

Единая сеть мониторинга эмиссии CO₂ из почв наземных экосистем России: первые результаты и перспективы

И.Н. Курганова

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино



Почвенная эмиссия CO₂:

- Является одной из основных статей углеродного баланса в наземных экосистемах;
- На территории России она в 10 раз превышает антропогенную эмиссию CO₂;
- Характеризуется высокой временной и пространственной вариабельностью;
- Определение эмиссии CO₂ из почв является необходимым элементом при изучении экосистемных потоков CO₂ в наземных экосистемах методом пульсационных измерений;
- Изучение почвенной эмиссии CO₂ представляет и самостоятельный научный интерес.

1992 год - принятие Международной рамочной конвенции ООН по изменению климата в Рио-де-Жанейро

Россия 1992 г.: стартовала ГНТП «Глобальные изменения природной среды и климата» (координатор акад. Н.П. Лаверов; руководитель биосферного направления – акад. Г.А. Заварзин)

**Первый банк данных по дыханию почв России:
начало 1990-х (под рук. проф. В.Н. Кудеярова, ИФХиБПП РАН)**

Основные результаты:

*Собраны доступные опубликованные данные по дыханию почв (ДП) в соответствии с типами почв, оценено дыхание почв за вегетационный сезон (средние величины без учета землепользования), составлена карта-схема интенсивности ДП и получена первая оценка общего дыхания почв на территории России за вегетационный сезон: **3.12 Гт С/год.***

Опубликовано:

сборник статей Дыхание почв, под ред . Г.А. Заварзина, В.Н. Кудеярова, 1993 г.

*Кудеяров В.Н. Выделение углекислого газа почвенным покровом России // **Природа. 1994.***

*Кудеяров В.Н., Хакимов Ф.И., Деева Н.Ф., Ильина А.А., Кузнецова Т.В., Тимченко А.В. Оценка дыхания почв России // **Почвоведение. 1995.***

Первая база данных данных по дыханию почв России в электронном формате: 1995-1997 и дополнена в 2001 г. (И.Н. Курганова, В.Н. Кудеяров, ИФХиБПП РАН)

Основные результаты:

- Собраны доступные опубликованные данные по дыханию почв в соответствии с типами почв и типами землепользования начиная с 50-х годов XX века;
- Оценено общее (5.67 Гт С/год), гетеротрофное (2.78 Гт С/год) и корневое (2.89 Гт С/год) дыхание почв за год с учетом дыхания почв за пределами вегетации;
- Создана карта «Дыхание почв России» на базе Почвенной карты России с учетом типов землепользования и применением ГИС технологий.

Результаты опубликованы:

Курганова И.Н., Кудеяров В.Н. // Почвоведение, 1998.

Kudeyarov V.N., Kurganova I.N. // Biol. Fertil. Soils. 1998.

Kurganova I.N. Interim Report, IR-02-070. 2003. IIASA, Laxenburg, Austria (web: www.iiasa.ac.at) 64p.

Кудеяров В.Н. , Курганова И.Н. // Почвоведение. 2005.

Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / отв. ред. Г.А. Заварзин, В.Н. Кудеяров, 2007.

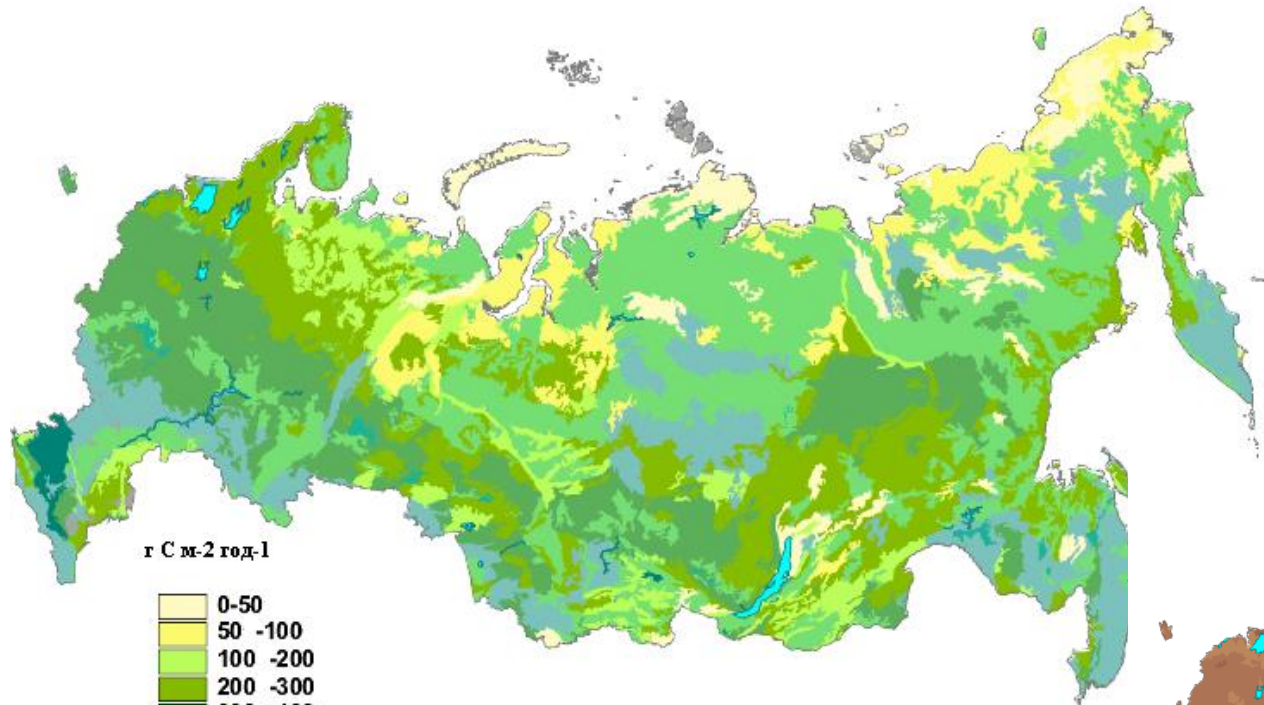
БД содержала 415 записей (105 источников)

Каждая запись в созданной БД включала следующие характеристики:

- природно-климатическая зона;
- область, район (стационар) проведения исследований;
- географические координаты;
- среднегодовая температура воздуха;
- тип почвы и ее подробное таксономическое описание;
- тип растительности (ценоз);
- продолжительность периода измерений;
- годовая, сезонная и суточная динамика выделения CO_2 из почв в связи с изменением (если есть данные) температуры (T_p) и влажности (W_p) верхнего (0-5 см) слоя почвы, уровня грунтовых вод (УГВ) и температуры воздуха (T_v);
- метод определения эмиссии CO_2 из почв;
- автор и год исследований.

Годовые потоки CO_2 из почв рассчитывались на основе величины летней эмиссии CO_2 с учетом вклада летнего сезона в годовой поток, который был линейно связан со МАТ.

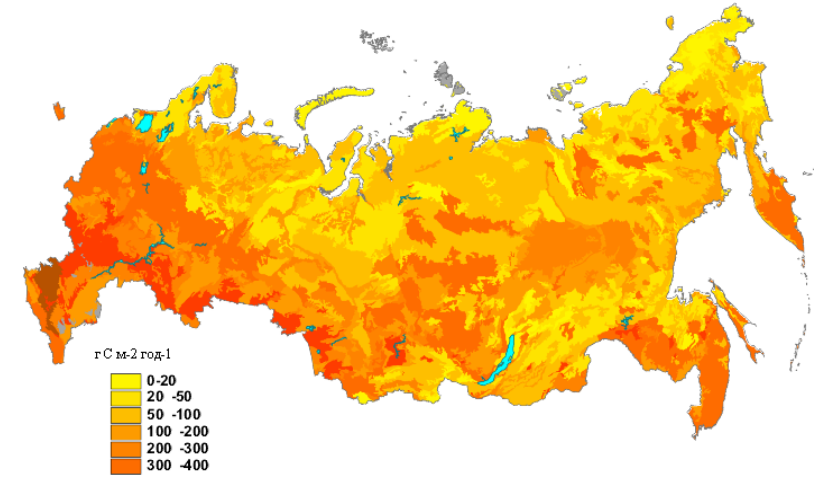
Карты общего, гетеротрофного и корневого дыхания почв РФ



г С м-2 год-1



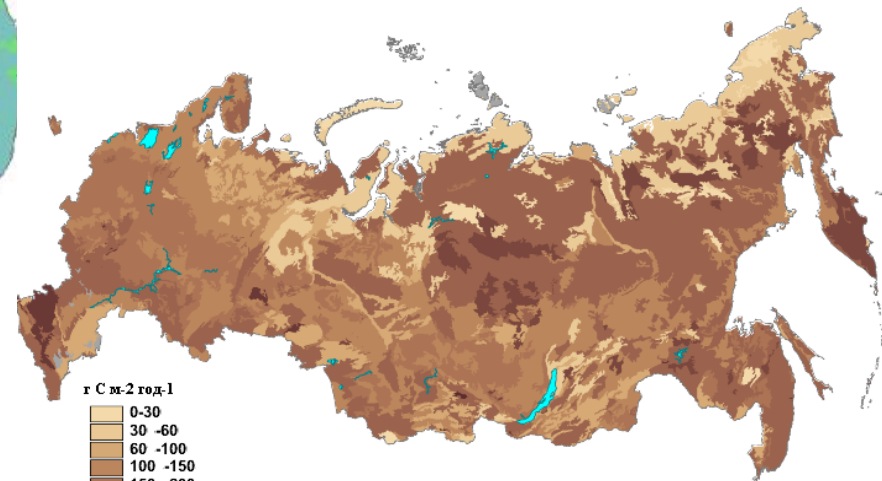
(Общее ДП – **5.67** Гт С/ год)



г С м-2 год-1



(Гетеротрофное ДП – **2.78** Гт С/ год)



г С м-2 год-1



(Корневое ДП – **2.89** Гт С/ год)

Следующий этап развития БД «Дыхание почв России» (Институт прикладных системных исследований, Австрия)

БД объединила 810 исследований (2254 записи) дыхания почв в биомах арктической, бореальной и умеренной зон за период измерений 1961–2008 гг. Наряду с Россией были включены и другие регионы: Северная Америка (1055 записей), Европа (833 записи) и Азия (366 записей).

Большинство исследований проведено в лесных экосистемах ($n = 1417$), существенно меньше в луговых ($n=243$) и на пашнях ($n=131$).

Результаты опубликованы:

- *Mukhortova L., Schepaschenko D., Shvidenko A., McCallum I., Kraxner F.* Soil contribution to carbon budget of Russian forests // **Agricultural and Forest Meteorology**, 2015
- *Mukhortova L., Schepaschenko D., Moltchanova E., Shvidenko A., Khabarov N., See L.* Respiration of Russian soils: Climatic drivers and response to climate change // **Science of The Total Environment**, 2021.

Для оценки ДП за вегетационный и годовой периоды использовали и регрессионные модели на основе климатических параметров:

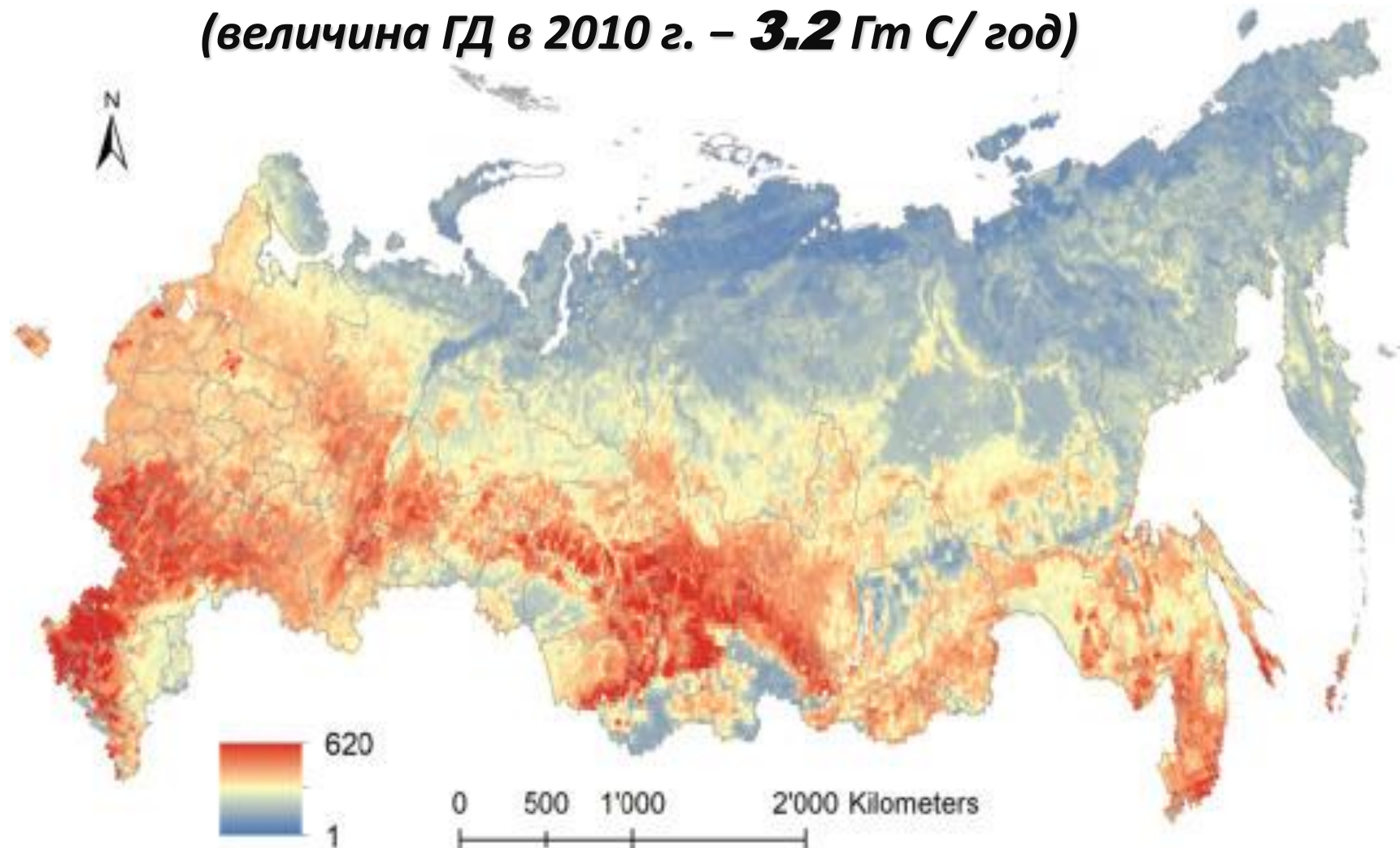
$$(1) \text{ЭМ}_{\text{CO}_2\text{-DT}_5} = 12 \times \text{ЭМ}_{\text{CO}_2\text{-Veg}} \times 10^{-6} \times 60 \times 60 \times 24 \times \text{DT}_5$$

$$(2) \text{ЭМ}_{\text{CO}_2\text{-An}} = 101.5309 + 0.5967 \times \text{DT}_5 + 0.7087 \times \text{ЭМ}_{\text{CO}_2\text{-DT}_5}$$

- Среднегодовая температура, MAT °C
- Сумма температур > 10 °C, SumT_10°C
- Сумма температур > 5 °C, SumT_5, °C
- Сумма температур > 0 °C, SumT_0, °C
- Среднегодовое количество осадков, MAP, мм
- Количество осадков за период, когда T > 5 °C, Prec_5, мм
- Количество осадков за период, когда T > 0 °C, Prec_0, мм
- Продолжительность периода со среднедневной T > 10 °C, DT_10, число дней
- Продолжительность периода со среднедневной T > 5 °C, DT_5, число дней
- Продолжительность периода со среднедневной T > 0 °C, DT_0, число дней

Гетеротрофное дыхание (ГД) почв на территории РФ (г С/м²/год)

(величина ГД в 2010 г. – **3.2** Гт С/ год)



(Mukhortova et al., 2021)

Сравнение оценок баланса углерода в наземных экосистемах России

Методологический подход	Баланс С, Гт С/год	Источник
Разностный (NPP-MR-D)	0.86	<i>Kudeyarov, Zavarzin, 2006</i>
Разностный (NPP-MR-D-LUC)	0.91	<i>Kurganova et al, 2010</i>
Модельный	0.83	<i>Ciais et al., 2010</i>
Ландшафтно-экосистемный	0.76	<i>Dolman et al., 2012</i>
На базе прямых измерений Eddy-covariance	0.71	“ _ “
Расчетный (12 моделей)	0.69	“ _ “
Средний баланс (сток) С = 0.79 Гт С/год		

Основные задачи РГ по эмиссии CO₂ из почв в рамках ВИП ГЗ:

- (1) объединить все проводимые исследования по определению эмиссии CO₂ из почв в наземных экосистемах РФ в единую функционирующую сеть;
- (2) максимально унифицировать методику полевых измерений, расчетов и оценок сезонных и годовых величин эмиссии CO₂ из почв на площадках мониторинга;

Участники РГ2 (подгруппа по эмиссии CO₂)

Организации, имеющие опыт проведения исследований:

1. ИФХиБПП РАН
2. ИПЭЭ РАН
3. ЦЭПЛ РАН
4. ИГ РАН
5. ИЛ СО РАН
6. ФИЦ КарНЦ РАН
7. ИБ ФИЦ Коми НЦ РАН
8. Факультет почвоведения МГУ
9. ЮГУ
10. ИОА СО РАН
11. ИБПК СО РАН
12. ИМКЭС СО РАН

Организации, не имеющие опыта проведения исследований:

1. ИПА СО РАН
2. ИППЭС КНЦ РАН
3. ТуВИКОПР СО РАН
4. СПбГЛТУ
5. ФНЦ Агроэкологии РАН

организующая роль – **ИФХиБПП РАН**

Этап 1: Интеграция общей информации по площадкам наблюдений эмиссией CO₂ из почв

- Код площадки наблюдений; **Природная зона; Регион;** Населенный пункт; **Географические координаты** (Широта, Долгота, Высота над уровнем моря, м)
- Рельеф; Позиция в ландшафте; Тип БГЦ; Нарушения (*ветровалы, пожары и т.п.*), если есть;
- Климатические данные за 30-ти летний период 1991-2020 (*годовая сумма осадков, мм; среднегодовая $T_{\text{возд}}$, °C; средняя температура июля и января*);
- Тип почв (*в соответствии с классификацией почв России 1977, 2004 гг.; WRB, 2014*); Гранулометрический состав;
- Какие ПГ измеряются; Метод, используемое оборудование;
- Период наблюдений за эмиссией CO₂ из почв (*и др. ПГ, если есть*); Частота измерений;
- Метод измерения; Используемое оборудование;
- Какие параметры измеряются дополнительно во время измерения эмиссии (*непрерывно и точечно измеряемые*);
- Организация.

Сеть действующих площадок наблюдений за эмиссией CO₂ из почв на территории РФ

КАТАЛОГ | СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА | 1



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

Количество **действующих**
площадок мониторинга эмиссии
CO₂ из почв

Всего поддержано

- 76 площадок наблюдений
- 14 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

Атлас

карт размещения площадок наблюдений за потоками диоксида углерода на территории России

издание 1
01.12.2022



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

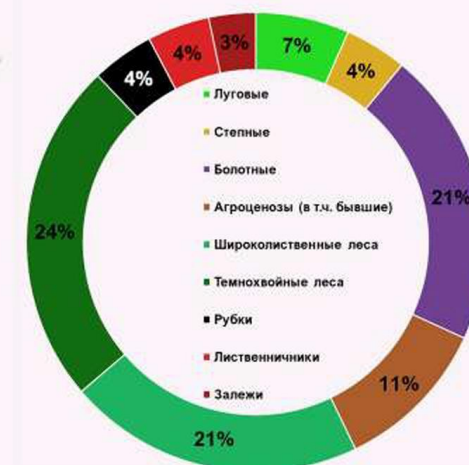
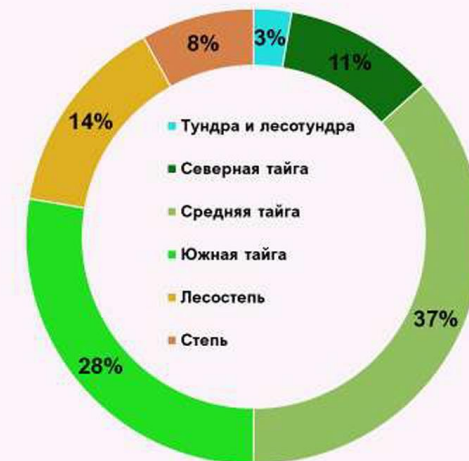
Расположение действующих и планируемых площадок наблюдений за эмиссией CO₂ из почв в соответствии с биоклиматическими зонами

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

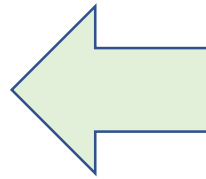
Характеристики **поддержанных и созданных** участков проведения наблюдений

География участков наблюдений

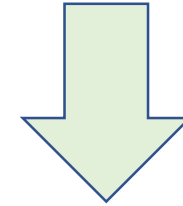
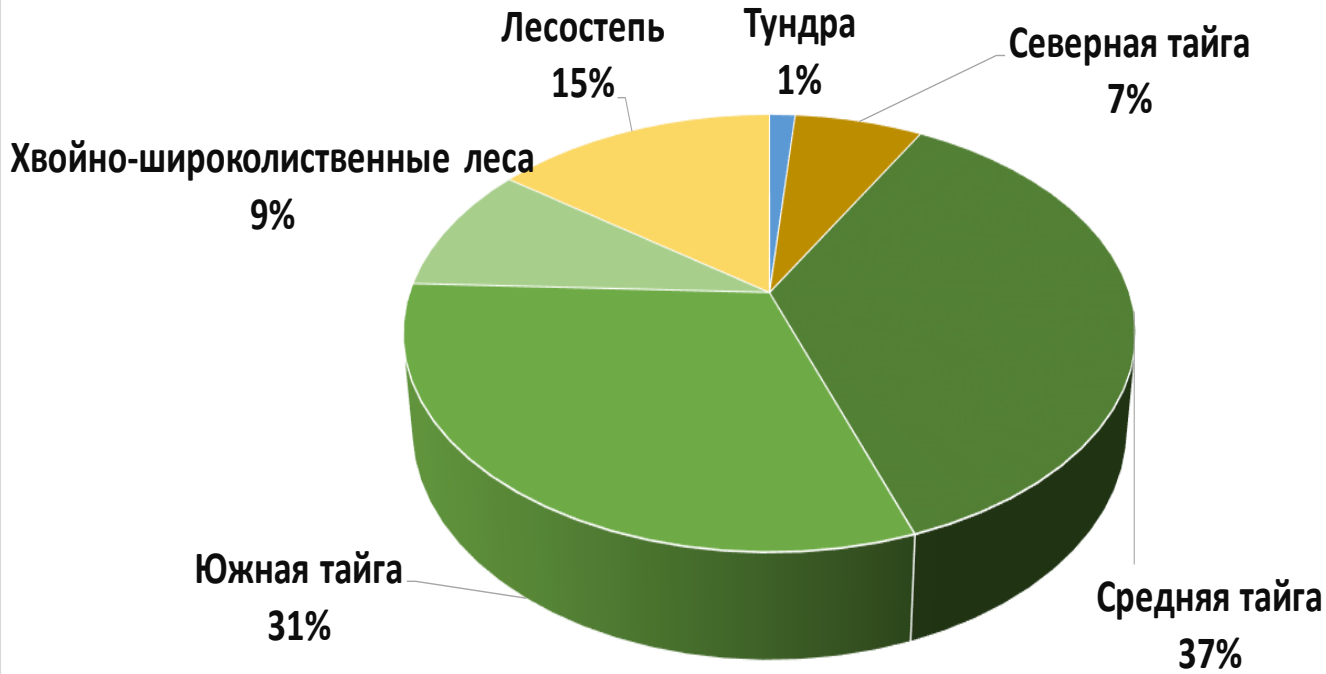
- 3 в тундре и лесотундре
- 12 в северной тайге
- 41 в средней тайге
- 31 в южной тайге
- 16 в лесостепи
- 9 в степи



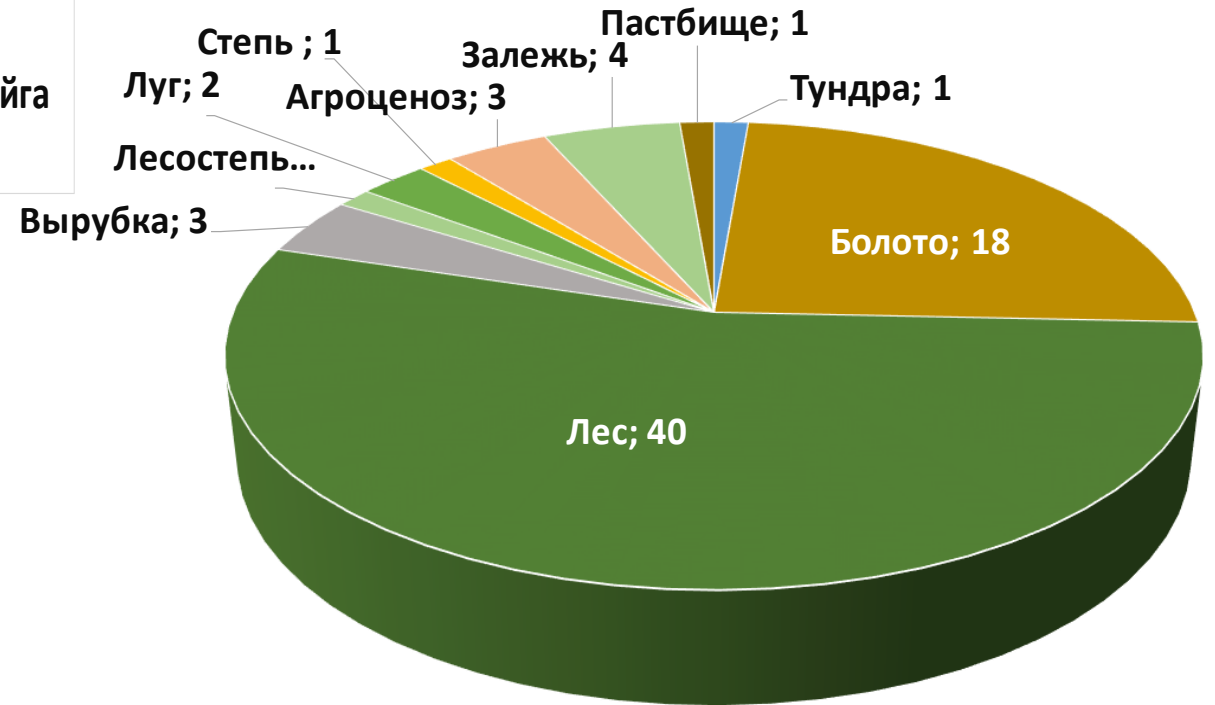
по биоклиматическим зонам



Распределение действующих площадок наблюдений за эмиссией CO₂ из почв



по типам экосистем



Каталог площадок наблюдений за эмиссией CO₂ из почв на территории РФ

КАТАЛОГ | СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА | 2

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

Таёжная зона: подзона южной тайги
Московская область
Приокско-Террасный Биосферный Заповедник

Средняя температура января: -7.2 °C Средняя температура июля: +18.8 °C

Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Среднегодовая температура воздуха: +5.7 °C Годовое количество осадков: 640 мм

■ Холодный (снежный) период ■ Теплый (безснежный) период Климат (1991-2020 гг.)

Биогеоценоз
Луг (косимый)
 Тип ассоциации: Полудоминантный разнотравно-злаковый фиалково-манжетковый луг, общее проективное покрытие 95-100%

Почва
 Дерново-слабо-подзолистая, супесчаная
Entic Podzol (Arenic)

Измеряемые параметры
 Эмиссия CO₂ из почвы (круглогодично): с 1998 по н.в.
 Гетеротрофное дыхание почвы (круглогодично): с 2022 по н.в.

Температура почвы (слой 0-5 см)
 Влажность почвы (слой 0-5 см)
 Влажность подстилки
 Температура воздуха
 Количество осадков
 Высота снежного покрова

Основные публикации

Курганова, И., Lopes de Gerenyu, V., Khoroshaev, D., Myakshina, T., Sapronov, D., Zhmurin, V., 2022. Temperature Sensitivity of Soil Respiration in Two Temperate Forest Ecosystems: The Synthesis of a 24-Year Continuous Observation. *Forests* 13, 1374. <https://doi.org/10.3390/f13091374>

Курганова, И.Н., Lopes de Gerenyu, V.O., Myakshina, T.N., Sapronov, D.V., Khoroshaev, D.A., Zhmurin, V.A., 2022. The Temporal Variability of Respiration of a Soddy-Podzolic Soil in Forest and Meadow Coenoses of the South-Taiga Zone. *Moscow University Soil Science Bulletin* 77, 74-82. <https://doi.org/10.3103/S0147887422020041>

Курганова, И.Н., Лопес де Гереню, В.О., Хорошаев, Д.А., Мякшина, Т.Н., Сапронов, Д.В., Жмурин, В.А., Кудряров, В.Н., 2020. Анализ многолетних данных дыхания почв в лесном и луговом ценозах Приокско-Террасного биосферного заповедника в свете современных климатических трендов. *Почвоведение* 1230-1236. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2010011115>

Организация
 Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН - обособленное подразделение ФИЦ ПНЦИ РАН, лаборатория почвенных циклов азота и углерода, Московская область, г. Пушкино, 142290

Контактное лицо
 д.б.н. Хорошаев Дмитрий Александрович
 ikurg@mail.ru

Каталог

площадок мониторинга эмиссии CO₂ из почв Российской Федерации

издание 1
01.12.2022

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

54° 54' 09.9" С.Ш.
37° 33' 27.4" В.Д.

ВНУМ
125 м

КАТАЛОГ | СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА | 1

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

Таёжная зона: подзона южной тайги
Московская область
Приокско-Террасный Биосферный Заповедник



Средняя температура января: -7.2 °C Средняя температура июля: +18.8 °C

Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Среднегодовая температура воздуха: +5.7 °C Годовое количество осадков: 640 мм

■ Холодный (снежный) период ■ Теплый (безснежный) период Климат (1991-2020 гг.)

Биогеоценоз
Квазиклиматный смешанный лес (150 лет)
 Формула древостоя: 4 Сосны (*Pinus*), 3 Липы (*Tilia*), 2 Осины (*Populus tremula*), 1 Берёза (*Betula*), единично дуб (*Quercus*)
 общее покрытие травянисто-кустарничково-ярусса 60-70%

Почва
 Дерново-слабо-подзолистая, супесчаная
Entic Podzol (Arenic)

Измеряемые параметры
 Эмиссия CO₂ из почвы (круглогодично): с 1998 по н.в.
 Гетеротрофное дыхание почвы (круглогодично): с 2022 по н.в.

Температура почвы (слой 0-5 см)
 Влажность почвы (слой 0-5 см)
 Влажность подстилки
 Температура воздуха
 Количество осадков
 Высота снежного покрова

КОординаты участка

Основные публикации

Kurganova, I., Lopes de Gerenyu, V., Khoroshaev, D., Myakshina, T., Sapronov, D., Zhmurin, V., 2022. Temperature Sensitivity of Soil Respiration in Two Temperate Forest Ecosystems: The Synthesis of a 24-Year Continuous Observation. *Forests* 13, 1374. <https://doi.org/10.3390/f13091374>

Kurganova, I.N., Lopes de Gerenyu, V.O., Myakshina, T.N., Sapronov, D.V., Khoroshaev, D.A., Zhmurin, V.A., 2022. The Temporal Variability of Respiration of a Soddy-Podzolic Soil in Forest and Meadow Coenoses of the South-Taiga Zone. *Moscow University Soil Science Bulletin* 77, 74-82. <https://doi.org/10.3103/S0147887422020041>

Курганова, И.Н., Лопес де Гереню, В.О., Хорошаев, Д.А., Мякшина, Т.Н., Сапронов, Д.В., Жмурин, В.А., Кудряров, В.Н., 2020. Анализ многолетних данных дыхания почв в лесном и луговом ценозах Приокско-Террасного биосферного заповедника в свете современных климатических трендов. *Почвоведение* 1230-1236. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2010011115>

Организация
 Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН - обособленное подразделение ФИЦ ПНЦИ РАН, лаборатория почвенных циклов азота и углерода, Московская область, г. Пушкино, 142290

Контактное лицо
 д.б.н. Курганова Ирина Николаевна
 ikurg@mail.ru

Сайт организации

Версия Каталога-2022:

- содержит информацию о **66 площадках** наблюдений, где уже проводятся или планируются измерения эмиссии CO₂ из почв в ходе реализации ВИП ГЗ НОЦ “Углерод в экосистемах: мониторинг”.
- по каждой площадке наблюдений в представленном Каталоге содержится информация о природной зоне, типе биогеоценоза с подробной характеристикой растительности, почв, климатических характеристиках за 1991-2020 гг., приведен перечень измеряемых параметров и список публикаций. Каждая страница издания снабжена красочными фотографиями и QR-кодами организаций и местоположений площадок наблюдений
- поскольку Национальная сеть наблюдений за эмиссией CO₂ из почв будет расширяться, то каталог будет ежегодно пополняться и обновляться.

Методическое руководство по определению эмиссии CO₂ из почв в различных экосистемах

др., 2020, 2022), на каждом участке наблюдений рекомендуем установить не менее 5 камер. Их можно располагать по трассекте 10-20 или более метров, с расстоянием 2-4 м (или более) между камерами. Сами камеры устанавливают 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.

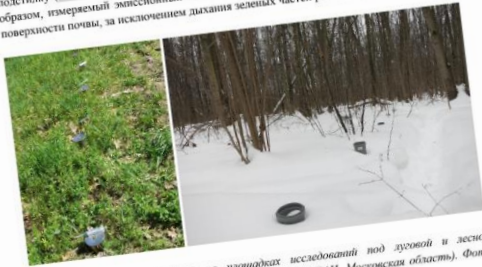


Рис. 4. Расположение камер на площадках исследований под луговой и лесной растительностью на сухой лесной почве (ИФХиБПП РАН, Московская область). Фото И.И. Кургановой, Л.В. Стронуца.

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, поставляющимися вместе с трубами, что обеспечивает необходимую герметичность камер.

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), а 2 раза в месяц – это минимальная частота измерений. Проведение измерений желательно проводить на открытых площадках (агроценозы, луговые и степные экосистемы) сезона, когда прогрев почвы к полудню может сильно влиять на интенсивность ЭМ_{CO2} из почв. В эти часы скорость ЭМ_{CO2} из почв наиболее близка к среднесуточной (Ларионова, Розанова, 1993а). В пасмурные дни и в лесных насаждениях с проективным покрытием более 70% измерения ЭМ_{CO2} из почв можно проводить в течение всего светового дня (Сморзалов, 2022).



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

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО по определению эмиссии CO₂ из почв в различных типах экосистем



Пушино – 2022 г.

Оглавление

Предисловие	4
1. Теоретические предпосылки	6
1.1. Биогенный цикл углерода.....	6
1.2. Эмиссия CO ₂ из почв	9
2. Краткий обзор основных методов определения эмиссии CO ₂ из почв	11
3. Проведение измерений эмиссии CO ₂ из почв камерным методом с использованием разной технической базы	15
3.1. Выбор участка и частота измерений.....	15
3.2. Абсорбционный метод.....	17
Общие представления.....	17
Методика определения среднесуточной скорости продуцирования CO ₂ почвой в полевых условиях.....	18
3.3. Метод закрытых камер с отбором газовых проб с помощью шприца в герметичные флаконы	20
3.4. Метод закрытых камер с использованием инфракрасных газоанализаторов.....	24
Автоматические газоанализаторы фирмы LiCor (США).....	24
Анализаторы на основе прибора фирмы AZ Instrument (Тайвань).....	26
Некоторые полезные советы	29
4. Особенности измерения эмиссии CO ₂ из почв в различных экосистемах (тундровые, болотные, лесные, степные, луговые, агроценозы).	31
4.1. Рекомендации к методике проведения наблюдений за эмиссией CO ₂ /CH ₄ в болотных экосистемах.....	31
4.2. Рекомендации к методике проведения наблюдений за эмиссией CO ₂ /CH ₄ в тундровых экосистемах.....	32
4.3. Рекомендации к методике проведения наблюдений за эмиссией CO ₂ в лесных экосистемах.....	34
4.4. Рекомендации к методике проведения наблюдений за эмиссией CO ₂ в луговых и степных экосистемах.....	36
4.5. Рекомендации к методике проведения наблюдений за эмиссией CO ₂ в агроценозах.....	36
5. Определение микробной компоненты в общем эмиссионном потоке CO ₂ из почв	37
6. Определение сопутствующих гидротермических характеристик почвы.....	39
7. Подходы к оценке годовых потоков CO ₂ из почв	40

Методическое руководство:

В работе над изданием принимали участие:

- д.б.н. *И.Н. Курганова* (ИФХиБПП РАН, Пущино);
- к.б.н. *О.Ю. Гончарова* (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва);
- к.б.н. *Д.В. Ильясов* (ЮГУ, Ханты Мансийск);
- д.б.н. *Д.В. Карелин* (ИГ РАН, Москва);
- к.т.н. *В.О. Лопес де Гереню* (ИФХиБПП РАН, Пущино);
- к.б.н. *Г.В. Матышак* (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва);
- к.б.н. *М.Н. Мигловец* (ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар);
- к.с.-х.н. *Е.В. Мошкина* (ИЛ Кар НЦ РАН, Петрозаводск);
- к.б.н. *А.Ф. Осипов* (ИБ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар);
- к.б.н. *Д.А. Хорошаев* (ИФХиБПП РАН, Пущино);
- д.с.-х.н. *И.Н. Шарков* (ИПА СО РАН, Новосибирск).

Основное назначение издания:

унификация процедуры измерения эмиссии CO₂ из почв и алгоритмов оценки сезонных и годовых потоков CO₂ из почв.

Руководство содержит:

- краткую теоретическую базу о круговороте углерода в экосистемах и его основных составляющих;
- подробное описание различных методов определения эмиссии CO₂ из почв;
- информацию о приборной базе, необходимой для проведения исследований.

Структура Базы Данных по эмиссии CO₂ из почв в наземных экосистемах России



БЛОК 1

Общая характеристика площадок исследований

26 параметров

БЛОК 2

Данные экспериментальных определений эмиссии CO₂ из почв и сопутствующих гидротермических характеристик

9 параметров

БЛОК 3

Обобщенные данные по экспериментальному определению - эмиссии CO₂ из почв и расчетные оценки суммарных годовых потоков CO₂ на основе разных подходов

25 параметров

БЛОК 4

Метеорологические индексы для площадок наблюдений (по данным ближайшей метеостанции)

20 параметров

БЛОК 5

Основные почвенные характеристики для слоя 0–10 см

10 параметров

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!

Планы по развитию БД по эмиссии CO₂ из почв в 2023 г.

- Унификация методов определения эмиссии CO₂ из почв, обработки и хранения данных наблюдений.
- Создание унифицированных Баз Данных по эмиссии CO₂ из почв в каждой организации с использованием общей структуры БД;
- Интеграция БД отдельных институтов в общероссийскую сеть (ИАС на базе ИКИ РАН);
- Последующая интеграция Российской БД в мировую БД (2023-2024 г.)
- Завершение работы над **Методическим руководством** и разработка **Краткой инструкции** по определению эмиссии CO₂ из почв;
- Актуализация **Атласа карт** расположения площадок наблюдений и включение в него карты с унифицированной количественной оценкой эмиссии CO₂ из почв;
- Расширение **Каталога площадок наблюдений** за счет включения новых организаций и тех, кто не успел представить информацию в 2022 г.

Проблемы поддержания действующей сети наблюдений и ее расширения в 2023 г.

Приборная база:

- *Отсутствие на настоящий момент возможности быстрой закупки лицензионных приборов для определения эмиссии CO₂ из почв и их высокая стоимость;*
- *Отсутствие лицензионного российского оборудования;*
- *Ограниченные возможности модернизации и регулярной поверки ИК-анализаторов на основе AZ, доступных на российском рынке.*

Методические аспекты:

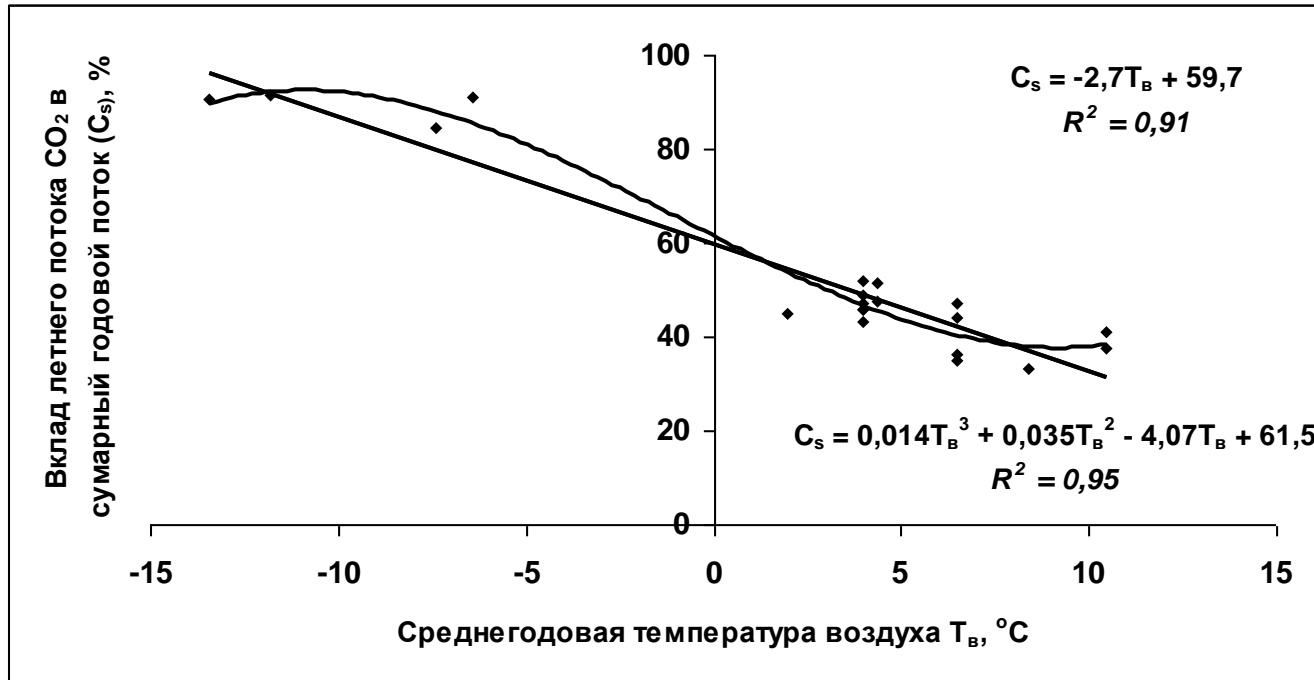
- *Разная частота и продолжительность измерений на площадках наблюдений;*
- *Использование различных подходов при анализе и обобщении экспериментальных данных;*
- *Отсутствие единых для всех экосистем методов разделения общей эмиссии CO₂ их почв на микробную и корневую составляющие, их высокая трудоемкость;*
- *Использование различного оборудования.*

Методологические аспекты, требующие обсуждения:

- Унификация первичной обработки данных по эмиссии CO_2 из почв в рамках создаваемой национальной сети мониторинга;
- Разработка алгоритмов расчета месячных, сезонных и годовых потоков CO_2 из почв при ограниченном числе полевых измерений;
- Выделение гетеротрофной компоненты в общем эмиссионном потоке CO_2 из почв с целью получения оценки баланса C в экосистемах;
- Пути генерализации данных на разных уровнях: экосистемный → ландшафтный → региональный → национальный;
- Какие параметры нужно и возможно включить для представления в общую Информационно-аналитическую систему (раздел эмиссия CO_2);
- Перспективы развития Российской БД и пути ее интеграции в мировую БД;
- Лицензирование и размещение БД в открытом доступе;
-

Благодарю за внимание!

Оценка годового дыхания почв: *подход 1*



Связь между величиной вклада летнего потока CO₂ в суммарный годовой поток (C_s) и среднегодовой температурой воздуха (T_в).

Суммарные годовые потоки CO₂ (ЭМ_{CO2}-An) оценивают согласно следующему уравнению:

$$\text{ЭМ}_{\text{CO}_2\text{-An}} = F_s \times 100 / C_s$$

где: ЭМ_{CO2}-An – суммарный годовой поток CO₂ из почв отдельных экосистем (г С/м²/год); ЭМ_{CO2}-Sum – суммарный почвенный поток CO₂ из экосистемы за лето, (г С/м²/лето, измеренный); C_s - величина вклада летнего потока CO₂ в суммарный годовой поток, % (рассчитана по модели).

Оценка годового дыхания почв: *подход 2*

основан на оценке годового потока CO_2 из почв по средней скорости эмиссии CO_2 за вегетационный период ($\text{ЭМ}_{\text{CO}_2}\text{-Veg}$) и применялся в работах Мухортовой с соавт. (Mukhortova et al., 2021, 2015).

Если в некоторых исследованиях сообщается только средняя скорость ЭМ_{CO_2} ($\text{мкмоль С/м}^2\text{/с}$), измеренная в течение вегетационного периода, то для этих случаев суммарная $\text{ЭМ}_{\text{CO}_2}\text{-Veg}$ за вегетационный период (г С/м^2) рассчитывался по формуле:

$$\text{ЭМ}_{\text{CO}_2}\text{-DT}_5 = 12 \times \text{ЭМ}_{\text{CO}_2}\text{-Veg} \times 10^{-6} \times 60 \times 60 \times 24 \times \text{DT}_5,$$

где $\text{ЭМ}_{\text{CO}_2}\text{-DT}_5$ – скорость выделения С-CO_2 в период со среднесуточной температурой выше 5°С , $\text{г С/м}^2\text{/сут}$; DT_5 – продолжительность теплого периода со среднесуточной температурой выше 5°С ; $(60 \times 60 \times 24)$ – пересчет оттока $\text{мкмоль С/м}^2\text{/с}$ в $\text{мкмоль/м}^2\text{/сут}$; 12 – молярная масса углерода, чтобы перевести мкмоль С в грамм С .

Оценка годового дыхания почв: *подход 2*

Для расчета суммарной годовой $ЭМ_{CO_2-An}$ была разработана регрессионная модель ($R^2=0.81$, $p<0.01$) на основе данных из исследований, в которых сообщалось как о годовых, так и о сезонных потоках эмиссии CO_2 из почв ($n = 130$):

$$ЭМ_{CO_2-An} = 101.5309 + 0.5967 \times DT_5 + 0.7087 \times ЭМ_{CO_2-DT_5},$$

где $ЭМ_{CO_2-An}$ – годовой поток CO_2 из почв, г $C/m^2/год$; DT_5 – продолжительность теплого периода со среднесуточной температура выше $5^\circ C$, дни; $ЭМ_{CO_2-DT_5}$ – выделение $C-CO_2$ в период со среднесуточной температурой выше $5^\circ C$, г $C/m^2/сут$.

Прогноз гетеротрофного дыхания почв на территории РФ (сценарии IPCC RCP2.6 и RCP6)

