

# Национальная сеть наблюдений за эмиссией CO<sub>2</sub> из почв России: первые результаты и перспективы

**Курганова И.Н., Ильясов Д.В., Хорошаев Д.А.,  
Лопес де Гереню В.О., Д.В. Карелин**

**Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,  
Пушино**

**Югорский Государственный Университет, Ханты-Мансийск**

**Институт географии РАН, Москва**

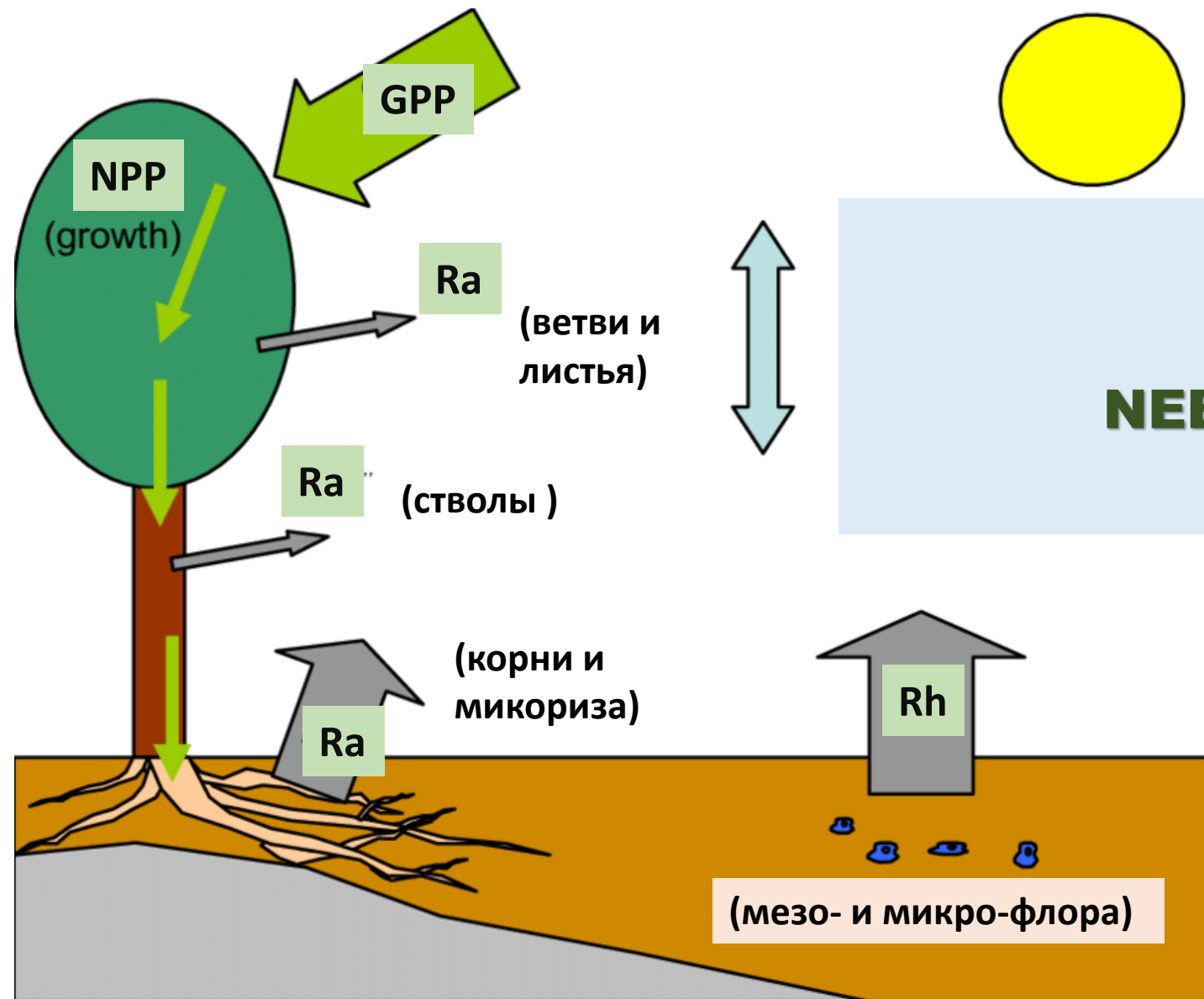


# Данные измерений эмиссии CO<sub>2</sub> из почв были предоставлены:

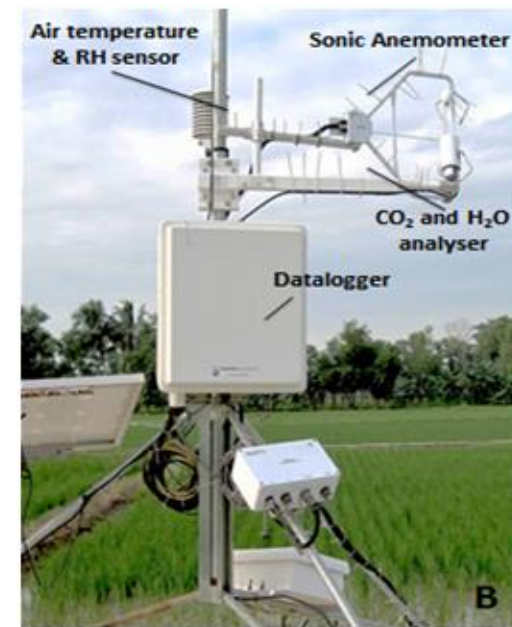
1. *Ершов В.В., Рябов Н.С.* – ИППЭС КНЦ РАН (Апатиты, Мурманская обл.)
2. *Шмакова Н.Ю.* – ПАБСИ КНЦ РАН (Апатиты, Мурманская обл.)
3. *Иванов Д.Г.* – ИПЭЭ РАН (Москва)
4. *Замолодчиков Д.Г.* – ЦЭПЛ РАН (Москва)
5. *Сапронов Д.В., Хорошаев Д.А.* – ИФХиБПП РАН (Пущино)
6. *Карелин Д.В.* – ИГ РАН (Москва)
7. *Мошкина Е.В., Мамай А.В.* – ИЛ КарНЦ РАН (Петрозаводск)
8. *Осипов А.Ф., Кузнецов М.А.* – ИБ Коми НЦ УрО РАН
9. *Чумбаев А.С.* – ИПА СО РАН (Новосибирск)
10. *Соколова Л.Г.* – СИФИБР СО РАН (Иркутск)
11. *Белан Б.Д.* – ИОА СО РАН (Томск)
12. *Прокушкин А.С.* – ИЛ СО РАН (Красноярск)
13. *Куприн А.В.* – ФИЦ Биоразнообразие (Владивосток)
14. *Иванов А.В.* – ИГиП ДВО РАН (Благовещенск)
15. *Максимов Т.Х., Петров Р.* – ИБПК СО РАН (Якутск)
16. *Гончарова О.Ю., Копцик Г.Н., Бобрик А.А., Сорокин А.* – Факультет Почвоведения МГУ (Москва)
17. *Капица Е.А.* – СПбГЛТУ (Санкт-Петербург)
18. *Ильясов Д.В.* – ЮГУ (Ханты-Мансийск)

# Экосистемные потоки парниковых газов

## Метод вихревых пульсаций

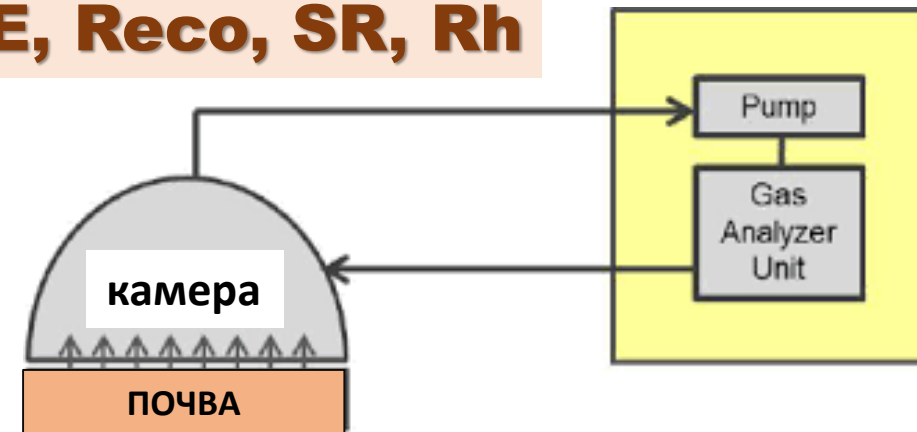


$$\begin{aligned} & \text{GPP} \\ & \text{Reco} \\ & \text{NEE} = \text{GPP} + \text{Reco} \\ & \text{SR} = \text{Ra} + \text{Rh} \end{aligned}$$



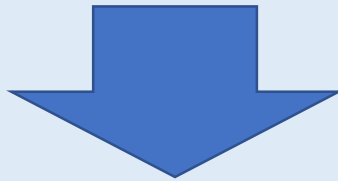
## Камерный метод

**NEE, Reco, SR, Rh**



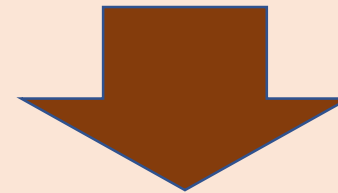
# Метод вихревых пульсаций vs камерный метод

- Прямые измерения баланса ПГ в любых экосистемах для больших площадей (футпринт зависит от высоты мачты)
- Непрерывные данные, автоматическая регистрация данных
- Унифицированное сертифицированное оборудование, импортное и очень дорогое
- Сложность установки и обслуживания оборудования, унифицированные расчеты, требующие обучения



**Ограниченные возможности расширения сети мониторинга на территории РФ**

- Прямые измерения баланса возможны не во всех экосистемах. Использование моделей или разностного метода для площадных оценок (футпринт неограничен)
- Непрерывные и/или дискретные данные; автоматическая регистрация возможна
- Оборудование разных производителей, включая недорогие отечественные варианты
- Относительная простота измерений и расчетов, но сложность их унифицирования

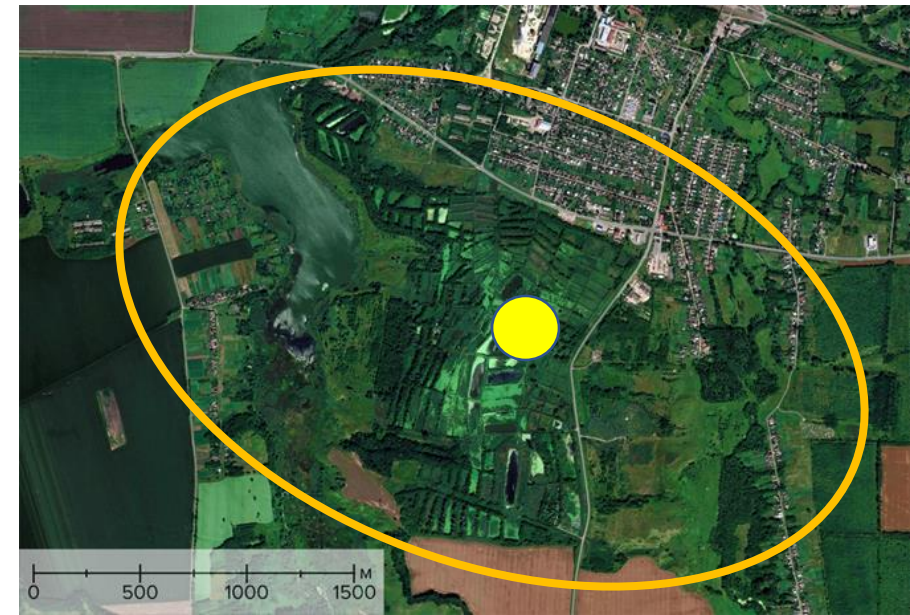
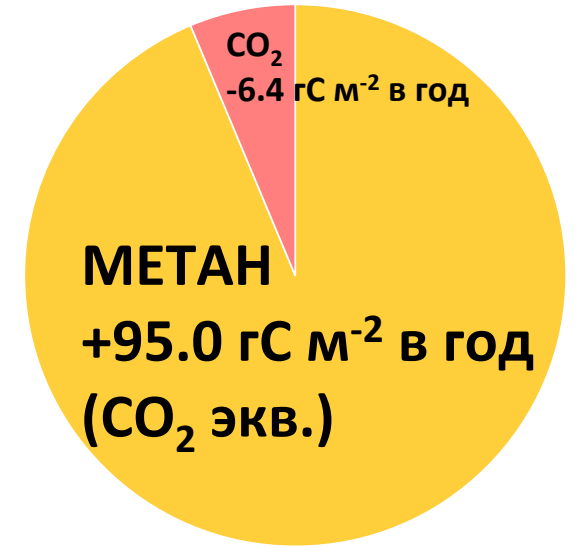
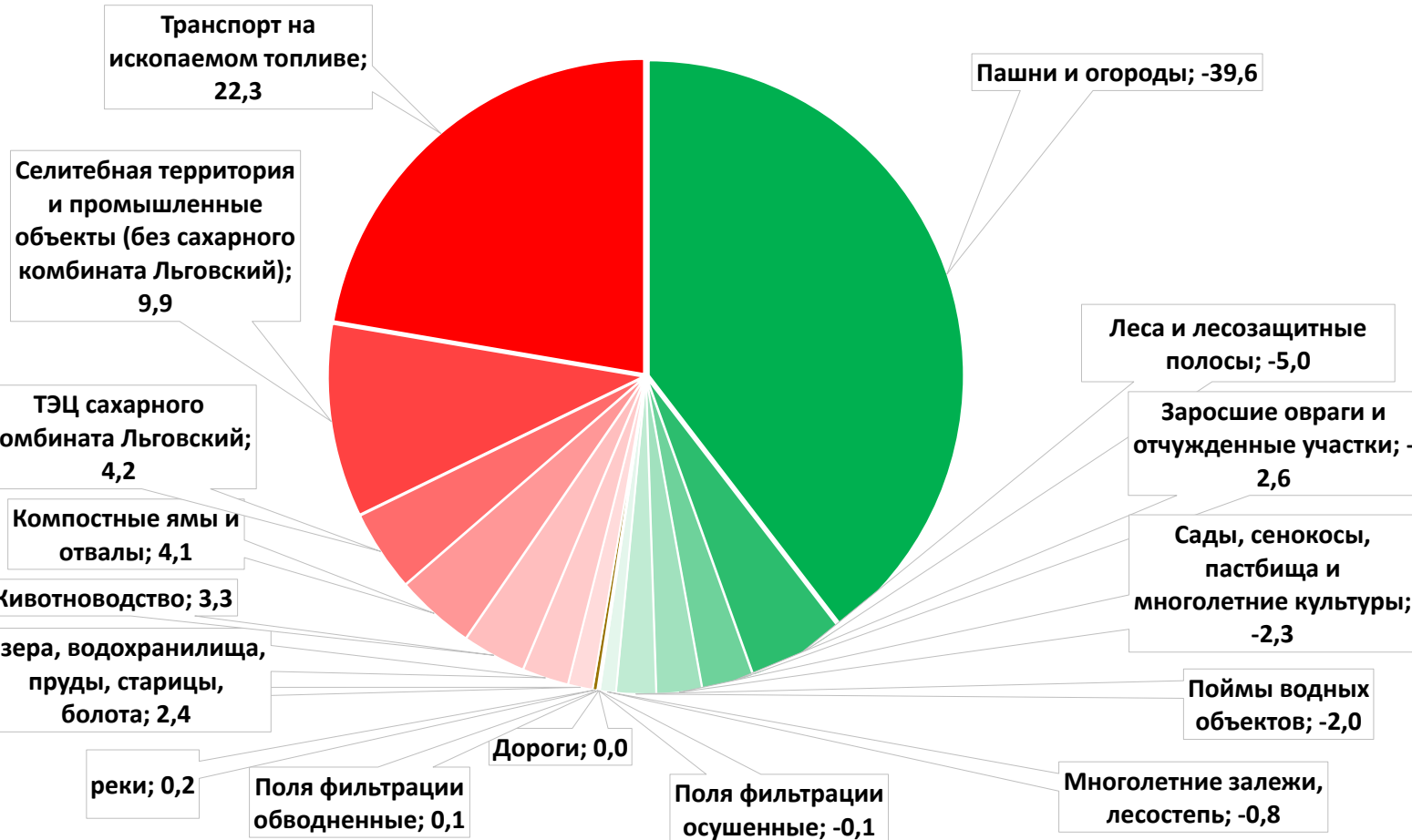


**Возможность организации широкой сети мониторинга на территории РФ**



# Оценка нетто-баланса углерода для территории комплексного ландшафта с помощью данных по эмиссии ПГ из почвы и имитационного моделирования

**НЕТТО-СТОК CO<sub>2</sub>: -6.4 гС м<sup>-2</sup> в год**



## Создание национальной сети наблюдений за эмиссией CO<sub>2</sub> из почв – одна из целей консорциума 4 «Углерод в экосистемах: мониторинг»

в рамках реализации Важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) *"Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах»*

# Расположение действующих в 2023 г. площадок наблюдений за эмиссией CO<sub>2</sub> из почв

КАТАЛОГ | СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА | 1



Количество **действующих** площадок мониторинга потоков CO<sub>2</sub> в 2023 году

## Действующие площадки

93 участка наблюдений  
18 регионов  
17 академических организаций



## Реализованные цели

### СВЯЗЬ

Впервые в рамках единого проекта объединены усилия ведущих академических организаций

### МОДЕРНИЗАЦИЯ

Обновлена значительная часть приборной базы, необходимой для проведения наблюдений мирового уровня

### УНИФИКАЦИЯ

Разработан методический регламент для определения эмиссии CO<sub>2</sub> из почв, единый для всех участников консорциума и признанный на международном уровне

### ИНТЕГРАЦИЯ

Подготовлена структура представления и алгоритмы обобщения экспериментальных данных по эмиссии CO<sub>2</sub> из почв для внедрения в Единую Информационную Систему

## ОБЛАСТИ:

Мурманская

Ленинградская

Тверская

Новгородская

Московская

Курская

Астраханская

Тюменская

Новосибирская

Томская

Иркутская

Амурская

Красноярский край

Приморский край

Республика Карелия

Республика Коми

Республика Саха

Ханты-Мансийский Автономный округ



# Расположение действующих в 2023 г. площадок наблюдений за эмиссией CO<sub>2</sub> из почв в соответствии с биоклиматическими зонами

КАТАЛОГ | СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА | 4

**РИТМ**  
углерода

Карта действующих площадок проведения наблюдений

Природные условия на территории Российской Федерации

10% тундра и арктические пустыни

9% лесотундра

62% тайга и подтайга  
(включая северную, среднюю и южную)

3% Лиственные леса

4% лесостепь

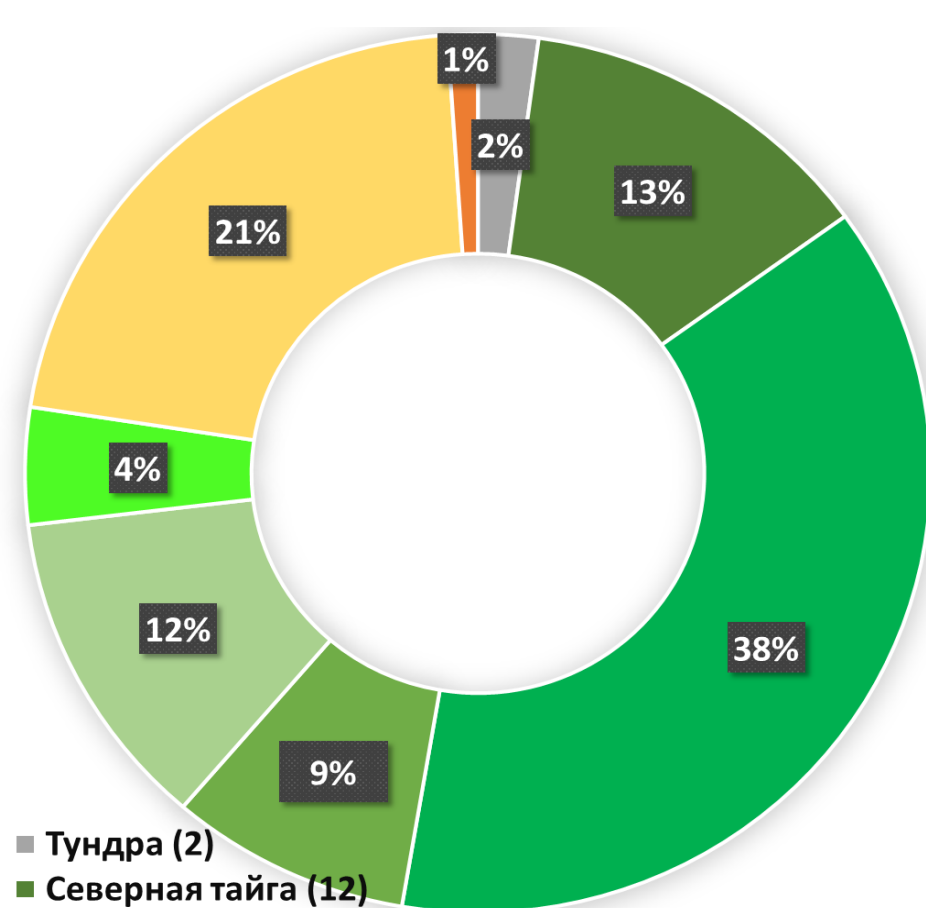
11% степь

1% пустыня

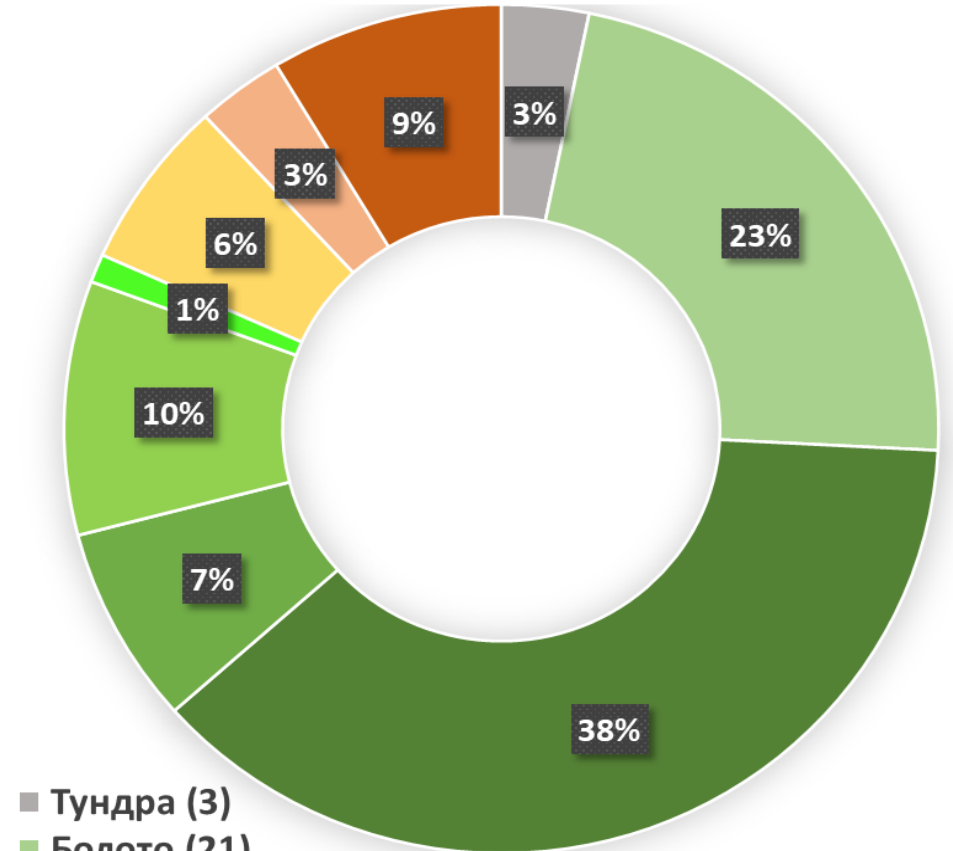




# Распределение площадок наблюдений по природным зонам и экосистемам

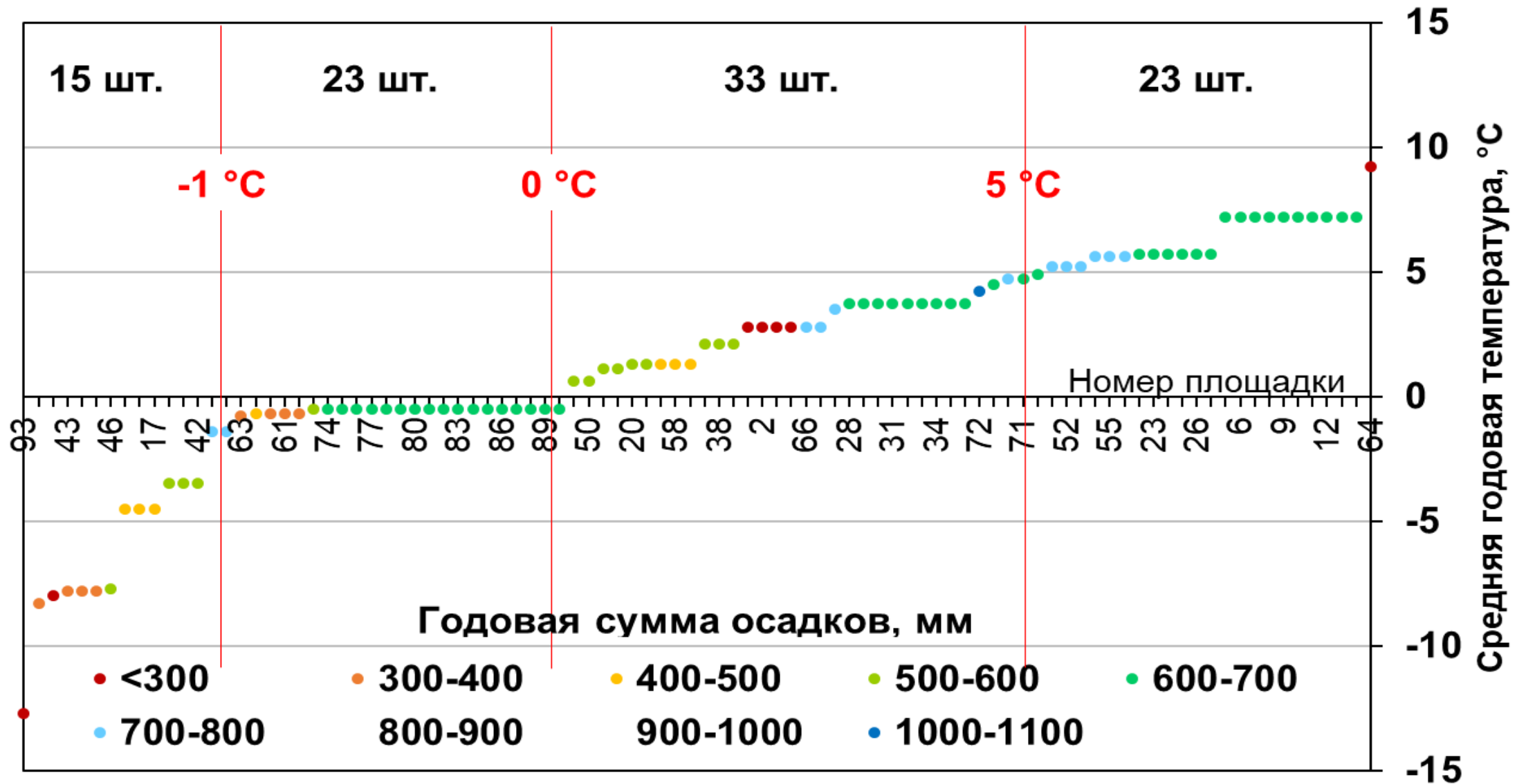


- Тундра (2)
- Северная тайга (12)
- Средняя тайга (35)
- Южная Тайга (8)
- Хвойно-широколиственные леса (11)
- Широколиственные леса (4)
- Лесостепь (20)
- Поупустыня (1)



- Тундра (3)
- Болото (21)
- Лес хвойный (35)
- Лес хвойно-широколиственный (7)
- Лес широколиственный (9)
- Лесостепь (1)
- Луг (6)
- Залежь (3)
- Агроценоз (8)

# Распределение площадок наблюдений по климатическим параметрам



Продолжительность периодов наблюдений на **действующих** площадках мониторинга потоков CO<sub>2</sub>

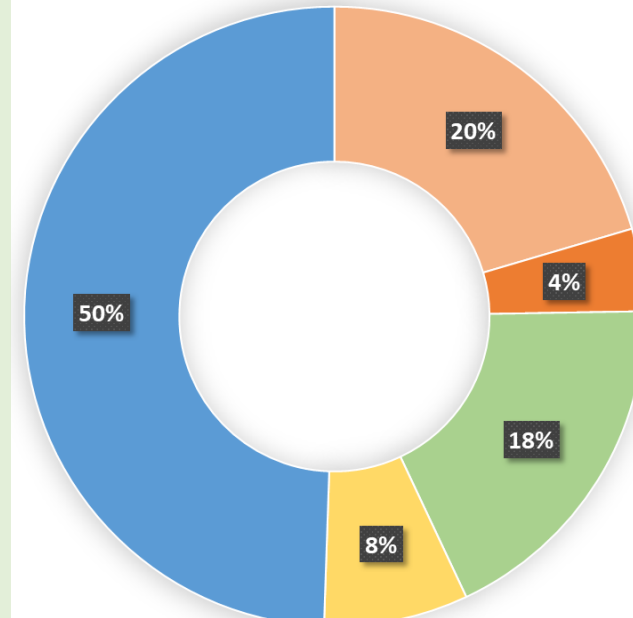


## Легенда

Наблюдения проводятся:

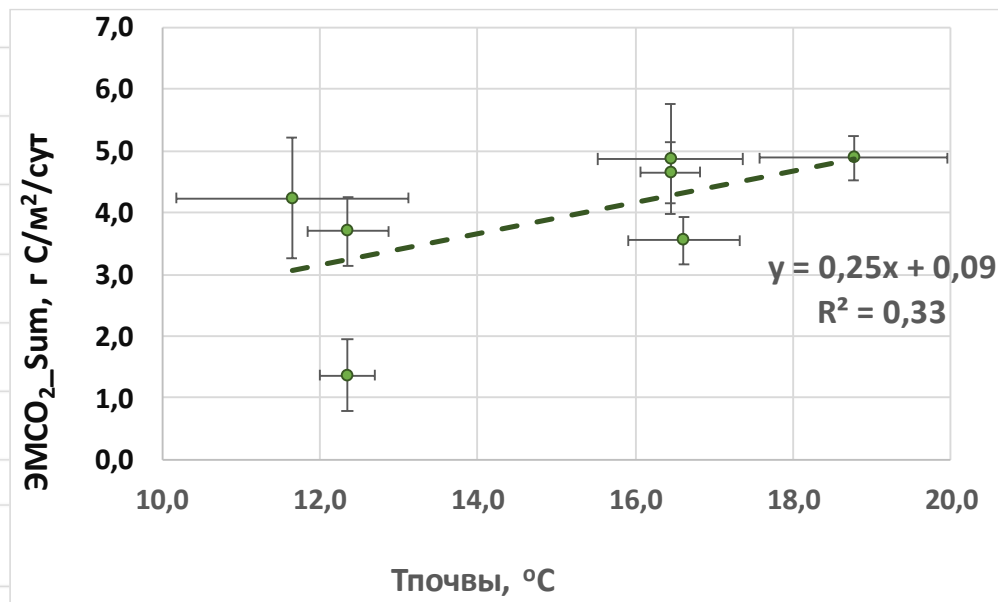
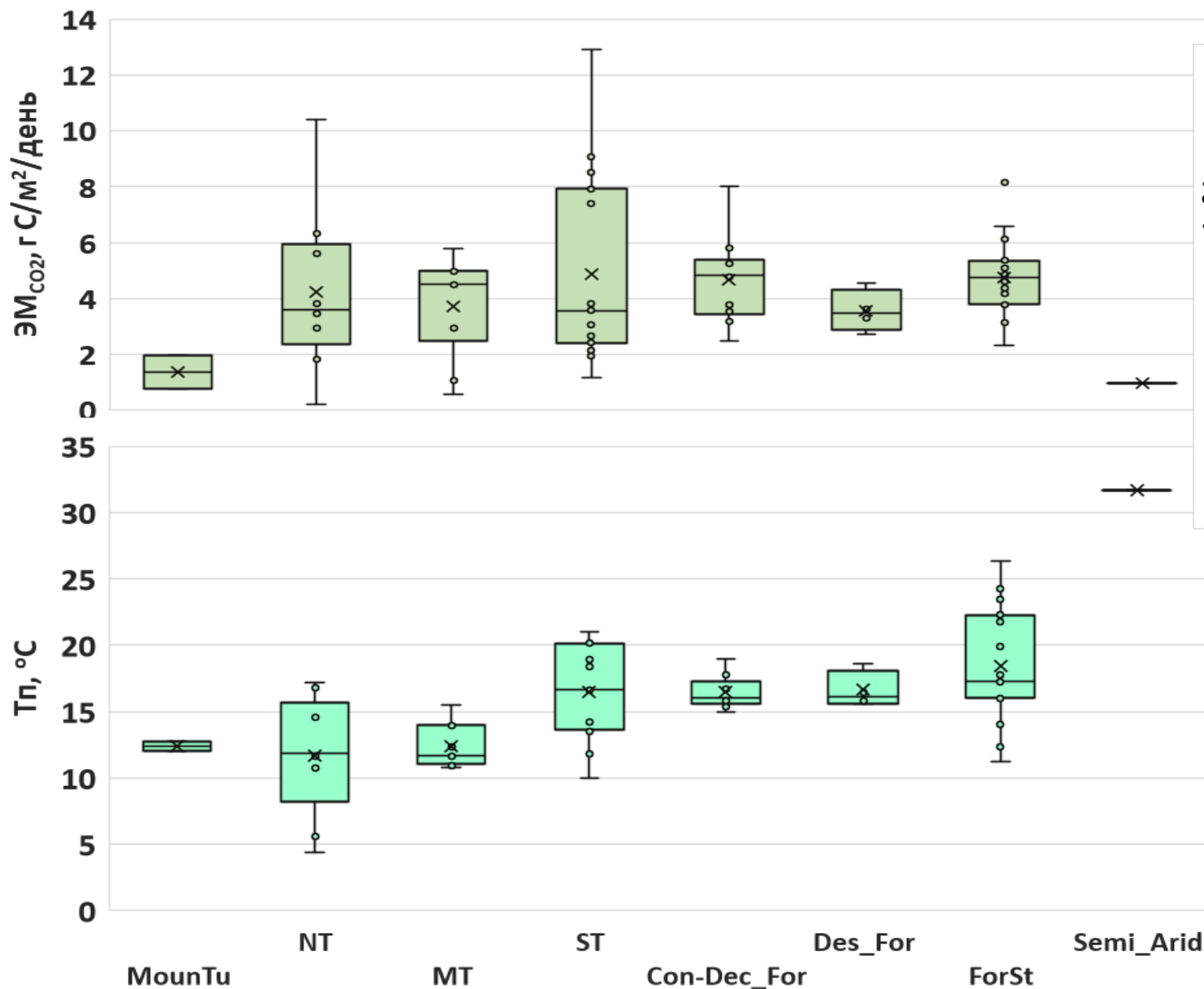


## Продолжительность наблюдений



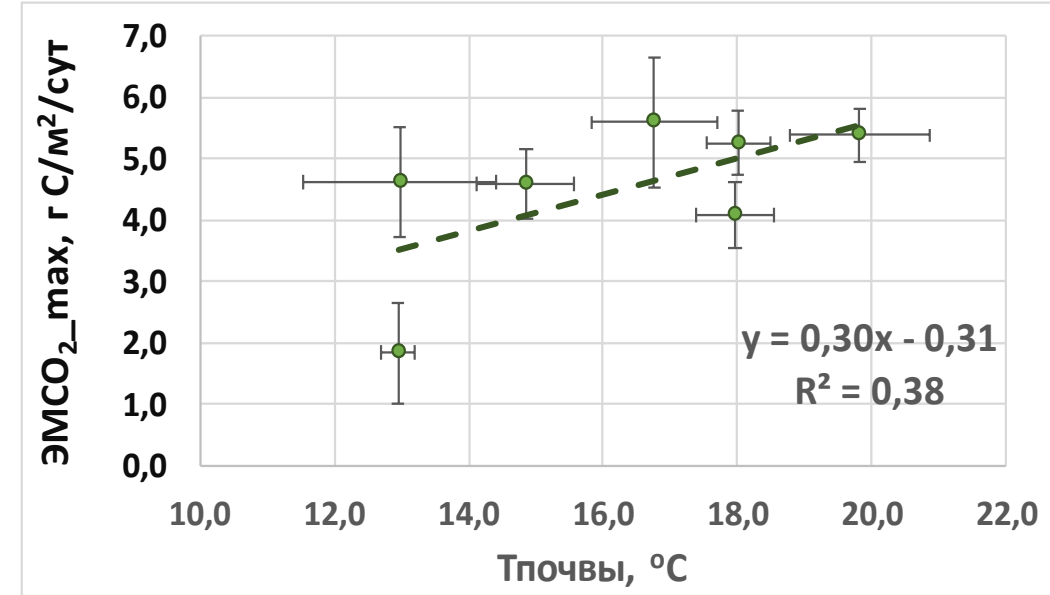
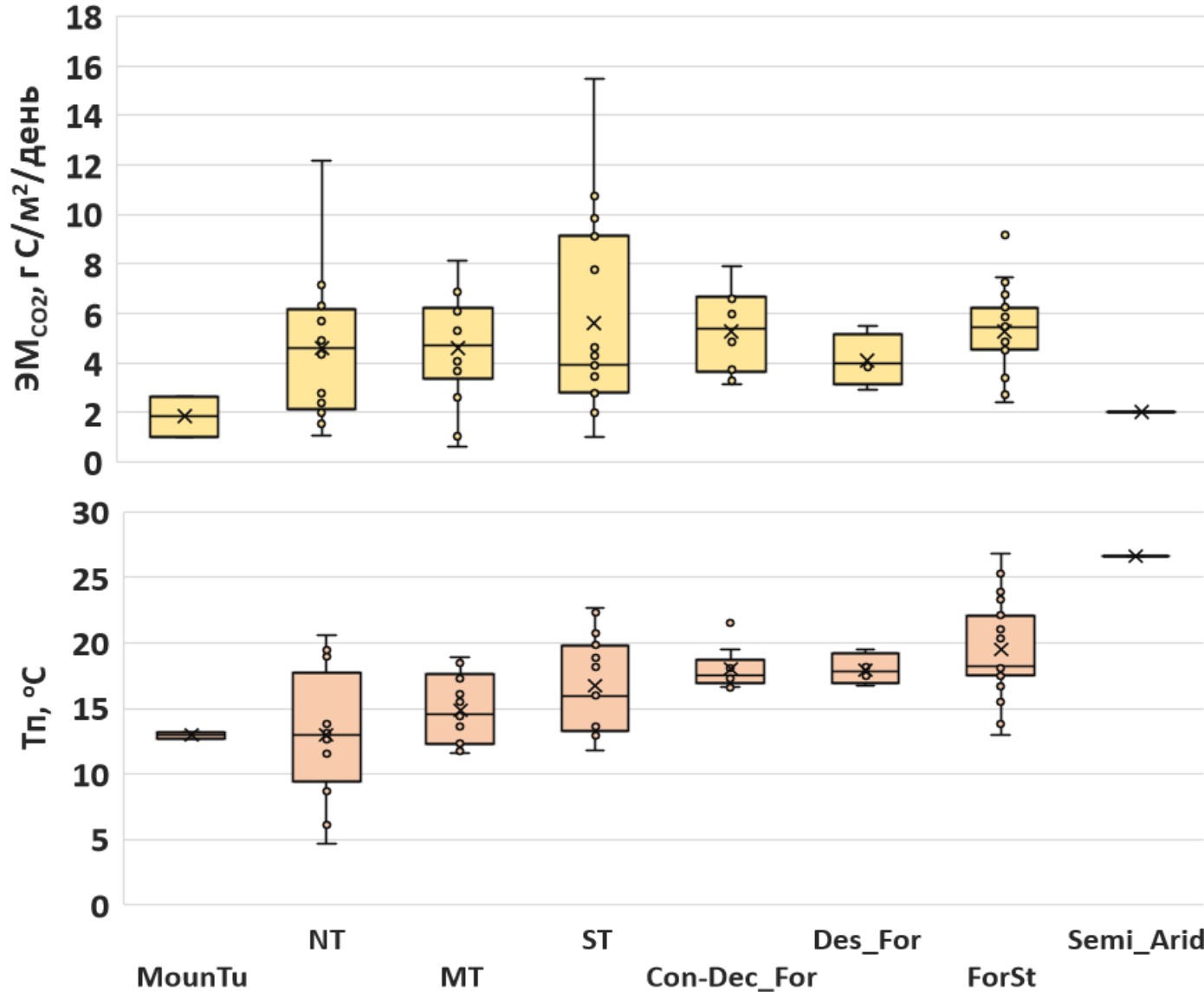


# Среднелетняя скорость эмиссии CO<sub>2</sub> из почв и температуры почвы в различных природно-климатических зонах



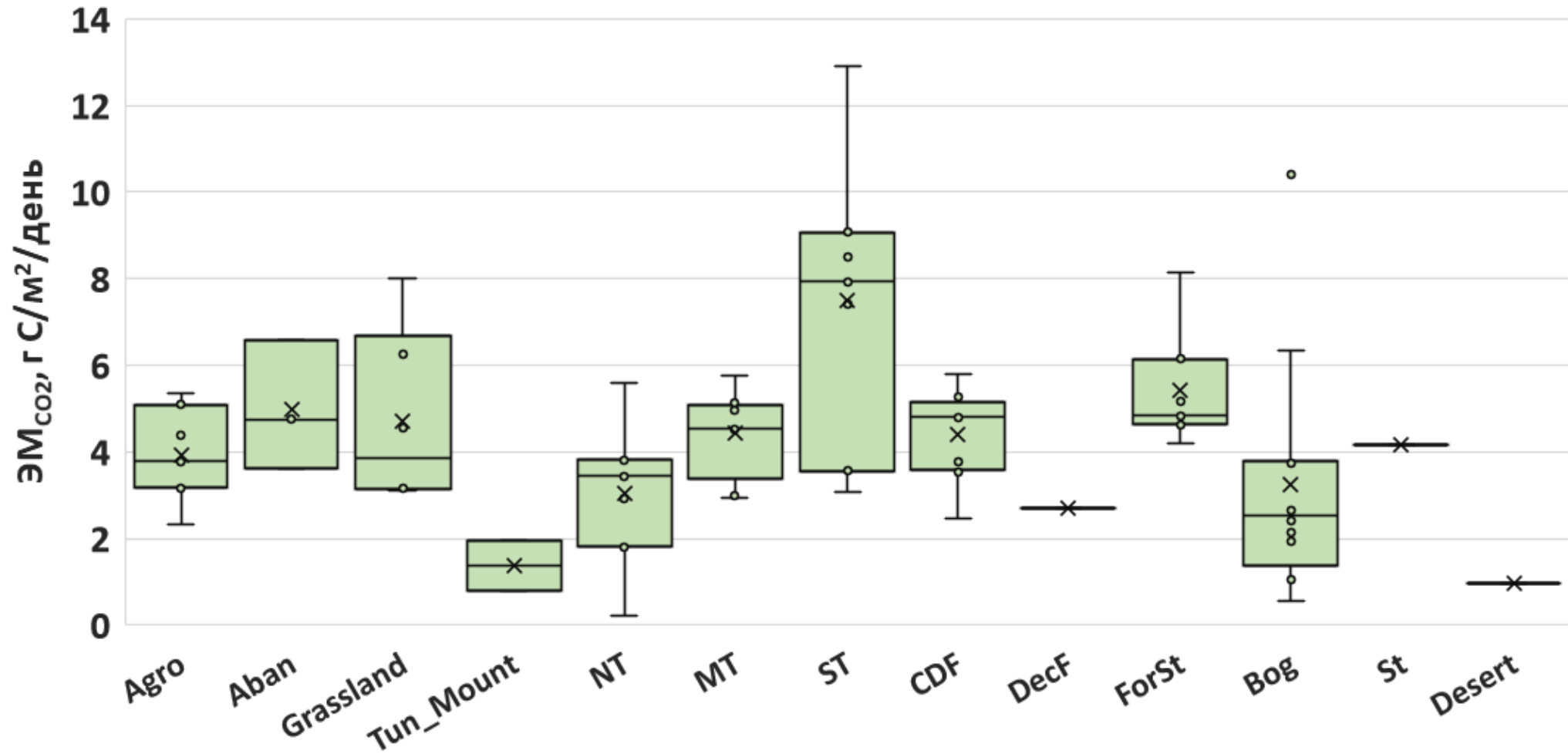
**MounTu** - Горная тундра,  
**NT** - Северная тайга,  
**MT** - Средняя тайга,  
**ST** - Южная тайга,  
**Con-Dec\_For** - Хвойно-широколиств. лес,  
**Des\_For** - Широколиственный лес,  
**ForSt** - Лесостепь,  
**Semi\_Arid** - Полупустыня

# Максимальная скорость эмиссии CO<sub>2</sub> из почв и температуры почвы в различных природно-климатических зонах



**MounTu** - Горная тундра,  
**NT** - Северная тайга,  
**MT** - Средняя тайга,  
**ST** - Южная тайга,  
**Con-Dec\_For** - Хвойно-широколиств. лес,  
**Des\_For** - Широколиственный лес,  
**ForSt** - Лесостепь,  
**Semi\_Arid** - Полупустыня

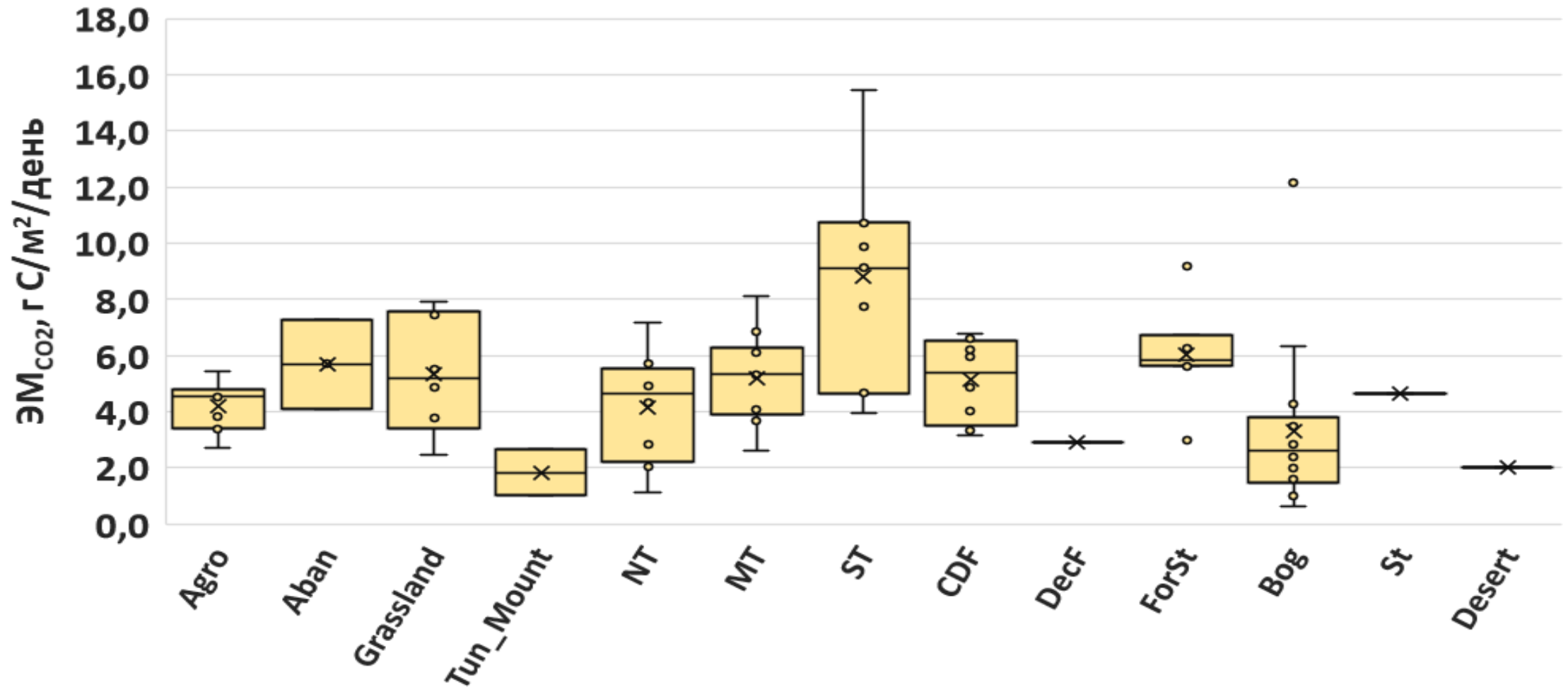
# Среднелетняя скорость эмиссии CO<sub>2</sub> из почв в различных типах экосистем



Типы Экосистем: Agro – агроценоз, Aban – Залежь, Grass – Луг, MounTu - Горная тундра, NT - Северная тайга, MT - Средняя тайга, ST - Южная тайга, CDF- Хвойно-широколиственный лес, DesF - Широколиственный лес, St – Степь, Desert– Полупустыня.

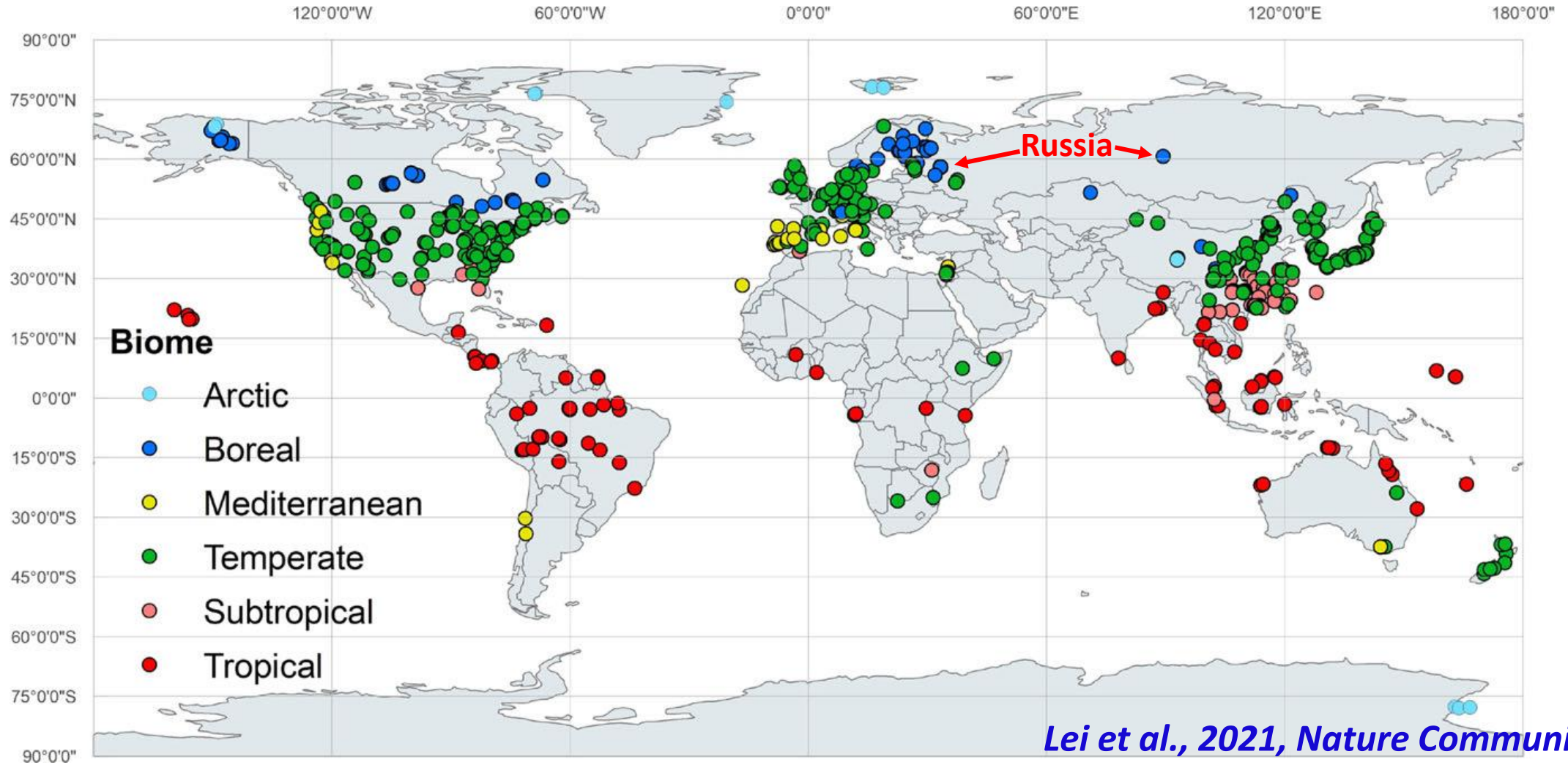


# Максимальная скорость эмиссии CO<sub>2</sub> из почв в различных типах экосистем



Типы Экосистем: Agro – агроценоз, Aban – Залежь, Grass – Луг, MounTu - Горная тундра, NT - Северная тайга, MT - Средняя тайга, ST - Южная тайга, CDF- Хвойно-широколиственный лес, DesF - Широколиственный лес, St – Степь, Desert– Полупустыня.

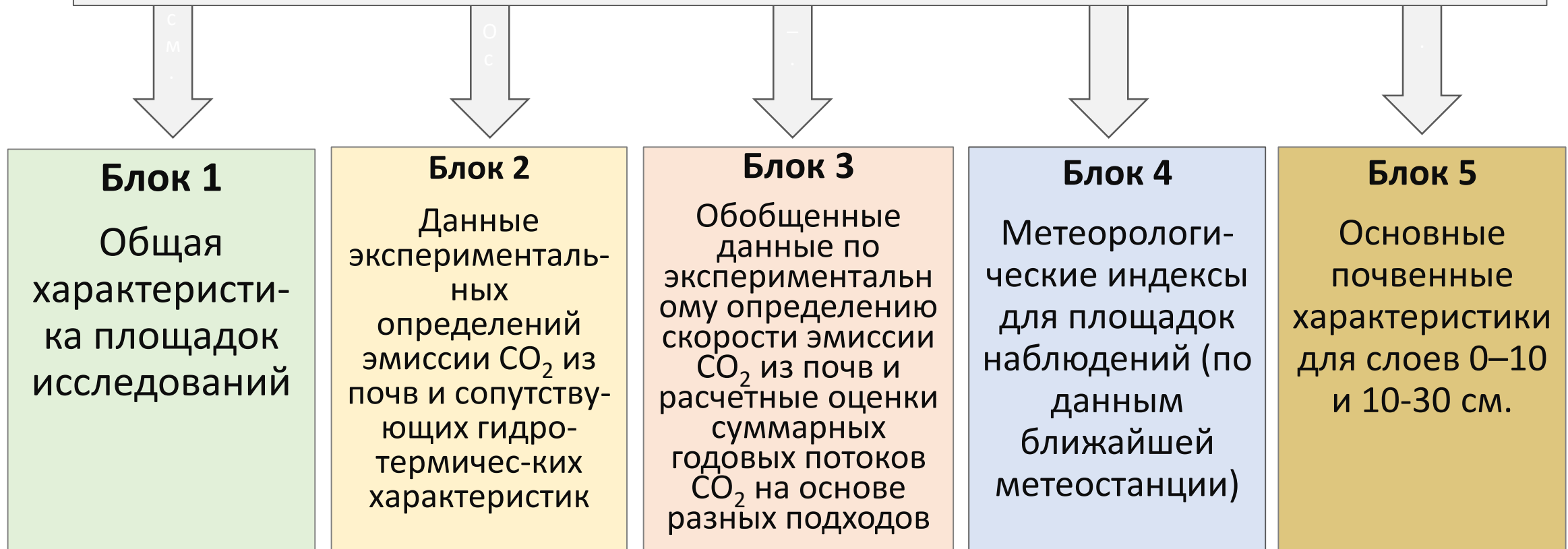
# Географическое распределение данных по почвенному дыханию – глобальная Soil Respiration Data Base



(SRDB содержит результаты 2428 наблюдений из 693 опубликованных работ)

# Задача: включение в общую ИАС «Углерод-Э» и в мировую БД по дыханию почв

## Структура базы данных по эмиссии CO<sub>2</sub> из почв в наземных экосистемах России



**Включает > 90 различных параметров!**



# Структура мировой базы данных по дыханию почв 2021 г.

[A Global Database of Soil Respiration Data, Version 5.0 \(ornl.gov\)](https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1827); A Global Database of Soil Respiration Data, Version 5.0. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1827>

## Основные параметры БД по дыханию почв

Record_number	Elevation	Soil_BD	Means_interval	Rs_wet	TotDet_flux
Entry_date	Manipulation	Soil_CN	Annual_coverage	Rs_dry	Ndep
Study_number	Manipulation_level	Soil_sand	Partition_method	RC_seasonal	LAI
Author	Age_ecosystem	Soil_silt	Rs_annual	RC_season	BA
Duplicate_record	Age_disturbance	Soil_clay	Rs_annual_err	GPP	C_veg_total
Quality_flag	Species	MAT	Rs_interann_err	ER	C_AG
Contributor	Biome	MAP	Rlitter_annual	NEP	C_BG
Country	Ecosystem_type	PET	Ra_annual	NPP	C_CR
Region	Ecosystem_state	Study_temp	Rh_annual	ANPP	C_FR
Site_name	Leaf_habit	Study_precip	RC_annual	BNPP	C_litter
Site_ID	Stage	Meas_method	Rs_spring	NPP_FR	C_soilmineral
Study_mid_year	Soil_type	Collar_height	Rs_summer	TBCA	C_soildepth
Years Of Data	Soil_drainage	Collar_depth	Rs_autumn	Litter_flux	Notes
Latitude		Chamber_area	Rs_winter	Rootlitter_flux	
Longitude		Time_of_day	Rs_growing season		

**Включает 85 различных параметров!**

# Перспективы:

- *Провести оценку годовых потоков  $CO_2$  из почв и баланса C в экосистемах с целью их сравнения с данными, полученными методом вихревых пульсаций;*
- **Подготовить результаты измерений 2022/2023 гг. согласно предложенной структуре базы данных для включения в единую ИАС «Углерод-Э»;**
- *Необходимо расширение исследований, в первую очередь, в степных и тундровых зонах, как наименее представленных в существующей сети наблюдений за эмиссией  $CO_2$  из почв;*
- **Интеграция в мировую базу данных по дыханию почв (SRDB).**

# Благодарю за внимание!



<https://ritm-c.ru>  
<http://carbomonitoring.ru>





- Измерения эмиссии парниковых газов из почвы могут служить важной альтернативой (и одновременно независимой проверкой) для метода вихревой ковариации. Последний метод безусловно необходим как единственный прямой метод измерения баланса ПГ *in situ* и только он может давать подробную картину их внутригодовой динамики, но в качестве альтернативной замены при объективной невозможности использования эдди коварианс или градиентного метода на основе внутригодовых данных по эмиссии CO<sub>2</sub> (и балансу между почвой и атмосферой других ПГ) эти данные могут служить основой для моделирования C-баланса для большой территории, и в частности для футпринта климатических вышек даже при их отсутствии т.к. можно рассчитать площадь «футпринта» и без оборудования которое допустим только планируется к установке.
- В этом случае можно рассчитать нетто-баланс для экосистем попавших в пределы максимального футпринта для данной высоты размещения измерительного оборудования, например 40 м. Тогда для этой площади можно уже сейчас оценивать нетто-баланс углерода и ПГ на основе комплекса моделей которые наиболее подходят для описания баланса в пределах конкретных экосистем входящих в «футпринт». Примером может служить оценка нетто-баланса проведенная для площади Льговского района Курской области (институт географии, Карелин) для 2021 г. В этом случае баланс например в агроэкосистемах считали по культурам и площадям пашен по модели DNDC а параметризовали ее по данным дыхания почвы, или по лесам и лесостепям на этой территории это делалось через разницу NPP (она оценивалась по другим моделям) и микробного дыхания почвы, плюс сюда добавляли данные по эмиссии метана и CO<sub>2</sub> из точечных источников (например, компостные хранилища или поля фильтрации) или с поверхности водоемов.
- В данном случае это было сделано для более чем 1000 км<sup>2</sup> для административного района, но аналогично и намного проще это же можно делать ежегодно для оценки C-баланса площади футпринта даже до размещения требуемого оборудования, которое в условиях санкций на его покупку, крайне высокой стоимости и сложности освоения еще неизвестно когда появится и заработает (если говорить о новых точках его размещения). Кроме того, даже после начала его работы требуется отладка и проверка его результатов альтернативными методами что как раз и может обеспечить данные по эмиссии из почвы и соответствующие для каждой из входящих в область (максимального, теоретического) футпринта экосистем - модели. В качестве заведомо достаточного (включающего будущий расчетный после начала измерений на вышке) размера такого футпринта можно пока использовать эмпирическое правило: 1 м высоты размещения оборудования «эдди» над оцениваемой поверхностью соответствует 100 м радиуса футпринта.

# Методическое руководство по определению эмиссии CO<sub>2</sub> из почв в различных экосистемах и краткая инструкция

др., 2020, 2022), на каждом участке наблюдений рекомендуем установить не менее 5 камер. Их можно расположить по трансекте 10-20 или более метров, с расстоянием 2-4 м (или более) между камерами. Сами камеры устанавливаются между травянистыми растениями, а при необходимости зеленые части травы перед установкой камер срезают. Лесную подстилку (и свежий опад в осенний период) с поверхности почвы не удаляют. Таким образом, измеряемый эмиссионный поток CO<sub>2</sub> из почв характеризуют общее дыхание с поверхности почвы, за исключением дыхания зеленых частей растений.

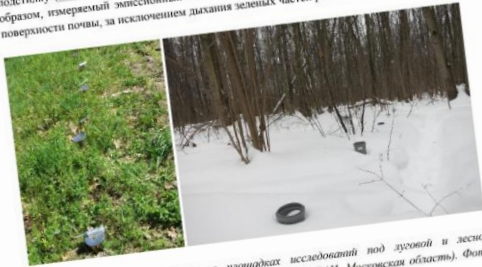


Рис. 4. Расположение камер на площадках исследований под луговой и лесной растительностью на серой лесной почве (ИФХиБПП РАН, Московская область). Фото И.И. Кургановой, Л.В. Строилова.

Наиболее удобным и доступным видом измерительных камер в настоящее время являются трубы ПВХ диаметром 110 мм и высотой 10 или 20 см, врезанные в почву на глубину от 4 до 6 см. Камера накрывается крышечкой, снабженной резиновыми манжетами, поставляющимися вместе с трубами, что обеспечивает необходимую герметичность поставщикам вместе с трубами, что обеспечивает необходимую герметичность камер.

Анализ данных по определению ежедневной динамики эмиссии CO<sub>2</sub> из почв, проведенной А.А. Ларионовой в конце 1980-х годов в ИФХиБПП РАН показал, что ежедневное проведение измерений эмиссии CO<sub>2</sub> из почв является оптимальной частотой для получения адекватных оценок месячных и сезонных потоков CO<sub>2</sub> из почв (Курганова, Кудерков, 1998), а 2 раза в месяц – это минимальная частота измерений. Проведение измерений в солнечную погоду на открытых площадках (агроценозы, луговые и степные экосистемы) желательно проводить в утренние часы (8-11 час), особенно в течение вегетационного сезона, когда прогрев почвы к полудню может сильно влиять на интенсивность ЭМ<sub>CO2</sub> из почв. В эти часы скорость ЭМ<sub>CO2</sub> из почв наиболее близка к среднесуточной (Ларионова, Розанова, 1993а). В пасмурные дни и в лесных насаждениях с проективным покрытием более 70% измерения ЭМ<sub>CO2</sub> из почв можно проводить в течение всего светового дня (Смирнов, 2022).



Национальная система мониторинга  
пулов углерода и потоков парниковых газов  
на территории Российской Федерации

## МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО по определению эмиссии CO<sub>2</sub> из почв в различных типах экосистем



Пуцупо – 2022 г.





# Каталог и Атлас карт размещения площадок наблюдений за эмиссией CO<sub>2</sub> из почв на территории РФ

