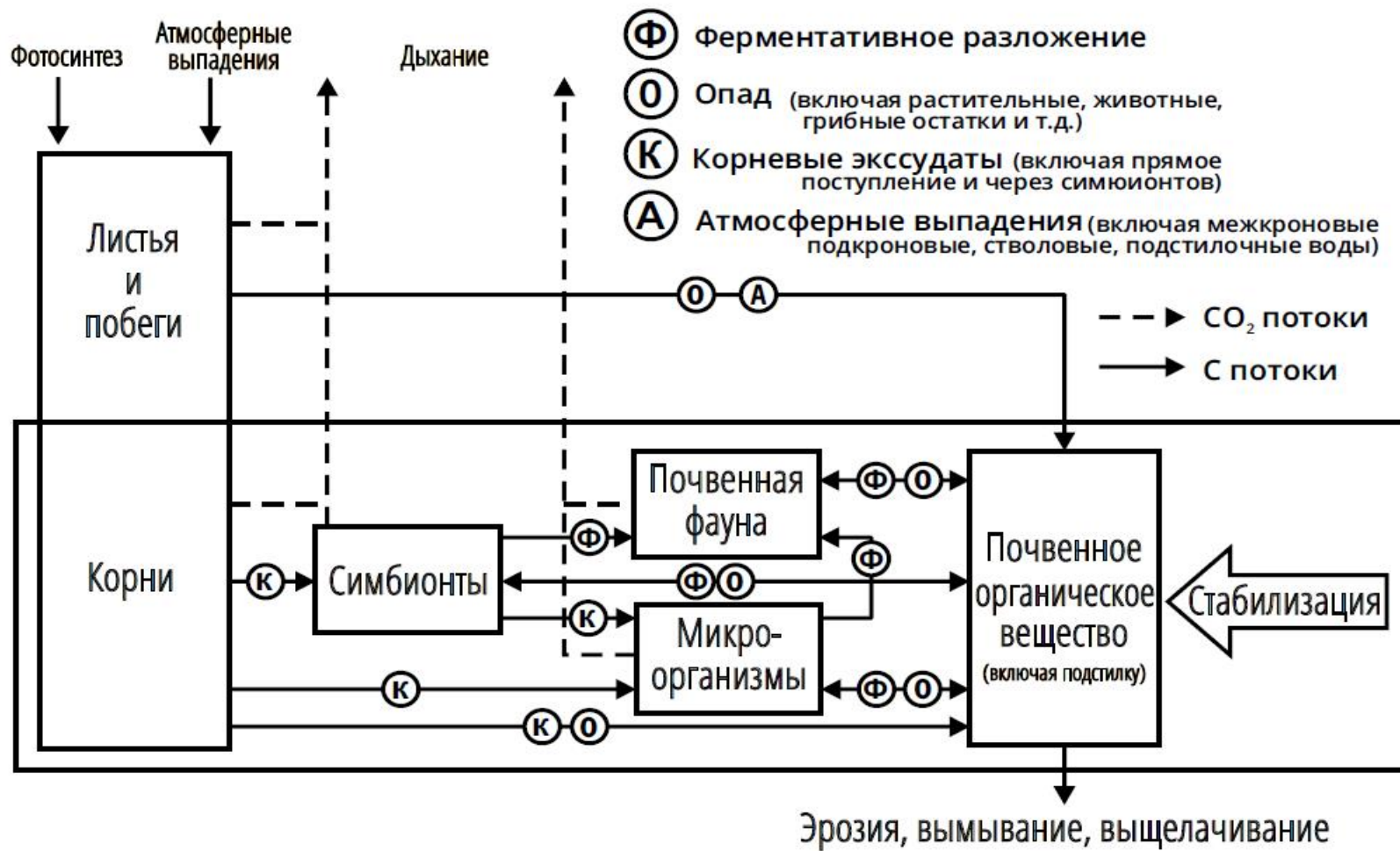




БАЛАНС УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ: УЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОЗАИЧНОСТИ И ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ

ДАНИЛОВА М. А.,
ГЕРАСЬКИНА А. П.,
КОПЦИК Г. Н.,
ИВАНОВА Е. А.,
ШОРОХОВА Е. В.,
ПЛОТНИКОВА А. С. ,
НИКИТИН Д. А.



Потоки углерода в лесной экосистеме по Mayer et al. (2020) с изменениями

Актуальность создания единой Национальной системы мониторинга пулов и потоков углерода в почве

- В настоящее время в нашей стране отсутствует единая национальная система мониторинга пулов и потоков углерода в ПОЧВАХ.
- Государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) позволяет оценить вклад древостоев в цикл углерода, но не предусматривает оценку вклада в цикл:
 - почвенного углерода, доля которого составляет не менее **50% общего пула** всего углерода лесов,
 - углерода **живого напочвенного покрова**, который особенно велик в бореальных лесах, преобладающих в России - до **15% продукции фитомассы**.
- Существует *многолетний агрохимический мониторинг*, предусматривающий регулярную оценку содержания углерода в сельскохозяйственных почвах, НО до сих пор используются устаревшие методы (метод Тюрина) и нет регулярной оценки плотности почв.
- В *других наземных экосистемах* оценки динамики углерода в почвах:
 - не проводятся регулярно,
 - наиболее распространено использование метода Тюрина для оценки содержания углерода,
 - не учитывается биотический фактор регуляции пулов и потоков углерода,
 - исследования по потокам углерода в почвах единичны.

Подгруппа 1. Пулы углерода в почвах - *Данилова Мария Анатольевна, ЦЭПЛ РАН*

Подгруппа 2. Миграция соединений углерода с почвенными водами, атмосферными выпадениями - *Копцик Галина Николаевна, факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова*

Подгруппа 3. Почвенная биота.

Макрофауна - *Гераськина Анна Петровна, ЦЭПЛ РАН*

Микробиота - *Никитин Дмитрий Алексеевич, ЦЭПЛ РАН*

Подгруппа 4. Запас фитомассы и углерода в напочвенном покрове. Химический состав доминирующих растений (древесных и напочвенного покрова) и опада. Количество опада (опадоуловители) - *Иванова Екатерина Александровна, ИППЭС КНЦ РАН*

Крупные древесные остатки - *Шорохова Екатерина Владимировна, СПбГЛТУ им. С.М. Кирова*

Подгруппа 5. Картографирование динамики запасов углерода - *Плотникова Александра Сергеевна, ЦЭПЛ РАН*

Направления
работы
почвенной
группы:

Задачи

Задача 1. Оценка динамики углерода в почвах и живом напочвенном покрове основных наземных экосистем на тестовых полигонах

Задача 2. Обновление конверсионных коэффициентов в существующих Методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов для почв и живого напочвенного покрова в разных природно-климатических условиях

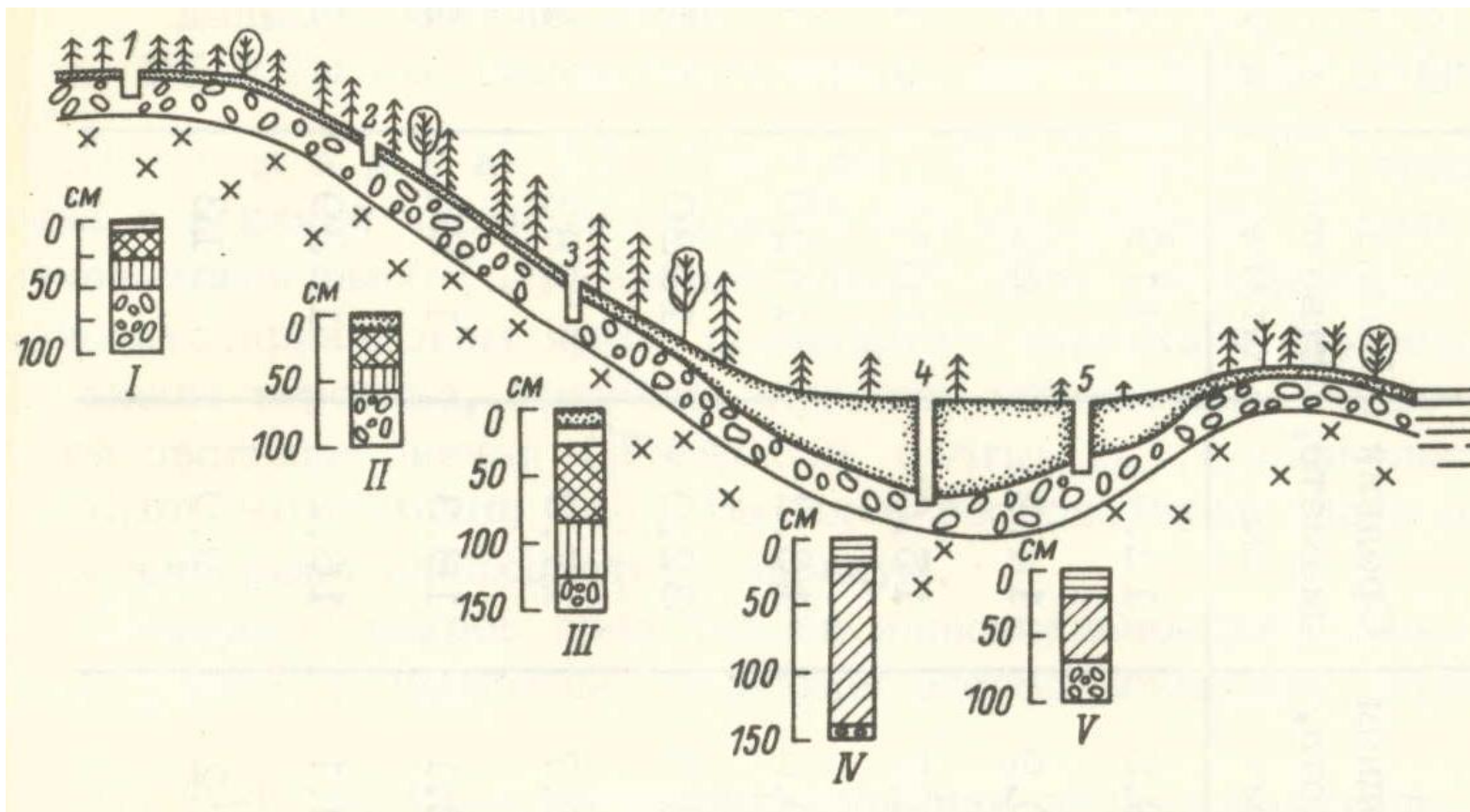
Климат



На территории России представлены 4 климатических пояса:

- арктический,
- субарктический,
- умеренный,
- субтропический

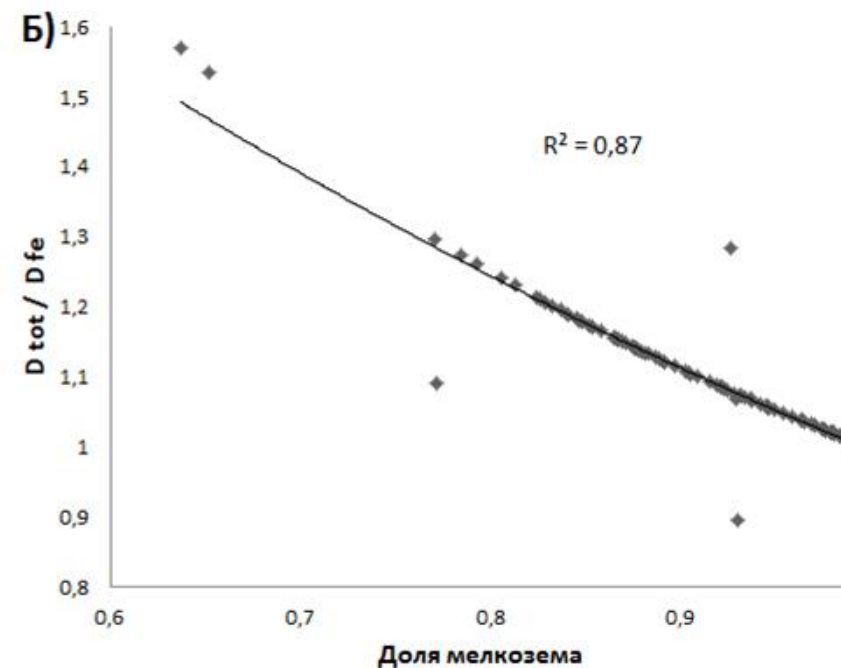
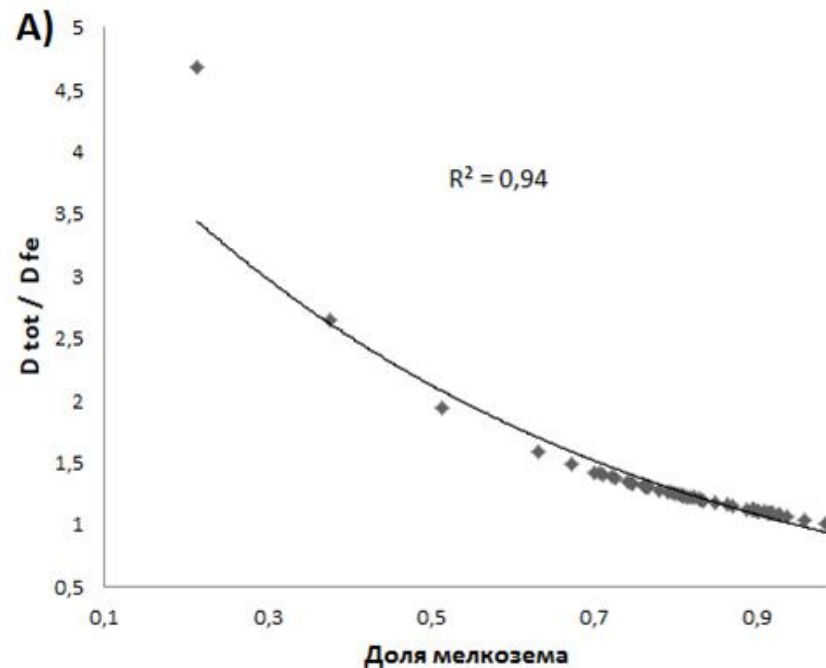
Рельеф



перераспределение потоков
вещества и энергии,
регулирование состава и
продуктивности биоценозов

Почвообразующие породы

Почвы, формирующиеся на богатых почвообразующих породах, содержащих больше тонких частиц (размером <2 мм), отличаются **БОЛЕЕ** высоким уровнем аккумуляции углерода (Лукина Н.В., Кузнецова А.И., Гераськина А.П., Смирнов В.Э., Иванова В.Н, Тебенькова Д.Н., Горнов А.В., Шевченко Н.Е., Тихонова Е.В. Неучтенные факторы, определяющие запасы почвенного углерода в лесах автономных ландшафтов // Метеорология и гидрология, 2022



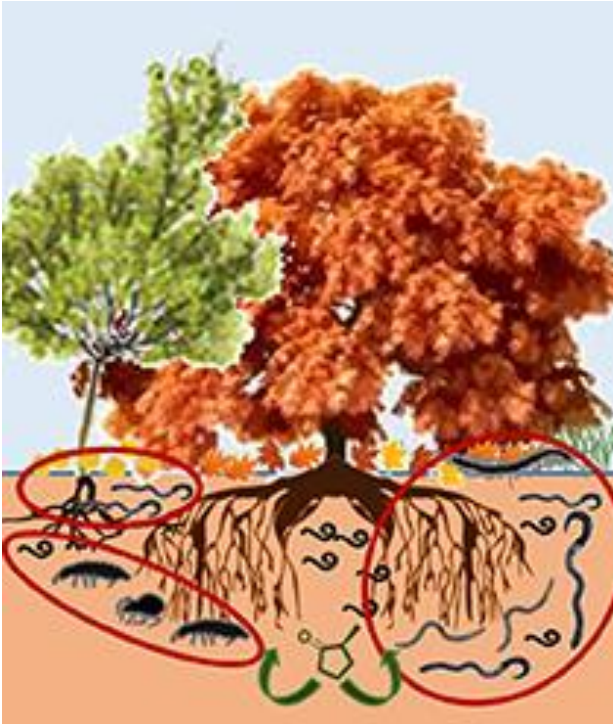
Зависимость отношения общей плотности к плотности с учетом мелкозема от доли мелкозема в почвах Смоленского Поозерья:

А – дерновые почвы пашни и залежи, **Б** – подзолистые почвы лесов.

Примечание. D_{tot} - плотность общая, D_{fe} - плотность с учетом мелкозема. Доля мелкозема в слое 0-30 см.

Биота: растительность. Качество опада

Качество опада определяется соотношением элементов питания и вторичных метаболитов (Berg, 2020).



Важными показателями качества опада являются соотношение C/N (Berg, 2020), содержание элементов питания (азот, фосфор, калий, кальций, магний и др.) и вторичных метаболитов (полифенолы, лигнины, др.).

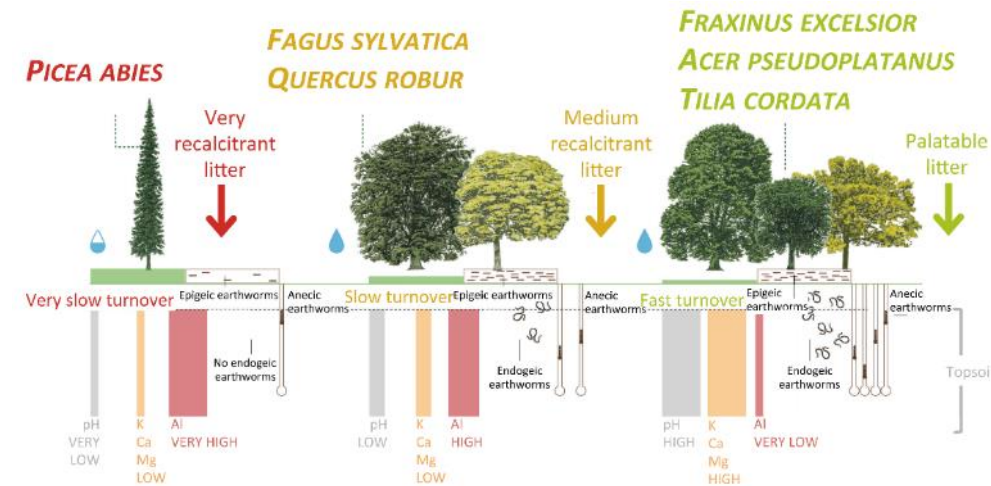
Качество опада обуславливает содержание доступных для биоты питательных веществ в почве и регулирует скорость разложения растительных остатков – основного источника питания сапрофагов (Krishna, 2017).

Качество опада зависит от видового и возрастного состава растительности, а также стадий ее онтогенетического развития. По качеству опада можно выделить функциональные типы растений (Cornelissen et al., 2007).

Биота: растительность. Качество опада

Например, на основе качества опада растения древесного яруса можно разделить на 4 основных функциональных группы (Басова, Лукина, Кузнецова и др., 2022):

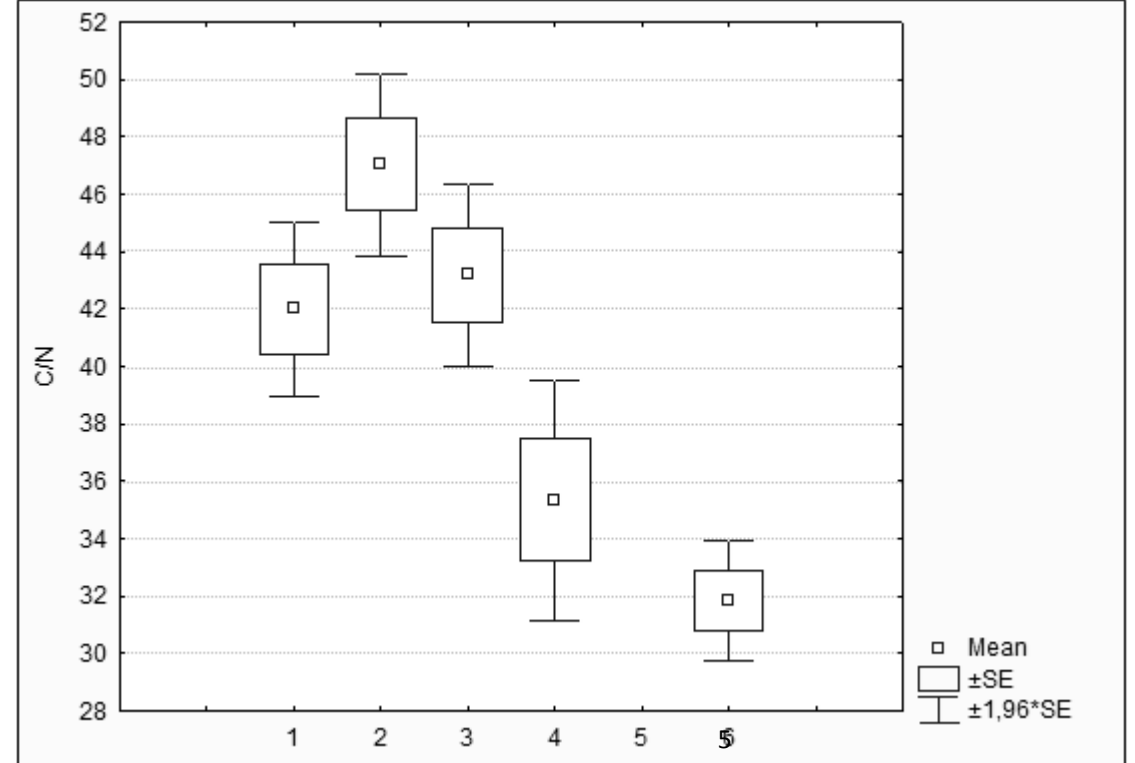
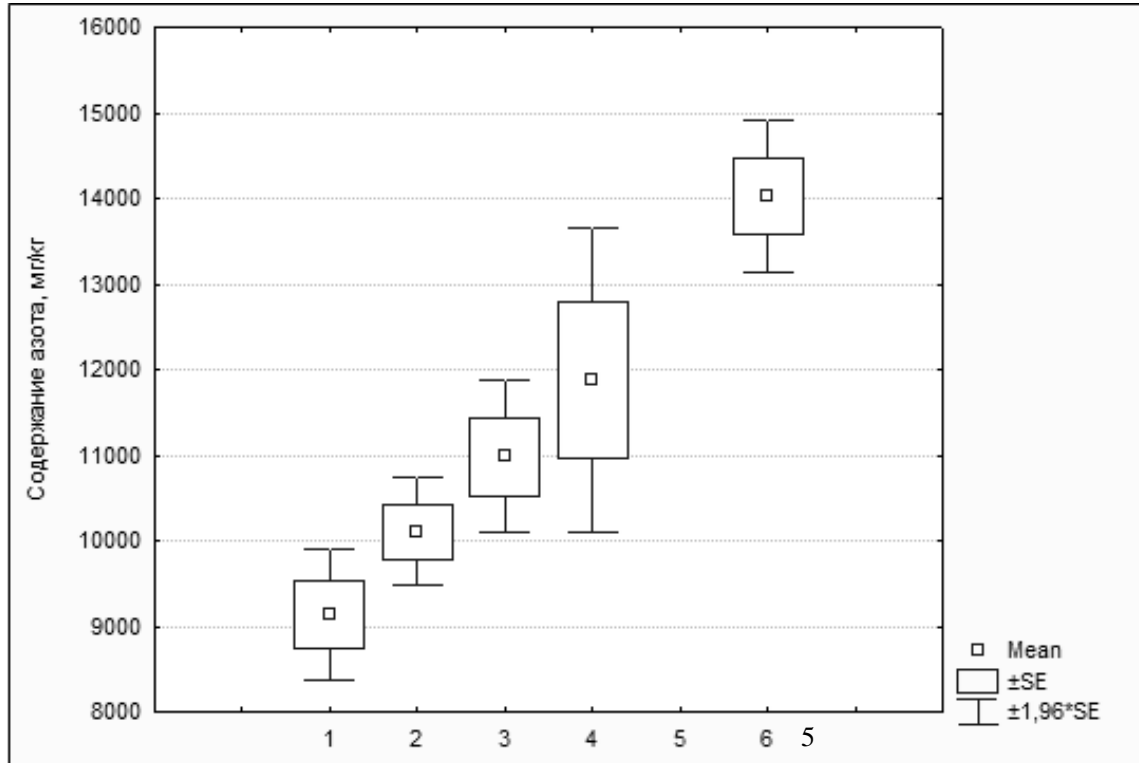
1. Лиственные деревья с быстроразлагаемым опадом (к ним относятся, например, виды родов *Acer*, *Fraxinus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Betula*, *Alnus*)
2. Лиственные деревья с медленноразлагаемым опадом (*Populus*, *Quercus*, *Fagus*)
3. Темнохвойные деревья (*Picea/Abies*)
4. Светлохвойные (*Pinus*, *Larix*)



Schelfhout et al., 2017

Содержание азота, C/N в органогенных горизонтах хвойных лесов Кольского полуострова, северная тайга

(Лукина Н.В., Полянская Л.М., Орлова М.А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.)



1- сосняк лишайниковый, 2- **сосняк кустарничково-лишайниковый**, 3- сосняк лишайниково-зеленомошный,
4- **ельник кустарничково-лишайниковый**, 5- ельник мелкотравный

ЭБГА	L подгоризонт подстилки		F подгоризонт подстилки		H подгоризонт подстилки		0-30 см	
	C	N	C	N	C	N	C	N
Межкроновый кустарничково-зеленомошный	2,02	0,05	14,52	0,38	7,66	0,18	38,69	1,91
Еловый кустарничково-зеленомошный (80-120 лет)	2,24	0,07	5,67	0,18	12,88	0,36	57,65	2,70
Еловый мертвопокровный (>200 лет)	3,03	0,10	3,82	0,14	29,75	0,99	44,68	2,17

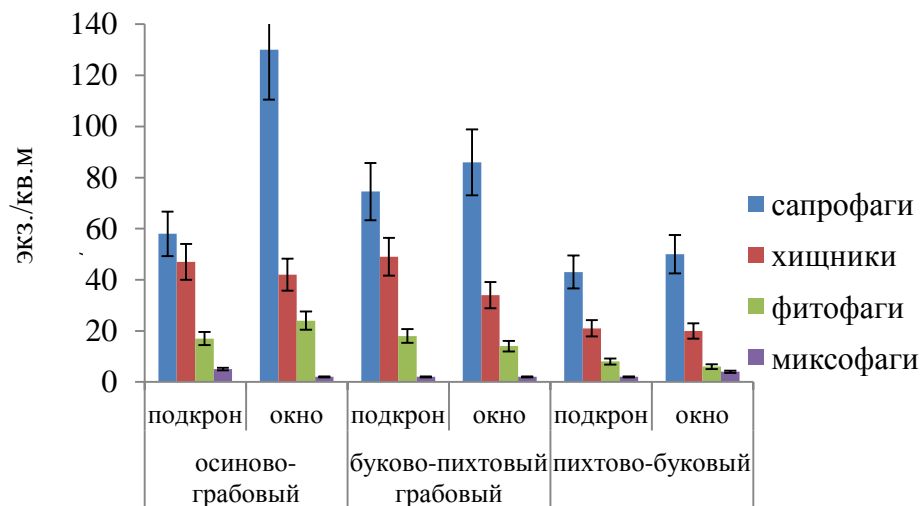
Влияние мозаичности и возраста деревьев на запасы азота и углерода в почвах северотаежных ельников кустарничково-зеленомошных, т/га на внутрибиогеоценотическом уровне

- Орлова М.А., Лукина Н.В., Смирнов В.Э. Методические подходы к отбору образцов лесной подстилки с учетом мозаичности лесных биогеоценозов // Лесоведение. 2015. № 3. С. 214–221.
- Орлова М.А., Лукина Н.В., Смирнов В.Э., Артемкина Н.А. Влияние ели на кислотность и содержание элементов питания в почвах северотаежных ельников кустарничково-зеленомошных // Почвоведение. 2016. № 11. С. 1355-1367.
- Лукина Н.В., Барталев С.А., Гераськина А.П., Плотникова А.С., Горнов А.В., Ершов Д.В., Гаврилюк Е.А., Кузнецова А.И., Шевченко Н.Е., Тихонова Е.В., Данилова М.А., Тебенькова Д.Н., Смирнов В.Э., Ручинская Е.В. Роль старовозрастных лесов в аккумуляции и хранении углерода // Известия РАН. Серия географическая, 2023 – в печати

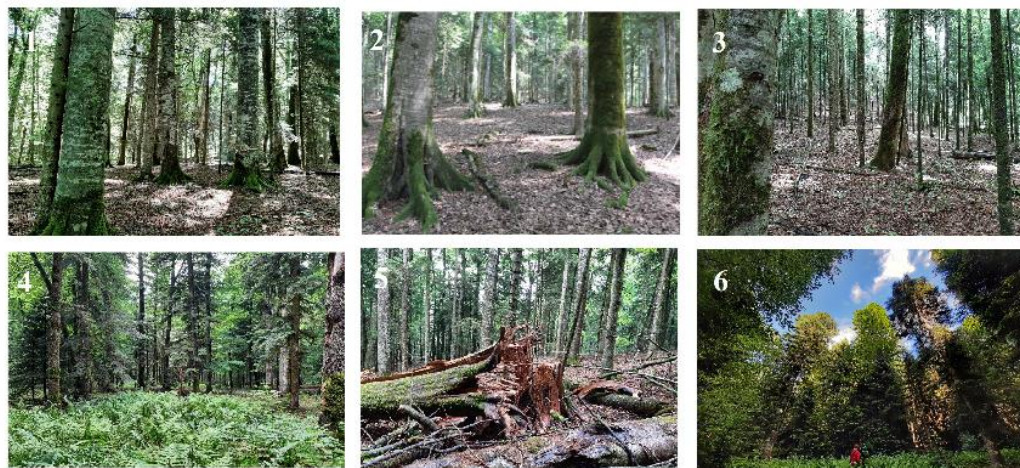
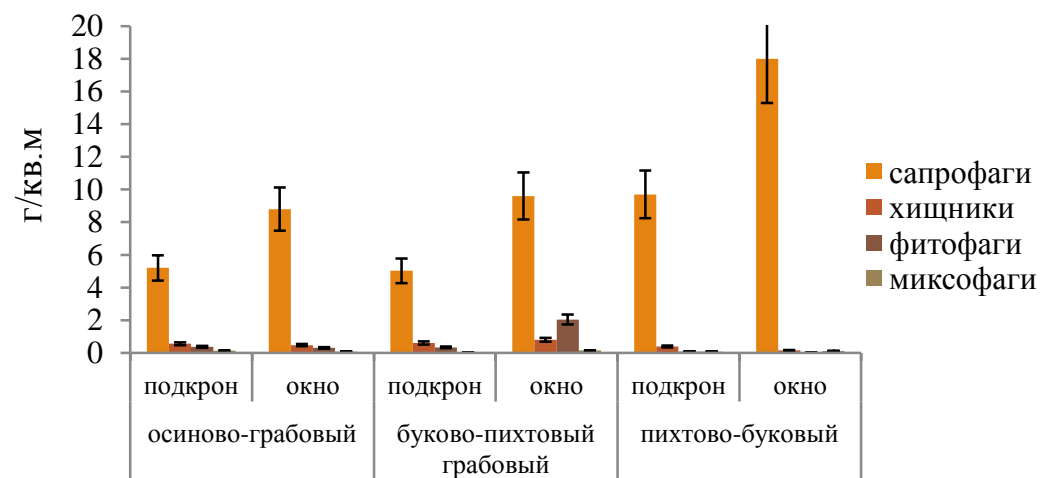
Биота: почвенная макрофауна

ВЛИЯНИЕ МОЗАИЧНОСТИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЧВЕННОЙ МАКРОФАУНЫ В ЛЕСАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Численность



Биомасса



90-98% от общей биомассы макрофауны составляют дождевые черви

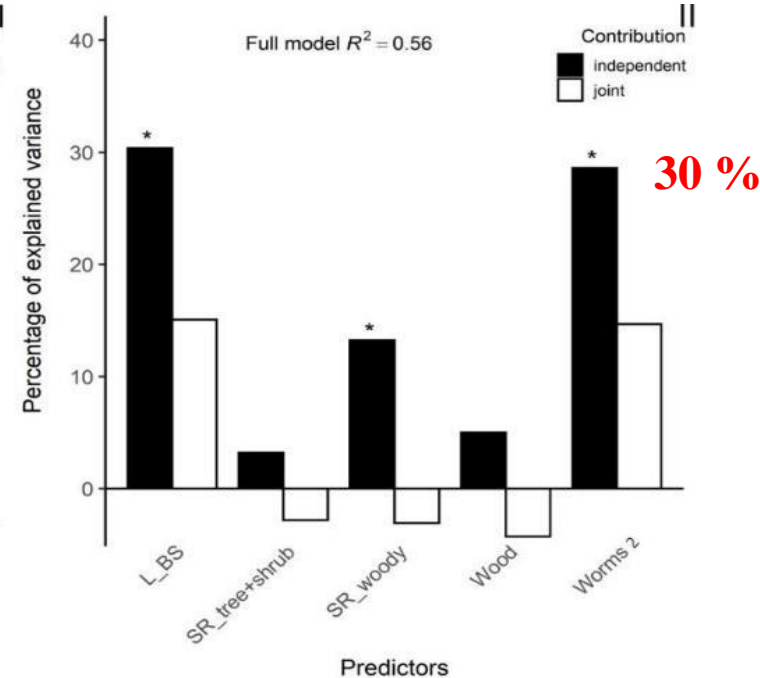
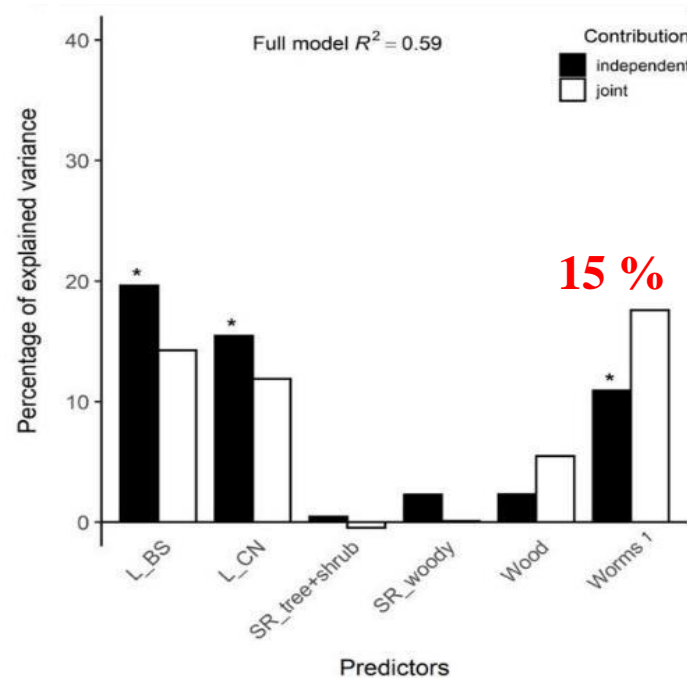
Shevchenko N., Geraskina A., Kuprin A., & Grabenko, E. (2021). The role of canopy gaps in maintaining biodiversity of plants and soil macrofauna in the forests of the northwestern Caucasus. *Ecological Questions*, 32(2), 93-110.

Биота: почвенная макрофауна (дождевые черви)

Вклад предикторов (иерархическое разложение) в:

I. запасы почвенного углерода
в органогенном горизонте почвы

II. запасы почвенного углерода
в минеральном слое (до 50 см)

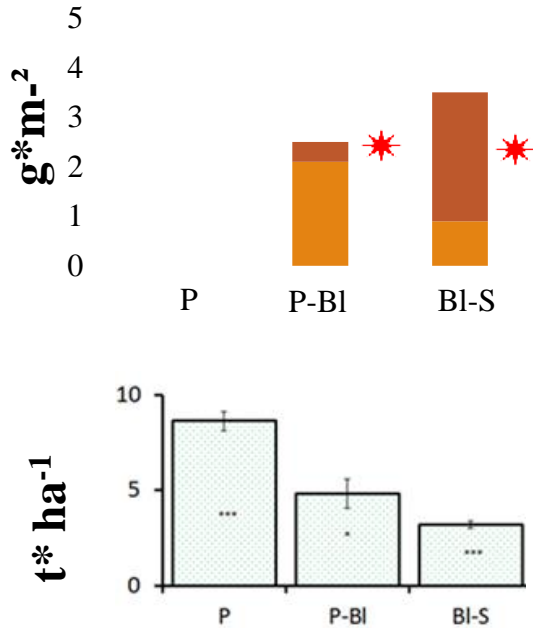


Хвойно-широколиственные леса

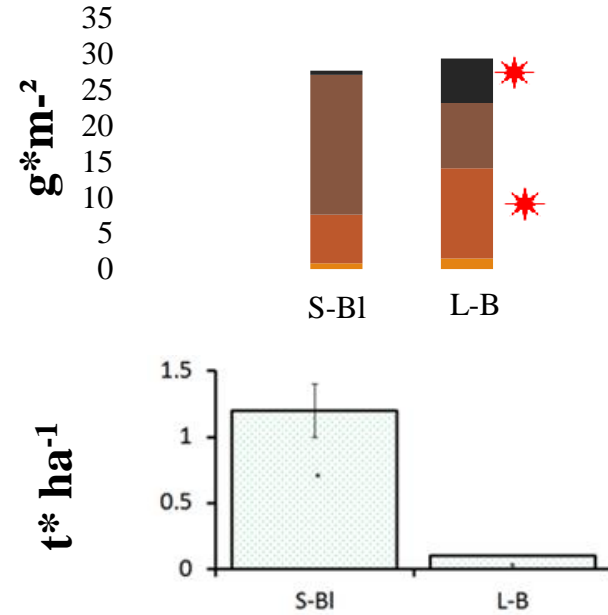
Независимые переменные: L_BS – насыщенность основаниями в подстилке; L_CN – соотношение C:N в подстилке; SR_tree+shrub – общее видовое богатство в кустарничковом и древесном ярусах; SR_woody – видовое богатство древесных растений травяного яруса; Wood – стволовая древесина; **Worm1** – функциональные группы дождевых червей, связанные с органогенным горизонтом; **Worm2** – функциональные группы дождевых червей, связанные с минеральными горизонтами почвы.

Биомасса функциональных групп дождевых червей и запасы углерода в подстилке

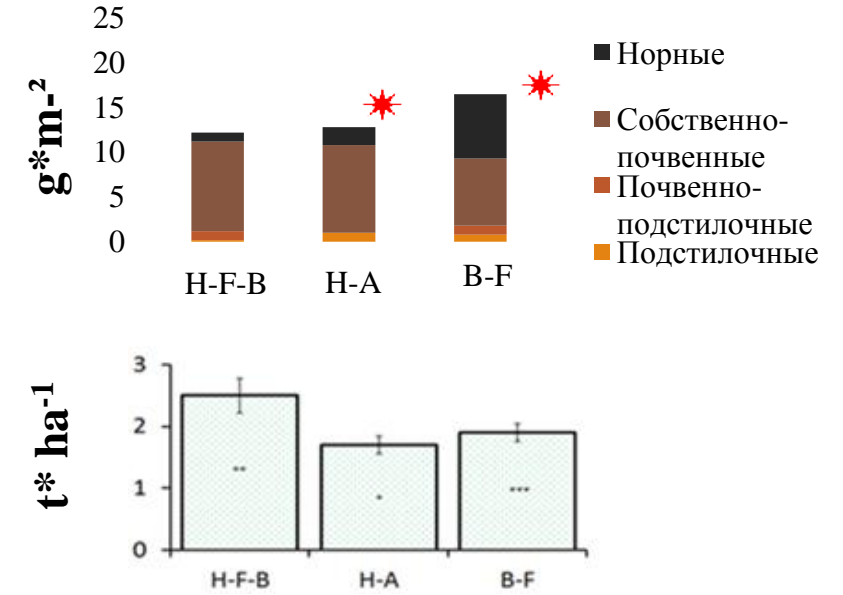
Брянское Полесье



Москворецко-Окская равнина



Северо-Западный Кавказ



- Норные
- Собственно-почвенные
- Почвенно-подстилочные
- Подстилочные

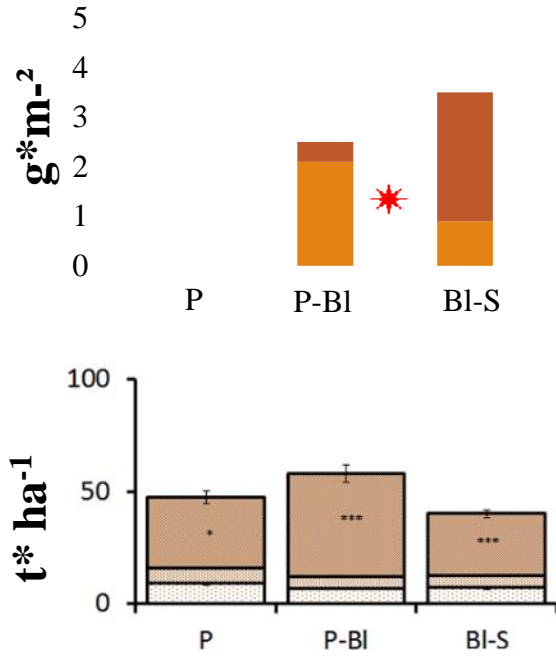
Запас **углерода в подстилке** тесно и **отрицательно** связан с биомассой функциональных групп червей, перерабатывающих подстилку. *

(Гераськина, 2020; Кузнецова и др., 2022 и др.)

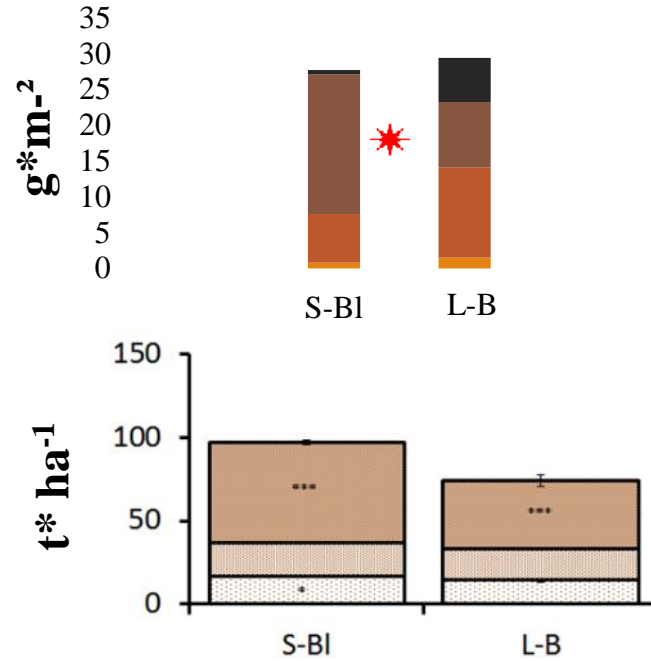


Биомасса функциональных групп дождевых червей и запасы углерода в 50-см минеральном слое

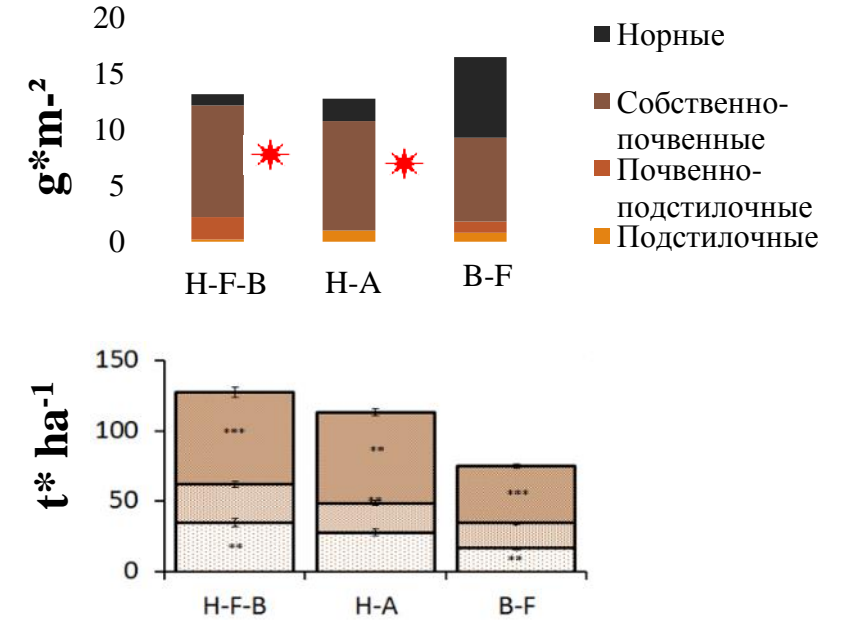
Брянское Полесье



Москворецко-Окская равнина



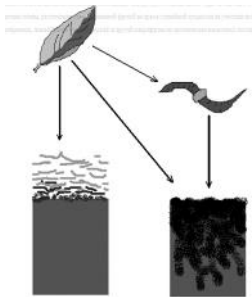
Северо-Западный Кавказ



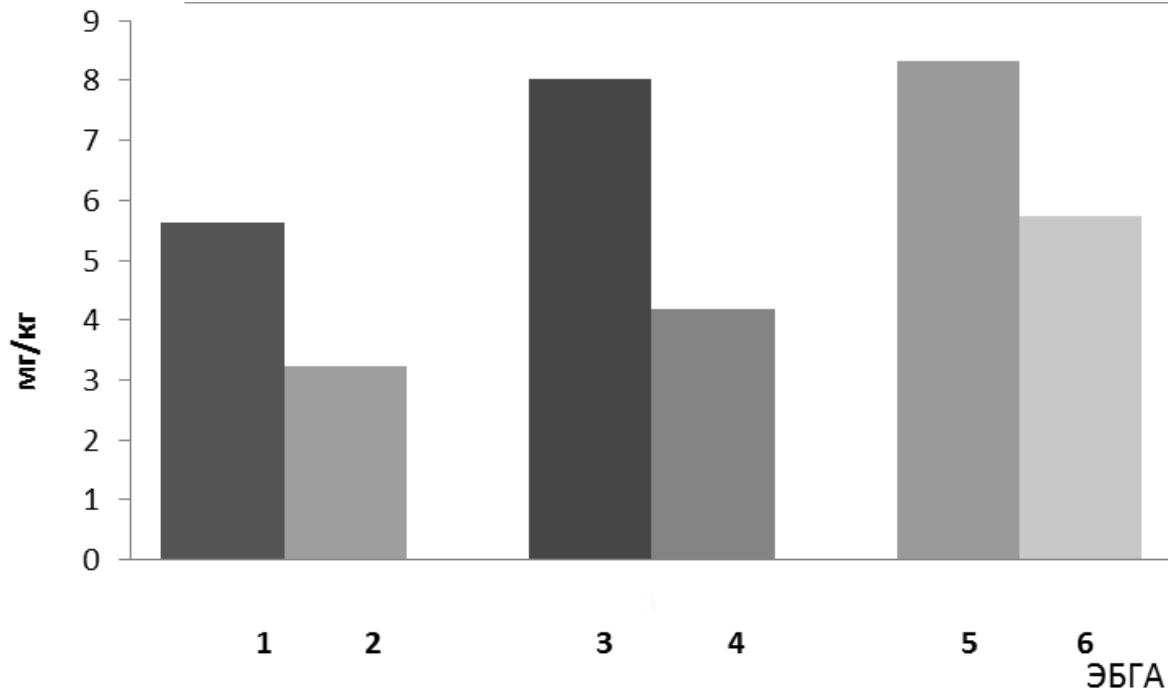
- Норные
- Собственно-почвенные
- Почвенно-подстилочные
- Подстилочные

Запас углерода **в минеральных слоях положительно** связан с биомассой функциональных групп червей, жизнедеятельность которых связана с минеральной частью почвы. *

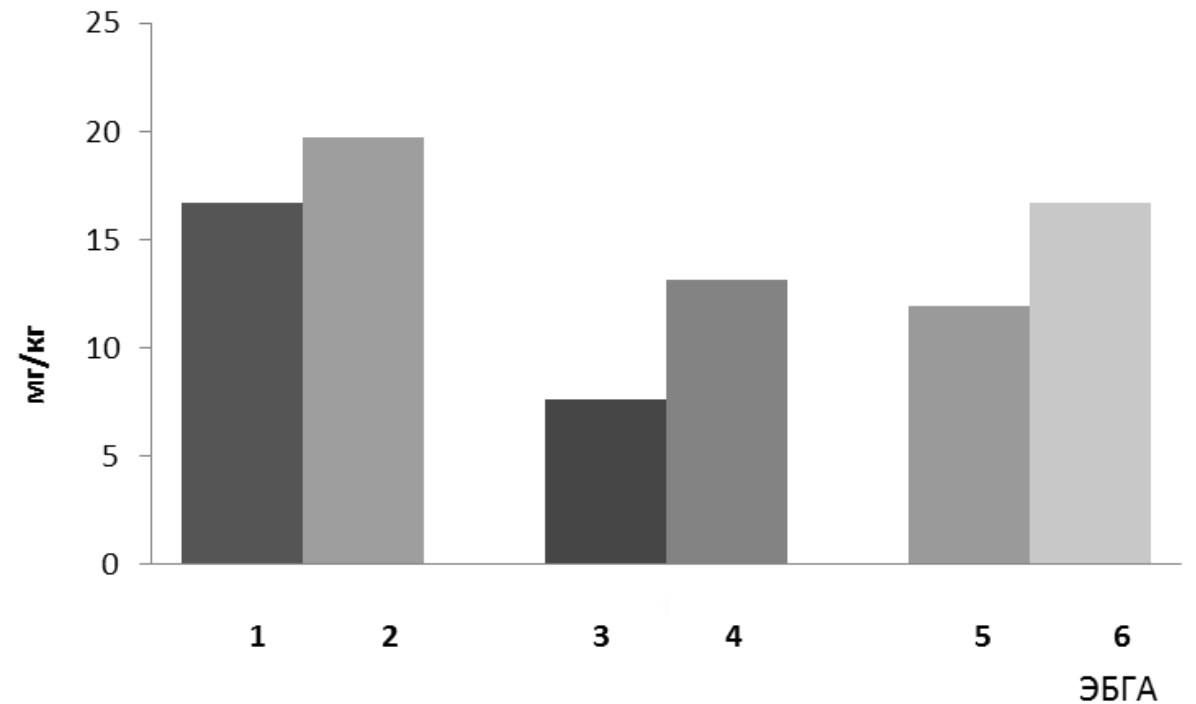
Деятельность дождевых червей приводит к неравному усилению стабилизации углерода по сравнению с его минерализацией, что создает «углеродные ловушки» и приводит к повышению общего пула углерода на 22% (Bossuyt et al., 2005; Zhang et al., 2013).



Биота: биомасса базидиомицетов в органогенных горизонтах сосновых и еловых лесов, мг/кг

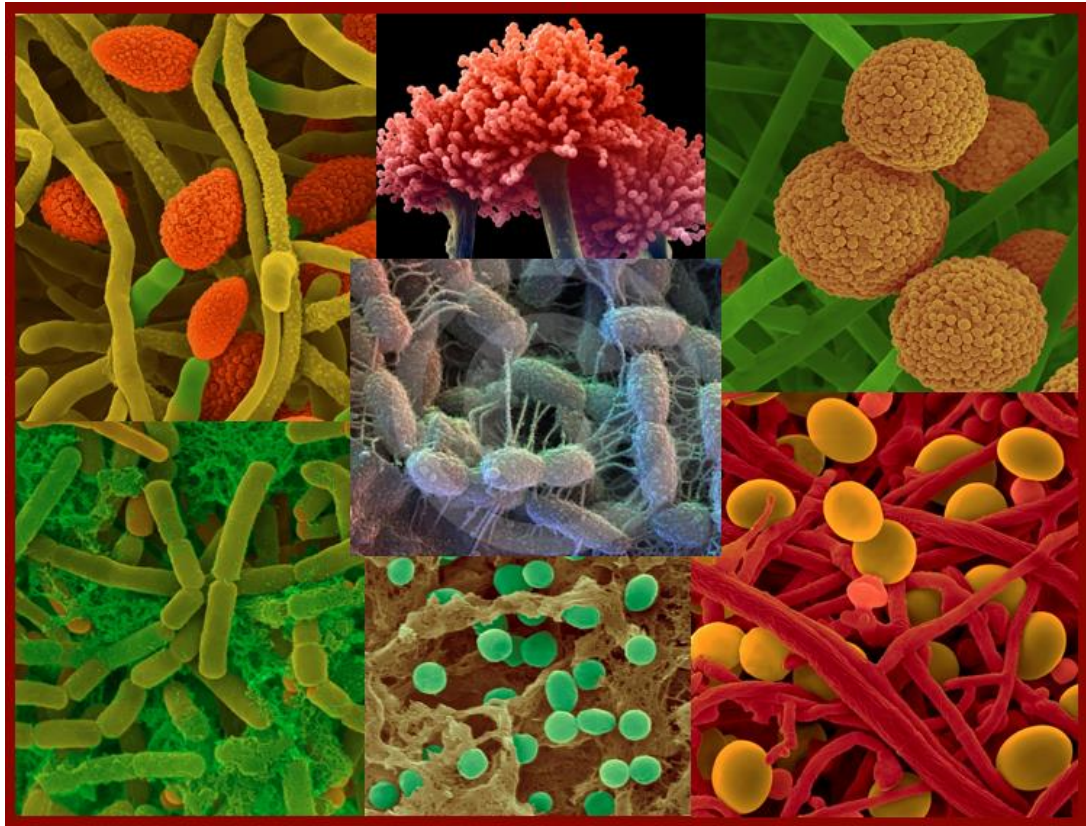


1 – сосновая лишайниковая, 2 – лишайниковая, 3 – сосновая лишайниково-зеленомошно - кустарничковая, 4 – лишайниково-кустарничковая, 5 – сосновая зеленомошно-кустарничковая, 6 – кустарничково-зеленомошная



1-еловая чернично-зеленомошная, 2 – чернично-зеленомошно-мелкотравная, 3 – еловая кустарничково-лишайниковая, 4 – кустарничково-лишайниковая, 5 – еловая травяная, 6 – травяная

Микроорганизмы: функциональный подход к оценке вклада в пулы и потоки углерода



(Nature Microbiology, 2022)

ОДИН ГРАММ ПОЧВЫ СОДЕРЖИТ ПОРЯДКА ОДНОГО МИЛЛИАРДА МИКРООРГАНИЗМОВ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ТЫСЯЧАМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ.

- **Соотношение разных групп микроорганизмов – важный показатель секвестрационной способности почвы.**

- **Археи метаногены синтезируют CH_4 в анаэробных условиях, а бактерии метанотрофы поглощают этот парниковый газ.**

Результаты работы
почвенной группы в
2022 году

Результаты работы:

- Создание и организация работы почвенной группы (**более 70 человек**)
- Проведена оценка имеющейся инфраструктуры: сети пробных площадей и мониторинговых станций в регионах (координаты), оборудование на пробных площадках и станциях, сроки отборов образцов.
- Создана единая структура баз данных по направлениям работы почвенной группы
- Представлены имеющиеся данные в едином формате
- Проведен анализ применяющихся методов к оценкам пулов и потоков углерода.
- Предложены общие подходы к разработке методических подходов, которые включают 4 раздела:
 - а. Организация работ по отбору образцов на сетях пробных площадей на тестовых полигонах
 - б. Инструкции по отбору образцов на пробных площадях
 - с. Подготовка образцов к анализу и анализ образцов
 - д. Представление данных. Базы данных
- Проведена оценка существующих подходов и методик для картографирования запасов углерода

Фитомасса и химический состав растений

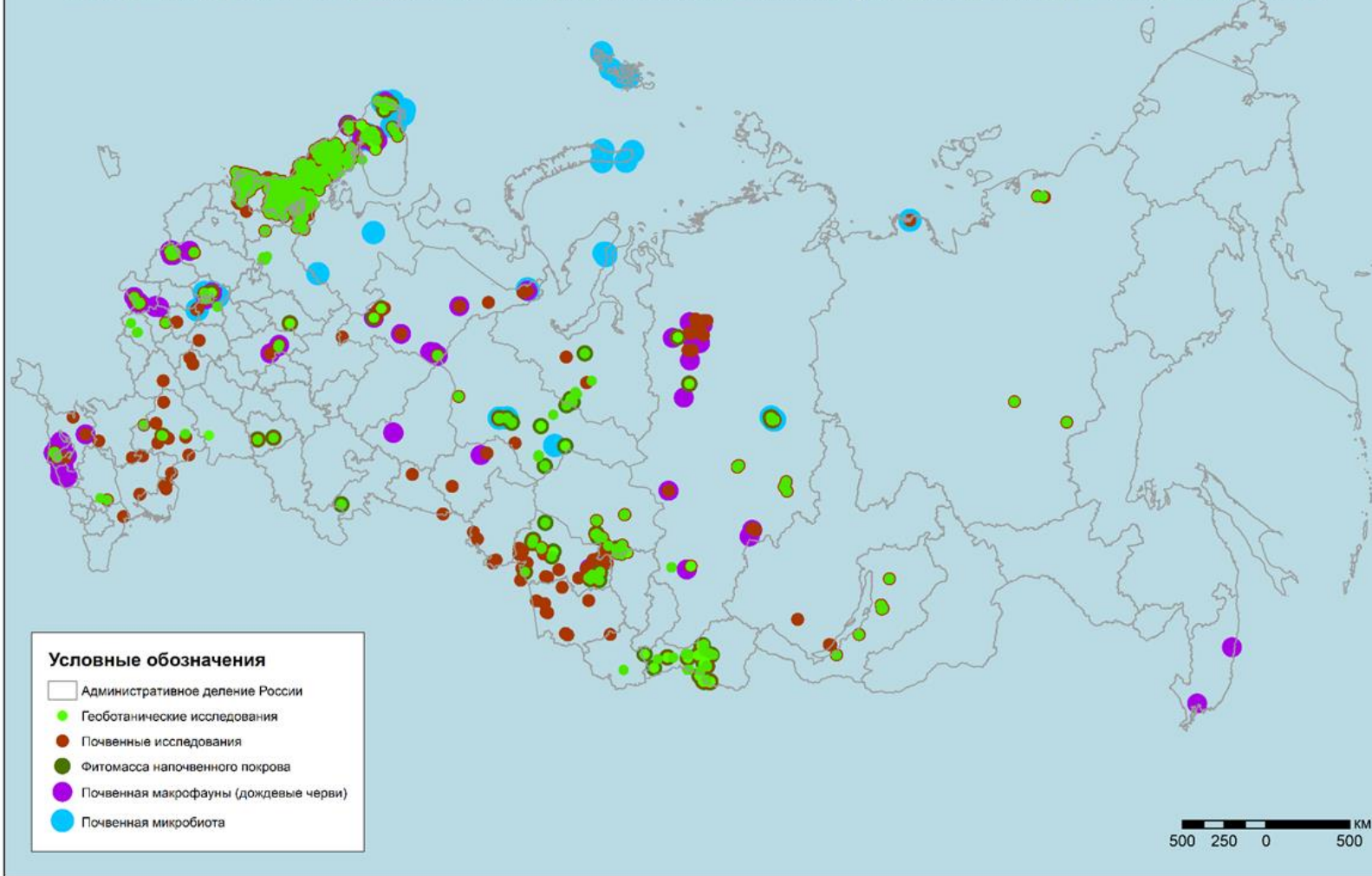
Типы растительности	Организация
Лесные	ИЛ СО РАН, СПбГЛТУ, МГУ почв., ИБПК СО РАН, ФГБОУ ВО ЮГУ, ИМКЭС СО РАН, ИППЭС КНЦ РАН, КарНЦ РАН, ИБ КомиНЦ УрО РАН, ЦЭПЛ РАН, ИПЭЭ РАН, ИФХиБПП, ИПА РАН
Степные, луговые	ТувИКОПР СО РАН, ИПА СО РАН, ЦЭПЛ РАН
Тундровые	ИЛ СО РАН, ИППЭС КНЦ РАН, ИБПК СО РАН
Болотные	ИМКЭС СО РАН, ФГБОУ ВО ЮГУ, КарНЦ РАН, ИЛАН РАН, ИБ ФИЦ Коми НЦ
Агроресоландшафты	ФНЦ агроэкологии РАН

Почвы

Типы растительности	Организация
Лесные	ИЛ СО РАН, СПбГЛТУ, МГУ почв., ИБПК СО РАН, ФГБОУ ВО ЮГУ, ИМКЭС СО РАН, ИППЭС КНЦ РАН, КарНЦ РАН, ИБ КомиНЦ УрО РАН, ЦЭПЛ РАН, ИПЭЭ РАН, ИФХиБПП, ИПА СО РАН
Степные, луговые	ТувИКОПР СО РАН, ИПА СО РАН
Тундровые	ИЛ СО РАН, ИППЭС КНЦ РАН, ИБПК СО РАН
Болотные	ИМКЭС СО РАН, ФГБОУ ВО ЮГУ, КарНЦ РАН, ИЛАН РАН, ИБ ФИЦ Коми НЦ
Агроресоландшафты	ФНЦ агроэкологии РАН

Участие
организаций в
работе по Проекту

Распределение пробных площадей: почвенные, почвенно-зоологические, микробиологические, геоботанические исследования и исследования запасов фитомассы напочвенного покрова



Проведена оценка имеющейся инфраструктуры сети пробных площадей и мониторинговых станций в регионах (координаты), оборудование на пробных площадках и станциях, сроки отборов образцов.

Приемник для осадков в виде дождя



Снегоприемник



Схема гравитационного лизиметра

Подгруппа 2. Мониторинг миграции соединений углерода с почвенными водами и атмосферными выпадениями **в настоящее время** проводят три организации:

Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН) в хвойно-широколиственных лесах (наблюдения 3-5 лет)

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН ((ИППЭС КНЦ РАН) в хвойных лесах северной тайги (наблюдения более 20 лет)

Институт леса КарНЦ РАН в лесах средней тайги (наблюдения 3 года)

Институт биологии Коми НЦ в лесах средней тайги (наблюдение более 3 лет)

Существующие рекомендации по отбору и анализу почв в России

- 1) МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОМУ ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЪЕМА ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ от 27 мая 2022 г. (вступает в силу с 1 марта 2023 г.)
- 2) ГОСТ 17.4.3.01-2017 (взамен 17.4.3.01-83) Общие требования к отбору почв
- 3) ГОСТ 17.4.4.02-2017 (вместо ГОСТ 17.4.4.02 – 84) Методы отбора и подготовки проб для химического, Бактериологического и гельминтологического анализа
- 4) ГОСТ 58595 - 2019 (взамен ГОСТ 28168-89) Почвы. Отбор проб

ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВАЖНЕЙШЕГО ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА

«ЕДИНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ»

В ЧАСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО И ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПУЛОВ УГЛЕРОДА И ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ УЧЕТА ДАННЫХ О ПОТОКАХ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И БЮДЖЕТЕ УГЛЕРОДА В ЛЕСАХ

ОБНОВИТЬ КОНВЕРСИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПО ПОЧВАМ И ЖИВОМУ НАПОЧВЕННОМУ ПОКРОВУ

Ожидаемые результаты работы почвенной группы в 2023 г.

- Проект методических подходов к отбору образцов почв и растений напочвенного покрова, а также фотосинтезирующих органов древесных растений на тестовых полигонах и существующих пробных площадях
- Проект методических подходов к оценке скорости разложения опада древесных растений и растений напочвенного покрова, а также к оценке вклада крупных древесных остатков в общий пул углерода
- Проект методических подходов к оценке участия почвенной биоты в формировании запасов углерода и трансформации органического вещества
- Оценка и контроль качества лабораторных исследований и проведение тестирования химических лабораторий и центров коллективного пользования (будет создана специальная подгруппа в составе почвенной группы).
- Апробация предложенных методических подходов в полевых условиях на полигонах и существующих пробных площадях
- Оценка результатов, полученных при апробации методик в полевых условиях, а также данных лабораторных исследований
- Корректировка апробированных методических подходов

Ожидаемые результаты работы почвенной группы в 2024 г.

- Оценка пулов и потоков углерода в почвах на пробных площадях и тестовых полигонах
- Оценка пулов углерода в живом напочвенном покрове на пробных площадях и тестовых полигонах
- Получение конверсионных коэффициентов и внесение изменений в существующие Методические указания.

Спасибо за
внимание!



Существующие рекомендации по отбору почв в России

1) МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОМУ ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЪЕМА ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ от 27 мая 2022 г.

При выполнении проектов по лесовосстановлению рекомендуется проводить регулярную оценку (с периодичностью не менее 5 лет) достигнутых изменений запасов углерода

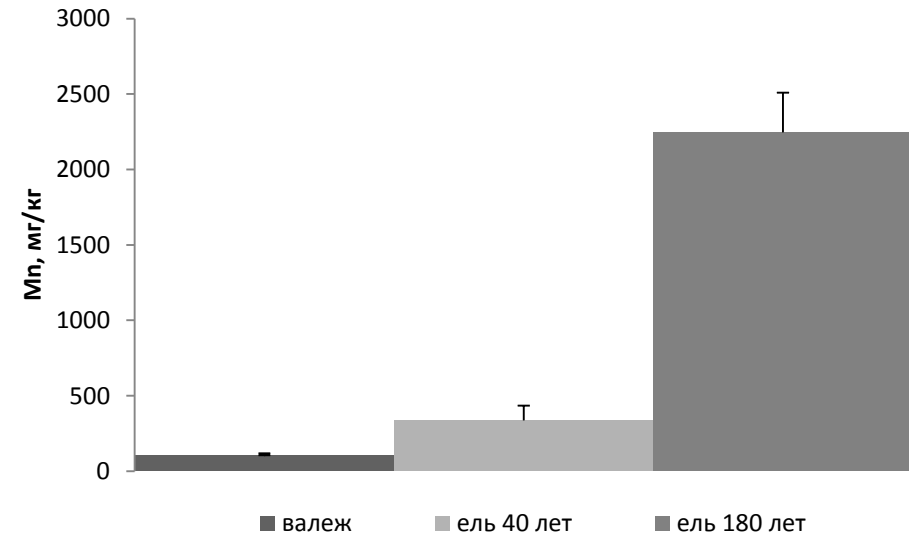
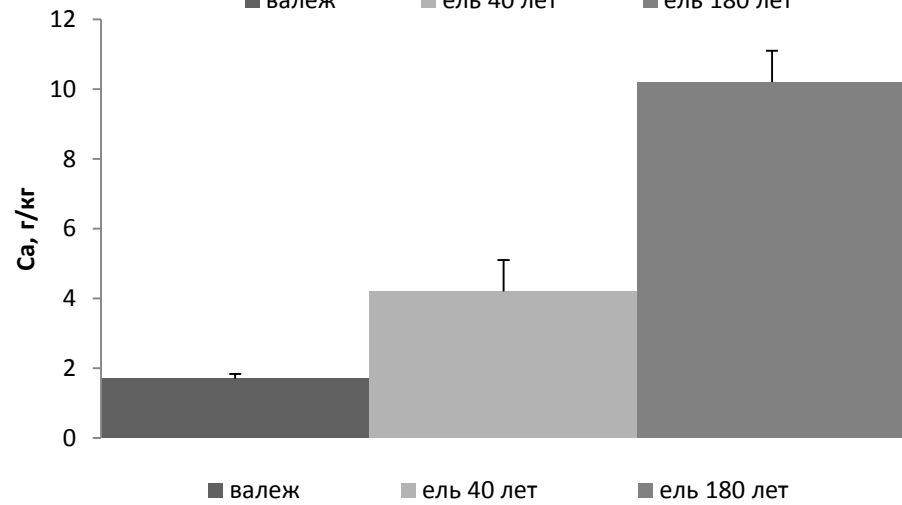
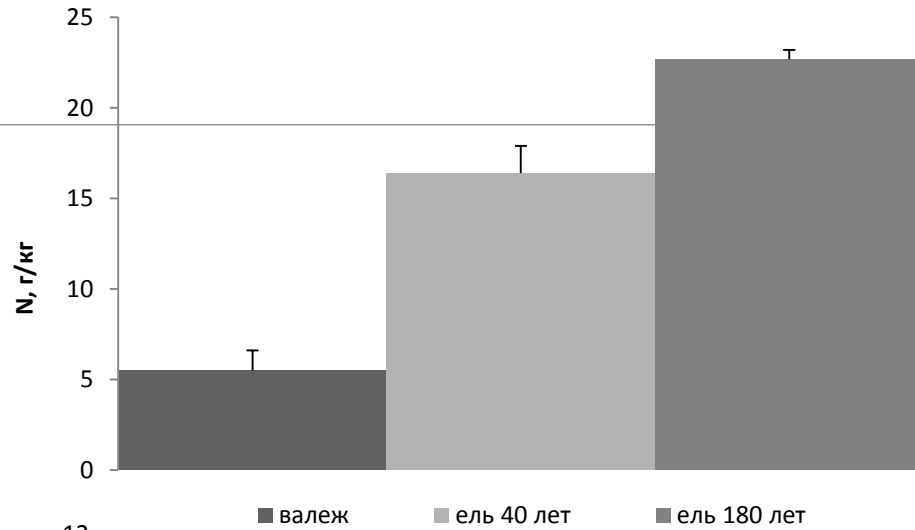
в пулах биомассы, мертвой древесины, подстилки и почвы по формуле: $\Delta C = \Delta C_{\text{биомасса}} + \Delta C_{\text{мертвая древесина}} + \Delta C_{\text{подстилка}} + \Delta C_{\text{почва}}$

2) ГОСТ 17.4.3.01-2017 Общие требования к отбору почв

«Настоящий стандарт распространяется на отбор проб почвы в местах организованных и неорганизованных выбросов и сбросов, в том числе в случаях возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций при определении физических свойств и структуры почвы, при определении содержания в почве химических веществ, при контроле загрязнения почв патогенными организмами и вирусами»

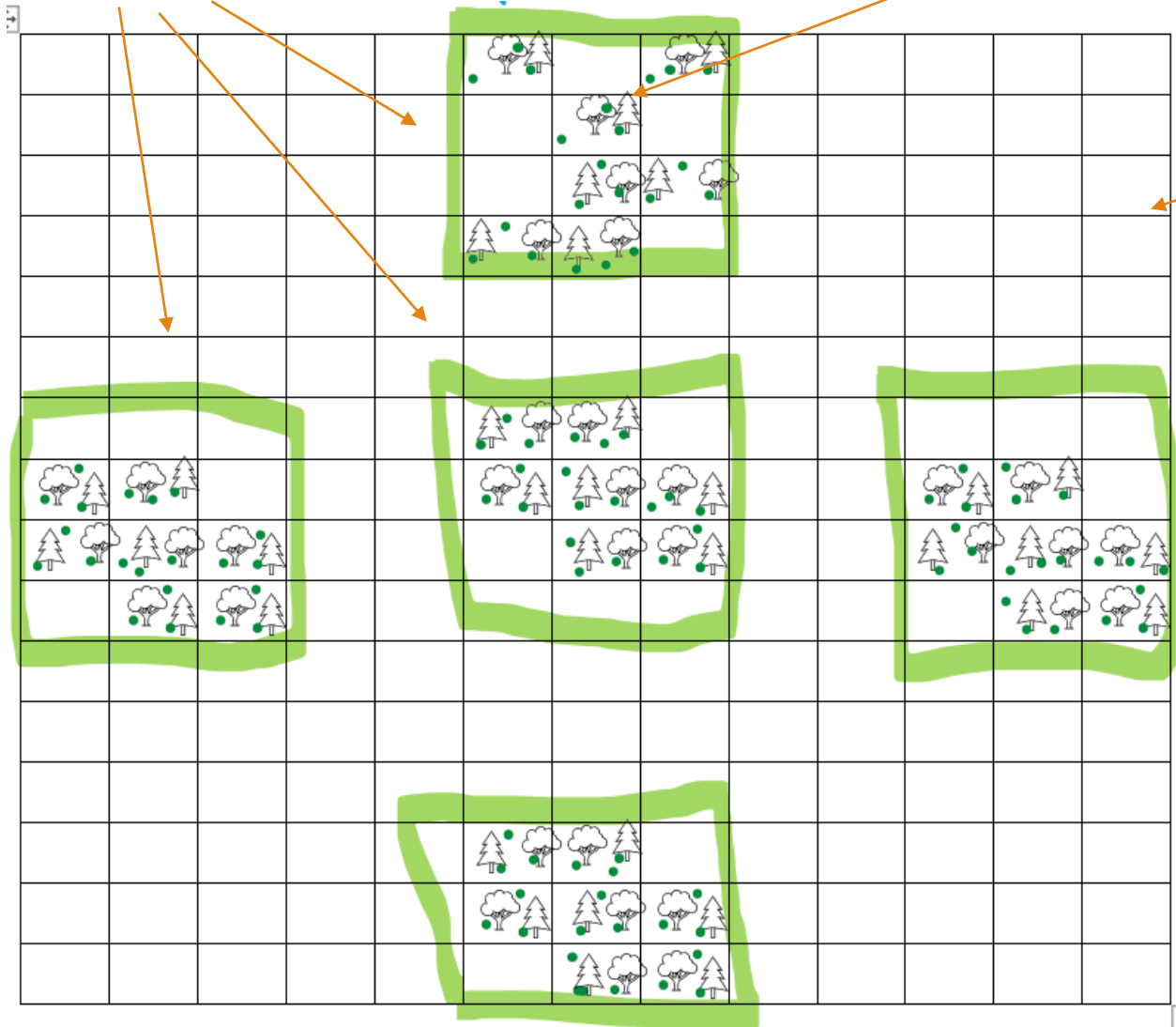
Дополнительные слайды

Влияние возраста деревьев на содержание элементов питания в органогенных горизонтах почв еловых лесов Кольского полуострова



Пробная площадь закладывается в доминирующем типе растительности

Элементы растительной мозаики



Полигон

В настоящее время почвенная группа обсуждает подходы к отбору и анализу образцов почв и растений напочвенного покрова, опада, почвенной биоты для оценки многолетней динамики и разработки методов интеграции с ДЗЗ разного пространственного разрешения, а также оценки конверсионных коэффициентов.

Подгруппа 5. Картографирование пулов углерода в почве. Анализ подходов

Изучены два подхода:

- на основе существующих почвенных карт и архивных данных;
- цифровое картографирование, сочетающее интеллектуальный и пространственный анализ данных

Картографирование пулов углерода в почве. Анализ подходов

Сформулированы условия применения и необходимые методические шаги:

- картографирование на основе почвенных карт и архивных данных состоит из трех шагов: подготовка данных; подготовительные операции с ГИС; отображение информации с учетом класса землепользования и классификационной принадлежности почвы
- при цифровом картографировании выполняется подготовка обучающей выборки и предикторов; моделирование факторно-индикаторных связей и пространственных зависимостей с последующей оценкой качества

Картографирование пулов углерода в почве. Выводы

Для проведения картографирования запасов почвенного углерода на локальном и региональном уровнях необходима обучающая выборка и набор пространственных предикторов, характеризующих факторы почвообразования объекта исследования.

Такими предикторами являются данные о: растительности – тип растительного покрова, преобладающая порода, категория землепользования; климате – температура воздуха и почвы, количество осадков; рельефе – морфометрические параметры; почвообразующей породе и почве – генетические типы почвообразующих пород, классификационные единицы почв, химические и физические свойства почв, распространение вечной мерзлоты; антропогенном влиянии – категория землепользования, вырубки, гари.

Связь таксономического и функционального разнообразия микроорганизмов

- Соотношение олиготрофных (*Arthrobacter*, *Pseudomonas* и др.) и копиотрофных (*Bacillus*, *Aquaspirillum* и др.), а также автотрофных (*Anabaena*, *Pinnularia* и др.) и гетеротрофных таксонов (*Mucococcus*, *Polyangium* и др.) – важный показатель секвестрационной способности почвы.
- Археи метаногены (*Methanobacterium*, *Methanogenium* и др.) синтезируют CH_4 в анаэробных условиях (переувлажненная почва), а бактерии метанотрофы (*Methylomonas*, *Methylotrophus* и др.) поглощают этот парниковый газ.
- Бактерии *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus* и *Micrococcus* в анаэробных условиях (переувлажненная почва) проводят денитрификацию, выделяя оксиды азота

