Міністерство освіти і науки України
ПОЛТАВСЬКА ДЕРЖАВНА АГРАРНА АКАДЕМІЯ

Цикл наукових праць

ПРИРОДНІ ТА ТЕХНОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНІ ЕКОСИСТЕМИ УКРАЇНИ: ВІДНОВЛЕННЯ БІОТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ, РОДЮЧОСТІ ТА РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ҐРУНТІВ

Автори:

Писаренко П. В., Милованов Є. В., Мальцева І. А., Пахомов О. Є., Кунах О. М., Жуков О. В., Бригадиренко В. В., Гассо В. Я.

2020

Мета роботи – розробити принципи та методи відновлення біотичного потенціалу природних та техногенно трансформованих екосистем України як наукової основи охорони біологічного та ландшафтного різноманіття, відновлення родючості ґрунтів за умов інтенсивного сільськогосподарського виробництва та рекультивації земель.

Для досягнення поставленої мети вирішені такі завдання:

– на основі концепції екологічної ніші науково обґрунтовані методичні підходи для визначення особливостей просторового варіювання популяцій живих організмів на рівні біогеоценозу;
– розроблений науково-методичний інструментарій для оцінювання просторового варіювання точкових об'єктів на рівні біогеоценозу та на рівні ландшафту;
– обґрунтовано систему екогеографічних показників на основі даних дистанційного зондування Землі як маркерів екологічної ніші живих організмів на ландшафтному рівні;
– розроблено процедуру оцінювання положення видів живих організмів у екологічному просторі, який відповідає існуючими типологічними системами біогеоценотичного покриву України;
– обґрунтоване уявлення про екоморфи живих організмів як структурних компонентів екологічного гіперпростору;
– розроблені принципи та методи оцінювання просторової варіабельності угруповань живих організмів на різних масштабних рівнях в умовах урбанізованого середовища;
– розкрите значення екоморф живих організмів і ґрунтів у просторовій структурі біогеоценозу;
– на основі закономірностей просторового варіювання угруповань педобіонтів агроценозів обґрунтовані види-індикатори якості фізичного стану та негативних умов агроземів;
– розроблено підходи до оцінювання екологічного простору педобіонтів на основі фітоіндикації екологічних режимів.

Об’єкт дослідження: біотичний потенціал природних, сільськогосподарських, урбанізованих і техногенних екосистем України.

Предмет вивчення – принципи та методи відновлення біотичного потенціалу природних та техногенно трансформованих екосистем, а також родючості та рекультивація ґрунтів.

Уперше:

1. встановлені просторові патерни живих організмів на рекультивованих техноземах;
2. розроблено алгоритм опису просторової варіабельності точкових об'єктів і перевірки гіпотез про характер причинно-наслідкових зв'язків, які її генерують;
3. створено систему екогеографічних предикторів екологічної ніші живих організмів на ландшафтному рівні;
4. показане співвідношення теорії екологічної ніші та теорії нейтральності для пояснення організації угруповань організмів;
5. розроблено технологію оцінювання просторової варіабельності угруповань ґрунтової мезофауни;

обґрунтовано біоіндикатори якості та негативних властивостей агроземів.

Науково обґрунтовано:

- методичні підходи для визначення та оцінювання просторового варіювання популяцій живих організмів на рівні біогеоценозу;
- обґрунтовано систему екогеографічних показників на основі даних дистанційного зондування Землі як маркерів екологічної ніші на ландшафтному рівні.

Удосконалено:

- адаптивний алгоритм розміщення експериментальних полігонів у просторі;
- систему едафічних показників, придатних для описання просторового варіювання екологічної ніші ґрунтової макрофауни.

Набули подальшого розвитку:

- уявлення про екоморфічну структуру угруповань живих організмів та ґрунтів як маркеру екологічного простору;
- фітоіндикація екологічного простору тварин;
- концепція екологічної ніші Хатчинсона та способи її кількісного оцінювання та відображення в екологічному та географічному просторі;
- уявлення про масштабну ієрархію просторової структури популяцій та угруповань живих організмів.

Практичне значення отриманих результатів

Результати роботи є розвитком просторової екології як цілісного напряму, вони застосовані для наукового обґрунтування заходів охорони біологічного різноманіття у природних заповідниках України. Принципи та методи, розроблені у роботі, лягли в основу моделювання просторового розміщення бур'янів та шкідників сільського господарства. Просторова екологія надає практичні інструменти для екологічного оцінювання техноземів та динаміки відновлення екосистемних функцій у процесі рекультивації земель, порушених гірськими розробками. У роботі розроблений і апробований адаптивний алгоритм розміщення експериментальних полігонів для вивчення просторового варіювання угруповань живих організмів. Цей методичний прийом має самостійне практичне значення та може бути використаний для оптимізації просторового розміщення ґрунтових розрізів, точок відбирання агрохімічних аналізів, геоботанічних описів тощо, у тому числі у практиці точного землеробства. Практичне значення має методика обліку просторового варіювання ґрунтових тварин у межах полігона по регулярній сітці.

Наукові основи відновлення біотичного потенціалу дозволили досягти успішного розвитку органічного агровиробницва в країні. Екологізація агропромислового виробництва забезпечило зростання внутрішнього споживчого ринку органічних продуктів до рівня *33 млн.євро*. Важливим маркером результативності сучасних технологій відновлення біотичного потенціалу агроекосистем є те, що експорт органічної продукції в 2018 р. становив *104 млн.євро* та постійно збільшується. Це забезпечило Україні серед усіх світових країн *4 місце* за обсягами експорту органічної сільськогосподарської продукції в ЄС з показником 8,2% від загального імпорту. За обсягами та результатами розробки наукових принципів і методів просторової екології для вирішення практичних питань науки та народного господарства представлена робота переважає світові аналоги.

Проблеми відновлення природних та техногенно трансформованих екосистем України

Для вирішення проблем відновлення екосистем (І):

- Багаторічний моніторинг екосистем дозволив встановити стабільність і динаміку різних процесів, які визначають структуру, функції та стійкість екосистем, а саме функціональну роль зооценозу у формуванні механізмів стійкості та специфіки екосистем.
- Установлений взаємозв'язок структурних характеристик тваринного населення та деяких властивостей ґрунту.
- Вивчено значення показників біомаси ґрунтової мезофауни для індикації стійкості та оптимальності біологічного кругообігу в лісових біогеоценозах.
- Досліджено вплив хребетних тварин на властивості ґрунту та хід ґрунтотворного процесу. Активність рийних ссавців виступає важливим фактором, який перетворює середовище в лісовому біогеоценозі.
- З'ясовано, що формування їх видового складу та чисельності залежить від сукупності факторів, що визначають типологічні особливості степового лісу.
- Вивчено взаємозв'язок активності хребетних тварин і структури населення ґрунтів. Так, діяльність сліпака значно поліпшує екологічні умови для заселення ділянок корисними групами безхребетних тварин.

Для вирішення проблем відновлення екосистем (ІІ):

- Виявлено тенденції формування комплексів ґрунтових безхребетних та їх зміни за інтенсивного антропогенного впливу.
- Вивчено можливість використання педобіонтів для індикації трансформованості екосистем. Багатовимірний факторний аналіз дозволяє виділити основні значимі групи характеристик тваринного населення для діагностики ґрунтів:
  - сумарна чисельність,
  - біомаса,
  - кількість деяких трофоморф і топоморф,
  - чисельність олігохет, молюсків, пластинчастовусих тощо.
- Встановлено вміст низки хімічних елементів в організмах ґрунтових тварин і роль педобіонтів у міграції цих речовин у біогеоценозі.
- Просторова та функціональна структура угруповань ґрунтових тварин має безпосередній зв'язок з їх стійкістю. Здійснено аналіз просторової структури популяцій наземних молюсків за допомогою фрактального підходу та із застосуванням геостатистики.

Для вирішення проблем відновлення екосистем (ІІІ):

- Розроблено ГІС-підхід для оцінювання просторової варіабельності системи пориїв та впливу рийної активності сліпака на ґрунти. Створено уявлення про фодересферу сліпаків як аналог дрилосфери дощових черв'яків. Розкрито ландшафтний аспект екологічної ніші сліпаків із застосуванням ENFA–аналізу та технологій аналізу даних дистанційного зондування Землі.
- Визначено закономірності просторового варіювання агрегатної структури та інших фізичних властивостей техноземів.
- Розроблені підходи для застосування фітоіндикаційних шкал як маркерів екологічного простору угруповань ґрунтових тварин. Розроблено адаптивну стратегію оцінювання просторової структури угруповань ґрунтових тварин урбанізованих територій на різних ієрархічних рівнях із застосуванням наземних досліджень і даних дистанційного зондування Землі.
- Сформульовано концепцію просторової агроекології під час рекультивації земель. За допомогою технологій просторової екології здійснено фракціювання просторової варіації угруповань панцирних кліщів сільськогосподарського поля.

Екоморфічні матриці

Розроблено концепцію екоморфічних матриць, які є системою екологічних ознак угруповань тварин та розкривають зв'язок тваринного населення ґрунту з провідними екологічними чинниками, генетичними особливостями ґрунтотворного процесу, рослинним покривом, а також вказують на функціональну роль мезофауни.

Екоморфічна матриця – система екологічних ознак угруповань тварин.

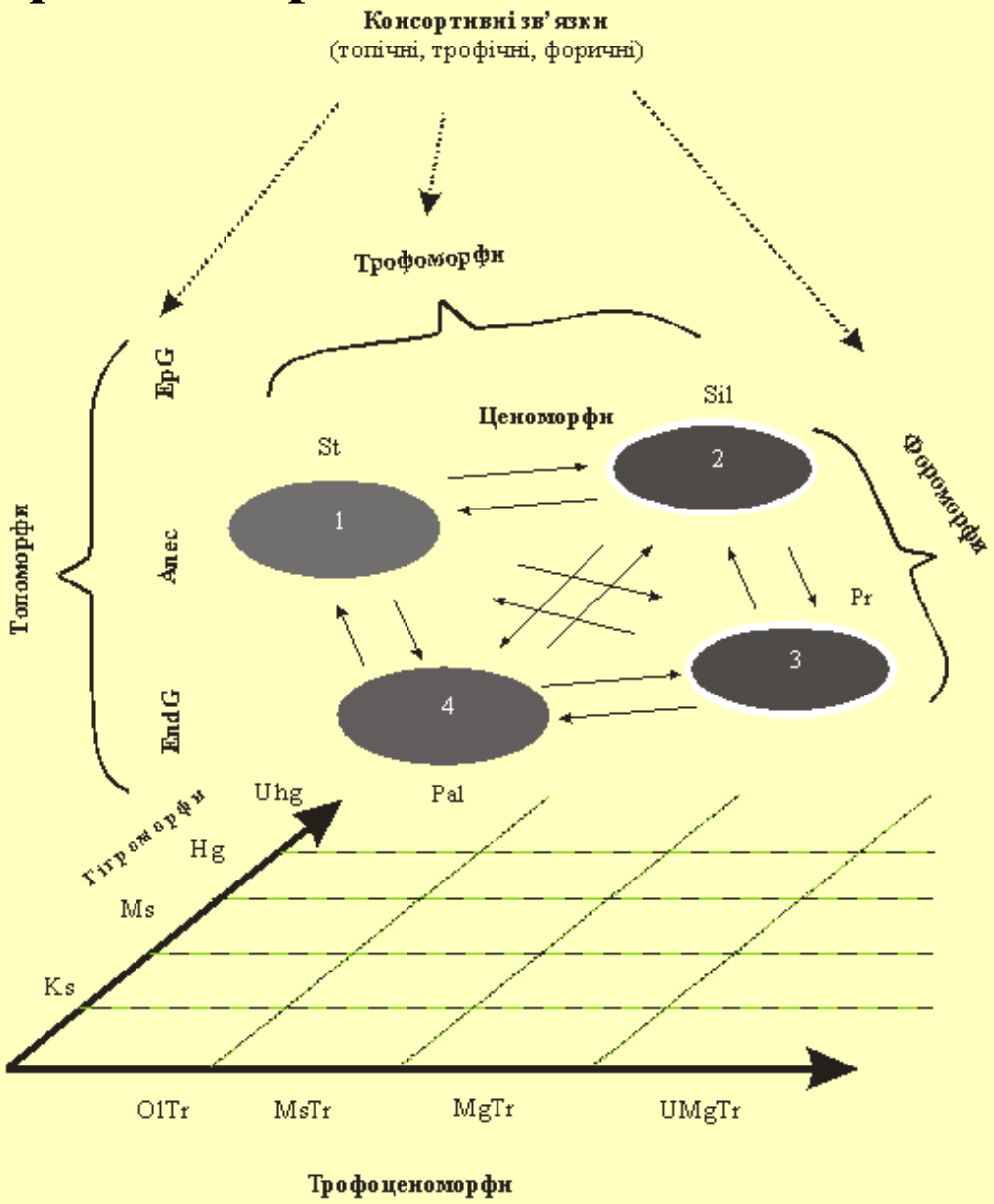


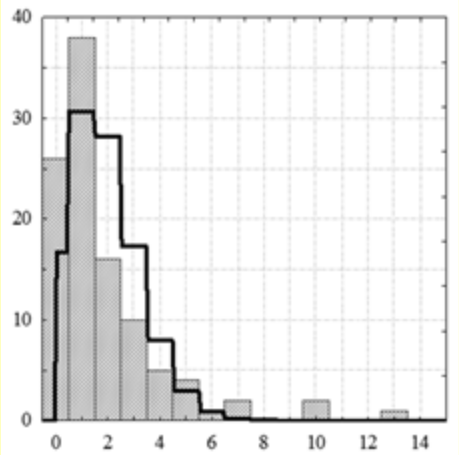
Рис. 1. Архітектоніка екоморфічної матриці:
1 – лісовий тип кругообігу, 2 – степовий тип кругообігу, 3 – болотний тип кругообігу, 4 – лучний тип кругообігу

Для вирішення проблем відновлення екосистем (IV):

- Функціональні групи, виділені в екологічному просторі за допомогою RLQ–аналізу, демонструють регулярні патерни просторової мінливості. Локальні функціональні групи характеризуються екологічними характеристиками, які розкривають у термінах одних екоморф властивості інших, що займають вище ієрархічне положення. Функціональна класифікація тварин, у якій види характеризуються спільністю екологічних особливостей, представляє альтернативу індивідуальним моделям «вид–навколишнє середовище». Об'єднання видів за такими ознаками, як морфологія або поведінка, є одним із способів спростити вивчення різноманітних у видовому відношенні угруповань.
- У концепції OMI–аналізу (Outlying Mean Index) екологічна ніша виду може бути представлена як композиція маргінальності, толерантності та залишкової толерантності. Характер розміщення особин у просторі – одна з найважливіших характеристик окремих популяцій і виду в цілому. Патерн просторової структури популяції можна розглядати в аспекті просторової гетерогенності та просторової структурованості. Дослідження на великомасштабному рівні дозволили встановити роль едафічних факторів у просторовому розміщенні тварин та зворотній вплив тварин на едафотоп. Просторові патерни угруповань виникають як результат дії факторів навколишнього середовища, або як результат біотичних взаємодій. Тому для адекватного розуміння екологічних угруповань важливо ідентифікувати просторові структури та співставити з процесами, які знаходяться в їх основі.

Різномасштабна структура біоти рекультоземів

Формою описання розподілу чисельності особин у популяції можуть бути графіки «ранг – чисельність» (за Whittaker), у яких чисельність молюсків у сайті представляється в порядку убування значимості сайту.



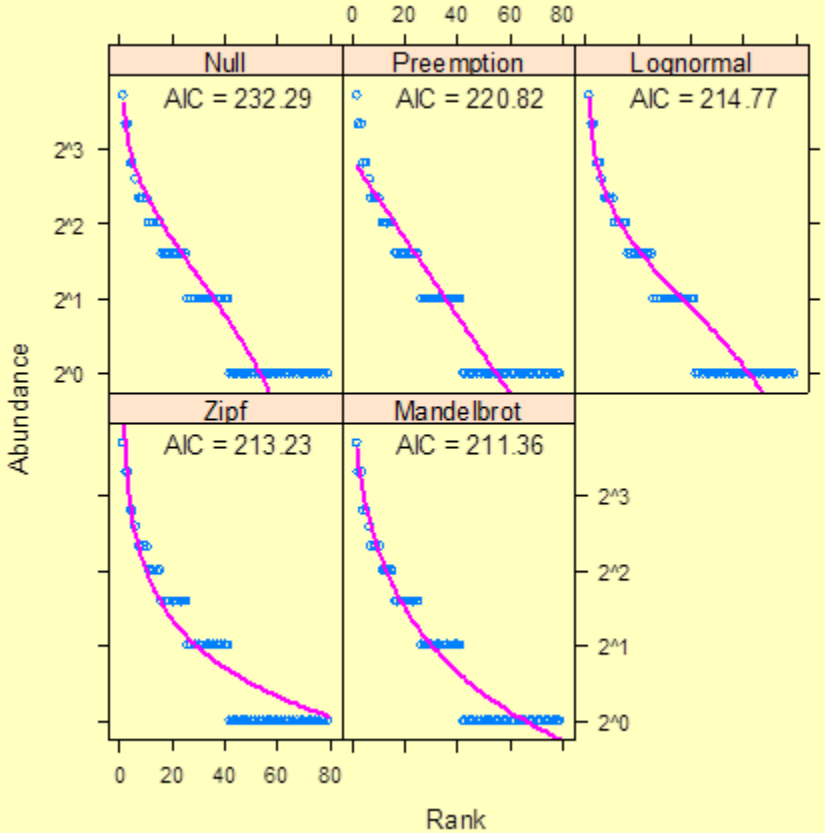


Рис. 2. Моделі розподілу чисельності *Vallonia pulchella*: А – гістограма, лінією зазначений гіпотетичний розподіл Пуассона; В – графіки ранг-чисельність: Null – зламаний стрижень; Preemption – Мотомури (модель перехоплення ніш); Lognormal – логнормальне Престона; Zipf – Ципфа, Mandelbrot – Ципфа-Мандельброта; AIC – інформаційний критерій Акаіке

Просторова структура біоти рекультоземів добре описується у термінах властивостей едафотопу і фітозенозу у межах штучного ґрунтоподібного тіла – дерново–літогенних ґрунтів на червоно–бурих глинах. Послідовне застосування технік аналізу GNSFA розкриває особливості організації екологічної ніші тварин у просторовому контексті.

За результатами ENFA–підходу на прикладі Vallonia pulchella (Muller, 1774) встановлено, що молюски віддають перевагу ділянкам із високим вмістом у ґрунті гумусу, з більшою максимальною гігроскопічною вологістю та усадкою, але меншою температурою верхнього шару ґрунту. Карта преференції місцеперебувань – результат перетворення дискретних точкових об'єктів у континуальну вірогідну змінну на основі відомостей про особливості екологічної ніші тварини.

З екологічної точки зору у межах території ємність місцеперебування велика, а за деяких умов середовища можливе стрімке зростання чисельності представників даного виду. У просторовому розміщенні особин це проявляється в утворенні «гарячих точок» (hotspots) – локалітетів із високим скупченням молюсків.

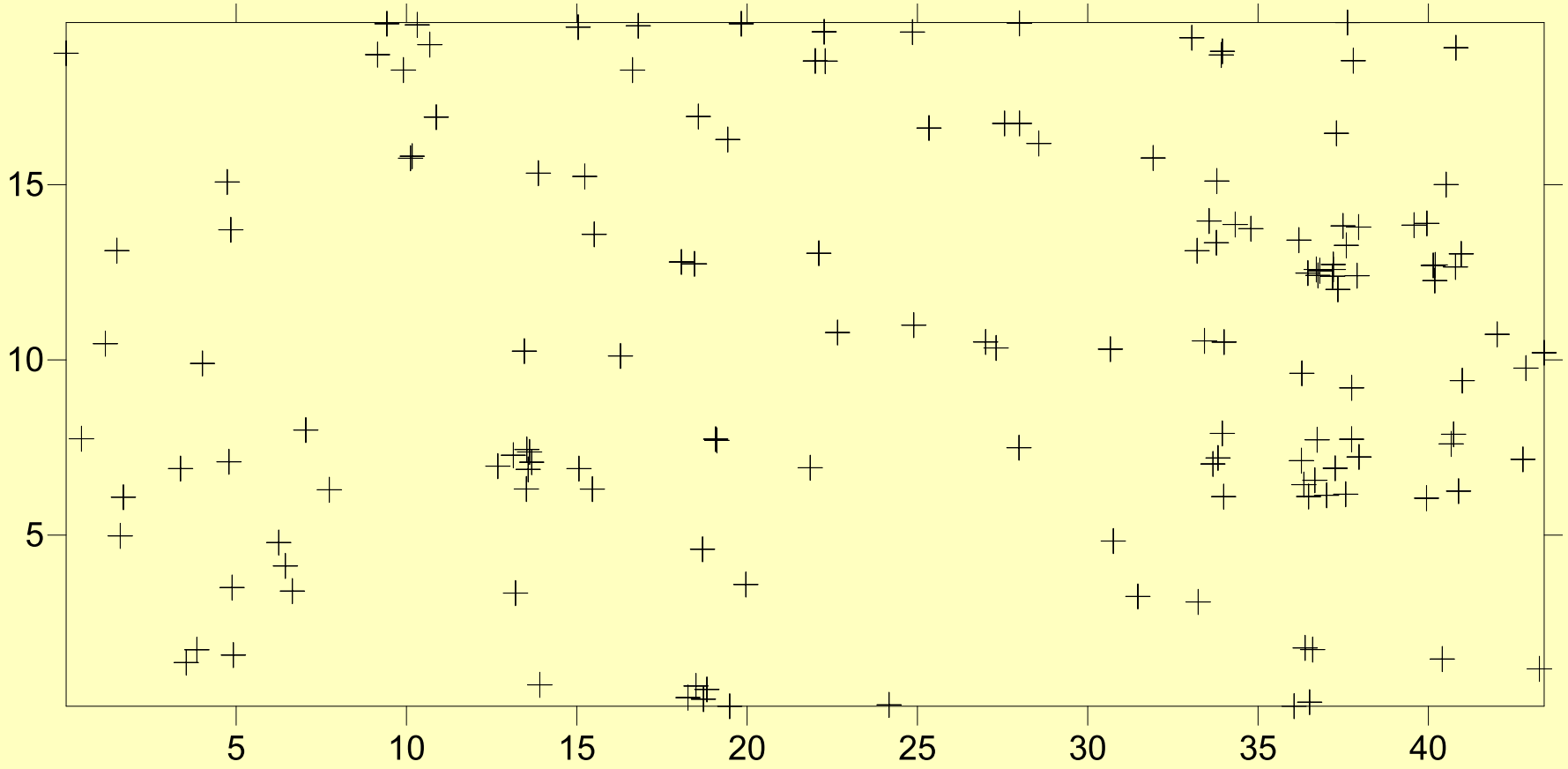
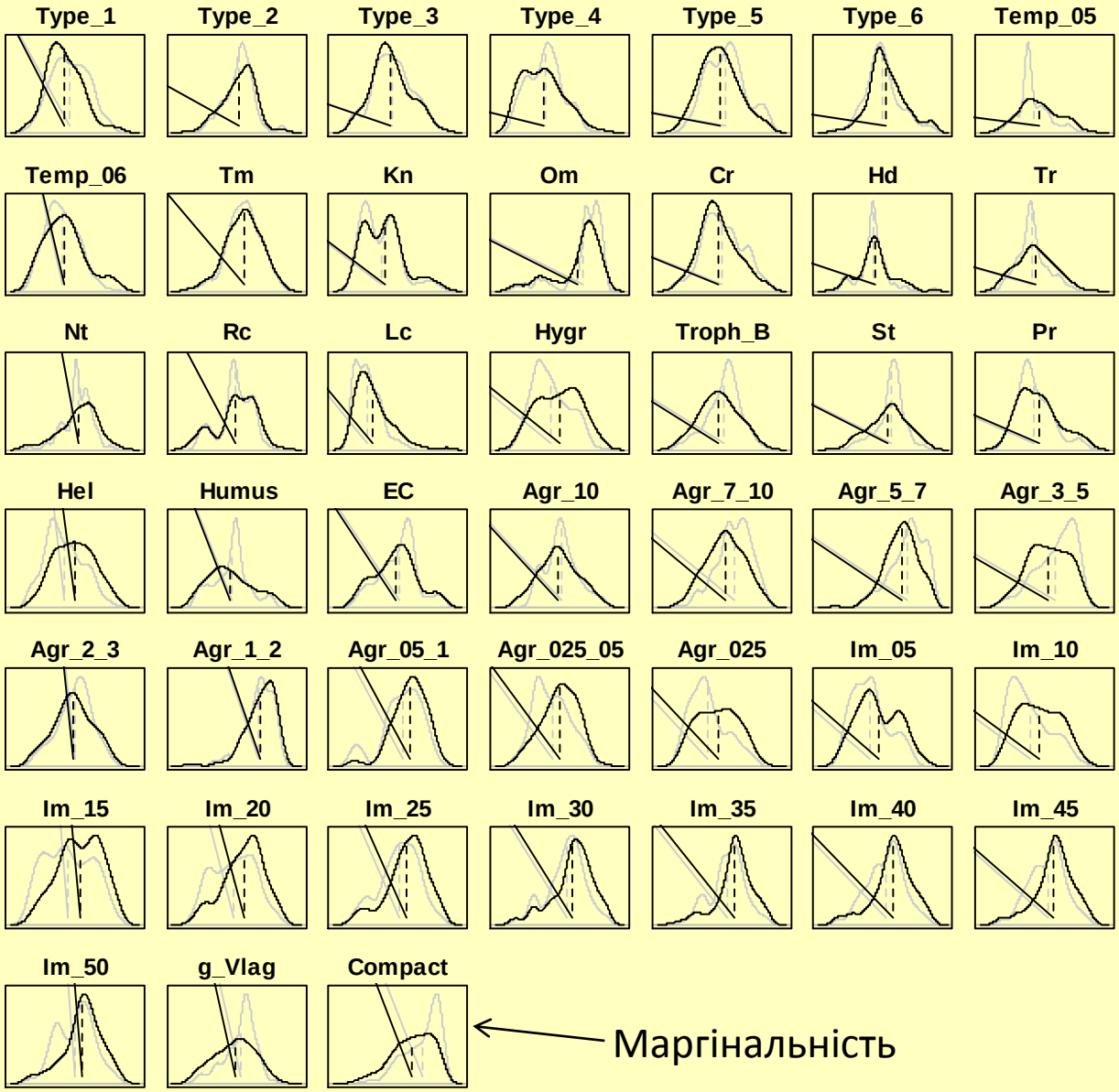


Рис. 3. Просторове розміщення молюсків Vallonia pulchella по ділянці на дерново-літогенних ґрунтах на червоно-бурих глинах. *Координати наведені в метрах*

Відбір проб з фіксацією координат надав можливості відтворити просторовий розподіл тварин

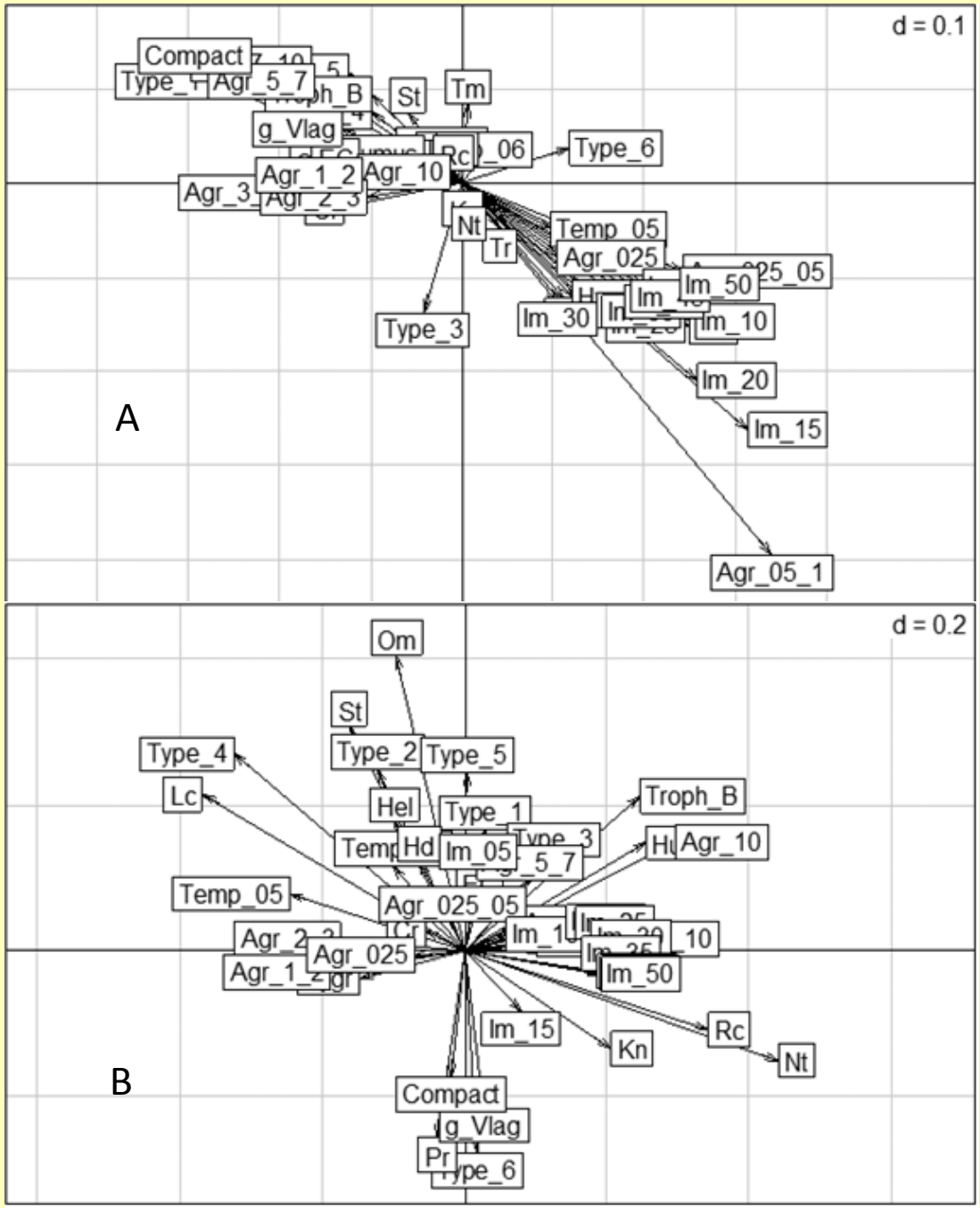
Інформація про просторове розміщення тварин (*Vallonia pulchella)* дозволяє порівняти розподіл ресурсів, а також їх частковий розподіл у точках, де виявлені молюски. Розбіжність загального та часткового розподілів свідчить про структурувальну роль відповідної змінної у визначенні форми екологічної ніші.



type_1 – type_6 – частка фізіономічних типів рослинного покриву;
temp_05 – температура верхнього шару ґрунту (3–5 см) 3 травня 2012 р.; temp_06 – температура верхнього шару ґрунту (3–5 см) 20 червня 2012 р.;
Tm – термоклімат; Kn – континентальність; Om – омброклімат; Kr – кріоклімат; Hd – вологість; Tr – загальний сольовий режим; Nt – азотне живлення; Rc – кислотність; Lc – освітлення; St – степанти; Pr – пратанти;
Humus – гумус; EC – електрична провідність ґрунту,
imp_05, …, imp_50 – твердість ґрунту на глибині 0–5, ..., 45–50 см,

Agr_10 – Agr_025 – агрегатні фракції розміром >10, ..., <0,25 мм,
g_Vlag – гігроскопічна вологість, %; Compact – усадка, в %.

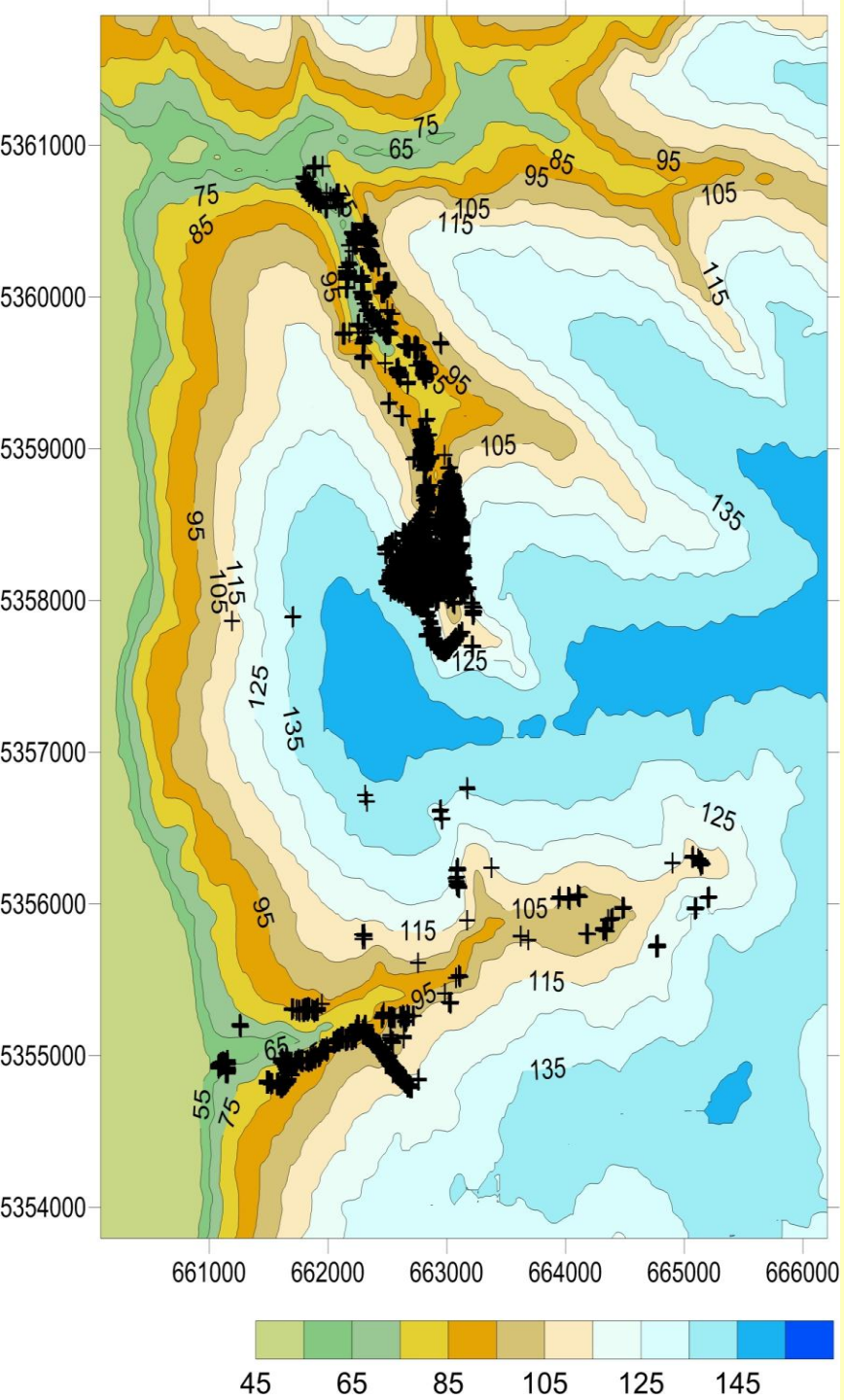
Рис. 4. Розподіл ресурсів (чорні стовпці) і розподіл використання ресурсів (сірі стовпці)



FANTER-підхід дозволив установити маргінальність і спеціалізацію екологічної ніші молюсків.
ENFA-підхід дозволяє виділити вісь маргінальності та осі спеціалізації

Екологічна ніша *V. pulchella* характеризується маргінальністю, що визначається усадкою ґрунту, показниками агрегатної структури, твердості ґрунту. З усіх показників властивостей рослинності у визначенні маргінальності відіграють роль тільки частка гелофітів і частка у фізіономічній структурі злаків.
Спеціалізація визначається за вмістом гумусу, максимальною гігроскопічною вологістю, температурою верхнього шару ґрунту, агрегатною структурою, твердістю ґрунту на глибині понад 25 см, широким спектром фізіономічних типів, вмістом азоту в ґрунті за фітоіндикаційними оцінками.

Рис. 5. Кореляція між змінними середовища та осями, виділеними у результаті FANTER-аналізу: A – осі маргінальності 1 і 2, B – осі спеціалізації 44 і 45

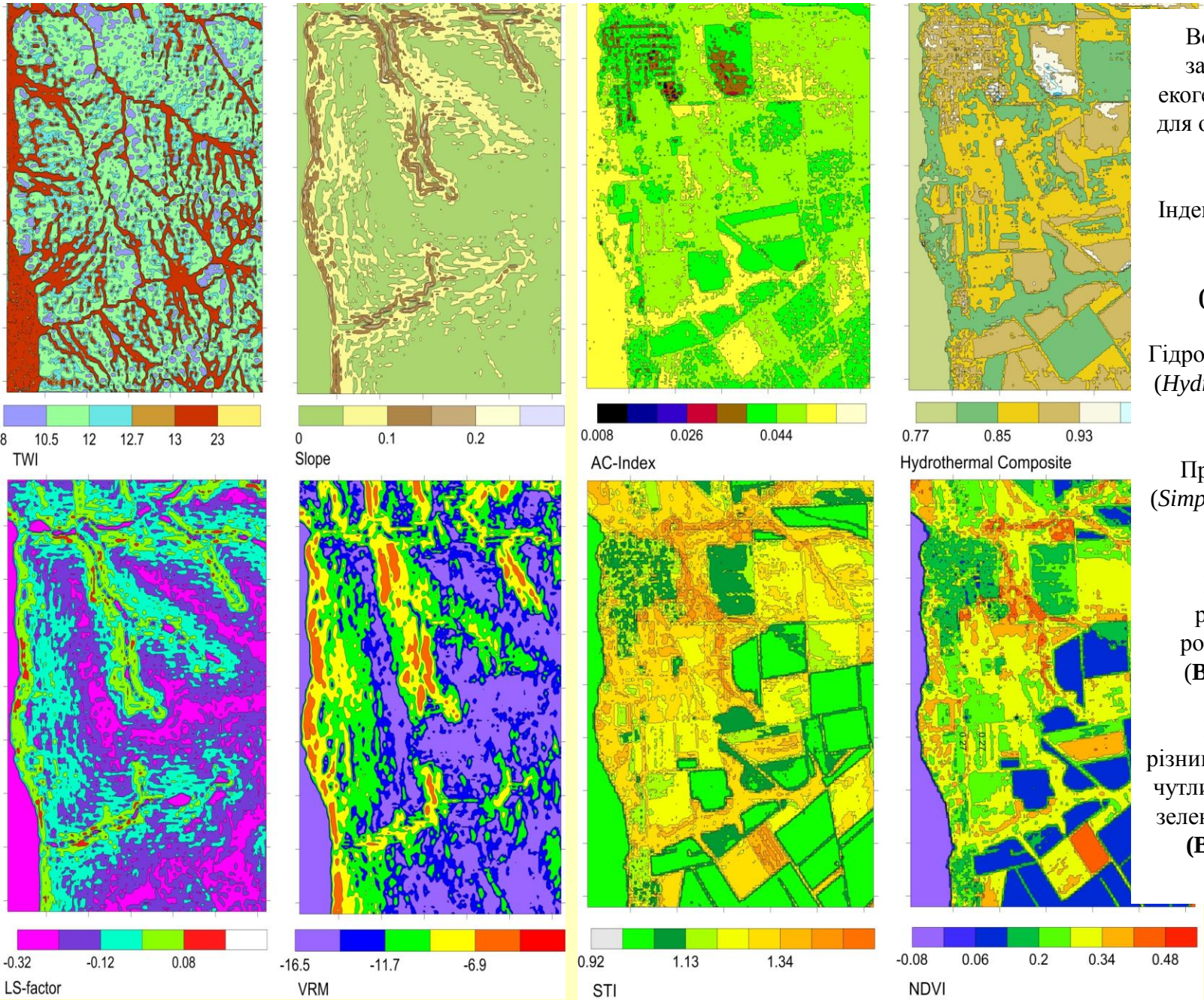


Моделі точкових процесів, які описують просторову гетерогенність та міжточкові взаємодії добре описують чинники впливу на просторову організацію біоти. Так, твердість ґрунту впливає на активність сліпаків, а інтенсивність просторового розташування пориїв – результат цього впливу.

На основі цифрової моделі рельєфу обраховані похідні інформаційні шари:

•Топографічний індекс вологості (TWI);
•Індекс топографічного положення (*Topographic position index* – TPI);
•Індекс балансу геомаси (*Mass Balance Index*) розкриває топографічні передумови до руйнування та відкладення ґрунтів;
•Ерозійний потенціал рельєфу LS є одним з компонентів універсального рівняння ґрунтової ерозії (*Universal Soil Loss Equation* – USLE);
•Пряма й розсіяна інсоляції ФАР (складається із двох компонентів загальної сонячної радіації – прямої й розсіяної й може бути розрахована за формулою: ФАР = 0,6 РР + 0,4 РП,
•де РР – кількість розсіяної радіації, а РП – кількість прямої радіації);
•Висота над русловою мережею (*Altitude above channel network*);
•Різномасштабний індекс тальвегів (*Multiresolution valley bottom flatness* – MRVBF);
•Різномасштабний індекс гребенів височин (*Multiresolution ridge top flatness index* – MRRTF);
•Векторна міра пересіченості місцевості (*Vector Ruggedness Measure* – VRM)

Супутник Landsat 8: зйомка в 9-х спектральних діапазонах (B1–B9), які відповідають основним вікнам прозорості атмосфери



Вегетаційні індекси застосовані у якості екогеографічних змінних для описання екологічної ніші сліпаків

Індекс аерозолів-узбереж (aerosol/coastal) (AC-Index): **(B1-B2)/(B1+B2).**

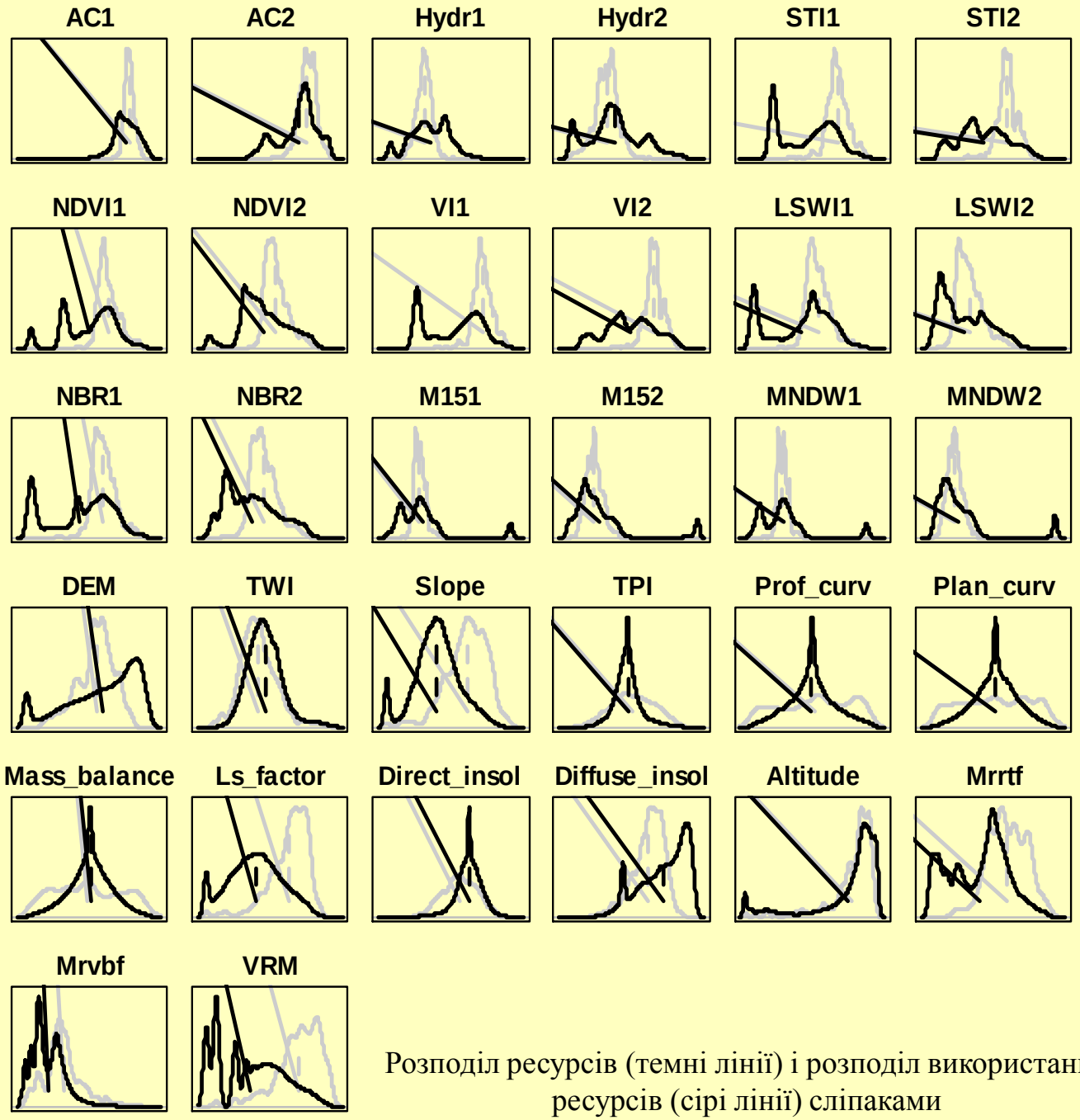
Гідротермальний композит (*Hydrothermal Composite*): **B4/B2.**

Простий індекс ріллі (*Simple tillage index* – STI): **B6/B7.**

Нормалізований різницевий індекс рослинності (NDVI): (**B5 – B4**)/(**B5 + B4**).

Нормалізований різницевий водний індекс – чутливий до вмісту води в зеленій біомасі (MNDW): **(B3 - B6)/(B3 + B6).**

Та деякі інші.

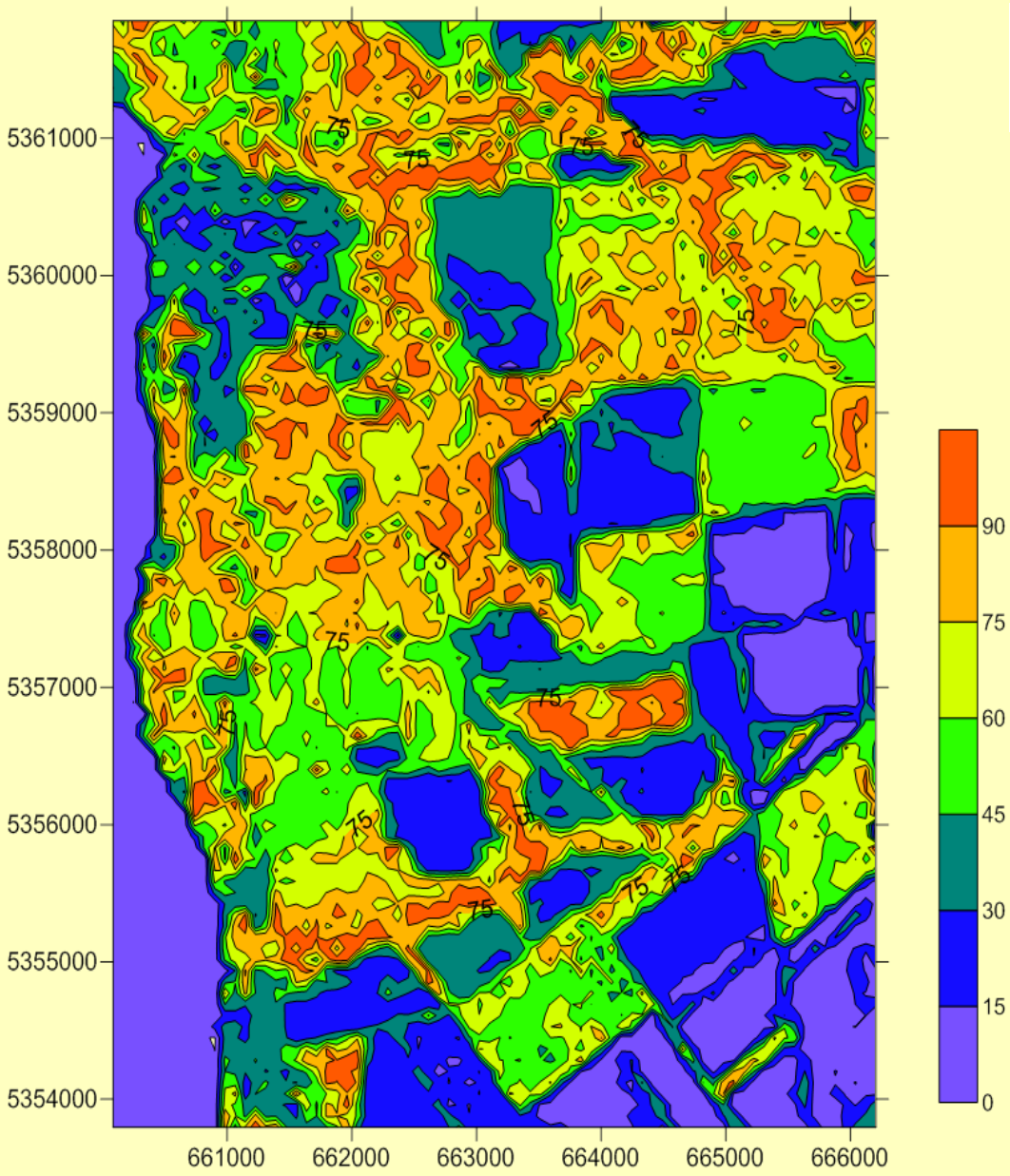


Розподіл ресурсів (темні лінії) і розподіл використання ресурсів (сірі лінії) сліпаками

Маргінальність ніші сліпаків за результатами аналізу ENFA пов'язана з рельєфом – пориї найчастіше можуть бути зустрінуті на крутих увігнутих схилах – і найбільшою мірою визначається індексом векторної міри пересіченості місцевості, фактором ерозії, ухилом поверхні, індексом ріллі (індекс глинистих мінералів) і вегетаційним індексом.

У комплексі, ці показники чітко маркірують еродовані елементи рельєфу із залишками природної степової рослинності.

Геоморфологічні показники не визначають спеціалізацію ніші даної тварини. Ключові маркери осі спеціалізації – вегетаційні індекси.

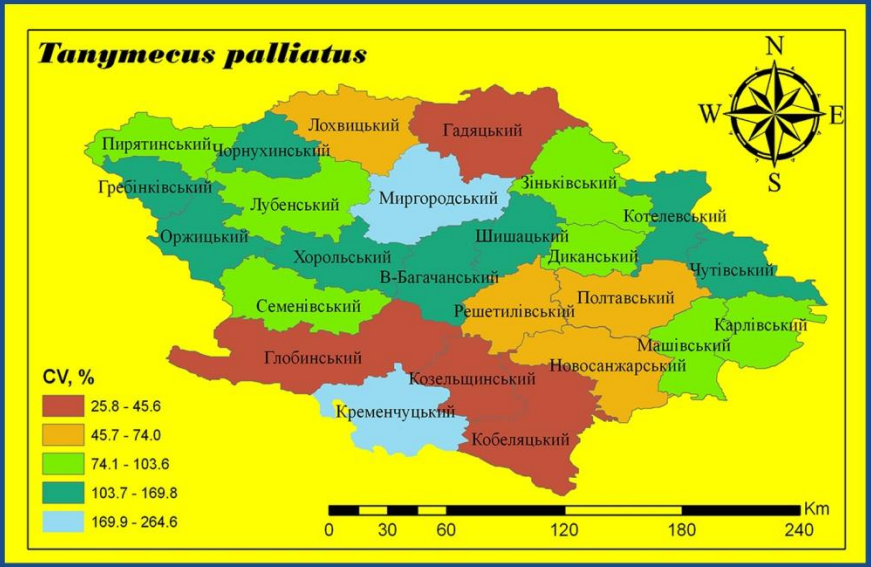


ENFA-оцінка індексу переваги сліпаками місцеперебувань

Індекс переваги місцеперебувань – континуальна модель екологічного простору виду, одержана на основі точкових обліків, відомостей про просторове варіювання вірогідних екогеографічних змінних і моделі факторної структури екологічної ніші тварини.

Показано, що екогеографічні змінні, одержані на основі даних дистанційного зондування поверхні Землі (рельєфні показники та характеристики рослинного покриву) придатні для ефективного опису просторового розподілу сліпаків.

О. Ю. Диченко
П.В. Писаренко
О.М. Кунах
О.В. Жуков



ПРОСТОРОВА АГРОЕКОЛОГІЯ ЯК ОСНОВА ПРОГНОЗУ ЧИСЕЛЬНОСТІ ШКІДНИКІВ

М. В. Трифанова, О. М. Кунах, О. В. Жуков

Дослідження консортивних зв'язків у біогеоценозах та охорона природи

Екосистемні сервіси в умовах антропогенної трансформації природних комплексів (I)

- Установлено загальні закономірності формування різноманіття та чисельності фауни на основі їх взаємодії з різними типами екосистем та їх біогеоценотичних чинників.
- Розроблено теорію структури фауністичних комплексів степових лісів.
- Надано оцінку ролі тварин у формуванні біомаси та вторинної продукції у різних типах степових лісів.
- Установлено роль тварин у трансформації біотичної енергії та їх енергетичному балансі.
- Показано роль тварин в утворенні консортивних і міжбіогеоценотичних зв'язків. Надано кількісну оцінку цих зв'язків.
- На прикладі окремих таксонів установлено новий вид консортивних зв'язків – трансабіотичний.
- Визначено участь хребетних тварин у формуванні первинної продукції автотрофів і утворенні механізмів її захисту від дії різних фітофагів.
- Розроблено класифікацію середовищетвірної активності тварин у степових лісах. Охарактеризовано закономірності середовищетвірної активності тварин у стабілізації лісорослинних умов і у ґрунтотвірних процесах.

КЛАСИФІКАЦІЯ УЧАСТІ ТВАРИН У ФУНКЦІОНУВАННІ ЕКОСИСТЕМ

ПРОДУЦІЙНИЙ

- **Сприяння утворенню первинної продукції**
  Форична діяльність
- **Утворення вторинної продукції**
  Споживча діяльність трофічного типу
- **Утворення кормової бази для зоофагів**
  Споживча діяльність трофічного типу
- **Інтенсифікація продуктивності автотрофів**
  Видільна діяльність трофічного типу; риюча діяльність механічного типу

ЗВ'ЯЗКОУТВОРЮВАЛЬНИЙ

- **Формування консортивних зв'язків**
  Трофічний і конструктивний типи діяльності, топічний розподіл зоокомпонентів
- **Утворення сінузіальних і парцелярних біотичних зв'язків**
  Трофічний і конструктивний типи діяльності
- **Біогеоценотичні зв'язки**
  Усі види середовищеутворювальної діяльності
- **Міжекосистемні зв'язки**
  Трофічний, конструктивний і міграційний типи діяльності
- **Транс-континентальні зв'язки**
  Трансмісивно-розповсюджувальна діяльність міграційного типу

РОЗПОДІЛЬНИЙ

- **Внутрішньосистемний розподіл органічної речовини**
  Трофічний тип діяльності стадно-перемісний вид механічного типу діяльності, будівний вид конструктивного типу діяльності
- **Міжекосистемний розподіл органічної речовини**
  Трофічний тип діяльності стадно-перемісний вид механічного типу діяльності, будівний вид конструктивного типу діяльності, зоофоричний і фітофоричний види міграційного типу діяльності

КРУГООБІГОВИЙ

- **Інтенсифікація біологічного кругообігу речовин**
  Видільна діяльність трофічного типу; пронизуючий і виносний види риючої діяльності
- **Інтенсифікація геологічного кругообігу речовин**
  Пронизуючий і виносний види риючої діяльності

ЗАХИСНИЙ (ГОМЕОСТАТИЧНИЙ)

- **Захист автотрофного компонента системи**
  Споживча і вилучна діяльність трофічного типу консументів другого трофічного рівня
- **Захист гетеротрофного компонента системи**
  Споживча і вилучна діяльність консументів третього трофічного рівня

ТИП ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

- **Вид участі тварин у проявленні функцій системами**
  За рахунок якої середовищеутворювальної діяльності

ЕПІЗООТІЙНИЙ

- **Паразитарні захворювання тварин і рослин**
  Трансмісивно-паразитарний вид міграційного типу
- **Інфекційні захворювання тварин і рослин**
  Трансмісивно-інфекційний вид міграційного типу

РЕМЕДІАЦІЙНИЙ

- **Формування вторинних екосистем на відпрацьованих землях**
  Трофічна і риюча діяльність
- **Зоохорія**
  Трофічний і міграційний тип діяльності
- **Відновлення біорізноманіття ґрунтового блоку**
  Риючий тип і екскреторний вид трофічного типу діяльності

ҐРУНТОУТВОРЮВАЛЬНИЙ

- **Формування нано- і мікрорельєфу**
  Виносний вид риючої діяльності
- **Формування фізичних умов ґрунтоутворення**
  Усі види риючої діяльності, видільна (метаболічна) діяльність
- **Міграція хімічних елементів**
  Виносний вид риючої діяльності
- **Формування хімічних умов ґрунтоутворення**
  Усі види риючої діяльності, видільна діяльність
- **Гумусоутворення**
  Риюча і видільна діяльність
- **Розсолення ґрунтів**
  Пронизуюча і видільна діяльність
- **Формування біологічної активності ґрунтів**
  Риюча, витопна і видільна діяльність
- **Мінералізація підстилки, збагачення ґрунтів на поживні речовини**
  Розпушувальна риюча і видільна діяльність

ВІДТВОРЮВАЛЬНИЙ (РЕПРОДУЦІЙНИЙ)

- **Запліднення автотрофної частини системи (запилення)**
  Споживчий і форичний вид діяльності трофічного типу середовищеутворювальної діяльності
- **Генеративне розмноження автотрофів**
  Стадно-перемісна діяльність механічного типу і зоофорична – міграційного типу середовищеутворювальної діяльності
- **Хімічна стратифікація насіння автотрофів**
  Споживча і видільна діяльність трофічного типу
- **Вегетативне розмноження автотрофів**
  Трофічна діяльність. Риюча і витопна діяльність механічного типу середовищеутворювальної ролі
- **Утворення умов для розмноження гетеротрофної частини системи**
  Конструктивна і риюча діяльність

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ

- **Захист редуційного блоку системи**
  Споживча і вилучна діяльність консументів другого трофічного рівня
- **Захист відтворювальної функції автотрофів**
  Риюча діяльність механічного типу
- **Трансформація біотичної енергії в системі**
  Трофічний тип діяльності
- **Участь у загальному енергетичному потоці в системі**
  Трофічний тип діяльності

Екосистемні сервіси, що надають тварини для ґрунтоутворення

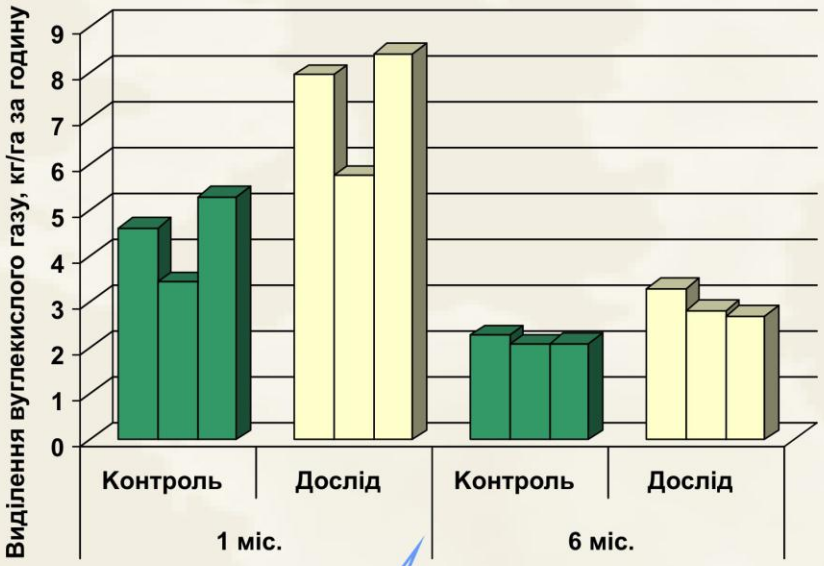
- Ґрунти є найціннішим скарбом України, яка володіє до 15 % світового запасу чорноземів. Невід’ємна та суттєва властивість ґрунту – його родючість, що забезпечує життя на суходолі та їжу для людства.

- Тварини своєю життєдіяльністю виконують важливу функціональну роль в екосистемах і формують властивості ґрунтів.

- Завдяки переважно риючій та екскреторній активності тварин відновлюється родючість ґрунтів.
- Таким чином, життєдіяльність тваринних угруповань необхідна для відновлення і збереження якостей ґрунтів.

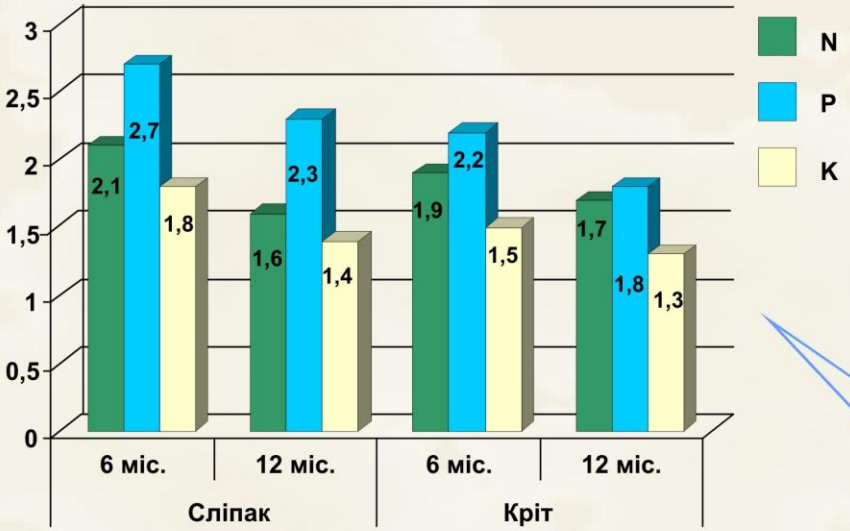
ҐРУНТОУТВОРЮВАЛЬНИЙ ТИП ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

ВПЛИВ РОЗКЛАДАННЯ ЕКСКРЕЦІЙ ССАВЦІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ҐРУНТОВОГО “ДИХАННЯ”



Ґрунтове “дихання” є інтегральним відображенням біотичних процесів у ґрунтах. Так, під екскреціями тварин інтенсивність ґрунтового “дихання” збільшується.

ВПЛИВ РИЮЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ССАВЦІВ НА АГРОХІМІЧНИЙ КОМПЛЕКС NPK



Риюча діяльність тварин сприяє підвищенню вмісту в ґрунті таких важливих органогенних елементів (елементів родючості грунту) як нітроген, фосфор, калій.

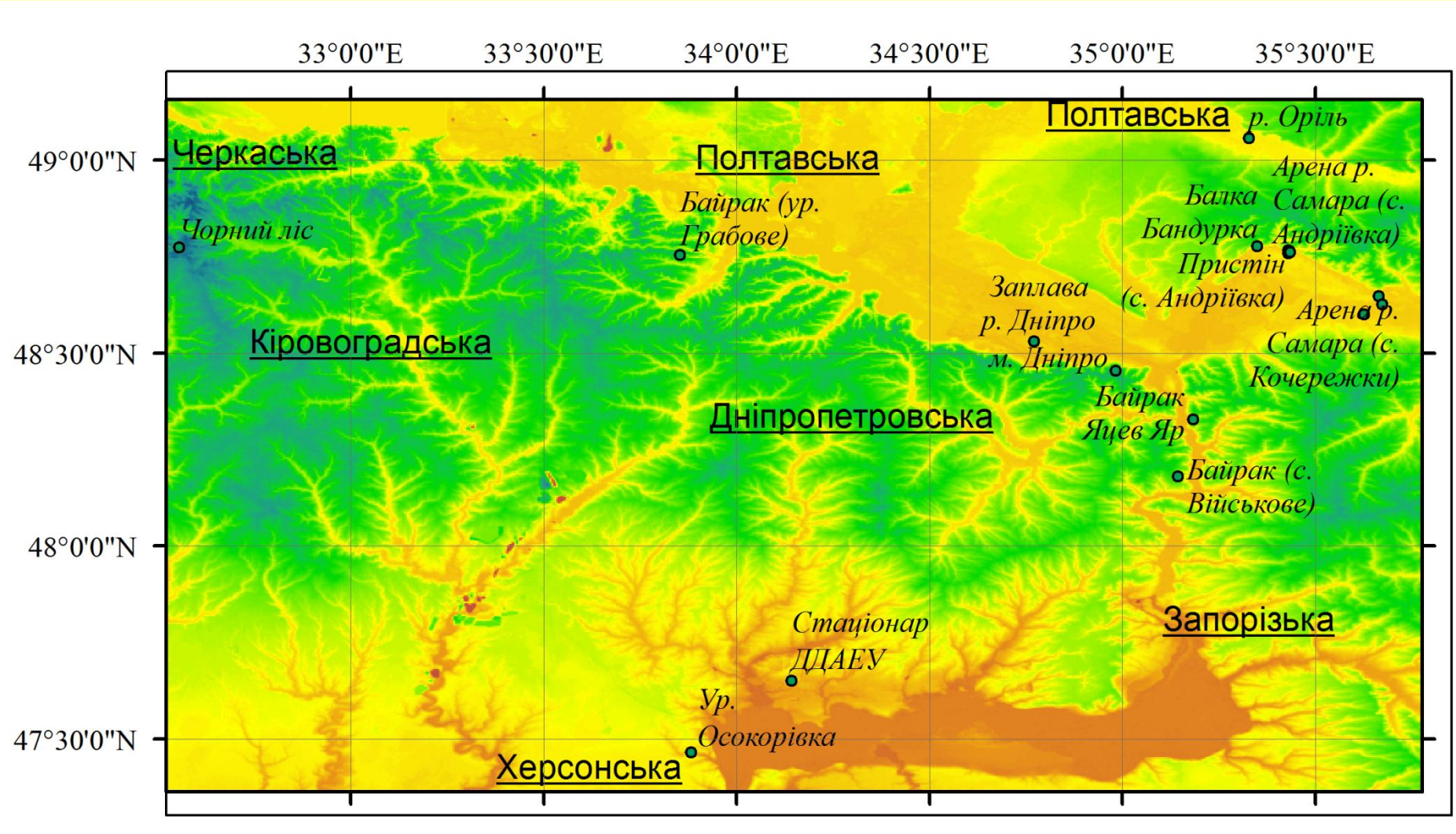
Екосистемні сервіси в умовах антропогенної трансформації природних комплексів (II)

- Представлено кількісну оцінку впливу ссавців на становлення аерогідротермічного режиму ґрунтів, фізичних та хімічних властивостей, інтенсифікацію біологічної активності.
- Показано роль середовищетвірної активності тварин в утворенні системи гомеостазу ґрунтового покриву як захисного механізму, екологічного буфера проти техногенного забруднення.
- Виявлено механізми популяційної та фізіолого–біохімічної адаптації ссавців до забруднення та техногенної трансформації екосистем.
- Розроблено заходи щодо збереження різноманіття тварин в умовах степу та посиленого антропогенного тиску на хід природних процесів в екосистемах. Організовано низку природно-заповідних територій.
- Розроблено зооекологічні основи степового лісознавства та лісової рекультивації шахтних відвалів вугільної промисловості.
- Розроблено та впроваджено зооекологічну основу екологічної реабілітації відпрацьованих земель на марганцеворудних і залізорудних розробках.
- Створено вторинні екосистеми на трансформованих територіях, що реабілітуються: Криворізьких залізорудних і Орджонікідзевських марганцеворудних розробках, де організовано заказники.
- Уперше запропоновано методологію цілісного підходу до аналізу екологічної структури угруповань живих організмів та виявлення ієрархічної структури показників їх розмаїття та функціональних властивостей.

Просторова екологія та перевірка теорії нейтрального різноманіття

- У результаті багатовимірного шкалювання структури угруповань на прикладі павуків встановлено, що її можна охарактеризувати за допомогою вісьмох вимірів, одержаних на основі метрики Брея–Куртіса та після вісконсіанської попередньої трансформації даних.
- Ключові структуруючі фактори угруповань павуків – розбіжності середовища в розрізі степ–ліс, а також гігротоп і трофотоп едафотопу. Останнє сполучення визначає тип лісу за О.Л. Бельгардом, а у більш широкому сенсі – тип біогеоценозу.
- Виділено трофоценоморфи і гігроморфи павуків.
- За допомогою регресійного аналізу за методом опорних векторів оцінено ймовірність належності кожного виду павуків до окремого ценотичного типу (степового, лісового, лучного, болотного).

Просторове розміщення місць дослідження герпетобіонтних павуків



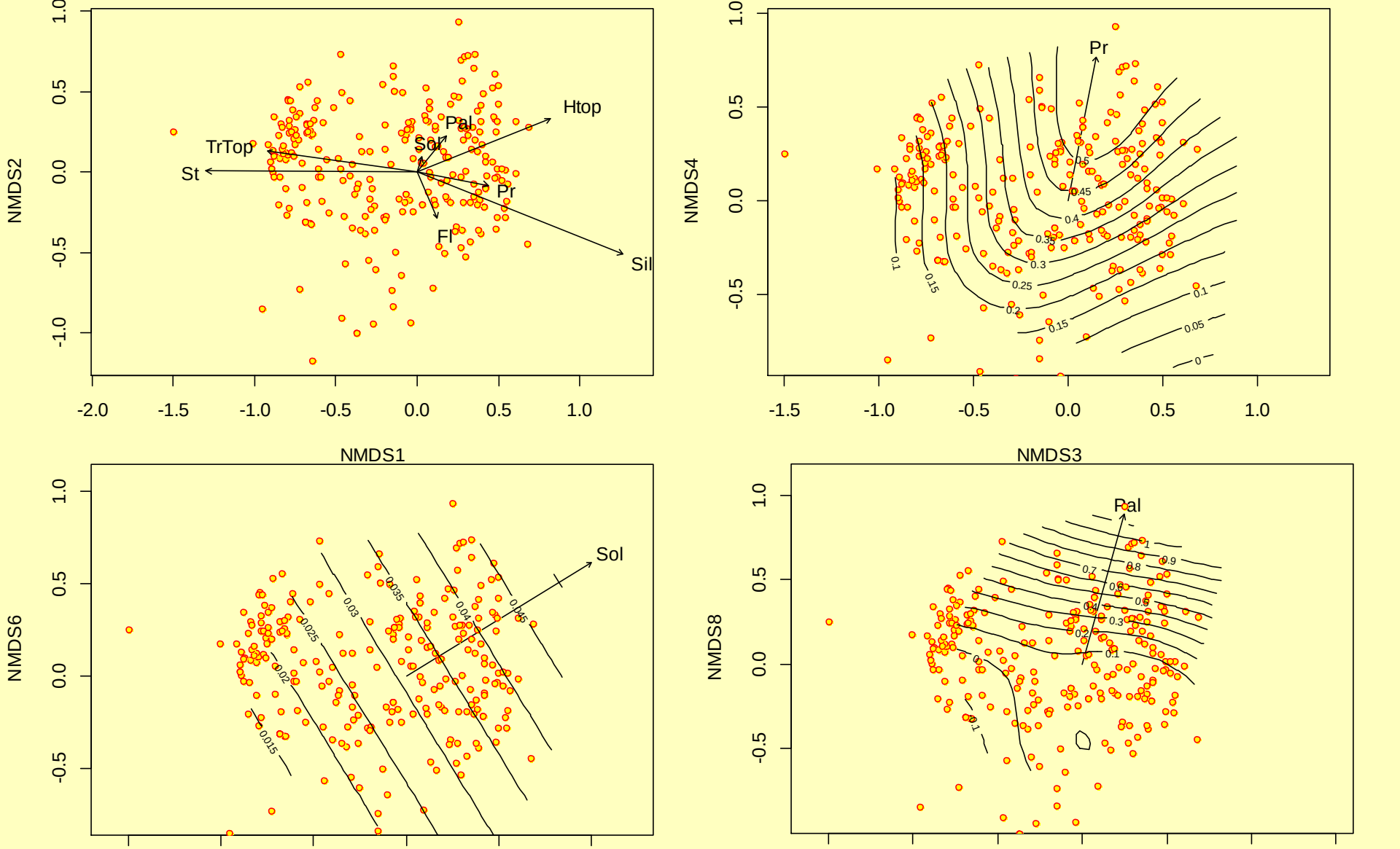
Типологічна характеристика біотопів

Самарський бір (с. Андріївка)		
Дубо-сосняк з буквицею	B	KsMs (1-2)
Дубо-сосняк з орляком	B	Ms (2)
Дубо-сосняк із сухуватим різнотрав'ям	B	MsKs (1)
Сосник з куничником наземним	AB	KsMs (1-2)
Сосник з лишайником	AB	Ks (0)
Сосник із сухуватим різнотрав'ям	AB	MsKs (1)
Самарський бір, арена (с. Кочережки)		
Березняки з молінією	AB	MsHg (3)
Болотистий луг	C	Hg (4)
Болото	C	UHg (5)
Дубняк з куничником і конвалією	B	KsMs (1-2)
Дубо-сосняк з орляком	B	Ms (2)
Луг	C	Ms (2)
Сосно-дубняк зі свіжим різнотрав'ям	C	Ms (2)
Сосник із сухуватим різнотрав'ям	AB	MsKs (1)
Байрак поблизу кокосхима, м. Дніпро (900 м)		
Бересто-пакленовая діброва з грястицею	D_{ac}	KsMs (1-2)
Байрак Військовий		
Степова целинка	F	MsKs (1)
Бересто-пакленовая діброва з грястицею	E	KsMs (1-2)
Липо-ясеневая діброва з зірочником	D ac	Ms (2)
Паклено-ясеневая діброва з яглицею	D n	MsHg (3)
Пакленовая діброва з яглицею	D n	UHg (5)
Бересто-ясеневая діброва з тонконігом лісовим	D n	Ms (2)
Бересто-ясеневая діброва з фіалкою шершавою	D n	KsMs (1-2)
Бересто-чернокленовий дубняк з грястицею	E	KsMs (1-2)
Балка Бандурка		
Пакленовая діброва з яглицею	D n	UHg (5)
Степова целинка	F	Ks (0)
Балка поблизу с. Нововоронцівка		
Ліщина	E	KsMs (1-2)
Короткозаплавні БГЦ (р. Самара, поблизу		
Липова діброва діброва із широкотрав'ям	Dc	HgMs (2-3)
Липова діброва з грястицею збірною	Dc	KsMs (1-2)
Липова діброва з зірочником	Dc	Ms (2)
Вязо-ясеневая діброва з яглицею	D n	MsHg (3)
Ольс із болотним великотрав'ям	D n	UHg (5)
Ольс із сирим великотрав'ям	D n	Hg (4)
Липо-ясенева діброва з пухнатою осокою	D ac	KsMs (1-2)
Липо-ясенева діброва із широкотрав'ям	D ac	HgMs (2-3)
Липо-ясенева діброва з зірочником	D ac	Ms (2)
Ур. Круглик (поблизу с. Булахівка)		
Заливний луг	D n	UHg (5)
Липо-ясенева діброва із широкотрав'ям	D ac	MsHg (3)
Паклено-ясеневая діброва із широкотрав'ям	D n	HgMs (2-3)
Липо-ільмова діброва з яглицею	Dc	MsHg (3)
Правий берег р. Самара (поблизу с. Андріївка)		
Бересто-чернокленовий дубняк з грястицею	E	KsMs (1-2)
Бересто-ясеневая діброва з тонконігом лісовим	D n	Ms (2)
Бересто-пакленовая діброва з грястицею	D n	KsMs (1-2)
Бересто-чернокленовий дубняк з грястицею	E	KsMs (1-2)
Бересто-ясеневая діброва з фіалкою шершавою	D n	MsKs (1)
Липо-ясенева діброва с широкотрав'ям	D ac	HgMs (2-3)
Тривало-заплавні ліси (м. Кам'янське)		
В'язо-дубняк з хвилівником	De	KsMs (1-2)
В'язо-осокорник з розхідником	C	Ms (2)
В'язо-осокорник з ранньою осокою	C	HgMs (2-3)
Луг сухий	AB	Ks (0)
Луг сирий	C	Hg (4)
Осокорник з куничником наземним	BC	KsMs (1-2)
Трехтичинковий лозняк із сирим великотрав'ям	C	Hg (4)
Тривало-заплавні ліси (м. Кам'янське)		
Жовтолозняк із сирим великотрав'ям	BC	Hg (4)
Осокорник з ожиною	BC	MsHg (3)
Осокорник з багаттям безостим	BC	Ms (2)
Осокорник з ранньою осокою	BC	HgMs (2-3)
Шелюжник з алювіальним різнотрав'ям	BC	UHg (5)
Ур. Грабове (с. Біленщина)		
Липо-грабовая діброва із широкотрав'ям	Dc	HgMs (2-3)
Липо-ясенева діброва із широкотрав'ям	Dc	HgMs (2-3)
Липо-грабовая діброва із широкотрав'ям	Dc	HgMs (2-3)
Липо-грабовая діброва з яглицею	Dc	MsHg (3)
Липо-грабовая діброва з зірочником	Dc	Ms (2)
Липо-грабовая діброва з зірочником	Dc	Ms (2)
Липо-ясенева діброва з грястицею	D ac	KsMs (1-2)
Чорний ліс (поблизу с. Знам'янівка)		
Липо-грабовая діброва з зірочником	Dc	Ms (2)
Липо-грабовая діброва із широкотрав'ям	Dc	HgMs (2-3)
Липо-грабовая діброва з яглицею	Dc	MsHg (3)
Вязо-ясеневая діброва із сирим великотрав'ям	D n	UHg (5)
Липо-грабовая діброва з зірочником	Dc	Ms (2)

Екоморфічна структура угруповань павуків степового Придніпров'я

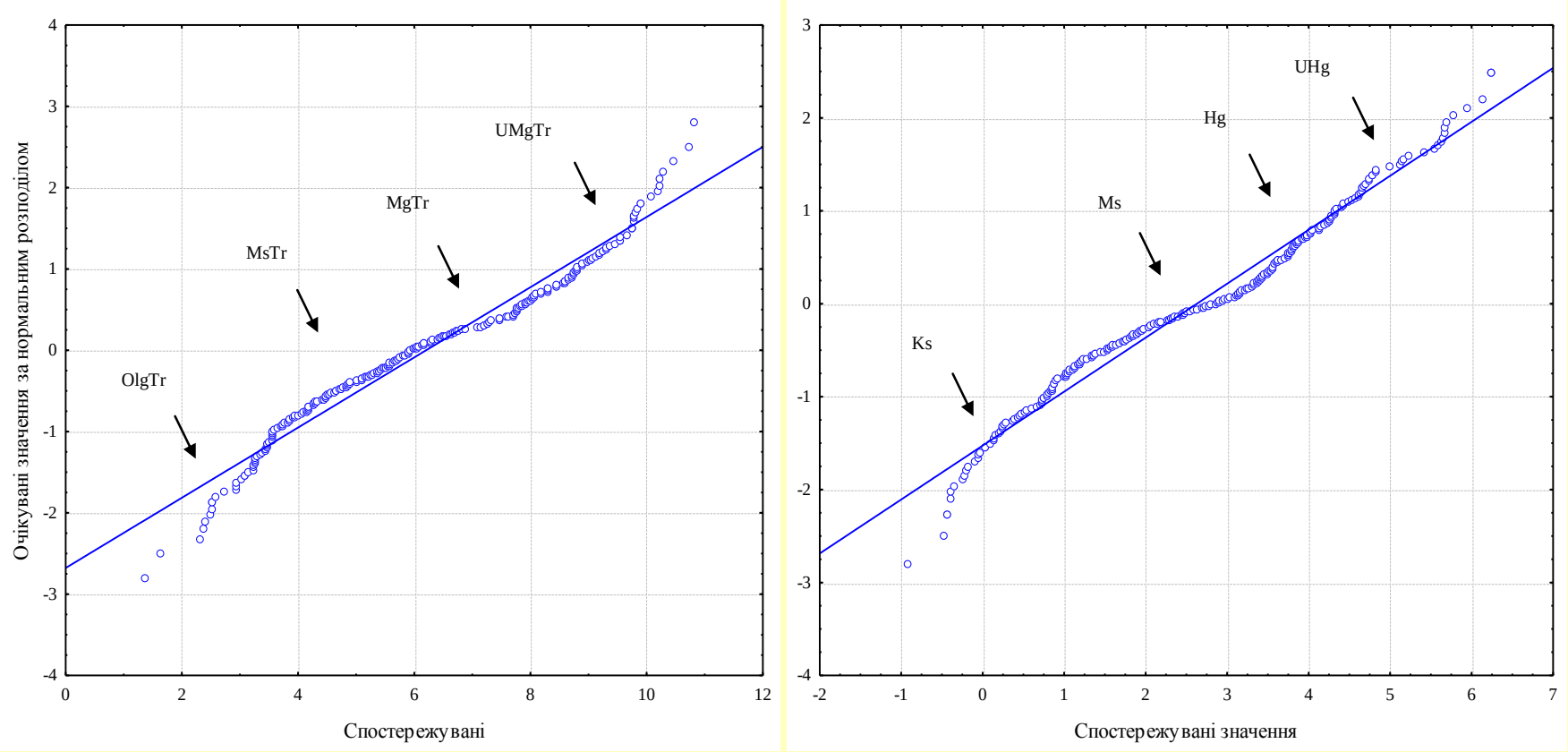
Ценоморфа	Трофоценоморфи				Гігроморфи				Усього
	OlgTr	MsTr	MgTr	UMgTr	Ks	Ms	Hg	UHg	
Pal	1	12	3	–	–	2	5	9	16
Pr	22	24	22	–	–	31	37	–	68
PrPalSil	16	13	2	–	–	5	17	9	31
Sil	27	49	7	–	1	39	43	–	83
St	–	2	58	66	110	16	–	–	126
Усього	66	100	92	66	111	93	102	18	324

- Екоморфічна ідентифікація виду несе інформацію про його ландшафтно-біогеоценотичні преференції в умовах даної ділянки географічного простору.
- Павуки як екологічно пластична та мобільна компонента біогеоценозу можуть бути використані як індикатор стану та режимів екосистем в умовах антропогенного навантаження.
- Одержані дані свідчать про переважаня ролі екологічних факторів у структуруванні угруповань. Нелінійний характер взаємозв'язку екологічних умов і розбіжності угруповань із погляду видів-сильвантів свідчить про гетерогенність механізмів формування комплексів лісових видів. Угруповання сильвантів складаються зі стенотопних і евритопних видів. Екологічна обстановка – істотний аспект, що визначає структуру угруповань павуків. Однак тільки одна теорія ніш не може пояснити закономірності мінливості їх структури. У низці випадків теорія нейтральності має перевагу для пояснення типів динаміки угруповань павуків.



Ординація угруповання павуків методом багатовимірного шкалювання та фактори середовища, кореляція яких з осями багатовимірного шкалювання достовірна ($p < 0,05$)

Умовні позначки: NMDS1, …, NMDS8 – багатовимірні осі; точки – розташування видів павуків (назви не наведені через громіздкість); TrTop – рівень трофності едафотопу; Htop –- рівень вологості (гігротопи) едафотопу; Fl - фактор заплавності; характер рослинності: St – степовою; Sil – лісовою; Pr – луговий; Pal – болотний; Sol – фактор засолення ґрунту; на рис. 2-4 показані ізолінії відповідних змінних середовища.



Нормальні імовірнісні графіки значень місць розташування центроїдів екологічних ніш у градієнті трофності (ліворуч) і вологості (праворуч)

Умовні позначки: стрілки позначають границі виділення трофоценоморф (ліворуч) і гігроморф (праворуч); OlgTr – оліготрофоценоморфи, MsTr – мезотрофоценоморфи; MgTr – мегатрофоценоморфи; UMgTr – ультрамегатрофоценоморфи; Ks – ксерофіли; Ms – мезофіли; Hg – гігрофіли; UHg – ультрагігрофіли.

О. В. Жуков, О. Є. Пахомов, О. М. Кунах
БІОЛОГІЧНЕ РІЗНОМАНІТТЯ УКРАЇНИ.
ДНІПРОПЕТРОВСЬКА ОБЛАСТЬ.
ДОЩОВІ ЧЕРВ'ЯКИ *(Lumbricidae)*

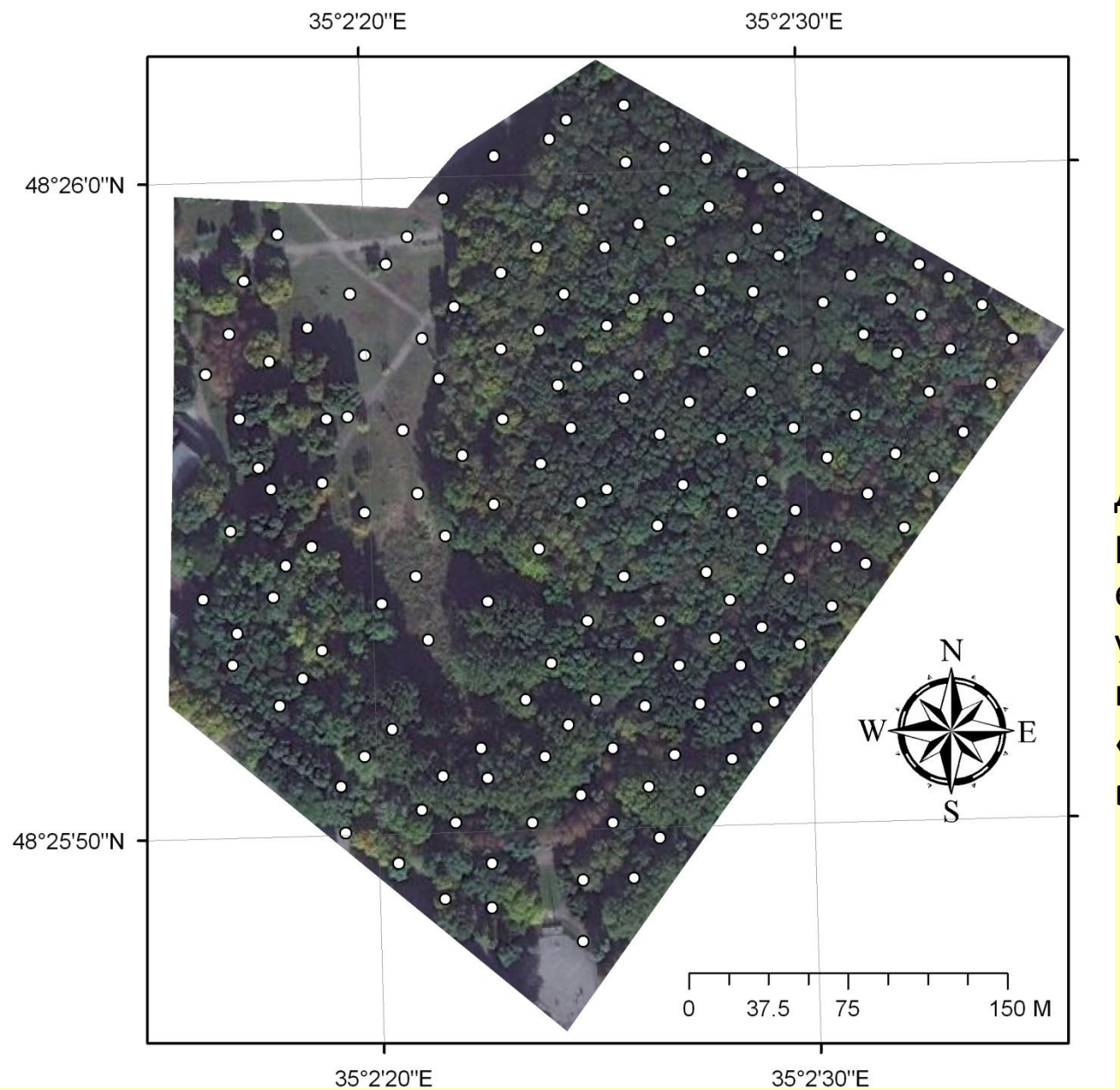
A. V. Zhukov, A. Ye. Pakhomov, O. N. Kunac
THE BIOLOGICAL DIVERSITY OF UKRA
DNIPROPETROVSK REGION.
EARTHWORMS *(Lumbricidae)*

О. В. Прокопенко, О. М. Кунах,
О. В. Жуков, О. Є. Пахомов
БІОЛОГІЧНЕ РІЗНОМАНІТТЯ УКРАЇНИ.
ДНІПРОПЕТРОВСЬКА ОБЛАСТЬ.
ПАВУКИ (Aranei)

O. V. Prokopenko, O. M. Kunach,
O. V. Zhukov, O. Ye. Pakhomov
THE BIOLOGICAL DIVERSITY OF UKRAINE.
DNIPROPETROVSK REGION.
SPIDERS (Aranei)

Структура екологічних комплексів урбоземів на різних просторових рівнях

- В умовах міста формуються специфічні ґрунти – урбоземи, які відрізняються від зональних сукупністю морфологічних, фізико-хімічних і біологічних властивостей.
- В антропогенних ґрунтах у цілому зростає просторова гетерогенність. Характер впливу цього процесу на просторові патерни ґрунтової макрофауни міських ґрунтів не досліджений.
- Висока функціональна активність і різноманіття ґрунтової фауни стають важливим фактором стійкості цих екосистем.
- Для пізнання консортивного значення ґрунтової фауни може бути застосований екоморфічний підхід. Угруповання ґрунтової макрофауни парку (на прикладі парку ім. Ю. Гагаріна (м. Дніпро) представлено 97 видами.

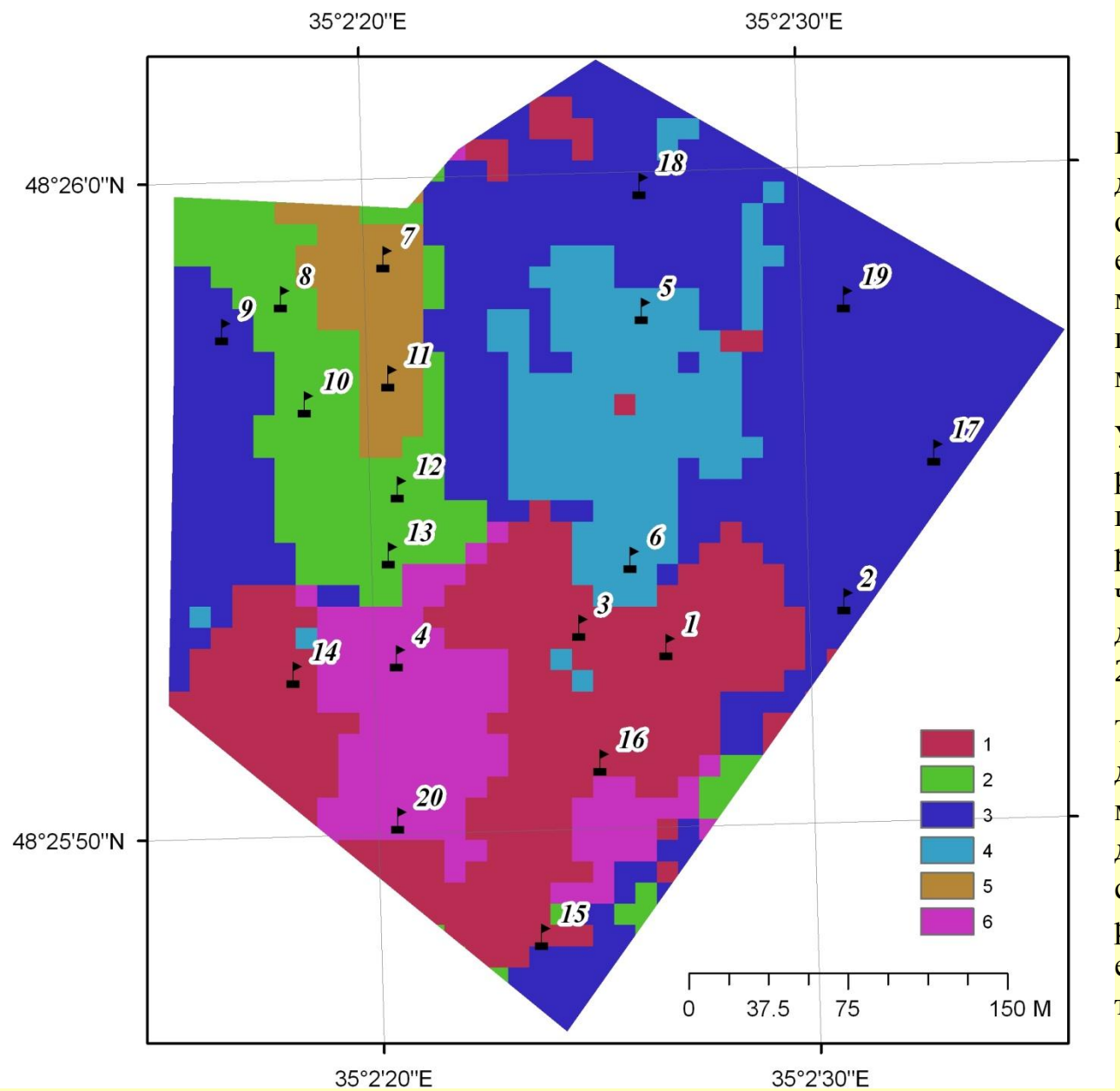


Просторове розміщення місць відбору проб (точки) у межах парку ім. Ю. Гагаріна (м. Дніпро)

Місця розташування пробних полігонів та їхня кількість можуть бути визначені на основі таких програмних продуктів, як ESAP

Для організації оптимального розміщення експериментальних полігонів у межах лісопаркового насадження у якості «керуючих» змінних використали:

-електропровідність ґрунту;
- твердість ґрунту;
- густоту деревостану;
-дані дистанційного зондування Землі

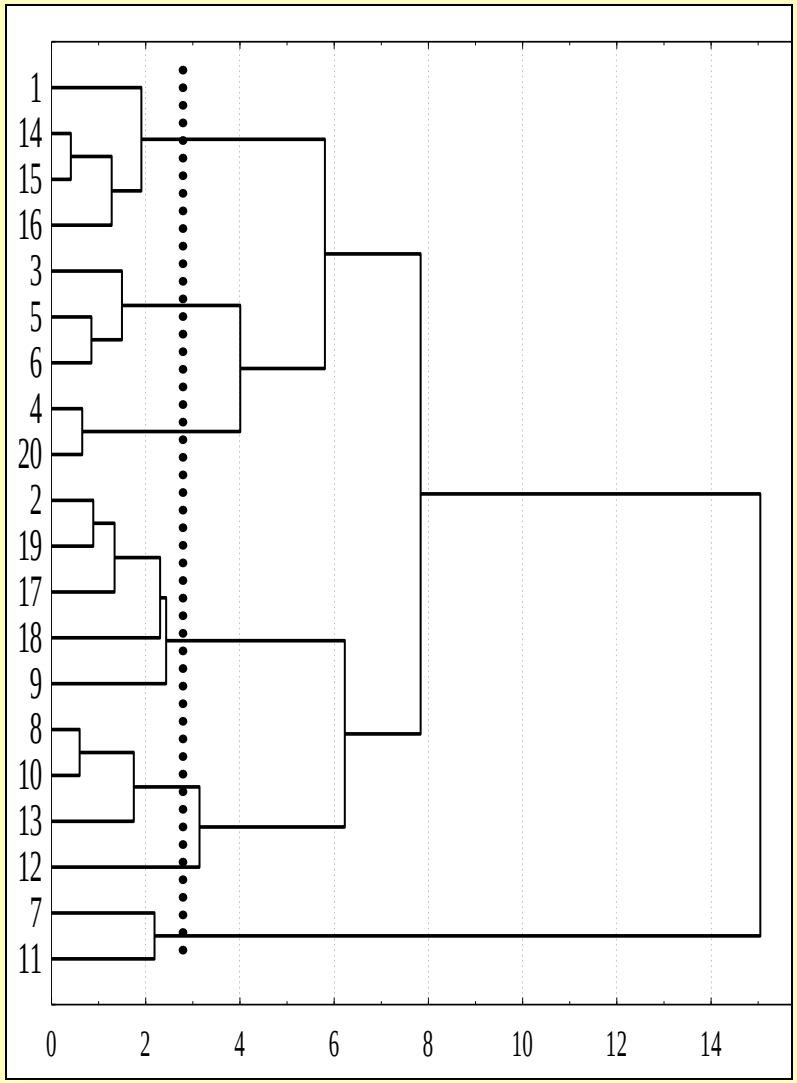


Використання алгоритму SRSS дало можливість визначити оптимальне розміщення 20 експериментальних полігонів з метою виявлення особливостей просторової мінливості на різних масштабних рівнях.

У кожному з полігонів за регулярною сіткою закладено 105 ґрунтово-зоологічних проб розміром 0,25×0,25 м, таким чином, загальний обсяг вибірки по досліджуваній території становить 2100 проб.

Таким чином, на рівні біогеоценозу дослідження прострової мінливості угруповань педобіонтів досліджується за регулярною сіткою, а на ландшафтному рівні розміщення полігонів визначається екологічними особливостями території

Розташування експериментальних полігонів (зазначені прапорцями з нумерацією) і конфігурація основних біогеоценотичних одиниць (кластерів) (1-6 - нумерація кластерів)



Кластерний аналіз полігонів за екоморфічними спектрами рослинності

(міра подібності - коефіцієнт Пірсона, правило амальгамації - метод Варда); вертикальна штрих-лінія показує рівень виділення 6 кластерів; по осі абсцис - рівень розбіжності, по осі ординат - нумерація експериментальних полігонів.

На основі екоморфічних спектрів рослинного покриву експериментальних полігонів були надана їх біогеоценотична характеристика. Кластерний аналіз дозволив встановити 6 гомогенних груп, які ідентифіковані як окремі типи біогеоценозів. Ці біогеоценози були охарактеризовані за типологією О. Л. Бельгарда (1950)

Кластер 1 є мезотрофним (на середньобагатих ґрунтах) мезофільним (свіжим) лісовим моноценозом з напівпроясненим світловим режимом – D_{ac} 2. Займає 19,44 % досліджуваної площі.

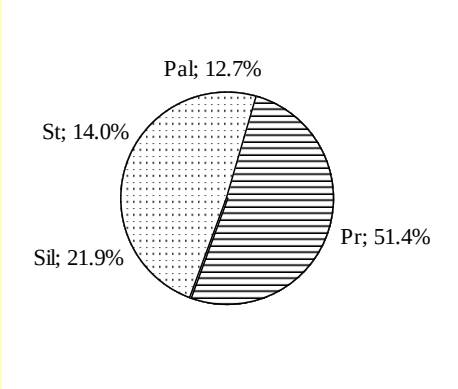
Кластер 2 є мега-мезотрофним (перехідні ґрунти між середньобагатими й багатими ґрунтами) ксеромезофільним (свіжуватим) лісо-луговими з елементами остепніння амфіценозом з напівпроясненим світловим режимом – 2,5СГ$_{1,5}$. Займає 17,32 % досліджуваної площі.

Кластер 3 є мега-мезотрофним (перехідні ґрунти між середньобагатими й багатими ґрунтами) мезофільним (свіжим) лісовим псевдомоноценозом з елементами остепніння з напівпроясненим світловим режимом – D_n2. Займає 46,36 % досліджуваної площі.

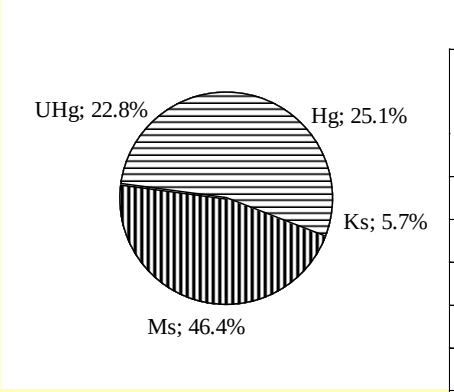
Кластер 4 є мега-мезотрофним (перехідні ґрунти між середньобагатими й багатими ґрунтами) мезофільним (свіжим) лісовим моноценозом напівпроясненим світловим режимом – D_n 2. Займає 6,99 % досліджуваної площі.

Кластер 5 є мегатрофним (на багатих ґрунтах) перехідним між мезоксеро- і ксеромезофільним (між сухуватим і свіжуватим режимом вологості) лучно-степовим амфіценозом зі значним рудеральним компонентом із проясненим світловим режимом – ЗСГ$_{1,25}$. Займає 3,68 % досліджуваної площі.

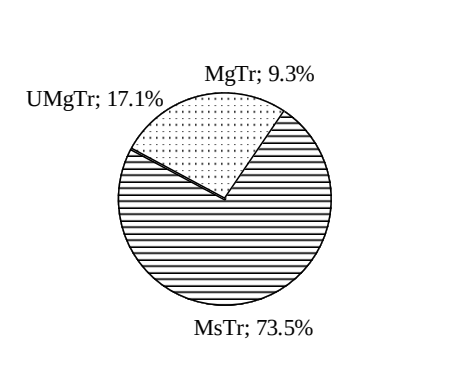
Кластер 6 є мегатрофним (на багатих ґрунтах) мезофільним (свіжим) лісо-луговим амфіценозом з напівпроясненим світловим режимом – D_n 2. Займає 6,20 % досліджуваної площі.



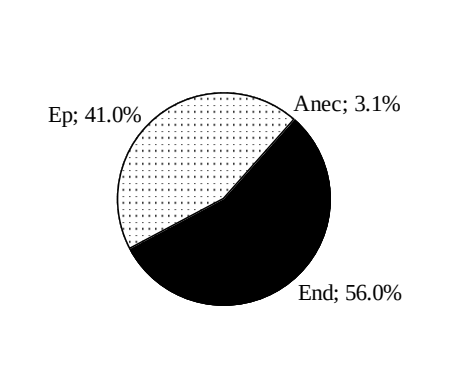
Ценоморфи



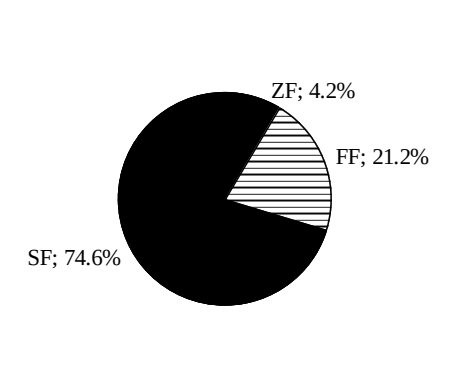
Гігроморфи



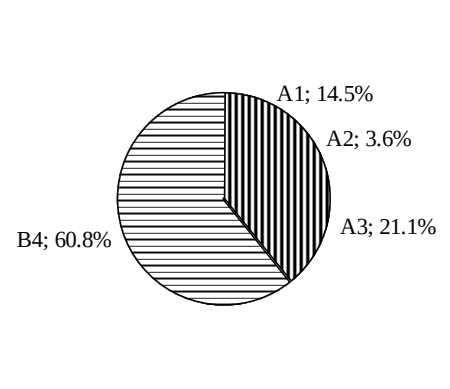
Трофоценоморфи



Топоморфи



Трофоморфи

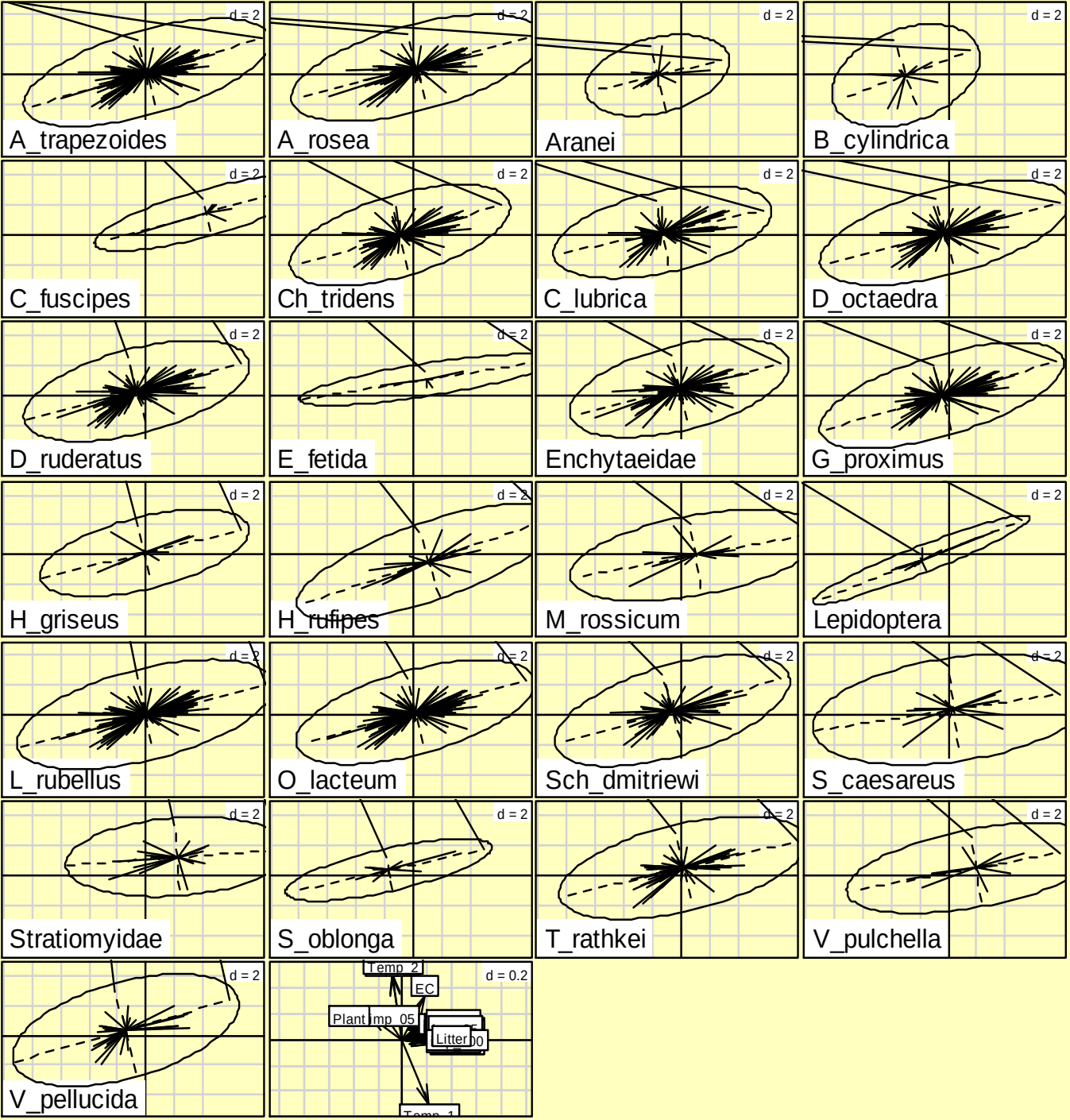


Фороморфи

Екологічна структура ґрунтової макрофауни

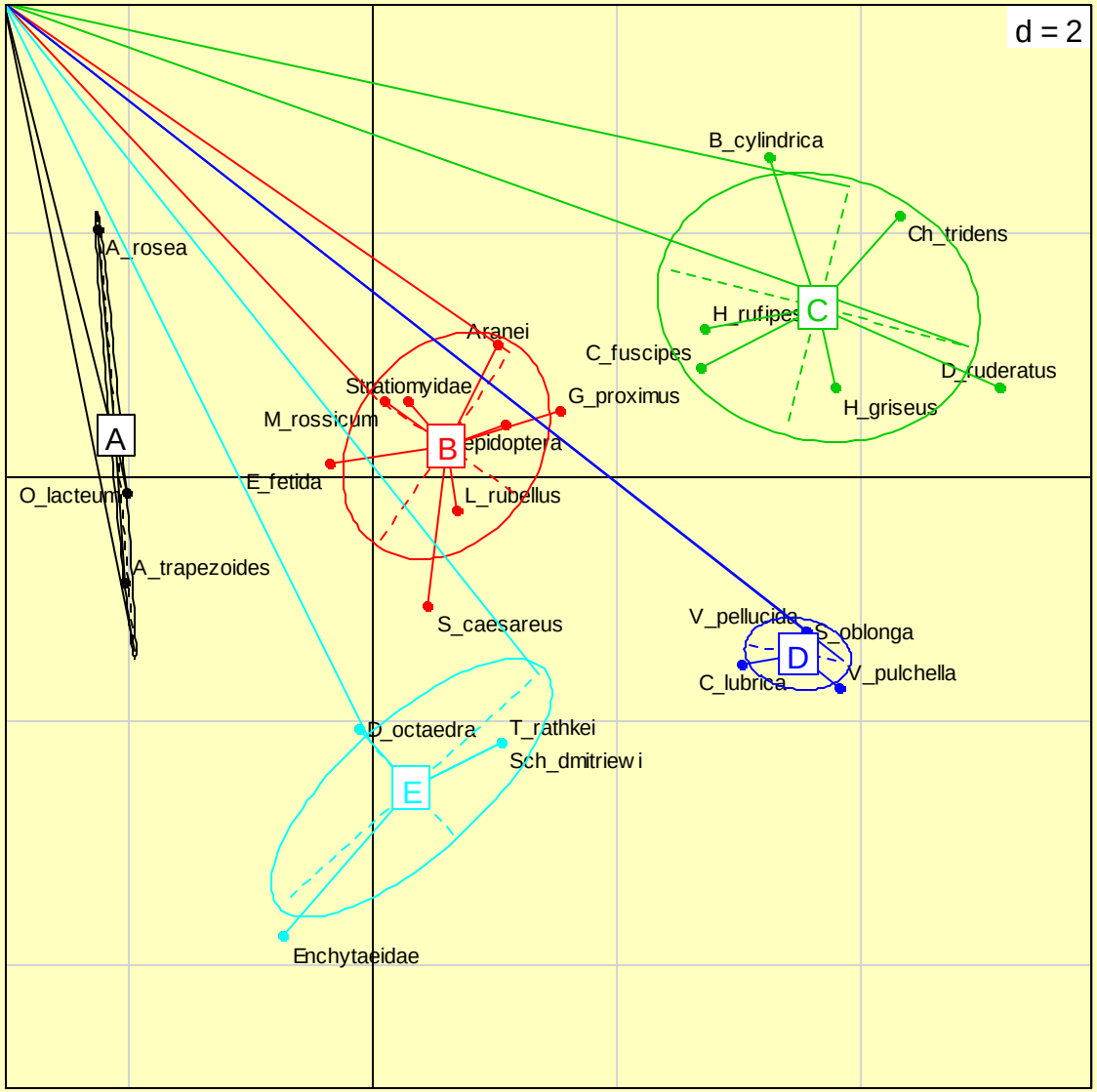
Детермінанти екологічного простору ґрунтової макрофауни

Параметри середовища	Середнє	Довірчий інтервал		CV, %	RLQ вісь 1	RLQ вісь 2
		– 95 %	+ 95%			
Твердість ґрунту на глибині, МПа						
0–5 см	1,47	1,42	1,52	18,71	0.22	0.24
5–10 см	1,94	1,86	2,02	21,20	–0.16	–0.27
10–15 см	2,38	2,24	2,52	30,10	–0.61	–0.33
15–20 см	2,77	2,56	2,98	39,01	–0.71	–0.42
20–25 см	2,99	2,76	3,23	40,34	–0.77	–0.46
25–30 см	3,11	2,85	3,36	42,14	–0.86	–0.48
30–35 см	3,20	2,94	3,45	41,00	–0.89	–0.46
35–40 см	3,32	3,08	3,56	37,51	–0.92	–0.42
40–45 см	3,49	3,26	3,72	34,08	–0.92	–0.35
45–50 см	3,59	3,37	3,82	31,86	–0.92	–0.28
50–55 см	3,76	3,55	3,96	27,71	–0.94	–0.29
55–60 см	3,85	3,65	4,05	27,05	–0.94	–0.27
60–65 см	3,85	3,65	4,06	27,80	–0.92	–0.21
65–70 см	3,92	3,71	4,13	27,68	–0.91	–0.28
70–75 см	3,93	3,72	4,15	28,23	–0.88	–0.32
75–80 см	3,95	3,73	4,16	28,14	–0.87	–0.30
80–85 см	4,10	3,73	4,47	46,50	–0.88	–0.19
85–90 см	4,08	3,71	4,45	47,00	–0.84	–0.12
90–95 см	4,07	3,69	4,44	47,56	–0.80	–0.09
95–100 см	4,11	3,74	4,48	46,50	–0.79	–0.09
Фізичні властивості, потужність підстилки й висота травостою						
Електропровідність, дСм/см	0,48	0,45	0,50	32,20	–0.54	–0.53
Температура шару ґрунту 5–7 см, °С, 04.05.2013	16,32	16,07	16,57	7,83	–0.68	–0.39
31.08.2013	17,95	17,82	18,09	3,88	0.56	0.25
Потужність підстилки, см	0,96	0,84	1,07	61,70	–0.06	0.67
Висота травостою, см	45,78	42,95	48,62	32,02	0.05	–0.29



OMI-аналіз екологічних ніш видів ґрунтової макрофауни

Умовні позначки: Координатні осі задані компонентами маргинальності; початок координат – нульова маргинальність. Еліпс позначає інерцію екологічної ніші. Промені зв'язують центроїд екологічної ніші із сайтами зустрічі виду в просторі маргинальності угруповання. У правому нижньому куті – нормовані ваги екологічних змінних; скорочення назви видів



Розташування функціональних груп у просторі RLQ-осей

Функціональна група A поєднує винятково дощових черв'яків, які надають перевагу мікрозниженням рельєфу, у яких накопичується підстилка і які мають підвищене зволоження

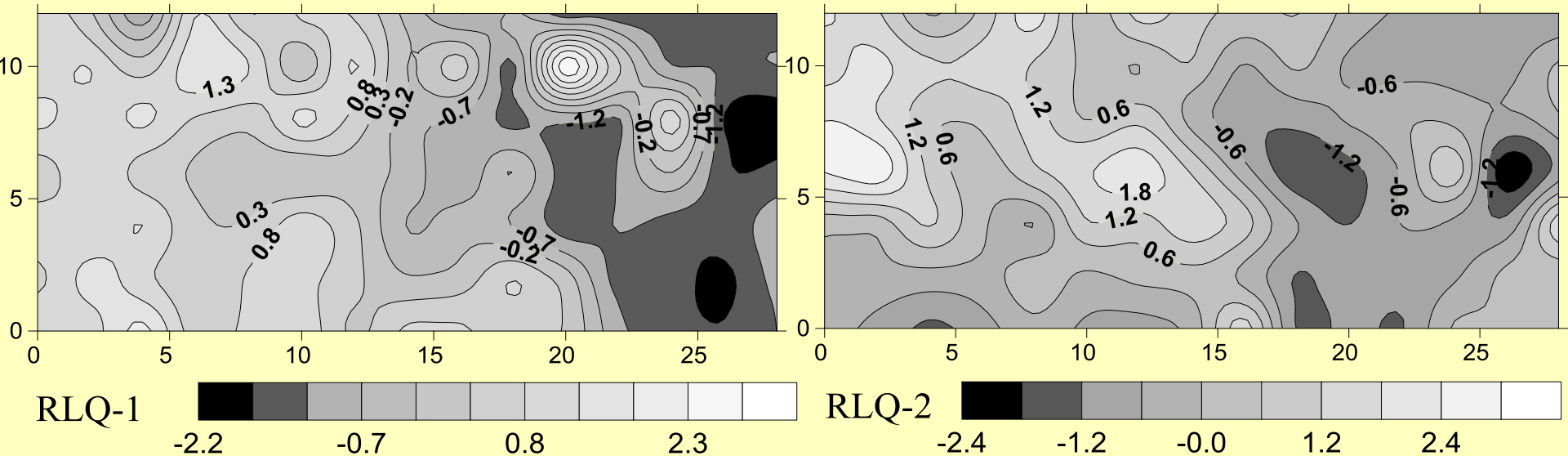
Функціональна група B поєднує сильвантів.

Функціональны групи C і D поєднують епігейних фітофагів. Функціональна група C має більш ксерофільний вигляд, що тяжіє до степової ценоморфи. Функціональна група D навпроти, більш гігрофільна й тяжіє до палюдантів.

Функціональна група E – пратанти-ультрагігрофіли

У екологічному просторі функціональні групи є дискретними утвореннями

У фізичному просторі виміри екологічного простору варіюють континуально, не утворюючи чітких границь



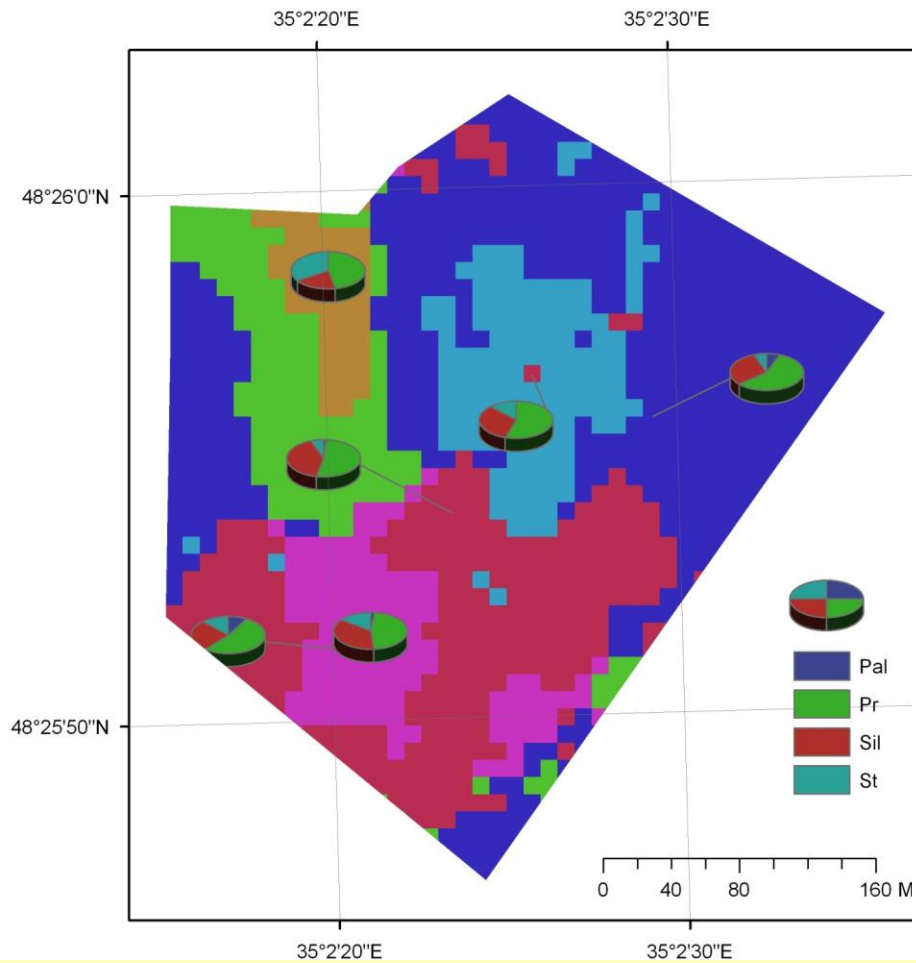
Просторова мінливість RLQ-осей

У цьому аспекті ми бачимо вирішення головного питання екології про співвідношення між структуралізмом та континуалізмом.

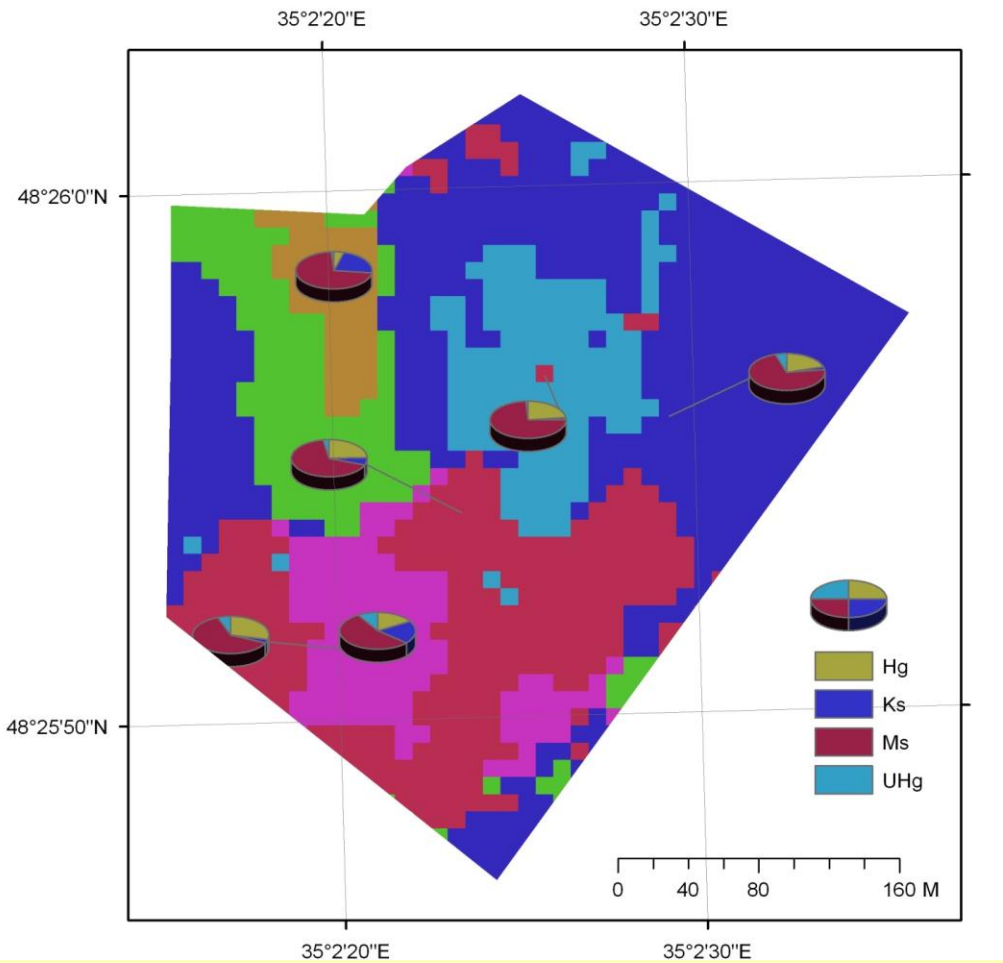
1) У екологічному просторі екологічні явища мають дискретну природу та чіткі границі;

2) У географічному просторі екологічні явища мають континуальну природу та відсутність чітких границь.

Важливим аспектом аналізу є оцінка просторового варіювання екоморфічної структури макрофауни на ландшафтному рівні



Ценоморфічна структура угруповання ґрунтової макрофауни на ландшафтному рівні



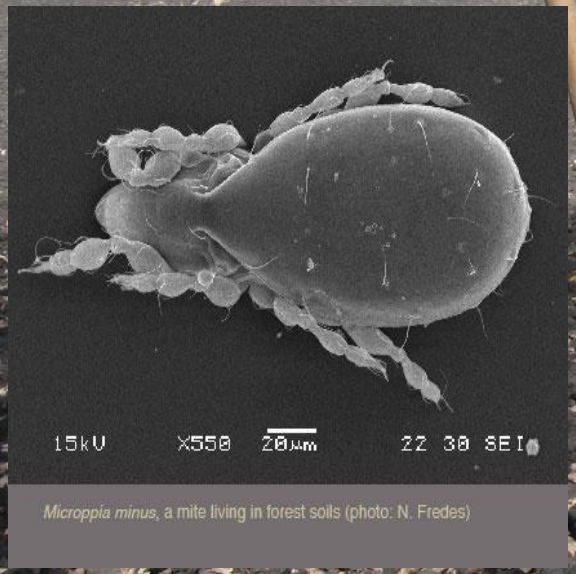
Гігроморфічна структура угруповання ґрунтової макрофауни на ландшафтному рівні

Угруповання ґрунтової макрофауни парку (на прикладі парку ім. Ю. Гагаріна, м. Дніпро)

- Переважна ценоморфа – пратанти (51,7 % загальної чисельності угруповання). Трохи поступаються сильвантти (25,3 %), значно менше степантів (14,4 %) і палюдантів (8,6 %). На ландшафтному рівні ценомофорфічний вигляд тваринного населення ґрунту парку є лісо–лучним.
- Серед гігроморф в угрупованні переважають мезофіли (61,8 %).
- Серед трофоценоморф – мезотрофоценоморфи (75,1 %).
- Переважна топоморфа – власне–ґрунтові (ендогейні) мезопедобіонти, які становлять 59,0 % від сумарної чисельності угруповання.
- Сапрофаги переважають у трофічній структурі угруповання ґрунтової макрофауни (80,0 %).
- Серед фороморф ґрунтової макрофауни переважають тварини, які активно прокладають ходи зі зміною товщини тіла – 75,0 %.

- Процеси сильватизации, пов'язані з оптимізацією режиму зволоження та формуванням тіньової світлової структури лісового культурбіогеоценозу сприяють росту чисельності угруповання ґрунтової макрофауни на рівні досліджуваної точки.
- Видове багатство тісно позитивно пов'язане з чисельністю угруповання.
- Режим трофності едафотопу та частка пратантів у рослинному угрупованні пояснюють відхилення видового багатства від рівня, яке визначається чисельністю угруповання ґрунтової макрофауни.
- Просторова структура угруповання ґрунтової макрофауни на рівні біогеоценозу визначається варіабельністю властивостей ґрунту і може бути пояснена в термінах екоморф ґрунтових тварин.
- Вирішення питання щодо співвідношення між структуралізмом і континуалізмом в екології ми вбачаємо у тому, що в екологічному просторі екологічні явища мають дискретну природу та чіткі межі, а в географічному просторі екологічні явища мають континуальну природу та відсутність чітких границь.

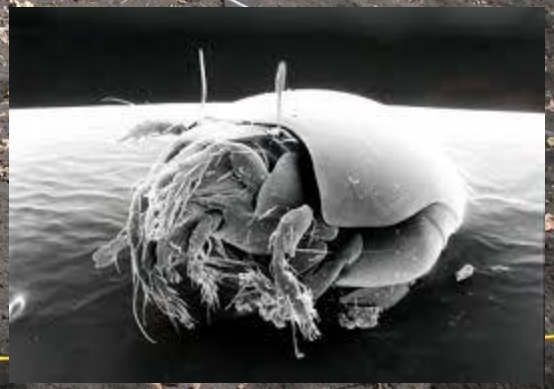
Просторова структура біоти агроземів в умовах органічного землеробства



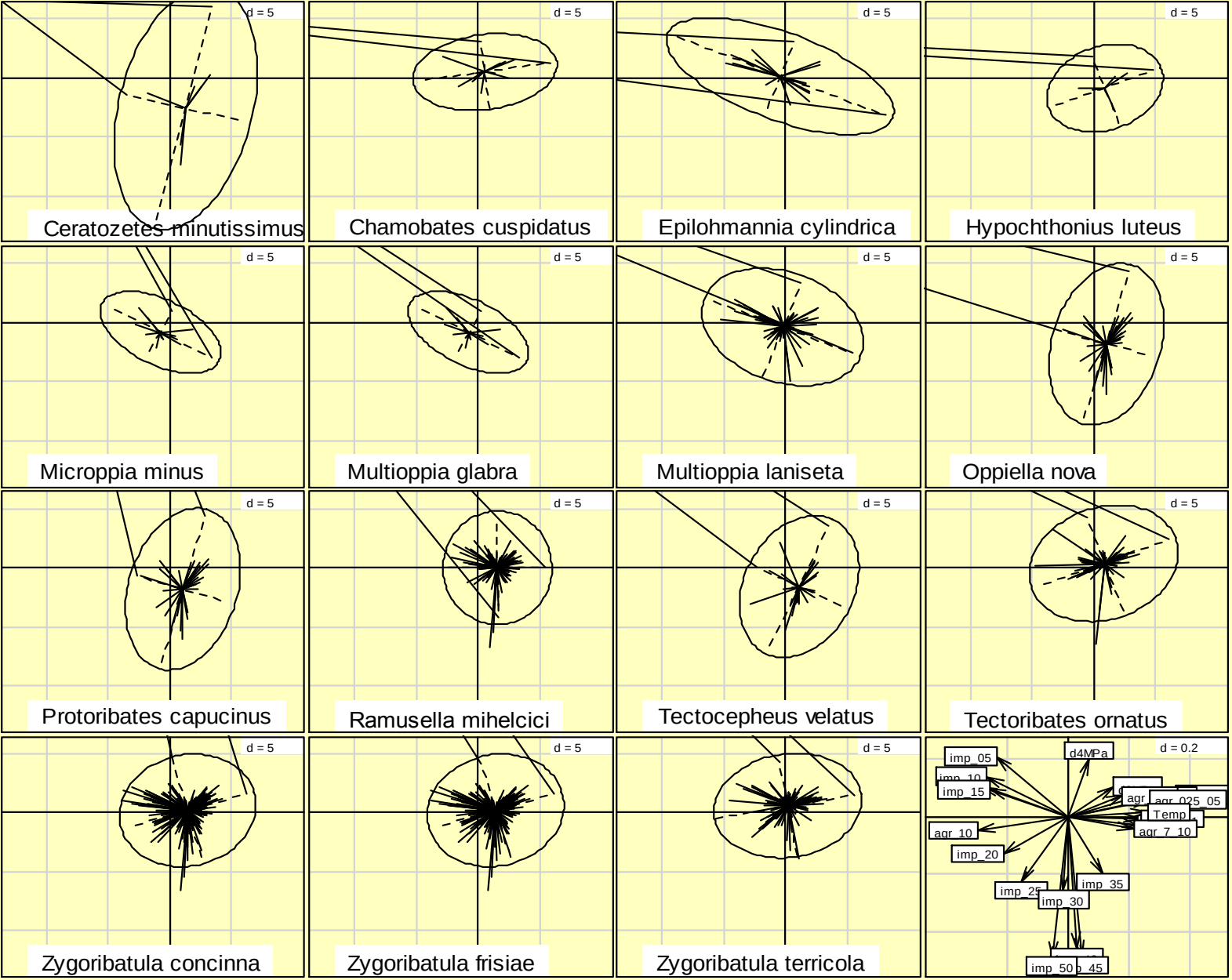
Microppia minus, a mite living in forest soils (photo: N. Fredes)

Microppia minus

Oppiella nova



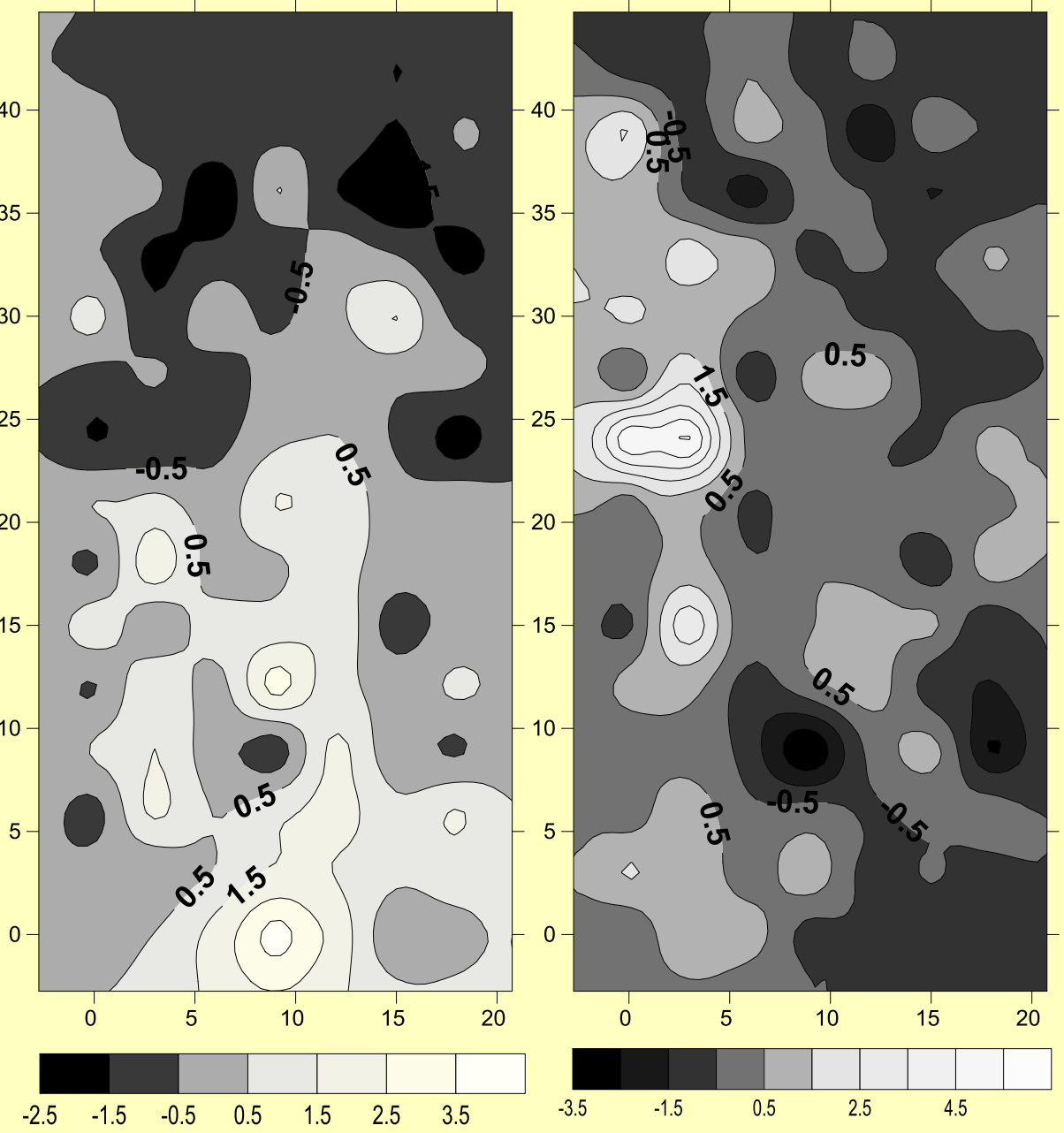
Ceratozetes minutissimus



Екологічні ніші панцирних кліщів

Головна вісь маргинальності екологічних ніш маркірується протиставленням агрегатів, які відносять до групи мікро- (розміри менш 0,25 мм), мезо- (0,25–10 мм) і макроагрегатів (більше 10 мм), збільшення частки яких у ґрунтовій структурі пов'язане з ростом твердості на глибині аж до 20 см.

Друга вісь відбиває роль варіабельності твердості ґрунту на глибині 25–50 см у структуруванні угруповання панцирних кліщів.



Угруповання орібатид сільськогосподарського поля чуйно реагують на агрегатну структуру ґрунту й пов'язану з нею варіабельність твердості ґрунту у верхньому ґрунтовому шарі, а також на мінливість твердості на глибині 25–50 см. Це дозволяє встановити індикаторів якості ґрунту.

Індикатори якості ґрунту (високий рівень агрегатної структури та низкий рівень твердості ґрунту в товщі 0–50 см) включають *Hypochthonius luteus*, *Ceratozetes minutissimus*, *Protoribates capucinus*, *Tectocepheus velatus* (неспеціалізовані форми), *Oppiella nova* (мешканці дрібних ґрунтових шпар).

Індикаторами негативних умов, які виникли внаслідок порушення ґрунтової структури, що виражається в збільшенні її грудкуватості, є види *Microppia minus* (глибокоґрунтові форми) і *Multioppia glabra* (мешканці дрібних ґрунтових шпар)

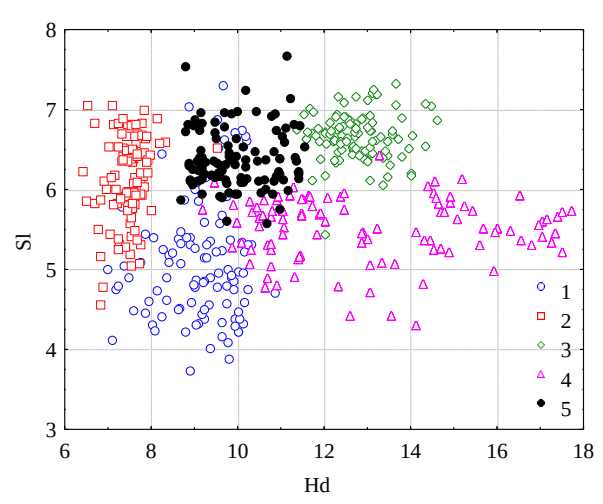
Просторова мінливість осей маргинальності

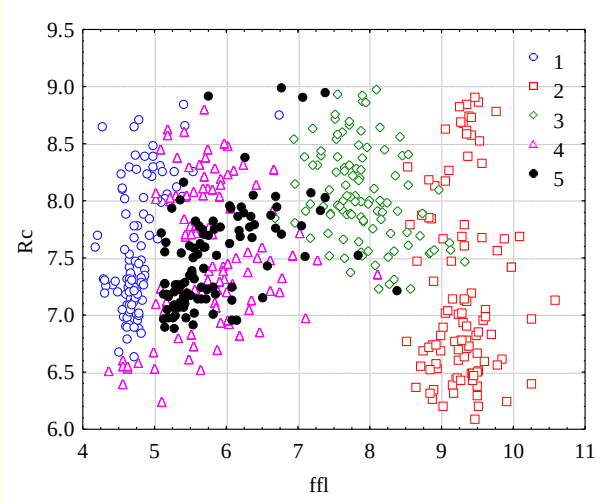
- Виявлено високий рівень детермінованості структури угруповань безхребетних (на прикладі орибатид) едафічними факторами, що спричиняє індикаційну цінність цієї групи тварин.
- Виділено комплекс індикаторів позитивних агрономічних властивостей ґрунту та, що особливо важливо, негативних агрономічних властивостей (плужна підошва та несприятлива агрегатна структура).
- Індикатори якості ґрунту (високий рівень агрегатної структури та низький рівень твердості в товщі 0–50 см) включають *Hypochthonius luteus, Ceratozetes minutissimus, Protoribates capucinus, Tectocepheus velatus* (неспеціалізовані форми), *Oppiella nova* (мешканець дрібних ґрунтових шпар).
- Індикатори негативних умов, які виникли внаслідок порушення ґрунтової структури, що виражається у збільшенні її грудкуватості, – *Microppia minus* (глибокоґрунтова форма) та *Multioppia glabra* (мешканець дрібних ґрунтових шпар).
- Доведено, що двовимірний варіант багатовимірного шкалювання достатній для точного відображення вихідного масиву даних про структуру угруповання орибатид як для метрики Гувера, так і Раупа–Кріка, тому що збільшення кількості вимірів вище зазначеного не спричиняє істотного приросту точності відображення. Просторові PCNM-змінні здатні пояснити 21,4 % мінливості структури угруповання орибатид. У просторовій компоненті варіювання угруповання орибатид встановлені три масштабних рівні: широко-, середньо- та детальномасштабний.
- Найбільшою мірою детермінованими факторами середовища є патерни просторової мінливості на середньо– та широкомасштабному рівнях. Загальний невеликий рівень детермінації PCNM–змінних факторами середовища дозволяє припустити істотну роль нейтральних механізмів у формуванні просторової структури угруповання орибатид. Найбільша роль нейтральних факторів характерна для детальномасштаної прострової компоненти мінливості угруповання орибатид.

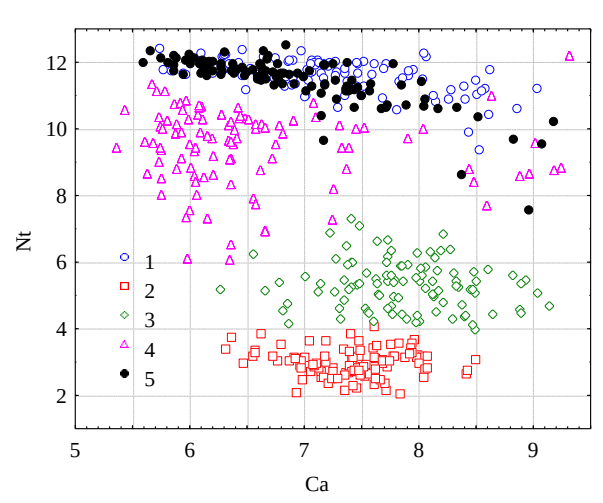
Біоіндикація властивостей довкілля у географічному та екологічному просторі

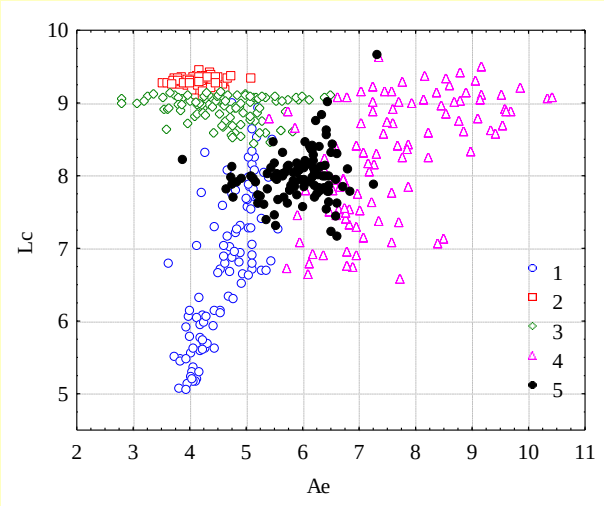
- Виявлення та картування ґрунтових умов за звичай потребує інтенсивної стратегії відбору ґрунтових зразків у комірках регулярної сітки є трудомісткою і витратною. Метод вибіркового збирання ґрунтових зразків на основі характеристик катен та екоморф тварин дозволяє отримати значущу інформацію набагато легше.
- Неметричне багатовимірне шкалювання дозволяє в одному просторі відобразити як розташування видів, так і розташування сайтів. Кожний із сайтів також характеризується за допомогою фітоіндикаційних шкал. Їх значення може бути встановлене за допомогою багатовимірних методів, що відбивають тренди мінливості метаугруповання ґрунтової макрофауни. Індикація може бути виконана на основі множинного регресійного аналізу.

Розташування геоботанічних описів у просторі едафічних фітоіндикаційних шкал і микрокліматичної шкали освітленості



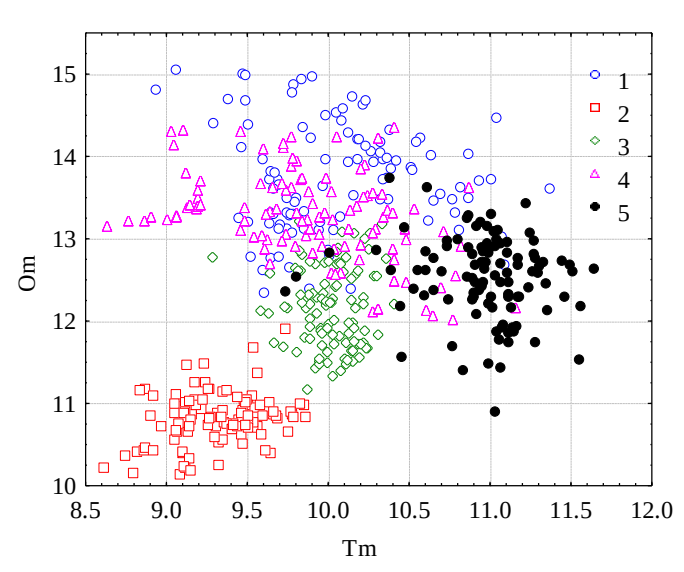


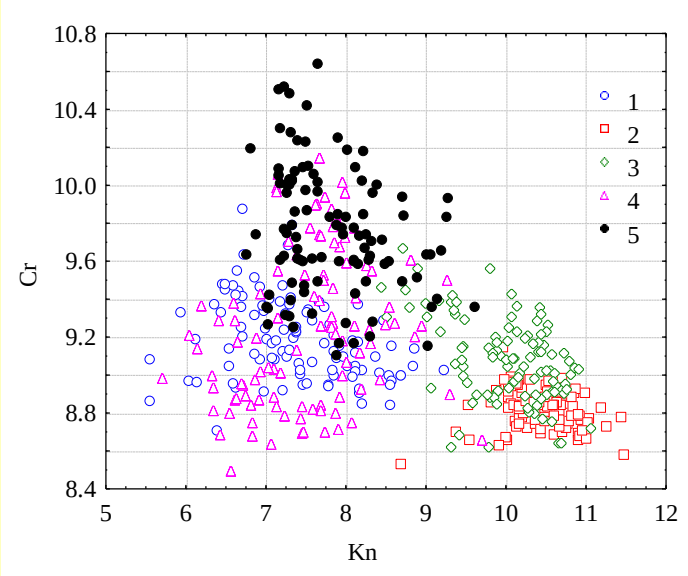




1 – в’язо-осокорник; 2 – піщаний степ; 3 – луки; 4 – болото; 5 – чорнокленовий дубняк;
Hd – зволоження едафотопу, ff1 – змінність зволоження, Ae – аерація, Rc – режим кислотності,
Sl – сольовий режим, Ca – вміст карбонатних солей, Nt – вміст засвоюваних форм азоту

Розташування геоботанічних описів у просторі кліматичних фітоіндикаційних шкал

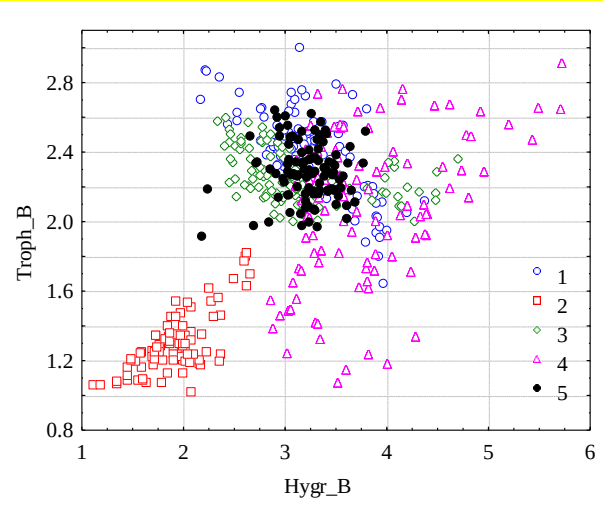


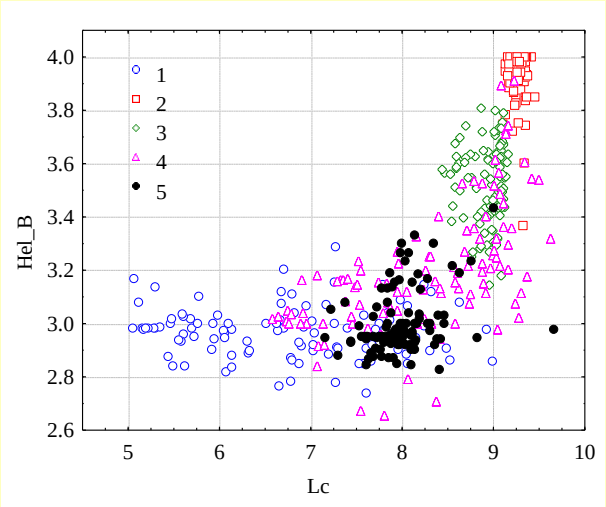


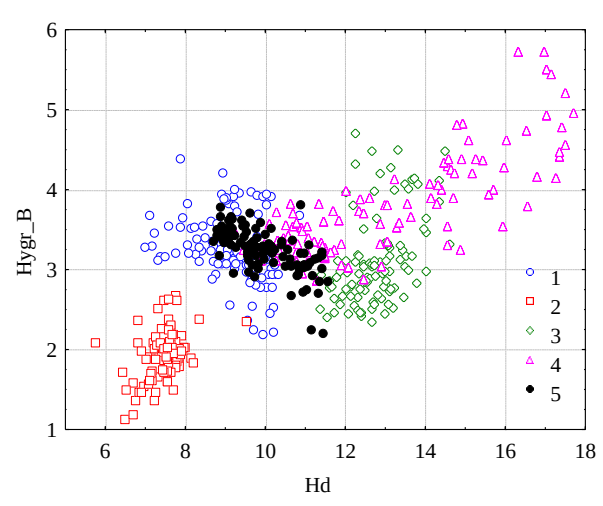
1 – в’язо-осокорник; 2 – піщаний степ; 3 – луки; 4 – болото; 5 – чорнокленовий дубняк;

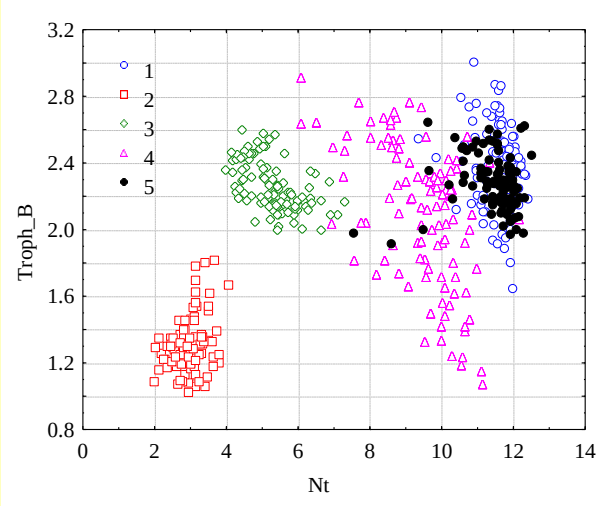
Tm – терморежим, Om – омброрежим, Cr – кріорежим, Kn – континентальність клімату

Розташування геоботанічних описів у просторі оцінок гігротопа та трофотопа за екоморфами О.Л. Бельгарда та порівняння фітоіндикаційних шкал з аналогічними оцінками за екоморфами



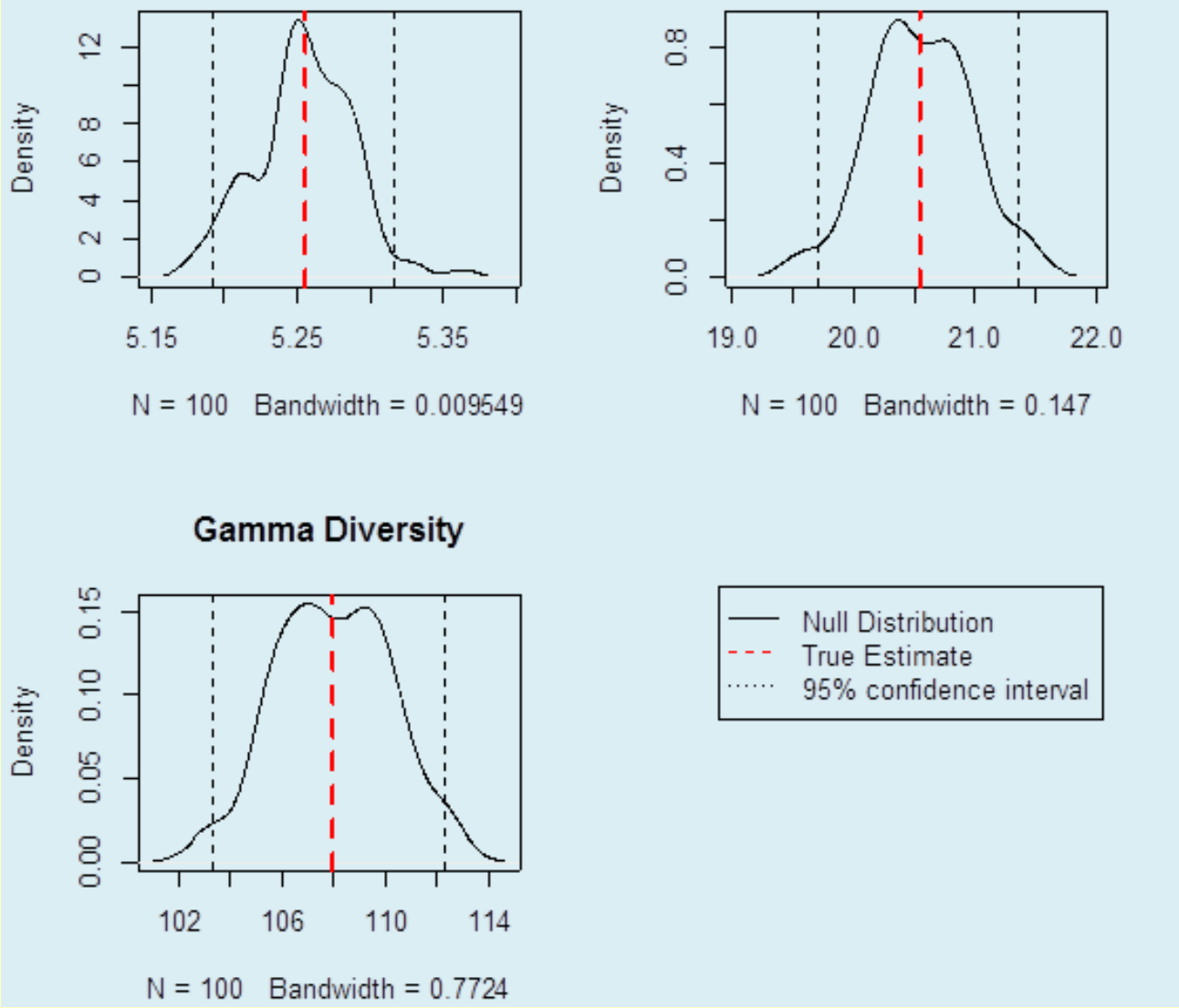


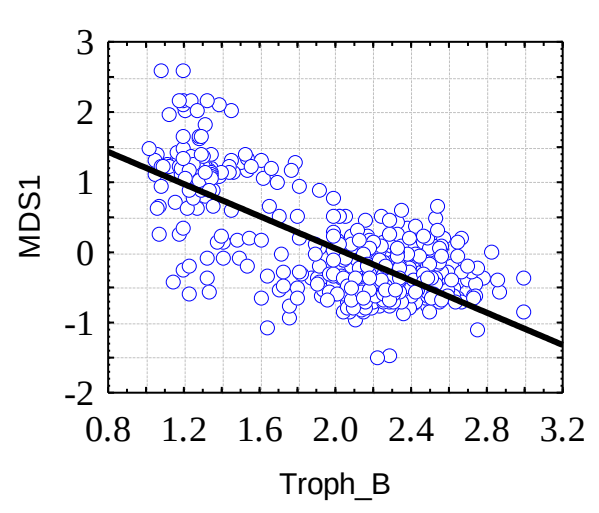


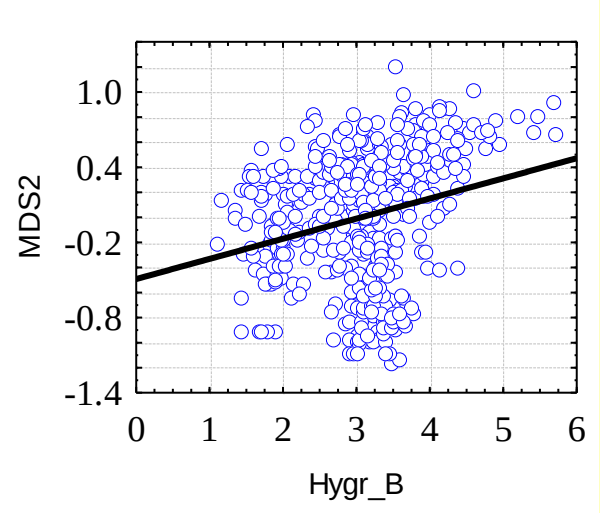


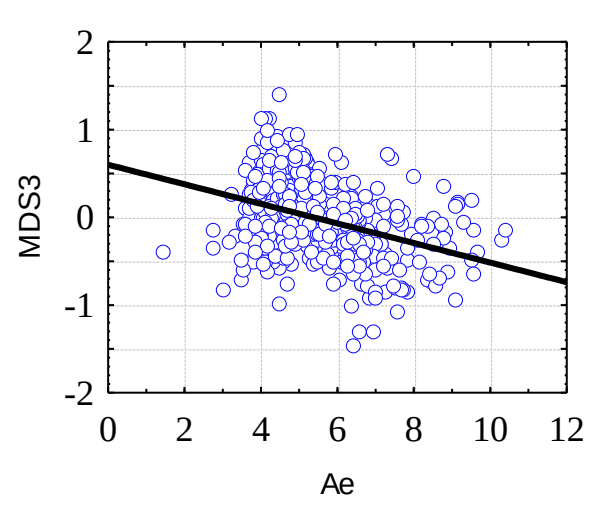
1 – в’язо-осокорник; 2 – піщаний степ; 3 – луки; 4 – болото; 5 – чорнокленовий дубняк;
Hd – зволоження едафотопу, Lc – фітоіндикаційна шкала, Nt – вміст засвоюваних форм азоту;
Hygr_B – оцінка гігротопа; Troph_B – оцінка трофотопа; Hel_B – оцінка геліотопа.

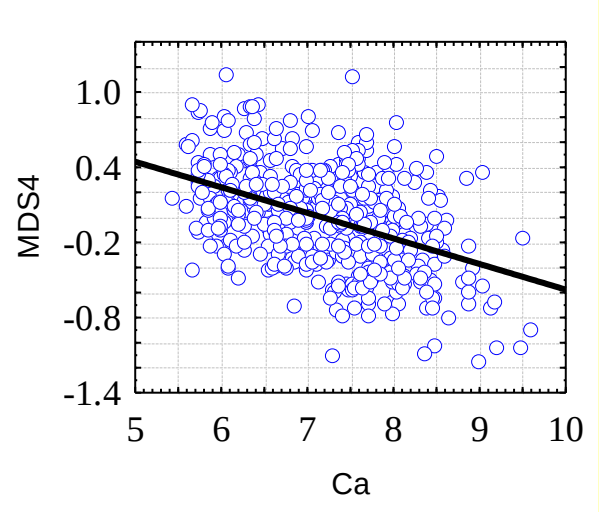
Оцінки α-, β- та γ-різноманіття метаугруповання ґрунтових безхребетних на основі кількості видів











Нами була виконана багатовимірне шкалювання як техніка ординації угруповання ґрунтової макрофауни. Для пояснення встановлених вимірів застосовані фітоіндикаційні шкали.

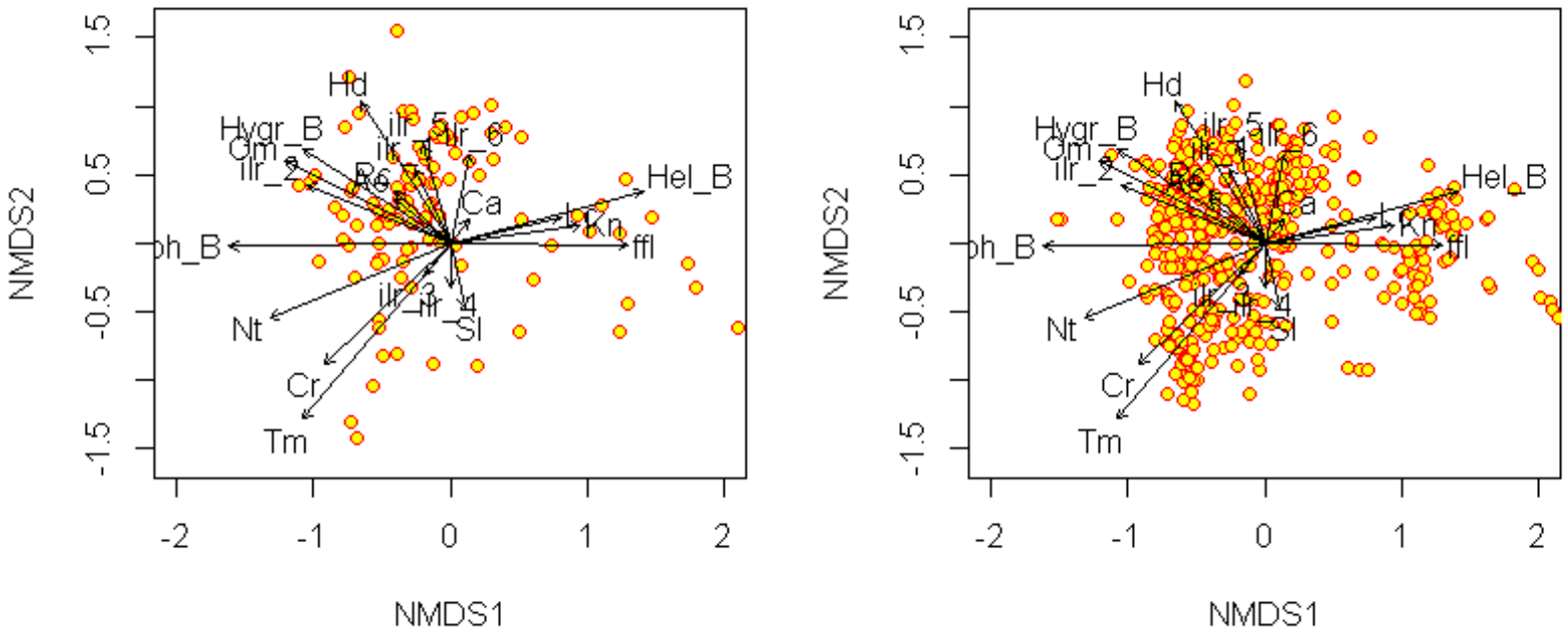
Вимір 1 найбільшою мірою може бути пояснено градієнтом умов трофності едафотопу;

вимір 2 – вологістю;

вимір 3 – режимом аерації ґрунту;

вимір 4 – вмістом карбонатів.

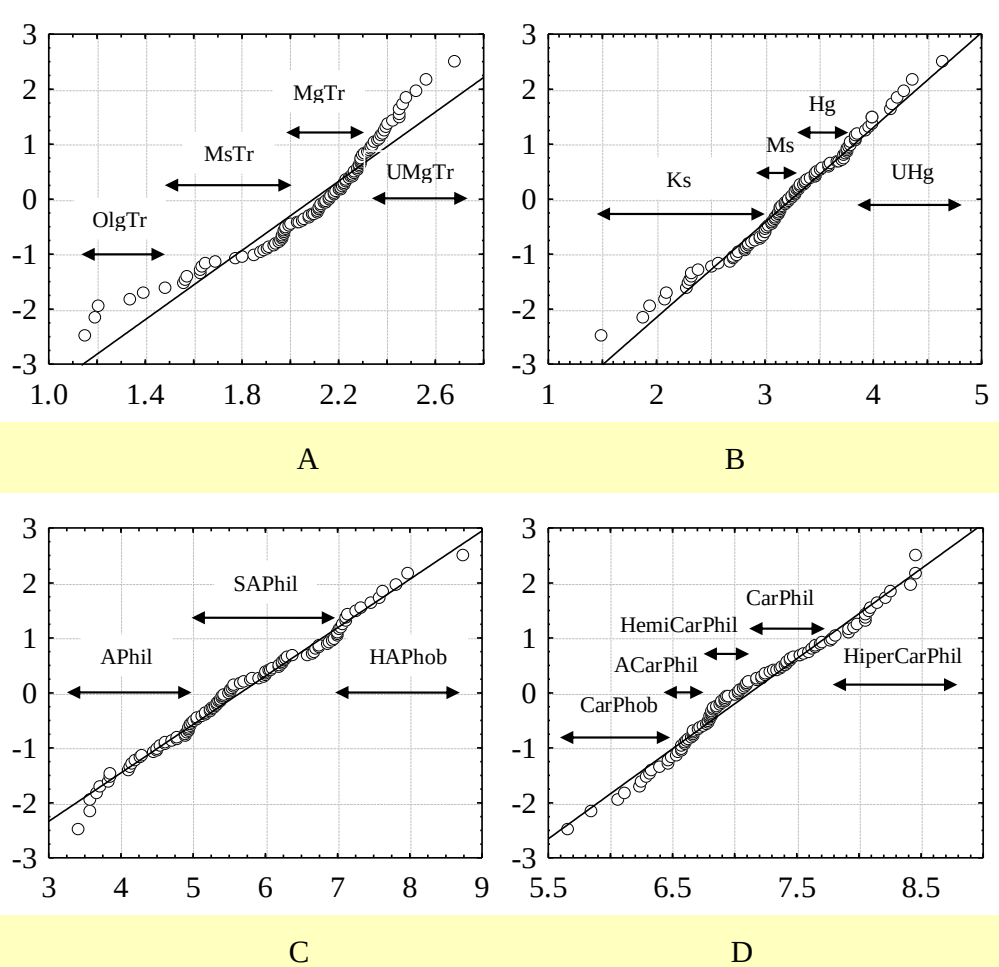
Залежність багатовимірних шкал 1–4 від найбільш інформативних для їхнього визначення факторів середовища



Розміщення у просторі вимірів 1 і 2 видів (А) і сайтів (В). Векторами показані статистично достовірні фактори, що пояснюють багатовимірні шкали. Координати вершини вектора

Кожний із сайтів також характеризується деякими значеннями факторів середовища, виражених за допомогою фітоіндикаційних шкал. Їх значення може бути встановлене за допомогою багатовимірних вимірів, що відбивають тренди мінливості метаугруповання ґрунтової макрофауни.

Індикація може бути виконана на основі множинного регресійного аналізу. У такій моделі залежною змінною виступають значення факторів середовища, а предикторами – багатовимірні виміри. Регресійні моделі будуються на основі матриці даних сайтів.



Категоризація значень індексів трофності (A), вологості (B), аерації (C) і карбонатності ґрунтів (D) відповідно на трофоморф, гігроморф, аероморф та карбонатоморф

Умовні позначки: вісь абсцис – значення індексів, вісь ординат – очікуване нормальне *z*–значення; трофоморфи: OlgTr – оліготрофоценоморфи; MsTr – мезотрофоценоморфи; MgTr – мегатрофоценоморфи; UMgTr – ультрамегатрофоценоморфи; гігроморфи: Ks – ксерофіли; Ms – мезофіли; Hg – гігрофіли; UHg – ультрагігрофіли; аероморфи: APhil – аерофіли; SAPhil – субаерофіли; HAPhob – геміаерофоби; SAPhob – субаерофоби (у катені не представлені), Aphob – аерофоби (у катені не представлені); карбонатофіли: CarPhob – карбонатофоби; ACarPhil – акарбонатофіли; HemiCarPhil – гемікарбонатофіли; CarPhil – карбонатофіли, HiperCarPhil – гіперкарбонатофіли

Якщо у якості предикторів використати значення багатовимірних шкал, які характеризують кожний окремий вид, то за відповідними регресійними моделями ми зможемо одержати оцінки оптимуму для кожного виду за відповідним фактором – індекси трофності, вологості, аерації та карбонатності цього виду.

Континуальні за своєю природою індекси ключових екологічних факторів ґрунтових безхребетних можуть бути згруповані з виділенням екологічних груп ґрунтових тварин – екоморф: трофоценоморфи, гігроморфи, аероморфи та карбонатоморфи

Отриманий результат робить обґрунтованим виділення вперше екоморф ґрунтових тварин – аероморф і карбонатоморф.

Аероморфи – екологічна група ґрунтових тварин, що поєднує тварин, які надають перевагу подібним умовам аерації ґрунту. Аналогічно класифікації рослин, ми виділяємо *аерофілів*, *субаерофілів*, *геміаерофобів* і *субаерофобів*.

Карбонатоморфи – екологічна група ґрунтових тварин, що поєднує тварин, які надають перевагу подібним умовам карбонатності ґрунту. Аналогічно класифікації рослин, ми виділяємо *карбонатофобів*, *акарбонатофілів*, *гемікарбонатофілів*, *карбонатофілів* і *гіперкарбонатофілів*.

- Для окремого виду за регресійними моделями можна одержати оцінки екологічного оптимуму.
- Континуальні за своєю природою індекси ключових екологічних факторів ґрунтових безхребетних можуть бути згруповані з виділенням екологічних груп – екоморф.

Робота надає теоретичне узагальнення та нове вирішення важливої наукової проблеми ролі географічного та екологічного простору в організації угруповань ґрунтових тварин, що виявляється в розробленні принципів і методів просторової екології ґрунтових тварин як наукової основи охорони біологічного та ландшафтного різноманіття, відновлення родючості ґрунтів за умов інтенсивного сільськогосподарського виробництва, рекультивації земель.

Економічна результативність впровадження концепції відновлення біотичного потенціалу агроекосистем у органічне виробництво

- У результаті виконаного циклу досліджень сформовані концептуальні підходи для відновлення біотичного потенціалу, родючості та рекультивації ґрунтів природні техногенно трансформовані екосистеми України на основі принципів просторової екології, уявлення про екосистемні сервіси та роль збереження біологічного різноманіття як фактору забезпечення стійкості екологічних систем.
- Важливим напрямком впровадження запропонованих науково-технічних розробок є забезпечення розвитку органічного виробництва в Україні. Результативність імплементації Європейського законодавства, про що Україна взяла на себе зобов’язання, залежить не тільки від забезпечення правової складової цього процесу, але й від ефективності науково-технічного забезпечення підвищення ефективності промислового та аграрного виробництва.

- Наукові основи відновлення біотичного потенціалу стали причиною успішного розвитку органічного агровиробництва в країні. Так, площі сільськогосподарських угідь під органічним агровиробництвом в Україні становлять понад 309100 га, що складає близько 0,7% від загального об’єму сільськогосподарських угідь України. Цей показник постійно зростає.

- Кількість сертифікованих органічних господарств в Україні в 2018 р. становила 501, що вказує на велике значення цього сегменту агропромислового комплексу країни.

- Екологізація агропромислового виробництва дозволила досягти такого результату, що сучасний внутрішній споживчий ринок органічних продуктів досяг становить 33 млн. євро. Важливим маркером результативності сучасних технологій відновлення біотичного потенціалу агроекосистем є те, що експорт органічної продукції в 2018 р. становив 104 млн. євро. Це забезпечило Україні серед всіх світових країн 4 місце за обсягами експорту органічної сільськогосподарської продукції в ЄС з показником 8,2% від загального імпорту.

Публікації. За матеріалами дослідження було опубліковано 16 монографій (1 закордонна) та 72 статті, що реферуються у наукометричних базах даних SCOPUS та Web of Science. Загальна кількість посилань на публікації авторів згідно бази даних SCOPUS складає 304, h–індекс = 21; Web of Science, h–індекс = 36, 699 посилань. Google Scholar – 6647 посилань, h–індекс = 99. За тематикою роботи захищено 4 докторські дисертації та 18 кандидатських дисертацій.

ВИСНОВКИ (I)

1. Послідовне застосування технік аналізу GNSFA розкриває особливості структури екологічної ніші тварин на масштабному рівні окремого біогеоценозу. Екологічна ніша тварин-екосистемних інженерів може бути описана за допомогою едафічних властивостей і властивостей рослинного покриву. За результатами ENFA-підходу встановлено, що ключові екосистемні інженери чутливо реагують на вміст у ґрунті гумусу, вологість та температуру ґрунту. Важливим інструментом управління біологічним різноманіттям є карта преференції місцеперебувань, яка є результатом перетворення дискретних точкових об’єктів у континуальну ймовірнісну змінну на основі відомостей про особливості екологічної ніші.
2. Моделі точкових процесів можуть бути широко застосовані для дослідження просторового розподілу живих організмів або маркерів їх активності на масштабному рівні окремого біогеоценозу або на ландшафтному рівні. Ці моделі описують два аспекти просторового варіювання: це просторова гетерогенність або вплив коваріат (ефекти першого порядку) та міжточкові взаємодії (ефекти другого порядку). Комбінація інструментарію статистики точкових процесів та SEPATH-процедури дозволяє перевіряти гіпотези про причинно-наслідкові зв’язки, які генерують регулярні просторі патерни екологічних явищ.
3. Індекс переваги місцеперебувань, установлений за допомогою ENFA-процедури, є континуальною моделлю екологічного простору виду, яка одержана на основі точкових обліків, відомостей про просторове варіювання екогеографічних змінних і моделі факторної структури екологічної ніші тварини. Екогеографічні змінні, одержані на основі даних дистанційного зондування поверхні Землі (рельєфні показники та характеристики рослинного покриву) придатні для ефективного опису просторового розподілу популяцій тварин та рослин на ландшафтному рівні.
4. Оцінювання за регресійними моделями трофотопа та гігротопа, а також ценотичних типів, де як змінні-предиктори використано ваги видів за вимірами у просторі, який одержаний в результаті багатовимірного шкалювання, дозволяє встановити місце розташування центроїда ніші виду в екологічному просторі за відповіднім градієнтом. Екоморфи як цілісні екологічні групи характеризуються нормальним законом розподілу кількісних екологічних характеристик, при цьому вся сукупність екоморф може являти собою суміш нормальних розподілів. Цілісність і однорідність конкретної екоморфи – свідчення того, що її існування визначається функціональною структурою біогеоценозу, отже, екоморфічна структура компонентів біогеоценозу – відбиття його організації.

ВИСНОВКИ (ІІ)

5. Екоморфічна ідентифікація виду в термінах екоморф несе об’ємну інформацію про його ландшафтно-біогеоценотичні преференції в умовах географічного простору. Екоморфічні спектри конкретних угруповань розкривають їх роль і місце у біогеоценозі у формі, придатній для їх порівняння з іншими компонентами біогеоценозу. Угруповання павуків як екологічно пластична та мобільна компонента біогеоценозу можуть бути використані як індикатор стану та режимів екосистем в умовах антропогенного навантаження і інструмент контролю чисельності шкідників в системі органічного землеробства.
6. Екоморфічний аналіз дозволив довести, що сильватизація, яка викликає оптимізацію режиму зволоження та формування тіньової світлової структури лісового культурбіогеоценозу в умовах урбанізації сприяє збільшенню чисельності та різноманіття ґрунтової макрофауни на рівні досліджуваної точки. Режим трофності едафотопу та представленість пратантів у рослинному угрупованні коригують відхилення видового багатства від рівня, який визначається чисельністю угруповання ґрунтової макрофауни. Таким чином, екоморфічний аналіз угруповань є чутливим монітором функціонального стану екосистем, який може бути застосований для ефективного менеджменту відновлення біотичного потенціалу.
7. Просторова структура ґрунтової макрофауни на рівні біогеоценозу визначається просторовою варіабельністю властивостей ґрунту як середовища існування тварин і може бути представлена у термінах екоморф. Вирішення ключової проблеми екології про співвідношення між структуралізмом і континуалізмом полягає у тому, що в екологічному просторі екологічні явища можуть мати дискретну природу та чіткі границі, а у географічному просторі екологічні явища мають континуальну природу та відсутність чітких меж. Такий підхід є основою для типізації етапів відновлення біотичного потенціалу техногенно трансформованих та агроекосистем.

ВИСНОВКИ (ІІІ)

- 8. Формування просторових патернів педобіонтів сільськогосподарського поля обумовлене агрегатною структурою та твердістю ґрунту. Індикатори якості ґрунту (високий рівень агрегатної структури та низький рівень твердості ґрунту) включають *Hypochthonius luteus, Ceratozetes minutissimus, Protoribates capucinus, Tectocepheus velatus* (неспеціалізовані форми), *Oppiella nova* (мешканець дрібних ґрунтових шпар). Індикатори негативних умов, які виникли внаслідок порушення ґрунтової структури, – *Microppia minus* (глибокоґрунтові форми) та *Multioppia glabra* (мешканці дрібних ґрунтових шпар).
- 9. На основі маркування властивостей екологічного простору фітоіндикаційними шкалами розширено перелік екоморф ґрунтової макрофауни та обґрунтоване виділення аероморф і карбонатоморф. Аероморфи – екологічна група, що поєднує ґрунтових тварин, які надають перевагу подібним умовам аерації ґрунту. Вони представлені аерофілами, субаерофілами, геміаерофобами та субаерофобами. Карбонатоморфи – екологічна група, що поєднує ґрунтових тварин, які надають перевагу подібним умовам карбонатності ґрунту. Аналогічно класифікації рослин, ми виділяємо карбонатофобів, акарбонатофілів, гемікарбо¬натофілів, карбонатофілів і гіперкарбонатофілів.
- 10. Результативність імплементації Європейського законодавства залежить як від забезпечення правової складової цього процесу, так і від ефективності науково-технічного супроводу підвищення ефективності промислового та аграрного виробництва. Наукові основи відновлення біотичного потенціалу дозволили досягти успішного розвитку органічного агровиробницва в країні. Екологізація агропромислового виробництва забезпечило зростання внутрішнього споживчого ринку органічних продуктів до рівня 33 млн.євро. Важливим маркером результативності сучасних технологій відновлення біотичного потенціалу агроекосистем є те, що експорт органічної продукції в 2018 р. становив 104 млн.євро та постійно збільшується. Це забезпечило Україні серед усіх світових країн 4 місце за обсягами експорту органічної сільськогосподарської продукції в ЄС з показником 8,2% від загального імпорту.

Авторський колектив щиро дякує за увагу, приділену нашій скромній роботі…

Використано рисунок з сайту www.ukrposhta.ua