



Мониторинг динамики углерода и оценка эффективности технологий его секвестрирования в почвах различных экосистем Европейской территории России

Молодежная лаб. карбомониторинга наземных экосистем
(промежуточные результаты, 2023 г.)

*зав. лаб. снс, кбн, Иващенко К.В.
от лица коллектива*

Коллектив лаборатории – 17 человек: с.н.с, н.с., м.н.с



к.т.н., PhD

Сергей Кивалов



к.б.н.

Дмитрий Хорошаев



к.б.н.

Софья Сушко



к.г.-м.н.

Юрий Дворников



к.г.н.

Ольга Суховеева



к.б.н.

Анастасия Романова



**Гульфина
Фролова**



**Виктория
Маханцева**



**Анна
Азарова**

Коллектив лаборатории: аспиранты и студенты

Аспиранты



**Алексей
Портнов**



**Дмитрий
Соколов**



**Екатерина
Муквич**



**Александра
Комарова**

Студенты (магистранты, 1-й курс)



**Лукьян
Мирный**

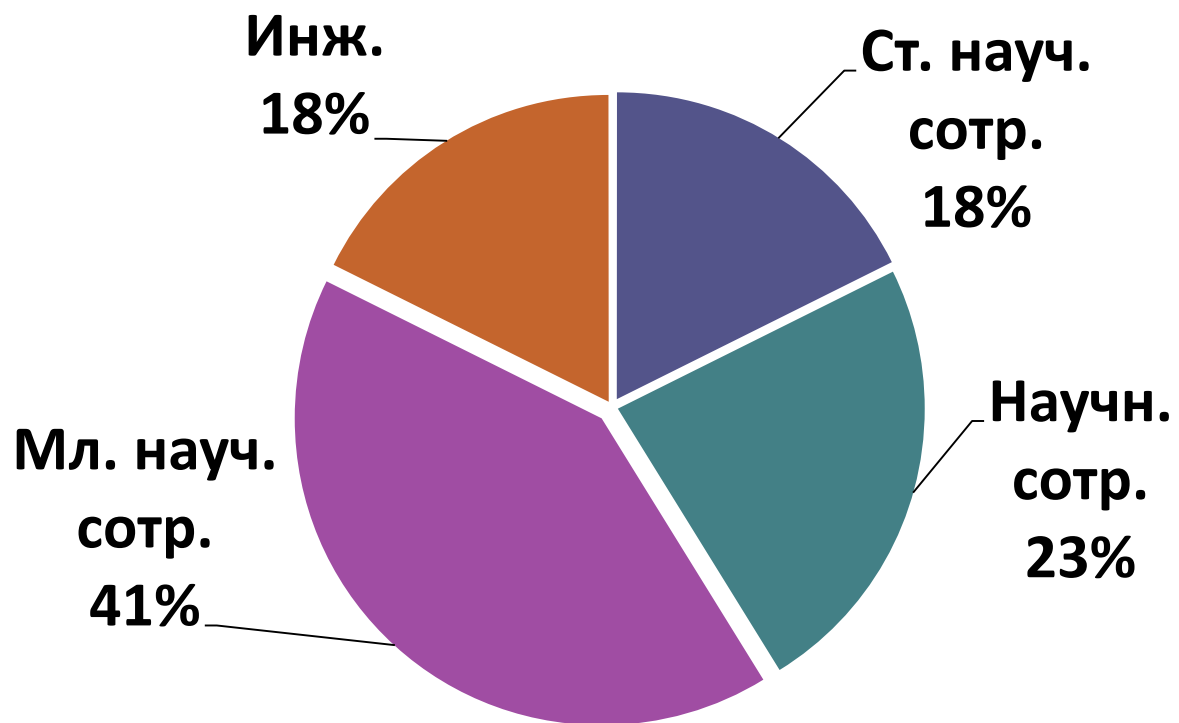


**Елена
Бабенко**



**Светлана
Урабова**

Структура лаборатории



94% - сотрудники до 35 лет
41% - к.н.
1 чел. PhD (специалист с межд.
опытом работы)
10 чел. привлекли в Институт

Цель

Оценка составляющих баланса углерода в естественных, агрогенных и постагрогенных экосистемах и поиск эффективных решений для накопления органического С в почвах различных биоклиматических зон (от южно-таежной до лесостепной подзон) Европейской территории России

«...несколько десятков коллективов занимаются проблемами почвенного С цикла»

Актуальные проблемы

- ретроспективный анализ на основе унифицированного дизайна и методик
- разработка практических решений для эффективного управления почвенной секвестрацией С (например, в масштабах агрохозяйств)
- отсутствие системного подхода при оценке эффективности технологий, направленных на сохранение и накопление почвенного С
- методические особенности определения показателей С цикла (разделение дыхания корней и микроорганизмов в полевых условиях, пространственно-временное варьирование, выбор подходящих мат. моделей)

«Мониторинг, оценка и поиск факторов»

1. Мониторинг изменения структуры землепользования и оценка его последствий для запасов органического С почвы на региональном уровне (на примере двух районов Московской обл.).
2. Ретроспективный анализ почвенных показателей цикла С в постагрогенных экосистемах южного Подмосковья и расчет актуальных скоростей их изменения.
3. Оценка эффективности различных приемов земледелия для сохранения и накопления С в почве и снижения его потерь в виде CO_2 (Самарская, Московская и Ленинградская области).

«Методические»

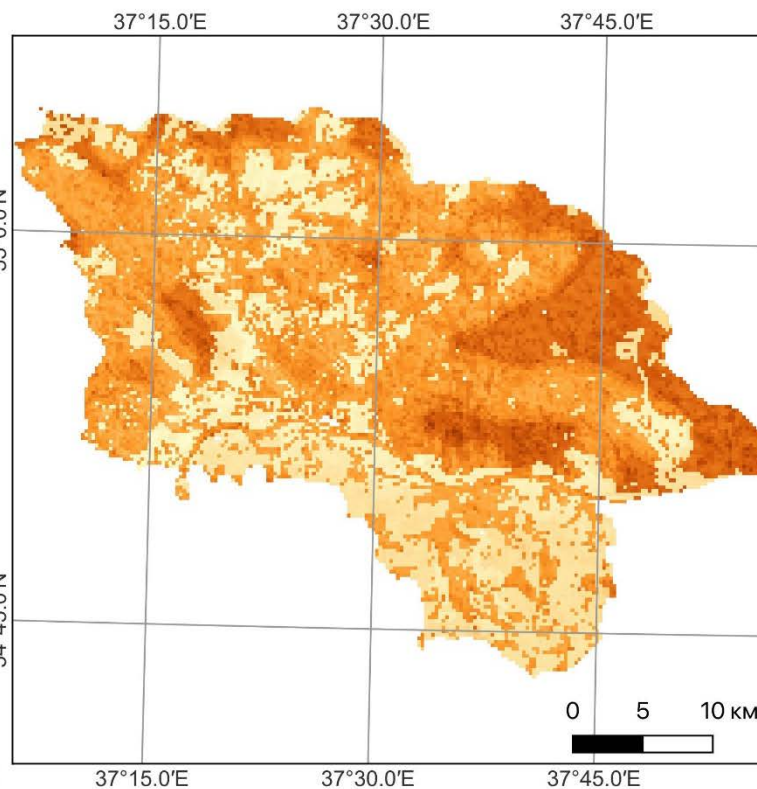
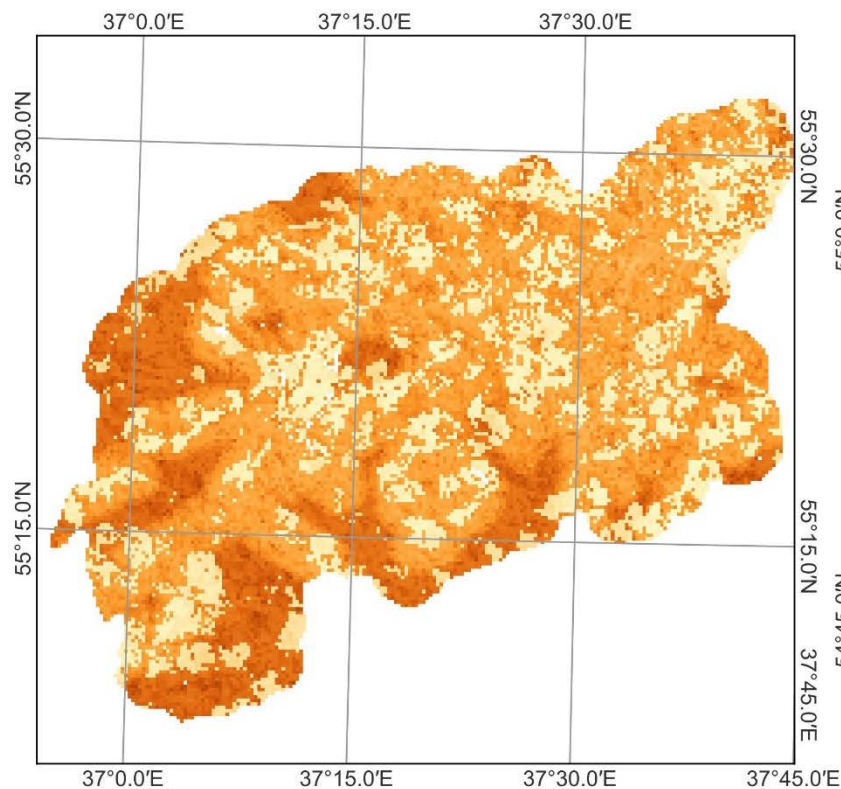
4. Оценка сезонной динамики доли микробного и корневого компонентов в общем дыхании почвы на примере лесного и лугового ценозов южного Подмосковья.
5. Автоматизация процесса детекции отдельных деревьев в молодых лесах на основе анализа аэрофотоснимков с целью последующей оценки запасов С в фитомассе.
6. Параметризация и верификация математических моделей для прогноза динамики почвенной эмиссии CO_2 в условиях изменяющегося климата.

1. Мониторинг изменения структуры землепользования и оценка его последствий для запасов органического С почвы на региональном уровне (на примере двух районов Московской обл.).

Пространственное распределение запасов $C_{орг}$ в почвах (0-10 см) зоны смешанных и широколиственных лесов (Московская обл.). База данных 2007 г. (Гавриленко и др., 2013)

Подольский район

Серпуховский район



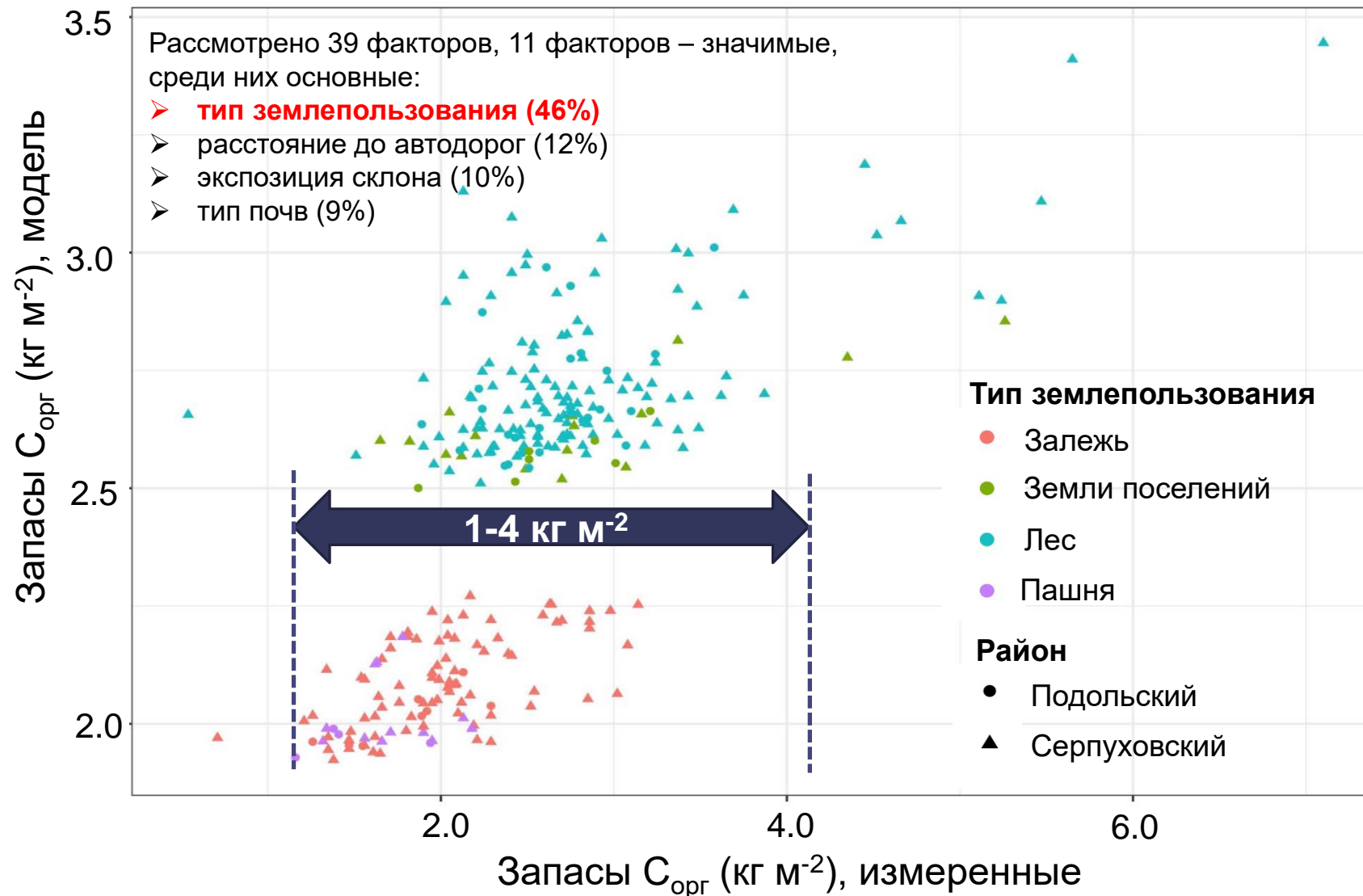
- 5 × 5 км – Подольский, 1130 км² (45)
- 2 × 2 км – Серпуховский, 1080 км² (237)

Всего 282 точки исследования



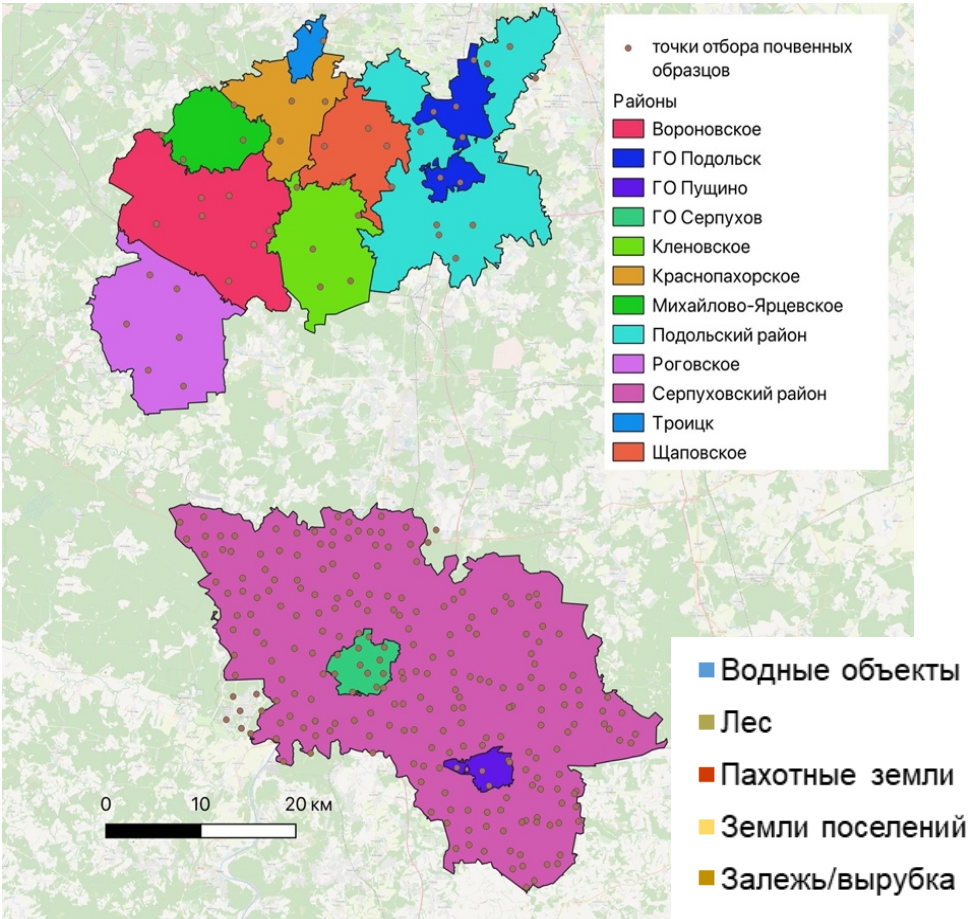
!!! Модель актуальна для 2007 г.
→ оценка изменений за последние 16 лет (2023 г.)

Сопоставление измеренных и смоделированных величин почвенных запасов (0-10 см) органического углерода $C_{орг}$ (Московская обл.)

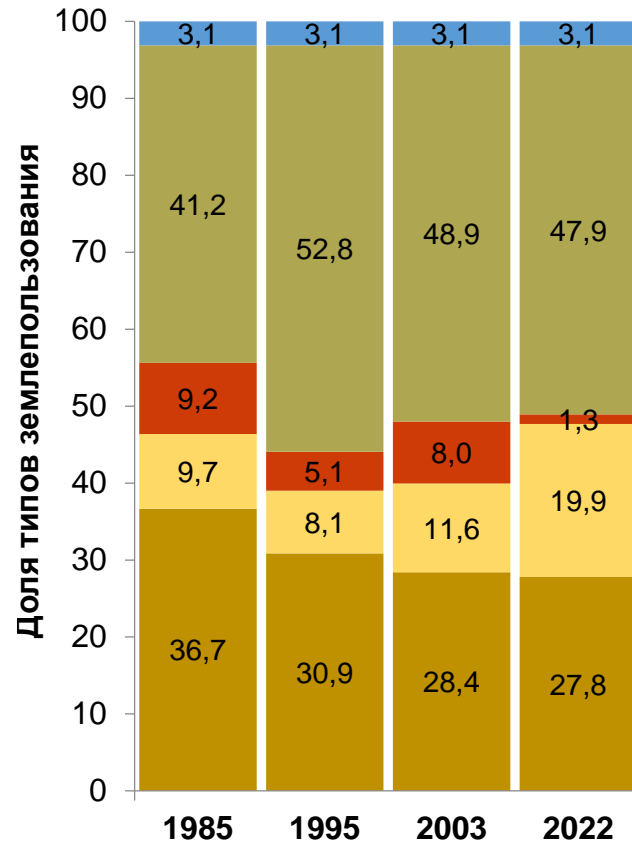


Полевые исследования и анализ динамики землепользования за последние 37 лет

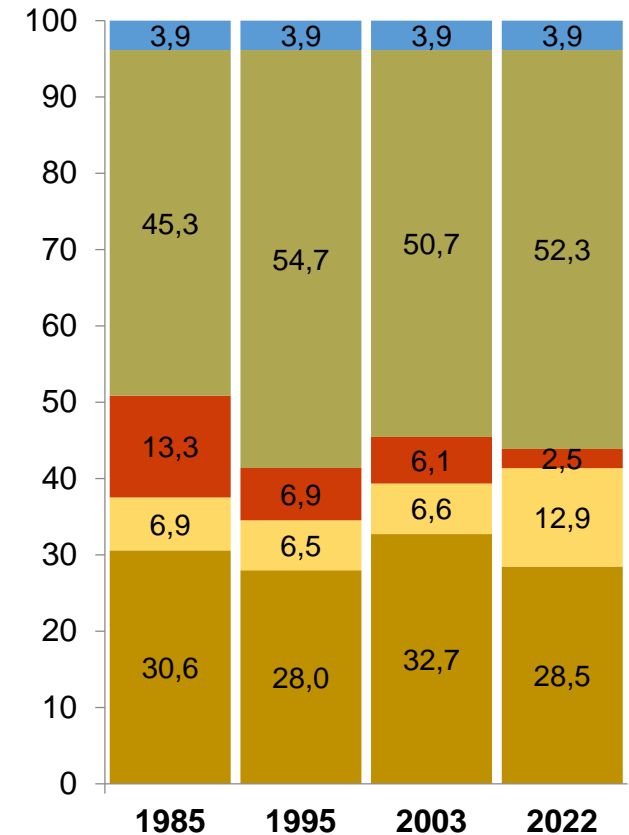
279 точек исследования
(сентябрь-октябрь 2023)



Подольский район



Серпуховский район



➤ Площадь залежей/вырубок и пашен суммарно сократилась на 13-17% преимущественно за счет расширения жилой застройки

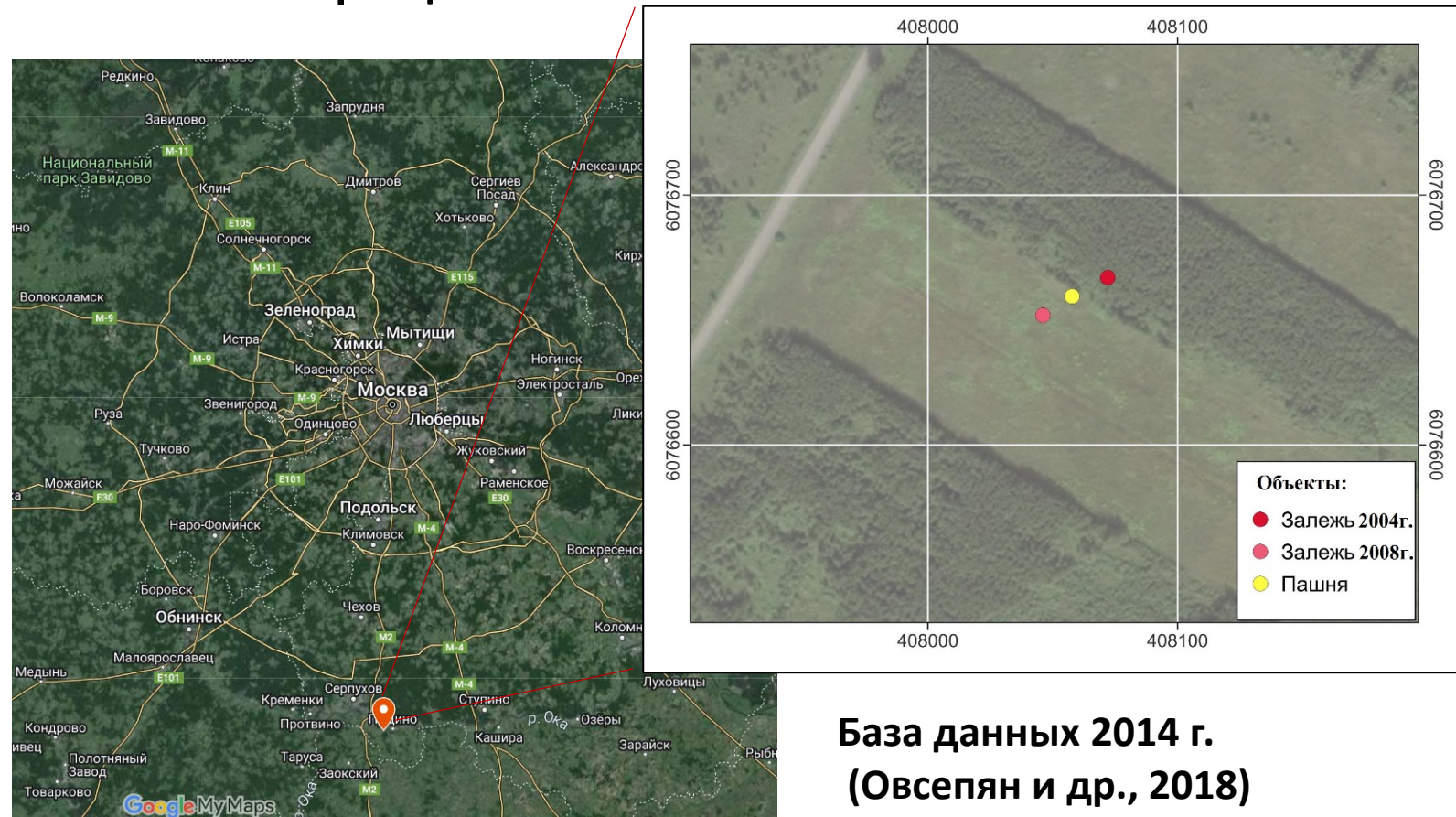
2. Ретроспективный анализ почвенных показателей цикла С в постагрогенных экосистемах южного Подмосковья и расчет актуальных скоростей их изменения

Исп. А.И. Романова, В.А. Маханцева

Агрогенные и постагрогенные экосистемы: пашня, залежь с луговым разнотравьем и березовым лесом (выведены их с/х оборота в 2008 и 2004 г.)

- 4 пространственно-удаленные точки исследования,
- слои: 0-5, 5-10, 10-20 и 20-30 см

Всего 48 образцов



База данных 2014 г.
(Овсеян и др., 2018)

- Анализ содержания C и $C_{мик}$
- Определение плотности
- Расчет запасов C и $C_{мик}$

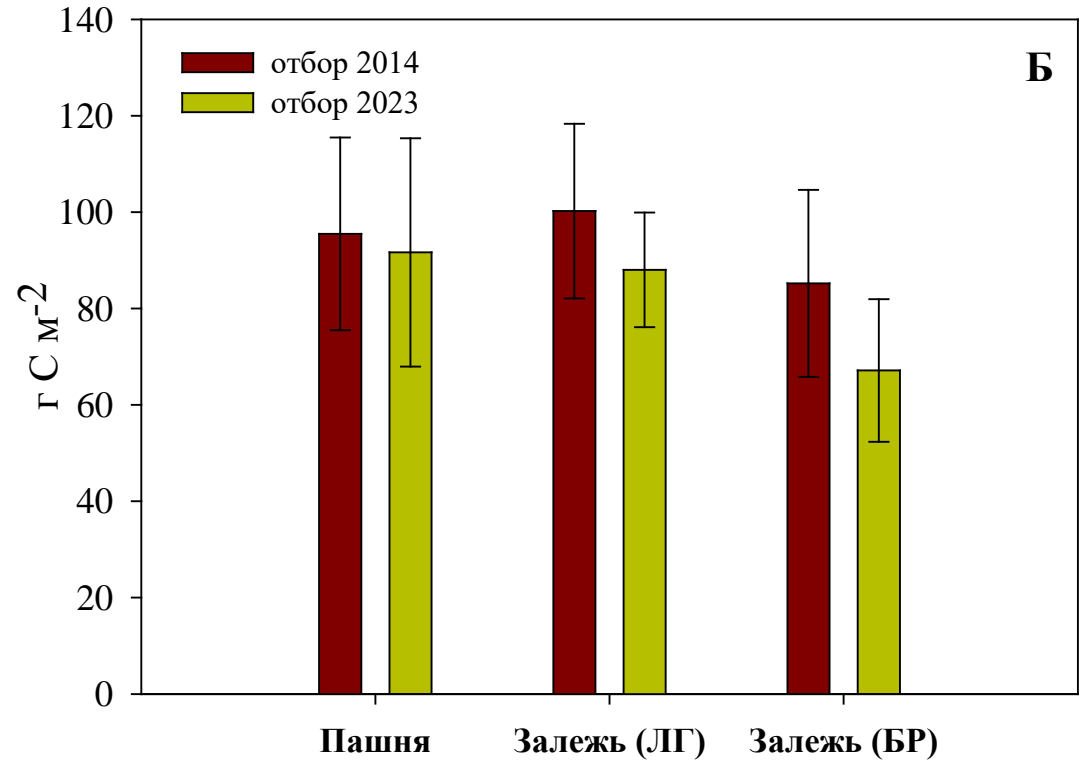
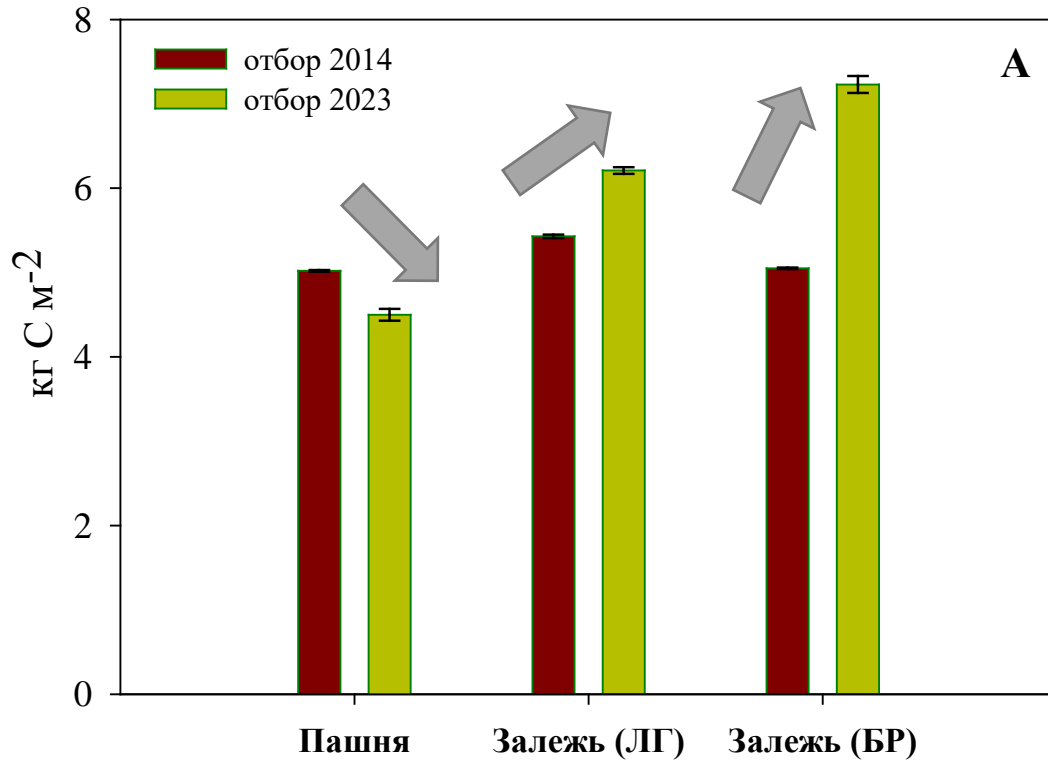
Серая суглинистая почва



! Оценка изменений
за последние 9 лет (2014-2023)

Запасы углерода (А) и углерода микробной биомассы (В) в почве (0-30 см) агрогенных и постагрогенных экосистемах

Согласно геоботаническим описаниям за 9 лет наблюдали увеличение проективного покрытия залежи с молодым березовым лесом. Подрост деревьев в динамике увеличился с 2-4 м до 6-13 м.

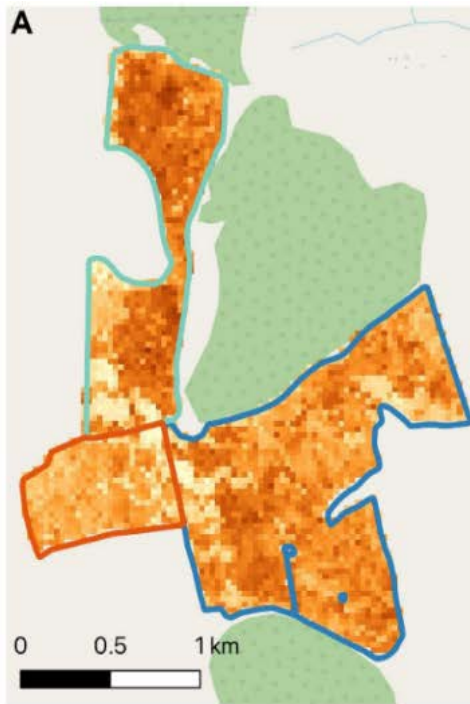
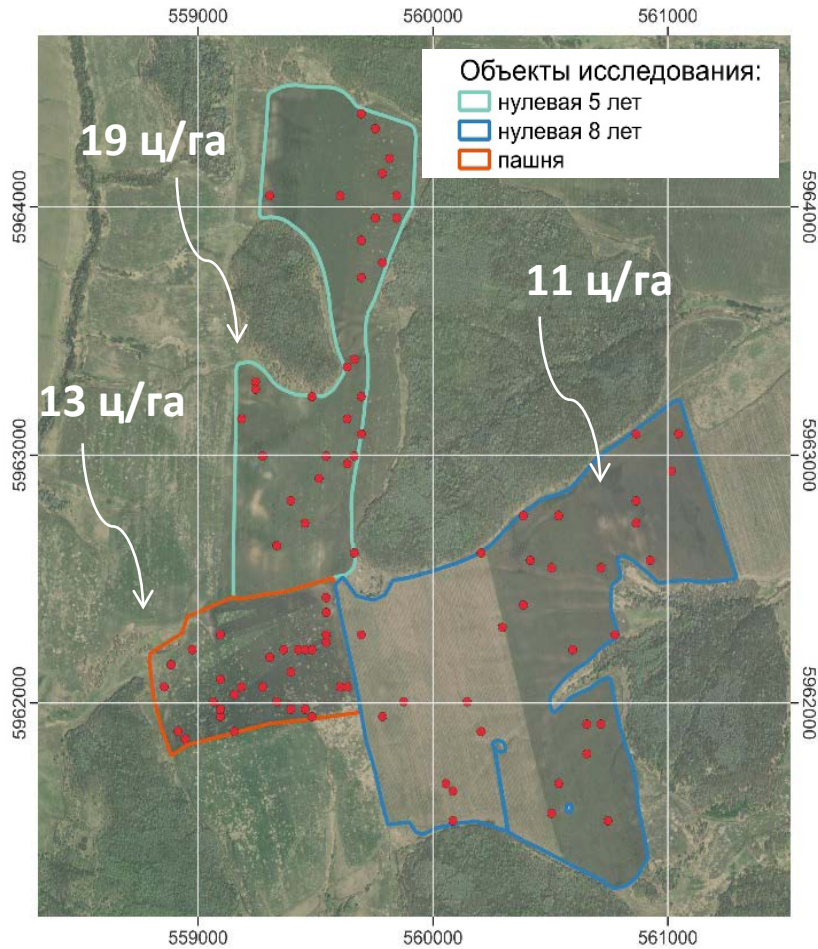


- за последние 9 лет актуальная скорость изменений запасов С:
- на пашне потери С достигают $0.58 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$
 - на залежах происходит его накопление со скоростью 0.87 и $2.40 \text{ т С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$

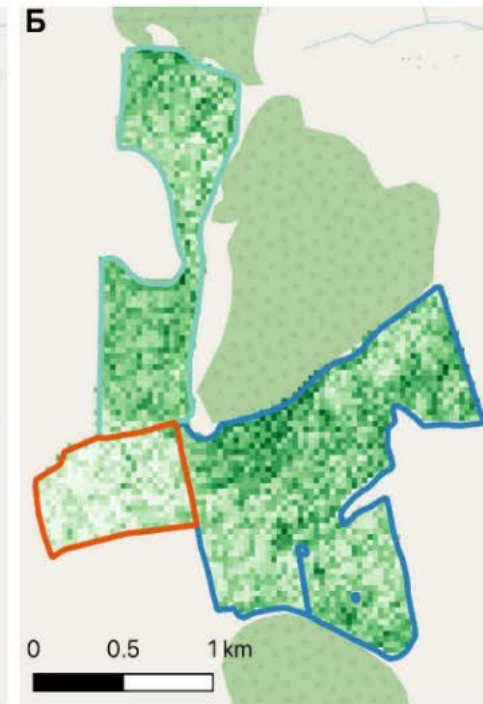
3. Оценка эффективности различных приемов земледелия для сохранения и накопления С в почве и снижения его потерь в виде CO₂ (Самарская, Московская и Ленинградская области)

*Исп. К.В. Иващенко, С.В. Сушко, О.Э. Суховеева, Ю.А. Дворников,
Д.А. Хорошаев, Д.А. Соколов, В.А. Маханцева, А.Б. Азарова, Л.А. Мирный*

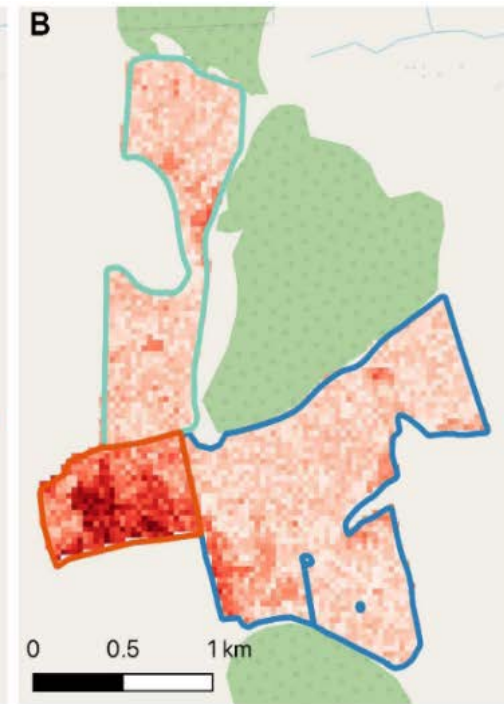
Нулевая обработка почвы: сотрудничество с индустриальным партнером «Орловка-АИЦ» (агрочернозем, Самарская обл.)



Запасы $C_{орг}$, кг С м⁻²



МАОМ:РОМ

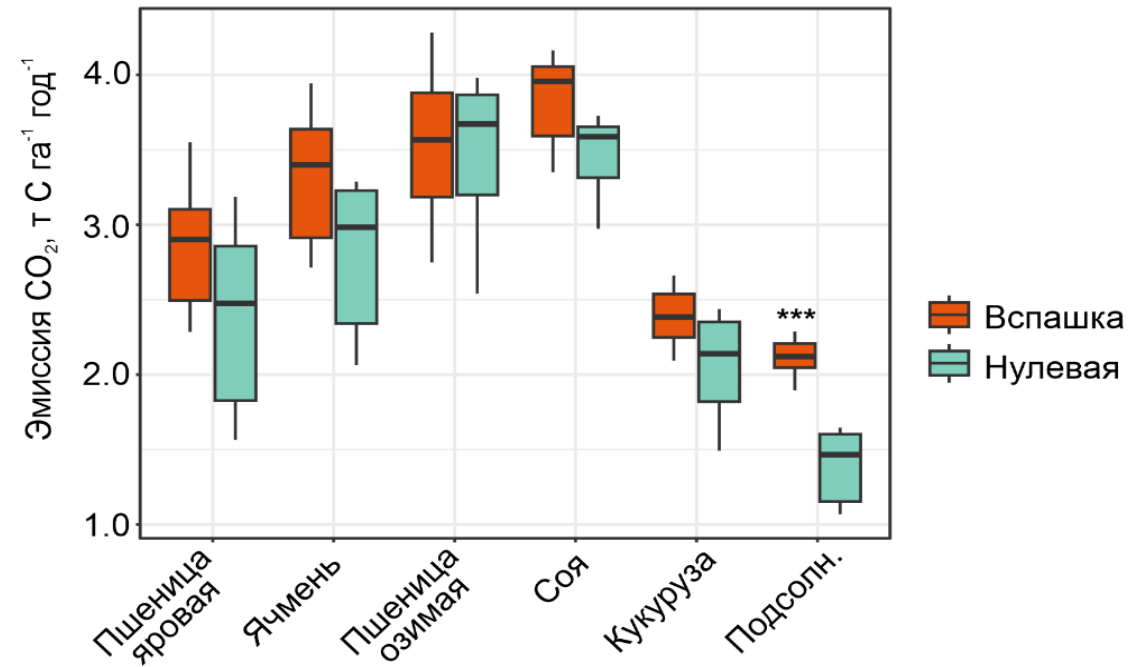
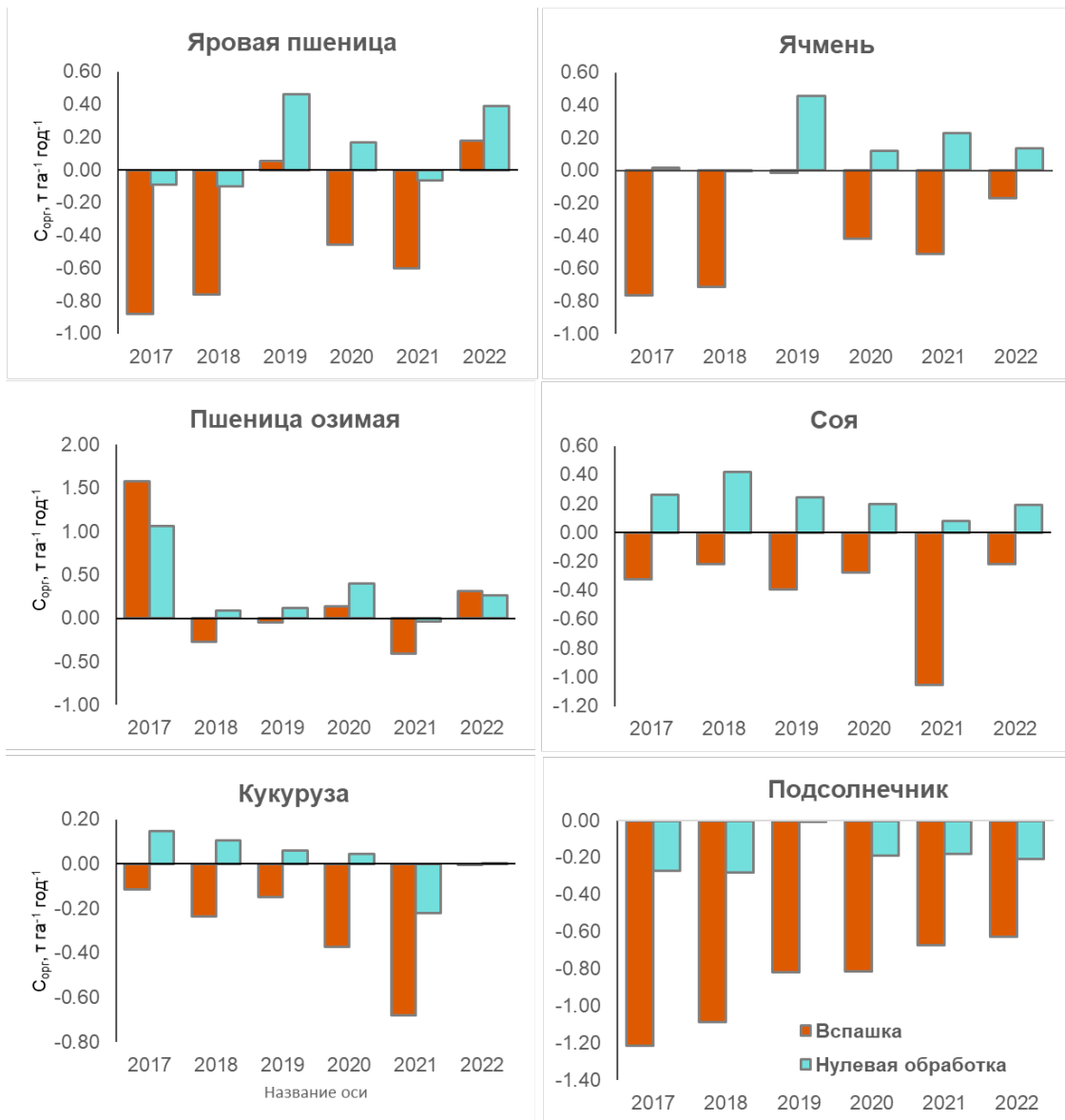


БД: $C_{орг}$, мкг С г⁻¹ С ч⁻¹



- **Скорость накопления $C_{орг}$ 0.43 и 1.22 т С га⁻¹ год⁻¹ (значимые изменения запасов в 0-10 см слое) ежегодный доход с 1-го га на ~2000-4000 руб. при продаже углеродных единиц на бирже**
- **МАОМ:РОМ значительно увеличивается от пашни к нулевой обработке в 1.5-2.1 раза**
- **Снижение потерь С в виде CO₂ и его «закрепление» в микробной биомассе**

Результаты моделирования DNDC (2017-2022 гг.)

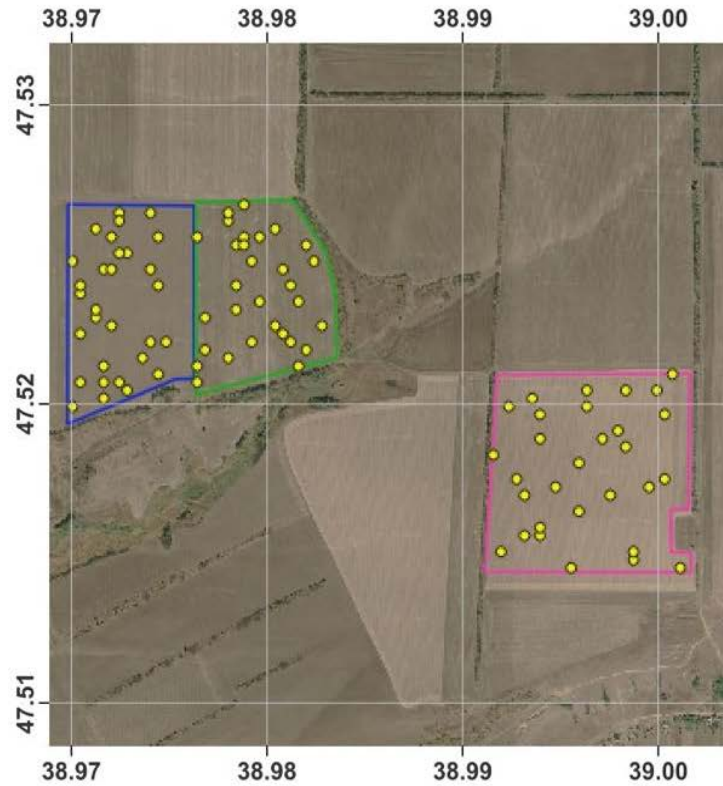


➤ **Снижение почвенной эмиссии CO₂ на 15% (в основном за счет уменьшения микробного дыхания)**

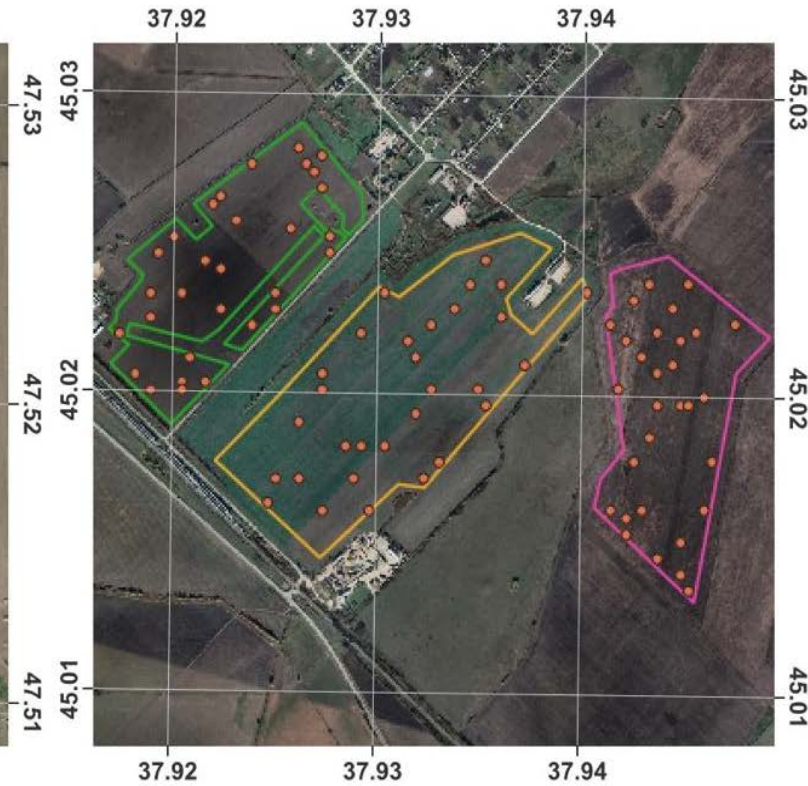
➤ **Скорость накопления C_{орг} 0.02-1.07 т С га⁻¹ год⁻¹**

Рекогносцировка: агрохозяйства в Ростовской обл. и Краснодарском крае (ноябрь 2023 г.)

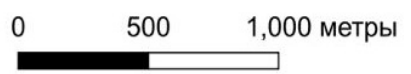
Ростовская область,
Матвеево-Курганский р-он



Краснодарский край,
Крымский р-он



Всего 180 точек исследования,
(0-10 и 10-30 см, всего 360 образцов). В каждой точке
определена плотность сложения.

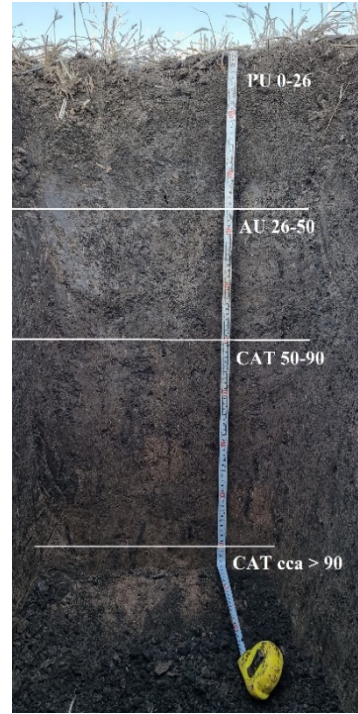
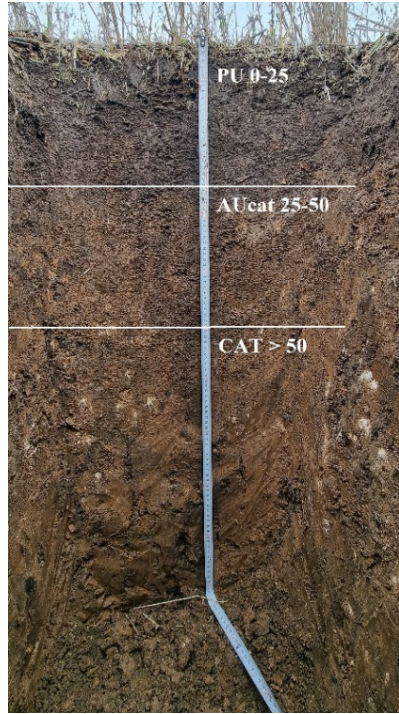
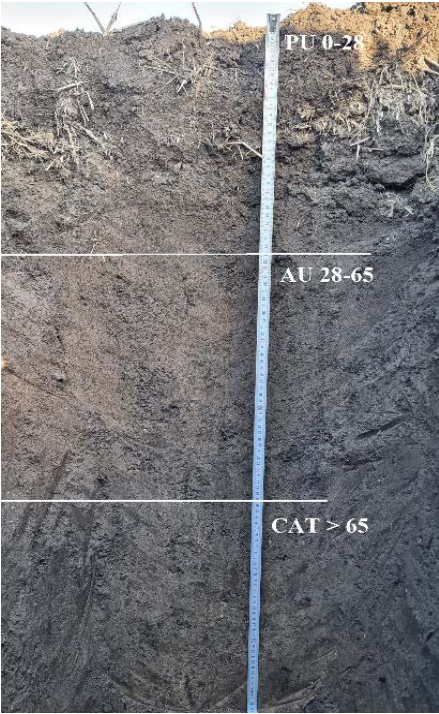


- Пашня
- Нулевая 14 лет
- Нулевая 11 лет
- Нулевая 8 лет



Почвенные разрезы (ноябрь, 2023 г.)

Ростовской обл.

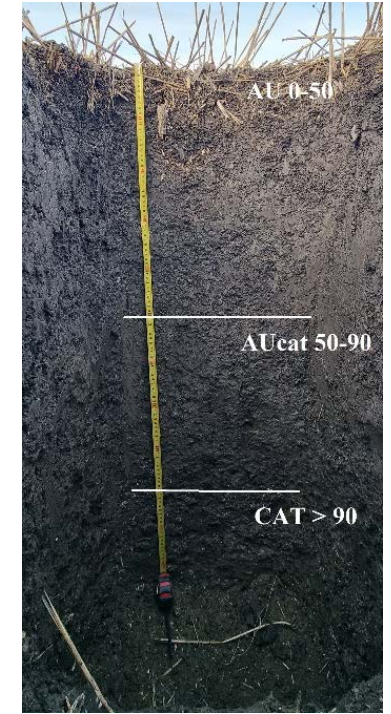
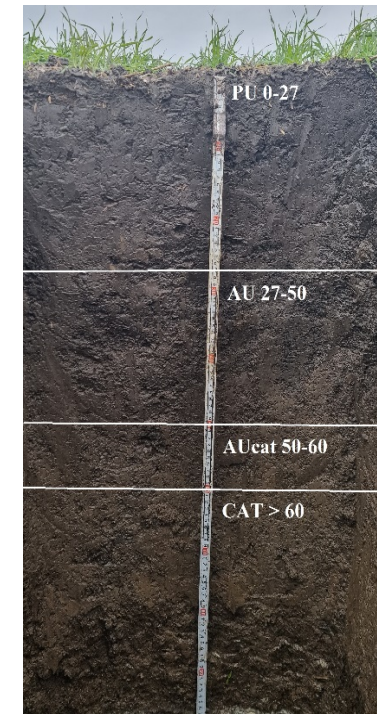


Пашня

Нулевая, 11 лет

Нулевая, 14 лет

Краснодарский край



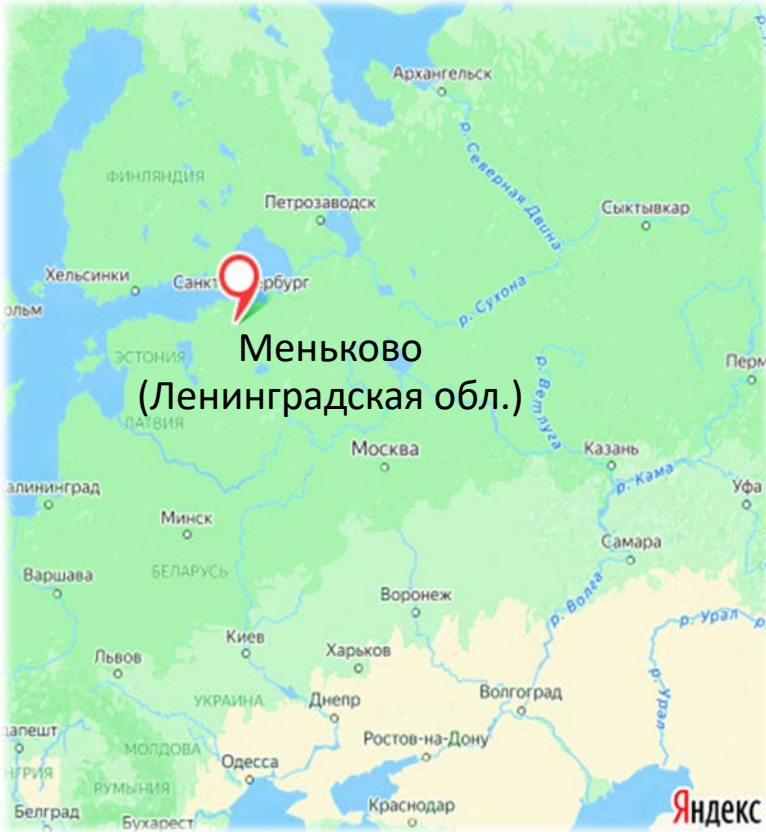
Пашня

Нулевая, 11 лет

➤ **Агрочернозем**

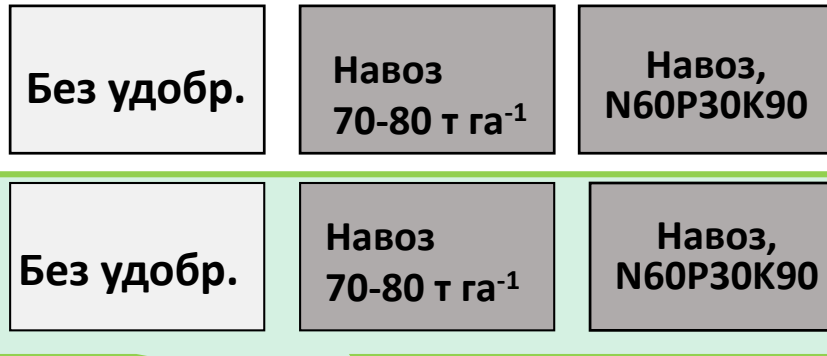
Влияние разных систем удобрений на почвенную эмиссию CO₂

Меньковская опытная станция
Агрофизического института



Южная тайга: среднегод. темп. 4.5 °С, осадки 684 мм

Схема полевого эксперимента (с 2006 г)



- Отвальная вспашка
- Зерно-травяно-пропашной севооборот

*Сидерация с 2020 г.
промежут. (люпин, рапс, горчица)*

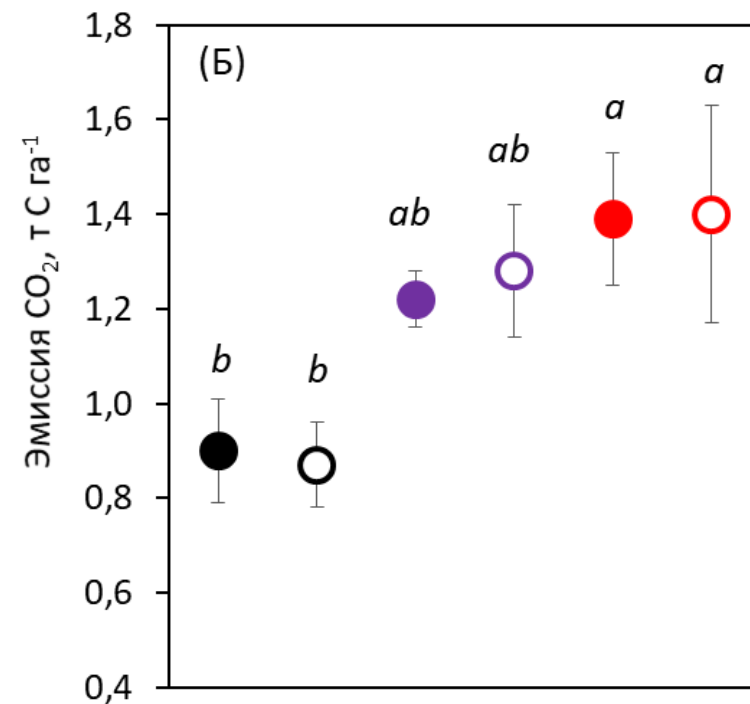
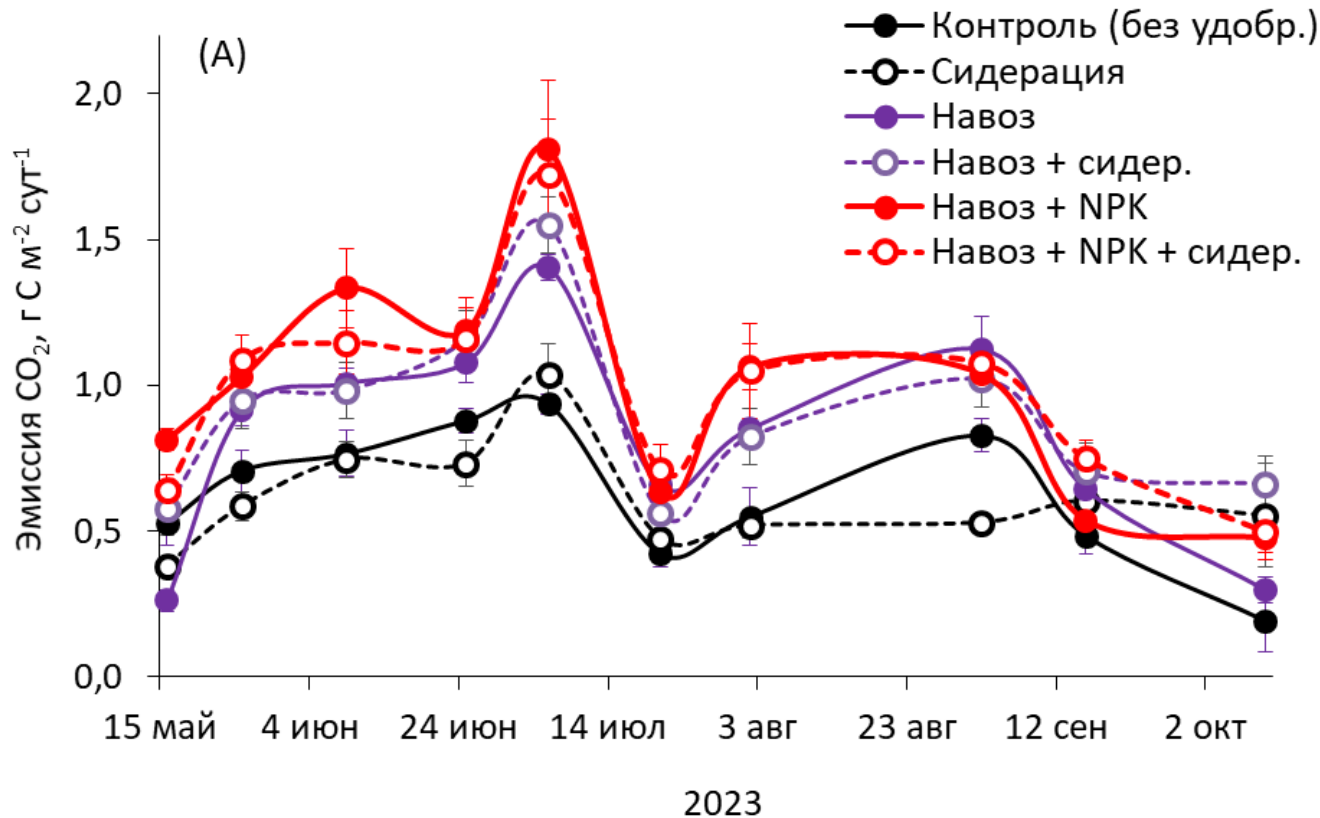
Измерение эмиссии CO₂:

- 5 точек для каждого варианта + фоновый лес (всего 35)
- каждые две недели



Измерение 16.05.2023

Динамика CO₂ из агродерново-подзолистой почвы (май-октябрь 2023)



- Только сидерация не привела к заметному увеличению эмиссии CO₂ по сравнению с контролем
- Основной фактор температура почвы ($R^2=0.43-0.62$), влажность ($R^2=0.04-0.29$)
- Урожайность ячменя +30% при сидерации, +62-87% навоз + NPK + сидерация

Внесение биокомпостов и показатели почвенного С цикла

Опытные поля ФГБНУ ВНИИФ,
агродерново-подзолистая почва
(Одинцовский район, Московская обл.)

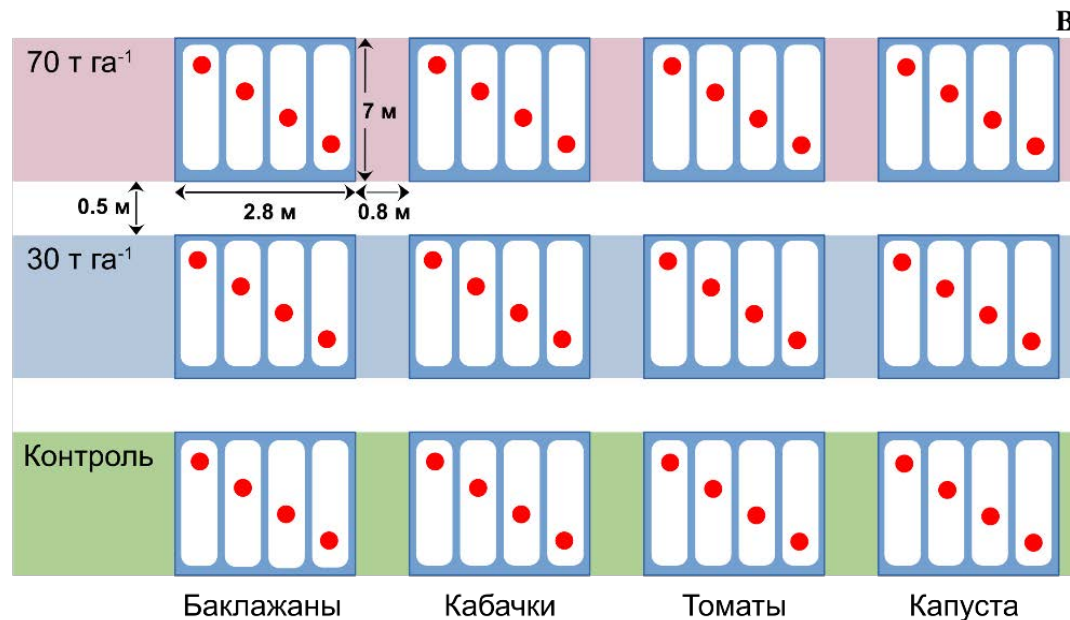
Биокомпост получен на основе пищевых отходов
методом компостирования в климатической
камере (патент RU2751178C1)

pH 7.2 (водная вытяжка)

C – 16.4%

N – 1.6%

C:N – 9.9



Внесение (начало июня 2022 г.):

смесь древесной щепы размером ~2 см (20%) и
биокомпоста (80%)

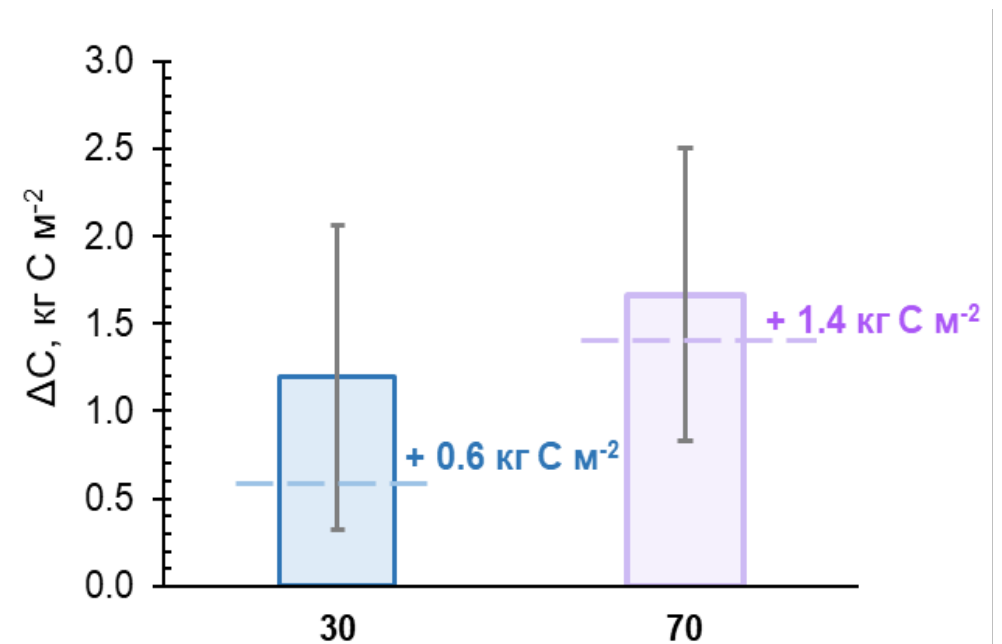
Доза: **30 и 70 т га⁻¹** с последующей ее заделкой
дисковыми боронами на глубину 0-20 см

Урожайность, запасы С и эмиссия CO₂ из агродерново-подзолистой почвы

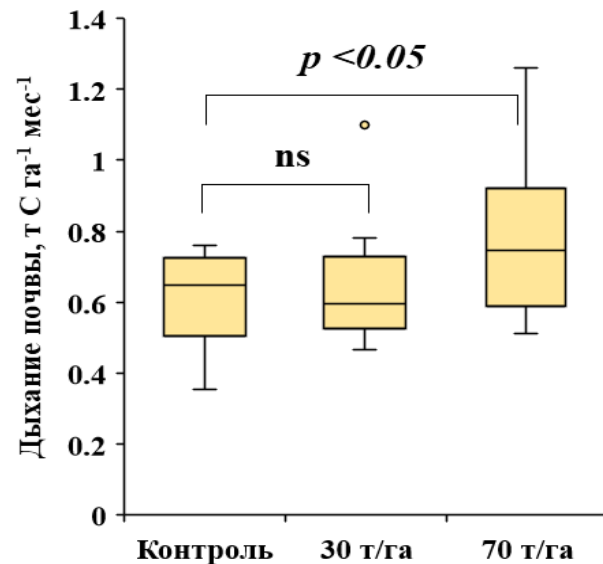
Урожайность, кг м⁻²

Культура	Урожайность, кг м ⁻²		
	Контроль	Биокомпост, т га ⁻¹	
		30	70
Баклажан	5.18	14.70	7.62
Томаты	0.79	0.70	0.85
Кабачок	6.06	7.13	9.05
Капуста	1.03	0.84	1.52

Изменение запасов С (0-30 см) спустя 5 мес. после внесения биокомпоста



Дыхание почвы (июль-октябрь, 2023)



➤ **Оптимальная доза биокомпоста: 30 т га⁻¹, что соответствует 0.6 кг С м⁻²**

4. Оценка сезонной динамики доли микробного и корневого компонентов в общем дыхании почвы на примере лесного и лугового ценозов южного Подмосковья

Исп. Д.А. Хорошаев, С.А. Урабова, Е.Л. Бабенко

Сезонная динамика вкладов микробного и коревого дыхания в общий поток CO_2 в почве луга и леса (зона смешанных лесов, Приокско-Террасный биосферный заповедник, Московская обл.)

Косимый луг



Хвойно-широколиственный лес



Метод исключения корней. Гетеротрофное дыхание определяли в почве (дерново-подбур) без корней. Почву просеивали через сито 3 мм и укладывали с сохранением порядка горизонтов. Ширина изоляторов 20 см, глубина установки 45 см

Установка изоляторов для определения HR



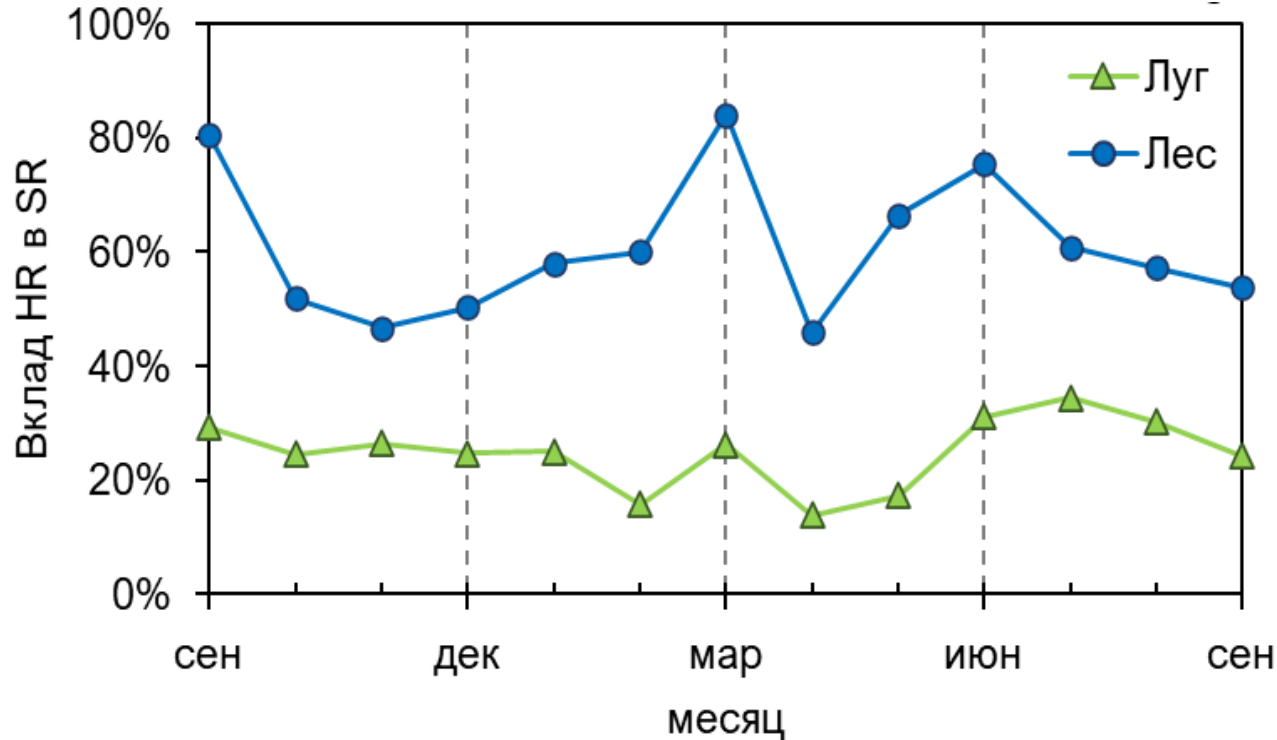
Зимой высоту камер наращивали



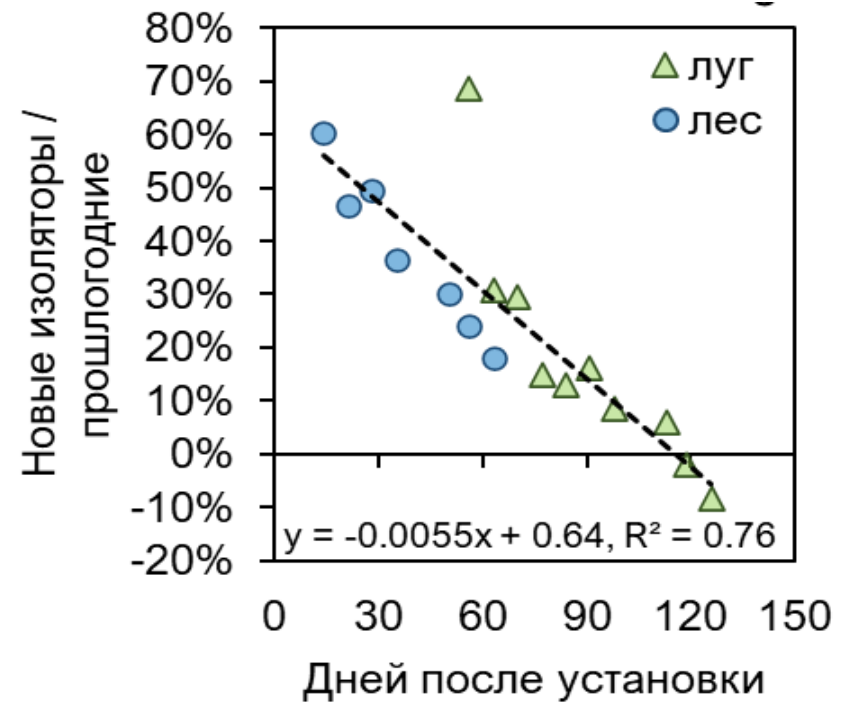
Определение общего дыхания почвы летом



Сезонная динамика дыхания гетеротрофных микроорганизмов (сентябрь 2022-сентябрь 2023)



Стабилизация потоков CO₂ из почвы внутри изоляторов после их установки

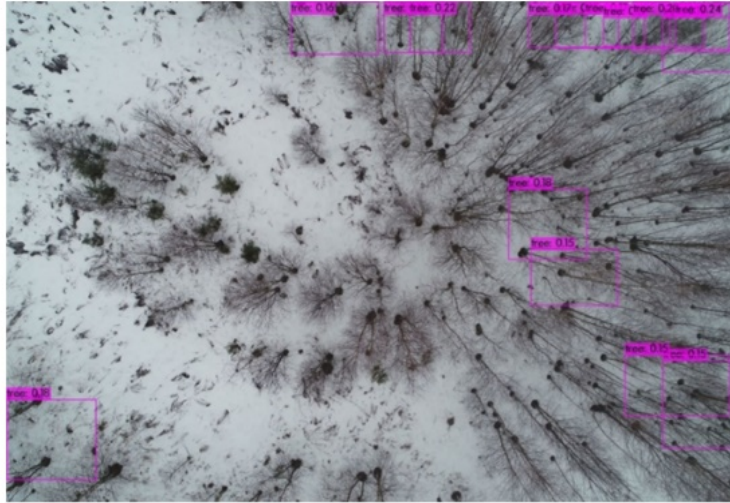
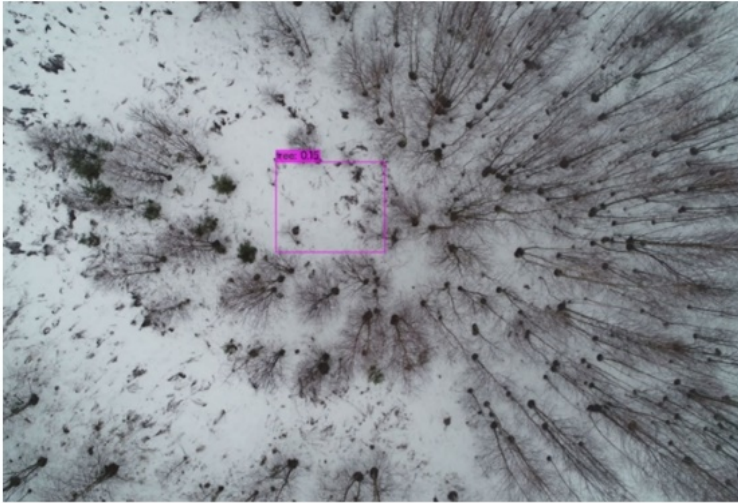


- Вклад HR в дыхание почвы леса существенно выше (~60%), чем луга (~25%)
- После 4 месяцев установки изоляторов отмечается стабилизация потоков CO₂

5. Автоматизация процесса детекции отдельных деревьев в молодых лесах на основе анализа аэрофотоснимков с целью последующей оценки запасов С в фитомассе

Проведена аэрофотосъемка зарастающих лесом участков
(опытно-полевая станция ИФХиБПП РАН, Московская обл.) в марте, июле, октябре
2022 года, а также в январе и марте 2023 года

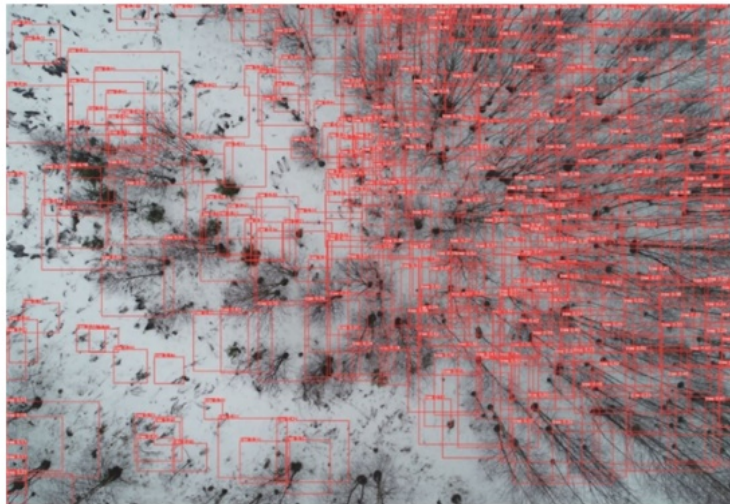
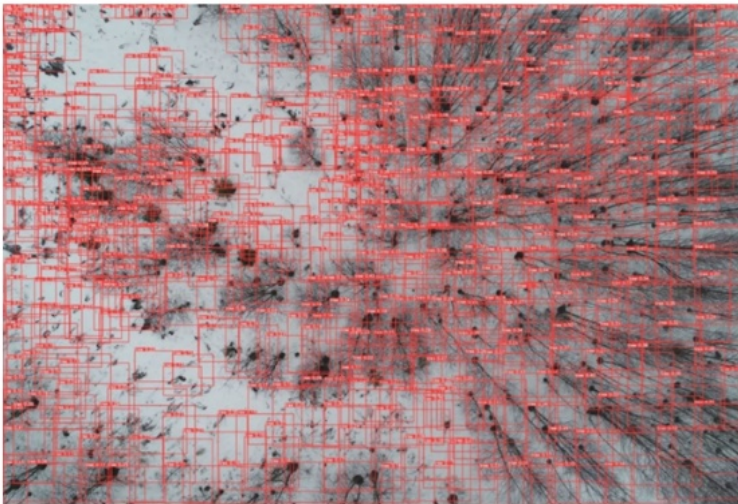
А



Б

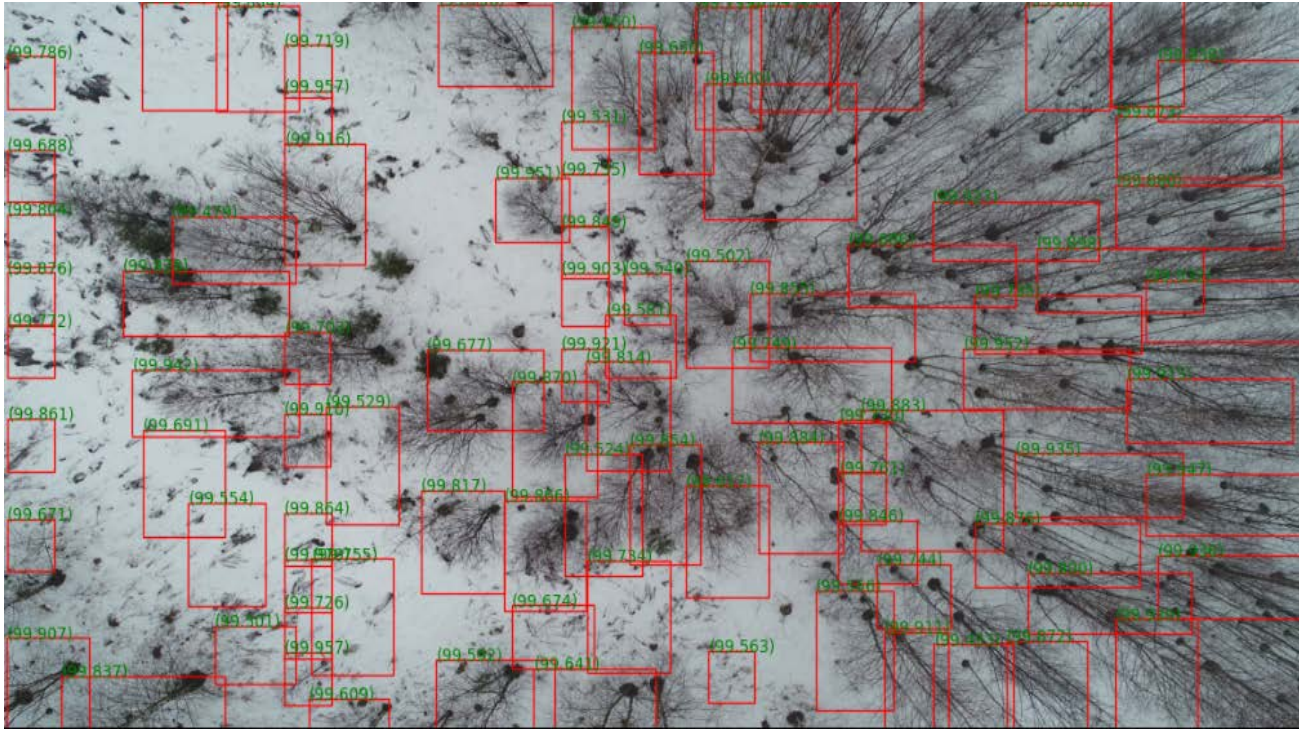
**Снимки
обработаны**
(А) – базовая
YOLOv4,
(Б) – YOLOv4
предобученная на
наборе данных
MS-COCO,
(В) – базовая
YOLOv5,
(Г) – YOLOv5,
предобученная на
наборе данных
MS-COCO

В

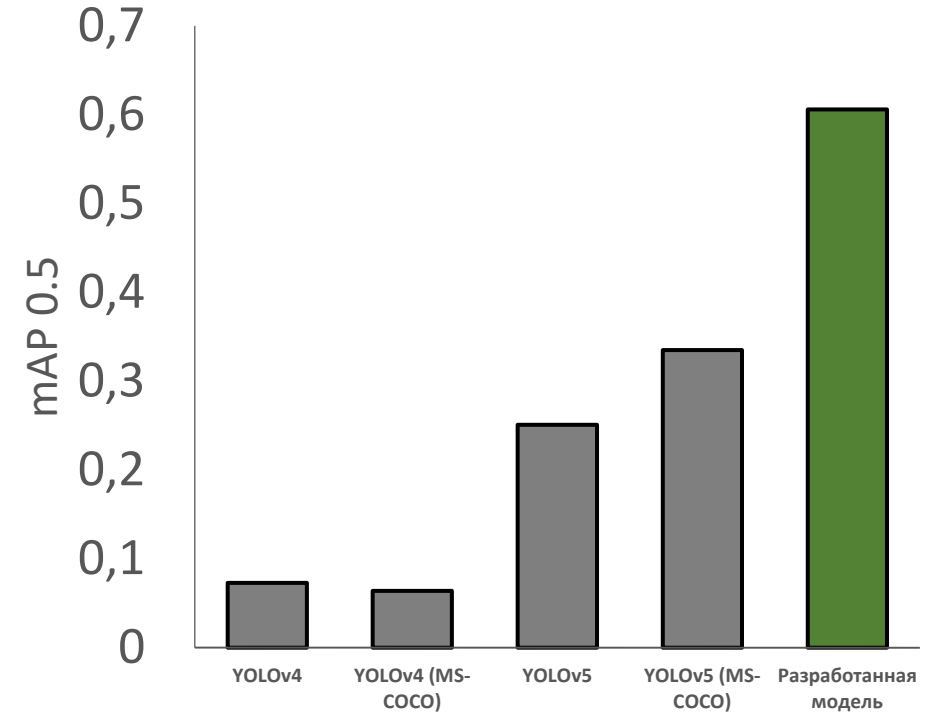


Г

Результат детекции деревьев на том же снимке с помощью разработанной модели на основе YOLOv4, порог уверенности = 0.99



Эффективность работы нейросетевых моделей на одном и том же наборе изображений



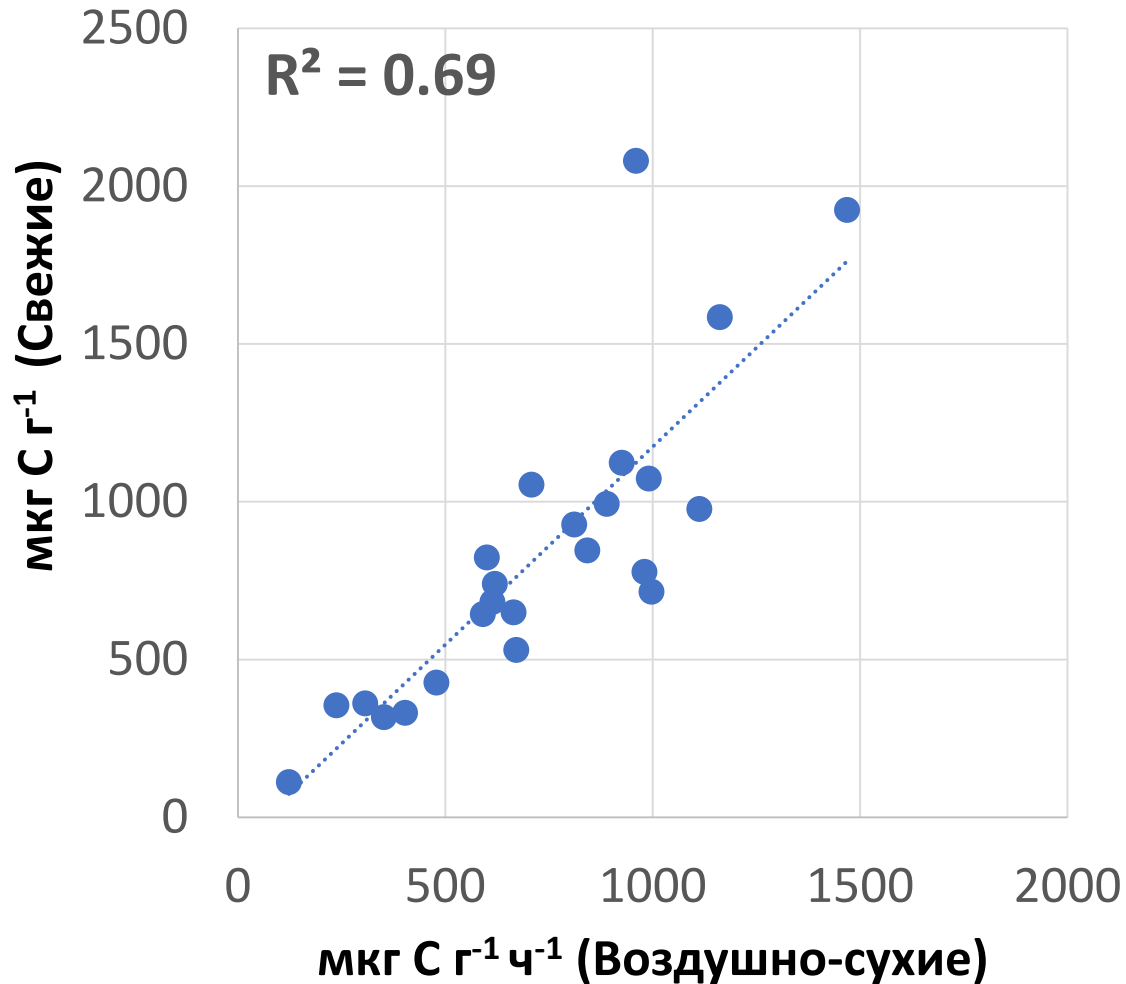
Обучение модели - 102 снимка (7710 выделенных вручную деревьев)

- Разработана модель на основе архитектуры YOLOv4, в которую была добавлена пред- и постобработка данных. Разработанная модель показала существенно лучший результат по метрике mAP 0.5 по сравнению с базовыми нейросетевыми архитектурами

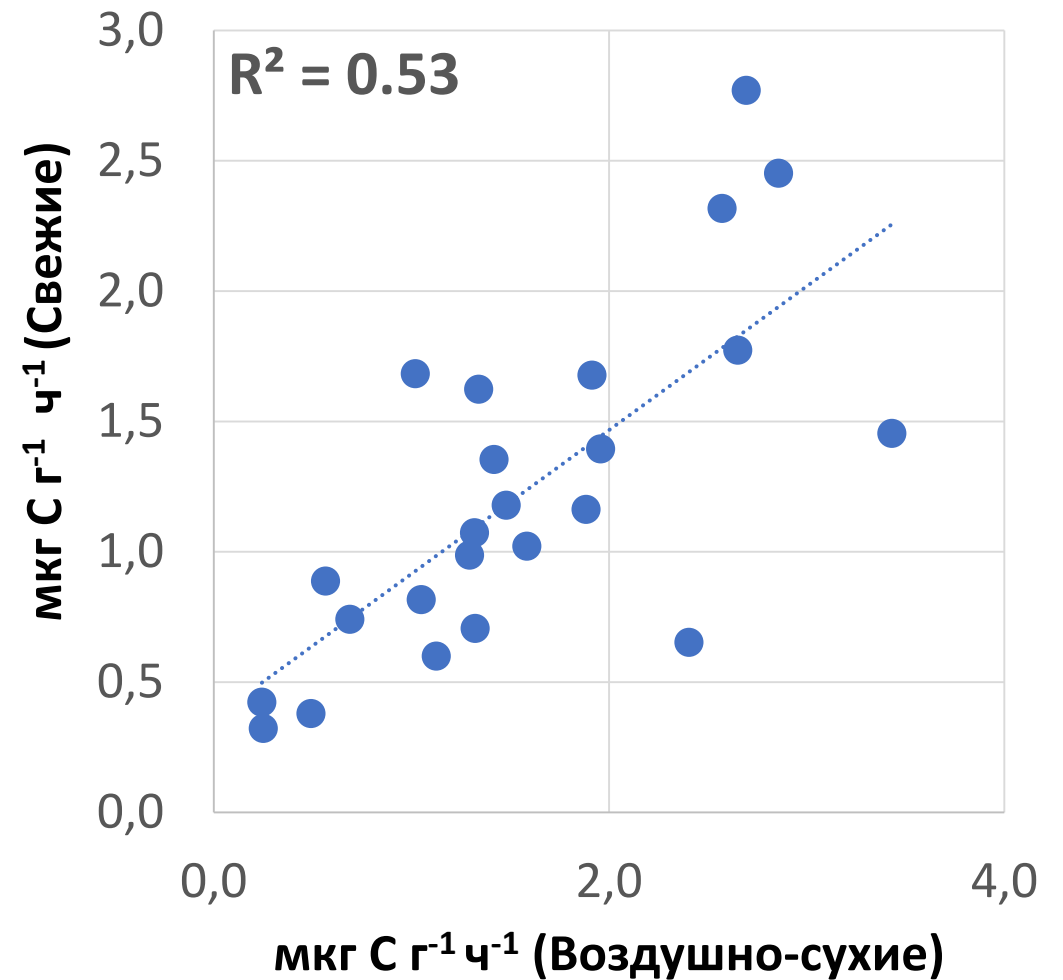
Методические вопросы, связанные с определением микробной биомассы и микробной активности почвы

Свежие образцы vs Воздушно-сухие образцы (на примере почв Подольского района, Московская обл., n=24)

Микробная биомасса (метод СИД)



Базальное дыхание



Определение микробной активности почвы в полевых условиях – метод Tea bag index (TBI)



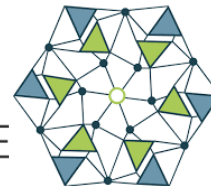
Зоны	МАТ °C (1991-2020)	МАР mm (1991-2020)	Экосистема
Лесотундра	1.08	521	Фон / Город
Северная тайга	0.04	568	
Смешанные леса	6.26	712	
Широколиств. леса	6.51	610	
Лесостепь	7.13	631	
Степь	10.30	604	

- Стандартные чайные пакетики (Lipton)
- Альтернативные чайные пакетики (Berton green and Vkusvill rooibos)
- Верхний слой (0-8 см), 90 дней (начало июня 2021 г.)
- Отбор образцов почвы (верхний слой, 0-8 см)

Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий (карта для ВУЗов, м-б 1:8 000 000) (отв. ред. Г.Н. Огурева). М. 1999.



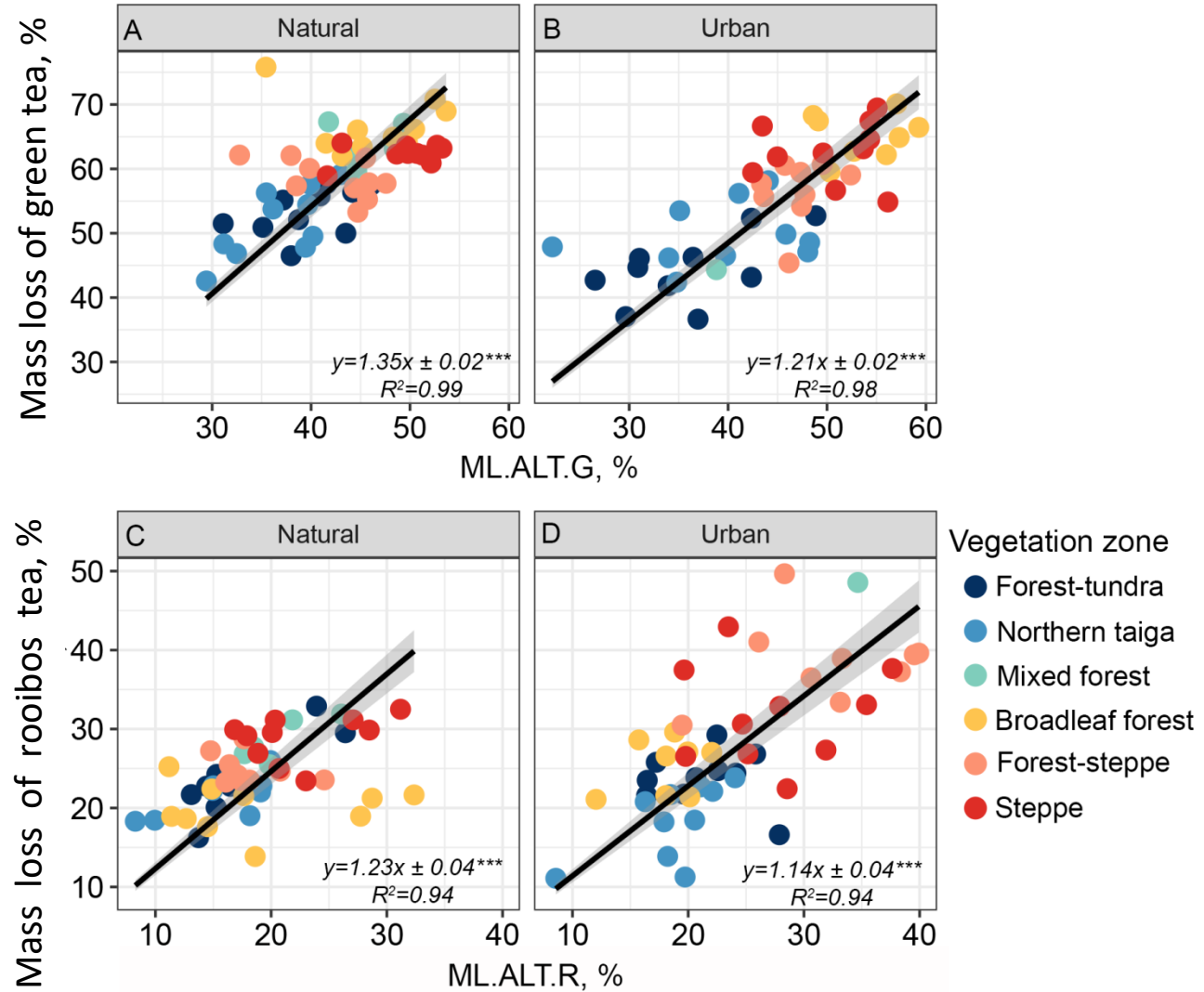
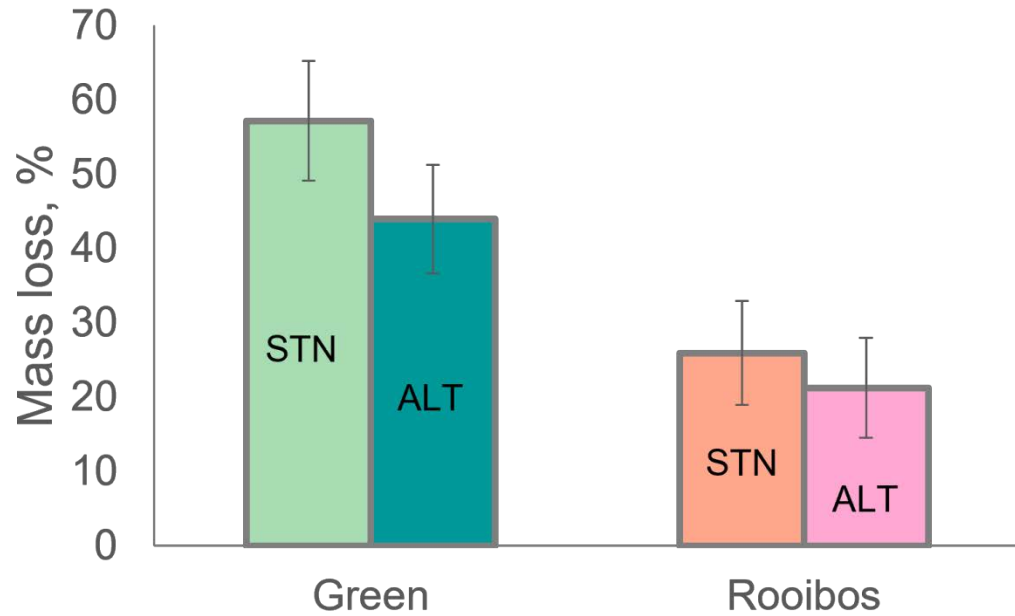
SMART
URBAN
NATURE



ФИЦ
КНЦ
РАН



Потеря массы стандартных чайных пакетиков (STN) и альтернативных (ALT), доступных в России



Индикаторы

- ✓ Конференции (выступление с докладом) – 19
- ✓ Проведение стажировок – 2
- ✓ Статьи в отечественных журналах – 3
- ✓ Статьи в международных журналах – 4 (Q1-Q2)
- ✓ Публикации в отечественных сборниках – 11
- ✓ Участие в выставках – 1
- ✓ Участие в грантах – 4 РФФ
- ✓ Хоз. Договор - 1

Список публикаций (статьи)

1. **Хорошаев Д.А.**, Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. Оценка отклика гетеротрофного почвенного дыхания на режим выпадения летних осадков и разную глубину снежного покрова в условиях умеренно-континентального климата // **Почвоведение**. — 2023. — № 11. — С. 1400—1417. DOI 10.31857/S0032180X23600749
2. **Иващенко К.В.**, Сушко С.В., Дворников Ю.А., Мирный Л.А., Орлова Л.В., Ананьева Н.Д., Неприимерова С.В., Юдина А.В., Троц Н.М. Запасы почвенного органического углерода при нулевой обработке почвы в условиях Среднего Поволжья // **Агрохимия**. 2023. — № 12. — С. 47—56. DOI 0.31857/S0002188123110066
3. **Соколов Д.А.**, **Хорошаев Д.А.**, **Маханцева В.А.**, Ананьева Н.Д., **Азарова А.Б.**, Демин Д.В., **Романова А.И.**, **Иващенко К.В.** Показатели углеродного цикла в агродерново-подзолистой почве после внесения биокомпоста: краткосрочный полевой эксперимент // **Агрофизика**. — 2023. — № 4.—С. 40—49. DOI 10.25695/AGRPH.2023.04.06
4. **Sushko S.**, Ovsepyan L., Gavrichkova O., Yevdokimov I., Komarova A., Zhuravleva A., Blagodatsky S., Kadulin M., **Ivashchenko K.** Contribution of microbial activity and vegetation cover to the spatial distribution of soil respiration in mountains // *Frontiers in Microbiology*. — 2023. — V. 14. — P. DOI 10.3389/fmicb.2023.1165045, **Q1**
5. **Kivalov S.**, Lopes de Gerenyu V., Khoroshaev D., Myakshina, T., Sapronov, D., **Ivashchenko, K.**, Kurganova, I. Soil temperature, organic-carbon storage, and water-holding ability should be accounted for the empirical soil respiration model selection in two forest ecosystems // *Forests*. — 2023. — V. 14 (8). — P. 1568. DOI 10.3390/f14081568, **Q1**
6. **Dvornikov Y.**, Grigorieva V., Varentsov M., Vasenev V. Optimal spectral index and threshold applied to Sentinel-2 data for extracting impervious surface: Verification across latitudes, growing seasons, approaches, and comparison to global datasets // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. — 2023. — V. 123. — P. 103470. DOI 10.1016/j.jag.2023.103470, **Q1**
7. **Khoroshaev D.A.**, Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O. Heterotrophic soil respiration response to the summer precipitation regime and different depths of snow cover in a temperate continental climate // *Eurasian Soil Science*. — 2023. — Vol. 56. (11). — P. 1667—1682. DOI 10.1134/S1064229323601932, **Q2**



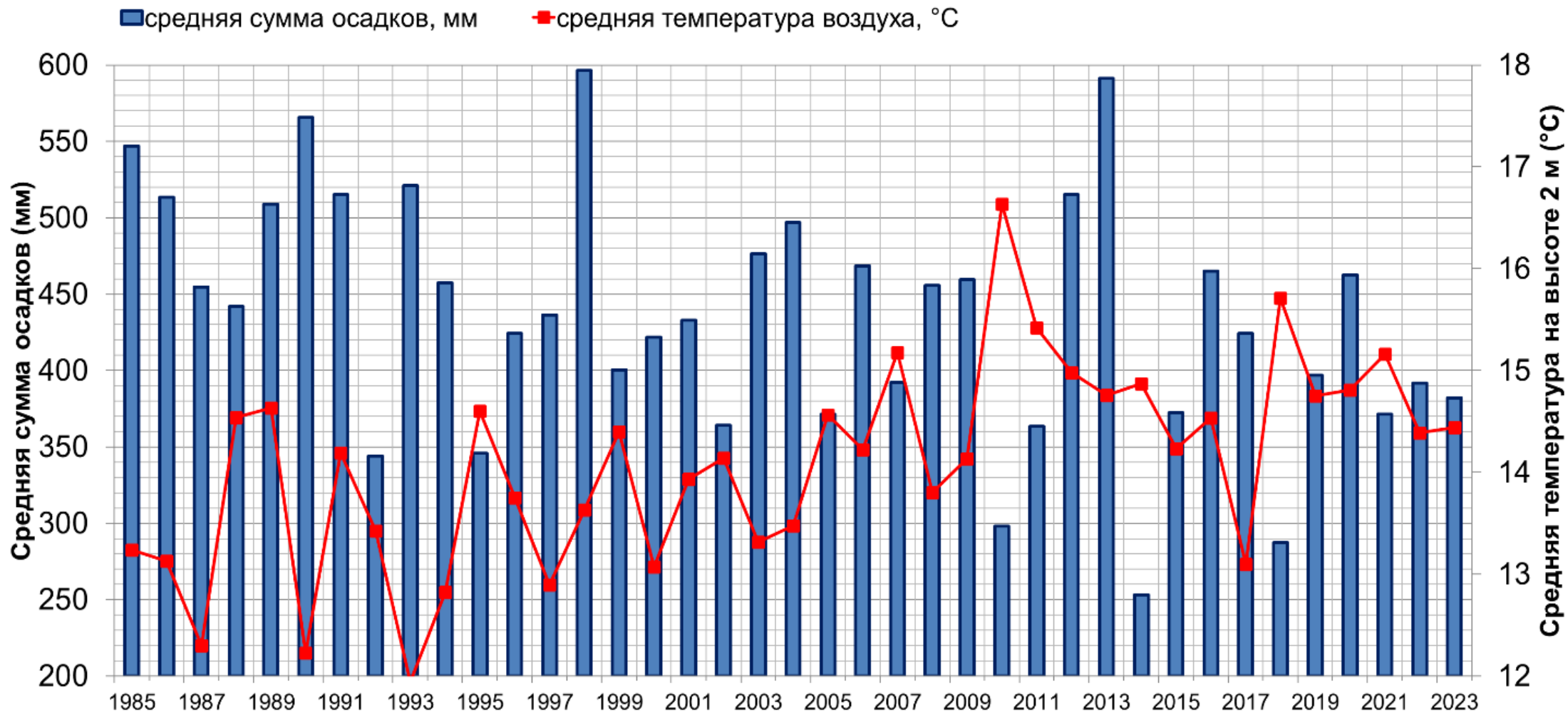
ФИЦ ПНЦБИ РАН

Институт физико-химических и биологических проблем
почвоведения РАН

**Молодежная Лаборатория
карбомониторинга наземных
экосистем**

Спасибо за внимание!

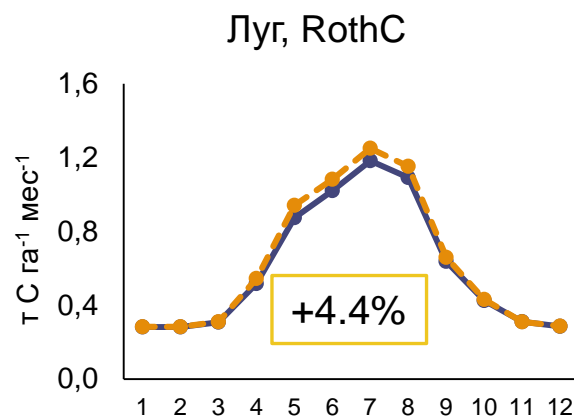
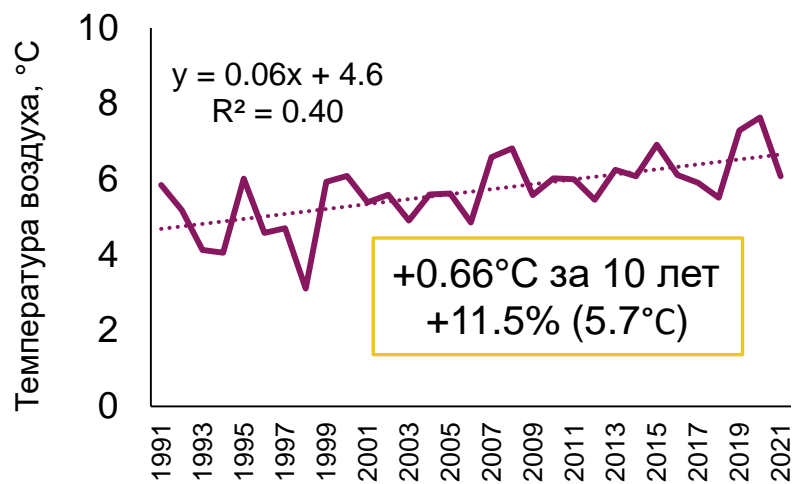
Метеорологические данные с мая по октябрь по данным реанализа ERA5-Land



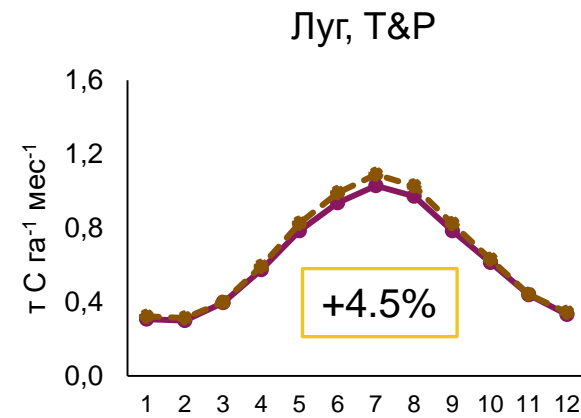
- Условия вегетационного периода стали более теплыми и засушливыми за последние 38 лет (температура увеличилась на 1°С; кол-во осадков сократилось на 150 мм)

6. Параметризация и верификация математических моделей для прогноза динамики эмиссии CO₂ в условиях изменяющегося климата

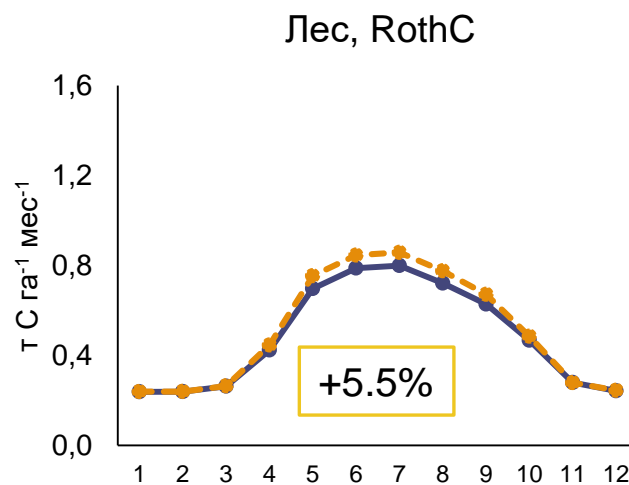
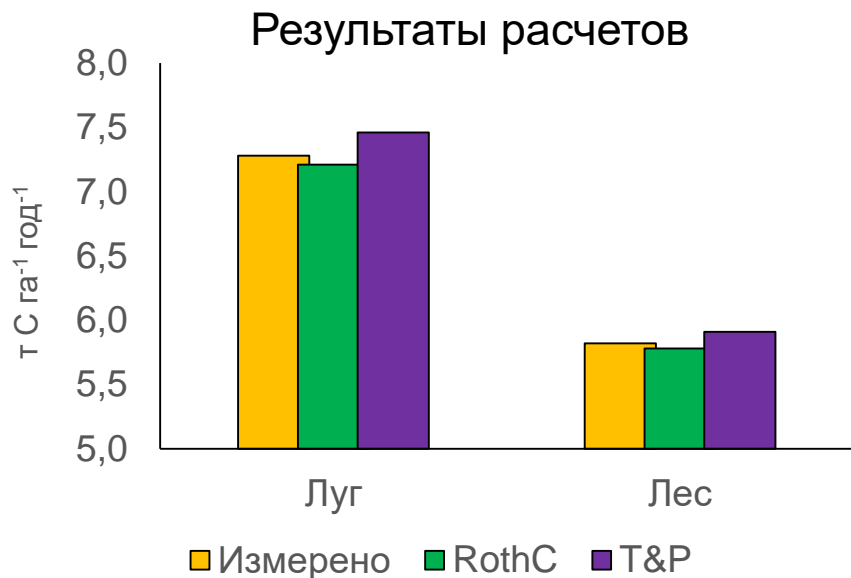
Прогноз изменения почвенного дыхания в дерново-подбуре луга и леса в условиях изменяющегося климата за последние 10 лет



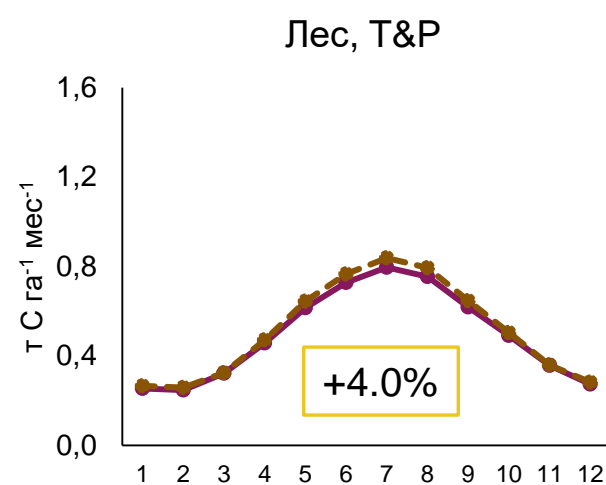
—●— RothC средние современные значения
- - -●- - RothC прогнозные значения



—●— T&P средние современные значения
- - -●- - T&P прогнозные значения

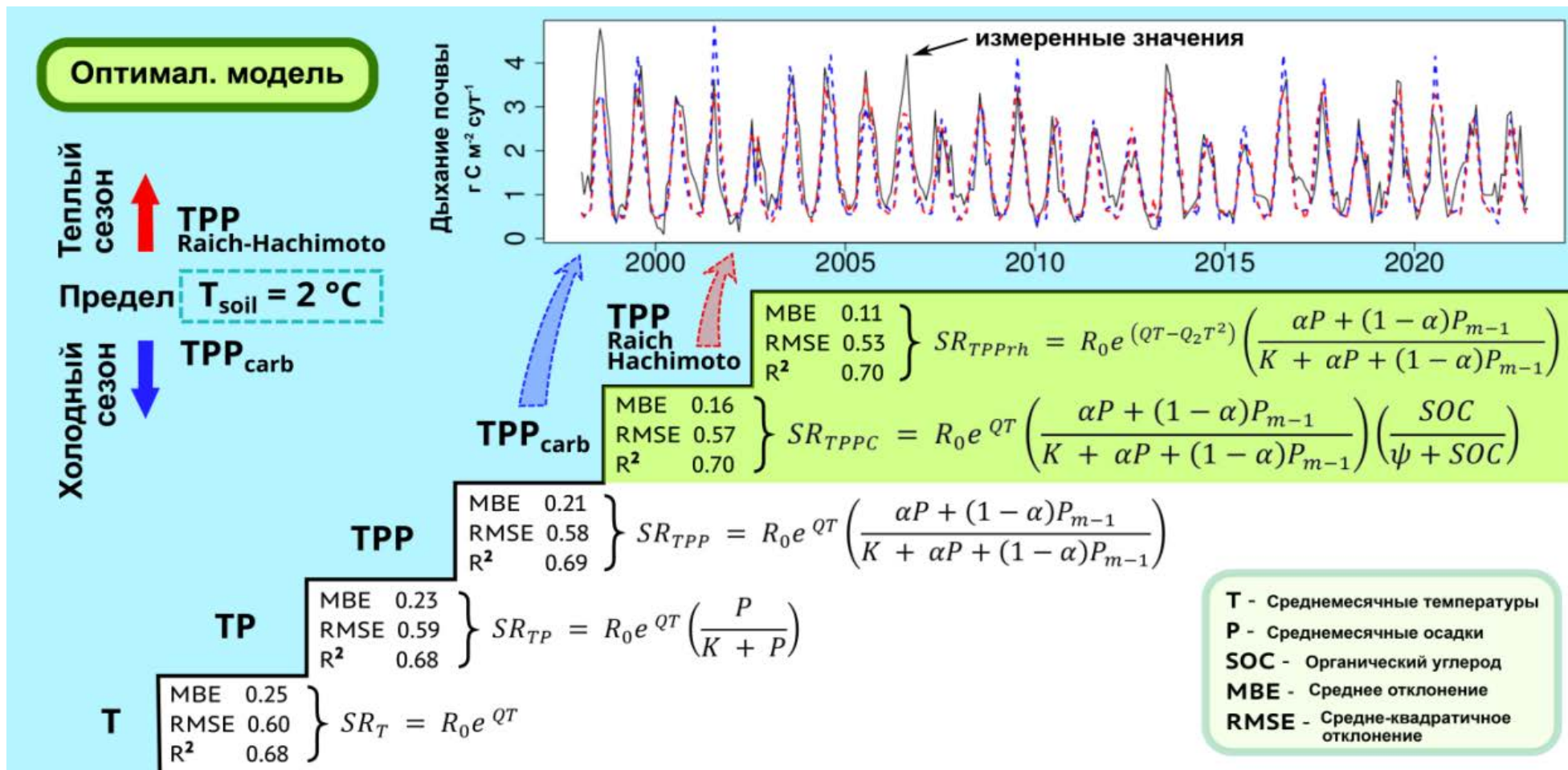


—●— RothC средние современные значения
- - -●- - RothC прогнозные значения



—●— T&P средние современные значения
- - -●- - T&P прогнозные значения

Моделирование дыхания почвы на основе 25-летних измерений (дерново-подбур и серая, лесные экосистемы, южное Подмосковье)



- В теплый период года следует использовать модель типа Райха-Хашимото (Т&Р)
- В холодный период эффективнее модель (Т&Р&С)
- Уровень допустимых ошибок между измеренными и модельными значениями - $1 \text{ г С м}^{-2} \text{сут}^{-1}$