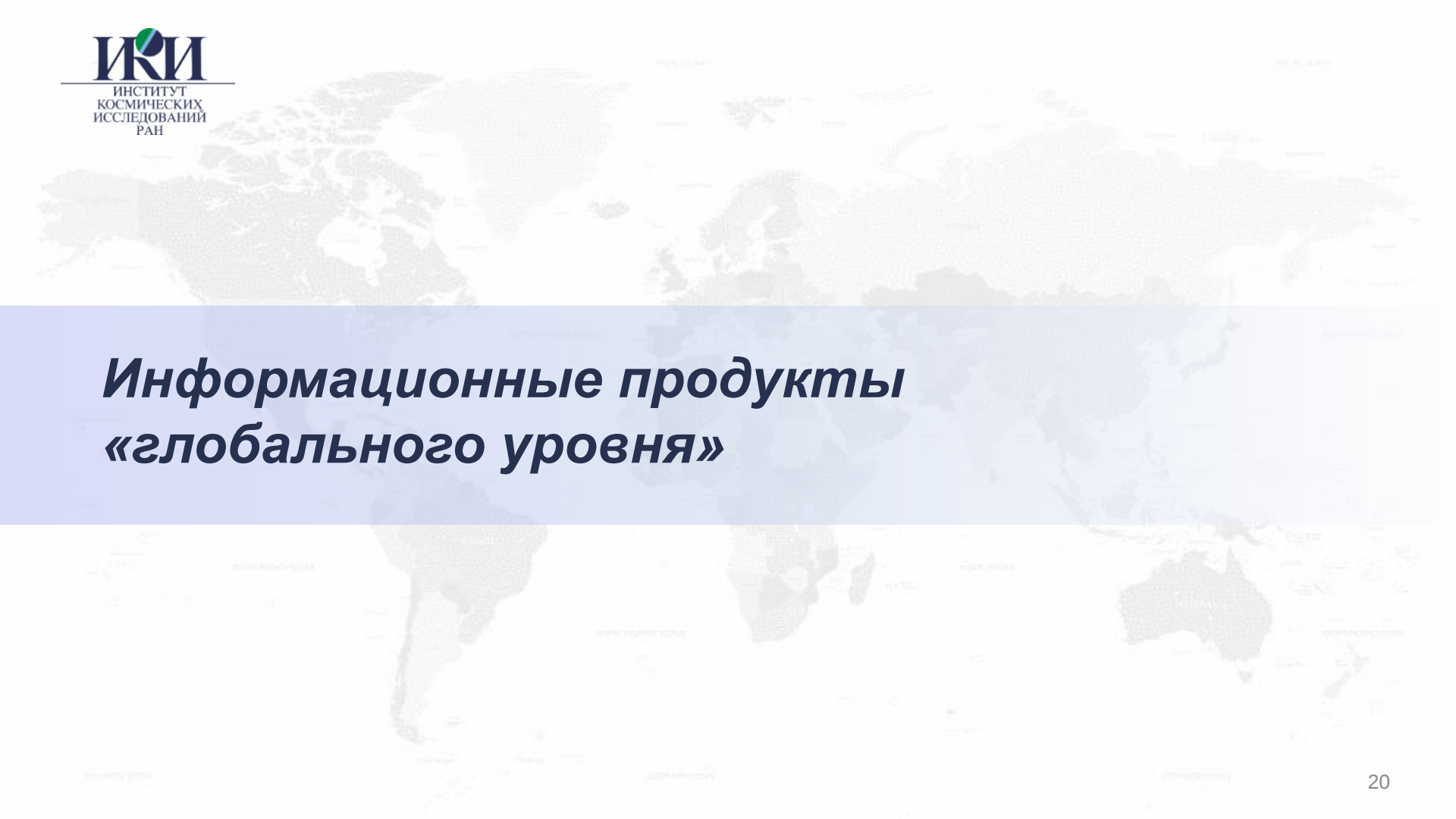
На территории республики Саха (Якутия)



На территории Красноярского края

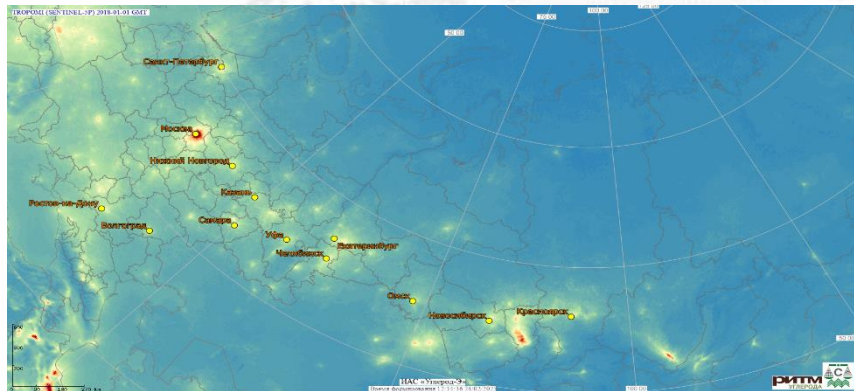


На территории республики Коми

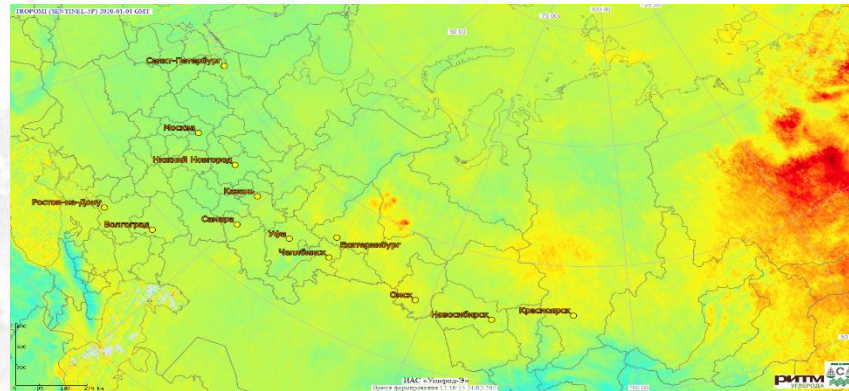


Информационные продукты «глобального уровня»

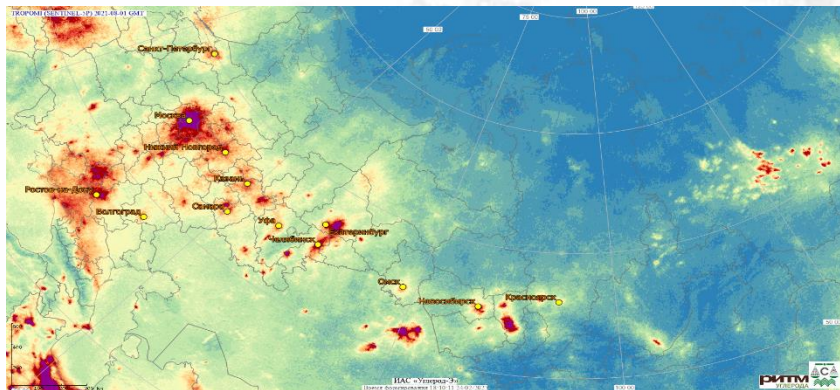
Примеры продуктов, полученных на основе измерений концентраций малых газовых составляющих



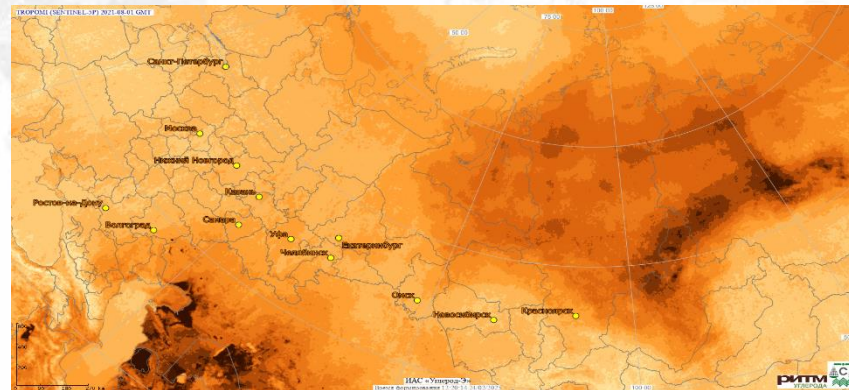
Многолетний «безветренный» композит концентрации NO₂



Ежегодный композит концентрации CO (2020 год)



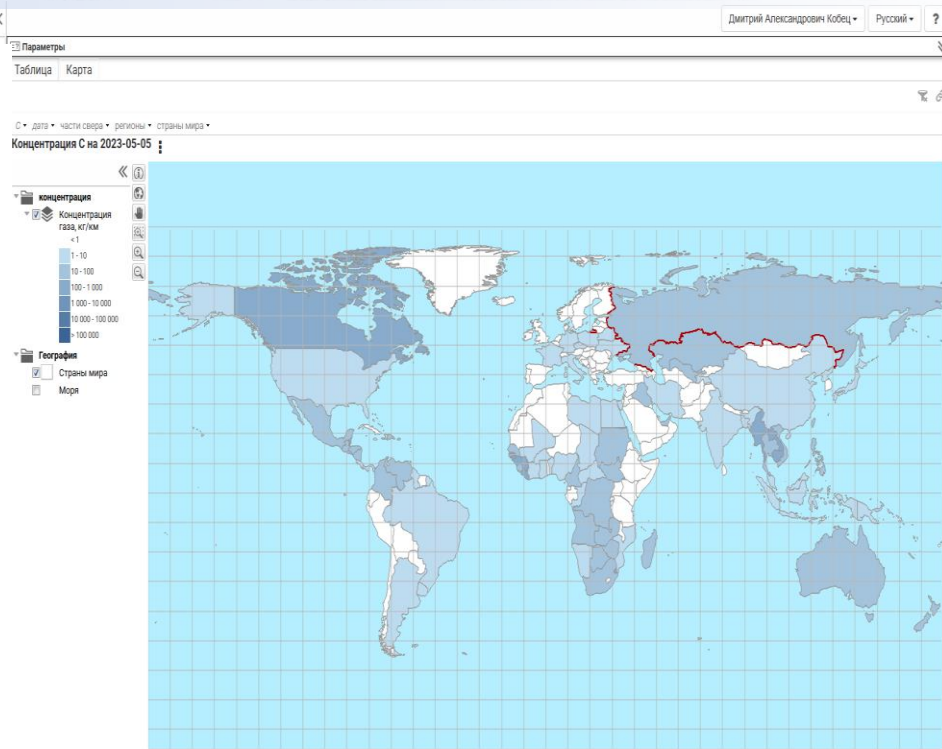
Ежегодный композит концентрации NO₂ (август 2021)



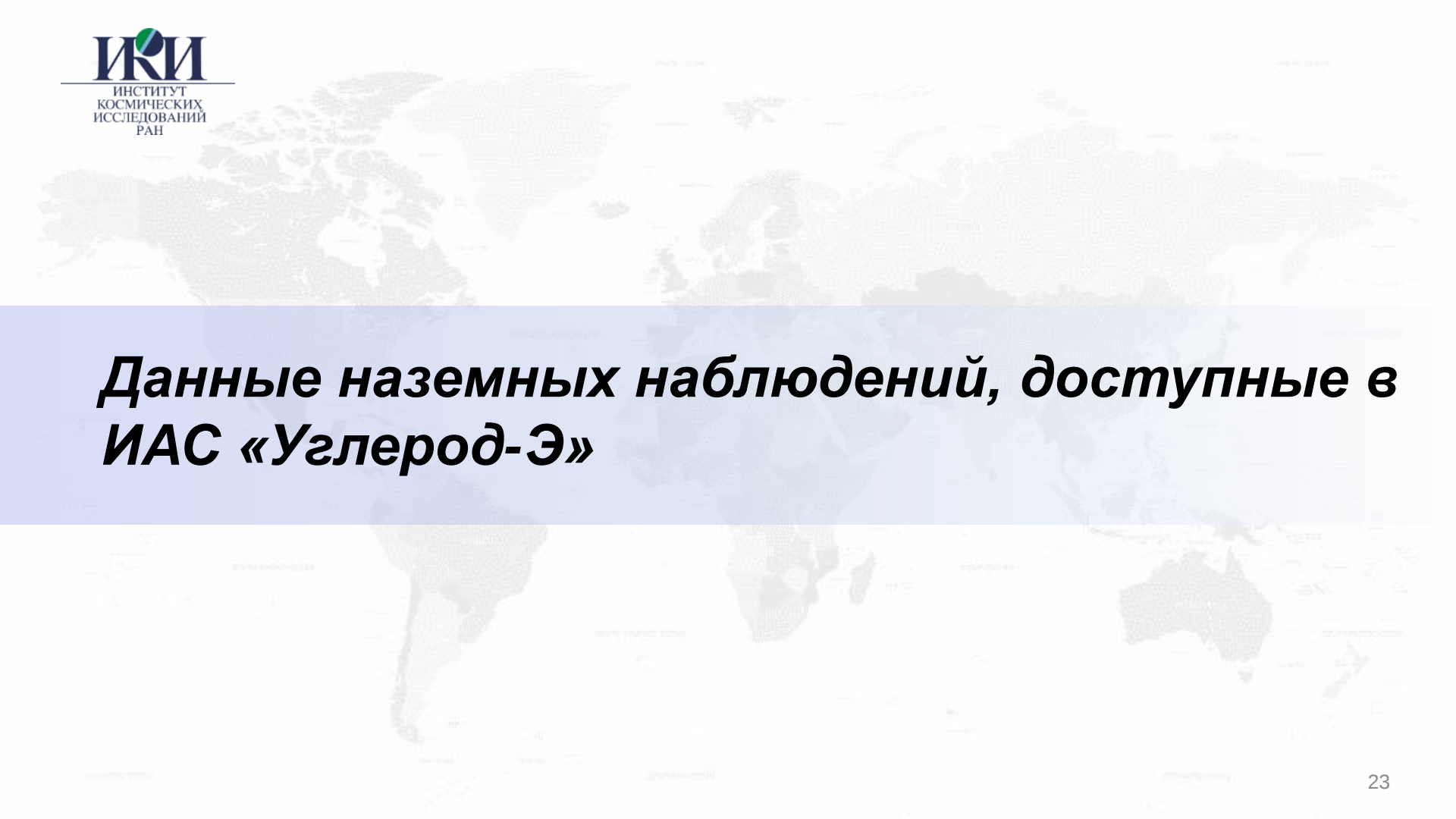
Ежегодный композит концентрации CO (август 2021)

(Global Fire Assimilation System - глобальный продукт на основе ДЗЗ, разработанный для оценки эмиссии климатически активных веществ в результате природных пожаров)

- *FRP*
- *BC*
- *C*
- *CH4*
- *CO*
- *CO2*
- *Nox*
- *OC*
- *SO2*

[illegible]

Выбросы С по данным GFAS за 2023-08-17



Данные наземных наблюдений, доступные в ИАС «Углерод-Э»

Наборы данных, получаемые в ходе работ консорциума

(в скобках указаны «головные» организации, ответственные за сбор, обработку и ведение соответствующих архивов данных)

- 1. Данные измерений потоков парниковых газов на ЭКС (ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН)**
- 2. Данные камерных измерений эмиссии почв пилотных полигонов (ИФХиБПП РАН)**
- 3. Данные наземных таксационных обследований лесов на сети полигонов экстенсивного уровня (ФБУ Рослесинфорг)**
- 4. Данные наземных таксационных обследований лесов на сети полигонов интенсивного уровня I типа (ЦЭПЛ РАН)**
- 5. Данные беспилотных летательных аппаратов по пилотным полигонам интенсивного уровня I типа (ЦЭПЛ РАН)**
- 6. Данные наземных измерений почв и почвенного покрова (ЦЭПЛ РАН)**
- 7. Данные наземных таксационных обследований лесов на полигонах биогеоценозов (ЦЭПЛ РАН)**
- 8. Данные картографирования содержания и запасов органического углерода почв (ПОУ) пилотных регионов (ЦЭПЛ РАН)**
- 9. Данные наземных обследований почв и запасов углерода агроландшафтов (ИАС Углерод-Э АГРО) (ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева)**

*Данные измерений потоков парниковых
газов на сети эколого-климатических
станций*

Данные измерений потоков парниковых газов на сети эколого-климатических станций

Ответственная организация

- ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН*

Основная решаемая задача

- Оценка баланса парниковых газов на уровне экосистем*

Наполнение данными

- В ИАС зарегистрированы 22 ЭКС и внесены измерения за разные годы по 14 станциям*

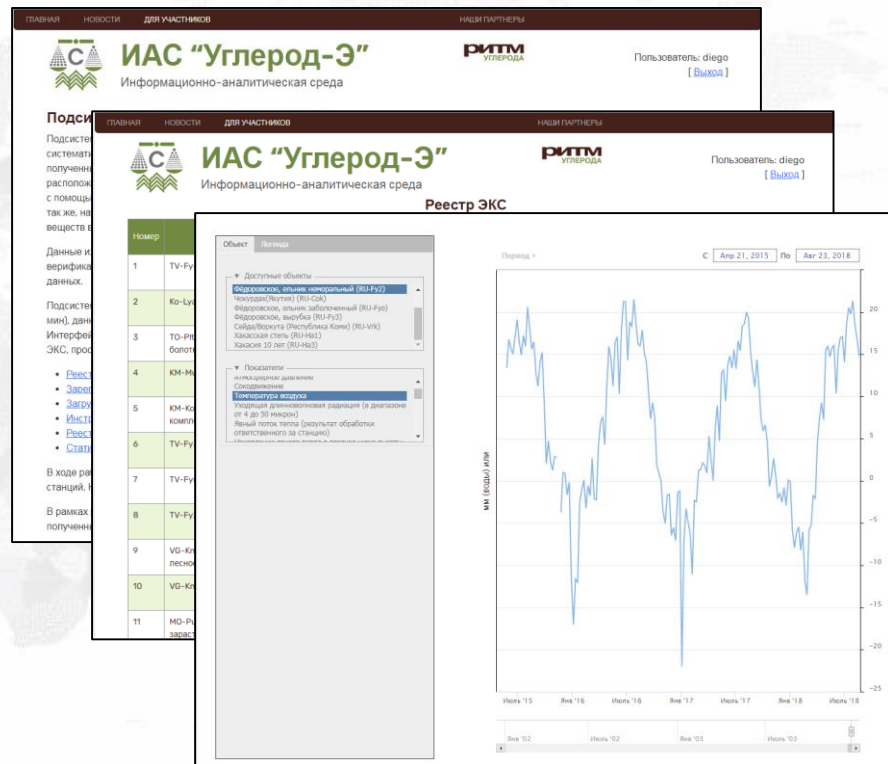


Расположение зарегистрированных в ИАС эколого-климатических станций

Работа с данными измерений потоков парниковых газов на сети эколого-климатических станций (ЭКС)

Реализованные инструменты для загрузки, управления и анализа данных, в том числе для:

- ведения БД измерений (регистрация станций, загрузка и первичная проверка данных и др.);
- просмотра и контроля загруженных данных, информации о наличии данных разных станций и статистики о наполнении БД;
- анализа временной динамики различных показателей, получаемых на основе данных измерений ЭКС



Инструменты ИАС «Углерод-Э» работы с данными ЭКС

*Данные камерных измерений эмиссии почв
(ЭП) пилотных полигонов*

Данные камерных измерений эмиссии почв (ЭП) пилотных полигонов

Ответственная организация

- ИФХиБПП РАН

Основная решаемая задача

- Оценка эмиссий парниковых газов из почв на сети наземного мониторинга

Наполнение данными

- В ИАС зарегистрированы 123 площадки измерения ЭП



Расположение зарегистрированных площадок измерения
ЭП

Работа с данными камерных измерений эмиссии почв пилотных полигонов

Реализованные инструменты для загрузки, управления и анализа данных, в том числе для:

- ведения БД измерений (регистрация станций, загрузка и первичная проверка данных и др.);
- пространственного анализа точек проведения измерений;
- просмотра основных загруженных в ИАС данных измерений.

ПЛАВАЯ НОВОСТИ ДЛЯ УЧАСТНИКОВ НАВИГАТОРЫ

 **ИАС "Углерод-Э"**  Пользователь: diego
Информационно-аналитическая среда [Выход]

Подсистема работы с данными камерных измерений дыхания почв (подсистема ЭП)

Подсистема работы с данными эмиссии почв (ЭП) в составе ИАС «Углерод-Э» реализуется для поддержки решения задач проекта в части организации работы участников консорциума и смежных подсистем ИАС с информацией почвенного дыхания, собираемой на площадках

мон. ПЛАВАЯ НОВОСТИ ДЛЯ УЧАСТНИКОВ НАВИГАТОРЫ
дан.

 **ИАС "Углерод-Э"**  Пользователь: diego
Информационно-аналитическая среда [Выход]

Реестр площадок

Номер	Код региона	Ближайший населенный пункт	Широта, градусы	Долгота, градусы	Высота, м	Ю. вышки	Организация	Примечания	Карточка площадки	Загрузить данные
1	MOS	Пушино	54.90277	37.55760	166	nd	ИФХиБГП РАН	Квазизрелесный лес (> 130 лет)	Карточка площадки	Загрузить данные
2	MOS	Пушино	54.90274	37.55643	165	nd	ИФХиБГП РАН	Регулярное сенокосное	Карточка площадки	Загрузить данные
3	MOS	Пушино	54.83422	37.57330	185	nd	ИФХиБГП РАН	Вторичный лес после рубок 1941-45 гг.	Карточка площадки	Загрузить данные
4	MOS	Пушино	54.83431	37.57438	180	nd	ИФХиБГП РАН	Старосеянный луг, частично заросший лесом	Карточка площадки	Загрузить данные
5	MOS	Пушино	54.82862	37.56874	190	nd	ИФХиБГП РАН	Зерно-паровой севооборот	Карточка площадки	Загрузить данные
6	MOS	Пушино	54.82869	37.56896	190	nd	ИФХиБГП РАН	Запек с 2004 г., поросшая березняком	Карточка площадки	Загрузить данные
7	KUR	Курская Биосферная станция ИГ РАН	51.56007	36.12155	224	nd	ИГ РАН	Квазизрелесный лес (~ 150 лет) без ухода	Карточка площадки	Загрузить данные
8	KUR	Курская Биосферная станция ИГ РАН	51.53552	36.08829	224	nd	ИГ РАН	Средневозрастной лес (~ 90 лет) без ухода	Карточка площадки	Загрузить данные
9	KUR	Курская Биосферная станция ИГ РАН	51.53937	36.06556	224	nd	ИГ РАН	Средневозрастные посадки 1950-90 гг. (ок. 60 лет), без	Карточка площадки	Загрузить данные

Инструменты ИАС для работы с данными ЭП

***Данные наземных таксационных
обследований лесов на сети полигонов
экстенсивного уровня***

Данные наземных таксационных обследований лесов на сети полигонов экстенсивного уровня

Ответственная организация

- ФБУ Рослесинфорг

Основная решаемая задача

- Оценка запасов углерода в пулах лесных древостоев

Наполнение данными

- В систему загружены данные измерений, полученных за 2023 и 2024 годы по 240 наземным полигонам

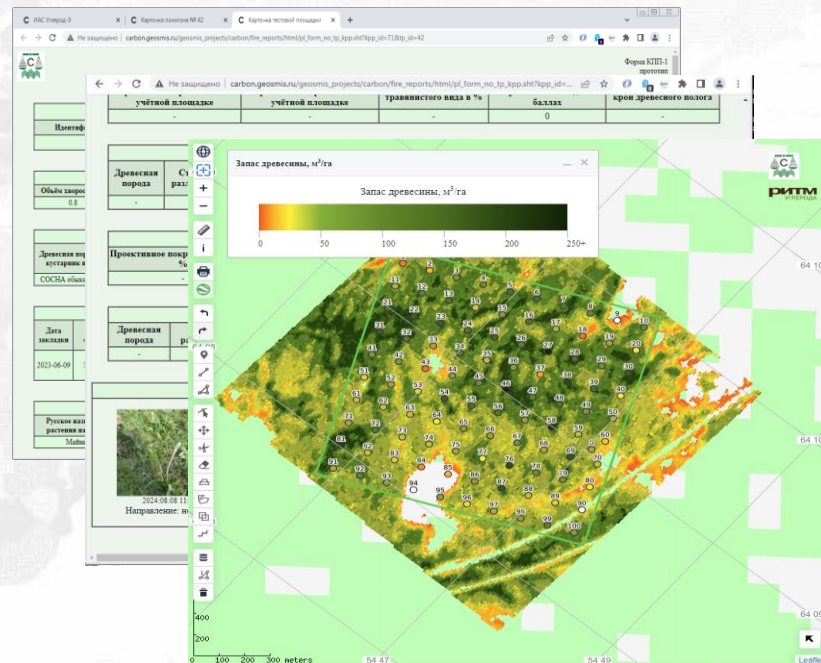


Полигоны сети экстенсивного уровня в БД ИАС

Работа с данными наземных таксационных обследований лесов на сети полигонов экстенсивного уровня

Реализованы инструменты для

- ведения БД измерений (загрузка и первичная проверка данных и др.);
- работы с данными обследований (анализ расположения полигонов, анализ различных параметров в точках наблюдений, просмотр фотоматериалов, совместный анализ с данными спутниковых наблюдений и результатами их обработки)



Интерфейсы для работы с данными наземных обследований

*Данные наземных таксационных обследований
лесов на сети полигонов интенсивного
уровня типа I*

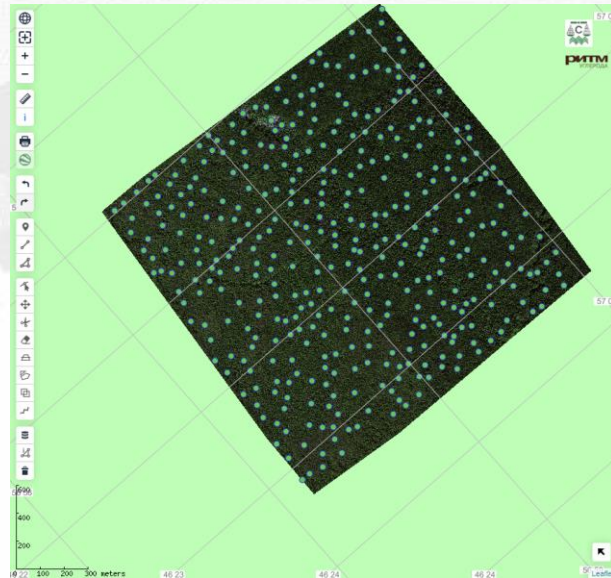
Данные наземных таксационных обследований лесов на сети полигонов интенсивного уровня и полигонов биогеоценозов

Ответственная организация

- ЦЭПЛ РАН

Основные решаемые задачи

- Обучение и валидация геопространственных моделей оценки пулов углерода с использованием данных дистанционного зондирования,
- Уточнение оценок пулов углерода в лесах на полигонах экстенсивного уровня,
- Совершенствование методик наземных и дистанционных работ на тестовых полигонах,
- Уточнение конверсионных коэффициентов, настройка и валидация моделей прогноза динамики бюджета углерода



Пробные площадки наземного
полигона Шаранга

Данные наземных таксационных обследований лесов на сети полигонов интенсивного уровня I типа

Реализованы:

- возможность онлайн работы ИАС «Углерод Э» с БД, формируемой в ЦЭПЛ РАН, наземных обследований на полигонах интенсивного уровня тип I
- картографические и табличные инструменты для работы с данными совместно с другой информацией, имеющейся в ИАС «Углерод Э»

ГЛАВНАЯ	НОВОСТИ	ДЛЯ УЧАСТНИКОВ	НАШИ ПАРТНЕРЫ
	ИАС «Углерод-Э» Информационно-аналитическая среда		Пользователь: diego [Выход]
Полигоны наземных таксационных обследований биогеоценозов			
Номер	Название тестового полигона	Расположение	Организация
1	Ногинский	Московская область	ЦЭПЛ РАН
2	Шаранга	Нижегородская область	ЦЭПЛ РАН
3	Кивач	Республика Карелия	ФИЦ КарНЦ РАН
4	Ляльский	Республика Коми	ИБ ФИЦ Коми НЦ РАН
5	Мухрино	Ханты-Мансийский автономный округ - Югра (Тюменская область)	ЮГУ
6	Судиславский	Костромская область	ЦЭПЛ РАН
7	Верхне-Уссурийский	Приморский край	ЦЭПЛ РАН
8	Ачикулак	Ставропольский край	ЦЭПЛ РАН
9	Хейги-Яха	Ямало-Ненецкий автономный округ (Тюменская область)	ЦЭПЛ РАН
	ИАС «Углерод-Э» Информационно-аналитическая среда	ГЛАВНАЯ	НОВОСТИ

Реестр полигонов интенсивного уровня в ИАС

***Данные беспилотных летательных
аппаратов по пилотным полигонам
интенсивного уровня I типа***

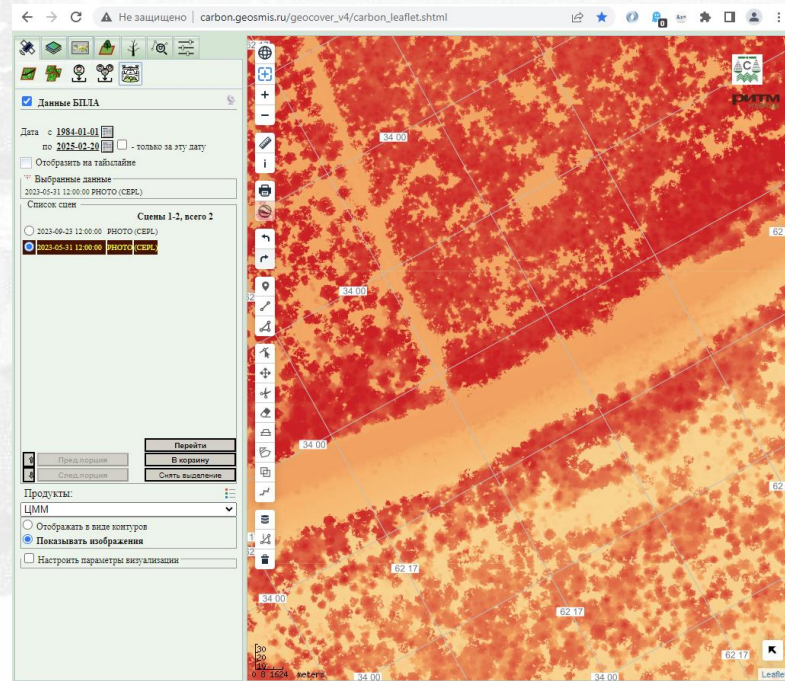
Данные беспилотных летательных аппаратов по пилотным полигонам интенсивного уровня I типа

Ответственная организация

- ЦЭПЛ РАН

Основная решаемая задача

- Геопространственное моделирование пулов углерода в лесах на основе комбинации данных наземных и дистанционных наблюдений

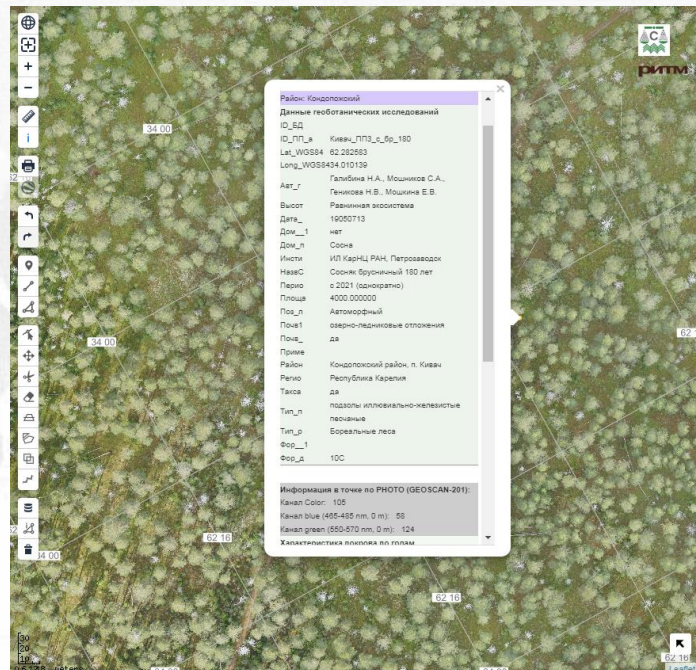


Изображение данных цифровой модели рельефа местности, получаемой на основе прибора Геоскан-201, в интерфейсе ИАС «Углерод-Э»

Данные беспилотных летательных аппаратов по пилотным полигонам интенсивного уровня I типа

Реализованы механизмы для

- потокового импорта и загрузки данных; проведён импорт накопленной съемки полигонов;
- Автоматической аннотации, сборки «мозаик» и занесения продуктов в БД ИАС «Углерод-Э»
- представления данных БПЛА в картографическом интерфейсе ИАС «Углерод Э», их обработки и совместного анализа с другими данными



Данные БПЛА совместно с данными геоботанических обследований полигона Кивач

***Данные наземных измерений характеристик почв и
почвенного покрова полигонов
(взаимодействие с ИС SoilVeg, soil.carbon.geosmis.ru)***

Данные наземных измерений характеристик почв и почвенного покрова (ИС SoilVeg)

Ответственная организация

- ЦЭПЛ РАН

Основная решаемая задача

- Оценки характеристик для параметризации математических моделей и изучения варьирования запасов углерода по ряду направлений:
 - характеристик почв и почвенного покрова
 - фитомассы напочвенного покрова
 - геоботанических описаний на сети
 - почвенным животным
 - почвенным микроорганизмам
 - по водной миграции соединений углерода

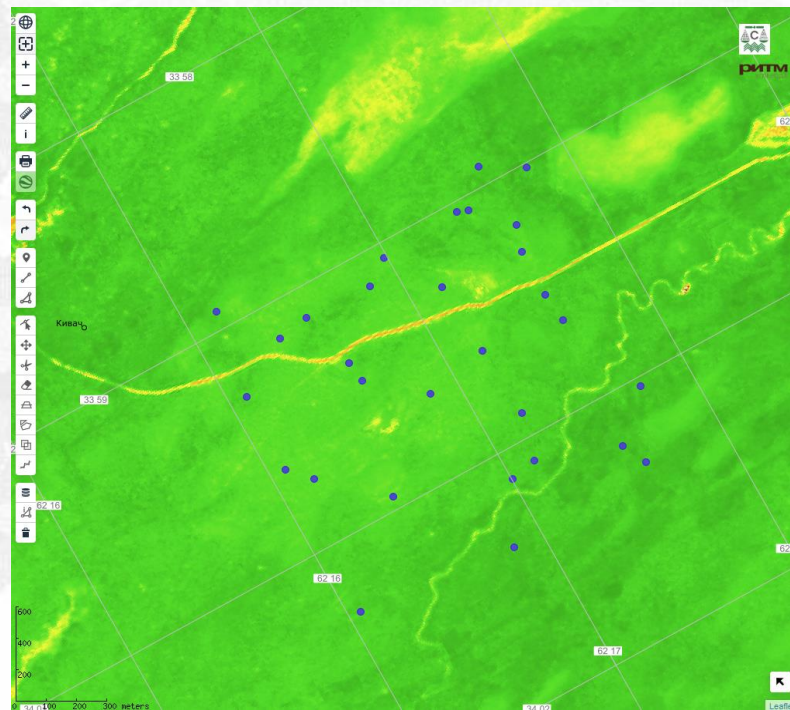


Расположение наземных полигонов с данными наземных измерений

Данные наземных измерений характеристик почв и почвенного покрова (ИС SoilVeg)

Реализованы:

- на мощностях ИАС «Углерод Э» реализован узел системы ИС SoilVeg (<http://soil.carbon.geosmis.ru>);
- схема онлайн взаимодействия ИС ИАС «Углерод-Э» с ИС SoilVeg;
- Картографические и табличные интерфейсы для работы с данными ИС SoilVeg в ИАС «Углерод-Э»



***Данные картографирования содержания и
запасов органического углерода почв (ПОУ)
пилотных регионов***

Данные картографирования содержания и запасов органического углерода почв (ПОУ) пилотных регионов

Ответственная организация

- ЦЭПЛ РАН

Основная решаемая задача

- Оценка динамики запасов органического углерода почв на региональном уровне

Состояние работ

- В настоящее время ведутся работы по реализации онлайн взаимодействия ИАС «Углерод-Э» с БД ПОУ

*Данные наземных обследований почв и
запасов углерода агроландшафтов (ИАС
Углерод-Э АГРО)*

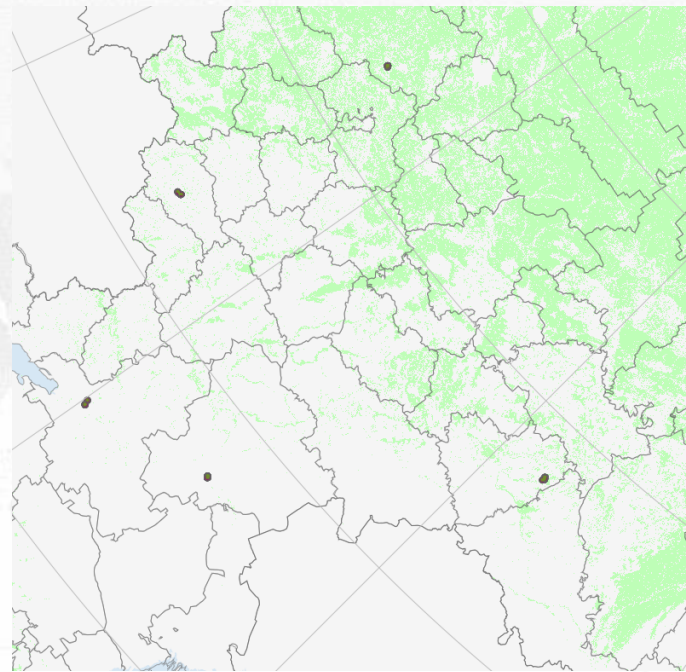
Данные наземных обследований почв и запасов углерода агроландшафтов (ИАС Углерод-Э АГРО)

Ответственная организация

- ФИЦ Почвенный институт им. В.В. Докучаева

Основная решаемая задача

- Оценка запасов углерода в пулах сельскохозяйственных почв для параметризации математических моделей

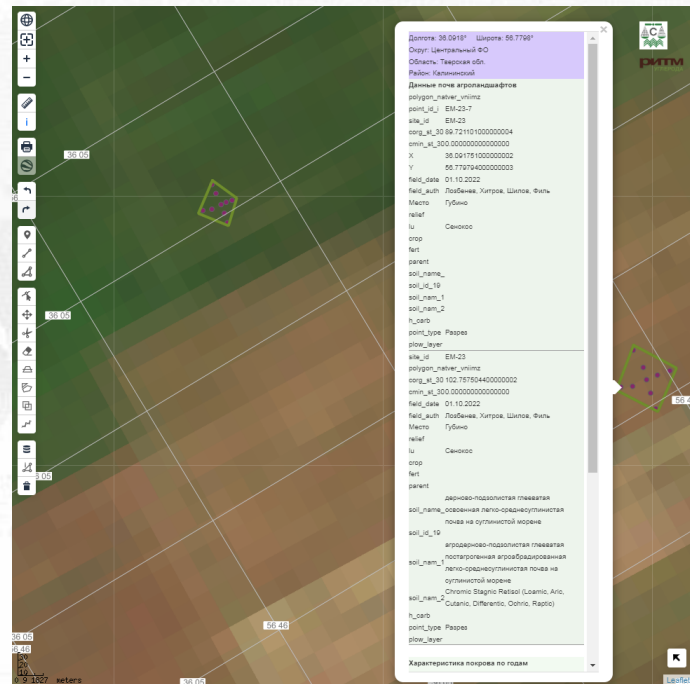


Расположение наземных полигонов с имеющейся оценкой запаса углерода почв в интерфейсе ИАС

Данные наземных обследований почв и запасов углерода агроландшафтов (ИАС Углерод-Э АГРО)

Разработаны:

- схема интеграции данных ИАС Углерод-Э АГРО;
- протоколы программных интерфейсов (API) для интеграции данных Углерод-Э АГРО в ИАС «Углерод-Э»
- прототипы базовых инструментов работы с данными в картографических инструментах ИАС «Углерод Э»



Пример работы с прототипом инструмента анализа данных ИАС Углерод-Э АГРО в картографическом интерфейсе ИАС «Углерод Э»

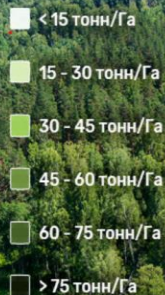
Инструменты и возможности работы с данными

Возможности визуализации различной информации

Новосибирская область

суммарный запас углерода в лесах -
0,3 млрд тонн

Удельный запас углерода



Запас углерода по фракциям



Алтайский край

суммарный запас углерода в лесах -
0,3 млрд тонн

Удельный запас углерода

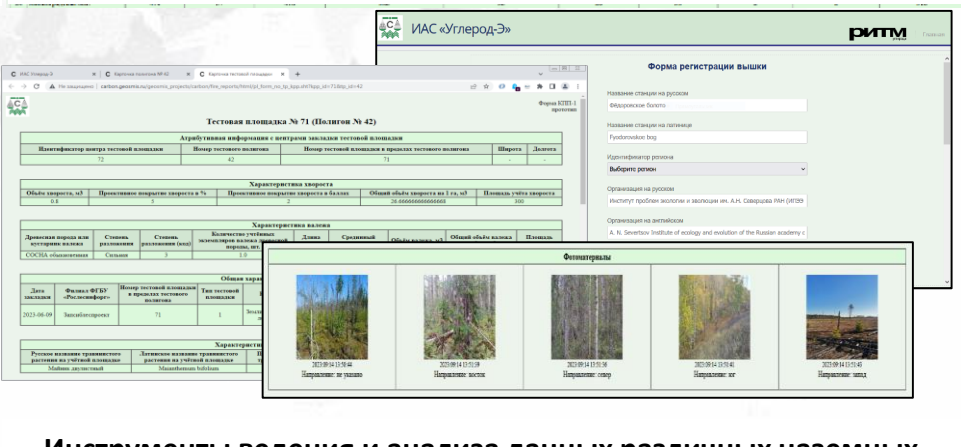


Запас углерода по фракциям





Инструменты анализа различных отчетов

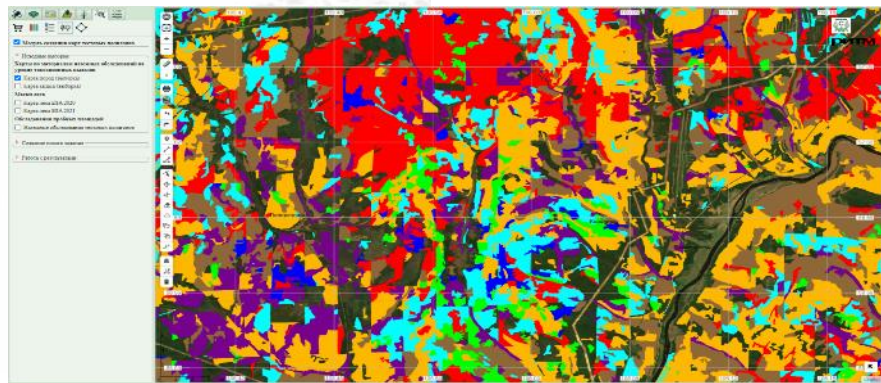


Аналитические инструменты анализа данных

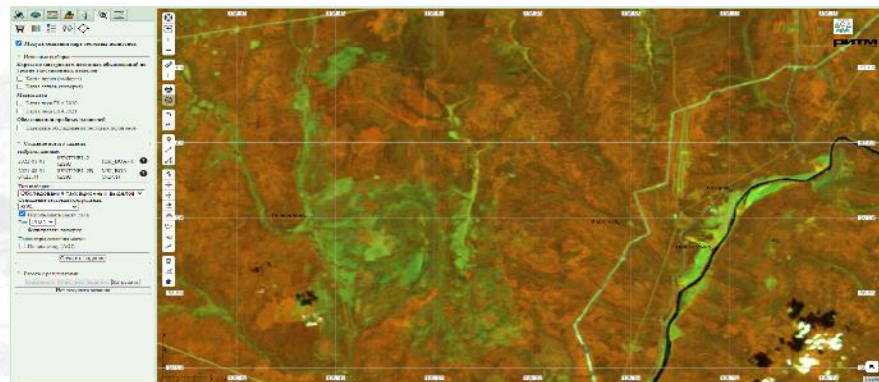
Инструменты ведения и анализа данных различных наземных наблюдений

Инструменты интерактивной обработки спутниковых данных

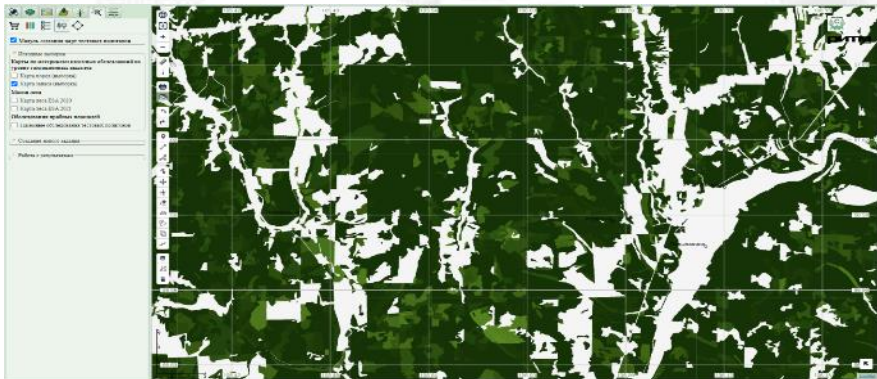
Построение локальных карт различных характеристик лесов



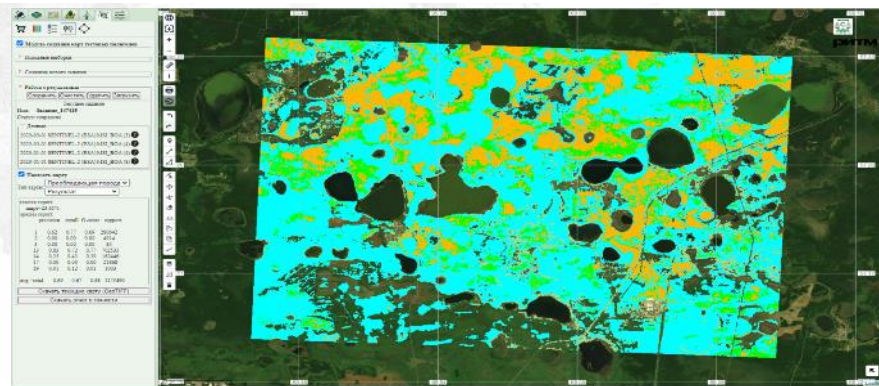
Анализ территории



Выбор спутниковых данных



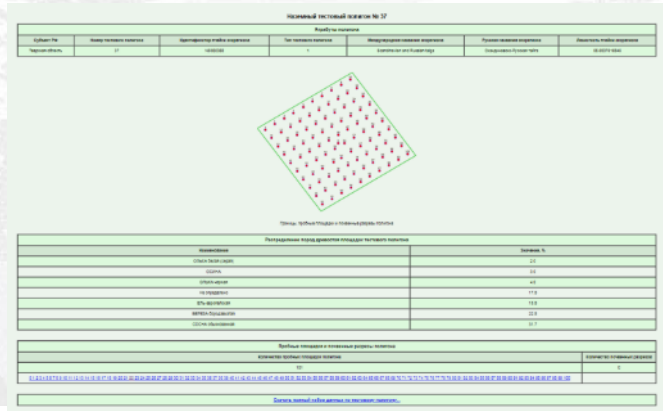
Построение выборок для обучения



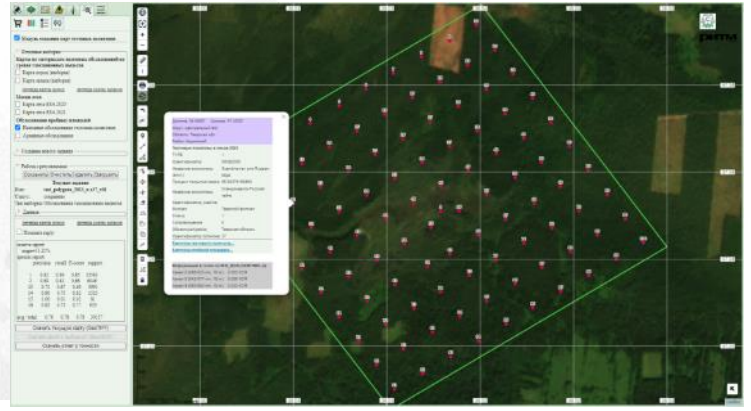
Проведение классификации

Инструменты совместного анализа спутниковых и наземных данных

Анализ проведенных наземных обследований тестовых полигонов

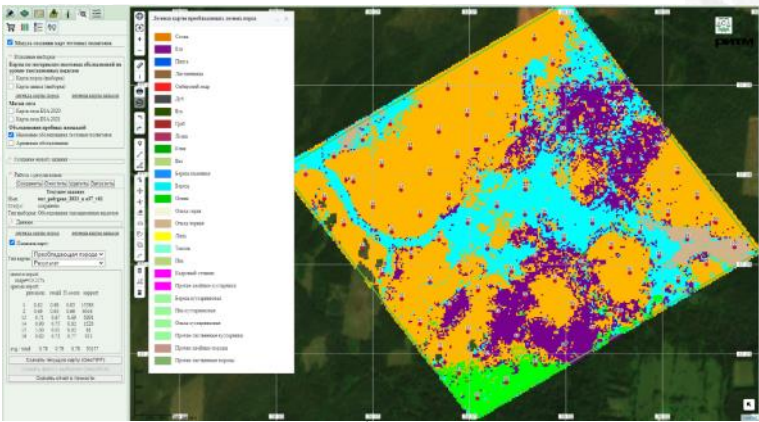


Карточка тестового полигона

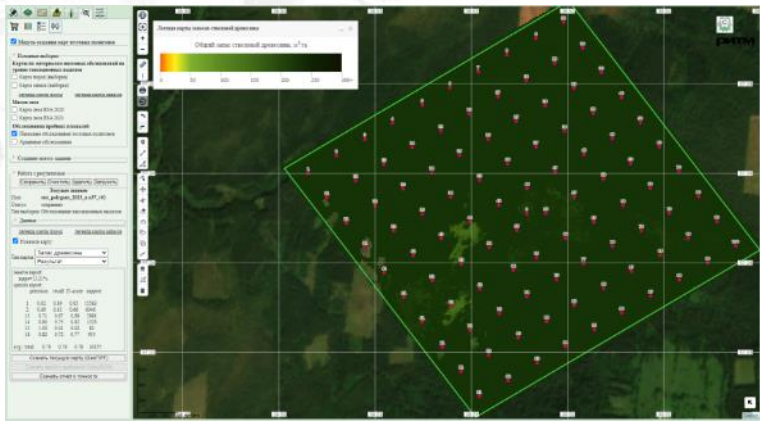


Отображение наземных обследований тестового полигона на карте

Инструмент для создания на территорию тестовых полигонов карт характеристик лесов с пространственным разрешением 10-30 м/пиксель



Полученная карта преобладающих лесных пород с пространственным разрешением 10-30 м/пиксель



Полученная карта запаса древесины с пространственным разрешением 10-30 м/пиксель

Интерфейсы для публичного представления данных

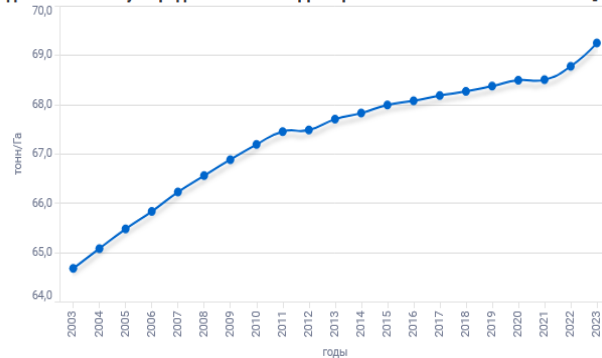
Главная > ИАС «Углерод-Э» > Открытые отчеты > Запас углерода (информационная панель по запасам углерода)

Вход

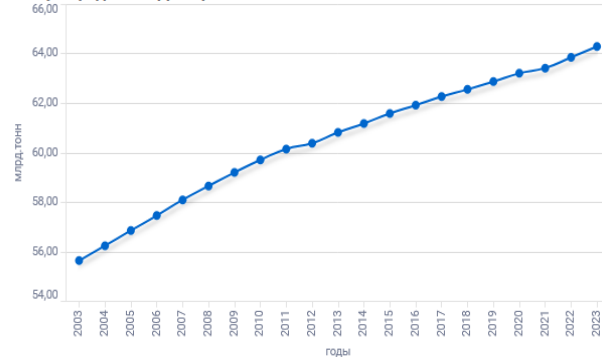
Русский

?

Удельный запас углерода в лесах на территории РФ

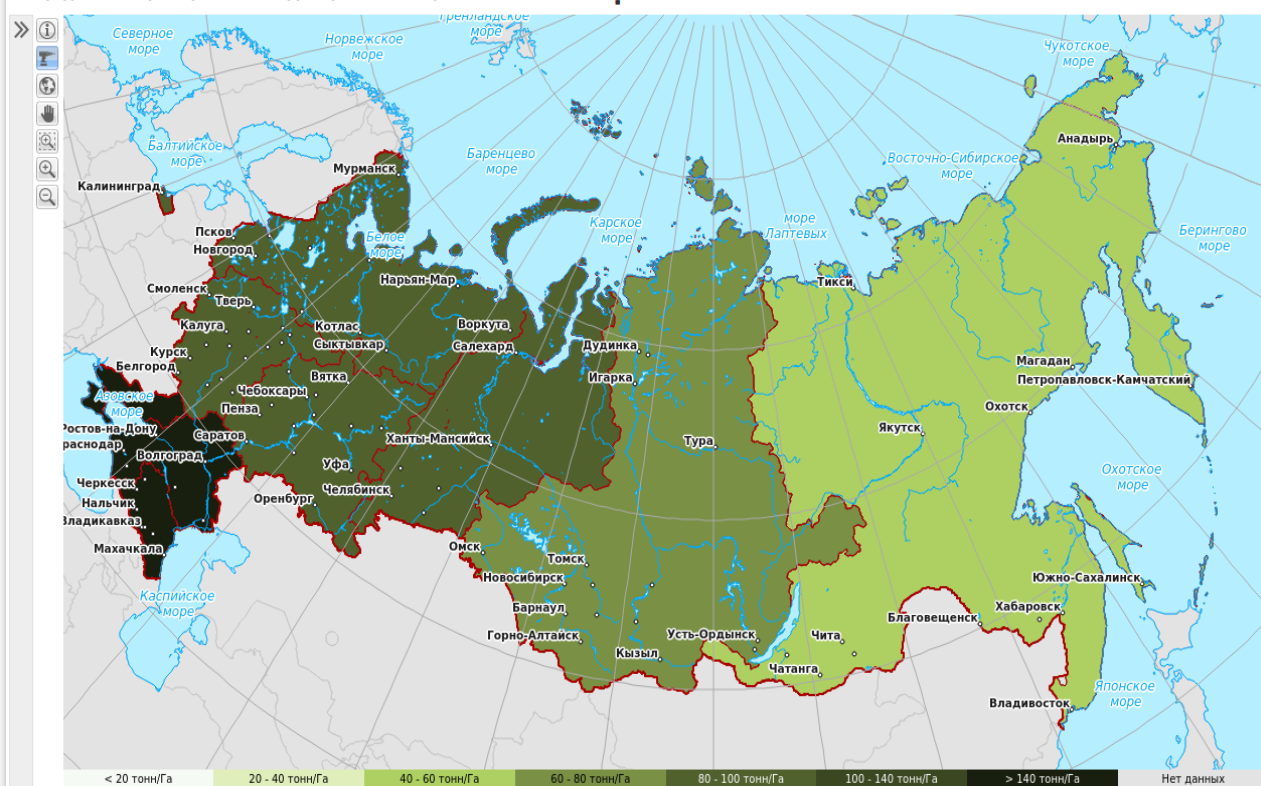


Запас углерода на территории РФ



годы

Распределение характеристик по территориальным образованиям за 2023 г.



Техническая инфраструктура ИАС «Углерод-Э»

Техническая и технологическая основа для создания и работы ИАС «Углерод-Э»

- Инфраструктура ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>)
- Вычислительные комплексы, созданные в рамках проекта



Вычислительные ресурсы и возможности, используемые для создания и работы ИАС «Углерод-Э»

БОЛЕЕ	8	общий объем архивов данных в онлайн-доступе ПБАЙТ
ОКОЛО	15	скорость обработки и усвоения данных в архивах ТБАЙТ/СУТКИ
ОКОЛО	16	общая доступная емкость хранения данных онлайн ПБАЙТ
БОЛЕЕ	40	инфраструктуры виртуализации УЗЛОВ
БОЛЕЕ	500	обработки и доступа к данным СЕРВЕРОВ



Информация приведена по состоянию на февраль 2025 года

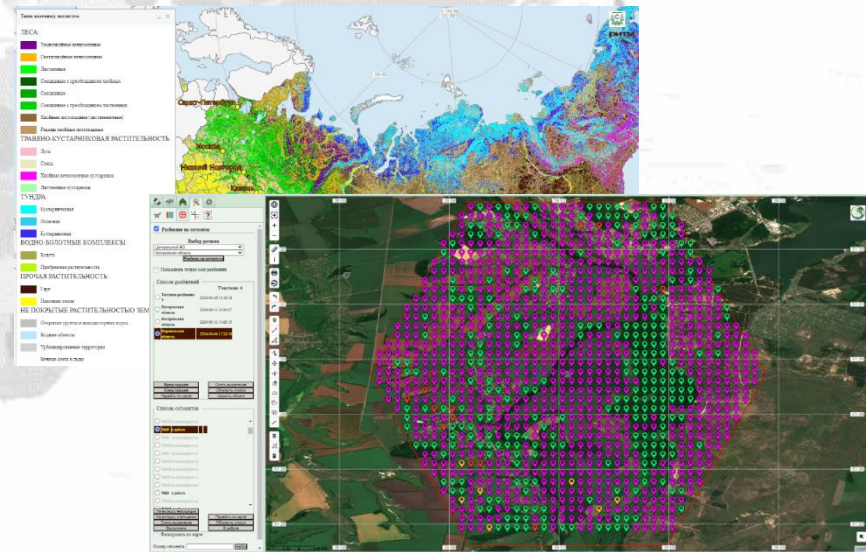
***Возможности обеспечения данными
информационных систем, создающихся в
рамках других консорциумов и проектов***

Онлайн обеспечение возможностями работы со спутниковыми данными программного комплекса (ПК НК ДЗЗ)

Основная цель ПК НК ДЗЗ - обеспечение использования данных ДЗЗ при **решении задач** ежегодных преобразований между категориями землепользования в интересах расчёта выбросов и поглощений парниковых газов в секторе землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства

Предоставляется:

- возможность работы с архивами данных ДЗЗ;
- мощности для онлайн обработки спутниковых данных;
- доступ к ежегодно обновляемым картам растительного покрова, формируемым в рамках работ консорциума



Основные результаты:

- **Создан действующий прототип информационно-аналитической среды, обеспечивающей возможность работы с данными наземных и спутниковых наблюдений и результатами их обработки, получаемыми в рамках проекта (включая инструменты комплексного анализа данных)**
- **Сформированы архивы данных спутниковых и наземных наблюдений, полученных в рамках проекта**

Некоторые перспективы

Основные направления перспективных работ

- *Создание информационно-аналитической среды для работы с данными о состоянии наземных экосистем для решения задач проекта и построения национальной системы мониторинга климатически активных газов*
- *Максимально автоматизированное ведение архивов данных наземных и спутниковых наблюдений и результатов их обработки в интересах решения задач проекта и построения национальной системы мониторинга климатически активных газов*
- *Расширение возможностей для проведения комплексного распределенного анализа спутниковой и наземной информации для получения информации о запасах и потоках углерода в различных типах наземных экосистем*
- *Расширение возможностей системы для работы с данными глобального мониторинга климатически активных газов, включая их запасы и потоки в различных типах наземных экосистем*



***Спасибо
за внимание!***

Контактная информация:

Лупян Евгений Аркадьевич

e-mail: evgeny@smis.iki.rssi.ru

тел. +7 916 124 71 49



<http://conf.rse.geosmis.ru/>



<http://jr.rse.cosmos.ru/>