

# ОЦЕНКА ПУЛОВ И ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫХ ТИПАХ ЛЕСНЫХ И БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНО- ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Головацкая Е. А., Дюкарев Е.А., Веретенникова Е.Э., Логинов  
С.В., Прейс Ю.И., Дюкарев А.Г., Копысов С.Г., Гордов Е.П.

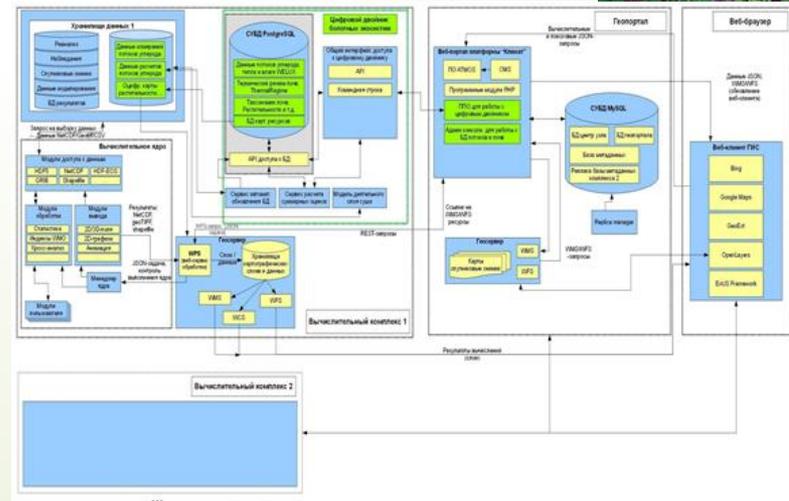
*Институт мониторинга климатических и экологических  
систем СО РАН*

13-15 февраля 2024

# Комплексная оценка динамики запасов и потоков углерода лесных и болотных экосистем южной тайги Западной Сибири и разработка прототипа информационно-аналитической системы мониторинга и комплексного анализа потоков парниковых газов болотных экосистем

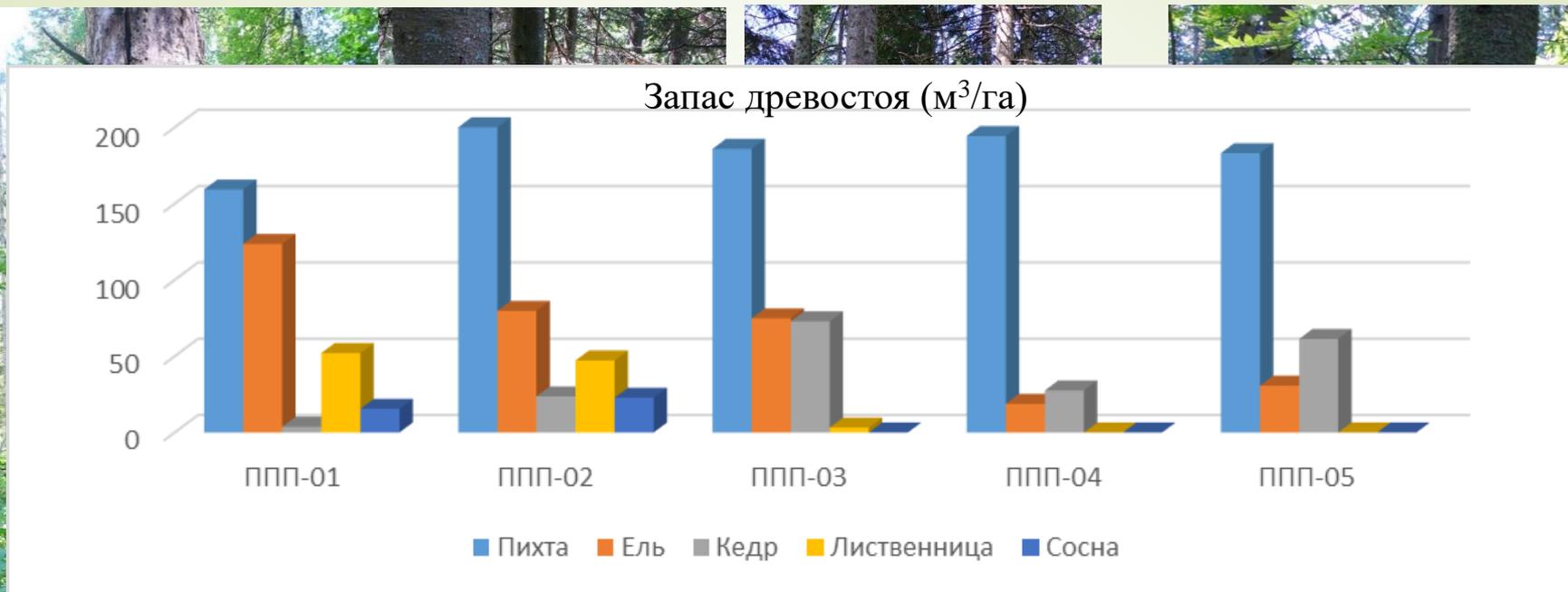
**Задача 1.** Оценка пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах южно-таежной подзоны Западной Сибири на основе стандартизированной инфраструктуры мирового уровня

**Задача 2** Создание концептуальной и программной основы для разработки прототипа распределенной информационно-аналитической системы сбора, хранения, обработки и анализа данных мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах южно-таежной подзоны Западной Сибири





# Объект исследования: папоротниково-снытево-мелкотравные южнотаёжные пихтовые леса



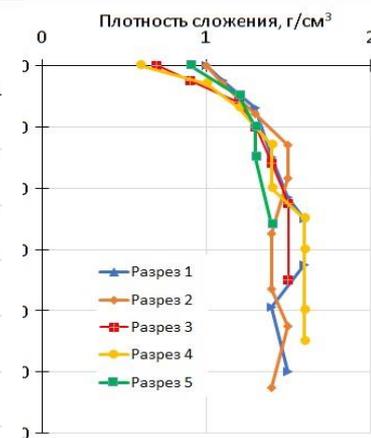
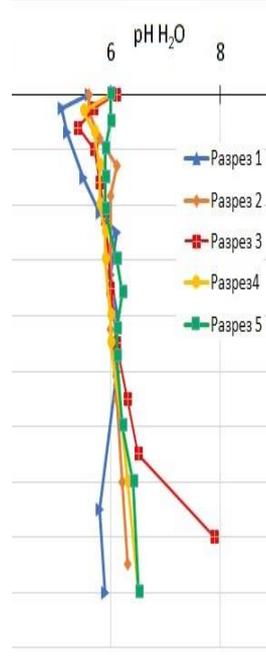
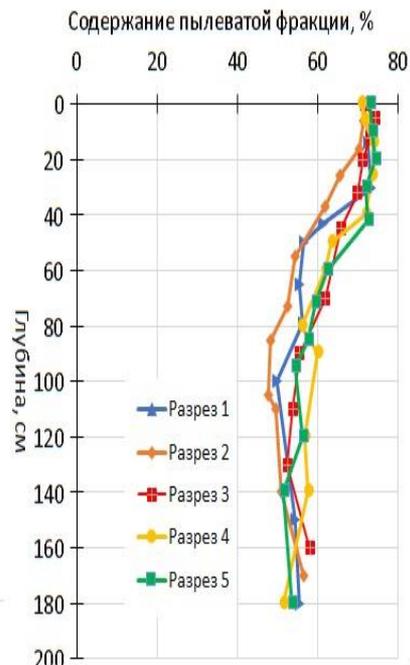
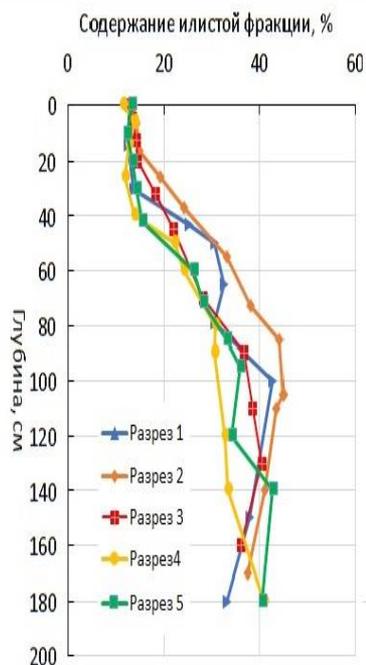
## Характеристика древостоя

№ ППП	Число стволов	Структура древостоя	Запас древост., м <sup>3</sup> /га	Диаметр См	Высота м	Средний возраст,	Подрост
ППП01-23	110	8П2Е+Л, ед. С,К	353,9	28,4±6,8	19,5±2,8	74	10П ед. К
ППП02-23	142	8П2Е+К, Л. ед С.	374,7	21,6±3,3	17,6±2,7	82	9П1Е
ППП03-23	124	9П1Е+К, ед. С	334,6	29,8±8,4	17,8±5,3	69	6Е2К2П
ППП04-23	135	10П+К, ед. Е	240,7	29,8,0±10,3	17,9±4,0	64	9П1Кед.Е
ППП05-23	106	9П1К+Е, ед, Б	275,1	29,9±7,9	17,8±2,4	62	9П1Е

<b>Фитомасса напочвенного покрова</b>					
<b>Фитомасса, г/м<sup>2</sup></b>	<b>№ пробной площади</b>				
	<b>ППП01-23</b>	<b>ППП02-23</b>	<b>ППП03-23</b>	<b>ППП04-23</b>	<b>ППП05-23</b>
<b>Средняя наземная</b>	<b>81,4</b>	<b>114,1</b>	<b>86,4</b>	<b>69,7</b>	<b>82,6</b>
<b>укос 1</b>	174,0	234,7	134,9	137,4	141,7
<b>укос 2</b>	35,0	99,6	61,3	60,6	39,1
<b>укос 3</b>	35,1	59,7	62,9	38,3	67,1
<b>укос 4</b>		62,4		42,4	
<b>Средняя подземная</b>	<b>1650,4</b>	<b>666,3</b>	<b>711,9</b>	<b>2912,9</b>	<b>3100,4</b>
<b>корни 1</b>	2463,9	1069,7	614,8	4006,0	2474,0
<b>корни 2</b>	1417,6	715,4	854,4	2159,8	3844,4
<b>корни 3</b>	1069,7	846,2	666,4	3644,8	2988,7
<b>корни 4</b>		533,3		1848,0	



# Почвы серые суглинистые, мелкогумусные глубокоосветленные



Запасы, г/м <sup>2</sup>	№ пробной площади				
	ППП01-23	ППП02-23	ППП03-23	ППП04-23	ППП05-23
Наземная фитомасса	81,4	114,1	86,4	69,7	82,6
Подземная фитомасса	1650,4	666,3	711,9	2912,9	3100,4
Гумус в 0.5 м слое почв	18020	22910	20610	18870	21740

# Организована и развивается система мониторинга поступления и выноса углерода с водами



Отбор снега и снегосъёмка



Осадкомер



Откачка лизиметрических вод



Лизиметр и его установка на глубине 0,5 и 0,1 м

Установлено в подкروновом и межкroновом пространстве различных типов леса 10 осадкомеров.

Для оценки выноса углерода с внутрипочвенным стоком установлены по 2 лизиметра на глубинах 50 см и 4 лизиметра на глубине 0,1 м.

Обработано 63 проб (15 снега, 39 дождя, 1 почв. вод, 8 поверхностных вод)



Мониторинг стока воды и углерода в ручье, являющимся коллектором стока углерода с поверхностными водами



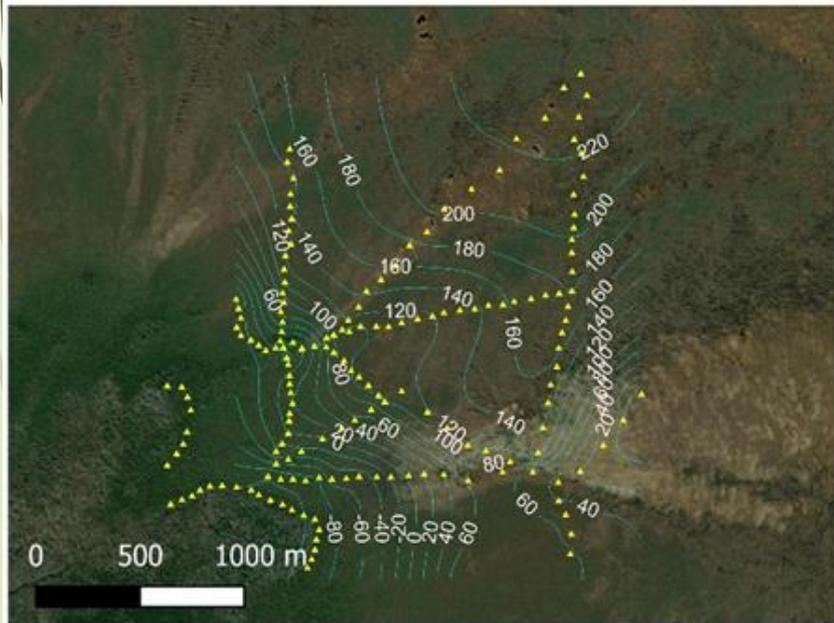
Организованы 4 пункта мониторинга термического режима почвогрунтов

# Болотные экосистемы

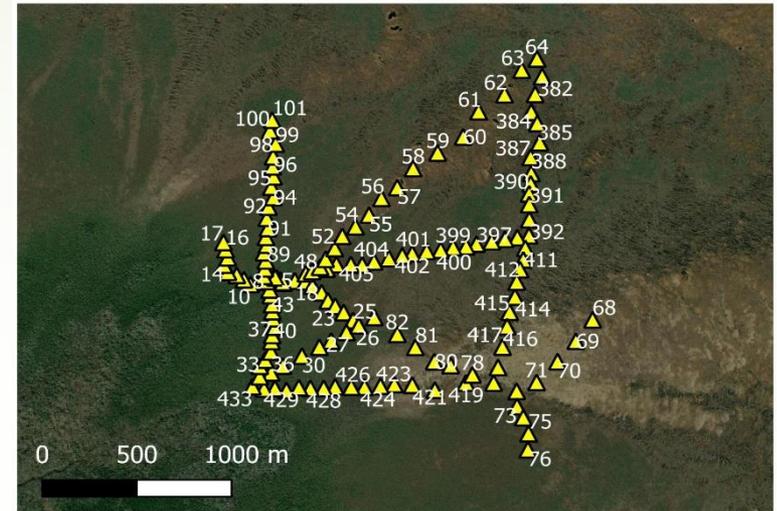
Выполнено обследование ключевого участка «Бакчарский», площадью 2270\*2300 м.

- 149 кратких описаний болотной растительности;
- проведена нивелировка поверхности болотного массива;
- выполнена зондировка торфяной залежи на каждой точке описания (149 скважин).

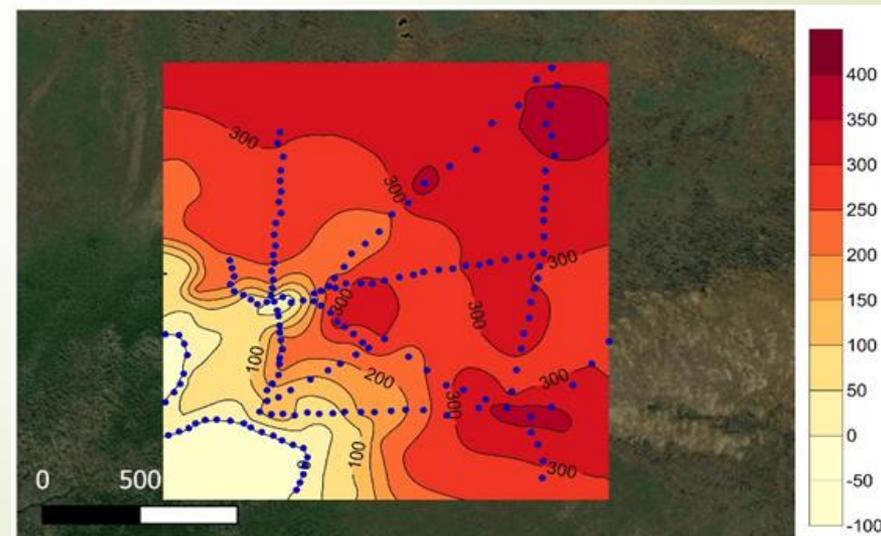
Карта поверхности болотного массива



Маршруты обследования ключевого участка и точки кратких геоботанических описаний.



Карта мощности торфяной залежи



## Типы болотных фитоценозов, характерных для территории ключевого участка Бакcharское болото

Торфяное месторождение	Тип фитоценоза (количество описаний)	Глубина торфяной залежи, см
Т.м. «Бакcharское»	Заболоченный лес (9)	10-60
	Высокий рям (13)	60-230
	Рям (10)	110-370
	<b>Низкий рям (57)</b>	60-380
	<b>Открытые топи (19)</b>	150-360
	<b>Грядово-мочажинные комплексы (23)</b>	110-400
	Рямово-мочажинные участки (17)	120-320



Всего заложено 9 ППП в трех биогеоценозах.

10

52 геоботанических описания

55 укосов надземной фитомассы, 55 монолитов для определения подземной фитомассы

48 монолитов 0-50 см, 48 кернов 50-100 см.

3 полнопрофильных разреза (в среднем глубина разреза 300 см) включая минеральную породу



# Полигон интенсивного уровня 2 типа Плотниково (Томская область)

11

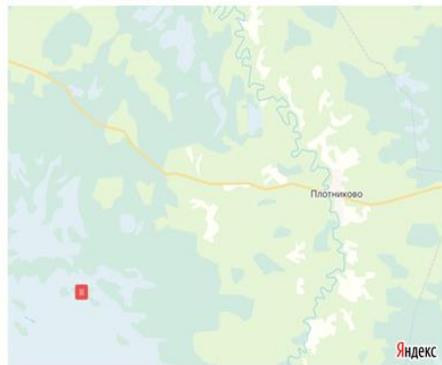


# Полигон Плотниково

## II. МЕСТОНАХОЖДЕНИЕ

МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ	Томская область, Бакcharский район, Бакcharское болото, 14.5 км на ЮЗ от п. Плотниково
КАТЕГОРИЯ ЗЕМЕЛЬ	Земли лесного фонда, Плотниковское участковое лесничество, урочище "Плотниковское"
КООРДИНАТЫ ЦЕНТРА	Широта: 56°48'50,342" с.ш. Долгота: 82°51'12,217" в.д. Высота: 121 м. н.у.м.

КАРТА-СХЕМА



— границы полигона

Полигон расположен на периферии Бакcharского болотного массива на территории олиготрофного грядово-озеркового комплекса. Рельеф плоский, в южной части полигона распространены болотные озерки.

## Оборудование



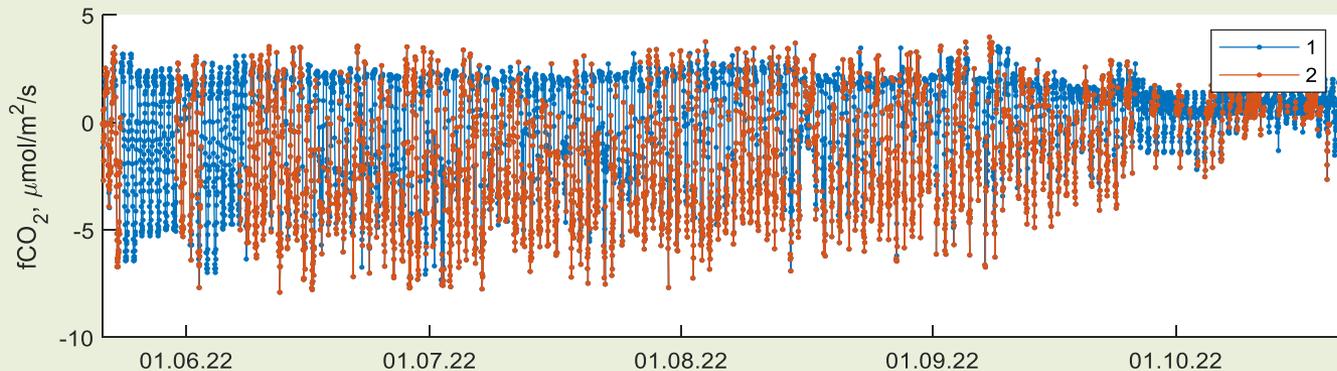
### TO-PLT

- u-sonic 3 Metek MP Cage
- LICOR LI-7500DS (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)
- Высота установки – 3 м

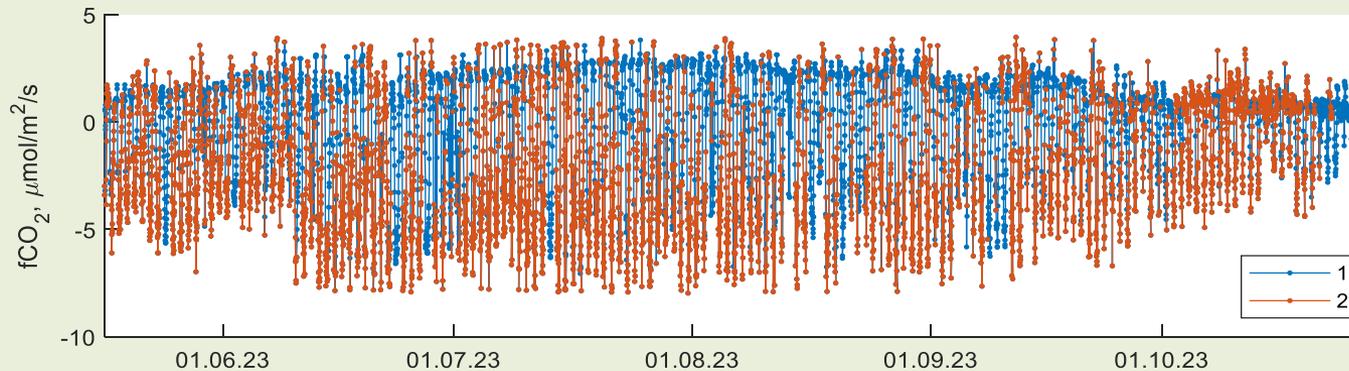
# Суммарный экосистемный обмен

13 (результаты пульсационных измерений)

2022



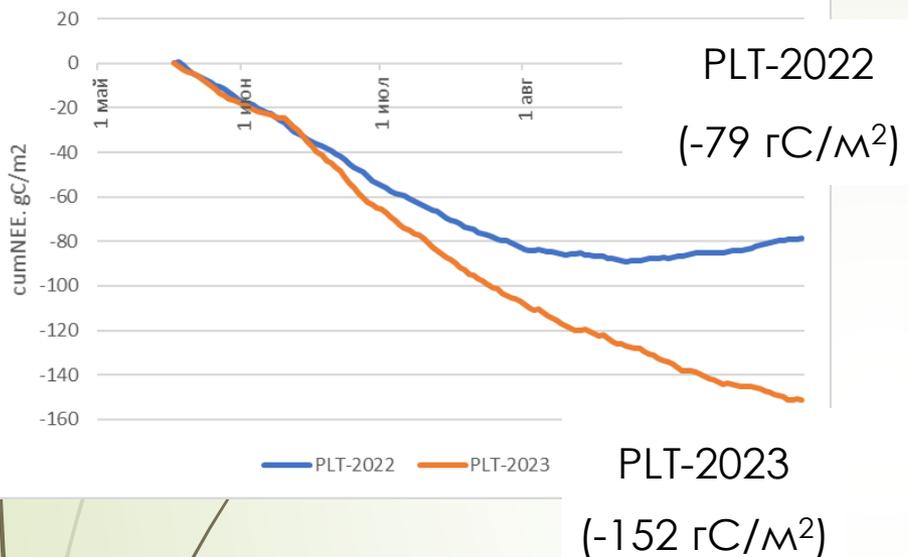
2023



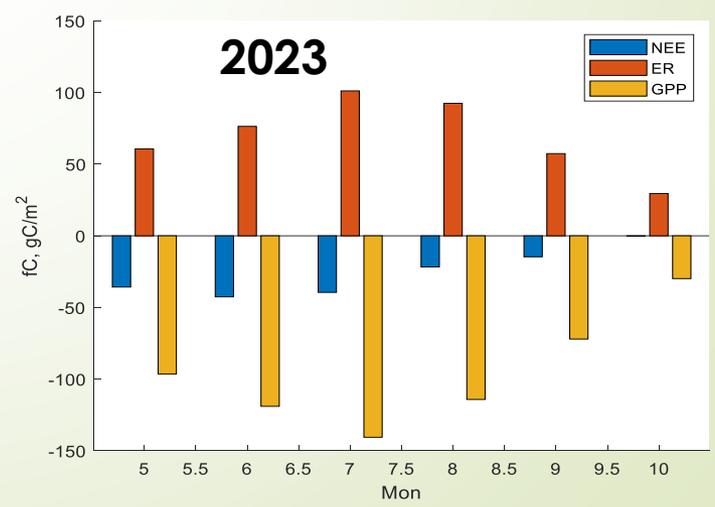
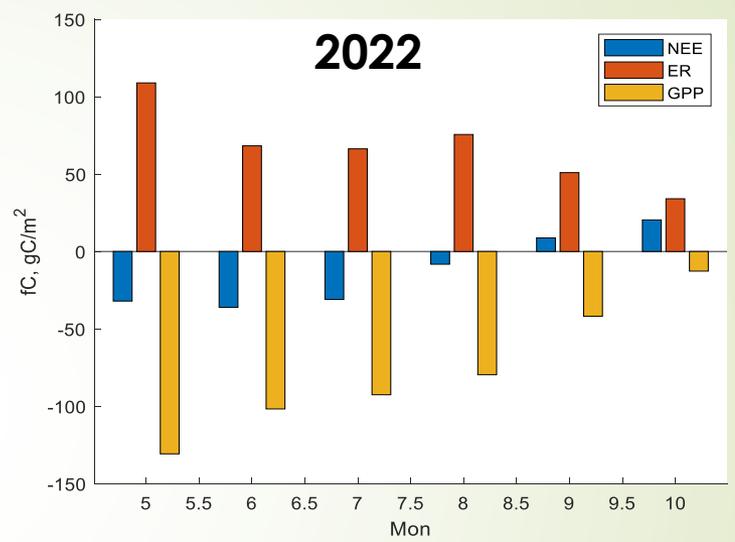
1 – заполнение пропусков (ReddyProc); 2 – наблюдения



# Кумулятивный чистый экосистемный обмен

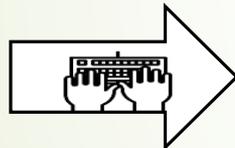
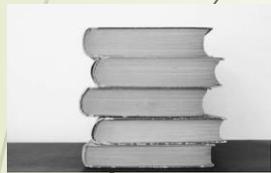


# Суммарные месячные потоки углерода



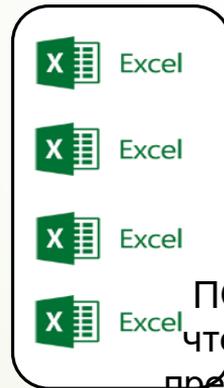
# Создание базы данных PeatDepositsCarbon по торфяным месторождениям

Бумажные носители:  
Справочник кадастровых  
данных геологической  
разведки торфяных  
месторождений юго-востока  
Западной Сибири  
Архивные данные детальной  
геологической разведки по  
ряду торфяных  
месторождений

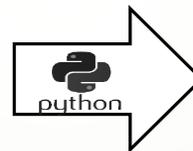


Ручной  
ввод в  
Excel

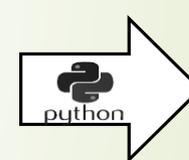
Совокупность  
файлов  
электронных  
таблиц Excel



ПО для  
чтения и  
предобработ-  
ки  
данных



Данные в формате  
Pandas dataframe  
(автоматизированн  
ые алгоритмы  
фильтрации и  
валидации данных,  
инструменты для  
анализа экспертом)



Реляционная  
база данных

автоматизированные  
алгоритмы фильтрации  
и валидации данных,  
инструменты для  
анализа экспертом,  
скрипты заполнения  
базы данных

# Разработана методика оценки запасов углерода в торфяных месторождениях Западной Сибири

Программа  
PeatDepositsCarbonCalculation



~40 типичных  
детально  
разведанных  
месторождений

Распространяем  
расчеты на ~1500  
месторождений  
различных стадий  
разведки

$$F_k = \frac{N_k}{\sum_{i=1}^n N_i}, k = 1..n$$
$$\bar{C}_{\text{орг}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{орг}}^{(i)} * F_i$$

$N_k, N_i$  – количество проб определенного вида торфа в блоке конкретного типа торфяной залежи

$n$  – общее количество видов торфа

$C_{\text{орг}}^{(i)}$  – содержание  $C_{\text{орг}}$  для каждого вида торфа по базе данных  $C_{\text{орг}}, \%$ ,

$F_i$  – доля каждого вида торфа в блоке конкретного типа торфяной залежи, %

# Пространственное распределение метеорологических величин в приземной атмосфере Западной Сибири в июле (2003-2020гг.)

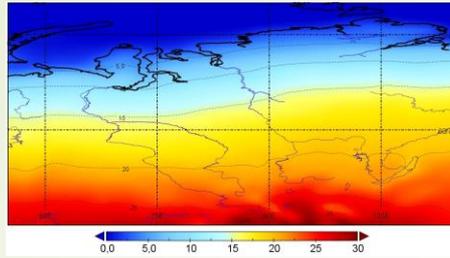
Температура, °С

Температура, °С

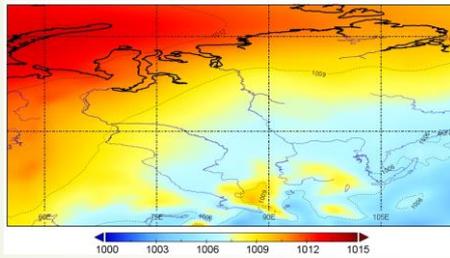
## Реанализ CAMS

Пространственное разрешение  
 $0,75^\circ \times 0,75^\circ$

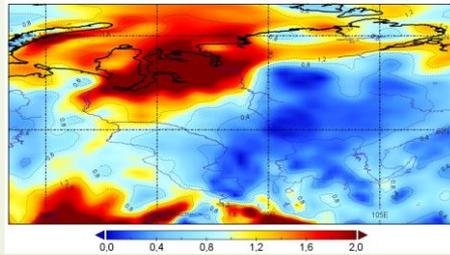
Временное разрешение:  
1-3 часа



Атмосферное давление, гПа



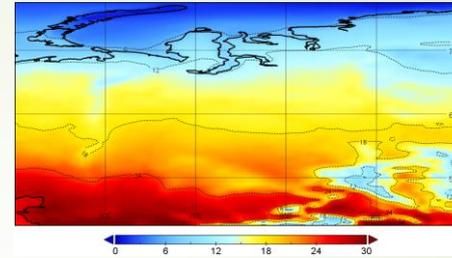
Скорость ветра, м/с



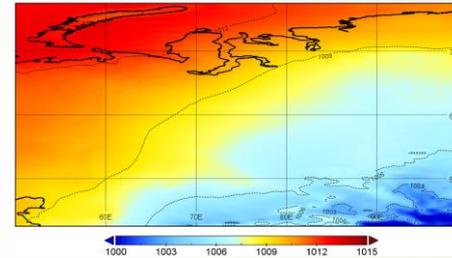
## Реанализ MERRA2

Пространственное разрешение  
 $0,5^\circ \times 0,625^\circ$

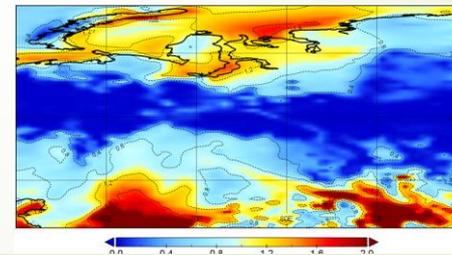
Временное разрешение:  
1-3 часа



Атмосферное давление, гПа



Скорость ветра, м/с



Распределение температуры в приземной атмосфере, в целом, согласуется по двум базам данных, за исключением территории Западного Саяна и плато Путорано.

Распределение атмосферного давления в летние месяцы также согласуется по двум базам данных.

Распределение скорости ветра существенно различается по двум архивам данных. По данным MERRA2 значения скорости ветра, в целом ниже, по сравнению с данными CAMS.

# Временная изменчивость метеорологических величин в приземной атмосфере в регионах Западной Сибири за период 2003-2020 гг. по данным MERRA2

Распределение метеовеличин в приземном слое атмосферы в Западной Сибири летом близко в нормальному (ИДР/СКО = 2,5).

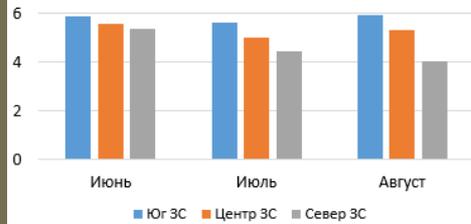
Диапазон изменчивости температуры воздуха увеличивается с севера на юг Западной Сибири.

Для атмосферного давления СКО и ИДР, напротив, уменьшаются с севера на юг. Максимум на севере обусловлен формированием области барических образований антициклонального типа в районе Карского моря и п-ва Таймыр.

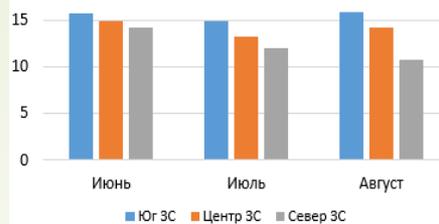
В Западной Сибири за период исследования зоны максимума СКО и ИДР горизонтальной скорости ветра располагаются на юге региона. Минимальные значения СКО и ИДР скорости сосредоточены в центральной части региона.

По результатам исследования определён диапазон изменчивости метеовеличин, необходимый для задач моделирования потоков углекислого газа или метана.

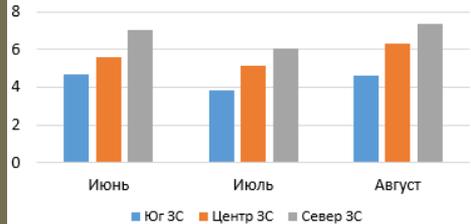
СКО температуры воздуха, °С



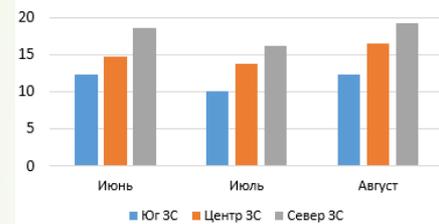
ИДР температуры воздуха, °С



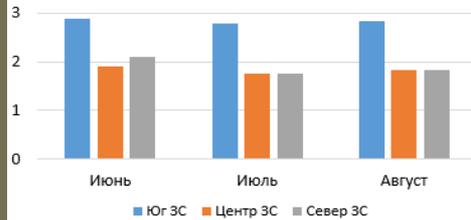
СКО атмосферного давления, гПа



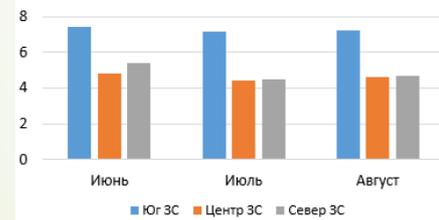
ИДР атмосферного давления, гПа



СКО скорости ветра, м/с



ИДР скорости ветра, м/с



юг – 40-50°с.ш. центр – 50-60°с.ш. север – 60-70°с.ш.

СКО – среднеквадратическое отклонение (68%)

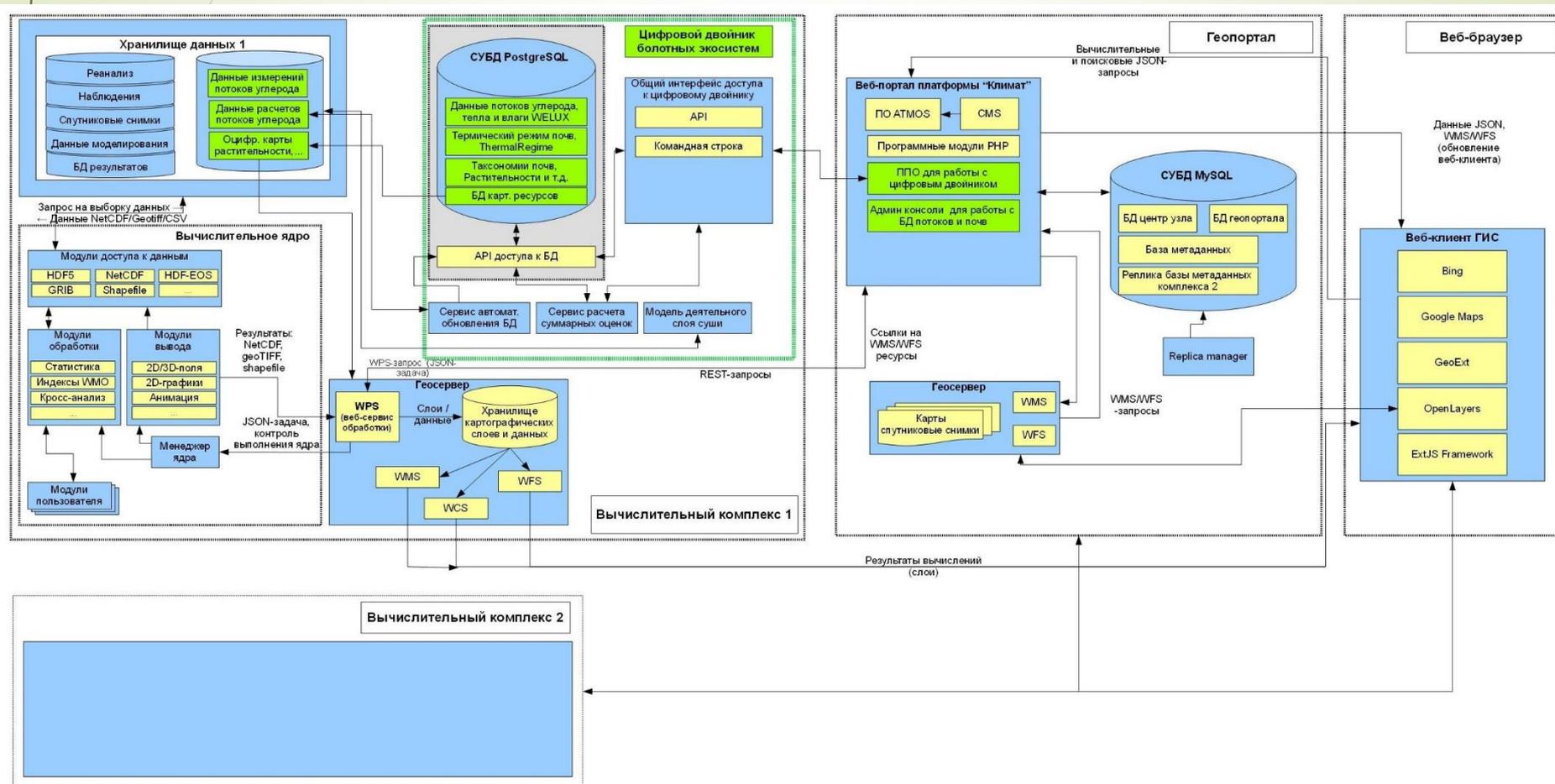
ИДР – интердецильный размах,  $Q_{0,9}-Q_{0,1}$  (80%)

Нормальное распределение

ИДР ≈ 2,5 СКО

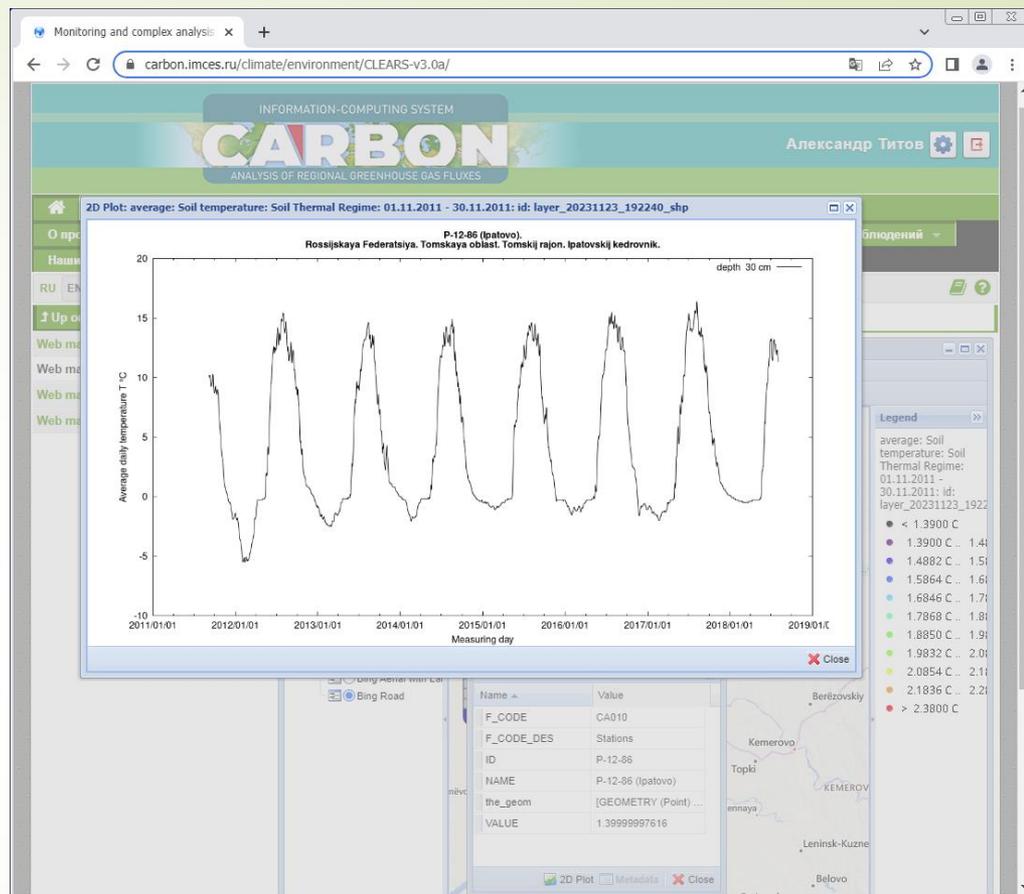
# Прототип ИАС мониторинга

- Разработан прототип программного комплекса как базис распределенной ИАС мониторинга и комплексного анализа потоков парниковых газов
- Основные компоненты: структурированные архивы пространственных данных и их метаданные, вычислительное ядро, геопортал и веб-клиент ГИС
- Интеграция баз данных мониторинга болот юга таежной зоны Западной Сибири и специализированного ПО для унифицированной работы с ними



# Прототип ИАС мониторинга

- Геопортал прототипа <http://carbon.imces.ru>.
- Промежуточное программное обеспечение (ППО), интегрирующее базы данных PostgreSQL результатов измерений и моделирования геофизических величин, а также программных компонент, реализующих REST API доступа к ним, в прототип ИАС мониторинга потоков парниковых газов.



Расчет средних значений температуры почвы на глубине 30 см для почвенных разрезов на территории Томской области за ноябрь 2011г.

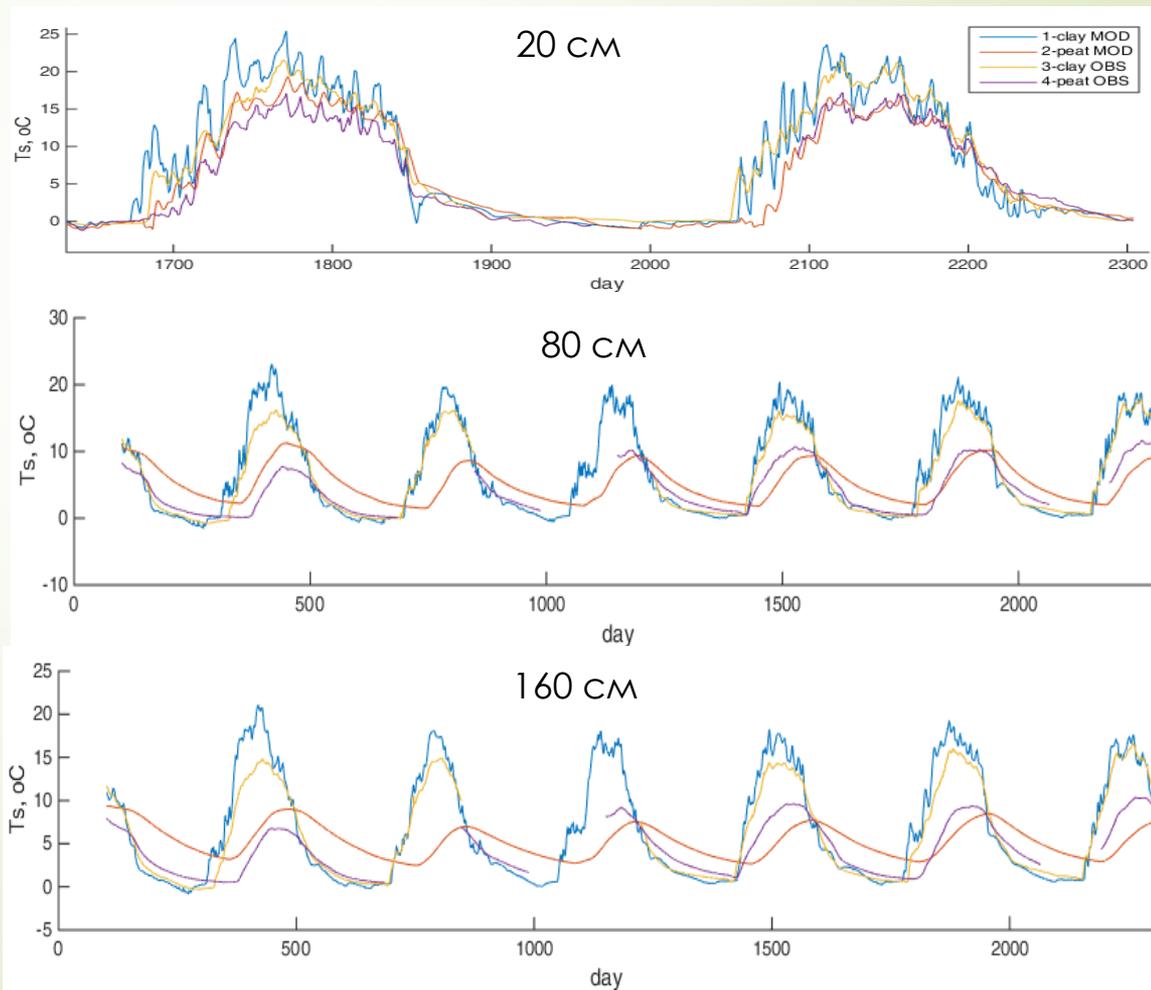
ППО состоит из:

Программный модуль веб-доступа к цифровому двойнику как единому объекту  
Клиентское программное обеспечение на стороне геопортала прототипа распределенной ИАС мониторинга и комплексного анализа потоков парниковых газов, состоящее из серверного приложения на языке PHP, и клиентских компонент, реализованных на базе JavaScript-библиотеки ExtJS.

# Модификация модели поверхности суши TerM (ИВМ-МГУ)

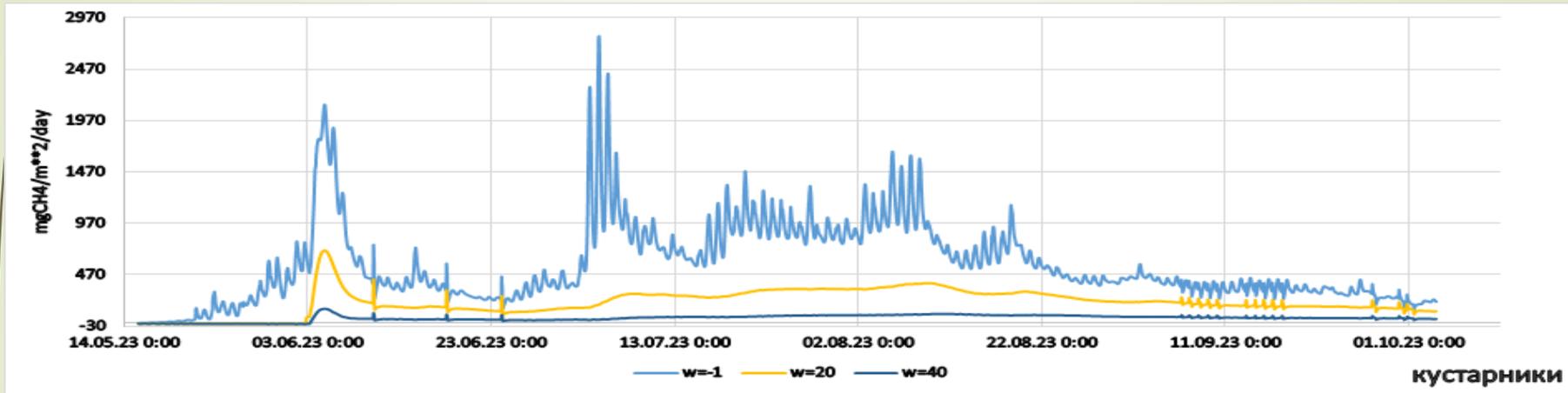
- Параметризация уровня грунтовых вод, механизм горизонтального стока
- Параметризация коэффициента диффузии и гравитационного потока
- Описание гидрофизических характеристик торфогрунтов
- Воспроизведение потоков метана

Температура торфяной и минеральной почвы на разных глубинах (20, 80, 160 см) (моделирование и измерения в районе Бакчара (Томская обл.), 2013 – 2019 гг.

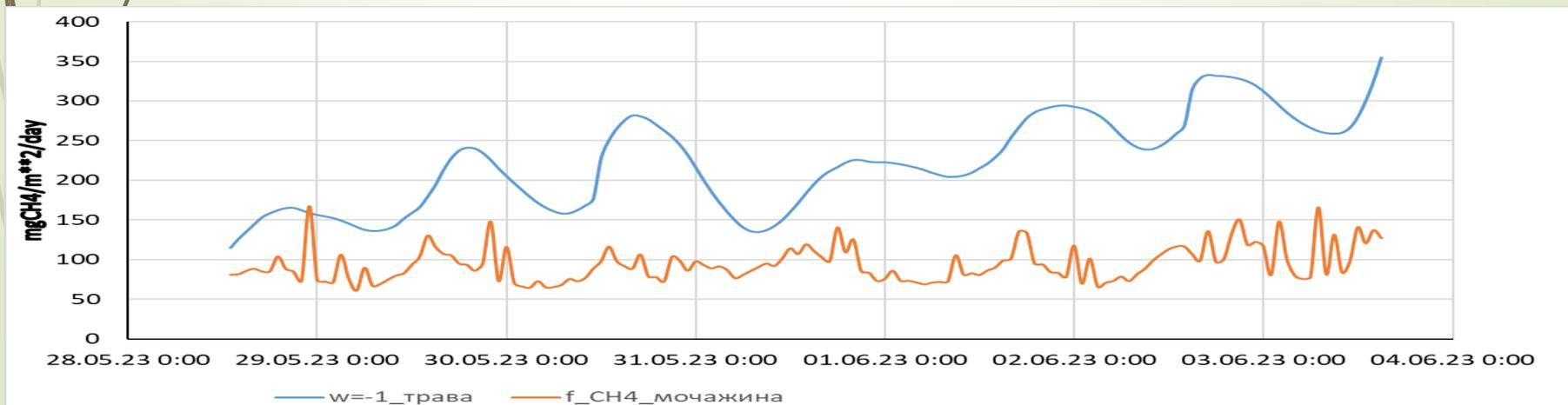


# Моделирование эмиссии метана

## Влияние уровня болотных вод на эмиссию метана



Эмиссия метана данные измерения (оранжевый) и модельные данные (синий) при уровне болотных вод 1 см на мочажине грядово-мочажинного комплекса стационара «Мухрино»



# Заключение

Заложены и обследованы экспериментальные пробные площади в разных типах болотных и лесных экосистем, апробированы методические подходы полевых исследований, выполнен анализ полученных материалов и оценка достоверности.

Получены сводные данные общетехнических свойств торфа олиготрофных и мезотрофных болотных экосистем с радиоуглеродными датировками.

Определены параметры углеродного обмена болотных экосистем

Выполнена интеграция и обработка данных для расчетов потоков углерода на экосистемном уровне в Западной Сибири.

Протестирована версия модели деятельного слоя суши, включающая болотные экосистемы.

Создана концептуальная и программная основы для разработки прототипа п информационно-аналитической системы мониторинга потоков парниковых газов болотных экосистем южно-таежной зоны Западной Сибири.

# ENVIROMIS 2024



270 О КОНФЕРЕНЦИИ  
1755 МГУ 2025

[РЕГИСТРАЦИЯ](#)

[МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ](#)

[КОНТАКТЫ](#)



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ, МОДЕЛИРОВАНИЮ И  
ИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ТОМСК, 01 - 06 ИЮЛЯ