



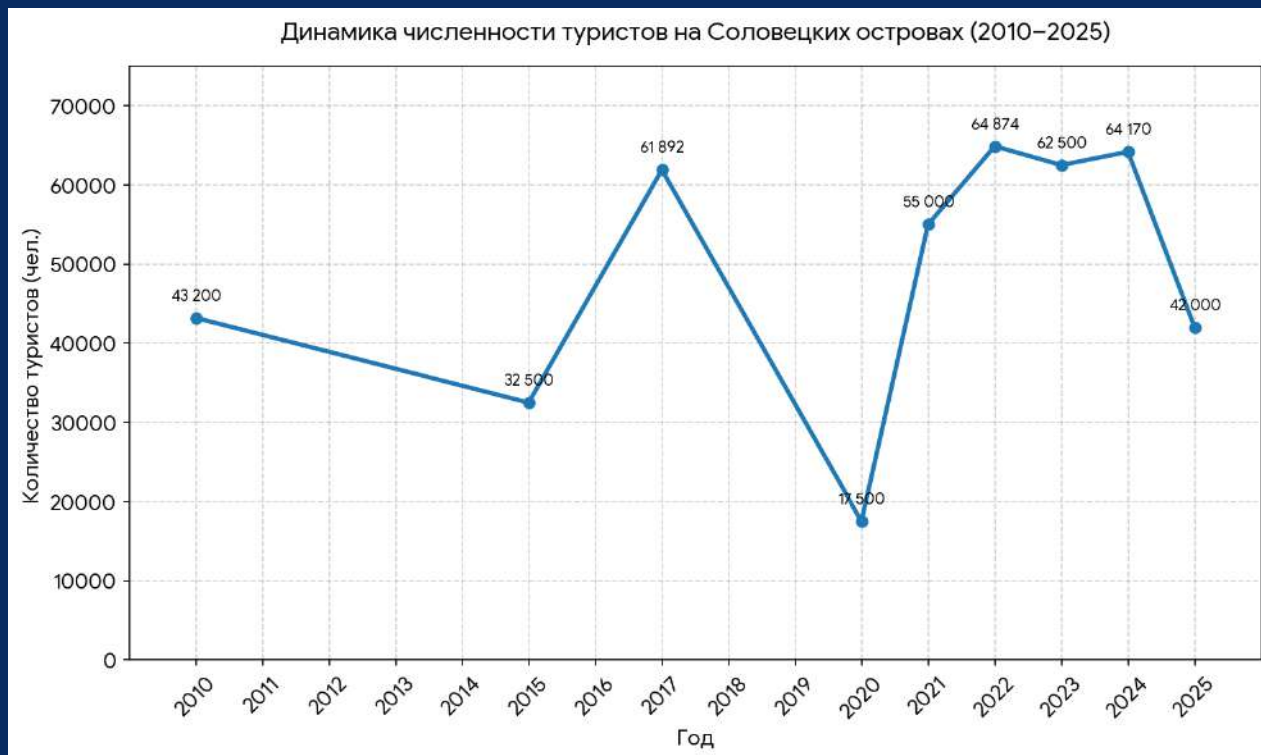
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ШКАЛ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ НАСЕЛЕНИЯ ЖУЖЕЛИЦ О. БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ

ЗУБРИЙ Н.А., ФИЛИППОВ Б.Ю.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН

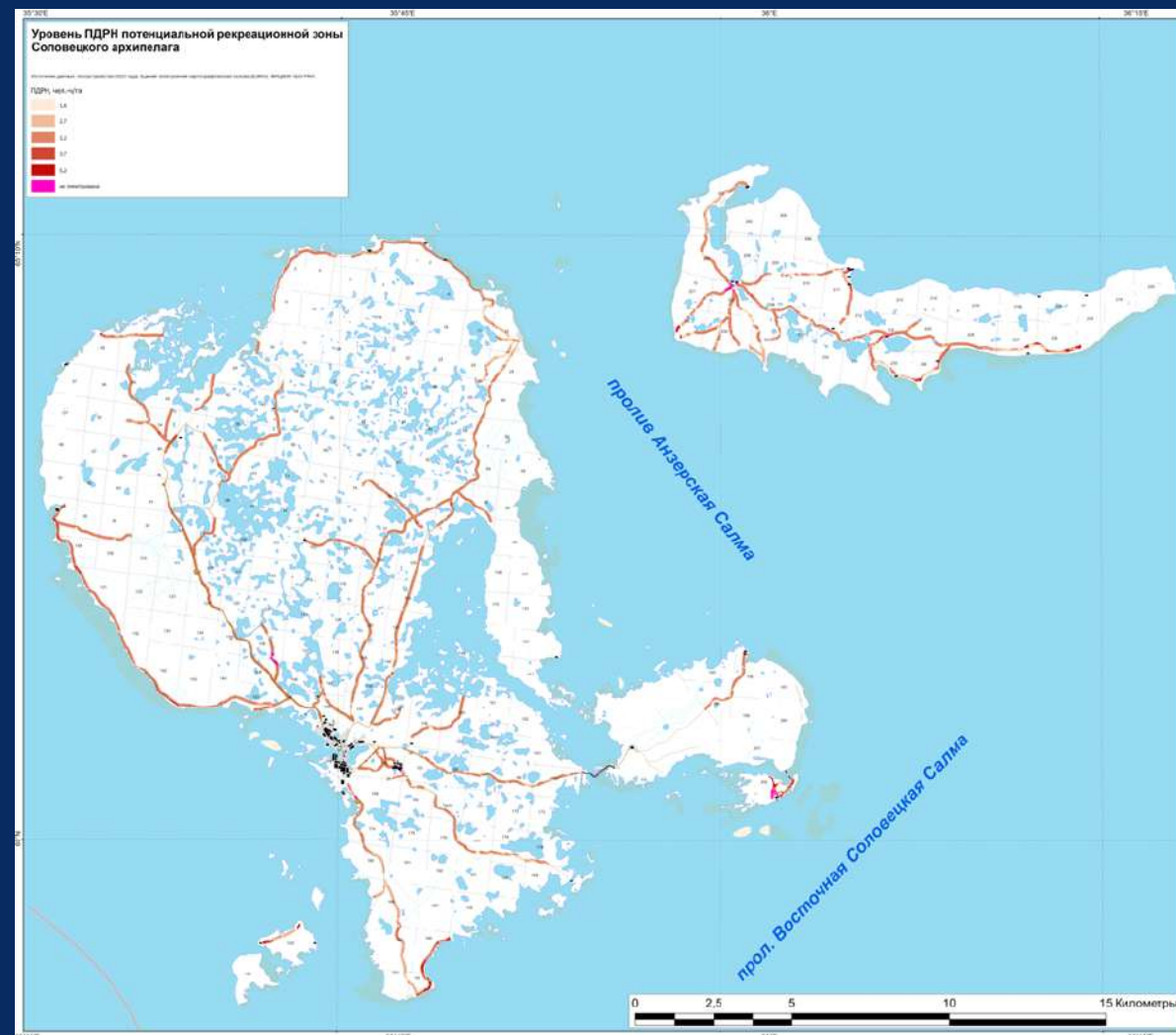


Рекреационная нагрузка на Соловецких островах



По данным министерства культуры и туризма
Архангельской области ([gov/iogv/mincult/](http://gov.iogv/mincult/))

Расчетная рекреационная емкость островов
(чел.-ч/сезон 120 сут.) составила - 608335,2



ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель: оценка стабильности населения сообществ жужелиц и основных факторов его поддержания на о. Большой Соловецкий в разных сообществах

Задачи:



Провести повторный сбор и определение видового состава жужелиц на модельных участках



Оценить экологические условия исследуемых участков



Выявить связь видового состава жужелиц с экологическими факторами



Сравнить результаты структуры населения жужелиц с данными 2009-2010 гг. исследования

Карта-схема основных точек закладки модельных участков для сбора жужелиц на о. Большой Соловецкий в 2025 году



Материалы и методы.

1. Сбор жуков был выполнен при помощи почвенных ловушек Барбера с 10 по 28 июня 2025 г на 12 модельных участках о. Большой Соловецкий в 5 типах сообществ
2. Ловушки устанавливали по 10 штук в линию с расстоянием 10 м между соседними ловушками
3. Учитывали число видов жужелиц и их уловистость в экземплярах на 10 ловушко-суток



Разнотравные луга
(антропогенные)



Леса



Болота



Приморские луга



Вороничные пустоши

Методы оценки экологических условий местообитаний

жужелиц

1. Геоботанические описания (26 описаний в 2009, 2010 и 2025 гг) с указанием для каждого вида проективного покрытия по шкале обилия-покрытия Браун-Бланке (Plant Sociology..., 1932)
2. Для обработки результатов геоботанических описаний использованы диапазонные шкалы Д.Н. Цыганова (1983) и метод средневзвешенной середины интервала
3. Экологически однородные участки выявляли по градиентам экологических шкал с помощью анализа главных компонент (PCA)
4. Основные (значимые) экологические факторы, влияющие на формирование комплексов видов жужелиц разных типов местообитаний, определяли с помощью канонического анализа (CCA)

Тип шкалы:	Тип режима:
Климатические шкалы	Термоклиматическая шкала (TM) Шкала континентальности климата (KN) Омброклиматическая шкала аридности-гумидности (OM) Криоклиматическая шкала (CR)
Экологические шкалы, характеризующие почвенные условия	Шкала увлажнения почв (HD) Шкала солевого режима почв (TR) Шкала богатства почв азотом (NT) Шкала кислотности почв (RC) Шкала переменности увлажнения почв (FH) Шкала освещенности – затенения (LC)

Методы дистанционной оценки условий обитания жужелиц

Рассчитаны мультиспектральные вегетационные и ландшафтные индексы по спутниковым снимкам

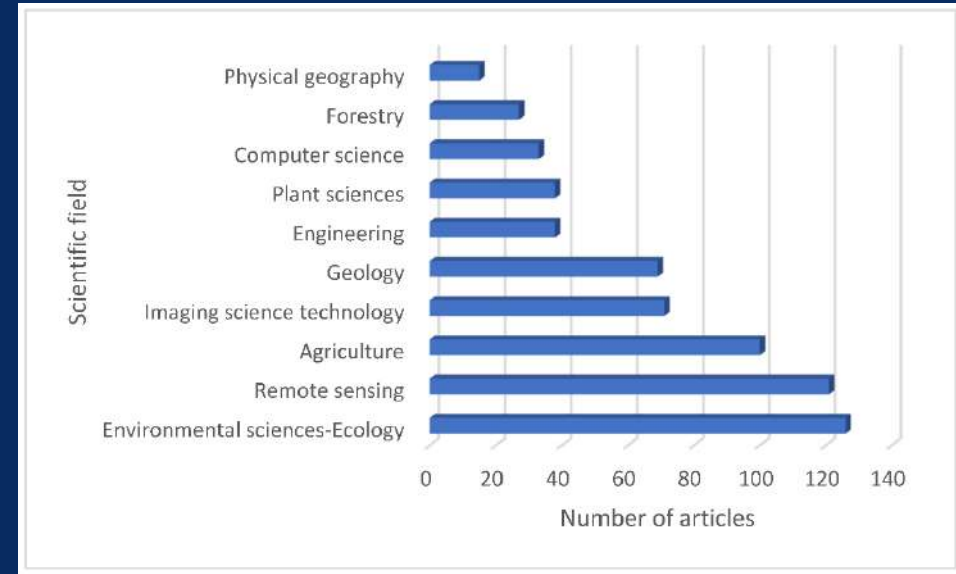
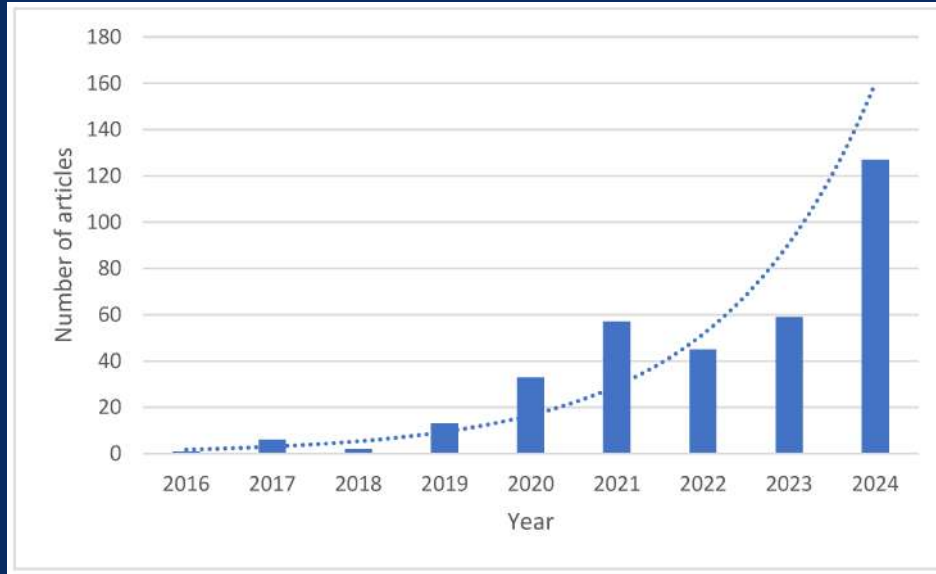
Landsat 5 / 8 через платформу Google Earth Engine (GEE)

(Google. (2026). Google Earth Engine. Retrieved September 16, 2026, from google.com)

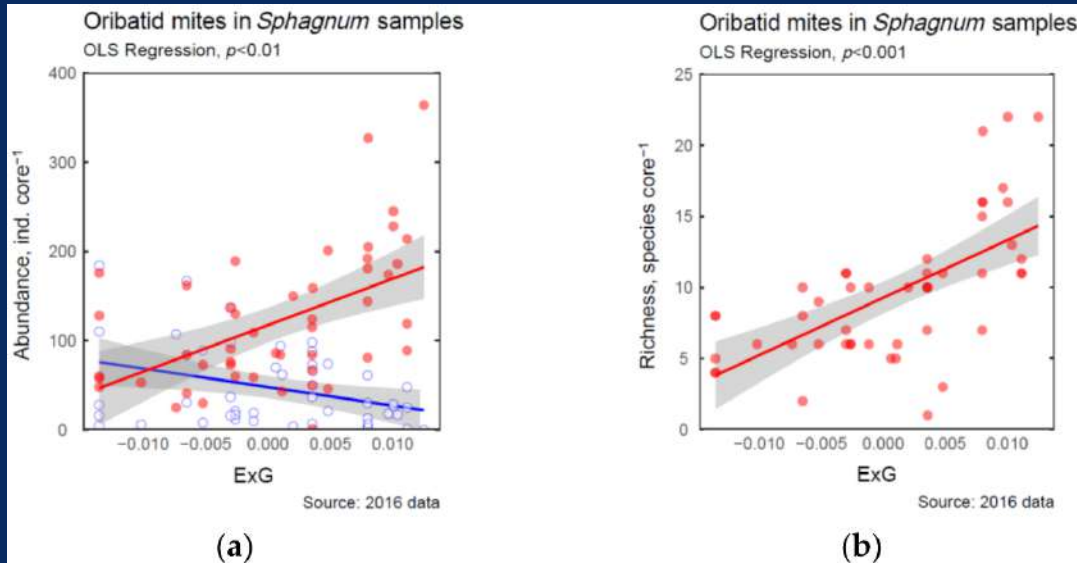
Экологические шкалы Цыганова	Спектральный индекс	Что именно «измеряет» спутник (физический смысл)
Увлажнение почв (HD)	Нормализованный относительный водный индекс / индекс водного стресса растений (NDWI)	Содержание жидкой воды непосредственно в клеточной структуре растительного покрова (тургор листьев) и влажность верхнего слоя почвы
Богатство почв азотом (NT)	Зеленый нормализованный относительный вегетационный индекс (GNDVI)	Концентрация зеленого пигмента хлорофилла в листьях и хвое, а также уровень азотного питания растений
Солевой режим почв (TR)	GSI	Фиксирует появление солончаковатых зон, песчаных субстратов и обнаженного грунта
Освещенность – затенение (LC)	Индекс тени и вертикальной структуры полога (NDFR)	Пространственная неоднородность, ярусность и трехмерную архитектуру растительного сообщества
Шкала переменности увлажнения почв (FH)	Индекс неживой биомассы (ветоши и опада) (NDTI)	Наличие сухой, отмершей органики на поверхности
Термоклиматическая шкала (TM)	Температура земной поверхности (LST)	Радиационная температура подстилающей поверхности

7 BSRI - Индекс сопротивления/обнажения голой почвы
VDI - Плотность и степень разрушения растительного покрова под воздействием механических нагрузок

Использование спектральных индексов



Метаанализ: Peticilă, A.; Iliescu, P.G.; Dinca, L.; Popa, A.-S.; Murariu, G. Vegetation Indices from UAV Imagery: Emerging Tools for Precision Agriculture and Forest Management // AgriEngineering, 2025, 7, 431.



Спектральные индексы вышли далеко за рамки простой картографии и стали важнейшими предикторами физиологических процессов



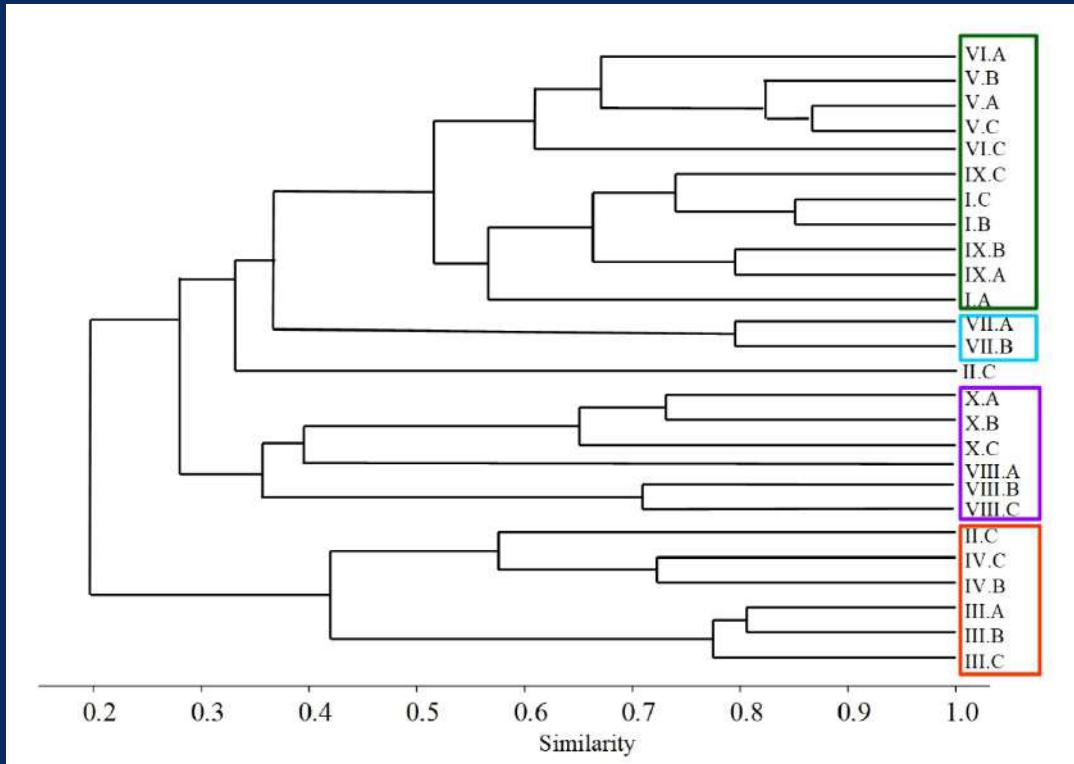
Article

Using Spectral Indices Derived from Remote Sensing Imagery to Represent Arthropod Biodiversity Gradients in a European *Sphagnum* Peat Bog

Maria A. Minor^{1,*}, Sergey G. Ermilov², Omid Joharchi² and Dmitriy A. Philippov³

Результаты. Фауна и население жужелиц Соловецкого архипелага

1. В 2025 году обнаружены 2 новых вида жужелиц для фауны архипелага: *Poecilus cupreus* и *Pterostichus melanarius*
2. Число видов в фауне Соловецких островов – 82 вида
3. Число видов и уловистость жужелиц на исследуемых участках не имели значимых отличий между годами исследования: число видов: $F_{2,23} = 2.07$ $p = 0.16$; уловистость: $F_{2,23} = 0.41$, $p = 0.67$
4. Структура населения жужелиц исследуемых участков сохраняла стабильность между годами исследования



Дендрограмма кластерного анализа (Bray-Curtis similarity index, UPGMA), ANOSIM: $R = 0,84$ $p = 0,0001$

9

● Лес

● Луга (антропогенные)

● Болота

● Приморские луга и вороничные пустоши

а

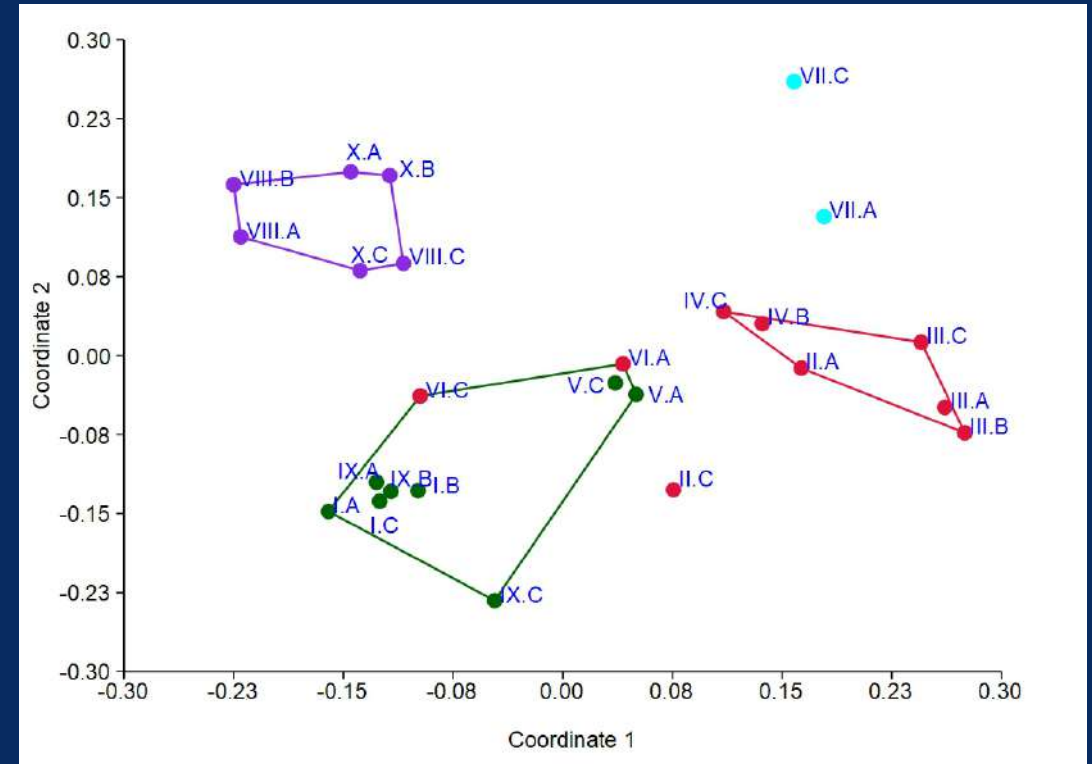


График неметрического шкалирования (non-metric MDS) по Bray-Curtis similarity index

А – 2009 год, В – 2010 год, С – 2025 год

Корреляции матриц населения жужелиц разных типов сообществ

Simple Mantel Tests			r	p
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.90	0.0001
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.89	0.0001
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.88	0.0001
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.88	0.0002
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.91	0.0002
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.92	0.0004
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.79	0.0002
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.58	0.0003
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.63	0.0001

Partial Mantel Tests			r	p
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.56	0.0003
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.48	0.0004
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.37	0.003
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.45	0.01
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.50	0.002
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.74	0.003
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.63	0.0003
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.43	0.006
Matrix 1: ...	Matrix 2: ...	Matrix 3: ...	0.45	0.0001

Распределение участков по экологическим шкалам и спектральным индексам

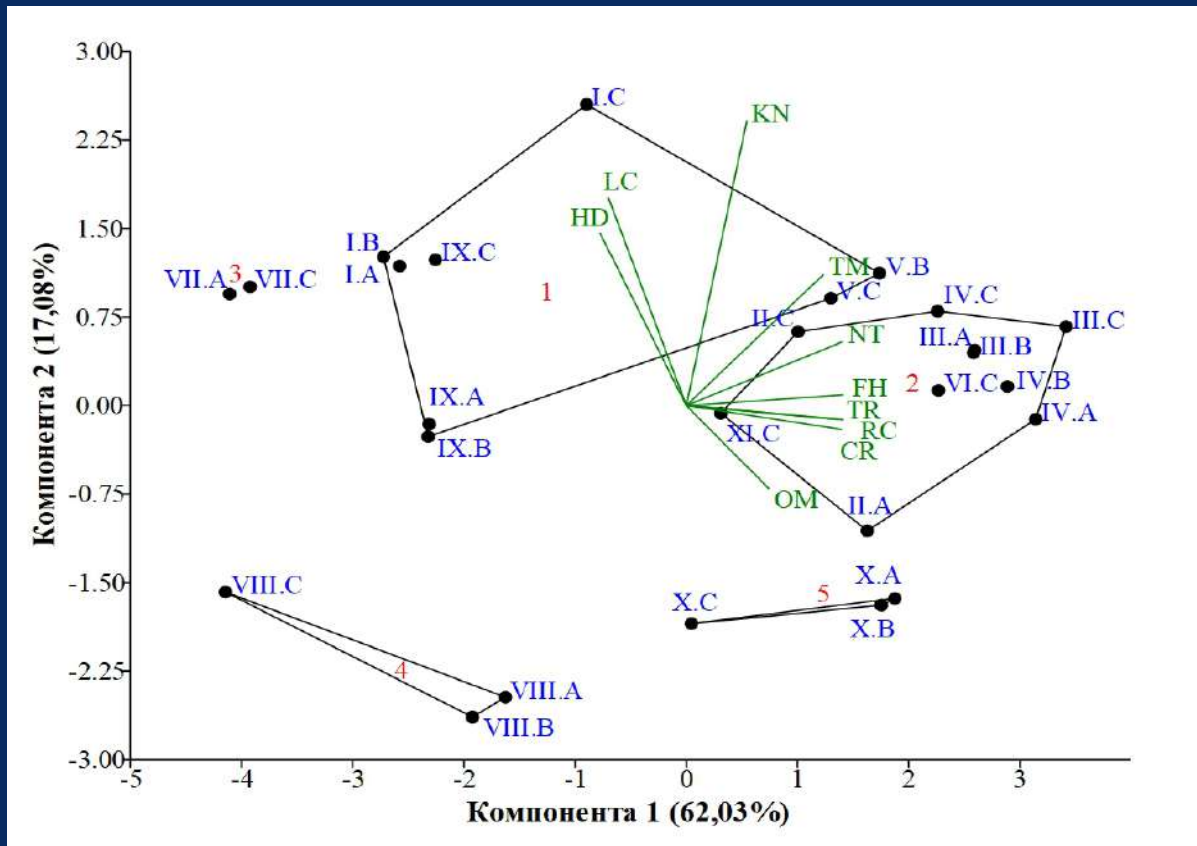


График анализа главных компонент (PCA) распределения участков по значениям экологических шкал о. Большой Соловецкий, PERMANOVA: $F = 2,398$ $p = 0,0001$

1 – Леса, 2 – Луга, 3 – Болота, 4 – Вороничные пустоши, 5 – Приморские луга
А – 2009 год, В – 2010 год, С – 2025 год

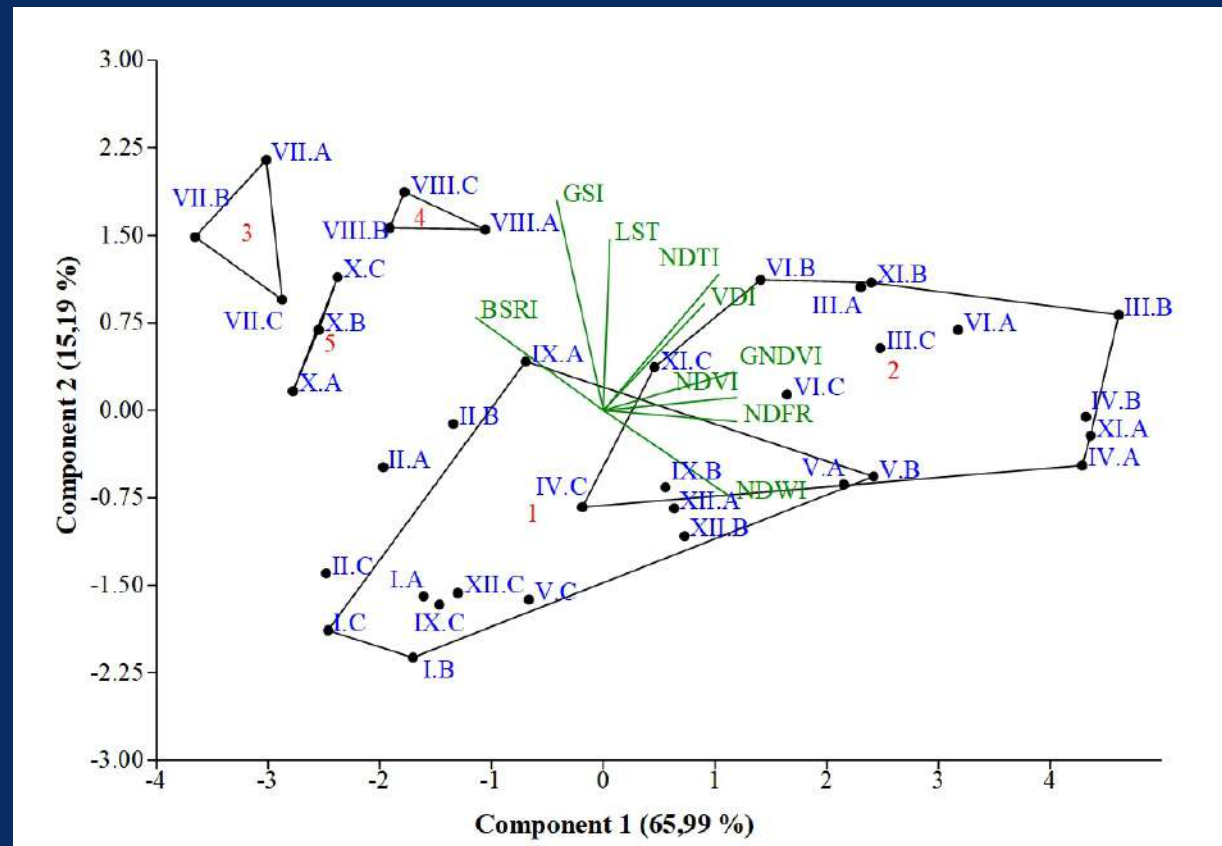
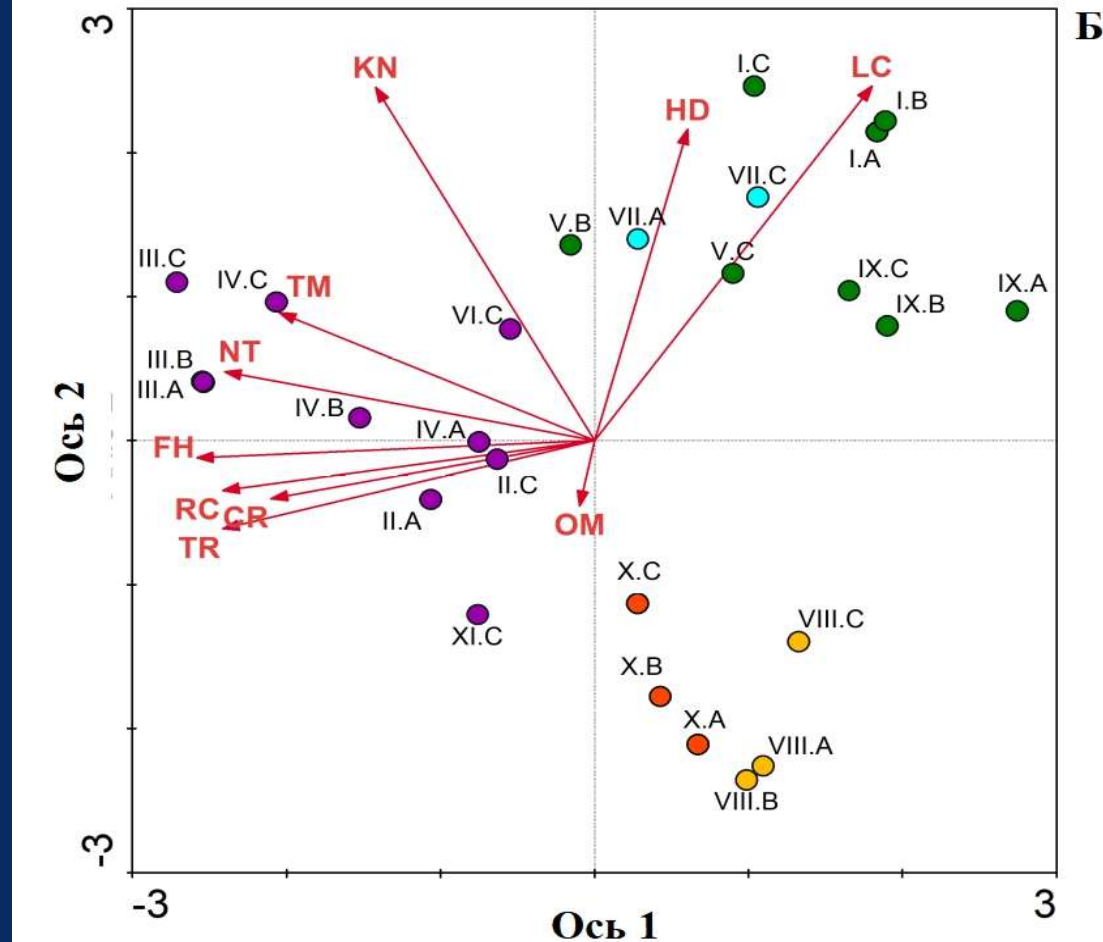
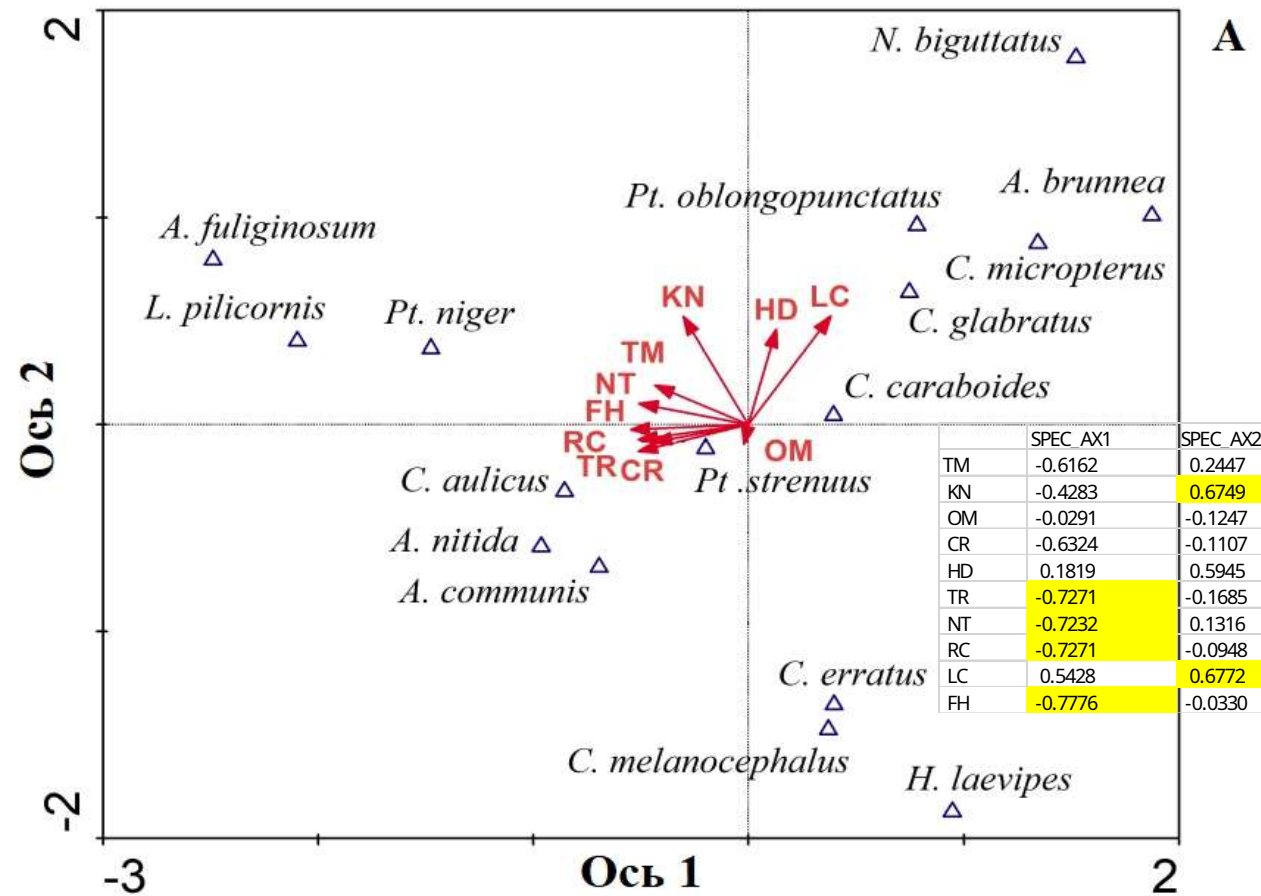


График анализа главных компонент (PCA) распределения участков по значениям спектральных индексов о. Большой Соловецкий, PERMANOVA: $F = 2,471$ $p = 0,0001$

Корреляции координат участков по распределению относительно основных осей графиков PCA по Пирсону (PC1 : $r = 62,9 \%$ $p = 0,006$; PC2 : $r = - 60,9 \%$ $p = 0,0009$)

Связь уловистости видов жуужелиц с экологическими шкалами

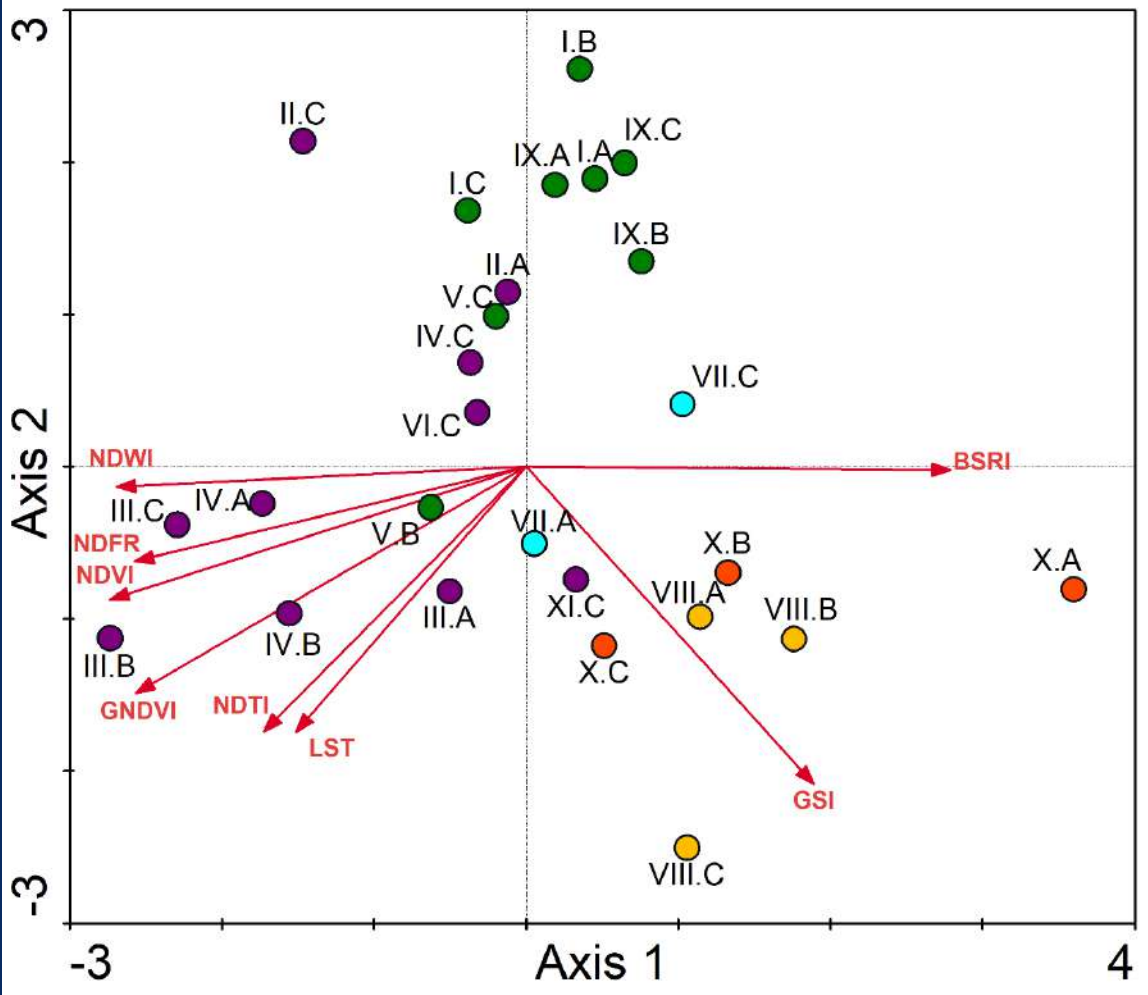
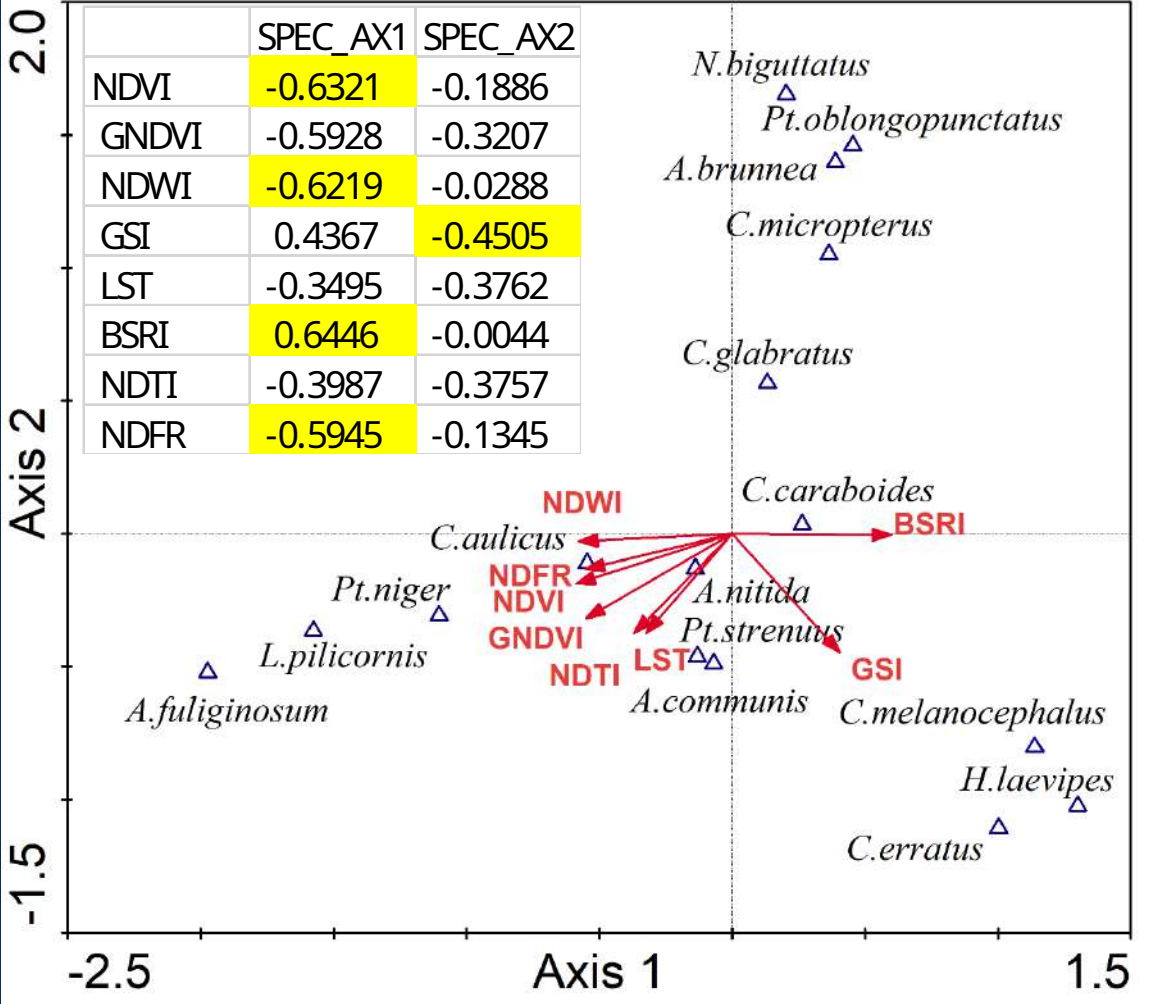


● Леса
 ● Луга (антропогенные)
 ● Болота
 ● Приморские луга
 ● Вороничные пустоши

Графики канонического анализа (ССА) распределения массовых видов жуужелиц (А) и участков (Б) исследования о. Большой Соловецких по экологическим шкалам (Monte Carlo test: 499 перстановок, $p = 0,03$ для первой оси и $p = 0,002$ для всех осей)

А – 2009 год, В – 2010 год, С – 2025 год

Связь уловистости видов жужелиц со спектральными индексами



● Леса ● Луга (антропогенные) ● Болота ● Приморские луга ● Вороничные пустоши

Графики канонического анализа (ССА) распределения массовых видов жужелиц (А) и участков (Б) исследования о. Большой Соловецких по спектральным индексам (Monte Carlo test: 499 перестановок, $p = 0,03$ для первой оси и $p = 0,002$ для всех осей)
А – 2009 год, В – 2010 год, С – 2025 год

Выводы:

1. Сообщества жуужелиц 12 модельных участков о. Большой Соловецкий за период многолетних исследований показали слабую изменчивость видового состава и пространственно-временной структуры
2. Сообщества жуужелиц естественных растительных ассоциаций (болота, вороничные пустоши и приморские луга) более устойчивы, чем антропогенно-преобразованных (сенокосные луга)
3. С 2009-2010 гг на модельных участках поддерживаются стабильные почвенно-растительные условия по следующим экологическим шкалам: трофность/засоленность, богатство почв азота, кислотность и переменность увлажнения почв. К основным спектральным индексам, относятся индексы соответствующие экологическим шкалам: вегетационный индекс, индекс водного стресса растений, индекс неживой биомассы, а также индекс отражающий антропогенную нагрузку - сопротивления/обнажения голой почвы
4. Хорошо организованные туристические потоки, не сказываются на сообществах жуужелиц острова Б. Соловецкий, даже при численности туристов, превышающей рекреационную емкость среды

Перспективы:

1. Интегрировать значения экологических шкал и ГИС, с целью создания карт по распределению значений шкал для сообществ острова Большой Соловецкий;
2. Разработка многомерных матриц спектральных признаков для предсказания средних экологических шкал.
3. Использовать экологические шкалы и спектральные индексы для уточнения и описания экологических классов беспозвоночных, связанных с почвенно-растительными условиями



Благодарю за внимание

