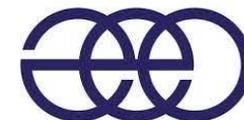


Первая национальная сеть наблюдений за эмиссией CO₂ из почв Российской Федерации

Курганова И.Н., Ильясов Д.В., Хорошаев Д.А., Лопес де Гереню В.О.,
Д.В. Карелин, С.А. Прокушкин
и др.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино
Югорский Государственный Университет, Ханты-Мансийск
Институт географии РАН, Москва
Институт леса СО РАН



Включены в обобщение данные измерений эмиссии CO₂ из почв в 2023 г., предоставленные коллегами из разных организаций:

- 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., Каганов В.В. – 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)**
- 12. Прокушкин А.С. – ИЛ СО РАН (Красноярск)**
- 13. Куприн А.В. – ФИЦ Биоразнообразие (Владивосток)**
- 15. Гончарова О.Ю., Копцик Г.Н., Бобрик А.А., Сорокин А. – Факультет Почвоведения МГУ (Москва)**
- 16. Капица Е.А. – СПбГЛТУ (Санкт-Петербург)**

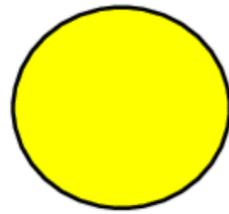
Приоритетная задача консорциума

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»:

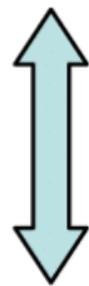
Создание национальной сети наблюдений за эмиссией CO₂ из почв

Экосистемные потоки парниковых газов

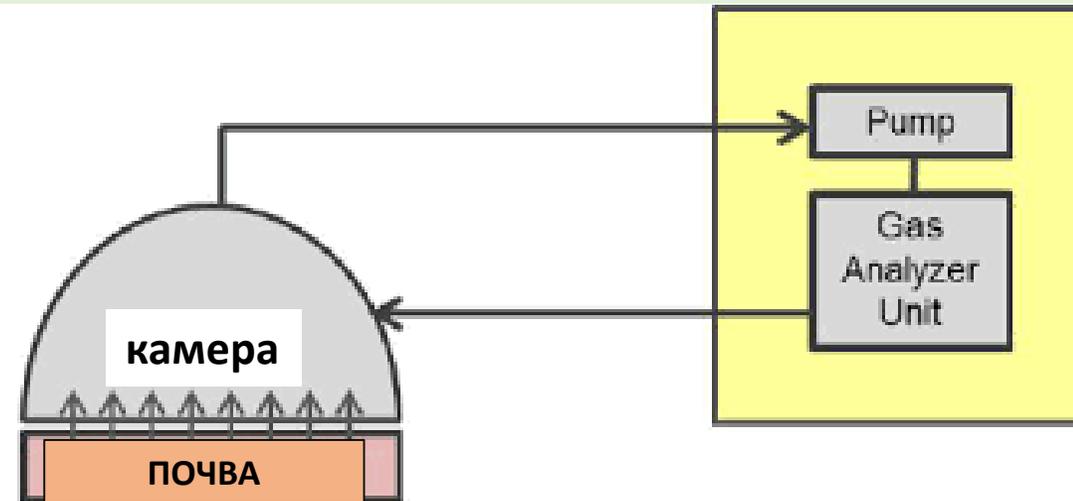
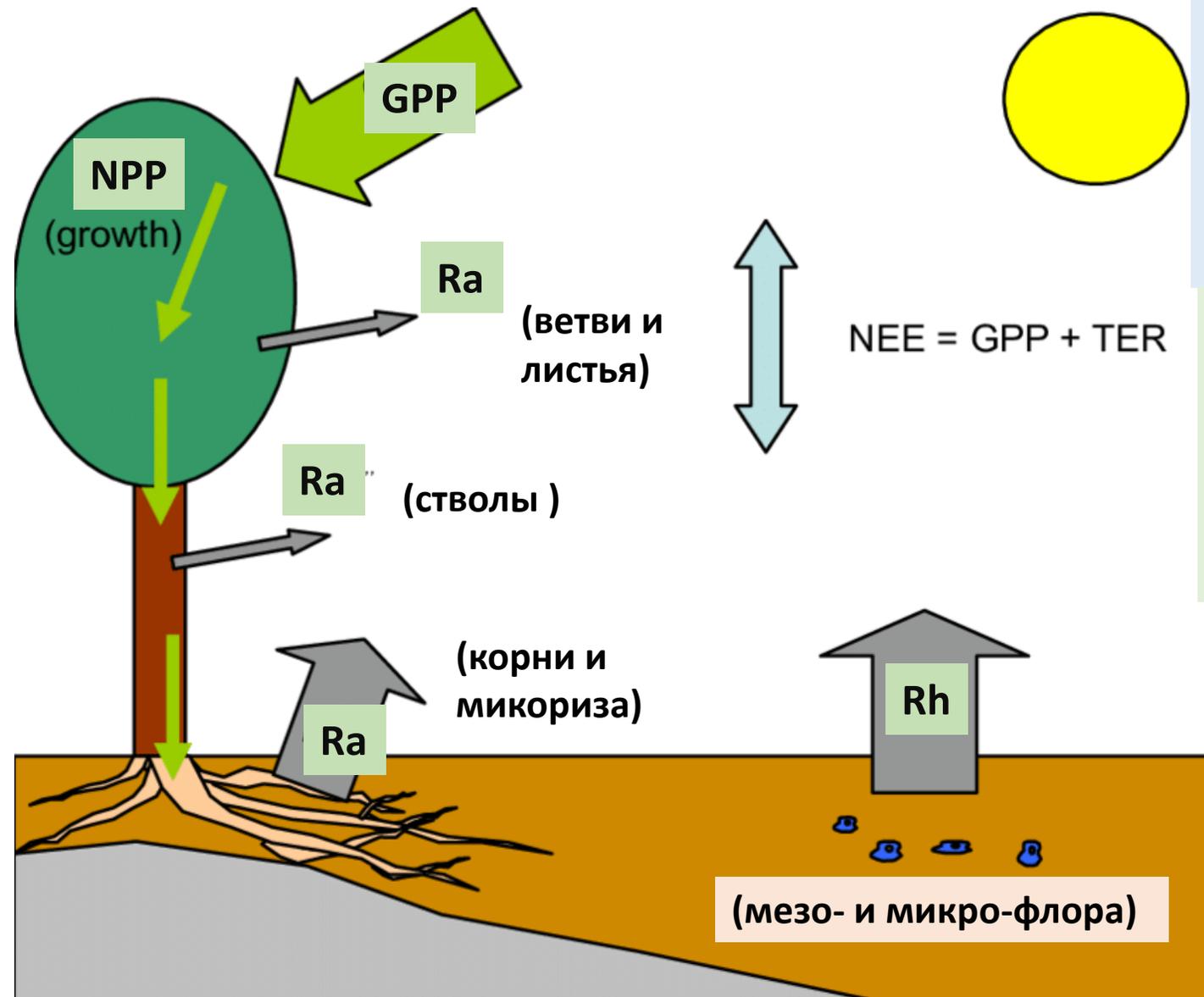


Использование камерного метода в разных модификациях для разных экосистем позволяет определять:

- NEE** (прозрачн. камеры, растительность +)
- Reco** (темные камеры, растительность +)
- SR** (темные камеры, без растительности -)
- Rh** (темные камеры, без растительности и корней - -)

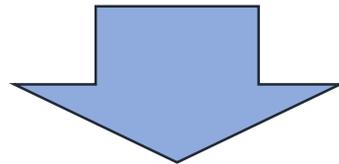


$$NEE = GPP + TER$$



Преимущества и недостатки камерного метода

- 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



Расположение действующих в 2023 г. площадок наблюдений за эмиссией CO₂ из почв

КАТАЛОГ | СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА | 1



Количество **действующих** площадок мониторинга потоков CO₂ 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 CO₂ из почв, единый для всех участников консорциума и признанный на международном уровне

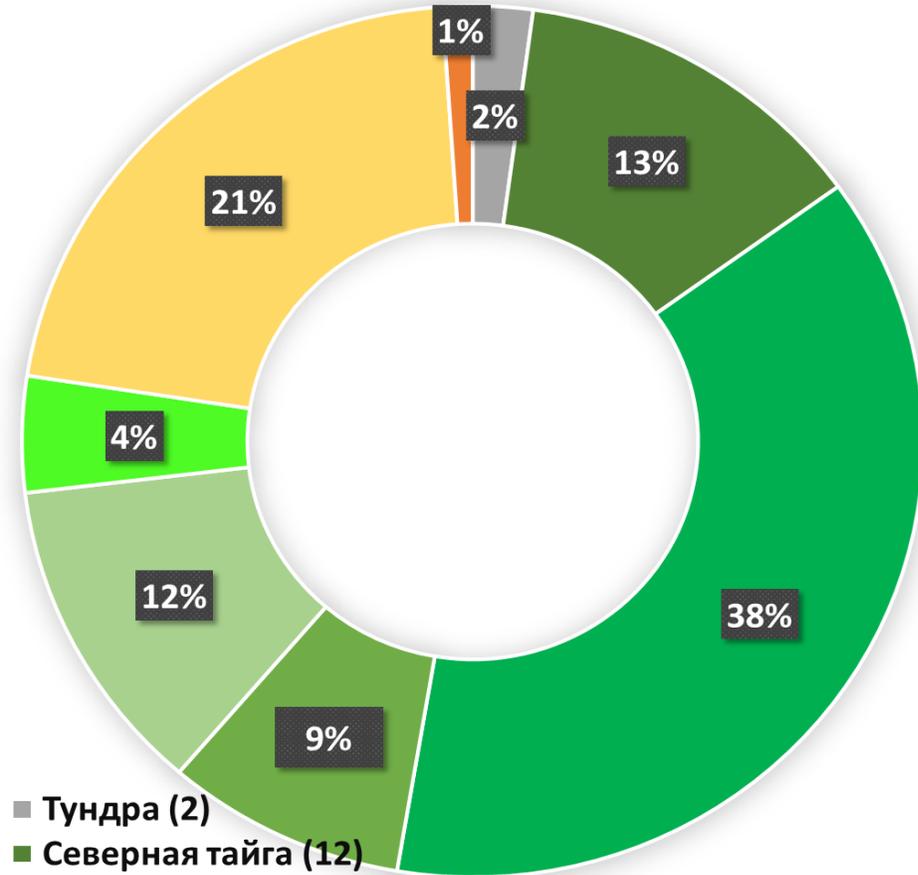
ИНТЕГРАЦИЯ

Подготовлена структура представления и алгоритмы обобщения экспериментальных данных по эмиссии CO₂ из почв для внедрения в Единую Информационную Систему

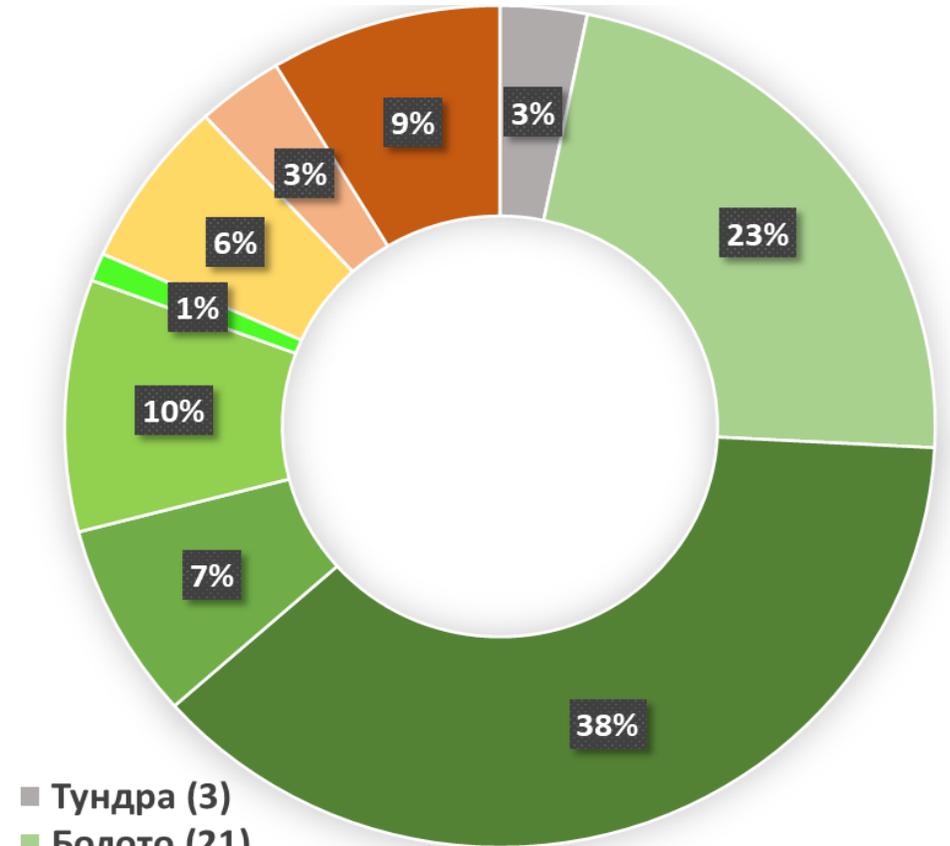
ОБЛАСТИ:

- 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

Распределение площадок наблюдений по природным зонам и экосистемам

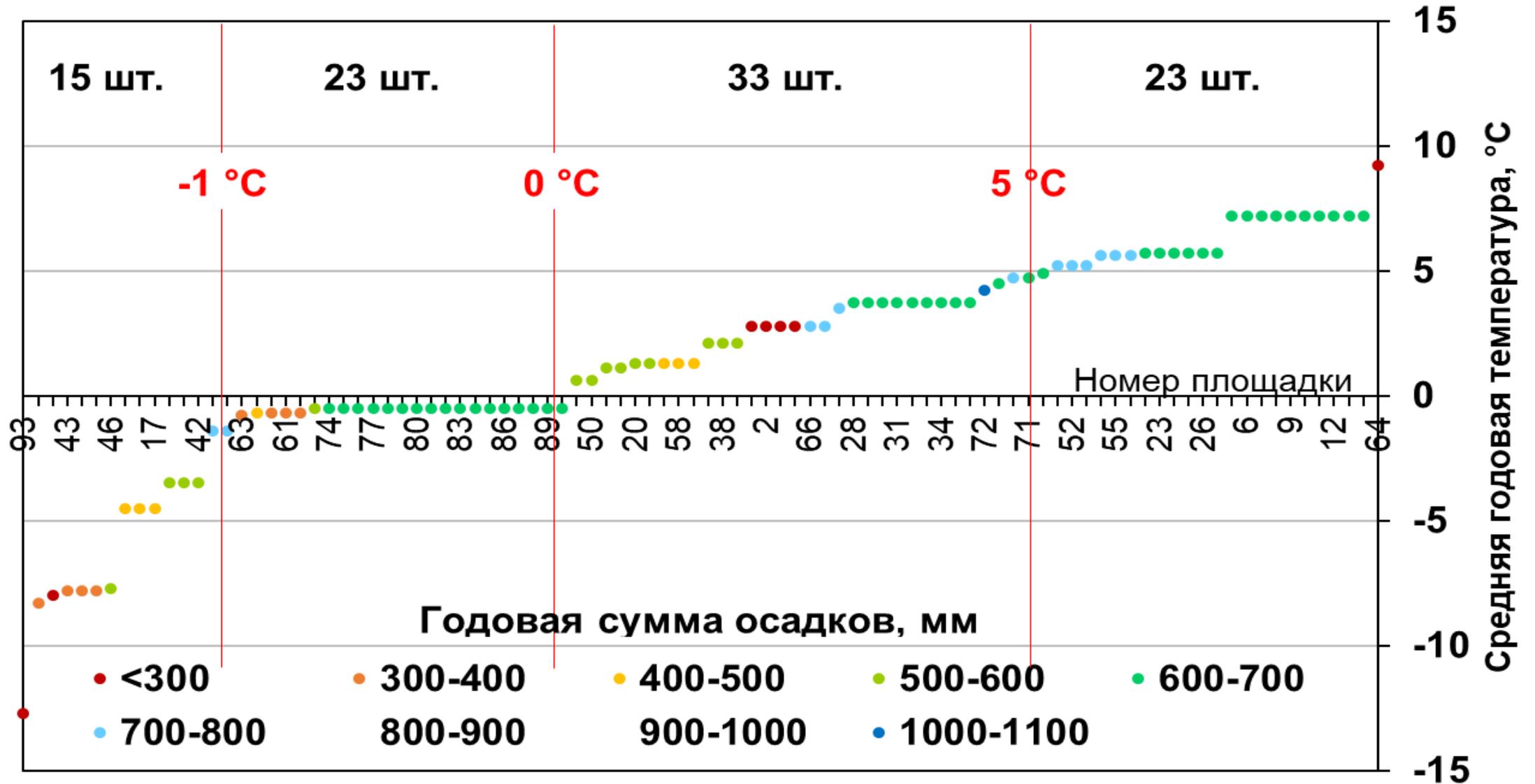


- Тундра (2)
- Северная тайга (12)
- Средняя тайга (35)
- Южная Тайга (8)
- Хвойно-широколиственные леса (11)
- Широколиственные леса (4)
- Лесостепь (20)
- Поупустыня (1)



- 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



Расположение действующих в 2023 г. площадок наблюдений за эмиссией CO₂ из почв в соответствии с продолжительностью исследований

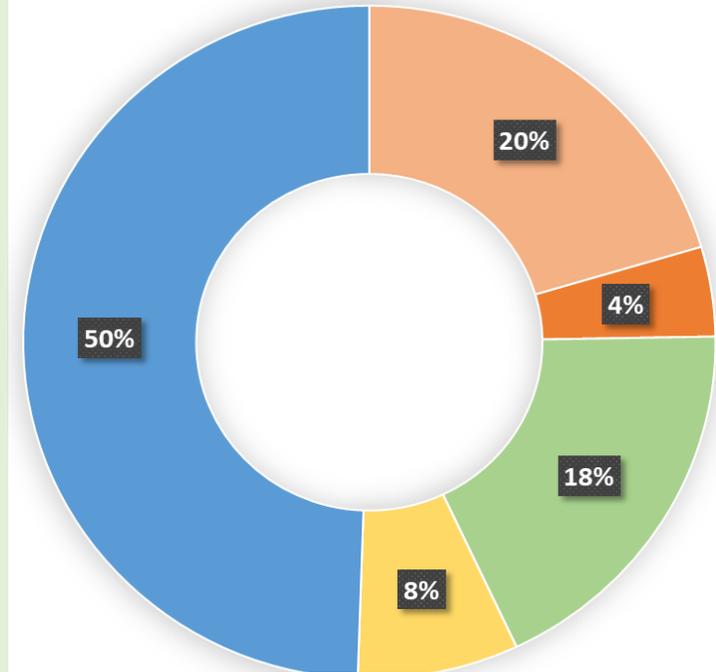
Продолжительность периодов наблюдений на **действующих** площадках мониторинга потоков CO₂



Легенда

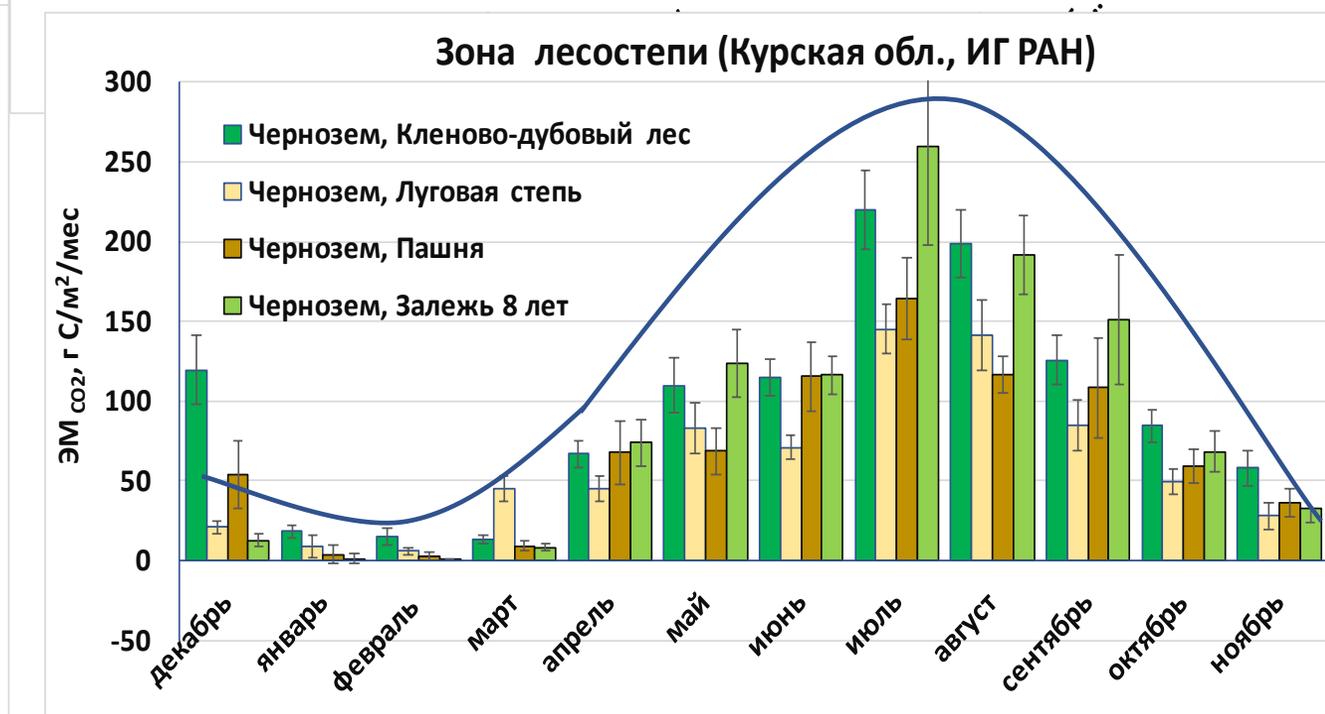
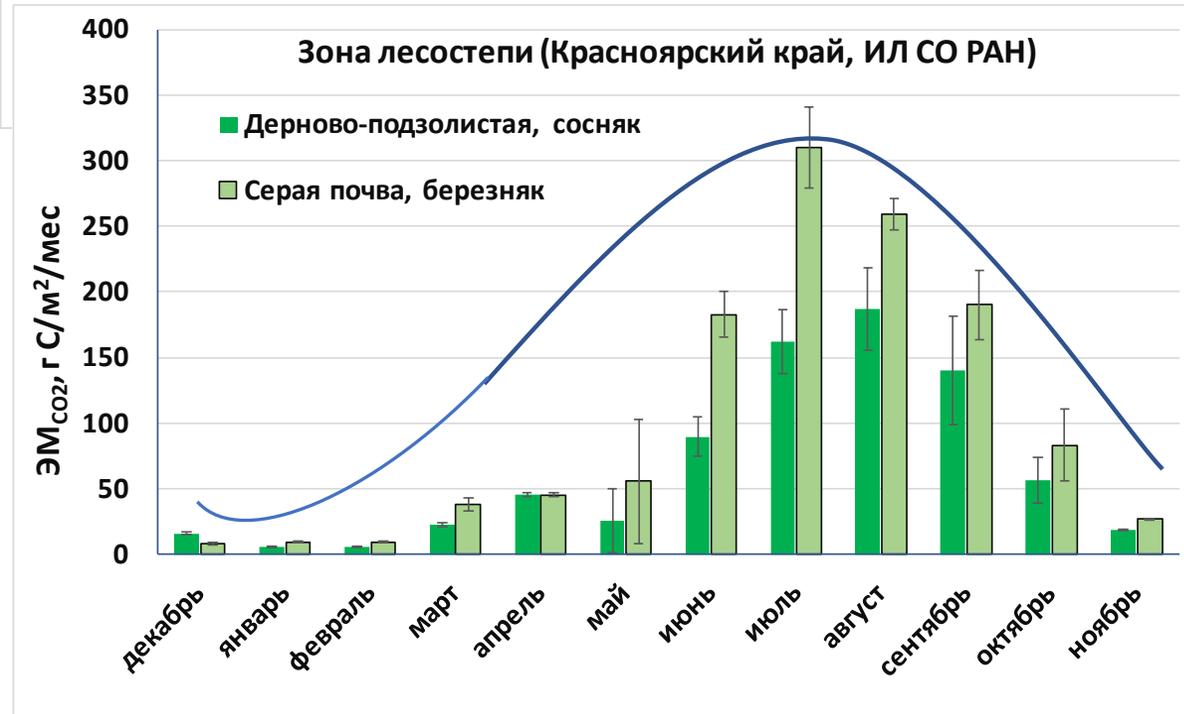
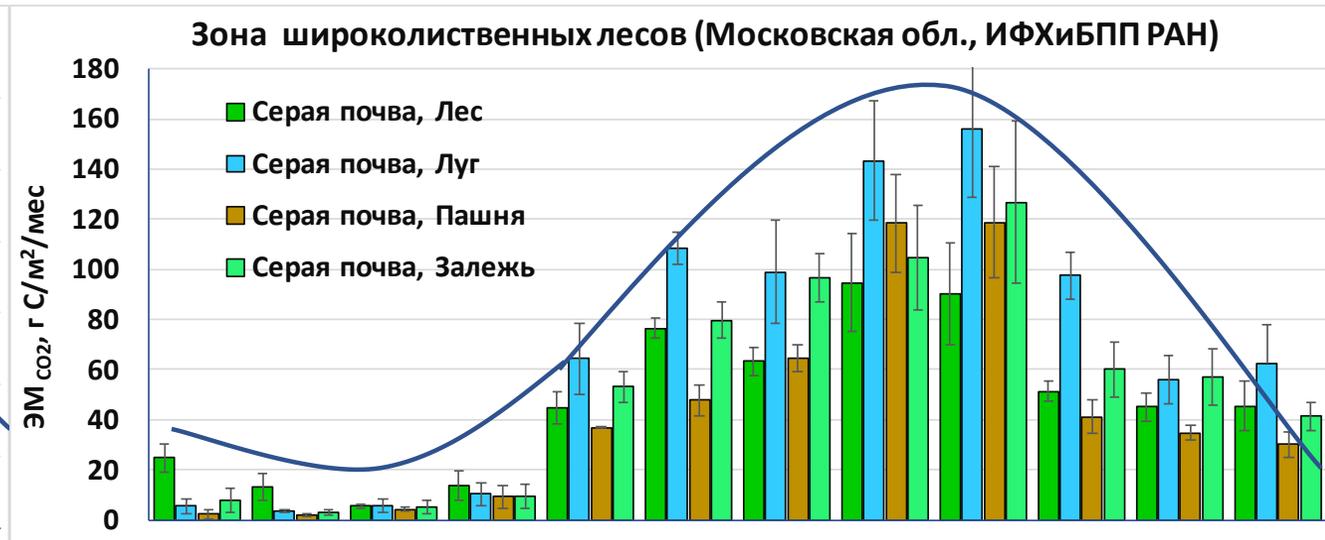
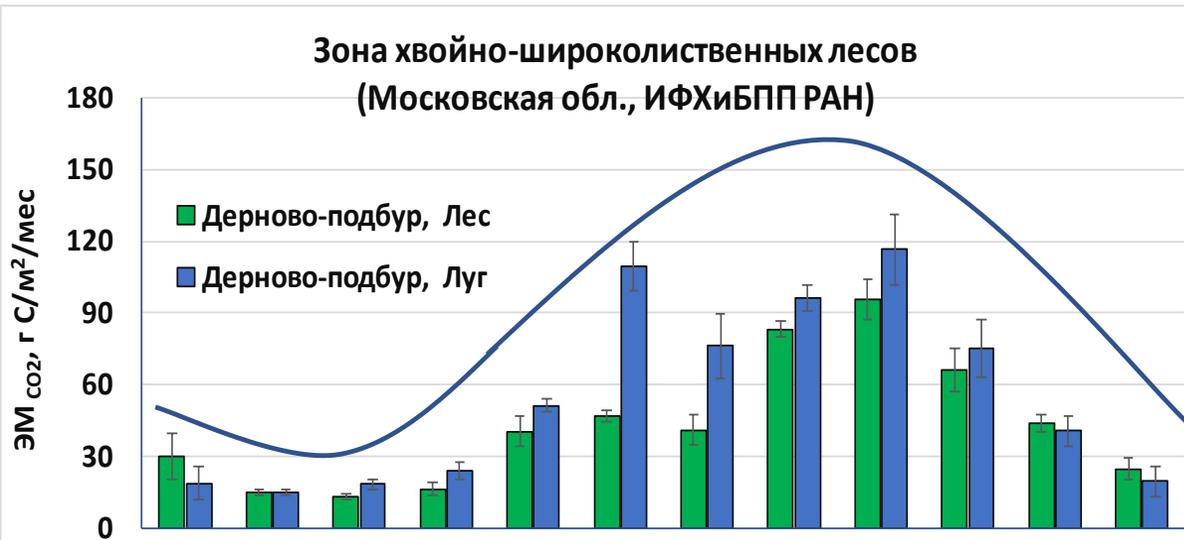
Наблюдения проводятся:

-  с июня по август
-  в течение вегетационного периода
-  в течение бесснежного периода
-  круглогодично
-  раз в сезон

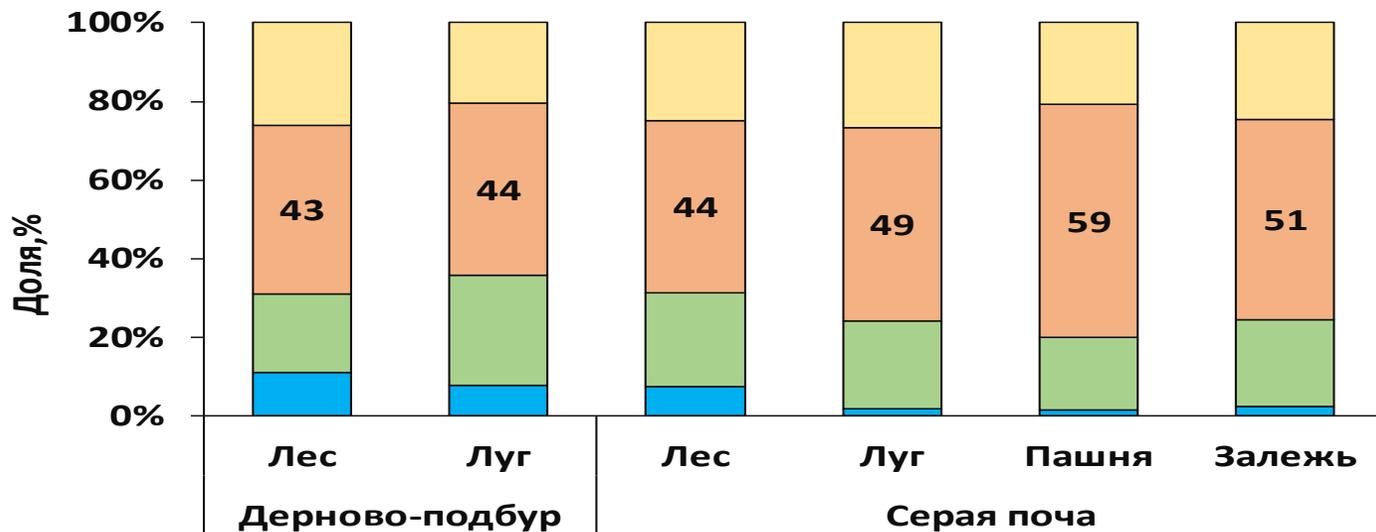


-  Единичные (4)
-  Летний (4)
-  Вегетационный (17)
-  Бесснежный (7)
-  Годовой (46)

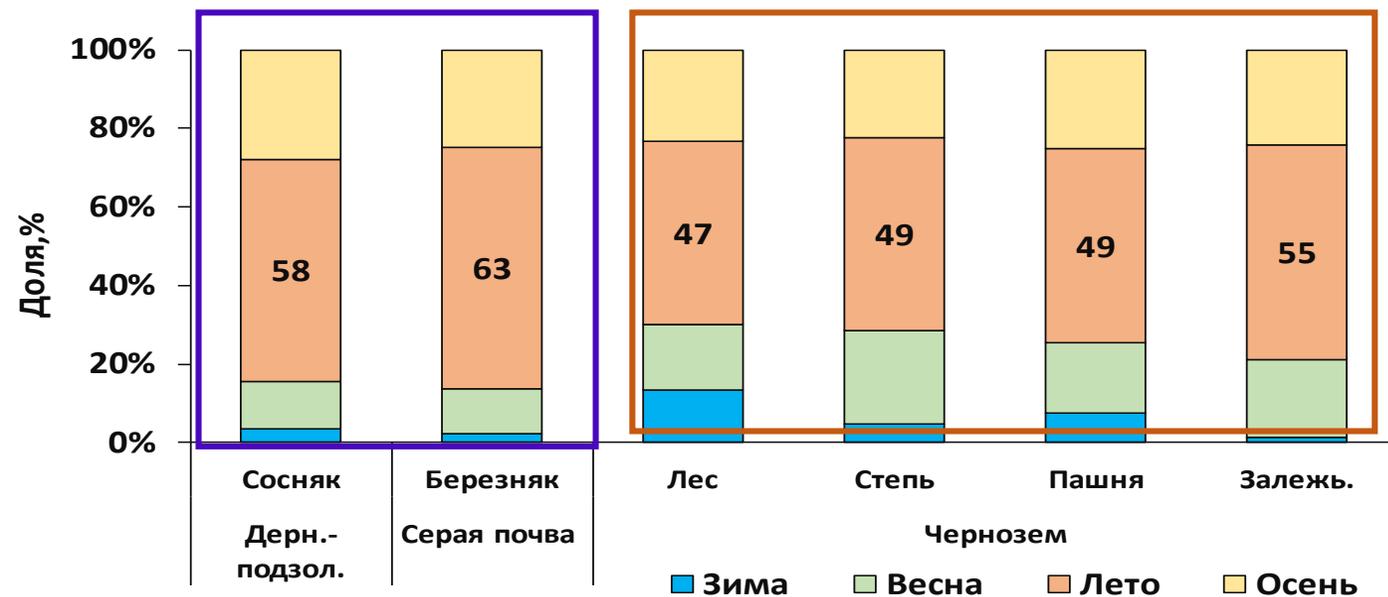
Динамика среднемесячных потоков CO₂ из почв отдельных биоклиматических регионов в 2023 г.



Зона хвойно-широколиственных и широколиственных лесов, Московская обл.



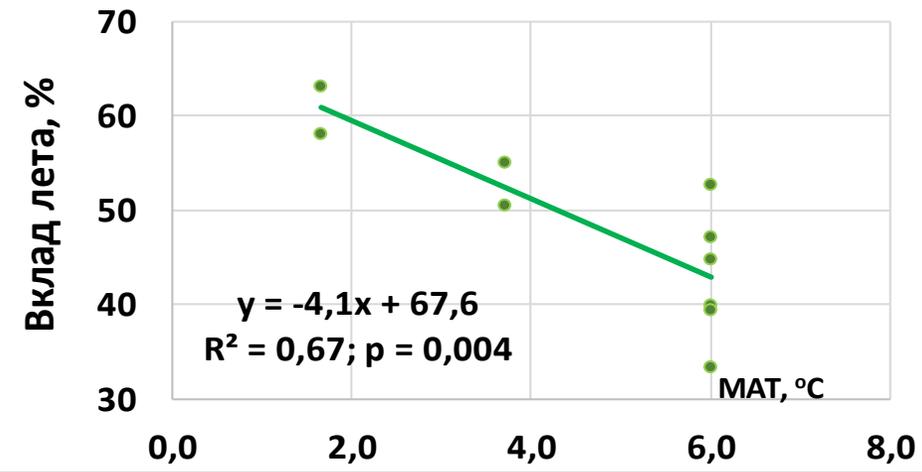
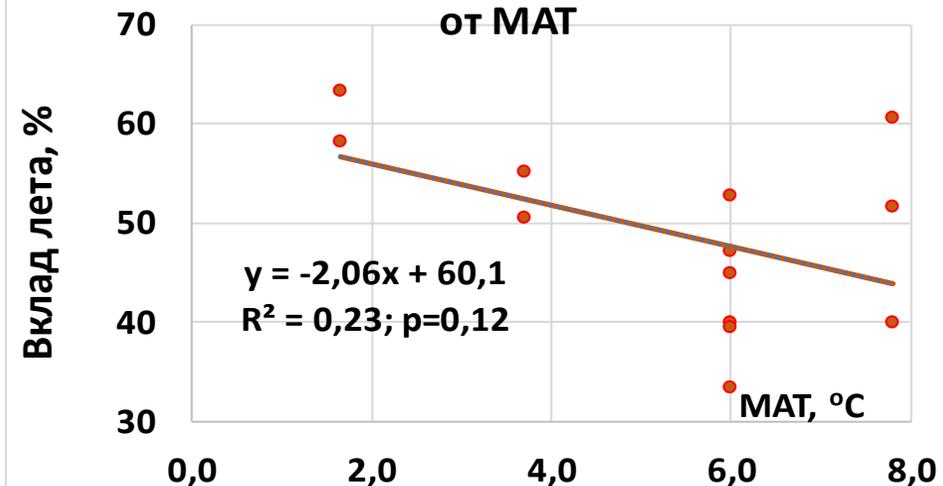
Зона лесостепи Красноярск Курск



Структура годовых потоков CO₂ ИЗ ПОЧВ



Зависимость вклада летнего сезона от MAT



Факторы, определяющие величину ЭМ_{CO2} из почв и структуру годовых потоков

Абиотические

(температура, влажность, свет и т.д.)

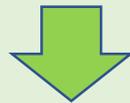


Природно-климатическая зона



Биотические

(растения, почва, мезофауна, микробоценоз и т.д.)



Тип экосистемы



Антропогенные

(вырубки, пожары....)

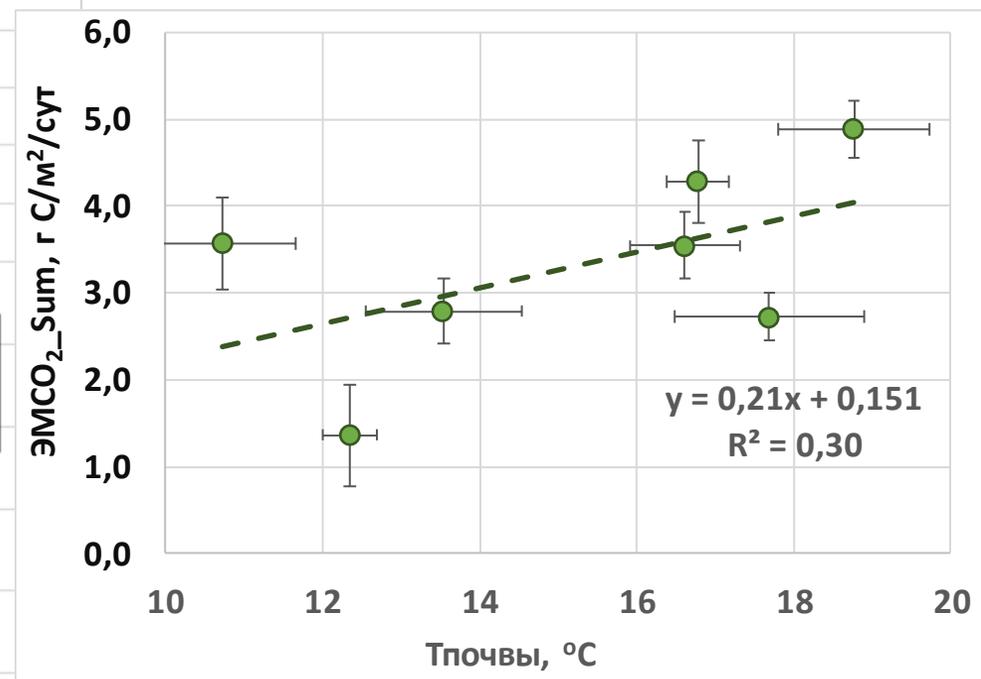
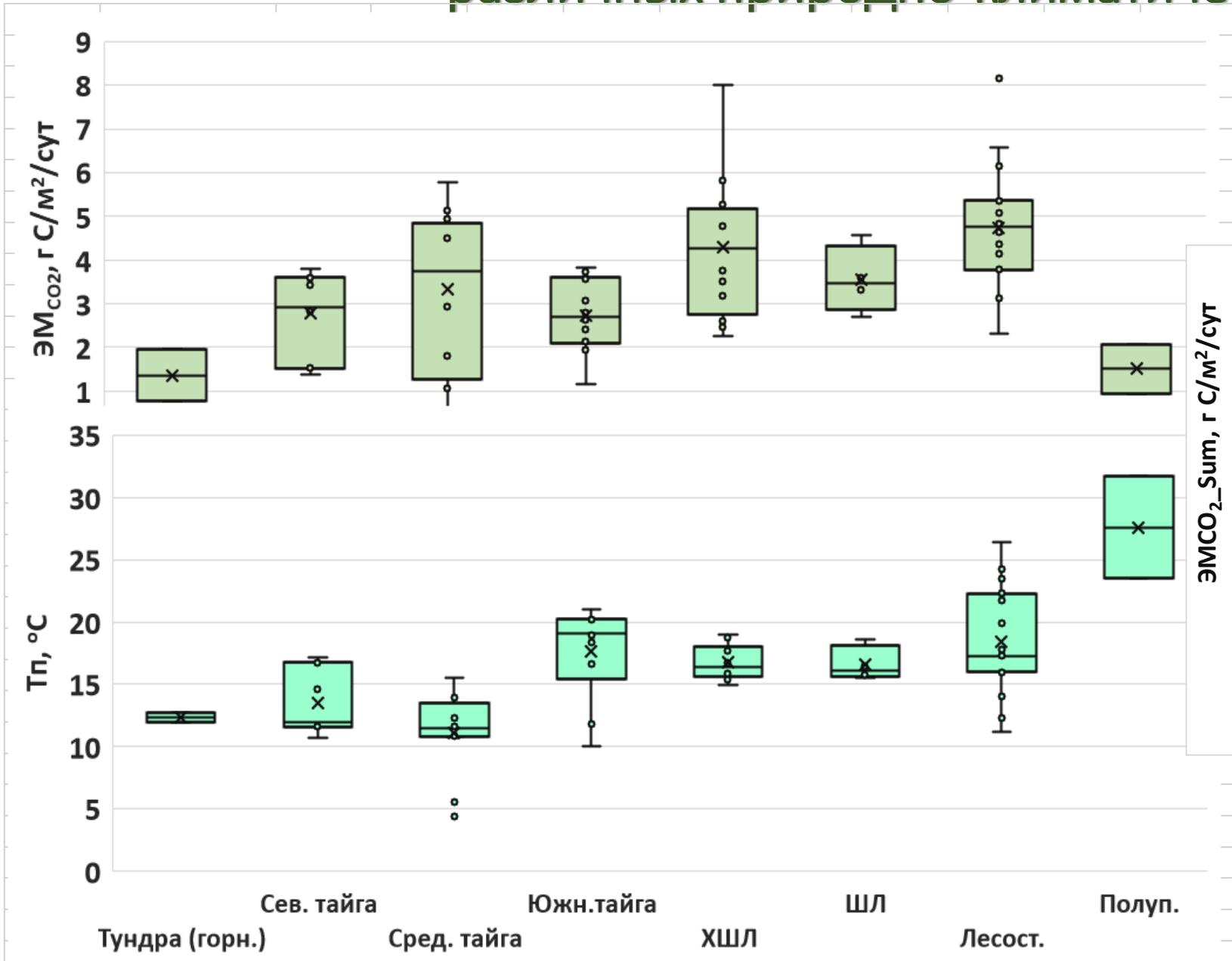


Нарушения

Среднелетняя эмиссия CO₂ из почв и среднелетняя температура почвы в момент измерений (**68** площадок наблюдений)

Максимальная среднемесячная эмиссия CO₂ из почв и средняя температура почвы в момент измерений (**75** площадок наблюдений)

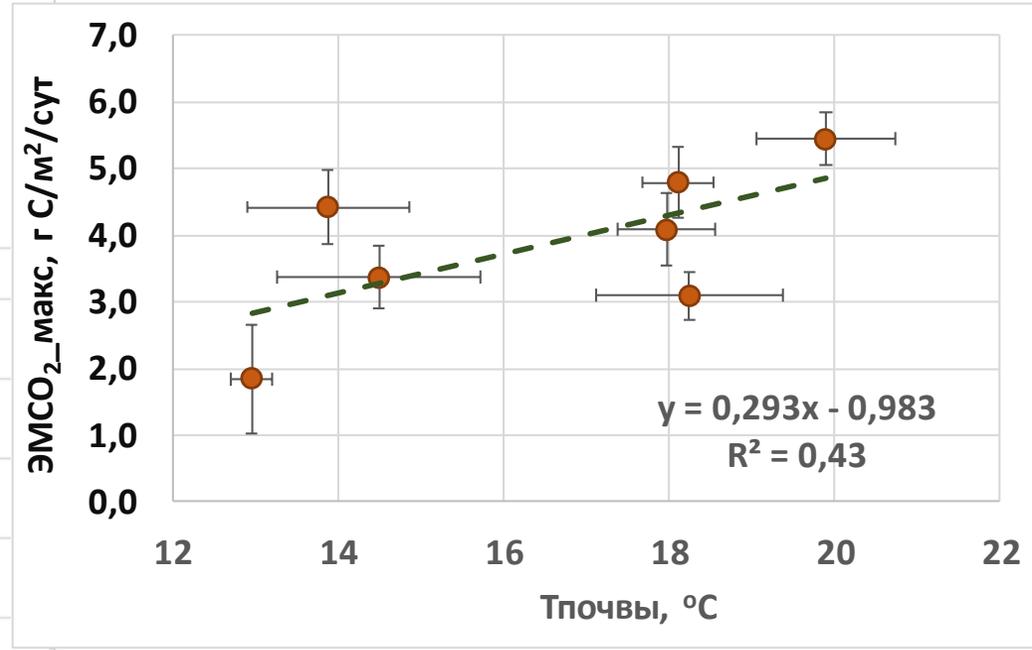
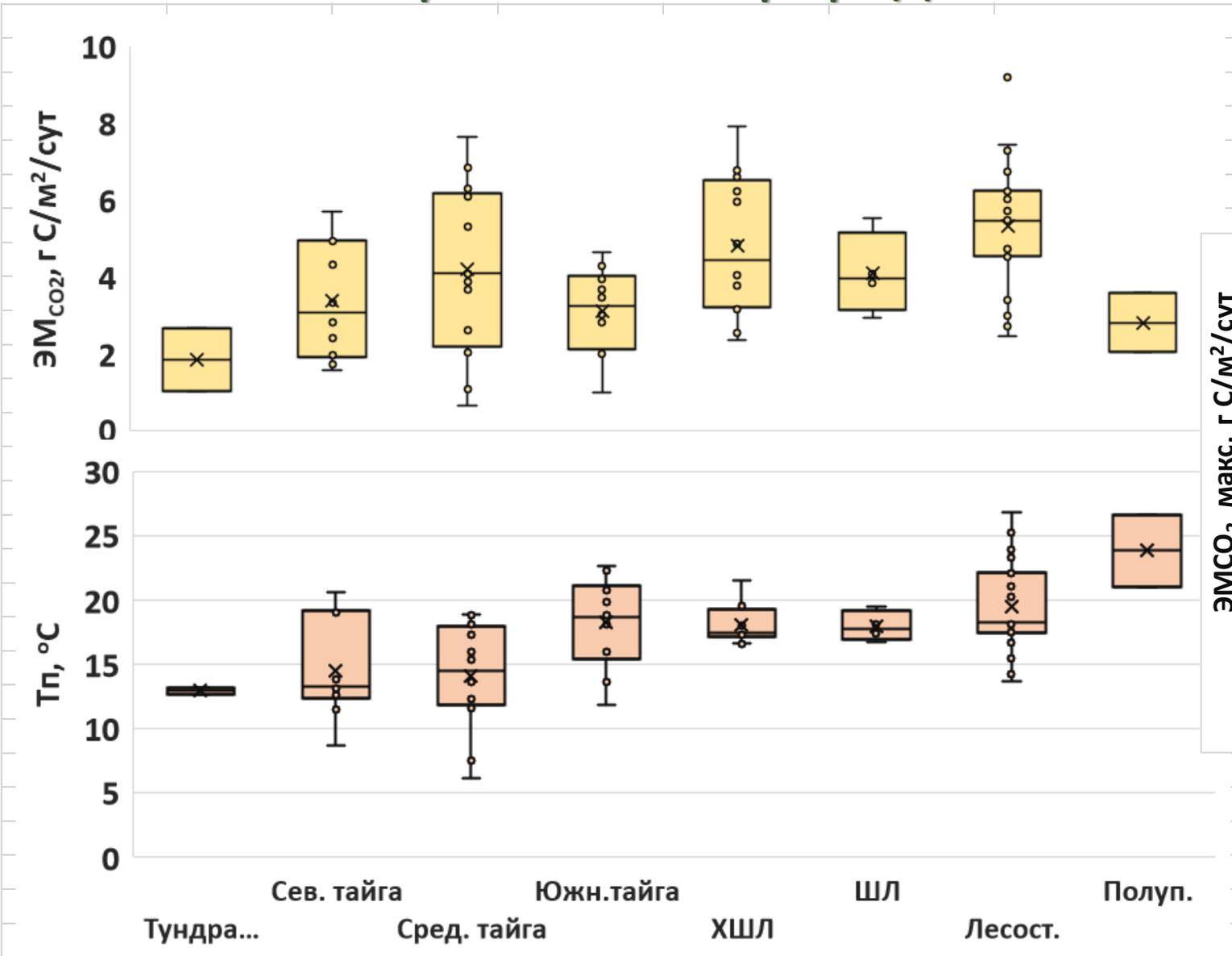
Среднелетняя скорость эмиссии CO₂ из почв и температуры почвы в различных природно-климатических зонах



Статистические параметры среднелетней скорости ЭМ_{CO2}

	Тундра (горн.)	Северная тайга	Средняя тайга	Южная тайга	Хвойно- шир. лес	Широкол. лес	Лесостепь	Полупус- тыня
n	2	7	12	10	12	4	19	2
Mean	1,37	2,79	3,57	2,73	4,28	3,54	4,88	1,51
Median	1,37	2,93	3,75	2,71	4,27	3,46	4,75	1,51
Min	0,78	1,38	0,55	1,16	2,26	2,71	2,31	0,95
Max	1,95	3,81	5,77	3,83	8,01	4,56	8,15	2,07
Max-Min	1,17	2,43	5,22	2,66	5,75	1,85	5,84	1,12
STD	0,83	0,98	1,83	0,85	1,66	0,77	1,40	0,79
SE	0,59	0,37	0,53	0,27	0,48	0,39	0,32	0,56
CI	-	0,90	1,16	0,61	1,06	1,23	0,67	-
CV	60,6	35,0	51,2	31,2	38,8	21,8	28,6	52,5
Cos	0,86	0,87	1,46	0,98	1,34	0,52	1,20	0,74

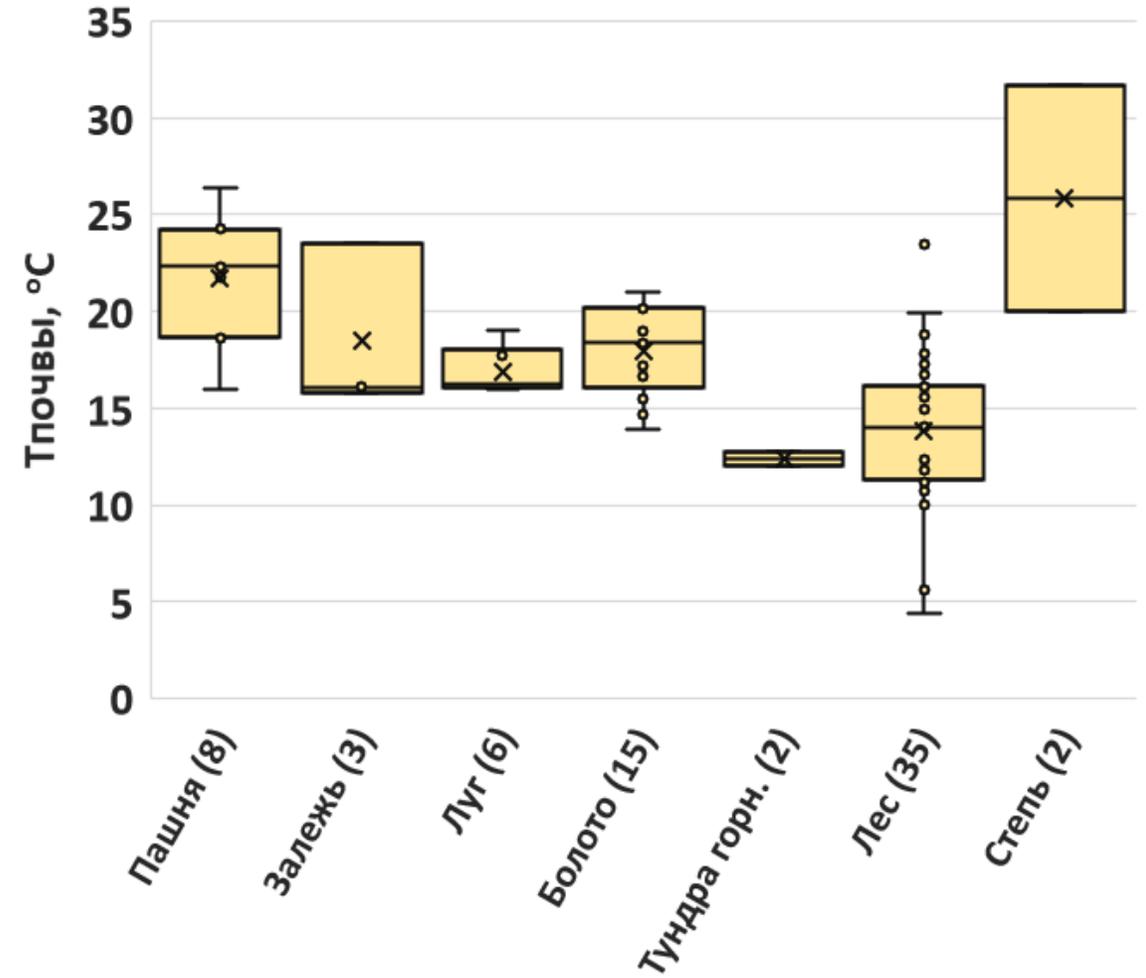
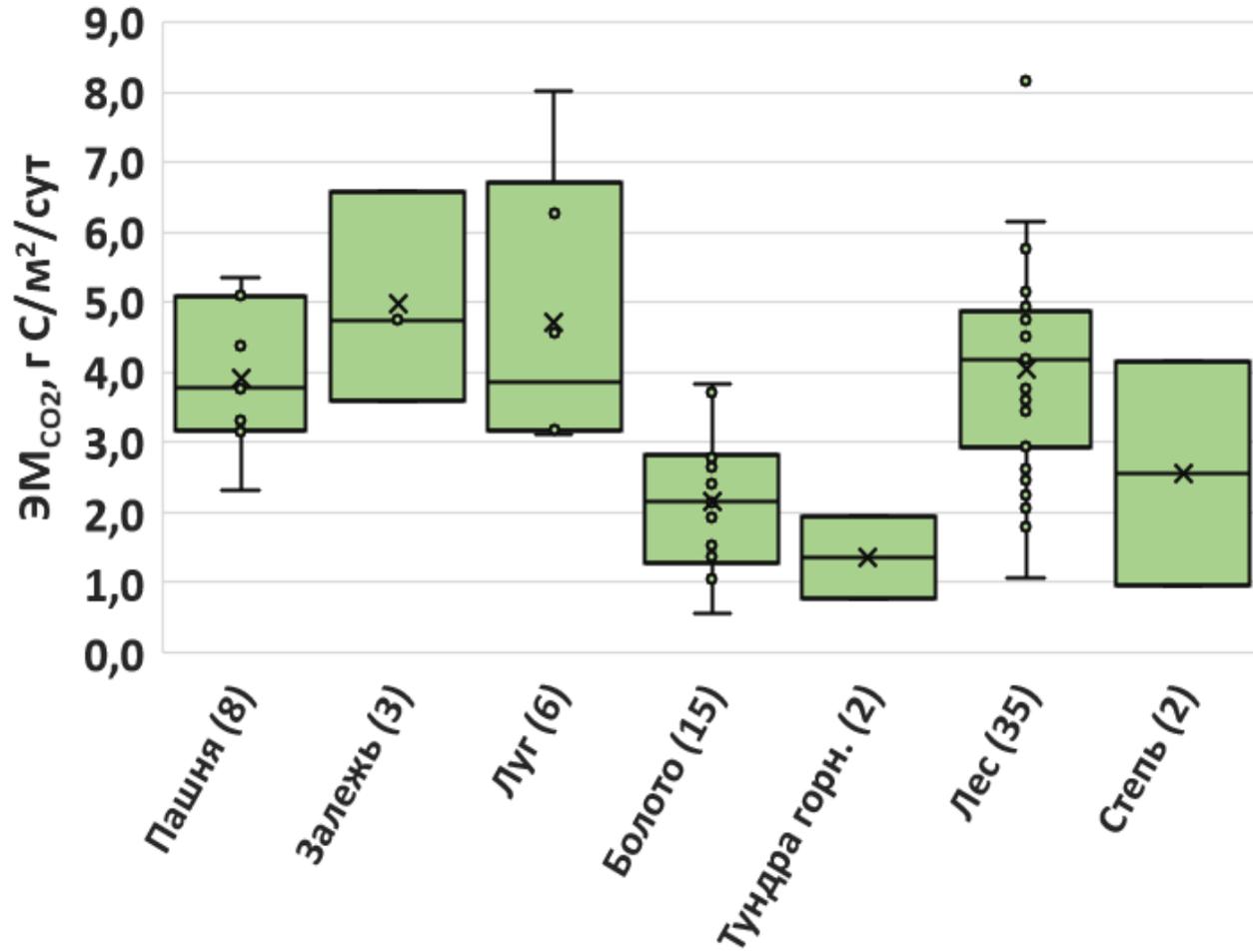
Максимальная скорость эмиссии CO₂ из почв и температуры почвы в различных природно-климатических зонах



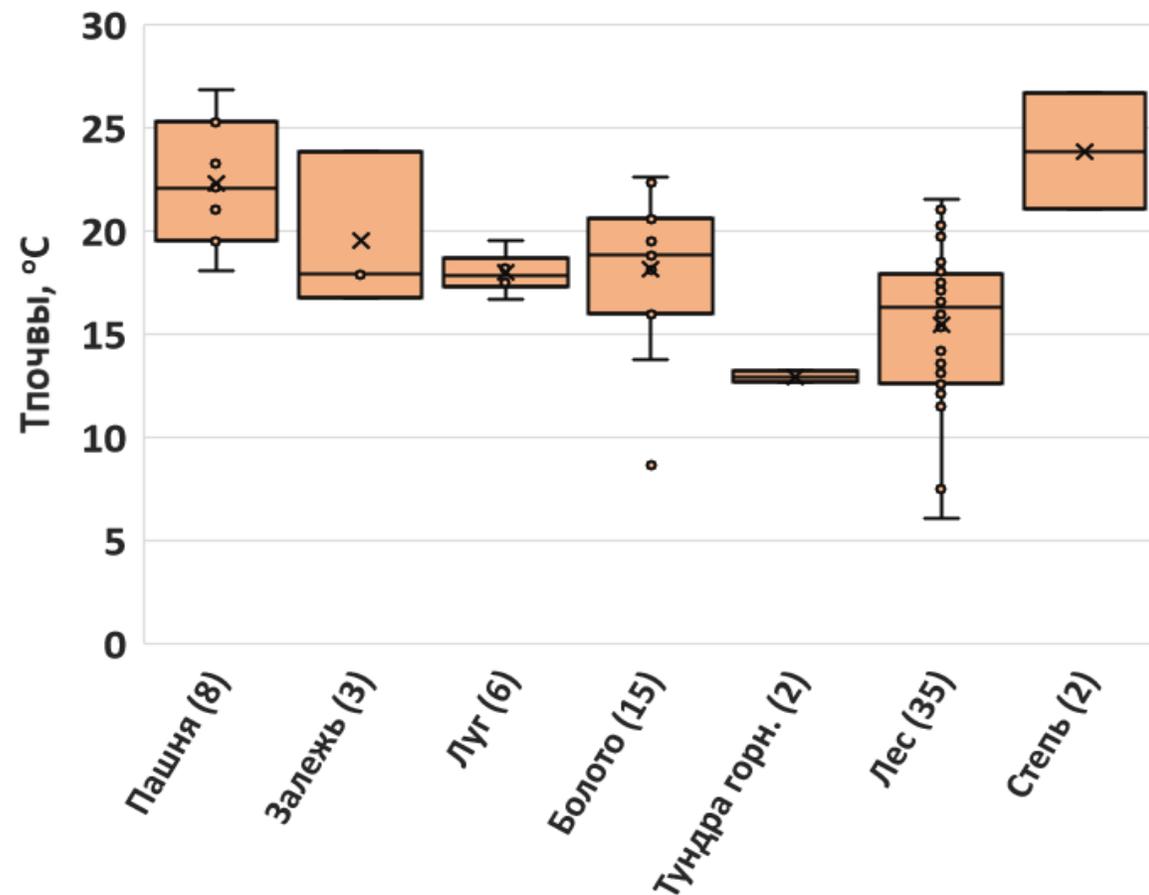
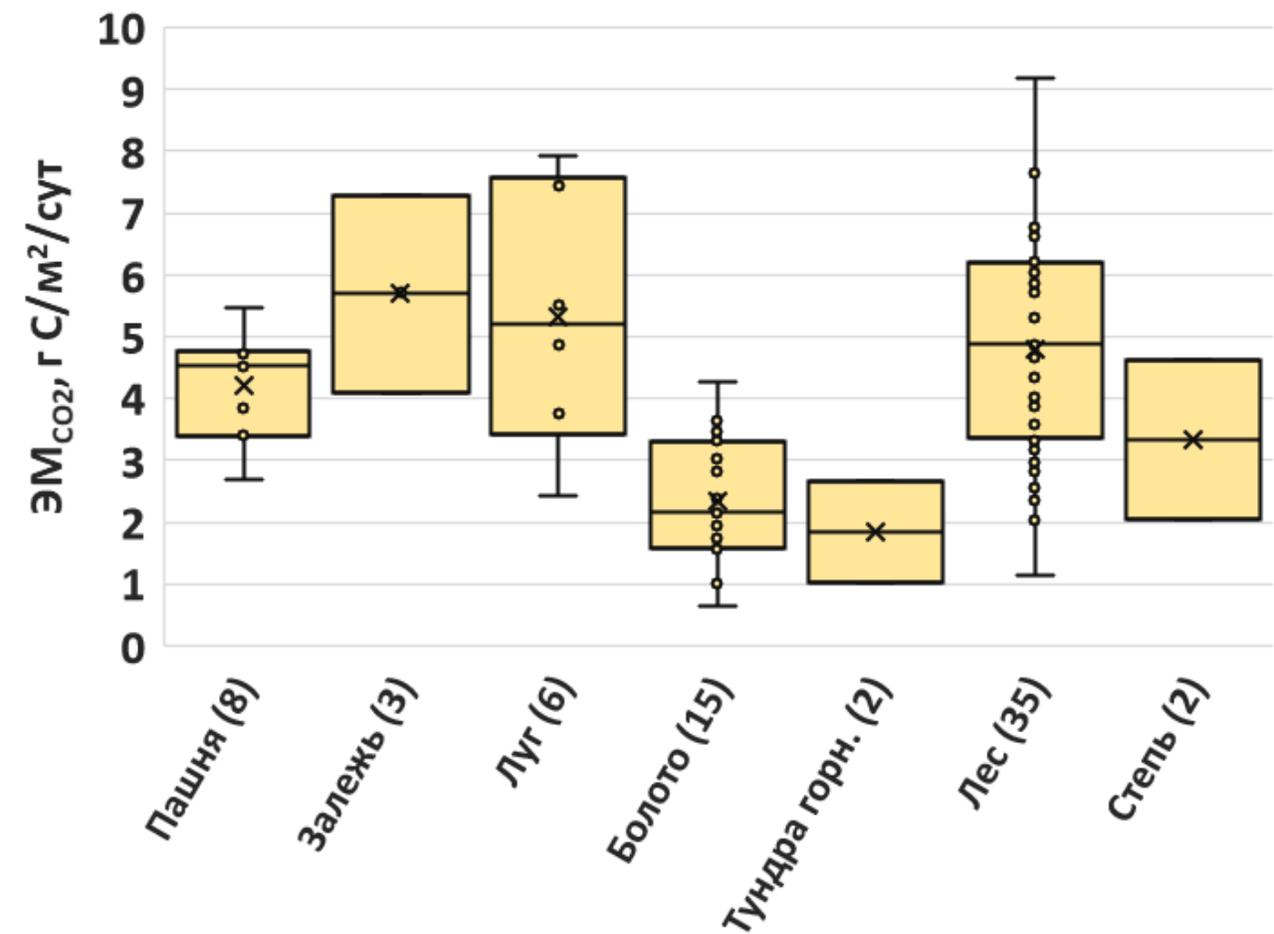
Статистические параметры максимальной скорости ЭМ_{CO2}

	Тундра (горн.)	Северная тайга	Средняя тайга	Южная тайга	Хвойно- шир. лес	Широкол. лес	Лесостепь	Полупус- тыня
n	2	10	16	10	12	4	19	2
Mean	1,84	3,37	4,42	3,10	4,79	4,09	5,45	2,80
Median	1,84	3,06	4,08	3,25	4,44	3,96	5,46	2,80
Min	1,02	1,58	0,64	1,00	2,35	2,92	2,44	2,03
Max	2,66	5,70	7,65	4,65	7,92	5,52	9,18	3,57
Max-Min	1,64	4,12	7,01	3,65	5,57	2,60	6,74	1,54
STD	1,16	1,51	2,21	1,13	1,86	1,08	1,74	1,09
SE	0,82	0,48	0,55	0,36	0,54	0,54	0,40	0,77
CI	10,42	1,08	1,18	0,81	1,18	1,71	0,84	9,78
CV	63,0	44,8	49,9	36,6	38,8	26,3	31,8	38,8
Cos	0,89	1,22	1,59	1,18	1,16	0,64	1,24	0,55

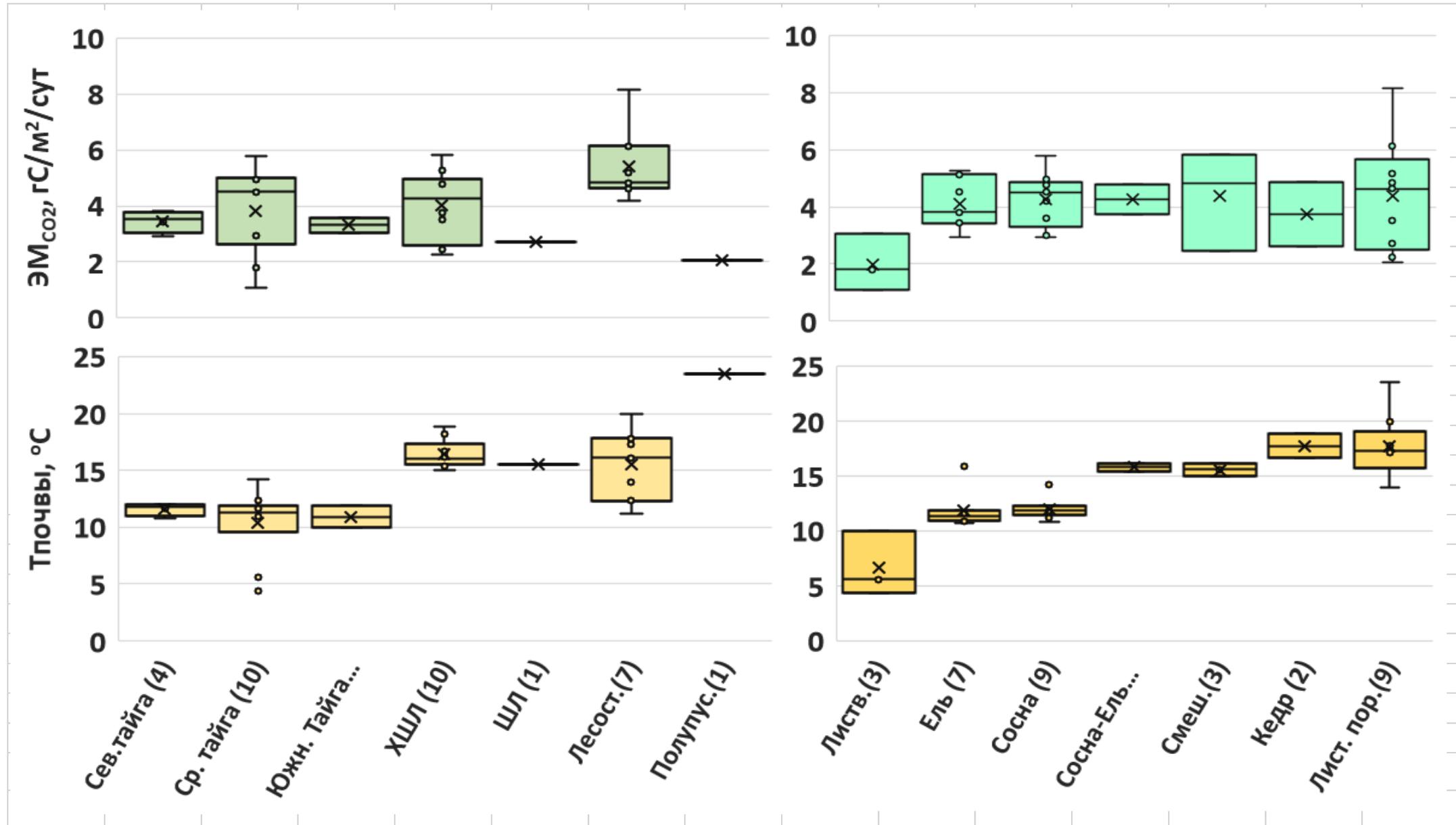
Среднелетняя скорость эмиссии CO₂ из почв и температура почвы в различных типах экосистем



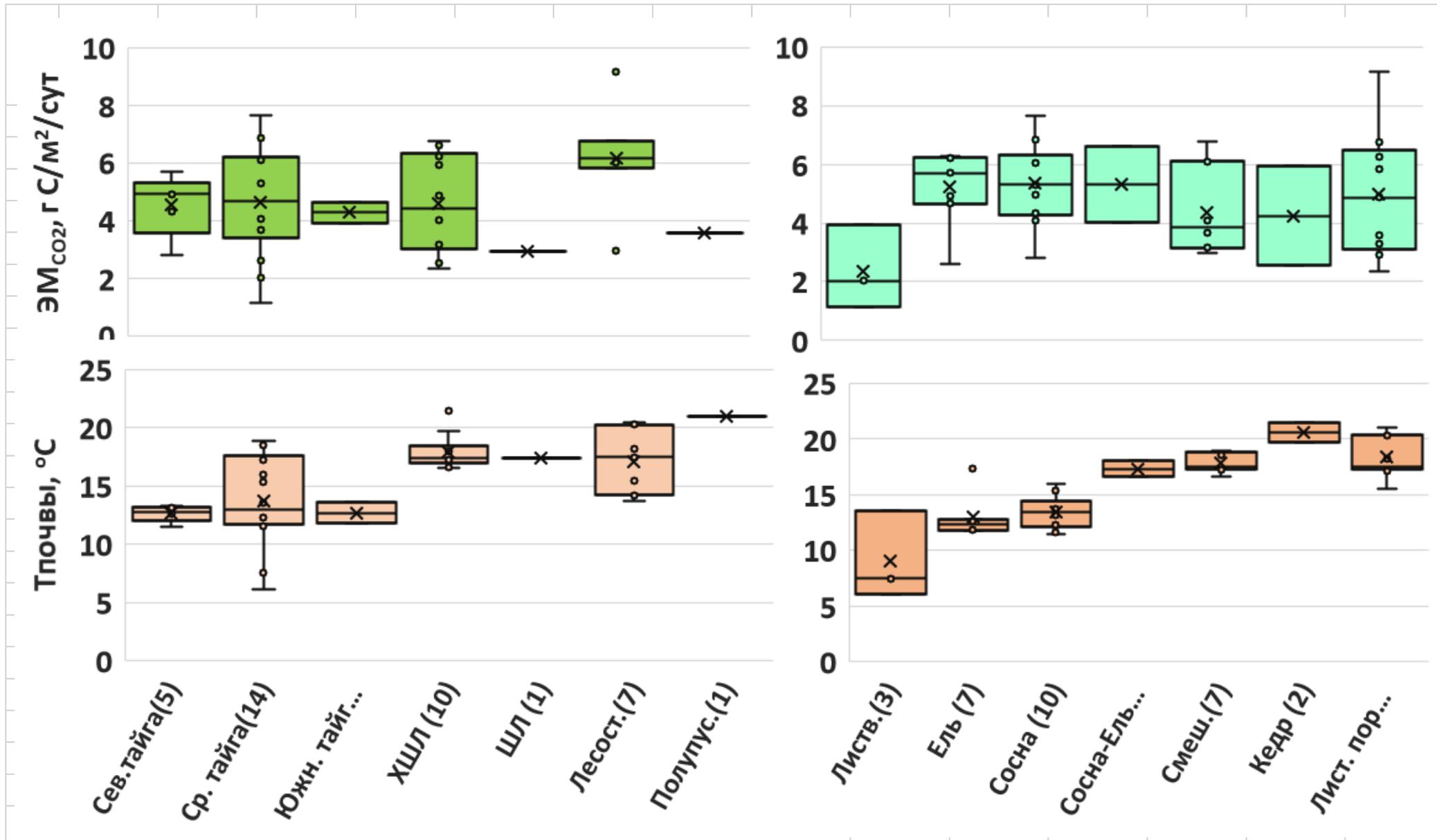
Максимальная скорость эмиссии CO₂ из почв температура почвы в различных типах экосистем (75 экосистем)



Среднеголетняя скорость эмиссии CO₂ из почв и температура почвы в различных типах лесных экосистем



Максимальная скорость эмиссии CO₂ из почв и температура почвы в различных типах лесных экосистем



Предварительные выводы по результатам 2023 г.:

- Впервые обобщены данные наблюдений за эмиссией CO_2 из почв, проведенные одновременно на 75 площадках (анализ максимальных значений ЭМ_{CO_2}), включая 68 площадок, на которых оценивалась среднелетняя ЭМ_{CO_2} ;
- В интервале среднегодовых температур воздуха (МАТ) от 1.7°C (Красноярск) до 7.8°C (Курск) летние потоки CO_2 из почв в 2023 г. составляли от 33 до 63% суммарной годовой эмиссии и в пределах одной биоклиматической зоны существенно зависели от вида землепользования;
- Обнаружена тенденция снижения вклада летнего сезона с увеличением величины МАТ, статистически достоверная в интервале $1.7\text{--}6.0^\circ\text{C}$.
- От тундры до лесостепи ($10\text{--}20^\circ\text{C}$) прослеживается влияние температуры на значения среднелетней и максимальной среднемесячной эмиссии CO_2 из почв;
- Тундровые и болотные экосистемы характеризуются самыми низкими значениями среднелетней и максимальной среднемесячной эмиссии CO_2 из почв;
- Среди лесных экосистем наименьшая эмиссионная активность характерна для лиственничников (породный состав), а максимальная - для зоны лесостепи.

Другие активности в рамках работы РГ2_Э в 2023 г.

Доработано «Методическое руководство по определению эмиссии CO₂ из почв в различных экосистемах» и разработана «Краткая инструкция по определению эмиссии CO₂ из почв»

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 CO₂ из почв характеризуют общее дыхание с поверхности почвы, за исключением дыхания зеленых частей растений.

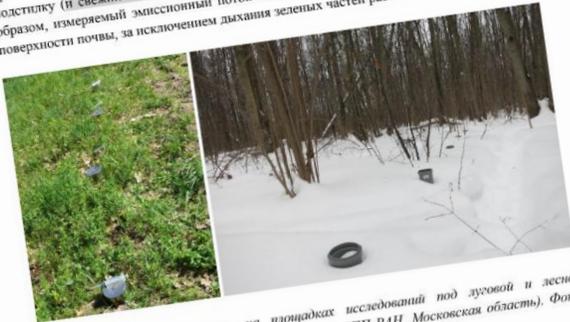
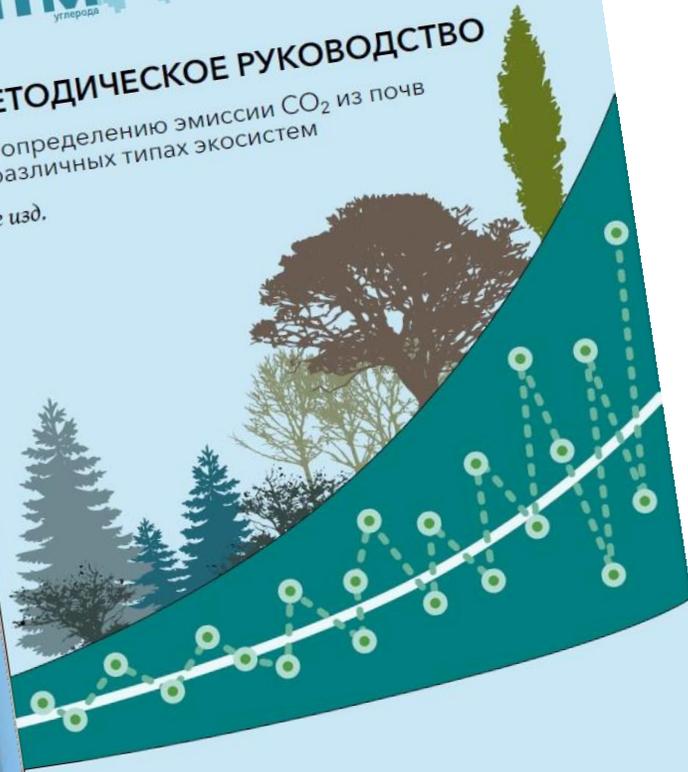


Рис. 4. Расположение камер на площадках исследований под луговой и лесной растительностью на серой лесной почве (ИФХиБПП РАН, Московская область). Фото И.Н. Кургановой, Д.В. Сапронова.

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 крышкой, снабженной резиновыми манжетами, поставленными вместе с трубами, что обеспечивает необходимую герметичность камеры. Анализ данных по определению ежедневной динамики эмиссии CO₂ из почв, проведенной А.А. Ларионовой в конце 1980-х годов в ИФХиБПП РАН показал, что ежедневное проведение измерений эмиссии CO₂ из почв является оптимальной частотой для получения адекватных оценок месячных и сезонных потоков CO₂ из почв (Курганова, Кудряков, 1998), и 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 эмиссии CO₂ из почв. В эти часы скорость эмиссии CO₂ из почв наиболее близка к среднесуточной (Ларионова, Розанова, 1993а). В пасмурные дни и в лесных насаждениях с прорективным покрытием более 70% измерения эмиссии CO₂ из почв можно проводить в течение всего светового дня (Сморкалов, 2022).

ритм
углерода

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО по определению эмиссии CO₂ из почв в различных типах экосистем 2-е изд.



• Пушино •
2023 г.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМИССИИ CO₂ ИЗ ПОЧВ КАМЕРНЫМ МЕТОДОМ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЭКОСИСТЕМ (краткая инструкция)

6 апреля 2023 г. на базе факультета Почвоведения МГУ был организован 2-й Обучающий семинар по методам измерения эмиссии CO₂ камерным методом

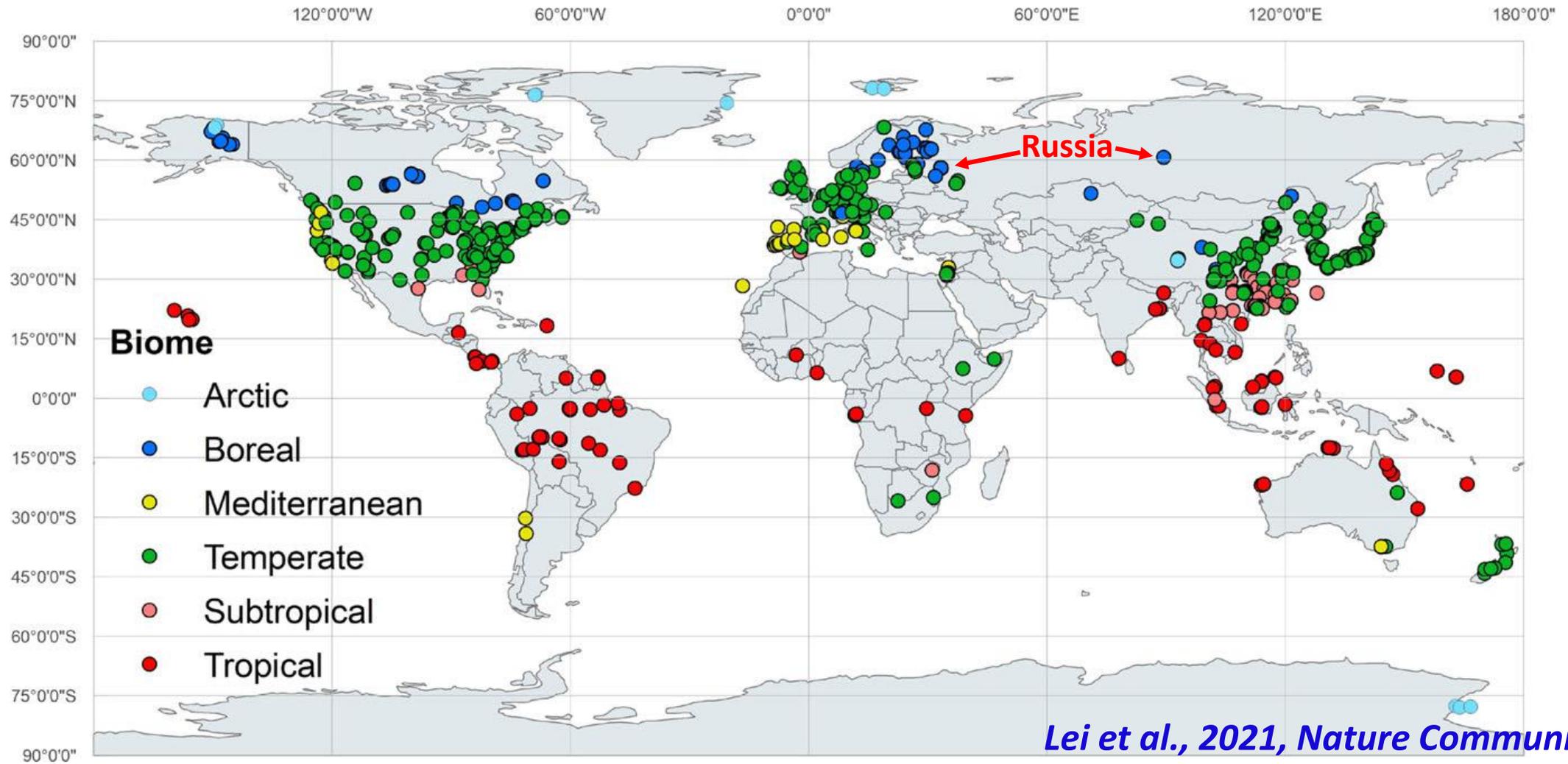


В Обучающем семинаре приняли участие 15 человек из 6 организаций. Это сотрудники ЦЭПЛ РАН (г. Москва), ФИЦ Агроэкологии (г. Волгоград), ФИЦ Биоразнообразия (г. Владивосток), ПАБСИ КНЦ РАН (г. Апатиты).

Преподаватели: к.б.н. О.Ю. Гончарова и к.б.н. Г.В. Матышак (сотрудники ф-та Почвоведения МГУ), к.т.н. В.О. Лопес де Гереню и к.б.н. Д.А. Хорошаев (сотрудники ИФХИБПП РАН, г. Пущино)

В рамках семинара была организована экскурсия на метеостанцию МГУ.

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



(SRDB содержит результаты 2428 наблюдений из 693 опубликованных работ)

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/ORNLDAAAC/1827); A Global Database of Soil Respiration Data, Version 5.0. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAAC/1827>

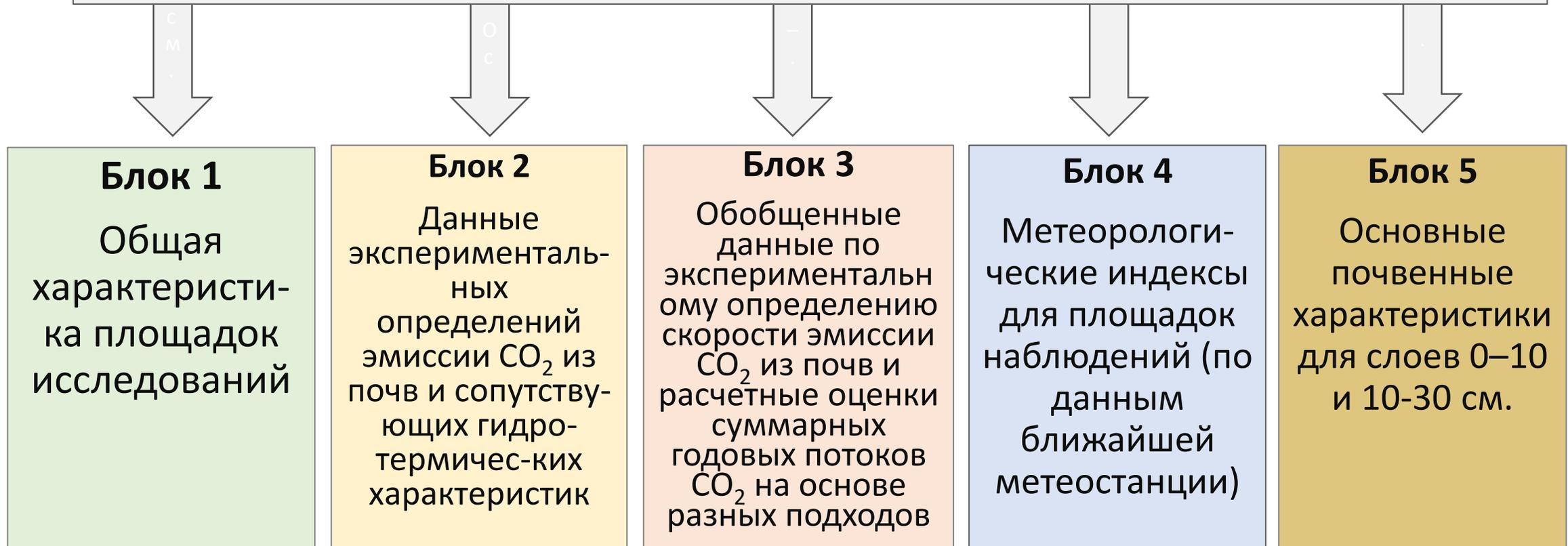
Основные параметры БД по дыханию почв

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!

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

Структура базы данных по эмиссии CO₂ из почв в наземных экосистемах России



Включает > 90 различных параметров!

Методические проблемы и другие трудности:

- *Разная частота наблюдений! Унифицировать очень трудно из-за логистических проблем.*
- *Оптимальное число повторностей для охвата пространственной неоднородности vs длительность отбора проб без влияния внутрисуточной динамики*
- Унификация расчетов среднемесячных, сезонных и годовых потоков CO₂ из почв. Подходы на основе:
 - (i) температурных зависимостей (по непрерывным данным T_p с логгеров)
 - (ii) простых моделей (T&P – разные) или имитационных моделей;
- *Глубина измерения T_{почвы}; 5 см – оптимальная; Для влажности почвы???*
- *Провести сравнение результатов, полученных разными приборами (Licor, Picarro, AZ/VentPro, Хроматограф) - ИГ РАН;*
- *Разная техника измерений (срезание растительности на болотах и травяных экосистемах), момент начала измерений после установки камер и т.д.*
- *Измерения в снежный (морозный) период;*
- *Определение гетеротрофной составляющей общей эмиссии CO₂ из почв (метод исключения корней).*

Перспективы:

- *Анализ структуры годовых потоков CO₂ из почв на базе большего числа экосистем;*
- *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 CO₂ из почв;*
- *Постепенная интеграция в мировую базу данных по дыханию почв (SRDB);*
- *Рабочее совещание по методическим вопросам с обсуждением данных весной 2024 г.*

Благодарю за внимание!



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

