

Міністерство освіти та науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Український державний хіміко-технологічний університет"
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БАБЧЕНКО АННА ВАЛЕНТИНІВНА

УДК 574.4

ДИСЕРТАЦІЯ
ДИНАМІКА БЕЗХРЕБЕТНИХ З ЕКОСИСТЕМ,

СФОРМОВАНИХ НА ТЕХНОЗЕМАХ НІКОПОЛЬСЬКОГО

МАРГАНЦЕВОРУДНОГО БАСЕЙНУ

03.00.16 – екологія

Біологічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Бабченко А.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник: Жуков Олександр Вікторович,
доктор біологічних наук, професор

Дніпро – 2021

АНОТАЦІЯ

Бабченко А. В. Динаміка безхребетних з екосистем, сформованих на технозомах Нікопольського марганцеворудного басейну. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 – екологія. – Державний вищий навчальний заклад "Український державний хіміко-технологічний університет", Дніпро, 2021.

У Законі України «Про охорону земель» особливо наголошено на необхідності раціонального використання, відтворення та підвищення родючості ґрунтів, інших корисних властивостей землі, збереженні екологічних функцій ґрунтового покриву та охорони довкілля. Території трансформованих унаслідок промислової діяльності ландшафтів у нашій країні займають більше мільйона гектарів, а катастрофічні зміни природних ландшафтів докорінно змінюють їх структуру. Техногенна трансформація ландшафтів катастрофічно впливає на динаміку земельного фонду, який постійно скорочується. Глибокі підземні гірничі розробки здійснюють значний вплив на ландшафт, трансформуючи природні ландшафти та залишаючи їх у зміненому стані. Їхня трансформація внаслідок відкритих гірничих розробок призводить до сильних змін у структурі наземного покриву, водотоків, мікроклімату, землекористування, угруповань живих організмів. Рекультивація стала важливою науково-практичною проблемою, вирішення якої потребує міждисциплінарної інтеграції, значних технічних і фінансових ресурсів. Концептуальні основи вирішення проблеми відтворення ґрунтового покриву на територіях, які зазнали корінних трансформацій, розглядає новий науковий напрямок – техногенне ґрунтознавство. Антропогенний вплив на ґрунт виявляється в його сільськогосподарському використанні, розміщенні населених пунктів, хімічному забрудненні та техногенному руйнуванні. Видобуток корисних копалин відкритим способом повністю знищує ґрунтовий та рослинний покрив. У вітчизняній традиції для

вирішення проблем сільськогосподарської рекультивації особливу увагу приділено агрономічним та технологічним проблемам. Вирішення проблеми закономірностей часової динаміки угруповань та популяцій наземних безхребетних, які сформовані на техноземах Нікопольського марганцеворудного басейну, потребує свого вирішення та є актуальною в науковому та науково-практичному плані.

У роботі встановлені закономірності часової динаміки популяцій наземних безхребетних з екосистем, сформованих на техноземах Нікопольського марганцеворудного басейну. Вирішені такі завдання: встановлені характеристики різноманіття угруповань наземних безхребетних з екосистем, сформованих на техноземах; оцінена роль метеорологічних чинників як предикторів екологічної ніші наземних безхребетних у часовому аспекті; встановлені закономірності фенології видів безхребетних як відгук їх чисельності у градієнті часу; оцінена роль вологості ґрунту в часовій динаміці популяцій безхребетних техноземів; визначені показники оптимумів та толерантності видів безхребетних до температури з урахуванням впливу інших метеорологічних чинників, часових та просторових змінних. Об'єкт дослідження – угруповання та популяції наземних безхребетних техногенних екосистем Нікопольського марганцеворудного басейну (Україна). Предмет вивчення – закономірності часової динаміки популяцій наземних безхребетних під впливом метеорологічних факторів та вологості ґрунту в умовах штучно створених ґрунтоподібних конструкцій – техноземів. Застосовані такі методи досліджень. Облік наземних безхребетних у межах експериментального полігону було здійснено за допомогою пасток Барбера на 20 пробних майданчиках, які охоплюють п'ять типів техноземів: педоземи, та такі, що сформовані на лісоподібних суглинках, червоно-бурих глинах, сіро-зелених глинах та на технологічній суміші глин. Збір проводили протягом 2013–2015 рр.: щороку протягом сезону збори по 26 разів у період з весни до осені, що дало змогу відслідкувати сезонну динаміку угруповань. Було досліджено шість груп безхребетних, близько пов'язаних з ґрунтовим

середовищем та наземним рослинним покривом: молюски (Mollusca: Gastropoda), павуки (Chelicerata: Arachnida), двопарноногі (Myriapoda: Diplopoda), губоногі (Myriapoda: Chilopoda), мокриці (Malacostraca: Isopoda: Oniscidea), комахи (Tracheata: Insecta). Для кожного часу експозиції пасток були розраховані такі параметри середовища: загальна сума опадів за період, середнє значення доступної для рослин вологи, швидкості вітру, атмосферної температури, вологості та тиску. Були використані дані обліків Нікопольської метеостанції. Ці параметри середовища застосовані в якості екологічних предикторів екологічної ніші безхребетних. Для оцінки оптимуму та толерантності екологічних ніш безхребетних у градієнті факторів середовища застосовано метод зваженого середнього, метод генералізованих лінійних змішаних моделей (*Generalized linear mixed models*), ієрархічні моделі Хуїзмана, Ольфа та Фреско – HOF, ординаційна техніка аналізу відповідностей.

У роботі вперше встановлені показники видового та таксономічного різноманіття угруповань наземних безхребетних техноземів, сформованих протягом піввікової сільськогосподарської рекультивації. Показано, що адекватна оцінка оптимуму та толерантності екологічної ніші безхребетних в градієнті фактора можлива тільки з урахуванням впливу інших екологічних факторів, часових та просторових патернів та специфіки, зумовленої типом технозему. Запропоновано підхід для аналітичного виділення фенологічних груп безхребетних, а також екологічних груп за їх ставленням до вологості та температури. У дисертації вдосконалено процедуру оцінки динаміки вологості техноземів за метеорологічними даними з урахуванням альbedo поверхні техноземів та набули подальшого розвитку концепція екологічної ніші Хатчинсона й способи її кількісної оцінки та принципи та методи екології техноземів.

У результаті проведеної роботи адаптовано підхід Пенмана-Монтейта для оцінки вмісту вологи в ґрунті для техноземів з урахуванням варіювання альbedo техноземів зі зміною їх вологості. Цей підхід може забезпечити

розрахунковою оцінкою вмісту вологи як предиктора екологічної ніші безхребетних, що може бути практично застосовано для прогнозу чисельності як шкідливих у господарському відношенні тварин (фітофаги), так і корисних (зоофаги та фітофаги). Відомості про вміст вологи в техноземах можуть бути застосовані в практиці сільськогосподарського виробництва для вибору оптимальних стратегій господарювання на рекультивованих землях.

Розроблені підходи до оцінки зв'язку властивостей екологічної ніші наземних безхребетних з метеорологічними показниками можуть бути застосовані для створення довгострокових прогнозів динаміки угруповань тварин на основі перспективних проєкцій кліматичних режимів. Такий підхід надає можливість розробляти комплекс заходів у режимі реального часу для оптимізації екологічного стану техноземів у значній у часі перспективі.

Встановлено, що угруповання наземних безхребетних, сформоване в техногенній екосистемі після понад 50-річного періоду сільськогосподарської рекультивації, представлене 202 видами Arthropoda та Mollusca з 6 класів, 13 рядів, 50 родин. Двопарноногі є найбільш чисельною таксономічною групою, представленою тільки одним видом *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927). Чисельність цього виду складає 49.4 % від загальної чисельності угруповання. Coleoptera та Araneae є значно більшими за числом таксономічними групами, які обіймають 22.4 та 18.2 % від загальної чисельності угруповання. Ці таксони є найбільш насиченими видами. Coleoptera представлені 122 видами, а Araneae представлені 67 видами. Показано, що метеорологічні умови є найважливішими чинниками, які визначають часову динаміку популяцій та угруповань наземних безхребетних техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну. Особливості водного режиму техноземів залежать як від їх водно-фізичних властивостей, так і від особливостей поверхні контакту ґрунту з навколишнім середовищем. Рослинний покрив, колір та характер поверхні ґрунту значно впливають на інтенсивність енергетичного та речовинного обміну ґрунту з

навколишнім середовищем. Техноземи є молодими ґрунтами, для яких характерна значна варіабельність кольорів поверхні. Ця особливість визначає значне варіювання альbedo поверхні техноземів. Залежність між вологістю та альbedo утворює передумови формування механізму зворотного негативного зв'язку між вологістю та інтенсивністю евапотранспірації. Зменшення вмісту води в ґрунті призводить до зменшення випаровування внаслідок збільшення альbedo. З плином процесу ґрунтогенезу кольорові відмінності між техноземами зменшуються внаслідок накопичення органічної речовини, яка надає ґрунтам чорного або сірого кольору. Але накопичення органічної речовини сприяє покращенню водно-фізичних властивостей техноземів, що дає можливість краще використовувати кліматичний потенціал. Одержані відомості про те, що динаміка в часі протягом вегетаційного сезону чисельності найбільшої кількості видів безхребетних ділянки рекультивації описується бімодальною асиметричною моделлю (модель VII з переліку HOFJO). Бімодальність підкреслює важливість впливу біотичних (конкурентних) взаємодій між видами. Бімодальність може бути наслідком біологічної неоднорідності популяції та результатом міграційних процесів. Установлені типи часової динаміки безхребетних вказують на наявність складних та сформованих процесів регулювання чисельності тварин на порівняно молодих екологічних утвореннях, якими є техноземи. Часова динаміка видів безхребетних структурована в просторі та характеризується наявністю регулярних часових патернів, на основі яких встановлені такі фенологічні групи тварин: весняні, літні, літньо-осінні та осінні. Фітофаги переважають серед літньо-осінніх форм, а зоофаги – серед осінніх, та меншою мірою серед весняних або літніх. Відгук літніх форм у градієнті часу найчастіше описується симетричною дзвіноподібною моделлю V. Літньо-осінні форми характеризуються відгуками на час, які можуть бути описані моделями V, VI та VII. Весняні форми найчастіше мають розподіл, який найкраще описується моделями II та III. Для літніх форм характерна модель VII. Доведено, що в умовах аридного клімату та в екосистемі, яка

сформована в результаті процесу рекультивації, вміст вологи в ґрунті є найважливішим фактором, який визначає динаміку угруповання наземних безхребетних у часі. Екологічні особливості видів, а саме оптимум та толерантність до впливу екологічних факторів, пояснюють динаміку структури угруповання у часі. Оцінка середнього зваженого значення для характеристики оптимуму виду дає тільки загальне уявлення про екологічні преференції виду. Така ж ситуація має місце й для інших показників, які не враховують впливу комплексу факторів та міжвидових взаємодій. Урахування інших факторів та міжвидових взаємодій здатне значно відкоригувати оцінки оптимуму для значної кількості видів. Відхилення відгуків видів на вплив вологості ґрунту від симетричної дзвіноподібної форми в різних кінцях діапазону вологості зумовлене різними чинниками. За умов дефіциту вологості фактори абіотичної природи переважають. На межі з достатнім рівнем зволоження переважне значення мають біотичні фактори. На врахування ролі взаємодії фактору вологості ґрунту з іншими факторами призводять до зсуву оцінок оптимуму видів у центральну частину діапазону вологості. Оцінки толерантності без урахування взаємодії не можуть бути визнані як прийнятні. Показано, що температурні оптимуми безхребетних, які мешкають в умовах техноземів, варіюються в діапазоні від 11,5 до 25,4 °С. Відгук безхребетних на вплив температури може бути описаний сімома моделями з переліку HOFJO. Найчастіше найкращими моделями є VII та V, та переважна більшість відгуків безхребетних на температурний фактор має асиметричний характер. Вплив температури на структуру угруповання безхребетних має складний характер. Цей вплив залежить від інших метеорологічних чинників, таких як опади, вітер, вологість повітря та атмосферний тиск. Часова складова як закономірний перебіг фенологічних процесів здатна пояснити 3–68 % варіювання структури угруповання. Тип техноземів у цілому визначає 12 % варіювання угруповання безхребетних. За значеннями оптимуму й толерантності до дії температурного фактору виділені такі екологічні групи безхребетних: еврімикротерми, еврїмезотерми,

стеномікротерми та стеномезотерми. Стеномезотерми найчастіше описуються моделлю V. Особливість евримезотермів порівняно з попередньою групою полягає в тому, що відгук цих видів на температуру частіше описується моделями III та VII. Еврімікротерми описуються моделлю II та меншою мірою – I. Стеномікротерми найчастіше описуються моделями IV та VI. Стенотопні види найчастіше зустрічаються серед літніх та весінних видів, а еврیتопні – серед літньо-осінніх або осінніх. Мікротерми найчастіше зустрічаються серед літніх та літньо-осінніх, а мезотерми – серед весняних або осінніх видів.

Ключові слова: рекультивация, безхребетні, популяції, угруповання, екологічна ніша, динаміка, градієнт

SUMMARY

Babchanko A.V. Dynamics of invertebrates of the ecosystems formed on the Nikopol manganese ore basin technosols. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Biological Sciences in specialty 03.00.16 – Ecology. – Ukrainian state university of Chemical Technology, Dnipro, 2021.

The Law of Ukraine "On Land Protection" made a special emphasis on the need for sustainable use, restoration and improvement of soil fertility and other useful properties of land, maintaining the ecological functions of soil and the environment. Areas of transformed landscapes due to industrial activities in the country occupy more than one million hectares, and catastrophic natural landscape changes radically alter their structure. Technogenic transformation of the landscape dramatically affect the dynamics of the land fund, which is constantly decreasing. Deep underground mine development makes a significant impact on the landscape, transforming landscapes and leaving landscapes in an altered state. Landscape transformation due to opencast mines leads to strong changes in the structure of land cover, streams, microclimate, land-use groups of living organisms.

Reclamation has become an important scientific and practical problem whose solution requires interdisciplinary integration, significant technical and financial resources. Conceptual framework to solve the problem of reproduction of soil in areas that have undergone radical transformations Think of a new scientific field - tehnohenne Soil. The human impact on the ground is reflected in its agricultural use, are settlements zabrudeni chemical and man-made destruction. Mining and open pit completely destroys soil and vegetation. In domestic traditions to address agricultural reclamation special attention paid to ahrnomichnym and tehnolohinym problems.

The paper established patterns of temporal dynamics of populations of invertebrates extraterrestrial ecosystems formed on tehnozemah Nikopol manganese ore basin. Following tasks: set characteristics diversity of invertebrate communities of terrestrial ecosystems formed on tehnozemah; assessed the role of meteorological factors as predictors of ecological niches terrestrial invertebrates in the time aspect; established patterns of phenology of species bezrebetnyh a review of their strength gradient time; assessed the role of soil moisture in time dynamics of populations of invertebrates tehnozemiv; Indices optima and tolerance invertebrate species to temperature with the influence of other meteorological factors, time and spatial variables. About' object of study - population groups and terrestrial invertebrates manmade ecosystems Nikopol manganese ore basin (Ukraine). Subject of study - the patterns of temporal dynamics of populations of terrestrial invertebrates under the influence of meteorological factors and soil moisture in artificially created rruntopodbinyh designs - tehnozemiv. Zastosvani following research methods. Accounting terrestrial invertebrates within experimental test site was made using Barbera traps in 20 test sites, which cover five types tehnozemiv: pedozemy and those that formed and lesopodibnyh loam, clay red-brown, gray-green clay and the technological mix clay. Meetings conducted during the 2013-2015 biennium., Each year during the season meetings conducted 26 times in the period from spring to autumn, allowed vidslikuvaty season uhurpovan dynamics. It dosliddzhenno seven groups of invertebrates are

closely related to soil and land environment vegetation, mollusks (Mollusca: Gastropoda), spiders (Chelicerata: Arachnida), dvoparnonohi (Myriapoda: Diplopoda), centipede (Myriapoda: Chilopoda), woodlice (Malacostraca: Isopoda: Oniscidea), insects (Tracheata: Isecta). For each exposure time traps were designed following environmental variables: the total amount of rainfall for the period, the average moisture available for plants, wind speed, atmospheric temperature, humidity and pressure. We used data records Nikopol weather station. These parameters zastosvani environment as predictors of environmental ecological niche invertebrates.

The paper was first established indicators of species diversity and taxonomic groups of terrestrial invertebrates tehnozemiiv that formed over half a century of agricultural reclamation. It is shown that an adequate assessment of optimum ecological niche and tolerance invertebrates gradient factor is only possible with the influence of other environmental factors, temporal and spatial patterns and specificity conditioning tehnozemu type. The proposed analytical approach for the selection of phenological groups of invertebrates as well as environmental groups for their attitude to humidity and temperature.

As a result of the work adapted Penman-Monteith approach for assessing the moisture content in the soil for tehnozemiiv given varying albedo tehnozemiiv with change of humidity. This approach can provide an estimate calculated moisture content as a predictor of ecological niches invertebrates that can be practically applied for the forecast number as harmful to economic relations animals (phytophagous) and useful (and zoofahy phytophages). Information on the moisture content can be tehnozemah zastovovani in agricultural practice for selecting optimal management strategies on reclaimed lands.

The approaches to assessing ecological niche communication properties of terrestrial invertebrates meteorological parameters can be used to create dolhostrokovykh example of the dynamics of groups of animals based perspective projections of climate regimes. This approach provides opportunities rozrolyaty set

of measures in real time to optimize the ecological state *tehnozemi* a considerable time perspective.

Found that the group of terrestrial invertebrates, which formed in manmade ecosystem after more than 50 years of agricultural reclamation period represented 202 species Arthropoda and Mollusca 6 classes, 13 series, 50 families. *Dvoparnonohi* most numerous taxonomic group that presented only one type *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927). The number of this species is 49.4% of the total group. Coleoptera and Araneae is much more numerous taxonomic groups who hold 22.4 and 18.2% of the total group. These taxa are most rich species. 122 species are Coleoptera and Araneae represented by 67 species. It is shown that the meteorological conditions are essential, determining temporal dynamics of populations and communities of terrestrial invertebrates *tehnozemi* Nikopol manganese ore basin. Features water regime *tehnozemi* depend on their water-physical properties and characteristics of the soil surface contact with the environment. Vegetation, color and character of the soil surface greatly affect the intensity of energy and material exchange with the soil environment. *Tehnozemy* are young soils, which have a large variability in surface color. This feature identifies significant variation of surface albedo *tehnozemi*. Relationship between albedo and moisture creates prerequisites for the formation of the negative feedback mechanism of communication between the humidity and the intensity evapotranspiration. Reducing the water content in the soil leads to reduction of evaporation due to increased albedo. *Zplynom* process *rruntohenezu* color differences between *tehnozemy* reduced due to the accumulation of organic matter that provides soils black or gray. But the accumulation of organic matter improves the physical properties of water-*tehnozemi*, enabling better use of the potential climate. The resulting *vidpomosti* that the dynamics of the time during the growing season number greatest number of species of invertebrates land reclamation describes asymmetric bimodal model (model VII from the list HOFJO). Bimodalist biotic stresses the importance of (competitive) interactions between species. Bimodalist may be due to biological heterogeneity of the

population and the resulting migration. The established types of temporal dynamics of invertebrates indicate the presence of complex and existing processes regulate the number of animals at the relatively young environmental entities, which are *tehnnozemy*. The temporal dynamics of species of invertebrates structured in space and time are characterized by the presence of regular patterns on which the phenology, the following groups of animals: spring, summer, autumn, summer and autumn. Herbivores prevail among the summer-autumn forms of zoofauna - among autumn, and less of spring or summer. Reviewed summer gradient forms in time often described symmetric model V. *dzvinopodibnoy* summer-autumn form characterized by feedback at the time, which can be described models of V, VI and VII. Spring forms often have a distribution model that best describes II and III. For older forms of typical model VII. It is proved that in a desert climate and ecosystem, which formed as a result of the reclamation process, the moisture content in the soil is the most important factor determining the dynamics of the group of terrestrial invertebrates at the time. Environmental features species such as optimum and tolerance to the effects of environmental factors explain the dynamics of the group structure at the time. Estimated weighted average value for the optimum characteristics type gives only a general idea about the ecological preferences of the species. Similarly, such a situation is for other indicators that do not include the impact of complex factors and interspecific interactions. Taking into account other factors and interspecific interactions can significantly adjust the optimum evaluation for a number of species. Deviations types of reviews on the impact of soil moisture on *dzvinopodibnoy* symmetric shape in different parts of the range of humidity due to various factors. Given the shortage of moisture abiotic factors of nature is predominant. On the border with sufficient wetting overwhelming importance biotic factors. Not taking into account the role of soil moisture factor interaction with other factors led to a shift in species optimum estimates the central part of the range of humidity. Estimates tolerance without interaction can not be considered as acceptable. It is shown that temperature optimum invertebrates that live in

conditions *tehnozemiv*, vary in the range of 11.5 to 25.4 °C. Review invertebrates on the effect of temperature can be described by seven models range HOFJO. Often, the best model is the V and VII and the vast majority of reviews on invertebrates temperature factor is asymmetric. Effect of temperature on the structure of invertebrate communities is complex. This effect depends on other meteorological factors such as precipitation, wind, humidity and atmospheric pressure. The time component as a natural course of phenological processes capable of 3-68% variation explained by the structure of the group. Type *tehnozemiv* generally determines 12% variation invertebrate groups. For optimum values of tolerance and action temperature factor environmental groups identified the following invertebrates: *evrimikrotermy*, *evrimezotermiy*, *stenomikrotermiy* and *stenomezotermiy*. *Stenomezotermiy* often described model V. Feature *evrimezotermiy* compared with the previous group is that these types of feedback on the temperature often described models III and VII. *Eumikrotermiy* II describes the model and to a lesser extent - I. *Stenomikrotermiy* often described model IV and VI. *Stenotopni* types most common among the elderly and The Spring species and *evrytopni* - among the summer-autumn or fall. *Microtherm* most common among the elderly and among the summer-autumn and *mezotermiy* - spring or fall among species. and *evrytopni* - among the summer-autumn or fall. *Microtherm* most common among the elderly and among the summer-autumn and *mezotermiy* - spring or fall among species. and *evrytopni* - among the summer-autumn or fall. *Microtherm* most common among the elderly and among the summer-autumn and *mezotermiy* - spring or fall among species.

Keywords: reclamation, invertebrates, populations, communities, ecological niche, dynamics, gradient

**Список публікацій здобувача, у яких висвітлено основні наукові
результати дисертації**

У виданнях, які включені до наукометричних баз Web of Science та Scopus

1. Pakhomov, O. Ye., Kunakh, O. M., Babchenko, A.V., Fedushko, M. P., Demchuk, N. I., Bezuhla, L.S., Tkachenko, O.S. (2019). Temperature effect on the terrestrial invertebrate temporal dynamic in technosols formed after reclamation at a post-mining site in Ukrainian steppe drylands. 27(4), 322–328. doi:10.15421/011942 (**Web of Science, Scopus**) (*особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків*).
2. Kunah, O. M., Zelenko, Y. V., Fedushko, M. P., Babchenko, A. V., Sirovatko, V. O., & Zhukov, O. V. (2019). The temporal dynamics of readily available soil moisture for plants in the technosols of the Nikopol Manganese Ore Basin. Biosystems Diversity, 27(2), 156–162. doi:10.15421/011921 011910 (**Web of Science, Scopus**) (*особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків*).
3. Babchenko, A.V., Fedushko, M.P., Timchiy, E.I., Huska, Yu.A., Khalus, S.V. (2020). Ukrainian Journal of Ecology, 11(6), 338-350, doi: 10.15421/2020_302 (**Web of Science, Scopus**) (*особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків*)
4. Gritsan, Y. I., Kunah, O. M., Fedushko, M. P., Babchenko, A. V., Sirovatko, V. O., Zhukov O. V., & Kotsun, V. I. (2019). Albedo of the soil cover as a factor of the temporal dynamics of readily available soil moisture in the technosols of the Nikopol manganese ore basin. Agrology, 2(3), 161–169. doi: 10.32819/019024 (**Agricola**) (*особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків*).

Публікації в наукових фахових виданнях України

5. Babchenko, A. (2019). Temporal dynamics of the invertebrates species of the technosols within Nikopol manganese ore basin. Lesya Ukrainka Eastern European National University Scientific Bulletin. Series: Biological Sciences, 4(388). <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2019-388-4-83-104>
6. Бабченко, А.В., Коваленко, Д.В. (2019). Порівняльна оцінка особливостей екологічних ніш наземних молюсків у різних типах техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну. Біоресурси і природокористування, 11 (3–4), <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/view/12769> *(особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків).*

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Бабченко А.В. (2019). Закономірності часової динаміки герпетобіонтних безхребетних в техноземах Нікопольського марганцеворудного басейну. Сучасний рух науки: тези доп. VIII міжнародної науково-практичної конференції, 3-4 жовтня 2019 р. Дніпро, 1, 70–73.
8. Бабченко А. В. (2019). Динаміка угруповань ґрунтової макрофауни в техноземах Нікопольського марганцеворудного басейну. Наука та освіта: досягнення та стратегії розвитку: XXII Міжнародна науково-практична конференція: тези доповідей, Запоріжжя, 4 листопада 2019 р. Ч. 1. Дніпро: ГО «НОК», 33–36.
9. Babchenko A. V., Fedushko M. P. (2019). Effect of the environmental factors on the macrofauna community temporal dynamic in technosols formed after reclamation at a post-mining site in Ukrainian steppe drylands. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: Матеріали X Міжнародної наукової конференції “Zoocenosis–2019”. Дніпро, 18–19.11.2019 р., Ліра, 23. *(особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків).*

Перелік умовних скорочень	18
Вступ.....	20
Розділ 1. Особливості техноземів	
як середовища існування ґрунтових тварин.....	27
1.1. Екологічні основи сільськогосподарської рекультивації земель	27
1.2. Оцінка екологічних режимів техноземів.....	38
1.3. Відгук видів у градієнті екологічних факторів.....	43
Висновок по розділу	51
Розділ 2. Матеріали та методи	52
2.1. Експериментальний полігон.....	52
2.2. Збір даних про тварин	55
2.3. Екологічні предиктори	58
2.4. Просторові та часові предиктори.....	58
2.5. Підходи до ординації та методи оцінки параметрів ніші	59
2.6. Оцінка часової динаміки вмісту вологи у техноземах.....	63
Розділ 3. Моделювання часової динаміки вологості техноземів	68
3.1. Метеорологічні умови району досліджень	68
3.2. Кольорові властивості техноземів та їх роль у формуванні альбедо.....	74
3.3. Динаміка вологості техноземів у залежності від метеорологічних умов	77
Висновок по розділу	86
Розділ 4. Динаміка видів безхребетних у градієнті часу.....	87
4.1. Фенологічні режими видів безхребетних.....	87
4.2. Моделювання часової динаміки видів безхребетних	88
4.3. Оцінка ролі абіотичних, біотичних факторів та часових і просторових	

предикторів і типу техноземів у	
часовій динаміці популяцій безхребетних	91
4.4. Оцінка оптимумів та толерантності	
видів у градієнті часу різними методами	95
4.5. Класифікація видів безхребетних за	
особливостями фенологічної динаміки	102
Висновок по розділу	107
Розділ 5. Відгук наземних безхребетних на	
динаміку вологості техноземів	109
5.1. Фітоіндикаційна оцінка режимів зволоження техноземів.....	109
5.2. Видове різноманіття угруповань безхребетних	111
5.3. Розподіли оптимумів та толерантності видів у градієнті вологості....	114
5.4. Моделювання патернів відгуків видів на градієнт вологості	115
5.5. Оцінки оптимумів та толерантності видів різними методами.....	121
5.6. Класифікація видів безхребетних за преференцією умов вологості...	124
Висновок по розділу	132
Розділ 6. Вплив температури на динаміку угруповань безхребетних	133
6.1. Фітоіндикаційна оцінка терморезиму	133
6.2. Оцінка оптимумів видів у градієнті температурного режиму	135
6.3. Моделі відгуків видів на вплив температури	136
6.4. Ординація угруповань безхребетних.....	139
6.5. Фракціонування варіювання угруповання безхребетних.....	145
6.6. Оцінка міжвидових взаємодій та інших факторів на реакцію видів	
безхребетних на температуру.....	146
Висновок по розділу	158
Висновки	159
Список цитованої літератури	161
Додаток 1	191
Додаток 2.....	199

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- NOF – ієрархічні моделі Хуїзмана, Ольфа та Фреско1
- GLM – генералізовані лінійні моделі
- ДДВ – діапазон доступної для рослин вологи
- PCNM – метод головних координат матриці сусідства
- MEM – метод дистанційно-основаних мап власних векторів Морана
- Env_i – значення змінної середовища у i -му зразку
- $Abund_i$ – чисельність виду у i -му зразку
- SD – стандартне відхилення
- eNOF – статистичний пакет для обчислення параметрів моделей Хуїзмана, Ольфа та Фреско
- AIC – інформаційний критерій Акаїке
- LowCB – центральна межа кривої відгуку зліва
- UppCB – центральна межа кривої відгуку справа
- CA – аналіз відповідностей
- RDA – аналіз надлишковості
- DCA – детрендовий аналіз відповідностей
- CCA – пояснювальний (канонічний) аналіз відповідностей
- E_{ref} – швидкість референсної евапотранспірації
- R_n – радіаційний баланс
- G_0 – теплообмін у ґрунті
- T_d – середньодобова температура повітря
- u_2 – швидкість повітря (m s^{-1}) на висоті 2 м над рівнем землі
- e_d – пружність насичуючої водяної пари при температурі T_d ($^{\circ}\text{C}$)
- Δ – нахил кривої насичення водяної пари
- γ – психрометрична константа
- K_s – водний коефіцієнт
- σ – константа Стефана-Больцмана
- T_m та T_n – добова максимальна та мінімальна температури повітря ($^{\circ}\text{C}$)

a_c та b_c – коефіцієнти хмарності

a_l та b_l – коефіцієнти емісивності

α – альbedo поверхні ґрунту

R_{si}/R_{so} – це відносна короткохвильова радіація

EL_{mst} – висота над рівнем моря

R_{sa} – позаземна сонячна радіація

G_{sc} – сонячна константа ($-0.08202 \text{ МДж м}^{-2}\text{хвил}^{-1}$)

d_r – відносна відстань між Землею та Сонцем (м)

J – доба з початку року

ω_s – кут часу заходу

θ – широта

δ – сонячний нахил

X – насиченість кольору поверхні ґрунту за Манселлом

SW_i – вміст води у шарі ґрунту (мм)

P_i – опади

I_i – кількість води, яка потрапила з іригацією

G_i – капілярне підняття

E_i – актуальна евапотранспірація

D_i – глибоке просочування поза межі кореневої зони

RAW – волога, доступна для рослин (мм);

SW_i – найменша вологоємність (мм)

PWP – вологість стійкого в'янення рослин

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. У Законі України «Про охорону земель» особливо наголошено на необхідності раціонального використання, відтворення та підвищення родючості ґрунтів, інших корисних властивостей землі, збереження екологічних функцій ґрунтового покриву та охорони довкілля. Території трансформованих внаслідок промислової діяльності ландшафтів у нашій країні займають більше мільйона гектарів, а катастрофічні зміни природних ландшафтів докорінно змінюють їх структуру. Техногенна трансформація ландшафтів катастрофічно впливає на динаміку земельного фонду, який постійно скорочується [20]. Глибокі підземні гірничі розробки здійснюють значний вплив на ландшафт, трансформуючи природні ландшафти та залишаючи ландшафти в зміненому стані [132, 147, 217, 253]. Ландшафтна трансформація внаслідок відкритих гірничих розробок призводить до сильних змін у структурі наземного покриву, водотоків, мікроклімату, землекористування, угруповань живих організмів [125, 210]. У середині минулого століття щодо відновлення порушених земель в Україні розпочато перші широкомасштабні наукові дослідження, організатором і науковим керівником яких був професор М. О. Бекаревич [8]. Рекультивация стала важливою науково-практичною проблемою, вирішення якої потребує міждисциплінарної інтеграції, значних технічних і фінансових ресурсів [38]. Концептуальні основи вирішення проблеми відтворення ґрунтового покриву на територіях, які зазнали корінних трансформацій, розглядає новий науковий напрямок – техногенне ґрунтознавство [23, 41]. Антропогенний вплив на ґрунт проявляється в його сільськогосподарському використанні, розміщенні населених пунктів, хімічному забрудненні та техногенному руйнуванні [15]. Видобуток корисних копалин відкритим способом повністю знищує ґрунтовий та рослинний покрив [2].

Розвиток водного режиму ландшафтів після впливу гірничої промисловості зумовлений розвитком ґрунту, який є накопичувачем вологи в екосистемі та розвитком рослинного покриву, який є важливим споживачем вологи [110]. Сукцесія тваринних угруповань після рекультивації зазнає впливу різноманіття рослинних угруповань [80, 126]. Рекультивація підвищує якість ґрунту через покращення фізичних та хімічних властивостей, які допомагають у відновленні техноземів [207]. Технічний та біологічний етапи рекультивації є важливими для менеджменту порушених ландшафтів [129, 133, 195]. Принцип екологічної ніші повинен застосовуватися для теоретичного обґрунтування процесу відновлення земель, порушених гірничими розробками [240].

У вітчизняній традиції для вирішення проблем сільськогосподарської рекультивації особливу увагу приділено агрономічним та технологічним проблемам [43, 44, 45]. Питання просторової варіабельності угруповань мезопедобіонтів Нікопольського марганцеворудного басейну піднято в роботах К. В. Андрусевич [6, 7]. Вирішення проблеми закономірностей часової динаміки угруповань та популяцій наземних безхребетних, сформованих на техноземах Нікопольського марганцеворудного басейну потребує свого вирішення та є актуальною в науковому та науково-практичному плані.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами. Дисертаційна робота виконана в 2008–2019 рр. у рамках наукової програми кафедри біотехнології Державного вищого навчального закладу "Український державний хіміко-технологічний університет" як частина державних науково-дослідних тем: «Використання біотехнологічних та генетичних методів для підвищення ефективності біоконверсії мікробного синтезу та вирішення екологічних проблем» (номер державної реєстрації теми: 0111U008600) (2010-2015рр.), «Дослідження механізмів керування біотехнологічними процесами на основі біооб'єктів різних таксономічних

груп» № 51/160199 (номер державної реєстрації теми:116U000962). (2016-2019 рр).

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є встановити закономірності часової динаміки популяцій наземних безхребетних з екосистем, сформованих на техноземах Нікопольського марганцеворудного басейну.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- встановити характеристики різноманіття угруповань наземних безхребетних з екосистем, сформованих на техноземах;
- оцінити роль метеорологічних чинників як предикторів екологічної ніші наземних безхребетних у часовому аспекті;
- встановити закономірності фенології видів безхребетних як відгук їх чисельності в градієнті часу;
- оцінити роль вологості ґрунту в часовій динаміці популяцій безхребетних техноземів;
- визначити показники оптимумів та толерантності видів безхребетних до температури з урахуванням впливу інших метеорологічних чинників, часових та просторових змінних.

Об'єкт дослідження. Угруповання та популяції наземних безхребетних техногенних екосистем Нікопольського марганцеворудного басейну (Україна).

Предмет вивчення. Закономірності часової динаміки популяцій наземних безхребетних під впливом метеорологічних факторів та вологості ґрунту в умовах штучно створених ґрунтоподібних конструкцій – техноземів.

Методи дослідження. Облік наземних безхребетних у межах експериментального полігону було здійснено за допомогою пасток Барбера в 20 пробних майданчиках, які охоплюють п'ять типів техноземів: педоземи, та такі, що сформовані на лісоподібних суглинках, червоно-бурих глинах, сіро-зелених глинах та на технологічній суміші глин. Збір проводили протягом

2013–2015 рр., щороку протягом сезону збори по 26 разів у період з весни до осені, що дало змогу відслідкувати сезонну динаміку угруповань. Було досліджено шість груп безхребетних, близько пов'язаних з ґрунтовим середовищем та наземним рослинним покривом: молюски (Mollusca: Gastropoda), павуки (Chelicerata: Arachnida), двопарноногі (Myriapoda: Diplopoda), губоногі (Myriapoda: Chilopoda), мокриці (Malacostraca: Isopoda: Oniscidea), комахи (Tracheata: Insecta). Для кожного часу експозиції пасток були розраховані такі параметри середовища: загальна сума опадів за період, середнє значення доступної для рослин вологи, швидкості вітру, атмосферної температури, вологості та тиску. Були використані дані обліків Нікопольської метеостанції. Ці параметри середовища застосовані в якості екологічних предикторів екологічної ніші безхребетних. Для оцінки оптимуму та толерантності екологічних ніш безхребетних у градієнті факторів середовища застосовано метод зваженого середнього, метод генералізованих лінійних змішаних моделей (*Generalized linear mixed models*), ієрархічні моделі Хуїзмана, Ольфа та Фреско – HOF [134] та ординаційна техніка аналізу відповідностей. Таксономічне визначення жуків виконано професором О. М. Сумароковим, павуків – доцентом О. В. Прокопенко, Правильність таксономічних визначень молюсків перевірена професором С. С. Крамаренком. Для статистичних аналізів ми застосовували відповідні процедури для Statistica (Version 12.0, StatSoft Inc., <http://www.statsoft.com>) або R (version 3.5.2; R Core Team, 2018).

Наукова новизна отриманих результатів.

Уперше:

- встановлені показники видового та таксономічного різноманіття угруповань наземних безхребетних техноземів, які сформувались протягом піввікової сільськогосподарської рекультивациі;
- вперше показано, що адекватна оцінка оптимуму та толерантності екологічної ніші безхребетних у градієнті фактора можлива тільки з

урахуванням впливу інших екологічних факторів, часових та просторових патернів та специфіки, зумовленої типом технозему;

- запропонований підхід для аналітичного виділення фенологічних груп безхребетних, а також екологічних груп за їх ставленням до вологості та температури;

Удосконалено:

- процедуру оцінки динаміки вологості техноземів за метеорологічними даними з урахуванням альbedo поверхності техноземів.

Набули подальшого розвитку:

- концепція екологічної ніші Хатчинсона [137, 138] і способи її кількісної оцінки;
- принципи та методи екології техноземів [241].

Практичне значення отриманих результатів. У результаті проведеної роботи адаптовано підхід Пенмана-Монтейта для оцінки вмісту вологи в ґрунті для техноземів з урахуванням варіювання альbedo техноземів зі зміною їх вологості. Цей підхід може забезпечити розрахунковою оцінкою вмісту вологи як предиктора екологічної ніші безхребетних, що може бути практично застосовано для прогнозу чисельності як шкідливих у господарському відношенні тварин (фітофаги), так і корисних (зоофаги та фітофаги). Відомості про вміст вологи в техноземах можуть бути застосовані в практиці сільськогосподарського виробництва для вибору оптимальних стратегій господарювання на рекультивованих землях.

Розроблені підходи до оцінки зв'язку властивостей екологічної ніші наземних безхребетних з метеорологічними показниками можуть бути застосовані для створення довгострокових прогнозів динаміки угруповань тварин на основі перспективних проєкцій кліматичних режимів. Такий підхід надає можливість розробляти комплекс заходів у режимі реального часу для оптимізації екологічного стану техноземів у значній часовій перспективі.

Основні теоретичні положення й матеріали дисертації застосовуються при викладанні дисциплін «Екологічна біотехнологія», «Технологія

виробництв нанобіопродуктів», «Методи досліджень у біотехнологічних виробництвах», «Математичне моделювання в біотехнології», «Біоінжиніринг» у Державному вищому навчальному закладі "Український державний хіміко-технологічний університет".

Особистий внесок здобувача. Автор дисертації безпосередньо планував дослідження, провів аналіз сучасної наукової літератури, брав участь у зборі польових експериментальних матеріалів, лабораторному їх опрацюванні, особисто складав схеми, виконав аналіз та обробку отриманих наукових результатів, брав участь в апробації результатів та підготовці матеріалів до друку в наукових виданнях. Концептуальні рішення та обґрунтування нового напрямку досліджень, які знайшли своє відображення у висновках, науковій новизні та практичних рекомендаціях, є науковим результатом автора дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та результати досліджень доповідались й обговорювалися на щорічних засіданнях кафедри біотехнології; на науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу Державного вищого навчального закладу "Український державний хіміко-технологічний університет" (Дніпро, 2008–2019 рр.); на VIII міжнародній науково-практичній конференції «Сучасний рух науки», (Дніпро, 3–4 жовтня 2019 р.); на XXII Міжнародній науково-практичній конференції «Наука та освіта: досягнення та стратегії розвитку» (Запоріжжя, 4 листопада 2019 р.), на X Міжнародній науковій конференції “Zoocenosis–2019.” (Дніпро, 18–19 листопада 2019 р.).

Публікації. Основні матеріали дисертаційної роботи опубліковані у 9 наукових працях, із них 3 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз Web of Science або Scopus, 1 – у виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази Agricola; 2 – до видань, що входять до переліку фахових, 3 – до матеріалів наукових конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота викладена на 200 сторінках комп'ютерного тексту й складається з переліку умовних скорочень, вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Вона містить 46 таблиць і 40 рисунків. Список літературних посилань містить 257 джерел, 211 з яких – англійською мовою.

Подяки. Автор щиро вдячний за участь у зборі та в таксономічному визначенні видів рослин Г. О. Бондар, К. П. Масліковій, Д. С. Ганжі, К. В. Андрусевич, у зборі наземних безхребетних О. В. Жукову та К. В. Андрусевич, за таксономічне визначення та перевірку правильності визначення тварин О.М. Сумарокову, О. В. Жукову, С. С. Крамаренку, О. В. Прокопенко.

РОЗДІЛ 1.**ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЗЕМІВ ЯК СЕРЕДОВИЩА ІСНУВАННЯ
ҐРУНТОВИХ ТВАРИН****1.1. Екологічні основи сільськогосподарської рекультивації земель**

Антропогенний фактор давно віднесений до факторів ґрунтоутворення і роль його поступово підсилюється. Основними факторами антропогенної еволюції ґрунтів є механічний, хімічний, меліоративний прес на ґрунт, порушення природного балансу речовин та енергії, послаблення сталості ґрунтового покриву через надмірну оранку та нестачу лісів і пасовищ, що стабілізують ландшафт, розвиток урбанізації, промислових зон та інші впливи. Різноманітний і складний клас сучасних ґрунтів, які сформувалися або змінені під випадковим чи спрямованим впливом людини, називають антропогенними ґрунтами. Розвиток промисловості потребує використання значної кількості природної сировини та збільшення видобутку корисних копалин. Технології видобутку мають величезні масштаби та видозмінюють ландшафти. Унаслідок техногенного порушення територій відбувається вилучення з сільськогосподарського використання значних площ земельних угідь [37, 38]. Ґрунт разом з атмосферою відносять до косної частини біогеоценозу, проте косною є тільки його мінеральна основа. У цілому ґрунт розглядають як біокосне тіло, насичене живими організмами й різноманітними продуктами їх метаболізму. Як і живі компоненти біогеоценозу, ґрунт має свій вік, онтогенез і філогенез. Ґрунт еволюціонує, а при пошкодженні має здатність відновлювати свої властивості. Він – перехідна ланка зі світу живої природи у світ неживої, з біосфери в геосферу. Техногенна трансформація ландшафтів катастрофічно впливає на динаміку земельного фонду, який постійно скорочується [20]. Проблема рекультивації земель, порушених унаслідок відкритих розробок корисних копалин, є

актуальною для всіх промислових країн [241]. Більшість ґрунтів Землі відчуває антропогенний вплив. Він може проявлятися від взаємодії з атмосферою з видозміненим газовим складом до практично повного знищення при видобутку корисних копалин кар'єрним способом. Ґрунти природно-заповідного фонду відносяться до небагатьох винятків і вважаються умовно природними. Власне антропогенними ґрунтами (антросолями) називають ґрунти, що зазнали сильних впливів, які призвели до формування нового генетичного горизонту. Ґрунти ж, у яких результати діяльності людини виявляються в окремих властивостях морфологічно або аналітично, називають антропогенно-зміненими (трансформованими, модифікованими) [22]. Відновлення родючості ґрунтів та повернення в обіг земель, порушених гірничою промисловістю, відбувається в результаті виконання спеціальної технології, що має назву **рекультивация** (від лат. *re* – відновлення, і *cultus* – обробіток, уведення, розведення; дослівно «введення у використання», повторне використання) [166]. Рекультивация земель як комплекс робіт, направлених на відновлення продуктивності та господарської цінності земель, а також покращення умов навколишнього середовища, набула актуальності в багатьох країнах [42]. Території трансформованих внаслідок промислової діяльності ландшафтів у нашій країні займають більше мільйона гектарів, а катастрофічні зміни природних ландшафтів докорінно змінюють їх структуру. Наслідки впливу гірничодобувної промисловості розглядають у якості антропогенного орогенезу або як катастрофічні антропогенні, або, точніше, техногенні, сукцесії [31]. Поверхневі шари ґрунтів зазвичай піддаються інтенсивному забрудненню, що призводить до зниження життєвої активності ґрунтових організмів, втрати здатності ґрунтів до самоочистки від патогенів, що загрожує важкими наслідками для людини, рослинного й тваринного світу. Наприклад, у сильно забруднених ґрунтах тиф і паратифоїдні патогени можуть зберігатися до півтора року, тоді як в незабруднених ґрунтах вони можуть тривати лише два-три дні. Основними забруднювачами ґрунту є

пестициди, мінеральні добрива, відходи, викиди газу забруднювальних речовин в атмосферу, нафта й нафтопродукти. Навіть при незначних концентраціях пестициди пригнічують імунну систему організму, а при високих концентраціях мають виразні мутагенні та канцерогенні властивості. У законі України «Про охорону земель» визначено, що «... рекультивації підлягають землі, у яких відбулися зміни в структурі рельєфу, екологічному стані ґрунтів та материнських порід і в гідрологічному режимі в результаті проведення гірничодобувних, геологорозвідувальних, будівельних та інших робіт» [241]. У 1962 році в Україні було розпочато перші широкомасштабні наукові дослідження щодо відновлення порушених земель, організатором і науковим керівником чого був професор М. О. Бекаревич [8, 17, 37, 46]. Рекультивація стала важливою науково-практичною проблемою, вирішення якої потребує міждисциплінарної інтеграції, значних технічних і фінансових ресурсів [38].

Агрогенні ґрунти різного походження, складу і способів обробки об'єднують наявність слабо структурного орного горизонту з чіткою нижньою межею. Властивості агроґрунтів визначаються комбінаціями природних факторів, сучасних і минулих антропогенних впливів. Ці дії природоподобні по суті, але більш потужні за масштабами й швидкістю змін, що ними викликаються. Головною агрогенною зміною факторів є заміна природної рослинності з її високим біорізноманіттям і складною структурою угруповань, простими монодомінантними агроєкосистемами, з яких відчужується частина фітомаси. Це різко порушує хід біотичних процесів, послаблюється біологічна активність, змінюється кількість і якість гумусу в бік зменшення й спрощення складу, втрачається водотривкість структури. Наслідком цього виявляється трансформація ґрунтового клімату: збільшуються кліматичні контрасти, зростають суми активних температур, збільшується глибина промерзання, сила річного прогрівання, ростуть амплітуди температури й вологості. Антропогенний вплив на ґрунт проявляється в його сільськогосподарському використанні, розміщенні

населених пунктів, хімічному забрудненні та техногенному руйнуванні [15]. Грунт є найбільш консервативним компонентом біогеоценозу. Його буферні властивості сприяють збереженню цього типу біогеоценозу, регуляції теплового й водного режимів у біогеоценозах, нейтралізації токсичних речовин, що утворюються в біогеоценозах під час його життя. Крім того, він утримує поживні речовини від виносу за межі кореневого шару, є притулком для багатьох видів тварин і мікроорганізмів, а також і «зберігачем» насіння рослин, що складають біогеоценоз. Це сприяє поселенню й відновленню певних біогеоценозів з властивим їм набором рослин і тварин. Велика кількість ґрунтових функцій вимагає розробки найрізноманітніших прийомів його вивчення. Вплив людини на літосферу, у тому числі ґрунт, зараз наближається до меж, перехід яких може викликати незворотні процеси практично у всій поверхневій частині земної кори. У процесі трансформації літосфери з глибин видобувається величезна кількість корисних копалин, відкриваються великі площі земель, заболочені і засолені ґрунти, розширюється площа ярів. Відчуження від полів основних і підвиробних продуктів викликає часткові або повні розриви біологічних циклів речовин, порушення здатності ґрунту до саморегулювання й зниження його родючості. Найбільш деградують ґрунти агрокодецій. Видобуток корисних копалин відкритим способом повністю знищує ґрунтовий та рослинний покрив [2]. На їх місці формується антропогенно трансформований ландшафт – відвали, нерідко з токсичних порід, що призводить до забруднення довкілля – атмосферного повітря, вод, ґрунтово-рослинного покриву продуктами вивітрювання глибинних порід [10, 27, 37]. Основними видами впливу людини на ґрунти є ерозія, забруднення, вторинне засолення і заболочування, опустелювання земель, відчуження земель для промислового й комунального будівництва. Ерозія ґрунтів полягає в руйнуванні і знесенні верхніх, найбільш родючих горизонтів ґрунтів й основних порід вітром (вітровою ерозією) або потоками води (ерозія води). Відбувається запилення водного й повітряного басейнів, залучення в техногенний процес ландшафтоутворення

екологічно не властивих, а частіше біологічно шкідливих геохімічних елементів, які виносяться на поверхню в кількості, що набагато перевищує їх вміст у звичайному біологічному кругообігу [31]. Встановлено, що порушені ділянки несприятливо впливають на територію, яка приблизно в 10 разів перевищує площу безпосереднього порушення [8]. Унаслідок вітрової ерозії відбувається транспортування і відкладення у віддалених районах найдрібніших частинок ґрунту. Інтенсивність вітрової ерозії залежить від швидкості вітру, стійкості ґрунтів, рослинності, місцевості та інших факторів. Людські чинники мають величезний вплив на її розвиток: знищення рослинності, нерегульований випас худоби, неправильне використання агротехнічних заходів - усе це різко активізує ерозійні процеси. Водна і вітрова ерозії створюють умови для перерозподілу речовини, що призводить або до введення нового матеріалу, або до оголення горизонтів агроземів. Горизонти стають більш нестійкими, що прискорює їх трансформацію. Відсутність буферного ефекту природної рослинності робить гидротермічні режими орних ґрунтів істотно більш контрастними, які прискорюють ряд фізичних і біохімічних процесів. Також відкриті розробки викликають значні зміни гідрологічного режиму території. Робочі процеси, які відбуваються у кар'єрах, потребують величезної кількості води, з чим пов'язане зменшення рівня ґрунтових вод у районах діючих кар'єрів, причому зміни охоплюють території, які приблизно у 25 разів більші, ніж сам кар'єр [96, 241]. Навпаки, у рівнинних районах часто виникає локальне заболочування території, яке посилюється порушенням природного стоку акумулятивними формами неорельєфу [1, 63]. Це призводить до деградації природних ландшафтів як стійких систем і перетворення їх на антропогенезовані, що проявляється в збідненні або корінній видозміні флори й фауни, зниженні їх стійкості до техногенного навантаження [11]. Водна ерозія позначається на руйнуванні ґрунтів, спричинених тимчасовими потоками води. Існують пласкі, реактивні, яєчникові та прибережні форми водної ерозії. Як і у випадку з вітровою ерозією, умови для ерозії води

створюються природними факторами, а основною причиною її розвитку є діяльність людини. Зокрема, поява нової, важкої техніки обробки ґрунту, яка руйнує будову ґрунту. Крім того, знищення рослинності та лісів, перегрів худоби, обробка ґрунтових відходів тощо сприяють розвитку ерозії. Ґрунти в місті живуть і розвиваються під впливом тих же факторів ґрунтоутворення, що й природні ґрунти, але антропогенний фактор тут стає визначальним. Екологічні відмінності міських природних комплексів від самого початку зумовлені його екологічною, географічною й віковою неоднорідністю. Багатство рослинності зумовлено екотонним ефектом. З іншого боку, хімічне забруднення змінює ґрунтовий поглинаючий комплекс, гранично скорочує різноманітність ґрунтової біоти. У механічно не порушених урбанізованих ґрунтах створюються умови для прискореного протікання деяких біохімічних і фізичних ґрунтових процесів з причин теплюючого впливу міських комунікацій, зміни в обсязі й часі надходження опаду, внесення добрив [22; 290]. Безумовно, швидкість ґрунтоутворення коригується зональним положенням. Якщо присутня зміна рельєфу, то це впливає на водну й повітряну міграцію полюдантів. Підвищена конвекція в атмосфері міста й техногенна запиленість призводить до збільшення числа гроз, інтенсивності злив і загальної кількості опадів. Поверхневий стік на міській території вдвічі вищий, що робить індустріальне місто осередком площинної ерозії та ерозії схилів.

Рекультивация порушених земель відповідно до вимог ГОСТ 17.5.1.01–84 повинна здійснюватись у два послідовних етапи: технічний та біологічний [241]. Технічний етап рекультивации передбачає формування первинного техногенного ландшафту. Головною метою цього етапу є інженерна підготовка території, яка забезпечує можливість відновлення родючості порушених земель [96]. Біологічний етап рекультивации включає комплекс агротехнічних і фітомеліоративних заходів по безпосередньому процесу відновлення родючості порушених земель [31]. За Л. В. Єстеревською розрізняють три послідовні етапи рекультивации. Перший - проектно-

дослідницький, або попередній, на якому вивчаються можливості та передумови здійснення рекультивації, визначається її напрямок і створюється проєкт усього комплексу робіт [19]. На другому, гірничотехнічному, здійснюється увесь комплекс гірничотехнічних робіт, передбачених проєктом [96]. Основною метою проведення гірничотехнічного етапу є створення на порушених землях підстилаючого шару із розкривних гірських порід належної потужності та якості й нанесення на його поверхню шару чорнозему або потенційно родючої розкривної породи [27]. Третій, заключний етап, при сільськогосподарській і лісогосподарській рекультивації називають ще біологічним. На цьому етапі формують фітоценоз згідно з проєктом і об'єкт рекультивації освоюється за вибраним напрямком [19].

Основне завдання рекультивації полягає в тому, щоб відновити порушені землі до стану, придатного для їх використання в сільському, лісовому, рибному господарствах, для промислового та комунального будівництва, створення тепличних господарств і зон відпочинку [32]. Рекультивація також має соціальне значення – виховання бережливого ставлення до природних ресурсів [27]. Головною метою рекультивації є відтворення продуктивності порушених територій і повернення їх у використання, що передбачає проведення комплексу інженерних, гірничотехнічних, меліоративних, сільськогосподарських та лісогосподарських робіт [3]. Комплекс робіт включає заходи щодо покращення навколишнього середовища, які усувають негативні фактори – забруднення ґрунтів, ґрунтових вод, трансформацію деградованих форм рельєфу та ін. [4]. У цьому відношенні рекультивація земель ототожнюється з поняттям ландшафтно-екологічної ґрунтової конструкції – реставрації або формування нового культурного ландшафту [20].

Гірниче видобування корисних копалин особливо відкритим способом призводить до значного порушення довкілля [110]. Рекультивація здатна відновити якість ґрунтів після видобутку корисних копалин протягом певного часу з кінцевою ціллю формування стійких та продуктивних

екосистем [207]. При створенні різних ґрунтових конструкцій у процесі рекультивації земель часто не беруться до уваги можливі віддалені наслідки, які можуть виникнути у зв'язку з особливостями клімату, літології, гідрології та інших техногенних ландшафтів [39, 205]. У результаті функціонування цих конструкцій відбуваються значні зміни фізичних властивостей та процесів, які протікають у рекультиваційному кореновому шарі [43, 248, 253]. У зв'язку з цим постає актуальна необхідність вивчення властивостей та процесів у рекультиваційних ґрунтових конструкціях, в аналізі їх сучасного стану та прогнозу еволюції з урахуванням цільового спрямування ґрунтової конструкції та особливостей конкретних умов [257].

Функціональна залежність між ґрунтом і факторами ґрунтоутворення вкрай складна і досі не має повного рішення. Згідно з ученням В.В. Докучаєва зв'язок ґрунту з середовищем здійснюється завдяки ґрунтоутворювальному процесу, що поступово перетворює вихідний геологічний субстрат в ґрунт. Ґрунтоутворювальний процес розглядається як передатний механізм від факторів середовища до властивостей ґрунтів. Насипні ґрунтові конструкції можна віднести до типу техноземів гумусоакумулятивних [14]. Техноземи, сформовані в процесі рекультивації, значно відрізняються від зональних ґрунтів рівнем родючості (трофністю), фізичними, водно-фізичними та іншими екологічно важливими показниками [27]. Значна горизонтальна неоднорідність є характерною властивістю рекультоземів [28]. Родючість ґрунтів тісно пов'язана з її морфологічними характеристиками, такими, як колір ґрунту, структурність, потужність гумусового шару, щільність складання [248; 417]. Головним прийомом польових ґрунтових досліджень морфологічних характеристик ґрунту і його генетичного аналізу в цілому є профільний метод дослідження ґрунтів, в основі якого лежить морфологічне виділення генетичних горизонтів і їх послідовне детальне дослідження. Він проводиться з метою з'ясування значення і генетичного сенсу тих чи інших морфологічних ознак і будується на основі сполученого макро-, мезо- і мікроаналізу, виходячи з концепції

рівнів структурної організації ґрунту. Під структурним рівнем організації того чи іншого об'єкта розуміється така група матеріальних об'єктів певної форми, будови і складу, всі індивідуальні представники якої характеризуються принципово однотипним характером перетворення речовини й енергії та однотипними як за напрямком, так і за інтенсивністю взаємодіями [285]. Просторова мінливість властивостей штучних ґрунтів призводить до строкатості екологічних умов для функціонування мікробо-, фіто- і зооценозу в техноземах [15]. Для того, щоб створювати більш стійкі ґрунтові конструкції, необхідно більше знати про процес ґрунтоутворення та перш за все про фізичні властивості агрегованих і гетерогенних природних тіл, таких, як природні ґрунти [245].

Раціональна сільськогосподарська рекультивация передбачає створення на місці відпрацьованих кар'єрів штучного ґрунтового покриву з оптимальними параметрами фізичних властивостей і режиму живлення [241]. Головним критерієм якості виконаних рекультивацийних робіт є відновлення ґрунтово-екологічних функцій у знову створених ландшафтах [20, 44]. У результаті багаторічних досліджень встановлено, що родючість властива не лише ґрунтам, а й деяким гірським породам [8]. Це дозволило згрупувати їх за ступенем придатності для біологічної рекультивации [37]. Факторами, які визначають придатність гірських порід до сільськогосподарського використання, є їх склад і властивості [46, 96].

Сформовані техногенні ландшафти роблять негативний екологічний вплив на навколишнє середовище, зумовлюючи ланцюг незворотних і згубних для всього живого на Землі наслідків [205]. Основними причинами довгострокової проблеми в рекультивации промислових земель є недостатність науково обґрунтованих, економічно доцільних технологій, які забезпечують високий екологічний та соціальний ефект [2, 3]. Провідними механізмами трансформації техногенних ландшафтів у природні є біологічні процеси, які призводять до розвитку біогеоценозу [10]. Формування ценозу будь-якого рівня визначається ефективністю біологічного етапу

рекультивації, яка створює необхідні ґрунтово - біологічні процеси для відновлення родючості порушених територій [12].

Рекультивація – комплексна система заходів перетворення техногенних ландшафтів з метою досягнення екологічної рівноваги в новій природно-антропогенній системі й створення умов для цільового використання відновлених територій у різних галузях господарювання [27]. Рекультивація являє собою комплексну науково-практичну задачу з відновлення функціональності біогеоценотичного покриву, порушеного внаслідок техногенного впливу й формування нової ієрархічної організації [19, 22, 241]. Необхідно відзначити обмеження за фактором часу, оскільки відновлення функцій, втрачених у результаті техногенезу, повинно відбутися в межах економічно та екологічно виправданого часового проміжку [230]. За функціональністю рекультивовані землі можуть перевершити вихідний ґрунтовий покрив – ефект Бекаревича [8]. Але в структурному відношенні рекультоземи значно відрізняються від природних аналогів на всіх просторово-ієрархічних рівнях [205].

Створення оптимально організованих й екологічно збалансованих ландшафтів при освоєнні порушених земель досягається вдалим поєднанням штучного екотопу і біоти [21]. Початковим етапом рекультивації служить технічний етап, при якому проводиться коригування ландшафту й здійснюється нанесення родючого шару ґрунту. Основними індикаторами, що визначають продуктивність рекультивованих земель і ступінь їх придатності для існування біоти, є величина актуальної кислотності (рН) та їх засоленість [33–36]. Заключним етапом відновлення порушених земель є біологічний етап рекультивації [20]. Серед біоти важливу роль у створенні механізмів стійкості техногенних екосистем відіграє ґрунтова мезофауна, зокрема представники її сапротрофного комплексу – дощові черв'яки, енхітреїди, двопарноногі багатоніжки, стоноги та ін. Ці тварини в результаті своєї трофо-метаболическої діяльності вносять значний екологічний внесок у перетворення ґрунтових властивостей ґрунтів [5–7, 28–30, 40].

Техногенно порушені землі спочатку малопродатні для активного ґрунтоутворення і на довгий час залишаються техногенними пустками [8]. Ґрунтоутворні породи техногенних поверхневих утворень поступово втягуються в процеси вивітрювання, вилуговування, інші біологічні перетворення породного матеріалу в ґрунтову масу [4]. Однак процеси первинного ґрунтоутворення в них ідуть повільно, навіть незважаючи на те, що породи оточені природними екосистемами з великими біологічними, в тому числі ґрунтовими, ресурсами, і схильні до біогеоценологічного обміну [19]. Біологічна рекультивация, безумовно, активізує відновлення ґрунтових властивостей, але і в цьому випадку техноземи довгий час не зможуть розглядатися як ґрунт у докучаєвському сенсі цього поняття [37]. Це постлітогенні ґрунти, у верхніх горизонтах яких присутні залишки розкритих і вміщуючих порід різного ступеня консолідованості, різного ступеня дисперсності і міцності, збіднені біогенними елементами [19]. Тому самопоселенці таких ґрунтів і культурні рослини, привнесені з біологічною рекультивациєю, виявляються в малопродатних умовах життєдіяльності, наближених до екстремальних [241].

Поняття «ґрунтово-екологічний стан техногенних ландшафтів» не є загальноприйнятим. Офіційним можна вважати термін «екологічний стан території» [16]. При оцінці цього стану об'єктом досліджень є екологічний стан будь-якого компонента природного середовища, у тому числі й ґрунтового покриву [20]. Ґрунтово-екологічні дослідження порушених територій є вирішенням спільного завдання – діагностики стану конкретного техногенного ландшафту, у плані оцінки перспектив самовідновлення в ньому ґрунтового покриву як головного компонента будь-якої наземної екосистеми [2–4]. У розкритій товщі геологічних відкладень родовищ корисних копалин степу України основну масу складають полімінеральні полідисперсні нефітотоксичні гірські породи, які використовуються як підстилаюча основа (підґрунтя педоземів) при створенні штучних едафотопів з насипним шаром ґрунтової маси або без покриття шаром ґрунту (літоземи).

За термодинамічними показниками полімінеральні гірські породи характеризуються як потенційно-здатні до ґрунтоутворення. Кращі характеристики за ступенем прояву в них потенційної ефективної родючості мають сіро-зелені мергелісті, темно-сірі, червоно-бурі глини та лесоподібні суглинки. У техногенних екосистемах ґрунти формуються заново практично на безживних глибинних гірських породах, що винесені на земну поверхню [15]. Техноземи знаходяться в стані активного ґрунтоутворного процесу, мають високий ступінь просторової неоднорідності, яка формує закономірну просторову структуру [250]. Техногенні екосистеми дуже молоді, схильні до несподіваних трансформацій, але вони передбачувані за допомогою біоіндикаторів, зміна яких у ході сукцесії підпорядковується певним закономірностям [9]. Окремі організми, їх комплекси, фізіологічні та біохімічні процеси як біоіндикатори, відображають вплив відносно біосистеми зовнішніх факторів середовища [28–30, 102, 171, 172].

1.2. Оцінка екологічних режимів техноземів

До техногенних ґрунтів відносяться ґрунти, що знаходяться у сфері впливу паливно-енергетичного комплексу та гірничодобувної промисловості. Така назва ґрунтового тіла виходить з того, що ці ґрунти є продуктом взаємодії техніки з природним середовищем. Вони утворені в техногенних ландшафтах, де за допомогою потужної техніки руйнується ґрунтовий покрив, а потім відтворюється інший, який не має ґрунтового профілю в генетичному Докучаєвському сенсі [96]. Від природних ґрунтів ці специфічні техногенні утворення, перш за все, відрізняє не тільки відсутність генетичних горизонтів у класичному розумінні, а й наявність ґрунтово-техногенних горизонтів, які відчують сукупний вплив антропогенних чинників і природних процесів ґрунтоутворення. Також техногенні ґрунти характеризуються трансформованим гумусованим шаром ґрунту або його відсутністю, специфічними включеннями техногенної природи, наявністю специфічної структури нижньої частини гумусованого шару ґрунту або

верхнього підґрунтя. Щільна горіхувато-призматична структура нижньої частини гумусованого шару є наслідком впливу важкої техніки при формуванні тіла ґрунту. Діагностика техногенних ґрунтів ускладнена протіканням антропогенних процесів, що мають перевагу над природними, особливо в початковий період розвитку [182]. Гетерогенність діагностичних показників значно перевищує розкид ознак, які спостерігаються в природі, і часто визначає їх спорадичний характер. Ґрунт як трьохфазна полідисперсна система є опорою для рослин і тварин, дозволяючи їм зберігати вертикальне положення [7, 250]. У ньому тривалий час зберігаються насіння та інші види зачатків, тим самим сприяють підтриманню життя в мінливих екологічних умовах [102]. Ґрунти є не тільки фізичним середовищем існування для живих організмів. У ґрунтах вони знаходять для себе джерела поживних елементів і вологи в доступній формі [7]. У той же час ґрунт володіє і резервом елементів живлення, які поступово через руйнування мінеральної маси поповнюють доступні форми, тим самим підтримуючи необхідні умови існування для живих організмів [20]. Здатність ґрунту містити в собі хімічні елементи, необхідні живим організмам, у розчинній формі і в той же час утримувати їх від вимивання пов'язана з її поглинальною здатністю за рахунок величезної поверхні складових її компонентів [10]. У результаті ґрунтоутворювального процесу материнські породи поступово набувають сприятливих для живих організмів властивостей, у них накопичуються необхідні елементи живлення, енергія, акумульована при фотосинтезі, і вивільняється в тепловій та хімічній формі [1]. Ґрунти здійснюють різні санітарні функції, які полягають у деструкції органічного опаду і в обмеженні розвитку хвороботворних мікроорганізмів [147]. У зв'язку з цим важливого значення набуває вивчення фізичних, хімічних і біологічних властивостей, винесених на поверхню гірських порід, у яких формується едафотоп, що рекультивується (у загальноприйнятому значенні едафотоп включає ґрунти та підстилаючі їх материнські породи і ґрунтові води за Сукачевим), та будову, товщину і родючість самого едафотопу, що

рекультивується [8, 37, 38]. На відміну від інших видів рекультивації (лісової, рекреаційної, заповідних територій та ін.), при сільськогосподарському напрямку рекультивації особливе значення має формування стабільного рельєфу порушених земель [20]. На стабілізаційному біологічному етапі рекультивації необхідно інтенсифікувати фізичні процеси, що відбуваються в ґрунті [46]. Знання цих процесів дозволить визначити найбільш раціональний для цих умов напрям рекультивації земель [32]. При відкритому способі добування корисних копалин вилучаються із надр, розпорошуються, накопичуються, перемішуються і переміщуються, тобто опиняються в змінених геохімічних умовах значні маси гірських порід [31]. Вони є якісно новими едафо-технічними компонентами екосистем зі специфічним складом та фізичними властивостями і взаємодією з навколишнім природним середовищем, їх успішне біологічне освоєння потребує спеціальних наукових досліджень [22].

Розвиток водного режиму ландшафтів після впливу гірничої промисловості може бути зумовлений двома компонентами: розвитком ґрунту, який є накопичувачем вологи в екосистемі, та розвитком рослинного покриву, який є важливим споживачем вологи [110]. Альbedo земної поверхні, евапотранспірація та нерівність поверхні є ключовими факторами фізичної взаємодії земна поверхня-атмосфера [65]. Гідрологічний бюджет в цілому зазнає впливу опадів та евапотранспірації [192]. Ці два кліматичні компоненти значною мірою визначають кількість вологи, яка є доступною для рослин, або, якщо мова йде про аридні або семіаридні регіони, визначають кількість водного дефіциту [227]. Відмінності в швидкості випаровування ґрунтом можуть бути наслідком впливу біомаси ґрунту або рослинного покриву, які є різними в ґрунтах з різною товщиною органогенного шару [228]. Евапотранспірація є ключовим елементом структури водного балансу ландшафту [131]. Швидкість випаровування води суттєво впливає на просторовий розподіл показників вологості ґрунту [98]. У

семіаридних регіонах евапотранспірація є найважливішим механізмом втрати води з кореневої зони [196, 235].

Для оцінки евапотранспірації на регіональному рівні застосовується широке різноманіття методів моделювання [92, 194, 219]. Існують прямі та непрямі методи оцінки евапотранспірації [85]. До непрямих методів належать ті, що базуються на концепції актуальної евапотранспірації на відміну від концепції потенціальної евапотранспірації та застосовують метеорологічні дані [204]. На рівні сільськогосподарського поля була створена модель для визначення евапотранспірації для визначення базального коефіцієнту сільськогосподарської культури на основі спостережень за нормалізованим диференціальним вегетаційним коефіцієнтом (NDVI) [135]. Показано, що щоденна евапотранспірація може бути розрахована на основі вимірювань теплового потоку з поверхні Землі, вимірюваного на основі мультиспектральних цифрових аерофотознімків [89]. За FAO рівняння референсної евапотранспірації Пенмана-Монтейта є базовим інструментом для розрахунку евапотранспірації на основі метеорологічних даних [48–50, 184]. Було показано, що рівняння Пенмана-Монтейта є надійним у широкому діапазоні умов середовища [128]. Для його застосування необхідні погодні дані про максимальну та мінімальну температуру, сонячну радіацію, відносну вологість повітря та швидкість вітру на висоті 2 м. Цей підхід було випробувано та перевірено [139, 185, 188]. Першим кроком в оцінці актуальної евапотранспірації є розрахунок потенціальної евапотранспірації на основі метеорологічних даних, використовуючи рівняння на основі аеродинамічної теорії та енергетичного балансу [176, 184]. У подальшому потенціальна евапотранспірація застосовується для оцінки актуальної евапотранспірації після застосування ґрунтового понижуючого коефіцієнту, який враховує наявність води, яка може випаровуватися [211]. Референсна сільськогосподарська евапотранспірація – це оцінка евапотранспірації для сільськогосподарської культури зі специфічними властивостями. Метод FAO-56 встановлює

особливі характеристики для референсних умов: сільськогосподарська культура – висота 0.12 м, стійкість поверхні – 70 с м^{-1} , альbedo – 0.23. У подальшому визначається референсна евапотранспирація з використанням рівняння Пенмана-Монтейта [48]. Було показано, що альbedo здатне суттєво впливати на швидкість евапотранспирації [203]. Альbedo є найголовнішим фактором, який контролює вплив клімату [239]. Вплив альbedo на евапотранспирацію змінюється протягом сезону. Найбільшою мірою альbedo впливає на евапотранспирацію у літні місяці [140]. Альbedo залежить від кольору ґрунту [189]. Встановлено, що колір ґрунту змінюється після рекультивації [209].

Штучні ґрунти, сформовані в процесі рекультивації, класифікують як техноземи. Ці створені ґрунти мають специфічні фізичні та хімічні властивості поряд з ризиком виникнення проблем, пов'язаних з токсичністю субстратів [162]. Вивчення розподілу властивостей ґрунту на різних масштабних рівнях необхідне для вдосконалення сільськогосподарської практики та оцінки впливу сільського господарства на навколишнє середовище. Мінливість властивостей ґрунту часто описується за допомогою класичних статистичних методів, які базуються на припущенні, що мінливість властивостей є випадковою в межах картографічних одиниць. Мінливість властивостей ґрунту є результатом багатьох процесів, що діють і взаємодіють в континуумі просторових і часових діапазонів. Крім того, властивості ґрунту часто демонструють просторову залежність. Це означає, що зразки, зібрані близько один до одного, мають схожі властивості в порівнянні зі зразками, які знаходяться далі. Тому параметрично-статистичні дані неадекватні для опису просторо залежних змінних, оскільки базуються на припущенні про незалежність вимірюваних значень від місця, де вони знаходяться в просторі. Було показано, що техноземи виконують екосистемні функції, такі як регуляція водного режиму [136]. Дослідження фізичних властивостей ґрунтів відіграє значну роль для оцінки успіху рекультивації земель [100]. Товщина гумусованого шару, гранулометричний склад,

щільність складення, шпаруватість, рН, вміст вологи, електрична провідність є важливими індикаторами для оцінки фізичних властивостей реконструйованих ґрунтів [55, 172]. Рекультивація підвищує якість ґрунту через покращення фізичних та хімічних властивостей, які допомагають у відновленні техноземів [206]. Було встановлено, що значні зміни в щільності складення, ґрунтової шпаруватості відбуваються після значного відновлювального терміну під впливом рослинності [84]. Доведено, що після періоду реабілітації вміст вологи, доступної для рослин, є сприятливим у рекультоземах. Але повітряні умови та водна проникність були менш сприятливими [149]. Водна провідність у стані насичення збільшується за умов застосування оранки та вирощування люцерни [152, 153]. Водовміщуюча здатність ґрунту була наближена до рівня контрольних значень вже після 25 років рекультивації [209]. У процесі рекультивації земель, порушених видобутком корисних копалин, рослинність виступає важливим ґрунтоутворювальним фактором. М. Т. Масюк [38] виділяє три етапи в процесі відновлення рослинності на звалищах, які відновлюються за технологією без застосування чорноземного шару: етап піонерного угруповання, етап простого угруповання й етап складного угруповання. Використання рослинності для індикації дозволяє точно оцінити якісні зміни, які відбуваються в літоземах під час їх біологічного розвитку [45].

1.3. Відгук видів у градієнті екологічних факторів

Біогеоценози – елементарні одиниці організації біосфери, що виділяються при вивченні живої природи на комплексному рівні. Це складна єдність, внутрішньо зумовлена цілісність якої ґрунтується на тісних взаємних зв'язках і взаємодіях живих і косних матеріальних тіл, що його складають. Вивчення природи й глибини взаємодій між живими й косними компонентами біогеоценозу – центральна проблема біогеоценології, основи якої як науки закладені В.В. Докучаєвим, В.М. Сукачовим, В.І. Вернадським,

О.Л. Бельгардом. Взаємозв'язки можуть бути прямими й складно опосередкованими, облігатними й факультативними, матеріально-енергетичними та інформаційними. Усі взаємодії дуже динамічні. Суттєві в одні моменти й при якихось поєднаннях вони можуть відсунутися на задній план чи стати менш важливими при інших поєднаннях. Зміни зв'язків компонентів біогеоценозу в часі можуть бути коливальними й короткочасними, викликати легкозворотні й легкозгасні зміни як окремих компонентів, так і систем в цілому, а можуть бути стійко векторизовані й тоді призводити до незворотних змін у стані й роботі біогеоценотичних систем. Звідси важливість дослідження й оцінки всіх зв'язків, у всій різноманітності їх станів і режимів. Часова та просторова динаміка чисельності популяції та різноманіття угруповання можуть бути пояснені на основі теорії ніші [201]. Одним з основних в сучасній екології є поняття екологічної ніші [107]. Терміном «ніша» визначають найдрібнішу одиницю поширення виду, а також місце вказаного організму в біотичному середовищі, його становище в ланцюгах харчування [53]. Узагальненим уявленням про екологічну нішу є погляд на нішу як місце виду в природі, зумовлене сукупним набором факторів зовнішнього середовища. Екологічна ніша передбачає не тільки розміщення виду в просторі, але і його функціональну роль в угрупованні [59]. Зв'язки між компонентами біогеоценозу визначають його структурно-функціональну організацію. Основними структурними компонентами біогеоценозу за В.М. Сукачовим є фітоценоз, зооценоз, мікробоценоз, що у своїй єдності утворюють біоценоз, а також кліматоп та едафотоп, які формують екотоп. Екологічна ніша – це сукупність факторів середовища, у межах яких мешкає той чи інший вид організмів, його місце в природі, у межах якого зазначений вид може існувати необмежено довго [87]. Оскільки при визначенні екологічної ніші слід враховувати велику кількість чинників, то місце виду в природі, що описується цими факторами, являє собою багатовимірний простір [86]. Такий підхід дозволив американському екологіві Г. Хатчинсону [137] дати таке

визначення екологічної ніші: це частина уявного багатовимірного простору, окремі вимірювання якого (вектори) відповідають факторам, необхідним для нормального існування виду. При цьому Хатчинсон виділяв нішу фундаментальну, яку може зайняти популяція при відсутності конкуренції (вона визначається фізіологічними особливостями організмів), і нішу реалізовану, тобто частину фундаментальної ніші, в межах якої вид реально зустрічається в природі та яку він займає при наявності конкуренції з іншими видами [137]. Реалізована ніша завжди менше фундаментальної. У межах своєї екологічної ніші організми повинні не тільки зустрічатися, але й бути здатними до відтворення. Оскільки існує видова специфічність до будь-якого екологічного чинника, то й екологічні ніші видів специфічні. Кожен вид має свою, властиву йому екологічну нішу. Теорія ніші прогнозує, що розподіл виду зазнає впливу внаслідок відмінностей між оптимумом виду та факторами середовища [137]. Екоморфи відбивають ставлення живих організмів переважно не до екологічних факторів як таких, а до синтетичних (типологічних) обставин біогеоценозу як цілого. Ґрунт має особливий статус біокосного тіла та багатьма дослідниками вважається перехідною ланкою між живою та неживою речовиною [249], і в цьому зв'язку нетривіальним питанням науки є пізнання форм та міри подібності-розбіжності властивостей ґрунту та живої речовини. Його існування трактується дослідниками з позицій генетичного ґрунтознавства. Більш-менш помітні зміни в складі чи функціонуванні ґрунту характеризуються тимчасовими межами в десятки або сотні років. Однак ґрунт – це повноцінний компонент біогеоценозу, що знаходиться у взаємодії з іншими його компонентами в кожний момент свого існування. Рослини і тварини, виконуючи функцію виробників детриту, сприяють утворенню гумусу, необхідного для запуску будь-якого елементарного ґрунтового процесу й стають його активними учасниками. У свою чергу, відбувається метаморфізація ґрунтового матеріалу. Ґрунт як біокосна система пристосовується до умов свого існування в системі ґрунтоутворювальних факторів шляхом розвитку часової

й просторової гетерогенізації, формуванням анізотропної будови зі специфічним горизонтальним і вертикальним профілями [240]. Екологічний характер перетворень складає передумови для формування екоморфічного підходу у вивченні організації ґрунтового тіла. Фільтрування середовищем, біотичні взаємодії та міжвидова конкуренція мають велике значення для формування патернів видового різноманіття та композиції [87]. Наявність і неоднорідність ресурсів впливають на склад і структуру біотичних угруповань, а також на розподіл видів в природних екосистемах. Ряд робіт показують позитивний зв'язок між неоднорідністю ґрунтових ресурсів і різновидом біотичних угруповань. У свою чергу, просторова мінливість ґрунтових ресурсів залежить від щільності та складу рослинного угруповання. Сукупність біотичних та абіотичних умов, у яких організм може вижити та розмножуватися, розглядаються в якості екологічної ніші [138]. Екологічна ніша може розглядатися в контексті двох вимірів: грінеліанському та елтоніанському [214]. Грінеліанська ніша бере до уваги важливість цього переліку ресурсів для існування виду [99]. Грінеліанська ніша розглядається з двох боків: по-перше, як комплекс умов існування та, по-друге, як поведінкові адаптації, які дозволяють організмам зберігатися та продукувати нащадків [119]. Елтоніанська ніша зосереджена не тільки на розгляді відповіді виду на вплив умов середовища, а також на розгляді впливу видів у середовищі. Ніша віддзеркалює місце виду в біотичному середовищі та його відношення до їжі та ворогів [107].

Вимірювання властивостей ніші стосується таких проблем як проблема діапазону, проблема відстаней та проблема нелінійності [91]. Форма кривої відгуку має теоретичне та практичне значення [57]. Ніша може бути кількісно описана за допомогою позиції ніші та ширини ніші [118]. Такі параметри відгуку виду як оптимум або ширина ніші залежать від форми моделі [142] та можуть бути застосовані для пояснення екологічної поведінки видів [174]. Усі атрибути моделі, за винятком оптимуму, зазнають значного впливу властивостей множини даних, ось чому важко встановити реальні

характеристики ніші видів [174]. Ширина ніші – це дистанція в межах ніші уздовж деякої конкретної лінії у нішевому просторі [91, 213]. Ширина ніші є суттєво зворотною екологічній спеціалізації [150]. Було показано, що різні аспекти розміру ніші, такі як кліматична толерантність, ширина спектру оселищ або ширина трофічного спектру, впливають на розмір ареалу виду [113]. Термін спеціалізація застосовується для різних рівнів біологічної організації (особини, види, популяції та угруповання) та вимірюється на різних просторових рівнях [99]. Внутрішньовидові та міжвидові взаємодії та умови середовища впливають на позицію ніші та ширину ніші [78, 158]. Міжвидова конкуренція є домінуючою силою в угрупованні тварин, яка спричиняє зсув ніші [218]. Загальна теорія різноманіття, яка інтегрує метаболічні принципи з нішезумовленим поєднанням угруповання, прогнозує, що зменшення температури середовища повинно зменшувати ширину ніші вздовж градієнту середовища внаслідок зменшення швидкості росту, та зміна ширини ніші повинна призвести до більш чіткого розрізнення патернів α - та β -різноманіття [179].

Найпростішим способом оцінки оптимуму виду для унімодальної моделі відгуку виду є розрахунок зваженого середнього значення змінної середовища в зразках, де вид присутній [212]. Метод зваженого середнього для оцінки відносного значення видів був розроблений Куртісом та Макінтошем [94]. Аналіз відповідностей базується на припущенні про симетричну відповідь уздовж градієнта середовища [221]. Гаусова дзвіноподібна модель відповіді є класичною та такою, що часто застосовується моделлю [115]. Якщо відношення між зустрічами виду та кількісним значенням змінної середовища відповідають дзвіноподібній кривій, тоді оптимальне значення змінної середовища для виду може бути встановлене за допомогою усереднення серед зразків, у яких вид зустрічається, або може бути знайдене середнє зважене через зваження за чисельністю виду [224]. Аналіз відповідностей базується на припущенні про симетричний унімодальний характер відгуку виду уздовж градієнту

середовища [221] ось чому зважене середнє є основою цієї ординаційної техніки [130]. Генералізовані лінійні моделі дозволяють моделювати симетричні дзвіноподібні криві відгуку [224]. Підхід Хуїзмана-Ольфа-Фреско (HOF) пропонує широкий перелік моделей, які характеризуються статистичною коректністю, гнучкістю та можливістю бути екологічно інтерпретованими [134]. Цей комплекс моделей був розширений і таким чином може охопити сім патернів екологічної ніші [142].

Угруповання наземних макробезхребетних в аридних та семіаридних екосистемах представлені комахами, павуками, молюсками, багатоніжками [117]. Серед комах наземні жуки (особливо Carabidae, Scarabaeidae та Tenebrionidae) формують найбільш значну складову угруповання в аридних екосистемах [151]. Павуки є домінантними хижаками та багатою на види групою в багатьох наземних екосистемах [198, 236]. Сапротрофні артроподи виконують ключову роль в обігу органічної речовини в межах більшості екосистем [183]. Багатоніжки, мокриці та інші сапротрофні макроартроподи класифіковані як трансформатори підстилки [157] та представляють ключових регуляторів розкладу листової підстилки у межах екосистем [95]. Чагарниковий покрив та видове багатство трав'янистих рослин є найкращими предикторами складу угруповання детритоїдних та рослиноїдних жуків. Для структури угруповань хижих жуків найкращими предикторами були висота проективного покриття кущів [164]. Чутливість сапротрофних артропод до впливу навколишнього середовища робить їх незамінними біоіндикаторами [182, 215]. Вологість повітря та вміст вологи в ґрунті впливають на активність та розподіл наземних ізопод [231]. Кліматичні фактори, хижацтво та, меншою мірою, паразитизм, є найголовнішими причинами смертності ізопод [231]. Було показано, що ареалогічні характеристики як рослиноїдних, так і хижих артропод скорельовані як з шириною трофічної ніші [62, 75], так і з шириною переліку типових оселищ виду [74]. Розподіл та чисельність павуків залежить від трьох осей екологічної ніші: вітер, вологість та температура [236]. Зустрічі

видів павуків часто залежать від факторів, таких як структура рослинного покриву, вологість ґрунту, порушення екосистем та режим менеджменту [68, 170]. Повідомлялось про важливість впливу властивостей ландшафтних оселищ на угруповання павуків [112]. Було виокремлено чотири чітких групи видів павуків (засолені луки, дюни, луки та заплавні ліси) уздовж градієнту ґрунтової вологості та засолення [79]. Слід відзначити, що в деяких дослідженнях переконливих кореляцій між факторами середовища та зустрічами павуків не було встановлено [168]. Просторовий розподіл карабід навколо меж сільськогосподарського поля в лісовому насадженні було досліджено за допомогою застосування логістичних кривих з переліку моделей Хуїзмана-Ольфа-Фреско [148]. Був показаний видоспецифічний вплив чагарникового покриву на групи артропод як індикаторів деградації завдяки дослідженню ширини та оптимуму екологічної ніші [127]. Механізми співіснування на множині ієрархічних рівнів були досліджені за допомогою моделей Хуїзмана-Ольфа-Фреско [155]. Взаємодії між рослинними угрупованнями та взаємодії між рослинним покривом та ґрунтом є важливими детермінантами угруповань жуків. Зміни рослинності мають більш великий вплив на структуру функціональних груп, ніж зміни ґрунту [164].

Глибокі підземні гірничі розробки здійснюють значний вплив на ландшафт, трансформуючи природні ландшафти та залишаючи їх у зміненому стані [133, 147]. Ландшафтна трансформація внаслідок відкритих гірничих розробок призводить до сильних змін у структурі наземного покриву, водотоків, мікроклімату, землекористуванні, угруповань живих організмів [124, 210]. Технічний та біологічний етапи рекультивації є важливими для менеджменту порушених ландшафтів [129, 195]. Технічний етап рекультивації значно трансформує середовище та вповільнює сукцесійну динаміку угруповань жуків [133]. Принцип екологічної ніші повинен застосовуватися для теоретичного обґрунтування процесу відновлення земель, порушених гірничими розробками [240]. Розподіл

патернів ґрунтової макрофауни сильно залежить від розвитку ґрунту після рекультивації [116]. Сукцесія тваринних угруповань після рекультивації зазнає впливу різноманіття рослинних угруповань [80, 125]. Угруповання жуків рекультивованих місцеперебувань визначається рослинним та ґрунтовим покривом [133]. Встановлено, що видове багатство угруповань комах рекультивованих територій зазнає впливу таких факторів середовища, як вік дерев, рослинне різноманіття та хімізм ґрунту [80, 105]. Мікрокліматичні умови, вологість, рослинний покрив та структура деревостану є найважливішими змінними середовища, які впливають на угруповання безхребетних на територіях, які залишились після відкритих гірничих розробок бурого вугілля [126]. Епігейні безхребетні на ранніх стадіях колонізації техноземів, представлені сукцесією, яка непрямим чином пов'язана зі змінами ґрунтових параметрів [121]. Застосування органічних відходів у поєднанні з ревегетацією приводить до швидкого зростання чисельності жуків [146]. Малі за розміром види Carabidae, які мають високу адаптивну здатність та високу екологічну пластичність, домінують в рекультивованих землях [144]. Гіпотеза «ширини ніші» за Брауном [76] була застосована для того, щоб пояснити структуру локальних угруповань нереккультивованих ділянок [75]. Дослідження характеристик ніш наземних артропод є все ще рідкісними [108], відомості про особливості відгуків для груп наземних безхребетних на вплив факторів середовища рекультивованих територій відсутні.

Драйленди (посушливі землі) включають аридні, семіаридні та сухі субгумідні території. Вода є найважливішим лімітним фактором у багатьох семіаридних трав'янистих екосистемах [88]. У межах драйлендів кількість опадів є недостатньою та вкрай мінливою в часі та більшою мірою такою, що її неможливо передбачити [197]. Вода, ґрунтові поживні речовини та рослинна біомаса є важливими ресурсами в аридних та семіаридних умовах, для яких тривалий період дефіциту переривається порівняно короткочасним періодом великого достатку. Екологічні процеси в аридних умовах часто

можуть бути описані парадигмою пульсації-резерву [90]. Короткий період високої доступності ресурсів звичайно запускається значними опадами та триває до стану вичерпування вологи [202]. Високі температури, низька вологість повітря та висока сонячна радіація сприяють високому рівню випаровування. Багато ґрунтів у посушливих умовах мають низький вміст органічної речовини та володіють низькою здатністю до утворення агрегатів [197]. Ці екологічні умови стають ще більш екстремальними в межах антропогенно трансформованих територій, включно екосистем, які зазнали рекультивациі [125].

Висновок по розділу

Аналітичний огляд сучасної наукової літератури дозволив обґрунтувати такі проблеми, які підлягають вирішенню. Для оцінки динаміки безхребетних з екосистем, сформованих на техноземах Нікопольського марганцеворудного басейну, необхідно встановити характеристики різноманіття угруповань наземних безхребетних. Актуальною проблемою є оцінити роль метеорологічних чинників як предикторів екологічної ніші наземних безхребетних у часовому аспекті. Також необхідно встановити закономірності фенології видів безхребетних як відгук їх чисельності у градієнті часу. Важливо оцінити роль вологості ґрунту в часовій динаміці популяцій безхребетних техноземів. Важливе значення має визначення показників оптимумів та толерантності видів безхребетних до температури з урахуванням впливу інших метеорологічних чинників, часових та просторових змінних. Усі ці завдання будуть вирішені в нашій дисертаційній роботі.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1. Експериментальний полігон

У «Стратегії розвитку Дніпропетровської області на період до 2020 року» відзначено, що Дніпропетровська область – один з найбільш розвинених промислових та аграрних регіонів України, який займає друге місце в державі за обсягами виробництва сільськогосподарської продукції. Аграрний сектор області налічує понад 4 тис. підприємств різних форм власності й господарювання, на яких працює більше 40 тис. чол. Основними галузями спеціалізації області є гірничодобувна, металургійна, машинобудівна, хімічна та електроенергетична, ракетно-космічне машинобудування. Чорна металургія характеризується наявністю повного циклу виробництва, яке містить видобуток сировини, його переробку й саме виробництво [241]. Дніпропетровська область є унікальною за різноманітністю родовищ корисних копалин. У її надрах зосереджена найбільша в Україні мінерально-сировинна база: 299 місценароджень різноманітних корисних копалин, з яких 95 – на сьогодні розробляються, і це 50 % їх загального по державі видобутку [18]. У значних кількостях здійснюється видобуток залізних, марганцевих і комплексних титано-цирконієвої руд, кам'яного вугілля, каолінів, облицювального каменю, газу та нафтопродуктів, сировини для виробництва будматеріалів, вогнетривких глин, вапняків, прісних підземних, мінеральних і радонових вод. Виявлено перспективні рудні прояви молібдену, міді, нікелю, ванадію і вольфраму [18].

З геологічними формаціями Українського кристалічного щита пов'язані унікальні родовища Криворізького залізорудного басейну, де розвідано 30 родовищ, з яких 18 експлуатуються. Залізні руди представлені багатими магнетит-гематитовими рудами, магнетитовими і окисленими залізистими

кварцитами. У південній та північній частинах басейну серед багатих руд виділяються бурі залізняки [18]. У теоретичних відкладеннях південного схилу Українського щита розташовані марганцеворудні родовища Нікопольського басейну – найбільшого у світі за запасами й промисловим значенням. Титано-цирконієві руди сконцентровані в прибережно-морських піщаних відкладеннях сарматського ярусу неогену. Розвідано два великих родовища: Малишевське і Вовчанське. Малишевське родовище інтенсивно розробляється філією «Вільногірський гірничо-металургійний комбінат» ЗАТ «Кримський Титан», Вовчанське – силами ТОВ «Демурінський ДЗК». Третє родовище техногенне – Балка Крута (м. Вільногірськ), експлуатується ТОВ «Кольорові метали» [18]. У межах області зосереджені 16 родовищ вуглеводнів, велика частина яких комплексна. Видобутком нафти, газу та газоконденсату на території області займаються такі підприємства, як ГПУ «Полтавагазвидобування», НГУ «Полтаванафтогаз», ГПУ «Харківгазвидобування». Балансові запаси кам'яного вугілля зосереджені на 56 об'єктах Донецького басейну. В області працює 10 шахт ВАТ «Павлоградвугілля». Глибина експлуатації вугільних пластів в області коливається від 220 до 715 м. Буре вугілля зосереджене на 18 родовищах Дніпровського басейну і на трьох – у Петриківському вугленосному районі, які ще не розробляються. Мінерально-сировинна база області на 30 % складається з паливно-енергетичних корисних копалин (нафта, газ, конденсат, кам'яне і буре вугілля), на 38 % – із сировини для виробництва будівельних матеріалів, решта – це руди металів, а також прісні і мінеральні підземні води. Гірничодобувний комплекс області протягом року випускає 116600000 т залізної руди, 2,2 млн. т марганцевої руди, 4,7 млн. т титанової руди, 11,1 млн. т вугілля і 53160000 т будівельних матеріалів. Видобуток і переробка мінеральної сировини викликають значні техногенні навантаження на навколишнє середовище [18].

Геологорозвідувальні роботи минулих років на території Магдалинівського, Новомосковського, Юр'ївського районів відкрито 13

нафтогазових родовищ. Родовища багатоярусні з різними співвідношеннями нафтових і газових ресурсів. За запасами сировини родовища оцінюються як дрібні. Обсяг видобутку невеликий і становить 10-12 % потреби області. У результаті проведених геологорозвідувальними організаціями пошукових робіт на території області виявлено золоторудні родовища «Сергіївське» і «Балка Золота» в Солонянському районі, «Балка Широка» у Нікопольському районі. Родовища «Сергіївське», «Балка Золота» відносяться до Сурської зеленокам'яної структури, яка має істотну схожість з золотоносними регіонами Канади, Австралії та Південної Африки. У світовій практиці зеленокам'яні пояси характеризуються високим проявом золотоносності, вміщуючи дві третини світових запасів золота. Місцезнаходження родовища «Балка Широка» пов'язане з Чертомською зеленокам'яною структурою [18].

У Нікопольському промисловому вузлі розташоване одне з найбільших у світі родовищ марганцевих руд. Його розробку здійснюють два гірничозбагачувальні комбінати – Орджонікідзевський і Марганецький, які повністю забезпечують виробництво марганцеворудної продукції в Україні. Орджонікідзевський ДЗК веде експлуатацію західної частини родовища підземним і відкритим способом. 5 шахт і 2 кар'єри розташовані на території Нікопольського і Томаківського районів. Ступінь розвідування родовищ на гірничозбагачувальних комбінатах досить висока. Балансові запаси марганцевої руди промислової категорії коливаються в межах 80 % від загальних запасів, а на діючих кар'єрах і шахтах – 85-95% [18].

Особливістю екологічної ситуації в Дніпропетровській області є те, що кризові явища на її території не локалізовані, а охоплюють цілі промислові агломерації, басейни видобутку корисних копалин (Криворізький залізорудний басейн, Західнодонбаський вугільний басейн, Нікополь-Марганець-Орджонікідзевський басейн, Дніпропетровсько-Днепродзержинсько-Новомосковська і Жовтоводсько-П'ятихатсько-Вільногірська агломерації) і прилеглі до них території. У результаті велика частина території області може бути віднесена до зон екологічного лиха. Ці

та інші причини призвели до значної деградації земельних ресурсів, високого рівня забруднення атмосфери промислових міст, підземних і поверхневих вод, накопичення значної кількості небезпечних, у тому числі і токсичних, відходів виробництва [18].

Дослідження проведене в Дослідницькому центрі Дніпровського державного аграрно-економічного університету (м. Покров, Україна). Експериментальний полігон для дослідження оптимальних режимів сільськогосподарської рекультивації був створений у 1968–1970 рр. Відбір зразків було зроблено на варіантах штучних ґрунтів (техноземів), які сформовані на лесоподібних суглинках, на червоно-бурих глинах, на сіро-зелених глинах, на технологічній суміші гірських порід та на лесоподібних суглинках з гумусованим верхнім шаром (70 см) (географічні координати полігону $47^{\circ}38'55.24''$ півн. шир., $34^{\circ}08'33.30''$ схід. довг.). Відповідно до WRB 2007 (IUSS Working group WRB, 2007) досліджувані ґрунти належать до RSG техносолей. Досліджені профелі задовольняють критерію для Сполік префіксу відповідно до кваліфікатора 20 % або більше артефактів (складається з 35 % або більше гірської породи) у верхньому 100 см шарі. З 1995 по 2003 у межах полігону вирощувалась суміш багаторічних трав, після чого розпочався процес натуралізації рослинного угруповання [237]. Перелік пробних майданчиків включає 20 сайтів у межах п'ятих типів техноземів, розміщених у межах полігону (Рис. 2.1).

2.2. Збір даних про тварин

Для дослідження просторово-часової мінливості чисельності (кількості зібраних особин), видового багатства та видового складу угруповання безхребетних тварин у межах експериментального полігону було зібрано зі застосуванням пасток. Термін «динамічна чисельність» застосовується в деяких дослідженнях, оскільки цей показник зазнає впливу не тільки популяційної щільності, а також й активності руху тварин [148].

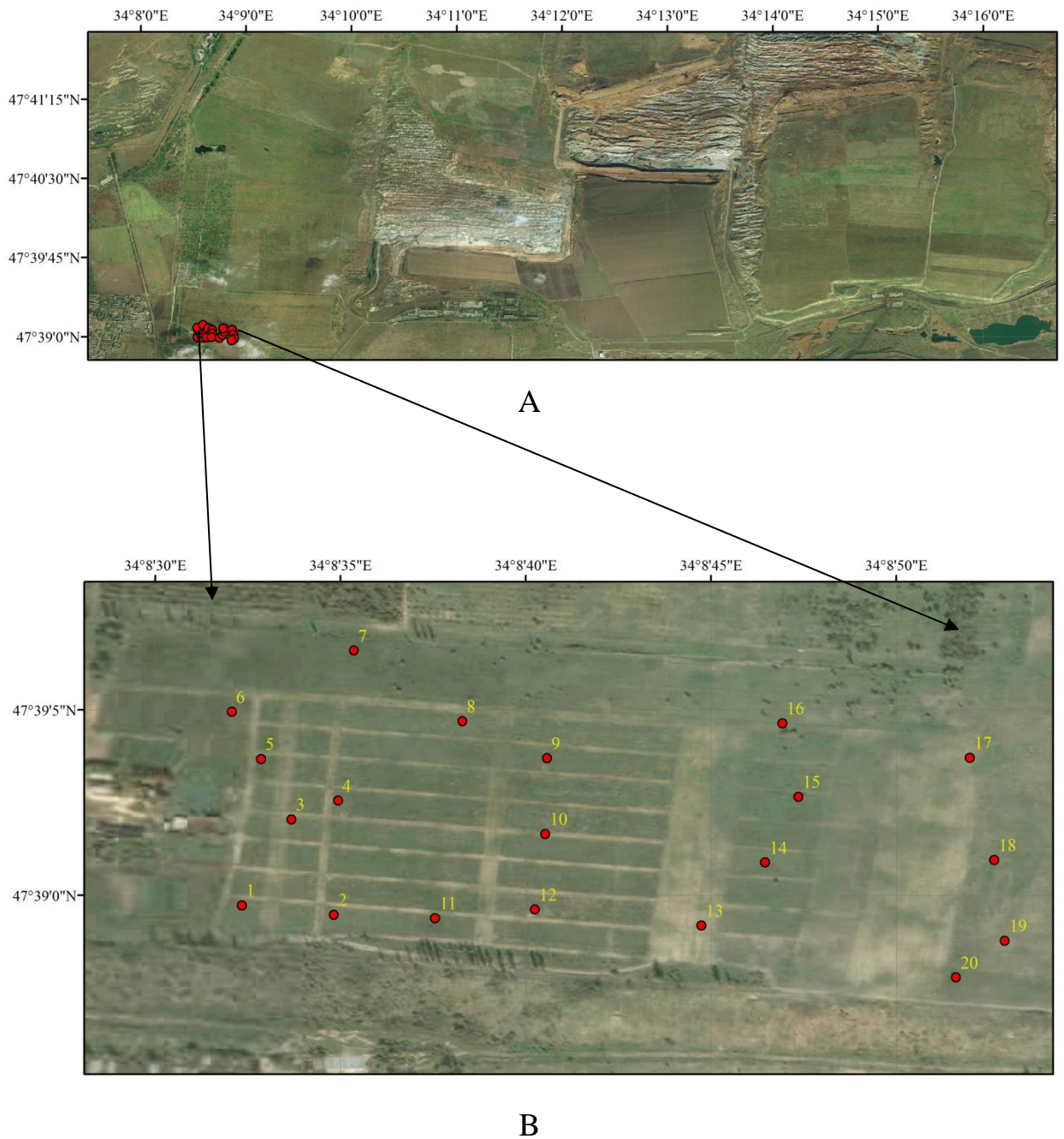


Рис. 2.1. Знімок з супутника (<https://www.bing.com>) ландшафту, трансформованого після відкритого видобутку (А) та Дослідницький центр Дніпровського державного аграрно-економічного університету в м. Покров (Україна) (В). Ділянки: 1, 2, 3, 5, 6 – техноземи на лесоподібних суглинках, 6, 7, 8, 9, 10 – техноземи на червоно-бурій глині, 11, 12 – техноземи на сіро-зеленій глині, 13, 14, 15, 16 – техноземи, сформовані на технологічній суміші гірських порід та на лесоподібних суглинках з гумусованим верхнім шаром (70 см), 17, 18, 19, 20 – техноземи на технологічній суміші гірських порід.

Ми дослідили сім груп безхребетних, близько пов'язаних з ґрунтовим середовищем та наземним рослинним покривом: (1) молюски (Mollusca: Gastropoda), (2) павуки (Chelicerata: Arachnida), (3) двопарноногі (Myriapoda: Diplopoda), (4) губоногі (Myriapoda: Chilopoda), (5) мокриці (Malacostraca: Isopoda: Oniscidea), (6) комахи (Tracheata: Insecta). У цілому, 60 пасток було застосовано одночасно кожного періоду відбору проб. На кожному майданчику було розміщено по три пастки по вершинах трикутника з довжиною сторони 3 м [97, 187]. Виїмка з пасток відбувалась кожні 7–9 діб. У 2013 р. пастки було розміщено 9 квітня. Виїмку того року було здійснено 26 разів. Точні дати виїмок були такими: 15, 22 та 30 квітня, 7, 14, 21 та 28 травня, 4, 11, 18 та 25 червня, 2, 9, 17, 24 та 31 липня, 7, 15, 23 та 30 серпня, 7, 15, 23 та 30 вересня, 7 та 14 жовтня. У 2014 р. пастки розміщено 5 квітня, а виїмку здійснили у такі дати: 5, 13, 20 та 28 квітня, 5, 13, 21 та 30 травня, 8, 17 та 24 червня, 1, 8, 17 та 25 липня, 1, 9, 18 та 26 серпня, 4, 11, 18 та 26 вересня, 5, 12, 19 та 27 жовтня. У 2015 р. пастки розмістили 6 квітня, а проби відібрано 14, 21 та 28 квітня, 5, 13, 20 та 27 травня, 3, 10, 17 та 24 червня, 1, 9, 17 та 24 липня, 2, 11, 18 та 26 серпня, 4, 11, 20 та 28 вересня, 6, 15 та 22 жовтня. У якості пасток застосовувалися 1-л скляні ємності (з діаметром 10 см), які були вкопані по обідок у рівень з поверхнею ґрунту. У ємності було 250 мл консервуючої рідини, виготовленої з концентрованого розчину NaCl, який є достатнім для збору безхребетних та відносно нетоксичний для інших організмів. Пастки було прикрито листом пластику для запобігання заливання під час опадів. Захисний лист пластику було розміщено на висоті 5 см над отвором ємності за допомогою чотирьох стрижнів, які фіксували кути листа.

2.3. Екологічні предиктори

Діапазон доступної для рослин вологи (ДДВ, мм у метровому шарі ґрунту), опади (мм), швидкість вітру (м/с), атмосферна температура (добовий мінімум, добовий максимум, середньодобова температура, °С), атмосферна вологість (%), атмосферний тиск (гПа) були застосовані у якості екологічних предикторів екологічної ніші безхребетних. Були використані дані обліків Нікопольської метеостанції. Для кожного часу експозиції пасток були розраховані такі параметри середовища: загальна сума опадів за період, середнє значення доступної для рослин вологи, швидкості вітру, атмосферної температури, вологості та тиску.

2.4. Просторові та часові предиктори

Екологічні структури та процеси відбуваються вздовж множинних просторово-часових масштабів [178]. Екологічні системи є ієрархічно структурованими та можуть бути розкладені на структурний та процесійний компоненти [154]. Ці компоненти можуть бути визначені крізь діапазон просторових та часових шкал [47]. Пізнання механізмів, які знаходяться у основі спостережуваних просторових та часових патернів на різних масштабних рівнях, є найважливішим для передбачення та розуміння в контексті розроблення принципів менеджменту [163]. Було встановлено, що важливість стохастичних процесів залежить від розмірів досліджуваної площі [67]. Необхідне урахування складності для моделювання часових патернів та часових серій [60]. Метод головних координат матриці сусідства (*principal coordinates of neighbour matrix method* – PCNM) є потужним підходом, який здатний виявити часові структури в часових рядах на різних масштабних рівнях [69-71]. Після перетворення часового ряду, PCNM генерує послідовність часових змінних з особливими синусоподібними властивостями. Цей підхід став популярним для оцінювання ієрархічної динаміки та еластичності екологічних систем [54, 216]. PCNM-оснований

підхід у подільшому був розвинений у метод дистанційнооснованих мап власних векторів Морана (*distance-based Moran's eigenvector maps* – MEM) [60, 103]. MEM здатні збільшити частку поясненої варіації порівняно з оригінальним PCNM-підходом та є більш робастною процедурою, яка має справу з кореляційними структурами [60, 103].

Двовимірні географічні координати точок відбору проб були застосовані для генерування сукупності ортогональних просторових змінних, заснованих на власних векторах (Spatial dbMEMs), кожна з яких представляє патерн певного масштабу в межах діапазону площі відбору проб. Аналогічно, але тільки одновимірний часовий ряд дат, коли здійснювався відбір проб, був застосований для генерації сукупності часових змінних, заснованих на власних векторах (Time dbMEMs), кожна з яких представляє патерн певного масштабу в межах діапазону досліджуваного часового періоду [70]. Просторові та часові dbMEMs-змінні були застосовані в якості просторових та часових предикторів відгуків видів.

2.5. Підходи до ординації та методи оцінки параметрів ніші

Зважена середня може бути застосована для оцінки оптимального значення виду в екологічному градієнті у випадку симетричної дзвіноподібної кривої відгуку [224]. Метод середнього зваженого є достатньо вдалим, коли цілий діапазон розподілу виду охоплено зразками відбору проб. Чисельність виду була застосована в якості ваг для обрахування середнього значення екологічного фактора [212]:

$$WA = \frac{\sum_{i=1}^n Env_i \times Abund_i}{\sum_{i=1}^n Abund_i} \quad (2.1)$$

де Env_i – значення змінної середовища у i -му зразку, $Abund_i$ – чисельність виду у i -му зразку.

Толерантність виду, представлена шириною дзвіноподібної кривої, може бути обрахована як корінь квадратний зваженого середнього квадратів

відмінностей між оптимумом виду та спостережуваним значенням у зразку. Значення є аналогічним до стандартного відхилення [212]:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Env_i - WA)^2 \times Abund_i}{\sum_{i=1}^n Abund_i}}. \quad (2.2)$$

Якщо охоплено весь діапазон розподілу виду та відгук виду є симетричним дзвіноподібним, у такому випадку оцінка за методом середнього зваженого буде коректною. Навпаки, оцінка буде зміщеною, якщо тільки частина діапазону була облікована. У такому випадку оцінка буде зміщеною відносно реального значення в напрямку хвоста, який не було усічено [212]. Кількість видів з усіченим розподілом буде зростати, якщо облікована частка градієнту буде незначною та, як наслідок, оцінка оптимуму буде зміщеною. Чим більш довгий буде градієнт середовища, тим для більшої кількості видів оцінка оптимуму буде коректною [212].

Генералізовані лінійні змішані моделі (*Generalized linear mixed models*) були застосовані для моделювання відношення вид-середовище. Цей підхід є корисним у випадку унімодального та симетричного відгуку виду [141]. У середовищі R модель може бути знайдена таким чином [180]:

$$\text{mod} <- \text{glm}(y \sim x + I(x^2), \text{family}=\text{poisson}) \quad (2.3)$$

$$b <- \text{coef}(\text{mod}) \quad (2.4)$$

$$u <- -b[2]/2/b[3] \quad (2.5)$$

$$t <- \text{sqrt}(-1/2/b[3]) \quad (2.6)$$

де y – відгук виду, x – фактор середовища, u – оптимальне значення виду, t – толерантність виду.

Застосування симетричної гаусової функції відгуку в градієнтному аналізі не є універсальним підходом з приводу того, що регулярного відхилення реальних даних від симетричного відгуку [56–59] немає. Ієрархічні моделі Хуїзмана, Ольфа та Фреско – HOF [134] поряд з моделлю симетричної відповіді також включають моделі асиметричного відгуку. Крім п'ятих HOF-моделей до їх переліку було включено дві бімодальні (симетрична та асиметрична) форми відгуку для того, щоб охопити види, у

яких обмежені максимальні значення внаслідок конкуренції [142, 174]. Моделі Хуїзмана, Ольфа та Фреско, розширені Янсенем та Оксаненом (HOFJO), ранжовані в порядку зростаючої складності біологічної інформації, яку вони містять [142, 174]. Модель I: віддзеркалює відсутність суттєвого тренду в просторі або в часі:

$$y = M \frac{1}{1+e^a}. \quad (2.7)$$

Модель II: характеризує тренд збільшення або зменшення, де максимум дорівнює верхній межі M:

$$y = M \frac{1}{1+e^a}. \quad (2.8)$$

Модель III: тренд збільшення або зменшення, де максимум знаходиться нижче верхньої межі M:

$$y = M \frac{1}{1+e^{a+bx}} \frac{1}{1+e^c}. \quad (2.8)$$

Модель IV: збільшення або зменшення відбуваються з однаковою швидкістю – симетрична крива відгуку:

$$y = M \frac{1}{1+e^{a+bx}} \frac{1}{1+e^{c-bx}}. \quad (2.9)$$

Модель V: збільшення та зменшення відбуваються з різною швидкістю – асиметрична крива відгуку:

$$y = M \frac{1}{1+e^{a+bx}} \frac{1}{1+e^{c+dx}}. \quad (2.10)$$

Модель VI: бімодальний симетричний відгук:

$$y = M \frac{1}{1+e^{a+bx}} \frac{1}{1+e^{c+b(x-d)}} + \frac{1}{1+e^{a+b(x-d)}} \frac{1}{1+e^{c-b(x-d)}}. \quad (2.11)$$

Модель VII: бімодальний асиметричний відгук:

$$y = M \frac{1}{1+e^{a+bx}} \frac{1}{1+e^{c+b(x-d)}} + L \frac{1}{1+e^{a+b(x-d)}} \frac{1}{1+e^{c-b(x-d)}}, \quad (2.12)$$

де y та x – зміна відгуку та пояснювальна змінна відповідно, a , b , c та d – параметри, які треба оцінити (b та d мають обернені знаки) та M – константа, яка дорівнює максимальному значенню, якого вид може сягнути (для відносної частоти $M = 1$, для процентів $M = 100$), L – константа, яка дорівнює максимальному значенню мінорного екстремуму.

Параметри моделей Хуїзманна, Ольфа та Фреско було оцінено в статистичній програмі R (v. 3.3.1) (R Developmental Core Team, 2019) з застосуванням пакету “eHOF” (Jansen & Oksanen, 2013, version 3.2.2) [142]. Для покращення результатів моделювання навіть для малих наборів даних стабільність вибору моделей була повторно перевірена за допомогою бутстрепінгу (100 повторностей, у відповідності до установок пакету за замовчуванням). Для того, щоб переконатися у робастності моделей, було застосовано інформаційний критерій Акаїке з урахуванням корекції для малих вибірок (AIC_c) [81]. У випадку, коли дві процедури давали різні оцінки найкращої моделі, надавали перевагу оцінці за результатами бутстрепінгу [174]. Оптимальне значення та межі відносної толерантності виду, або Центральні межі, було обраховано, як це здійснюється у пакеті eHOF [142]. Центральні межі є особливими фракціями максимуму кривої ($\max * e^{-0.5}$) та розраховуються окремо для лівої (LowCB) та для правої (UppCB) сторін від оптимуму [122].

Множинні ординаційні техніки було застосовано для аналізу просторово-часового варіювання у видовому складі комплексу безхребетних. Трансформація Геллінджера є корисною для даних з великою кількістю нулів [193]. У зв'язку з чим перед аналізом дані по чисельності видів були піддані трансформації Геллінджера [161]. У наших даних не було рідкісних видів, які були представлені менше ніж у 7 сайтах, ось чому всі види було включено в аналіз, що в кінцевому підсумку дало базу даних з 202 видів або паратаксономічних груп. Матриця даних після трансформації Геллінджера була піддана аналізу відповідностей (*correspondence analysis* – CA), пояснювальному аналізу відповідностей (*constrained correspondence analysis* – CCA) та пояснювальному аналізу надлишковості (*constrained redundancy analysis* – RDA) для того, щоб виокремити найголовніші патерни варіації [159–161, 223]. Фактори середовища були підігнані до осей CA-ординації за допомогою функції *enfit* бібліотеки *vegan* [181]. Пояснювальні підходи для ординації (аналізи відповідності або надлишковості) дозволили оцінити

вплив вмісту вологи в ґрунті як пояснювальної змінної на угруповання безхребетних з часовими, просторовими даними, даними навколишнього середовища та відомостями про тип технозему в якості умовних змінних. Детрендовий аналіз відповідностей (DCA) був використаний для того, щоб розрізнити, чи є відгук видів переважно мотононним або переважно унімодальним. Для того, щоб це зробити, оцінили довжину першого найголовнішого градієнту варіювання угруповання [225]. Якщо довжина градієнту переважає більш ніж 2 стандартних відхилення, тоді в такому випадку слід обрати пояснювальний аналіз відповідностей (CCA) у якості ординаційної процедури. У протилежному випадку пояснювальний аналіз надлишковості (RDA) є більш придатним. Ваги видів, згенеровані в результаті CA або CCA, вказують на центр розподілу виду за умов унімодальної моделі. Таким чином, видові ваги представляють позицію оптимуму ніші уздовж виокремленої осі [223]. Стандартне відхилення ваг видів кількісно характеризує ширину ніші. Якщо ординаційна вісь корелює з градієнтом середовища, у такому випадку ваги та пов'язане з ними стандартне відхилення можна застосувати для характеристики властивостей ніші для кожного виду відносно до цього градієнту [108].

Для статистичних аналізів ми застосовували відповідні процедури для Statistica (Version 12.0, StatSoft Inc., <http://www.statsoft.com>) або R (version 3.5.2; R Core Team, 2018).

2.6. Оцінка часової динаміки вмісту вологи в техноземах

Дослідження проводились протягом 2013–2015 років на ділянці рекультивації Нікопольського марганцеворудного басейну в м. Покров. Експериментальна ділянка по вивченню оптимальних режимів сільськогосподарської рекультивації була створена 1968–1970 рр. на зовнішньому відвалі Запорізького марганцеворудного кар'єру. На ділянці були створені штучні едафотопи двох типів. Перший – на спланованій суміші

розкривних порід з відсіпанням на їх поверхню різних за потужністю шарів чорноземної маси. Другий являв собою сплановані розкривні породи товщиною 2 м, винесені з різних глибин. Об'єктами дослідження були обрані дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах, сіро-зелених глинах, лесоподібних суглинках та педозем. Техноземи характеризуються наступними водно-фізичними властивостями (кількість вологи у шарі ґрунту товщиною 1 м). Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках: найменша вологоємність – 320.55 мм, діапазон активної вологи – 190.15 мм, максимальна гігроскопічна вологість – 97.33 мм, вологість в'янення рослин – 130,40 мм. Дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих суглинках: найменша вологоємність – 317.41 мм, діапазон активної вологи – 212.57 мм, максимальна гігроскопічна вологість – 77.90 мм, вологість в'янення рослин – 104,83 мм. Дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах: найменша вологоємність – 419.32 мм, діапазон активної вологи – 197.30 мм, максимальна гігроскопічна вологість – 165.12 мм, вологість в'янення рослин – 222,02 мм. Педоземи: найменша вологоємність – 311.35 мм, діапазон доступної вологи – 196.36 мм, максимальна гігроскопічна вологість – 85.86 мм, вологість в'янення рослин – 114,99 мм [241]. Наведені гідрологічні константи застосовувались у подальших розрахунках.

Евапотранспірацію з ґрунту було обраховано за рівнянням Пенмана-Монтейта:

$$E_{ref} = \frac{0.408\Delta(R_n - G_0) + \gamma \frac{900}{T_d + 273} u_2 (e_d - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}, \quad (2.13)$$

де E_{ref} – швидкість референсної евапотранспірації (мм добу⁻¹), R_n – радіаційний баланс (net radiation flux) (МДж м⁻²добу⁻¹), G_0 – теплообмін у ґрунті (sensible heat flux into the soil) (МДж м⁻²добу⁻¹), T_d – середньодобова температура повітря (mean air temperature) (°C), u_2 – швидкість повітря (м с⁻¹) на висоті 2 м над рівнем землі, e_d – пружність насиченої водяної пари при температурі (saturated vapour pressure at temperature) T_d (°C):

$$e_d = 0.611 \exp\left(\frac{17.27T_d}{T_d + 237.3}\right). \quad (2.14)$$

Δ – нахил кривої насичення водяної пари (slope of the vapour pressure curve), γ – психрометрична константа (кПа °C⁻¹), $e_d - e_a$ – дефіцит пружності насиченої водяної пари.

Актуальна евапотранспірація може бути обрахована таким чином:

$$E_{act} = K_s E_{ref}, \quad (2.15)$$

де K_s – водний коефіцієнт.

Зменшення вмісту води в кореневій зоні може бути оцінено як різниця між вмістом води в стані найменшої вологоємності ($pF = 2.3$) та реальною вологістю ґрунту. Значення водного коефіцієнту K_s дорівнює 1.0, коли вміст води більший за найменшу вологоємність. Якщо вміст води менший за найменшу вологоємність, коефіцієнт K_s зменшується лінійно від одиниці до нуля зі зменшенням загального вмісту води в ґрунті.

Наступне рівняння може бути застосоване для розрахунку щоденного радіаційного балансу [48–50]:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{si} - \left[a_c \left(\frac{R_{si}}{R_{so}} \right) + b_c \right] (a_1 + b_1 e_d^{0.5}) \sigma \left(\frac{T_m^4 + T_n^4}{2} \right), \quad (2.16)$$

де σ – константа Стефана-Больцмана ($\sigma = 4.903 \times 10^{-9}$ МДж К⁻⁴м⁻²), T_m та T_n представляють добову максимальну та мінімальну температури повітря (°C), a_c та b_c – коефіцієнти хмарності, які дорівнюють 1.35 та -0.35 відповідно, a_1 та b_1 – коефіцієнти емісивності, які дорівнюють 0.35 та -0.14 відповідно [109], α – альbedo поверхні ґрунту, яке залежить від вмісту вологи в ґрунті, кольору та гранулометричного складу, вмісту органічної речовини та нерівності поверхні. R_{si}/R_{so} – це відносна короткохвильова радіація, яку застосовують для описання хмарності. Коли небо хмарне, це відношення менше. Відношення змінюється в діапазоні від 0.33 (щільний хмарний покрив) до 1 (чисте небо) [48–50].

Сонячна радіація у випадку чистого неба може бути відображена як:

$$R_{so} = (0.75 + 0.00002EL_{mst})R_{sa}, \quad (2.17)$$

де EL_{mst} – висота над рівнем моря; R_{sa} – позаземна сонячна радіація, яка може бути розрахована як [109]:

$$R_{sa} = \left[\frac{24(60)}{\pi} \right] G_{sc} d_r (\cos\theta \cos\delta \sin\omega_s + \omega_s \sin\theta \sin\delta), \quad (2.18)$$

де:

$$d_r = 1 + 0.33 \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right), \quad (2.19)$$

та

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\theta \tan\delta), \quad (2.20)$$

де член $24(60)/\pi$ – це зворотній кут добового обертання; G_{sc} – сонячна константа (-0.08202 МДж м⁻²хвил⁻¹); d_r – відносна відстань між Землею та Сонцем (м); J – доба з початку року; ω_s – кут часу заходу (рад); θ – широта; δ – сонячний нахил.

Залежність альbedo в діапазоні електромагнітних коливань 0.3–2.8 мм та насиченості кольору поверхні ґрунту за Манселлом має формулу [189]:

$$Y = -0.11 + 0.07 X, \quad (2.21)$$

де Y – альbedo, X – насиченість кольору поверхні ґрунту за Манселлом.

Ґрунтові зразки висушували та штучно доводили до десяти рівнів вологості в діапазоні від максимальної гігроскопічної вологоємності до найменшої вологоємності, які властиві кожному типу технозему. Для кожного рівня зволоження за допомогою цифрової зйомки робили цифрове зображення, у якому кількісно визначали характеристики кольору в RGB-форматі за допомогою програми ImageJ [200]. Кольорові характеристики в RGB-форматі перетворені в оцінки кольору за Манселлом за допомогою функції *rgb2munsell* бібліотеки *aqr* [61] середовища Project R (R Core Team, 2018). На основі рівняння (9) за кольоровими властивостями було оцінено альbedo для кожної градації відповідного технозему, що дозволило знайти регресійну залежність між вологістю ґрунту та альbedo.

Оцінку водного балансу виконано за моделлю ISAREG [220] з добовим кроком:

$$SW_i = SW_{i-1} + P_i + I_i + G_i - E_i - D_i \quad (2.22)$$

де SW_i та SW_{i-1} – це відповідно вміст води в шарі ґрунту (мм) наприкінці доби i та наприкінці попередньої доби $i-1$; P_i – опади; I_i – кількість води, яка

потрапила з іригацією; G_i – капілярне підняття; E_i – актуальна евапотранспірація, D_i – глибоке просочування поза межі кореневої зони, усі на добу i . Усі одиниці в мм доба⁻¹. I_i , G_i , та D_i було знехтуване з приводу відсутності або малого значення.

Вологу, доступну для рослин, оцінили як:

$$RAW_i = SW_i - PWP, \quad (2.23)$$

де RAW – волога, доступна для рослин (мм); SW_i – найменша вологоємність (мм), PWP – вологість стійкого в'янення рослин (мм).

РОЗДІЛ 3.**МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСОВОЇ ДИНАМІКИ ВОЛОГОСТІ ТЕХНОЗЕМІВ****3.1. Метеорологічні умови району досліджень**

У розділі виконане моделювання вмісту вологи в техноземах Нікопольського марганцеворудного басейну за допомогою підходу Пенмана-Монтейта та оцінена залежність альбедо ґрунтів від вологості в інтенсивності евапотранспірації.

Опади на дослідженій території протягом часу випадають вкрай нерівномірно. У 2013 тривалість періоду без опадів склала 259 діб, у 2014 р. – 264 діб, у 2015 р. – 261 доба. Максимальна добова кількість опадів варіюється в межах 18–49 мм (табл. 3.1). Найбільша кількість опадів за рік була у 2015 р. (506.8 мм), а найменша – у 2014 р. (328.9 мм). У 2013 р. випало 345.6 мм. Інтенсивність опадів протягом року змінюється. Найбільша кількість опадів, як правило, спостерігається в червні, а найменша – у серпні (табл. 3.2). Спостерігаються значні міжрічні відмінності в інтенсивності випадіння опадів. Загальнорічний мінімум опадів у 2014 р. був зумовлений нетиповим зменшенням опадів наприкінці зими та на початку весни. Максимальна річна кількість опадів в 2015 р. зумовлена інтенсивними опадами як навесні, так і всередині літа й наприкінці осені. Середньорічна температура статистично вірогідно не розрізняється між роками в період дослідження ($F = 0.19$, $p = 0.82$) й становить $11.14 \pm 0.30^\circ\text{C}$ (рис. 3.1). Діапазон температур за період досліджень становить від -23.4 до $+37.8^\circ\text{C}$. Мінімальні температури спостерігаються у січні або в лютому, а максимальні – липні або серпні. Найбільші температурні коливання спостерігаються взимку або навесні. Осінній період, як правило, відзначається різким і чітким зниженням температур.

Вітри мають переважно східний та північний напрямок (2013 р.), східний та північно-східний напрямок (2014 р.) або північний та північно-східний напрямок (2015 р.) (рис. 3.2).

Таблиця 3.1. Описові статистики добових метеорологічних характеристик за результатами спостережень на метеостанції Нікополь (2013–2015 рр.)

Показники	Середня±ст.помилка	Медіана	Мінімум	Максимум	CV, %
2013 р.					
Опади, мм	0.95±0.15	0.00	0.00	20.00	302.06
Швидкість вітру, m/s	2.39±0.06	2.25	0.25	7.00	47.35
Температура, °C	11.33±0.50	10.96	-9.57	28.21	83.75
T_{min} , °C	7.49±0.43	6.70	-12.40	22.00	109.66
T_{max} , °C	15.10±0.57	14.40	-6.40	34.30	72.42
Відносна вологість, %	73.37±0.78	73.75	38.13	99.88	20.43
Атмосферний тиск, гПа	1014.85±0.39	1014.00	992.21	1036.43	0.74
2014 р.					
Опади, мм	0.90±0.15	0.00	0.00	18.00	308.39
Швидкість вітру, m/s	2.28±0.07	2.00	0.00	8.86	59.77
Температура, °C	10.89±0.56	10.93	-17.72	30.28	97.96
T_{min} , °C	6.47±0.49	5.80	-21.30	22.20	146.02
T_{max} , °C	15.17±0.62	16.00	-15.10	37.80	78.51
Відносна вологість, %	69.12±0.91	69.57	27.75	100.00	25.08
Атмосферний тиск, гПа	1014.67±0.40	1014.13	992.55	1047.33	0.75
2015 р.					
Опади, мм	1.39±0.23	0.00	0.00	49.00	320.11
Швидкість вітру, m/s	2.00±0.08	1.50	0.00	8.50	73.90
Температура, °C	11.21±0.51	10.23	-20.84	30.09	87.37
T_{min} , °C	6.43±0.45	5.20	-23.40	23.50	134.06
T_{max} , °C	15.88±0.58	14.70	-17.20	36.70	70.28
Відносна вологість, %	69.59±0.83	67.75	35.43	99.25	22.78
Атмосферний тиск, гПа	1009.26±0.43	1008.90	983.16	1034.64	0.82

Середня швидкість вітру статистично вірогідно розрізняється за роками ($F = 8.72, p < 0.001$). Найбільша швидкість вітру спостерігалась у 2013 р., а найменша – у 2015 р (табл. 3.3). Локальний максимум швидкості вітру спостерігається в березні та восени. Локальний мінімум швидкості вітрів спостерігається в другій половині літа. Від указаної закономірності спостерігаються суттєві відхилення по роках.

Таблиця 3.2. Помісячний розподіл опадів протягом 2013–2015 рр. (місячна сума опадів, мм)

Місяць	Рік		
	2013	2014	2015
Січень	43.60	21.40	18.70
Лютий	15.00	5.20	44.60
Березень	57.10	7.40	74.60
Квітень	7.30	36.40	62.80
Травень	19.20	47.20	50.30
Червень	73.00	64.30	84.60
Липень	21.00	10.20	83.10
Серпень	3.20	16.80	19.10
Вересень	45.70	31.00	2.00
Жовтень	51.10	26.70	7.30
Листопад	5.30	15.60	58.00
Грудень	4.10	46.70	1.70
Усього	345.60	328.90	506.80

Так, у 2014 р. максимальна швидкість вітру спостерігалась у січні. У 2013 р. мінімум швидкості вітрів спостерігався в червні, після чого відбувався монотонний тренд збільшення швидкості вітрів. Середня вологість повітря статистично вірогідно розрізняється по роках ($F = 7.67, p < 0.001$). Найбільша вологість була встановлена у 2013 р., відмінності у рівні вологості повітря в 2014 та 2015 рр. були незначними. З початку року відбувається монотонне зниження вологості повітря до серпня, коли спостерігається мінімум цього показника.

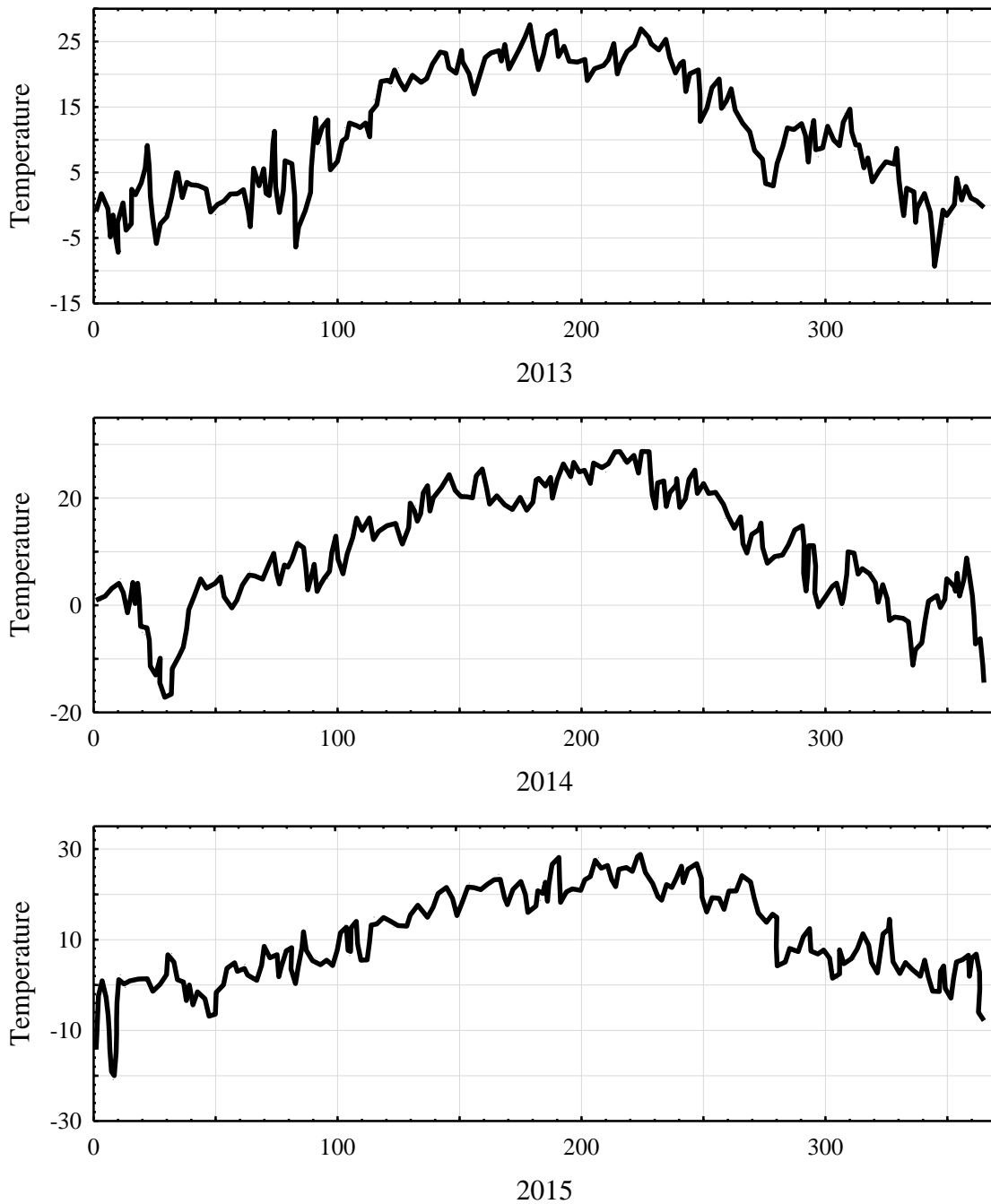


Рис. 3.1. Динаміка річного ходу середньодобових температур. Ось абсцис – порядок доби в поточному році, ось ординат – середньодобова температура, °С

Восени відбувається зростання вологості повітря, іноді дуже швидко до максимальних значень взимку (табл. 3.4). Вологість повітря знаходиться в залежності від інших кліматичних показників, що може бути описано за допомогою регресійної залежності, яка здатна пояснити 46% варіабельності ознаки ($F = 233.6$, $p < 0.001$, усі предиктори моделі – статистично вірогідні при $p < 0.001$):

$$Y = 529.8 \pm 51.1 + 1.04 \pm 0.11R - 1.16 \pm 0.04Temp - 2.51 \pm 0.28W - 0.43 \pm 0.05 Pr,$$

де Y – вологість повітря, R – опади, $Temp$ – температура, W – швидкість вітру, Pr – атмосферний тиск.

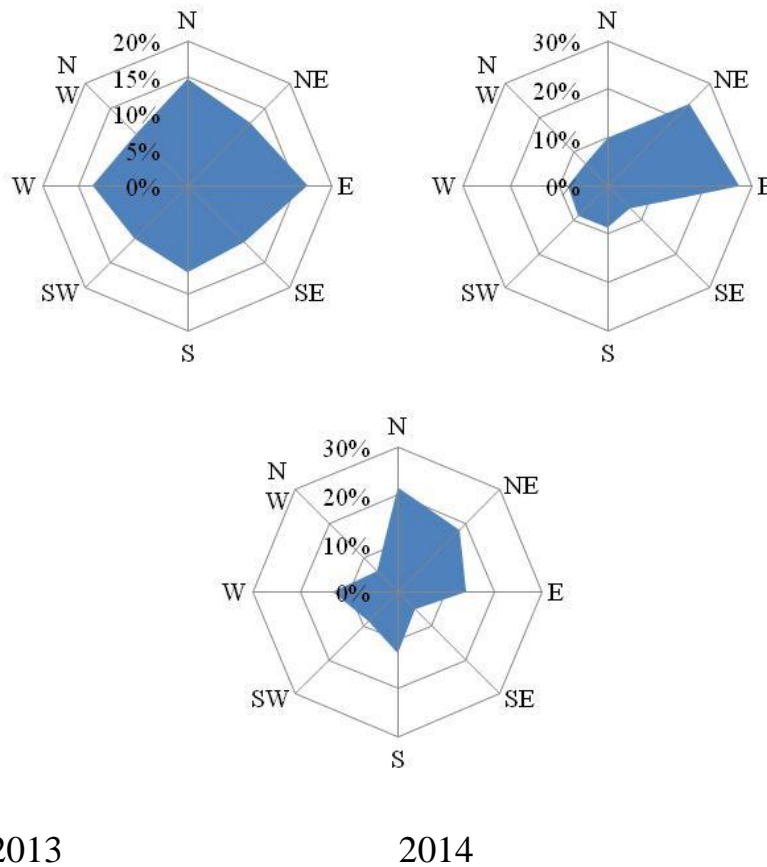


Рис. 3.2. Роза вітрів

Середній атмосферний тиск статистично вірогідно розрізняється за роками ($F = 60.22$, $p < 0.001$). Найменший тиск спостерігався в 2015 р., відмінності за цим показником у 2013 та 2014 рр. були незначними (табл. 3.5). Найбільше значення тиску характерне для початку зими, після чого тиск протягом весни досить різко зменшується. У травні, як правило, спостерігається мінімум атмосферного тиску, після чого відбувається поступове його збільшення, яке приймає різкий характер з середині осені.

Таблиця 3.3. Помісячний розподіл середньої швидкості вітру протягом 2013–2015 рр. (м/с)

Місяць	Рік		
	2013	2014	2015
Січень	2.31	3.59	2.60
Лютий	2.89	2.45	2.73
Березень	3.17	3.50	3.36
Квітень	2.38	2.37	2.62
Травень	1.94	2.00	1.84
Червень	1.83	2.37	1.38
Липень	1.90	2.42	1.33
Серпень	2.12	1.30	1.32
Вересень	2.34	2.09	1.81
Жовтень	2.29	1.78	1.16
Листопад	2.72	1.65	2.03
Грудень	2.90	1.84	1.80
У середньому	2.40	2.28	2.00

Таблиця 3.4. Помісячний розподіл середньої вологості повітря протягом 2013–2015 рр. (%)

Місяць	Рік		
	2013	2014	2015
Січень	91.51	78.60	87.52
Лютий	82.02	84.23	78.93
Березень	75.45	61.91	71.16
Квітень	65.29	65.97	66.91
Травень	62.99	68.94	63.79
Червень	62.45	63.28	68.15
Липень	61.53	53.96	64.43
Серпень	55.21	51.99	49.93
Вересень	74.17	56.23	56.52
Жовтень	84.81	72.64	62.21
Листопад	82.19	83.14	83.34
Грудень	83.43	89.91	83.08
У середньому	73.42	69.23	69.66

Таблиця 3.5. Помісячний розподіл середнього атмосферного тиску протягом 2013–2015 рр. (гПа)

Місяць	Рік		
	2013	2014	2015
Січень	1012.2	1022.8	1007.3
Лютий	1016.3	1022.3	1007.9
Березень	1009.9	1015.2	1010.9
Квітень	1015.6	1015.4	1002.5
Травень	1011.1	1013.5	1003.2
Червень	1010.0	1012.1	1006.4
Липень	1012.1	1011.9	1006.5
Серпень	1014.1	1006.3	1010.0
Вересень	1011.7	1010.1	1010.5
Жовтень	1022.0	1015.9	1016.5
Листопад	1019.2	1017.9	1008.8
Грудень	1024.4	1013.0	1020.5
У середньому	1014.8	1014.7	1009.3

3.2. Кольорові властивості техноземів та їх роль у формуванні альбедо

Кольорові властивості техноземів та відповідно альбедо їх поверхні суттєво змінюються залежно від вмісту вологи (табл. 3.6). Колір поверхні дерново-літогенного ґрунту на червоно-бурій глині варіюється від жовто-червоного (5YR 4/8 – Yellow-Red) у вологому стані до червоного (10R 9/9 – Red) у сухому стані. Альбедо цього ґрунту залежно від його вологості змінюється в діапазоні 0,17–0,52. Колір поверхні дерново-літогенного ґрунту на сіро-зеленій глині варіюється від дуже темного сіро-зеленого (2.5G 5/3 – very dark grayish green) у вологому стані до сіро-зеленого (5G 9/1 – grayish green) у сухому стані. Альбедо цього ґрунту залежно від його вологості змінюється в діапазоні 0,24–0,52. Колір поверхні педозему варіюється від дуже темного сірого (10YR 3/1) у вологому стані до світло-сірого (2.5YR 6/2) у сухому стані. Альбедо цього ґрунту залежно від його вологості змінюється в діапазоні 0,10–0,31.

Таблиця 3.6. Мінливість альbedo та кольорових характеристик поверхні техноземів залежно від вмісту вологи

Вміст води, мм у 1 метровому шарі ґрунту	Кольорові характеристики за Манселлом			Альbedo*
	Кольоровий тон	Насиченість	Чистота	
Дерново-літогенний ґрунт на червоно-бурій глині				
78.0	10R	9.00	9	0.52
105.6	2.5YR	8.00	8	0.45
133.2	2.5YR	7.50	10	0.42
160.7	10R	7.00	9	0.38
188.3	10R	6.50	12	0.35
206.7	2.5YR	6.00	11	0.31
234.3	2.5YR	5.50	10	0.28
261.8	2.5YR	5.00	9	0.24
289.4	2.5YR	4.80	9	0.23
317.0	5YR	4.00	8	0.17
Дерново-літогенний ґрунт на сіро-зеленій глині				
162.0	5G	9.00	1	0.52
191.7	5G	8.50	1	0.49
221.4	5G	7.70	5	0.43
251.1	4G	7.15	4	0.39
280.8	4G	6.60	4	0.35
300.6	4G	6.40	4	0.34
330.2	3G	6.00	3	0.31
359.9	3G	5.80	3	0.30
389.6	2.5G	5.40	3	0.27
419.3	2.5G	5.00	3	0.24
Педозем				
85.9	2.5YR	6.00	2	0.31
111.9	2.5YR	5.80	2	0.30
137.9	2.5YR	5.40	2	0.27
163.9	2.5YR	5.00	2	0.24
189.9	2.5YR	4.80	2	0.23
207.3	5YR	4.40	2	0.20
233.3	5YR	4.00	2	0.17
259.3	5YR	3.50	1	0.14
285.3	10YR	3.20	1	0.11
311.4	10YR	3.00	1	0.10
Дерново-літогенний ґрунт на лесоподібному суглинку				
97.0	10YR	6.00	5	0.31
122.8	10YR	5.80	5	0.30
148.7	10YR	5.40	5	0.27
174.5	10YR	5.20	4	0.25
200.4	2.5Y	5.00	4	0.24
217.6	2.5Y	4.80	4	0.23
243.5	2.5Y	4.50	3	0.21
269.3	2.5Y	4.30	3	0.19
295.2	2.5Y	4.10	3	0.18
321.0	2.5Y	4.00	2	0.17

Note: * – estimation on the basis of the equation $Y = -0.11 + 0.07 X$, where Y – albedo, X – Munsell color value component (Post et al., 2000).

Колір поверхні дерново-літогенного ґрунту на лесоподібному суглинку варіюється від жовтого (2.5Y 4/2 – Yellow) у вологому стані до жовто-червоного (10YR 6/5 – Yellow-Red) в сухому стані. Альbedo цього ґрунту залежно від його вологості змінюється в діапазоні 0,17–0,31. Між вмістом води в ґрунті та альbedo існує лінійний зв'язок (рис. 3.3).

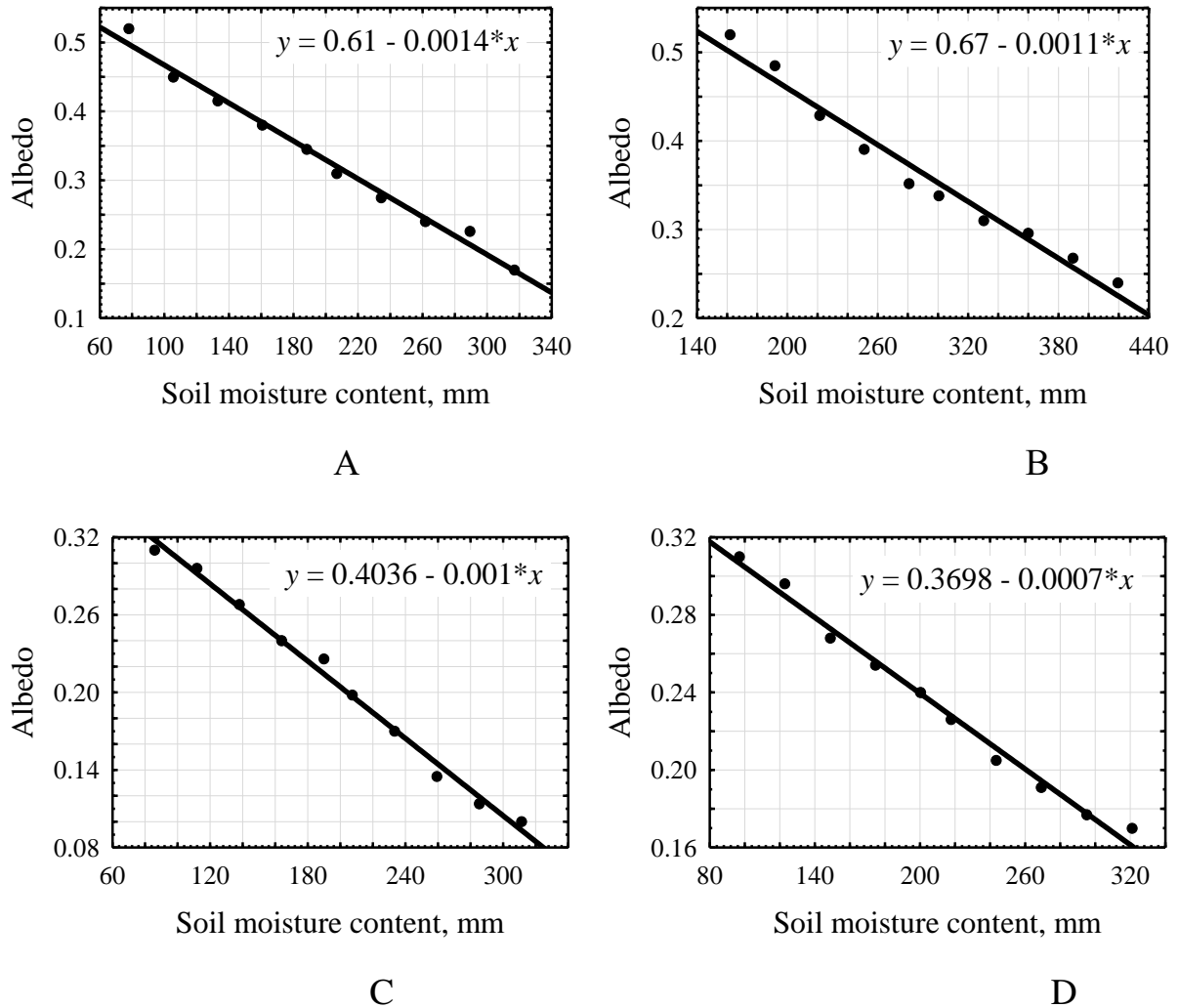


Рис. 3.3. Залежність альbedo поверхні ґрунту від вологості

Умовні позначки: А – дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах; В – дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах; С – педоземи; D – дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках

Найбільш суттєво разом з вологістю альbedo змінюється в дерново-літогенних ґрунтах на червоно-бурих глинах, про що свідчить найбільший регресійний коефіцієнт. Відповідно найменш суттєво разом з вмістом води

альbedo змінюється в дерново-літогенних ґрунтах на на лесоподібних суглинках.

3.3. Динаміка вологості техноземів у залежності від метеорологічних умов

На основі метеорологічних даних та моделі Пенмана-Монтейта з урахуванням водно-фізичних властивостей техноземів та залежності альbedo їх поверхні від вологості була здійснена оцінка запасів продуктивної води (рис. 3.4).

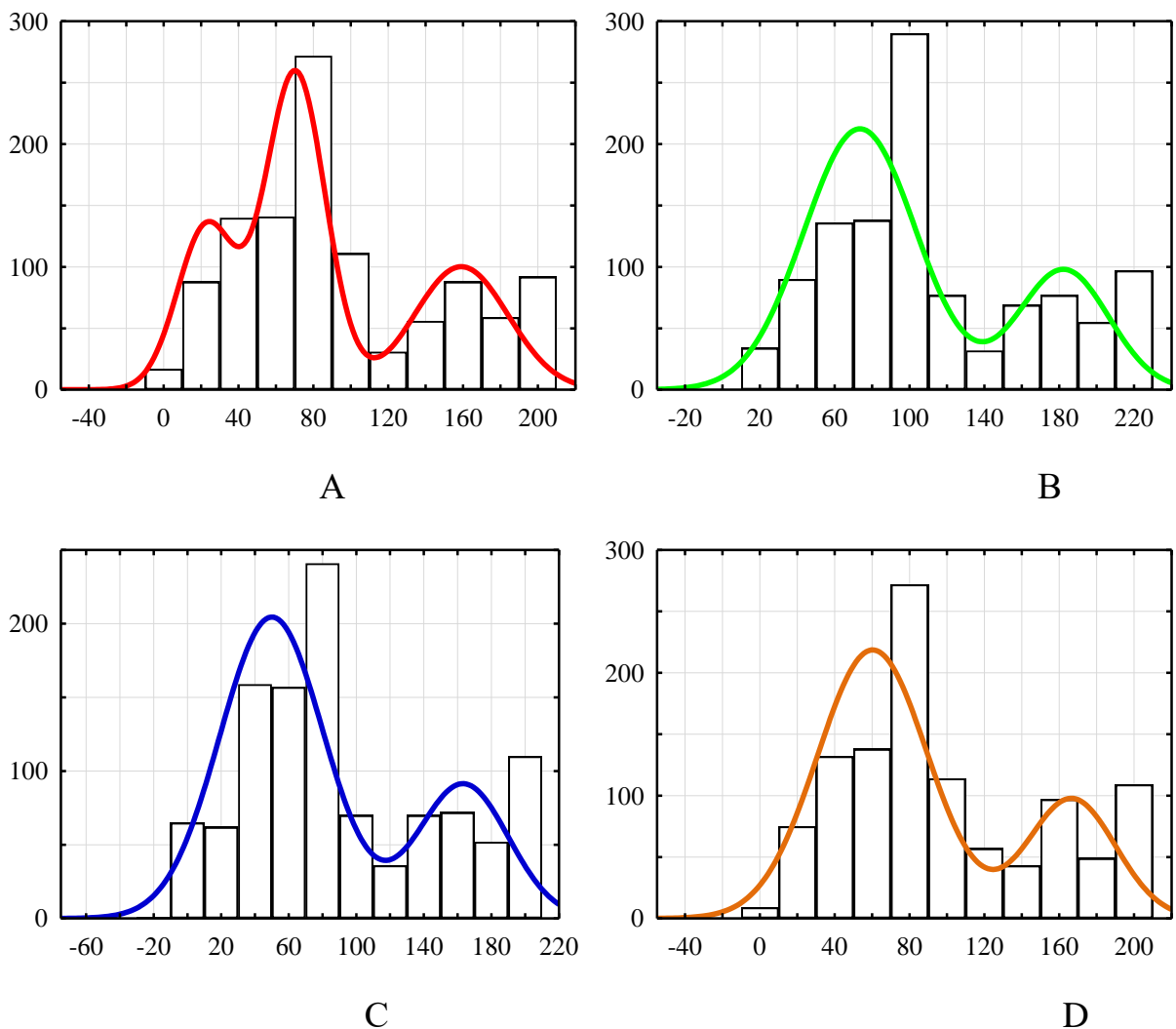


Рис. 3.4. Гістограми розподілу діапазонів доступної для рослин води. Ось абсцис – вміст води, мм. А – дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках; В – на червоно-бурих глинах; С – на сіро-зелених глинах; D – на педоземах

Розподіли цього показника для різних типів техноземів характеризуються високим рівнем подібності форми (рис. 3.5–3.8), через те, що загальні кліматичні умови є вирішальними у формуванні динаміки вологи. Розподіли є асиметричними, що також підкреслюється коефіцієнтами асиметрії, які статистично вірогідно відрізняються від нуля (табл. 3.7).

Таблиця 3.7. Описові статистики діапазону доступної вологи

Soil	Mean±st.error	Minimum	Maximum	Skewness±st.error	Kurtosis±st.error
2013					
LL	99.44±3.30	1.31	191.12	0.30±0.13	-1.29±0.25
RB	118.95±3.41	17.45	213.34	0.29±0.13	-1.31±0.25
GG	99.30±3.57	-6.42	197.65	0.28±0.13	-1.34±0.25
PZ	103.37±3.33	5.08	196.47	0.31±0.13	-1.29±0.25
2014					
LL	49.14±1.34	-7.48	94.27	-0.60±0.13	-0.77±0.25
RB	65.03±1.38	6.27	108.57	-0.60±0.13	-0.82±0.25
GG	40.33±1.43	-20.20	82.21	-0.58±0.13	-0.87±0.25
PZ	52.96±1.33	-3.47	98.26	-0.60±0.13	-0.77±0.25
2015					
LL	105.14±2.53	22.11	191.12	-0.25±0.13	-1.21±0.25
RB	124.69±2.54	41.25	213.34	-0.23±0.13	-1.20±0.25
GG	105.14±2.59	20.90	197.65	-0.19±0.13	-1.21±0.25
PZ	108.03±2.55	24.98	196.47	-0.24±0.13	-1.20±0.25
Total					
LL	84.57±1.64	-7.48	191.12	0.53±0.07	-0.74±0.15
RB	102.89±1.70	6.27	213.34	0.53±0.07	-0.73±0.15
GG	81.59±1.78	-20.20	197.65	0.54±0.07	-0.73±0.15
PZ	88.12±1.65	-3.47	196.47	0.55±0.07	-0.71±0.15

Умовні позначки: LL – дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках; RB – дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах; GG – дерново-літогенні ґрунти на сіро-зеленій глині; PZ – педозем

Найбільш добре розподіл може бути представлений як суміш нормальних розподілів. Для дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках це суміш з трьох нормальних розподілів (статистика Колмогорова-Смірнова $d = 0.03$, $p = 0.25$). Перша складова обіймає 0.24 від загальної варіації ($x = 23.0$, $\sigma = 15.6$), друга – 0.47 від загальної варіації ($x = 70.4$, $\sigma = 16.0$), третя – 0.29 від загальної варіації ($x = 159.1$, $\sigma = 25.1$). Таким чином, доступна для рослин волога в технозомах на лесоподібних суглинках знаходиться на трьох рівнях і найбільш часто цей рівень складає 70.4 мм. Високий рівень вмісту вологи спостерігається в зимово-весняний період, коли швидкість опадів як правило переважає швидкість випаровування води, або влітній період у час інтенсивних злив.

У 2014 р. запаси води знаходились на середньому та дуже низькому рівні внаслідок того, що за зимовий період запаси води не були поновлені через низьку кількість опадів. Також у цьому році не було інтенсивних опадів на початку літа, які, як правило, компенсують інтенсивне випаровування в цей період часу. Доступна для рослин вологість знижувалась нижче критичного рівня (вологості стійкого в'янення) тільки в 2014 р. Період посухи тривав 17 діб. Для дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах розподіл доступної для рослин вологи найкраще може бути представлений у якості суміші з двох нормальних розподілів (статистика Колмогорова-Смірнова $d = 0.04$, $p = 0.18$). Перша складова обіймає 0.73 від загальної варіації ($x = 73.5$, $\sigma = 30.1$), друга – 0.27 від загальної варіації ($x = 182.4$, $\sigma = 24.1$). Для зимового та весняного періодів характерний досить високий рівень запасів вологи. Як правило, вони поповнюються внаслідок високої кількості опадів на початку літа. Винятком став 2014 рік, коли літні опади були незначні й не вплинули суттєво на рівень запасів вологи. Тим не менше, рівень запасів вологи, доступних для рослин в дерново-літогенних ґрунтах на червоно-бурих глинах за період досліджень ніколи не знижувався менше, ніж значення вологості в'янення рослин.

Для дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах розподіл доступної для рослин вологи найкраще може бути представлений у якості суміші з двох нормальних розподілів (статистика Колмогорова-Смірнова $d = 0.045$, $p = 0.15$). Перша складова обіймає 0.72 від загальної варіації ($x = 50.1$, $\sigma = 30.8$), друга – 0.28 від загальної варіації ($x = 163.4$, $\sigma = 26.7$). Для зимового та весняного періодів характерний досить високий рівень запасів вологи. Як правило, вони поповнюються внаслідок високої кількості опадів на початку літа. Цього поповнення було достатньо в 2015 році, тоді як у 2013 та 2014 рр. влітку спостерігалась посуха. У 2013 р. період, коли вміст вологи був менший, ніж вологість стійкого в'янення рослин, тривав 23 доби, а в 2014 р. цей період тривав 39 діб. Таким чином, за умов типового для регіону рівня зволоження у сіро-зелених глинах можна завжди очікувати явища посухи.

Для педоземів розподіл доступної для рослин вологи найкраще може бути представлений у якості суміші з двох нормальних розподілів (статистика Колмогорова-Смірнова $d = 0.045$, $p = 0.15$). Перша складова обіймає 0.73 від загальної варіації ($x = 60.3$, $\sigma = 29.5$), друга – 0.27 від загальної варіації ($x = 166.6$, $\sigma = 24.5$). Для зимового та весняного періодів характерний досить високий рівень запасів вологи. Як правило, вони поповнюються внаслідок високої кількості опадів на початку літа. Цього поповнення було достатньо у 2013 та 2015 роках, тоді як у 2014 рр. влітку спостерігалась посуха. Посуха тривала 9 діб.

Природні ґрунти, як правило, мають різного ступеню гумусований верхній шар. Органічна речовина надає ґрунтам сірого або чорного кольору. Техноземи характеризуються значно більшим різноманіттям кольорів поверхні. Це різноманіття збільшується у градієнті умов вологості. Зміна вмісту вологи суттєво позначається на кольорових властивостях техноземів. Колір впливає на альбедо.

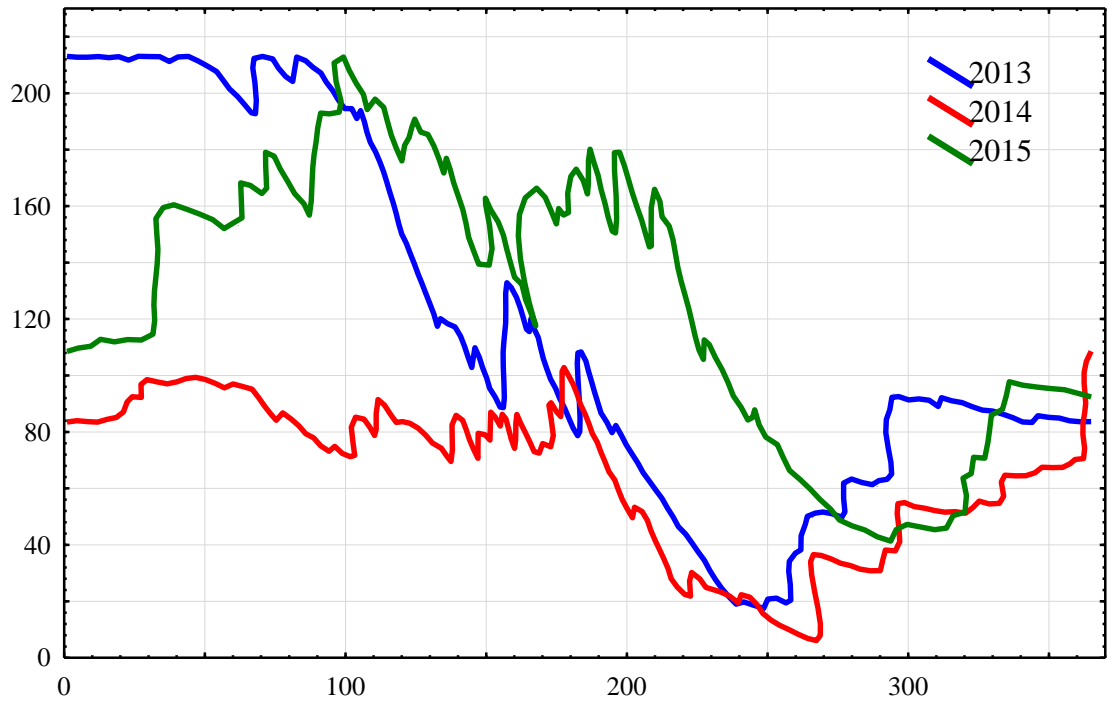


Рис. 3.5. Динаміка вмісту доступної для рослин вологи в дерново-літогенних ґрунтах на червоно-бурих глинах. Ось абсцис – порядок діб у році, ось ординат – діапазон доступної вологи (мм)

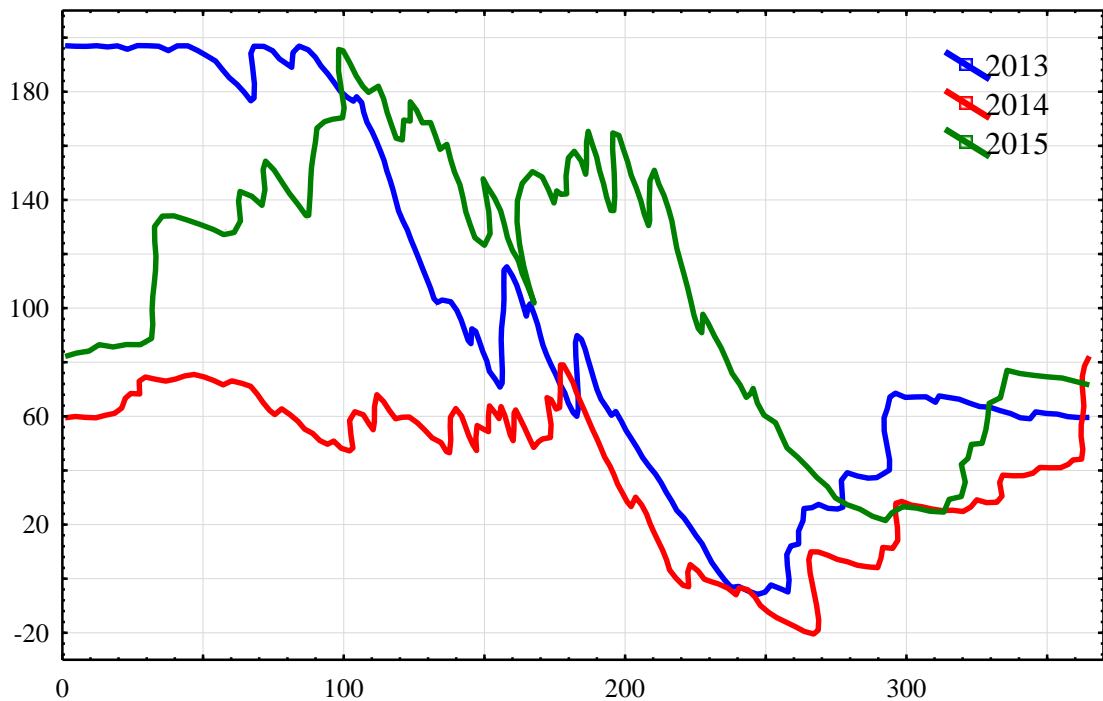


Рис. 3.6. Динаміка вмісту доступної для рослин вологи в дерново-літогенних ґрунтах на сіро-зелених глинах. Ось абсцис – порядок діб у році, ось ординат – діапазон доступної вологи (мм)

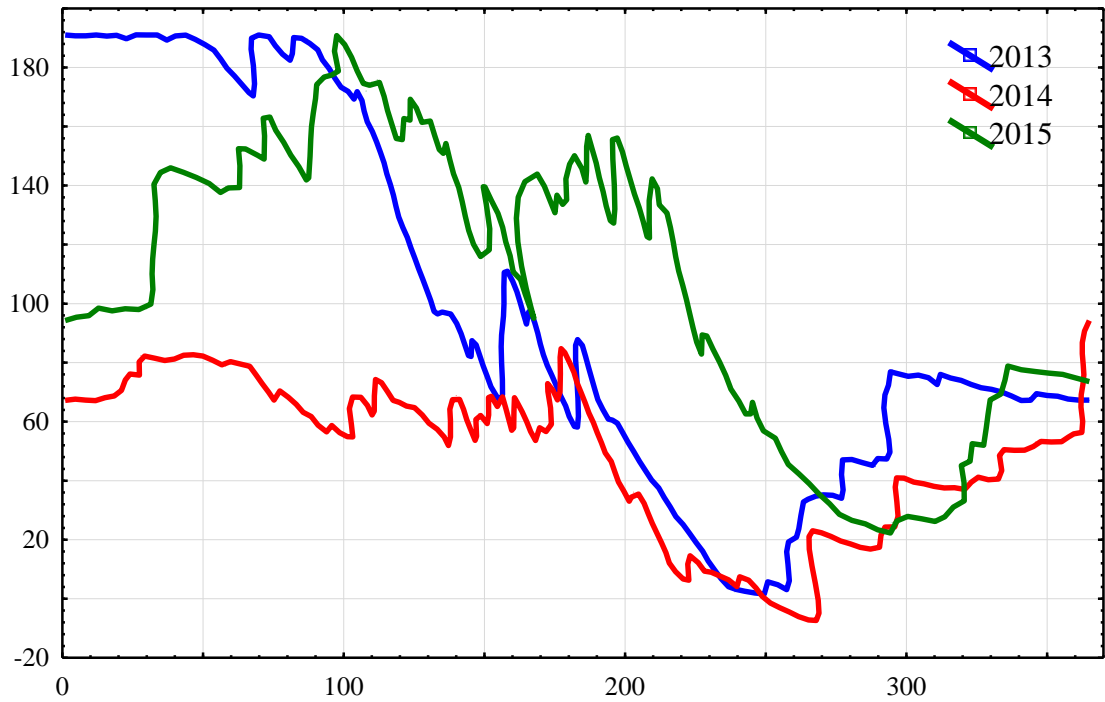


Рис. 3.7. Динаміка вмісту доступної для рослин вологи в дерново-літогенних ґрунтах на лесоподібних суглинках. Ось абсцис – порядок діб у році, ось ординат – діапазон доступної вологи (мм)

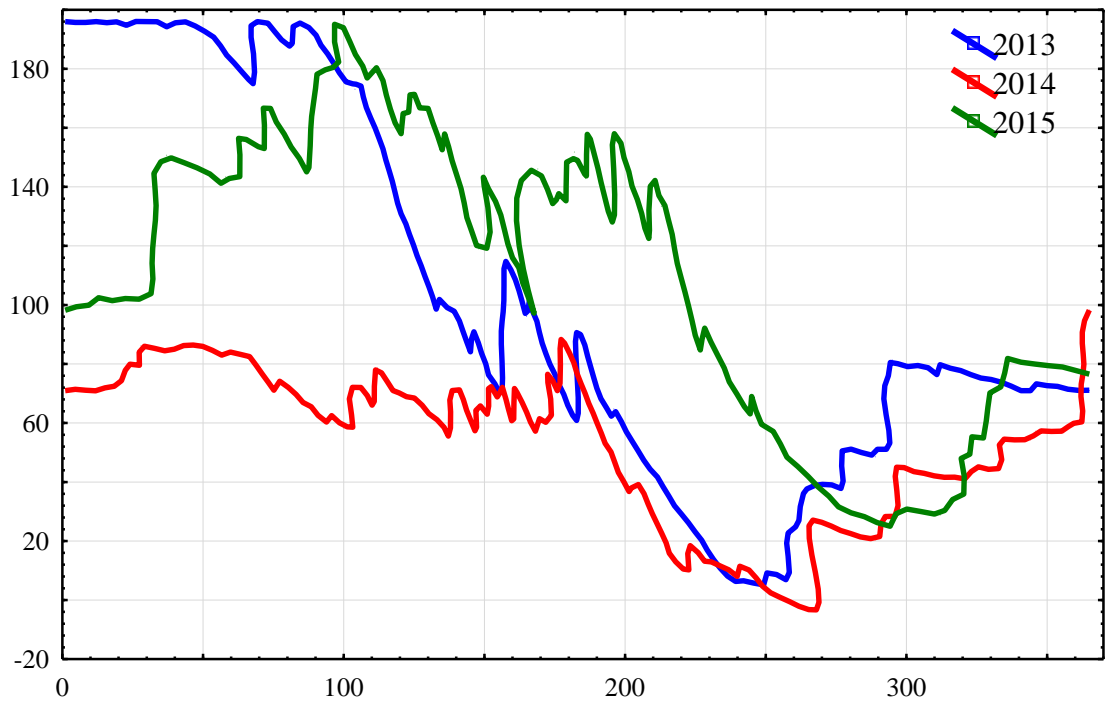


Рис. 3.8. Динаміка вмісту доступної для рослин вологи в педоземах. Ось абсцис – порядок діб у році, ось ординат – діапазон доступної вологи (мм)

В аридних умовах волога виступає в якості сильного лімітованого фактору, тому найменші відмінності в динаміці вмісту вологи мають значні екологічні наслідки. Моделювання показало, що загальний тренд мінливості вмісту вологи в техноземах визначається перебігом метеорологічних умов. Особливості типів техноземів залежать як від їх водно-фізичних властивостей, так і від зв'язку альbedo з вмістом вологи в техноземі. В умовах непромивного режиму зволоження динаміку вмісту вологи в ґрунті можна оцінити за допомогою балансу опадів та інтенсивності випаровування. Рутинні метеорологічні дані можуть бути застосовані для моделювання балансу води та евапотранспірації [83]. Крім кліматичних режимів, важливе значення в динаміці вологи в конкретному типі ґрунту відіграють його водно-фізичні властивості. Особливе значення має альbedo поверхні ґрунту. У цьому зв'язку техноземи, як молоді ґрунтоподібні тіла, характеризуються значним різноманіттям. Альbedo суттєво залежить від кольору поверхні ґрунту. Колір верхніх ґрунтових шарів визначається вмістом гумусу, який надає їм сірих або чорних відтінків. Для техноземів на ранніх етапах їх розвитку характерний низький вміст гумусу [241], тому для техноземів характерний широкий діапазон забарвлення. Найбільш близькі за будовою та кольором поверхні до природних аналогів педоземи, які характеризуються найменшим альbedo. Найбільшим альbedo характеризуються техноземи, сформовані на сіро-зелених глинах. Слід відзначити залежність альbedo від вмісту вологи: більш вогкі ґрунти характеризуються меншим альbedo. Також вміст гумусу зменшує альbedo. Таким чином, зі зменшенням вмісту води в ґрунті швидкість випаровування зменшується внаслідок зростання альbedo.

Загальний тренд варіювання вмісту доступної для рослин вологи дуже подібний для всіх досліджених техноземів. Відмінності стосуються кількісних характеристик, які зумовлені водно-фізичними властивостями. Повна та найменша вологоємності переважно зумовлені агрегатним станом ґрунту [110]. Досліджені ґрунти представлені глинами або суглинками, для яких характерна висока здатність до утворення агрегатів [166]. Низький вміст

гумусу робить ці агрегати такими, у яких не спостерігається високої водної стабільності [111]. Органічна речовина здатна покращити показники щільності складення техноземів [199], їх аерацію та утримання/інфільтрацію води, агрегацію та структуру [156]. У лесах, які використовуються для рекультивації, у якості цементуючого агрегати чинника переважає CaCO_3 [186].

Також явища засолення техноземів не сприяють утворенню водостійкої структури. Тим не менш, для всіх досліджених техноземів характерні високі показники найменшої вологоємності, від якої залежить значення діапазону активної вологи. Вологість в'янення рослин є функцією гранулометричного складу ґрунту [166], в умовах засолення на цей показник впливає вміст розчинних солей [73, 207]. Глинистий та суглинистий гранулометричний склад також формує високі значення показників вологості в'янення рослин.

У нашому дослідженні розглянуто рік з порівняно високим рівнем опадів, протягом 2015 р. їх випало майже в півтора рази більше, ніж в інші з досліджених років. Роки 2013 та 2014 характеризуються майже подібними значеннями опадів. Але особливості динаміки доступного для рослин вмісту води в ці роки суттєво відмінні, що зумовлено різним характером розподілу опадів протягом року. У 2015 р. тривалість літнього періоду, коли випадають опади, була значно подовжена, унаслідок чого сформувалися оптимальні умови для існування рослин. У 2013 р. літній пік опадів був не тривалим, але його було достатньо для компенсації інтенсивного випаровування влітку. Дефіцит опадів взимку 2013–2014 рр. не дав змоги створити необхідного запасу вологи перед початком вегетації. Майже до середини літа рівень вологи в ґрунті знаходився на постійному рівні, але в другій половині літа різко знизився. І це навіть при тому, що протягом квітня-червня опади в 2014 р. знаходились на рівні навіть трохи вищому, ніж у 2013 р.

Особливості динаміки альбедо в залежності від вмісту вологи та водно-фізичні властивості техноземів закладають передумови формування стійкості водного режиму. Стійкість водного режиму дозволяє забезпечити достатній

рівень доступної для рослин вологи протягом значного діапазону вегетації. За умов значних опадів на початку літа вегетацію на техноземах можуть закінчити навіть вимогливі до забезпечення водою сільськогосподарські культури з тривалим вегетаційним періодом. Але на жаль, значні запаси вологи навесні не гарантують цього. Стартові показники вмісту вологи в 2013 та 2015 рр. були практично однакові, але незначні опади на початку літа 2013 р. призвели динаміку вмісту вологи до рівня 2014 р., коли стартові умови були значно гірші.

Загальною особливістю глобального потепління є збільшення опадів та зміна їх ритмічності. Як показали результати нашого дослідження, зниження норми опадів у зимовий період суттєво впливає на режим вологи протягом вегетаційного періоду. З іншого боку, сприятливі запаси вологи навесні не гарантують оптимального водного режиму протягом вегетації, що можливо тільки за умов високого рівня опадів на початку літа, але остання обставина є вірогідною подією і не може бути точно прогнозована. З огляду на це можуть бути зроблені такі практичні рекомендації. По-перше, моніторинг запасів води перед початком вегетаційного періоду може надати цінну інформацію, необхідну для вибору культури для культивування в поточному році на основі потреб у забезпеченні культури водою. По-друге, результати вказують на актуальність заходів збереження зимових опадів на полях. По-третє, це застосування мульчі для збереження вологи, у тому числі завдяки збільшенню альбедо поверхні ґрунту.

Висновок по розділу

Метеорологічні умови, безперечно, є найважливішими чинниками, які визначають динаміку вмісту вологи в ґрунтах, у тому числі штучно створених. Особливості водного режиму техноземів залежать як від їх водно-фізичних властивостей, так і від особливостей поверхні контакту ґрунту з навколишнім середовищем. Рослинний покрив, колір та характер поверхні ґрунту значно впливають на інтенсивність енергетичного та речовинного обміну ґрунту з навколишнім середовищем. Техноземи є молодими ґрунтами, для яких характерна значна варіабельність кольорів поверхні. Ця особливість визначає значне варіювання альbedo поверхні техноземів. Залежність між вологістю та альbedo утворює передумови формування механізму зворотного негативного зв'язку між вологістю та інтенсивністю евапотранспірації. Зменшення вмісту води в ґрунті призводить до зменшення випаровування внаслідок збільшення альbedo. Слід відзначити, що з плином процесу ґрунтогенезу кольорові відмінності між техноземами будуть зменшуватися внаслідок накопичення органічної речовини, яка надає ґрунтам чорного або сірого кольору. Але накопичення органічної речовини сприяє покращенню водно-фізичних властивостей техноземів, що дає можливість краще використовувати кліматичний потенціал.

РОЗДІЛ 4.

ДИНАМІКА ВИДІВ БЕЗХРЕБЕТНИХ У ГРАДІЄНТІ ЧАСУ

4.1. Фенологічні режими видів безхребетних

Розподіл зважених за чисельністю видів тварин порядкових номерів діб з початку року є полімодальним та може бути представлений як суміш чотирьох нормальних розподілів (Kolmogorov-Smirnov $d = 0.029$, $p = 0.99$) (рис. 4.1). Складова з середнім 128,4 діб та середньоквадратичним відхиленням 8,5 становить 30.3 % від варіювання суміші. Складова з середнім 166,7 діб та середньоквадратичним відхиленням 18,2 становить 19.2 % від варіювання суміші. Складова з середнім 206,5 діб та середньоквадратичним відхиленням 17,8 становить 39.7 % від варіювання суміші. Складова з середнім 256,2 діб та середньоквадратичним відхиленням 11,9 становить 10.8 % від варіювання суміші. Розподіл зважених середньоквадратичних оцінок за порядковими номерами діб може бути описаний нормальним розподілом (Kolmogorov-Smirnov $d = 0.049$, $p = 0.69$).

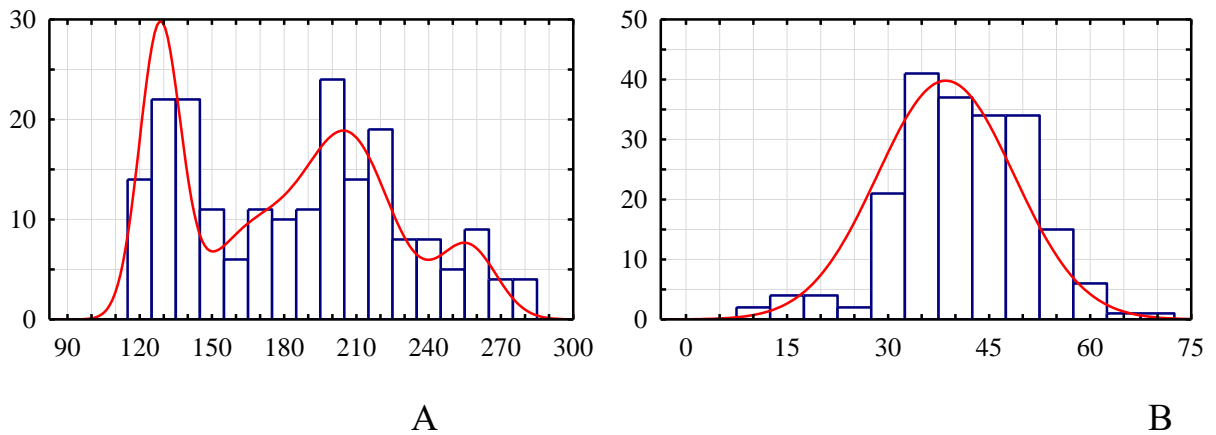


Рис. 4.1. Гістограми розподілів зважених за чисельністю видів тварин порядкових номерів діб з початку року (А) та зважених оцінок середньоквадратичного відхилення цього показника (В)

Таким чином, аналіз властивостей розподілу оцінки оптимальних термінів активності безхребетних вказує на вірогідну наявність чотирьох

однорідних за часом активності груп тварин. Максимум групової активності, який припадає на 128 добу з початку року, відповідає наявності тварин з весняним піком активності. Активність на 166 добу відповідає тваринам з піком активності наприкінці весни або на початку літа. Літня активність відповідає піку 206 діб, а пізньолітня-осіння активність відповідає піку 256 діб.

4.2. Моделювання часової динаміки видів безхребетних

Характер відгуку видів у градієнті часу може бути описаний шістьма моделями з сімох НОФЮ-моделей (рис. 4.2). Не встановлено відповідності відгуку видів тільки моделі I, що вказує на значну структурованість динаміки чисельності видів безхребетних у часі. Найчастіше відгук видів описується бімодальною асиметричною моделлю VII (рис. 4.3). Це вказує на наявність двох нерівних піків активності в переважній більшості видів. Такий результат робить неможливим виділення фенологічно однорідних груп видів безхребетних за результатами розподілу оптимальних термінів за оцінкою за методом середнього зваженого. Бімодальність може бути результатом впливу біотичних (конкурентних) взаємодій між видами. Також вона може виникати внаслідок біологічної неоднорідності популяції – вона може бути представлена різними стадіями розвитку. Також бімодальність може бути результатом міграційних процесів, коли другий спалах чисельності виду може бути внаслідок не процесу розмноження, а переселення (імміграції). Наступним за значимістю типом відгуку є такий, який описується моделлю III. Для цього типу характерне значне за тривалістю в часі плато рівного преферендуму, який обмежується різким зниженням чисельності. Найчастіше таке зниження відбувається наприкінці літа, але бувають випадки зростання активності виду навесні, що потім тримається на порівняно постійному рівні протягом усього вегетаційного періоду, який залишився.

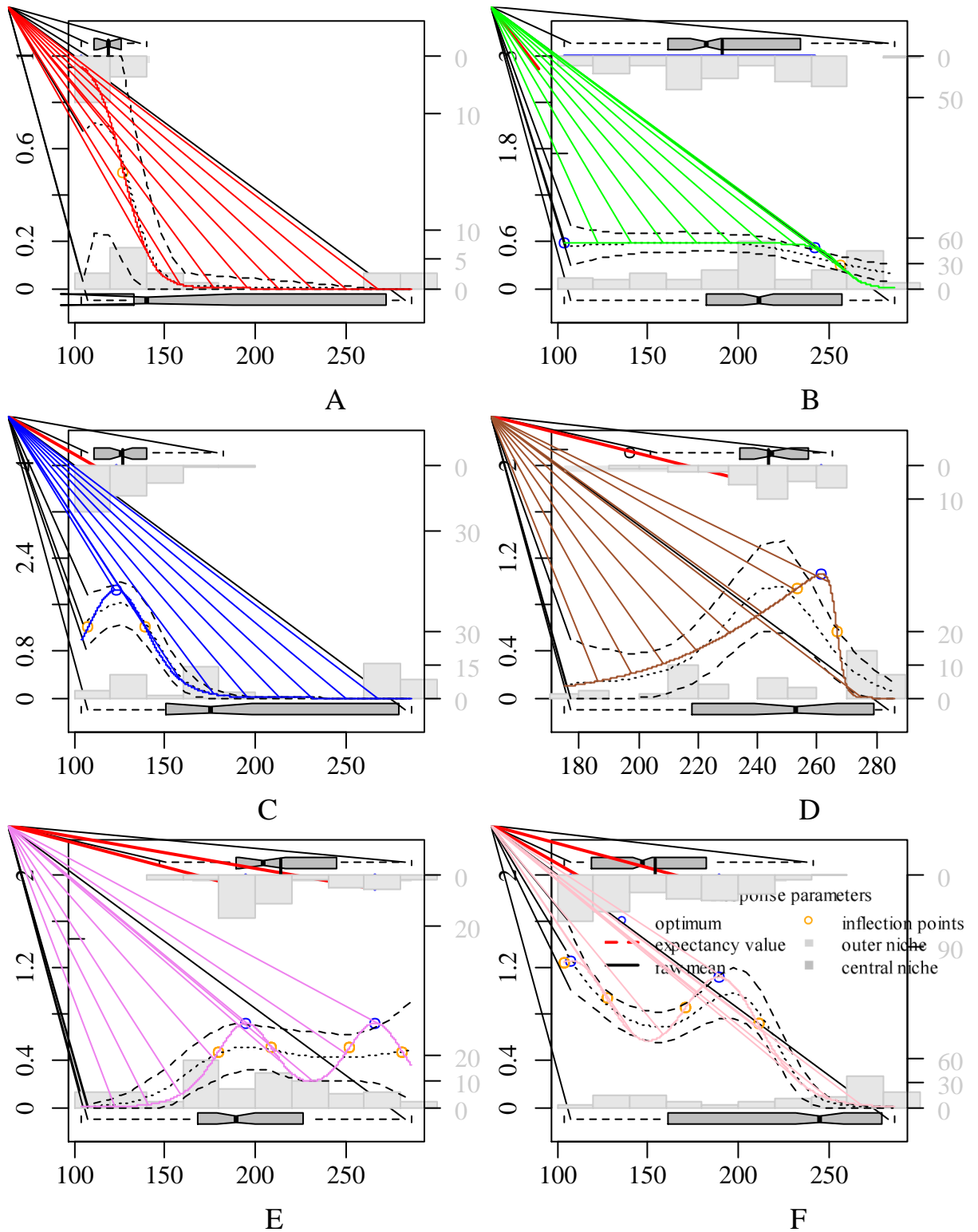


Рис. 4.2. Різноманітні моделі відгуку чисельності видів у градієнті часу. Ось абсцис – порядок днів з початку року; ось ординат – кількість індивідуумів. HOFJO-моделі: А – модель II (*Agroeca cuprea*), В – модель III (*Agriotes gurgistanus*), С – модель IV (*Dorcadion tauricum*), D – модель V (*Licinus cassideus*), Е – модель VI (*Mylabris polymorpha*), F – модель VII (*Onthophagus ovatus*)

Такий тип часової динаміки вказує на достатньо сприятливі умови існування багатьох видів в умовах техноземів. Не можна також виключати явища еміграції-імміграції у формуванні такого типу часової динаміки. Можна припустити, що стійке плато чисельності досягається за рахунок еміграції в моменті тенденції до збільшення чисельності та навпаки, локальне зменшення чисельності компенсується імміграційними процесами. Узагалі такий тип часової динаміки може вказувати на наявність складних та сформованих процесів регулювання чисельності безхребетних на порівняно молодих екологічних утвореннях, якими є техноземи.

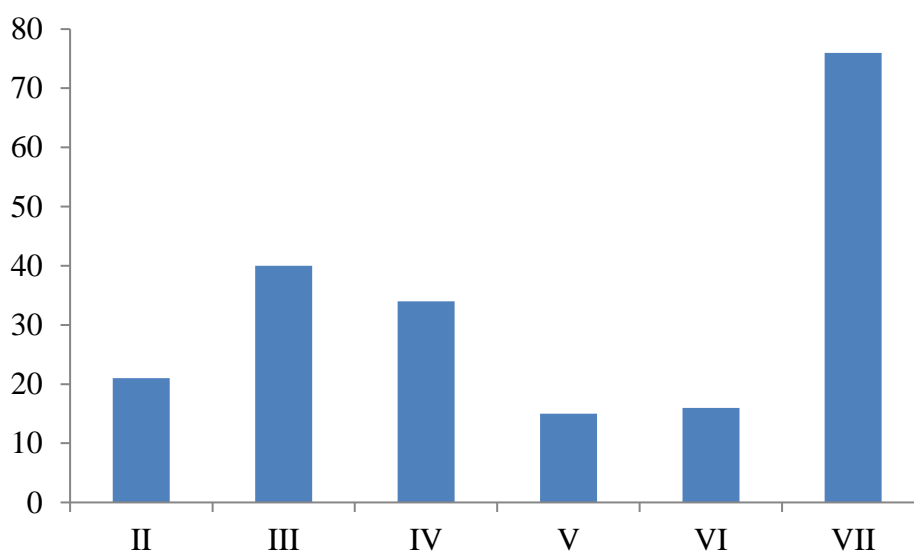


Рис. 4.3. Розподіл кількості оптимальних моделей відгуку видів у градієнті часу. Ось абсцис – НОФ та дві додаткові моделі відгуку видів у градієнті часу, ось ординат – кількість видів, для яких модель є найкращою за критерієм AIC_c

Тип моделі IV за своєю здатністю описувати часову динаміку чисельності безхребетних значно поступається усім іншим з розглянутих. Симетрична та унімодальна модель IV є базовою для багатьох підходів для оцінки оптимуму та толерантності видів, зокрема метод зваженого середнього, логістична регресія та аналіз відповідностей. Як свідчать одержані результати, припущення, які лежать в основі вказаних підходів,

виконуються в обмеженій кількості випадків, тому точність відповідних оцінок може бути вкрай сумнівною.

Таким чином, часова динаміка видів безхребетних є добре структурованою та відгуки видів у градієнті часу є переважно асиметричними та біомодальними. Це дозволяє припустити значну роль у формуванні часових патернів як впливу комплексу абіотичних факторів, так і значної ролі біотичних взаємодій.

4.3. Оцінка ролі абіотичних, біотичних факторів та часових і просторових предикторів і типу техноземів у часовій динаміці популяцій безхребетних

Для оцінки впливу абіотичних та біотичних чинників на перебіг динаміки чисельності безхребетних у часі нами був проведений детрендовий аналіз відповідностей (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Оцінка впливу факторів середовища, часових та просторових змінних та типів техноземів на результати ДСА-ординації

Предиктори	Осі, довжина осі				R^2	Pr(>r)	Коди статистичної вірогідності
	DCA1,	DCA2,	DCA3,	DCA4,			
	2.45	1.78	1.78	1.83			
Кліматичні предиктори							
Опади	0.52	-0.19	-0.72	-0.43	0.06	0.001	***
Вітер	0.19	0.19	0.93	0.24	0.10	0.001	***
T_{min}	-0.49	-0.23	-0.30	-0.79	0.07	0.001	***
T_{max}	-0.30	-0.26	-0.61	-0.69	0.09	0.001	***
T	-0.42	-0.26	-0.49	-0.72	0.08	0.001	***
Вологість	0.61	0.26	0.56	0.50	0.08	0.001	***
Тиск	-0.25	0.23	0.89	0.30	0.19	0.001	***
RAW	0.79	-0.08	-0.51	-0.31	0.94	0.001	***
Time predictors							

Предиктори	Осі, довжина осі				R^2	Pr(>r)	Коди статистичної вірогідності
	DCA1,	DCA2,	DCA3,	DCA4,			
	2.45	1.78	1.78	1.83			
AEM_1	-0.80	-0.11	-0.58	-0.13	0.81	0.001	***
AEM_2	0.19	0.22	0.62	0.73	0.08	0.001	***
AEM_3	-0.35	-0.07	-0.02	-0.93	0.01	0.015	*
AEM_4	0.67	0.66	-0.06	-0.33	0.01	0.017	*
Spatial predictors							
Spat_1	0.14	-0.79	0.45	0.40	0.44	0.001	***
Spat_2	0.00	0.90	0.43	-0.11	0.51	0.001	***
Spat_3	0.03	-0.21	0.47	-0.86	0.44	0.001	***
Spat_4	-0.06	-0.19	-0.10	-0.97	0.13	0.001	***
Spat_5	0.05	0.00	0.53	-0.85	0.08	0.001	***
Spat_6	0.19	0.40	0.56	0.70	0.02	0.001	***
Tecnosols types, $R^2 = 0.19$, $p < 0.001$							
GG	-0.02	-0.31	-0.05	-0.12	-	-	-
LL	0.04	-0.26	0.12	0.13	-	-	-
PZ	0.02	0.28	-0.17	0.23	-	-	-
RB	-0.02	-0.15	-0.05	-0.06	-	-	-
TM	-0.05	0.43	0.10	-0.28	-	-	-

Symbols: Significance codes: ‘***’ – <0.001 ; ‘**’ – <0.01 ; ‘*’ – <0.05

Як показали результати, довжина найбільшої осі, одержаної в результаті детрендового аналізу відповідностей, становить 2,45 та переважає довжину 2, що підкреслює обґрунтованість застосування відповідної процедури. Для інтерпретації чотирьох осей, виокремлених у результаті аналізу, ми застосували процедуру підгонки зовнішніх чинників.

Процедура показала, що кліматичні предиктори, часові, просторові змінні та тип технозему є значними факторами, які структурують угруповання безхребетних. Вологість ґрунту є найвагомим фактором структурування угруповання, який здатний пояснити 94 % варіювання виділених осей. Найбільшу роль вологість ґрунту відіграє у формуванні

динаміки осей 1 та 3, дещо меншу роль – у формуванні осі 4 та мінімальну – для осі 2. Динаміка атмосферного тиску також є вкрай важливою. Можна припустити, що тиск атмосферного повітря значно впливає на конденсацію повітряної вологи і таким чином впливає на реальний водний режим техноземів. Також велике значення має швидкість вітру. Безумовно, швидкість випаровування з поверхні ґрунту або поверхні рослин дуже сильно залежить від швидкості вітру. Опади, температура, вологість є статистично вірогідними чинниками динаміки угруповання безхребетних, але роль цих факторів дещо менша, ніж раніше зазначених.

Динаміка як угруповання безхребетних, так і перебігу екологічних умов, суттєвим чином структурована у часі. Про це свідчить важливе значення в якості предикторів часових змінних. Найбільшу частину дисперсії угруповання здатна пояснити змінна АЕМ_1, яка моделює монотонний сигмоїдний тренд. Слід відзначити, що роль цієї часової змінної є найважливішою для тих осей, що й роль вологості ґрунту. Це дозволяє припустити, що динаміка вологості ґрунту має чітко виражену сезонну складову. Роль інших змінних часу (2–4) є статистично вірогідною, але суттєво меншою порівняно зі змінною 1. Очевидно, роль коливальних процесів більшої частоти, які позначають АЕМ-змінні більшого порядкового номеру, значно поступається загальносезонному тренду.

Таким чином, часові змінні добре моделюють фенологічну динаміку, з якою погоджені зміни абіотичних факторів та динаміка угруповань безхребетних. Динаміка угруповання також демонструє наявність просторових патернів, які моделюються просторовими змінними. Просторові змінні здатні пояснити від 2 до 51 % варіювання угруповання безхребетних. Найбільше значення мають низкочастотні просторові змінні (1–3), які моделюють просторові коливальні процеси невеликої частоти. Більш висока частотні процеси є статистично вірогідними, але відіграють меншу роль у часовій динаміці угруповання. Природа таких трендів може бути або нейтральною, або наслідком просторової структурованості екологічних умов,

які у свою чергу впливають на динаміку угруповання. До таких умов можуть належати ті, які безпосередньо не виміряні у цьому дослідженні.

Особливості динаміки угруповання безхребетних залежать від специфіки техноземів, про що свідчить статистично значимий вплив змінної, яка це позначає. Тип технозему здатен пояснити 19 % варіювання осей, виділених у результаті детрендового аналізу відповідностей. Найбільша роль типу технозему проявляє себе стосовно осей 2–4. Для осі 1 цей вплив не значний, тому цю ось можна ідентифікувати як загальний тренд мінливості угруповання, який малим чином залежить від типу технозему.

Підгонка змінної «Час від початку року» у просторі осей, одержаних в результаті детрендового аналізу відповідностей, показала значну роль часу в динаміці угруповання (рис. 4.4).

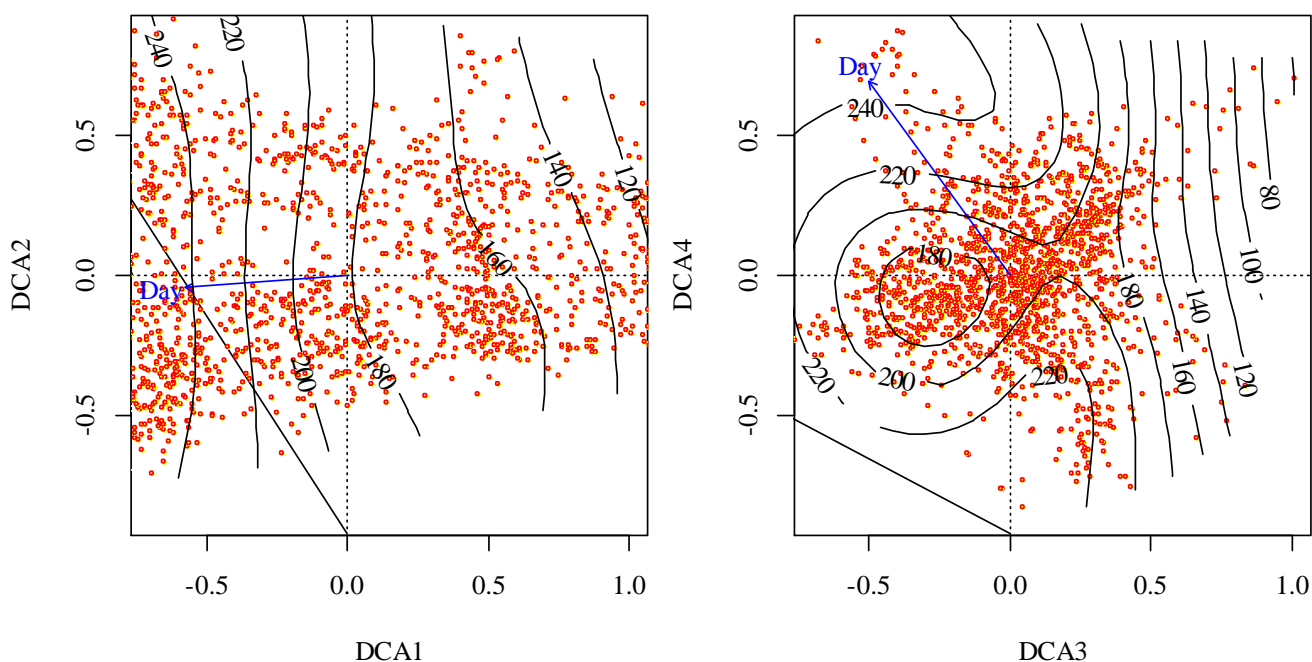


Рис. 4.4. Детрендового аналізу відповідностей (DCA), які представляють двовимірні представлення композиції угруповання безхребетних (DCA 1× DCA 2 та DCA 3× DCA 4) та напрямки плину часу (кількість діб з початку року) після процедури підгонки. Точки вказують розміщення видів, лінії – ізолінії дат

Ось DCA 1 віддзеркалює закономірну зміну угруповання безхребетних у часі, тоді як DCA 2 є практично нечутливою до часу, який представлений як монотонний градієнт. Очевидно, що часова складова мінливості угруповання, яка стоїть за DCA 2, має більш складний характер як сукупність коливальних процесів різної частоти. DCA 3 у період з початку вегетації до 180 доби вказує на практично монотонну динаміку угруповання з плином часу, а після зазначеного часу формується «петля» як наслідок формування трендів мінливості, які описуються DCA 4 та залежних від часу.

4.4. Оцінка оптимумів та толерантності видів у градієнті часу різними методами

Оцінки оптимуму та толерантності видів, одержані різними підходами, дають у цілому скорельовані результати, але деколи можна встановити принципові розбіжності. Ці розбіжності зумовлені різноманіттям типів відгуку видів у градієнті часу, які неможливо поєднати для аналізу в межах єдиного методичного підходу. Метод середнього зваженого та регресійний метод дають досить близькі оцінки оптимального часового періоду для видів (рис. 4.5). Оцінки за моделями з HOFJO-переліку дають за умов загальної позитивної кореляції регулярні відхилення оцінок порівняно з двома попередніми методами. Ці відхилення стосуються видів, які займають як маргінальні позиції, так і центральні. Розбіжності оцінок оптимуму для маргінальних видів є досить зрозумілими. Крайові позиції видів найчастіше деформують симетрію відгуку видів, унаслідок чого вимоги симетрії для застосування методів середнього зваженого або регресійного порушуються. Концентрацію оцінок оптимуму, які наближені до центральної частини діапазону при застосуванні HOFJO-переліку, певною мірою важко визначити. Оцінка оптимуму за методом SA не дає пристойних результатів, оскільки градієнт часу поступається за значимістю іншим факторам та, крім того, часова складова варіювання має складну мультимасштабну структуру. Тому зв'язати часові зміни з однією з осей ординаційної процедури неможливо,

тим більше, що обмеження, які на дані накладає застосування такої процедури, більшою мірою не виконуються.

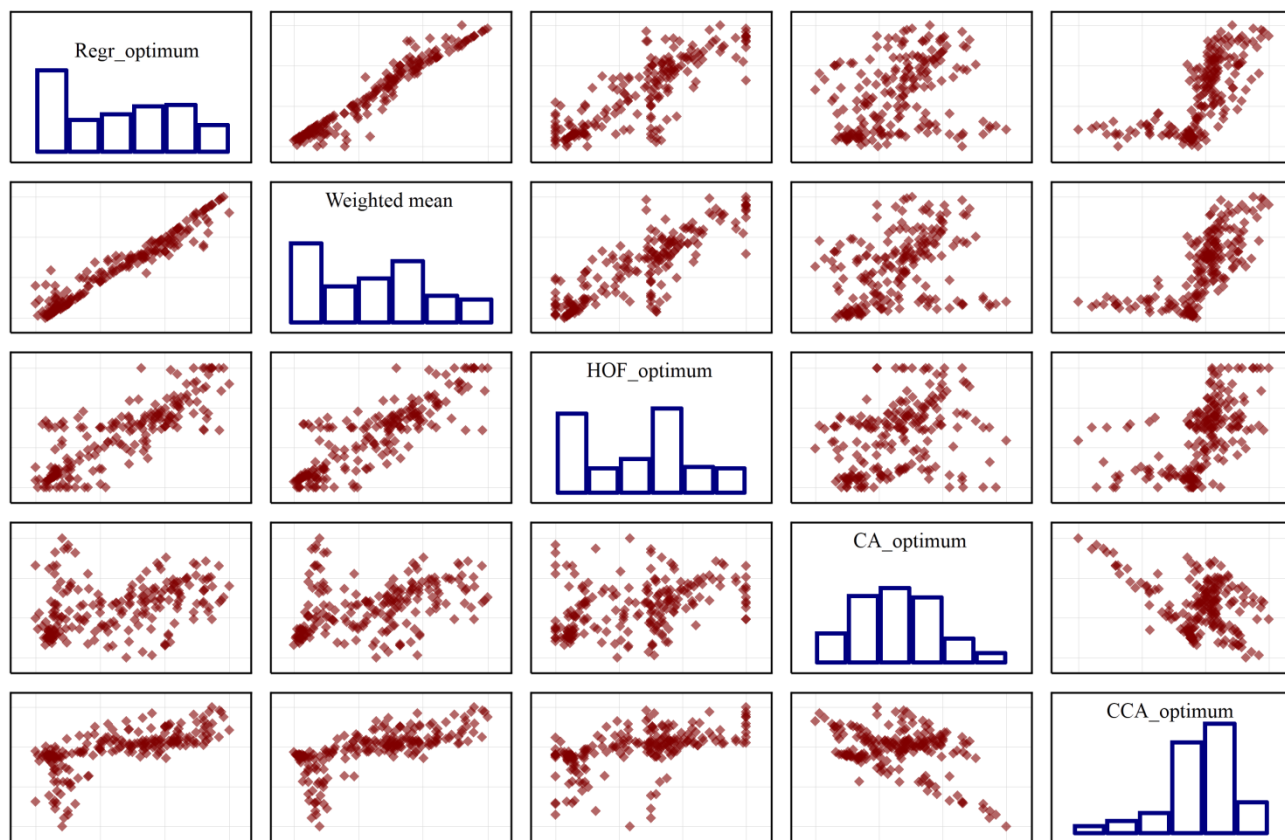


Рис. 4.5. Кореляція оцінок оптимальності видів у градієнті часу, одержаних за різними методами. Weighted mean – оцінка за методом середньої зваженої; Regr_optimum – оцінка за квадратичною генералізованою регресійною моделлю, HOF_optimum – оцінка оптимального значення за найкращою моделлю з HOFJO-переліку; CA_optimum – за результатами СА-аналізу; CCA_optimum – за результатами ССА-аналізу

ССА-аналіз з часом у якості предиктору та змінними простору, кліматичних умов та типу технозему в якості коваріат дозволяє вирішити декілька задач. Це виокремлення впливу інших суттєвих чинників на варіювання угруповання безхребетних та оцінка впливу на залишок змінної, яка цікавить – у нашому випадку - це час. Тобто цей аналіз дозволяє зробити запит на встановлення характеру впливу саме часу і саме його монотонної складової на угруповання. Саме для монотонного градієнту мають сенс такі

показники, як оптимум та толерантність. Такий підхід дозволяє зробити оцінку для «ідеалізованого» угруповання, на яке не здійснює дестабілізуючого впливу навколишнє середовище та простір.

Порівняння оцінок оптимуму за ССА-аналізом з іншим указує, що цей підхід дозволяє значно розширити значення варіювання угруповання на початкових етапах розвитку протягом вегетаційного періоду. Оцінки, які практично збігаються або не суттєво відрізняються у весняний період за іншими підходами, значно диферційовані за результатами ССА-аналізу.

Порівняння оцінок толерантності за різними методами вказує на значні розбіжності за різними підходами (рис. 4.6).

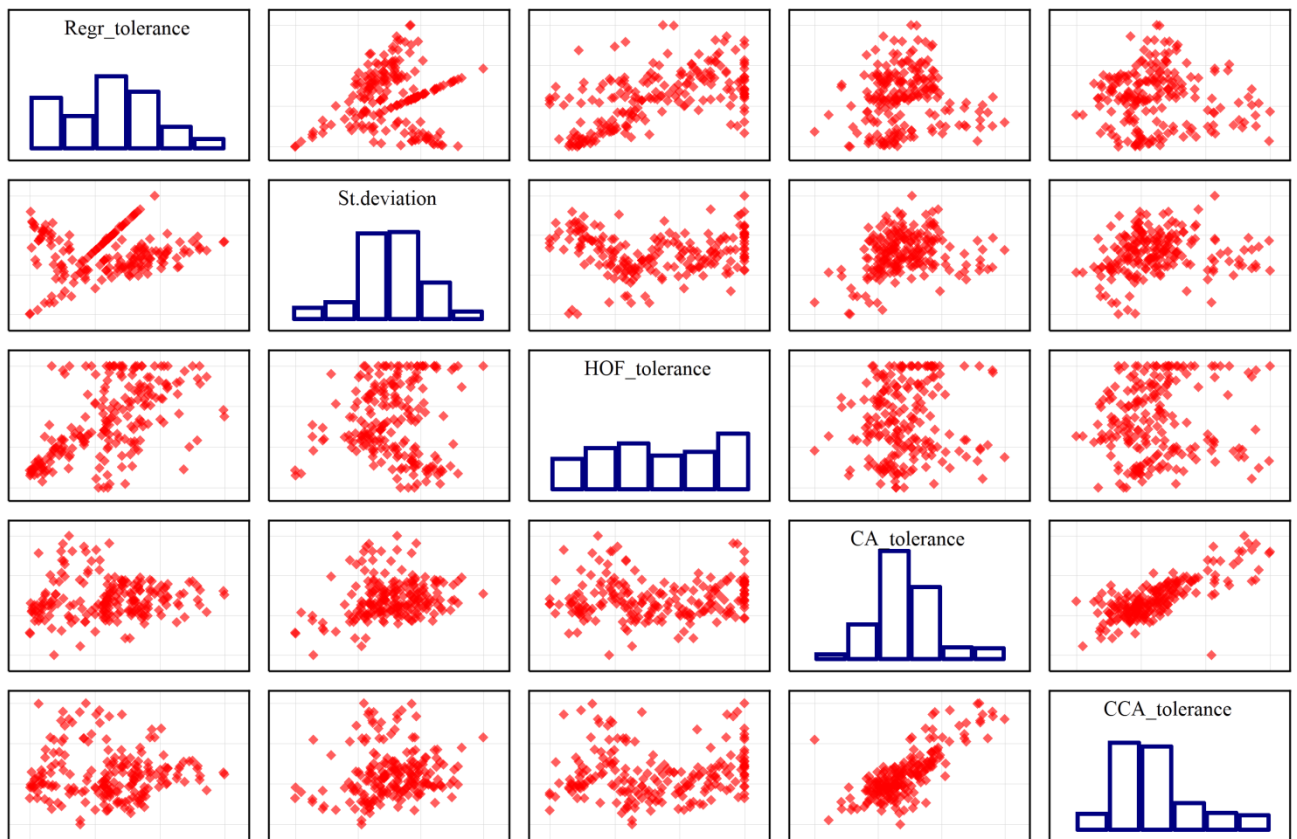


Рис. 4.6. Кореляція оцінок ширини екологічної ніші видів у градієнті часу, одержані за різними методами. St.deviation – оцінка за методом середньої зваженої; Regr_tolerance – оцінка за квадратичною генералізованою регресійною моделлю, HOF_tolerance – оцінка оптимального значення за найкращою моделлю з HOFJO-переліку; CA_tolerance – за результатами СА-аналізу, CCA_tolerance – за результатами ССА-аналізу

Порівняння оцінок як оптимумів (рис. 4.7), так і толерантності (рис. 4.8) з урахуванням типів моделей з HOFJO-переліку вказує на те, що для правильності оцінок дуже важливою умовою є виконання обмежень, які накладають на структуру вихідних даних методи, які застосовуються. Симетричний характер відгуку дає пристойний збіг оцінок за різними методами. Відхилення законів відгуку від ідеалізованих призводять до суттєвого здвигу оцінок.

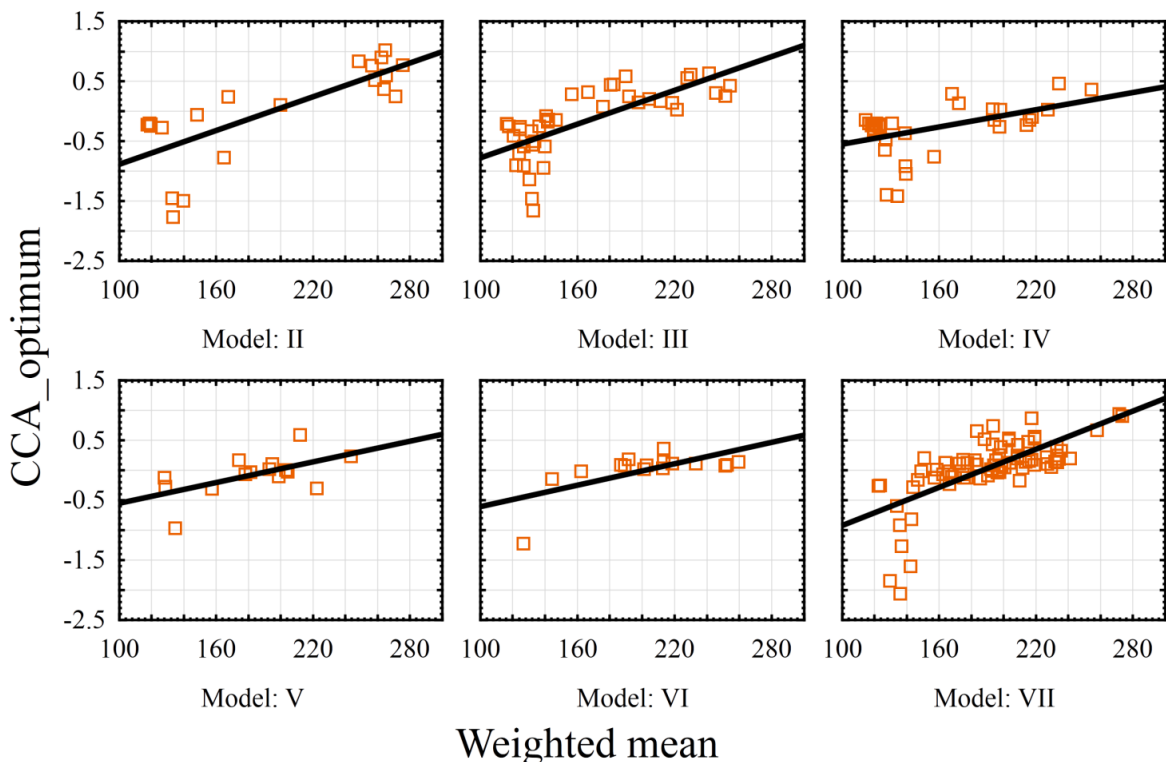


Рис. 4.7. Кореляція оцінок оптимуму видів у градієнті часу, одержаних за результатами методу зваженого середнього (ось абсцис – Weighted mean) та ССА-аналізу (ось ординат – ССА-оптimum) у залежності від типу найкращої моделей з HOF-переліку (II – VII)

Але важливою особливістю є не тільки характер відгуку, але й той факт, що цей відгук є комплексною реакцією виду на сукупну дію факторів різної природи. При чому стосовно часу інші фактори можуть мати більш суттєве значення. Тому процедура урахування впливу інших чинників є

необхідною умовою отримання правильної оцінки оптимуму та толерантності виду.

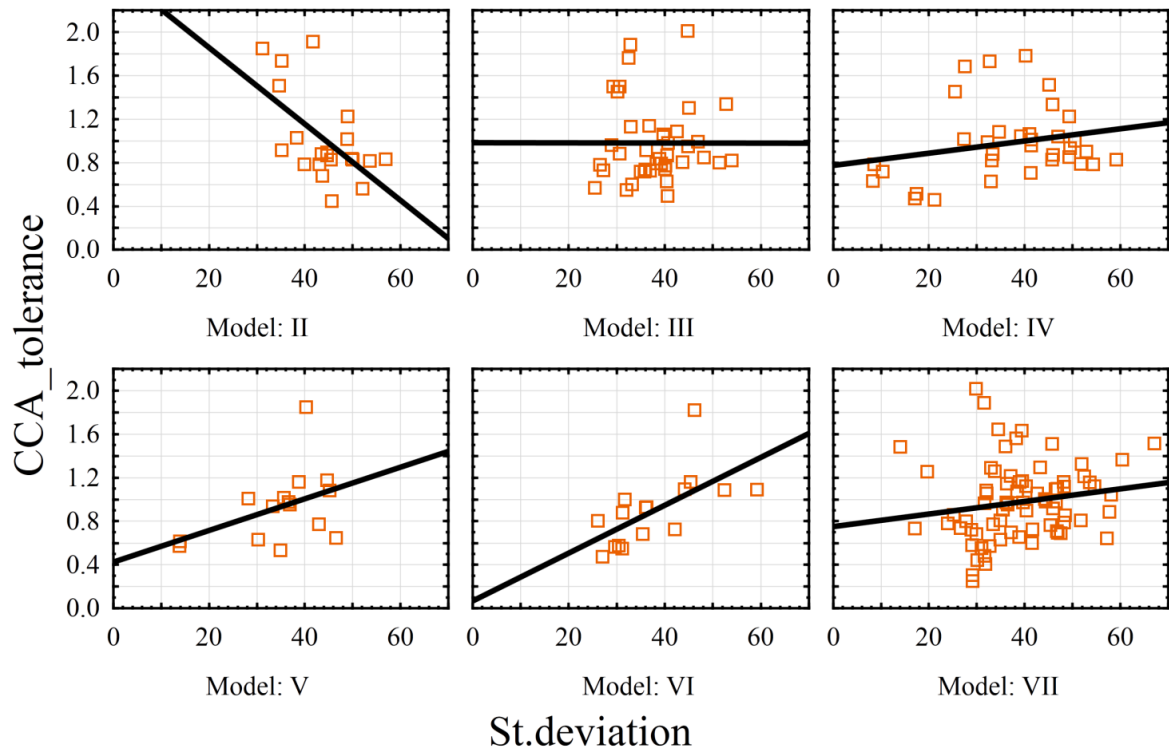


Рис. 4.8. Кореляція оцінок толерантності видів у градієнті часу, одержаних за результатами методу зваженого середнього (ось абсцис – St.deviation) та ССА-аналізу (ось ординат – ССА-tolerance) у залежності від типу найкращої моделі з НОФ-переліку (II – VII)

Таким чином, варіювання угруповання безхребетних відбувається в різних часових вимірах та поряд з монотонною часовою динамікою відбуваються часові процеси різних частотних характеристик. Для оцінки ролі часу в структуруванні угруповання нами був проведений пояснювальний аналіз відповідностей угруповання зі АЕМ-змінними часу в якості предикторів. Нами встановлено, що часові змінні пояснюють 15.2 % варіації угруповання ($F = 12.2$, $p < 0.001$). Нами виділено чотири просторово-детермінованих ССА-осі, які характеризуються певним комплексом коливальних процесів (рис. 4.9). ССА-ось 1 вказує на загальний монотонний тренд мінливості структури угруповання протягом року. Регресійний аналіз (табл. 4.2) вказує на те, що АЕМ-змінна 1 є найважливішим предиктором цієї

осі. Як відзначалось раніше, АЕМ-змінна 1 моделює монотонний часовий тренд. Слід зауважити, що ось 1 визначається також коливальними процесами більш високої частоти, про що свідчать статистично вірогідні регресійні коефіцієнти для таких предикторів, як АЕМ-змінні 2–4, 7, 14, 21 та 25. Але роль цих предикторів значно менша, ніж значення АЕМ-змінної 1.

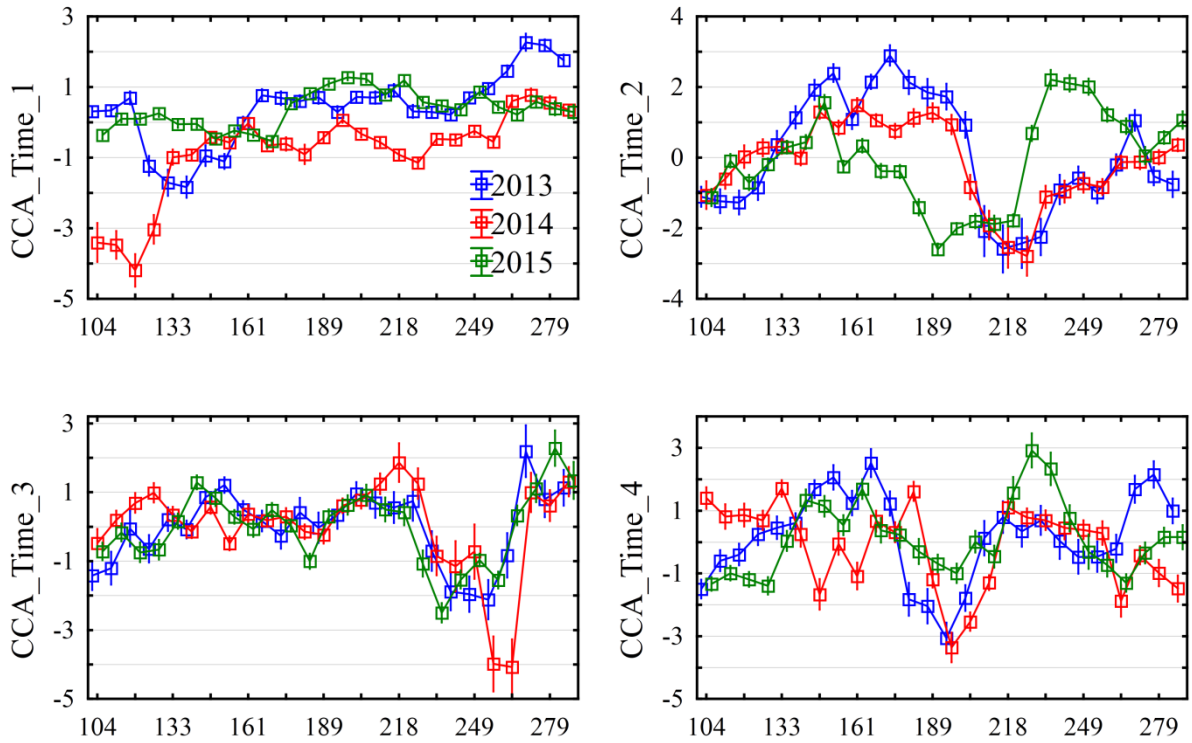


Рис. 4.9. Складові часових трендів угруповання безхребетних, представлені динамікою у часі ССА-осей 1-4, одержаних у результаті аналізу відповідностей угруповання безхребетних зі змінними часу в якості пояснювальних змінних та просторовими змінними, змінними властивостей середовища та типів техноземів у якості коваріат (умовних змінних)

ССА-ось 2 вказує на наявність в динаміці структури угруповання двох локальних максимумів – на початку літа та наприкінці літа або на початку осені. У різні роки дати цих максимумів можуть зміщуватися на більш ранній або на більш пізній період, також може змінюватися рівень прояву цих максимумів. Найбільш важливим предиктором ССА-осі 2 є змінна АЕМ_3, але складність динаміки цієї осі підкреслює статистична значимість у якості предикторів широкого переліку АЕМ-змінних.

Таблиця 4.2. Результати регресійного аналізу залежності осей, які виділені в результаті ССА- аналізу від змінних часу (регресійні β -коефіцієнти \pm ст. помилка, показані коефіцієнти, відібрані в результаті процедури *forward stepwise selection* з $p < 0.05$)

Часові предиктори	ССА-ось 1, $R_{adj}^2 = 0.34, p < 0.001$	ССА-ось 2, $R_{adj}^2 = 0.35, p < 0.001$	ССА-ось 3, $R_{adj}^2 = 0.35, p < 0.001$	ССА-ось 4, $R_{adj}^2 = 0.35, p < 0.001$
АЕМ_1	0.52±0.02	-0.11±0.02	-0.06±0.02	-
АЕМ_2	-0.13±0.02	-0.04±0.02	-0.11±0.02	0.05±0.02
АЕМ_3	0.13±0.02	0.49±0.02	0.22±0.02	0.10±0.02
АЕМ_4	0.15±0.02	-0.10±0.02	0.22±0.02	-0.35±0.02
АЕМ_5	-	-0.15±0.02	0.47±0.02	-
АЕМ_6	-	-0.15±0.02	0.19±0.02	0.33±0.02
АЕМ_7	-0.06±0.02	-	-	0.24±0.02
АЕМ_8	-	0.15±0.02	-0.09±0.02	-0.07±0.02
АЕМ_9	-	0.04±0.02	-0.04±0.02	-0.14±0.02
АЕМ_10	-	-	-0.05±0.02	-
АЕМ_11	-	-0.05±0.02	-0.04±0.02	-
АЕМ_12	-	0.10±0.02	0.13±0.02	0.05±0.02
АЕМ_13	-	-0.05±0.02	0.04±0.02	0.05±0.02
АЕМ_14	-0.04±0.02	0.07±0.02	-0.12±0.02	-0.06±0.02
АЕМ_15	-	-	0.08±0.02	-
АЕМ_16	-	-	-	0.06±0.02
АЕМ_17	-	-	-0.08±0.02	-
АЕМ_18	-	-	0.11±0.02	-
АЕМ_19	-	-	-0.07±0.02	-0.06±0.02
АЕМ_20	-	-	-0.07±0.02	-0.04±0.02
АЕМ_21	-0.04±0.02	-0.06±0.02	-	0.05±0.02
АЕМ_22	-	-	0.05±0.02	-
АЕМ_24	-	-	-	-0.07±0.02
АЕМ_25	-0.05±0.02	-	-	-

ССА-ось 3 чутлива до драматичних перебудов структури угруповання безхребетних наприкінці літа або на початку осені. Щорічна засуха в цей період сезону вимагає фенологічних адаптацій до зазначеного явища. ССА-ось 4 вказує на ще більш високачастотні коливання в динаміці угруповання безхребетних.

Таким чином, для видів безхребетних, які складають угруповання, можна виділити патерни мінливості, що мають характер типових трендів фенологічних змін в угрупованні. Ці зміни є повторюваними рік від року, хоч деякі кількісні особливості можуть змінюватися відповідно до умов зазначеного року. Ці фенологічні зміни є результатом погодженої динаміки угруповання у відповідь на регулярні зміни абіотичних умов.

4.5. Класифікація видів безхребетних за особливостями фенологічної динаміки

АЕМ-підхід дає можливість моделювання складних часових патернів, які значно виходять за межі типових моделей відгуків видів на вплив факторів середовища. Виділені ССА-осі можуть мати проєкції не тільки на точки відбору проб, але й на види. Ваги цих проєкцій вказують на значення тієї або іншої тенденції, які характеризуються часовою динамікою, притаманній тому або іншому виду. Таким чином, кластеризація видів на основі ССА-осей дозволяє провести їх класифікацію за ознакою типових особливостей динаміки. Ієрархічний кластерний аналіз вказує на те, що серед досліджених видів безхребетних можна виділити чотири кластери, які є досить однорідними стосовно головних патернів часової динаміки (рис. 4.10). Кращі результати за критерієм гомогенності кластерів дав метод *k*-середніх. Відображення кластерів у просторі оцінок оптимумів та толерантності видів надав можливість змістовно інтерпретувати кластери як сукупності весняних (Spring), літніх (Summer), літньо-осінніх (Summer-autumn), та осінніх (Autumn) видів.

До складу весняних входить 25 видів безхребетних: *Agapanthia violacea*, *Berlandina cinerea*, *Brachinus psophia*, *Cantharis rustica*, *Cetonia aurata*, *Dorcadion tauricum*, *Drassodes pubescens*, *Drassodes lapidosus*, *Eudiplister planulus*, *Eusomus ovulum*, *Geophilus proximus*, *Gnaphosa dolosa*, *Haplodrassus bohemicus*, *Harpactea rubicunda*, *Margarinotus purpurascens*, *Meloe rufiventris*, *Monacha cartusiana*, *Oxyopes heterophthalmus*, *Pisaura novicia*, *Protaetia ungarica*, *Pterostichus macer*, *Thanatus arenarius*, *Tibellus oblongus*, *Titanoeca veteranica*, *Valgus hemipterus*.

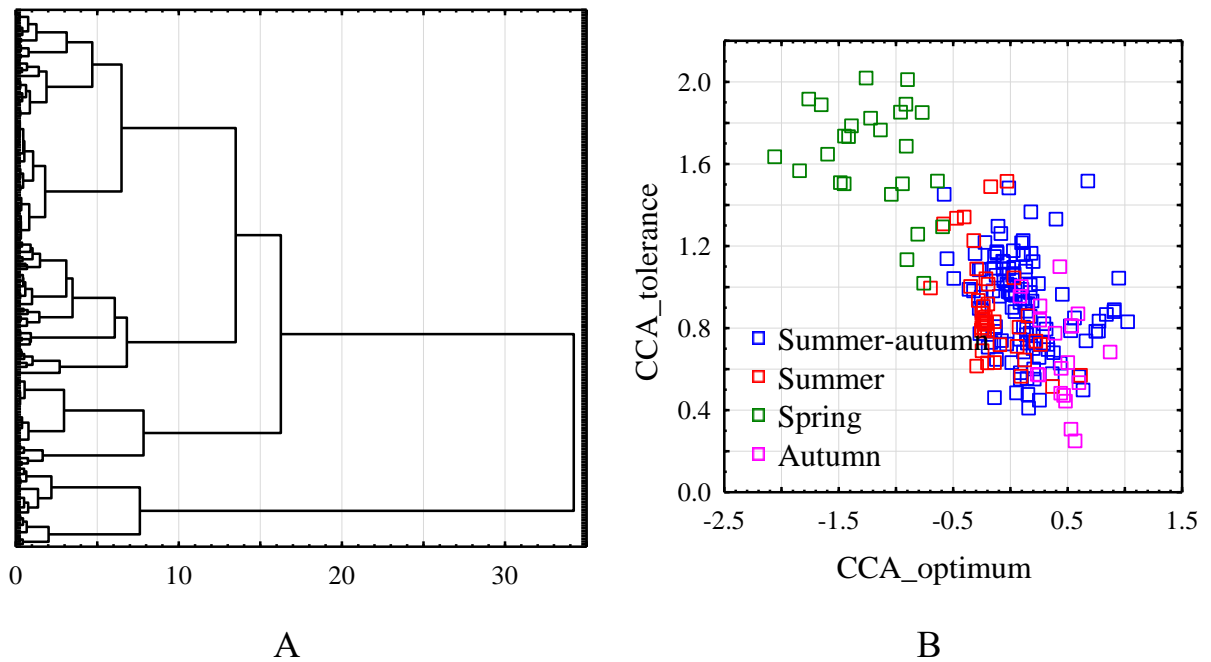


Рис. 4.10. Ієрархічний кластерний аналіз видів тварин за оцінками оптимуму та толерантності в градієнті часу на основі ССА-підходу (А) та за методом k -середніх (В) у просторі оцінок оптимуму та толерантності. Кластери: Spring – весняні, Summer – літні, Summer-autumn – літньо-осінні, Autumn – осінні.

До складу літніх входить 42 види: *Aelurillus m-nigrum*, *Agroeca cuprea*, *Alopecosa pulverulenta*, *Amara apricaria*, *Amara lucida*, *Anoxia pilosa*, *Bothynoderes affinis*, *Buprestidae*, *Byrrhus pilula*, *Calosoma auropunctatum*, *Cicindela sylvatica*, *Dorcus parallelipedus*, *Euryopsis quinqueguttata*, *Haplodrassus kulczynskii*, *Lathys stigmatisata*, *Lebia chlorocephala*, *Lethrus apterus*, *Mecinus collaris*, *Meloe scabriusculus*, *Ocypus brunnipes*, *Ocypus*

ophthalmicus, *Onthophagus gibbosus*, *Onthophagus vitulus*, *Ozyptila scabricula*,
Pardosa agrestis, *Pellenes seriatus*, *Philodromus histrio*, *Pisauridae sp.*,
Platyscelis polita, *Pterostichus anthracinus*, *Pterostichus ovoideus*, *Salticidae sp.*,
Scutigera coleoptrata, *Scymnus frontalis*, *Steatoda albomaculata*, *Stemonyphantes*
lineatus, *Thomisidae sp.*, *Trox sabulosus*, *Xysticus acerbus*, *Xysticus kochi*, *Zabrus*
tenebrioides, *Zelotes electus*. До складу літньо-осінніх входить 115 видів:
Acinopus picipes, *Aelurillus v-insignitus*, *Agelenidae sp.*, *Agriotes sputator*,
Agriotes ustulatus, *Alopecosa cursor*, *Alopecosa kovblyuki*, *Alopecosa sp.*, *Amara*
aenea, *Aphodius fimetarius*, *Asida lutosa*, *Blaps halophila*, *Blaps lethifera*,
Brephulopsis cylindrica, *Broscus cephalotes*, *Calathus ambiguus*, *Calathus*
fuscipes, *Cheiracanthium erraticum*, *Chlaenius decipiens*, *Chlaenius spoliatus*,
Chondrula tridens, *Civizelotes caucasius*, *Coccinella septempunctata*, *Crypticus*
quisquilius, *Cryptops anomalans*, *Curculionidae sp.*, *Cyphocleonus dealbatus*,
Dermestes kaszabi, *Dermestes lanarius*, *Dixus eremita*, *Dorcadion equestre*,
Dorcadion holosericeum, *Drassylus lutetianus*, *Entomoscelis adonidis*, *Eratigena*
agrestis, *Euchorthippus pulvinatus*, *Galeruca pomonae*, *Galeruca tanaceti*,
Geolycosa vultuosa, *Gnaphosa lucifuga*, *Gnaphosa sp. 1*, *Gnaphosa sp. 2*, *Gnaptor*
spinimanus, *Gonocephalum pusillum*, *Gymnopleurus mopsus*, *Haplodrassus*
dalmatensis, *Haplodrassus signifer*, *Harpalus affinis*, *Harpalus albanicus*,
Harpalus distinguendus, *Harpalus griseus*, *Harpalus latus*, *Harpalus picipennis*,
Harpalus rubripes, *Harpalus rufipes*, *Harpalus serripes*, *Harpalus smaragdinus*,
Harpalus sp., *Harpalus sp. 1*, *Harpalus subcylindricus*, *Harpalus tardus*, *Hister*
quadrifasciatus, *Hister quadripunctatus*, *Lepidoptera sp.*, *Licinus depressus*,
Lithobius forficatus, *Margarinotus bipustulatus*, *Miturgidae sp.*, *Mylabris*
polymorpha, *Mylabris quadripunctata*, *Nicrophorus sepultor*, *Nicrophorus*
vestigator, *Nomisia aussereri*, *Onthophagus furcatus*, *Onthophagus nuchicornis*,
Onthophagus ovatus, *Opatrum sabulosum*, *Ophonus azureus*, *Opilio saxatilis*,
Pentodon idiota, *Philodromidae sp.*, *Philonthus cognatus*, *Philonthus concinnus*,
Phrurolithus festivus, *Podonta daghestanica*, *Poecilus crenuliger*, *Poecilus*
cupreus, *Poecilus sericeus*, *Prosodes obtusa*, *Pseudocleonus cinereus*,

Pterostichus sp., *Pterostichus vernalis*, *Pyrrhocoris apterus*, *Rossiulus kessleri*, *Saprinus semistriatus*, *Silpha carinata*, *Silpha obscura*, *Sisyphus schaefferi*, *Taphoxenus gigas*, *Tegenaria lapicidarum*, *Tentyria nomas*, *Thanatophilus sinuatus*, *Theridiidae* sp., *Trachelipus rathkii*, *Trachyzelotes lyonneti*, *Trachyzelotes malkini*, *Trochosa robusta*, *Trox cadaverinus*, *Trox hispidus*, *Xerolycosa miniata*, *Xysticus cristatus*, *Xysticus sabulosus*, *Xysticus striatipes*, *Zabrus spinipes*, *Zelotes longipes*. До числа осінніх входить 20 видів: *Agelena labyrinthica*, *Agriotes gurgistanus*, *Agyneta rurestris*, *Brachinus crepitans*, *Cleonis pigra*, *Dorcadion cinerarium*, *Drassylus praeficus*, *Gnaphosa licenti*, *Harpalus pumilus*, *Harpalus* sp. 2, *Licinus cassideus*, *Oxyopes lineatus*, *Phlegra fasciata*, *Phrurolithus pullatus*, *Probaticus subrugosus*, *Pterostichus melanarius*, *Syntomus obscuroguttatus*, *Thanatophilus rugosus*, *Thanatus vulgaris*, *Tibellus macellus*.

За оцінками оптимуму видів за методом ССА-підходу весняні види характеризуються найвищими значеннями оцінок, літні та літньо-осінні майже не розрізняються, а осінні характеризуються найменшими оцінками оптимальності (рис. 4.11). Оцінки за методом зважених середніх дають менш чітку картину розподілу оцінок оптимумів по кластерах, що свідчить про те, що часові патерни, на основі яких встановлені кластери, зазнають суттєвих зсувів уздовж осі часу під впливом факторів середовища або міжвидових взаємодій. За оцінками толерантності ССА-підхід вказує на те, що найбільш толерантними є весняні види, а інші групи безхребетних є більш спеціалізованими. За методом середнього зваженого найбільш толерантними є літні та літньо-осінні види, а весняні та осінні є більш спеціалізованими.

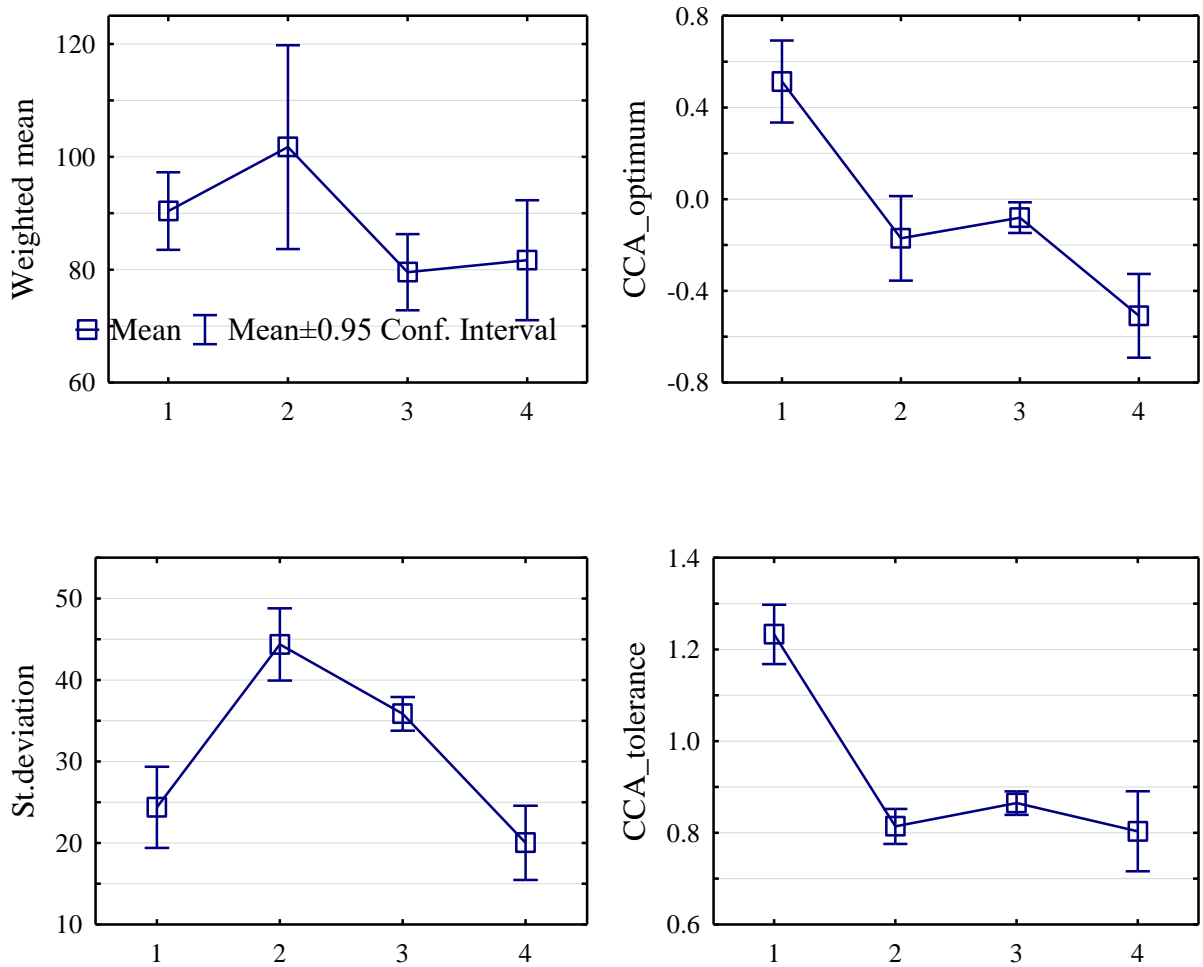


Рис. 4.11. Оцінки за різними підходами оптимумів та толерантності видів у градієнті часу для екологічних груп тварин. Ось абсцис – екологічні групи (кластери): 1 – весняні (Spring), 2 – літні (Summer); 3 – літньо-осінні (Summer-autumn); 4 – осінні (Autumn)

Множинний аналіз відповідностей дозволив встановити, що сезони групи мають свою специфіку з точки зору трофічної структури (рис. 4.12). Фітофаги переважають серед літньо-осінніх форм, а зоофаги – серед осінніх та меншою мірою серед весняних або літніх. Для сапрофагів не встановлено переважання в тій або іншій сезонній групі. Відгук літніх форм у градієнті часу найчастіше описується симетричною дзвіноподібною моделлю V. Літньо-осінні форми характеризуються відгуками на час, які можуть бути описані моделями V, VI та VII. Весняні форми найчастіше мають розподіл, який найкраще описується моделями II та III. Для літніх форм характерна

модель VII. Фітофаги найчастіше мають відгук на градієнт часу, який найкраще може бути описаний моделями II та III, фітофаги – VI та VII, сапрофаги – IV та V.

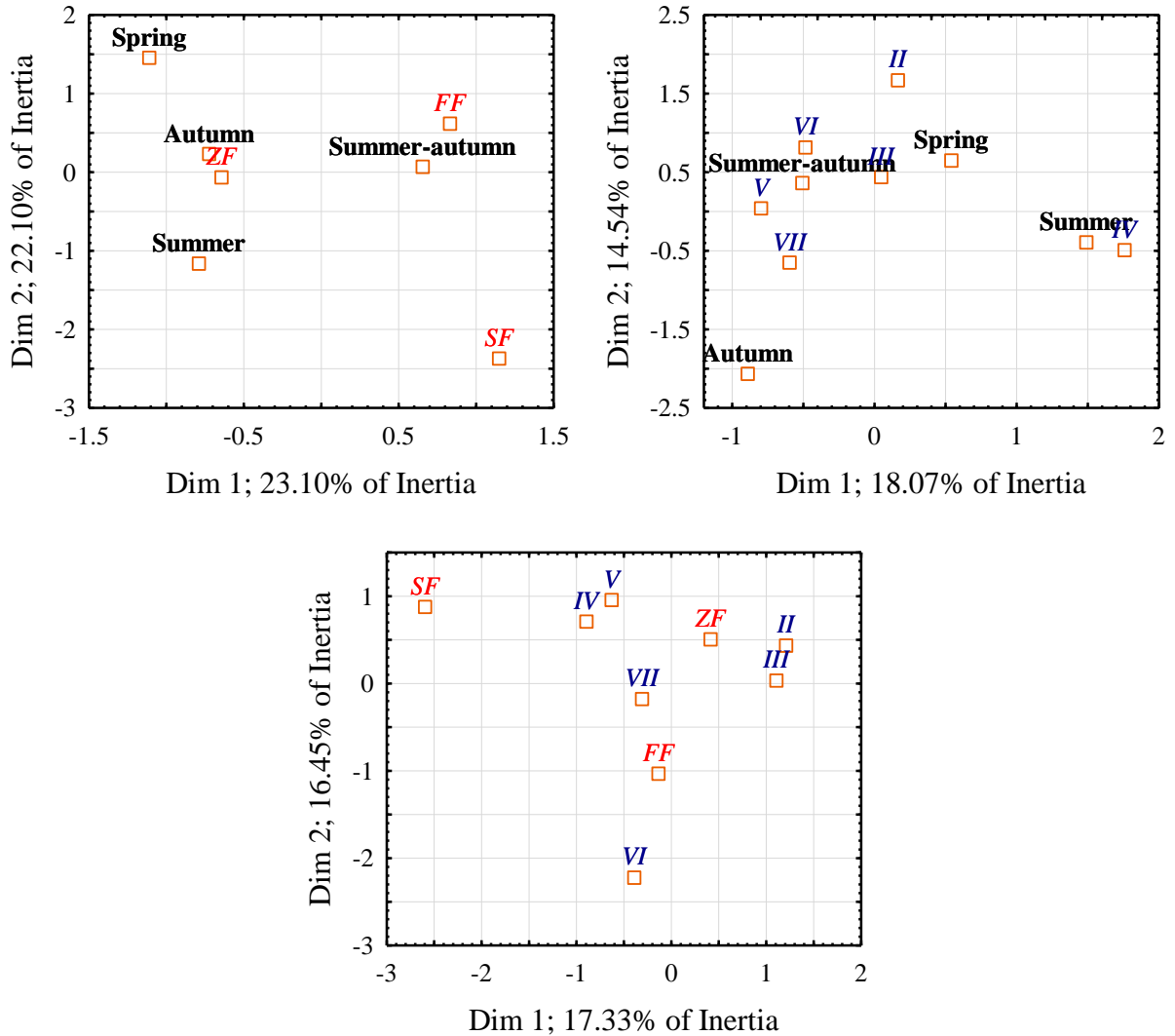


Рис. 4.12. Множинний аналіз відповідностей сезонних груп безхребетних тварин, моделей відгуків та трофічних груп

Висновок по розділу

Динаміка в часі протягом вегетаційного сезону чисельності найбільшої кількості видів безхребетних ділянки рекультивації описується бімодальною асиметричною моделлю (модель VII з переліку HOFJO). Бімодальність

підкреслює важливість впливу біотичних (конкурентних) взаємодій між видами. Бімодальність може бути наслідком біологічної неоднорідності популяції та результатом міграційних процесів. Встановлені типи часової динаміки безхребетних вказують на наявність складних та сформованих процесів регулювання чисельності тварин на порівняно молодих екологічних утвореннях, якими є техноземи. Наявна часова динаміка видів безхребетних, структурована у просторі, також характерні регулярні часові патерни, на основі яких встановлені такі фенологічні групи тварин: весняні, літні, літньо-осінні та осінні. Фітофаги переважають серед літньо-осінніх форм, а зоофаги – серед осінніх та меншою мірою серед весняних або літніх. Відгук літніх форм у градієнті часу найчастіше описується симетричною дзвіноподібною моделлю V. Літньо-осінні форми характеризуються відгукми на час, які можуть бути описані моделями V, VI та VII. Весняні форми найчастіше мають розподіл, який найкраще описується моделями II та III. Для літніх форм характерна модель VII.

РОЗДІЛ 5.**ВІДГУК НАЗЕМНИХ БЕЗХРЕБЕТНИХ НА ДИНАМІКУ ВОЛОГОСТІ
ТЕХНОЗЕМІВ****5.1. Фітоіндикаційна оцінка режимів зволоження техноземів**

У цьому дослідженні ми застосували різні підходи для оцінки оптимумів та толерантності до вмісту ґрунтової вологи часової проєкції екологічної ніші наземних безхребетних у межах експериментального полігону, створеного для дослідження динаміки процесів рекультивації земель після глибоких гірничих розробок у посушливих умовах степу України. Головним завданням було встановити, чи впливає мінливість вмісту води в техноземах на часову динаміку наземних безхребетних та знайти властивості кривих відгуків видів на вміст води в ґрунті. Нами сформульовано три гіпотези. *Гіпотеза 1.* Відгук видів на вміст води в ґрунті залежить не тільки від вмісту води в ґрунті безпосередньо, але зазнає впливу від інших факторів середовища та просторових і часових змінних. Для того, щоб встановити реальні оцінки оптимуму та толерантності видів, необхідно попередньо виокремити вплив інших факторів на їх відповідь. *Гіпотеза 2.* Кожна екологічна група наземних безхребетних, яка є однорідною по відношенню до градієнта вологості (ксерофіли, ксеромезофіли, мезофіли) характеризується специфічним переліком моделей, які найкращим чином пояснюють відгук видів на вміст вологи у техноземах. *Гіпотеза 3.* Асиметрія відгуку видів на вологість ґрунту в різних частинах діапазону вологості є переважно наслідком впливу різних причин. Абіотичні фактори є найважливішими в аридній частині градієнту, а біотичні фактори є переважаючими в більш гумідній частині градієнту.

Загалом у межах експериментального полігону було встановлено 35 видів трав'янистих рослин (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. Кількість видів рослин та фітоіндикаційне оцінювання умов ґрунтової вологості

Сайт	Технозем	Кількість видів	Індикаторне значення ґрунтової вологості	Фітоіндикаторна оцінка вмісту доступної для рослин вологи, мм		Преферентні екологічні групи рослин*
				оцінка вмісту	оцінка вмісту	
1		23	12.6	123.2		Мезофіти
2	Лесоподібні суглинки	17	10.3	87.4		Субмезофіти
3		21	12.6	124.0		Мезофіти
4		15	12.0	113.0		Мезофіти
5		20	12.2	116.6		Мезофіти
6		26	11.9	110.6		Мезофіти
7	Червоно-бурі глини	11	12.8	127.3		Мезофіти
8		31	8.4	65.7		Субксерофіти
9		30	8.6	67.7		Субксерофіти
10		13	12.6	124.0		Мезофіти
11	Сіро-зелені глини	23	9.1	72.9		Субмезофіти
12		23	8.7	68.5		Субксерофіти
13		13	7.4	56.7		Субксерофіти
14	Педозем	16	11.3	102.0		Мезофіти
15		26	12.1	114.7		Мезофіти
16		16	12.7	124.8		Мезофіти
17	Технологічн а суміш	15	6.9	52.8		Ксерофіти
18		16	9.0	71.5		Субксерофіти
19	гірських порід	19	9.0	71.6		Субксерофіти
20		20	6.7	51.2		Ксерофіти

Позначки: * – відповідно до фітоіндикаторних шкал Я. П. Дідуха (2011)

На кожній ділянці кількість видів варіювалась у межах 11–33. Фітоіндикаційна оцінка вмісту вологи у ґрунтів знаходиться в діапазоні 6.7–12.8 відповідно до 23-бальної шкали вологості Я. П. Дідуха (Didukh, 2011). Фітоіндикаційні шкали можуть бути перераховані у фізичні оцінки вмісту

доступної вологи. Ці показники знаходяться в діапазоні 51.2–127.3 мм у метровому шарі техноземів. Якісно умови вологості є сприятливими для рослин від ксерофітів до мезофітів.

5.2. Видове різноманіття угруповань безхребетних

У цілому було зібрано 257437 особин безхребетних (Arthropoda та Mollusca) з 6 класів, 13 рядів, 50 родин та 202 видів або паратаксономічних одиниць (Табл. 5.2). Двопарноногі є найбільш чисельною таксономічною групою, яка представлена тільки одним видом *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927). Чисельність цього виду складає 49.4 % від загальної чисельності угруповання. Coleoptera та Araneae є значно чисельними таксономічними групами, які обіймають 22.4 та 18.2 % від загальної чисельності угруповання. Ці таксони є найбільш насиченими видами. Coleoptera представлені 122 видами, а Araneae представлені 67 видами.

Таблиця 5.2. Чисельність та кількість видів та паратаксономічних одиниць безхребетних, які зібрані пастками

Таксон	Родина	Кількість особин			Кількість видів		
		2013	2014	2015	2013	2014	2015
Arthropoda							
Crustacea							
Isopoda	Trachelipodidae	850	255	1853	1	1	1
Diplopoda							
Julida	Julidae	45649	34170	47453	1	1	1
Chilopoda							
Geophilomorpha	Geophilidae	15	5	2	1	1	1
Lithobiomorpha	Lithobiidae	72	31	284	1	1	1
Scolopendromorpha	Cryptopidae	105	22	237	1	1	1
Scutigermorpha	Scutigerae	7	11	2	1	1	1
Arachnida							

Таксон	Родина	Кількість особин			Кількість видів		
		2013	2014	2015	2013	2014	2015
Araneae	Agelenidae	351	46	628	4	4	4
	Dictynidae	20	–	15	1	–	1
	Gnaphosidae	8399	4195	9223	20	17	18
	Linyphiidae	36	3	19	2	1	2
	Liocranidae	18	2	11	3	1	2
	Lycosidae	3343	1536	4789	8	7	8
	Miturgidae	114	2	255	2	1	2
	Oxyopidae	23	11	15	2	1	2
	Philodromidae	873	521	630	6	2	5
	Pisauridae	35	11	12	2	1	2
	Salticidae	434	96	652	5	5	5
	Theridiidae	108	17	95	3	1	3
	Thomisidae	952	524	992	7	4	7
	Titanoecidae	80	58	5	1	1	1
Dysderidae	33	11	17	1	1	1	
Opiliones	Phalangiidae	11	–	11	1	–	1
Insecta							
Coleoptera	Aphodiidae	17	27	34	1	1	1
	Buprestidae	29	–	22	1	–	1
	Byrrhidae	52	–	35	1	–	1
	Cantharididae	12	2	9	1	1	1
	Carabidae	5870	5825	4866	47	39	46
	Cerambycidae	196	55	57	5	2	4
	Cetoniidae	75	43	14	3	3	2
	Chrysomelidae	73	69	75	1	1	1
	Coccinellidae	78	20	81	2	2	1
	Curculionidae	319	257	483	9	7	7
	Dermestidae	3314	2421	3047	2	2	2
	Dynastidae	190	94	284	1	1	1
	Elateridae	245	212	287	3	2	3
	Geotrupidae	101	5	54	1	1	1
	Histeridae	1510	1330	1598	6	5	6

Таксон	Родина	Кількість особин			Кількість видів		
		2013	2014	2015	2013	2014	2015
	Lucanidae	20	44	–	1	1	–
	Meloidae	518	505	172	4	3	4
	Scarabaeidae	682	395	624	7	5	7
	Silphidae	750	555	1371	6	5	6
	Staphilinidae	507	165	695	4	2	4
	Tenebrionidae	9000	4489	7455	12	11	12
	Trogidae	109	81	107	3	2	3
	Melolonthidae	8	25	–	1	1	–
Hemiptera	Pyrrhocoridae	1473	1358	1467	1	1	1
Lepidoptera	Noctuidae	633	848	732	1	1	1
Orthoptera	Acrididae	5778	7764	4324	1	1	1
Mollusca							
Gastropoda							
Pulmonata	Enidae	422	267	428	2	2	2
	Hygromiidae	8	16	–	1	1	–

Серед досліджених 202 видів або форм видового рівня зустрічаються 50 разів або менше 71 вида (рис. 5.1).

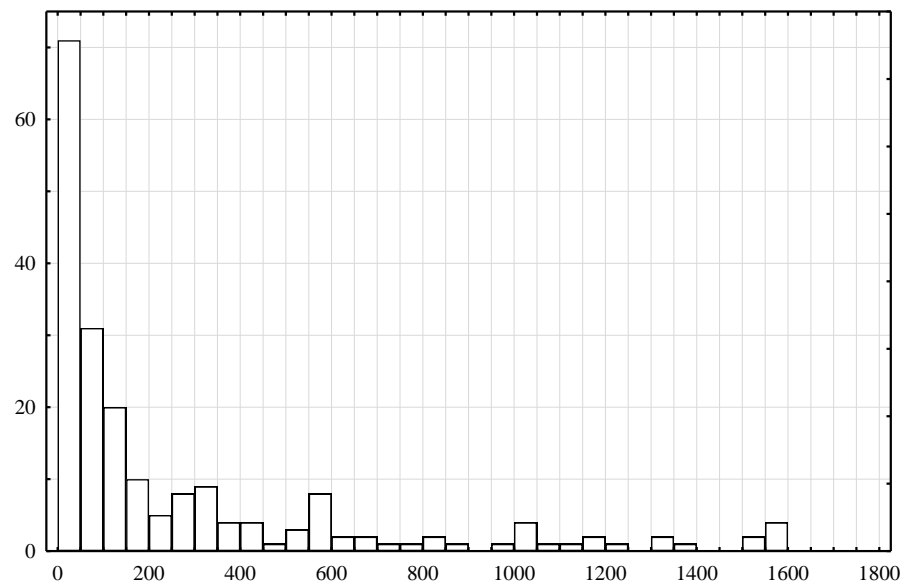


Рис. 5.1. Розподіл видів за кількістю зустрічей. Ось абсцис – кількість зустрічей, ось ординат – кількість видів

5.3. Розподіли оптимумів та толерантності видів у градієнті вологості

Розподіл зважених за чисельністю видів тварин показників вмісту доступної для рослин вологи є полімодальним та може бути представлений як суміш трьох нормальних розподілів (Kolmogorov-Smirnov $d = 0.037$, $p = 0.93$) (рис. 5.3 А).

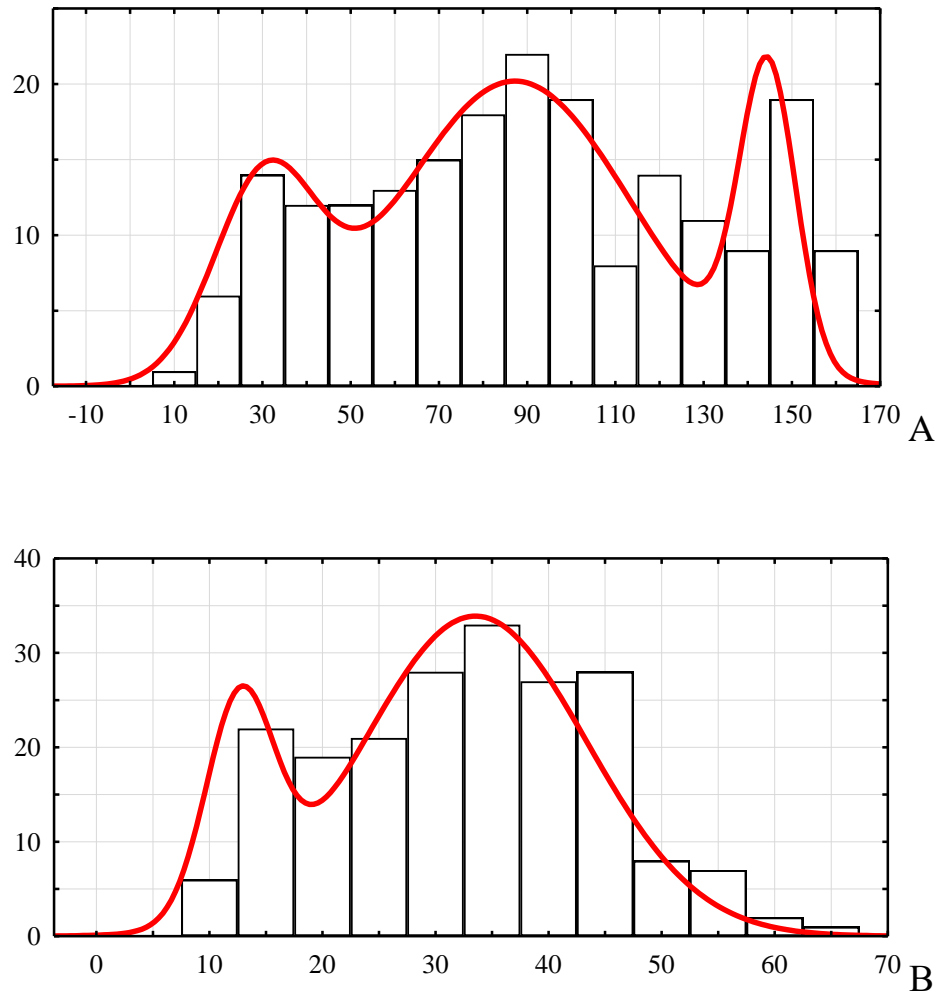


Рис. 5.3. Гістограми розподілів зважених за чисельністю видів тварин показників вмісту доступної для рослин вологи (А) та зважених оцінок середньоквадратичного відхилення цього показника (В)

Складова з середнім 30,5 мм та середньоквадратичним відхиленням 11,5 становить 18,4 % від варіювання суміші. Складова з середнім 87,2 мм та середньоквадратичним відхиленням 29,3 становить 65,9 % від варіювання

суміші. Складова з середнім 144,5 мм та середньоквадратичним відхиленням 6,4 становить 15.7 % від варіювання суміші. Розподіл зважених оцінок середньоквадратичних оцінок за чисельністю видів тварин показників вмісту доступної для рослин вологи є бімодальним та може бути представлений як суміш двох нормальних розподілів (Kolmogorov-Smirnov $d = 0.027$, $p = 0.99$) (рис. 5.3 В). Складова з середнім 12,6 та середньоквадратичним відхиленням 3,0 становить 17.0 % від варіювання суміші. Складова з середнім 33,5 та середньоквадратичним відхиленням 9,9 становить 83.0 % від варіювання суміші.

5.4. Моделювання патернів відгуків видів на градієнт вологості

NOFJO-підхід надає можливості для моделювання відгуків видів за допомогою більшої кількості альтернативних моделей (рис. 5.4). Найчастіше оптимальною моделлю відгуку видів є модель IV, дещо менш часто оптимальними є моделі III, V та VII (рис. 5.5). Таким чином, найчастіше відгук видів на вплив вмісту вологи в ґрунті може бути описаний гаусовою кривою (модель IV), або наближеною до неї асиметричною дзвіноподібною кривою (модель V). Для монотонних патернів відгуків видів більш придатною є ординаційна процедура RDA-аналізу, а для патернів з дзвіноподібним відгуком придатною є ординаційна процедура CCA-аналізу. DCA показав, що довжина градієнту першої осі переважає 2 стандартних відхилення (2.49), що вказує на доречність застосування аналізу відповідностей (CA) та умовного аналізу відповідностей у якості ординаційних процедур (CCA). Осі, виокремлені в результаті CA-ординації угруповання безхребетних, можуть бути пояснені за допомогою факторів середовища, часових та просторових змінних, а також типу технозему (Табл. 1).

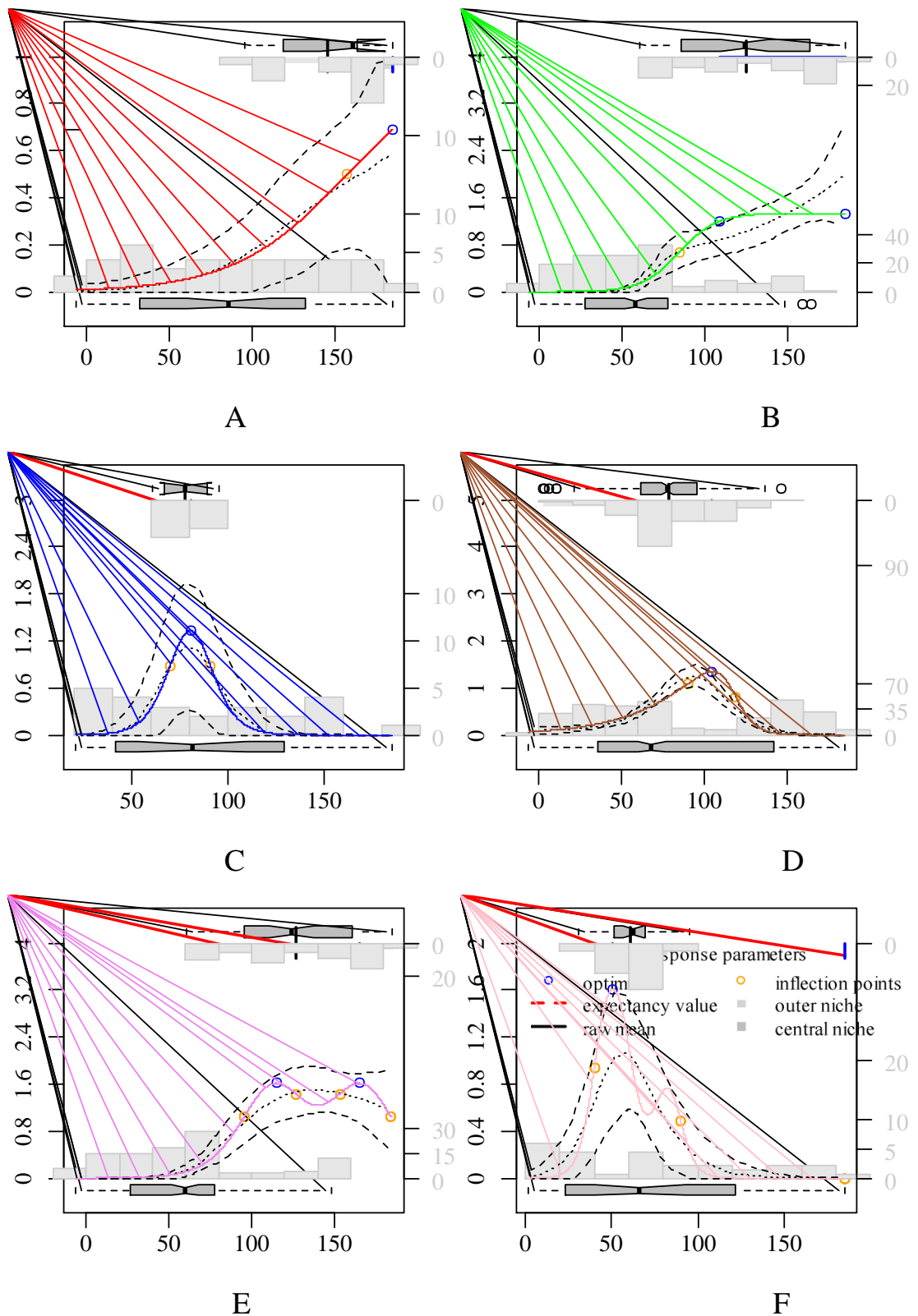


Рис. 5.4. Різноманітні моделі відгуку чисельності видів у градієнті вологості ґрунту. Ось абсцис – вміст води доступної для рослин, мм у шарі ґрунту 1 м; ось ординат – кількість індивідумів. HOFJO-моделі: А – модель II (*Agroeca cuprea*), В – модель III (*Aelurillus m-nigrum*), С – модель IV (*Brachinus crepitans*), D – модель V (*Chondrula tridens*), Е – модель VI (*Xysticus cristatus*), F – модель VII (*Acinopus picipes*)

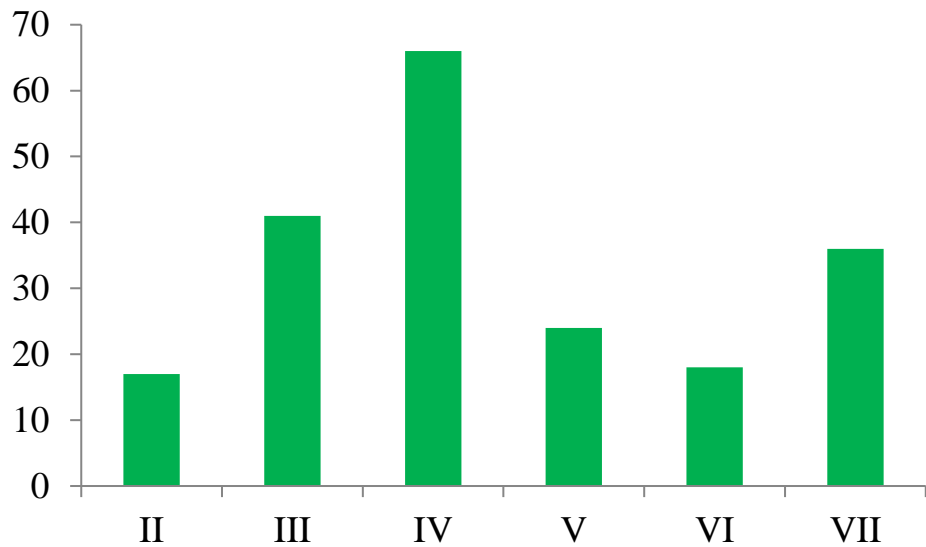


Рис. 5.5. Розподіл кількості оптимальних моделей відгуку видів на вплив вологості ґрунту. Ось абсцис – HOF та дві додаткові моделі відгуку видів у градієнті умов вологості ґрунту, ось ординат – кількість видів, для яких модель є найкращою за критерієм AIC_c .

Перші чотири СА-осі здатні пояснити 19.1 % від загальної варіабельності угруповання. Ось 1 найбільш скорельована з вологістю ґрунту (RAW), але вірогідна кореляція встановлена також між вмістом вологи та СА-віссю 4. Температура та атмосферний тиск є важливими предикторами варіювання угруповання безхребетних. Важливість часових предикторів строго ранжована в порядку зменшення часових dbMEMs-змінних. Цей результат указує на те, що важливість часових коливальних процесів зменшується зі збільшенням їх частоти. Просторові змінні значно впливають на варіювання угруповання. Як показали результати HOFJO-підходу, відгуки видів у градієнті умов вологості ґрунту є переважно дзвіноподібними (для яких найкращою ординаційною процедурою є CCA), але відгуки значної кількості видів є монотонними (для яких найкращою ординаційною процедурою є RDA).

Таблиця 5.4. Оцінка впливу факторів середовища, часових та просторових змінних та типів техноземів на результати СА-ординації

Предиктор и	Осі, % поясненої варіації				R^2	Pr(>r)	Коди статистично ї вірогідності
	СА1, 8.6	СА2, 4.1	СА3, 3.5	СА4, 3.0			
Кліматичні предиктори							
Опади	-0.63	0.74	0.03	0.23	0.09	0.001	***
Вітер	-0.25	-0.55	-0.08	-0.79	0.07	0.001	***
T_{min}	0.40	0.89	0.04	0.18	0.33	0.001	***
T_{max}	0.30	0.86	0.08	0.40	0.29	0.001	***
T	0.38	0.88	0.06	0.28	0.33	0.001	***
Вологість	-0.77	-0.26	-0.14	-0.57	0.08	0.001	***
Тиск	0.66	-0.16	-0.16	-0.71	0.18	0.001	***
RAW	-0.96	0.09	0.01	0.27	0.93	0.001	***
Time predictors							
Time_1	0.94	-0.20	0.06	0.26	0.56	0.001	***
Time_2	-0.13	-0.91	-0.02	-0.39	0.29	0.001	***
Time_3	0.90	0.35	0.05	0.26	0.15	0.001	***
Time_4	-0.44	-0.84	-0.13	-0.28	0.08	0.001	***
Time_5	-0.97	0.16	0.12	-0.16	0.07	0.001	***
Time_6	-0.25	-0.93	-0.10	-0.25	0.04	0.001	***
Time_7	0.95	0.23	-0.09	0.17	0.02	0.001	***
Time_8	-0.54	-0.26	-0.78	-0.18	0.00	0.694	
Time_9	-0.94	-0.19	0.11	-0.27	0.01	0.001	***
Time_10	-0.11	-0.97	-0.17	-0.11	0.01	0.013	*
Time_11	0.95	-0.05	-0.15	-0.27	0.00	0.339	
Time_12	-0.14	0.87	-0.21	-0.43	0.00	0.617	
Spatial predictors							
Spat_1	-0.06	0.16	0.91	-0.39	0.38	0.001	***
Spat_2	0.02	0.04	-0.97	-0.24	0.45	0.001	***
Spat_3	0.06	0.22	0.56	-0.80	0.09	0.001	***
Spat_4	0.14	0.51	0.37	0.76	0.03	0.001	***
Spat_5	-0.06	-0.72	0.32	-0.61	0.01	0.007	**

Предиктор и	Осі, % поясненої варіації				R^2	Pr(>r)	Коди статистично ї вірогідності
	CA1, 8.6	CA2, 4.1	CA3, 3.5	CA4, 3.0			
Spat_6	-0.43	0.09	-0.40	-0.81	0.01	0.044	*
Spat_7	0.90	0.11	0.01	0.42	0.00	0.997	
Spat_8	0.00	0.84	0.53	0.15	0.00	0.678	
Spat_9	0.21	-0.42	0.44	0.77	0.00	0.474	
Technosols types							
Technosols	–	–	–	–	0.21	0.001	***
GG	0.03	-0.11	0.90	0.22	–	–	–
LL	-0.07	0.12	0.75	-0.47	–	–	–
PZ	-0.03	-0.26	-0.81	0.39	–	–	–
RB	0.03	0.10	0.43	0.29	–	–	–
TM	0.07	0.03	-1.25	-0.27	–	–	–

Symbols: Significance codes: ‘***’ – <0.001; ‘**’ – <0.01; ‘*’ – <0.05

Фракціонування варіабельності угруповання відносно до метеорологічних даних, просторових та часових предикторів, а також типу техноземів виконано як на основі ССА, так і на основі RDA (рис. 5.6). Фракціонування варіювання угруповання на основі ССА-процедури вказує на найбільшу роль складних факторів, які є результатом взаємодії часових та просторових факторів, а також часових, просторових та метеорологічних факторів. Результати на основі RDA-процедури також вказують на суттєву роль взаємодії метеорологічних та часових факторів, на необхідність вичленування ролі взаємодії фактора вологості ґрунту з іншими факторами для оцінки саме впливу вологості ґрунту на динаміку угруповання безхребетних.

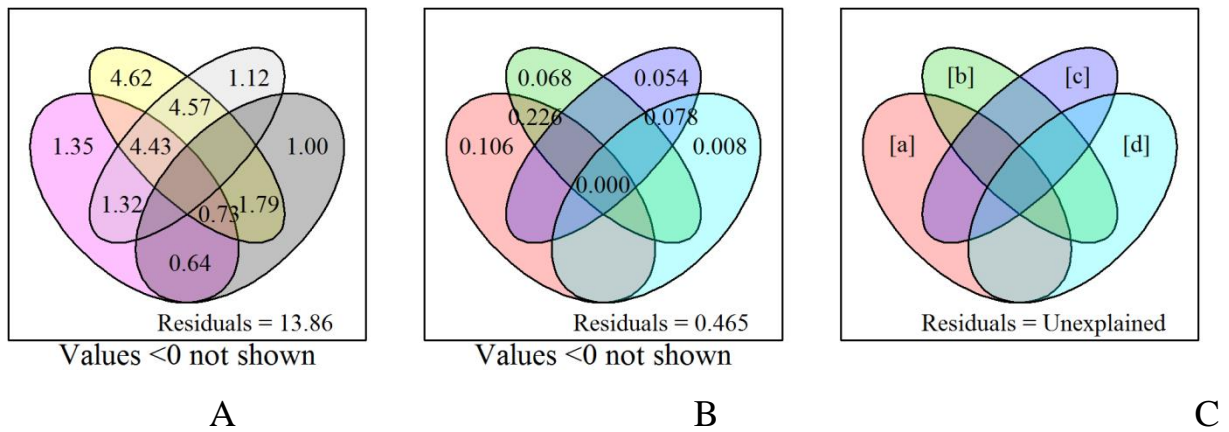


Рис. 5.6. Фракціонування варіації угруповання тварин між змінними часу, простору, метеорологічними показниками та типом технозему. А – фракціонування χ^2 в обмеженому аналізі відповідностей (ССА), В – фракціонування R^2 в аналізі надлишковості; С – значення символів

Примітки: [a] – варіація пояснена виключно метеорологічними показниками; [b] – варіація пояснена виключно змінними часу (часові dbMEM); [c] – варіація пояснена виключно просторовими змінними (просторові dbMEM); [d] – варіація пояснена типом технозему; [a]+[b] – варіація пояснена метеорологічними та часовими змінними; [a]+[c] – варіація пояснена метеорологічними та просторовими змінними; [b]+[c] – варіація пояснена просторовими та часовими змінними; [c]+[d] – варіація пояснена просторовими змінними та типом техноземів. Усі наведені фракції варіації є статистично вірогідними ($p < 0.001$).

Вплив вологості ґрунту з урахуванням якості умовних змінних часу, простору, типу технозему та метеорологічних показників здатний пояснити 2.1 % варіювання угруповання тварин ($F = 44.04$, $p < 0.001$). Ординаційна ССА-ось статистично вірогідно корелює з показником вмісту доступної для рослин води ($r = -0.53$, $p < 0.001$). З метеорологічними показниками, змінними часу та просторовими змінними статистично вірогідної кореляції цієї осі не встановлено. Також відсутній статистично вірогідний вплив типу технозему на цю ось ($F = 0.04$, $p = 0.99$). Ваги видів на ординаційну ССА-ось є оцінками оптимальності видів у градієнті умов вологості, а середньоквадратичні відхилення є показниками толерантності до умов вологості.

5.5. Оцінки оптимумів та толерантності видів різними методами

Аналіз кореляції оцінок оптимальних значень у градієнті умов вологості, одержані різними методами, вказує на різний рівень взаємозв'язку цих оцінок (рис. 5.7).

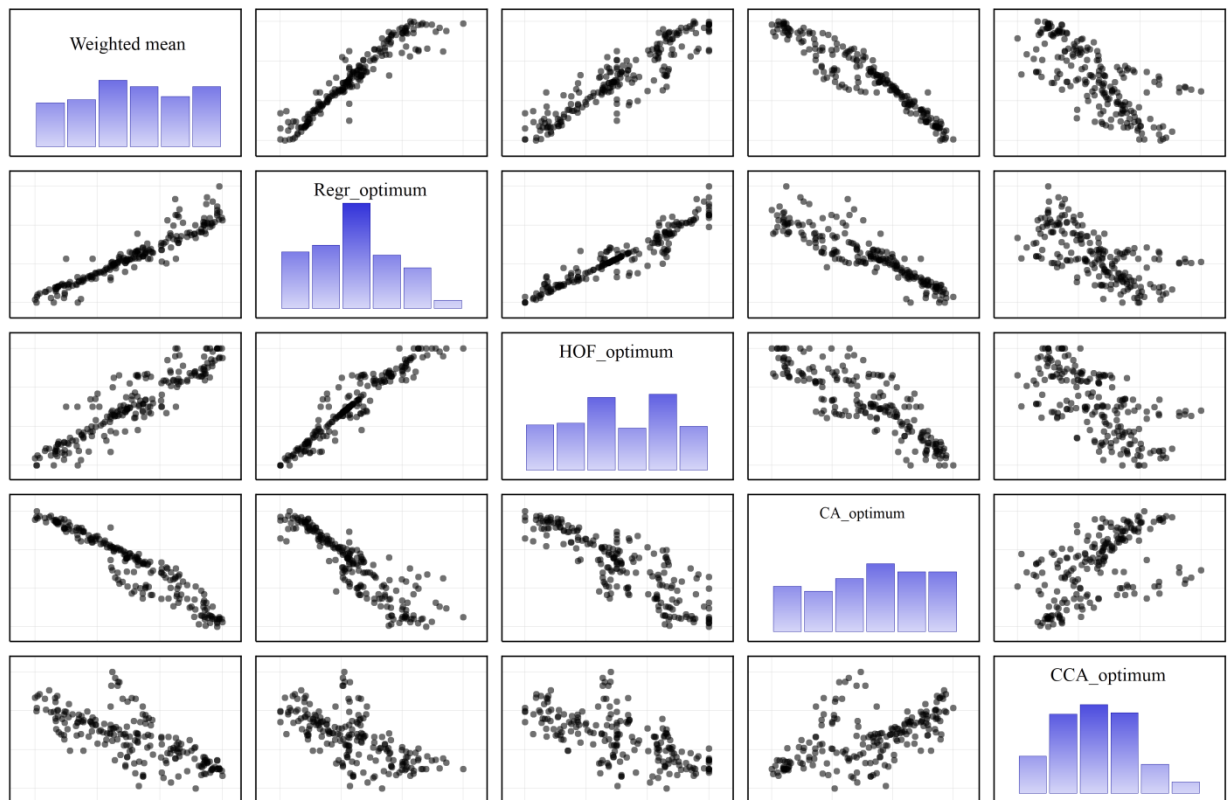


Рис. 5.7. Кореляція оцінок оптимуму видів у градієнті умов вологості, які одержані за різними методами. Weighted mean – оцінка за методом середньої зваженої; Regr_optimum – оцінка за квадратичною генералізованою регресійною моделлю, HOF_optimum – оцінка оптимального значення за найкращою моделлю з HOFJO-переліку; CA_optimum – за результатами СА-аналізу; CCA_optimum – за результатами ССА-аналізу

Найбільшою мірою корелюються між собою середня зважена та значення оптимуму, одержані за регресійною моделлю ($r = 0.97$, $p < 0.001$). Регресійною оцінкою є модель IV, яка застосована до всіх розподілів, тому саме вона забезпечує основну складову кореляції між регресійною оцінкою

та HOFJO-оцінкою оптимумів видів. Інші моделі, які враховують різний рівень асиметричності або бімодальності відгуків видів у градієнті умов вологості ґрунту, дають оцінки оптимумів, які суттєво відрізняються як від регресійного підходу, так і від методу середнього зваженого (рис. 5.8).

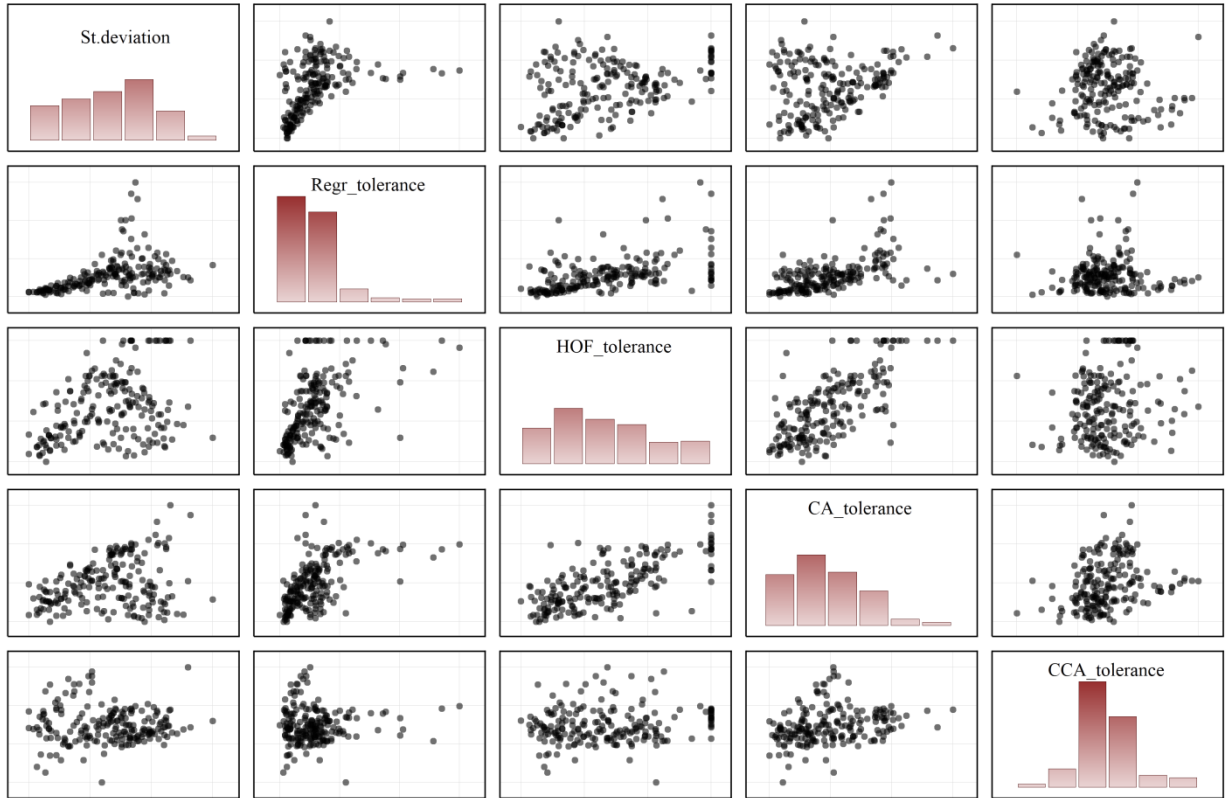


Рис. 5.8. Кореляція оцінок ширини екологічної ніші видів у градієнті умов вологості, одержаних за різними методами. St.deviation – оцінка за методом середньої зваженої; Regr_tolerance – оцінка за квадратичною генералізованою регресійною моделлю, HOF_tolerance – оцінка оптимального значення за найкращою моделлю з HOFJO-переліку; CA_tolerance – за результатами СА-аналізу, CCA_tolerance – за результатами ССА-аналізу

Найбільші відхилення від монотонної залежності між оцінками оптимумів за регресійним підходом та ССА-підходом спостерігаються у центральній зоні градієнту вологості ґрунту для моделей IV та V (рис. 5.9, 5.10).

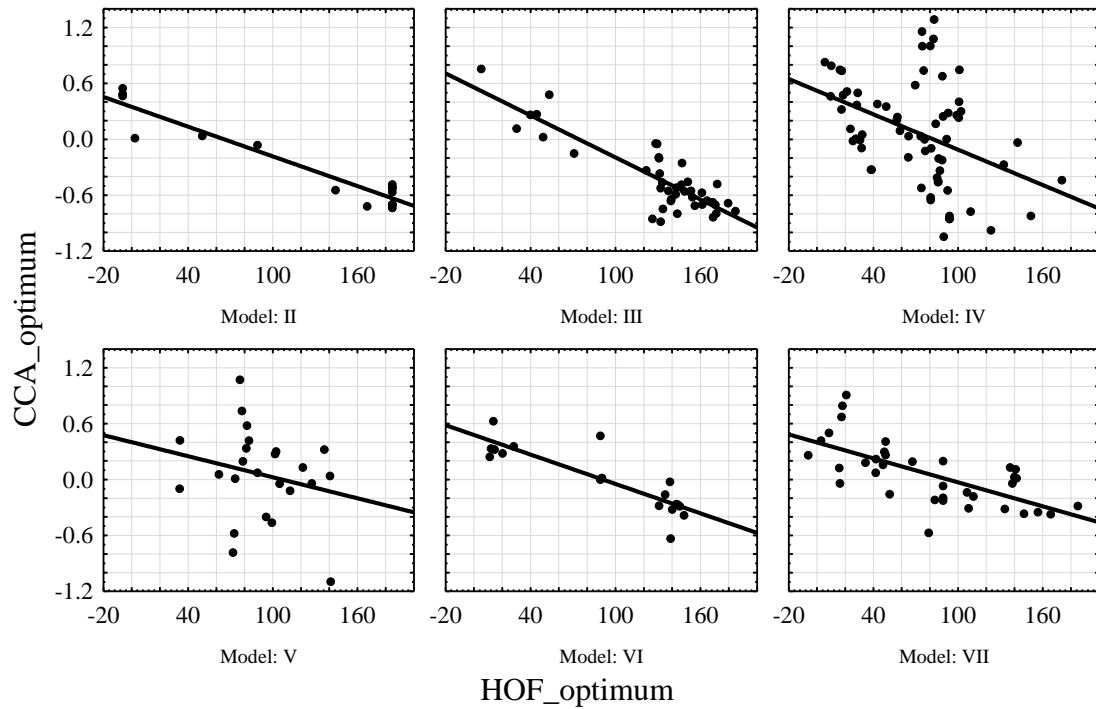


Рис. 5.9. Кореляція оцінок оптимальності видів у градієнті умов вологості, одержаних за найкращою моделлю з HOF-переліку (ось абсцис – HOF_optimum) та за результатами ССА-аналізу (ось ординат – ССА_optimum) у залежності від типу найкращої моделі з HOF-переліку (II – VII)

Таким чином, врахування впливу інших факторів середовища, часу, простору та взаємодії між видами в угрупованні за допомогою ординаційної процедури дають більш широкий діапазон оцінок оптимальності видів, які за результатами інших підходів знаходяться в центральній частині діапазону вологості ґрунту (кореляція між оцінками за HOF- та ССА-підходами в залежності від типів оптимальних моделей має подібний характер, тому не наведена).

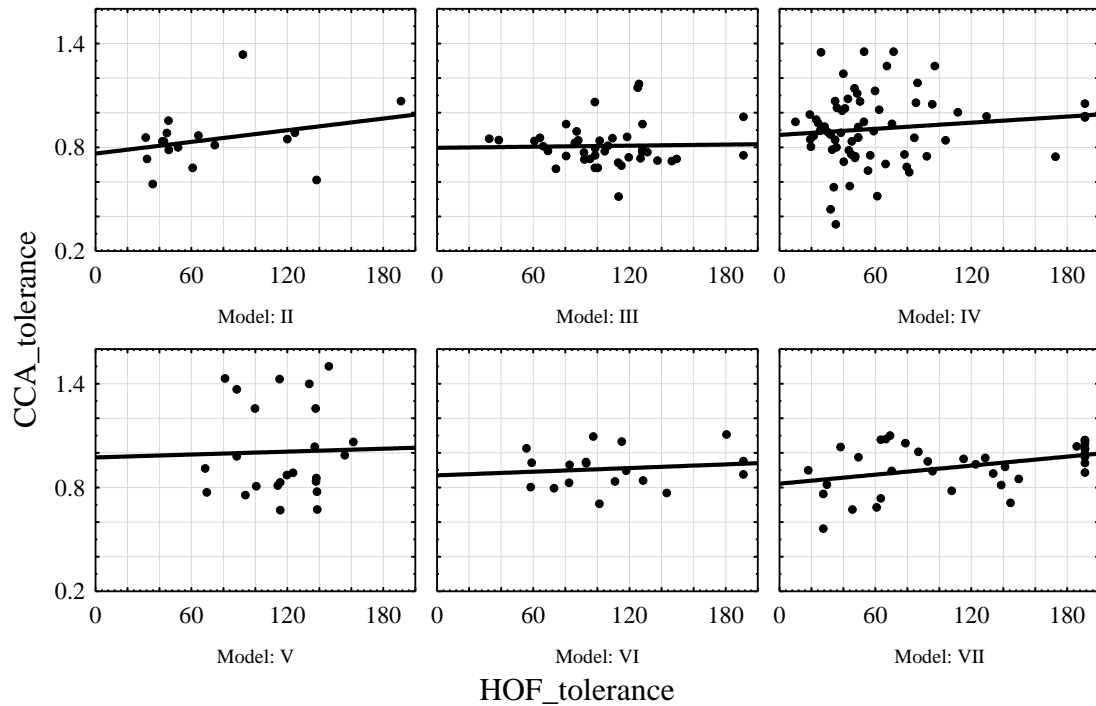


Рис. 5.10. Кореляція оцінок ширини екологічної ніші видів у градієнті умов вологості, одержаних за найкращою моделлю з НОФЮ-переліку (ось абсцис – НОF-tolerance) та за результатами ССА-аналізу (ось ординат – ССА-tolerance) залежно від типу найкращої з моделей з НОФЮ-переліку (II – VII)

5.6. Класифікація видів безхребетних за перевагою умов вологості

Кластерний аналіз за методом k -середніх видів тварин за оцінками оптимуму та толерантності на основі ССА-підходу дозволив встановити наявність чотирьох чітко відособлених кластерів (рис. 5.11). Кластери статистично вірогідно розрізняються за оптимальними значеннями вологості ґрунту ($F = 444.6, p < 0.001$) та за толерантністю до вологості ґрунту ($F = 20.7, p < 0.001$) (рис. 5.12). Кластери можна змістовно ідентифікувати як екологічні групи тварин, які характеризуються специфікою відношення до умов зволоження ґрунту. Найбільш великі екологічні групи за ознакою ставлення до умов зволоження як правило позначаються як гігрофіли, мезофіли та ксерофіли. Фітоіндикаційна оцінка умов зволоження на

технозомах вказує на діапазон умов від мізофільних до ксерофільних. Тому групу видів, які є найбільш вимогливими до умов зволоження, ми позначили як мезофіли. Відповідно групу видів, які здатні існувати за умов (або у період) незначного вмісту вологи в ґрунті, позначені як ксерофіли. Види також відрізняються за толерантністю до умов зволоження.

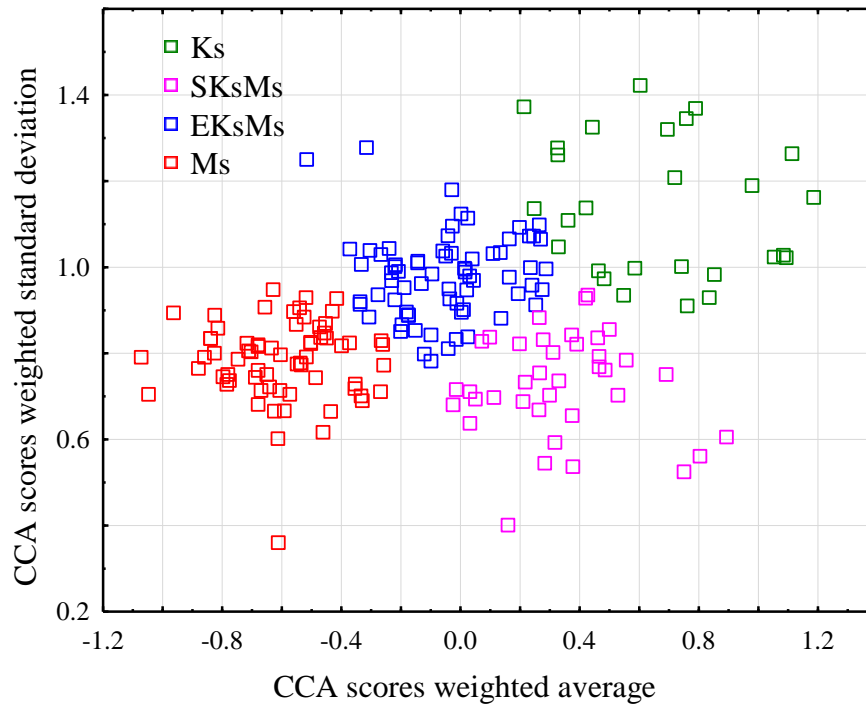


Рис. 5.11. Кластерний аналіз видів тварин за оцінками оптимуму та толерантності на основі ССА-підходу за методом *k*-середніх. Кластери: Ks – ксерофіли (евритопні), StKsMs – стенотопні ксеромезофіли, EuKsMs – евритопні ксеромезофіли, Ms – мезофіли (стенотопні)

Серед досліджених видів мезофільні види є стенотопними, а ксерофільні види є евритопними. У діапазоні умов вологості між ксерофілами та мезофілами є дві однорідних групи, які є перехідними за рівнем преференції умов зволоження та розрізняються за толерантністю. Тому ми виділяємо стенотопні та евритопні ксеромезофіли. Загальна кількість мезофілів становить 66 видів (32,7 % від загальної кількості), ксерофілів – 19 (9,4 %), стенотопних ксеромезофілів – 48 (23,8 %) та евритопних ксеромезофілів – 69 (34,2 %).

Оцінки оптимуму та толерантності екологічних груп за ССА-підходом суттєво відрізняються від оцінок за іншими методами (рис. 1).

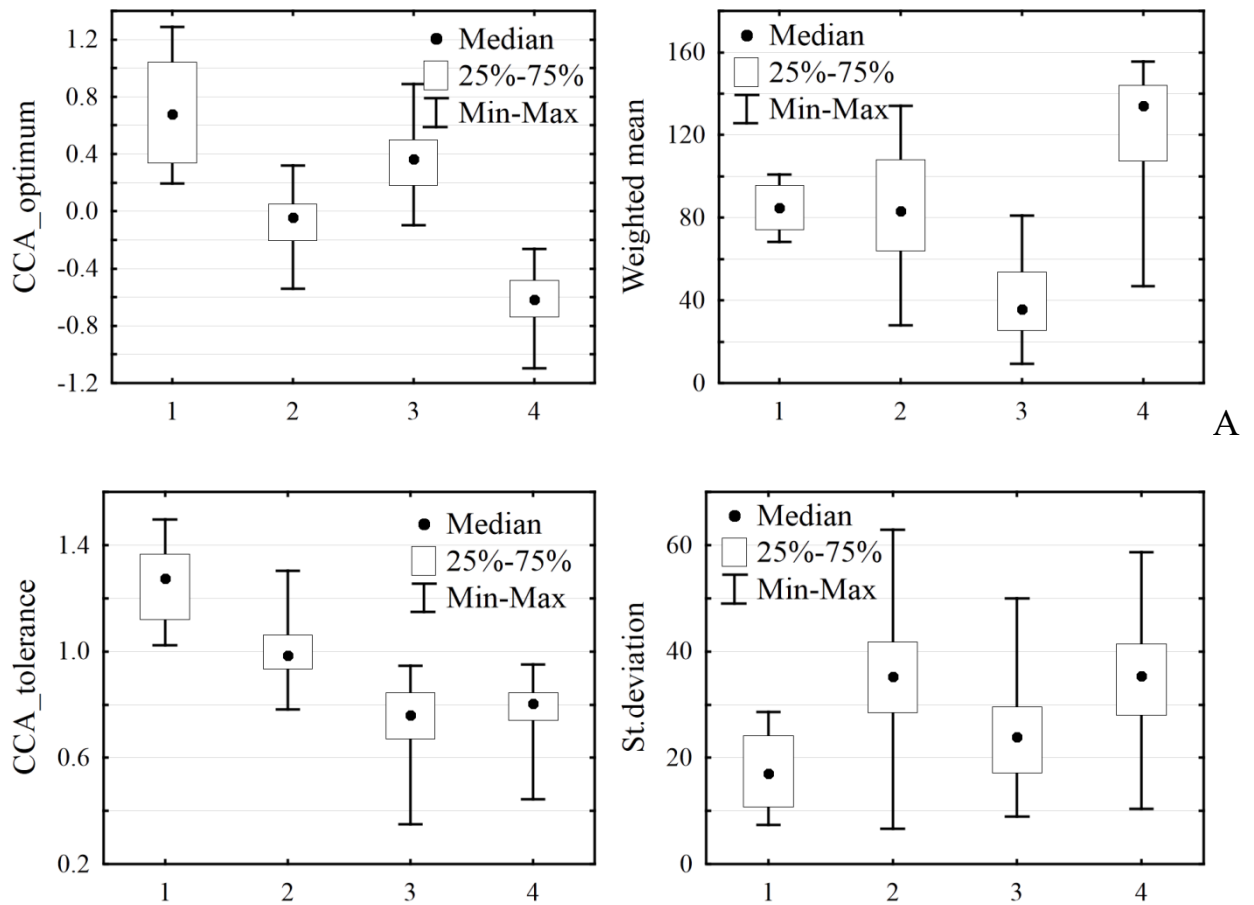


Рис. 5.12. Оцінки за різними підходами оптимумів та толерантності видів у градієнті умов вологості для екологічних груп тварин. Ось абсцис – екологічні групи (кластери): 1 – ксерофіли (евритопні), 2 – евритопні ксеромезофіли; 3 – стенотопні ксеромезофіли; 4 – мезофіли (стенотопні)

Головна відмінність полягає в тому, що оцінка оптимумів без урахування впливу інших екологічних факторів, просторових та часових змінних та типу техноземів для ксерофілів та евритопних ксеромезофілів зміщується в область більш вологих умов, а оцінка стенотопних ксеромезофілів зміщується в область більш сухих умов. Також оцінки толерантності видів також є дещо зміщеними. Так, за методом середнього зваженого ксерофіти є найбільш стенотопними, а рівень евритопності мезофілів майже такий, як і евритопних ксеромезофілів.

Встановлена відповідність між екологічними групами та найкращими моделями відгуку видів з HOFJO-переліку (рис. 5.13). Відгук ксерофільних видів у градієнті умов вологості найчастіше найкраще описується моделлю V. Відгук евритопних ксеромезофілів найкраще описується моделлю VII, а відгук стенотопних ксеромезофілів – моделлю IV.

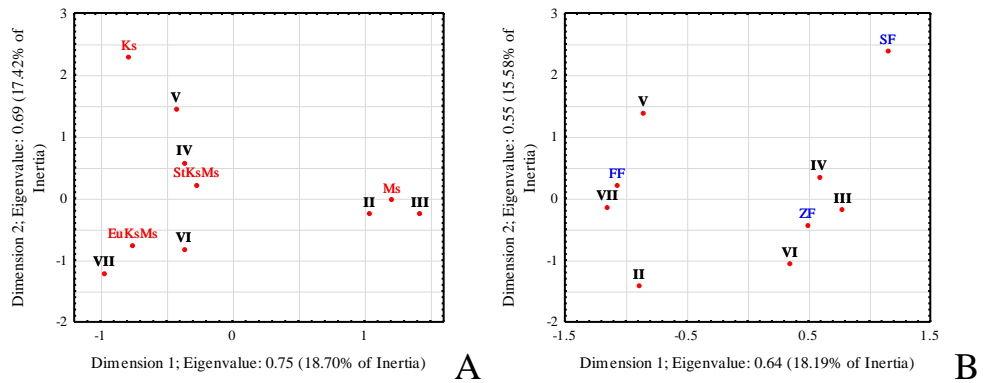


Рис. 5.13. Множинний аналіз відповідностей екологічних груп (А) та трофічних груп (В) найкращим моделям відгуку чисельності видів у градієнті умов вологості. Осі абсцис та ординат – виміри аналізу відповідностей, Ks – ксерофіли (евритопні), StKsMs – стенотопні ксеромезофіли, EuKsMs – евритопні ксеромезофіли, Ms – мезофіли (стенотопні), ZF – зоофаги, FF – фітофаги; SF – сапрофаги, II–VII – оптимальні моделі з HOFJO-переліку

Для мезофілів найкращими моделями є III та VI. Модель II є найкращою як правило для мезофілів та стенотопних ксеромезофілів. Трофічні групи також мають свої особливості типових відгуків на вплив фактору вологості ґрунту. Для хижаків найбільш типовими моделями відгуку є III, IV та VI, а для фітофагів найбільш типовими є V та VII.

Угруповання наземних безхребетних, які сформувались після піввікового періоду рекультивациі, характеризуються високим рівнем видового та таксономічного різноманіття. Формування угруповань в умовах рекультивациі, які мають високий рівень різноманіття, що навіть може перевищувати різноманіття природних аналогів трансформованих екосистем, показане у ряді наукових досліджень [80, 116, 124, 210]. Вважається, що процеси, які базуються на теорії ніші та дисперсії, є найбільш важливими

факторами, які відповідають за формування угруповання [93]. Контроль середовища над розподілом видів відповідно до теорії ніші проявляє себе в мінливості композиції видів, яке пояснюється змінними середовища [86]. Абіотичні процеси загалом розглядаються як середовищні фільтри, які відбирають такі види, які відповідають специфічним умовам місцеперебувань [165, 208]. Фракціонування варіювання угруповання на середовищний та просторовий компоненти є важливим підходом для виявлення різних процесів, які відповідають за структуру угруповання [103]. У нашому дослідженні просторова компонента варіювання угруповання була модельована за допомогою просторових dbMEM-змінних. Ці змінні можуть відображати як дисперсійні процеси, які відбуваються у просторі, так і наявність просторово-структурованих патернів варіювання властивостей середовища. Фактор часу також є дуже важливим. Очевидно, вплив факторів навколишнього середовища зумовлений біологічним станом виду, що в цілому описується таким поняттям, як біологічний час. Інакше кажучи, однаковий рівень впливу фактору на біологічну систему, яка знаходиться на різних етапах свого розвитку, буде мати різний ефект. Тому моделювання регулярних часових процесів також дуже важливе для правильної оцінки відгуку виду в градієнті фактору. У нашому дослідженні часова компонента варіювання угруповання була модельована за допомогою часових dbMEM-змінних.

Оцінка оптимального рівня фактору для життєдіяльності виду та толерантності виду до дії такого фактору може бути здійснена різними способами. Середнє зважене може давати незміщені оцінки за умов симетричного розподілу відгуку виду. Симетричний відгук, наближений до гаусової дзвіноподібної кривої, добре може бути змодельований за допомогою регресійного підходу. Але в реальності характер відгуку видів на вплив екологічних факторів значно більш різноманітний, тому метод середнього зваженого або регресійний підхід дають адекватні оцінки оптимуму тільки для обмеженої кількості випадків. Серед моделей з NOFJO-

переліку концепція єдиного оптимуму представлена тільки моделями IV та V. Для інших моделей оцінка оптимуму може бути зроблена тільки умовно більшою мірою на основі припущень зручності. Так, модель II передбачає, що оптимум, якщо він існує, заходиться поза межами діапазону досліджених значень екологічного фактору, а граничне значення фактору (найменше або найбільше) у якості оптимуму обирається як найкраща оцінка з існуючих. Модель III моделює наявність не оптимальної точки, а оптимального діапазону рівнозначно оптимальних значень. Як компроміс у якості оцінки оптимуму розраховується середнє значення відповідного діапазону. Бімодальні розподіли моделюються моделями VI та VII. Усереднення двох оптимумів передбачає, що бімодальні моделі є результатом трансформації початково унімодального відгуку під впливом інших факторів і що реальний оптимум знаходиться між двох моделей бімодального розподілу. Таке припущення є досить вільним та не враховує або асиметрії гіпотетичного розподілу, або екологічної гетерогенності сукупності індивідів, які віднесені до одного виду.

Спостережуваний оптимум є результатом впливу фактору та взаємодії з іншими факторами, а також міжвидових взаємодій в угрупованні. Вплив на вид інших факторів, які не скорельовані з фокусним, призведе до збільшення варіації ознаки, тобто до змін показників толерантності виду. Синергізм або антагонізм у впливі з іншими факторами спричинятимуть зсув оцінюваного оптимального значення. Також важливим є урахування міжвидових взаємодій в угрупованні, у результаті яких формується спостережуваний патерн відгуку виду на вплив досліджуваного фактору. Таке завдання може бути виконано за допомогою ординаційних технік – RDA або CCA зі змінною вологості як предиктора та іншими факторами як коваріати. Ординаційна техніка RDA передбачає наявність монотонного впливу екологічних факторів на види, а CCA передбачає унімодальний відгук. Як показали одержані результати, найчастіше унімодальні моделі є найбільш придатними для описання патернів відгуку видів на вплив вологості ґрунту,

тому нами був проведений ССА-аналіз. Одержані оцінки оптимуму видів за різними методами показують досить високий рівень їх відповідності. Але слід відзначити, що вплив інших факторів та міжвидові взаємодії в угрупованні призводять до зміщення оптимумів деяких видів у центральну частину діапазону вологості: більш ксерофільні або мезофільні види проявляють себе як ксеромезофільні. Зміщення ксерофільних видів спостерігається найбільш інтенсивно.

Гіпотеза стрес-градієнт передбачає, що під впливом високого абіотичного стресу взаємодія між видами має тенденцію бути більш фасилітативною, а під менш сильним абіотичним стресом вона має тенденцію бути більш конкурентною [64, 72]. Така гіпотеза потребує подальшої перевірки, але одержані нами результати вказують на різний характер відгуків видів на градієнт умов вологості. У більш сухих умовах розподіли є переважно унімодальними асиметричними, у більш вологих – бімодальними, а в помірних умовах розподіли є симетричними унімодальними. Бімодальні моделі запропоновані для відгуків видів, які знаходяться під значним впливом біотичних факторів [142]. Таким чином, одержані нами дані не суперечать гіпотезі стрес-градієнт. Причини, які знаходяться в основі асиметрії відгуків видів у градієнті умов середовища, можуть бути пояснені мінливістю сили абіотичних та біотичних факторів на холодній та теплій границях градієнту відповідно [106]. Асиметричний характер відгуків видів в умовах дефіциту вологи можна пояснити більш фізіологічно стресовим впливом абіотичних факторів, коли вже порівняно малі рівні зниження вологості мають непропорційно великі наслідки, що призводить до асиметрії. Крім того, не можна виключати суто математичної природи асиметрії в граничних позиціях, коли асиметрія може бути артефактом. Діапазон умов вологості є обмеженим найбільшим та найменшим рівнем вологості, тоді як нормальний Гуасовий відгук передбачає теоретично нескінчену область визначення аргументу. Тим не

менш, асиметричний відгук переважно зустрічається саме в області посушливої границі діапазону вологості.

Критичні виміри ніш варіюються між трофічними та функціональними групами [190]. Трофічні групи розрізняються патернами відгуку на вплив вологості. Фактично подібний характер відгуків встановлено для сапрофагів та хижаків. Представники цих трофічних груп мають переважно симетричний унімодальний (модель IV) або тренд з межею близько до верхньої межі (модель III). Відгук фітофагів є переважно асиметричним унімодальним або асиметричним бімодальним. Такий результат вказує на суттєву гетерогенність комплексу фітофагів, що відповідає уявленню про те, що відгук фітофагів та рослинний стрес має два екстремуми, які позначаються як рослинний стрес та рослинна життєвість [229]. У відповідності до гіпотези рослинного стресу відгук деяких фітофагів є позитивним на збільшення стресу рослин, який, крім іншого, може виникати внаслідок посухи [233]. Вірогідно, асиметричний унімодальний різновид відгуку фітофагів може бути пояснений гіпотезою рослинного стресу. Дійсно, у деяких з рослин зі зростанням стресу збільшується вміст азоту, у той час як захисна здатність рослин негативно корелює зі стресом [234]. У свою чергу, гіпотеза життєвості рослин здатна пояснити асиметричний унімодальний відгук фітофагів. Фітофаги демонструють зростаючу активність, коли живляться на рослинах, які інтенсивно зростають, оскільки тканини життєвих рослин можуть мати збільшений вміст поживних речовин. Очевидно, сприятливі трофічні умови для фітофагів можуть сприяти інтенсифікації конкуренції, наслідки якої можуть бути змодельовані за допомогою асиметрично бімодальної моделі.

Висновок по розділу

В умовах аридного клімату та в екосистемі, сформованій у результаті процесу рекультивації, вміст вологи в ґрунті є найважливішим фактором, який визначає динаміку угруповання наземних безхребетних у часі. Екологічні особливості видів, а саме оптимум та толерантність до впливу екологічних факторів, пояснюють динаміку структури угруповання у часі. Оцінка середнього зваженого значення для характеристики оптимуму виду дає тільки загальне уявлення про екологічні преференції виду. Така ж ситуація має місце й для інших показників, які не враховують впливу комплексу факторів та міжвидових взаємодій. Урахування інших факторів та міжвидових взаємодій здатне значно відкоригувати оцінки оптимуму для значної кількості видів. Відхилення відгуків видів на вплив вологості ґрунту від симетричної дзвіноподібної форми в різних кінцях діапазону вологості зумовлене різними чинниками. За умов дефіциту вологості фактори абіотичної природи є переважливими. На межі з достатнім рівнем зволоження переважне значення мають біотичні фактори. Не врахування ролі взаємодії фактору вологості ґрунту з іншими факторами призводять до зсуву оцінок оптимуму видів у центральну частину діапазону вологості. Оцінки толерантності без урахування взаємодії не можуть бути визнані як прийнятні.

РОЗДІЛ 6.**ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ДИНАМІКУ УГРУПОВАНЬ
БЕЗХРЕБЕТНИХ****6.1. Фітоіндикаційна оцінка терморезиму**

Фітоіндикаційна оцінка вказує на варіювання терморезиму досліджених техноземів у межах від 8,3 до 11,1 за шкалою Дідуха (2011), що відповідає умовам, сприятливим для рослин від субмікротермів до мезотермів (табл. 6.1). Типи техноземів статистично вірогідно відрізняються за рівнем терморезиму ($F = 3.99$, $p = 0.02$). Найбільший рівень терморезиму характерний для техноземів, сформованих на лесоподібних суглинках ($10,82 \pm 0,14$), дещо менший цей показник для сіро-зелених глин ($10,55 \pm 0,05$). Перехідне положення займають червоно-бурі глини ($10,28 \pm 0,28$) та педоземи ($10,20 \pm 0,16$). Найменший показник терморезиму встановлений для техноземів, сформованих на технологічній суміші гірських порід ($9,42 \pm 0,40$). Бальні фітоіндикаційні оцінки можна перевести в оцінки терморезиму в фізичних одиницях. Встановлено, що за результатами фітоіндикаційного оцінювання терморезим варіює в межах від 1729.2 до 2333.9 мДж•м²•рік⁻¹.

Відмінності терморезиму між техноземами можуть залежати від структури та проективного покриття рослинного покриву, альbedo ґрунтової поверхні та забезпечення техноземів вологою. Вологість впливає як на альbedo ґрунтової поверхні та сприяє охолодженню поверхні в результаті випаровування. Слід відзначити, що ці процеси впливають прямо або опосередковано і на безхребетних. Оцінки показників терморезиму за фітоіндикаційним підходом надають результат усереднення не менше ніж за рік, а вірогідно, і за більш значний період часу, так як серед представників рослинних угруповань є велика частина багаторічників, які несуть інформацію про стан середовища і в період, який передуює моменту дослідження. Загальний перелік видів, екологічна структура угруповань

безхребетних також визначаються багаторічними трендами умов середовища. У свою чергу, динаміка перебігу змін структури угруповань та чисельності окремих популяцій безхребетних протягом року залежать від метеорологічної ситуації в межах конкретного вегетаційного сезону.

Таблиця 6.1. Кількість видів рослин та фітоіндикаційне оцінювання умов ґрунтової вологості

Сайт	Технозем	Кількість видів	Індикаторне значення терморезиму	Фітоіндикаторна оцінка	
				радіаційного балансу, мДж • м ² • рік ⁻¹	Преферентні екологічні групи рослин*
1		23	10.4	2175.1	Субмезотерми
2	Лесоподібні і суглинки	17	11.1	2327.5	Мезотерми
3		21	11.1	2333.9	Мезотерми
4		15	10.6	2217.1	Субмезотерми
5		20	10.9	2281.9	Субмезотерми
6		26	11.0	2309.5	Мезотерми
7	Червоно-бурі глини	11	9.8	2049.5	Субмезотерми
8		31	9.6	2001.8	Субмезотерми
9		30	10.1	2107.9	Субмезотерми
10		13	10.9	2274.4	Субмезотерми
11	Сіро-зелені глини	23	10.6	2224.0	Субмезотерми
12		23	10.5	2208.3	Субмезотерми
13		13	10.0	2083.0	Субмезотерми
14	Педозем	16	9.9	2070.5	Субмезотерми
15		26	10.3	2154.0	Субмезотерми
16		16	10.6	2222.6	Субмезотерми
17	Технологіч на суміш	15	9.5	1985.6	Субмезотерми
18		16	8.3	1729.2	Субмікротерми
19	гірських	19	10.2	2128.9	Субмезотерми
20	порід	20	9.7	2024.3	Субмезотерми

Позначки: * – відповідно до фітоіндикаторних шкал Я. П. Дідуха (2011)

6.2. Оцінка оптимумів видів у градієнті температурного режиму

Одержані розрахунки свідчать, що розподіл зважених за чисельністю видів тварин показників температури повітря протягом 2013–2015 рр. є полімодальним та може бути представлений як суміш двох нормальних розподілів (Kolmogorov-Smirnov $d = 0.032$, $p = 0.98$) (рис. 6.1). Складова з середнім $17,1^{\circ}\text{C}$ та середньоквадратичним відхиленням $2,2$ становить 64.2% від варіювання суміші. Складова з середнім $21,5^{\circ}\text{C}$ та середньоквадратичним відхиленням $1,5$ становить 35.8% від варіювання суміші.

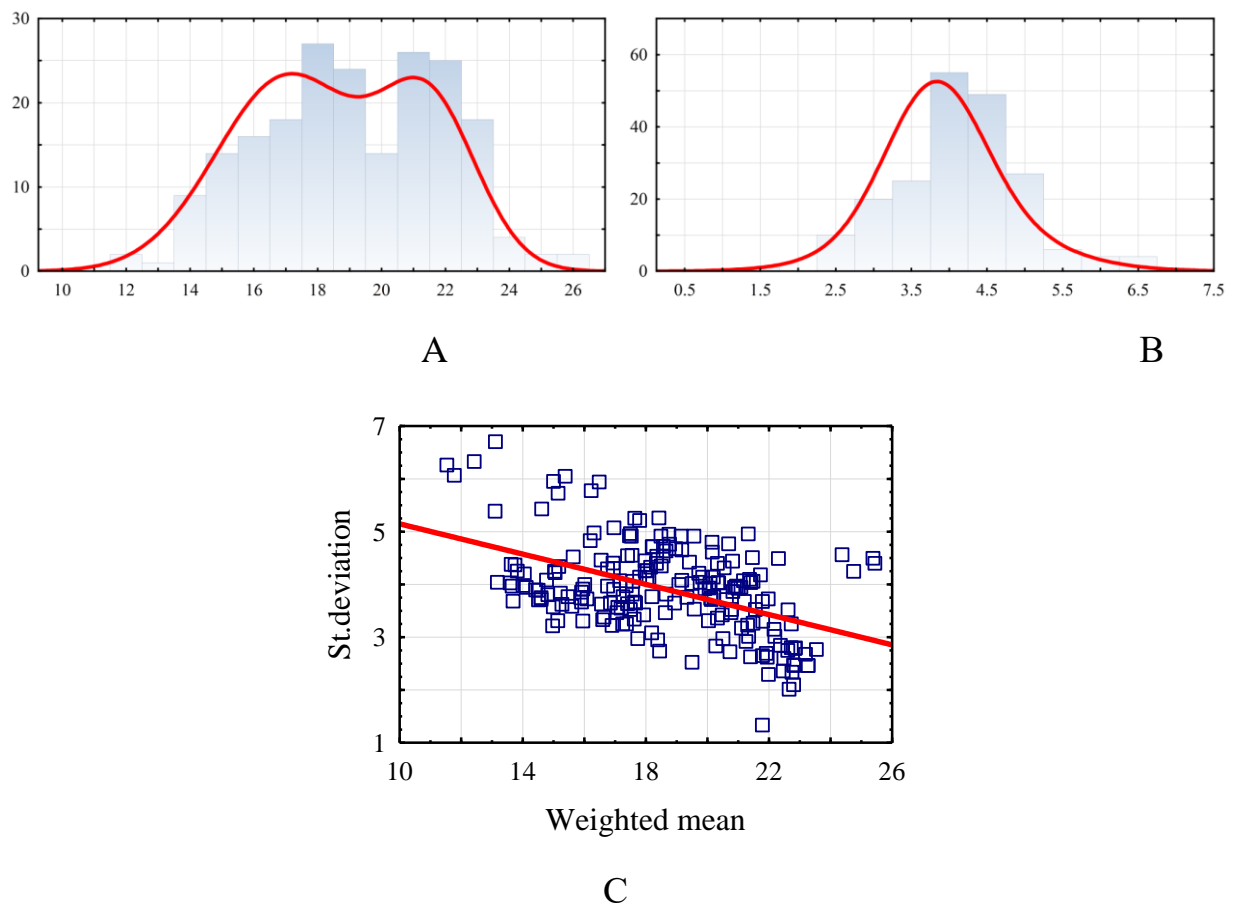


Рис. 6.1. Гістограми розподілів зважених за чисельністю видів тварин показників температури повітря (A) та зважених оцінок середньоквадратичного відхилення цього показника (B) та діаграма розсіювання показників оптимуму та толерантності, одержаних за методом середнього зваженого (C)

Таким чином, температурні оптимуми безхребетних, які мешкають в умовах техноземів, варіюють у діапазоні від $11,5$ до $25,4^{\circ}\text{C}$. Термічний

діапазон між оптимумами видів розподілено нерівномірно. Аналіз розподілів вказує на існування двох відносно однорідних за термічними перевагами угруповань видів: мікротемпературне та мезотемпературне. Така ідентифікація угруповань базується на фітоіндикаційних оцінках термоклімату техноземів як такого, що знаходиться в діапазоні від мікротемпературних до мезотемпературних умов.

Розподіл зважених оцінок середньоквадратичних відхилень за чисельністю видів тварин показників температури повітря має нормальний розподіл (Kolmogorov-Smirnov $d = 0.053$, $p = 0.59$). Між оцінками термічного оптимуму та толерантності видів існує негативний кореляційний зв'язок ($r = -0.48$, $p < 0.001$). Таким чином, більш мікротермні види є більш толерантними до термічного фактору, та навпаки – мезотермні є більш чутливими. Вірогідно, високі температури, які спостерігаються в межах дослідженого полігону, наближаються до фізіологічної межі витривалості живих організмів, тому високі температури виступають як більш сильний обмежувальний фактор.

6.3. Моделі відгуків видів на вплив температури

При оцінці оптимуму та толерантності виду в градієнті температурних умов слід враховувати, що вимога симетричності та дзвіноподібності відгуку вплив на вплив фактору, виконання якої є необхідним для застосування методу зваженого середнього, виконується не завжди. Підхід HOFJO надає значно більш широкі можливості для моделювання форми відгуку, що є основою для більш адекватної оцінки як оптимуму, так і толерантності виду (рис. 6.2). Аналіз показав, що відгук безхребетних на вплив температури може бути описаний усіма сімома моделями з переліку HOFJO. Найчастіше найкращими моделями є VII та V (рис. 6.3).

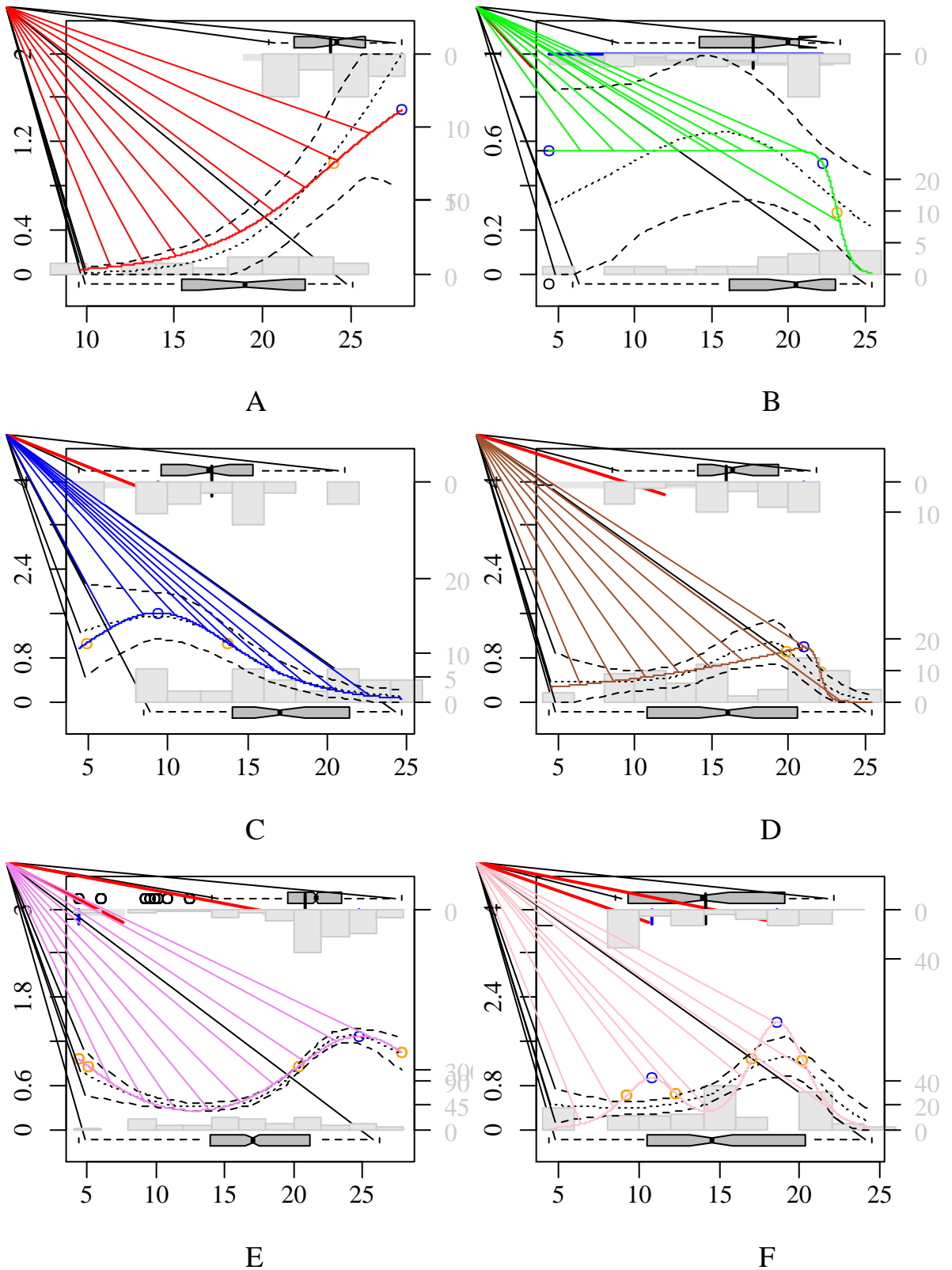


Рис. 6.2. Різноманітні моделі відгуку чисельності видів у градієнті температури атмосферного повітря. Ось абсцис – температура повітря, °C; ось ординат – кількість індивідумів. HOFJO-моделі: А – модель II (*Anoxia pilosa*), В – модель III (*Asida lutosa*), С – модель IV (*Galeruca tanacetii*), D – модель V (*Haplodrassus bohemicus*), Е – модель VI (*Harpalus serripes*), F – модель VII (*Onthophagus vitulus*)

Модель VII є чутливою до бімодального асиметричного відгуку, а модель V – до унімодального асиметричного. Таким чином, переважна більшість відгуків безхребетних на температурний фактор має асиметричний характер. Не для всіх видів безхребетних установлений закономірний відгук на вплив температури, про що свідчить порівняно значний вибір у якості найбільш адекватної моделі I. Деякі види можуть у цих умовах знаходитися в режимі термічного оптимуму, тому варіювання температури може не здійснювати закономірного впливу на чисельність деяких видів. Маргінальні значення інших факторів можуть бути в якості лімітуючих факторів та робити неможливим виокремлення впливу температурного чинника.

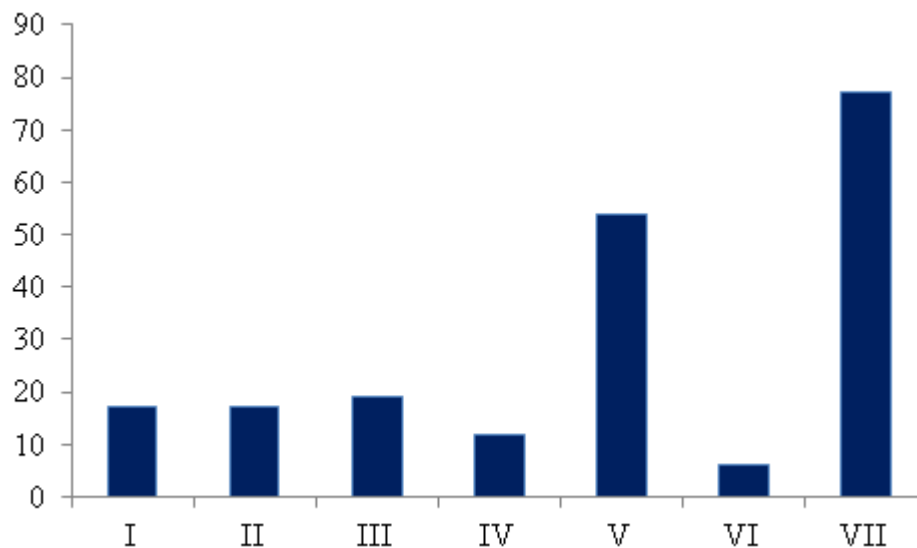


Рис. 6.3. Розподіл кількості оптимальних моделей відгуку видів на вплив температури атмосферного повітря. Ось абсцис – НОФ та дві додаткові моделі відгуку видів у градієнті температури, ось ординат – кількість видів, для яких модель є найкращою за критерієм АІС_c.

Симетричні моделі (IV та VI) описують очевидно незначну частину відгуків безхребетних. Симетричний відгук передбачає ідеальну ситуацію впливу винятково фізичного чинника на біологічний стан виду, коли лімітуючий вплив здійснює відхилення фактору як у більшу так і в меншу сторону від оптимуму. В реальності існує сукупність абіотичних чинників, також важливу роль відіграють біотичні чинники. Асиметричний

унімодальний відгук найбільш вірогідно можна розглядати як результат взаємодії факторів абіотичної природи, які порушують ідеальну симетрію відгуку на вплив єдиного фактора. Бімодальність може бути найкраще пояснена впливом біотичних факторів, коли за умов збігу зони оптимуму у двох або декількох видів внаслідок міжвидової конкуренції за законом конкурентного виключення Гаузе один з видів витісняється іншим, унаслідок чого наявність теоретичного максимуму заміщується локальним мінімумом.

6.4. Ординація угруповань безхребетних

Процедури ординації угруповань у переважній більшості є чутливими до законів відгуків видів на вплив факторів середовища. Одним з винятків є процедура багатовимірного шкалювання, не чутлива до таких обмежень. Критерієм вибору кількості вимірів за результатами процедури багатовимірного шкалювання є зменшення показнику стресу як індикатора якості відображення багатовимірної хмари точок у простір меншої розмірності. У випадку, коли подальше додавання не приводить до зменшення стресу, приймають рішення про відповідну кількість вимірів в ординації. У нашому випадку зі значенням стресу 0,1 ми зупинились на рішенні з чотирьох вимірів. Природу цих вимірів можна оцінити за допомогою процедури підгонки зовнішніх факторів до вимірів багатовимірного шкалювання (табл. 6.2). Результати цієї процедури вказують на те, що варіювання структури угруповання безхребетних зумовлене метеорологічними чинниками, просторовими та часовими змінними, а також залежить від типологічних особливостей техноземів. Вміст вологи у ґрунті є найважливішим фактором варіювання угруповання, оскільки ним визначається 87 % мінливості структури комплексу. Група видів, варіювання чисельності яких описується виміром 1, найбільш чутлива до вмісту води в ґрунті техноземів. Слід відзначити, що зв'язок цього виміру з температурою повітря є вкрай незначним.

Варіювання температури здатне пояснити 41–44 % мінливості структури угруповання, що вказує на другу роль серед факторів середовища, які впливають на безхребетних. До варіювання температури повітря чутливі виміри 2, 3 та 4.

Таблиця 6.2. Оцінка впливу факторів середовища, часових та просторових змінних та типів техноземів на результати NMDS-ординації

Предиктор и	Виміри				R^2	Pr(>r)	Коди статистично ї вірогідності
	NMDS 1	NMDS 2	NMDS 3	NMDS 4			
Кліматичні предиктори							
Опади	-0.73	-0.36	-0.04	-0.58	0.06	0.001	***
Вітер	-0.15	0.34	0.56	-0.74	0.02	0.001	***
T_{min}	0.07	-0.82	-0.34	0.46	0.40	0.001	***
T_{max}	0.04	-0.69	-0.41	0.59	0.41	0.001	***
T	0.07	-0.76	-0.38	0.53	0.44	0.001	***
Вологість	-0.23	0.47	0.42	-0.74	0.20	0.001	***
Тиск	0.43	0.06	0.49	-0.76	0.11	0.001	***
RAW	-0.87	0.39	-0.22	0.18	0.87	0.001	***
Time predictors (AEM-variables, statistically significant predictors are shown only)							
AEM_1	0.99	-0.10	0.03	0.11	0.68	0.001	***
AEM_2	0.04	0.78	0.39	-0.48	0.37	0.001	***
AEM_3	-0.08	-0.43	0.16	-0.88	0.06	0.001	***
AEM_4	-0.29	0.81	0.27	-0.43	0.03	0.001	***
Spatial predictors (dbMEM-variables, statistically significant predictors are shown only)							
Spat_1	0.01	0.00	-0.55	-0.84	0.46	0.001	***
Spat_2	-0.06	-0.37	0.93	0.00	0.51	0.001	***
Spat_3	0.01	-0.53	-0.12	-0.84	0.03	0.001	***
Spat_4	0.00	-0.37	0.19	-0.91	0.06	0.001	***
Spat_5	0.02	0.31	0.67	-0.67	0.07	0.001	***
Spat_6	-0.08	0.63	0.12	0.76	0.01	0.034	*
Spat_7	-0.07	0.02	0.89	-0.46	0.01	0.014	*

Tecnosols types, $R^2 = 0.12, p < 0.001$							
GG	0.07	0.08	-0.17	0.03	-	-	-
LL	0.01	0.01	-0.14	-0.09	-	-	-
PZ	-0.01	0.06	0.08	0.12	-	-	-
RB	0.02	0.00	-0.06	-0.06	-	-	-
TM	-0.05	-0.11	0.25	0.05	-	-	-

Symbols: Significance codes: ‘***’ – <0.001 ; ‘**’ – <0.01 ; ‘*’ – <0.05

Таким чином, характер впливу температури повітря на структуру угруповання безхребетних вкрай складний. Оцінка цієї складності збільшується з урахуванням того, що на вказані виміри здійснюють вплив інші метеорологічні чинники, такі як опади (переважно виміри 2 та 4), вітер (виміри 2, 3 та 4), вологість повітря (виміри 2, 3 та 4) та атмосферний тиск (виміри 3 та 4).

Виміри підкоряються певним часовим трендам, на що вказує кореляція з часовими змінними. Змінна АЕМ-1 моделює монотонний сигмоїдний тренд, з яким корелює вимір 1. Поступове зменшення вмісту води протягом року досить добре відповідає цій тенденції, про що не можна сказати відносно температури. Виміри, які позначають температурозалежну динаміку угруповання (2–4), корелюють зі АЕМ-змінними 2–4, що вказує на більш високочастотні складові у варіюванні цих вимірів. Це також вказує на те, що мінливість температури протягом сезону підкоряється певній регулярній закономірності, до існування якої тварини могли пристосуватися та виробити відповідні фенологічні ритми. Тому у випадку зі структурованими патернами температури у часі формально неможливо сказати, чи дійсно впливає температура на живі організми, чи просто збігаються ритміка біологічних та температурних процесів внаслідок спільної синхронізації третім чинником. Як указують одержані результати, збіг часової структурованості динаміки температурних процесів та динаміки структури угруповання має дуже велике значення. Часові змінні здатні пояснити 3–68 % варіювання структури угруповання. Очевидно, для оцінки дійсно ролі температури як екологічного

фактору слід виокремити роль часової складової компоненти варіювання. Часову складову варіювання ми інтерпретуємо як закономірний перебіг фенологічних процесів, ритміка яких керується певними стимулами.

Просторова структурованість динаміки угруповання підкреслюється кореляцією вимірів з просторовими змінними. Вони здатні пояснити 1–51 % варіювання структури угруповання. Значення просторових змінних зменшується зі збільшенням частоти просторових процесів (позначаються порядковим номером змінних). Слід відзначити, що вимір 1 віддзеркалює сайт-неспецифічні процеси, універсальні для усієї території в цілому. Виміри 3–4, які, до речі, тісно пов'язані з температурним режимом, суттєво просторово структуровані. Це може бути наслідком процесів нейтральної природи або результатом впливу просторово структурованих властивостей середовища. Останні можуть бути пов'язані з просторовою неоднорідністю розміщення типів техноземів. Такий результат може викликати припущення, що вплив температурних чинників на безхребетних залежить від особливостей рослинного та ґрунтового покриву. Таким чином, для оцінки суто температурної складової у варіюванні угруповання та популяції тварин необхідно виокремити вплив просторових чинників на ці процеси.

Просторове розміщення типів техноземів також може бути причиною просторової структурованості варіювання угруповання тварин. Крім того, техноземи можуть мати специфічне значення у мінливості екологічних умов та процесів. Тип техноземів у цілому визначає 12 % варіювання угруповання безхребетних. Не можна виключати такої можливості, що штучні ґрунти, які розрізняються своєю первинною стратиграфією та властивостями порід, з яких формуються, протягом півстолітнього педогенезу набувають конвергентно подібних властивостей, унаслідок чого відмінності між ними зменшуються. Також слід відзначити, що цифра 12 є порівняною з іншими чинниками, які можуть бути об'єктивно більш значущими (тренди мінливості вмісту вологи, температури, інших метеорологічних режимів), а також порівняно з випадковими або нейтральними у тому числі процесами.

Тим не менш, роль типів техноземів у динаміці угруповання безхребетних також повинна бути екстрагована для визначення ролі температури для тварин.

Температурний чинник сильно скорельований з вимірами, одержаними в результаті багатовимірного шкалювання. Але одержані кількісні оцінки зв'язку показують його лінійну складову. Графічне відображення погодженої динаміки температури та структури угруповання вказує на більш складний характер взаємозв'язку угруповання та температури (рис. 6.4).

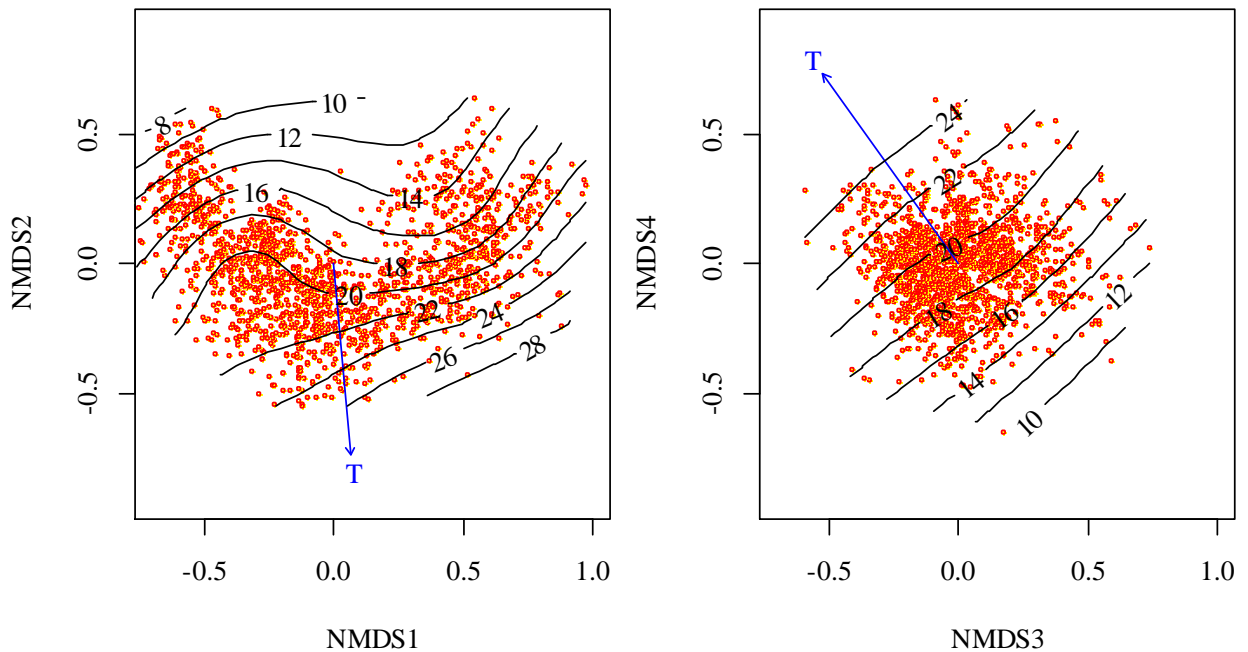


Рис. 6.4. Результати неметричного багатовимірного шкалювання (NMDS), які зображують двовимірні представлення композиції угруповання безхребетних (NMDS1×NMDS2 та NMDS3×NMDS4) та напрямки температурного фактору після процедури підгонки. Найкраще рішення для NMDS було одержано зі стресом 0,10. Точки вказують розміщення видів, лінії – ізолінії температур

У просторі вимірів 1–2 очевидно нелінійна конфігурація зумовлена значно більшою площею, яку займає ділянка, що відповідає діапазону температур 20–22°C. Тобто широке різноманіття угруповання, якому, власне, і відповідає більша площа в цьому просторі, надає перевагу вказаному

температурному діапазону. У правому та лівому верхніх квадрантах представлені зовсім різні за складом угруповання, але які ведуть себе досить подібно в градієнті температурних умов. Тобто в досить подібних температурних режимах угруповання безхребетних може бути представлене принципово іншим складом. У просторі вимірів 3 та 4 ми спостерігаємо практично лінійну залежність угруповання безхребетних від температурного градієнту.

Неметричне шкалювання є нечутливим до характеру розподілу вихідних даних, що робить його однією з найбільш робастних ординаційних процедур. Слід відзначити, що як динаміка угруповання тварин, так і динаміка окремих популяцій, які це угруповання складають, відбуваються під впливом комплексу чинників. Якщо нас цікавить вплив окремого фактору, то в такому випадку повинен бути застосований метод, який дозволяє розділити впливи різних факторів. На жаль, стосовно неметричного шкалювання методу, який реально працює, для вирішення такого завдання не розроблено. Часткові (*partial*) варіанти ординації, які дозволяють розглядати окремо дію пояснювальних факторів (*constrained*), реалізовані для аналізу відповідностей та аналізу надлишковості. Передумовою застосування аналізу відповідностей є бімодальний симетричний характер відгуків видів на дію екологічних факторів. Аналіз надлишковості застосовується для аналізу в тих випадках, коли відгук є монотонним. Як показали одержані результати, для досліджених видів притаманне високе різноманіття типів відгуків, тому застосування або часткової версії пояснювального аналізу відповідностей (CCA) або часткової версії пояснювального аналізу надлишковості (RDA) повинно бути з урахуванням певної умовності та відповідного ставлення до одержаних результатів.

6.5. Фракціонування варіювання угруповання безхребетних

Процедура фракціонування дозволяє візуалізувати співвідношення значення різних груп факторів у варіюванні угруповання безхребетних, які можна одержати або за процедурою ССА або RDA (рис. 6.5).

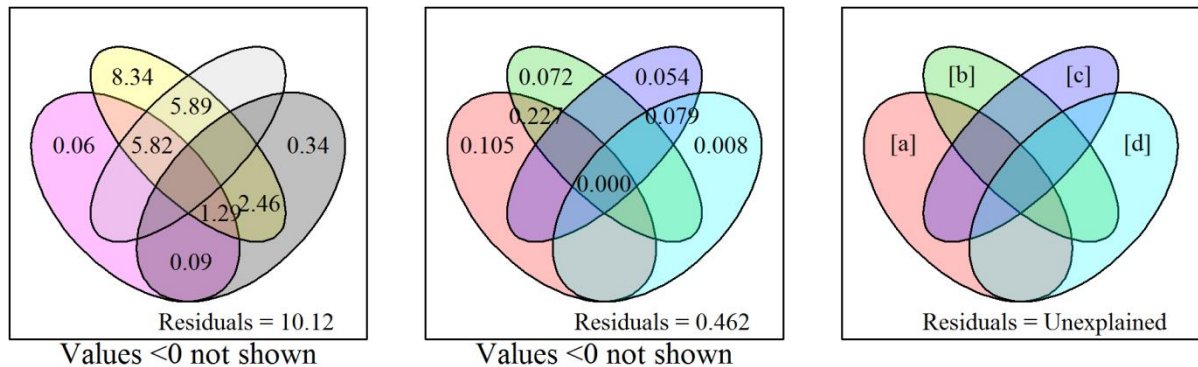


Рис. 6.5. Фракціонування варіації угруповання тварин між змінними часу, простору, метеорологічними показниками та типом технозему. А – фракціонування χ^2 в обмеженому аналізі відповідностей (ССА), В – фракціонування R^2 в аналізі надлишковості (RDA); С – значення символів

Примітки: [a] – варіація пояснена виключно метеорологічними показниками; [b] – варіація пояснена виключно змінними часу (часові АЕМ); [c] – варіація пояснена виключно просторовими змінними (просторові dbMEM); [d] – варіація пояснена типом технозему; [a]+[b] – варіація пояснена метеорологічними та часовими змінними; [a]+[c] – варіація пояснена метеорологічними та просторовими змінними; [b]+[c] – варіація пояснена просторовими та часовими змінними; [c]+[d] – варіація пояснена просторовими змінними та типом техноземів. Усі наведені фракції варіації є статистично вірогідними ($p < 0.001$).

Обидва підходи вказують на високий рівень структурованості угруповання безхребетних під впливом факторів середовища, часових та просторових трендів, а також типів техноземів. За результатами ССА встановлено, що часові тренди, представлені змінними АЕМ, виконують найбільш вагомую структуруючу роль. Вагомим внеском у структуру також характеризуються результати взаємодії часових змінних зі змінними середовища, а також з просторовими змінними. Це вказує на те, що динаміка

перебігу кліматичних умов суттєвим чином структурована у часі. Роль винятково кліматичної компоненти практично на порядок менш важлива, ніж роль структурованої у часі. Кореляція з просторовими змінними вказує на те, що фенологічна динаміка угруповання безхребетних є сайт-специфічною. Важливе значення має складова, яка описує потрібну взаємодію: середовище, час та простір. Такий взаємозв'язок можна інтерпретувати як те, що вплив факторів середовища на перебіг фенологічної динаміки є сайт-специфічним. Пояснювальна здатність взаємозв'язків за підходом CCA значно менша порівняно з підходом RDA, що знаходиться у відповідності з тим, що переважна більшість відгуків видів на вплив факторів середовища не є монотонною.

Встановлено, що кліматичні фактори значно структуровані в часі, тому з формальних підстав неможливо однозначно встановити вплив цих факторів на структуру угруповання безхребетних, оскільки неможливо стверджувати той факт, чи впливають насправді фактори на біологічну систему, чи ритміка поведінки системи та перебіг зовнішніх факторів є незалежними або є синхронізованими під впливом третьої сили.

6.6. Оцінка міжвидових взаємодій та інших факторів на реакцію видів безхребетних на температуру

За допомогою CCA ми оцінили вплив змінних часу на динаміку угруповання (рис. 6.6). Підгонка змінної температури в просторі осей CCA показала складний та нелінійний характер впливу температурного фактору на структуру угруповання. Переважно чутливі до температури варіювання структури угруповання, які описуються осями 2 та 3. У свою чергу, різні кількісні рівні осей 1 та 4 по-різному чутливі до впливу фактору температури, що викликає нелінійний характер відгуку. Значний рівень нелінійності дозволяє припустити наявність стійких альтернативних станів угруповання при однакових температурних умовах. У просторі осей 3 та 4 ми

бачимо наявність двох таких станів при температурах більше 20°C, де на проєкції утворюються дві петлі.

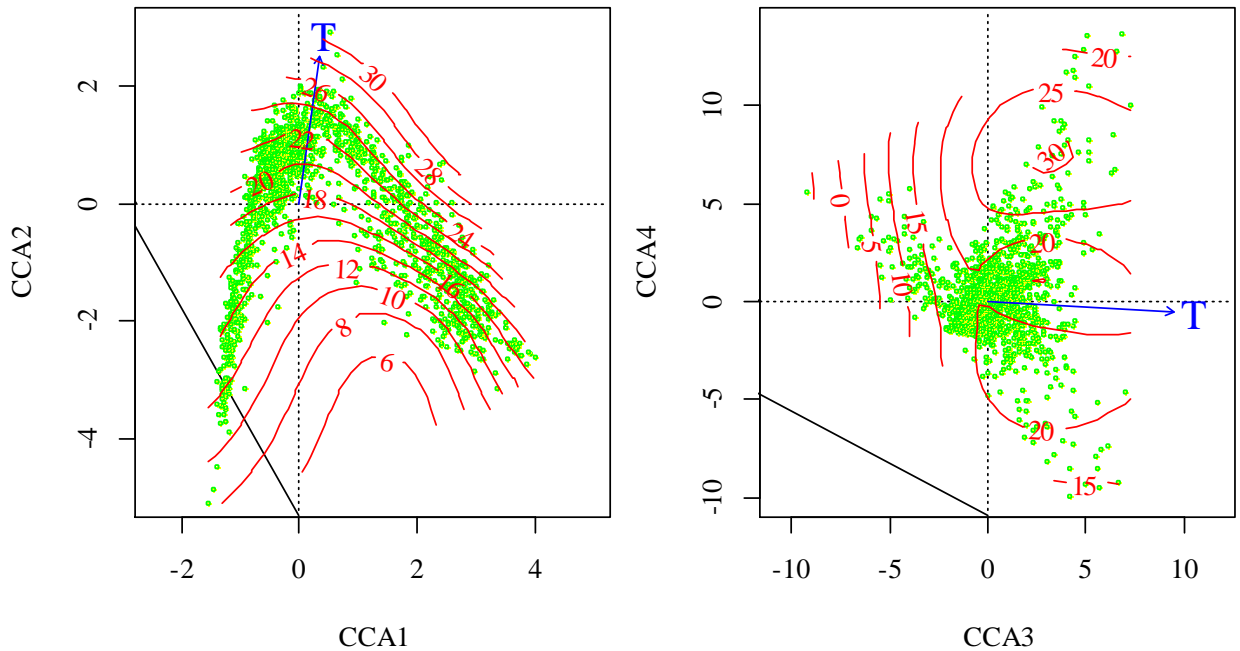


Рис. 6.6. Результати пояснювального аналізу відповідностей (ССА) зі змінними часу в якості предикторів у двовимірних представленнях композиції угруповання безхребетних (ССА 1× ССА 2 та ССА × ССА 4) та напрямки температурного фактору після процедури підгонки. Точки вказують розміщення видів, лінії – ізолінії температур

Оцінки оптимумів видів, одержані за різними методами, характеризуються значною мінливістю (рис. 6.7). Найбільшим рівнем кореляції характеризуються оцінки за методом середнього зваженого та методом регресії. Ступінь відхилення між цими оцінками залежить від рівня відповідності відгуку конкретного виду безхребетних нормальному закону розподілу. Моделі з НОФЮ-переліку є більш гнучкими для врахування специфіки типів відгуку видів на вплив екологічних факторів, чим пояснюються відмінності оцінок оптимумів за цим підходом з оцінками за попередніми методами. Аналіз відповідностей (СА) базується на спрощеному припущенні про дзвіноподібний характер відгуку виду на вплив фактору, але

дозволяє оцінити роль міжвидових взаємодій при формуванні відгуку на вплив фактору.

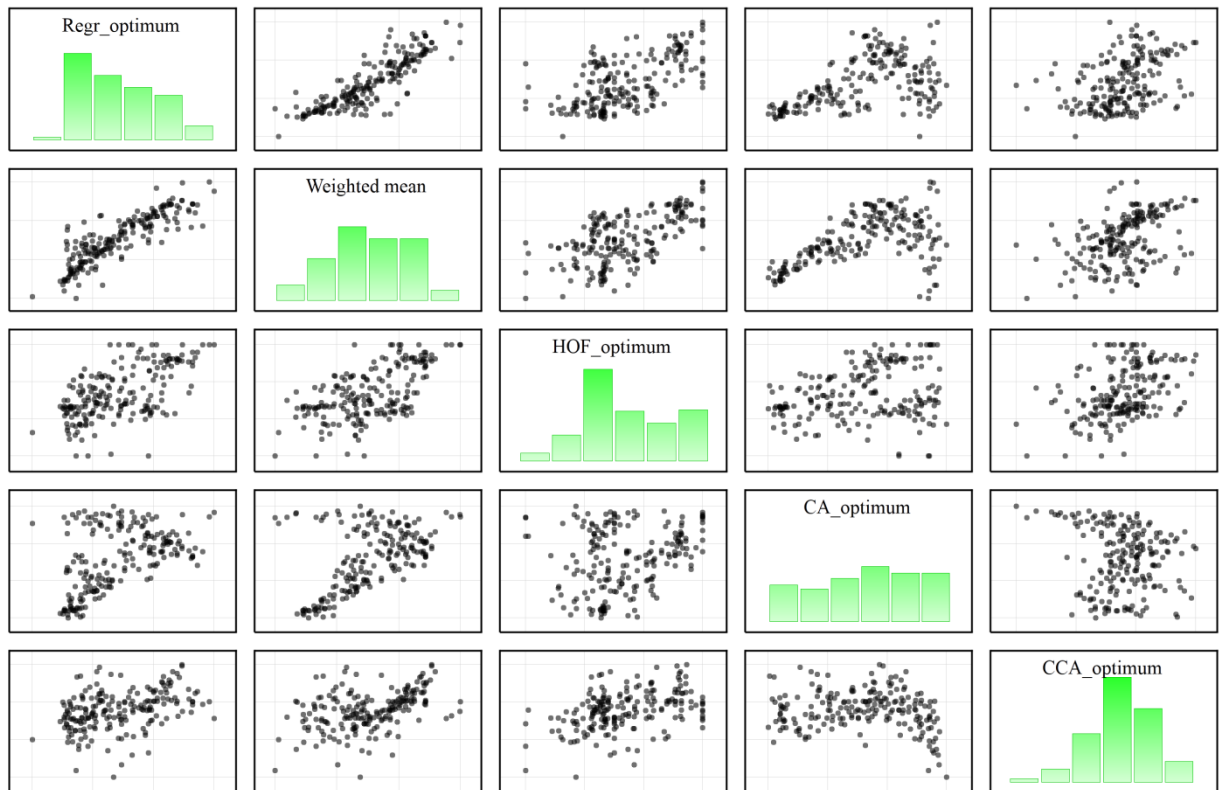


Рис. 6.7. Кореляція оцінок оптимуму видів у градієнті температури атмосферного повітря, одержаних за різними методами. Weighted mean – оцінка за методом середньої зваженої; Reqr_optimum – оцінка за квадратичною генералізованою регресійною моделлю, HOF_optimum – оцінка оптимального значення за найкращою моделлю з HOFJO-переліку; CA_optimum – за результатами СА-аналізу; CCA_optimum – за результатами ССА-аналізу

Особливо порівняння оцінок оптимуму за методом СА з оцінками за регресійним методом та методом середнього зваженого вказує на значну деформацію відгуків під впливом міжвидових взаємодій. Найвищі оцінки температурного оптимуму за методом СА (тобто найбільш термофільні види – мегатермні) за методом середнього зваженого або за регресійним методом мають тільки середній (види оцінюються як мезотермні) або низький (мікротермні) рівні оцінок термофільності. Таким чином, при наближенні до

екстремальних термічних умов види фізіологічно (або точніше – аутоекологічно) мегатермні витісняються у більш прохолодну частину температурного градієнту. Очевидно, високий рівень значення біотичних взаємодій призводить до відхилення відгуків видів у градієнті температурного режиму. Можна припустити, що такі відхилення мають певні закономірності. У більш екстремальних високотемпературних умовах витіснення деяких видів у іншу частину температурного діапазону відбувається більш енергійно. Тим не менше, СА-підхід не дає можливості урахувати комплексний характер відгуку видів на температурний фактор, який також залежить від інших екологічних умов. Таке завдання може бути вирішене за допомогою ССА-підходу.

Виокремлення впливу інших факторів (просторових, часових, тип технозему та інші метеорологічні показники) з урахуванням міжвидових взаємодій може бути досягнуто за допомогою ССА-підходу. Оцінки оптимуму за ССА-підходом у цілому відповідають значенням, одержаним за іншими методами, але з суттєвими особливостями. Порівняння оцінок з СА- та ССА-підходами дає можливість встановити характер впливу інших факторів на відгук видів на температурний режим. Можна припустити, що на результати ординації здійснює вплив так званий «ефект підкови», який виникає внаслідок того, що монотонний градієнт середовища може викликати значні різнонаправлені трансформації в структурі угруповання. Так, високі оцінки оптимальних значень за СА-підходом значно зміщені порівняно із загальним монотонним трендом між оцінками за обома підходами. Таким чином, неврахування як міжвидових взаємодій, так і комплексного впливу інших чинників призводить до значного зміщення оцінок оптимуму видів у градієнті температурних умов.

Толерантність є важливою кількісною характеристикою. Оцінка толерантності видів безхребетних до температурного режиму за різними підходами характеризується незначним рівнем кореляції (рис. 6.8).

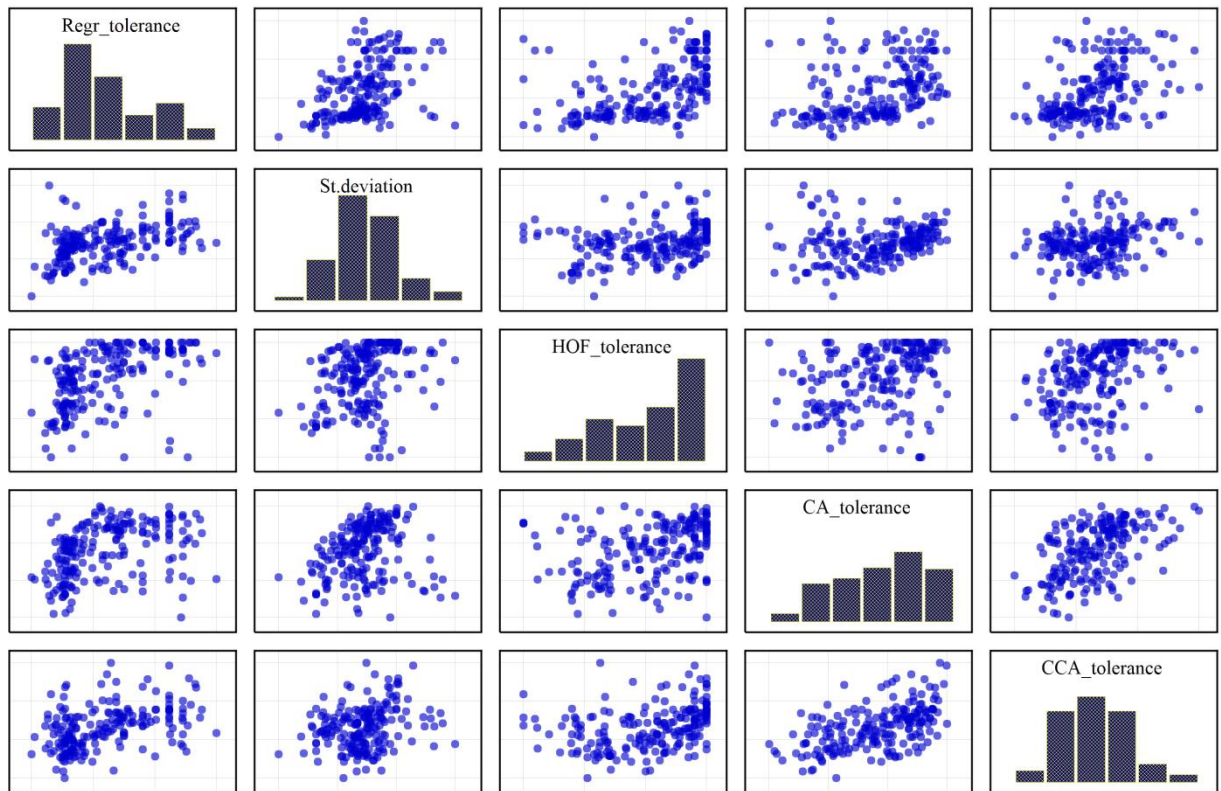


Рис. 6.8. Кореляція оцінок ширини екологічної ніші видів у градієнті умов температури атмосферного повітря, одержаних за різними методами. St.deviation – оцінка за методом середньої зваженої; Regr_tolerance – оцінка за квадратичною генералізованою регресійною моделлю, HOF_tolerance – оцінка оптимального значення за найкращою моделлю з HOFJO-переліку; CA_tolerance – за результатами СА-аналізу, CCA_tolerance – за результатами ССА-аналізу

Очевидно, що характер впливу міжвидових взаємодій та інших факторів більш складний та неоднозначний у випадку з толерантністю, ніж з оптимумом. Вплив інших факторів на чисельність виду, якщо цей вплив нескорельований з досліджуваним фактором, буде збільшувати кількісну оцінку толерантності виду й таким чином призводити до зміщеної оцінки толерантності. Погоджений вплив декількох факторів на чисельність буде призводити до зміщення оцінки оптимуму та виникнення асиметричного відгуку виду. Така проявлена асиметрія є відхиленням від припущень

симетричності розподілу, яке лежить у переважній більшості процедур оцінки толерантності виду, що також може впливати на точність оцінок.

Роль форми відгуку виду на вплив температури показано на рис. 6.9 та 6.10. Оцінка впливу інших факторів на відгук видів найбільш важлива у випадку відгуків видів, які описуються моделями V та VII. Це асиметричні моделі, а як зазначалось вище, найбільш вірогідною причиною виникнення асиметричного відгуку є міжвидові взаємодії або вплив інших абіотичних факторів. Для вказаних моделей серед видів, оцінки оптимумів яких за двома підходами дуже значно збігаються, можна виділити девіантні групи, які формують альтернативний тренд лінійної відповідності. Ця група відповідає помірним оцінкам оптимальності за СА-підходом і витягується уздовж осі оцінок оптимальності за ССА-підходом. Таким чином, урахування комплексного впливу інших чинників дозволяє виявити більш мегатермний характер деяких видів, які за СА-оцінками є мезотермними.

Урахування впливу зовнішніх факторів суттєво змінює оцінки толерантності, але чіткої залежності між оцінками за різними підходами встановити не вдалось. Тим не менш, у якості кінцевої оцінки значень оптимуму та толерантності видів ми зупинились на ССА-оцінці, оскільки вона дозволяє оцінити вплив міжвидових взаємодій, комплексної дії інших факторів, які привносять дезінформацію в оцінювання параметрів екологічної ніші. Крім того, хоч формально ССА базується на припущенні про симетричний дзвіноподібний характер відгуку видів на вплив екологічного фактору, нами встановлено, що особливості параметрів, які оцінені за цим підходом, також залежать від властивостей моделей, які можна встановити за допомогою НОFJO-підходу. Тому на основі оцінок толерантності та оптимуму за ССА-підходом нами проведений кластерний аналіз видів, за допомогою якого вдалося встановити наявність чотирьох гомогенних кластерів, або екологічних груп видів (рис. 6.11).

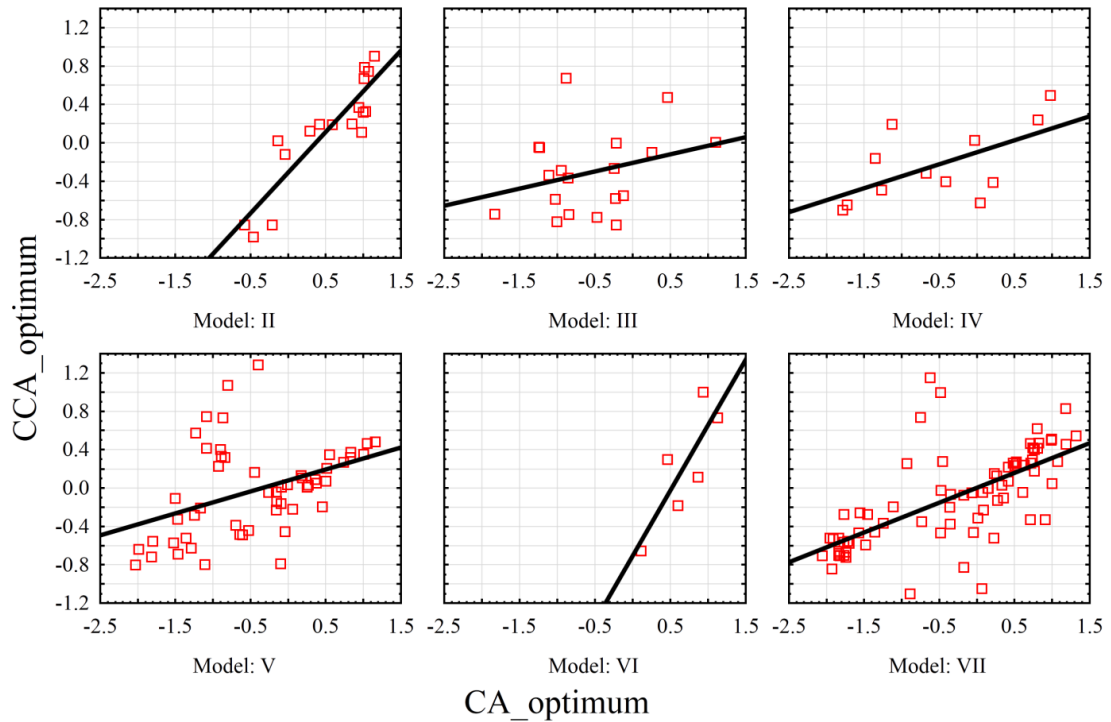


Рис. 6.9. Кореляція оцінок оптимуму видів у градієнті умов вологості, одержаних за результатами СА-аналізу (ось абсцис – CA_optimum) та ССА-аналізу (ось ординат – ССА-оптimum) у залежності від типу найкращої моделі з НОФ-переліку (II – VII)

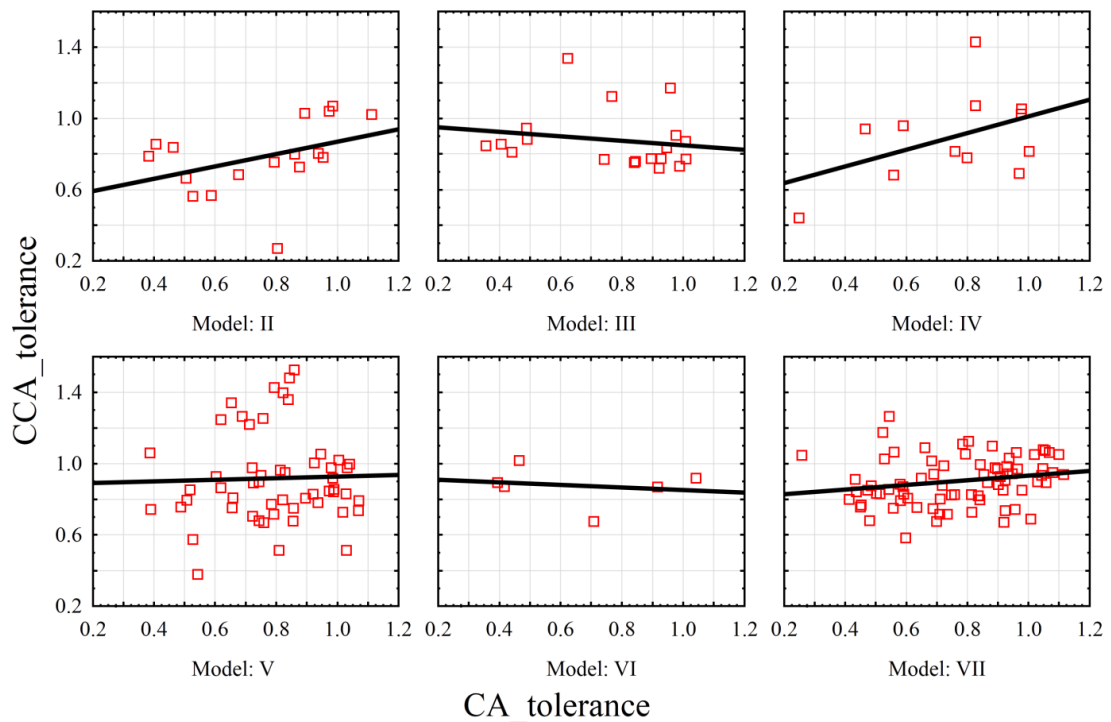


Рис. 6.10. Кореляція оцінок толерантності видів у градієнті умов вологості, одержаних за за результатами СА-аналізу (ось абсцис – CA_tolerance) та ССА-аналізу (ось ординат – ССА- tolerance) у залежності від типу найкращої моделі з НОФ-переліку (II – VII)

Ці кластери розрізняються за значеннями оптимуму видів, і можна встановити наявність мікротермів та мезотермів. Також спостерігаються відмінності за рівнем толерантності видів, що дозволяє виділити стенотермів та евритермів. Комбінація вказаних критеріїв дозволяє виділити евримікротермів (EuMicrT), евримезотермів (EuMsT), стеномікротермів (StMicrT) та стеномезотермів (StMsT) (рис. 6.11).

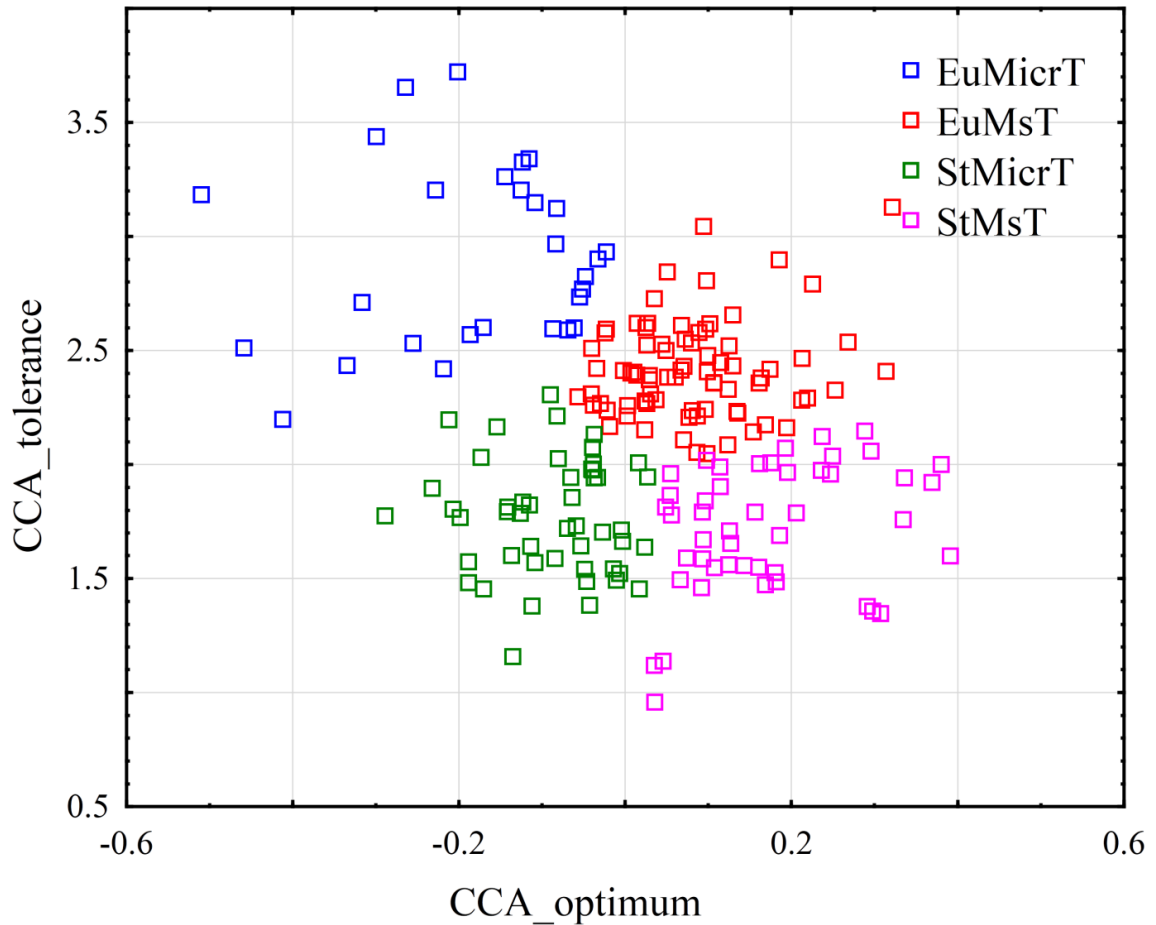


Рис. 6.11. Кластерний аналіз видів тварин за оцінками оптимуму та толерантності у градієнті температури на основі ССА-підходу за методом k -середніх. Кластери: EuMicrT – евримікротерми, EuMsT – евримезотерми, StMicrT – стеномікротерми, StMsT – стеномезотерми

Еумікротерми представлені 28 видами, до складу яких входять: *Amara lucida*, *Broscus cephalotes*, *Calathus ambiguus*, *Calathus fuscipes*, *Chlaenius decipiens*, *Crypticus quisquilius*, *Dorcadion cinerarium*, *Euchorthippus pulvinatus*, *Geolycosa vultuosa*, *Harpalus picipennis*, *Harpalus rufipes*, *Lepidoptera sp.*,

Licinus cassideus, *Licinus depressus*, *Lithobius forficatus*, *Miturgidae sp.*, *Nomisia aussereri*, *Philonthus cognatus*, *Platyscelis polita*, *Pterostichus anthracinus*, *Pterostichus ovoideus*, *Pterostichus vernalis*, *Salticidae sp.*, *Taphoxenus gigas*, *Tentyria nomas*, *Trox sabulosus*, *Xysticus striatipes*, *Zabrus tenebrioides*.

Еумезотерми представлені 77 видів, до складу яких входять: *Acinopus picipes*, *Aelurillus v-insignitus*, *Agelena labyrinthica*, *Agriotes gurgistanus*, *Agriotes ustulatus*, *Agyneta rurestris*, *Alopecosa kovblyuki*, *Alopecosa sp.*, *Amara aenea*, *Amara apricaria*, *Blaps halophila*, *Blaps lethifera*, *Brephulopsis cylindrica*, *Cetonia aurata*, *Chlaenius spoliatus*, *Curculionidae sp.*, *Cyphocleonus dealbatus*, *Dermestes kaszabi*, *Dermestes lanarius*, *Dixus eremita*, *Dorcadion equestre*, *Entomoscelis adonidis*, *Eudiplister planulus*, *Galeruca pomonae*, *Geophilus proximus*, *Gnaphosa sp. 1*, *Gnaphosa sp. 2*, *Haplodrassus dalmatensis*, *Harpactea rubicunda*, *Harpalus affinis*, *Harpalus albanicus*, *Harpalus distinguendus*, *Harpalus griseus*, *Harpalus latus*, *Harpalus rubripes*, *Harpalus serripes*, *Harpalus sp.*, *Harpalus sp. 1*, *Harpalus sp. 2*, *Harpalus subcylindricus*, *Harpalus tardus*, *Hister quadrimaculatus*, *Mecinus collaris*, *Meloe rufiventris*, *Mylabris quadripunctata*, *Nicrophorus sepultor*, *Nicrophorus vestigator*, *Onthophagus furcatus*, *Ophonus azureus*, *Oxyopes heterophthalmus*, *Pentodon idiota*, *Phlegra fasciata*, *Pisaura novicia*, *Podonta daghestanica*, *Poecilus cupreus*, *Poecilus sericeus*, *Probaticus subrugosus*, *Prosodes obtusa*, *Pterostichus melanarius*, *Pyrrhocoris apterus*, *Rossiulus kessleri*, *Saprinus semistriatus*, *Silpha carinata*, *Silpha obscura*, *Sisyphus schaefferi*, *Syntomus obscuroguttatus*, *Thanatophilus rugosus*, *Thanatophilus sinuatus*, *Thanatus arenarius*, *Thanatus vulgaris*, *Theridiidae sp.*, *Trachelipus rathkii*, *Trochosa robusta*, *Trox hispidus*, *Xerolycosa miniata*, *Xysticus sabulosus*, *Zabrus spinipes*.

Стеномікротерми представлені 49 видами, до їх складу входять: *Aelurillus m-nigrum*, *Agelenidae sp.*, *Agriotes sputator*, *Alopecosa cursor*, *Alopecosa pulverulenta*, *Anoxia pilosa*, *Asida lutosa*, *Bothynoderes affinis*, *Buprestidae*, *Byrrhus pilula*, *Cantharis rustica*, *Cheiracanthium erraticum*, *Cleonis pigra*, *Coccinella septempunctata*, *Cryptops anomalans*, *Dorcadion holosericeum*,

Eratigena agrestis, *Euryopis quinqueguttata*, *Eusomus ovulum*, *Galeruca tanaceti*, *Gnaphosa dolosa*, *Gnaptor spinimanus*, *Haplodrassus kulczynskii*, *Haplodrassus signifer*, *Hister quadrinotatus*, *Lathys stigmatisata*, *Lebia chlorocephala*, *Meloe scabriusculus*, *Monacha cartusiana*, *Ocypus brunnipes*, *Ocypus ophthalmicus*, *Onthophagus gibbosus*, *Onthophagus ovatus*, *Opatrum sabulosum*, *Opilio saxatilis*, *Ozyptila scabricula*, *Philodromidae sp.*, *Philonthus concinnus*, *Poecilus crenuliger*, *Pseudocleonus cinereus*, *Scutigera coleoptrata*, *Scymnus frontalis*, *Tegenaria lapicidinarum*, *Thomisidae sp.*, *Trachyzelotes lyonneti*, *Trachyzelotes malkini*, *Xysticus acerbus*, *Xysticus cristatus*, *Zelotes longipes*.

Стеномезотерми представлені 48 видами, до складу яких входять: *Agapanthia violacea*, *Agroeca cuprea*, *Aphodius fimetarius*, *Berlandina cinerea*, *Brachinus crepitans*, *Brachinus psophia*, *Calosoma auropunctatum*, *Chondrula tridens*, *Cicindela sylvatica*, *Civizelotes caucasius*, *Dorcadion tauricum*, *Dorcus parallelipedus*, *Drassodes pubescens*, *Drassodes lapidosus*, *Drassylus lutetianus*, *Drassylus praeficus*, *Gnaphosa licenti*, *Gnaphosa lucifuga*, *Gonocephalum pusillum*, *Gymnopleurus mopsus*, *Haplodrassus bohemicus*, *Harpalus pumilus*, *Harpalus smaragdinus*, *Lethrus apterus*, *Margarinotus bipustulatus*, *Margarinotus purpurascens*, *Mylabris polymorpha*, *Onthophagus nuchicornis*, *Onthophagus vitulus*, *Oxyopes lineatus*, *Pardosa agrestis*, *Pellenes seriatus*, *Philodromus histrio*, *Phrurolithus festivus*, *Phrurolithus pullatus*, *Pisauridae sp.*, *Protaetia ungarica*, *Pterostichus macer*, *Pterostichus sp.*, *Steatoda albomaculata*, *Stemonyphantes lineatus*, *Tibellus macellus*, *Tibellus oblongus*, *Titanoeca veteranica*, *Trox cadaverinus*, *Valgus hemipterus*, *Xysticus kochi*, *Zelotes electus*.

За оцінками оптимуму за ССА-підходом екологічні групи формують закономірну послідовність відповідно до їх ідентифікації (рис. 6.12). Еврімікротерми займають найбільш прохолодну частину градієнту термічних умов, за ними йдуть стеномікротерми, потім евримезотерми, а найбільш теплу частину термічного градієнту займають стеномезотерми. Суттєві відмінності різних методів в оцінці властивостей екологічних груп чітко

проявляють себе при визначенні характеристик груп за методом зваженого середнього. За цим показником найбільш холодну частину діапазону займають стеномікротерми, наступними за ними йдуть евримікротерми. У свою чергу найбільш теплу частину діапазону займають евримезотерми, а більш прохолодним стаціям порівняно зі згаданою екологічною групою надають стеномезотерми. Таким чином, головний порядок між положенням мікро- та мезотермів зберігається за обома методами оцінки оптимумів, але змінюється взаємне положення в градієнті залежно від толерантності.

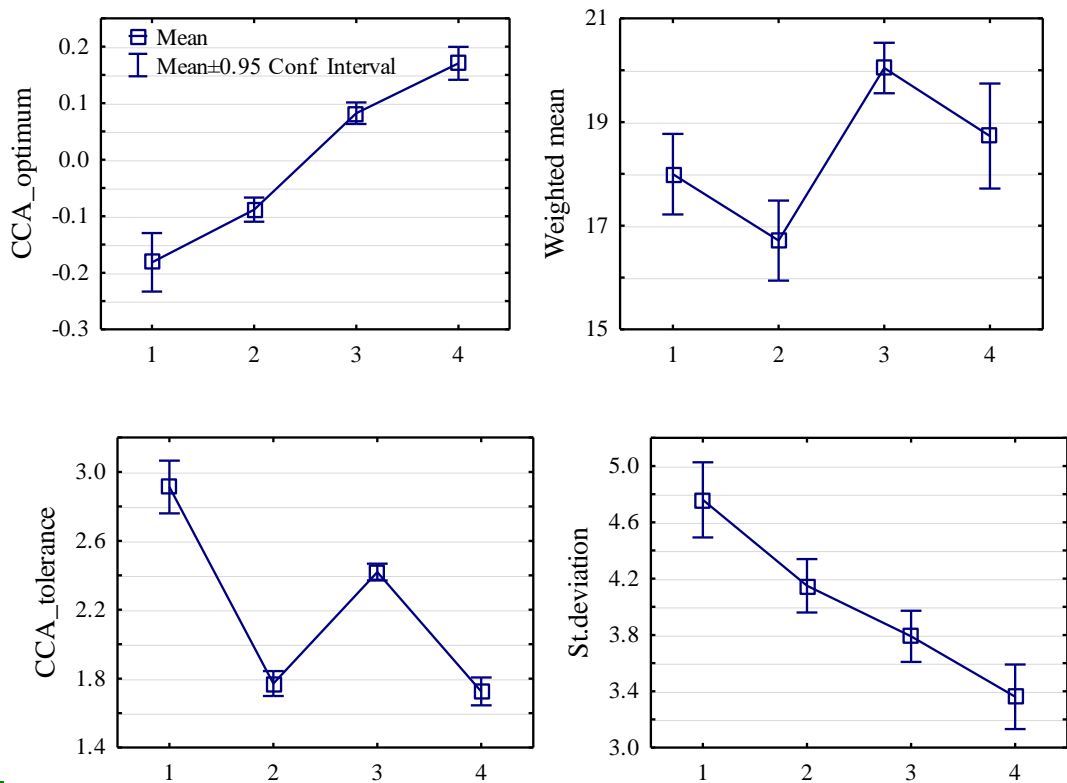


Рис. 6.12. Оцінки за різними підходами оптимумів та толерантності видів у градієнті температури для екологічних груп тварин. Ось абсцис – екологічні групи (кластери): 1 – евримікротерми (EuMicrT), 2 – стеномікротерми (StMicrT); 3 – евримезотерми (EuMsT); 4 – стеномезотерми (StMsT)

За методом ССА рівень ширини екологічної ніші евритоппних мікротермів значно ширший, ніж евритоппних мезотермів. Ширина екологічної ніші стенотоппних мікротермів та мезотермів практично однакова. За методом зваженого середнього оцінка толерантності зменшується у послідовності від евримікротермів до стеномезотермів. Множинний аналіз

відповідностей дозволив показати, що між типами відгуків видів на вплив температури та трофічною спеціалізацією існує зв'язок (рис. 6.13).

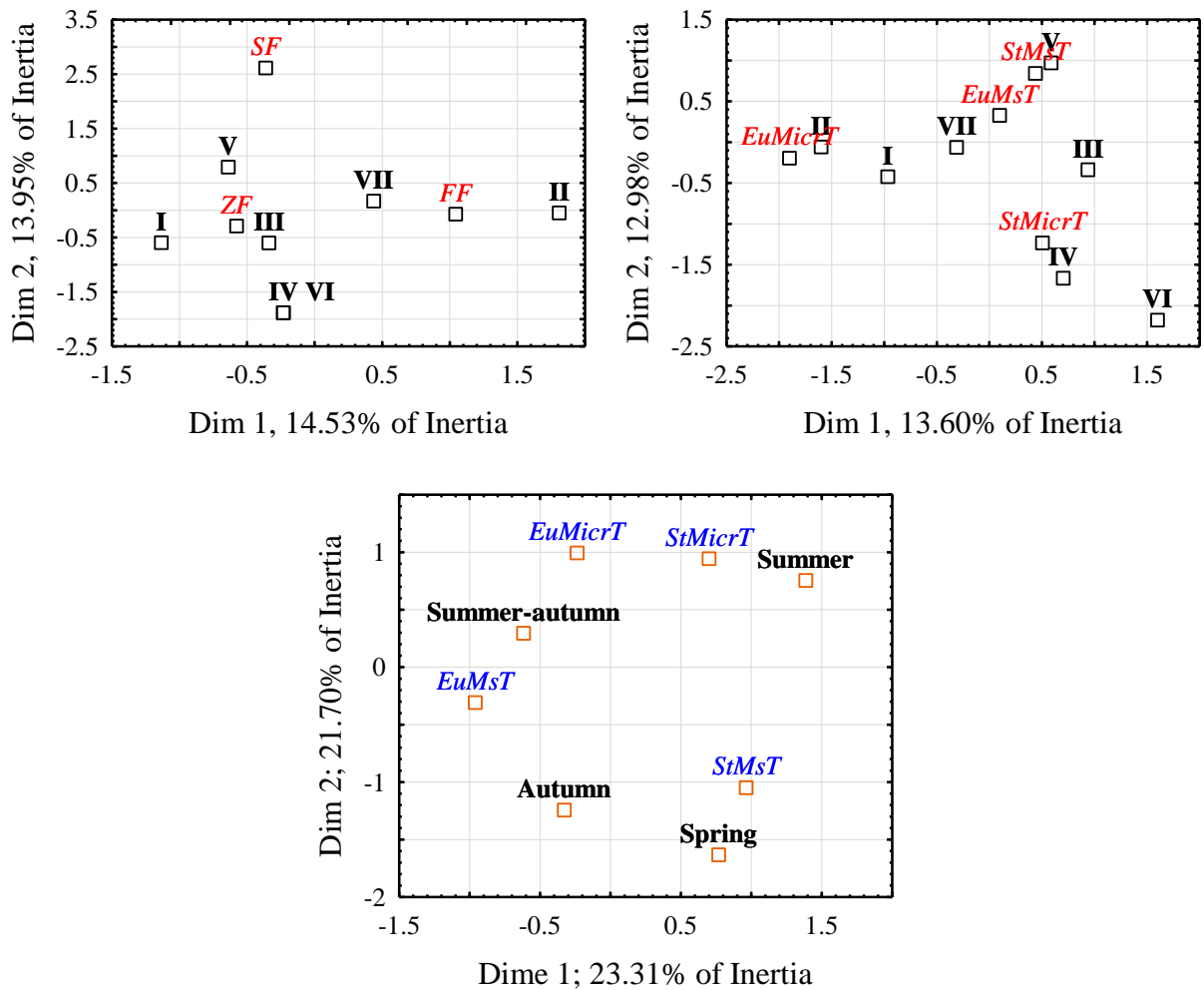


Рис. 6.13. Результати множинного аналізу відповідностей екологічних груп безхребетних

Відгук фітофагів на температуру найбільш часто може бути описаний за допомогою моделей II та VII. Відгук зоофагів найчастіше описується моделями I, III та V. Відгук сапрофагів найчастіше є симетричним дзвоноподібним (модель V). Виділені екологічні групи за ознакою преферендуму певного температурного режиму також характеризуються найбільш типовими моделями відгуку. Стеномезотерми найчастіше описуються моделлю V. Особливість евримезотермів порівняно з попередньою групою полягає у тому, що відгук цих видів на температуру частіше описується моделями III та VII. Еумікротерми описуються моделлю II та меншою мірою – I. Стеномікротерми найчастіше описуються моделями

IV та VI. Стенотопні види найчастіше зустрічаються серед літніх та весняних видів, а евритопні – серед літньо-осінніх або осінніх. Мікротерми найчастіше зустрічаються серед літніх та літньо-осінніх, а мезотерми – серед весняних або осінніх видів.

Висновок по розділу

Температурні оптимуми безхребетних, які мешкають в умовах техноземів, варіюються в діапазоні від 11,5 до 25,4 °C. Відгук безхребетних на вплив температури може бути описаний сімома моделями з переліку HOFJO. Найчастіше найкращими моделями є VII та V та переважна більшість відгуків безхребетних на температурний фактор має асиметричний характер. Вплив температури на структуру угруповання безхребетних має складний характер. Цей вплив залежить від інших метеорологічних чинників, таких як опади, вітер, вологість повітря та атмосферний тиск. Часова складова як закономірний перебіг фенологічних процесів здатна пояснити 3–68 % варіювання структури угруповання. Тип техноземів у цілому визначає 12 % варіювання угруповання безхребетних. За значеннями оптимуму і толерантності до дії температурного фактору виділені такі екологічні групи безхребетних: еврмікротерми, еврміезотерми, стеномікротерми та стеномезотерми. Стеномезотерми найчастіше описуються моделлю V. Особливість еврміезотермів порівняно з попередньою групою полягає в тому, що відгук цих видів на температуру частіше описується моделями III та VII. Еумікротерми описуються моделлю II та меншою мірою – I. Стеномікротерми найчастіше описуються моделями IV та VI. Стенотопні види найчастіше зустрічаються серед літніх та весняних видів, а евритопні – серед літньо-осінніх або осінніх. Мікротерми найчастіше зустрічаються серед серед літніх та літньо-осінніх, а мезотерми – серед весняних або осінніх видів.

ВИСНОВКИ

1. Угрупування наземних безхребетних, сформоване в техногенній екосистемі після понад 50-річного періоду рекультивації представлено 202 видами Arthropoda та Mollusca з 6 класів, 13 рядів, 50 родин. Двопарноногі є найбільш чисельною таксономічною групою, яка представлена тільки одним видом *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927). Чисельність цього виду складає 49.4 % від загальної чисельності угруповання. Coleoptera та Araneae складають 22.4 та 18.2 % від загальної чисельності угруповання. Ці таксони є найбільш насиченими видами. Coleoptera представлені 122 видами, а Araneae представлені 67 видами.
2. Метеорологічні умови є найважливішими чинниками, які визначають часову динаміку популяцій та угруповань наземних безхребетних техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну. Особливості водного режиму техноземів залежать як від їх водно-фізичних властивостей, так і від особливостей поверхні контакту ґрунту з навколишнім середовищем. Рослинний покрив, колір та характер поверхні ґрунту значно впливають на інтенсивність енергетичного та речовинного обміну ґрунту з навколишнім середовищем. Залежність між вологістю та альбедо поверхні техноземів утворює передумови формування механізму зворотного негативного зв'язку між вологістю та інтенсивністю евапотранспірації.
3. Динаміка в часі протягом вегетаційного сезону переважної більшості видів безхребетних описується бімодальною асиметричною моделлю (модель VII з переліку HOFJO), що підкреслює важливість впливу біотичних (конкурентних) взаємодій між видами. Встановлені типи часової динаміки безхребетних вказують на наявність складних та сформованих процесів регуляції чисельності тварин на порівняно молодих екологічних утвореннях, якими є техноземи. Часова динаміка видів безхребетних структурована в просторі та характеризуються наявністю регулярних часових патернів.

Встановлено, що фітофаги переважають серед літньо-осінніх форм, а зоофаги – серед осінніх, та меншою мірою серед весняних або літніх.

4. В умовах аридного клімату та в екосистемі, сформованій у результаті процесу рекультивації, вміст вологи в ґрунті є найважливішим фактором, який визначає динаміку угруповання наземних безхребетних у часі. Оптимум та толерантність видів до впливу екологічних факторів пояснюють динаміку структури угруповання в часі. Врахування комплексу факторів та міжвидових взаємодій здатне значно відкоригувати оцінки оптимуму для багатьох видів. За умов дефіциту вологості фактори абіотичної природи є найважливішими, а за умов достатнього зволоження переважне значення мають біотичні фактори.

5. Температурні оптимуми безхребетних, які мешкають в умовах техноземів, варіюють у діапазоні від 11,5 до 25,4°C. Відгук безхребетних на вплив температури найкраще може бути описаний моделями VII та V з переліку HOFJO. Вплив температури на структуру угруповання безхребетних залежить від таких метеорологічних чинників, як опади, вітер, вологість повітря та атмосферний тиск. Часова складова як закономірний перебіг фенологічних процесів здатна пояснити 3–68 % варіювання структури угруповання. Тип техноземів у цілому визначає 12 % варіювання угруповання безхребетних. За значеннями оптимуму і толерантності до дії температурного фактору виділені такі екологічні групи безхребетних: евримікротерми, евримесотерми, стеномікротерми та стеномесотерми.

СПИСОК ЦИТОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алиев, С.А. (1973). Биоэнергетика органического вещества почвы. Баку: Элм., 65 с.
2. Андроханов, В.А. (2013). Некоторые аспекты проблемы рекультивации нарушенных земель. Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование. Новосибирск: Изд-во Окарина, 53–55.
3. Андроханов, В.А., Курачев, В.М. (2010). Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Издательство СО РАН, 224 с.
4. Андроханов, В.А., Овсянникова, С.В., Курачев, В.М. (2000). Техноземы: свойства, режимы, функционирование. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 200 с.
5. Андрусевич, Е. В., Жуков, А. В., Задорожная, Г. А., Осадчук, О. Н. (2012). Количественная оценка цветовых свойств дерново–литогенных почв на красно–бурых глинах участка рекультивации Никопольского марганцеворудного бассейна. Сучасні проблеми біології, екології та хімії: Збірка матеріалів III Міжнародної конференції. – Запоріжжя: Сору Art., 378–379.
6. Андрусевич, К. (2014). Різноманіття тваринного населення (мезофауна) техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну. Вісник Львівського ун–ту. Серія біологічна, 65, 273–287.
7. Андрусевич, К. В. (2014). Экологическое пространство животного населения дерново–литогенных почв на красно–бурых глинах. Грунтознавство, 15(1–2), 120–134.
8. Бекаревич, Н. Е. (1971). Породы надрудной толщи и их агробиологическая оценка. О рекультивации земель в степи Украины. Днепропетровск: Промінь, 20–37.

9. Беспалов, А.Н. (2013). Индикация направления сукцессии техногенных экосистем по сообществам жуков-жужелиц (Coleoptera, Carabidae). Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование. Новосибирск: Изд-во Окарина, 67–69.
10. Бондарь, Г. А., Жуков, А. В. (2011). Экологическая структура растительного покрова, сформированного в результате самозарастания дерново–литогенных почв на лессовидных суглинках. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету, 1, 54–62.
11. Буевский, Н.М., Зорин, Л.Ф. (1969). Рекультивация земель, нарушенных горными работами. Донецк: Донбасс, 221 с.
12. Водолеев, А.С., Андроханов, С.Ю., Клековкин, В.А. (2007). Почвоулучшители: рекультивационный аспект. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 200 с.
13. Волох, П. В., Узбек, І. Х. (2010). Сучасний ґрунтогенез на рекультивованих літоземах зони степу України. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 1, 39–47.
14. Гаджиев, И.М., Курачев, В.М. (1992). Генетические и экологические аспекты исследования и классификации почв техногенных ландшафтов. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 6–15.
15. Герасимова, М. И., Строганова, М.Н., Можарова, Н.В., Прокофьева, Т.В. (2004). Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Под редакцией академика РАН Г. В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 268 с.
16. Двуреченский, В.Г., Соколов, Д.А., Топоровская, А.А., Берлякова, О.Г. (2011). Почвенно-экологическое состояние урбанизированных территорий Западной Сибири (на примере г. Новокузнецка). Почвоведение и агрохимия. 2, 5–14.

17. Додатко, Э.Л. (1974). Состав, свойства и пригодность вскрышных пород буроголиньных и марганцеворудных карьеров України для сельскохозяйственного использования: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Симферополь. 21 с.
18. Екологічний атлас України (2009). К.: "Центр екологічної освіти та інформації", 104 с.
19. Єстеревська, Л. В., Момот, Г. Ф., Лехцієр, Л. В. (2008). Рекультивовані ґрунти: підходи до класифікації та систематики. Ґрунтознавство, 9 (3–4), 147–150.
20. Забалуєв, В.А. (2010). Формирование агроэкосистем рекультивованих земель в Степи України: едафическое обоснование. К., 261 с.
21. Зверковский, В.Н., Тупика, Н.П. (2003). Биоэкологическое обоснование лесной рекультивации нарушенных земель. Биологическая рекультивация нарушенных земель: Матер. Междунар. совещ. Екатеринбург: УрО РАН, 112–124.
22. Зверковський, В.М. (2010). Вплив меліорацій на ефективність освоєння порушених земель. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету, 2, 20–25.
23. Зонн, С. В., Травлеев, А. П. (1989). Географо-генетические аспекты почвообразования, эволюции и охраны почв. К.: Наукова думка, 216 с.
24. Коваленко Д. (2019). Особливості екологічної ніші молюска *Monacha* (*Monacha*) *cartusiana* (O. F. Muller, 1774) у техноземі на сіро-зеленій глині (Нікопольський марганцеворудний басейн). Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки, 3 (387), 91–100.
25. Коваленко Д. В. (2019). Часова динаміка чисельності популяцій молюсків техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну. Біоресурси і природокористування. 11(1–2), 67–81.

26. Коваленко Д.В. (2019). Різноманіття та механізми стійкості угруповань молюсків техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну. *Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada*. 2019. 42–53.
27. Концепція рекультивації земель, порушених за відкритого та підземного видобутку корисних копалин [Балюк С.А., Єстеревська Л.В., Травлєєв А.П. та ін.]. – Харків, 2012. – 46 с.
28. Кунах О. Н. Анализ маргинальности и пространственная организация сообщества мезопедобионтов урботехнозема / О. Н. Кунах, А. В. Жуков, Ю. А. Балюк // *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*. – 2014. – Вип. 43. – С. 103–115.
29. Кунах О. Н. Экоморфический аспект пространственной организации сообщества мезопедобионтов урботехнозема / О. Н. Кунах, А. В. Жуков, Ю. А. Балюк // *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. – 2014. Вып. 10. – С. 159–176.
30. Кунах О. Н. Экоморфическое разнообразие и пространственная организация сообщества мезопедобионтов урботехнозема / О. Н. Кунах, А. В. Жуков, Ю. А. Балюк, М. П. Федюшко // *Вісник Дніпропетровського державного аграрно–економічного університету*. – 2014. – №1 (33). – С. 32–41.
31. Курачев, В.М., Андроханов, В.А. (2002). Классификация почв техногенных ландшафтов. *Сиб. Экол. журн.* 3, 255–261.
32. Лядська І.В., Маслікова К.П., Жуков О. В. (2018). Методичні підходи для оцінки вологості стійкого в'янення рослин у педоземах. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія*. 286, 223–226.
33. Маслікова К. П. (2017). Екологічна структура рослинного покриву техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну // *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 4 (46). С. 77–88.

34. Маслікова К. П. (2018). Просторово-часова динаміка фітоіндикаційних оцінок кислотності та сольового режиму техноземів Нікопольського марганцево-рудного басейну. *Агробіологія*, 1, 115–128.
35. Маслікова К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В. (2019). Динаміка вмісту карбонатів та засвоюваних форм азоту протягом техногенного ґрунтогенезу в техноземах Нікопольського марганцеворудного басейну. *Наукові доповіді НУБІП України*. 1(77).
<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/12584/10909>
36. Маслікова, К. П., Жуков О. В., Коваленко Д. В. (2018). Фітоіндикаційна оцінка режиму освітлення як маркер регуляторних екосистемних сервісів у техноземах нікопольського марганцеворудного басейну. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 4, 116–122. DOI 10.31210/visnyk2018.04.17
37. Масюк, Н. Т., Бекаревич, Н. Е. (1976). Рациональное использование насыпного слоя почвы на участках рекультивации в черноземной зоне. *Освоение нарушенных земель*. М.: Наука, 112–150.
38. Масюк, Н. Т. (1971). Естественная растительность открытых разработок марганца и её эколого-биологическая характеристика. О рекультивации земель в степи Украины. *Днепропетровск: Промінь*, 37–95.
39. Соколова, И.В. (2009). Физические свойства рекультивационных почвенных конструкций с дифференцированными по гранулометрическому составу слоями: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика». М., 25 с.
40. Тиунов, А. В. (2007). Метабиоз в почвенной системе: влияние дождевых червей на структуру и функционирование почвенной биоты: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 / Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. – М., 44 с.
41. Травлеев, А. П., Белова, Н. А., Зверковський, В. М. (2005). Теоретичні основи лісової рекультивації порушених земель у Західному Донбасі на Дніпропетровщині. *Ґрунтознавство*, 16(1-2), 19–29.

42. Турина, И.В. (2013). Научное обоснование технологий фитомелиорации нарушенных земель при биологической рекультивации: Автореф. дис. ... доктора с.-х. наук: 06.01.02 – «Мелиорация, рекультивация и охрана земель». Новочеркасск, 45 с.
43. Узбек И. Х., Галаган Т. И. (2004). Фізико–хімічні властивості едафотопів техногенних ландшафтів і їх еколого-економічне значення. Грунтознавство, 5 (1–2), 102–106.
44. Узбек, И. Х., Кобец, А. С., Волох, П. В., Дырда, В. И., Демидов, А. А. (2010). Рекультивация нарушенных земель как устойчивое развитие сложных техноэкосистем. Днепропетровск: «Пороги», 263 с.
45. Узбек, И. Х., Шемавнев, В. И., Галаган, Т. И. (2007). Гидротермические особенности техногенных экосистем. Екологія та ноосферологія, 18 (1–2), 96–99.
46. Шикула, М.К. (1962). Водно-физические свойства эродированных почв Донбаса. Почвоведение. 2, 99–104.
47. Allen, C.R., Angeler, D.G., Garmestani, A.S., Gunderson, L.H., Holling, C.S., (2014). Panarchy: theory and application. *Ecosystems*. 17(4), 578–589.
48. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper 56*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1–15.
49. Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A., Pereira, L.S. (1994a). An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*. 43(2), 1–34.
50. Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A., Pereira, L.S. (1994b). An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*. 43(2), 35–92.
51. An, N., Hemmati, S., Cui, Y.-J. (2017). Assessment of the methods for determining net radiation at different time-scales of meteorological variables. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 9, 239–246. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.10.004>

52. Andrusevich, K.V., Zhukov, A.V., Kunah, O.N., 2014. Ecomorphic organisation of the mesopedobionts community as the basis of the anthropogenic soils zoological diagnostic. The Journal of V.N.Karazin Kharkiv National University, 22, 89–97 (in Russian).
53. Andrushenko, A. Yu., Zhukov, A.V. 2016. Scale–dependent effects in structure of the wintering ecological niche of the mute swan during wintering in the gulf of Sivash. Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University. 6 (3), 234–247. <http://dx.doi.org/10.15421/201691>
54. Angeler, D.G., Drakare, S., Johnson, R.K. (2011). Revealing the organization of complex adaptive systems through multivariate time series modeling. Ecology and Society. 16(3), 5. <https://www.jstor.org/stable/26268950>
55. Arshad, M.A., Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. Agriculture, Ecosystems & Environment. 88(2), 153–160. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00252-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00252-3)
56. Austin, M. P. (1976). On non-linear species response models in ordination. Vegetatio. 33(1), 33-41. <https://doi.org/10.1007/BF00055297>
57. Austin, M.P. (1999). A silent clash of paradigms: some inconsistencies in community ecology. Oikos. 86(1), 170–178. DOI: 10.2307/3546582
58. Austin, M.P. (2013). Vegetation and Environment: Discontinuities and Continuities. Vegetation Ecology, Second Edition. Eddy van der Maarel and Janet Franklin. John Wiley & Sons, Ltd. Published 2013 by John Wiley & Sons, Ltd., 52–84.
59. Austin, M.P., Nicholls, A.O., Margules, C.R. (1990). Measurement of the realized qualitative niche: environmental niches of five Eucalyptus species. Ecological Monographs. 60(2), 161-177. DOI: 10.2307/1943043 <https://www.jstor.org/stable/1943043>
60. Baho, D. L., Futter, M. N., Johnson, R. K., Angeler, D. G. (2015). Assessing temporal scales and patterns in time series: Comparing methods based on redundancy analysis. Ecological Complexity. 22, 162–168. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2015.04.001>

61. Beaudette, D.E., Roudier P., & O'Geen, A.T. (2013). Algorithms for Quantitative Pedology: A Toolkit for Soil Scientists. *Computers & Geosciences*. 52, 258–268. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.10.020>
62. Beck, J. & Kitching, I.J. (2007). Correlates of range size and dispersal ability: a comparative analysis of sphingid moths from the Indo-Austalian tropics. *Global Ecology and Biogeography*. 16, 341–349. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00289.x>
63. Bergkamp, G. (1996). Mediterranean geoecosystems – hierarchical organization and degradation. Amsterdam, 238 p.
64. Bertness, M. & Callaway, R.M. (1994). Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution*. 9(5), 191–193. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(94\)90088-4](https://doi.org/10.1016/0169-5347(94)90088-4)
65. Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*. 320(5882), 1444 – 1449. doi:10.1126/science.1155121.
66. Bonsall, M.B. & Hastings, A. (2004). Demographic and environmental stochasticity in predator–prey metapopulation dynamics. *Journal of Animal Ecology*. 73, 1043–1055. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8790.2004.00874.x>
67. Bonsall, M.B. & Hastings, A. (2004). Demographic and environmental stochasticity in predator–prey metapopulation dynamics. *Journal of Animal Ecology*. 73, 1043–1055. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8790.2004.00874.x>
68. Bonte, D., Baert, L. & Maelfait, J.-P. (2002). Spider assemblage structure and stability in a heterogenous coastal dune system (Belgium). *Journal of Arachnology*. 30, 331–343. DOI: 10.1636/0161-8202(2002)030[0331:SASASI]2.0.CO;2
69. Borcard, D., Legendre, P. (1994). Environmental control and spatial structure in ecological communities: an example using oribatid mites (Acari, Oribatei). *Environmental and Ecological Statistics*. 1, 37–61.

70. Borcard, D., Legendre, P., Avois-Jacquet, C., Tuosimoto, H. (2004). Dissecting the spatial structure of ecological data at multiple scales. *Ecology*. 85, 1826–1832.
71. Borcard, D., Legendre, P., Drapeau, P. (1992). Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*. 73, 1045–1055.
72. Bowker, M. A., Soliveres, S. & Maestre, F. T. (2010). Competition increases with abiotic stress and regulates the diversity of biological soil crusts. *Journal of Ecology*. 98(3), 551-560. doi:10.1111/j.1365-2745.2010.01647.x
73. Bradshaw, A. (1997). Restoration of mined lands – Using natural processes. *Ecological Engineering*. 8(4), 255–269. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(97\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00022-0)
74. Brandle, M., Durka, W., Krug, H. & Brandl, R. (2003). The assembly of local communities: plants and birds in non-reclaimed mining sites. *Ecography*, 26, 652–660. DOI: 10.1034/j.1600-0587.2003.03513.x
75. Brandle, M., Ohlschlager, S. & Brandl, R. (2002). Range size in butterflies: correlation across scales. *Evolutionary Ecology Research*. 4, 993–1004.
76. Brown, J. H. (1984). On the relationship between abundance and distribution of species. *The American Naturalist*. 124, 255–279.
77. Brown, J.H. (1999). Macroecology: progress and prospect. *Oikos*, 87, 3–14. DOI: 10.2307/3546991
78. Brown, J.H. (1999). Macroecology: progress and prospect. *Oikos*. 87, 3–14. DOI: 10.2307/3546991
79. Buchholz, S. (2009). Community structure of spiders in coastal habitats of a Mediterranean delta region (Nestos Delta, NE Greece). *Animal Biodiversity and Conservation*. 32(2). 101–115.
80. Buchori, D., Rizali, A., Rahayu, G.A., Mansur, I. (2018). Insect diversity in post-mining areas: Investigating their potential role as bioindicator of reclamation success. *Biodiversitas*. 19, 1696–1702. DOI: 10.13057/biodiv/d190515

81. Burnham, K.P., Anderson, D.R. (2002). Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach. Berlin: Springer.
82. Buzuk, G. N. (2017). Phytoindication with ecological scales and regression analysis: environmental index. *Bulletin of Pharmacy*, 2 (76), 31-37.
83. Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M., Van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., Timmermann, A., Santoso, A., McPhaden, M. J., Wu, L., England, M. H., Wang, G., Guilyardi E., Jin, F. F. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 4(2), 111-116. doi:10.1038/nclimate2100
84. Cao, Y.G., Wang, J.M., Bai, Z.K., Zhou, W., Zhao, Z.Q., Ding, X., Li, Y. (2015). Differentiation and mechanisms on physical properties of reconstructed soils on open-cast mine dump of loess area. *Environmental Earth Sciences*. 74(8), 6367–6380. doi:http://dx.doi.org/10.1007/s12665-015-4607-0.
85. Chanasyk, D. S., Mapfumo, E. & Chaikowsky, C. L. A. (2006). Estimating actual evapotranspiration using water budget and soil water reduction methods. *Canadian Journal of Soil Science*. 86(4), 757–766. <https://doi.org/10.4141/S05-063>
86. Chang, L., Zeleny, D., Li, C., Chiu, S., Hsieh, C. (2013). Better environmental data may reverse conclusions about niche– and dispersal–based processes in community assembly. *Ecology*, 94, 2145–2151.
87. Chase, J. M. & Myers, J. A. (2011). Disentangling the importance of ecological niches from stochastic processes across scales. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 366, 2351–2363. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0063>
88. Chase, J. M., M. A. Leibold, A. L. Downing, & J. B. Shurin. (2000). The effects of productivity, herbivory, and plant species turnover in grassland food webs. *Ecology*. 81(9), 2485–2497. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[2485:TEOPHA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[2485:TEOPHA]2.0.CO;2)

89. Chavez, J., Neale, C. M. U., Prueger, J. H., & Kustas, W. P. (2008). Daily evapotranspiration estimates from extrapolating instantaneous airborne remote sensing ET values. *Irrigation Science*. 27(1), 67–81. <https://doi.org/10.1007/s00271-008-0122-3>
90. Collins, S.L., Belnap, J., Grimm, N.B., Rudgers, J.A., Dahm, C.N., D'Odorico, P., Litvak, M., Natvig, D.O., Peters, D.C., Pockman, W.T., Sinsabaugh, R.L. & Wolf, B.O. (2014). A multiscale, hierarchical model of pulse dynamics in arid-land ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 45, 397–419. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091650>
91. Colwell, R.K. & Futuyma, D.J. (1971). Measurement of niche breadth and overlap. *Ecology*, 52, 567–576. DOI: 10.2307/1934144
92. Consoli, S., D'Urso, G., & Toscano, A. (2006). Remote sensing to estimate ET-fluxes and the performance of an irrigation district in southern Italy. *Agricultural Water Management*. 81, 295–314. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.008>
93. Cottenie, K., (2005). Integrating environmental and spatial processes in ecological community dynamics. *Ecology Letters*, 8, 1175–1182. doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00820.x
94. Curtis, J. T., & McIntosh R. P. (1951). An Upland Forest Continuum in the Prairie-Forest Border Region of Wisconsin. *Ecology*. 32, 476–496. <https://doi.org/10.2307/1931725>
95. David, J.F., & Handa, I.T. (2010). The ecology of saprophagous macroarthropods (millipedes, woodlice) in the context of global change. *Biological Reviews*. 85(4), 881–895. doi: 10.1111/j.1469-185X.2010.00138.x.
96. Demidov, A.A., Kobets, A.S., Gritsan, Yu.I., Zhukov, A.V. (2013). Spatial agricultural ecology and soil recultivation. Dnepropetrovsk: A.L. Svidler Press. DOI: 10.13140/RG.2.1.5175.5040

97. Desender, K., Ervinck, A., Tack, G. (1999). Beetle diversity and historical ecology of woodlands in Flanders. *Belgian Journal of Zoology*. 129(1), 139–155.
98. Detto, M., Montaldo, N., Albertson, J. D., Mancini, M., & Katul, G. (2006). Soil moisture and vegetation controls on evapotranspiration in a heterogeneous Mediterranean ecosystem on Sardinia, Italy. *Water Resources Research* 42(8). 1–16. <https://doi.org/10.1029/2005WR004693>
99. Devictor, V., Clavel, J., Julliard, R., Lavergne, S., Mouillot, D., Thuiller, W., Venail, P., Villéger, S., & Mouquet, N. (2010). Defining and measuring ecological specialization. *Journal of Applied Ecology*. 47, 15–25. doi:10.1111/j.1365-2664.2009.01744.x
100. Dexter, A.R. (2004). Soil physical quality Part I Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*. 120, 201–214. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>.
101. Dexter, A.R., Richard, G. (2009). The saturated hydraulic conductivity of soils with n-modal pore size distributions. *Geoderma*. 154, 76–85. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.09.015>.
102. Didukh, Y. P. (2011). The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv: Phytosociocentre. 176 p.
103. Dray, S., Legendre, P., Peres-Neto, P. (2006). Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbours matrices (PCNM). *Ecological Modelling*, 196, 483–493.
104. Dray, S., Péliissier, R., Couteron, P., Fortin, M.-J., Legendre, P., Peres-Neto, P. R., Bellier, E., Bivand, R., Blanchet, F. G., De Cáceres, M., Dufour, A.-B., Heegaard, E., Jombart, T., Munoz, F., Oksanen, J., Thioulouse, J., Wagner, H. H. (2012). Community ecology in the age of multivariate multiscale spatial analysis. *Ecological Monographs*, 82, 257–275. <https://doi.org/10.1890/11-1183.1>
105. Dunger, W., Wanner, M., Hauser, H., Hohberg, K., Schulz, H.-J., Schwalbe, T., Seifert, B., Vogel, J., Voigtländer, K., Zimdars, B., Zulka, K.P. (2001). Development of soil fauna at mine sites during 46 years after afforestation. *Pedobiologia*. 45(3), 243–271. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00083>.

106. Dvorský, M., Macek, M., Kopecký, M., Wild, J. & Doležal, J. (2017). Niche asymmetry of vascular plants increases with elevation. *Journal of Biogeography*, 44(6), 1418–1425. doi:10.1111/jbi.13001
107. Elton, C. (1927). *Animal Ecology*. Sidgwick and Jackson, London.
108. Entling, W., Schmidt, M. H., Bacher, S., Brandl, R., & Nentwig, W. (2007). Niche properties of Central European spiders: shading, moisture and the evolution of the habitat niche. *Global Ecology and Biogeography*. 16, 440–448. doi:10.1111/j.1466-8238.2006.00305.x
109. Evett, S.R., Prueger, J.H., Tolk, J.A. (2011). Water and energy balances in the soil-plant-atmosphere continuum. In: Huang PM, Li Y, Sumner ME, editors. *Handbook of soil sciences: properties and processes*. 2nd ed. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press. 6-1–6-44.
110. Frouz, J. (2018). Changes of Water Budget during Ecosystem Development in Post-Mining Sites at Various Spatiotemporal Scales: The Need for Controlled Systems. *Hydrology of Artificial and Controlled Experiments*. 95–106. DOI: 10.5772/intechopen.74238
111. Frouz, J., Kuráž, V. (2014). Soil fauna and soil physical properties. In: Frouz J, editor. *Soil Biota and Ecosystem Development in Post Mining Sites*. Boca Raton: CRC Press.
112. Gallé, R., Veszteg, N. & Somogyi, T. (2011). Environmental conditions affecting spiders in grasslands at the lower reach of the River Tisza in Hungary. *Entomologica Fennica*. 22, 29–38.
113. Gaston, K.J., Blackburn, T.M., & Lawton, J.H. (1997). Interspecific abundance-range size relationships: an appraisal of mechanisms. *Journal of Animal Ecology*. 66(44), 579–601. DOI: 10.2307/5951
114. Gaston, K.J., Blackburn, T.M., & Lawton, J.H. (1997). Interspecific abundance-range size relationships: an appraisal of mechanisms. *Journal of Animal Ecology*. 66(44), 579–601. DOI: 10.2307/5951
115. Gauch, H. G. & Whittaker, R. H. (1972). Coenocline simulation. *Ecology*. 53(3), 446–451. <https://doi.org/10.2307/1934231>

116. Ge B., Daizhen, Z., Jun, C., Huabin, Z., Chunlin, Z., Boping, T. (2014). Biodiversity Variations of Soil Macrofauna Communities in Forests in a Reclaimed Coast with Different Diked History. *Pakistan Journal of Zoology*. 46(4). 1053–1059.
117. Gerlach, J., Samways, M. & Pryke, J. (2013). Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *Journal of Insect Conservation*. 17(4), 831–850. <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9565-9>
118. Gregory, R.D. & Gaston, K.J. (2000). Explanations of commonness and rarity in British breeding birds: separating resource use and resource availability. *Oikos*. 88, 515–526. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.880307.x>
119. Grinnell, J. (1917). The niche relationship of the California Thrasher. *The Auk: Ornithological Advances*. 34(4), 427–433. <https://doi.org/10.2307/4072271>
120. Halvorsen, R. (2012). A gradient analytic perspective on distribution modelling. *Sommerfeltia*. 35(1), 1–165. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10208-011-0015-3>
121. Hedde, M., Nahmani, J., Séré, G., Auclerc, A., Cortet J. (2018). Early colonisation of constructed technosols by macro-invertebrates. *Journal of Soils and Sediments*. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2142-9>
122. Heegaard, E. (2002). The outer border and central border for species-environmental relationships estimated by non-parametric generalised additive models. *Ecological Modelling*. 157(2–3), 131–139. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00191-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00191-6)
123. Hendrychova, M. (2008). Reclamation success in post-mining landscapes in the Czech Republic: a review of pedological and biological studies. *Journal of Landscape Studies*. 1, 63–78.
124. Hendrychova, M., Salek, M., Tajovsky, K., & Reho, M. (2011). Soil properties and species richness of invertebrates on afforested sites after brown coal mining. *Restoration Ecology*. 20 (5), 561–567. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2011.00841.x>

125. Hendrychová, M., Šálek, M., Červenková, A. (2008). Invertebrate communities in man-made and spontaneously developed forests on spoil heaps after coal mining. *Journal of Landscape Studies*. 1, 169–187.
126. Hendrychová, M., Šálek, M., Tajovský, K. & Řehoř, M. (2012), Soil Properties and Species Richness of Invertebrates on Afforested Sites after Brown Coal Mining. *Restoration Ecology*. 20(5), 561–567. doi:10.1111/j.1526-100X.2011.00841.x
127. Hering, R., Hauptfleisch, M., Geißler, K., Marquart, A., Schoenen, M., Blaum, N.. (2019). Shrub encroachment is not always land degradation: Insights from ground-dwelling beetle species niches along a shrub cover gradient in a semi-arid Namibian savanna. *Land Degradation & Development*. 30(1), 14– 24. <https://doi.org/10.1002/ldr.3197>
128. Hess, T. M. (1996). Evapotranspiration estimates for water balance scheduling in the UK. *Irrigation News*. 25, 31–36.
129. Hildmann, E., & Wunsche, M. (1996). Lignite mining and its after-effects on the central German landscape. *Water, Air and Soil Pollution*. (91), 79–87. DOI <https://doi.org/10.1007/BF00280924>
130. Hill, M.O. (1973). Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology*. 61(1), 237–249. DOI: 10.2307/2258931
131. Hlaváčiková, H., Novák, V. (2013). Comparison of daily potential evapotranspiration calculated by two procedures based on Penman-Monteith type equation. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 61 (2), 173–176. DOI: 10.2478/johh-2013-0022
132. Hodecek, J., Kuras, T., Sipos, J., Dolny, A. (2016). Role of reclamation in the formation of functional structure of beetle communities: A different approach to restoration. *Ecological Engineering*. 94, 537–544. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.027>
133. Hodecek, J., Kuras, T., Sipos, J., Dolny, A., (2015). Post-industrial areas as successional habitats: long-term changes of functional diversity in beetle

- communities. *Basic and Applied Ecology*. 16(7), 629–640.
<https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.06.004>
134. Huisman, J., Olff, H., Fresco, L.F.M. (1993). A hierarchical set of models for species response analysis. *Journal of Vegetation Science*. 4(1), 37–46.
<https://doi.org/10.2307/3235732>
135. Hunsaker, D. J., Pinter, P. J., & Kimball, B. A. (2005). Wheat basal crop coefficients determined by normalized difference vegetation index. *Irrigation Science*. 24(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0001-0>
136. Huot, H., Séré, G., Charbonnier, P., Simonnot, M. O., & Morel, J. L. (2015). Lysimeter monitoring as assessment of the potential for revegetation to manage former iron industry settling ponds. *Science of the Total Environment*. 526, 29–40.
<http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.025>
137. Hutchinson, G. E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology*. 22, 415–427.
<http://dx.doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039>
138. Hutchinson, G. E. (1965). *The niche: an abstractly inhabited hypervolume. The ecological theatre and the evolutionary play*. New Haven, Yale Univ. Press.
139. Jabloun, M. & Sahli, A. (2008). Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data: Application to Tunisia. *Agricultural Water Management*. 95(6), 707–715.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.009>
140. Jackson, R. J. (1967). The effect of slope, aspect and albedo on potential evapotranspiration from hillslopes and catchments. *Journal of Hydrology (New Zealand)*. 6(2), 60–69. <https://www.jstor.org/stable/43944123>
141. Jamil, T., & ter Braak, C. J. F. (2013). Generalized linear mixed models can detect unimodal species-environment relationships. *PeerJ*. 1:e95. DOI 10.7717/peerj.95
142. Jansen, F., & Oksanen, J. (2013). How to model species responses along ecological gradients – Huisman–Olff–Fresco models revisited. *Journal of Vegetation Science*. 24, 1108–1117. <https://doi.org/10.1111/jvs.12050>

143. Jongmann, R.H.G., ter Braak, C.J.F. & van Tongren, O.F.R. (1995). *Data analysis in community and landscape ecology*, 2nd edn. Cambridge University Press, Cambridge.
144. Kędzior, R. (2018). Co-occurrence pattern of ground beetle (Coleoptera, Carabidae) indicates the quality of restoration practices in postindustrial areas. *Applied Ecology and Environmental Research*. 16(6), 7913–7924. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1606_79137924
145. Kharytonov, M., Babenko, M., Velychko, O., Pardini, G. (2018). Prospects of medicinal herbs management in reclaimed minelands of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 527–532. doi: 10.15421/2018_245
146. Kielhorn, K.H., Keplin, B. & Hüttl, R.F. (1999). Ground beetle communities on reclaimed mine spoil: Effects of organic matter application and revegetation. *Plant and Soil*. 213(1–2), 117–125. <https://doi.org/10.1023/A:1004508317091>
147. Klimkina, I., Kharytonov, M., Zhukov, O. (2018). Trend Analysis of Water-Soluble Salts Vertical Migration in Technogenic Edaphotops of Reclaimed Mine Dumps in Western Donbass (Ukraine). *Journal of Environmental Research, Engineering and Management*. 74 (2), 82–93. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.erem.74.2.19940>
148. Knapp, M., Seidl, M., Knappová, J., Macek, M., & Saska, P. (2019). Temporal changes in the spatial distribution of carabid beetles around arable field-woodlot boundaries. *Scientific reports*. 9(1), 8967. doi:10.1038/s41598-019-45378-7
149. Kofodziej, B., Bryk, M., Sfowińska-Jurkiewicz, A., Otremba, K., Gilewska, M. (2016). Soil physical properties of agriculturally reclaimed area after lignite mine: A case study from central Poland. *Soil and Tillage Research*. 163, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.05.001>
150. Kohn, A. J. (1968). Microhabitats, abundance, and food of *Conus* in the Maldivian and Chagos Islands. *Ecology*. 49, 1046–1061. <https://doi.org/10.2307/1934489>

151. Konstantinov, A.S., Korotyaev, B.A., Volkovitsh, M.G., (2009). Insect biodiversity in the Palearctic region. In: Footitt, R., Adler, P. (Eds.), *Insect Biodiversity: Science and Society*. Blackwell Publisher, Chinchester, pp. 107–162.
152. Krümmelbein, J., Horn, R., Raab, T., Bens, O., Hüttl, R. (2010). Soil physical parameters of a recently established agricultural recultivation site after brown coal mining in Eastern Germany. *Soil and Tillage Research*. 111, 19–25. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2010.08.006>.
153. Krümmelbein, J., Raab, T. (2012). Development of soil physical parameters in agricultural reclamation after brown coal mining within the first four years. *Soil and Tillage Research*. 125, 109–155. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.06.013>
154. La Notte, A., D’Amato, D., Mäkinen, H., Paracchini, M.L., Liqueste, C., Egoh, B., Geneletti, D., Crossman, N.D.(2017). Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecological Indicators*. 74, 392–402. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.030>
155. Laporta, G. Z., Sallum, M. A. M. (2014). Coexistence mechanisms at multiple scales in mosquito assemblages. *BMC Ecology*. 14(1), 30. DOI: 10.1186/s12898-014-0030-8
156. Larney, F. J., & Angers, D. A. (2012). The role of organic amendments in soil reclamation: A review. *Canadian Journal of Soil Science*. 92(1), 19–38. <http://doi.org/10.4141/CJSS2010-064>
157. Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O.W. & Dhillion, S. (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Science*. 33, 159–193.
158. Lawton, J.H. (1999). Are there general laws in ecology? *Oikos*. 84, 177–192. DOI: 10.2307/3546712
159. Legendre, P., & Birks, H. J. B. (2012). From classical to canonical ordination, in *Tracking Environmental Change using Lake Sediments: Data handling and numerical techniques*. Vol. 5, eds H. J. B. Birks, A. F. Lotter, S.

- Juggins, and J. P. Smol (Dordrecht: Springer), 201–248.
160. Legendre, P., Borcard, D., Peres-Neto, P.R. (2005). Analyzing beta diversity: Partitioning the spatial variation of community composition data. *Ecological Monographs*, 75, 435–450. DOI: 10.1890/05-0549
161. Legendre, P., Gallagher, E. D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species. *Oecologia*. 129(2), 271–280. DOI <https://doi.org/10.1007/s004420100716>
162. Leguédou, S., Séré, G., Auclerc, A., Cortet, J., Huot, H., Ouvrard, S., Watteau, F., Schwartz, C., Morel, J.L. (2016). Modelling pedogenesis of Technosols. *Geoderma*. 262, 199–212. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.008>
163. Levin, D.A., Wilson, A.C. (1976). Rates of evolution in seed plants: Net increase in diversity of chromosome numbers and species numbers through time. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 73(6), 2086–2090. <https://doi.org/10.1073/pnas.73.6.2086>
164. Liu, J.-L., Li, F.-R., Sun, T.-S., Ma, L.-F., Liu, L.-L., Yang, K. (2016). Interactive effects of vegetation and soil determine the composition and diversity of Carabid and Tenebrionid functional groups in an arid ecosystem. *Journal of Arid Environments*. 128, 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.01.009>
165. Lososová, Z., Šmarda, P., Chytrý, M., Purschke, O., Pyšek, P., Sádlo, J., Tichý, L. and Winter, M. (2015). Phylogenetic structure of plant species pools reflects habitat age on the geological time scale. *Journal of Vegetation Science*. 26, 1080–1089. doi:10.1111/jvs.12308
166. Lyadskaya, I.V., Maslikova, K.P., Zhukov, A.V. (2016). Methodological approaches to assessing moisture resistant plants wilting sod lithogenic soils on red-brown clay. *Bulletin of Dnipropetrovsk National agro-economic University*, 3 (41), 68–72.
167. Madej, G. & Kozub, M. (2014). Possibilities of using soil microarthropods, with emphasis on mites (Arachnida, Acari, Mesostigmata), in assessment of

- successional stages in a reclaimed coal mine dump (Pszów, S Poland). *Biological Letters*. 2014, 51(1): 19–36. DOI: 10.1515/biolet-2015-0003
168. Mallis, R.E. & Hurd, L.E. (2005). Diversity among ground dwelling spider assemblages: habitat generalists and specialists. *Journal of Arachnology*. 33, 101–109. DOI: 10.1636/M03-34
169. Maraun, M., Martens, H., Migge, S., Theenhaus, A., Scheu, S. (2003). Adding to 'the enigma of soil animal diversity': fungal feeders and saprophagous soil invertebrates prefer similar food substrates. *European Journal of Soil Biology*, 39, 85–95. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(03\)00006-2](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(03)00006-2)
170. Marc, P., Canard, A. & Ysnel F. (1999). Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 74, 229–273. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00038-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00038-9)
171. Maslikova, K.P. (2017). The ecological structure of technosol vegetation of the Nikopol manganese ore basin. *Bulletin of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University*. 4 (46), 77-88.
172. Maslikova, K.P., Ladska, I.V., Zhukov, O.V. 2016. Permeability of soils in artificially created models with different stratigraphy. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*. 6 (3), 234–247. DOI: <http://dx.doi.org/10.15421/201693>
173. Masuk, N.T. (1974). Features of formation of natural and cultural phytocenoses overburden rocks in areas of industrial mining. *Land reclamation. Dnipropetrovsk*, 62-105.
174. Michaelis J., & Diekmann, M.R. (2017). Biased niches – Species response curves and niche attributes from Huisman-Olff-Fresco models change with differing species prevalence and frequency. *PLoS ONE*. 12(8), e0183152. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183152>
175. Minchin, P.R. (1987). An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. *Vegetatio*. 69(1-3), 89–107. <https://doi.org/10.1007/BF00038690>

176. Monteith, J.L. (1965). Evaporation and the environment. In: *The State and Movement of Water in Living Organisms*, 19th Symposium of the Society for Experimental Biology, London, Cambridge University Press, 205–234.
177. Morón-Ríos, A., Rodríguez, M. Á., Pérez-Camacho, L., Rebollo, S. (2010). Effects of seasonal grazing and precipitation regime on the soil macroinvertebrates of a Mediterranean old-field. *European Journal of Soil Biology*. 46(2), 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.12.008>.
178. Nash, K.L., Allen, C.R., Angeler, D.G., Barichievy, C., Eason, T., Garmestani, A.S., Graham, N.A.J., Granholm, D., Knutson, M., Nelson, R.J., Nystrom, M., Stow, C.A., Sundstrom, S.M., (2014). Discontinuities, cross-scale patterns, and the organization of ecosystems. *Ecology*. 95, 654–667. <https://doi.org/10.1890/13-1315.1>
179. Okie, J. G., Van Horn, D. J., Storch, D., Barrett, J. E., Gooseff, M. N., Kopsova, L., & Takacs-Vesbach, C. D. (2015). Niche and metabolic principles explain patterns of diversity and distribution: theory and a case study with soil bacterial communities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 282, 20142630. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.2630>
180. Oksanen, J. (2004). *Multivariate Analysis in Ecology*. Lecture Notes. Department of Biology, University of Oulu. <http://cc.oulu.fi/~jarioksa/opetus/metodi/notes.pdf>
181. Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O’Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Wagner, H. (2018). *Community Ecology Package*. R package version 2.5-2. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
182. Paoletti, M. G., Hassall, M. (1999). Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 74(1–3), 157–165. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00027-4)

183. Paoletti, M.G., Osler, G.H.R., Kinnear, A., Black, D.J., Thomson, L.J., Tsitsilas, A., Sharley, D., Judd, S., Neville, P. & D'inca, A. (2007). Detritivores as indicators of landscape stress and soil degradation. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 47(4), 412–423. DOI: 10.1071/EA05297
184. Penman, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 193(1032), 120–145. <http://www.jstor.org/stable/98151>
185. Pereira, L. S., Cai, L. G., & Hann, M. J. (2003). Farm water and soil management for improved water use in the North China Plain, *Irrigation and Drainage*. 52(4), 299–317. <https://doi.org/10.1002/ird.98>
186. Pihlap, E., Vuko, M., Lucas, M., Steffens, M., Schloter, M., Vetterlein, D., Endenich, M., Kögel-Knabner, I. (2019). Initial soil formation in an agriculturally reclaimed open-cast mining area - the role of management and loess parent material. *Soil and Tillage Research*. 191, 224–237. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.03.023>
187. Pontegnie, M., du Bus de Warnaffe, G., Lebruna, Ph. (2005). Impacts of silvicultural practices on the structure of hemi-edaphic macrofauna community. *Pedobiologia*. 49(3), 199–210. DOI: 10.1016/j.pedobi.2004.09.005
188. Popova, Z., Eneva, S., & Pereira, L. S. (2006). Model validation, crop coefficients and yield response factors for maize irrigation scheduling based on long-term experiments. *Biosystems Engineering*. 95(1), 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.05.013>
189. Post, D. F., Fimbres, A., Matthias, A. D., Sano, E. E., Accioly, L., Batchily, A. K., & Ferreira, L. G. (2000). Predicting Soil Albedo from Soil Color and Spectral Reflectance Data. *Soil Science Society of America Journal*. 64, 1027–1034. DOI: 10.2136/sssaj2000.6431027x
190. Purse, B. V., Gregory, S. J., Harding, P., Roy, H. E. (2012). Habitat use governs distribution patterns of saprophagous (litter-transforming) macroarthropods – a case study of British woodlice (Isopoda: Oniscidea). *European Journal of Entomology*. 109, 543–552. DOI: 10.14411/eje.2012.068

191. R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
192. Rahgozar, M., Shah, N., & Ross, M. (2012). Estimation of Evapotranspiration and Water Budget Components Using Concurrent Soil Moisture and Water Table Monitoring. ISRN Soil Science. ID 726806, 15 pages. doi:10.5402/2012/726806
193. Rao, C.R. (1995). A review of canonical coordinates and an alternative to correspondence analysis using Hellinger distance. *Qüestiió*. 19(1–3), 23–63. <http://hdl.handle.net/2099/4059>
194. Ray, S. S., & Dadhwal, V. K. (2001). Estimation of crop evapotranspiration of irrigation command area using remote sensing and GIS. *Agricultural Water Management*. 49(3), 239–249. DOI: 10.1016/S0378-3774(00)00147-5
195. Rehor, M., Lang, T. & Eis, M. (2006). Application of new methods in solving current reclamation issues of Severoceske doly, a.s. localities. *World of Surface Mining*. 6, 383–386.
196. Reynolds, J., Kemp, P., & Tenhunen, J. (2000). Effects of long-term rainfall variability on evapotranspiration and soil water distribution in the Chihuahuan desert: A modeling analysis. *Plant Ecology*. 150(1–2), 145–159.
197. Reynolds, J.F., Smith, D.M.S., Lambin, E.F., Turner, B.L., Mortimore, M., Batterbury, S.P., Downing, T.E., Dowlatabadi, H., Fernández, R.J., Herrick, J.E., Huber-Sannwald, E., Jiang, H., Leemans, R., Lynam, T., Maestre, F.T., Ayarza, M., Walker, B. (2007). Global desertification: building a science for dryland development. *Science*. 316(5826), 847–51. DOI: 10.1126/science.1131634
198. Rushton, S.P. & Eyre, M.D. (1992). Grassland spider habitats in north-east England. *Journal of Biogeography*. 19, 99–108. DOI: 10.2307/2845623
199. Sanborn, P., Bulmer, C., & Coopersmith, D. (2004). Use of wood waste in rehabilitation of landings constructed on fine-textured soil, central interior British Columbia, Canada. *Western Journal of Applied Forestry*. 19(3), 175–183. <https://doi.org/10.1093/wjaf/19.3.175>

200. Schneider, C. A., Rasband, W. S. & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature methods*, 9(7), 671–675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
201. Schoener, T.W. (1989). The ecological niche. ed. by J.M. Cherratt *Ecological concepts*, 79–114. Blackwell Scientific Publications, Oxford. DOI: 10.1126/science.250.4978.305
202. Schwinning, S., Sala, O.E. (2004). Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. *Oecologia*. 141(2), 211–220. DOI: 10.1007/s00442-004-1520-8
203. Seginer, I. (1969). The effect of albedo on the evapotranspiration rate. *Agricultural Meteorology*. 6(1), 5–31. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(69\)90031-4](https://doi.org/10.1016/0002-1571(69)90031-4)
204. Sharma, M. L. (1985). Estimating evapotranspiration. *Advances in Irrigation*. 3, 213–281. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-024303-7.50010-8>
205. Shemavnev, V. I., Gordienko, N. A., Dirda, V. I., Zabaluev, V. A., 2005. The stable development of the complicated ecotechnosystems. Moscow, Dnipropetrovsk. *Novaya ideologia*.
206. Shrestha, R.K., Lal, R. (2008). Land use impacts on physical properties of 28 years old reclaimed mine soils in Ohio. *Plant Soil*. 306, 249–260. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11104-008-9578-4>.
207. Shrestha, R.K., Lal, R. (2011). Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation. *Geoderma*. 161, 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.015>
208. Silvertown, J., McConway, K., Gowing, D., Dodd, M., Fay, M.F., Joseph, J.A. & Dolphin, K. (2006). Absence of phylogenetic signal in the niche structure of meadow plant communities. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B273*, 39–44.
209. Singh, P., Ram, S., Ghosh, A.K. (2015). Changes in physical properties of mine soils brought about by planting trees. *Ecology, Environment and Conservation Paper*. 21, AS187–AS193

210. Sklenicka, P., Prikryl, I., Svoboda, I., & Lhota, T. (2004). Non-productive principles of landscape rehabilitation after long-term opencast mining in north-west Bohemia. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 104, 83–88.
211. Slabbers, P. J. (1980). Practical prediction of actual evapotranspiration. *Irrigation Science*. 1(3), 185–196. <https://doi.org/10.1007/BF00270883>
212. Šmilauer, P., & Lepš, J. (2014). *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO 5*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139627061
213. Smith, E. P. (1982). Niche Breadth, Resource Availability, and Inference. *Ecology*. 63 (6), 1675–1681. DOI: 10.2307/1940109
214. Soberon, J. (2007). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*. 10(12), 1115–1123. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x>
215. Souty-Grosset, C., Badenhausser, I., Reynolds, J.D., Morel, A. (2005). Investigations on the potential of woodlice as bioindicators of grassland habitat quality. *European Journal of Soil Biology*. 41(3), 109–116. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2005.09.009
216. Spanbauer, T.L., Allen, C.R., Angeler, D.G., Eason, T., Fritz, S.C., Garmestani, A.S., Nash, K.L., Stone, J.R. (2014). Prolonged instability prior to a regime shift. *PLoS ONE* 9, e108936. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108936>
217. Szczepanska, J., Twardowska, I., (1999). Distribution and environmental impact of coal-mining wastes in Upper Silesia Poland. *Environmental Geology*. 38, 249–258. DOI <https://doi.org/10.1007/s002540050422>
218. Tarjuelo, R., Morales, M. B., Arroyo, B., Mañosa, S., Bota, G., Casas, F., & Traba, J. (2017). Intraspecific and interspecific competition induces density-dependent habitat niche shifts in an endangered steppe bird. *Ecology and evolution*. 7(22), 9720–9730. doi:10.1002/ece3.3444

219. Tasumi, M. & Allen, R. G. (2007). Satellite-based ET mapping to assess variation in ET with timing of crop development. *Agricultural Water Management*. 88(1), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.08.010>
220. Teixeira, J. L. & Pereira, L. S. (1992). ISAREG, an irrigation scheduling model. *ICID Bull.*, 41(2), 29–48.
221. ter Braak C, J. F. (1985). Correspondence Analysis of Incidence and Abundance Data: Properties in Terms of a Unimodal Response Model. *Biometrics*. 41(4), 859–73. DOI: 10.2307/2530959
222. ter Braak, C. J. F., & Smilauer, P. (2015). Topics in constrained and unconstrained ordination. *Plant Ecology*. 216(5), 683–696. <https://doi.org/10.1007/s11258-014-0356-5>
223. ter Braak, C.J.F. & Smilauer, P. (2002) Canoco reference manual and CanoDraw for Windows user's guide. Biometris, Wageningen.
224. ter Braak, C.J.F., & Looman, C.W.N. (1986). Weighted averaging, logistic regression and the Gaussian response model. *Vegetatio*. 65, 3–11. <https://doi.org/10.1007/BF00032121>
225. ter Braak, C.J.F., Prentice, I.C. (1988). A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research*. 18, 271–317.
226. Tokeshi, M. (1999) *Species coexistence: ecological and evolutionary perspectives*. Blackwell Science, London.
227. Toy, T. J. (1979). Potential evapotranspiration and surfacemine rehabilitation in the Powder River Basin, Wyoming and Montana. *Journal of Range Management*. 32(4). 312–317. DOI:10.2307/3897839
228. Tromp-van Meerveld, H.J., McDonnell, J.J. (2006). On the interrelations between topography, soil depth, soil moisture, transpiration rates and species distribution at the hill slope scale. *Advances in Water Resources*. 29, 293–310. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.02.016>
229. Trotter, R. T., Cobb, N. S., & Whitham, T. G. (2008). Arthropod community diversity and trophic structure: a comparison between extremes of plant stress. *Ecological Entomology*. 33, 1-11. doi:10.1111/j.1365-2311.2007.00941.x

230. Tsvetkova, N. N. (1992). Peculiarities of the organic–mineral substances and microelements in forest biogeocenosis of the steppe Ukraine. Dnepropetrovsk.
231. Warburg, M.R., Linsenmair, K.E. & Bercovitz, K. (1984). The effect of climate on the distribution and abundance of Isopods. *Symposia of the Zoological Society of London*. 53, 339–367.
232. Westhoff, V., van der Maarel, E. (1978). The Braun-Blanquet approach. In: Whittaker, R.H. (Ed.), *Classification of Plant Communities*, pp. 289-399.
233. White, T.C.R. (1976). Weather, food, and plagues of locusts . *Oecologia*. 22(2), 119 – 134. DOI <https://doi.org/10.1007/BF00344712>
234. White, T.C.R. (1984). The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. *Oecologia*. 63(1), 90–105. <https://doi.org/10.1007/BF00379790>
235. Williams, C. A., & Albertson, J. D. (2004). Soil moisture controls on canopy-scale water and carbon fluxes in an African savanna, *Water Resources Research*. 40(9), W09302, doi:10.1029/2004WR003208.
236. Wise D. H. (1993). *Spiders in ecological webs*, Cambridge University Press, Cambridge.
237. Yorkina, N., Maslikova, K., Kunah, O., Zhukov, O. (2018). Analysis of the spatial organization of *Vallonia pulchella* (Muller, 1774) ecological niche in Technosols (Nikopol manganese ore basin, Ukraine). *Ecologica Montenegrina*, 17, 29–45.
238. Zabaluev, V.A. (1999). Formation of agro-ecosystems reclaimed land in the steppe of Ukraine: edaphic study. Kyiv (in Russian).
239. Zeng, N. Yoon, J. (2009). Expansion of the world’s deserts due to vegetation-albedo feedback under global warming. *Geophysical Research Letters*. 36, L17401. <https://doi.org/10.1029/2009GL039699>
240. Zhenqi, H., Peijun, W., & Jing, L. (2012). Ecological Restoration of Abandoned Mine Land in China. *Journal of Resources and Ecology*. 3(4), 289–296. DOI:10.5814/j.issn.1674-764x.2012.04.001

241. Zhukov O.V., Zadorozhna, G.O., Maslikova K.P., Andrusevych K.V., Lyadskaya I.V. Tehnosols Ecology: Monograph. Dnipro: Zhurfond. 2017, 442 p. (in Ukrainian)
242. Zhukov, A. V., Kunah, O. N., Zadorozhnaya, G.A., Andrusevich, E. V. (2013). Hierarchy of ecological diversity of industrial soil plants. Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, 9 (4), 37–47 (in Russian).
243. Zhukov, A. V., Kunah, O. Y., Zadorozhnaya, G. A., Andrusevich E. V. (2013). Landscape ecology as a basis of the spatial analysis of agrocoenosis productivity. Ecology and Noospherology, 24, 1–2, 68–80 (in Russian).
244. Zhukov, A. V., Zadorozhnaya, G. A., Lyadskaya, I. V., (2013). Spatial patterns of the soil infiltration on a valley slope. Bulletin of Dokuchaev Kharkiv National Agricultural University. Series Soil science, agricultural chemistry, agriculture, forestry, soil ecology, 22–27.
245. Zhukov, A., Zadorozhnaya, G. (2016). Spatial heterogeneity of mechanical impedance of a typical chernozem: the ecological approach. Ekológia (Bratislava). 35, 263–278. DOI: <https://doi.org/10.1515/eko-2016-0021>
246. Zhukov, A.V., Andrusevich, K.V., Lapko, K. V., Sirotina, V. O. (2015). Geostatistical estimation of soil aggregate structure as a composite variable. Biological Bulletin, 3, 101–121 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.7905/bbmospu.v5i3.989>
247. Zhukov, A.V., Kunah, O.N., Novikova, V.A., Ganzha, D.S. (2016). Phytoindication estimation of soil mesopedobionts communities catena and their ecomorphic organization. Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, 6 (3), 91–117. DOI: <http://dx.doi.org/10.15421/201676>
248. Zhukov, A.V., Maslikova, K.P., Lyadsky, I.V. (2016). Dependence of the Nikopol manganese ore basin tehnosems infiltration rate from the its physical properties. News of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University. № 4(42), 113–120.

249. Zhukov, A.V., Sirovatko, V.O., Ponomarenko, N.O. (2017). Spatial dynamic of the agriculture fields towards their shape and size. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(3), 14–31. doi: 10.15421/2017_45
250. Zhukov, A.V., Zadorozhnaya, G. O., 2013. Spatial variability of pedozems mechanical impedance. *Biological Bulletin 1 (7)*, 34–49 (in Russian).
251. Zhukov, A.V., Zadorozhnaya, G.A. 2016. Spatio-temporal dynamics of the penetration resistance of recultivated soils formed after open cast mining. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*. 24(2), 324–331 (in Russian). DOI: 10.15421/011642
252. Zhukov, O. V., Kovalenko, D. V., & Maslykova, K. P. (2019). Physiognomic vegetation types and their identification by using the decryption of digital images. *Agrology*, 2(2), 94–99. doi: 10.32819/019013
253. Zhukov, O. V., Maslikova, K. P. (2018). The dependence of the technosols models functional properties from the primary stratigraphy designs. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 27(2), 399–407. doi:10.15421/111864
254. Zhukov, O.V (2015). Influence of usual and dual wheels on soil penetration resistance: the GIS-approach. *Biological Bulletin Of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*. 3, 73–100. DOI: 10.7905/bbmspu.v5i3.988
255. Zhukov, O.V., Kunah, O.M., Taran, V.O., Lebedinska, M. M. (2016). Spatial variability of soils electrical conductivity within arena of the river dnepr valley (territory of the natural reserve “Dniprovsko–Orilsky”). *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 6 (2), 129–157 (in Ukrainian). DOI: <http://dx.doi.org/10.15421/201646>
256. Zhukov, O.V., Kunah, O.N., Novikova, V.A. (2016). The functional organisation of the mesopedobionts community of sod pinewood soils on arena of the river Dnepr. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*. 24(1), 26–39. doi:10.15421/011604
257. Zhukov, O.V., Lyadskaya, I.V., Maslikova, K.P. (2017). Environmental determinants of wilting humidity resistant plants in sod-lithogenic soils on losses-

like clay loams. News of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University.
2 (44), 12–16.

ДОДАТОК 1

Екологічна паспортизація видів безхребетних

Тип	Клас	Ряд	Родина	Вид	Ценоморфа	Трофічна група	Гігоморфа	Температур оморфа	Сезона група
Arthropoda	Crustacea	Isopoda	Trachelipodidae	<i>Trachelipus rathkii</i>	Pr	SF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
	Arachnida	Araneae	Agelenidae	<i>Agelena labyrinthica</i>	Sil	ZF	Ms	EuMsT	Autumn
				<i>Agelenidae sp.</i>	Sil	ZF	Ms	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Eratigena agrestis</i>	St	ZF	StKsMs	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Tegenaria lapicidinarum</i>	Sil	ZF	Ms	StMicrT	Summer-autumn
			Dictynidae	<i>Lathys stigmatisata</i>	St	ZF	Ms	StMicrT	Summer
			Gnaphosidae	<i>Berlandina cinerea</i>	St	ZF	EuKsMs	StMsT	Spring
				<i>Civizelotes caucasius</i>	St	ZF	StKsMs	StMsT	Summer-autumn
				<i>Drassodes pubescens</i>	Pr	ZF	Ks	StMsT	Spring
				<i>Drassodes lapidosus</i>	St	ZF	Ks	StMsT	Spring
				<i>Drassylus lutetianus</i>	Pr	ZF	EuKsMs	StMsT	Summer-autumn
				<i>Drassylus praefficus</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Autumn
				<i>Gnaphosa dolosa</i>	St	ZF	Ks	StMicrT	Spring
				<i>Gnaphosa licenti</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Autumn
				<i>Gnaphosa lucifuga</i>	St	ZF	EuKsMs	StMsT	Summer-autumn
				<i>Gnaphosa sp. 1</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Gnaphosa sp. 2</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Haplodrassus bohemicus</i>	St	ZF	Ks	StMsT	Spring
				<i>Haplodrassus dalmatensis</i>	Pr	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Haplodrassus kulezyskii</i>	St	ZF	Ms	StMicrT	Summer
				<i>Haplodrassus signifer</i>	St	ZF	EuKsMs	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Nomisia aussereri</i>	St	ZF	StKsMs	EuMicrT	Summer-autumn
				<i>Trachyzelotes lyonneti</i>	St	ZF	Ms	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Trachyzelotes malkini</i>	St	ZF	EuKsMs	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Zelotes longipes</i>	St	ZF	Ms	StMicrT	Summer-autumn

Тип	Клас	Ряд	Родина	Вид	Ценоморфа	Трофічна група	Гігоморфа	Температур оморфа	Сезона група
				<i>Zelotes electus</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Summer
			Linyphiidae	<i>Agyneta rurestris</i>	Sil	ZF	EuKsMs	EuMsT	Autumn
				<i>Stemonyphantes lineatus</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Summer
			Liocranidae	<i>Agroeca cuprea</i>	Sil	ZF	Ms	StMsT	Summer
				<i>Phrurolithus festivus</i>	Sil	ZF	StKsMs	StMsT	Summer-autumn
				<i>Phrurolithus pullatus</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Autumn
			Lycosidae	<i>Alopecosa cursor</i>	St	ZF	Ms	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Alopecosa kovblyuki</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Alopecosa pulverulenta</i>	Pr	ZF	Ms	StMicrT	Summer
				<i>Alopecosa sp.</i>	Pr	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Geolycosa vultuosa</i>	St	ZF	StKsMs	EuMicrT	Summer-autumn
				<i>Pardosa agrestis</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Summer
				<i>Trochosa robusta</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Xerolycosa miniata</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
			Miturgidae	<i>Cheiracanthium erraticum</i>	St	ZF	Ms	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Miturgidae sp.</i>	St	ZF	StKsMs	EuMicrT	Summer-autumn
			Oxyopidae	<i>Oxyopes heterophthalmus</i>	St	ZF	Ks	EuMsT	Spring
				<i>Oxyopes lineatus</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Autumn
			Philodromidae	<i>Philodromidae sp.</i>	St	ZF	Ms	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Philodromus histrio</i>	Pr	ZF	Ms	StMsT	Summer
				<i>Thanatus arenarius</i>	St	ZF	Ks	EuMsT	Spring
				<i>Thanatus vulgaris</i>	St	ZF	Ms	EuMsT	Autumn
				<i>Tibellus macellus</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Autumn
				<i>Tibellus oblongus</i>	St	ZF	Ks	StMsT	Spring
			Pisauridae	<i>Pisaura novicia</i>	Sil	ZF	Ks	EuMsT	Spring
				<i>Pisaura sp.</i>	Sil	ZF	Ms	0	0
			Salticidae	<i>Aelurillus m-nigrum</i>	St	ZF	EuKsMs	StMicrT	Summer
				<i>Aelurillus v-insignitus</i>	St	ZF	Ms	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Pellenes seriatus</i>	St	ZF	EuKsMs	StMsT	Summer

Тип	Клас	Ряд	Родина	Вид	Ценоморфа	Трофічна група	Гігоморфа	Температур оморфа	Сезона група
				<i>Phlegra fasciata</i>	St	ZF	Ms	EuMsT	Autumn
				<i>Salticidae sp.</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMcrT	Summer
			Theridiidae	<i>Euryopsis quinqueguttata</i>	St	ZF	Ms	StMcrT	Summer
				<i>Steatoda albomaculata</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Summer
				<i>Theridiidae sp.</i>	Pr	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
			Thomisidae	<i>Ozyptila scabricula</i>	St	ZF	Ms	StMcrT	Summer
				<i>Thomisidae sp.</i>	Sil	ZF	StKsMs	StMcrT	Summer
				<i>Xysticus acerbus</i>	Pr	ZF	Ms	StMcrT	Summer
				<i>Xysticus cristatus</i>	St	ZF	EuKsMs	StMcrT	Summer-autumn
				<i>Xysticus kochi</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Summer
				<i>Xysticus sabulosus</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Xysticus striatipes</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMcrT	Summer-autumn
			Titanoecidae	<i>Titanoeca veteranica</i>	Sil	ZF	Ks	StMsT	Spring
			Dysderidae	<i>Harpactea rubicunda</i>	Sil	ZF	EuKsMs	EuMsT	Spring
		Opiliones	Phalangiidae	<i>Opilio saxatilis</i>	Pr	ZF	EuKsMs	StMcrT	Summer-autumn
	Insecta	Coleoptera	Aphodiidae	<i>Aphodius fimetarius</i>	St	SF	EuKsMs	StMsT	Summer-autumn
			Buprestidae	<i>Buprestidae</i>	St	FF	Ms	StMcrT	Summer
			Byrrhidae	<i>Byrrhus pilula</i>	St	FF	Ms	StMcrT	Summer
			Cantharididae	<i>Cantharis rustica</i>	Pr	ZF	EuKsMs	StMcrT	Spring
			Carabidae	<i>Acinopus picipes</i>	St	ZF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Amara aenea</i>	St	FF	Ms	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Amara apricaria</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer
				<i>Amara lucida</i>	Pr	FF	StKsMs	EuMcrT	Summer
				<i>Brachinus crepitans</i>	Sil	ZF	Ms	StMsT	Autumn
				<i>Brachinus psophia</i>	St	ZF	Ks	StMsT	Spring
				<i>Brosicus cephalotes</i>	St	ZF	StKsMs	EuMcrT	Summer-autumn
				<i>Calathus ambiguus</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMcrT	Summer-autumn
				<i>Calathus fuscipes</i>	St	ZF	StKsMs	EuMcrT	Summer-autumn
				<i>Calosoma auropunctatum</i>	St	ZF	StKsMs	StMsT	Summer

Тип	Клас	Ряд	Родина	Вид	Ценоморфа	Трофічна група	Гігоморфа	Температур оморфа	Сезона група
				<i>Chlaenius decipiens</i>	St	ZF	StKsMs	EuMcrT	Summer-autumn
				<i>Chlaenius spoliatus</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Cicindela sylvatica</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Summer
				<i>Dixus eremita</i>	St	ZF	Ms	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus affinis</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus albanicus</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus distinguendus</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus griseus</i>	St	FF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus latus</i>	St	FF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus picipennis</i>	St	FF	StKsMs	EuMcrT	Summer-autumn
				<i>Harpalus pumilus</i>	St	FF	Ms	StMsT	Autumn
				<i>Harpalus rubripes</i>	Pr	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus rufipes</i>	Pr	ZF	StKsMs	EuMcrT	Summer-autumn
				<i>Harpalus serripes</i>	St	FF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus smaragdinus</i>	St	FF	StKsMs	StMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus sp.</i>	Pr	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus sp. 1</i>	St	FF	Ms	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus sp. 2</i>	St	FF	Ms	EuMsT	Autumn
				<i>Harpalus subcylindricus</i>	St	FF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Harpalus tardus</i>	St	FF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Lebia chlorocephala</i>	St	ZF	Ms	StMcrT	Summer
				<i>Licinus cassideus</i>	St	ZF	StKsMs	EuMcrT	Autumn
				<i>Licinus depressus</i>	St	ZF	StKsMs	EuMcrT	Summer-autumn
				<i>Ophonus azureus</i>	St	FF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Poecilus crenuliger</i>	St	ZF	Ms	StMcrT	Summer-autumn
				<i>Poecilus cupreus</i>	St	ZF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Poecilus sericeus</i>	St	ZF	Ms	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Pterostichus anthracinus</i>	PrPalSil	ZF	StKsMs	EuMcrT	Summer
				<i>Pterostichus macer</i>	Pr	ZF	EuKsMs	StMsT	Spring

Тип	Клас	Ряд	Родина	Вид	Ценоморфа	Трофічна група	Гігоморфа	Температур оморфа	Сезона група
				<i>Pterostichus melanarius</i>	PrPalSil	ZF	Ms	EuMsT	Autumn
				<i>Pterostichus ovoideus</i>	Pr	ZF	StKsMs	EuMcrT	Summer
				<i>Pterostichus sp.</i>	PrPalSil	ZF	StKsMs	StMsT	Summer-autumn
				<i>Pterostichus vernalis</i>	PrPalSil	ZF	StKsMs	EuMcrT	Summer-autumn
				<i>Syntomus obscuroguttatus</i>	St	ZF	Ms	EuMsT	Autumn
				<i>Taphoxenus gigas</i>	St	ZF	StKsMs	EuMcrT	Summer-autumn
				<i>Zabrus spinipes</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Zabrus tenebrioides</i>	St	FF	StKsMs	EuMcrT	Summer
			Cerambycidae	<i>Agapanthia violacea</i>	St	FF	Ks	StMsT	Spring
				<i>Dorcadion cinerarium</i>	Pr	FF	StKsMs	EuMcrT	Autumn
				<i>Dorcadion equestre</i>	St	FF	Ms	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Dorcadion holosericeum</i>	St	FF	Ms	StMcrT	Summer-autumn
				<i>Dorcadion tauricum</i>	St	FF	EuKsMs	StMsT	Spring
			Cetoniidae	<i>Cetonia aurata</i>	Sil	FF	Ks	EuMsT	Spring
				<i>Protaetia ungarica</i>	St	FF	EuKsMs	StMsT	Spring
				<i>Valgus hemipterus</i>	PrPalSil	FF	Ks	StMsT	Spring
			Chrysomelidae	<i>Entomoscelis adonidis</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
			Coccinellidae	<i>Coccinella septempunctata</i>	PrPalSil	ZF	Ms	StMcrT	Summer-autumn
				<i>Scymnus frontalis</i>	St	ZF	StKsMs	StMcrT	Summer
			Curculionidae	<i>Bothynoderes affinis</i>	St	FF	Ms	StMcrT	Summer
				<i>Cleonis pigra</i>	St	FF	EuKsMs	StMcrT	Autumn
				<i>Curculionidae sp.</i>	St	FF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Cyphocleonus dealbatus</i>	St	FF	Ms	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Eusomus ovulum</i>	St	FF	Ks	StMcrT	Spring
				<i>Galeruca pomonae</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Galeruca tanaceti</i>	St	FF	EuKsMs	StMcrT	Summer-autumn
				<i>Mecinus collaris</i>	St	FF	StKsMs	EuMsT	Summer
				<i>Pseudocleonus cinereus</i>	St	FF	Ms	StMcrT	Summer-autumn
			Dermestidae	<i>Dermestes kaszabi</i>	St	SF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn

Тип	Клас	Ряд	Родина	Вид	Ценоморфа	Трофічна група	Гігоморфа	Температур оморфа	Сезона група
				<i>Dermestes lanarius</i>	St	SF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
			Dynastidae	<i>Pentodon idiota</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
			Elateridae	<i>Agriotes gurgistanus</i>	Pal	FF	Ms	EuMsT	Autumn
				<i>Agriotes sputator</i>	St	FF	Ms	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Agriotes ustulatus</i>	St	FF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
			Geotrupidae	<i>Lethrus apterus</i>	St	FF	Ms	StMsT	Summer
			Histeridae	<i>Eudiplister planulus</i>	St	ZF	Ks	EuMsT	Spring
				<i>Hister quadrimaculatus</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Hister quadrinotatus</i>	St	ZF	Ms	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Margarinotus bipustulatus</i>	St	ZF	EuKsMs	StMsT	Summer-autumn
				<i>Margarinotus purpurascens</i>	Sil	ZF	Ks	StMsT	Spring
				<i>Saprinus semistriatus</i>	St	ZF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
			Lucanidae	<i>Dorcus parallelipipedus</i>	Sil	FF	StKsMs	StMsT	Summer
			Meloidae	<i>Meloe rufiventris</i>	Pr	FF	Ks	EuMsT	Spring
				<i>Meloe scabriusculus</i>	St	FF	Ms	StMicrT	Summer
				<i>Mylabris polymorpha</i>	St	FF	StKsMs	StMsT	Summer-autumn
				<i>Mylabris quadripunctata</i>	St	FF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
			Scarabaeidae	<i>Gymnopleurus mopsus</i>	St	FF	EuKsMs	StMsT	Summer-autumn
				<i>Onthophagus furcatus</i>	St	SF	Ms	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Onthophagus gibbosus</i>	St	SF	Ms	StMicrT	Summer
				<i>Onthophagus nuchicornis</i>	St	SF	StKsMs	StMsT	Summer-autumn
				<i>Onthophagus ovatus</i>	St	SF	Ms	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Onthophagus vitulus</i>	St	SF	EuKsMs	StMsT	Summer
				<i>Sisyphus schaefferi</i>	St	FF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
			Silphidae	<i>Nicrophorus sepultor</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Nicrophorus vestigator</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Silpha carinata</i>	Sil	SF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Silpha obscura</i>	St	ZF	Ms	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Thanatophilus rugosus</i>	St	SF	Ms	EuMsT	Autumn

Тип	Клас	Ряд	Родина	Вид	Ценоморфа	Трофічна група	Гігоморфа	Температур оморфа	Сезона група
				<i>Thanatophilus sinuatus</i>	St	SF	StKsMs	EuMsT	Summer-autumn
			Staphilinidae	<i>Ocyopus brunnipes</i>	St	ZF	Ms	StMicrT	Summer
				<i>Ocyopus ophthalmicus</i>	St	ZF	StKsMs	StMicrT	Summer
				<i>Philonthus cognatus</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMicrT	Summer-autumn
				<i>Philonthus concinnus</i>	St	ZF	Ms	StMicrT	Summer-autumn
			Tenebrionidae	<i>Asida lutosa</i>	St	FF	EuKsMs	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Blaps halophila</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Blaps lethifera</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Crypticus quisquilius</i>	St	FF	EuKsMs	EuMicrT	Summer-autumn
				<i>Gnaptor spinimanus</i>	St	FF	EuKsMs	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Gonocephalum pusillum</i>	St	FF	EuKsMs	StMsT	Summer-autumn
				<i>Opatrum sabulosum</i>	St	FF	EuKsMs	StMicrT	Summer-autumn
				<i>Platyscelis polita</i>	St	FF	StKsMs	EuMicrT	Summer
				<i>Podonta daghestanica</i>	St	FF	Ms	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Probaticus subrugosus</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Autumn
				<i>Prosodes obtusa</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Tentyria nomas</i>	St	FF	EuKsMs	EuMicrT	Summer-autumn
			Trogidae	<i>Trox cadaverinus</i>	St	ZF	Ms	StMsT	Summer-autumn
				<i>Trox hispidus</i>	St	ZF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Trox sabulosus</i>	St	ZF	StKsMs	EuMicrT	Summer
			Melolonthidae	<i>Anoxia pilosa</i>	St	FF	StKsMs	StMicrT	Summer
		Hemiptera	Pyrrhocoridae	<i>Pyrrhocoris apterus</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
		Lepidoptera	Noctuidae	<i>Lepidoptera sp.</i>	St	FF	EuKsMs	EuMicrT	Summer-autumn
		Orthoptera	Acrididae	<i>Euchorthippus pulvinatus</i>	St	FF	EuKsMs	EuMicrT	Summer-autumn
	Diplopoda	Julida	Julidae	<i>Rossiulus kessleri</i>	St	SF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
	Chilopoda	Geophilomorpha	Geophilidae	<i>Geophilus proximus</i>	Sil	ZF	Ks	EuMsT	Spring
		Lithobiomorpha	Lithobiidae	<i>Lithobius forficatus</i>	PrPalSil	ZF	Ms	EuMicrT	Summer-autumn

Тип	Клас	Ряд	Родина	Вид	Ценоморфа	Трофічна група	Гігроморфа	Температуроморфа	Сезона група
		Scolopendromorpha	Cryptopidae	<i>Cryptops anomalans</i>	St	ZF	Ms	StMicrT	Summer-autumn
		Scutigeroformorpha	Scutigerae	<i>Scutigera coleoptrata</i>	St	ZF	StKsMs	StMicrT	Summer
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Enidae	<i>Brephulopsis cylindrica</i>	St	FF	EuKsMs	EuMsT	Summer-autumn
				<i>Chondrula tridens</i>	St	FF	EuKsMs	StMsT	Summer-autumn
			Hygromiidae	<i>Monacha cartusiana</i>	St	FF	Ks	StMicrT	Spring

ДОДАТОК 2

**Список публікацій здобувача в яких опубліковані основні наукові
результати дисертації**

У виданнях, які включені до наукометричних баз Web of Science та Scopus

1. Pakhomov, O. Ye., Kunakh, O. M., Babchenko, A.V., Fedushko, M. P., Demchuk, N. I., Bezuhla, L.S., Tkachenko, O.S. (2019). Temperature effect on the terrestrial invertebrate temporal dynamic in technosols formed after reclamation at a post-mining site in Ukrainian steppe drylands. 27(4), 193–199. doi:10.15421/011926 (**Web of Science, Scopus**) (*особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків*).
2. Kunah, O. M., Zelenko, Y. V., Fedushko, M. P., Babchenko, A. V., Sirovatko, V. O., & Zhukov, O. V. (2019). The temporal dynamics of readily available soil moisture for plants in the technosols of the Nikopol Manganese Ore Basin. Biosystems Diversity, 27(2), 156–162. doi:10.15421/011921 011910 (**Web of Science, Scopus**) (*особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків*).
3. Babchenko, A.V., Fedushko, M.P., Timchiy, E.I., Huska, Yu.A., Khalus, S.V. (2020). Ukrainian Journal of Ecology, 11(6), 338-350, doi: 10.15421/2020_302 (*особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків*)
4. Gritsan, Y. I., Kunah, O. M., Fedushko, M. P., Babchenko, A. V., Sirovatko, V. O., Zhukov O. V., & Kotsun, V. I. (2019). Albedo of the soil cover as a factor of the temporal dynamics of readily available soil moisture in the technosols of the Nikopol manganese ore basin. Agrology, 2(3), 161–169. (**AgriCola**) (*особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків*).

Публікації у наукових фахових виданнях України

5. Бабченко, А.В. (2019). Часова динаміка видів безхребетних в технозомах Нікопольського марганцеворудного басейну. Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки, 4(388), 151–162.
6. Бабченко, А.В., Коваленко, Д.В. (2019). Порівняльна оцінка особливостей екологічних ніш наземних молюсків у різних типах техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну. Біоресурси і природокористування, 11 (3–4), <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/view/12769> *(особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків).*

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Бабченко А.В. (2019). Закономірності часової динаміки герпетобіонтних безхребетних в технозомах Нікопольського марганцеворудного басейну. Сучасний рух науки: тези доп. VIII міжнародної науково-практичної конференції, 3-4 жовтня 2019 р. Дніпро, 1, 70–73.
8. Бабченко, А. В. (2019). Динаміка угруповань ґрунтової макрофауни в технозомах Нікопольського марганцеворудного басейну. Наука та освіта: досягнення та стратегії розвитку: XXII Міжнародна науково-практична конференція: тези доповідей, Запоріжжя, 4 листопада 2019 р. Ч. 1. Дніпро: ГО «НОК», 33–36.
9. Babchenko A. V., Fedushko M. P. (2019). Effect of the environmental factors on the macrofauna community temporal dynamic in technosols formed after reclamation at a post-mining site in Ukrainian steppe drylands. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: Матеріали X Міжнародної наукової конференції “Zoocenosis–2019.”. Дніпро, 18–19.11.2019 р., Ліра, 23. *(особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків).*