



МОЛОДЕЖНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
ЛАБОРАТОРИЯ КЛИМАТОРЕГУЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ ЛЕСОВ

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И КЛИМАТОРЕГУЛИРУЮЩИЕ ФУНКЦИИ ЛЕСОВ



Тебенькова Д.Н., Кузнецова А.И., Иванова В.Н.,
Колычева А.А., Ермолов С.А., Нарыкова А.А.,
Катаев А.Д., Кузнецов В.А., Никитина А.Д.

МЕСТО БИОРАЗНООБРАЗИЯ В КОНЦЕПЦИИ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ



БИОРАЗНООБРАЗИЕ

Экосистемное

- Разнообразие экосистем на одной территории
- Типы леса по разным классификациям (*Морозов, 1924; Сукачев, Дылис, 1964; Каяндер, 1933; Braun-Blanquet, 1964; Заугольнова, Морозова, 2004*)
- Типы условий местопроизрастаний (*Алексеев, 1928; Погребняк, 1928; 1955*)

Структурное

- Элементарные почвенные ареалы (*Фридланд, 1986*), лесная парцелла Н.В. Дылиса (*1969*), ценобиотическая микрогруппировка Л.Г. Раменского (*1938*), тессера Ханса Йенни (*1958*), тессера Л.О. Карпачевского (*1977*), элементарный биогеоареал (ЭБГА) (*Орлова и др., 2013*)
- Гэп-мозаика (*Watt, 1947; Aubreville, 1971; Коротков, 1991*)
- ЭЦГ (*Смирнова и др., 2004; Ханина и др., 2015*)
- Онтогенетическая структура (*Заугольнова, 1978; Смирнова, 2004*)
- Валеж (*Скворцова и др., 1983; Ulanova, 2000; The afterlife of a tree, 2005*)

Видовое

- Альфа-разнообразие (таксономическое сравнение) (*Whittaker, 1960; 1972*)
- Бетта-разнообразие (фитоценоотическое сравнение)
- Гамма-разнообразие (биогеографическое сравнение)





Функциональное

- Функциональная классификация лесов (*Лукина и др., 2021*)

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ МОЛОДЕЖНОЙ ЛАБОРАТОРИИ



Цель: оценка влияния биоразнообразия (таксономического, структурного и функционального) на климаторегулирующие функции лесов

-  Оценить влияние типа ландшафта и формации лесов на запас почвенного углерода в хвойно–широколиственных и в бореальных лесах.
-  Дать оценку вклада биотических (растительность, почвенная фауна) факторов в накопление почвенного углерода в бореальных и хвойно-широколиственных лесах.
-  Прогноз лесоводственных и климатических эффектов на динамику углеродного цикла с учетом разных сценариев ведения лесного хозяйства и изменения климата.
-  Оценить возможности использования данных дистанционного зондирования и ГИС технологий для оценки пулов углерода.

1. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТИПА ЛАНДШАФТА И ФОРМАЦИИ ЛЕСОВ НА ЗАПАС ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА



- ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА (Кузнецова А.И., Кузнецов В.А.)
ГПБЗ «Брянский лес»
- ТАЕЖНЫЕ ЛЕСА (Иванова В.Н.)
северотаежные леса в Мурманской области,
геохимически сопряженные ландшафты

1. ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА

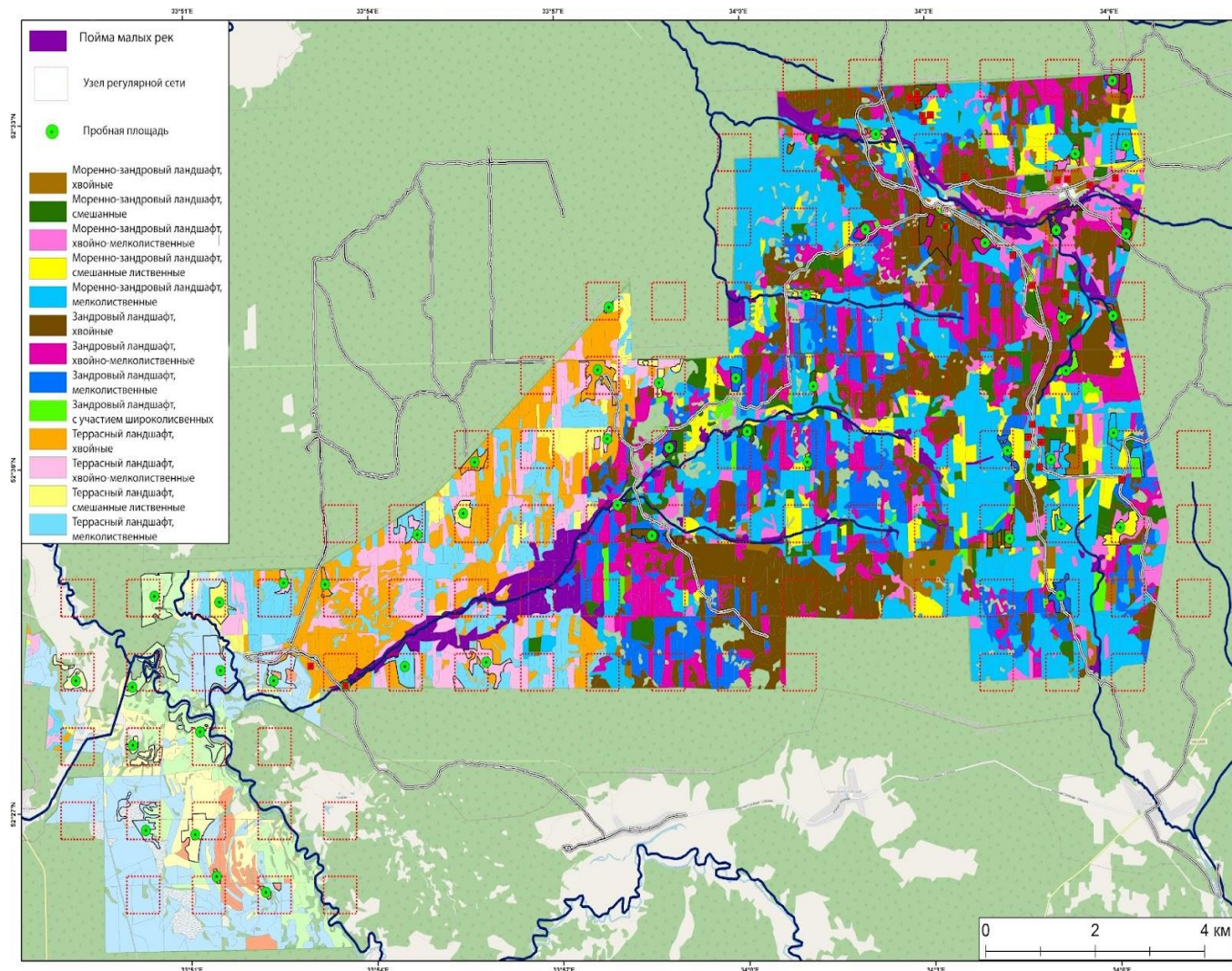


Схема расположения пробных площадей в узлах регулярной сети 1x1 км

Объект: биogeоценозы ГПБЗ «Брянский лес»

38 ключевых участка

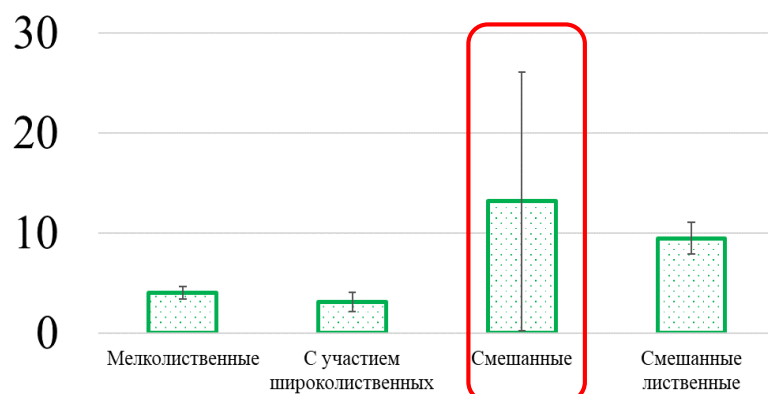
Формации:

1. хвойные,
2. смешанные хвойно-лиственные,
3. смешанные хвойно-мелколиственные,
4. мелколиственные,
5. смешанные лиственные,
6. мелколиственные, с участием широколиственных видов

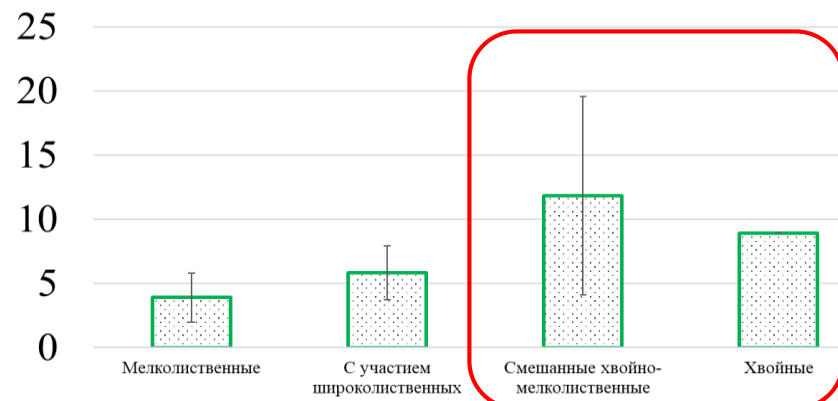
Элементы геохимически сопряженных ландшафтов:

- поймы малых рек
- террасный
- зандровый
- моренно-зандровый

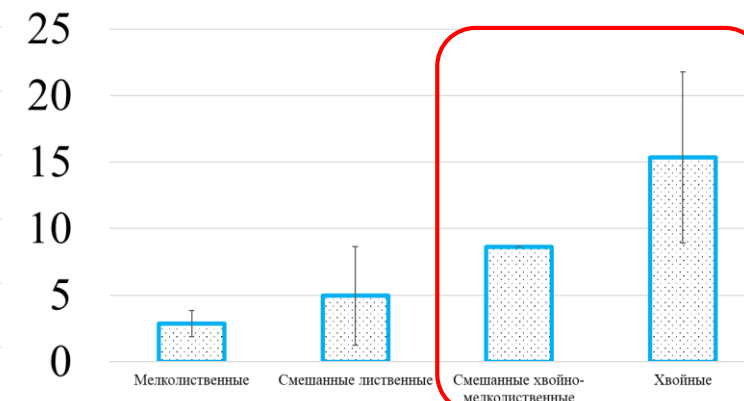
Моренно-зандровый ландшафт



Зандровый ландшафт



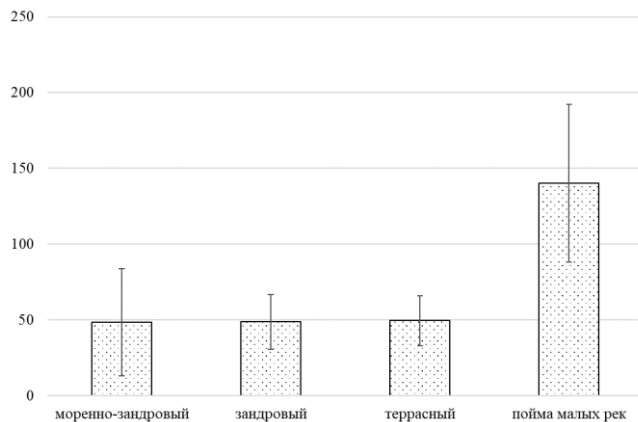
Террасный ландшафт



Запас углерода подстилки, $t\ ga^{-1}$

Показано, что **тип растительности** определяет запасы углерода подстилки.

Опад низкого качества хвойных деревьев медленно разлагается, формируется мощная подстилка с высокими запасами. Фактор «положение в ландшафте» не влияет на запасы углерода подстилки.



Запас C в слое 0-30 см ($t/га$)

Фактор «положение в ландшафте», без учета состава растительности, объясняют более 38% вариации запасов углерода минеральных горизонтов.

Самые **высокие запасы** почвенного углерода в слое **0-30 см** отмечены в почвах лесов, формирующихся в **аккумулятивных** позициях ландшафта.

1. БОРЕАЛЬНЫЕ ЛЕСА

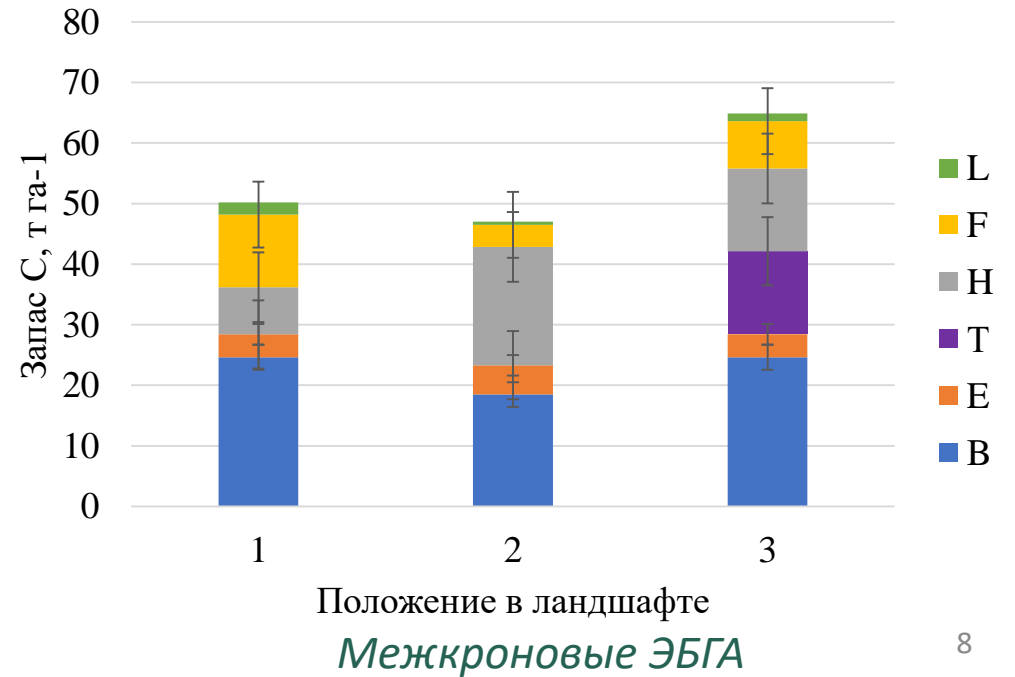
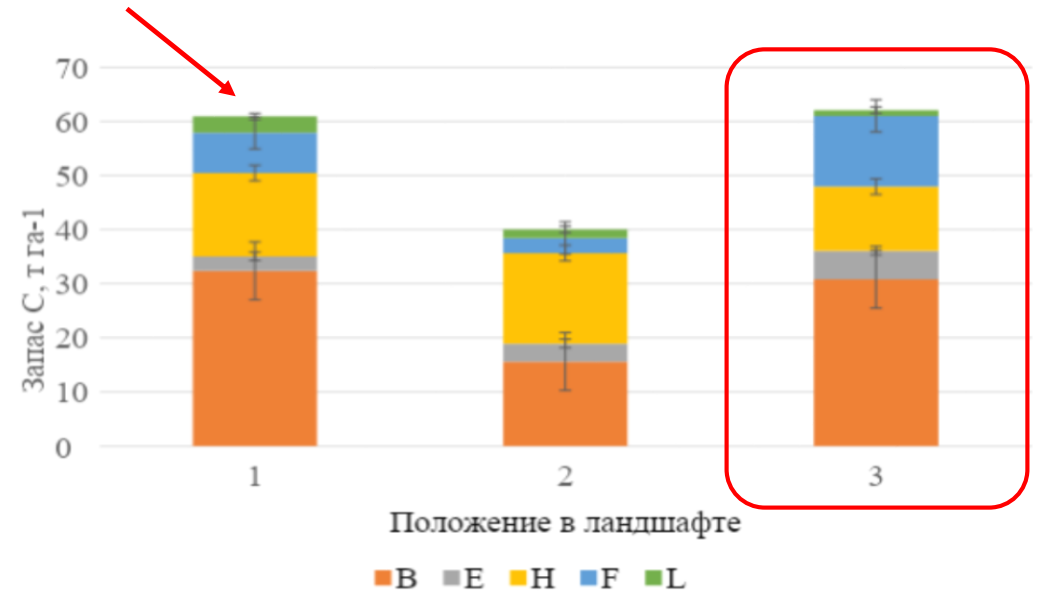
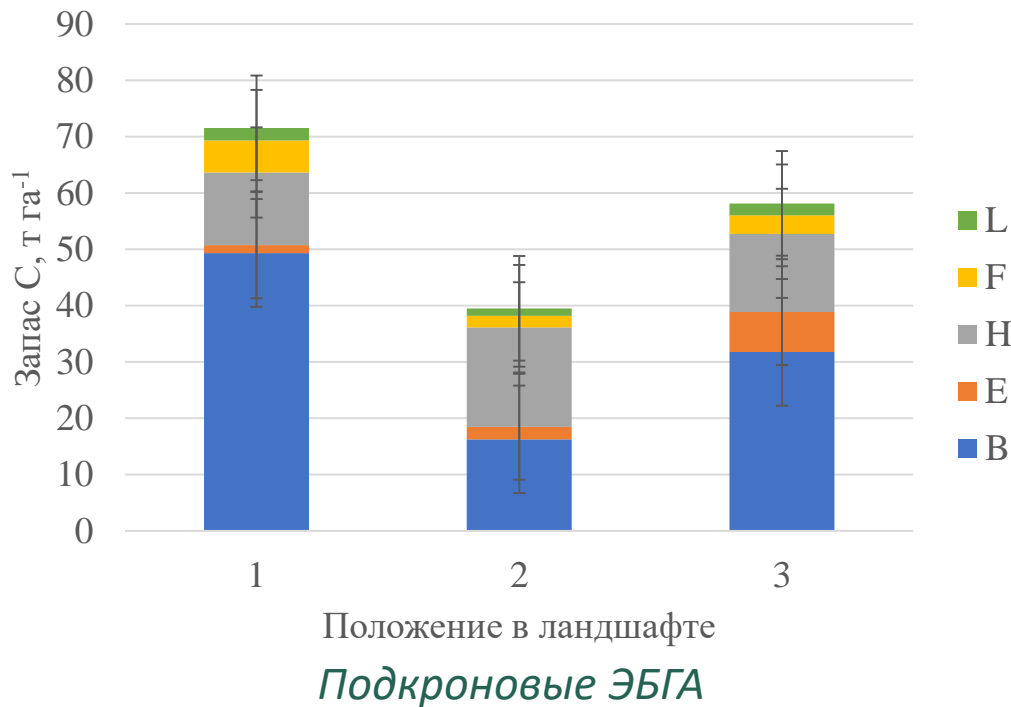
Объект: северотаежные еловые леса
45 пробных площадей

Элементы геохимически-сопряженных ландшафтов:

1 - автоморфное

2 - транзитное

3- аккумулятивное



2. ОЦЕНКА ВКЛАДА БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В НАКОПЛЕНИЕ ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА В БОРЕАЛЬНЫХ И ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСАХ



- **РАСТИТЕЛЬНОСТЬ** (Кузнецова А.И., Кузнецов В.А.)
Северо-Западный Кавказ
Москворецко-Окская равнина
- **МАКРОФАУНА** (Ермолов С.А.)
Новосибирская область
Вологодская область
- **ПОЧВЕННЫЕ ГРИБЫ** (Катаев А.Д.)
ГПБЗ «Брянский лес»

2. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ. Регулирование температурного режима органогенных горизонтов и запаса подстилок

СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ

СЗК1:

ОСИНОВО-ГРАБОВЫЙ
ЖИМОЛОСТНО-
МЕЛКОТРАВНЫЙ

Возраст: 50-60 лет



СЗК2:

БУКОВО-ПИХТОВО-
ГРАБОВЫЙ
МЕЛКОТРАВНЫЙ

Возраст: 80-110 лет



СЗК3:

ПИХТОВО-БУКОВЫЙ
МЕТВОПОВЕРХОВНЫЙ

Возраст: >450 лет



Тип почв: Типичный бурозем **тяжелосуглинистый** на глинистых сланцах по Классификация почв., 2004
Dystric Cambisols по WRB, 2015

МОСКВОРЕЦКО-ОКСКАЯ РАВНИНА

МО1:

БЕРЕЗОВО-ЛИПОВЫЙ
ВОЛОСИСТОСОКОВЫЙ

Возраст: 70-90 лет



МО2:

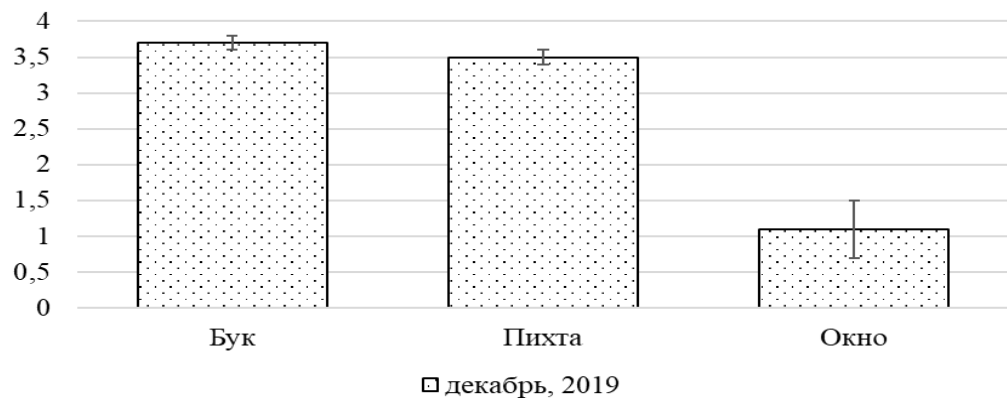
ШИРОКОЛИСТВЕННО-ЕЛОВЫЙ
КИСЛИЧНО-РАЗНОТРАВНЫЙ

Возраст: >100 лет

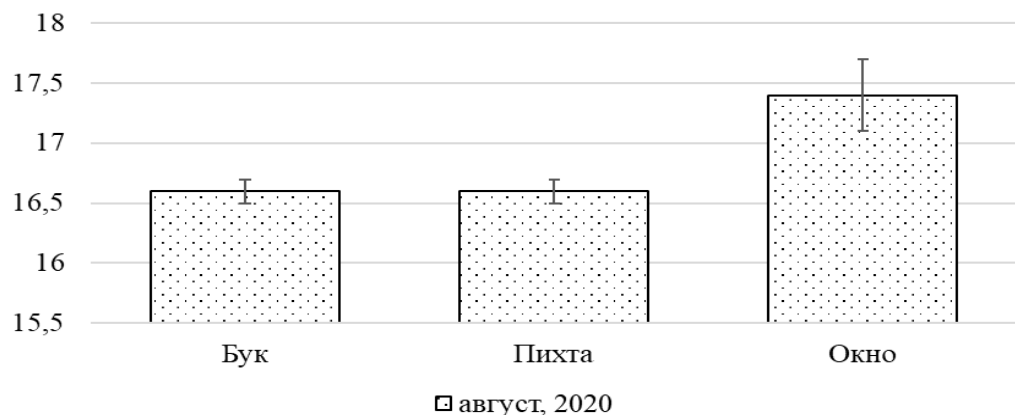


Тип почв: Дерново-подзолистая **среднесуглинистая** на покровных суглинках подстилаемых мореной
по Классификация почв., 2004, Albic Retisols по WRB, 2015

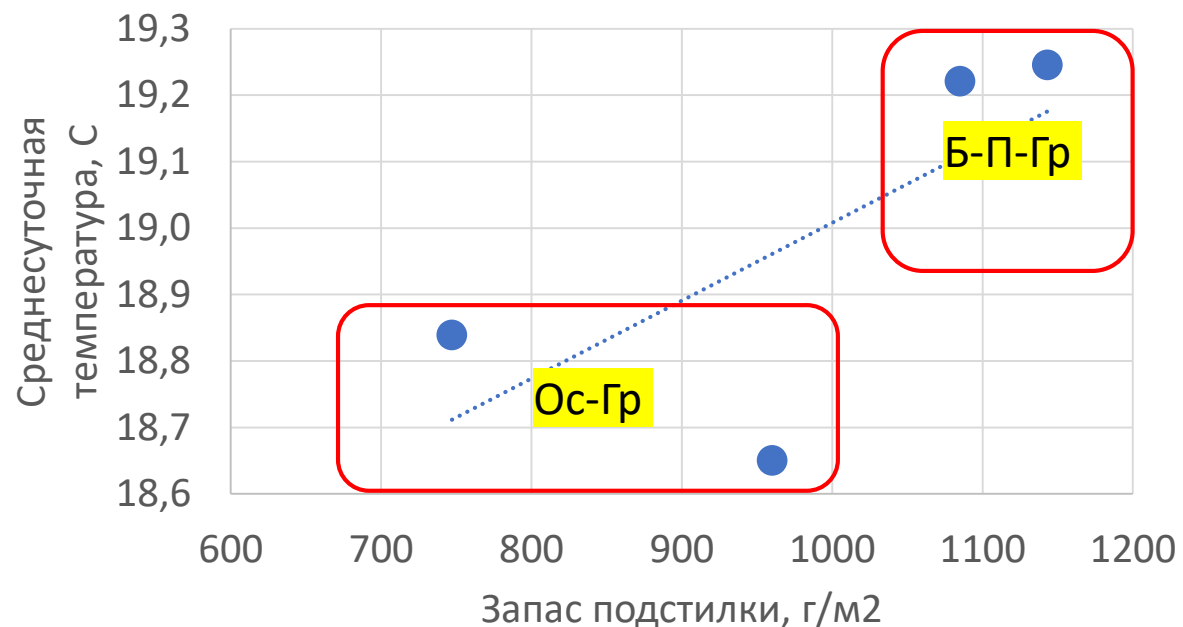
ЛЕСА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА



В период с октября по февраль выявлена более низкая температура подстилки в окне по сравнению с подкроновыми пространствами бука и пихты, что может быть обусловлено низкими запасами подстилки окна.



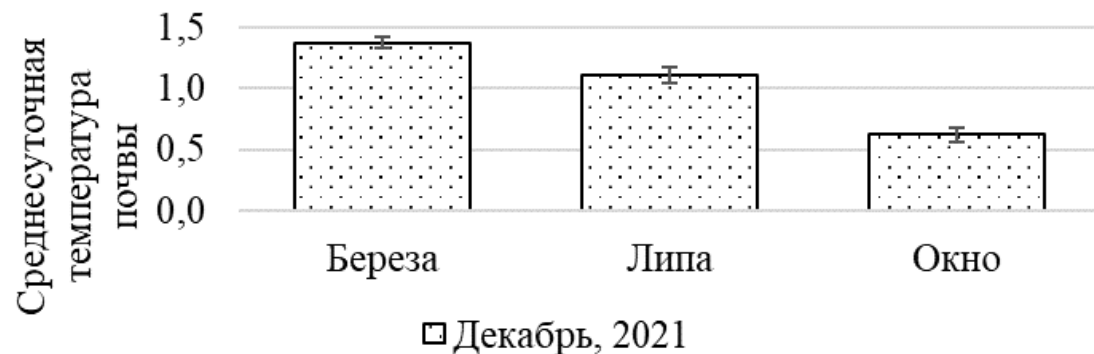
В летний период – окно прогревается сильнее всего. Наиболее тесные связи запаса подстилки и ее температурных характеристик на внутрибиогеоценотическом уровне были выявлены в пихтово-буковом мертвопокровном лесу.



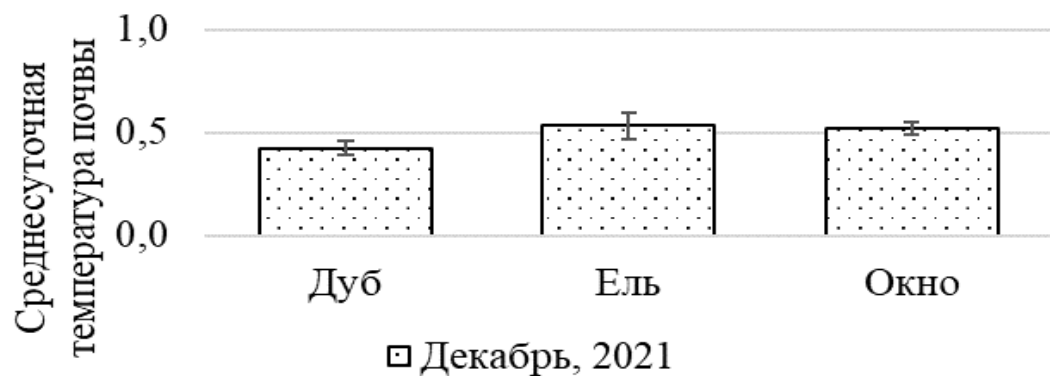
Влияние запасов подстилки на среднесуточную температуру июля в разных типах леса. $R^2 = 0,49$

В теплое время года (с апреля по октябрь) отмечена более высокая температура подстилки буково-пихтово-грабового леса. Буково-пихтово-грабовая подстилка, состоящая из смешанных быстро и медленно разлагаемых компонентов, характеризуется высоким запасом, связанным с относительно медленной скоростью минерализацией опада пихты. В то же время вклад граба, бука и мелкотравья формирует благоприятные физические условия для прогревания благодаря активному формированию перегноя и его высокой пористости.

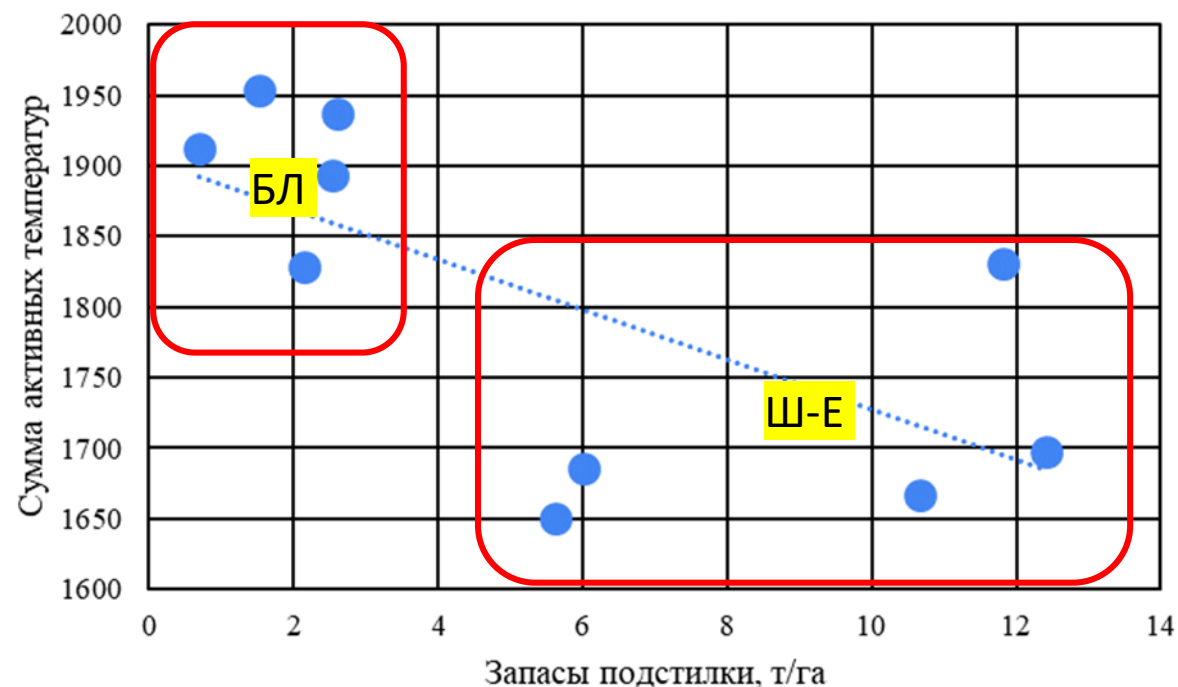
ЛЕСА МОСКВОРЕЦКО-ОКСКОЙ РАВНИНЫ



В березово-липовом лесу в зимний период в окнах отмечена более низкая температура почв, низкие запасы подстилки окна способствуют большому промерзанию почвы.



В широколиственно-еловом лесу более высокая температура в зимний период отмечена в еловых элементах мозаики по сравнению с почвой под дубом. Высокие запасы подстилки под елью способствуют меньшему охлаждению почвы.



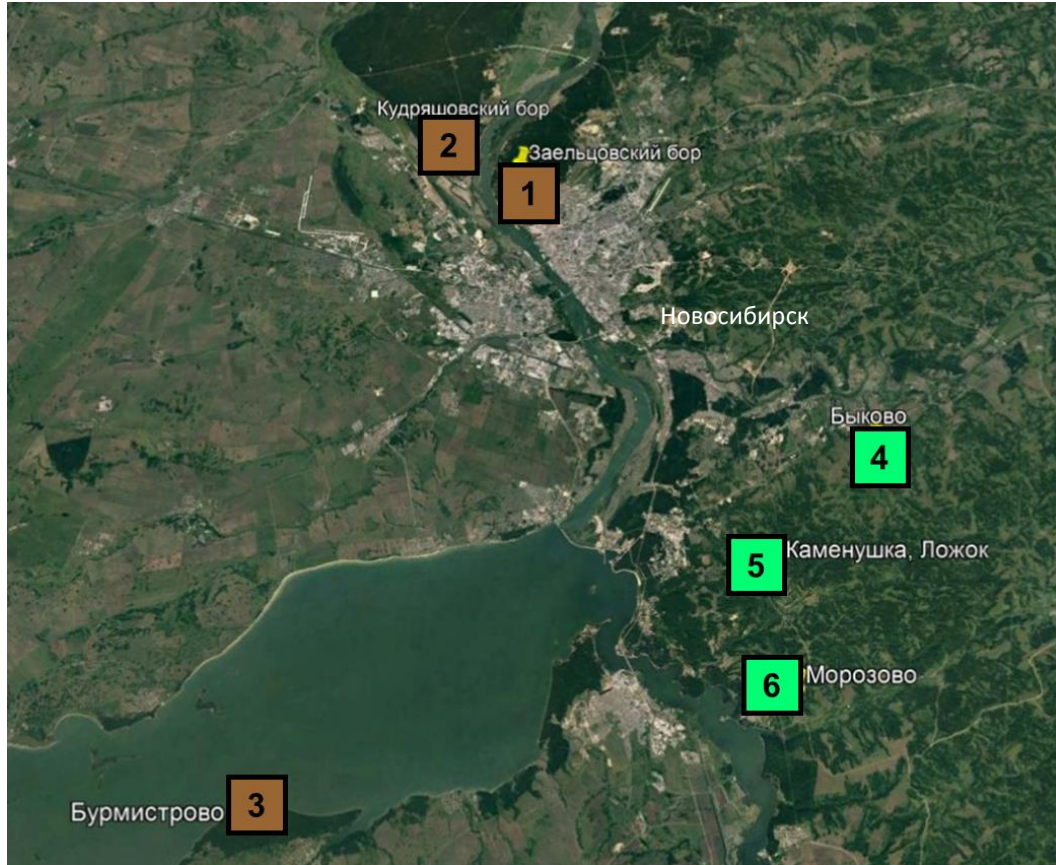
Влияние запасов подстилки на сумму активных температур в разных типах леса. $R^2 = 0,44$

Широколиственно-еловый лес характеризуется более низкой температурой подстилки, что связано с разными характеристиками растительности и свойствами подстилки.

Для широколиственно-еловой подстилки, которая отличалась низким качеством характерна большая мощность (в 2-3 раза). Такая подстилка экранирует почву от внешней среды и способствует более низким температурам в теплое и холодное время года.

2. МАКРОФАУНА. Взаимосвязь плотности населения и биомассы дождевых червей с соотношением C/N в почвах мелколиственных лесов

Новосибирская область, Новосибирский и Искитимский р-ны



1-3 Сосняки разнотравно-папоротниковые

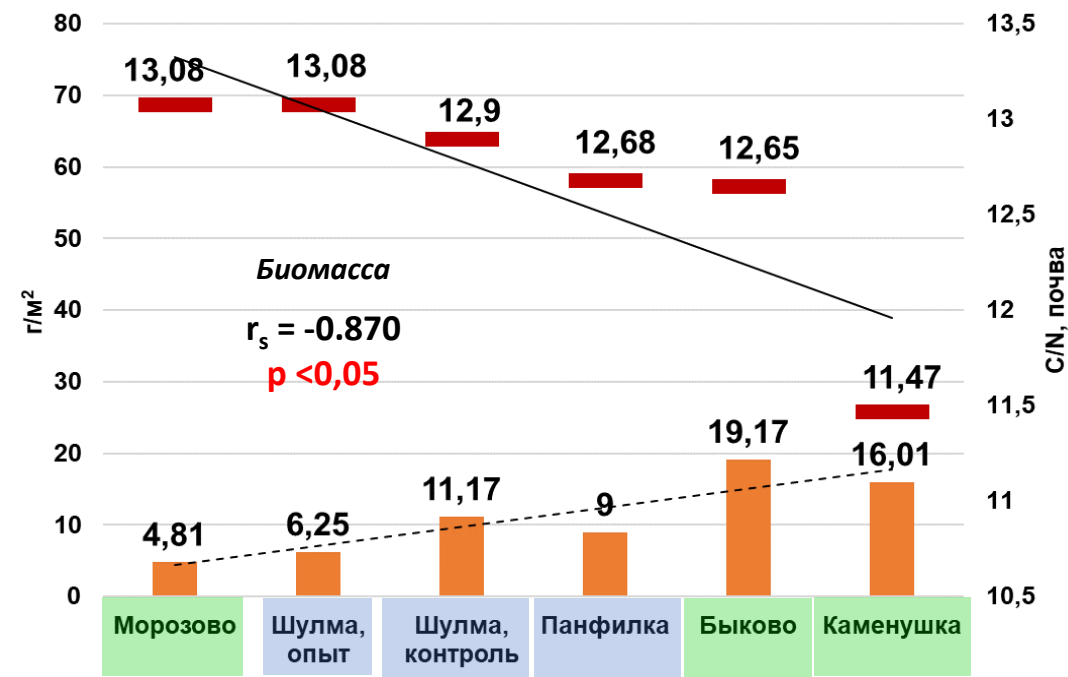
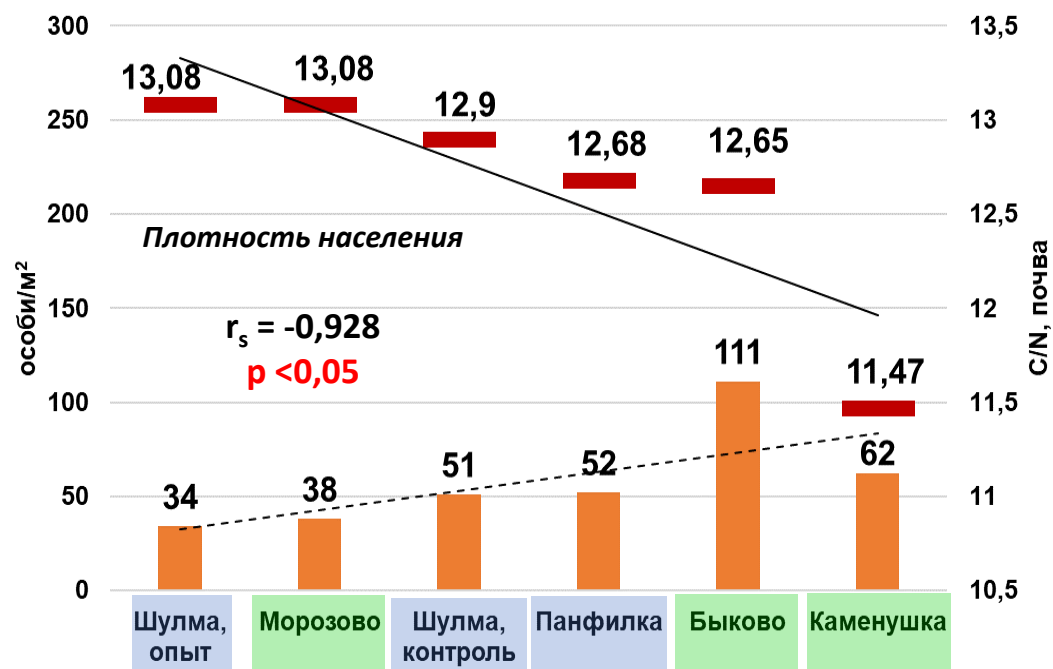
4-6 Березово-осиновые папоротниковые леса

Вологодская область, Череповецкий р-н

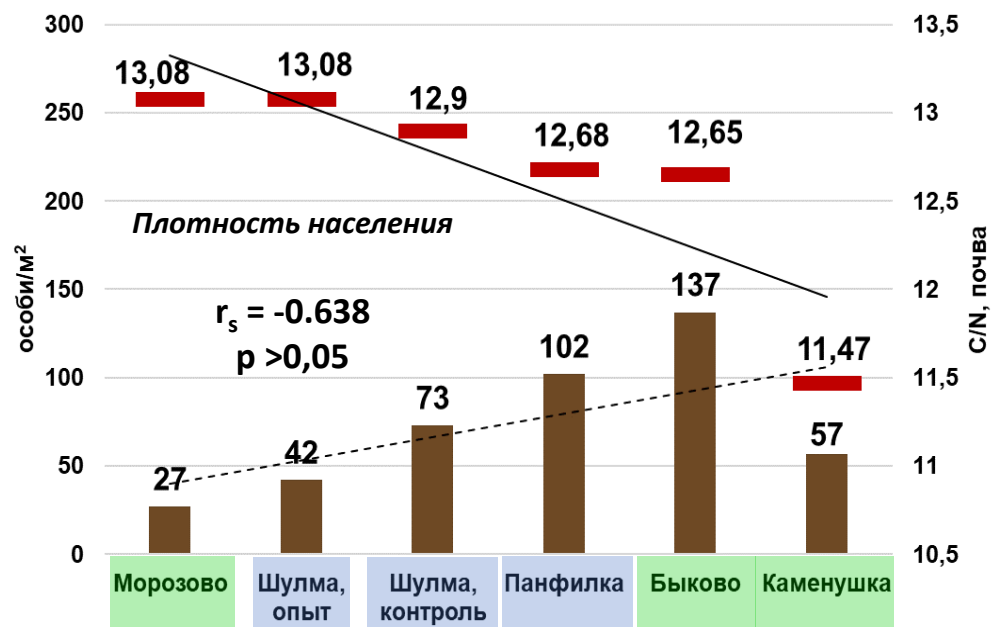


I-V, KI – Злаковые березняки (окр. д. Шулма)

KII – Березняк ольхово-ивово высокотравный (окр. д. Панфилка)



- Почвенно-подстилочные черви
- Aporrectodea caliginosa*



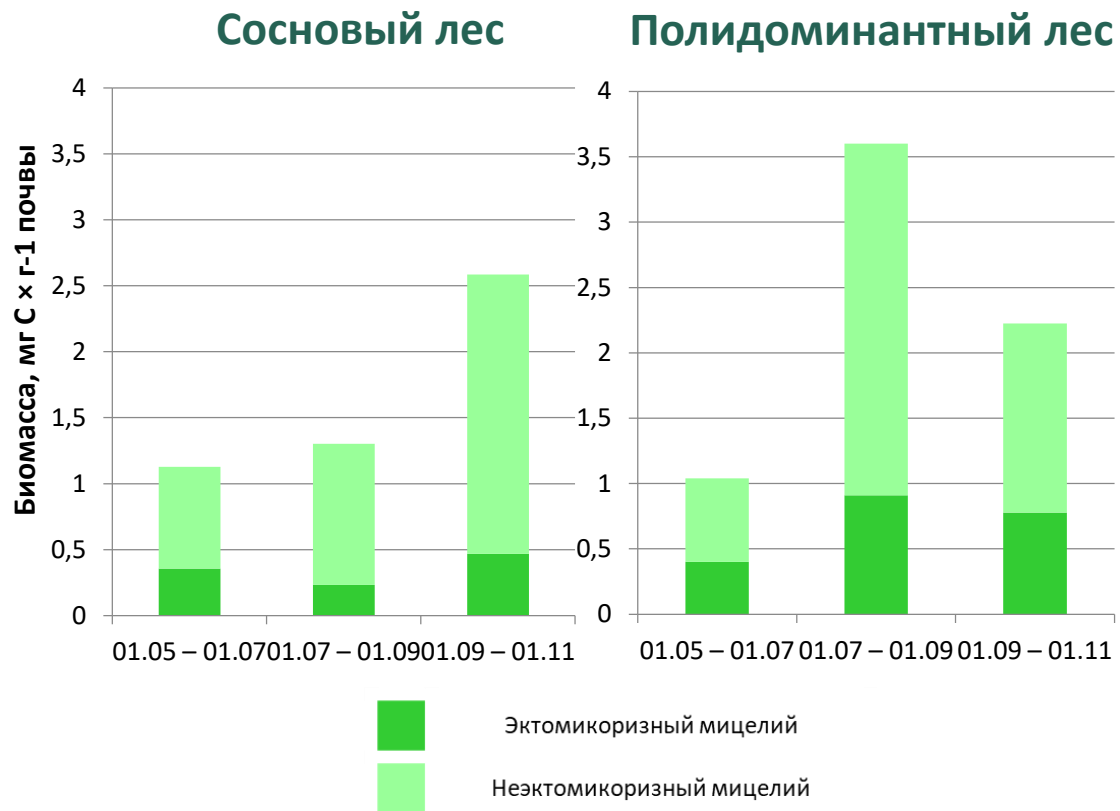
Чем **больше** плотность населения и биомасса дождевых червей, тем **выше** в почве содержание **N (%)** и соответственно **ниже** соотношение **C/N**.

Питаясь растительными останками и почвенным гумусом, черви осуществляют процессы **минерализации** органических соединений, так как выделяемые ими **копролиты** содержат большое количество **азотных соединений**, что в свою очередь стимулирует деятельность **микроорганизмов**, осуществляющих процессы **нитрификации** и **аммонификации** в почве (Битюцкий и др., 2007).

2. ПОЧВЕННЫЕ ГРИБЫ. Сезонная динамика биомассы и факторы, влияющие на нее

Объект: заповедник Брянский лес

1. сосняки кустарничково-зеленомошные
2. полидоминантные широколиственные неморально-травные леса с елью



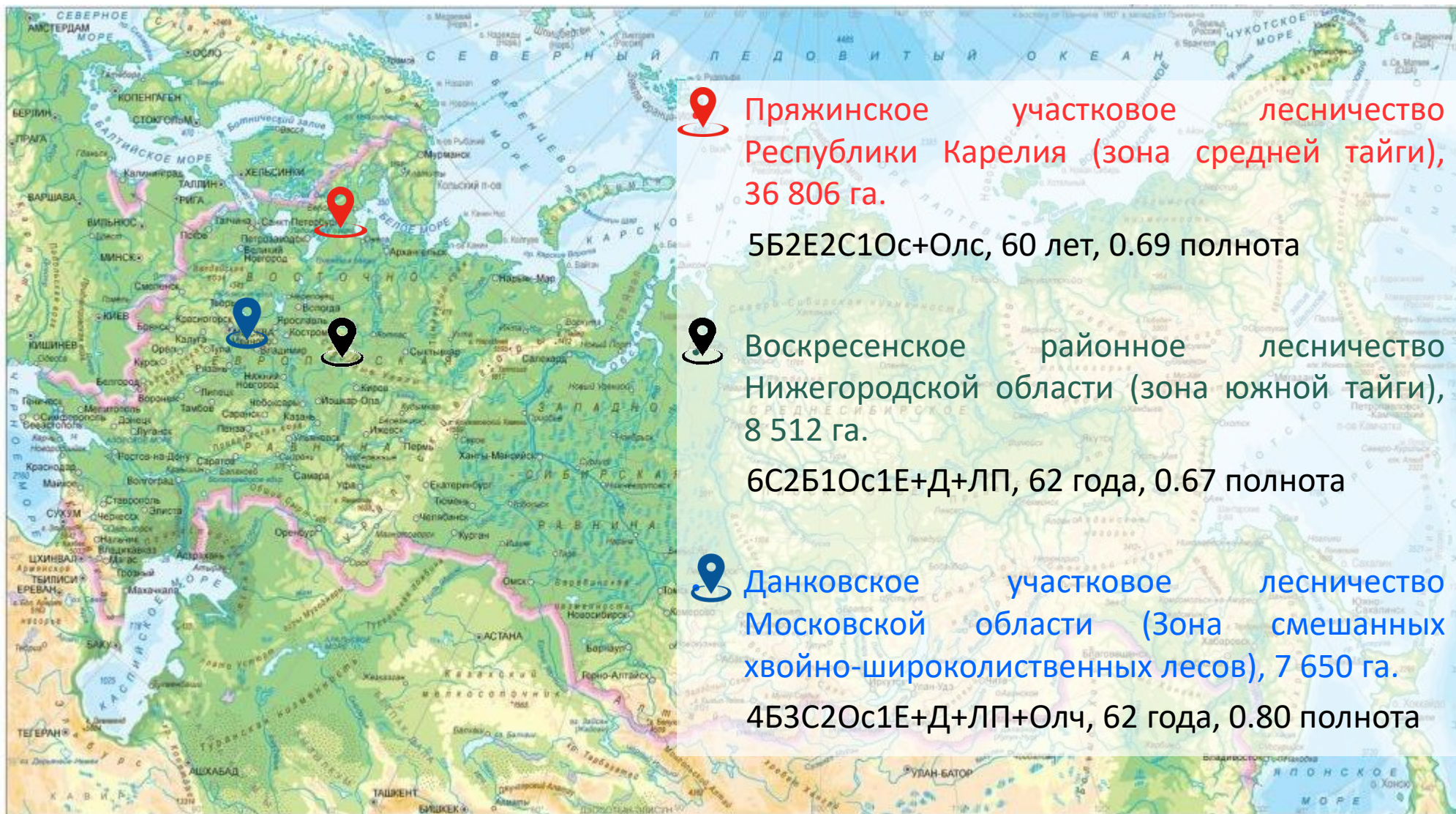
Показатели	Фактор									
	Тип леса		Динамика температуры (летний – осенний периоды)				Динамика влажности (сухой – влажный периоды)			
			Сосновый лес		Полидоминантный лес		Сосновый лес		Полидоминантный лес	
	R ²	p	R ²	p	R ²	p	R ²	p	R ²	p
Биомасса почвенных грибов, мг С × г ⁻¹ почвы	0.09	0.319	0.76	0.025	0.01	0.937	0.27	0.293	0.66	0.048
Эктомикоризный мицелий	0.19	0.159	0.52	0.106	0.01	0.825	0.01	0.962	0.18	0.402
Неэктомикоризный мицелий	0.02	0.596	0.73	0.030	0.01	0.829	0.34	0.222	0.56	0.086

Примечания: R² – коэффициент детерминации, p – p-значение; n = 12.

3. ПРОГНОЗ ЛЕСОВОДСТВЕННЫХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ НА ДИНАМИКУ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА, ВКЛЮЧАЯ ПРОЦЕССЫ АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ, С УЧЕТОМ РАЗНЫХ СЦЕНАРИЕВ ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА



- ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА (Тебенькова Д.Н.)
 - На запас насаждения, валежа;
 - На онтогенетическую структуру.
- ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И РУБОК НА УРОЖАЙ ЛЕСНЫХ ЯГОД (Колычева А.А.)
 - Черники;
 - Брусники;
 - Малины.



📍 Пряжинское участковое лесничество
Республики Карелия (зона средней тайги),
36 806 га.

5Б2Е2С1Ос+Олс, 60 лет, 0.69 полнота

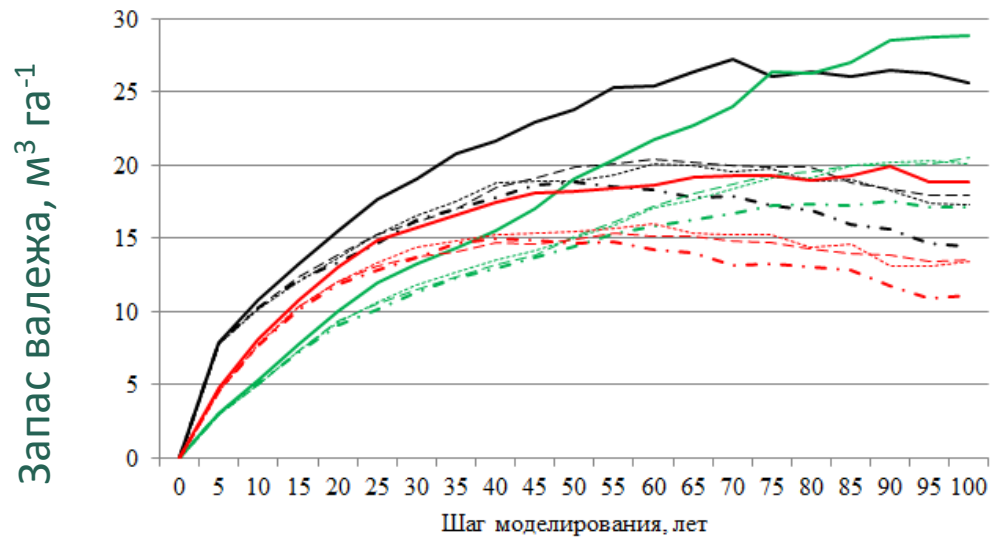
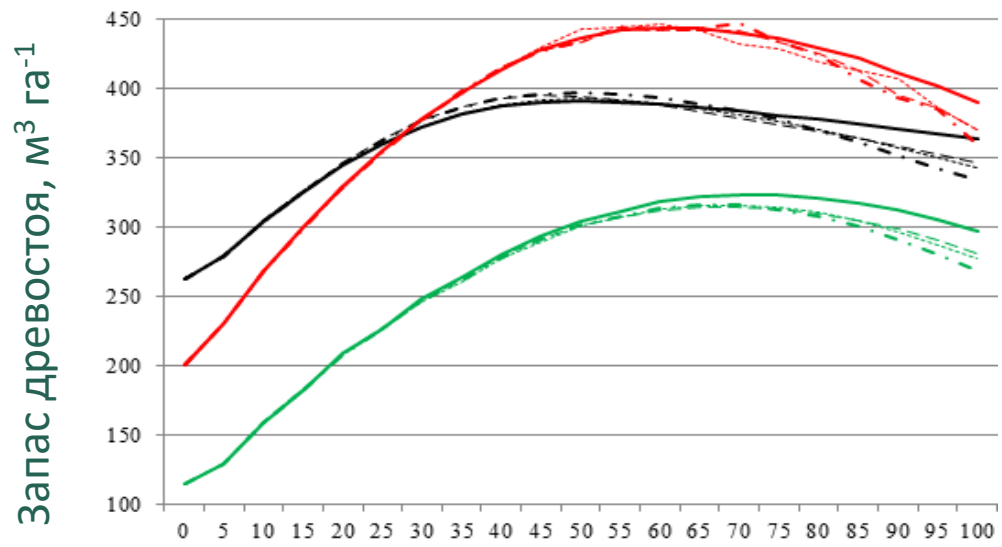
📍 Воскресенское районное лесничество
Нижегородской области (зона южной тайги),
8 512 га.

6С2Б1Ос1Е+Д+ЛП, 62 года, 0.67 полнота

📍 Данковское участковое лесничество
Московской области (Зона смешанных
хвойно-широколиственных лесов), 7 650 га.

4Б3С2Ос1Е+Д+ЛП+Олч, 62 года, 0.80 полнота

Временные рамки: 100 лет; сценарии изменения климата RCP



Шаг моделирования, лет

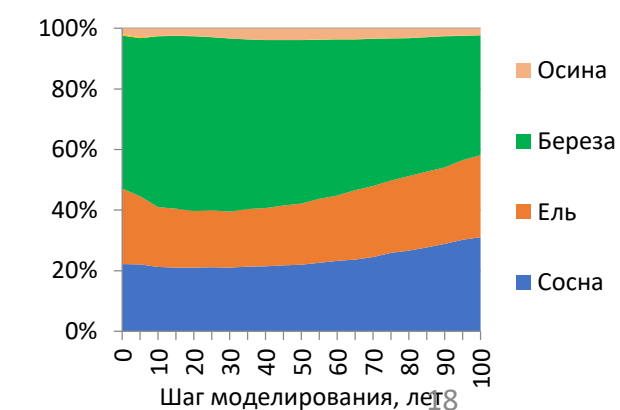
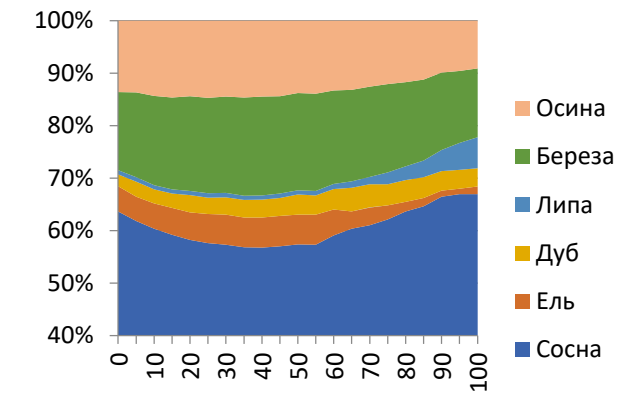
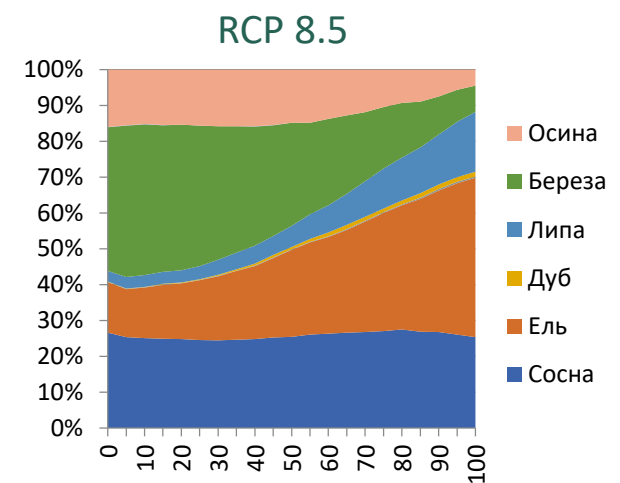
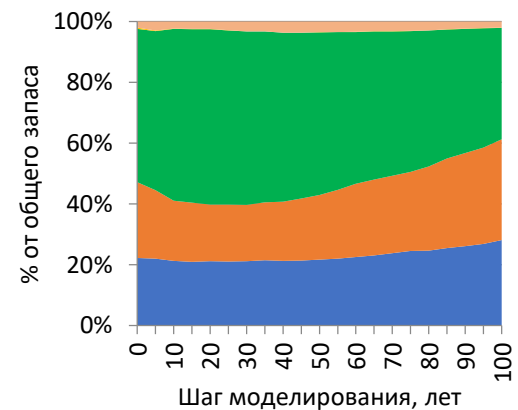
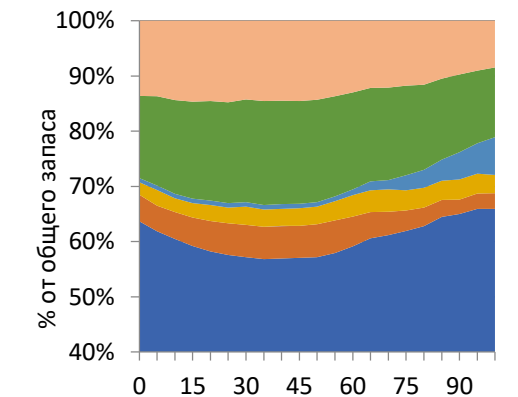
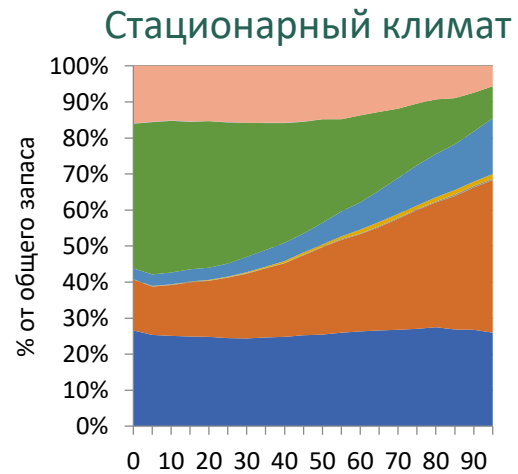
Московская обл. — CK — RPC 4.5 — RPC 6.0 — RPC 8.5
 Карелия — CK — RPC 4.5 — RPC 6.0 — RPC 8.5
 Нижегородская обл. — CK — RPC 4.5 — RPC 6.0 — RPC 8.5

СК - стационарный климат, RCP4.5, 6.0, 8.5 - умеренный, промежуточный и экстремальный сценарии изменения климата соответственно.

Московская обл.

Нижегородская обл.

Карелия



Осина
Береза
Липа
Дуб
Ель
Сосна

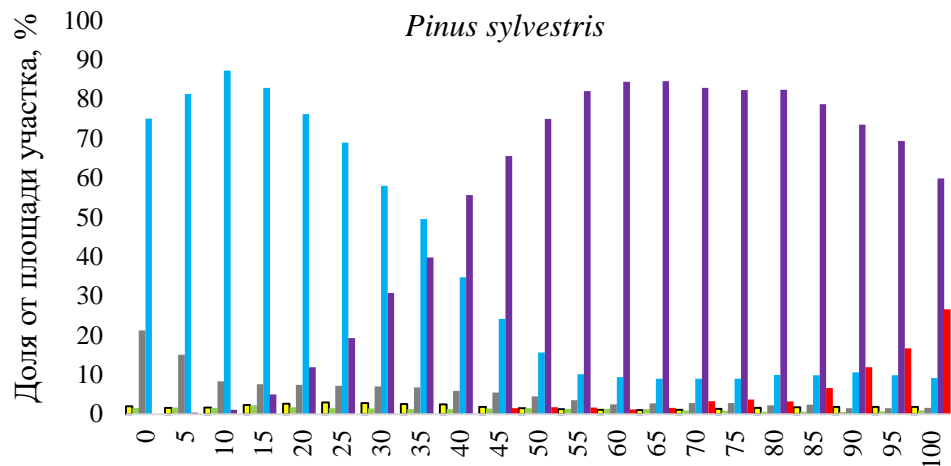
Осина
Береза
Липа
Дуб
Ель
Сосна

Осина
Береза
Ель
Сосна

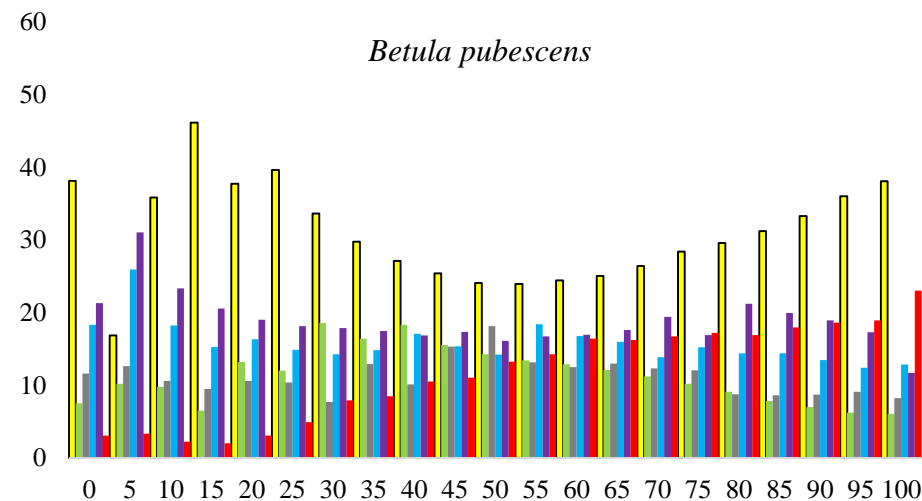
ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР

Стационарный климат

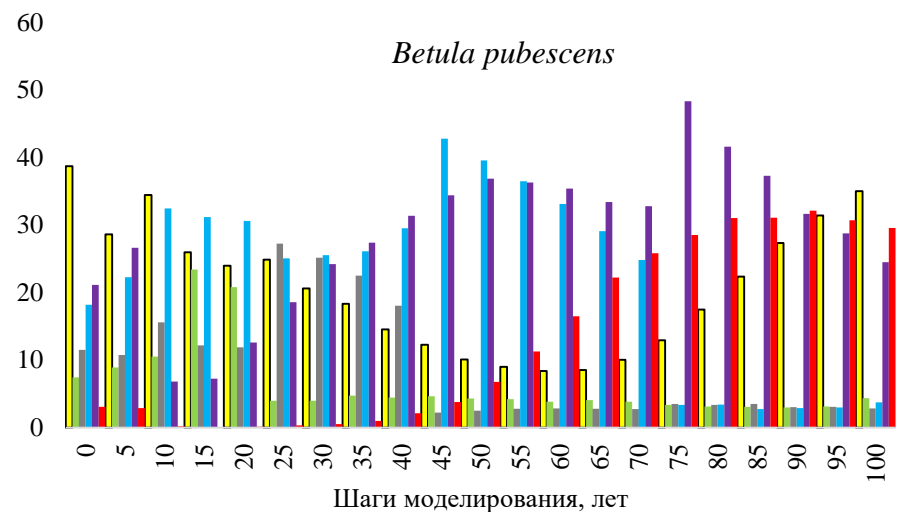
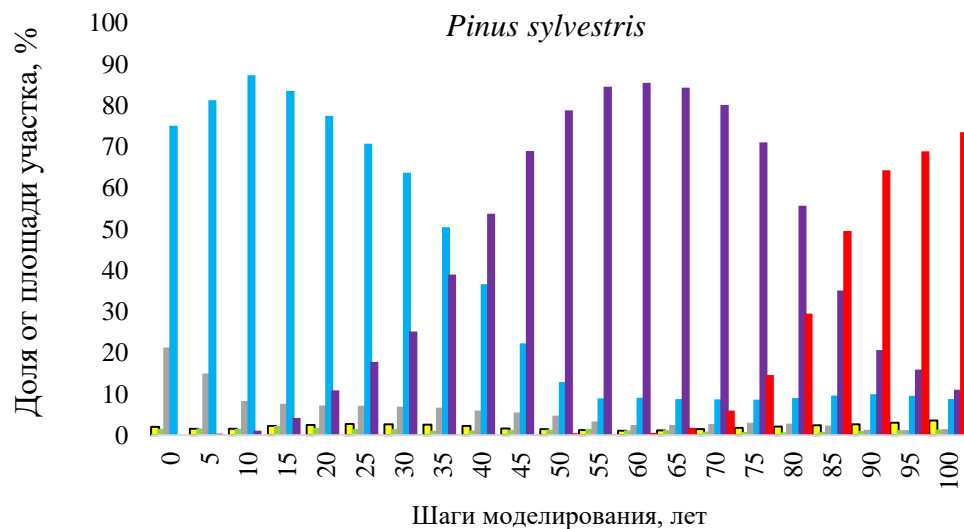
Московская область



Карелия



RSP 8.5

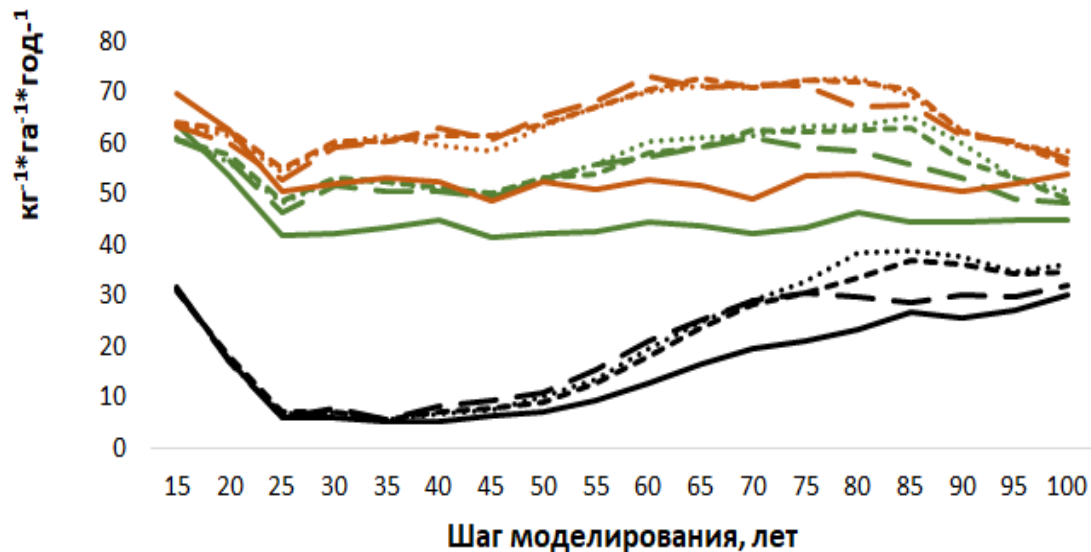


Im V G1 G2 G3 S

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И РУБОК* НА УРОЖАЙ ЧЕРНИКИ, БРУСНИКИ, МАЛИНЫ

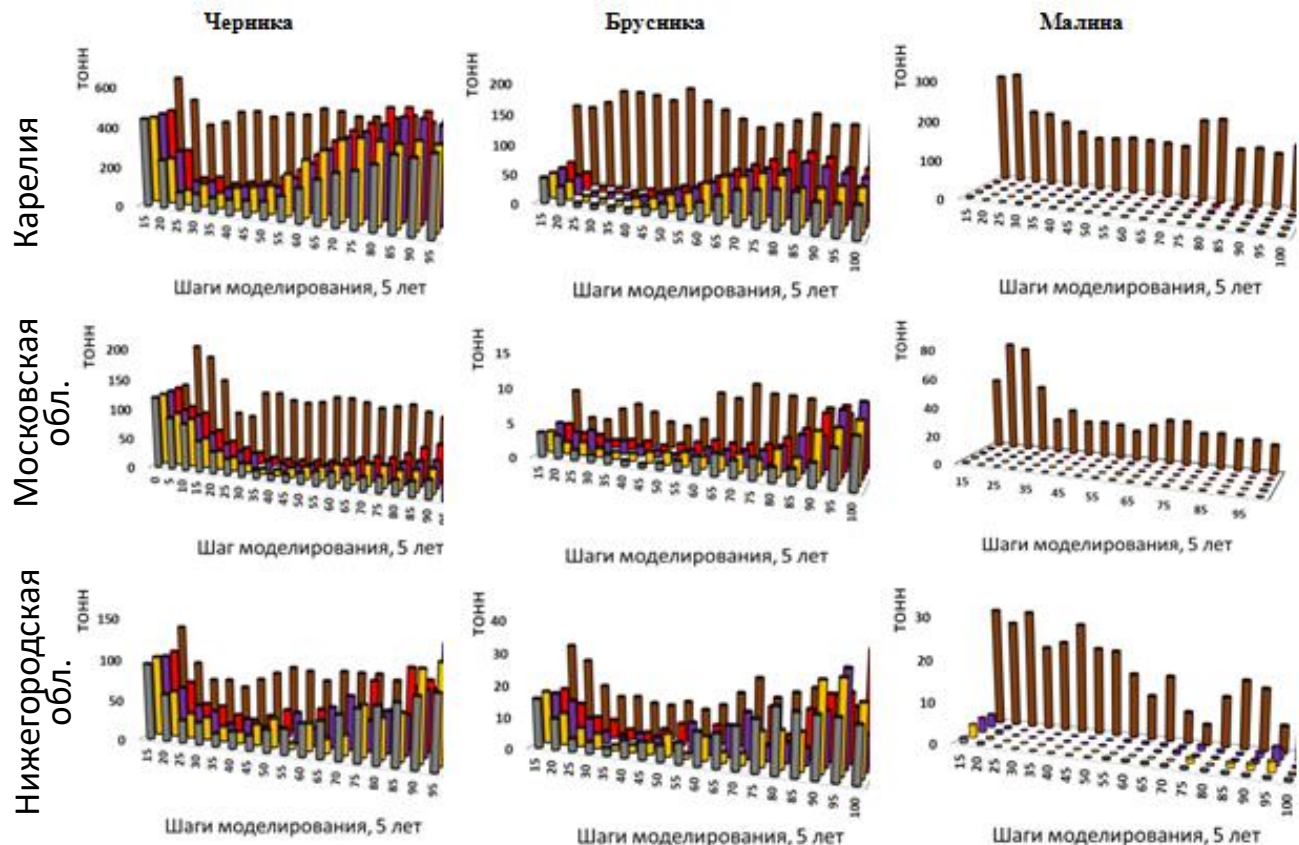
* Рубки в соответствии с текущим законодательством

Выборочные рубки увеличивают урожайность ягодников на трех объектах (синергия), тогда как комплекс сплошных и выборочных рубок на лесных участках Московской области ведет к снижению урожаев, а Республики Карелия к сокращению площади ягодоносных выделов (конфликт).



— EP_CK — BP_CK — SP+BP_CK
 —• EP_RCP 4.5 —• BP_RCP 4.5 —• SP+BP_RCP 4.5
 - - EP_RCP 6.0 - - BP_RCP 6.0 - - SP+BP_RCP 6.0
 EP_RCP 8.5 BP_RCP 8.5 SP+BP_RCP 8.5

Урожайность ягодников при комплексном влиянии изменения климата и лесохозяйственных мероприятий на лесных участках Республики Карелия



■ EP_CK ■ EP_RCP 4.5 ■ EP_RCP 6.0 ■ EP_RCP 8.5 ■ Рубки

Объемы заготовки древесины, при которых не снижается продуктивность ягодников:
 В Московской области $6-8 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ на защитных и эксплуатационных зонах, а в Республики Карелия $4-6 \text{ м}^3 \text{ га}^{20} \text{ год}^{-1}$

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА

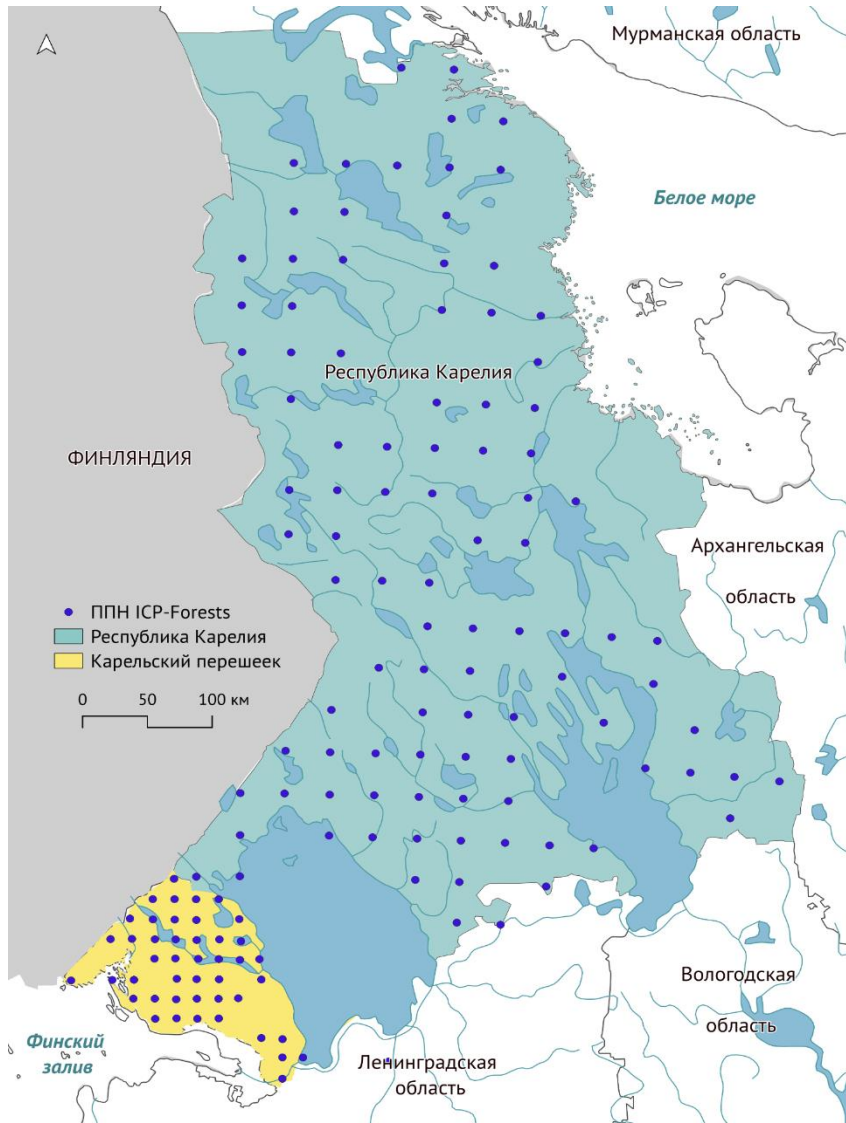


- ГЕОПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ (Нарыкова А.А.)



- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ПО ДАННЫМ БПЛА (Никитина А.Д.)

4. ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ ПРОЦЕССОВ АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ



Использование регулярной сети ICP-Forests

— модель обучается на почвенных полевых данных (N=145) ICP-Forests (2007-2010 гг.)

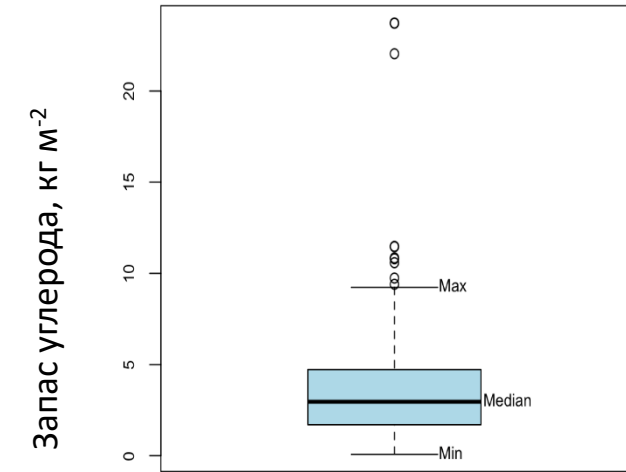
— в качестве независимых переменных (входных свойств) использовался набор из 34 предикторов, характеризующих факторы почвообразования согласно модели SCORPAN (McBratney et al., 2003)

— все предикторы были приведены к единому пространственному разрешению (90 м/пиксель) с помощью функции `.resample()` и метода `bicubic` в Google Earth Engine (GEE).

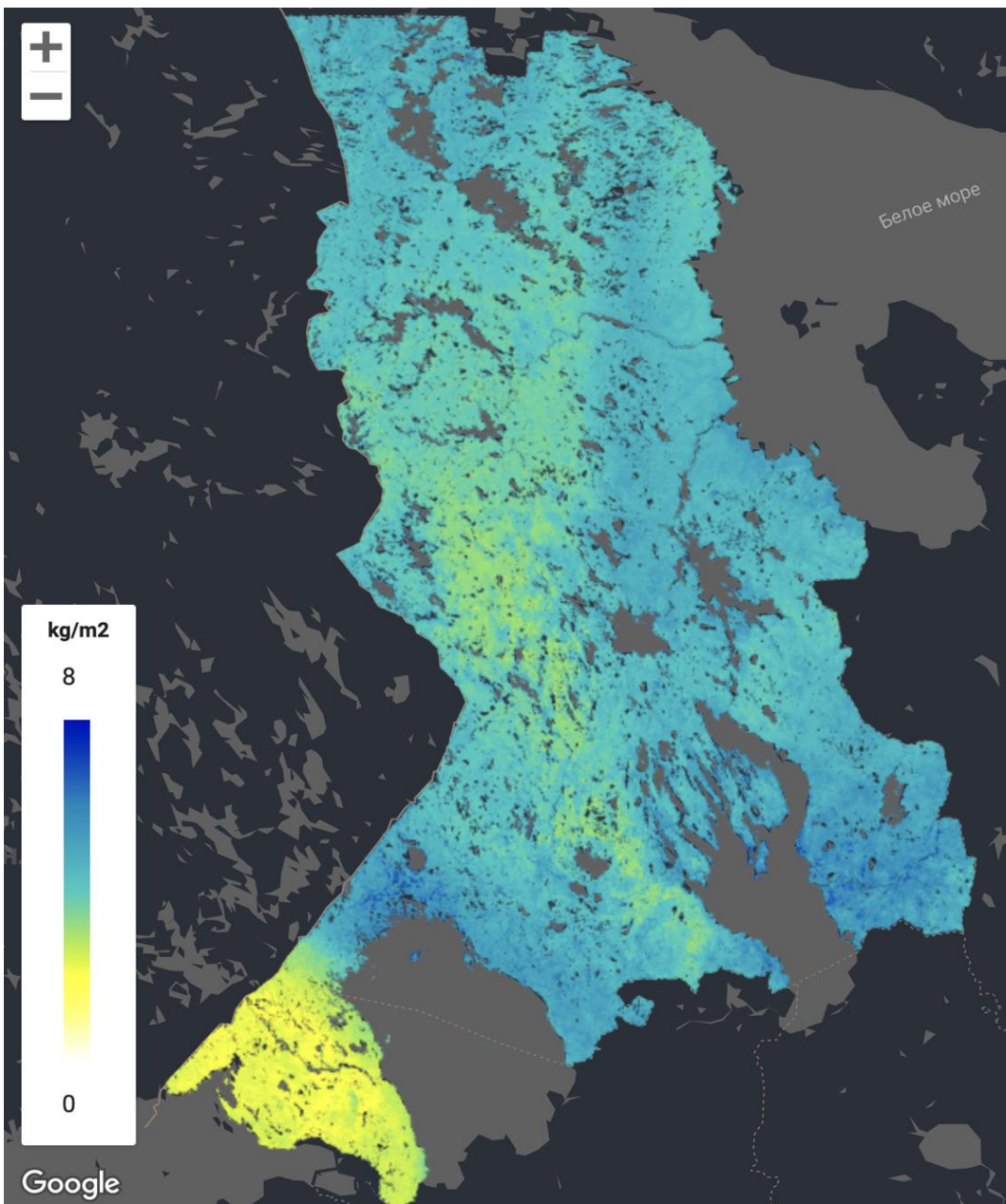
— регрессионная модель создана с использованием функции `smileRandomForest` из библиотеки `ee.Classifier` GEE. При моделировании был выбран режим классификатора `setOutputMode ('REGRESSION')` с количеством деревьев 200.

Описательная статистика данных ICP-Forests в лесной подстилке

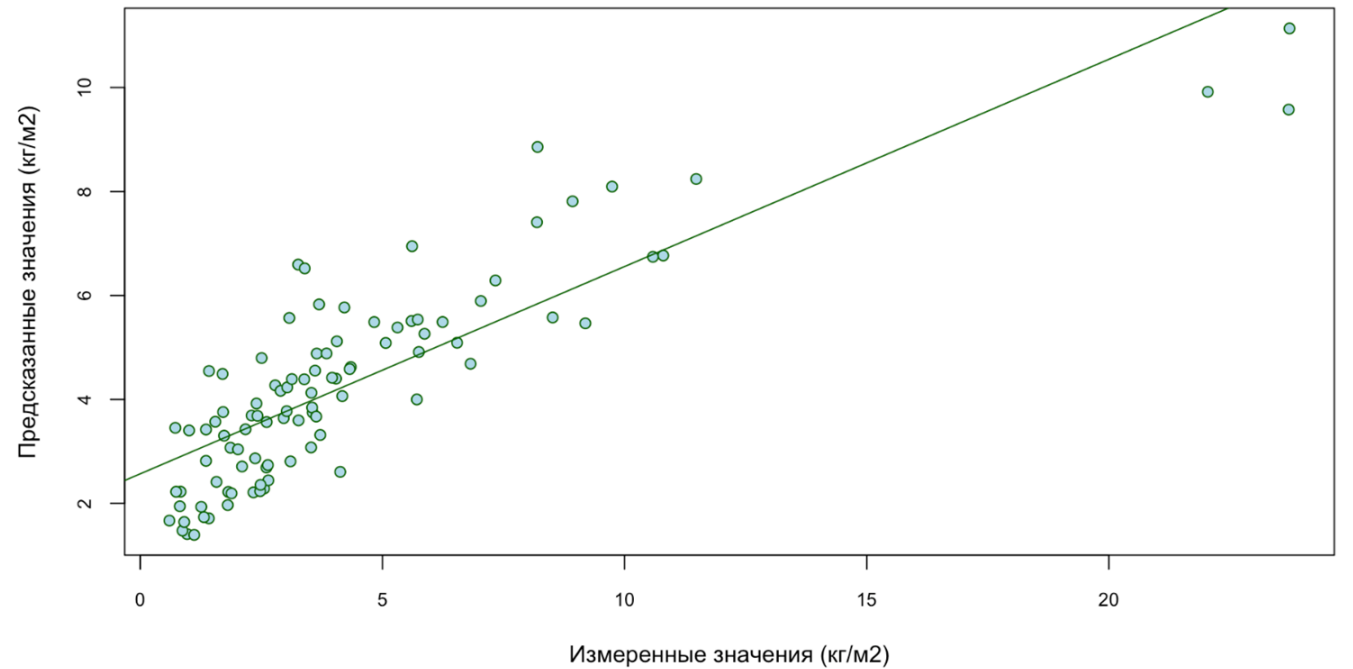
Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.07	1.7	2.97	4.0	4.7	23.7



Размах значений запасов углерода в лесной подстилке



Распределение запасов углерода в лесной подстилке



Рассеяние с линией тренда

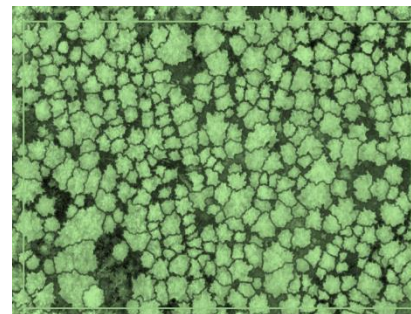
— В результате моделирования была получена геопространственная модель распределения запасов органического углерода в лесной подстилке со следующими метриками: $R^2 = 0.75$; $RMSE = 1.85$

— Значения запасов углерода варьируются в пределах от 1 до 10 $кг/м^2$. Максимальные значения сконцентрированы в Зонезжье Карелии и Северном Приладожье, составляя в среднем от 6.5 до 8.5 $кг/м^2$. Минимальные значения отмечаются на территории Карельского перешейка и вдоль Западно-Карельской возвышенности – в пределах от 1.5 до 3 $кг/м^2$.

— Итоговая версия модели была приведена к пространственному разрешению 90 м/пиксель.

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ПО ДАННЫМ БПЛА

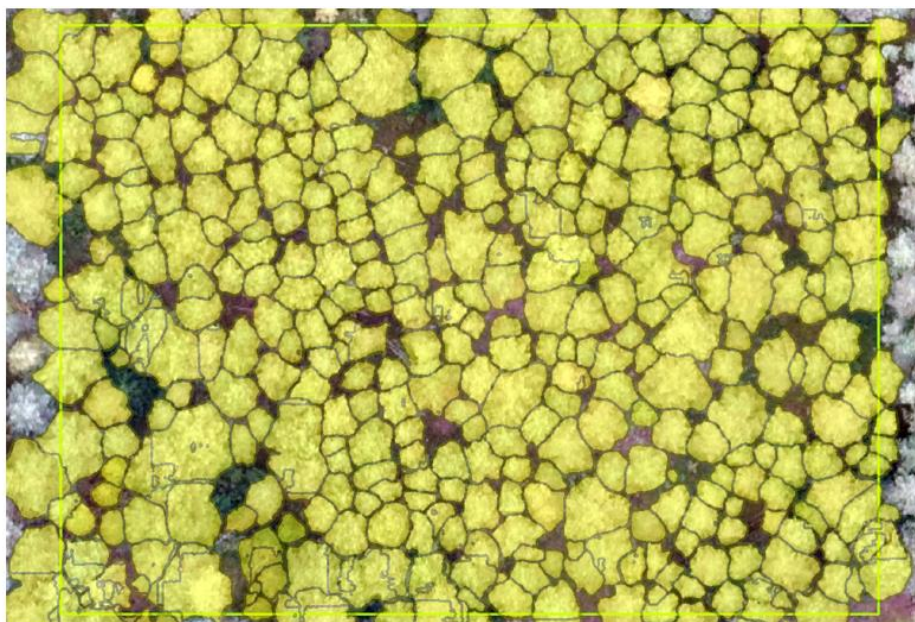
Подготовка
входного
набора
данных



1. Обработка данных бпла
(создание RGB-ортофотопланов)

2. Создание автоматизированного алгоритма
сегментации крон с использованием нейронной
сети (НС) архитектуры Mask R-CNN

- Подготовка данных для НС
- Обучение модели с кросс-валидацией
 - Блок фильтрации результатов
 - Верификация
 - Точность модели:



Результат сегментации без фильтрации
(большое количество избыточных полигонов)



Результаты итоговой сегментации

Возраст древостоя:	F-мера:
0-40	0,75
40-80	0,82
80+	0,87

БЛАГОДАРНОСТИ

*Лукина Наталья Васильевна,
Горнов Алексей Владимирович,
Шевченко Николай Евгеньевич,
Гераськина Анна Петровна,
Плотникова Александра Сергеевна,
Тихонова Елена Владимировна,
Князева Светлана Владимировна,
Евстегнеев Олег Иванович,
Данилова Мария Анатольевна,
Чумаченко Сергей Иванович,
Шанин Владимир Николаевич и коллектив ПНЦБИ РАН,
Коллектив ИПЭЭС РАН
Коллектив ИЛ Кар НЦ РАН*

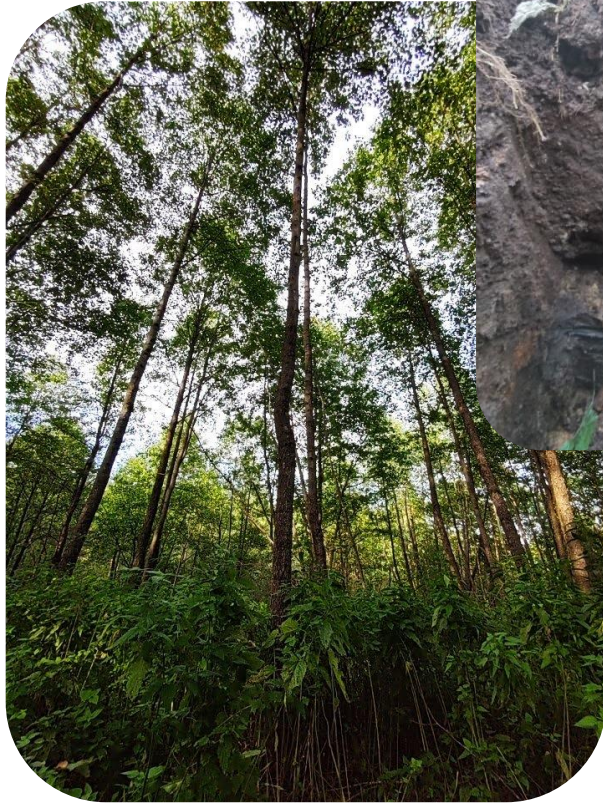


СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



Углерода

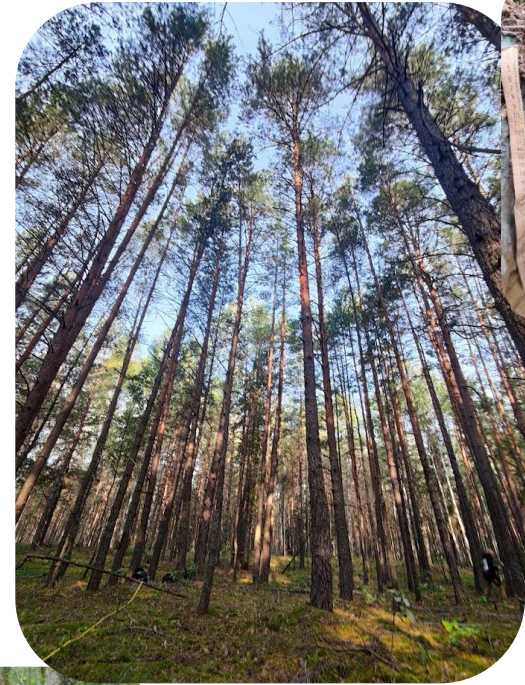
ПРИМЕРЫ ВЫДЕЛЕННЫХ ФОРМАЦИЙ В РАЗНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЛАНДШАФТА



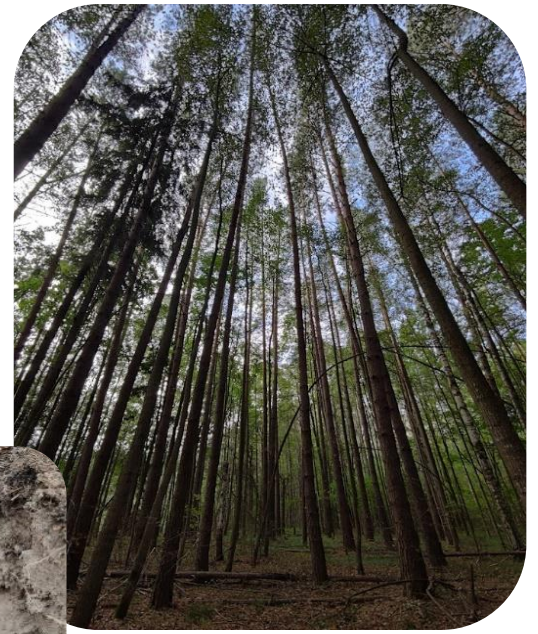
Мелколиственные
(пойма малых рек)



С участием широколиственных (терраса)



Хвойные
(зандровый)



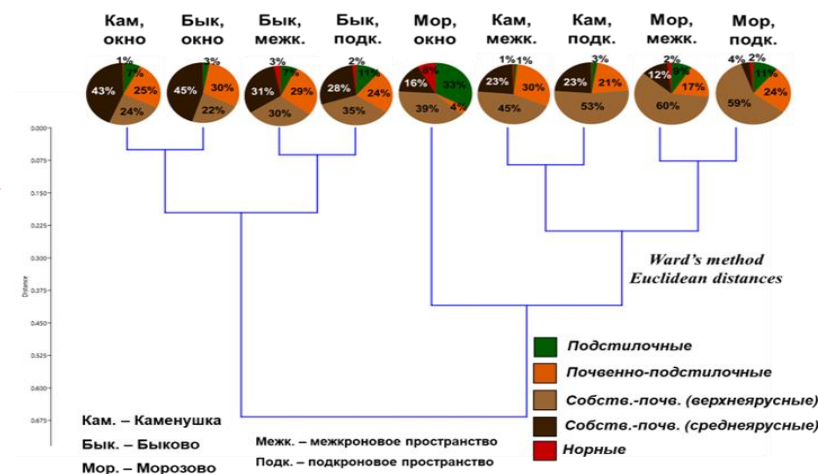
Смешанные хвойно-
лиственные
(моренно-зандровый)



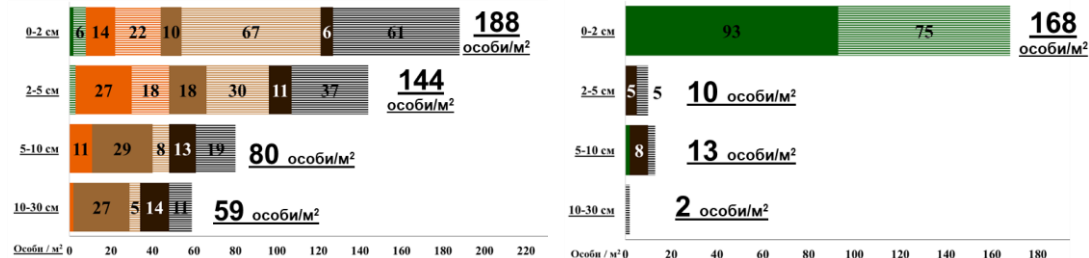
Объект исследования - почвы еловых лесов геохимически-сопряженного ландшафта южного берега оз. Умбозеро

Позиция в ландшафте	Тип ельника	Элементарный биогеоареал (ЭБГА), (n=5)	Доминирующие растения	Тип почв
Автоморфная	Ельник чернично-зеленомошный	Еловый кустарничково-зеленомошный (E _{кз})	Ель, зеленый мох, черника, вороника	Подзол иллювиально-железистый
		Кустарничково-зеленомошный (КЗ)	Черника, вороника, дерен, брусника, зеленый мох, луговик	
		Еловый мертвопокровный (E _{мп})	Ель, брусника (единично)	
Транзитная	Ельник зеленомошно-деренно-вороничного с примесью березы	Еловый кустарничково-зеленомошный (E _{кз})	Ель, зеленый мох, вороника	Подзол иллювиально-гумусовый
		Зеленомошно-деренно-вороничная (КЗ)	Дерен, вороника, луговик, единично иванчай, Pleurozium, Hylacomium	
		Еловый мертвопокровный (E _{мп})	Ель	
Аккумулятивная (болото)	Ельник зеленомошно-багульниково-сфагновый	Еловый кустарничково-зеленомошный (E _{кз})	Ель, багульник, единично зеленые мхи и вороника	Торфяно-подзол глеевый
		Багульниковый (БА)	Багульник, зеленые мхи (единично)	
		Сфагновый (СФ)	Сфагновые мхи, единично морощка	

2. ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ В ЛЕСАХ



Структура и классификация комплексов жизненных форм дождевых червей



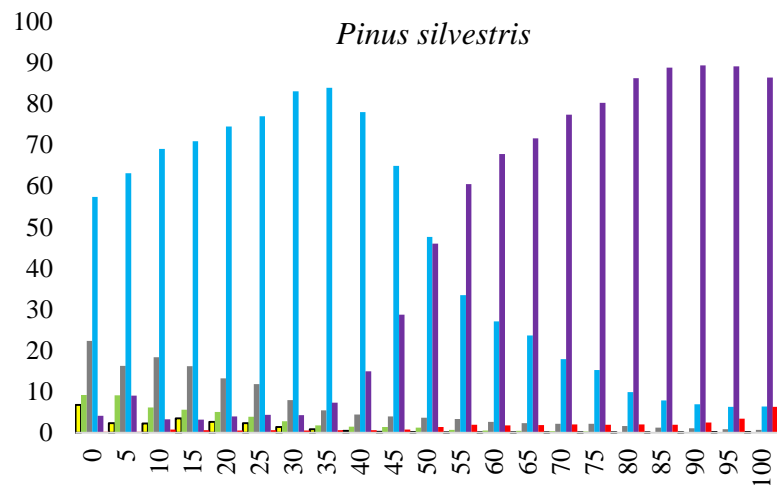
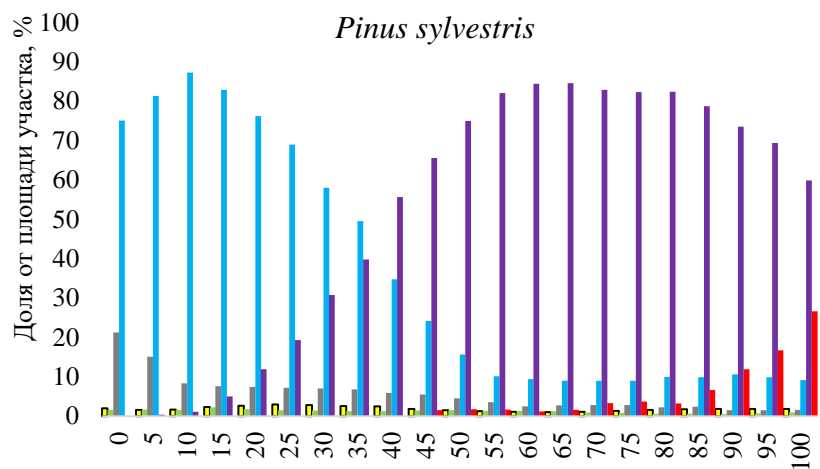
Исследование почвенной биоты в лесных микросайтах с объединением стандартных методик и концепции «gap mosaic»

Новые подходы к изучению вертикального распределения

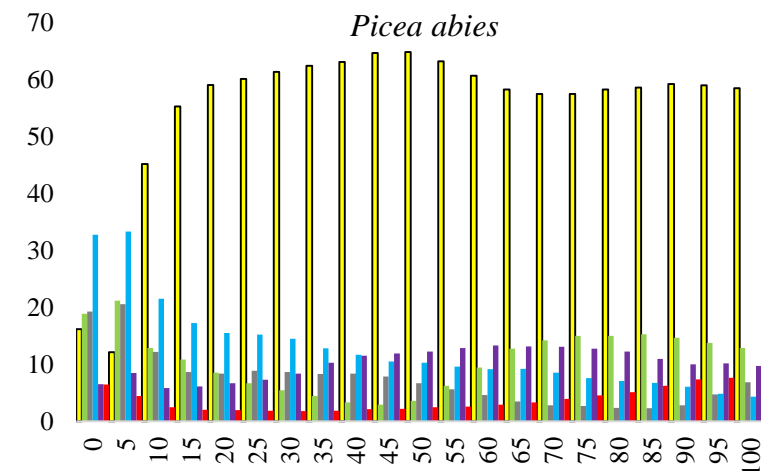
ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ХВОЙНЫХ ВИДОВ

Московская область

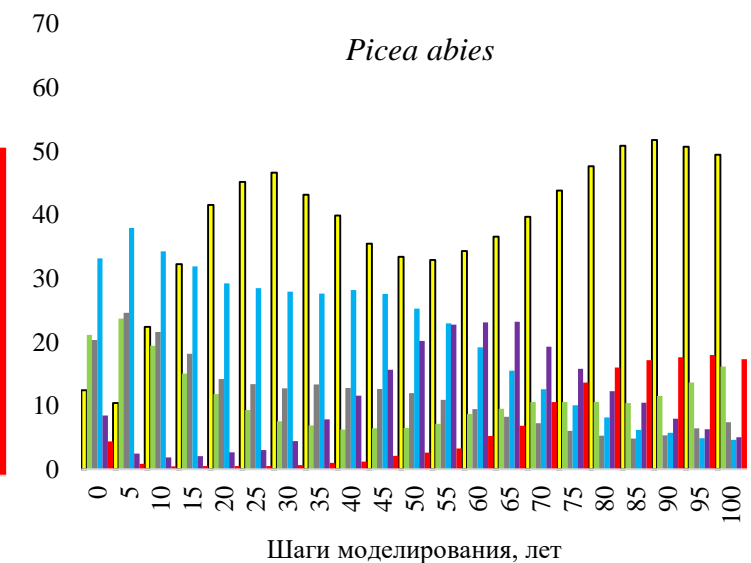
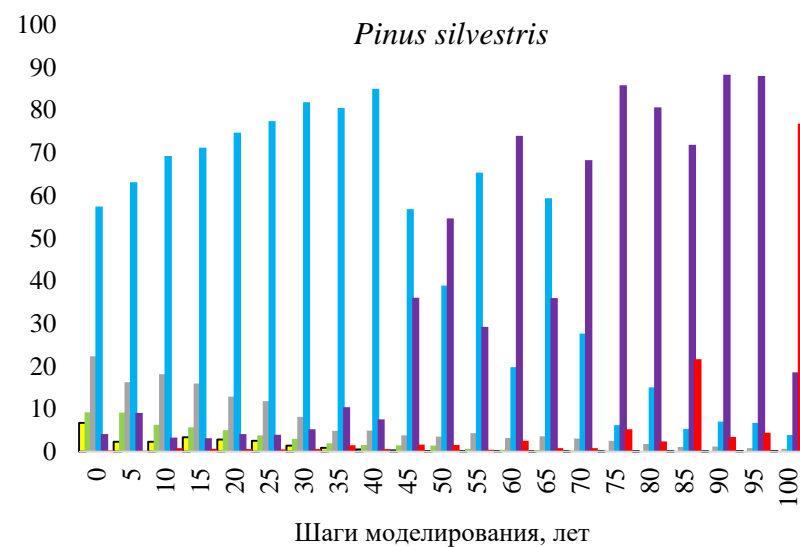
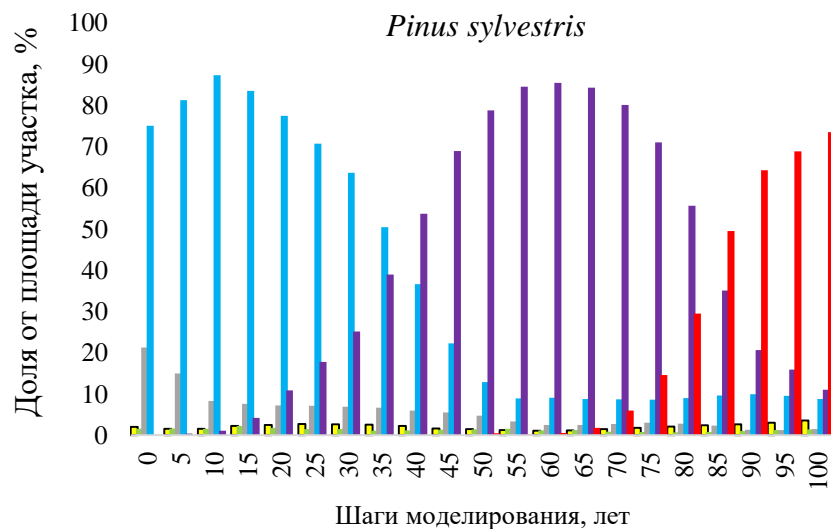
Стационарный климат



Карелия



РСР 8.5



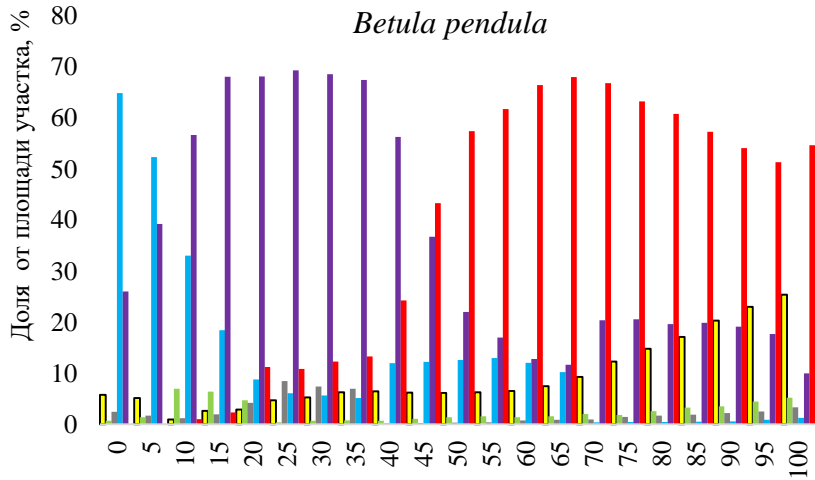
Im V G1 G2 G3 S

ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР БЕРЕЗЫ

Стационарный климат

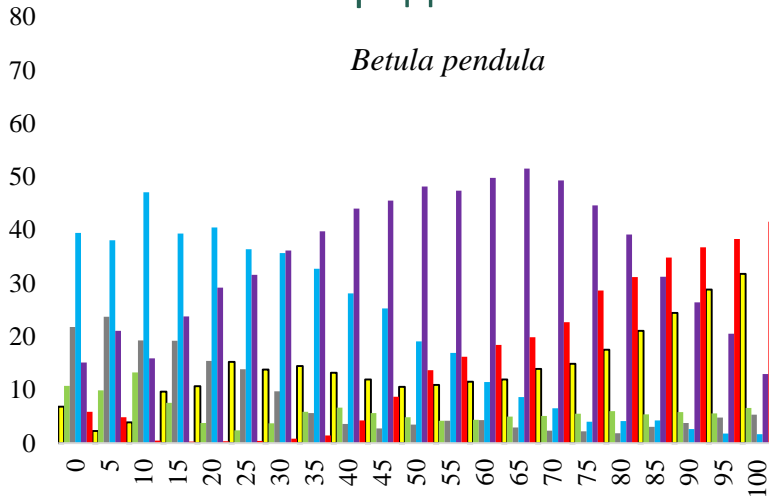
Московская область

Betula pendula



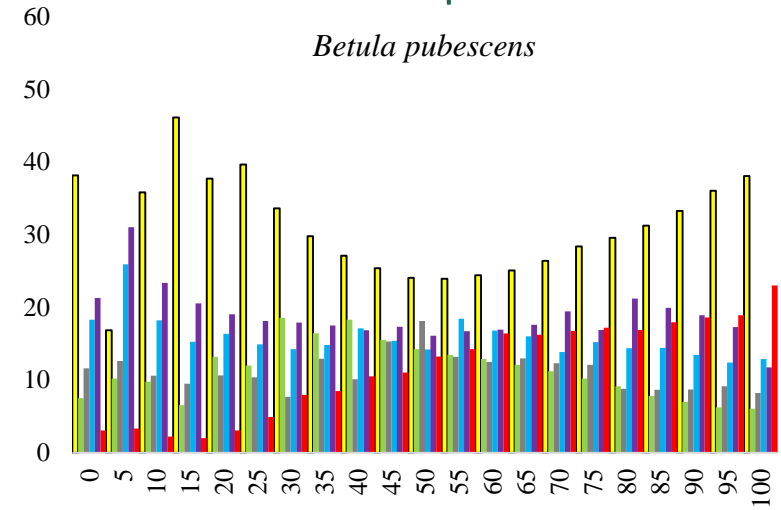
Нижегородская область

Betula pendula



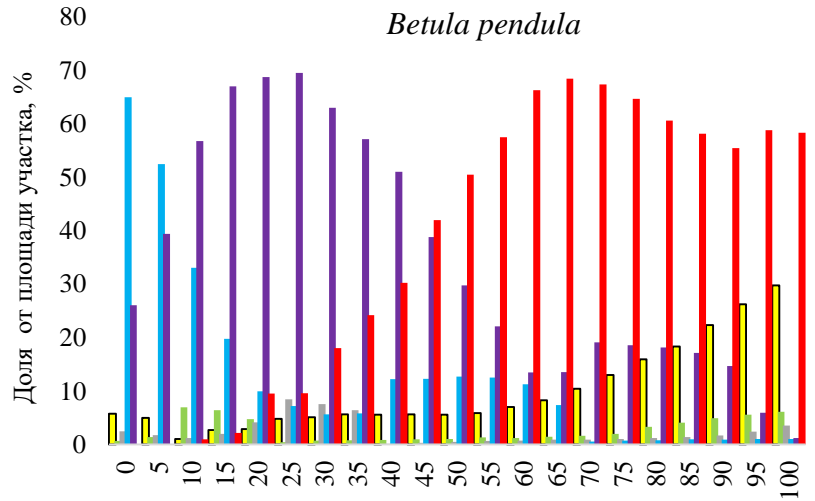
Карелия

Betula pubescens

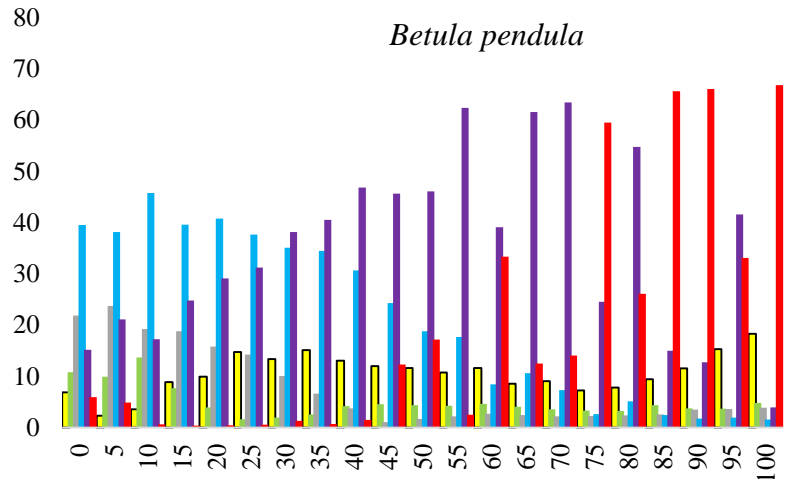


RSP 8.5

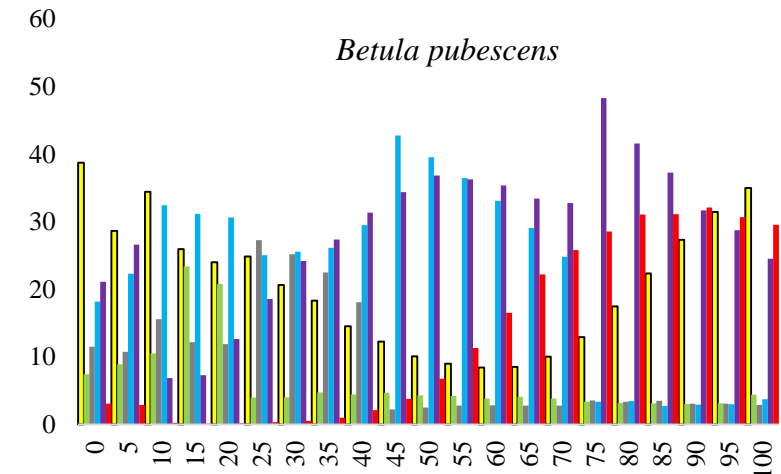
Betula pendula



Betula pendula



Betula pubescens



Шаги моделирования, лет

Шаги моделирования, лет

Шаги моделирования, лет

Im V G1 G2 G3 S