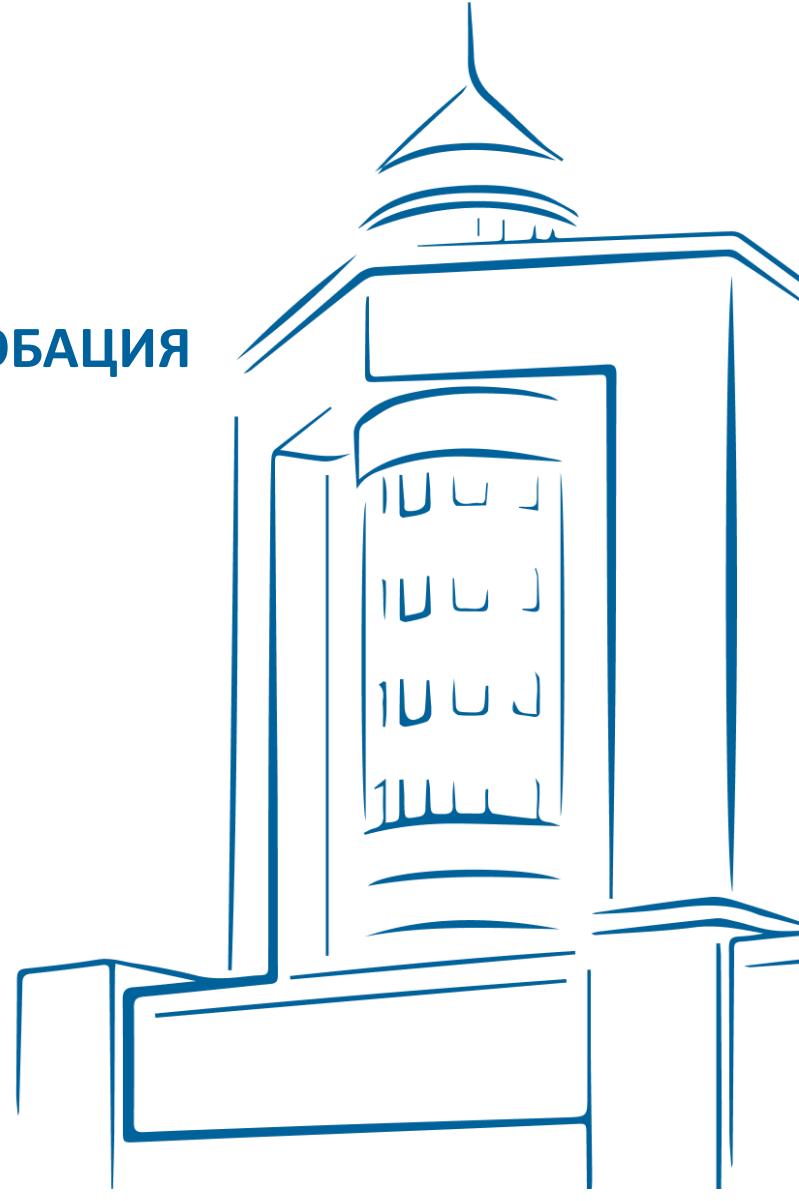




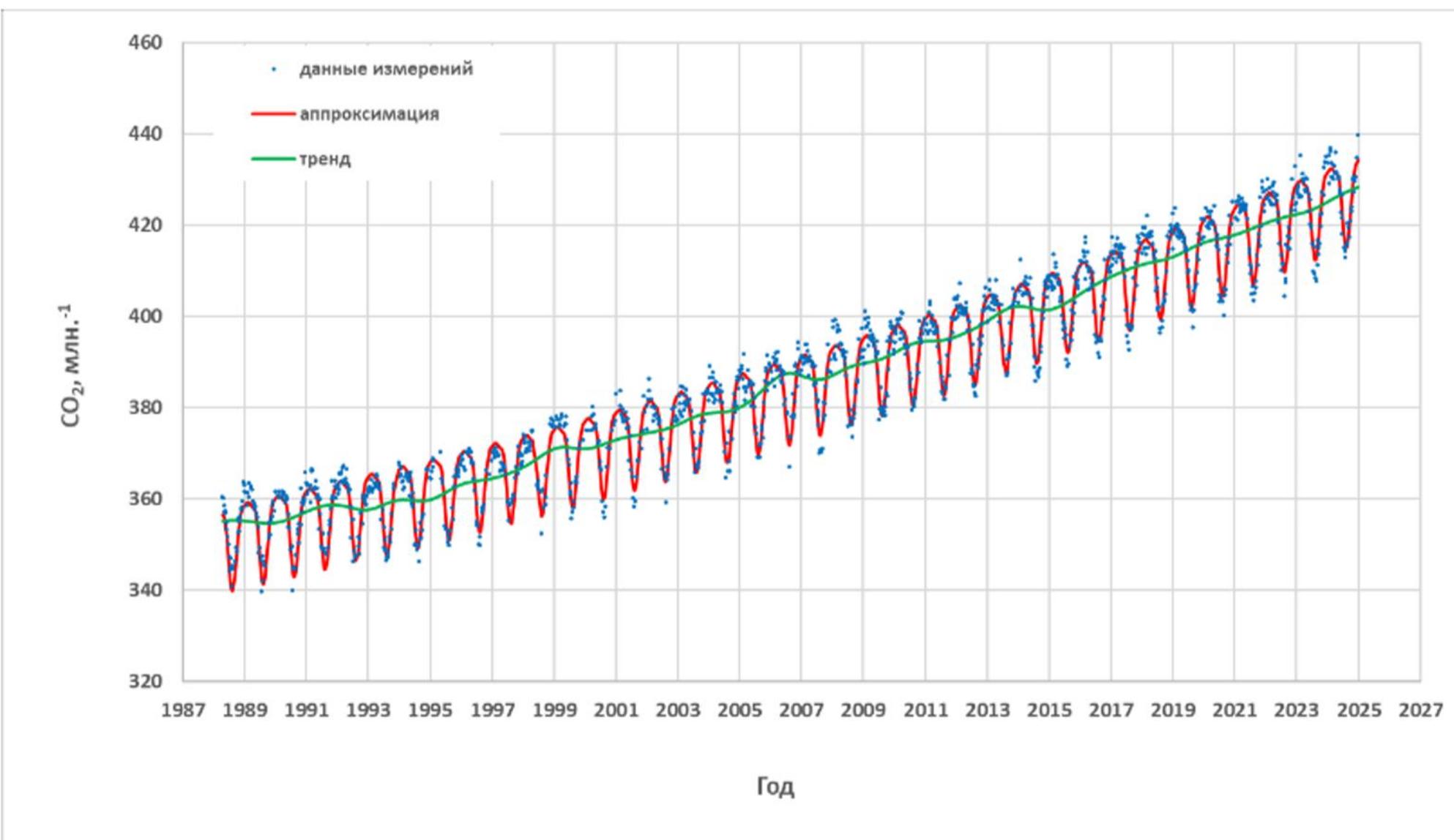
ГРАДИЕНТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА МЕТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА: АПРОБАЦИЯ И НАЗЕМНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ

Ильясов Данил Викторович
От коллектива лаборатории
Геоинформатики экосистем ЮГУ
D_Ilyasov@UGRASU.RU

Г. Москва, 2025



Обзор состояния и
загрязнения окружающей
среды в Российской
Федерации за 2024 год
Росгидромет, 2025 г.



Обзор состояния и
загрязнения окружающей
среды в Российской
Федерации за 2024 год
Росгидромет, 2025 г.

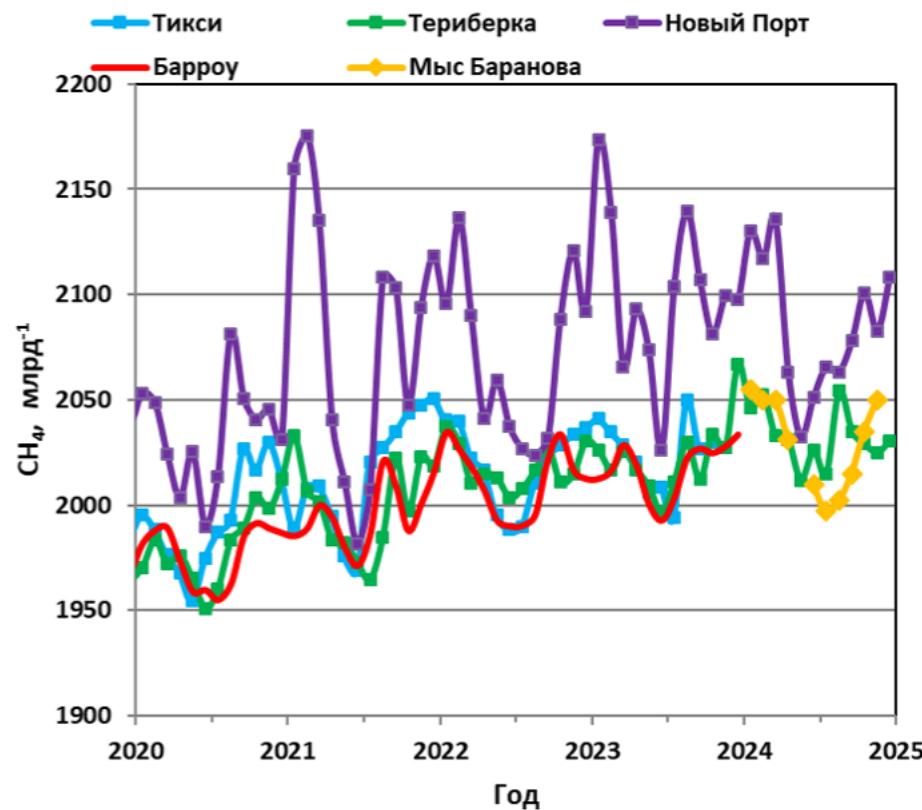
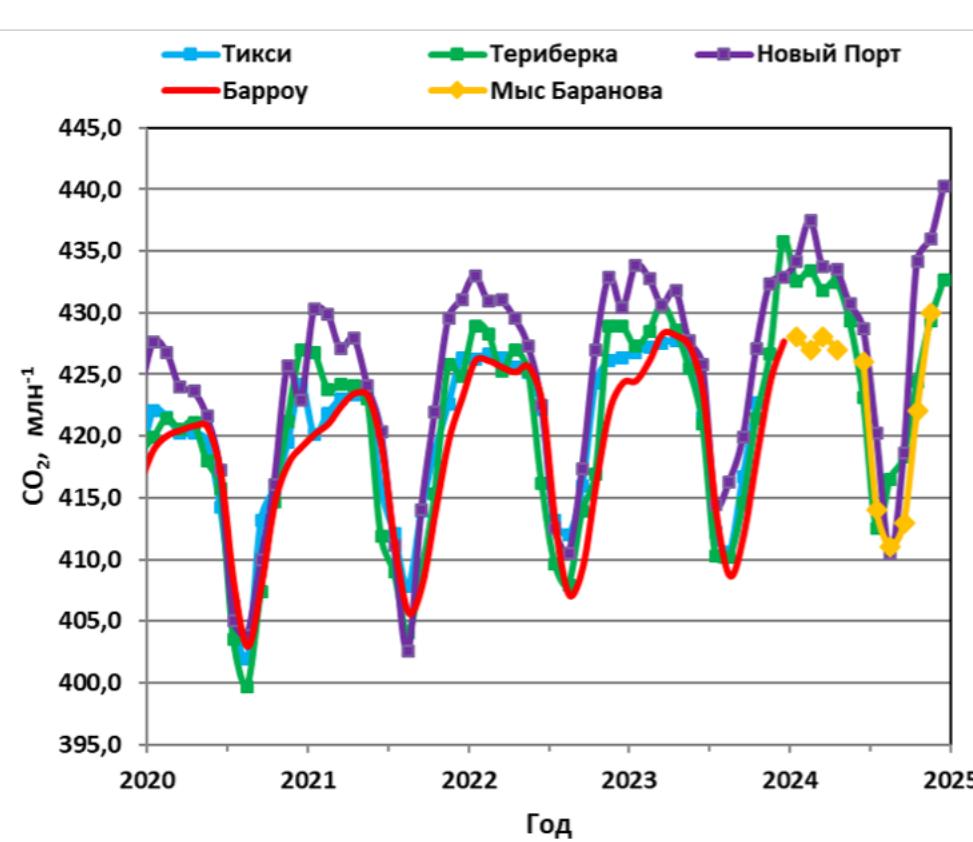
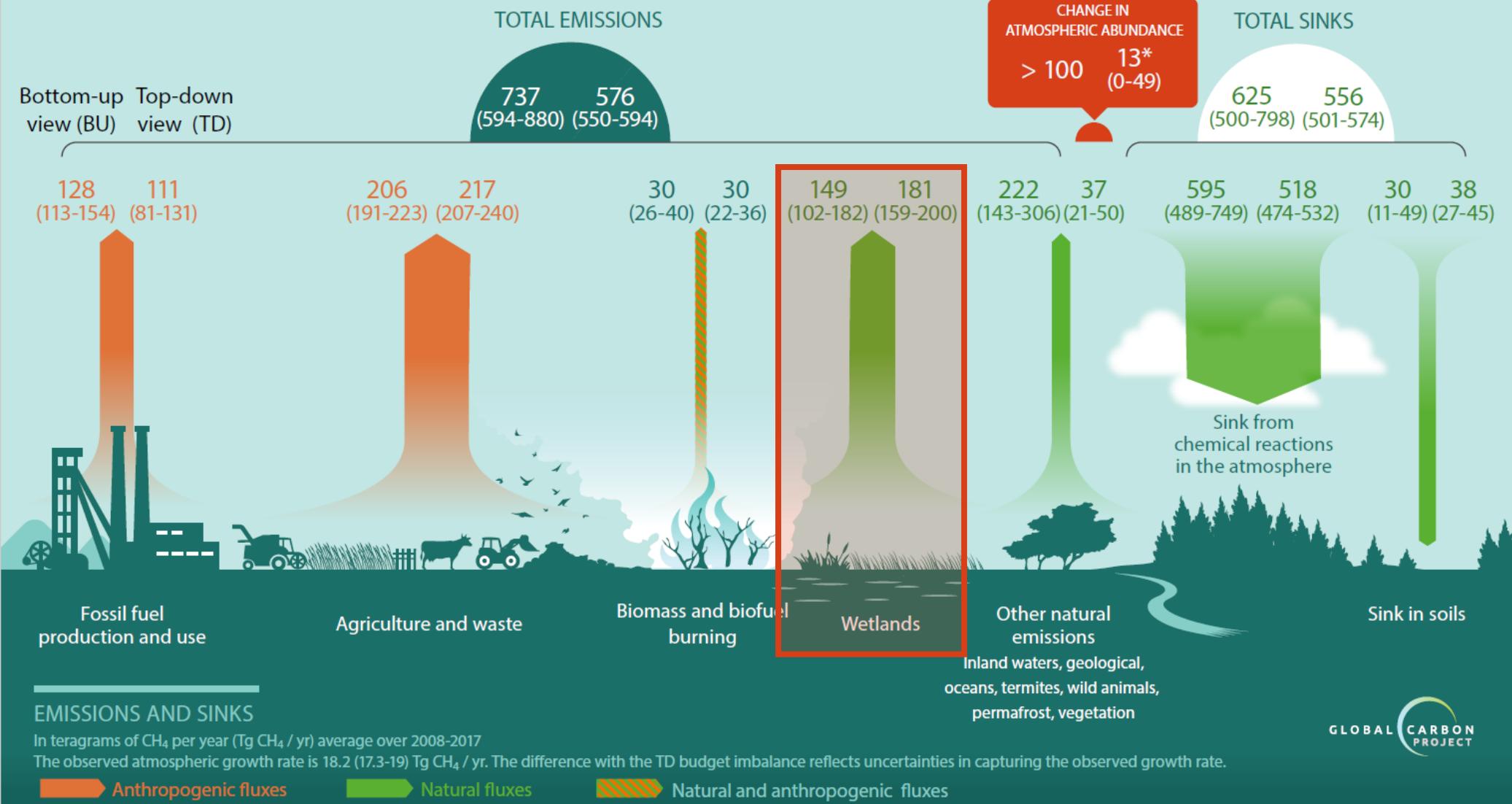


Рис. 2.3. Временной ход концентрации CO₂ и CH₄ на российских арктических станциях
в сравнении с данными станции Барроу

GLOBAL METHANE BUDGET 2008-2017





Eddy covariance

"Золотой стандарт", но дорого,
маломобильно, сложно для труднодоступных
районов

Существует разрыв между точными, но точечными/стационарными измерениями и
потребностью в мобильных измерениях для гетерогенных ландшафтов

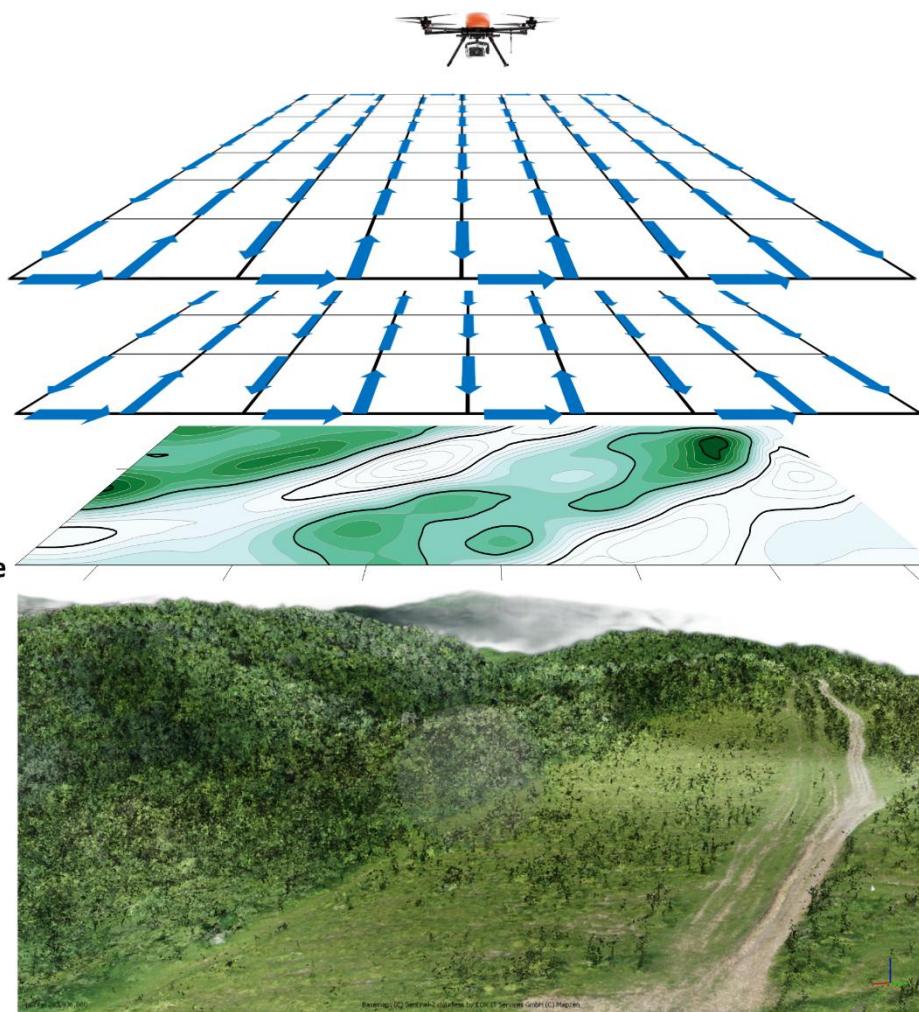


Камерный метод

Прост, но малая пространственная
репрезентативность и трудоемок

Уровни измерения
концентрации
парниковых газов
с использованием БПЛА

Уровень над растительным
покровом, для которого
определяются вертикальные
потоки парниковых газов



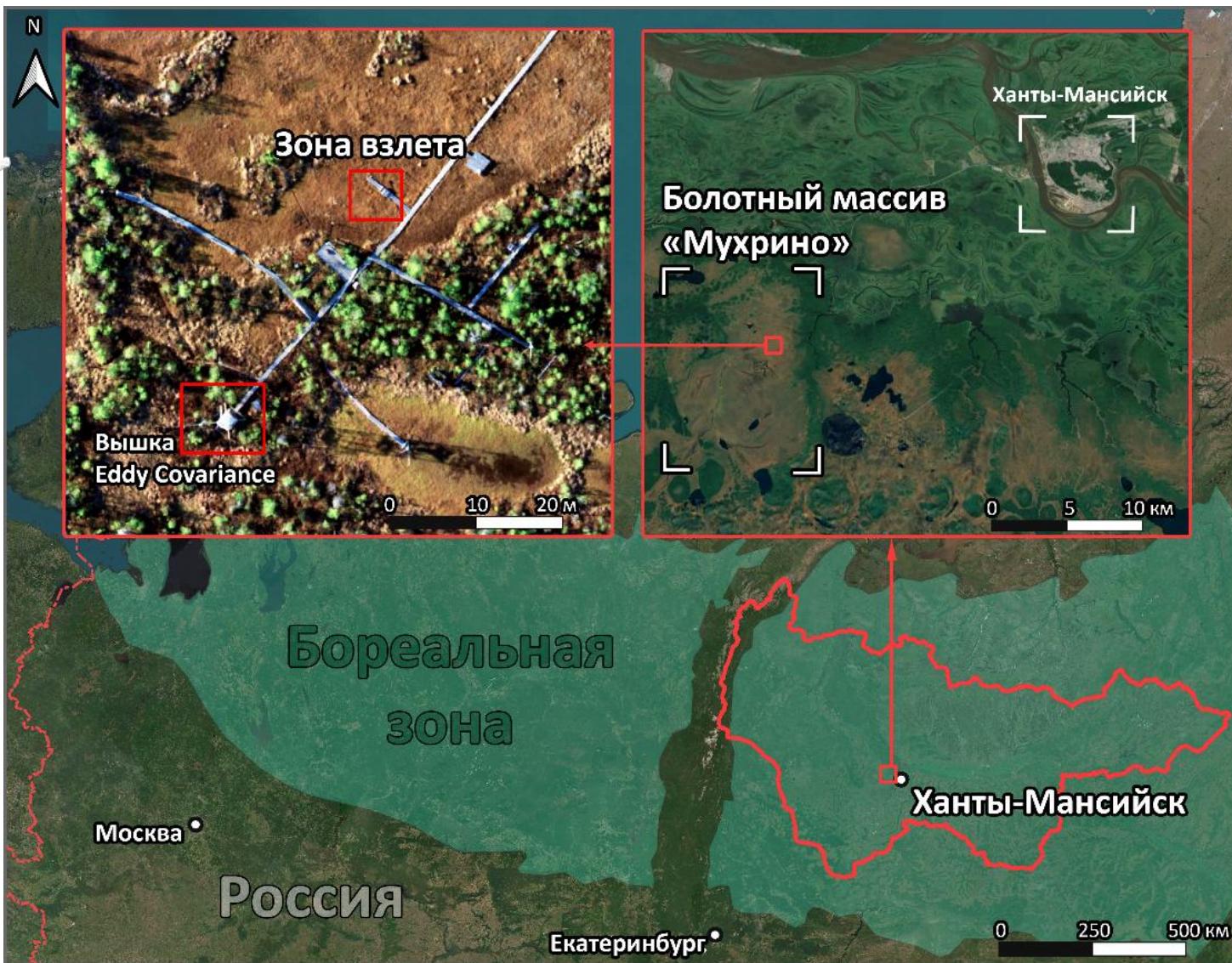
Апробация и верификация градиентного метода с использованием БВС

Преимущества подхода: мобильность, доступность, возможность работы над любым ландшафтом.

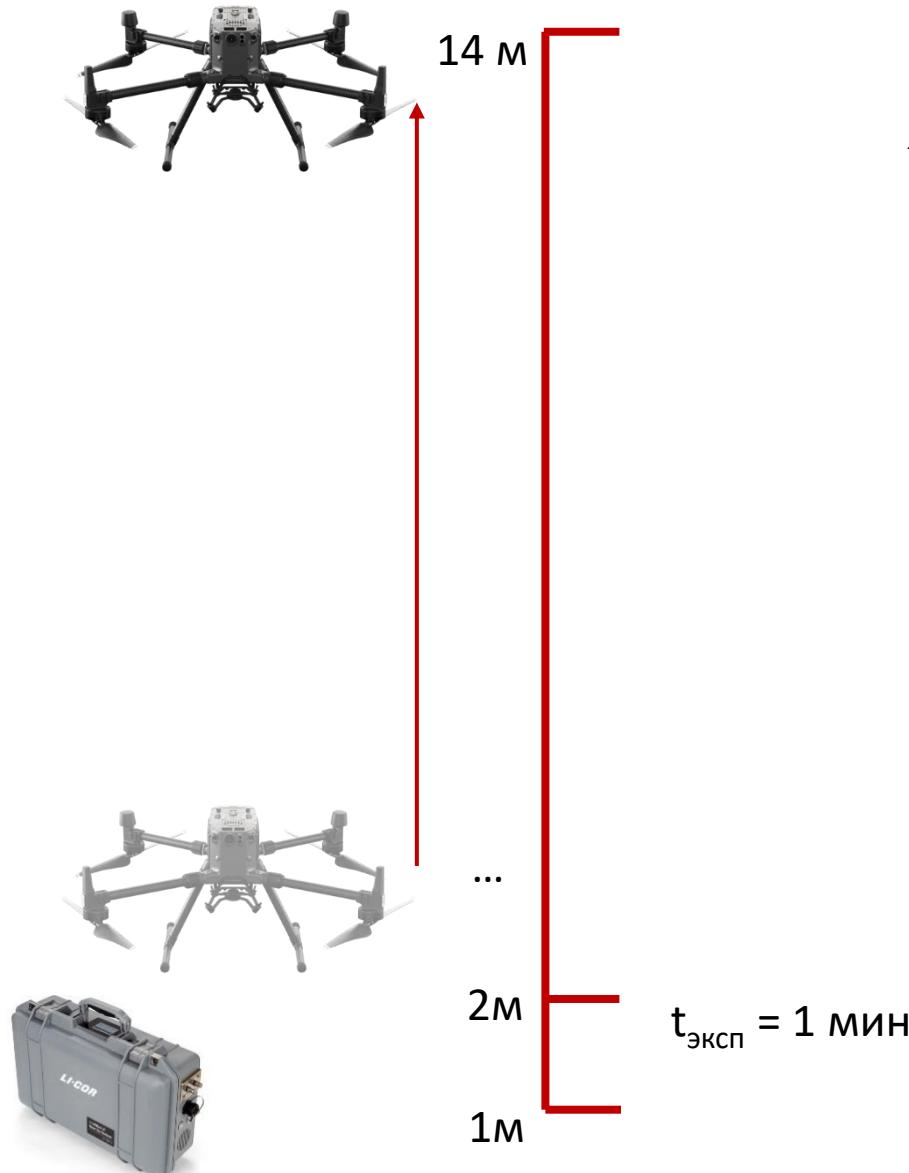
Основная задача: Оценить неопределенности и проверить метод против эталонного (Eddy Covariance).



Объект и методы исследования



Объект и методы исследования



$$K_{\text{ед}} = \frac{\kappa \cdot u_d \cdot z_g}{\varphi(\zeta)}$$

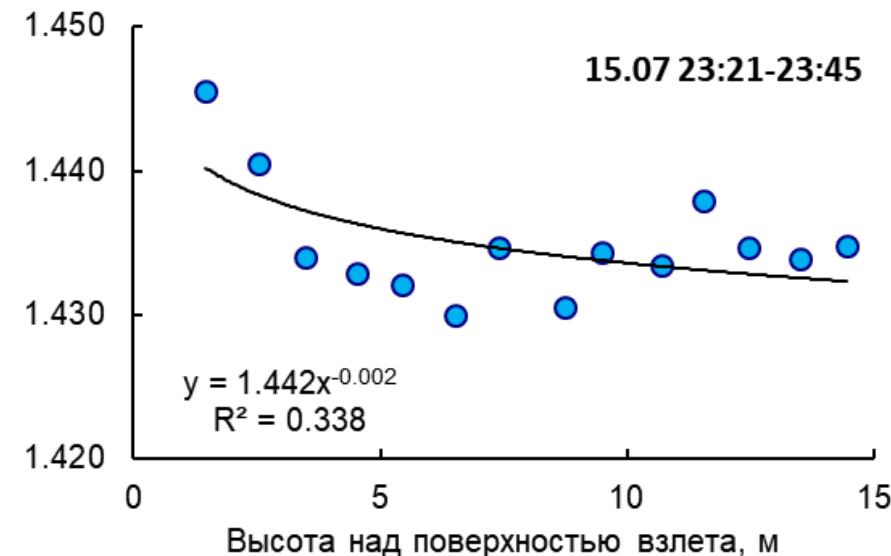
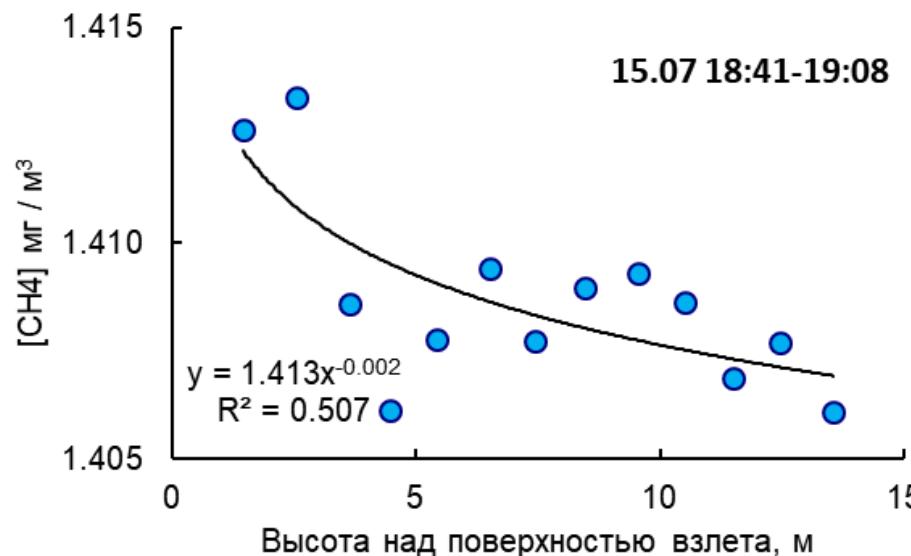
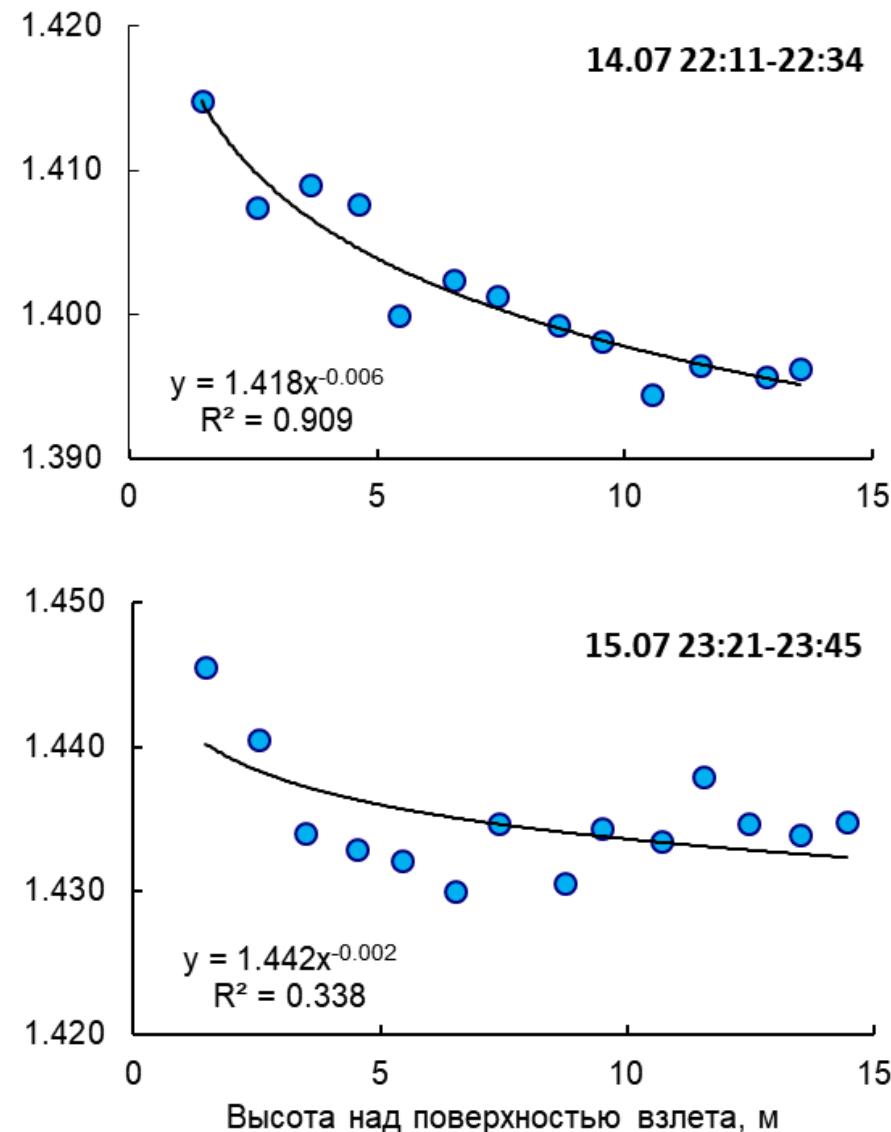
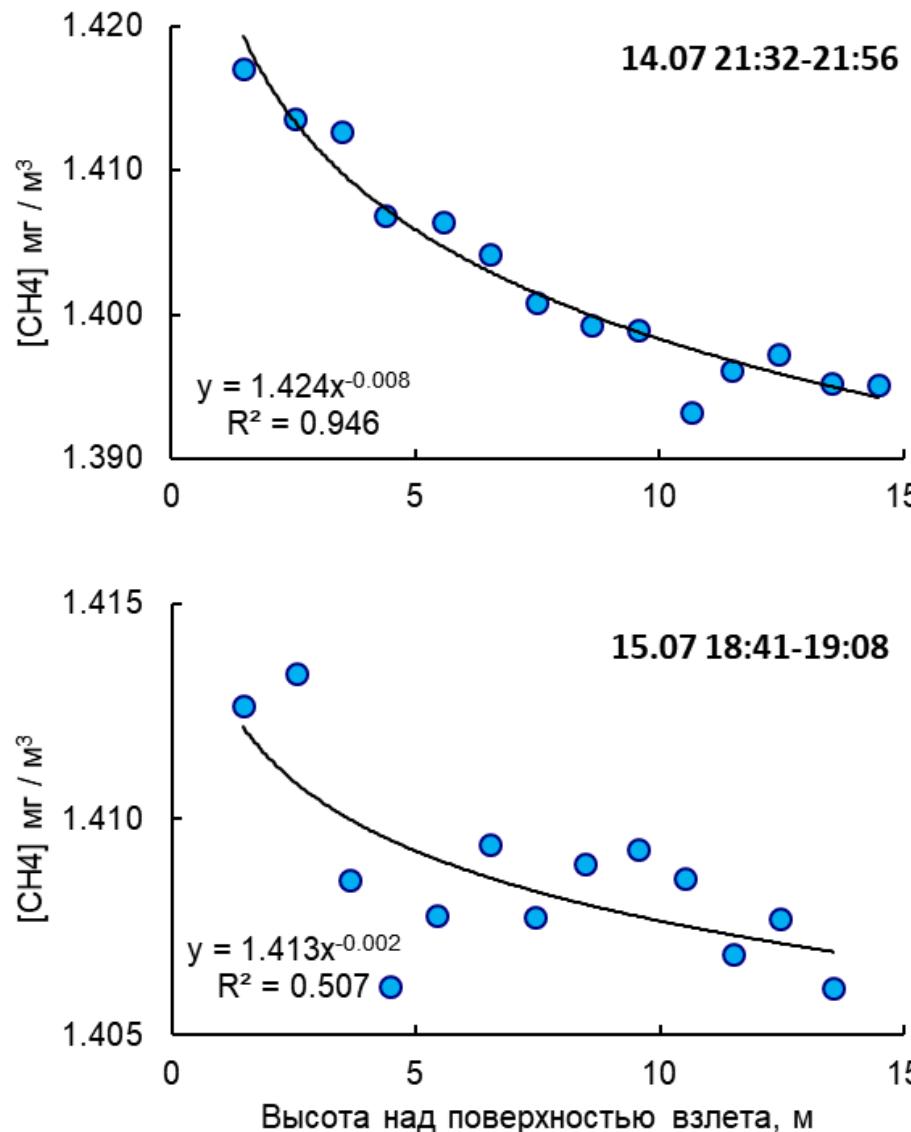
$$x(z) = a \cdot z^b$$

$$F_a = -K_{\text{ед}} \cdot \frac{dx}{dz} \Big|_{z=z_g}$$

Коэффициент турбулентной диффузии
 u_d – динамическая скорость ветра, м/с; z_g – высота (9,3 м); κ – константа Кармана (0,38); φ – универсальная функция для устойчивой стратификации атмосферы (во время всех наших измерений имела место именно такая стратификация – см. значения L в табл. 1): $\varphi(\zeta) = 1 + 6 \cdot \zeta$; ζ – безразмерный параметр Обухова-Леттая, равный $(z_g - d)/L$; d – высота слоя вытеснения, м.

Профили концентрации метана
 аппроксимировали степенной функцией

Удельный поток газа (F_a) вычисляли
 по формуле

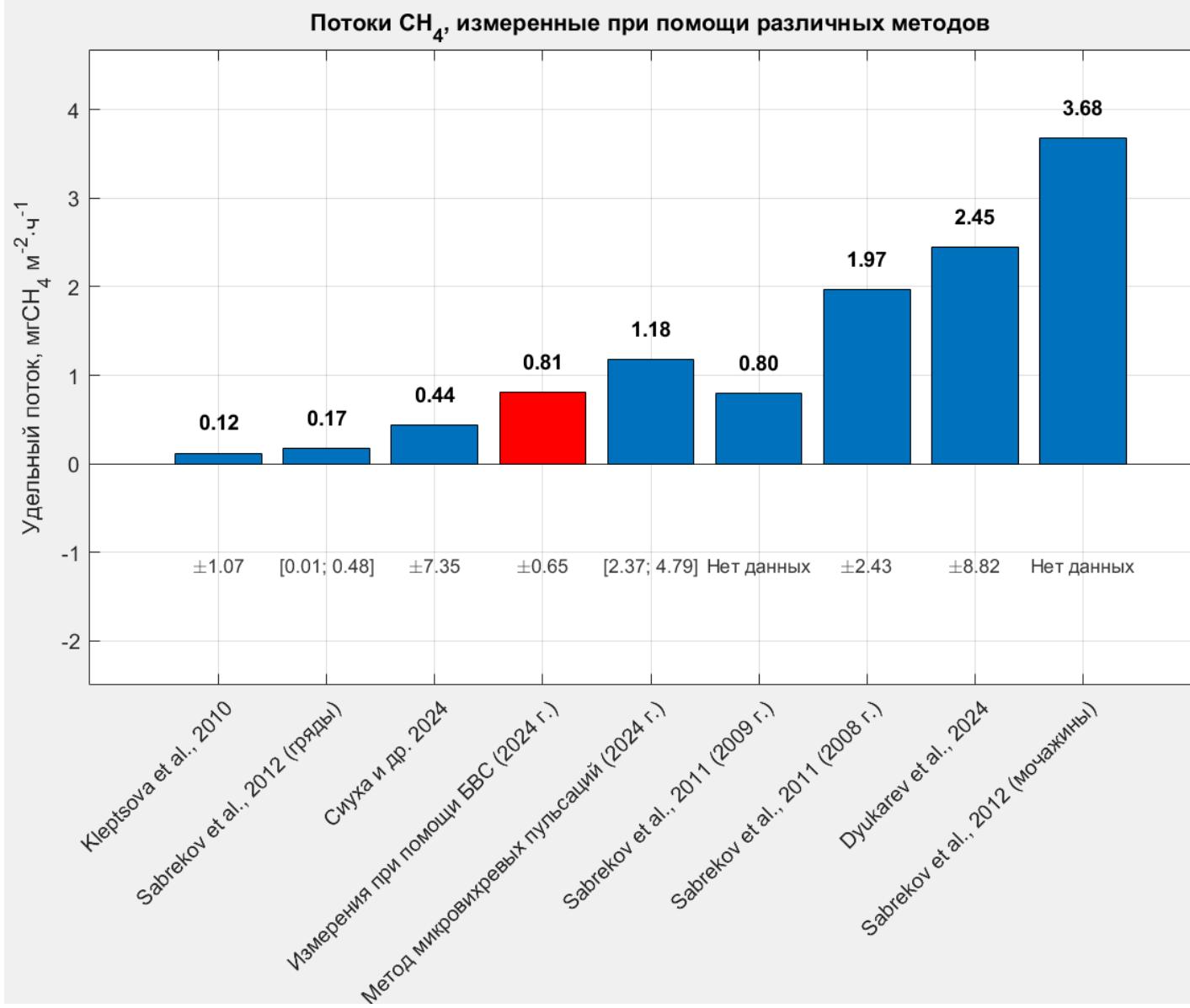


Потоки СН₄ и масштаб Монина-Обухова, полученные в конкретных полетах

№ полета	Дата и время	L, м	Удельный поток, мгСН ₄ ·м ⁻² ·ч ⁻¹	
			Среднее	std
1	14.07 21:32-21:56	4-48	0,82	0,40
2	14.07 22:11-22:34	38-55	1,53	0,21
3	15.07 18:05-18:30	41-52	-0,01	0,24
4	15.07 18:41-19:08	72-109	0,60	0,35
5	15.07 22:36-23:00	131-148	-2,10	2,27
6	15.07 23:21-23:45	159-165	0,96	0,84
7	15.07 23:57-00:22	115-151	0,82	0,53

Примечание: отрицательные значения потока соответствуют поглощению газа экосистемой из атмосферы, положительные – выделению в атмосферу.

Результаты и анализ источников неопределенности



Основные технические ограничения:

Малая продолжительность полета

Ограниченнная высота (длина шланга)

Отсутствие прямых измерений
турбулентности на БВС

Влияние нестационарности
атмосферы

Проведена успешная апробация градиентного метода измерения потоков CH_4 с использованием БВС

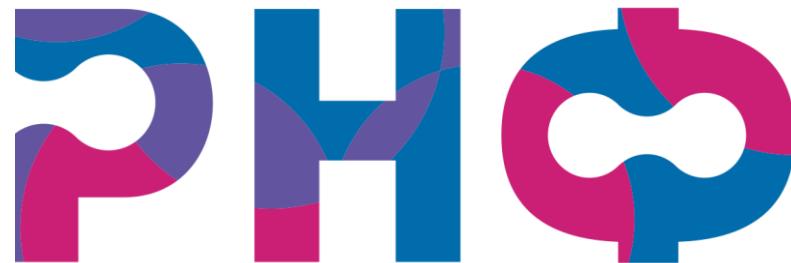
Продемонстрировано хорошее количественное согласие с эталонным методом микровихревых пульсаций

Выявлены и систематизированы основные источники неопределенности

Предложены конкретные технические и методические решения для повышения точности измерений

Метод подтвердил свою перспективность для оперативного мониторинга парниковых газов в труднодоступных регионах.

Благодарности



Российский
научный
фонд

**РАБОТА ВЫПОЛНЕНА ПРИ ПОДДЕРЖКЕ РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ФОНДА, ПРОЕКТ № 25-17-20042
«РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД С УЧЕТОМ ЦЕЛЕЙ
НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ ХМАО-Югры: БПЛА, ГИС, НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И НАЗЕМНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ».**

БЛАГОДАРЮ КОМАНДУ ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА, СОТРУДНИКОВ СТАНЦИИ «МУХРИНО» И КОЛЛЕГ, ПРИНИМАВШИХ
УЧАСТИЕ В СБОРЕ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ.