

# СУКЦЕССИИ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗАРАСТАЮЩИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЯХ ЗАОКСКОГО УЧАСТКА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ханина Л.Г.<sup>1</sup>, Бобровский М.В.<sup>2</sup>, Смирнов В.Э.<sup>1,3</sup>,  
Иванова Н.В.<sup>1</sup>, Шашков М.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт математических проблем биологии РАН – филиал ИПМ им. М.В.Келдыша

<sup>2</sup> Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

<sup>3</sup> Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН



Оценка динамики экосистемного и видового разнообразия выведенных из оборота сельскохозяйственных земель при разных вариантах восстановительных сукцессий

Проект РФФИ № 14-44-03666 р\_центр\_а  
*Заокский участок Московской области*

Динамика растительности при зарастании сельскохозяйственный угодий и ее роль в поддержании биоразнообразия лесов центра Европейской России

Проект РФФИ № 12-04-01734-а  
*на примере заповедника «Калужские засеки»*

# Основные результаты исследований в ЗКЗ

---

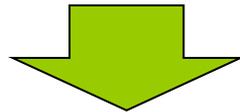
## За 20-30 лет сукцессии

- Сформировались березняки неморальные, разнотравные, лугово-опушечные
- Скорость и характер сукцессии определяются исходным типом угодья (пашня, пастбище, сенокос), наличием и частотой травяных палов и возможностью заноса диаспор (ценотическим окружением)
- Более 90% видов лесных сосудистых растений расселились на бывшие с/х земли:
  - лесные травы на расстояние до 120 м;
  - большинство видов - 50-70 м

# Задачи исследования по Московской области

---

- Принципиально другая пространственная структура ландшафта
- Частые травяные палы
- Состав и структура сохранившихся лесов ?
- Особенности восстановления лесной растительности и разнообразия ?



Экосистемное природопользование на  
зарастающих с-х территориях

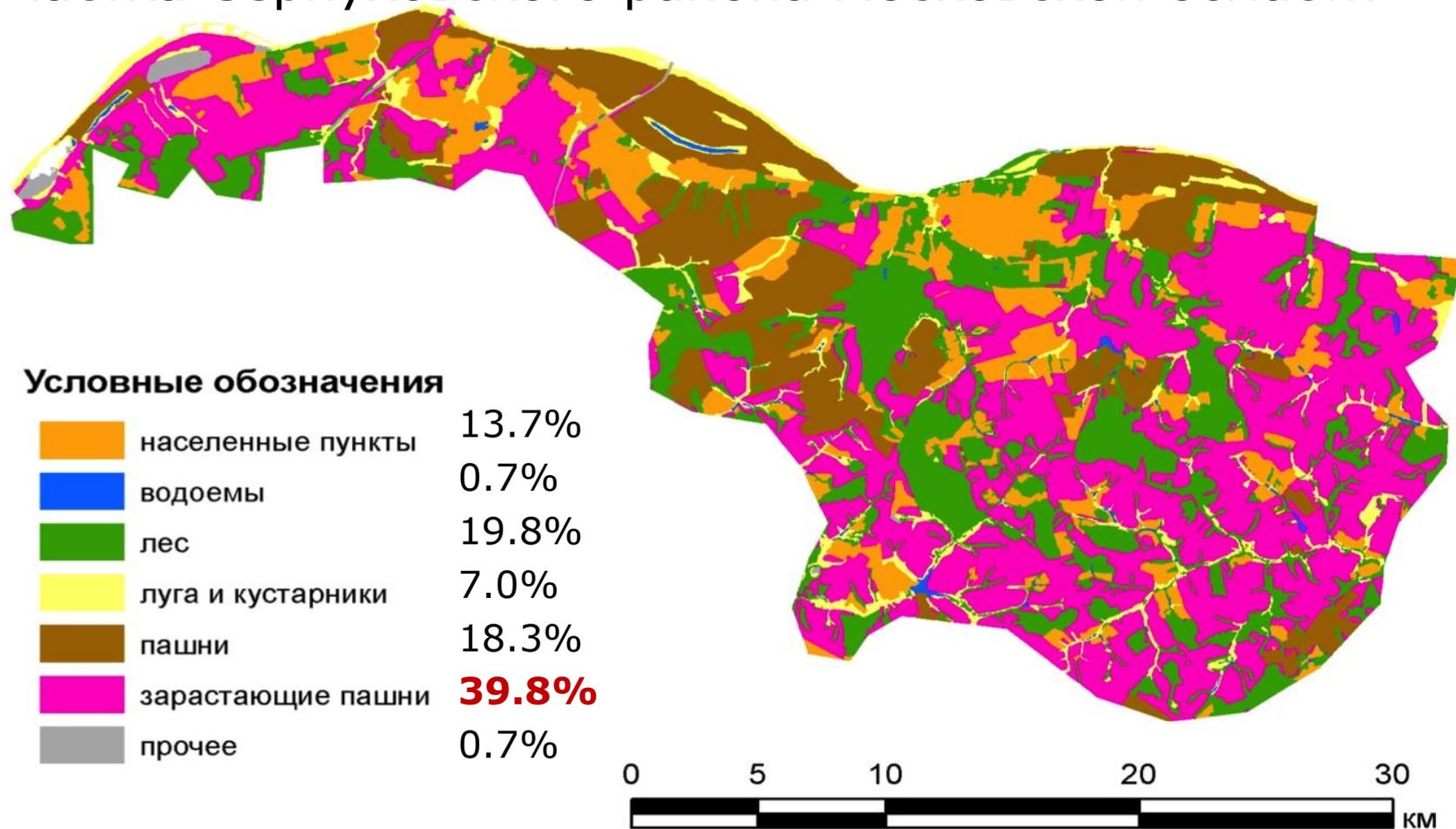
Различные сценарии управления

# План доклада

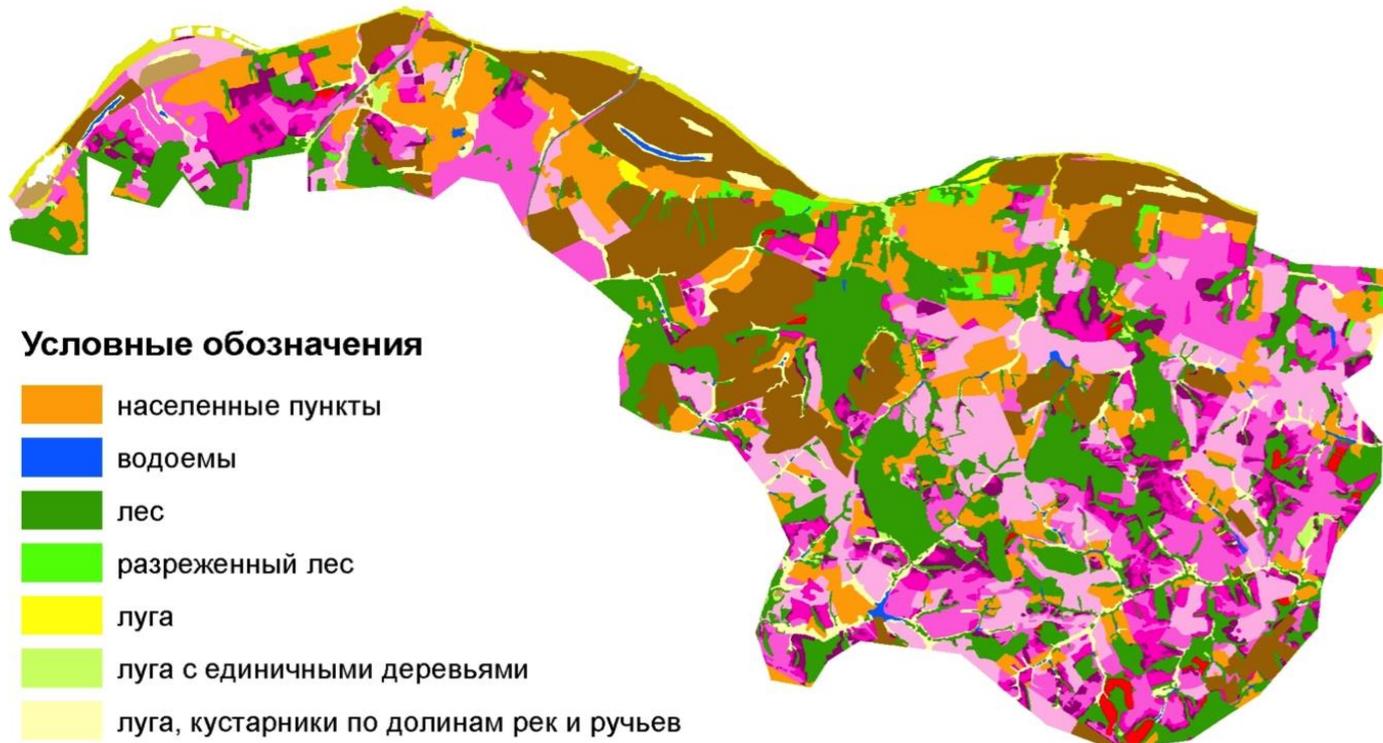
---

- Общее описание территории
- Дизайн сбора данных
- Подрост древесных видов
- Ординационный анализ растительности
- Эколого-ценотический анализ
- Почва-растительность

# Основные категории угодий на территории Заокского участка Серпуховского района Московской области



Только **1.8%** территории являются зарастающими пашнями без воздействия пожаров (травяных палов)

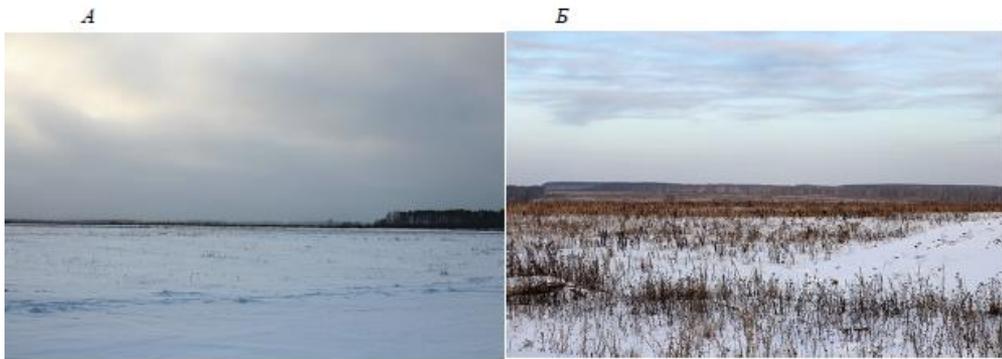


### Условные обозначения

- населенные пункты
- водоемы
- лес
- разреженный лес
- луга
- луга с единичными деревьями
- луга, кустарники по долинам рек и ручьев
- луга, кустарники в пойме р. Ока
- пашни
- аллогенно зарастающие пашни без деревьев
- аллогенно зарастающие пашни с единичными деревьями
- аллогенно зарастающие пашни с подростом средней густоты
- аллогенно зарастающие пашни с густым подростом
- автогенно зарастающие пашни
- карьеры
- отмели, другие обнажения
- участки отчуждения у дорог



- Небольшие речки и ручьи не являются серьезными препятствиями для распространения огня
- Леса являются единственной надежной защитой



## Зарастающие поля Заокского участка Московской области

*А* пашни

*Б* заброшенные поля с частыми палами, без деревьев

*В* с палами, единичными деревьями

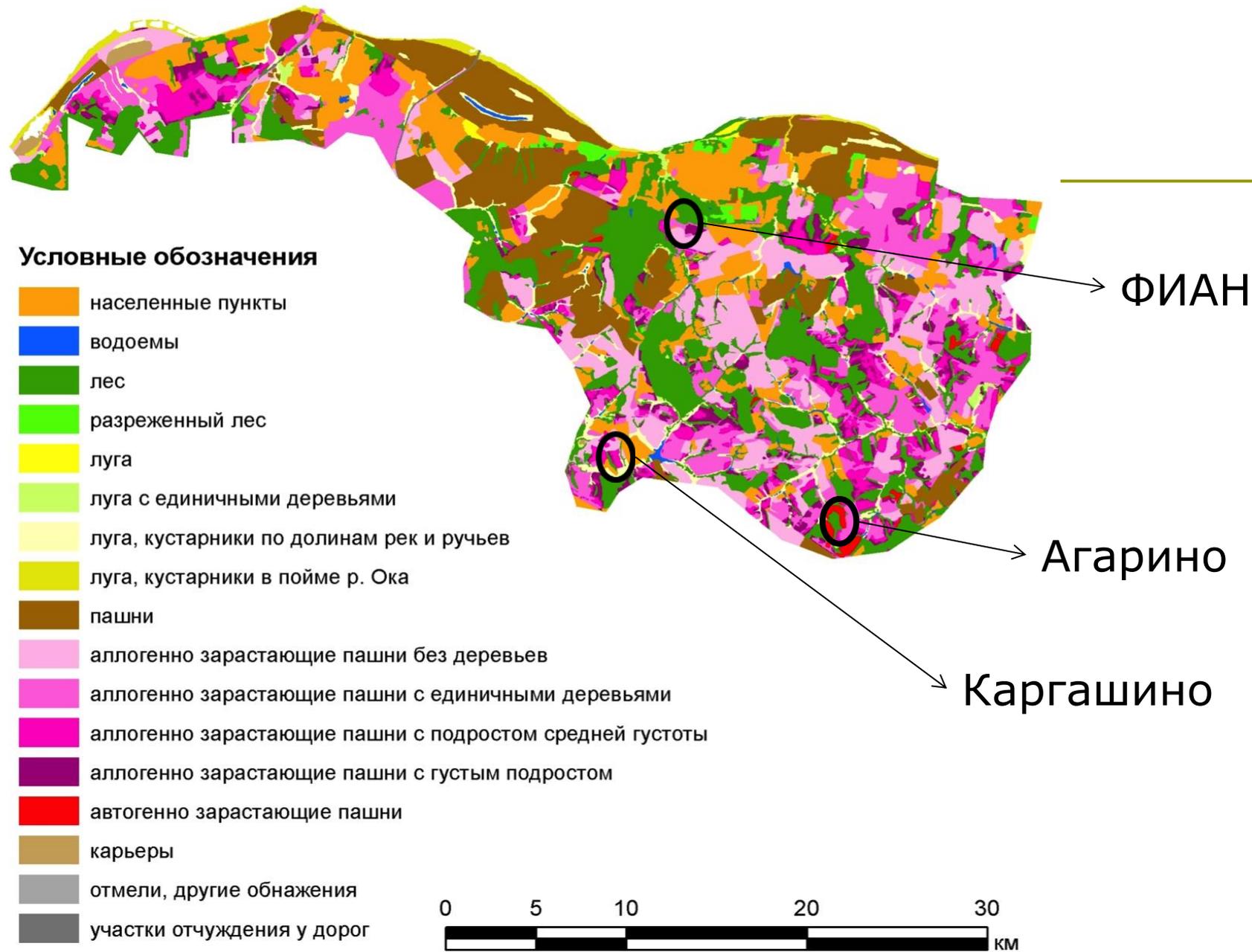
*Г* с подростом низкой сомкнутости

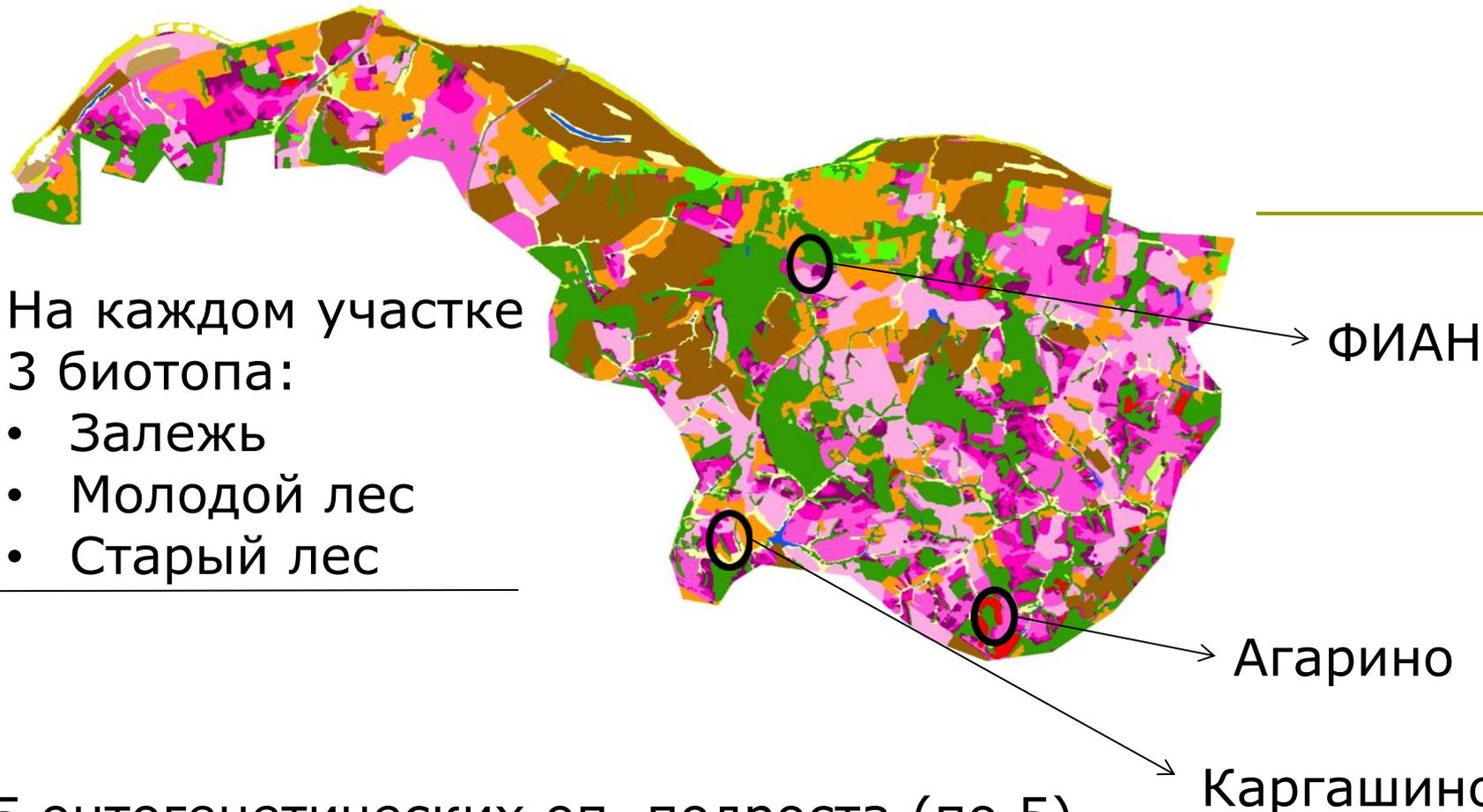
*Д* с подростом высокой сомкнутости

*Е* автогенно зарастающие поля

*Ж* с подростом ивы козьей

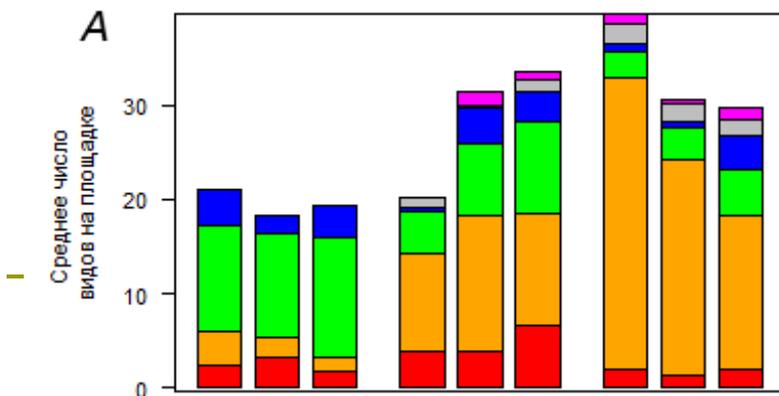
*З* с подростом сосны



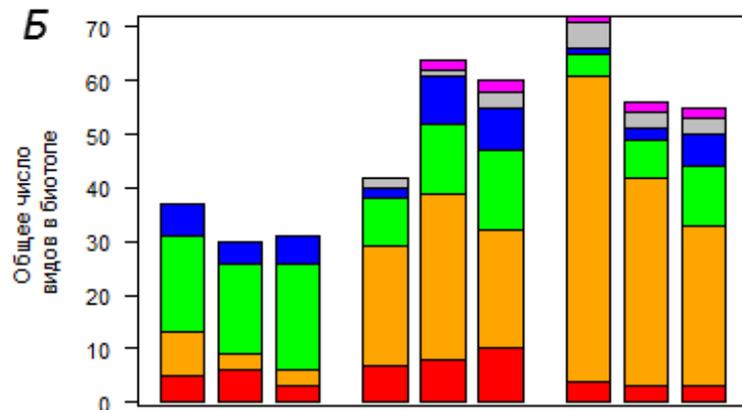


25 онтогенетических оп. подроста (по 5)  
39 геобот.описаний (по 5 + по 3)  
27 почвенных проб



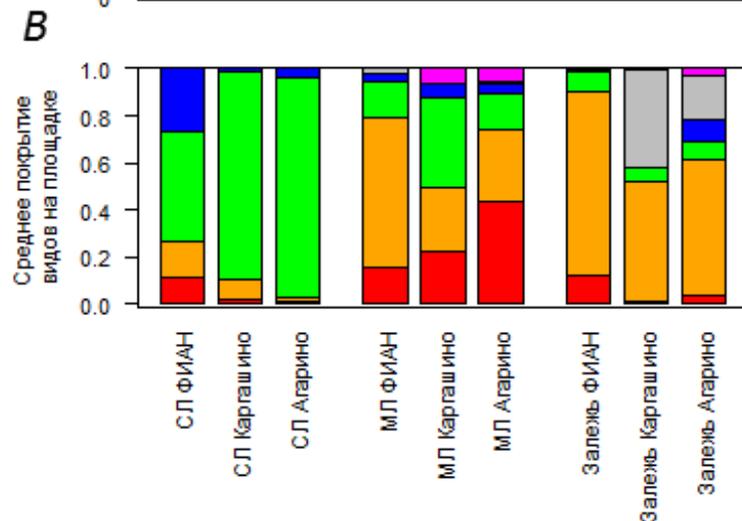


3 участка, 3 типа биотопов



ЭЦГ  
 ■ Br  
 ■ Md  
 ■ Nm  
 ■ Nt  
 ■ Pn  
 ■ Wt

192 вида сосудистых растений, из них  
 172 травянистых  
 8 кустарников  
 12 древесных

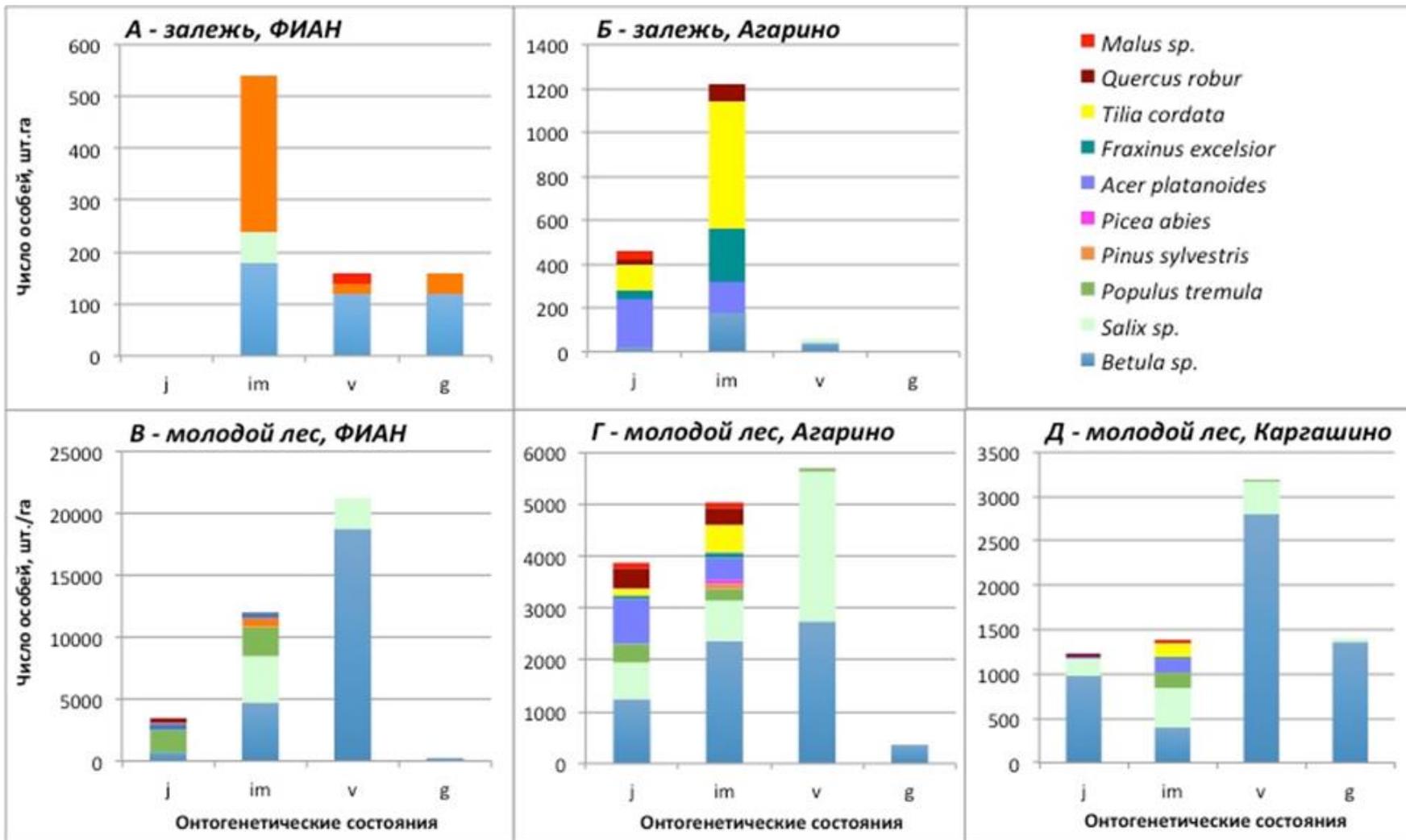


Эколого-ценотическая структура растительности биотопов исследованных участков:  
 СЛ – старый лес,  
 МЛ – молодой лес  
 Залежь

# Индикаторные виды

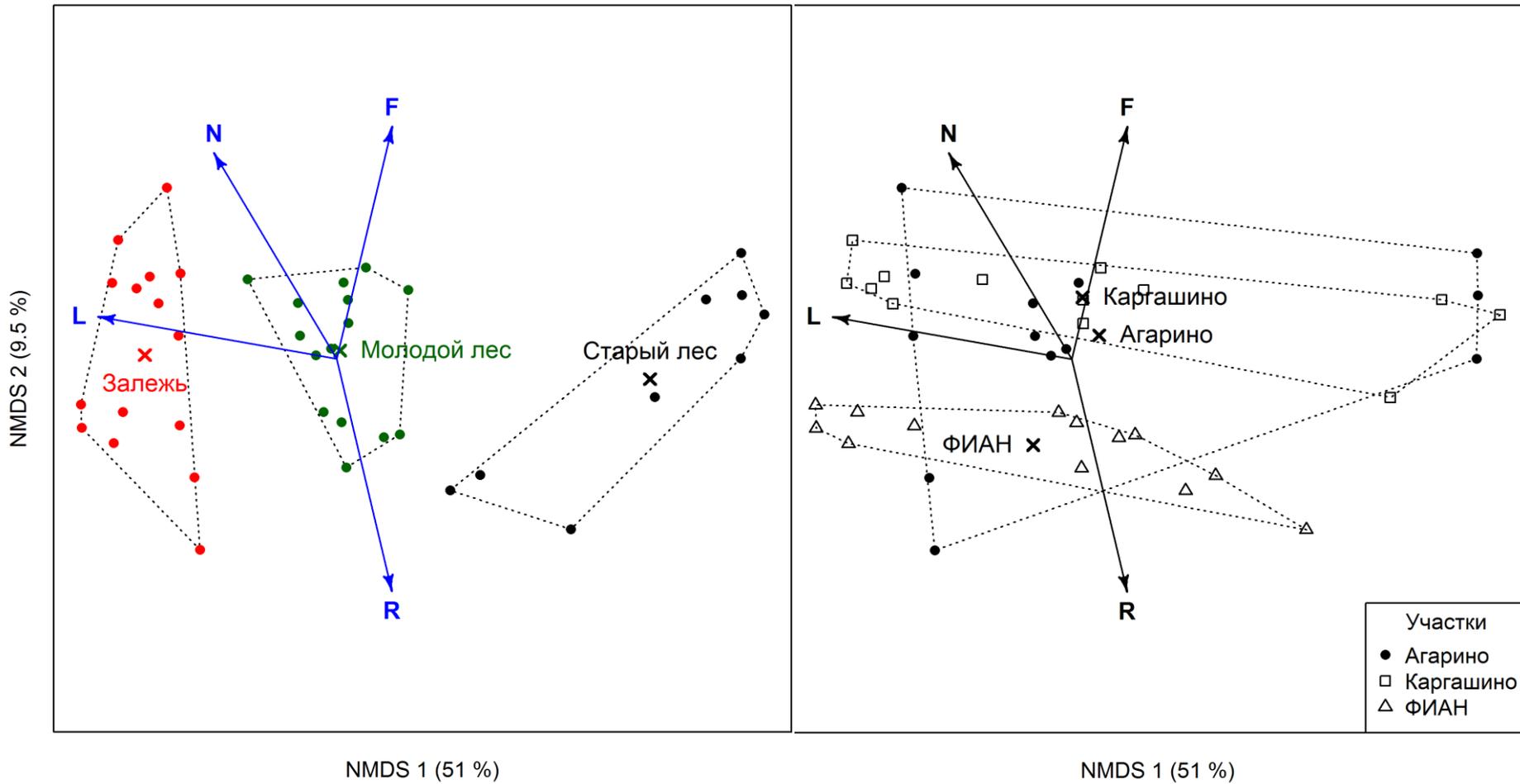
Старый лес	Молодой лес	Залежь
Неморальные	Неморальные	Боровые виды
<i>Galeobdolon luteum</i>	<i>Scrophularia nodosa</i>	<i>Calamagrostis epigeios</i>
<i>Pulmonaria obscura</i>	<i>Geum urbanum</i>	<i>Potentilla argentea</i>
<i>Ajuga reptans</i>	Бореальные	Лугово-опушечные
<i>Asarum europaeum</i>	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	<i>Tanacetum vulgare</i>
<i>Viola mirabilis</i>	<i>Pyrola rotundifolia</i>	<i>Artemisia vulgaris</i>
<i>Convallaria majalis</i>	Водно-болотные	<i>Cirsium arvense</i>
<i>Lathyrus vernus</i>	<i>Poa palustris</i>	<i>Convolvulus arvensis</i>
<i>Stellaria holostea</i>	Лугово-опушечные	<i>Taraxacum officinale</i>
<i>Ranunculus cassubicus</i>	<i>Prunella vulgaris</i>	<i>Vicia cracca</i>
		<i>Vicia hirsuta</i>
		<i>Dactylis glomerata</i>

# Онтогенетическая структура популяций деревьев на зарастающих пашнях

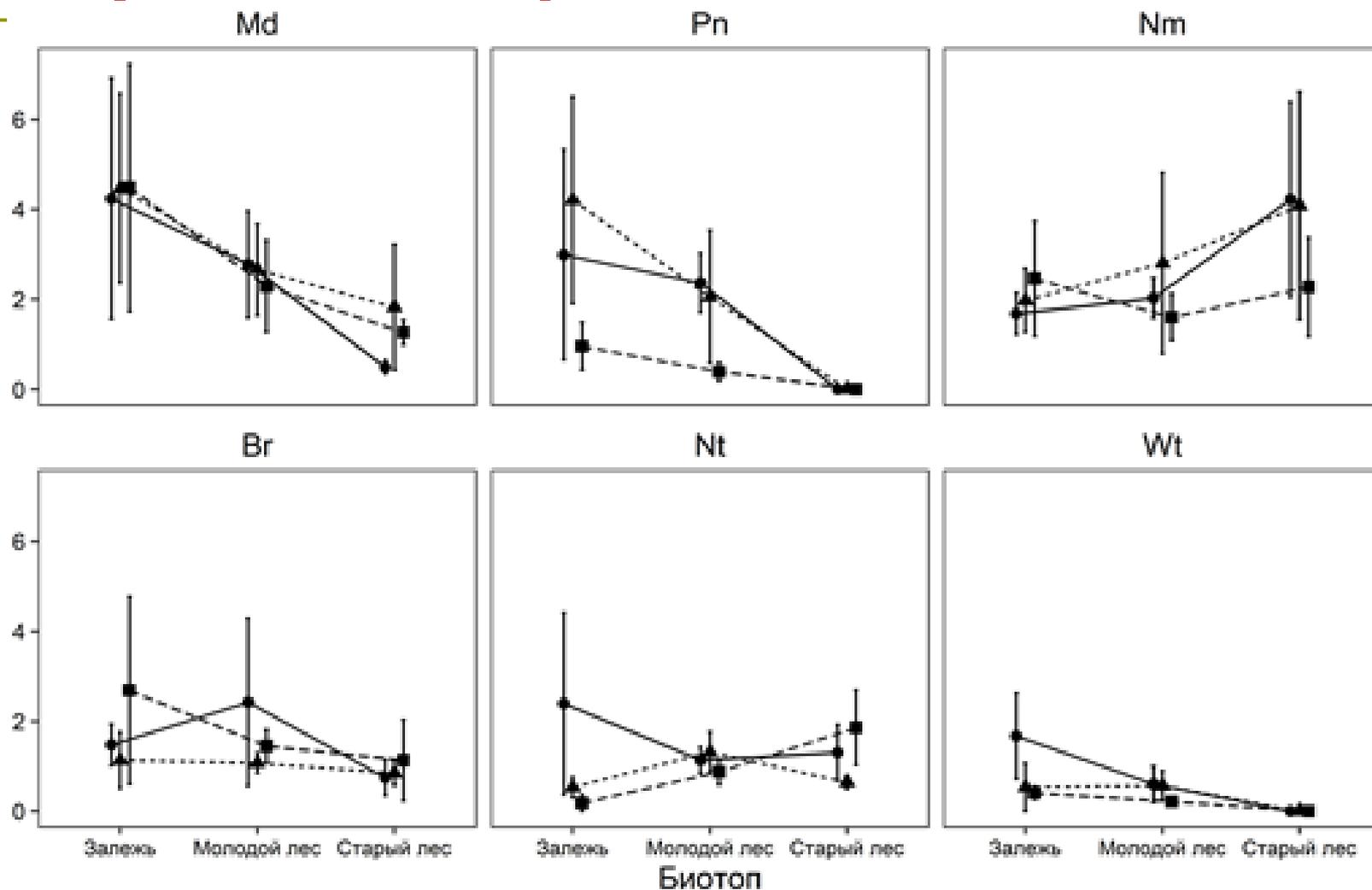


# Неметрическое многомерное шкалирование площадок геоботанических описаний

L, N, F, R – освещенность, питат.в-во почвы (N, P), увлажнение почвы, кислотность по Landolt et al. (2010)



# Средние и стандартные ошибки суммарного покрытия ЭЦГ, преобразованного в $\ln$ , по трем участкам и трем биотопам



Участок: ● - Агарино ▲ - Каргашино ■ - ФИАН

# Оценка влияния факторов на ЭЦГ

## Сравнительный анализ ЭЦГ

---

### □ Многомерный дисперсионный анализ (MANOVA)

RDA (redundancy analysis), анализ избыточности

(1) пермутационный способ получения  $p$ -значений – надежность статистических выводов

(2) возможность графического представления результатов в виде ординационной диаграммы

### □ Одномерный дисперсионный анализ (ANOVA)

### □ Парные сравнения биотопов с коррекцией $p$ -значений на множественность сравнений

# Результаты дисперсионного анализа эколого-ценотической структуры растительности\*

Источник вариации	Число степеней свободы	Дисперсия факторная	Дисперсия остаточная	F	P (после 9999 пермутаций)
Взаимодействие «Участок» x «Тип биотопа»	2, 20	35.49	304.39	1.166	0.3374
«Участок»	1, 20	14.19	304.39	0.932	0.3841
«Тип биотопа»	<b>2, 20</b>	<b>1689.15</b>	<b>304.39</b>	<b>55.492</b>	<b>0.0001</b>
Br		4.14	24.72	1.676	0.1695
Md		<b>1128.90</b>	<b>197.87</b>	<b>57.053</b>	<b>0.0001</b>
Nm		<b>556.11</b>	<b>81.81</b>	<b>67.977</b>	<b>0.0001</b>

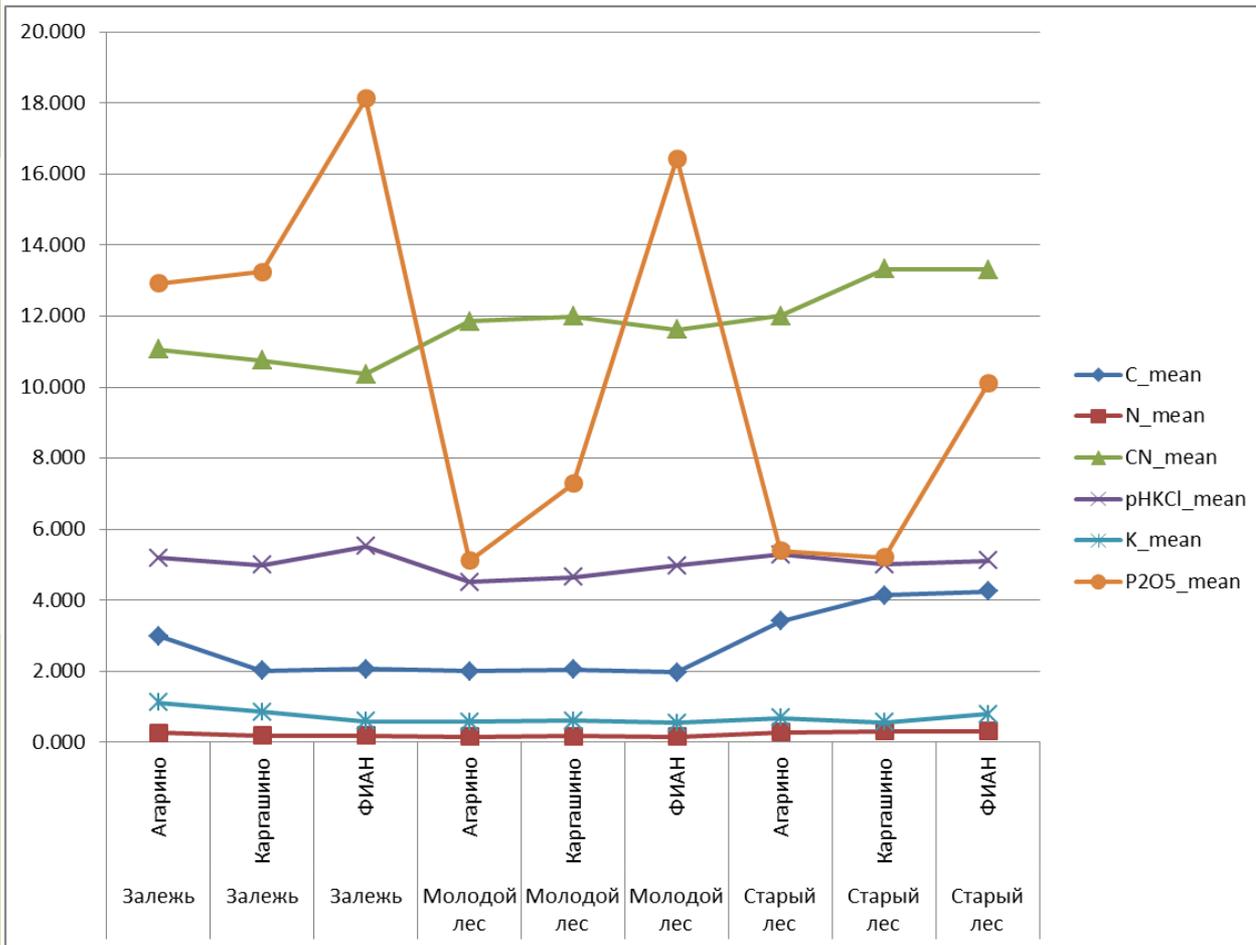
\* Статистика для отдельных ЭЦГ дана только для значимого фактора («Тип биотопа»)

2 биотопа. 26 описаний, 156 видов. Виды 3-х ЭЦГ

# Попарные сравнения биотопов

Контраст	Число степеней свободы	F	P (после 9999 пермутаций)
«Залежь – Молодой лес»	1, 18	47.578	0.0001
Md		62.55	0.0001
Nm		<b>2.789</b>	<b>0.0153</b>
«Залежь – Старый лес»	1, 14	66.381	0.0002
Md		51.527	0.0002
Nm		<b>130.420</b>	<b>0.0002</b>
«Молодой лес – Старый лес»	1, 14	43.938	0.0003
Md		25.602	0.0003
Nm		59.913	0.0005

# Почвенные характеристики



13 параметров

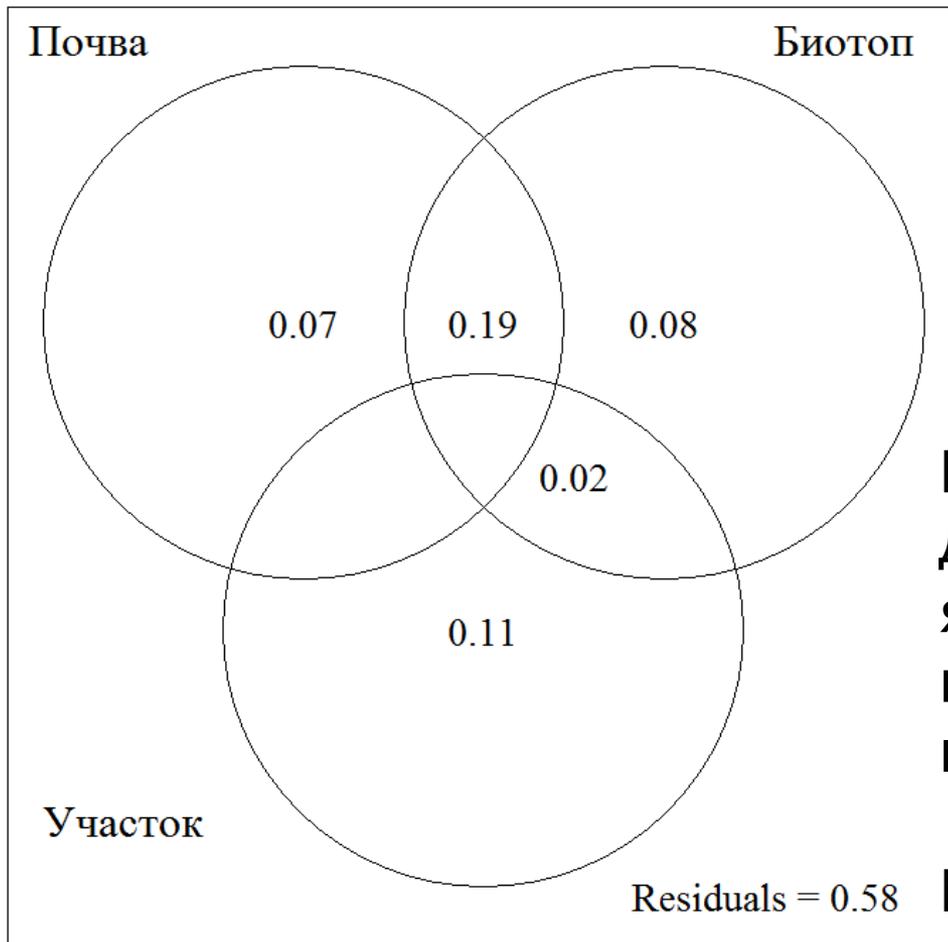
Отбор переменных  
для канонического  
анализа

"Лучшая"  
найденная модель  
канонического  
анализа -  
CN+pH(KCl)+K

3 участка и 3 биотопа

Borcard D., Gilbert F., Legendre P.  
Numerical ecology with R! 2011.

# Диаграмма Венна

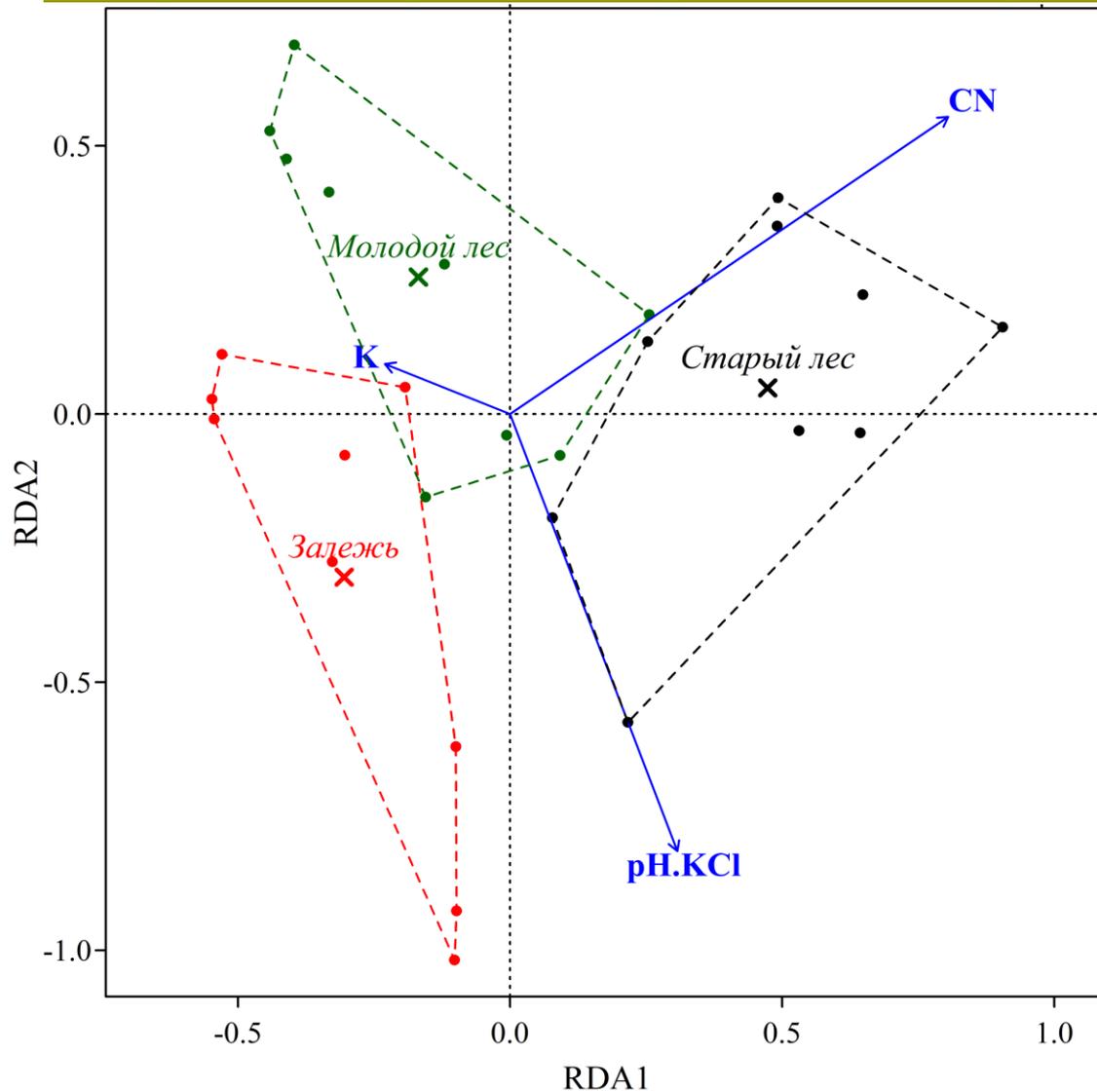


разложение дисперсии растительности в долях 1

Большая (19%) фракция дисперсии растительности является общей для почвенных характеристик и биотопа

Все фракции значимы

# Результат канонического анализа растительности, почвенные параметры - предикторы



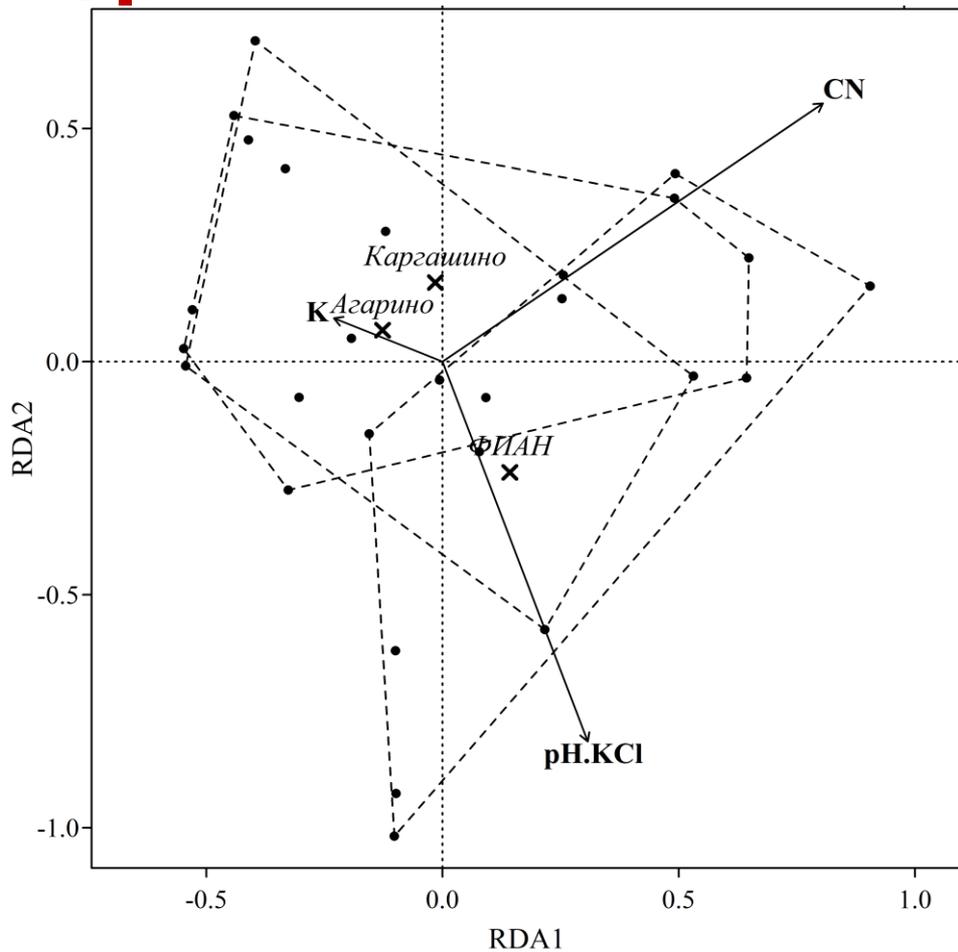
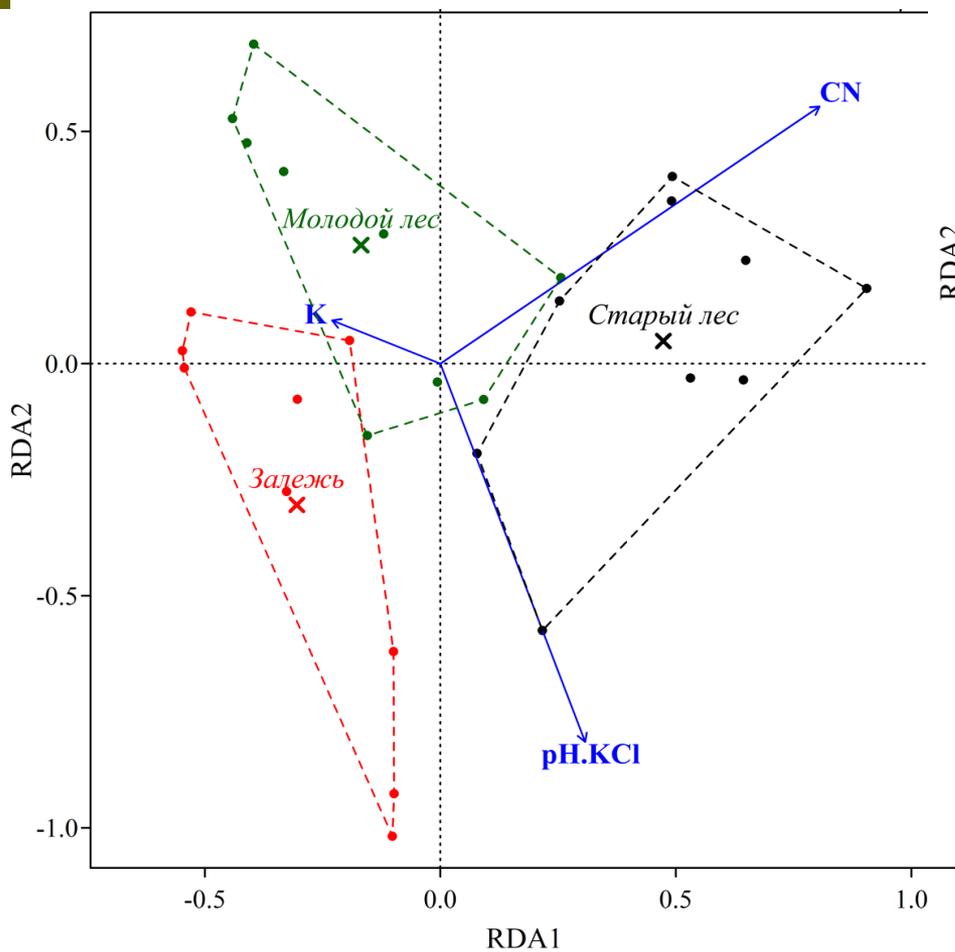
Значимы 3 первые канонические оси, которые объясняют ~ 29% от общей дисперсии.

1, 2 и 3 оси – 17, 7, 5%

Наибольшие корреляции с осями:

C/N с 1-ой осью (0.69),  
pH(KCl) со 2-ой осью (-0.75),  
K с 3-ей осью (0.83)

# Результат канонического анализа растительности, почвенные параметры - предикторы



# Заключение

---

- Анализ почвенных характеристик свидетельствует об общем для всех изученных участков характере процессов зарастания
- МДА показал, что значимым фактором для эколого-ценотической структуры растительности является «Тип биотопа», фактор «Участок» (как и взаимодействие этих факторов) не вносит значимых различий в ЭЦ-структуру
- Типы биотопов и все пары биотопов значимо различаются по видам неморальной и лугово-опушечной групп

# Заключение

---

- В целом исследованные участки в настоящее время сохраняют достаточно полный набор региональной флоры древесных и травянистых растений
- Лесные массивы являются наиболее существенным препятствием для распространения огня во время весенних травяных палов
- Для сохранения регионального разнообразия на ландшафтном уровне необходимо предотвращать травяные палы, распространенные в регионе

Проведенное исследование позволяет провести зонирование территории и предложить комплекс мер для сохранения регионального разнообразия в рамках реализации экосистемного природопользования



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

# Почвенные характеристики

---

Цианоанализатор:

C%

H%

N%

pH водн. / KCl

Ca ммоль(+)/100 г почвы

Mg ммоль(+)/100 г почвы

K ммоль(+)/100 г почвы

Na ммоль(+)/100 г почвы

$\Sigma$  (Ca, Mg, K, Na)

K<sub>2</sub>O<sub>5</sub> мг/100 г почвы

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> мг/100 г почвы

C орг%

Грансостав

---

	S1-M	S1-TF	S2-M	S2-TF	SA1-M	SA1-TF
S1-M	100					
S1-TF	30.3	100				
S2-M	43.7	25	100			
S2-TF	27.6	39.3	31.2	100		
SA1-M	35.9	33.8	35.5	35	100	
SA1-TF	26.2	42.4	32.1	49	33.3	100

# Основные оценки разнообразия растительности

---

## □ Экосистемное разнообразие

## □ Видовое разнообразие

- Альфа-разнообразие
- Бета-разнообразие
- Гамма-разнообразие



*Геоботанические  
описания*

## □ Функциональное разнообразие

### **РФФИ 13-04-02181 А**

Оценка разнообразия лесной растительности на основе статистического моделирования в условиях неоднородности и неполноты экологических данных

# Видовое разнообразие

*по Whittaker, 1972*

---

## Оценка качества исходных данных

**Альфа-разнообразие** - среднее число видов на единицу площади:

попарные рандомизационные тесты (Manly, 2007) с коррекцией р-значений

**Бета-разнообразие** - вариация разнообразия: различные меры сходства/расстояния

**Гамма-разнообразие** (локальное) - видовое богатство сообществ:

интегральный статистический подход, предложенный Colwell et al. (2012) с развитием Chao et al. (2014) для чисел Хилла

# Functional diversity

---

- the functional group richness or guild richness (Tilman et al. 1997, Grime 1998)
- different combinations (profiles) of trait values (Walker et al. 1999)
  - Package FD in the R system
  - Free software FDiversity (under the R system)

## **Species traits:**

TRY database <http://www.try-db.org/TryWeb/Data.php>

Флора сосудистых растений Центральной России

<http://www.impb.ru/eco/index.php>

# Functional diversity



Российская Академия Наук

Институт математических проблем биологии

База данных «Флора сосудистых растений Центральной России»

English

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Поиск по названиям:

Поиск по семействам:

[Вернуться к списку](#)

Название вида	Клен платанолистный; <i>Acer platanoides</i> L.;
Синонимы	
Таксономия	Aceraceae Juss.; <i>Acer</i> L. (Кленовые; Клен);
Тип ареала по Мезелю	European; Temperate-Submeridional
Жизненные формы по Раункиеру	summer-green; mesomorphe, hygromorphe
Отношение к флоре Центральной России	original
Эколого-ценотические группа и подгруппа	Nemoral InForest-Nemoral
Тип стратегии по Грайму	
Экологические индикаторные значения	
По Элленбергу	Температура = 6 Континентальность = 4 УвлажнениеПочвы = 0 КислотностьПочвы = 0 Азотообеспеченность = 0 Освещенность = 8
По Ландольту	Температура = 4 Континентальность = 2 УвлажнениеПочвы = 3 КислотностьПочвы = 4 Азотообеспеченность = 3 Гумус = 3 Гранулометрический состав = 4 Освещенность = 2
По Цыганову	Температура: 6-11 Континентальность = 5-12 Омброклиматич. = Криоклиматич. = 6-11 УвлажнениеПочвы = 9-17 КислотностьПочвы = 1-11 Азотообеспеченность = 1-9

Главная

Новости

Администрация

Структура

Достижения

Научные Советы

Сотрудники

Публикации

Популярно о науке

Конференция  
ИСМВВ

История

Файловый архив

Ссылки

Контакты

# Эколого-ценотические группы видов (ЭЦГ)

База данных по ЭЦГ видов

<http://www.impb.ru/index.php?id=div/lce/ecg>

Ниценко (Бот.ж-л, 1969)  
Зозулин (Бот. ж-л, 1970, 1973)  
Смирнова, Заугольнова (ИАС, 1995;  
Оценка.., 2001)  
Смирнова, Ханина, Смирнов (ВЕЛ,  
2004)  
Смирнов, Ханина, Бобровский  
(Бюлл.МОИПТ, 2006)



**Неморальные** –  
виды  
широколиственных  
лесов



**Бореальные** – виды  
темнохвойных лесов

**Боровые** – виды  
сосновых лесов



**Лугово-опушечные**  
виды



**Нитрофильные** – виды  
черноольховых лесов

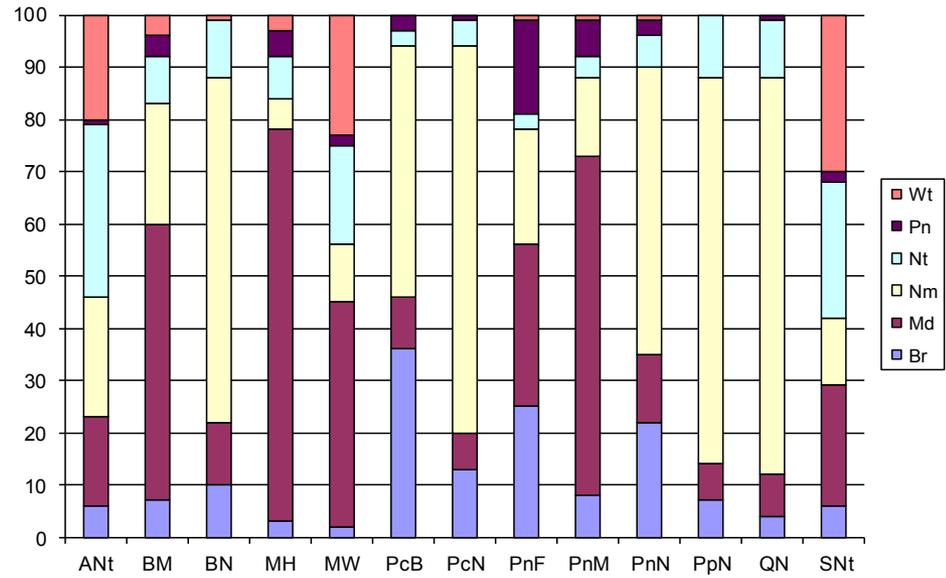
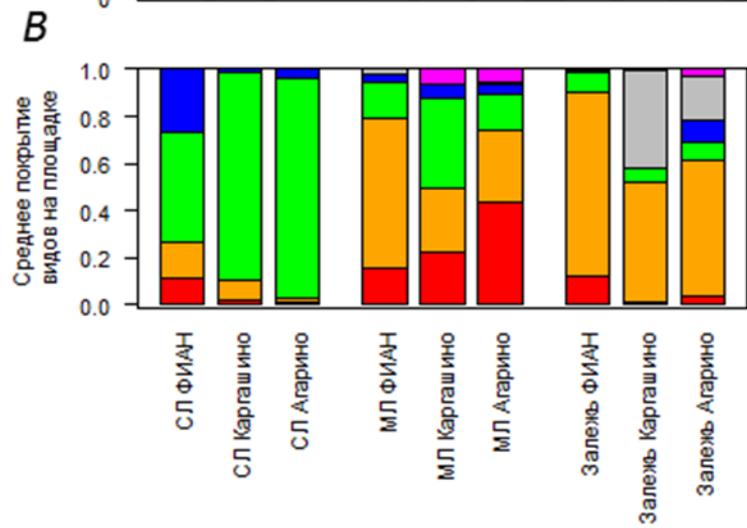
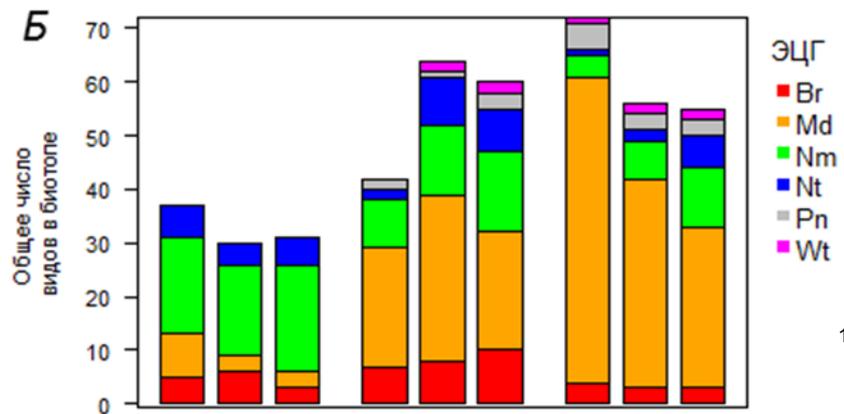
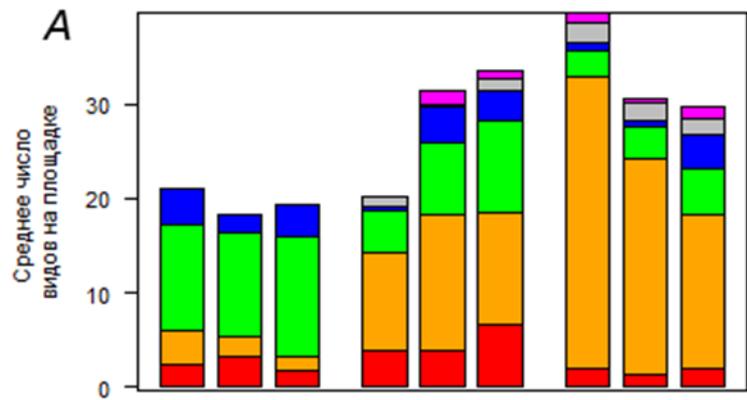
Виды **олиготрофных**  
болот



**Водно-болотные**  
виды



# Иллюстрация к описательному анализу эколого-ценотической структуры растительных сообществ



# Индексы разнообразия

---

индекс Шеннона  $H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$

индекс Симпсона  $D = \sum_{i=1}^S p_i^2$

$p_i$  - относительная численность вида

$S$  - общее число видов

$1-D$  - степень выравненности (evenness) видов в сообществе;  
максимум достигается в случае, если все виды обладают  
одинаковым обилием

# Числа Хилла - эффективные (эквивалентные) числа видов

---

*Hill M.O. Diversity and evenness: a unifying notation and consequences // Ecology. 1973. V. 54. P. 427–432:*

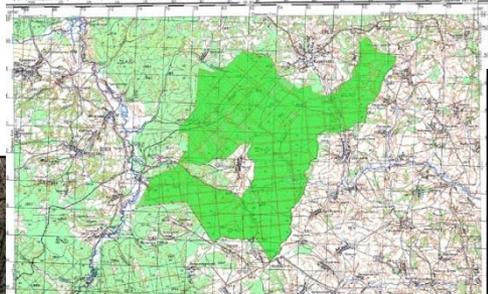
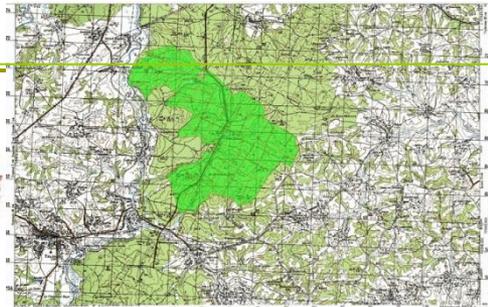
$q = 0$  дает число видов в сообществе (видовое богатство),  
 $q = 1$  соответствует экспоненте индекса Шеннона (в пределе),  
 $q = 2$  дает величину, обратную индексу Симпсона

$$D^q \equiv \left( \sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

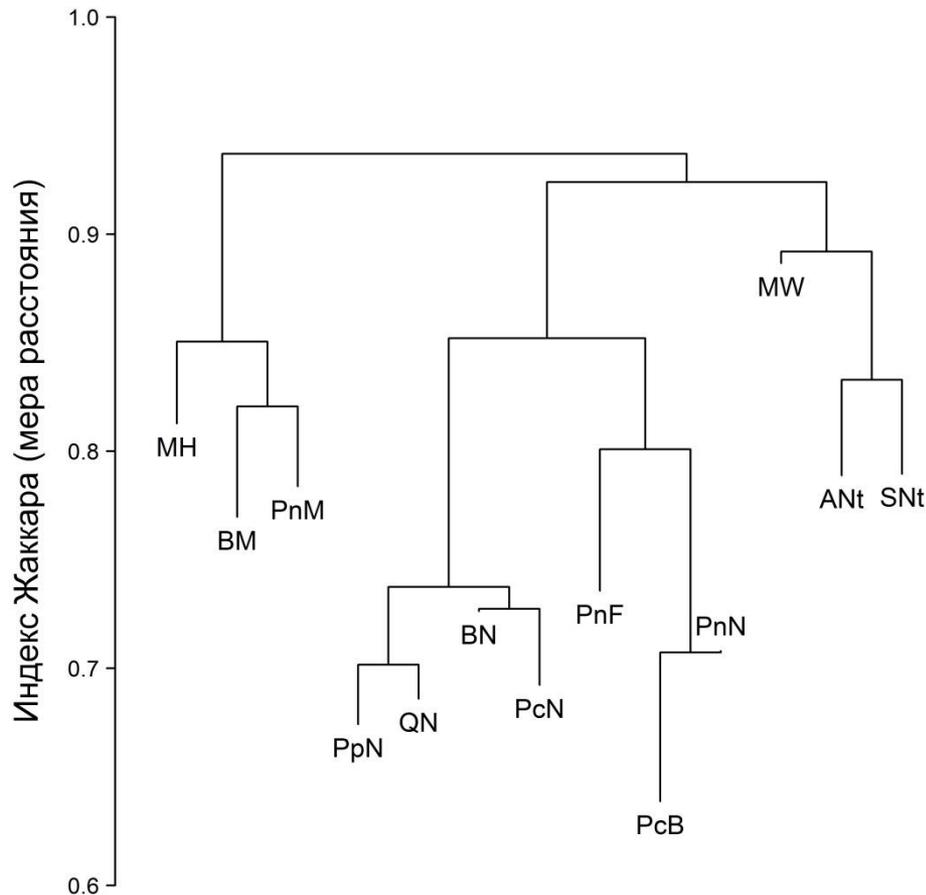
Эти меры выражены через число видов, а не являются безразмерными, как оригинальные индексы Шеннона и Симпсона

Они соответствуют ожидаемому числу видов с равным обилием в анализируемом типе сообщества (*Jost, 2006*)

# Заповедник «Калужские засеки»



# Типы сообществ заповедника «Калужские засеки»



MH луга мезофитные  
BM березняки луговые  
PnM сосняки лугово-опушечные

PpN осинники неморальные  
QN широколиственные леса  
BN березняки неморальные  
PcN ельники неморальные

PnF сосняки боровые  
PcB ельники бореальные  
PnN сосняки неморальные

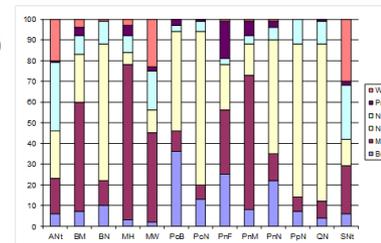
MW луга гигрофитные  
ANt ольшаники нитрофитные  
SNt ивняки нитрофитные

**Дендрограмма кластерного анализа  
типов сообществ заповедника**

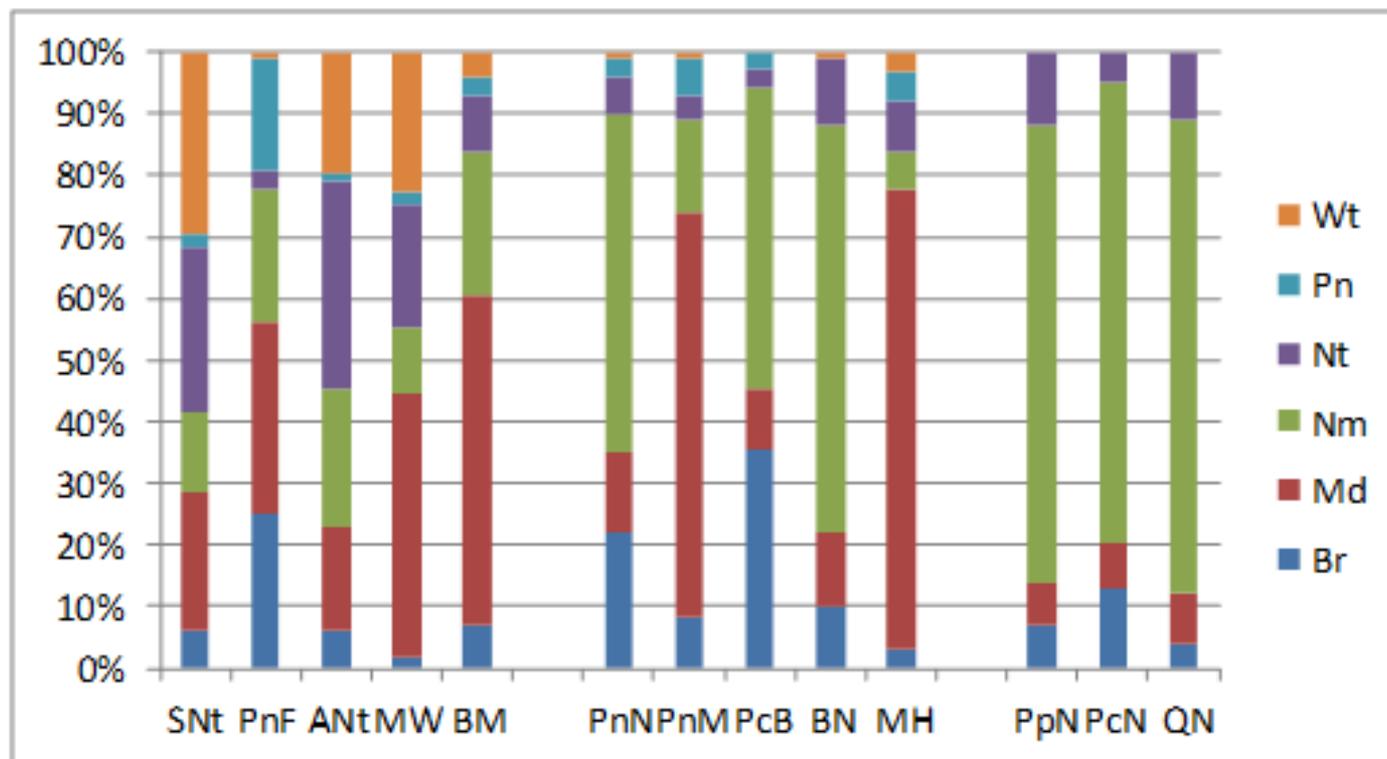
# Функциональное разнообразие 13-ти сообществ заповедника "Калужские засеки"

Тип сообщества	Индекс Шеннона (среднее значение для типа)	Экспонента индекса Шеннона (эффективное число групп)	Число видов разных ЭЦГ, %					
			Br	Md	Nm	Nt	Pn	Wt
<b>SNt</b>	1.53	4.62	6	23	13	27	2	30
<b>PnF</b>	1.51	4.53	25	31	22	3	18	1
<b>ANt</b>	1.48	4.39	6	17	23	34	1	20
<b>MW</b>	1.46	4.31	2	43	11	20	2	23
<b>BM</b>	1.36	3.9	7	53	23	9	3	4
<b>PnN</b>	1.21	3.35	22	13	55	6	3	1
<b>PnM</b>	1.19	3.29	8	65	15	4	6	1
<b>PcB</b>	1.09	2.97	36	10	49	3	3	0
<b>BN</b>	0.97	2.64	10	12	66	11	0	1
<b>MH</b>	0.95	2.59	3	75	6	8	5	3
<b>PpN</b>	0.82	2.27	7	7	75	12	0	0
<b>PcN</b>	0.78	2.18	13	7	74	5	0	0
<b>QN</b>	0.74	2.1	4	8	76	11	0	0

Сообщества расположены по убыванию индекса Шеннона



# Эколого-ценотическая структура сообществ заповедника "Калужские засеки"



Типы сообществ сгруппированы по уменьшению их ФР по округленным значениям (4, 3 и 2) эффективного числа групп