

Міністерство освіти і науки України  
Мелітопольський державний педагогічний університет  
імені Богдана Хмельницького

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

УМЕРОВА АВА КАДРІЇВНА

УДК 574.4

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**НАЗЕМНІ МІКРОМОЛІОСКИ АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНИХ  
ЕКОСИСТЕМ: ВПЛИВ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТА РЕКРЕАЦІЇ**

101 – Екологія 10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

\_\_\_\_\_ Умерова А.К.  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

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

Мелітополь – 2021

## АНОТАЦІЯ

Умерова А.К. Наземні мікромолюски антропогенно трансформованих екосистем: вплив рекультивації та рекреації. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія. – Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького, Мелітополь, 2021.

Природні ресурси є одним із найважливіших джерел, від яких залежить існування людства. Проблема раціонального використання природних ресурсів завжди була та залишається нині надзвичайно важливою, особливо для промислових регіонів України. З огляду на науково-технічний прогрес, стрімкий соціально-економічний підйом, індустріальну експансію, урбанізацію та збільшення чисельності населення, рівень використання ресурсів, зокрема мінеральних, безупинно зростає.

Економічний і соціальний прогрес нашої держави багато в чому залежить від гірничодобувної промисловості. Видобуток корисних копалин завдає значного збитку земельним ресурсам, а використання таких природних ресурсів істотно порушує екологічну ситуацію в країні, зумовлюючи радикальне перетворення первинного рельєфу та пошкодження рослинного покриву. Вважаємо за доцільне розглядати гірничодобувну промисловість і урбанізацію як галузі економічної діяльності, що здійснюють негативний вплив на природні екосистеми. Проте ця проблема здебільшого вирішується шляхом реалізації комплексу різних заходів, серед яких: використання на території району технологічних схем рекультивації, утворення на запланованій поверхні видобутку відвалів, так званих насипних ґрунтів – техноземів.

У дисертаційному дослідженні здійснено аналіз фахових праць з питань вивчення параметрів, умов та екологічних характеристик техноземів,

що дозволяє наголосити на недостатньому висвітленні специфіки штучних ґрунтоподібних конструкцій. У зв'язку з цим запропоновано аналіз техноземів з урахуванням фізико-хімічних параметрів, що сприятиме виявленню лімітуючих факторів, які стримують процес рекультивації порушених земель.

Однією з актуальних проблем сучасної науки є створення спеціальних технологій і методів, що поліпшують біологічну продуктивність екосистем, оскільки саме вони забезпечують підтримання екологічного процесу, зумовлюють різні біогеоценотичні зв'язки, поліпшують біопродуктивність в екосистемах. Кожен з вище зазначених аспектів надає можливість стверджувати, що питання дослідження угруповань наземних мікромолюсків на штучних ґрунтоподібних конструкціях – техноземах та в межах міського ландшафту потребує ґрунтового опрацювання.

Мета дисертаційної роботи полягає в оцінці організації екологічних ніш наземних мікромолюсків під впливом рекультивації та рекреації. У процесі реалізації поставленої мети було реалізовано такі завдання: встановлено видовий склад угруповань наземних мікромолюсків у антропогенно трансформованих екосистемах, а саме на техноземах та на ділянці рекреаційного призначення; визначено роль едафічних чинників у якості параметрів екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella* (Muller 1774) на штучних ґрунтоподібних конструкціях – техноземах; окреслено значення агрегатних фракцій техноземів як маркера екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella* (Muller 1774); у структурі екологічних ніш мікромолюсків виявлено залежність від факторів навколишнього середовища за фітоіндикаційним оцінюванням; визначено залежність між трансформацією фізичних властивостей ґрунту і чисельністю мікромолюсків на ділянці рекреаційного призначення; перевірено гіпотезу щодо зміни ієрархічної організації просторового розподілу мікромолюсків під впливом рекреації.

Об'єктом вивчення є угруповання та популяція наземних мікромолюсків в антропогенно трансформованих екосистемах. Предмет дослідження –

стійкість угруповань наземних мікромолюсків та особливості екологічних ніш окремих видів під впливом рекультивованих і рекреаційних земель.

Експериментальний полігон представлений 7 трансектами з 15 контрольними точками в кожній. Відстань між контрольними точками в трансектах, як і інтервал між трансектами, дорівнював 3 метрам. Для кожної контрольної точки обирався зразок ґрунту з поверхні на глибину 8 см. Зі зразків було відібрано 10 ґрунтових проб вагою по 10 грамів. При дослідженні зразка використовувалася розсікаюча голка для збору мікромолюсків. Задля визначення просторової мінливості наземних мікромолюсків за допомогою ручного пенетрометра Eijkelkamp вимірювалася твердість ґрунту; для вимірювання електропровідності ґрунту використовувався датчик HI 76305; для визначення температури ґрунту – цифровий термометр WT-1; вміст гумусу встановлювався за методом Тюріна; агрегатний склад ґрунту – за допомогою сухого просіювання; для визначення екологічних режимів техноекосистем використовувалося фітоіндикаційне оцінювання; для аналізу показників функціонального розмаїття техноземів застосовувався екоморфічний аналіз; для визначення просторової варіативності екологічних ніш мікромолюсків у градієнті факторів середовища – метод геостатистики, факторний аналіз екологічної ніші (Ecological Niche Factor Analysis), аналіз надмірності RDA (Redundancy analysis), ієрархічні моделі Хуїзмана, Ольфа та Фреско – HOF.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше досліджено та визначено роль впливу едафічних чинників (електропровідність, твердість та агрегатний склад) та значення рослинного покриву на просторову організацію екологічної ніші наземних мікромолюсків у антропогенно трансформованих екосистемах; визначено особливість екологічної ніші мікромолюсків на техноземах; подальший розвиток отримала теорія екологічної ніші Хатчінсона та методи їх кількісної оцінки в еколого-географічному просторі; вивчено роль просторового розподілу агрегатних фракцій техноземів як маркера екологічної ніші

мікромолюсків; доведено роль рекреації в якості фактора просторового розподілу угруповань мікромолюсків в умовах міського ландшафту; оцінено просторову мінливість угруповань наземних мікромолюсків в умовах урбанізованого середовища.

З використанням методу геостатистики вивчено варіабельність агрегатних фракцій. Визначено, що просторова варіація агрегатних фракцій характеризується помірним рівнем просторової залежності. Для цих фракцій неможливо підібрати відповідну модель з-поміж традиційних, тому вдалою для застосування вважаємо модель Matérn.

Екологічна ніша *Vallonia pulchella* представлена інтегральними змінними – віссю маргінальності та спеціалізації, які є фундаментом для побудови карти просторової варіації індексу переважання місцеперебувань (HSI). Встановлено, що осі маргінальності та спеціалізації екологічної ніші *V.pulchella*, які проєктуються в просторі агрегатних фракцій ґрунту, суттєво відрізняються від випадкової альтернативи. Маргінальність екологічної ніші мікромолюска корелює з показником твердості ґрунту від 0-5 до 20-25 см, а за фітоіндикаційним оцінюванням визначається змінністю вологості й аерації. Спеціалізація *V.pulchella* корелює з твердістю ґрунту в діапазоні 25-35 см, вмістом азоту та режимом кислотності. На основі аналізу розрахованих варіограм і, побудованих на їх основі карт просторової мінливості агрегатних фракцій, встановлено, що в техноземах переважають агрономічно цінні агрегати. Інформація про агрегатний склад техноземів може ефективно застосовуватись при організації сільськогосподарського процесу для пошуку найбільш раціональних способів управління рекультивованими землями.

Доведено, що комплекс фізичних властивостей ґрунту (електропровідність, агрегатний склад, твердість) і рослинності (фізіономічні типи, фітоіндикаційні шкали) становить важливу для екогеографічних параметрів інформацію. Саме завдяки цим предикторам можна пояснити варіативний характер екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella* на

різних типах техноземів Нікопольського марганцерудного басейну. Оптимальні умови для мікромолюска формуються у дерново-літогенних ґрунтах на лісоподібних суглинках. Параметри навколишнього середовища – температура та вологість є основними факторами, які лімітують процеси життєдіяльності й функціонування всіх наземних мікромолюсків. Для техноземів характерний широкий температурний діапазон, що створює для мікромолюска більш широкий ареал життя, поза межами якого він не здатний існувати. Зниження чисельності мікромолюска відбувається в напрямку від області з високою температурою до низької. Значення електропровідності ґрунту як чинника, що впливає на екологічну нішу мікромолюска, залежить від рівня вологості, наявності мінеральних і поживних речовин по всій глибині ґрунту. Агрегати різного розміру впливають на чисельність *V.pulchella*, це призводить до просторового розподілу мікромолюска. Молюск негативно реагує на збільшення вмісту в техноземах дрібних агрегатних фракцій (розміром до 1 мм). Це спричинено тим, що дрібні агрегати формують систему пір малих розмірів, що негативно впливає на підтримання життєдіяльності *V.pulchella*. Фізіономічні типи рослинних угруповань здатні надати цінну інформацію про параметри екологічної ніші мікромолюска *V.pulchella*. Висока чисельність *Vallonia pulchella* та регулюючий вплив фізіономічних типів свідчать про домінуючу роль рослинності в утворенні просторових патернів, які впливають на популяцію мікромолюсків. Мікромолюск надає перевагу проєктивному покриттю, зокрема бобовим та злакам, а відкрита площа ґрунту й відмерла трав'яниста рослинність несприятливо впливають на чисельність *V.pulchella*. Фітоіндикаційні шкали є важливим методом для пошуку даних щодо стану едафотопів. Аналіз ставлення *Vallonia pulchella* щодо кожного з розглянутих екологічних режимів свідчить про те, що мікромолюск найбільш чутливий у педоземах, менш чутливий у техноземах на лісоподібних суглинках, і найменш чутливий у техноземах на сіро-зелених глинах. Зростання частки карбонатних солей, високе значення омброклімату та незначний вміст

вільного азоту в едафотопі впливають на чисельність мікромолюска в техноземах. Екоморфи, як система індикаторів, дозволяють визначити та повноцінно пояснити зв'язок мікромолюска з едафотопом і рослинним покривом. Чисельність *V.pulchella* зростає при домінуванні в техноземах степантів та при високому показнику гігморф.

У процесі урбанізації виникають різноманітні зміни, за яких рекреаційне навантаження постає важливим аспектом антропогенного впливу на міське середовище. У ґрунтах міського парку мікромолюски представлені трьома видами, серед яких значно переважає *Vallonia pulchella* (Muller 1774), дещо менше – *Cochlicopa lubrica* (Muller 1774), а мікромолюск *Acanthinula aculeata* (Muller 1774) трапляється майже в десять разів рідше ніж інші види. Просторова варіабельність угруповань мікромолюсків має ієрархічну структуру і представлена широкомасштабними, середньомасштабними та дрібномасштабними компонентами. Широкомасштабний компонент сформований за рахунок відстані від дерев і рекреаційних доріжок. Ця модель також відображає варіабельність агрегатного складу, електропровідність, вологість, твердість і щільність ґрунту. Середньомасштабний компонент характеризується мінливістю агрегатного складу ґрунту, а також компонентом, який не залежить від властивостей ґрунту. Дрібномасштабна компонента просторової варіації угруповань мікромолюсків є незалежною від вимірюваних ґрунтових параметрів і, найімовірніше, є наслідком структуруючого ефекту міжвидових взаємодій. Вплив рекреації у формі спонтанних доріжок істотно трансформує ґрунтові якості в штучних паркових насадженнях. До основних процесів трансформації слід віднести підвищення твердості та щільності ґрунту, порушення повітряного і водного режиму, погіршення агрегатного складу ґрунту. Така трансформація позначилась на середовищі місця існування ґрунтових мікромолюсків. Оскільки умови існування погіршуються в залежності від наближення до доріжок, відбувається стрімке скорочення їх чисельності. Найбільш чутливі до рекреаційного навантаження *Vallonia*

*pulchella*, а мікромолюски *Cochlicopa lubrica* і *Acanthinula aculeata* більш стійкі до рекреаційного навантаження, але їх щільність є нижчою, ніж у *Vallonia pulchella*. В динаміці розвитку угруповань мікромолюсків в умовах незначного антропогенного тиску, суттєву роль відіграє конкуренція між видами. Зі збільшенням рекреаційної трансформації ґрунту абіотичні параметри також набувають провідного значення.

**Ключові слова:** рекультивация, рекреация, мікромолюски, екологічна ніша, антропогенно трансформовані екосистеми, техноземи

## SUMMARY

Umerova A.K. The terrestrial micromollusc of anthropogenically transformed ecosystems: the impact of the reclamation and the recreation. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for the degree of the doctor of philosophy in a specialty 101 – Ecology. – Bogdan Khmelnytsky Melitopol state pedagogical university, 2021.

The natural resources are one of the most important sources, the existence of humanity depends on them. The problem of rational use of natural resources has always been and remains extremely important, especially for industrial regions of Ukraine. Due to scientific and technological progress, rapid socio-economic raising, the industrial expansion, the growing of the urbanization and the increase of the number of the population, the level of the use resources, including minerals, is constantly increasing.

The economic and the social progress of our state depends largely on the mining industry. Extraction of minerals causes the significant damage to the land resources, and the use of such resources significantly disturbs the ecological situation in the country, there is a leading to a radical transformation of the primary relief and damage to the vegetation cover. It is reasonable to consider mining and urbanization as sectors of economic activity that have a negative impact on natural



ecosystems. However, this problem is mostly solved by implementing a set of different measures, including the use of technological schemes of the reclamation in the area, the formation of dumps on the planned mining surface, the so-called bulk soils – technozems.

In the dissertation work, an analysis of works on the study of the parameters, conditions and environmental characteristics of technozems, which allows us to note the lack of coverage of the specifics of artificial soil-forming structures. In this regard, the analysis of technozems, taking into account the physico-chemical parameters, it will allow to identify limiting factors inhibiting the process of the reclamation of disturbed land. The actual problem of the modern science is the formation of the special technologies and the methods that improve the biological productivity of ecosystems, as they provide the maintenance of the ecological process, they form the different biogeocenotic connection, they improve bioproductivity in the ecosystems. All the above material gives us the opportunity to say that the question of the research of the grouping of the terrestrial micromollusc on the artificial soil – like structures such as technozems and within the urban landscape remains actual.

The purpose of the dissertation work is to assess the organization of the ecological niches of the terrestrial micromollusc under the influence of the reclamation and the recreation. In the process of the achieving this goal the following tasks were: to establish the species composition of grouping of the terrestrial micromollusc in anthropogenically transformed ecosystems, namely on technozems and in the area of recreational purpose; to determine the role of edaphic factors as parameters of the ecological niche of the micromollusc of *Vallonia pulchella* (Muller 1774) on the artificial soil-like structures such as technozems; to show the meaning of the aggregate fractions of technozems as the marker of the ecological niche of the micromollusc of *Vallonia pulchella* (Muller 1774); to reveal the dependence in the structure of the ecological niches of micromollusc on the factors of environment by phytoindication evaluation; to determine the dependence between the transformation of the physical properties of

the soil and the number of micromollusc in the area of the recreational purpose; to test the hypothesis as for the change of the hierarchical organization of the spatial distribution of micromollusc under the influence of the recreation.

The object of the research is the grouping and the population of the terrestrial micromollusc in antropogenically transformed ecosystems. The subject of the research is the study of the stability of the grouping of the terrestrial micromollusc and the peculiarities of the ecological niches of the certain species under the influence of the reclaimed and the recreational lands.

The experimental testing area has been represented with 7 transects with 15 control points in each. The distance between the control points in the transects, as well as the interval between the transects, has been 3 meters. For each control point, the sample of soil has been taken from the surface to the depth of 8 cm. 10 soil samples weighing 10gr. have been taken from the samples. The dissecting needle for the collection of micromollusc has been used during the research of the sample. To determine the spatial variability of terrestrial micromollusc, soil penetration resistance has been measured using hand penetrometer Eijkelkamp; sensor of HI 76305 has been used to measure the electrical conductivity of soil; the digital thermometer WT-1 has been used for the definition of the temperature of soil; the content of humus has been determined with the Turin method; the aggregate composition of soil has been established with the dry sifting; the phytoindication evaluation has been used for the definition of the ecological regimes of technoecosystems; ecomorphic analysis has been used for the analysis of the indicators of the functional diversity of technozems; the method of geostatistics, factorial analysis of ecological niche (Ecological Niche Factor Analysis), Redundancy analysis (Redundancy analysis), hierarchical models of Huizman, Olf and Fresco - HOF have been used for the definition of the spatial variability of the ecological niches of micromollusc in the gradient of the factors of environment.

The scientific novelty of the obtained results consists in that the role of edaphic factors (electrical conductivity, soil penetration resistance and aggregate

composition) and the meaning of the vegetation on the spatial organization of the ecological niche of terrestrial micromollusc in anthropogenically transformed ecosystems has been researched firstly; the peculiarity of the ecological niche of micromollusc on technozems has been determined; Hutchinson's theory of ecological niche and the methods of their quantitative estimation in ecological-geographical space have further development; the role of the spatial distribution of the aggregate fractions of technozems as the marker of the ecological niche of micromollusc has been researched; the role of recreation as the factor of the spatial distribution of the grouping of micromollusc in the conditions of urban landscape has been proved; the spatial variability of the grouping of the terrestrial micromollusk in the conditions of the urbanized environment has been estimated.

The variability of the aggregate fractions using the method of geostatistics has been studied in the dissertation. The spatial variation of the aggregate fractions is characterized with the moderate level of the spatial dependence. For the aggregate fractions, the appropriate model among the traditional cannot be picked up, so only the Matérn model is the best.

The ecological niche of *Vallonia pulchella* has been represented with the integral changes, such as the axis of marginality and specialization, which are the foundation for the building of the map of the spatial variation of the index of predominance of the location (HSI). It has been installed that the axes of marginality and specialization of the ecological niche of *V.pulchella*, which are projected in the space of the aggregate fractions of soil, differ significantly from the random alternative. The marginality of the ecological niche of micromollusc correlates with the indicators of the soil penetration resistance from 0-5 to 20-25 cm, and according to phytoindication estimation they are determined with the variability of humidity and aeration. Specialization of *V.pulchella* correlates with the indicators of the soil penetration resistance in the range of 25-35 cm, nitrogen content and the regime of acidity of soil. Based on the analysis of the calculated variograms and the maps of spatial variability of aggregate fractions which are built on their basis, it has been installed that agronomically valuable aggregates

predominate in technozems. The information about the aggregate composition of technozems can be used effectively in the organization of the agricultural process to find the most rational ways of the management of the reclaimed land.

It has been proved that the complex of the physical properties of soil (electrical conductivity, aggregate composition, soil penetration resistance) and vegetation (physiognomic types, phytoindication scales) form the important information for the eco-geographic parameters. Thanks to these predictors it is possible to explain the variational character of the ecological niche of micromollusc of *Vallonia pulchella* at the different types of technozems of the Nikopol Manganese Ore Basin. The optimal conditions for micromollusc are formed in sod-lithogenic soils on forest-like loams. The parameters of environment such as temperature and humidity are the main factors that limit the processes of vital function and functioning of all terrestrial micromollusc. Technozems are characterized with the wide temperature range, which creates wider range of life for micromollusc, beyond which it is unable to exist. The decrease of the number of micromollusc occurs in the direction from the high temperature to the low temperature. The meaning of electrical conductivity of soil as a factor which influence the ecological niche of micromollusc depends on the level of humidity, the presence of minerals and nutrients throughout the depth of soil. Aggregates of the different sizes affect the number of *V. pulchella*, which leads to the spatial distribution of micromollusc. Mollusc reacts negatively to the increase of the content in technozems of small aggregate fractions (up to 1 mm in size). This is due to the fact that the small aggregates form the system of pore of the small size, which affects negatively the maintenance of vital functions of *V. pulchella*. Physiognomic types of plant groupings are able to give valuable information on the parameters of the ecological niche of micromollusc of *V. pulchella*. The high number of *Vallonia pulchella* and the regulatory influence of physiognomic types testify about the dominant role of the vegetation in the formation of the spatial patterns that affect the population of micromollusc. Micromollusc prefers the project covering of *Fabaceae* and *Gramineae*, and the open area of soil and dead

grassy vegetation affect adversely the number of *V. pulchella*. Phytoindication scales are the important method for search of the data as for the status of edaphotopes. The analysis of the attitude of *Vallonia pulchella* towards every considered ecological regimes shows that micromollusc is most sensitive in pedozems, it is less sensitive in technozems in forest-like loams, and it is least sensitive in technozems on gray-green clays. The growth of carbon salts, the high meaning of the ombro-climate and the low content of free nitrogen in the edaphotop, affects the number of micromollusc in technozems. Ecomorphs, as the system of the indicators, allow determining and explaining fully the connection of micromollusc with the edaphotop and the vegetation. The number of *V. pulchella* increases with the dominance in technozems of steppes and during the high indicator of hygromorphs.

There are the different changes in the process of urbanization, and recreational load is the important aspect of anthropogenic impact on the urban environment. In the soils of the city park, micromollusc are represented with three species, among which *Vallonia pulchella* (Muller 1774) predominates, *Cochlicopa lubrica* (Muller 1774) are slightly smaller, and micromollusc of *Acanthinula aculeata* (Muller 1774) is almost ten times less often than other species. The spatial variability of the grouping of micromollusc has a hierarchical structure and it is represented by broad-scale, medium-scale and fine-scale components. The broad-scale component has been formed due to the distance from the trees and the recreational tracks. This model has also reflected the variability of the aggregate composition, electrical conductivity, moisture, soil penetration resistance and density of soil. The medium-scale component has been characterized with variability in the aggregate composition of the soil, and also the component that has not depended on the properties of soil. The fine-scale component of the spatial variation of the grouping of micromollusc is independent of the measured soil parameters and, most likely, it is a consequence of the structuring effect of the interspecific interactions. The influence of the recreation in the form of the spontaneous tracks transforms significantly the soil qualities into the artificial park

plantings. The increase of the hardness and density of the soil, violation of air and water regime, deterioration of the aggregate composition of the soil relates to the main processes of the transformation. Such transformation has affected the environment of habitat of soil micromollusc. Because of the conditions of the place of the existence deteriorate as approaching the tracks, there is the rapid reduction of the number of micromollusc. *Vallonia pulchella* is the most sensitive to recreational load, and micromollusc of *Cochlicopa lubrica* and *Acanthinula aculeata* are more resistant to recreational load, but their density is lower than that of *Vallonia pulchella*. The competition between the species plays the significant role in the dynamics of the development of the grouping of micromollusc in the conditions of the insignificant anthropogenic pressure. The abiotic parameters have leading meaning with the increase of the recreational transformation of the soil.

**Key words:** reclamation, recreation, micromollusc, ecological niche, anthropogenically transformed ecosystems, technozems.

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

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

1. Yorkina N., Tarusova N., Umerova A., Telyuk P., Cherniak Y. (2021). Spatial Organization of the Micromollusc Community under Recreational Load. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 4(2): 1-22. doi:: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040201> (**Web of Science**) (особистий внесок: відбір ґрунтово-зоологічних проб, вимірювання твердості ґрунту, його щільності, вологості, розрахунок фітоіндикаційних шкал для експериментальних ділянок, формулювання висновків).
2. Budakova V., Yorkina N., Telyuk P., Umerova A., Kunakh O., Zhukov O. (2021). Impact of recreational trans-formation of soil physical properties on micromolluscs in an urban park. *Biosystems Diversity*, 29(2), 78–87.

doi:10.15421/012111 (**Scopus, Web of Science**) (*особистий внесок: відбір ґрунтово-зоологічних проб, вимірювання твердості ґрунту, його щільності, вологості, агрегатного складу, розрахунок фітоіндикаційних шкал для експериментальних ділянок, формулювання висновків*).

3. Zhukov O., Kunah O., Fedushko M., Babchenko A., Umerova A. (2021). Response to moisture dynamic in technosols formed after reclamation at a postmining site in Ukrainian steppe drylands. *Ekologia (Bratislava)*, Vol. 40, No. 2, p. 178-188. doi:10.2478/eko-2021-0020 (**Scopus**) (*особистий внесок: аналітичний огляд, підбір та опрацювання літератури частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків*).

#### Публікації у наукових фахових виданнях України

4. Умерова А.К. (2019). Аналіз екологічної ніші *Vallonia pulchella* (Muller 1774) у дерново-літогенних ґрунтах на сіро-зелених глинах (Нікопольський марганцеворудний басейн). *Біоресурси і природокористування*, 11 (5–6).

doi: <http://dx.doi.org/10.31548/bio2019.05.008>

5. Umerova, A. K. (2019). Spatial organization of the *Vallonia pulchella* (Muller 1774) ecological niche in sod-lithogenic soils on loesses-like clays in the Nikopol Manganese Ore Basin. *Agrology*, 2(4), 205–208. doi: 10.32819/019029

6. Умерова А.К. (2020). Особливості просторової організації екологічної ніші *Vallonia pulchella* (Muller, 1774) на педоземах Нікопольського марганцеворудного басейну. *Agrology*, 3(1), 39–45 doi: 10.32819/020006

7. Телюк П., Йоркіна Н., Умерова А., Будакова В., Найдьон Н. (2020). Оцінка рівня рекреаційної трансформації зелених насаджень загального користування за показниками твердості ґрунту. *Agrology*, 3(3), 171–180. doi: 10.32819/020020 (*особистий внесок: відбір ґрунтово-зоологічних проб, вимірювання твердості ґрунту, його щільності, вологості, агрегатного складу, розрахунок фітоіндикаційних шкал для експериментальних ділянок, формулювання висновків*).

8. Йоркіна Н., Телюк П., Умерова А., Будакова В., Жалей О., Іванченко К., Жуков О. (2021). Оцінювання рекреаційної трансформації трав'яного покриву зелених насаджень загального користування. *Agrology*, 4(1), 10–20. doi: 10.32819/021002 (особистий внесок: відбір ґрунтово-зоологічних проб, вимірювання твердості ґрунту, його щільності, вологості, агрегатного складу, розрахунок фітоіндикаційних шкал для експериментальних ділянок, формулювання висновків).

#### **Список публікацій які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

9. Умерова А.К., Йоркіна Н.В. (2019). Вплив едафічних властивостей на просторову організацію екологічної ніші *Vallonia pulchella* (Muller, 1774) Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: Матеріали Х Міжнародної наукової конференції «Zoocenosis–2019». Дніпро, 18–19.11.2019 р., Ліра, 23. (особистий внесок: підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків).

10. Умерова А.К. (2019). Вплив фітоіндикаційних показників на організацію екологічної ніші *Vallonia pulchella* (Muller, 1774). Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми розвитку природничих та гуманітарних наук» м. Луцьк, 05.12. 2019 р.

11. Умерова А.К. (2019). Особливості екологічної ніші *Vallonia pulchella* (Muller 1774) у дерново-літогенних ґрунтах на лесоподібних суглинках в межах Нікопольського марганцеворудного басейну. II Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» м. Херсон, 24-25.10.2019 р.

12. Умерова А.К. (2020). Вплив рослинного покриву на організацію екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella* (Muller 1774). Матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» м. Київ, 21-22 травня 2020 р., НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»



13. Умерова А.К., Йоркіна Н.В. (2020). Агрегатна структура ґрунту як маркер екологічної ніші мікромоллюска *Vallonia pulchella* (Muller 1774): техноземи на сіро-зелених глинах у межах Нікопольського марганцеворудного басейну. The 2nd International scientific and practical conference «Modern science: problems and innovations» Sweden, May 3-5, 2020. (особистий внесок: підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків).

**Публікації які додатково відображають наукові результати  
дисертації**

14. Yorkina N. V., Umerova A. K., Samoilova M. M., Gavrish I. Yu. (2018). Biodiagnostics of urban soils of Melitopol urbosystem on the basis of the analysis of the ecomorphic mesofauna structure. Питання біоіндикації та екології. 2018. Вип. 23, № 2. (особистий внесок: підбір та опрацювання літератури, частковий збір та обробка експериментальних даних, формулювання висновків)

15. Умерова А.К. (2019) Особливості просторового розподілу *Fruticicola fruticum* (*Bradybaenidae*, *pulmonata*) в урбосистемі Мелітополя. V Міжнародна заочна науково-практична конференція «Актуальні питання біологічної науки» Ніжин, 16.04.2019 р., НДУ імені Миколи Гоголя

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	20
РОЗДІЛ 1. НАЗЕМНІ МОЛЮСКИ, ЯК КОМПОНЕНТ ПРИРОДНИХ ТА АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНИХ ЕКОСИСТЕМ.....	26
1.1. Фауна наземних молюсків степової зони України .....	26
1.2. Особливості аутоекології наземних молюсків.....	30
1.3. Мікромолюски антропогенно трансформованих екосистем .....	37
1.4. Екологічні аспекти рекультивації порушених земель.....	42
1.5. Факторний аналіз екологічної ніші .....	44
Висновок до розділу .....	47
РОЗДІЛ 2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЙ ...	49
ДОСЛІДЖЕНЬ.....	49
2.1. Географічне розташування.....	49
2.2. Рельєф .....	50
2.3 Клімат.....	51
2.4. Ґрунти.....	53
РОЗДІЛ 3. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	55
3.1. Методика вивчення ґрунтового-зоологічного матеріалу .....	58
3.2. Метод геостатистики .....	61
3.3. Методи вимірювання просторових та часових предикторів .....	63
3.4. Методи оцінки параметрів ніші.....	65
РОЗДІЛ 4. ПРОСТОРОВА ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НІШІ <i>VALLONIA PULCHELLA</i> (Muller 1774) НА ТЕХНОЗЕМАХ .....	67
4.1. Педоземи .....	67
4.2. Дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах .....	74
4.3. Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках .....	81

4.4. Порівняльна оцінка особливостей екологічної ніші мікромолюска <i>Vallonia pulchella</i> на різних типах техноземів.....	88
4.5. Агрегатна структура ґрунту як маркер екологічної ніші.....	93
Висновки до розділу .....	105
<b>РОЗДІЛ 5. РЕКРЕАЦІЙНІ ЛАНДШАФТИ, ЯК ФАКТОР ПРОСТОРОВОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ УГРУПОВАНЬ НАЗЕМНИХ МІКРОМОЛЮСКІВ.....</b>	<b>107</b>
5.1. Вплив рекреаційного навантаження на просторову організацію мікромолюсків.....	107
5.2. Вплив рекреаційної трансформації на стан мікромолюсків у міському парку .....	122
5.3. Відгук чисельності видів у градієнті екологічних факторів.....	130
Висновки до розділу .....	135
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>137</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>139</b>

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Грунт – один з найважливіших ресурсів, від якого залежить життя людини. З розвитком науково-технічного прогресу, стрімким соціально-економічним підйомом, індустріальною експансією, зростанням урбанізації та збільшенням чисельності населення рівень використання мінеральних ресурсів безупинно наростає. Тому розвиток нашого суспільства і цивілізації в значній мірі залежить від гірничодобувної промисловості (1). Видобуток корисних копалин порушує естетику ландшафту, а також призводить до пошкодження таких компонентів як: структура ґрунту, чисельність ґрунтових організмів та круговорот поживних речовин, які мають вирішальне значення для підтримання стану здорової екосистеми (2). Виходячи зі сказаного вище, видобуток корисних копалин повинен передбачати повернення продуктивності порушених земель. Підвищений рівень турботи про навколишнє середовище зробило процес рекультивації порушених земель, після видобутку корисних копалин, обов'язковим елементом (3). Тобто, під поняттям рекультивація розуміється комплекс робіт з екологічного та економічного відновлення земель і водойм, родючість яких в результаті антропогенної діяльності істотно знизилась. Чимало вітчизняних вчених займалися вивченням територій, порушених в результаті видобутку корисних копалин. Однак невирішеною залишається питання, щодо поліпшення екологічного стану, благоустрою порушених територій, розробки науково обґрунтованих рекомендацій і пропозицій щодо ефективного використання порушених земель(4). У зв'язку з цим необхідно вивчити фізико-хімічні параметри техноземів, це дасть змогу виявити лімітуючі фактори, які утримують процес рекультивації порушених земель (5). Актуальна проблема сучасної науки полягає в створенні спеціальних технологій і методів, що сприяють поліпшенню біологічної продуктивності екосистем, так як саме вони забезпечують підтримання екологічного процесу, утворюють різні

біогеоценотичні зв'язку, поліпшують біопродуктивність в екосистемах. Увесь вищеперелічений матеріал надає нам можливість сказати, що актуальним залишається питання дослідження угруповань наземних мікромоллюсків на штучних ґрунтоподібних конструкціях – техноземах та у межах міського ландшафту.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами.**

Дисертаційна робота виконана в 2018–2021 рр. у рамках наукової програми кафедра екології, загальної біології та раціонального природокористування Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького як частина державної науково-дослідної теми: «Інвентаризація міської фауни, растрове картування та створення атласу урбанізованих видів тварин малого міста (Північно-Західне Приазов'я)», 016U006756.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є оцінити організацію екологічних ніш наземних мікромоллюсків під впливом рекультивації та рекреації.

**Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:**

- встановити видовий склад угруповань наземних мікромоллюсків у антропогенно трансформованих екосистемах, а саме на техноземах та на ділянці рекреаційного призначення;
- визначити роль едафічних чинників в якості параметрів екологічної ніші мікромоллюска *Vallonia pulchella* (Muller 1774) на штучних ґрунтоподібних конструкціях – техноземах;
- показати значення агрегатних фракцій техноземів як маркера екологічної ніші мікромоллюска *Vallonia pulchella* (Muller 1774);
- виявити залежність в структурі екологічних ніш мікромоллюсків від факторів навколишнього середовища за фітоіндикаційним оцінюванням;

- визначити залежність між трансформацією фізичних властивостей ґрунту і чисельністю мікромолюсків на ділянці рекреаційного призначення;
- перевірити гіпотезу щодо зміни ієрархічної організації просторового розподілу мікромолюсків під впливом рекреації.

**Об'єкт дослідження.** Угруповання і популяції наземних мікромолюсків в антропогенно трансформованих екосистемах.

**Предмет вивчення.** Вивчення стійкості угруповань наземних мікромолюсків та особливостей екологічних ніш окремих видів під впливом рекультивованих та рекреаційних земель.

**Методи дослідження.** Експериментальний полігон був представлений 7 трансектами з 15 контрольними точками в кожній. Відстань між контрольними точками в трансектах, як і інтервал між трансектами, дорівнював 3 метрам. Для кожної контрольної точки відбирали зразок ґрунту з поверхні на глибину 8 см. Зі зразків було відібрано 10 ґрунтових проб вагою по 10 грам. При дослідженні зразка використовували розсікаючу голку для збору мікромолюсків. Для визначення просторової мінливості наземних мікромолюсків вимірювали твердість ґрунту за допомогою ручного пенетрометра Eijkelkamp; для вимірювання електропровідності ґрунту використовували датчик HI 76305; для визначення температури ґрунту використовували цифровий термометр WT-1; вміст гумусу визначали за методом Тюріна; агрегатний склад ґрунту встановлений за допомогою сухого просіювання; для визначення екологічних режимів техноекосистем використовували фітоіндикаційне оцінювання; для аналізу показників функціонального розмаїття техноземів застосовували екоморфічний аналіз; для визначення просторової варіативності екологічних ніш мікромолюсків у градієнті факторів середовища використовували метод геостатистики, факторний аналіз екологічної ніші (Ecological Niche Factor Analysis), аналіз надмірності RDA (Redundancy analysis), ієрархічні моделі Хуїзмана, Ольфа та Фреско – НОФ.

Видове визначення наземних молюсків виконано за І. М. Ліхаревим та Є. С. Раммельмейером (6), Н. В. Гураль-Сверловою та Р. І. Гуралем (7)

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

*Уперше:*

- досліджена роль едафічних чинників (електропровідність, твердість та агрегатний склад) та значення рослинного покриву на просторову організацію екологічних ніш наземних мікромолюсків у антропогенно трансформованих екосистемах;
- вивченна особливість екологічних ніш наземних мікромолюсків на техноземах;
- доведена роль просторового розподілу агрегатних фракцій в техноземах як маркера екологічної ніші мікромолюсків;
- оцінена просторова мінливість угруповань наземних мікромолюсків в умовах урбанізованого середовища;
- визначена роль рекреації в якості фактора просторового розподілу угруповань мікромолюсків в умовах міського ландшафту;

*Удосконалено:*

- методику відбору проб для дослідження просторової організації екологічної ніші наземних мікромолюсків у антропогенно-трансформованих екосистемах;

*Набули подальшого розвитку:*

- концепція екологічної ніші Дж.Хатчинсона (8) і методи їх кількісної оцінки в еколого-географічному просторі;
- принципи та методи фітоіндикації екологічного простору тварин за О. М. Кунах (9).

**Практичне значення отриманих результатів.** У результаті проведеної роботи адаптований геостатистичний аналіз для виявлення закономірностей розподілу агрегатних фракцій в просторі, а саме у техноземах. Даний аналіз дає можливість інтерполювати значення для місць,

в яких не проводилось вимірювання і на основі його результатів будувати карти просторового розподілу даних, представлених у вигляді екогеографічних змінних, в термінах факторного аналізу екологічної ніші. Дані щодо агрегатної структури ґрунту як маркера екологічної ніші наземних тварин, у тому числі й мікромоллюсків, у технозомах може використовуватись в процесі ведення агрокультурного комплексу для пошуку найбільш ефективних методів господарювання на рекультивованих землях. Практичним результатом роботи є також те, що досліджуючи едафічні чинники (електропровідність, твердість та агрегатний склад) і рослинний покрив у антропогенно трансформованих екосистемах, можна оцінити стан угруповань наземних мікромоллюсків, які в свою чергу грають головну роль при моніторингу та екологічній оцінці земель, які рекультивуються.

Основні теоретичні положення й матеріали дисертації застосовуються при викладанні дисциплін «Екологія», «Ґрунтознавство» «Зоологія безхребетних», «Навчальна практика по зоології», «Системний аналіз в екології», «Методи моделювання екологічних систем», «Біоіндикація» у Мелітопольському державному педагогічному університеті імені Богдана Хмельницького.

**Особистий внесок здобувача.** Автор дисертації безпосередньо планувала дослідження, провела аналіз сучасної наукової літератури, брала участь у зборі польових експериментальних матеріалів, їх лабораторному опрацюванні, особисто складала схеми, виконала аналіз та обробку отриманих наукових результатів, брала 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 і обговорювалися на щорічних засіданнях кафедри екології, загальної біології та раціонального



природокористування; на науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького (Мелітополь, 2018–2021 рр.); на V Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні питання біологічної науки» (Ніжин, 16 квітня 2019 р.); на X Міжнародній науковій конференції «Zoocenosis–2019» (Дніпро, 18–19 листопада 2019 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми розвитку природничих та гуманітарних наук» (Луцьк, 05 грудня 2019 р.); на II Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» (Херсон, 24-25 жовтня 2019 р.); на XXI Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (Київ, 21-22 травня 2020 р.); на 2nd International scientific and practical conference «Modern science: problems and innovations» (Sweden, May 3-5, 2020).

**Публікації.** Основні матеріали дисертаційної роботи опубліковані у 15 наукових працях, із них 3 – у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, 5 – що входять до переліку фахових, 5 – матеріали наукових конференцій, 2 – що додатково відображають наукові результати дисертації.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота викладена на 168 сторінках комп'ютерного тексту й складається зі вступу, 5 розділів, висновків, літератури. Вона містить 19 таблиць і 17 рисунків. Список літературних посилань містить 315 джерел.

**Подяки.** Автор щиро вдячний за участь у збиранні та таксономічному визначенні видів рослин С.М. Подорожному і І.А. Мальцевій, у збиранні наземних мікромолюсків О. В. Жукову та П.М. Телюк, у збиранні ґрунтових зразків та визначенні едафічних властивостей О. В. Жукову, Н.В. Йоркіній і П.М. Телюк, за перевірку правильності визначення мікромолюсків С. С. Крамаренку і І.О.Халіману.

## РОЗДІЛ 1.

НАЗЕМНІ МОЛЮСКИ, ЯК КОМПОНЕНТ ПРИРОДНИХ ТА  
АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНИХ ЕКОСИСТЕМ

## 1.1. Фауна наземних молюсків степової зони України

Наземну малакофауну степової зони України досліджено фрагментарно (10). У степовій зоні проживає невелика група ксерофільних або ксеро-мезофільних молюсків, які мешкають у типових для степу біотопах – відкритий степ, степові чагарники і напівчагарники, тому їх можуть називати степовими молюсками (6). Якщо порівнювати фізико-географічні підзони степової зони України, найбільшим видовим багатством наземних молюсків відрізняється північно-степова підзона, де зареєстровано в цілому 79 видів. З просуванням на південь видове різноманіття закономірно зменшується – у 1,7 рази для середньо-степової підзони та у 2,0 рази для південно-степової підзони (11).

До основних загальних факторів, що впливають на формування видового розмаїття наземних молюсків степової зони відносять: розчленований рельєф, наявність заплавлених і байрачних лісів, географічну близькість Кавказу і Криму (11). Це сприяє виживанню ряду видів, які в свою чергу не притаманні для мешкання на Південному сході України. На обстеженій території зареєстровано загалом 46 видів наземних молюсків, які належать до 32 родів і 18 родин (10). Найбільшою видовою різноманітністю відзначались родини *Hygromiidae* (12 видів), *Zonitidae* і *Agriolimacidae* (по 5 видів) (10). У формуванні наземних малакокомплексів степової зони України значну роль відіграє антропохорія, причому більшість адвентивних видів, вочевидь, потрапили сюди з Криму (11). Серед них можна виділити групу кримських ендеміків: *Mentissa gracilicosta* (Rossmässler, 1839), *Brephulopsis cylindrica*, *Brephulopsis bidens* (Krynicky, 1833), *Monacha fruticola*. Є ще кілька інших видів, які проникли на

Причорноморську низовину з Криму: *Phenacolimax annularis*, *Xeropicta derbentina* (Кrynicki, 1836), *Eobania vermiculata*, *Helix lucorum*.

На сьогодні *Brephulopsis cylindrica* встиг широко розселитись по всій степовій зоні України. Однак є одиничні знахідки цього виду на півдні лісостепової зони – у с. Білоцерківка Великобагачаївського району Полтавської області (12). Також, окремі колонії *B. cylindrica* здатні адаптуватися до умов урбанізованих біотопів, що знаходяться на суттєвій відстані від степової зони – у Києві, Львові та, навіть, на південному заході Білорусі (13). Перші згадки щодо результатів виявлення *B. cylindrica* в Одесі і на берегах Дніпра у Херсонській та Запорізькій (Кам'янка-Дніпровська) областях відносяться до початку ХХ ст. (14,15). Завдяки цілому ряду особливостей цей вид здатний пристосовуватися до напівзасушливих і посушливих умов. У роботах Н.В. Вичалківської та С.С. Крамаренка (16) виявлено міжпопуляційну розбіжність у стійкості *B. cylindrica* до висихання. Щодо популяції молюска *B. bidens*, відомо поки тільки три знахідки за межами Кримського півострова – в Одеській (11,17), Херсонській (12) і Запорізькій областях України. Стосовно популяції *Monacha fruticola*, то його можна розглядати як домінуючий вид серед наземних молюсків на території Запорізької області. Вірогідно, що природний ареал *M. fruticola* лімітований територіями Криму, а його багаточисельні колонії в Одеській, Миколаївській, Херсонській і Запорізькій областях пояснюються антропохорією (15,18). Крім степової зони України, популяцію *M. fruticola* нещодавно виявлено також у Вірменії (18).

До недавніх пір поширення *Xeropicta derbentina* було обмежено південним узбережжям Криму (19). Наразі молюск поширений за межами Кримського півострова, тому часто зустрічається і на півдні України, особливо вздовж узбережжя моря або ву населених пунктах (20). Відомі окремі знахідки *X. derbentina* у лісостеповій зоні та на заході України (Виноградівський р-н Закарпатської обл.) (21,22). Оскільки даний вид на цих територіях є чужорідним, відсутня інформація про його негативний вплив на

природні екосистеми і господарську діяльність. Молюск не належить до числа шкідників сільськогосподарських культур, оскільки харчується органічним субстратом (23). Крім цього, беручи до уваги адаптивність цього виду до антропогенних ландшафтів, зокрема, до сільськогосподарських угідь, С. Laguerre та ін. (24) рекомендують застосовувати *Xeropict derbentina* як модельний організм для моніторингу навколишнього середовища.

Щодо молюска *Eobania vermiculata*, то цей вид має середземноморське походження, а до Криму був завезений людьми, за однією версією – в середині XIX ст., за іншою – значно раніше. У 1990 р. популяція *Eobania vermiculata* було виявлено на косі, яка відокремлює Дністровський лиман від Чорного моря (25), а в 2006 р. – на території Донецького ботанічного саду. Таке поширення наземних молюсків від початкового місця існування пояснюється тим, що дана територія характеризується сприятливими мікрокліматичними умовами зі згладженим температурним режимом і підвищеною вологістю, що в свою чергу сприяє видовому різноманіттю наземних молюсків. Саме завдяки цьому відбувається виживання не типових для степової зони видів. До них належать лісові види наземних молюсків, наприклад, *Cochlodina laminata* (Montagu, 1803), *E. Novorossica*, *Discus ruderatus* (Férussac, 1821), або такі гігрофільні види, як *Cochlicopa nitens* (Gallenstein, 1848), *Perpolita petronella* (L. Pfeiffer, 1853). У лісосмугах степової зони нерідко зустрічаються навіть типові степові види, які населяють фактично лише відкриті ксеротермні біотопи в Західній Україні, наприклад, *Chondrula tridens* (O.F. Müller 1774) або *Cepaea vindobonensis* (Férussac, 1821). Крім того, заплавні ліси вздовж річок можуть слугувати як природні транспортні магістралі для поширення наземних молюсків із півночі на південь (11).

У степовій зоні України зустрічаються також антропохорні види слимаків. Виокремити яких процес нелегкий, оскільки вони виявляють виражену тенденцію до синантропізації навіть всередині своїх природних ареалів (26). На території Запорізької області видовий склад слимаків не

надто багатий. Це може пояснюватись як кліматичними умовами степової зони, так і тим, що вивчені екземпляри були представлені найчастіше порожніми раковинами (15). Крім того, перебування у степовій зоні таких представників, як *Deroceras sturanyi* (Simroth, 1894), *D. reticulatum* (Müller 1774), *Limacus maculatus* (Kaleniczenko, 1851), *Tandonia cristata* (Kaleniczenko, 1851) також можуть бути результатом антропохорії, а два останні види взагалі завезені із Криму(15). Вид *Limax maximus* зустрічається лише в населених пунктах (27), хоча в Криму і на Кавказі цей вид може зустрічатися і в природних біотопах (26). Вочевидь, що видове різноманіття наземних молюсків у степовій зоні пов'язано з різними формами людської діяльності – від створення штучних лісів і лісосмуг до розвитку міст з їх специфічною малакофауною (25).

Поширення степових молюсків пов'язано не тільки зі ступенем їхньої витривалості до низької вологості і високої температури, але й до залежності від тривалості та суворості зими. Так, наприклад степові види *Truncatellina cylindrica*, *Chondrula tridens*, *Sepaea vindobonensis* (6) на території України зустрічаються майже усюди. За межами України поширення цих видів пов'язано з південно-східною Європою, південною або південно-західною частиною Палеарктики (28). Для зони степів, найбільше видове різноманіття наземних молюсків спостерігається на березі річок. На степових, петрофітних степових, лугових ділянках найчастіше зустрічалися *S. oblonga*, *V. costata*, *V. pulchella*, *T. cylindrica*, *Ch. tridens*, *V. pellucida*. *S. vindobonensis* віддавши перевагу заростям чагарників (28). Значна роль у збереженні видового різноманіття наземних молюсків у степовій зоні залежить від заплавних і байрачних лісів (29). У заплавних лісах було виявлено навіть такі гігрофільні види, як *Cochlicopa nitens* і *Perpolita petronella*, в інших частинах степової зони вони не трапляються (25).

Біотопічний розподіл наземних молюсків у степовій зоні потребує ретельного вивчення (25). Загалом, у центральній частині степової зони України видовий склад наземних молюсків не відрізняється таким

розмаїттям, як на Донецькій височині (29) або на південному заході України (15,17). Неабияку роль при формуванні наземних малакомплексів виконують антропохорні види, які прибули у степову зону здебільшого з Криму. Щоб проаналізувати рівень і ступінь впливу кавказької та кримської малакофауни на становлення сучасного видового складу наземних молюсків південного сходу України, необхідний більш детальний аналіз просторового і біотопічного розподілу наземних молюсків на цій території (30). Однак складно обґрунтувати відповідь на питання, чи є всі ці знахідки наслідком антропохорного розширення видових ареалів. Цьому повинні сприяти дані палеонтологічних досліджень (25,31). Проте, палеонтологам доводиться вивчати сильно пошкоджені раковини або їх фрагменти, а правильність зробленого визначення не може бути підтверджено дослідженням анатомічних ознак (25). Саме тому, особливість біотопічного розподілу молюсків можуть бути непрямим підтвердженням автохтонності деяких видів.

## 1.2. Особливості аутокології наземних молюсків

Наземні молюски – екологічна група тварин, що включає близько 35 тисяч сучасних видів, усі з яких належать до класу *Gastropoda*. Вони є однією із найуспішніших груп тварин які вторглись у наземне середовище. Вихід на суходіл відбувся кілька разів протягом еволюції червононогих молюсків, тому наземні молюски є серед різних, часто не близькоспоріднених, систематичних груп (12). Наразі повністю описано 24 000 видів, в той час як, за оцінками, від 11 000 до 40 000 видів все ще невідомі науці (32). Вони є однією із найбільш уразливих груп серед усіх живих організмів (32,33) Більшніж третина від усіх зареєстрованих випадків вимирання сучасних видів відноситься саме до наземних молюсків (422) і не менш 1,5% сучасних видів цієї групи до теперішнього часу вимерли (33).

Наземні молюски є зразковими об'єктами для дослідження еволюції, а також вони є особливо корисними для визначення кореляції між екологією і еволюційними змінами (34). Зазвичай, їх коротка тривалість життя (тобто кілька місяців або років) і обмежена здатність до розселення, роблять їх відмінними біоіндикаторами (35) на кліматичні зміни, включаючи глобальне потепління (36,37), а завдяки гарній збереженості раковин у відкладеннях різних геологічних епох, молюски можуть служити потужною основою для реконструкцій, шляхом формування тваринного світу досліджуваного регіону (38).

Наземні молюски є однією із найчисленніших груп безхребетних, що населяють ґрунт, підстилку і траву, вони поглинають і конденсують вологу з навколишнього середовища, розкладають органічні речовини, вступають в симбіотичні відносини з мікроорганізмами, накопичують різні мінеральні речовини і хімічні елементи. Нерідко їх раковини використовують як укриття інші тварини (пауки, жуки, гусениці, мурахи, кліщі, личинки двокрилих і тощо) (39). Численні експерименти довели, що наземні молюски впливають на колообіг макропоживних речовин в умовах підвищеної вологості, перерозподіляючи азот в ґрунті (40,41). Високоселективне годування деяких видів наземних молюсків може привести до зміни вмісту азоту і фосфору у ґрунті, що викликає зміни рослинного покриву в біоценозі (42,43). Оскільки, молюски можуть фіксувати кальцій за допомогою внутрішньої позаклітинної біомінералізації (43,44), так само вони здатні утримувати кальцій в верхньому шарі ґрунту, в результаті їх оболонки є важливим джерелом кальцію для птахів (43,45). Наземні молюски мають високу здатність накопичувати метали в організмі (46) а, отже, їх використовують у як біологічні індикатори забруднених місць проживання (47). Таким чином, наземні молюски є цінним інструментом для специфічної оцінки змін навколишнього середовища й угруповань у конкретних місцях (48). Ця особливість молюсків є дуже цінним джерелом знань в таких дисциплінах, як стратиграфія, кліматологія, палеогеографія, оскільки з їх раковин нерідко

можна отримати інформацію не тільки про біотоп, в якому мешкає або мешкав той чи інший вид, але і про клімат відповідної епохи (49).

Перетворення середовища проживання, внаслідок деградацій і фрагментацій, зменшує біологічне різноманіття, зачіпаючи різні групи організмів на різних трофічних рівнях (50). Види наземних молюсків характеризуються обмеженою рухливістю, це робить їх вразливими для змін середовища місця існування (51–53). До теперішнього часу було проведено значну кількість досліджень щодо впливу абіотичних факторів на угруповання молюсків таких як: вологість ґрунту, рН, вміст кальцію, глибина опадів листя (53–56). Найбільший вплив на наземних молюсків здійснюють температура і вологість. Решта кліматичні чинники або впливають на молюсків значно слабкіше, або позначаються не безпосередньо, а через зміни вологості та температури (6, 43).

Наземні молюски пересуваючись шляхом укладання вологих слизових доріжок, страждають від високих показників зневоднення (57,58). Зокрема, молюски та слимаки надзвичайно чутливі до зниження вологості, це обумовлює основну причину смертності наземних молюсків навіть у непорушених місцях існування (59). Молюски, які мешкають у посушливих місцях, де лісова підстилка часто пересихає, а денна температура є відносно високою, були більш стійкими до осушення в лабораторії (60). Asami (1993) (60) виявив, що види наземних молюсків відрізняються своєю толерантністю до висихання, в залежності від їх структури, фізіології та історії еволюції. Насправді, більшість видів наземних молюсків мешкають у зоні підвищеної вологості (61,62). Однак деякі молюски завдяки ряду пристосувань мешкають у посушливих зонах, за допомогою ефективності мікробіоти де ризик зневоднення нижче. Наприклад, наземний молюск *Sphincterochila prophetarum* ховається під камінням, коли вологість найнижча (63), в той час як *Cerpea nemoralis* підіймається до рослин, де температура вища, щоб уникнути сонячних променів (64). Проте, якщо ресурси (продукти



харчування) не можуть бути знайдені у захисних мікробіотах, молюскам необхідно буде залишити захисну зону (65).

Rayt & Ghose (1984) (66) вважають, що вологість є основною потребою для «наземних тварин». Показник регулюється в основному кількістю опадів, а також температурою і швидкістю вітру. Річна кількість опадів понад 1400 мм сприятлива для молюсків. Rayt & Ghose (1984) (66) стверджують, що популяція молюсків визначається більшою мірою кількістю дощових днів у році, ніж загальною кількістю опадів. Також, Raut & Ghose (1984) (66) у модельованому середовищі існування виявили діапазон вологості 80-95 %, що підходить для оптимальної активності наземних молюсків.

Відносно до вологи, молюски традиційно поділяють на три групи. Психрофіли (або гігрофіли) мешкають в умовах високої вологості, наприклад на болотах, по берегах водоймищ, на вологій листяній підстилці; мезофіли – в умовах середньої вологості, наприклад, на підвищених ділянках широколистяних лісів, на сухих луках, у чагарниках; ксерофіли – в умовах низької вологості, наприклад, у степу. Іноді також виділяють проміжні групи – мезопсихрофіли і мезоксерофіли. Слід пам'ятати, що всі наземні молюски є вологолюбними тваринами (67).

Другорядним фактором який має суттєве значення для наземних молюсків є сніговий покрив. Він захищає їх від вимерзання, тобто виконує функцію теплоізолятора. При мінусовій температурі повітря молюски деяких видів знаходяться навіть в активному стані під снігом. Однак, якщо сніговий покрив затримується довше, то чисельність їх подає, оскільки час для повноцінної активності скорочується (67). Сніговий покрив відіграє дуже важливу буферну роль. У разі його відсутності, значні коливання температури можуть представляти реальну загрозу для виживання видів та вплинути на майбутнє поширення молюсків.

Ще одним другорядним фактором є світло. Наземні молюски віддають перевагу розсіяному світлу, незалежно від структурної складності субстрату (68). Було продемонстровано, що наземні молюски реагують на світло,

уникаючи прямих сонячних променів. Така поведінка пов'язана з висиханням і термічним стресом (69). Тому для більшості наземних молюсків характерний негативний фототаксис. Їх основна активність, зокрема розмноження і харчування, відбувається переважно вночі або у сутінках (67).

Рельєф істотно впливає на життєдіяльність молюсків на всіх його рівнях – від гірських систем до невеликих знижень, глибиною кілька сантиметрів (67). Найбільш помітна його роль у пустельній зоні гірських областей. У гірських пустелях властивий цілий ряд видів і родів, які мешкають у різних укриттях – щілинах скель, осипах тощо (6). Особливий вплив на молюсків має мікрорельєф. Оскільки знежиння рельєфу довше зберігає вологу, і молюски застосовують її як притулок під час посухи. Наявність таких знижень може бути достатнім фактором, щоб визначити, чи може популяція цього виду вижити на ділянці (67).

Не менш важливим чинником, який впливає на життєдіяльність молюсків є ґрунт. Найбільш сприятливі для малокофауни є лужні і нейтральні ґрунти. Особливе значення має кількість гумусу у ґрунті. Його роль багатогранна, з одного боку, він є джерелом їжі, з іншого – присутність гумусу збільшує вологоємність ґрунту. Велика кількість органіки у ґрунті сприяє розвитку густого трав'яного покриву, який надає молюскам притулок, і є джерело їжі (70). Піщані і глинисті ґрунти несприятливі для життя молюсків, оскільки перші швидко втрачають вологу, а другі, крім поганої аерації у період дощів мають ще і надлишок вологи. Крім того, піски здійснюють висушуючу дію на поверхні подошви молюсків, а піщинки, потрапляючи у мантийну порожнину, перешкоджають диханню (6). Наземні молюски мають тісний зв'язок із хімічним складом ґрунту, одні види трапляються на карбонатних ґрунтах, інші – на кремнеземних (71).

Різноманітність і чисельність молюсків у ґрунті залежить від: рН, вмісту кальцію (55, 72), осушування (73), висоти над рівнем моря (74), ступеня вологості (55), складу і різноманітності рослин (75). С. Oldham (76), вперше довів роль кальцію (у вигляді  $\text{CaCO}_3$ ) для нормальної

життєдіяльності (для росту раковини) наземних молюсків. У подальших дослідженнях, цю залежність було експериментально доведено й у відношенні їх репродукції (77,78). Також доведено, що у лісах Західної Європи найбільша різноманітність видів молюсків спостерігається при рН ґрунту від 4 до 5, за даними польських дослідників – при рН від 6,1 до 7,5 (71). Проте, було відмічено, що на сухих ґрунтах зв'язок між чисельністю наземних молюсків і рН ґрунту відсутній і виявляється лише при певному рівні її вологості (79). Чисельність наземних молюсків залежить не тільки від хімічного складу ґрунту, а й від багатьох інших факторів, включаючи особливості екосистем і ландшафтів. Діяльність молюсків може привести до формування на поверхні ґрунту тонкозернистого гумусового шару мулевого типу. Молюски-сапрофаги є активними первинними руйнівниками рослинних залишків і гнилої деревини. В їх екскрементах відзначено розвиток процесів гуміфікації (80). Завдяки діяльності наземних молюсків здійснюється процес переміщення речовин по ґрунтовому профілю. Найбільш значуща участь молюсків полягає у створенні міцної грудкуватої структури ґрунту орного шару. Саме від нього значною мірою визначається водно-повітряний режим і формуються умови для родючості ґрунту.

Переважає більшість молюсків живе серед рослин або рослинних залишків. Grime і Blythe (81) був проведений аналіз взаємовідносин між рослинністю і кількістю наземних молюсків для одного регіону в Англії. Вони встановили, що характер просторового поширення *Serapea nemoralis* (L., 1758) і *Arianta arbustorum* L., 1758 здебільшого визначається їх харчовими перевагами, тому молюски домінували в густих заростях кропиви (*Urtica dioica* L., 1758) і пролеснику багаторічному (*Mercurialis perrenis* L., 1758). Однак, є рослини, які не використовуються в якості їжі – це, в першу чергу хвойні (70), через недолік кальцію у сосновій підстилці і смолянистих екстрактів хвойних дерев (82).

Більшість молюсків мешкають у змішаних і широколистяних лісах. Оскільки, саме тут локалізовані відповідні умови вологості та температури.

Дослідження наземних молюсків у п'яти типах бореальних лісів показало, що більшість видів демонструють статистичну перевагу широколистяним лісам, в той час як один вид (*Vertigo gouldii*) показав перевагу хвойним лісам (82). Як було вище сказано про негативний вплив хвойних лісів, Locasciulli и Boag (1987) (83) виявили, що щільність молюска була найвищою у хвойному лісі, проміжної в широколистяному і мінімальною у змішаному лісі. Оскільки, в цьому дослідженні щільність *Vertigo gouldii* також сильно корелювала з глибиною підстилки. Підстилка забезпечує молюсків їжею, захищає від пересушування в посушливі періоди (67). Крім того, підстилка забезпечує захисну термоізоляцію для наземних молюсків взимку (84), оскільки, зимою загибель молюсків може бути високою (наприклад, 44% дорослих і 18% ювенільних наземних молюсків), зимові умови (наприклад, температура, час і кількість снігопаду) можуть сильно впливати на їх щільність наступного літа (71,84).

Вплив рослинності на Gastropoda може виступати опосередковано, як проміжна ланка у системі «копитні – наземні молюски». Більшість авторів показали, що чисельність окремих видів наземних молюсків знижується на ділянки з інтенсивним випасання домашньої худоби або диких копитних, таких як лосі та північні олені (85–87).

Запилення молюсками (малакофілією) є рідкісним і маловідомим явищем, принаймні одне дослідження ясно демонструє значну роль молюсків (*Lamellaxis gracile*) у запиленні квітучої рослини (*Convolvulaceae: Volvulopsis nuttularium*), особливо у дощові дні, коли активність бджіл повністю відсутня (77). Оскільки деякі слимаки споживають фрукти і виділяють насіння, ці тварини можуть відігравати значну роль у їх розсіянні (хоч і на коротких відстанях), а також, можуть збільшувати швидкість проростання насіння деяких квіткових рослин (76).

Таким чином, на розподіл та чисельність наземних молюсків впливає комплекс екологічних чинників, які тісно пов'язані між собою, що в свою чергу, дозволяє визначити наявність або відсутність особин на окремих

ділянках. У той же час міська малакофауна України вивчена ще недостатньо, особливо у порівнянні з Німеччиною (88–90). Цьому сприяло і відсутність наукової номенклатури представників наземних молюсків, яка з'явилася лише в 2003 році (91). Наявні в літературі дані, як правило, фрагментарні і констатують переважно присутність деяких видів наземних молюсків в окремих містах чи в окремих міських біотопах (90, 92–95).

### 1.3. Мікромолюски антропогенно трансформованих екосистем

Одним із пріоритетних напрямків сучасної екології та раціонального природокористування є оцінка рівня впливу антропогенної діяльності на навколишнє середовище та на окремі екосистеми (96). У результаті цього виникає екологічний ризик трансформованих екосистем за рахунок підсилення процесів антропогенного екологічного регресу (97). Різноманітні антропогенні загрози постійно змінюють і погіршують навколишнє середовище, викликаючи втрату місць проживання видів та зумовлюють їх зникнення (98–100). Серед цих загроз сільське господарство (101,102), урбанізація (103) та розвиток гірничодобувної промисловості (104). Наростаючий антропогенний вплив на екосистеми вимагає нових ефективних методів їх моніторингу (105). Дані методи повинні оцінювати динаміку всіх компонентів біологічного різноманіття, включаючи різні варіанти біологічного забруднення, в тому числі й вплив біологічних інвазій (106,107).

Під час використання екологічного та біологічного моніторингу необхідно застосовувати комплексне дослідження та аналіз біосистем різного рівня організації (107,108). Для оцінки стану антропогенно трансформованих екосистем у світовій практиці прийнято використовувати групи видів-індикаторів. Вважається, що рівень індикації видів дозволяє повноцінно описати стан антропогенно трансформованих екосистем (109,110). До таких видів належать мікромолюски, оскільки вони чутливі до змін, пов'язаних з антропогенним впливом. Порушення місця існування, може змінити

угруповання і різноманітність наземних мікромолюсків на десятиліття. Оскільки мікромолюски відіграють основну екосистемну роль, ці зміни можуть у кінцевому підсумку порушити цілісність екосистеми. Однак проблема постає в тому, що мікромолюски не користуються особливою популярністю в якості предмета дослідження навіть серед професійних малакологів, насамперед тому, що з цими дрібними видами складно працювати. Найчастіше пошук мікромолюсків, а також їх сортування, зберігання і правильна ідентифікація потребує особливої ретельності, терпіння і наполегливості. Крім того, необхідна наявність першокласної науково-дослідної літератури, оскільки у багатьох поширених книгах по визначенню раковин і польових довідниках мікромолюски або взагалі не згадуються, або вказуються лише декілька видів для певної місцевості. Внаслідок всіх цих проблем мікромолюски вивчені недостатньо, на відміну від своїх крупних родичів, і тому, безсумнівно, існує безліч видів, які ще належить відкрити, дослідити та описати.

Одним із таких видів, який мешкає в антропогенно трансформованих екосистемах є мікромолюск *Vallonia pulchella*. Вид є аборигенним і голандричним (111). *V. pulchella* широко поширений в Європі та Америці (112), впроваджений у Південній Африці (113) та Ізраїлі (114). Мікромолюск також було зафіксовано на Мадагаскарі (112), в Індії (115), Китаї (112) та Австралії. Він зустрічається в найрізноманітніших середовищах проживання (112), але рідко трапляється у високогір'ї, зазвичай в трав'янистих місцях, лугах та вздовж узбіч і газонів (116). Проте в Європі намагається віддавати перевагу вологим місцям проживання, лугам, болотам, а також сухим дюнам (117). В Україні мікромолюск зустрічається в помірно сухих і вологих місцевостях, на лугових угіддях (118). У великій кількості мікромолюск зустрічається в заболочених місцях, він є також важливим джерелом їжі для інших видів молюсків, для таких як справжні скляні равлики (*Zonitidae*). У річкових алювіальних відкладеннях зустрічається велика кількість раковин цього виду. До того ж вид характеризується високою географічною

мінливістю щодо щільності населення. Наприклад, щільність населення *V. pulchella* у дубових лісах Білорусі становить 4–8 екз./м<sup>2</sup> (119), на штучних насадженнях робінії в рекультивованих районах поблизу міста Жовті Води – 5,6 екз./м<sup>2</sup> (120), тоді як у лісах ясеня в Польщі він не перевищував у середньому 0,13 екз./м<sup>2</sup> (121), а в заплавах лісах Словаччини – 0,07 екз./м<sup>2</sup> (122), на техносолях Дніпропетровської області – 1,84 екз./м<sup>2</sup> (123).

Раковина мікромолюска *Vallonia pulchella* – крихітна, сплюснута, біла як слонова кістка. Мікромолюск мешкає на заболочених пасовищах, в місцях з підвищеним вмістом вапняку, а також на підстильній поверхні. До того ж вид мешкає біля кореневих частин рослин і на іншій болотній рослинності, але виключно там, де пасовища та сезонні затоплення утворюють короткочасну дернину. Подібні біотопи поширені досить широко, в заплавах крупних озер і річок. У результаті насичення ґрунту водою і встановленням дренажних систем, територія відповідних біотопів значно скоротилась, а разом з нею і ареал проживання *Vallonia pulchella*.

Також, до мешканців антропогенно трансформованих екосистем належить мікромолюск *Cochlicopa lubrica*. Цей вид відносно невеликий, всього від 5 до 7,5 мм у висоту та від 2,4 до 2,9 мм у ширину. Він має конічну форму, випирає трохи більше ніж на половину (довжини). Поверхня темна, блискуча, золотисто-червоно-коричневого кольору. Отвір майже овальний, із прозорою світлою внутрішньою кромкою, яка часто просвічує крізь раковину і може бути помічена зовні у вигляді більш світлого жовтуватого або червонуватого кільця. Даний вид є гермафродитом, це полегшує пошук партнера. Для того, щоб відкласти яйця, потрібно два моллюска, які під час спарювання запліднюють один одного. Оскільки вони двостатеві, обидва можуть відкладати яйця (124,125). У Польщі процес розмноження мікромолюска *Cochlicopa lubrica* відбувається в будь-який час року; остаточний розмір і зрілість досягається в 21-24 місяці, тривалість життя понад 3 років. У квітні та травні у Франції спостерігається відкладення близько 20 яєць на особину у вологий ґрунт (126), молоді особини з'являлися

через 2 тижні, а дорослі особини у кінці літа. Молюски після спарювання та відкладання яєць зазвичай гинуть.

Мікромоллюск *Cochlicopa lubrica* є палеоарктичним видом, який розповсюджений по всій території України (22). Також мікромоллюск поширюється від Європи і Північної Америки до Мексики (127). Крім того, він зареєстрований в Ісландії, на Азорських островах і Мадейрі (128). Можливо, в результаті антропохорії він був поширений і до Нової Зеландії, Австралії (129), Південної Африки (130) та до інших країн світу. *C. lubrica* має велику екологічну амплітуду, в основному мешкає у помірно вологих біотопах, таких як долини лугів та заплавл, де вони ховаються у траві та грязі, але також під гнилою деревиною та у листяній підстилці. Крім того, мікромоллюск зустрічається в більш посушливих місцях, але зазвичай рідше. Добре переносить некальціновані ґрунти. Мікромоллюск харчується переважно мертвою рослинною масою, мікробними грибами і детритом, але іноді поїдає і свіжі паростки рослин. Зона поширення виду – голарктична, у Швейцарії *Cochlicopa lubrica* зустрічається на висоті до 2600 м над рівнем моря (131–133).

*Acanthinula aculeata* (Müller 1774) – наземний мікромоллюск, що належить до сімейства *Valloniidae*. Раковина *Acanthinula aculeata* сферична з низькою конічної верхівкою. Їх поверхня оснащена гострими ребрами, спрямованими дещо під кутом до осі витка і закінчується гнучкими шипами. Ребра та шипи є виростами органічного періостракума і тому видно лише на свіжих екземплярах. У порожніх раковинах гострі ребра і шипи відсутні, але все ще помітні прикріплення ребер (134). Поширений мікромоллюск в західній Палеарктиці (133) і має широкий ареал у північній половині Піренейського півострова і на Балеарських островах. *Acanthinula aculeata* зустрічається в основному в лісових районах з великою кількістю підстилки і, отже, з великою кількістю поживних речовин, багатих вуглецем і азотом, необхідних для виживання цього виду, який вимогливий з точки зору живлення. Рідше вид зустрічається на відкритих місцях проживання або біля підніжжя



вапнякових скель, під каменями. *A. aculeata* віддає перевагу ґрунту з високим вмістом алюмінію, а також вид має схильність до низьких значень рН, а отже, до кислих і некальційованих ґрунтів. Однак, Outeiro (1988) (135) вважає, що цей вид байдужий до рН та стверджує, що мікромолюск віддає перевагу біотопів з підвищеною вологістю. Крім того, Paul (1975) (136) згадує, що даний вид важко знайти в посушливі періоди, проте максимальна активність *Acanthinula aculeata* спостерігається взимку. У Великобританії зменшення чисельності *Acanthinula aculeata* викликано знищенням його місця існування інтенсивним сільським господарством. В Австрії він знаходиться під загрозою зникнення через вплив лісового господарства на його ареал проживання. У Баварії його популяція також скорочується (134).

Таким чином, антропогенний вплив має ключове значення в зміні видового різноманіття та у формуванні угруповань наземних мікромолюсків. Особливо це стосується урбанізованих територій (137,138). Мікромолюски (<5 мм в діаметрі) нерідно виявляються більш чутливими до порушень навколишнього середовища через їх дуже обмежену мобільність, а також через високу залежність від умов мікросередовища. Міста зі штучними деревними насадженнями, парковими зонами створюють специфічне середовище проживання для мікромолюсків. Автомобільні траси і асфальтовані пішохідні доріжки часто сприяють формуванню ізольованих біотопів, що негативно позначається на представниках малакофауни (91). Такі жорсткі умови накладають свій відбиток не тільки на особливість формування таксономічного складу представників малакофауни, але і на мінливість фенетичної структури окремих представників (139). Тому наземні мікромолюски є відмінним індикатором для оцінки впливу рекультивациі та рекреації в антропогенно трансформованих екосистемах (140).

#### 1.4. Екологічні аспекти рекультивації порушених земель

Природні ресурси є одним із найважливіших джерел, від яких залежить існування людства. Проблема раціонального використання природних ресурсів завжди була і залишається надзвичайно важливою, особливо для промислових регіонів нашої країни. Значні екологічні зміни відбулись при відкритому видобутку корисних копалин. В результаті ґрунтовий покрив, який є основним компонентом продуктивного природного ландшафту, був порушений (4). Безперервні економічні потреби у мінеральній сировині тягнуть за собою зростання площ порушених земель. Активний видобуток мінеральних ресурсів впливає на водні ресурси, а дисбаланс ґрунту знижує рівень поверхневих вод, розпушує ґрунт і призводить до опустелювання земель (141–143). Видобуток корисних копалин руйнує естетичний вигляд ландшафту, а також призводить до пошкодження ґрунтових компонентів, скорочення ґрунтової фауни і погіршення кругообігу поживних речовин. У результаті цього спостерігається зменшення рослинних угруповань та погіршення ґрунтового профілю (1, 2), що негативно позначається на врожайності сільськогосподарських культур. Усі ці події негативно впливають на джерела доходу фермерів, тим самим, знижуючи економічну стійкість гірничодобувного району (144, 145).

Використання ресурсів Нікопольського марганцеворудного басейну впродовж століття призвело до глибокої екологічної кризи в галузі землекористування. Видобуток корисних копалин відкритим способом у гірничодобувній галузі призвело до перетворення й порушення геологічного середовища (146). Вплив гірничодобувних відходів може бути досить неоднозначним, включаючи ерозію ґрунту, забруднення повітря і води, токсичність, геоекологічну катастрофу, втрату біорізноманіття та врешті, втрату економічного багатства (1,147,148). Це, в свою чергу, висуває проблему рекультивації порушених земель, у процесі надрокористування, на перше місце (149). Рекультивація порушених земель після видобутку

корисних копалин стала невід'ємною частиною всього гірничодобувного процесу (3). Однак, на сьогодні ситуація складається не найкращим чином і потрібно вжити заходів для боротьби з nereкультивованими відвалами. Для більшості цих відвалів потрібна постійна рекультивація земель, яка не завжди дотримується гірничими підприємствами.

Питанням рекультивації територій, порушених гірничодобувними підприємствами, вивчалась ще 100-150 років тому, спочатку в державах Європи, Америки, а потім і в Радянському Союзі. Після Другої світової війни проблема охопила багато країн і перетворилась в цілий напрям – рекультивація земель (150). У вітчизняній науковій літературі спочатку термін «рекультивація» використовувалась як «спеціальний захід, щодо підготовки ґрунту для сільськогосподарського або рільничого використання» (151,152). Однак пізніше, у процесі розвитку і ускладнення робіт по відновленню родючості земель, порушених промисловим виробництвом, зміст і смислове навантаження поняття значно змінилось (152). У сучасній науковій літературі під поняттям рекультивація розуміється комплекс робіт з екологічного та економічного відновлення земель і водойм, родючість яких в результаті антропогенної діяльності істотно знизилась.

Метою проведення рекультивації є: створення стійких кругообігів поживних речовин внаслідок росту рослин і мікробних процесів (153–155), поліпшення умов навколишнього середовища й відновлення продуктивності порушених земель і водойм (156,157). Підґрунтям для цього процесу слугує ґрунт, тому його склад і щільність безпосередньо впливають на стабільність рослинного угруповання. Процес рекультивації рослинністю на території кар'єрів може вирішити ряд завдань: запобігти забрудненню, поліпшити естетичний вигляд ландшафту й уникнути потенційних загроз для людини (1,148). При розробленні програм рекультивації слід враховувати особливості структури ґрунту, її родючість, наявність популяцій різних організмів, щоб якомога швидше відновити первинний стан ґрунту і зберегти її як автономну екосистему.

Пошук нових екологічних і економічних рішень, за допомогою яких можна знизити навантаження на навколишнє середовище і відновити екологічний баланс в районі ведення гірських робіт – важливим завданням (158). Однак, для традиційної рекультивації недостатньо коштів, тому актуально розробити такі напрями, в межах яких рекультивація земель буде приносити прибуток за короткий час. На сьогодні, мабуть, єдиним вирішенням цієї проблеми є розвиток паркового будівництва з метою перетворення непридатних територій (159–161). До них так само відноситься і рекультивація ландшафту – перетворення колишніх гірничодобувних кар'єрів, сміттєзвалищ та пустирів у зони відпочинку (159). Створення рекреаційних зон та будівництво інших об'єктів на площах відпрацьованих кар'єрів повинна бути вмотивована як державою, так і надрокористувачем (162). Використання відпрацьованого кар'єра в рекреаційних цілях має стати домінуючим напрямком розвитку великих міст, що дозволяє поліпшити показники землекористування (158).

Таким чином, рекультивація порушених земель – це процедура, яка повинна здійснюватися не тільки перед самим закриттям кар'єра, а й у момент видобутку корисних копалин також. Цей процес має бути складовою частиною інтегрованої програми з ефективного управління навколишнього середовища на всіх етапах експлуатації родовища – від пошуку і видобутку корисних копалин до будівництва, експлуатації та закриття.

### 1.5. Факторний аналіз екологічної ніші

Дослідження просторового розподілу наземних молюсків недостатньо вивчено (163, 164). Більшість досліджень спрямовані на порівняння угруповань молюсків у різних біотопах, що розрізняються за рослинним покривом, типом ґрунтів та рівнем вологості (123, 165–169). Ці закономірності можуть бути пов'язані з розподілом мікросередовища (53,

82). Вивчення просторового масштабу і підпорядкованість факторів, що впливають на молюсків, вимагає особливої уваги (72, 164, 170). Місце існування тварин характеризуються наявністю на певній території ресурсів й умов, що дає змогу виживати, розмножуватись і заселяти ці території (171). Це, так званий «екологічний стандарт» виду (172) потреба кожного виду в певному комплексі умов середовища (173). Загальні потреби виду в ресурсах і фізичних умовах визначають, де він може жити і наскільки численним він може бути в будь-якому місці свого ареалу (174). Ці вимоги абстрактно називають екологічною нішею.

Екологічна ніша виникла у відповідь на спробу описати загальну роль видів в угрупованні та на теоретичному рівні спеціалізувати поняття «популяція», «угруповання» та «екологічна система» (175). Екологічна ніша може бути зрозуміла в контексті двох вимірів: ніша Грінелла та Елтона (176). Ніша Грінела враховує важливість даного набору ресурсів для виживання виду (177). Вона розглядається двома способами: з одного боку, як комплекс умов середовища проживання, а з іншого, – як поведінкові адаптації, які підвищують здатність організму до виживання (178). Ніша Елтона (179) зосереджена для позначення функціональної ролі видів в угрупованні (180,181), при цьому він вважав, що абіотичні компоненти природного середовища не залежні від поняття «ніша». Пізніше, Хатчинсон (8) запропонував більш формальну, кількісну концепцію, засновану на теорії множин. Він уявляв собі нішу як гіпероб'єм в багатовимірному просторі, де можна підтримувати стабільні популяції. Коли складні біоценотичні відносини, такі як хижацтво і конкуренція, включаються до розрахунку нішевого простору, виходить «реалізована ніша», на відміну від «фундаментальної», яка ігнорує такі взаємодії (182). Було доведено, що концепція ніші поєднує екологічні вимоги виду з його функціональною роллю в місцевому угрупованні (183).

Моделювання екологічних ніш (Ecological Niche Modeling, ENM) і моделювання придатності середовища проживання (Habitat Suitability

Modeling, HSM) видів набуває все більш важливе значення для встановлення взаємозв'язків між організмами і середовищем їх місця існування (184–186). Перспективним описом теорії екологічної ніші, яка може бути представлена у вигляді програмних комп'ютерних алгоритмів, є загальний аналіз екологічної ніші (General Niche-Environment System Factor Analysis – GNESFA) (187). GNESFA передбачає дві версії екологічної ніші видів: маргінальність (описує, наскільки оптимум виду знаходиться від середніх умов навколишнього середовища) та спеціалізація (визначає закономірності по співвідношенню між варіаціями доступних умов і варіаціями сприятливих для видів умов) (188,189). Це дозволяє їй бути нанесеною на графік у географічному просторі за допомогою відтворення індексу переваги місцеперебування (HSI) (190), який за своєю природою є імовірнісною оцінкою просторового варіювання зони оптимуму екологічної ніші (191). Зокрема, GNESFA охоплює три взаємодоповнюючі підходи: факторний аналіз екологічної ніші, що сприймає навколишнє середовище у вигляді еталонного розподілу (FANTER) (187), факторний аналіз відстані Махаланобіса (MADIFA) (192) та факторний аналіз екологічної ніші (ENFA) (188).

Аналіз FANTER зосереджений на доступності та визначає змінні, що впливають на форму, центральну тенденцію і поширення ніші по відношенню до навколишнього середовища, показуючи, як ніша відрізняється в екологічному просторі від всієї досліджуваної території (187). Аналіз MADIFA дозволяє визначити, наскільки навколишнє середовище подібне до тих умов, які займають види. MADIFA об'єднує маргінальність і спеціалізацію в єдиний показник вибору місця існування: і чим подібніші умови місцезнаходження виду до центроїду екологічної ніші (оптимум для виду), тим більш придатним є середовище для проживання в цій місцевості, тим менша відстань Махаланобіса (192,193). Щоб змодельовати вибір місця існування виду в масштабі ділянки, застосовують факторний аналіз екологічної ніші (ENFA). Цей аналіз кількісно визначає маргінальність і

спеціалізацію, дозволяючи порівнювати реалізовані ніші в умовах навколишнього середовища (194). Зокрема, маргінальність описує різницю між місцем існування виду із середніми умовами навколишнього середовища в районі дослідження, в той час як спеціалізація вимірює обмеженість ніші (195).

Відповідно до показників Каленжера і Басіла (187) було виявлено, що GNESFA є ефективним інструментом отримання достовірних та точних результатів. Оскільки GNESFA має суто дослідницький характер, він не залежить від багатьох обмежень (наприклад, мінімальний розмір вибірки не потрібно), а також зобов'язує дослідників використовувати різні джерела даних в аналізі, на відміну від інших методів дослідження, які вимагають виконання кількох обмежуючих припущень (187).

#### Висновок до розділу

Наземні молюски є відмінною, але як правило, недооціненою моделлю для вивчення залежності між параметрами навколишнього середовища в різних просторових масштабах та розподілом і чисельністю видів. Тому останнім часом посилилась увага до вивчення угруповань наземних молюсків. Крім того, вони є чудовим об'єктом для вивчення впливу урбанізації, оскільки сприйнятливі до антропогенної діяльності. Особливо мікромолюски (<5 мм в діаметрі) нерідко виявляються більш вразливими до дії факторів, через їх обмежену мобільність та поширення, а також з причини їх сильної залежності від мікросередовища проживання. Важливий інтерес представляє собою формування популяцій наземних мікромолюсків на рекультивованих землях. Оскільки зі збільшенням антропогенного навантаження, виникає необхідність використовувати їх як індикатор екологічного стану рекультивованих та урбанізованих територій. У міських умовах з їх штучними насадженнями деревних порід, парковими зонами формується специфічне середовище проживання для мікромолюсків. Такі

умови надають вплив не тільки на розвиток таксономічного складу представників малакофауни, але і на варіабельність фенетичної структури окремих представників. Тобто, вивчаючи рекультивовані та урбанізовані території, через угруповання наземних мікромолюсків, можна повноцінно дослідити особливості біогеоценозів до глобальної зміни клімату, забруднення атмо-, гідро- та літосфери.



## РОЗДІЛ 2.

### ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЙ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Географічне розташування

Територія дослідження включає Нікопольський район Дніпропетровської області (Нікопольський марганцеворудний басейн) та місто Мелітополь (ділянки рекреаційного призначення у Новоолександрівському парку).

Дніпропетровська область є одним з економічно розвинених регіонів України. Для області характерно вигідне географічне положення, великі запаси корисних копалин, значний індустріальний і науковий потенціал, а також високий рівень розвитку транспортної мережі та зв'язку (196). Майже по всій території регіону домінують родючі чорноземні ґрунти. Розгалужена мережа водопостачання забезпечує можливість ведення сільського господарства на досить високому рівні. Регіон багатий на мінеральні ресурси. Мінерально-ресурсна база району представлена широким спектром і наявністю запасів корисних копалин. В області виявлено близько 300 покладів і значних запасів паливно-енергетичної сировини – вугілля, нафти, газу і газового конденсату, а також є будівельна сировина. Поклади залізної (Кривий Ріг) та марганцевої руди (Марганець і Покров) мають світове значення. Під час проведення геологорозвідувальних досліджень було виявлено золоторудні поклади в Солонянському та Нікопольському районах (196).

У південній частині Запорізької області розташоване промислово розвинуте місто регіонального значення – Мелітополь. До 70% міської території знаходиться на вододілі з середніми висотами 34-40 м, решта – на крутому схилі долини річки Молочна. Здебільшого площа міста і району розташована в межах Причорноморської низовини. На території міста є дві чималі балки — Кизиярська та Піщанська. Економічний потенціал

Мелітополя представлений машинобудуванням, харчовою та легкою промисловістю. На території міста є чотири парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва: загальнодержавного значення «Новоолександрівський парк» та місцевого значення: «Парк біля залізничної станції», «Лісопитомник» і «Парк зрошувального садівництва», також у місті є ботанічна пам'ятка природи — «Дуб черешчатий», яка розташована на території «Парку біля залізничної станції».

## 2.2.Рельєф

Територія Нікопольського району Дніпропетровської області розташована на південній околиці Українського кристалічного щита та північній частині Причорноморської западини. Характер рельєфу місця проведення досліджень здебільшого рівнинний. Однак, територія розчленована долиною Дніпра та його притоками. Найбільш крупні праві притоки: річка Базавлук з притоками – річки Солона, Базавлучок, Кам'янка, Томаківка; ліві притоки: річки Білозерка та Кінська. Територія басейну розчленована також численними балками (173). В межах Нікопольського марганцевого басейну виражені рельєфи тільки трьох терас, що спостерігаються на значних відстанях. До затоплення водами Каховського водосховища, перша тераса представляла собою низинну рівнину, на якій розташовувались озера та заболочені ділянки. Друга тераса піднімається на 5–10 м над рівнем води, оскільки дещо недорозвинена. Третя тераса найбільш древня, її поверхня хвиляста, на ній простежується чітко сформований рельєф і спостерігається найбільше площинне поширення. Рівнинний характер рельєфу обумовлюється горизонтальним нашаруванням третинних відкладень, які прикривають кристалічну основу (173).

Територія Мелітополя розташована здебільшого в межах Причорноморської низовини. Її поверхня – слаборозсічена плоска низинна рівнина, яка знижується з півночі на південь, де вона крутим (висотою до 20

м) уступом уривається до Азовського моря. На північному сході в межах краю заходять відроги Приазовської височини з висотою від 150 до 250 метрів над рівнем моря. Найбільшою гідрографічною системою міста є річка Молочна (довжина 197 кілометрів, площа басейну 3450 км<sup>2</sup>), що впадає в Молочний лиман (площа 168 км<sup>2</sup>). На Лівобережжі міста (в рельєфі) виражені три надзаплавні тераси. Перша висотою від 3-4 до 10-12 метрів. Висота другої тераси коливається від 8 до 12 метрів, ширина від 100 метрів до 1,5-2 кілометрів. Третя тераса суцільною смугою тягнеться із лівого берега долини, досягаючи ширини 3 і більше кілометрів.

### 2.3. Клімат

Територія Нікопольського марганцевого басейну піддається впливу повітряних мас, які прямують з Атлантики, Арктичного басейну або утворились над великими континентальними територіями Євразії (173). Для марганцеворудного басейну характерний помірно-континентальний клімат з посушливим літом і малосніжною зимою. Середньобагаторічна швидкість вітру дорівнює 3,9 м/с, найвітряніший місяць – березень (4,8 м/с), найтихіший місяць – вересень (2,9 м/с). Характерною рисою клімату є коливання майже всіх річних і добових метеорологічних показників. Середньорічна температура повітря становить +9,3°C. Температурний режим досить суворий у зимовий час (зима триває від 4 до 6 міс.). Найбільш холодний місяць – січень, середньомісячна температура якого дорівнює – 5,7 °С, найнижча температура – 23,0 °С. Найбільш теплий місяць – липень, середня температура якого складає +22 °С. При температурі вище +10 °С тривалість періоду становить 178 днів, а безморозного періоду – 187-228 днів (197). Річний хід температури виявляє типове для континентального клімату перевищення температури весни над температурою осені: квітень тепліший за жовтень, травень – за вересень. Опадів, більша частина яких припадає на теплий період, за рік випадає приблизно 400-490 мм. Найбільша їх кількість

випадає у червні (48 мм), найменша – вересні (28 мм). Зливові дощі мають максимальний вплив у формуванні процесів затоплення і утворення поверхневого стоку (173). Періодичність засух і суховіїв не спостерігається. Ступінь зволоження району дослідження можна вважати помірним. Випадіння опадів влітку носить зливовий характер. Це може призвести до того, що за годину кількість опадів може перевищити 72 мм.

Усі фізико-географічні процеси взимку, в тому числі температурний режим, промерзання ґрунту, накопичення вологи у ґрунті, залежать від висоти і характеру залягання снігового покриву. У регіоні в 60% зим відсутній сніговий покрив. Тривалість снігового покриву в середньому становить 61 день. При цьому висота залягання снігового покриву невелика та відрізняється значною неоднорідністю і становить 1-6 см. При цьому щільність снігового покриву постійно змінюється (173). Разом з цим слід зазначити, що висота снігового покриву в просторовому відношенні різна, що залежить від рельєфу місцевості, напрямку і сили вітру, типу рослинності, а також її розташування у просторі. Вологість повітря у квітні становить 75%. Впродовж травня та серпня вологість монотонно падає, а у листопаді досягає річного максимуму – 93%. Атмосферний режим відрізняється, як правило, змінами напрямків вітру. У теплий сезон року загалом панує вітер північних напрямів, а у більш холодний період – вітер південно-східних напрямів. Протягом літнього періоду спостерігається теплий сухий вітер – суховій. (173).

Клімат у Мелітополі теплий, помірно-континентальний, зі спекотним, посушливим і тривалим літом, з частою повторюваністю посух і суховіїв, відносно прохолодною, малосніжною, дощовою та короткою зимою. Крім того, на території міста спостерігаються поривчасті вітри і заповишені бурі. Початок зими (перехід середньодобової температури через 0 °С) спостерігається у другій декаді або у третій декаді грудня. Середньорічна температура повітря дорівнює + 10,1 °С. Середня температура повітря найхолоднішого місяця (січень) коливається від -2 до -3 °С (у грудні +2 °С;

лютому  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), найтеплішого – (липень) від 23 до  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Мінімальна температура взимку іноді доходить до  $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а максимальна влітку – до  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$  в тіні. Середньорічна кількість опадів 430 мм. Тривалість безморозного періоду становить 185-195 днів. Початком весни вважається стійкий перехід середньодобової температури повітря через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У Мелітополі це відбувається в другій половині лютого або в першій декаді березня. Літній період (середньодобова температура  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  і вище) починається зазвичай у кінці квітня – початку травня, але іноді і в 10-х числах травня і триває від 135 до 150 днів, іноді і більше, до початку жовтня. Опади випадають у формі короткочасних зливових дощів. Приблизно одне літо з двох-трьох – спекотне і посушливе, супроводжуване суховіями. Осінь – пора року, коли середньодобова температура повітря стає нижче  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Це відбувається зазвичай на останньому тижні вересня або в перших числах жовтня. Наприкінці вересня – на початку жовтня спостерігається перші приморозки. Опади випадають у вигляді дощу, а іноді у вигляді невеликого снігу. Переважають східні і північно-східні вітри. Характерним є також тривале повернення тепла з ясною і тихою погодою.

#### 2.4. Ґрунти

Район Нікопольського родовища розташований в зоні чорноземів південних. Вони здебільшого займають південну і південно-східну частини степової зони (198). Гумусовий горизонт зазвичай сягає 50–55 см. Зв'язані з кальцієм гумінові кислоти складають основну частину гумусу. Карбонати у вигляді міцелію спостерігаються на глибині 50 см, а на рівні 80–120 см набувають вигляду білозірки (199). Підвищена мінералізація ґрунтових розчинів часто призводить до появи слабкої солонцюватості. Чисельність мікроорганізмів у ґрунтах висока, але біологічна активність знижується в посушливий період року. Трав'яний покрив розріджений, чітко виражений річний період напівспокою для більшості домінуючих злаків.

Ґрунтоутворюючі породи представлено переважно лесами та лесовидними суглинками, часто містять легкорозчинні солі, а також елювіально-делювіальні відкладення. Також у межах Нікопольського марганцевого басейну переважають еродовані ґрунти, однак вони характеризуються низьким вмістом гумусу, гіршими фізичними й агрохімічними властивостями, низьким рівнем врожайності сільськогосподарських культур.

Північна частина Мелітополя характеризується південними малогумусними чорноземами, південна частина – темнокаштановими ґрунтами. Також на території міста трапляються солонці, походження яких пов'язане з близьким заляганням ґрунтових вод. У долинах річок Молочної та Малого Утлюка зустрічаються лучно-чорноземні ґрунти, а в прирусловій частині терас річок – супіщані чорноземи. Місто знаходиться в типчаково-ковиловій підзоні степової зони. Через нестачу вологи, рослини засухоустойкі, травостій розріджений.

### РОЗДІЛ 3.

#### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Науково-дослідну роботу було реалізовано на ділянці рекультивації Нікопольського марганцеворудного басейну в м.Покров (рис. 3.1), та на території рекреаційного призначення в Новоолександрівському парку м. Мелітополь (рис. 3.2.).

Ділянка рекультивації Нікопольського басейну, як дослідно-експериментальна платформа для вивчення оптимальних режимів аграрної рекультивації, була створена в 1968-1970 роках (200). Об'єктами дослідження на рекультивованих територіях було обрано дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах, лесоподібні суглинки та педоземи. Найменування ґрунтів наведені за Л.В. Єстеревською (201). Сучасний тип рослинності представлений сумішшю бобових і злаків. Досліджувалися біогеоценози закладені на території штучних едафотопів. Належна до рекультивації територія, спочатку підлягала вирівнюванню, далі поверхня піддавалась плануванню бульдозерами і скреперами з пристроєм ступінчатої основи в 30, 50 і 70 см. У 1969 році відбулось повторне планування бульдозерами та скреперами. Неодноразове переміщення гірської маси спричинило утворення у верхній частині підстилаючих порід багаточисельних сумішей з домінуванням розкритих гірських порід (173). Восени 1969 році на території, де відбувався відкритий видобуток корисних копалин, було здійснено відсіпання ґрунту на послідовні пласти: 30, 50 і 70 см, які потім ретельно вирівнювались (5). Восени 1970 року відбулося повторне відсіпання ґрунту, що дало змогу повністю визначити її потужність, яка коливається в межах від 20 до 60 см. У шарі 30 см потужність насипного прошарку складає від 20 до 40 см, на 50 см – від 40 до 60 см, а на 70 см – від 60 до 80 см (202). У 1972 році було завершено створення полігонів, поверхня яких відсіпана лесоподібними суглинками, червоно-бурими та сіро-зеленими

глинами (173). Породи на лесоподібних суглинках відбирались з глибини 1–5 метрів від поверхні, оскільки, в суглинках на глибині 4–5 метрів містяться засолені пласти. Червоно-бурі глини добувались з глибини 7–12 метрів, сіро-зелені – з глибини 12–47 м від поверхні. Підсіпання порід проводили на завчасно сплановану поверхню відвалів, товщина відсіпаних порід становила до 1,5-2 метрів (173).

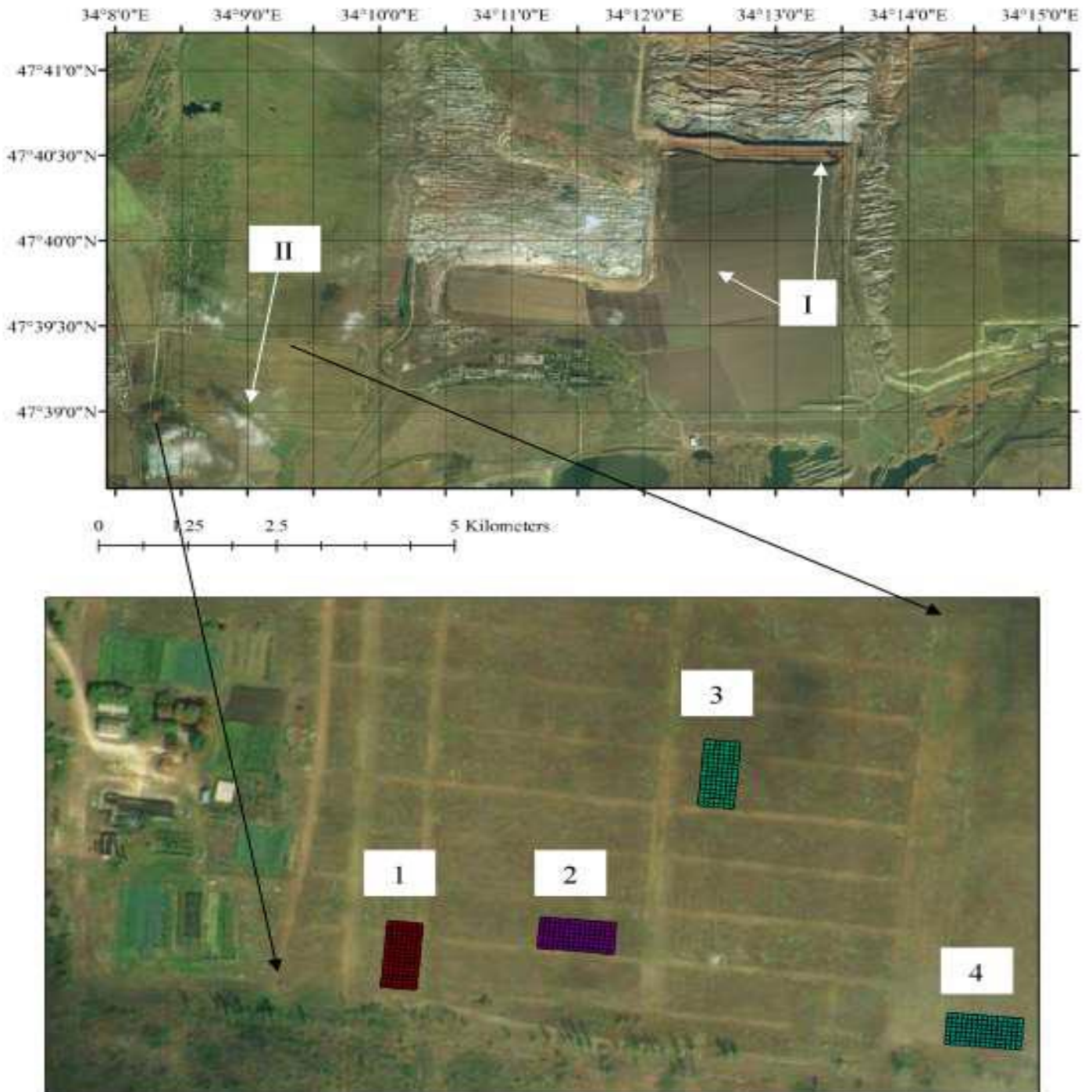


Рис. 3.1. Розміщення дослідних полігонів у межах Нікопольського марганцеворудного басейну



**Умовні позначки:** I – Запорізький кар’єр з видобутку марганцевої руди; II – дослідне поле з різними варіантами техноземів: 1 – дерново-літогенний ґрунт на лесоподібному суглинку; 2 – дерново-літогенний ґрунт на червоно-бурій глині; 3 – дерново-літогенний ґрунт на сіро-зеленій глині; 4 – педозем.

Ділянка рекреаційного призначення в Новоолександрівському парку м. Мелітополь була закладена в 1927 році. Проєкт парку був складений головним лісничим Старобердянського лісництва Іваном Алексєєвим, який і надав перші саджанці для насаджень. У 1934 році парк збільшив свою територію до 27 га. Впродовж 1960-1970-их років значний комплекс рекреаційних робіт в парку був проведений під керівництвом директора М.В. Осяніна. У 1966 році відновлений парк імені Горького отримав статус пам’ятки садово-паркового мистецтва.

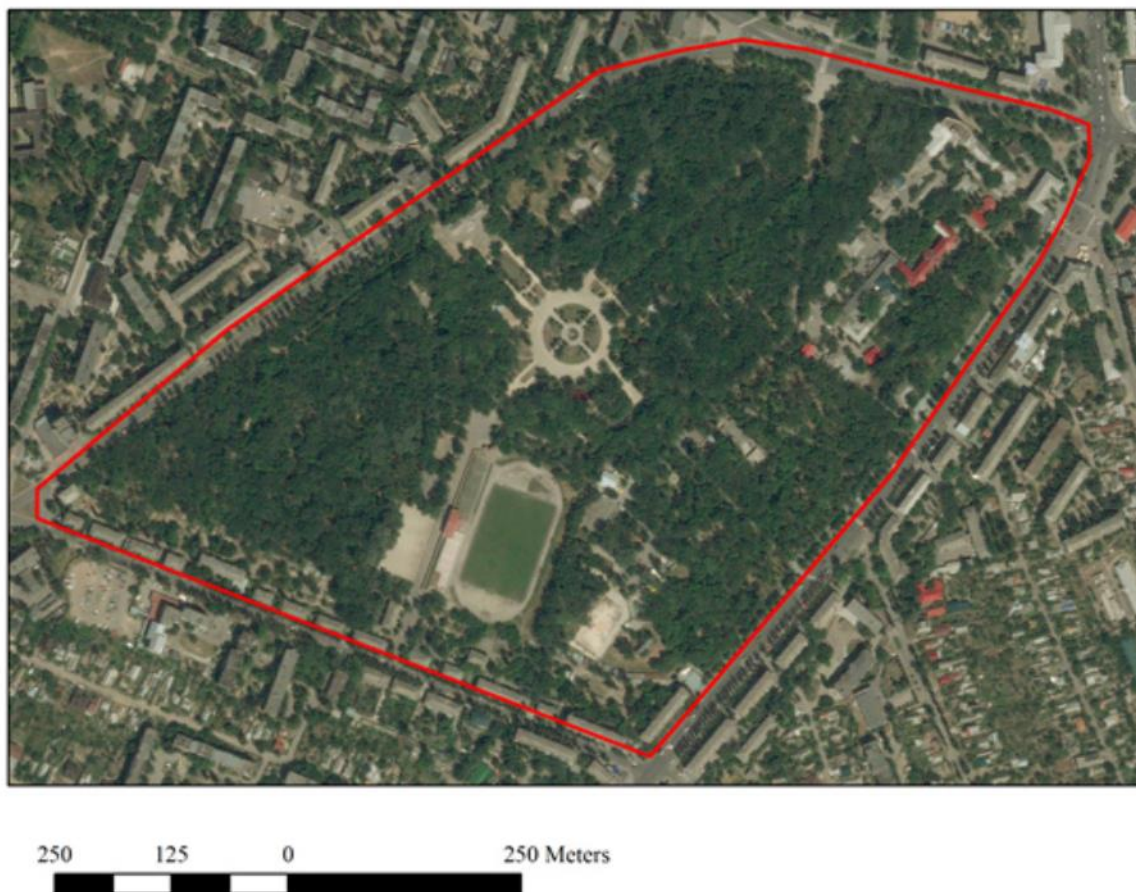


Рис. 3.2. Просторове розміщення парку Новоолександрівський

Флора функціональної зони парку представлена різноманітними деревами і чагарниками, зокрема робінією псевдоакацією (*R. pseudoacacia*), айлантом найвищим (*Ailanthus altissima*), кленом (*A. negundo*), вербою

вавилонською (*Salix babulonica L.*), платаном східним (*Platanus orientalis*), декількома видами роду *Syringa* (бузок), (*Quercus L.* – дубом), жасміном (*Jasminum*), липою дрібнолистою (*Tilia cordata*), акацією жовтою (*Caragana arboréscens*), ялівцем віргінським (*Juniperus virginian L.*), ялівцем козацьким (*Juniperus sabina*), туями східними (*Platyclusus orientalis*), сосною звичайною (*Pinus sylvéstris*), ялиною блакитною (*Picea pungens Engelm*). Дендрофлора міста також містить: катальпу бігнієвидну (*Catalpa bignonioides Walt.*), лох вузьколистий (*Elaeagnus angustifolia L.*), шовковицю чорну (*Morus nigra L.*), тополю (*Populus bolleana Lauche, P. alba L., Populus italica* (203)). Деякі дерева мають вік близько 80 років. Зустрічаються навіть екзотичні рослини такі як: маклюра помаранчева (*Maclura pomifera*), тис ягідний (*Táxus baccáta*), церцис європейський (*Cercis siliquastrum*), форзиція поникла (*Forsythia suspensa*).

### 3.1. Методика вивчення ґрунтово-зоологічного матеріалу

Експериментальний полігон складався зі 105 точок відбору проб, розташованих у межах 7 трансект (по 15 точок у кожній) (рис. 3.1.1). Відстань між точками становила 3 м. З кожної проби було взято 10 ґрунтових проб масою по 10 грам. Облік наземних мікромолюсків було проведено методом ґрунтових прикіпок і ручної розбірки ґрунтових зразків. Розмір проби визначався стандартними методиками ґрунтово-зоологічних досліджень і становив  $0,25 \times 0,25$  м на глибину потрапляння тварин.

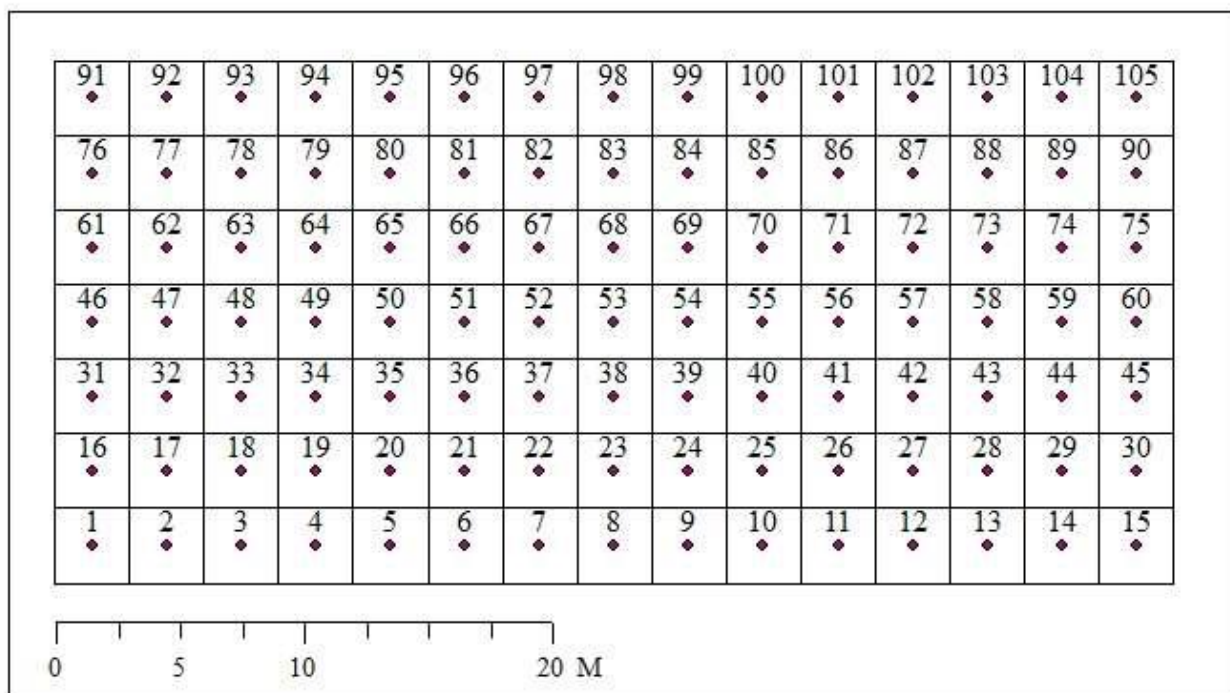


Рис. 3.1.1. Схематичне зображення точок відбору проб (точки 1–105) у межах експериментального полігону

Вимірювання твердості ґрунту було здійснено в польових умовах за допомогою ручного пенетрометра Eijkelkamp на глибину до 50 см із інтервалом 5 см. Принцип роботи полягає в наступному: здійснюючи рівний тиск на обидві ручки приладу, конус вертикально занурювався в ґрунт. Пенетрометр оснащений вбудованим механізмом реєстрації швидкості занурення. Дані опору ґрунту при натисканні конуса зберігались у пристрої реєстрації та відображались на дисплеї. Середня похибка результатів вимірювань приладом складає  $\pm 8\%$ . Вимірювання проводили конусом із розміром поперечного перерізу  $1 \text{ см}^2$ . У межах кожної точки відбору проб, вимірювання твердості ґрунту здійснювали одноразово. В період з 13<sup>00</sup> до 14<sup>00</sup> дня вимірювали температуру ґрунту завдяки цифровому термометру WT-1 (ПАТ «Склоприлад», <http://bit.steklopribor.com>, точність – 0,1 °С) на глибині 5-7 см. Для вимірювання електропровідності ґрунту *in situ* використовувався датчик HI 76305 (Hanna Instruments, Woonsocket, R. I.) (204,205). Цей датчик працює спільно з портативним пристроєм HI 993310. Вміст води в ґрунті визначався в польових умовах за допомогою



діелектричного цифрового вологомера MG-44 (vlagomer.com.ua). Вміст гумусу досліджувався за методом Тюріна. Визначення агрегатного складу здійснювалося за допомогою сухого просіювання за методом А.Ф. Вадюніної та З.А. Корчагіної (1986). Насипна щільність ґрунту оцінювалася методом керна (206).

Для визначення фізіономічних типів рослинності було розроблено метод розшифровки цифрових зображень з подальшою кількісною оцінкою проєктивного покриття (рис. 3.1.2). Фотознімки були зроблені камерою Canon A650 IS з роздільною здатністю 12 мегапікселів. Камеру було розміщено на висоті 1,5 м від поверхні землі. Отримані зображення мали розмір 3264 × 2448 пікселів. Геоботанічні описи рослинності виконано в кожному квадраті розміром 3 × 3 м. Проєктивний рослинний покрив оцінювався за методом спостереження відповідно до шкали 0, 10, 20, ..., 90, 100%. Встановлено, що рослинні угруповання на педоземах представлено 24 видами, на дерново-літогенних ґрунтах, на лесовидних суглинках – 29 і на сіро-зелених глинах – 28.

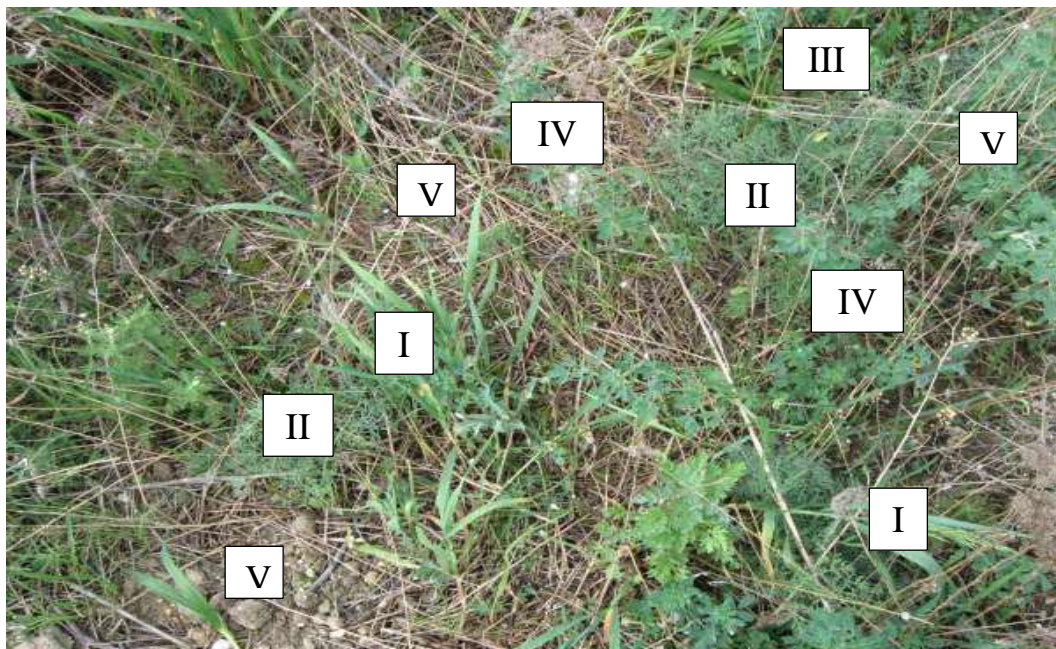


Рис. 3.1.2. Знімок поверхні технозему (знімок IMG\_0204.JPG)

Умовні позначки: I – злаки (*Bromus squarrosus* L., *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., *Elymus repens* (L.) Gould); II – жабриця рівнинна (*Seseli campestre* Besser); III – латук татарський (*Lactuca tatarica* (L.) C.A.Mey); IV – люцерна посівна (*Medicago sativa* L.), еспарцет виколистий (*Onobrychis viciifolia* Scop.); V – сухостій; VI – поверхня ґрунту

Фітоіндикаційні шкали наведено за Я.П. Дідухом (207). До едафічної фітоіндикаційної шкали віднесено показники: гідроморф (Hd), змінності зволоження (fH), аерації (Ae), режиму кислотності (Rc), сольового режиму (Sl), вмісту карбонатних солей (Ca), вмісту засвоюваних форм азоту (Nt). До кліматичних шкал належать показники: терморезимув (Tm), омброрезимув (Om), кріорезимув (Cr) і континентальності клімату (Kn). Окрім зазначених, виокремлено мікрокліматичну шкалу освітлення (Lc).

Статистичні розрахунки проведено за допомогою програми Statistica 7.0, а для проєкту статистичних обчислень R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)) застосовано бібліотеку adehabitat (208) і vegan (209). Крім того, для двовимірного картографування, оцінки геостатистичних показників і створення asc-файлів з даними просторової мінливості показників середовища використовувалася програма Surfer 8.0 і ArcGis 10.0.

Оцінка середнього з припущенням про розподіл випадкової величини за законом Пуассона, отримана за формулою (210):

$$D = -\ln \frac{n_0}{n},$$

де D – оцінка середнього,  $n_0$  – число проб без присутності особин даного виду; n – загальне число проб.

### 3.2. Метод геостатистики

Варіограма є центральною концепцією в геостатистиці, а знання її точної математичної форми дозволяє визначити просторову варіативність (212). Вона розраховується з використанням нелінійного методу найменших квадратів (213). Експериментальна варіограма побудована у вигляді двовимірного графіка, яка обирається з набору математичних функцій, що описує просторове відношення. Ця модель обирається шляхом зіставлення форми кривої експериментальної варіограми з формою кривої математичної функції.

Розраховують варіограми за допомогою методів моментів, які інколи можуть надавати хибні результати, оскільки застосовані моделі варіограм (сферична, експоненціальна і Гаусова) відрізняються недоліком гнучкості (214). Альтернативою цим моделям є варіограма Matérn, завдяки своїй гнучкості й можливості відображати різну поведінку при невеликих затримках, та спроможності описати множинність просторових процесів. З огляду на це, варіограми Matérn доцільно використовувати при відтворенні ґрунтових якостей (211). Ключовою особливістю Matérn є включення параметру гладкості, яка безпосередньо контролює кореляцію на малих відстанях (215). Коваріаційна функція Matérn має ізотропний вигляд:

$$F(h) = \frac{1}{2^{\kappa-1}\Gamma(\kappa)} \left(\frac{h}{\phi}\right)^{\kappa} K_{\nu} \left(\frac{h}{\phi}\right),$$

де  $h$  – відстань поділу;  $K_{\nu}$  – модифікована функція Бесселя другого роду порядку  $\kappa$  (216),  $\Gamma$  – гамма-функція,  $\phi$  – параметр діапазону ( $\phi > 0$ ), який вимірює наскільки швидко кореляція занепадає з відстані;  $\kappa$  – параметр гладкості.

Завдяки своїй гнучкості модель Matérn широко використовується в різних просторових ковариаціях. Параметр  $\nu$ , визначається завдяки отриманим просторовим даним, обумовлюючи гладкість просторового процесу. Зокрема, коли  $\nu = 1/2$ , ковариація Matérn зводиться до експоненційної моделі, а коли  $\nu \rightarrow \infty$ , вона наближається до Гауссої моделі (214). Якщо  $\nu = 1$ , то це відповідає функції Уайтлі (211, 213).

Крігінг – поширена техніка в геостатистиці (211). Triantafilis та ін. (217) використовували такі різновиди: звичайний крігінг, регресійний крігінг, тривимірний крігінг і кокрінг. Порівнявши методи на основі точності та систематичності помилок в оцінках засоленості ґрунту вчені виявили, що регресійний крігінг демонструє найкращі результати. У свою чергу, регресивний крігінг включає в себе різні комбінації лінійних регресій і крігінгу. Найпростіша модель заснована на регресії з подальшим звичайним крігінгом із залишками регресії (218). Він математично еквівалентний

інтерполяційному методу, який називають універсальним крігінгом і крігінгом із зовнішнім дрейфом, де допоміжні предиктори використовуються безпосередньо для вирішення ваг крігінгу (219).

Для вимірювання точності диференціальних карт ентропії використовувалася процедура перехресної перевірки, і, отже, обчислювалася нормалізована коренева середня квадратична помилка (NRMSE), середня помилка (ME) та середнє відношення відхилення у квадраті (MSDR) (220). Середню квадратичну помилку (RMSE) визначено таким чином:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}{n}}$$

Нормалізовану середньоквадратичну помилку кореня (NRMSE) обчислювали так:

$$NRMSE = \frac{RMSE}{x_{1,max} - x_{1,min}}$$

Середній коефіцієнт відхилення у квадраті (MSDR) розраховувало за формулою:

$$MSDR = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{(x_{1,i} - x_{2,i})^2}{var_i} \right]}{n}$$

де  $x_1$  – передбачення змінної X;  $x_2$  – міра цієї змінної;  $n$  – кількість записів;  $var$  – дисперсія крігінгу. Чим меншим значення NRMSE, тим точнішою карта. MSDR вказує, чи добре відтворюється дисперсія даних вимірювань за допомогою інтерполяції крігінгу, і в ідеалі вона дорівнює 1 (220). Просторові варіації предикторів та регресійних моделей залишків механічного опору ґрунту відображено за допомогою «Surfer®12 від Golden Software, LLC ([www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com))».

### 3.3. Методи вимірювання просторових та часових предикторів

Для вивчення дисперсії видового складу мікромолюсків застосовували RDA (Redundancy analysis) аналіз (221). Твердість ґрунту, електропровідність, вологість та об'ємна щільність ґрунту перед аналізом

були логарифмічно перетворені. Вперше перевірялося значення глобальної моделі RDA. Моделі ґрунтів базувались на прямому відборі та будувались за правилом подвійної зупинки (рівень значущості альфа та  $R^2_{adj}$ , розраховували з використанням усіх пояснювальних змінних) (222). Було розраховано граничний ефект моделей, у якому кожний обраний показник ґрунту використовували окремо як предиктор складу угруповання. Також було протестовано значення всіх моделей та вилучено  $R^2_{adj}$  (223). Географічні координати місць відбору проб використовували для створення набору ортогональних просторових змінних на основі власних векторів (dbMEM), кожна з яких представляє собою модель певного масштабу в межах площі відбору проб (224). Для зростання просторових змінних застосовувалася процедура прямого відбору часткових RDA. Значимість моделей ґрунту перевіряли за допомогою тесту перестановки з використанням методу monte-carlo (9999 варіантів). При дослідженні просторових dbMEM-змінних було відібрано дані угруповань, з метою визначення закономірності варіацій угруповань шляхом розподілу дисперсії між екологічним та просторовим впливом. Скалограмний підхід застосовувався для детального вивчення просторових і часових варіацій угруповань (225). З кожною dbMEM-змінною було проведено набір аналізів RDA. В першому наборі аналізів RDA використано неопрацьовані дані, а в другому – залишки екологічної моделі, в якій у якості предикторів виступали відібрані наперед екологічні змінні (226). З кожної моделі RDA вилучали  $R^2_{adj}$  для окремих dbMEM-змінних та будували їх у вигляді зіставлених гістограм (227).

Усі статистичні аналізи проводили з R (v. 3.5.0., R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AT), використовуючи такі пакети: *vegan* (v. 2.5-2, <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>) (209), *adespatial* (v. 0.3-2, <https://CRAN.R-project.org/package=adespatial>) для прямого вибору та для створення просторових фільтрів (228).



### 3.4. Методи оцінки параметрів ніші

При оцінці придатності зібраних даних, для застосування аналізу основних компонентів, використовували індекс Кайзер-Мейєр-Олкін (КМО) (229–231). Розрахунок КМО проводили в бібліотеці REdaS (232). Аналіз основних компонентів здійснювався за допомогою функції *princomp*. Оптимальна кількість основних компонентів оцінювали за допомогою паралельного аналізу Хорна (233), який проводили в бібліотеці *paran* (234).

Оцінка головних компонентів використовувалася у якості інтегральних маркерів для визначення градієнтів властивостей довкілля. Для пояснення реакції видів на градієнти навколишнього середовища використано моделі Хайсмана-Ольфа-Фреско (HOF) (235), які сприяють досягненню статистичної коректності, гнучкості та можливості екологічної інтерпретації для моделювання реакцій видів на градієнти навколишнього середовища (236). Вони вперше розроблені Хуїсманом та ін., (235) як набір з п'яти ієрархічних моделей зі зростаючою складністю. Крім того, було виявлено такі типи моделей: відсутність відповіді (I), зростаючі або спадаючі відповіді без плато (II) або з плато (III), а також асиметричні (IV) та симетричні (IV) унімодальні відповіді. Цей список моделей був доповнений сімома екологічними моделями (237). На додаток до п'яти згаданих вище типів моделей, для боротьби з видами, обмеженими граничними значеннями градієнта через конкуренцію, були включені бімодальні асиметричні (VI) та симетричні (VII) форми відповіді. Параметри екологічних ніш видів можуть бути розраховані на основі моделей та використані для подальшого аналізу (236). Для покращення результатів дослідження перевірено стабільність вибору моделей за допомогою бутстреппінга (100 вибірок, налаштування пакета за стандартом), а для підтвердження надійності моделі, також використано інформаційний критерій Акаїке, скоригованана на невелику вибірку даних (AICc, AICc, стандартне налаштування). У тих випадках, коли дві процедури

розрізнялись у виборі оптимального типу моделі, перевагу надавали моделі бутстрапінгу (236).

Реакція виду на екологічний градієнт (форма кривої відповіді) представлена сімома різними типовими моделями в межах підходу НОФ. Індекс якісної варіації (IQV) було розраховано як показник стійкості форми моделей. Цей індекс приймає значення нуля, якщо всі повторні спроби призводять до однієї і тієї ж форми моделі, та приймає значення одиниці, якщо всі типи моделей обирались з однаковою частотою (238).

Індекс розраховували таким чином: 
$$IQV = \frac{1 - \sum_{i=1}^n p_i^2}{\frac{1}{n} \times (n-1)},$$

де  $n$  – кількість типів моделей,  $p$  – частка для кожної моделі (236).

На основі моделей реагування розраховано наступні параметри екологічної ніші: оптимум виду, максимальний нахил, перегин, центральні та зовнішні межі. Оптимум виду описує максимальну ймовірність появи його уздовж градієнта середовища. Найбільший нахил відповідає найбільшому значенню першої похідної кривої виду. Зовнішні та центральні межі визначали відстань від оптимуму, відповідно до якої необхідно, щоб крива реакції знизилась на певну величину, тобто ці параметри надають швидкість зниження реакції в обох напрямках, незалежно один від одного. Центральні межі обчислювали як значення градієнта, за яких реакція досягає « $\exp(-1/2)$ » від верхнього кордону. Зовнішні межі ніші обчислювали як значення градієнта, за якою реакція досягає  $\exp(-2)$  від вершини (239). Моделі Хайсмана-Ольфа-Фреско розраховували за допомогою статистичної програми R (v. 3.6.3; R Developmental Core Team) (240), з пакетом «eNOF» (версія 1.9) (237).

**РОЗДІЛ 4.****ПРОСТОРОВА ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НІШИ *VALLONIA PULCHELLA* (Muller 1774) НА ТЕХНОЗЕМАХ****4.1. Педоземи**

При дослідженні просторової неоднорідності педоземів у межах Нікопольського марганцеворудного басейну було виявлено 124 екземпляри *Vallonia pulchella* (Muller, 1774). Так, середня щільність цього виду на педоземах становила 1,18 екз./м<sup>2</sup>.

Важливими градієнтами, які впливають на мікромолюсків, є товщина листової підстилки, вміст органічної речовини у верхньому шарі ґрунту і середньорічна температура. Остання, у свою чергу, є одним із важливих екологічних факторів. Підвищення температури наближує організми до критичних меж існування, що призводить до ризику місцевого зникнення, особливо для видів, які не можуть швидко змінювати своє поширення (241), наприклад, наземні мікромолюски. Середня температура шару 0-5 см на досліджуваному полігоні 3 травня 2019 року становила 15,7°C (табл. 4.1.1) (95% довірчий інтервал – 15,93-15,65 °C). Середня температура 26 червня 2019 року дорівнювала 34,6°C (95% довірчий інтервал – 35,36-33,87°C). Таким чином, простежується тенденція до поступового зменшення кількості молюсків від областей з відносно високою середньорічною температурою до областей з більш низькою температурою (6). Чанг і Емлен (1993) (242) довели, що для одного і того ж виду перерозподіл особин у ландшафті сильно обмежується високою температурою і низькою вологістю. Для видів, що населяють посушливі райони та виявляють активність у короткий період часу, які вимагають декількох років для досягнення зрілості (243–245), більш тривалі посухи можуть мати важливі наслідки для динаміки популяції (246).

Електропровідність – це здатність ґрунту (суспензії) проводити електричний струм. Здебільшого цей показник залежить від концентрації

вологи, агрегатного складу, температури, щільності, гранулометричного складу ґрунту та від хімізму ґрунту (247). Проте електропровідність не впливає безпосередньо на ріст рослин, але використовується в якості непрямого індикатора для визначення в ґрунті доступних для засвоєння рослинами поживних речовин і для вимірювання рівня солоності. Встановлено, що на педоземах середнє значення цього показника складає 0,83 дСм/см, а довірчий інтервал знаходиться у межах 0,89-0,76 дСм/см. Високий показник електропровідності зумовлений більшою щільністю ґрунту. Це призводить до того, що рівень ґрунтового повітря подає, унаслідок чого електропровідність зростає. Відтак вологість у ґрунті зберігається довше, безпосередньо впливаючи на просторову організацію мікромолюска.

Показники фізичного стану ґрунту відіграють важливу роль для мікромолюсків *Vallonia pulchella* (190). Твердість ґрунту насамперед впливає на формування структури рослинного покриву (248). На досліджуваному полігоні спостерігається монотонне збільшення твердості ґрунту зі зростанням глибини. Як відомо, зі збільшенням твердості ґрунту відбувається зниження доступного кисню в ґрунтовому повітрі для кореневої системи. Це призводить до поступового зниження фізіологічної активності рослин, впливаючи на зональний розподіл мікромолюска (169). У верхньому ґрунтовому шарі твердість у середньому варіює в межах 3,00-4,03 МПа, у нижньому – 6,19-6,9 МПа (табл. 4.1.1). Обраний граничний критерій у 5 МПа відображає ліміт проникаючої можливості корневих систем рослин і зони активного пересування ґрунтових тварин (248). Згідно з нашими даними, таке високе значення зустрічається на глибині від 10 см до 35 см. Крім того, можна припустити, що саме в цьому шарі ґрунту сформовано прийнятні умови, за критерієм твердості, для зростання трав'янистих рослин. Оскільки твердість ґрунту безпосередньо впливає на формування структури рослинного покриву (248), на структуру тваринного населення, діючи на кількісний і якісний склад популяцій цієї території (169, 249).

Виявлено, що локальний максимум для коефіцієнта варіації твердості ґрунту спостерігається на глибині 0-5 см, оскільки поверхневий шар ґрунту піддається дії більшої кількості факторів, які впливають на її неоднорідність (антропогенний вплив, життєдіяльність тварин і рослин, атмосферний тиск тощо). Більшість ґрунтових тварин надає перевагу верхньому шару ґрунту, оскільки містить більше поживних (органічних) речовин (250). На рівні 20-25 см зафіксовано локальний мінімум коефіцієнта варіації. Стабільного значення він набуває на рівні 30-45 см, варіюючи у межах 19,24–19,95 %.

Таблиця 4.1.1

Едафічні маркери екологічної ніші мікромоллюска *Vallonia pulchella*  
у педоземах (n=105)

Параметри середовища	Середнє значення	Довірчий інтервал		CV, %
		95%	-95%	
1	2	3	4	5
<i>Фізичні властивості педоземів</i>				
Електропровідність, дСм/м (ЕС)	0,83	0,89	0,76	40,47
Температура ґрунту 0–5 см 30.04.19, °С	15,7	15,93	15,65	4,6
Температура ґрунту 0–5 см 26.06.19, °С	34,6	35,36	33,87	11,27
<i>Твердість ґрунту на глибині, МПа</i>				
0–5 см	3,00	3,14	2,85	25,29
5–10 см	4,03	4,18	3,89	18,60
10–15 см	5,00	5,12	4,87	13,12
15–20 см	5,23	5,33	5,13	9,80
20–25 см	5,79	5,88	5,71	7,45
25–30 см	5,86	5,98	5,75	10,30
30–35 см	5,76	5,98	5,54	19,95
35–40 см	6,19	6,41	5,96	19,24
40–45 см	6,46	6,70	6,22	19,57
45–50 см	6,90	7,11	6,66	16,83
<i>Глибина, з якої починається твердість ґрунту (см)</i>				
5 МПа	5,42	5,83	5,25	16,02
<i>Структура ґрунту, фракції розміром, %</i>				
>10 мм	10,27	10,84	9,71	28,60
7–10 мм	6,37	6,65	6,1	22,65

5–7 мм	7,79	8,02	7,56	15,21
3–5 мм	21,35	22,22	20,49	21,13
2–3 мм	17,15	17,64	16,66	14,91
1–2 мм	25,77	26,48	25,07	14,34
0,5–1,0 мм	3,23	3,43	3,04	31,44
0,25–0,5 мм	4,45	4,72	4,18	31,87
<0,25 мм	3,31	3,16	2,89	23,20

Просторова мінливість агрегатного складу є важливим показником якості ґрунту та інтенсивності процесу рекультивації (251). За рахунок агрегатоутворення в ґрунті одночасно можуть існувати організми з абсолютно протилежними вимогами до умов існування (173,252). При дослідженні агрегатних фракцій на ділянках рекультивації кількісно переважають агрегати розміром 3-5 мм (21,13 %) і 1-2 мм (25,77) (табл. 4.1.1), вони ж вважаються найціннішими, оскільки визначають стійкість ґрунтів до розмивання під дією води. Дещо поступаються, з огляду на відносну частку, фракції розміром 2-3 мм (17,15), інші фракції (< 0,25 мм, 0,25-0,5 мм, 0,5-1 мм) характеризуються участю в агрегатній структурі на рівні 5,32-7,83%. Аналіз агрегатних структур дозволяє отримати інформацію про екологічні умови, які визначають специфіку екологічної ніші наземних молюсків на педоземах (253). Для мікромольоска *V. pulchella* (Muller, 1774) оптимальні умови в педоземах спостерігаються при домінуванні агрегатів розміром 1–2 мм та 3–5 мм. Найменша чисельність припадає на агрегатні фракції <0,25 мм та 0,5-1мм. Спостерігається нерівномірний розподіл *V.pulchella* в ґрунтовому профілі, що пояснюється варіабельністю характеристик середовища, спричиняючи структурну і функціональну строкатість (254). Спираючись на результати дослідження можемо стверджувати, що мікромольоск негативно реагує на збільшення вмісту в педоземі дрібних агрегатних фракцій (розміром до 1 мм). Це спричинено тим, що дрібні агрегати формують систему пір малих розмірів, що негативно впливає на підтримання життєдіяльності *V. pulchella*.

Досить високе видове різноманіття рослинного покриву надає можливість для аналізу змін умов навколишнього середовища з використанням методу фітоіндикації (169). Фітоіндикаційне оцінювання сприяє більш стійкій характеристиці екологічної ситуації в межах досліджуваного біогеоценозу. Локальні тренди, а також мозаїчний характер організації ґрунтового тіла, визначають структуру рослинного покриву, що пояснює роль показників у структурі екологічних ніш молюсків (190,255). Це, у свою чергу, дозволяє оцінити аутоекологічні особливості молюсків та визначити структуру угруповань (256, 257). Аналіз фітоіндикаційних оцінок рослинності засвідчив (табл. 4.1.2), що вологість (Hd) ґрунту досліджуваного локалітету сприятливі для субмезофітів (10,03) (207). За режимом контрастності (fH) едафотоп відповідає гемігідроконтрастному типу (7,27), характерний для лісолугових і лугостепових екоотопів із нерівномірним зволоженням кореневого шару ґрунту при помірному або незначному його просоченні опадами і талими водами (207). За факторами кислотності (Rc) встановлено, що досліджуваний вид надає перевагу як нейтральним, так і суббазофільним ґрунтам (7,72), а його діапазон майже повністю відповідає умовам місцезнаходження. Сольовий режим (Sl) у досліджуваному локалітеті характерний семіевтрофам (7,21) – небагаті солями ґрунти з вмістом гідрокарбонатів, слідами сульфат-іонів і хлоридів. Вміст карбонатів у ґрунті досліджуваної ділянки (10,32) створює найбільш сприятливі умови для карбонатофілів. Це свідчить про те, що у ґрунті вміст CaO та MgO варіює у межах 5-10%. За вмістом засвоювання форм азоту (Nt) в угрупованні переважно представлено гемінітрофіли (4,39), підтверджуючи той факт, що рослини зростають у небагатих на мінеральний азот ґрунтах. За режимом аерації (Ae) ґрунту досліджуваний полігон належить до категорії субаерофілів (4,91) – значно аеровані ґрунти з вмістом щебеню, гірських порід. Середня оцінка терморезиму (Tm) становить 10,09, відтак відповідаючи оптимуму для мезотермів. За шкалою омброрезиму (Om), який показує ступінь аридності-гумідності кліматичних умов, мікроклімат цієї

ділянки можна оцінити як субарідофітний (11,61). Континентальність клімату визначається з урахуванням впливу на нього великих площ моря та суші, кліматоутворюючих процесів (центри атмосферного тиску, характер циркуляції атмосфери, концентрації і розподілу вологи, кількості й періодичності опадів, амплітуди температур тощо) (207). У межах цього біогеоценозу середнє значення режиму континентальності (Kn) дорівнює 8,58, що відповідає геміконтинентальному типу. Кріорежим (Cr) є гемікріофітним. Режим освітлення (Lc) – геліофітний, характерний для відкритих місць існування (207).

Таблиця 4.1.2

Рослинні маркери екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella*  
у педоземах (n=105)

Параметри середовища	Середнє значення	Довірчий інтервал		CV, %
		95%	-95%	
1	2	3	4	5
<i>Фізіономічний тип рослинного покриву</i>				
Type_1	0,256	0,25	0,24	4,47
Type_2	0,142	0,14	0,13	13,37
Type_3	0,252	0,25	0,24	13,45
Type_4	0,108	0,13	0,1	27,99
Type_5	0,01	0,02	0,01	47,35
Type_6	0,231	0,23	0,22	15,24
<i>Фітоіндикаційна оцінка за Дідухом, (подано у балах)</i>				
Hd	10,03	10,18	9,88	7,9
fH	7,27	7,43	7,11	11,58
Rc	7,72	7,78	7,65	4,54
Sl	7,21	7,32	7,11	7,45
Ca	10,32	10,4	10,24	3,9
Nt	4,39	4,47	4,31	9,5
Ae	4,91	4,95	4,86	4,9
Tm	10,09	10,17	10	4,5
Om	11,61	11,7	11,52	3,8
Kn	8,58	8,75	8,4	10,7
Cr	8,38	8,5	8,27	6,6
Lc	8,7	8,69	8,68	0,2
<i>Екоморфи за О.Л. Бельгардом</i>				



Hygr	2,3	2,36	2,23	15,12
Troph	2,53	2,57	2,49	8,04
St	0,77	0,81	0,74	22,26
Pr	0,23	0,26	0,19	75,44
Hel	3,48	3,52	3,43	6,38

Примітка: Hd – гідроморф; fH – змінність зволоження; Rc – режим кислотності; Sl – сольовий режим; Ca – зміст карбонатних солей; Nt – вміст засвоєваних форм азоту; Ae – аерація; Tm – терморезим; Om – омброрезим; Kn – континентальність клімату; Cr – кріорезим; Lc – шкала освітлення; Hygr – гігморфи; St – степанти; Pr – пратанти; Troph – трофоморфи; Hel – геліоморфи.

Екоморфний аналіз рослинності за О.Л. Бельгардом (258) є одним із дієвих засобів пізнання не тільки її структурних особливостей, але й потенційної цілісності. Цей аналіз рослинності в ценоморфічному аспекті представлено домінуванням степантів (77%). Екологічний оптимум гігморф становить 2,3 – вологий тип режиму, дані трофоморф – 2,53, що характерно середнеплодородним ґрунтам, показник геліоморф складає 3,48, що вказує на тіньовий тип режиму.

Таким чином, чисельність мікромолюска залежить від едафічних і фітоіндикаційних показників. Виявлено, що мікромолюск уникає місця з підвищеною електропровідністю. Кількість *V.pulchella* скорочується в залежності від області з відносно високою температурою до області з більш низькою температурою. Визначено, що мікромолюск *V.pulchella* чутливий до структури ґрунтових агрегатів: найбільша його кількість припадає на агрегатні фракції 3-5 мм, а найменша – 0,5-1 мм. За даними фітоіндикаційного оцінювання спостерігається варіабельність угруповання. Маргінальність екологічної ніші *V.pulchella* визначається значним вмістом карбонатних солей, високими значеннями омброклімату та незначним вмістом вільного азоту в гемінітрофільних ґрунтах. Тобто чутливість мікромолюска до факторів навколишнього середовища змінюється у просторі. Це дозволяє повноцінно вивчити екологічну нішу, зокрема не тільки положення виду в просторі, але і його функціональну роль в угрупованні.

#### 4.2. Дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах

У дерново-літогенних ґрунтах на сіро-зелених глинах виявлено популяцію мікромолюска *Vallonia pulchella*. Його щільність становила 2,27 екз/м<sup>2</sup>. Встановлено, що ряд моделей, які найкраще пояснюють розподіл видів молюсків, є видоспецифічним і залежить від характеру антропогенного ґрунту (123). У результаті рекультивації порушених земель, концепція Хатчінсона є корисною для моделювання екологічних ніш молюсків (190). На різних рівнях просторової ієрархії важливість екологічних факторів різна. Так, температура ґрунотно впливає на фізіологічні процеси живих організмів (259). Крім того, вона є одним із найважливіших екологічних факторів, від якого залежить швидкість хімічних процесів у ґрунті, та впливає на інтенсивність метаболізму тварин. Тому температура особливо позначається на розподілі мікромолюсків. Середня температура шару 0-5 см на досліджуваному полігоні 3 травня 2019 року становила 16°C (табл. 4.2.1) (95% довірчий інтервал – 16,1-15,92 °C). Середня температура 26 червня 2019 року дорівнювала 30,2°C (95% довірчий інтервал – 30,73-29,68°C). Тобто чисельність мікромолюска *Vallonia pulchella* скорочувалась у зв'язку зі зниженням температури. При температурі вище 27 °C сучасні європейські наземні молюски знаходяться в стані естивації, а при температурі нижче 10° C – впадають у сплячку або стають неактивними (260). Щодо показника електропровідності ґрунту, який дозволяє визначити його колоїдну структуру, то на момент проведення експерименту він становив 0,68 дС/см. Це засвідчує на відсутність процесів мінералізації та механічної обробки ґрунту. Такі умови оптимальні для *Vallonia pulchella*, оскільки вид уникає місця з підвищеною електропровідністю.

Твердість є показником механічної проникності ґрунту (248). Ця властивість утворюється під впливом ґрунтоутворюючого процесу. На рекультивованих землях, створених у результаті трансформованих природних ландшафтів при видобутку корисних копалин відкритим

способом, процеси ґрунтоутворення характеризуються значною просторовою гетерогенністю (261). Так, середнє значення твердості ґрунту на дерново-літогенних ґрунтах на сіро-зелених глинах зростає від 2,16 МПа до 8,37 МПа (табл. 4.2.1.). Найменшими параметрами характеризуються шари 0-5 см і 5-10 см. Зі зростанням глибини ґрунтового горизонту, твердість ґрунту збільшується вниз за профілем. Граничними показниками характеризуються шари 40–45 см та 45–50 см. Можна припустити, що зростання твердості ґрунту вниз за профілем пов'язано з ґрунтообробною технікою або великою вагою польової техніки. Це може призвести до того, що частинки ґрунту стануть більш щільно ущільнені. Оскільки частинки ґрунту стискаються разом, простір між ними (поровий простір) зменшується, зменшуючи при цьому простір для повітря і води.

Таблиця 4.2.1

Едафічні маркери екологічної ніші мікромоллюска *Vallonia pulchella* у дерново-літогенних ґрунтах на сіро-зелених глинах (n=105)

Параметри середовища	Середнє	Довірчий інтервал		CV, %
		95%	-95%	
1	2	3	4	5
<i>Фізичні властивості дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах</i>				
Електропровідність, дСм/м (ЕС)	0,68	0,73	0,63	38,93
Температура ґрунту 0–5 см 30.04.19, °С	16	16,1	15,92	3,02
Температура ґрунту 0–5 см 26.06.19, °С	30,2	30,73	29,68	9,04
<i>Твердість ґрунту на глибині, МПа</i>				
0–5 см	2,16	2,31	2,00	37,61
5–10 см	3,44	3,76	3,12	48,76
10–15 см	4,97	5,13	4,81	16,88
15–20 см	6,01	6,11	5,9	9,34
20–25 см	6,55	6,68	6,42	10,36
25–30 см	7,12	7,34	6,9	15,81
30–35 см	7,22	7,48	6,97	18,76
35–40 см	7,64	7,93	7,34	19,96
40–45 см	8,09	8,4	7,78	19,85
45–50 см	8,37	8,69	8,05	20,21

<i>Глибина (у см), з якої починається твердість ґрунту</i>				
5 МПа	6,15	6,38	5,92	21,75
<i>Структура ґрунту, фракції розміром, %</i>				
>10 мм	10,53	11,56	9,49	51,45
7–10 мм	7,26	7,73	6,8	33,36
5–7 мм	8,24	8,76	7,71	33,30
3–5 мм	18,86	20,01	17,71	31,89
2–3 мм	22,61	23,43	21,79	18,90
1–2 мм	18,09	18,74	17,43	18,90
0,5–1 мм	5,39	5,81	4,97	41,01
0,25–0,5 мм	5,92	6,44	5,41	45,63
<0,25 мм	2,69	2,88	2,5	37,26

Коефіцієнт варіації (CV) твердості ґрунту найбільш високий у шарі 5-10 см (48,76%), а на рівні 30-35 см, 35-40 см та 40-45 см він набуває стабільного значення і варіює у межах 18,76%- 19,96%. Параметр твердості ґрунту в шарі 0-5 см також має високу варіацію і становить 37,61% відповідно. Перевищення граничного, для коренів рослин, рівня твердості ґрунту (5 МПа) (251) становить 6,157. Коефіцієнт варіації цієї величини складає 21,75%. Найменша варіативність ґрунту спостерігається на рівні 15-20 см (9,34%), в інших випадках коефіцієнт варіації коливається в межах 10,36-15,81%.

Агрегатні фракції ґрунту – основні компоненти, які визначають його фізичні властивості. Структура ґрунту впливає на утримання ґрунтової вологи, затримує процес ерозії, забезпечує циркуляцію поживних речовин та регулює перебіг проникнення коренів у ґрунт (262). Стійкість агрегатних фракцій застосовують у ролі індикаторів структури ґрунту (263). Для підвищення агрономічної продуктивності та зниження ерозії ґрунту важливо враховувати структуру і стабільність ґрунтових агрегатів (264). Аналіз агрегатного складу свідчить про те, що на досліджуваному локалітеті переважають агрегати з розмірами 2-3 мм (22,61%) і 3-5 мм (18,86 %) (табл. 4.2.1.). Дещо поступаються, з огляду на відносну частку, фракції розміром 1-2 мм. Інші фракції характеризуються участю в агрегатній структурі на рівні 5,32-10,53%. Роль біорізноманіття в агрегації ґрунтів становить особливий

інтерес (265). Чисельність *Vallonia pulchella* має амплітудний характер, найбільша їх кількість припадає на агрегатні фракції 2-3 мм, а на рівні більше <10 мм та 5-7 мм спостерігається спад чисельності мікромолюска. Рівномірнішою його кількість спостерігається при зростанні дрібних агрегатів – <0,25, 0,25-0,5, 0,5-1 мм. Вочевидь нерівномірне надходження органічних залишків і кореневих ексудатів вплинуло на зональний розподіл мікромолюска. Не є винятком і те, що на чисельність *Vallonia pulchella* вплинули розміри макроагрегатів, які мають гарну водо- і повітропроникність, сприятливий температурний режим, високу протиерозійну стійкість, сприятливі умови проростання насіння та поширення корневих систем рослин. Саме це є необхідною умовою для забезпечення життєдіяльності мікромолюска, тобто його дихання і переміщення (43).

Рослинні насадження, незважаючи на їх флористичний склад, можна класифікувати за домінуючими формами життя і фізіономічними ознаками (габітус, зовнішній вигляд). Рослинний покрив є одним із пріоритетних факторів, який формує сприятливі для молюсків екологічні умови життя. Класифікація майданчиків, які базуються на відомостях про мікромолюсків, можуть бути використані для роботи з даними про рослинність і навпаки. Склад рослинності є більш важливим фактором для пояснення видової варіації молюсків, ніж хімічний склад ґрунтової води (257). Проекційне покриття постає простим і досить інформативним параметром для визначення стану рослинного покриву (266, 267). Цей процес передбачає проєкцію наземних частин рослин, окремих ярусів або всього рослинного покриву на ґрунт. Фізіономічні типи в невеликій мірі детермінують специфіку екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella* (табл. 4.2.2.). Мікромолюск надає перевагу таким фізіономічним типам, як II, III та IV, та уникає I, V та VI. Зв'язок мікромолюска з фізіономічними типами рослинності засвідчує ступінь варіабельності екологічних режимів, оскільки фізіономічні типи лише формально відчувають таксономічний склад

угруповання. Висока чисельність *Vallonia pulchella* та регуляторний вплив фізіономічних типів, вказує на домінуючу роль рослинності при формуванні угруповань наземних мікромолюсків.

Таблиця 4.2.2

Рослинні маркери екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella* у дерново-літогенних ґрунтах на сіро-зелених глинах (n=105)

Параметри середовища	Середнє	Довірчий інтервал		CV, %
		95%	-95%	
1	2	3	4	5
<i>Фізіономічний тип рослинного покриву</i>				
Type_1	8,28	9,1	7,46	51,5
Type_2	7,25	8,34	6,16	78,7
Type_3	18,7	20,75	16,7	55,9
Type_4	6,5	7,12	5,8	50,3
Type_5	9,3	10,17	8,43	49
Type_6	53,6	55,8	51,3	22
<i>Фітоіндикаційні шкали за Дідухом</i>				
Hd	8,82	10,51	7,14	6,40
fH	6,49	7,73	5,25	6,93
Rc	7,82	9,32	6,33	6,43
Sl	7,79	9,28	6,3	8,67
Ca	9,6	11,43	7,76	6,14
Nt	4,38	5,22	3,55	10,85
Ae	5,17	6,16	4,18	8,63
Tm	9,63	11,47	7,79	6,65
Om	11,29	13,45	9,13	3,75
Kp	8,61	10,25	6,69	9,84
Cr	7,81	9,3	6,32	7,60
Lc	8,72	10,38	7,05	0,48
<i>Екоморфи за О.Л. Бельгардом</i>				
Huqr	2,41	2,44	2,37	7,3
Troph	2,66	2,7	2,62	8,65
St	0,73	0,77	0,7	24,74
Pr	0,26	0,29	0,23	67,89
Hel	3,56	3,59	3,53	4,63

Примітка: Hd – гідроморф; fH – змінність зволоження; Rc – режим кислотності; Sl – сольовий режим; Ca – зміст карбонатних солей; Nt – вміст засвоюваних форм азоту; Ae – аерація; Tm – терморезим; Om – омброрезим; Kp – континентальність клімату; Cr – кріорезим; Lc – шкала освітлення; Huqr – гігморфи; St – степанти; Pr – пратанти; Troph – трофоморфи; Hel – геліоморфи.

Фітоіндикаційні шкали є важливим інструментом для отримання інформації про властивості едафотопу (268). Ці шкали застосовують для опису екологічних ніш організмів (269,270), для відбору проб і оцінки просторової організації угруповань ґрунтових тварин урбанізованих територій на різних ієрархічних рівнях (271). Ареал, у якому мешкає *Vallonia pulchella*, характеризується наступними значеннями екологічних факторів: відповідно до фітоіндикаційних оцінювань рівень вологості (Hd) едафотопу варіює в межах від 7,14 до 10,51, що відповідає умовам сприятливим для субсерофітів (207). Середнє значення режиму контрастності зволоження (fH) становить 6,49 і відповідає гідроконтрастофільному типу. Цей тип характерний для посушливих місць та локусів з підвищеною вологістю, які утворились за умов вкрай нерегулярного зволоження невеликого шару ґрунту, залитого опадами й талими водами (207) (табл. 4.2.2). Кислотний режим (Rc) представлений нейтральними ґрунтами. Сольовий режим (SI) становить субглікотрофний тип, який характеризується незначним вмістом солей, а саме: наявністю гідрокарбонатів, сульфатів і хлоридів. Уміст карбонатів у ґрунті (9,6) створює найбільш сприятливі умови для гемікарбонатофілів. Досліджувана вибірка в засвоєнні вмісту азоту (Nt) представлена гемінітрофілами. Режим ґрунтового повітря створює сприятливі умови для геміаерофобів. Терморезим (Tm) характеризує кількість тепла, що отримує територія поверхні за певний період. На досліджуваній території середня оцінка терморезиму становить 9,63, що відповідає оптимуму для субмезотермів.

Показник обморезиму інтегрує відносини впливу опадів і термічних ресурсів (207). У межах досліджуваної ділянки середнє значення фітоіндикаційної шкали омброклімату дорівнює 11,29 – такий режим сприятливий для субаридофітів. Середнє значення фітоіндикаційної шкали режиму континентальності (Kn) дорівнює 8,61, що відповідає геміконтинентальному типу. Кріорезим відображає ступінь морозності клімату – середню температуру найхолоднішого клімату (43,272). Шкала

кріоклімату варіює від 6,32 до 9,3. Середня оцінка його шкали на досліджуваній ділянці склала 7,81, що відповідає температурі найхолоднішого місяця  $-2,78^{\circ}\text{C}$ . Такий режим сприяє гемікріофітам. Світловий режим варіює в межах від 7,05 до 10,38. Середня оцінка освітлення становить 8,72 та є сприятливою для геліофітів (207).

Екоморфи переважно сприяють адаптації тварин до різних параметрів біогеоценотичного середовища. Насправді, у певному угрупованні простежується прихована варіабельність екоморф, що дозволяє надати багатовимірний опис його екоморфних структур. Аналіз рослинності представлений переважанням степантів (73%). Екологічний максимум гігроморф становить 2,41 – вологий тип режиму, трофоморф – 2,66, що є характерним для середнеплодородним ґрунтам. Показник геліоморф становить 3,56, і вказує на тіньовий тип режиму. Поряд із цим результати оцінки варіації гігроморф і трофоморф свідчать про подібний рівень варіації цих режимів (7,3% і 8,65% відповідно). Результати проведеного моніторингу вказують на істотну роль не тільки режиму вологості при формуванні популяції мікромолюска на території експерименту, а й інші екологічні чинники.

Отже, дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах створюють сприятливі умови для *Vallonia pulchella*. Щільність населення мікромолюска протягом періоду дослідження досягає суттєвого значення. Екологічна ніша *V.pulchella* продовж усього періоду дослідження визначається перевагами істотного вмісту органічних речовин та азоту, більш високими значеннями омброклімату та режиму термічності. Вміст у ґрунті агрегатів 2-3 мм збугається з більшою кількістю особин *V.pulchella*. Мікромолюск надає перевагу фізіономічним типам II, III, IV та уникає I, V, VI. Таким чином, варіювання чисельності мікромолюска відбувається під впливом едафічних і рослинних факторів. Це, у свою чергу, визначає положення виду в угрупованні та відтворює функціональну участь тварин у біоценозі та в середовищі існування.



#### 4.3. Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках

Особливо цікавим і актуальним, з практичної точки зору, є вивчення просторового розподілу видів мікромолюсків на території рекультивації. В результаті створення експериментальної ділянки, на технічному етапі рекультивації і тривалої агротехнічної меліорації порушених земель утворився мозаїчний ґрунтовий покрив (200,251). Саме первинна гетерогенність техноземів і комплексний характер протікання ґрунтоутворювального процесу на ділянці рекультивації сформувало значну різноманітність екологічних чинників, які впливають на просторову організацію мікромолюсків. При дослідженні ділянки рекультивації Нікопольського марганцеворудного басейну, а саме дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках, було виявлено 266 екземплярів *Vallonia pulchella* (Muller, 1774). Середня щільність цього виду в період дослідження склала 2,54 екз/м<sup>2</sup> (табл. 4.3.1).

Температура та вологість належать до основних чинників, які обмежують фізіологію і життєвий цикл мікромолюсків. Кожен вид має температурний інтервал, що контролює його ріст, розмноження і фізіологічні функції. Так, під час дослідження просторової організації екологічної ніші *Vallonia pulchella* (Muller, 1774) на лесоподібних суглинках, середня температура 3 травня 2019 року становила 17,2°C (табл. 4.3.1) (95% довірчий інтервал – 17,3-17 °C), а коефіцієнт варіації – 5,12%. Середня температура 26 червня 2019 року дорівнювала 34,3°C (95% довірчий інтервал – 34,9-33,7°C), а рівень варіації сягав 8,53%. Відтак, широкий температурний діапазон зумовлює більш масштабні області життя для мікромолюска, за межами якого він не може вижити. Вплив температури на мікромолюска настільки істотний, що не складно визначити закономірність його розповсюдження. Зниження чисельності популяцій здійснюється в напрямку від територій з більш високою температурою до територій з більш низькою, а

також від районів з м'яким кліматом до районів з більш континентальним. Висока температура, здебільшого може призвести до зниження рівня кисню та збільшення електропровідності ґрунту. Електропровідність є незалежною змінною, достовірним показником мінерального багатства ґрунту. Електропровідність вказує на присутність або відсутність солей, але не характеризує, які солі можуть міститися в ґрунті. Одержані дані свідчать про те, що електрична провідність ґрунту в межах ділянки рекультивації становить у середньому 0,51 дСм/см та у 95% випадків варіює в межах від 0,53 до 0,48 дСм/см. Електрична провідність ґрунту, яка перевищує 2 дСм/м є критичною для росту рослин (273). Аналіз даних дозволяє стверджувати, що зазначена електропровідність значно нижча за критичну, отже, у межах локалітету підвищена мінералізація не є обмежуючим фактором для зростання трав'янистих рослин. Рівень варіації електропровідності ґрунту не є значним ( $CV=24,47\%$ ). Саме ця особливість і формує оптимальні умови для підтримання життєдіяльності *Vallonia pulchella*.

Таблиця 4.3.1

Едафічні маркери екологічної ніші мікромоллюска *Vallonia pulchella* у дерново-літогенних ґрунтах на лесоподібних суглинках (n=105)

Параметри середовища	Середнє	Довірчий інтервал		CV, %
		95%	-95%	
1	2	3	4	5
Фізичні властивості дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах				
Електропровідність, дСм/м (ЕС)	0,51	0,53	0,48	24,47
Температура ґрунту 0–5 см 30.04.19, °С	17,2	17,3	17	5,12
Температура ґрунту 0–5 см 26.06.19, °С	34,3	34,9	33,7	8,53
<i>Твердість ґрунту на глибині, см у МПа</i>				
0–5 см	3,66	3,92	3,40	37,44
5–10 см	6,1	6,5	5,69	34,67
10–15 см	7,53	7,73	7,34	13,30
15–20 см	8,00	8,13	7,87	8,70
20–25 см	8,48	8,63	8,33	9,1

25–30 см	8,71	8,91	8,51	11,96
30–35 см	8,66	8,97	8,35	18,85
35–40 см	8,85	9,11	8,60	17,31
40–45 см	9,18	9,49	8,86	18,13
45–50 см	9,28	9,59	8,97	17,39
<i>Глибина (у см), з якої починається твердість ґрунту</i>				
5 МПа	7,84	8,09	7,59	18,48
<i>Структура ґрунту, фракції розміром, %</i>				
>10	7,49	8,08	6,89	41,51
7–10	6,95	6,28	5,62	28,97
5–7	7,83	8,18	7,49	23,14
3–5	18,93	19,85	18,01	25,4
2–3	16,97	17,34	16,59	11,66
1–2	25,45	26,02	24,88	11,66
0,5–1	5,17	5,61	4,73	44,73
0,25–0,5	6,6	7,19	6,01	46,8
<0,25	5,62	6,03	5,2	38,5

На досліджуваному локалітеті спостерігається монотонне підвищення твердості ґрунту вниз за профілем. Середнє значення твердості ґрунту зростає від 3,66 МПа на поверхні до 9,28 МПа вниз за профілем (табл. 4.3.1). Можливо, причиною цього явища є неоднорідність гранулометричного складу, просторова неоднорідність рослинних угруповань та діяльність ґрунтової фауни. Найвищий коефіцієнт кореляції спостерігається на глибині 0-5 см (37,44 %), а на рівні 15-20 см він зменшується у 4,3 рази (8,7 %). Стабільного значення він набуває на рівні 30-50 см, коливаючись у межах (18,85–17,39 %). Локальний максимум показника спостерігається на глибині 30-35 см і становить – 18,85%. Просторова мінливість твердості ґрунту є одним з факторів, що впливають на життєдіяльність живих організмів, зокрема на рослин (гранична твердість ґрунту для коренів рослин не повинна перевищувати 5 МПа) (248, 274). Перевищення граничного для коренів рослин рівень твердості ґрунту (5 МПа) становить 7,84. При опорі ґрунту вище за 5 МПа кореневий волосок не в змозі його подолати й припиняє своє

зростання, оскільки твердість є лімітуючим фактором для рослинного покриву. Коефіцієнт варіації при цьому складає 18,48%.

Відповідно до сучасних наукових поглядів, процес агрегатоутворення регулюється не тільки рівнем вмісту органічної речовини, але і його якісним складом. За рахунок агрегатоутворення в ґрунті одночасно можуть існувати організми з абсолютно протилежними вимогами до умов існування (252). Виявлено, що ґрунтовий агрегат можна розглядати як об'єкт, котрий акумулює результати багатьох ґрунтоутворюючих процесів і становить складні фізико-хімічні та біологічні утворення. Аналіз отриманих даних свідчить про те, що на локалітеті переважають агрегатні фракції розміром 1-2 мм (25,45%) (табл. 4.3.1). Дещо поступаються, з огляду на відносну частку, фракції розміром 2-3 мм та 3-5 мм. Інші фракції (< 0,25 мм, 0,25-0,5 мм, 0,5-1 мм та >10 мм) характеризуються участю в агрегатній структурі на рівні 5,32-7,83 %. Найбільша чисельність *V. pulchella* припадає на агрегатні фракції 1-2 мм, найменша – 0,5-1 мм (унаслідок дії сонячних променів і висихання мікромолюска). Рівномірнішою чисельність мікромолюска стає при зростанні агрегатних фракцій – 5-7, 7-10, >0,10 мм. Встановлено, що агрегати різних розмірів позначились на чисельність *V.pulchella*. Це зумовлює просторовий розподіл мікромолюска, що може відіграти важливу роль у підтримці широти ґрунтового біорізноманіття та його функціонування.

На рекультивованих землях мікрокліматичні параметри характеризуються більш високою температурою і більш низькою відотною вологістю. Подібний вплив може призвести до зміни у структурі та динаміці рослинних угруповань на ділянках рекультивації. Фізіономічні типи рослинності володіють підвищеною інформаційною значимістю та слугують параметром екологічної ніші мікромолюска *V. pulchella* на техноземах (табл. 4.3.2). Мікромолюск *Vallonia pulchella* надає перевагу ділянці, на якій домінує фізіономічний тип IV, та уникає місця із переважаням типів V та VI. Збільшення проєктивного покриття бобових культур призводить до

збільшення популяції *V.pulchella*, а відкрита площа ґрунту й відмерла трав'яниста рослинність несприятливо впливають на чисельність мікромолюска.

Таблиця 4.3.2

Рослинні маркери екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella* у дерново-літогенних ґрунтах на лесоподібних суглинках (n=105)

Параметри середовища	Середнє	Довірчий інтервал		CV, %
		95%	-95%	
1	2	3	4	5
<i>Фізіономічний тип рослинного покриву</i>				
Type_1	0,09	0,1	0,09	37,2
Type_2	0,17	0,19	0,16	41,53
Type_3	0,13	0,14	0,12	47,99
Type_4	0,06	0,07	0,05	70,34
Type_5	0,12	0,12	0,11	26,03
Type_6	0,41	0,44	0,39	29,72
<i>Фітоіндикаційні шкали за Дідухом</i>				
Hd	10,2	10,46	9,94	13,32
fH	6,05	6,29	5,81	20,43
Rc	7,7	8,98	8,82	4,6
Sl	8,22	8,34	8,11	7,25
Ca	11,29	11,38	11,19	4,3
Nt	5,03	5,28	4,77	26,5
Ae	6,38	6,5	6,25	10,53
Tm	8,94	9,05	8,83	6,5
Om	11,81	11,94	11,69	5,6
Kn	8,91	9,18	8,65	15,34
Cr	7,45	7,71	7,19	18,21
Lc	8,8	8,83	8,77	1,9
<i>Екоморфи за О. Л. Бельгардом</i>				
Hygr	2,12	2,15	2,1	5,58
Troph	2,88	2,91	2,86	4,23
St	0,94	0,95	0,92	8,63
Pr	0,06	0,07	0,04	12,68
Hel	3,27	3,32	3,22	8,03

Примітка: Hd – гідроморф; fH – змінність зволоження; Rc – режим кислотності; Sl – сольовий режим; Ca – зміст карбонатних солей; Nt – вміст засвоюваних форм азоту; Ae – аерація; Tm – терморезим; Om – омброрезим; Kn – континентальність клімату; Cr – кріорезим; Lc – шкала освітлення; Nuyg – гігроморфи; St – степанти; Pr – пратанти; Troph – трофоморфи; Hel – геліоморфи.

Використання рослинності в якості індикатора полегшує отримання результатів про стан різних компонентів екосистем, у тому числі й про ступінь розвитку екзогенних процесів. Серед численного арсеналу методів визначення показників факторів середовища найбільш перспективним видається фітоіндикаційний (275, 276). Фітоіндикаційне оцінювання дозволяє диференціювати екологічну ситуацію в межах досліджуваного біогеоценозу на великомасштабному рівні. Аналіз ставлення *Vallonia pulchella* щодо кожного з розглянутих екологічних факторів підтверджує, що вологість (Hd) ґрунту досліджуваного локалітету сприятлива для субмезофітів (207). Середнє значення режиму контрастності умов зволоження (fH) становить 6,05 (табл. 4.3.2) і відповідає гідроконтрастofilьному типу. За факторами кислотності ґрунту (Rc) встановлено, що мікромолоск знаходиться у комфортних умовах (нейтральних ґрунтах), а його діапазон майже повністю відповідає умовам місцезнаходження. У досліджуваному локалітеті сольовий режим (Sl) – субглікотрофний. Це зумовлює карбонатний тип засолення, причиною якого є недостатнє вилуговування води через незначну кількість опадів і високу здатність до випаровування. Вміст карбонатів у ґрунті досліджуваної ділянки (11,29) створює найбільш сприятливі умови для карбонатofilів. Вміст вільного азоту (Nt) в ґрунті свідчить про те, що на локалітеті переважають гемінітрофіли – рослини небагатих нітрогеном ґрунтів. Режим ґрунтового повітря створює сприятливі умови для геміаерофобів. Фітоіндикація вказує, що середня оцінка терморезиму (Tm) становить 8,94, отже відповідає оптимуму для субмезотермів. Показник омброрезиму характеризується вологістю повітря та пов'язаний з витратою кількості опадів, випаровуванням і транспірацією, вологістю ґрунту, рівнем ґрунтових вод. Середнє значення мікроклімату локалітету можна оцінити як

субарідофітний. У межах цього біогеоценозу середнє значення режиму континентальності (Кп) дорівнює 8,91, що відповідає геміконтинентальному типу. Кріорежим (Сr) є гемікріофітним. Світовий режим варіює в межах від 8,83 до 8,77. Середня оцінка освітлення становить 8,8, що є сприятливою для геліофітів (207).

У межах досліджуваного полігону популяція мікромоллюска *Vallonia pulchella* розподілена нерівномірно. Цей характер розміщення може бути прокометований за допомогою вивчення екоморф. Екоморфічний аналіз у дерново-літогенних ґрунтах на лесоподібних суглинках представлений домінуванням степантів (94%). Екологічний максимум гігморморф становить 2,12 – середній тип вологості, трофоморф – 2,88, що є характерним для плодородних ґрунтів. Показник геліоморф складає 3,27, що вказує на середньотіньовий тип режиму. Встановлено, що екоморфічна структура локалітету сприятливо впливає на угруповання мікромоллюска. Оскільки, саме екоморфи як система індикаторів дозволяє визначити та повноцінно пояснити зв'язок *Vallonia pulchella* з едафотопом і рослинним покривом.

Визначено, що на лесоподібних суглинках сформувався широкий температурний діапазон, що зумовлює більш широкі області життя для мікромоллюска. Аналіз агрегатний фракцій свідчить про те, що на ділянці домінують фракції з розмірами 1-2 мм і 3-5 мм. Досліджено, що *V. pulchella* чутливий до структури ґрунтових агрегатів: найбільша їх кількість припадає на агрегатні фракції 1-2 мм, а найменша – 0,5-1 мм. Мікромоллюск надає перевагу проєктивному покриттю бобовим та злакам, а відкрита площа ґрунту й відмерла трав'яниста рослинність несприятливо впливають на його чисельність. Отримані результати фітоіндикаційного оцінювання, дозволяють стверджувати, що на дослідженій ділянці спостерігається варіабельність угруповання, причиною цього є незначний вміст вільного азоту в нейтральних ґрунтах, що, у свою чергу, впливає на трофність мікромоллюска.

#### 4.4. Порівняльна оцінка особливостей екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella* на різних типах техноземів

При вивченні техноземів було сформовано повне поняття щодо особливостей екологічних ніш наземних мікромолюсків, яке можна розглянути в комплексі факторів середовища. Ці чинники зумовлюють територіальне поширення молюсків і, отже, охоплюють простір багатьох біотопів, утворених на техноземах. Електропровідність ґрунту є надійним предиктором для визначення видового багатства та різноманітності наземних мікромолюсків. Наявність позитивного зв'язку між електропровідністю ґрунту та різноманітністю мікромолюсків свідчить про те, що вміст у ґрунті різних доступних мінералів є важливим фактором для формування їхньої популяції, однак невідомо, які мінерали найбільш важливі в цих зразках.

Електропровідність виступає в якості інформативного маркера екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella* на штучних ґрунтоподібних конструкціях (табл.4.4.1). Систематичну повторюваність цього показника у якості індикатора ніші мікромолюска встановлено в дерново-літогенних ґрунтах на лесоподібних суглинках. При цьому *V.pulchella* негативно реагує на зростання електропровідності. Оскільки є невід'ємні фактори, які впливають на електропровідність – мінеральні речовини, мікроклімат та текстура ґрунту, які неможливо змінити. Саме з цієї причини варіабельність електропровідності, можливо, пов'язана з деякими властивостями ґрунту, що є важливими для утворення екологічних режимів, на які реагує мікромолюск. Не виключено, що домінуючим показником варіабельності електропровідності виступають й інші показники. Це свідчить про те, що залежність чисельності популяції *V.pulchella* від електропровідності також може змінюватись. Ця тенденція призводить до того, що тільки для одного типу техноземів встановлено сталу залежність чисельності від електропровідності.



Едафічні маркери екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella* у різних типах техноземів

Предиктор	<i>Vallonia pulchella</i>		
	GG	LL	PZ
Електрична провідність, дСм/м			
ЕС		↓	
Агрегатна структура, розмір агрегатів, в %			
>10 мм	↓		↑
7–10 мм		↑	
5–7 мм		↑	
3–5 мм			↑
2–3 мм		↑	
1–2 мм		↑	↑
0,5–1 мм			↓
0,25–0,5 мм	↓	↓	
<0,25 мм			
Твердість ґрунту на глибині, у МПа			
0–5 см		↑	
5–10 см		↑	
10–15 см	↓	↑	
15–20 см		↑	↑
20–25 см	↓	↑	↑
25–30 см			
30–35 см			↓
35–40 см			
40–45 см			
45–50 см			

**Умовні позначки:** ↑ – маргінальність екологічної ніші за цією ознакою перевищує середнє квадратичне відхилення серед маргінальностей за усіма ознаками; ↓ – аналогічно менше середнього квадратичного відхилення; GG – дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах; LL – на лесоподібних суглиниках; PZ – педоземи

Ґрунтові агрегати – це сукупність первинних ґрунтових часток, зчеплених один з одним більш міцно, ніж з іншими прилеглими частинками. Більшість ґрунтів природним чином розпадаються на агрегати тієї чи іншої форми. До найважливіших фізичних аспектів варто віднести: розмір, щільність, стабільність, структуру, а також їх вплив на перенесення рідин, розчинників, колоїдів і тепла. Агрегатні фракції є джерелом інформації про стан екологічних умов у яких мешкають наземні мікромолюски. Найбільша

чутливість мікромолюска *V.pulchella*, щодо агрегатної структури ґрунту, спостерігається до дерново-літогенних ґрунтах на лесоподібних суглинках (6 значимих маркерів екологічної ніші), дещо менша чутливість до педоземів (5 маркерів), а найменша – до агрегатної структури дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зеленій глині (2 маркери). Мікромолюск негативно реагує на збільшення вмісту в рекультоземах дрібних агрегатних фракцій (розміром до 1 мм). В педоземах мікромолюск більш чутливий до негативного впливу фракцій розміром 0,5–1 мм, на лесоподібних суглинках мікромолюск негативно реагує на вплив фракцій розміром 0,25-0,5 мм, на сіро-зелених глинах – до негативного впливу всіх дрібних агрегатів. Найбільш сприятливі умови для *V.pulchella* спостерігаються при домінуванні на техноземах середніх за розміром фракцій. Слід відзначити, що продукти розпаду органічних речовин виконують функцію клею, об'єднуючи мікроагрегати в макроагрегати, і навпаки, макроагрегати здатні розпадатись за допомогою фізичної дії на агрегати з домінуючим розміром > 0,25 мм або розміром 2-5 мм. Однак цей механізм спроможний по різному впливати на екологічну ситуацію. В результаті спостерігається складність щодо визначення оптимуму агрегатної структури як маркера екологічної ніші мікромолюска *V.pulchella*. Проте, іноді можливо визначити найбільш сприятливих умови для мікромолюска. В техноземах на сіро-зелених глинах оптимальні умови *V.pulchella* формуються при зменшенні вмісту макроагрегатів, на лесоподібних суглинках оптимум спостерігається при домінуванні агрегатів розміром менше 3–5 мм, а в педоземах – з розмірами понад 2–3 мм.

На техноземах найменша мінливість твердості ґрунту для мікромолюска спостерігається на сіро-зелених глинах (2 значимих маркера екологічної ніші), дещо більша чутливість на педоземах (3 маркери), і найбільша – на лесоподібних суглинках (5 маркерів). Мікромолюск чутливий до глибини 15–20 см на сіро-зелених глинах, на лесоподібних суглинках цей показник знаходиться на рівні 25–30 см, а на педоземах – до глибини 10-15

см. Для визначення екологічної ніші мікромолюска найбільше значення має твердість дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках, а найменше – для техноземів на сіро-зеленій глині.

Фізіономічна характеристика рослинності здебільшого формує особливості екологічної ніши *Vallonia pulchella*. Так, для мікромолюска найбільше значення фізіономічної структури рослинного покриву спостерігається на сіро-зелених глинах (4 значимих маркера екологічної ніши), дещо менша чутливість на лесоподібних суглинках (3 маркери), і найменша – на педоземах (2 маркери) (табл. 4.4.2). Для наземних мікромолюсків сприятливі умови формуються при домінуванні фізіономічного типу I. Із цього випливає, що групи індикаторів I типу – злаки, зумовлюють до підвищення чисельності *V. pulchella*, а відкрита поверхня ґрунту та мертвий покрив слугують несприятливими факторами, які позначаються на популяції мікромолюска. Це свідчить про те, що наявність рослинного покриву позитивно впливає на чисельність *V. pulchella*. Решта фізіономічних типів рослинності (II – IV), в залежності від конкретних умов, або впливають на численість мікромолюска, або ні. Крім того, це варіювання простежується на різних типах рекультоземів.

Таблиця 4.4.2

Рослинні маркери екологічної ніші мікромолюска *Vallonia pulchella* у різних типах техноземів

Предиктор	<i>Vallonia pulchella</i>		
	GG	LL	PZ
Фізіономічні типи			
Type_1	↑	↑	
Type_2			↓
Type_3	↑	↑	↑
Type_4			
Type_5	↓	↓	
Type_6	↓		↓
Фітоіндикаційні оцінки екологічних факторів			
Hd	↓	↑	↑
fH			↓
Rc			

Sl			
Ca	↑	↑	
Nt	↑		
Ae			
Tm	↓	↑	
Om	↑	↓	
Kn			↓
Cr			↓
Lc	↑	↑	
Екоморфи за О. Л. Бельгардом			
Hygr			↑
Troph	↓	↑	
St		↑	
Pr			
Hel	↓		

**Умовні позначки:** ↑ – маргинальність екологічної ніші за цією ознакою перевищує середнє квадратичне відхилення серед маргинальностей за усіма ознаками; ↓ – аналогічно менше середнього квадратичного відхилення; GG – дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах; LL – на лесоподібних суглинках; PZ – педоземи

Рослинний покрив як індикатор умов середовища, широко використовується нині різноманітними науковими й виробничими організаціями. Метод фітоіндикації дозволяє визначити поточну ситуацію екологічної ніші мікромолюска *V. pulchella*. Найбільша чутливість мікромолюска до екологічних режимів спостерігається на сіро-зелених глинах (6 значимих маркерів екологічної ніші), дещо менша – на лесоподібних суглинках (5 маркерів), і найменша – на педоземах (5 маркерів).

За результатами можна встановити, що у період дослідження чутливість *V. pulchella* до таких екологічних чинників як кислотність, аерація та до сольового режиму не виявлено. Це свідчить про те, що вид знаходиться в оптимальних умовах за цими показниками, оскільки чисельність мікромолюска зростає. Щодо терморезиму, то вплив цього параметра парадоксальний: на лесоподібних суглинках – позитивний, а на сіро-зелених глинах – негативний. Аналогічна ситуація характерна для омброрезиму: на сіро-зелених глинах показник позитивний, а на лесоподібних суглинках –

негативний. При збільшенні режиму кріоклімату на педоземах, простежується тенденція до зниження чисельності *V. pulchella*, тоді як в інших техноземах відбувається його активізація. Режим вологості на педоземах негативно впливає на мікромолюска, хоча на лесоподібних суглинках та на сіро-зелених глинах вид знаходиться в зоні комфорту. За шкалою освітлення популяція виду зростає на лесоподібних суглинках та на сіро-зелених глинах, а на педоземах чисельність залишається стабільною.

Екоморфи адаптують ставлення живих організмів до впливу екологічних факторів. Особливості екоморфічної структури локалітету має позитивний вплив на угруповання *V. pulchella*. Оскільки саме екоморфи як система показників надають не тільки можливість визначити, але і повністю пояснити взаємозв'язок мікромолюсків з едафотопом і рослинністю. Так, для мікромолюска найменша чутливість за екоморфічним аналізом спостерігається у педоземах (1 значимий маркер екологічної ніші), а на сіро-зелених глинах та на лесоподібних суглинках цей показник однаковий (2 маркери). Для мікромолюска сприятливі умови формуються при домінуванні степантів на лесоподібних суглинках, а на сіро-зелених глинах та педоземах вид залишається стабільним. Щодо трофоморфів, то вплив цього параметру різноспрямований: на лесоподібних суглинках чисельність *V. pulchella* зростає, а на сіро-зелених глинах падає. За показником геліоморфів оптимальні умови формуються на лесоподібних суглинках та на педоземах, оскільки встановлено, що середньотіньовий тип режиму позитивно впливає на чисельність мікромолюска. Чутливість мікромолюска до показника гігроморф не виявлено на сіро-зелених глинах та лесоподібних суглинках.

#### 4.5. Агрегатна структура ґрунту як маркер екологічної ніші

Значна частина природних явищ, при вивченні в контексті екології, біології та природокористування, має сильно виражений просторовий

характер. При вивченні таких феноменів недостатньо стандартних математико-статистичних процедур, необхідно використовувати спеціальні методи, основу яких складає геостатистика. Такі показники як нагет-ефект, частковий поріг, просторова залежність (SDL), радіус впливу визначаються за допомогою варіограм. Варіограма в геостатистиці слугує для кількісного опису просторової безперервності та для моделювання просторової кореляції (277). Геостатистичний аналіз був проведений з метою виявлення закономірностей розподілу агрегатних фракцій у просторі. Також, цей аналіз надав можливість інтерполювати значення для місць, в яких не проводилось вимірювання, і на основі його результатів будувати карти просторового розподілу даних, представлених у вигляді екогеографічних змінних, у термінах факторного аналізу екологічної ніші (рис. 4.5.1.).

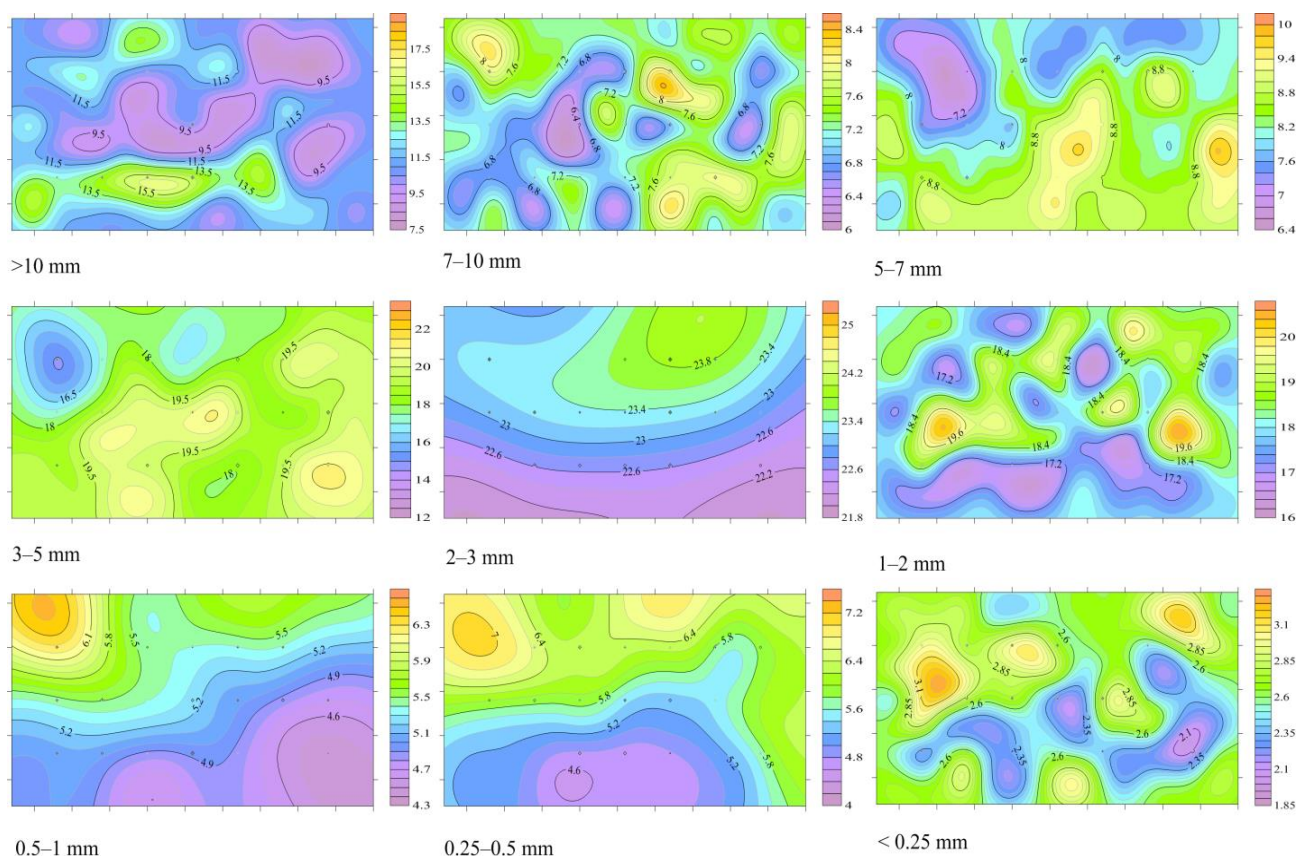


Рис. 4.5.1. Просторове варіювання агрегатних фракцій

У процесі рекультивації земель важливо обрати оптимальну стратегію управління, щоб не тільки створити бажаний рослинний покрив, але і

сприяти збереженню макроагрегатної структури в ґрунті (278, 279). Аналіз агрегатних структур у дерново-літогенних ґрунтах на сіро-зелених глинах свідчить про те, що переважають агрегатні фракції за розміром від 1–2 до 3–5 мм, вміст яких становить від  $18,1\pm 0,12$  до  $23,0\pm 0,09\%$  (табл. 4.5.1.). Просторове варіювання цих фракції характеризується помірним рівнем просторової залежності, про що свідчить показник SDL  $24,68\text{--}52,55\%$ . Існували два локальні максимуми просторової залежності: для сукупних фракцій 0,5–1 мм та 5–7 та 7–10 мм. Відповідно до цього локальний мінімум просторової залежності характерний для агрегатних фракцій розміром 2–3 мм. Практичний радіус впливу варіограми знаходиться в діапазоні 5,80–38,83 м. Для агрегатів розміром 0,5–1 мм цей показник досягав свого максимуму (38,85 м). Мінімальний показник практичного радіусу характерний для агрегатів 1-2 мм і становить 5,80 м. Крім того, зі збільшенням розміру фракцій практичний радіус монотонно зменшувався.

Таблиця 4.5.1.

Описові та геостатистичні параметри варіювання вмісту агрегатних фракцій

Fraction, mm	Mean, %	Phi	Pr_Range	Sill	Nugget	SDL	Kappa	NRMSE	ME	MSDR	R <sup>2</sup> _cross
> 10	$11.2\pm 0.27$	0.57	6.42	4.66	3.19	40.62	10	0.20	-0.0009	0.65	0.36
7–10	$7.2\pm 0.06$	0.59	6.60	0.31	0.15	33.15	10	0.24	0.0014	0.76	0.23
5–7	$8.3\pm 0.10$	3.84	14.68	0.66	0.34	34.19	0.9	0.24	0.0003	0.66	0.33
3–5	$18.8\pm 0.21$	2.44	12.83	2.45	2.18	47.10	1.9	0.17	0.0011	0.63	0.37
2–3	$23.0\pm 0.09$	2.24	25.16	0.49	0.54	52.55	10	0.25	-0.0027	0.71	0.28
1–2	$18.1\pm 0.12$	0.52	5.80	1.12	0.55	32.95	10	0.22	-0.0028	0.62	0.40
0.5–1	$5.2\pm 0.06$	7.97	38.85	0.38	0.12	24.68	1.6	0.18	0.0009	0.40	0.59
0.25–0.5	$5.7\pm 0.09$	8.25	36.84	1.02	0.41	28.60	1.3	0.22	0.0030	0.54	0.46
<0.25	$2.6\pm 0.04$	0.58	6.55	0.09	0.05	38.14	10	0.22	0.0010	0.68	0.31

**Умовні позначки:** Phi – радіус впливу, м; Pr\_Range – практичний радіус впливу, м; Sill – частковий поріг; Nugget – наггет-ефект; SDL – рівень просторової залежності, %; Карра – порядок моделі Matter; NRMSE; ME; MSDR

Радіус впливу вказує на відстань, після якої варіограма перестає збільшуватись (277). Найбільший показник радіусу впливу притаманний для

агрегатів 0,25–0,5 мм і становить 8,25 м. Мінімальний показник радіусу впливу між точками простору характерний для агрегатів 1-2 мм і дорівнює 0,52 м. Для агрегатів 2-3 мм і 3-5 мм радіус впливу набуває стабільного значення і знаходиться у межах 2,24–2,44 м. Але при збільшенні розмірів агрегатів цей показник стрімко зменшується і радіус впливу складає 0,57-0,59 м.

Нагет-ефект відображає просторову компоненту мінливості ознаки (280). Спільний облік часткового порогу і нагет-ефекту дозволяє оцінити рівень просторової залежності. Цей показник змінюється від 0 до 100%. Якщо просторове відношення знаходиться в межах 0-25%, то спостерігається сильна просторова залежність; якщо в межах 25-75%, то в такому випадку просторова залежність є помірною; а якщо перевищує 75% – просторова залежність проявляється не істотно (281). Значення нагет-ефекту досягає максимуму для агрегатів  $> 10$  мм та становить 3,19. Мінімальний показник спостерігається для агрегатів розміром  $< 0,25$  мм. Стабільного значення він набуває при агрегатних фракціях 1-2 мм та 2-3 мм, і знаходиться у межах 0,54-0,55. Тобто на локалітеті спостерігається неоднорідність досліджуваної ознаки. Це може бути зумовлено тим, що у ґрунті формування просторової неоднорідності агрегатних фракцій відбувається під прямим впливом певного фактора або декількох факторів. Останні, у свою чергу, полегшують встановлення причин, що породжують цю неоднорідність (277).

Агрегатні фракції є основним компонентом структури ґрунту, що дозволяє вивчити її фізичний стан як середовище існування живих організмів. Просторове варіювання агрегатних фракцій може впливати на організацію угруповань ґрунтових тварин (223, 282). Ґрунтові агрегати також сприяють формуванню унікальної екологічної ізоляції мікробного угруповання в ґрунті. Ґрунтові агрегати можуть слугувати притулком для мікробів від хижаків (283). Нині практично відсутні дослідження щодо впливу агрегатних фракцій ґрунту на структурно-функціональну та адаптаційну особливість мікромолюсків. Можливим видається те, що



органічні речовини в ґрунтах побічно впливають на мікромоллюсків, вимагаючи глибокого розуміння структури та утворення агрегатів. Мінливість агрегатних фракцій характеризується просторовою закономірністю. Причиною цього можуть слугувати просторові особливості варіювання фракцій, оскільки облік екологічних характеристик на сіро-зелених глинах не може бути цілком враховано за допомогою обраної дистанції між точками випробування. Експериментально, певні значення практичних діапазонів перевищують відстань між точками відбору проб, вказуючи на те, що обрана стратегія відбору проб дозволяє оцінити просторову мінливість агрегатних структур ґрунту.

Агрегація ґрунту вивчалась здебільшого у сільськогосподарському контексті. Оцінювалась роль обробки ґрунту, його текстура і наявність вуглецю в сільськогосподарських землях як фактора, що впливає на агрегування (284–286). Також агрегатні фракції характеризуються специфічними особливостями просторового розподілу в технозомах (254). При вивченні агрегатних фракцій неможливо знайти універсальну модель для опису просторової варіації серед традиційних. Тому модель Matter є найбільш придатною для врахування особливостей просторових структур агрегатних фракцій. Цю модель можна розглядати як узагальнений ряд теоретичних моделей варіограм (211). Гаусівська модель є найбільш відповідною для дослідження просторового варіювання агрегованих фракцій, оскільки *Kappa* прагне до нескінченності. Функція Уітгла (287) найкраще підходить для фракцій 5–7 мм, оскільки параметри *Kappa* були дуже близькими до 1. Для агрегатів розмірами 0,25–0,5, 0,5–1 та 3–5 мм неможливо вибрати відповідну модель серед традиційних, тому найкраще підходить тільки модель Matérn.

Агрегація або агрегування в ґрунті є результатом взаємодії низки фізичних, хімічних і біологічних факторів зі складними механізмами зворотного зв'язку (288–290). Перетворення і переміщення органічної речовини у ґрунті – це динамічний процес, на який впливає клімат, тип

грунту, рослинність і ґрунтові організми. Всі ці фактори діють в ієрархічному просторовому масштабі. Органічні речовини є основними сполучними компонентом ґрунтових агрегатів, завдяки яким простежується зв'язок між розподілом структурних агрегатів та біологічними функціями ґрунту. Вміст органічної речовини у досліджуваному полігоні варіює в межах 0,22-1,48% (табл. 4.5.2). Такий незначний вміст органічної речовини знижує рівень біологічних процесів, обмежує агрохімічні властивості ґрунту, водний режим, ґрунт ущільнюється, збільшуються енерговитрати на його обробку.

Таблиця 4.5.2.

Описовий та статистичний вміст органічних речовин, гранулометричного складу ґрунту, рН і водної витяжки ґрунту за іонним складом (N = 105)

Властивості	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Стандартне відхилення
Вміст органічних речовин				
Органічна речовина, %	0.60±0.015	0.22	1.48	0.20
рН та водна витяжка ґрунту за іонним складом				
рН	7.16±0.019	6.50	7.80	0.25
Cl <sup>+</sup> , meq L <sup>-1</sup>	0.39±0.007	0.19	0.76	0.09
SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> , meq L <sup>-1</sup>	0.42±0.008	0.23	0.73	0.10
Ca <sup>2+</sup> , meq L <sup>-1</sup>	0.49±0.008	0.34	1.16	0.10
Mg <sup>2+</sup> , meq L <sup>-1</sup>	0.26±0.011	0.00	0.72	0.14
HCO <sub>3</sub> <sup>+</sup> , meq L <sup>-1</sup>	1.36±0.019	0.89	2.38	0.25
Ka <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup> , meq L <sup>-1</sup>	1.42±0.026	0.36	2.52	0.33
Вміст карбонату та гранулометричний склад (за Н.А.Качинським)				
Вміст карбонату, %	22.86±1.43	11.40	47.30	9.52
Середній та крупний пісок (1–0,25 мм)	1.68±0.25	0.21	6.18	1.67
Дрібний пісок 0,25–0,05 мм	17.22±2.00	0.06	62.84	13.27
Грубий мул (0,05–0,01 мм)	15.54±1.62	4.12	37.08	10.74
Середній мул (0,01–0,005 мм)	7.68±0.80	0.00	24.72	5.28
Тонкий мул (0,005–0,001 м)	4.88±0.32	0.21	8.24	2.15
Глина (<0,001 мм)	53.00±2.31	18.62	86.52	15.29
Фізична глина (<0,01 мм)	65.56±2.46	26.86	95.00	16.31

Біологічні процеси в ґрунті безпосередньо залежать від умов, створених для існування ґрунтової фауни. Підтримка рН ґрунту сприятливо

позначається на функціонуванні ґрунтового та нормального розвитку рослин. Останні ж, у свою чергу впливають на просторовий розподіл тварин у ґрунті. Показник рН вказує на те, що для дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах притаманне слаболужне середовище, яке найбільш сприятливо впливає на зростання та розвиток рослин.

Одним з показників валового складу ґрунту є вміст в ній карбонатів. На досліджуваному локалітеті вміст карбонатів коливається від 11,10 до 47,30%. Вміст істотного відсотка карбонатів у ґрунті запобігає виникненню кислотності, а в деяких випадках сприяє появі лужності, що суттєво позначається на мобільності багатьох речовин у ґрунті та на агроекологічні характеристики також. Згідно з номенклатурою Н.А.Качинського (291), обстежений локалітет за гранулометричним складом може бути віднесений до середніх мулистих глин. Аналіз просторової варіації ґрунтів за цими показниками продемонстрував, що просторової варіаційної складової не існує, тому вона не використовувалася для опису просторових закономірностей мікромолюсків.

Профільний розподіл фізичних властивостей у дерново-літогенних ґрунтах на сіро-зелених глинах свідчить про те, що в дослідженому горизонті вміст води збільшується у профілі з глибиною (табл. 4.5.3). Значення об'ємної щільності варіює від  $1,12 \pm 0,05$  до  $1,29 \pm 0,13$  г/см<sup>3</sup> при медіані  $1,17 \pm 0,11$  г/см<sup>3</sup>. Вниз за профілем на глибині 20-30 см спочатку відбувається спад показника, далі об'ємна щільність на глибині 80-90 см починає збільшуватись до  $1,27 \pm 0,16$  г/см<sup>3</sup>. Насипна щільність твердої фази в профілі суттєво не змінювалась. Вниз за профілем ґрунту пористість зменшувалась як за рахунок скорочення міжагрегатної пористості, так і внаслідок зменшення пористості агрегатів. Максимальне значення показника спостерігається на глибині 30-40 см і складає  $55,91 \pm 0,19\%$ , а мінімальне – 90-100 см і становить  $49,61 \pm 0,10\%$ .

## Профільний розподіл фізичних властивостей технозолу

Рівень грунтового шару, см	Вміст води (%), стандартна помилка $\pm$	Насипна щільність (г/см <sup>3</sup> ), стандартна помилка $\pm$	Щільність твердої фази (г/см <sup>3</sup> ), стандартна помилка $\pm$	Пористість(%), стандартна помилка $\pm$
0–10	15.34 $\pm$ 0.13	1.20 $\pm$ 0.14	2.53 $\pm$ 0.15	52.57 $\pm$ 0.14
10–20	16.51 $\pm$ 0.16	1.23 $\pm$ 0.19	2.54 $\pm$ 0.11	51.57 $\pm$ 0.19
20–30	17.50 $\pm$ 0.15	1.24 $\pm$ 0.07	2.54 $\pm$ 0.03	51.18 $\pm$ 0.20
30–40	24.76 $\pm$ 0.10	1.12 $\pm$ 0.05	2.54 $\pm$ 0.10	55.91 $\pm$ 0.19
40–50	25.97 $\pm$ 0.15	1.14 $\pm$ 0.09	2.54 $\pm$ 0.15	55.12 $\pm$ 0.23
50–60	25.30 $\pm$ 0.12	1.15 $\pm$ 0.10	2.55 $\pm$ 0.16	54.90 $\pm$ 0.27
60–70	25.30 $\pm$ 0.20	1.16 $\pm$ 0.09	2.55 $\pm$ 0.09	54.51 $\pm$ 0.10
70–80	19.04 $\pm$ 0.19	1.15 $\pm$ 0.19	2.55 $\pm$ 0.05	54.90 $\pm$ 0.17
80–90	21.57 $\pm$ 0.16	1.27 $\pm$ 0.16	2.55 $\pm$ 0.16	50.20 $\pm$ 0.12
90–100	23.67 $\pm$ 0.14	1.29 $\pm$ 0.13	2.56 $\pm$ 0.13	49.61 $\pm$ 0.10

Розподіл екогеографічних змінних у межах досліджуваного полігону може розглядатись як загальний розподіл. Інформація про просторову організацію тварин дозволяє порівняти розподіл ресурсів всередині ділянки, а також їх особливе розміщення у місцях, де були знайдені мікромолюски. Мікромолюск *V. pulchella* надає перевагу місцям, які можна визначити кількісно, порівнявши глобальний і частковий розподіл. Вочевидь, той факт, що загальний та частковий розподіли не збігаються, це вказує на структуровану роль відповідної змінної у визначеній формі екологічної ніші (рис. 4.5.2).

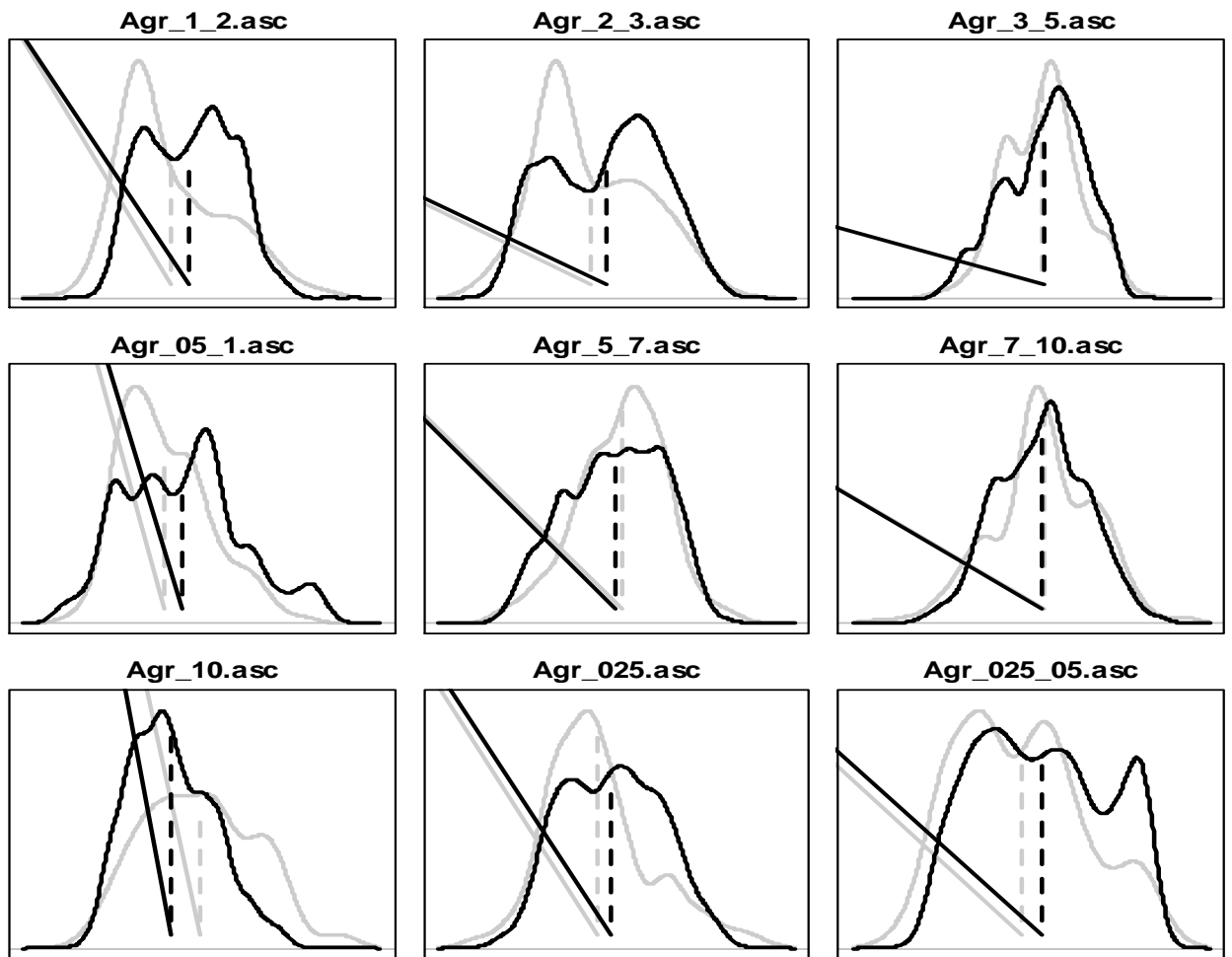


Рис. 4.5.2. Гістограми загального розподілу агрегатних фракцій ґрунту по полігону (чорні лінії) та часткового розподілу агрегатних фракцій у точках, де було виявлено *Vallonia pulchella* (сірі лінії). Позначення: Agr\_10 – Agr\_025 – це сукупні частки розміром > 10, ..., <0,25 мм

Оцінка параметрів екологічної ніші може бути отримана за допомогою ENFA-підходу, який дозволяє виділити осі маргінальності та спеціалізації екологічної ніші *Vallonia pulchella* на підставі агрегатних фракцій ґрунту в якості предикторів (рис. 4.5.3.).

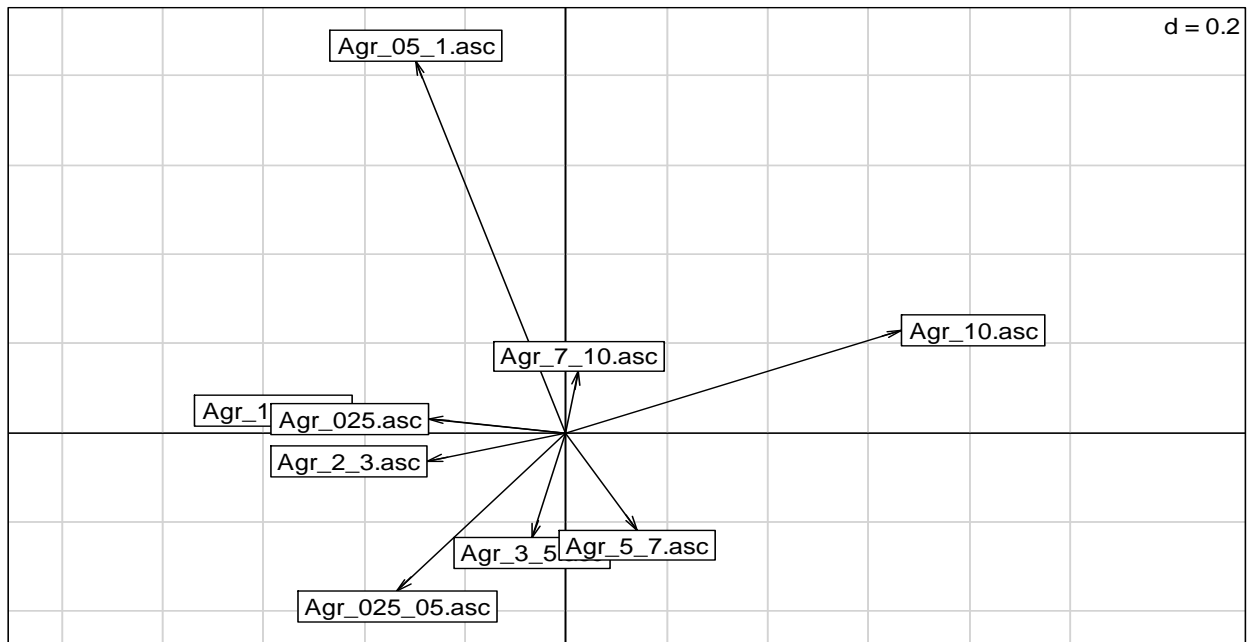


Рис. 4.5.3. Кореляція між вмістом агрегатних фракцій ґрунту та осями, екстрагованими в результаті аналізу ENFA: вісь  $x$  є вісю маргінальності, а вісь  $y$  – вісь спеціалізації

Тест на статистичну значимість засвідчив, що власні числа осей маргінальності екологічної ніші *Vallonia pulchella* ( $\gamma_{\text{marg}} = 0,98$ ,  $p < 0,001$ ) та осі спеціалізації ( $\gamma_{\text{spec1}} = 1,94$ ,  $p < 0,03$ ) значно відрізняються від власних чисел, одержаних внаслідок аналогічної статистичної процедури для випадкових альтернатив. За результатами ENFA-підходу можна стверджувати, що маргінальність екологічної ніші *Vallonia pulchella* тісно пов'язана з мінливістю агрегатної структури: мікромоллюск надає перевагу ділянкам, де переважають агрегати розміром від 5–7 до 10 мм та уникає ділянок, на яких вміст дрібних агрегатів зростає. Такий результат є цілком очікуваним завдяки пропорційності та неоднорідності ґрунту, що індукується агрегатними фракціями та розмірами мікромоллюсків.

Оптимум екологічної ніші *Vallonia pulchella* можна охарактеризувати значенням екологічних параметрів, найбільш важливих для визначення осей маргінальності та спеціалізації. Таким чином, оптимум екологічної ніші може бути представлений інтегральними змінними, що є основою відображення в географічному просторі індексу переважання місцеперебувань (*HSI*) (рис. 4.5.4).

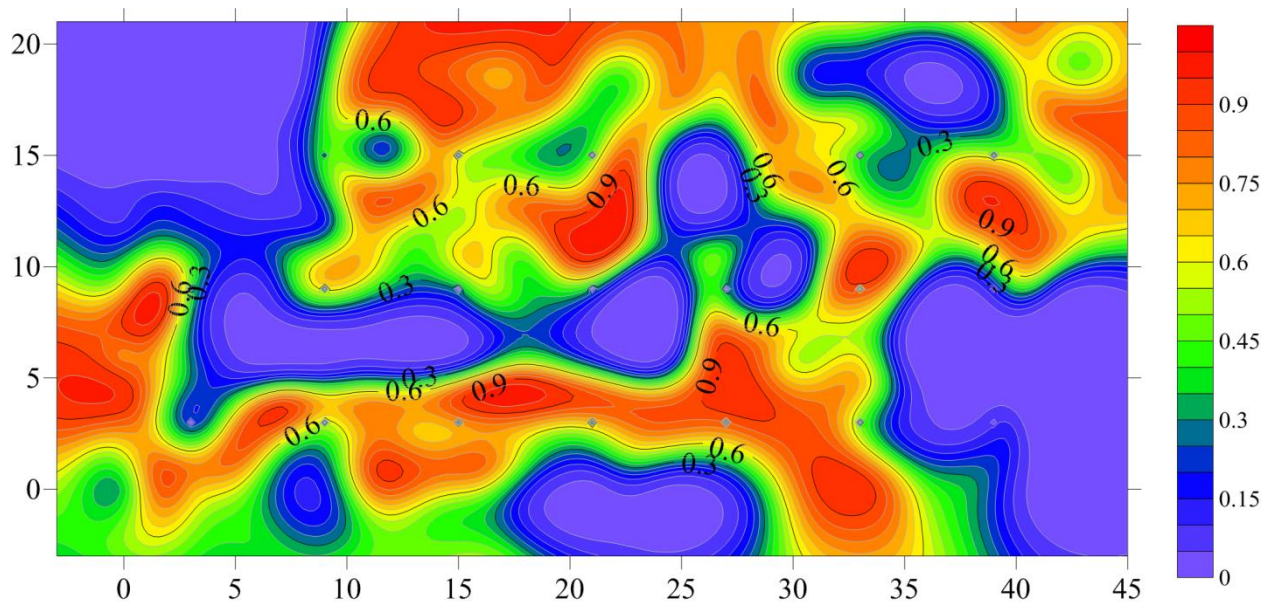


Рис. 4.5.4. Просторовий розподіл індексу переваги місцеперебування (HSI) для *Vallonia pulchella* в межах експериментальної ділянки на сіро-зелених глинах на підставі ENFA-процедури.

Осі маргінальності та спеціалізації корелюють як з едафічними факторами, так і з фітоіндикаційними показниками (табл. 4.5.4), що у свою чергу вказують на те, що оптимальні умови для мікромолюска можливі, якщо оптимальні значення всіх відповідних параметрів виникають одночасно. Ще одним важливим результатом є те, що осі маргінальності та спеціалізації екологічної ніші *Vallonia pulchella* співвідносяться із властивостями екосистем, які знаходяться на іншому масштабному рівні. Твердість ґрунту вимірювалася на глибині, де трапляння мікромолюска мало ймовірно. Оскільки більшість ґрунтових тварин трапляються у верхньому шарі ґрунту, тому що він містить поживні речовини у формі органічних речовин. Вісь маргінальності екологічної ніші *Vallonia pulchella* корелює з показниками твердості ґрунту на глибині від 0–5 до 20–25 см, а спеціалізація корелює на глибині 25–35 см. Це вказує на те, що твердість глибоких ґрунтових шарів впливає на розподіл моллюсків, і дозволяє розглядати цей показник як результат опосередкованого впливу через структуру рослинності. Опис рослинності також робився з розміром  $3 \times 3$  м, що значно перевищувало розмір ґрунтового зразка 10 г, в якому було зафіксовано мікромоллюсків.

Встановлено, що вісь маргінальності корелює зі шкалою змінності зволоження (fH), режимом кислотності (Rc), аерацією (Ae) і омброрежимом (Om), а спеціалізація – зі вмістом азоту в ґрунті та режимом кислотності. Однак між цими різними масштабами існує зв'язок. Причиною цього зв'язку є те, що властивості ґрунту й особливості рослинного покриву впливають на агрегатний стан ґрунту, який визначає умови життя мікромоллюсків.

Таблиця 4.5.4.

Кореляція осей маргінальності та спеціалізації зі змінними середовища (продемонстровані коефіцієнти кореляції, які є значущими для  $p < 0,05$ )

Фактори середовища	Маргінальність	Спеціалізація
Електропровідність, дСм/м (ЕС)	0.34	0.19
<i>Твердість ґрунту на глибині, см у МПа</i>		
0–5	–0.33	–
5–10	0.34	–
10–15	0.26	–
15–20	0.38	–
20–25	0.34	–
25–30	–	0.20
30–35	–	0.27
35–40	–	–
40–45	–	–
45–50	–	–
<i>Фітоіндикаційні шкали (за Дідухом, 2011)</i>		
Hd	–	–
fH	0.30	–
Rc	–0.31	–0.44
Sl	–	–
Ca	–	–
Nt	–	0.29
Ae	0.28	–
Tm	–	–
Om	0.23	–
Kn	–	–
Cr	–	–
Lc	–	–

Примітка: Hd – гідроморф; fH – змінність зволоження; Rc – режим кислотності; Sl – сольовий режим; Ca – зміст карбонатних солей; Nt – вміст засвоюваних форм азоту; Ae – аерація; Tm – терморегімі; Om – омброрежим; Kn – континентальність клімату; Cr – кріорежим; Lc – шкала освітлення.



Одержані результати свідчать про те, що агрегатні фракції є цінними інформаційними матеріалом, який може пояснити маргінальність та спеціалізацію мікромолюска *V. pulchella*. Специфіка водного та повітряного режиму визначається співвідношенням агрегатних фракцій, що пояснює вплив на мікромолюска. Встановлено, що мікромолюск уникає як ділянки з більш високою електропровідністю, так і ділянки з підвищеною твердістю ґрунту на глибинах. Цей зв'язок пояснюється тим, що властивості ґрунту та особливості рослинності впливають на агрегатний стан, а він в свою чергу визначає умови життя мікромолюсків.

### Висновки до розділу

1. У якості інформативного маркера для виявлення просторового розташування мікромолюска *Vallonia pulchella* було застосовано показник електропровідності. На техноземах інформаційна роль електропровідності спричинена мінливістю режиму вологості, особливостями мінерального живлення і наявністю поживних компонентів. Простежується тенденція поступового зменшення кількості мікромолюска в напрямку від областей з відносно високою температурою до областей з більш низькою температурою.
2. На техноземах виявлено монотонне збільшення твердості ґрунту зі зростанням глибини. Встановлено, що найменша мінливість твердості ґрунту для мікромолюска спостерігається на сіро-зелених глинах, дещо більша – на педоземах, і найбільша – на лесоподібних суглинках.
3. Агрегатний склад ґрунту постає цінним інформаційним ресурсом про екологічні умови, які зумовлюють властивості екологічної ніші мікромолюска. Найбільша чутливість *V. pulchella* спостерігається на лесоподібних суглинках, дещо менша – до педоземів, а найменша – характерна для дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зеленій глині. Досліджено, що мікромолюск негативно реагує на збільшення вмісту в рекультоземах дрібних агрегатних фракцій (розміром до 1 мм).

4. Фізіономічні типи рослинності наділені підвищеною інформаційною значимістю та слугують параметром екологічної ніші мікромолюска *V. pulchella* на техноземах. Для *V. pulchella* найбільше значення з огляду на фізіономічну структуру рослинного покриву мають сіро-зелені глини, дещо меншою є чутливість на лесоподібних суглинках, і найменшою на педоземах. Мікромолюск надає перевагу проєктивному покриттю бобовим та злакам, а відкрита площа ґрунту й відмерла трав'яниста рослинність несприятливо впливає на чисельність *V. pulchella*.

5. Аналіз ставлення *Vallonia pulchella* до кожного з розглянутих екологічних режимів свідчить про те, що мікромолюск найбільш чутливий до дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах, менше – до лесоподібних суглинків, і найменше – до педоземів. Зростання частки карбонатових солей, високе значення омброклімату та незначний вміст вільного азоту в едафотопі впливають на зміну чисельності мікромолюска в техноземах.

6. Агрегатна структура ґрунту відіграє важливу роль, постаючи як маркер екологічної ніші *V. pulchella*. Вміст цінних, в агрономічному відношенні, агрегатів (1-5 мм) здійснює позитивний вплив на чисельність мікромолюска. Екологічну нішу *V. pulchella* була представлено інтегральними змінними, такими як вісь маргінальності та спеціалізації, проєктованими в просторі ґрунтових агрегатів, що достовірно відрізняються від випадкової альтернативи. Маргінальність екологічної ніші мікромолюска корелює з твердістю ґрунту на глибині від 0-5 до 20-25 см, вологістю, кислотністю і аерацією. Спеціалізація корелює з твердістю ґрунту на глибині 25-35 см, вмістом азоту та режимом кислотності. Крім того, *V. pulchella* уникає ділянок з високою електропровідністю.

## РОЗДІЛ 5.

РЕКРЕАЦІЙНІ ЛАНДШАФТИ, ЯК ФАКТОР ПРОСТОРОВОЇ  
ОРГАНІЗАЦІЇ УГРУПОВАНЬ НАЗЕМНИХ МІКРОМОЛЮСКІВ5.1. Вплив рекреаційного навантаження на просторову організацію  
мікромолюсків

У розділі представлено результати вивчення ролі рекреації як фактора трансформації умов життя ґрунтових мікромолюсків у парковому ландшафті міста Мелітополь. У межах дослідження вивчено зразки повітряно-сухого ґрунту вагою 10 г по 10 зразків з кожної точки експерименту (рис. 5.1.1). Кожний зразок досліджувався голкою для розбирання мікромолюсків (190). Кількість угруповань мікромолюсків представлена трьома видами, серед яких значно переважає *Vallonia pulchella* (Muller 1774), дещо менше – *Cochlicopa lubrica* (Muller 1774), а мікромолюск *Acanthinula aculeata* (Muller 1774) трапляється майже в десять разів рідше ніж інші види. Всього було зібрано 787 особин *Vallonia pulchella* (Muller 1774), 193 *Cochlicopa lubrica* (Muller 1774) та 74 *Acanthinula aculeata* (Muller 1774). Зразки, які не містять *Vallonia pulchella*, становили 11,1% від загального числа проб, зразки з відсутністю *Cochlicopa lubrica* – 18,3%, а зразки з відсутнім мікромолюском *Acanthinula aculeata* складали 57,9%. Максимальна кількість особин *Vallonia pulchella* у вибірці становила 24 особини, *Cochlicopa lubrica* – 7, *Acanthinula aculeata* – 3. Значна кількість мікромолюсків була розподілена на досліджуваній території нерівномірно (рис. 5.1.2.), оскільки такі фактори як рекреаційний тиск та просторове розташування дерев можуть впливати на просторовий розподіл мікромолюсків (292).

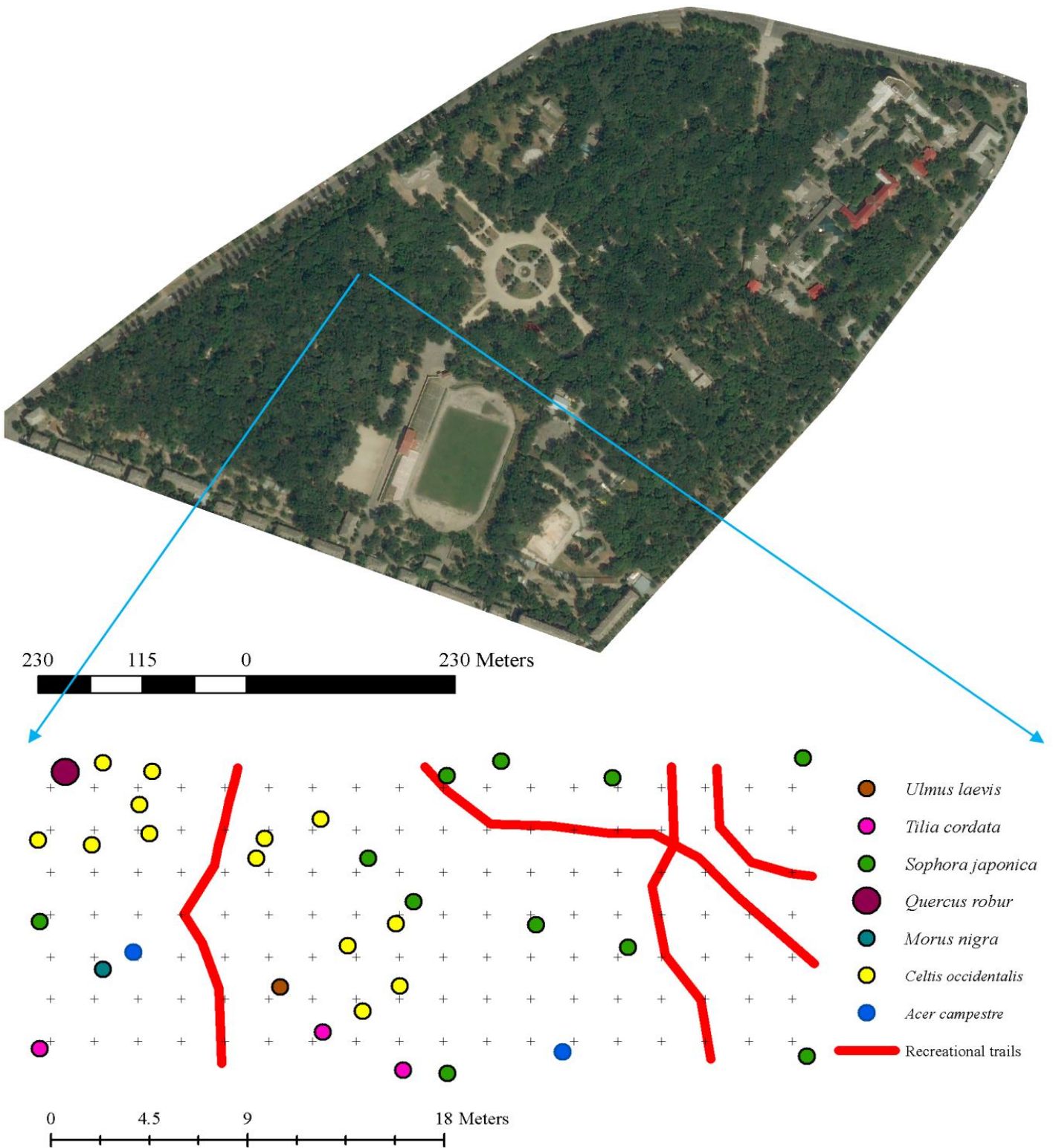


Рис. 5.1.1. Експериментальний полігон у межах Новоолександрівського парку (м. Мелітополь): «хрестики» вказують на точки відбору проб; «кола» – на розташування дерев і чагарників у межах полігону; осі  $x$  і  $y$  – місцеві координати полігону

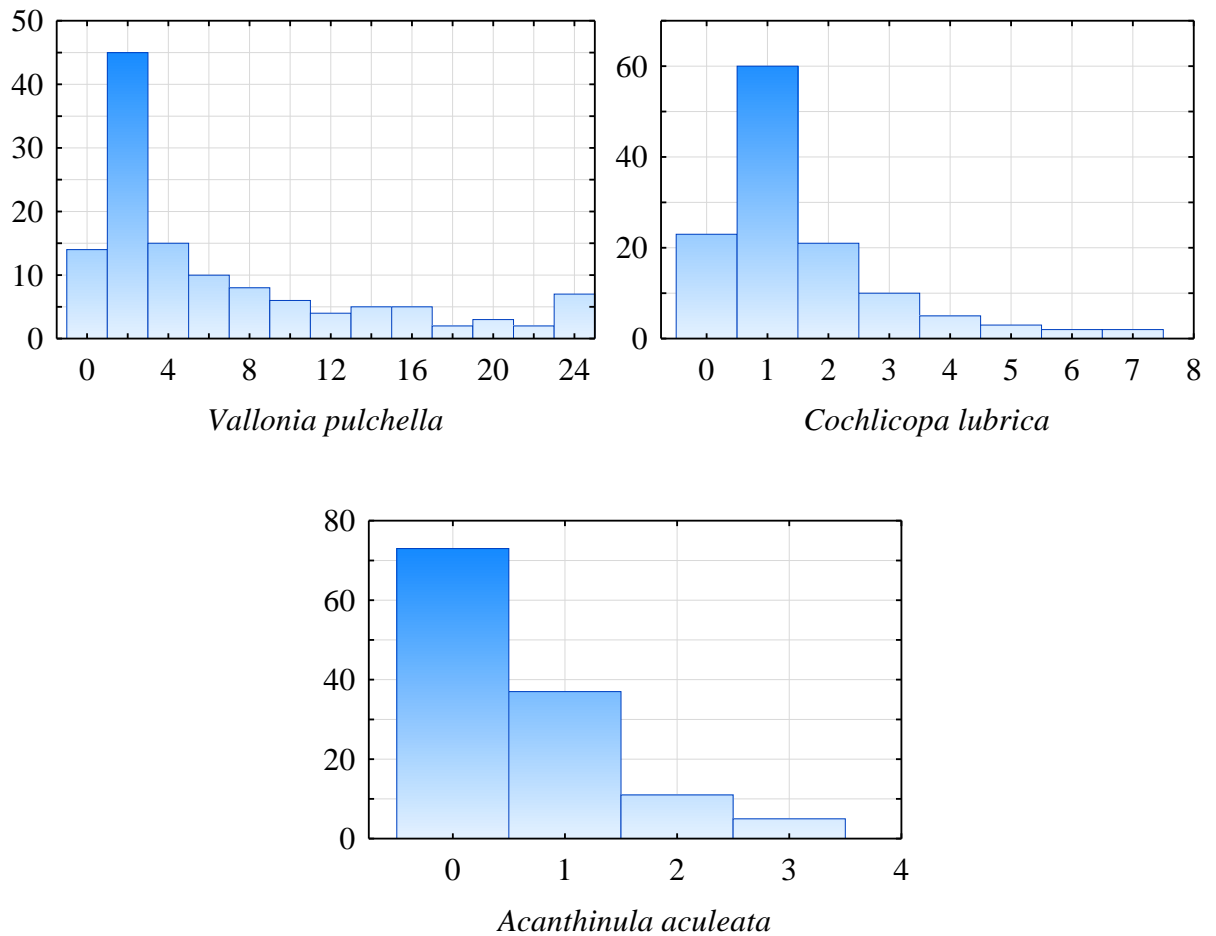


Рис. 5.1.2. Гістограми розподілу чисельності молюсків. Вісь абсцис – кількість особин у зразку ґрунту, вісь ординат – кількість залягань

Величина індексу агрегації вказує на строкатість просторового розподілу *Vallonia pulchella* та *Cochlicopa lubrica* та нейтральний розподіл *Acanthinula aculeata* (рис. 5.1.3 – 5.1.4.). Вочевидь, наведені фактори впливають на просторову варіативність властивостей ґрунту, що виступає рушійною силою у просторовій організації угруповань мікромолюсків.

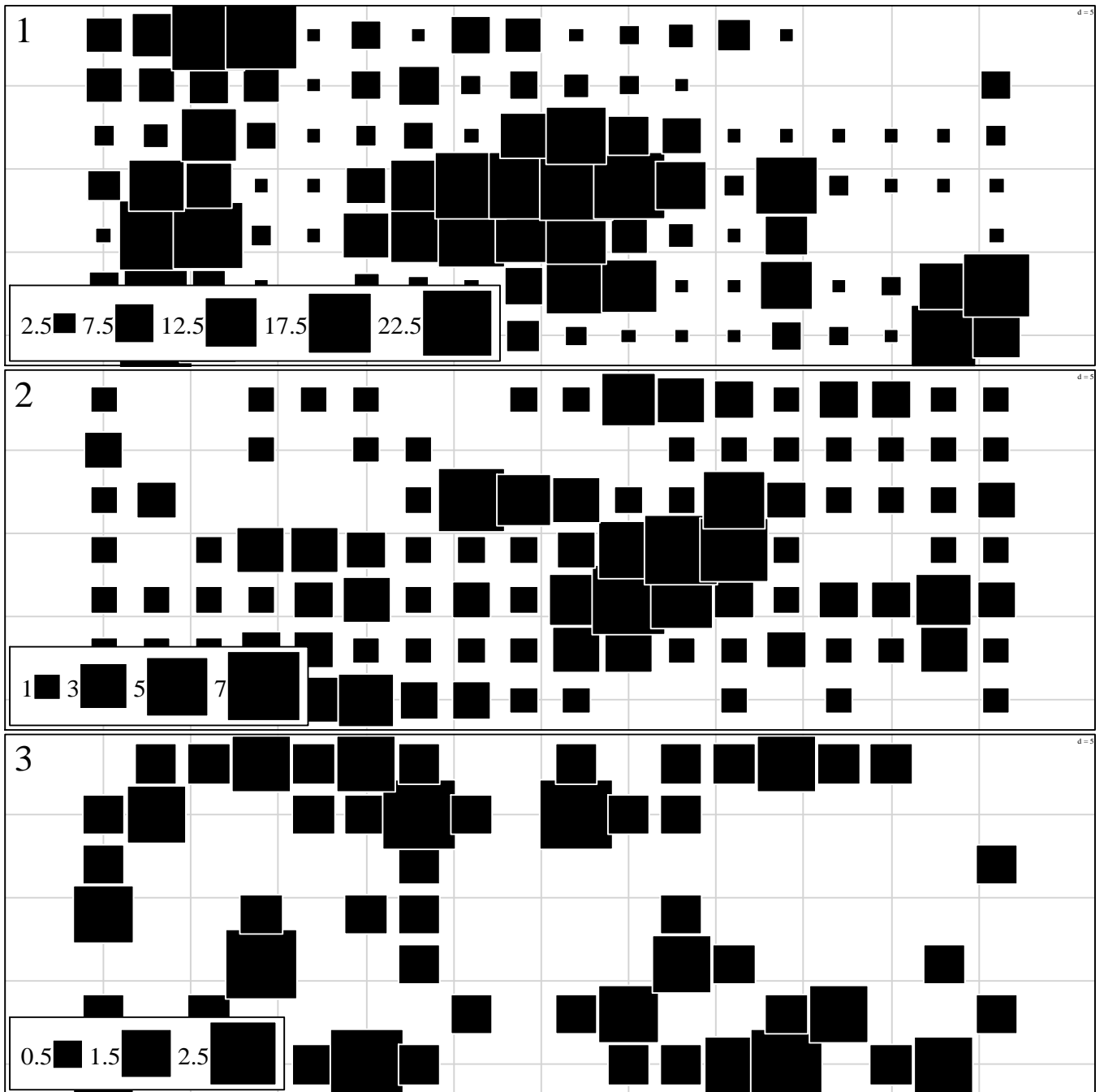


Рис. 5.1.3. Просторовий розподіл молюсків: 1 – *Vallonia pulchella*, 2 – *Cochlicopa lubrica*, 3 – *Acanthinula aculeata*. Вісь абсцис і ординати – локальні координати

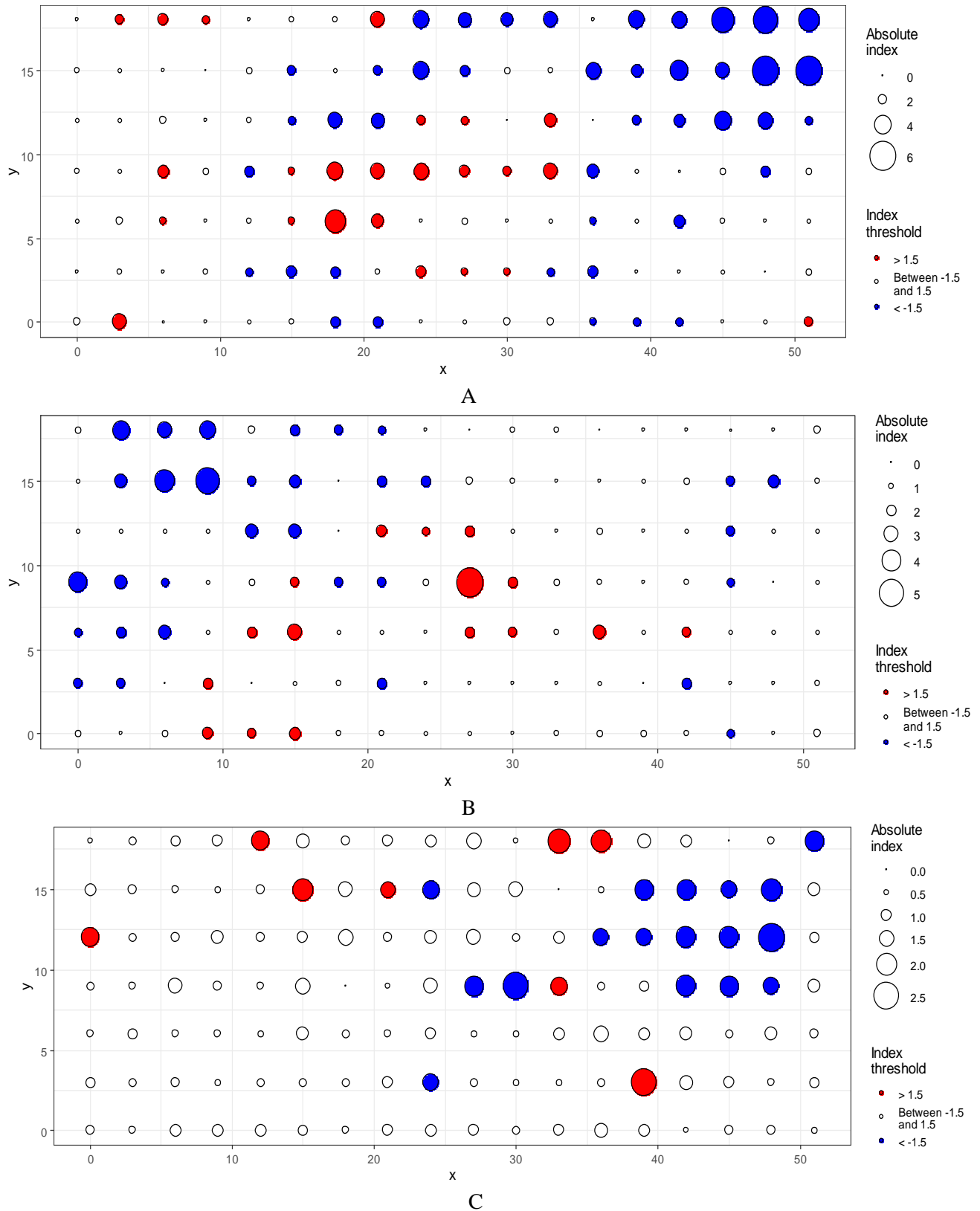


Рис. 5.1.4. Червоно-сині ділянки для виявлення кластерів на основі даних про чисельність мікромолюсків: А – *Vallonia pulchella* ( $I_a = 1.777$ ,  $P_a < 0.001$ ), В – *Cochlicopa lubrica* ( $I_a = 1.365$ ,  $P_a = 0.05$ ), С – *Acanthinula aculeata* ( $I_a = 1.068$ ,  $P_a = 0.28$ )

Властивості ґрунтів схильні до просторової неоднорідності, зумовленої кількісним розподілом рослин. Це, у свою чергу, впливає на просторовий розподіл ґрунтових тварин. Така трансформація призводить до низки інших змін у властивостях та режимах ґрунтів. При підвищеній твердості ґрунту здатність нагромаджувати вологу та зберігати її різко скорочується, також ця тенденція спостерігається і при зберіганні ґрунтового повітря. Наявність ґрунтової води є важливим екологічним фактором для біоти, яка мешкає в антропогенно трансформованих екосистемах. Очевидним видається той факт, що зменшення кількості цих двох найважливіших параметрів ґрунту призводить до погіршення умов життя ґрунтових тварин, у тому числі мікромолюсків. Агрегатний склад ґрунту, що зумовлює його родючість, в угрупованні мікромолюсків становить 24,7% ( $F = 2,87$ ,  $p = 0,001$ ), змінюючись зі збільшенням твердості. Тверда фаза ґрунту представлена або відносно великими агрегатами розміром понад 10 мм, або дрібними агрегатами, які ефективно заповнюють проміжки між великими агрегатами. Оптимальний рівень водно-повітряного режиму ґрунтів може підтримуватись при наявності агрегатів розміром від 0,25 до 7 мм. Збільшення агрегатів розміром 0,25-5 мм позитивно впливає на життєдіяльність мікромолюсків. Після процедури прямого відбору проб, такі змінні, як твердість ґрунту на глибині 5-10 см та агрегатні фракції розміром 0,25-0,5, 2-3 та 3-5 мм були обрані найбільш інформативними для опису структури угруповань мікромолюсків. Оскільки під впливом рекреаційного навантаження спостерігається підвищення показника твердості ґрунту саме у верхніх горизонтах, в яких переважно мешкають ґрунтові тварини.

Твердість ґрунту залежить від вологості ґрунту, вмісту органічної речовини, складу накопичених катіонів, співвідношення структурних агрегатів та від гранулометричного складу (293). Очікуваним є те, що стійкість ґрунту зростає у зв'язку зі зменшенням вологості, незалежно від співвідношення глинисто-піщаного покриву. Однак такі процеси в ґрунті як цементування, утворення кірки та динаміка щільності ґрунту під час його



обробки, внесли корективи у встановлену залежність. Зокрема, зібрані дані засвідчили, що індекс міцності конусів у ґрунтах різного генезу неоднаковий для однакових значень твердості та вологості (табл.5.1.1).

Таблиця 5.1.1.

Описова статистика властивостей ґрунту і відстаней між деревами та маршрутними доріжками

Змінні	Середнє значення	Широкомасштабна модель, $R_{adj}^2 = 0.25$		Середньомасштабна модель, $R_{adj}^2 = 0.11$		Дрібномасштабна модель, $R_{adj}^2 = 0.05$	
		ССА1	ССА2	ССА1	ССА2	ССА1	ССА2
		$F = 39.3,$ $p = 0.001$	$F = 15.1,$ $p = 0.024$	$F = 18.0,$ $p = 0.001$	$F = 2.1,$ $p = 0.818$	$F = 8.8,$ $p = 0.003$	$F = 0.38,$ $p = 0.943$
Твердість ґрунту на глибині, см у МПа							
0–5	2.97±0.09	0.35	0.22	–	–	–	–
5–10	4.72±0.12	0.35	0.20	–	–	–	–
10–15	6.10±0.14	0.35	0.21	–	–	–	–
15–20	6.93±0.14	0.27	–	–	–	–	–
20–25	7.67±0.12	–	0.21	–	–	–	–
25–30	8.19±0.11	–	–	–	–	–	–
30–35	8.35±0.08	–	–	–	–	–	–
35–40	8.66±0.08	–	–	–	–	–	–
40–45	8.48±0.09	–	–	–	–	–	–
45–50	8.17±0.09	–	–	–	–	–	–
Структура ґрунту, фракції розміром, %							
>10 мм	11.25±0.37	–	–	–0.38	–	–	–
7–10 мм	7.23±0.09	–	–	–0.41	–	–	–
5–7 мм	8.08±0.12	–0.30	–0.19	–	–	–	–
3–5 мм	10.68±0.17	–0.40	–	–	–	–	–
2–3 мм	9.58±0.18	–0.32	–	0.21	–	–	–
1–2 мм	13.18±0.25	–	–	–	–	–	–
0.5–1 мм	2.45±0.04	–	–	–	–	–	–
0.25–0.5 мм	12.59±0.26	0.24	–	–	–	–	–
<0.25 мм	25.00±0.40	0.23	–	0.27	–	–	–
Інші властивості ґрунту							
Електропровідність, дСм/м (ЕС)	0.07±0.001	–0.19	–	–	–	–	–
Вологість ґрунту, %	9.31±0.10	–0.19	–0.18	–	–	–	–
Насипна щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>	1.10±0.01	0.34	0.19	–	–	–	–
Відстань, м							
Від дерев	2.54±0.15	0.24	0.24	–	–	–	–
Від маршрутних доріжок	3.25±0.22	–0.41	–	–	–	–	–

Найменшою стійкістю до проникнення вирізняються ґрунти легкого гранулометричного складу, а також добре покриті гумусом, структуровані, щойно розорані ґрунти зі збільшеним вмістом глини у фракціях. В сукупності ці показники ґрунту дозволяють визначити, що рівень варіації угруповань мікромолюсків становить 18,4% ( $F = 8,12$ ,  $p = 0,001$ ). Відстань від дерев дозволяє пояснити, що мінливість для досліджуваних об'єктів знаходиться на рівні 6,8% ( $F = 0,12$ ,  $p = 0,001$ ), а відстань від рекреаційних шляхів для угруповань мікромолюсків складає 12,2% ( $F = 18,4$ ,  $p = 0,001$ ). Цей факт свідчить про те, що використання показника твердості ґрунту як у ґрунтово-генетичних, так і в агрономічних дослідженнях є перспективним.

Просторові патерни було змодельовано за допомогою 62 просторових dbMEM-змінних, що сприяли розумінню варіації угруповань мікромолюсків, яка становила 54,2% ( $F = 3,39$ ,  $p = 0,001$ ). Процедура прямого відбору дозволила ідентифікувати 13 найбільш інформативних просторових dbMEM-змінних, представлених наступними змінними: 1, 2, 3, 6, 9, 10, 11, 14, 23, 26, 34, 53 і 61. Разом вони змогли пояснити варіацію в угрупованні мікромолюсків і цей показник складає 27,9% ( $F = 4,73$ ,  $p = 0,001$ ). Усі розглянуті предиктори характеризують рівень мінливості в угрупованні досліджуваних об'єктів (рис. 5.1.5). Вплив «чистого» ефекту ґрунту на молюсків суттєвий. Вплив ґрунту просторово структурований (11,9%). Також ця особливість простежується і у дерев (10,9%). Вплив просторових факторів становить 30,1%, щодо дерев, то цей показник сягає 1,5%, також вплив дерев виявляється через структуру і властивість ґрунту (2,3%).

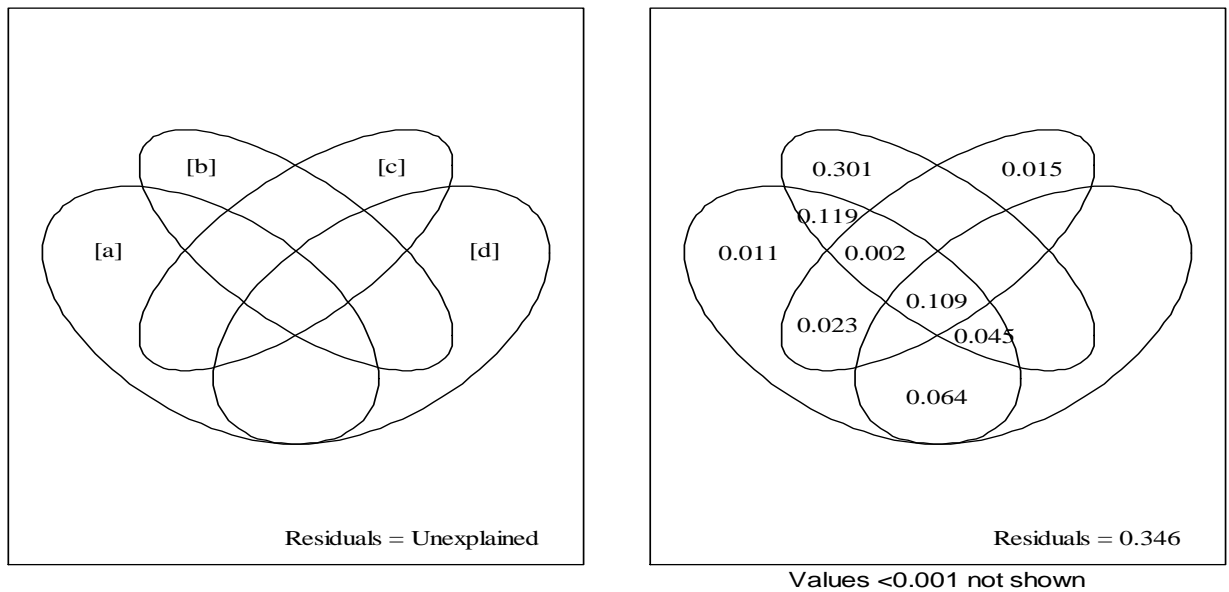


Рис. 5.1.5. Просторовий дисперсний поділ між ґрунтовими, рослинними і деревними змінними. Примітки: [a] – варіація пояснюється виключно ґрунтовими змінними; [b] – варіація, зафіксована просторовими (dbMEM) змінними, відповідає чистому простору (залишковий просторовий компонент); [c] – варіація, зафіксована на відстані від стебел дерев; [d] – пояснюється виключно відстанню від доріжок відпочинку на деревах. Перетин еліпсів відповідає варіаціям, поясненим відповідними джерелами. Усі показані дисперсійні частки значущі ( $p < 0,001$ )

Дерева також відіграють важливу роль при формуванні екологічних умов. Крона дерева регулює надходження сонячної енергії на поверхню ґрунту, що визначає температурний режим та інтенсивність випаровування вологи з його поверхні. Коренева система дерев має здатність змінювати фізико-механічні властивості ґрунту. Слід зазначити, що дерева та доріжки для відпочинку є антагоністами: стихійні доріжки утворюються на деякій відстані від стовбурів деревних рослин. Таким чином формується вектор структурування: рекреаційні доріжки – деревні рослини. Підвищення рекреаційного тиску сприяє ущільненню ґрунту, зростанню мережі пішохідних доріжок і формуванню особливої структури ґрунтового покриву, що складається з чергування щільних пішохідних доріжок і ділянок поза пішохідних доріжок. Рекреаційні доріжки впливають на едафічні властивості ґрунту (6,4%), через просторову структуру ґрунту (4,5%) та через просторову структуру деревостану (10,9%). Підвищення твердості ґрунту негативно

впливає на умови життя вищих рослин, оскільки розвиток кореневої системи обмежується ґрунтовими властивостями. Умови життя нижчих рослин, зокрема водоростей, які є трофічною мішенню для мікромоллюсків, також погіршується (294).

Рекреація є фактором, який суттєво трансформує умови життя ґрунтових безхребетних. Цьому сприяє специфічна особливість ґрунтів як середовища існування. Найближчим часом різноманітність і чисельність угруповань ґрунтових безхребетних буде знижуватись через урбанізацію. Однак у майбутньому, зростання толерантності все більшої кількості видів може призвести до змін у структурі та розмірі угруповань (295). До них належать і мікромоллюски, які є важливим компонентом угруповань наземних екосистем. Ці тварини досить часто зустрічаються в міському середовищі. Їх біологічні особливості дозволяють підтримувати високу різноманітність і чисельність в умовах антропогенного впливу. Однак осередки з чисельністю і різноманітністю моллюсків обмежені впливом екологічних факторів, мозаїка яких спостерігається в містах. Місце існування наземних моллюсків залежить від рослинності, типу ґрунтів, рівня вологості та ступеня антропогенно трансформованих екосистем, який можна оцінити вивчаючи різноманітність угруповань наземних моллюсків та реакцію окремих видів на фактори довкілля (296). Таким чином рекреація є важливим фактором, що впливає на просторову організацію угруповань ґрунтових мікромоллюсків.

Просторові dbMEM-змінні з різними порядковими номерами (чим більший порядковий номер, тим більшим є характер частоти коливальних процесів, яку моделює функція) зробили різний внесок у зміну структури угруповань моллюсків (рис. 5.1.6). Відповідно було виокремлено широкомасштабні, середньомасштабні та дрібномасштабні просторові компоненти варіації угруповань.

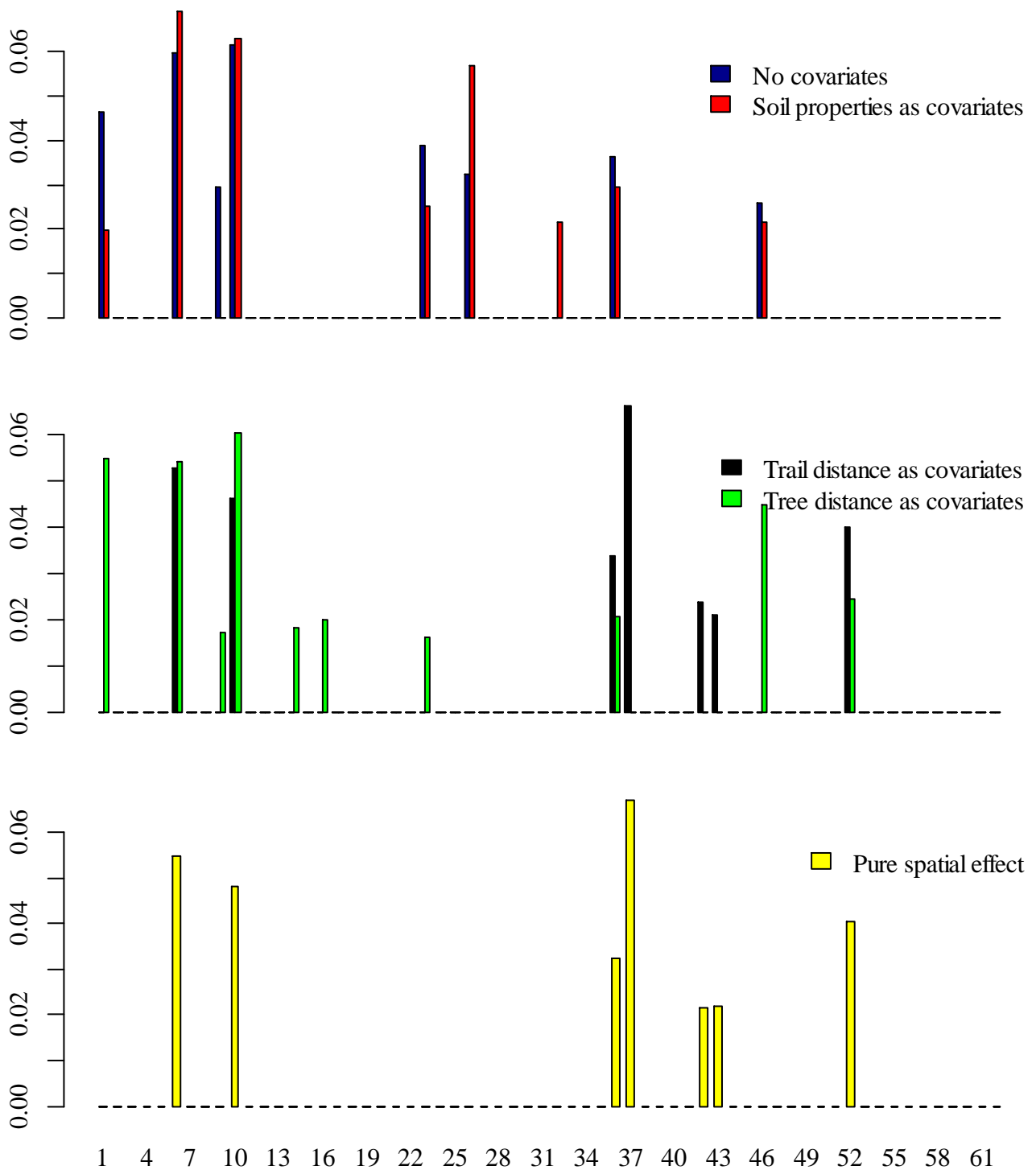


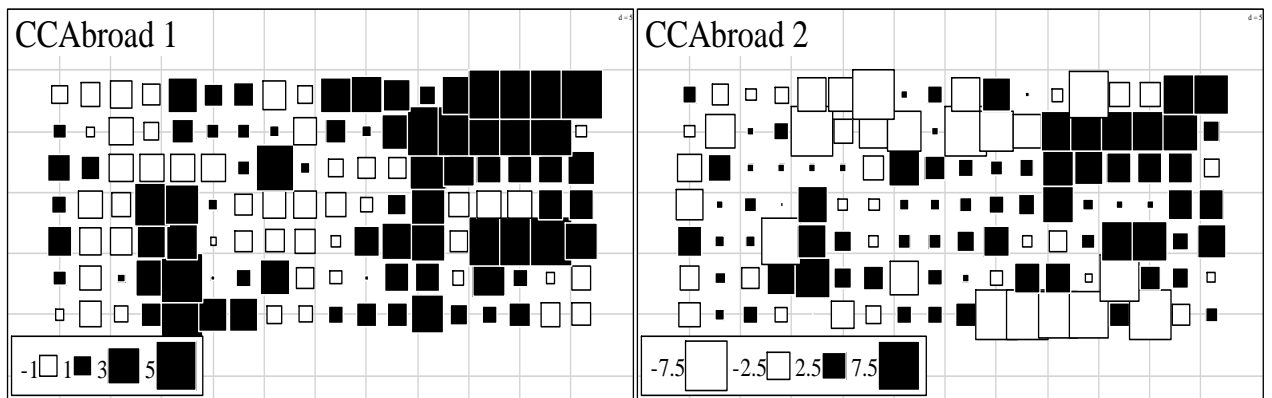
Рис 5.1.6. Скалограми, що ілюструють масштабування просторово-структурованих варіацій даних угруповань (немає змінних у якості коваріатів, сині смуги) та моделі ґрунту (червоні смуги), між стежками (чорні смуги), моделі відстані між деревами (зелені смуги) та чистий просторовий ефект (жовті смуги). Значення  $R^2_{adj}$  – це варіація, що пояснюється окремими змінними dbMEM. DbMEM впорядковується за зменшенням відповідно до масштабу просторових візерунків, які вони представляють (вісь x – це число dbMEM; dbMEM 1 – найширший масштаб, dbMEM 61 – найвужчий масштаб)

Застосування властивостей ґрунту як коваріата істотно не змінює характер просторових патернів. Відстань від пішохідних доріжок визначає продуктивність більших компонентів. Сформована мережа пішохідних доріжок порушує цілісність лісових екосистем, просторову неоднорідність рослинного покриву, підстилки і ґрунту, це призводить, у першу чергу, до змін популяцій ґрунтових безхребетних. Екологічні ніші ґрунтових безхребетних в рекреаційних лісах піддаються механічним руйнуванням і опосередкованим трансформаціям (скорочення життєвого простору та запасів їжі). У міських лісопарках за умов зростаючого рекреаційного навантаження, чисельність, біомаса і різноманітність ґрунтових безхребетних можуть істотно відрізнятись від початкових значень (297). Досліджувана відстань від рекреаційного об'єкта, як коваріата, виявила додаткову просторову картину мінливості у структурі угруповань молюсків. Це вказує на те, що рекреаційний вплив є джерелом «дезінформації», і його усунення дозволяє виявити раніше приховані закономірності переважно в дрібних масштабах.

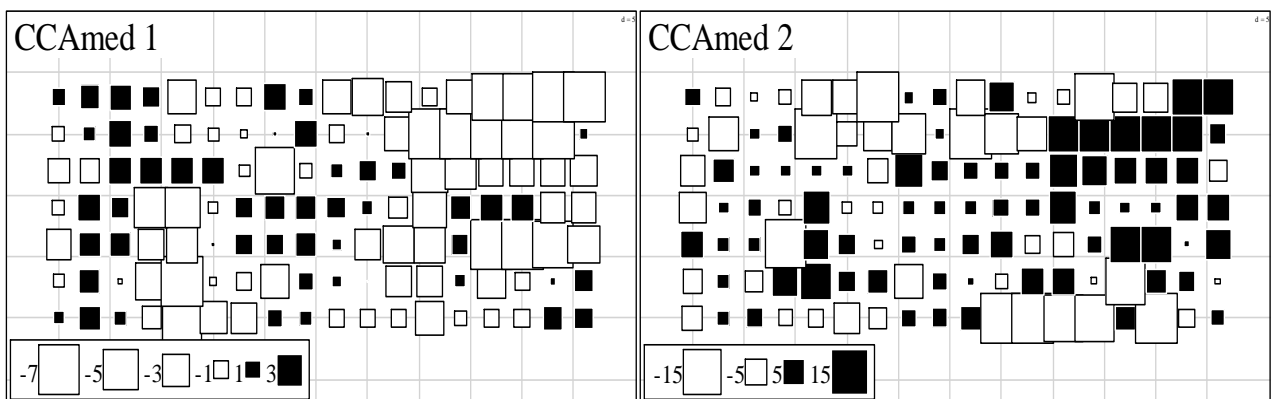
Подібний аргумент можна навести і щодо впливу дерев, але цей вплив мав переважний вияв у середньому масштабі. Просторова структура мінливості в угрупованні мікромолюсків мала різні широкомасштабні та дрібномасштабні компоненти. Детальний масштабний зразок змін у структурі угруповань молюсків був змодельований за допомогою просторових dbMEM-змінних 46, 52, 6. Докладний опис просторової структури угруповань досліджуваних об'єктів становить 4,7%. Просторові особливості широкомасштабних та частково середньомасштабних моделей значною мірою були зумовлені властивостями ґрунту.

Широкомасштабна модель змін у структурі угруповань наземних мікромолюсків була змодельована за допомогою просторових dbMEM-змінних 1, 5, 6, 9, 10, 14, 16, 19. Ця просторова компонента змогла описати структуру варіації угруповань молюсків на 25,3% (табл. 5.1.1).

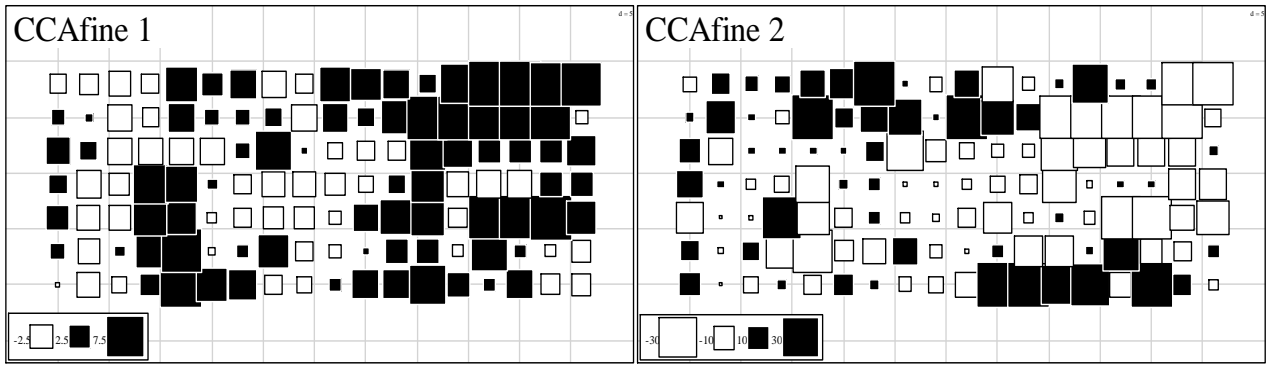
Широкомасштабна компонента має значну зону впливу в радіальному напрямку від дерев, що цілком узгоджується, оскільки можна порівняти з просторовим розподілом надземної та підземної фітомаси рослин. Також поширеним постає вплив рекреаційного навантаження, який не є тривіальним. Цей результат вказує на те, що ефект рекреаційного навантаження виходить далеко за геометричні кордони рекреаційних шляхів. Такий поширений характер може бути зумовлений антагонізмом дерев, доріжок та є наслідком структурного впливу паркового насадження. Тим не менш, безпосередній вплив рекреації – важливий фактор структурування, який здебільшого виходить поза межі пішохідних доріжок. Існує розповсюджена модель відновлення показників твердості ґрунту, вологості та агрегатного складу з огляду на віддалення від пішохідних доріжок. Такі зміни пов'язані з відновленням чисельності мікромолюсків, різке зменшення яких було відзначено поблизу доріжок (рис.5.1.7. – 5.1.8)



A



B



C

Рис. 5.1.7. Варіації широкомасштабних (А), середньомасштабних (В) та дрібномасштабних (С) компонентів просторової мінливості в угрупованні МОЛЮСКІВ

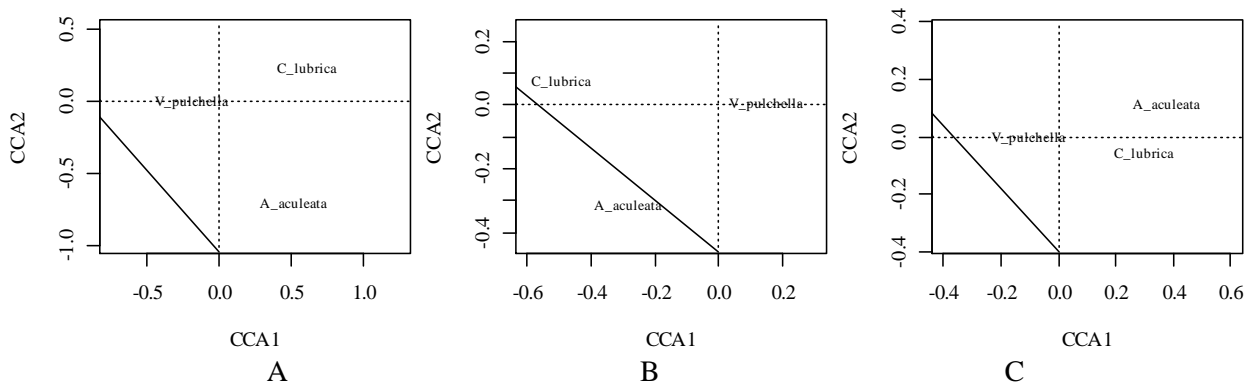


Рис. 5.1.8. Видова кореляція з широкомасштабною (А), середньомасштабною (В) та дрібномасштабною (С) складовими просторової мінливості в угрупованні молюсків

Середньомасштабна модель змін у структурі угруповань мікромолюсків була змодельована за допомогою просторових dbMEM-змінних 23, 26, 32, 36, 37. Середньомасштабна модель змогла описати структуру мінливості угруповань молюсків на 10,5%. Середньомасштабна модель мінливості в угрупованні мікромолюсків пов'язана або з ґрунтовими умовами, які насамперед залежать від її структурного складу, або з іншими причинами, які не залежать від визначених властивостей ґрунту. Середньомасштабна модель, яка залежить від агрегатного складу ґрунту, переважно є наслідком природної мінливості властивостей ґрунту, що визначається іншими механізмами, окрім рекреаційного навантаження. Різні види антропогенної діяльності пригнічують чисельність і різноманітність угруповань ґрунтових



безхребетних. Напрямок та величина відповіді залежать від таксономічної групи. Таким чином, природні та антропогенні закономірності мають різний масштаб вияву. Антропогенні закономірності носять широкомасштабний характер, натомість природні закономірності представлені як широкомасштабним, так і середньомасштабним характером.

Дрібномасштабні моделі не залежать від вимірювання властивостей ґрунту. Вони можуть бути спричинені іншими його властивостями, які не було окреслено в цьому дослідженні. Найбільш доречним поясненням є структурування угруповань в результаті міжвидових взаємодій. Ця причина виникнення структурної організації угруповань не має суттєвого впливу на локальний характер міжвидових взаємодій, що, ймовірно, пояснює її детальний характер.

Таким чином, у ґрунтах міського парку було досліджено три види мікромолюсків з відносно великою чисельністю. Мікромолюски є індикатором при вивченні стану ґрунтів та напряму їх трансформацій під впливом рекреацій. Просторова мінливість угруповань мікромолюсків має ієрархічну організацію й представлена широко-, середньо- та дрібномасштабними компонентами. Основною рушійною силою широкомасштабної складової є просторове розташування дерев та рекреаційне навантаження. Вплив рекреації виходить поза межі геометричних меж рекреаційних доріжок. Середньомасштабний компонент корелює з просторовою організацією агрегатної структури ґрунту та відображає природну мінливість властивостей ґрунту. Дрібномасштабний компонент просторових змін угруповань молюсків не залежить від вимірюваних властивостей ґрунту і, здебільшого, є результатом структурного впливу міжвидових взаємодій.

## 5.2. Вплив рекреаційної трансформації на стан мікромолюсків у міському парку

Паркові насадження в межах міста представлені широким розмаїттям рослинності, серед якої важливу роль відіграють культивовані або інвазивні види. Породи дерев, що ростуть у межах полігону містять: *Quercus robur* (1 одн., діаметр стовбура 103 см), *Sophora japonica* (11 одн., діаметр стовбура  $39,2 \pm 6,3$  см) та *Acer campestre* (2 одн., діаметр стовбура  $32,5 \pm 3,5$  см). Кущі були представлені *Ulmus laevis* (1 одн., діаметр стовбура 14 см), *Tilia cordata* (3 одн., діаметр стовбура  $13,0 \pm 2,1$  см), *Celtis occidentalis* (13 одн., діаметр стовбура  $10,2 \pm 0,7$  см) і *Morus nigra* (1 одн., діаметр стовбура 7,0 см). Крони деревних і чагарникових рослин утворили щільний полог та тіньовий світовий режим. При цьому фітоіндикаційна участь таких видів рослин досить сумнівна, тому складно покладатись на штучні рослинні угруповання для екологічних оцінок. У зв'язку з цим властивості ґрунту надзвичайно інформативні для оцінювання ступеня рекреаційного навантаження на екосистеми. В межах полігону прокладено 4 рекреаційні доріжки загальною довжиною 56,8 м. Ширина доріжок приблизно 1 метр. Поверхня рекреаційних доріжок становить 5,2% площі полігона. Рекреаційні доріжки є важливим фактором впливу на ґрунтовий покрив (298, 299), пов'язаного з ущільненням ґрунту (298), збільшенням твердості ґрунту (300), зміною його агрегатної структури (301, 302). Відповідно до результатів нашого дослідження результати, перераховані вище властивості ґрунту надзвичайно важливі для визначення умов життя мікромолюсків. При відборі проб ґрунту було запропоновано здійснення реєстру ґрунтових мікромолюсків з їх подальшим аналізом під мікроскопом. Кількість мікромолюсків у паркових насадженнях досить висока. Було знайдено 618 особин *Vallonia pulchella* (Müller 1774), 120 особин *Cochlicopa lubrica* (Müller 1774) і 58 особин *Acanthinula aculeata* (Müller 1774) (табл.5.2.1). В середньому на 100 грам ґрунту було виявлено 4,9 особин *Vallonia pulchella*, 0,95 особин *Cochlicopa*

*lubrica* і 0,46 особин *Acanthinula aculeata*. Це приблизно 4312 особин/м<sup>2</sup> *Vallonia pulchella*, 836 особин/м<sup>2</sup> *Cochlicopa lubrica* та 405 особин /м<sup>2</sup> *Acanthinula aculeate* на досліджуваному полігоні. При використанні цього підходу П. Девіс та ін. (303) виявили, що чисельність *V. pulchella* варіює в межах 0,4-40,4 особин на 100 г зразка на крейдянних ґрунтах у Великобританії. Для юрського вапняка в центральній частині Кракова чисельність цього виду досягала 1-22 особин на 100 г ґрунтової проби (304). У техноземах, де підрахунок проводився за аналогічною методикою, чисельність *Vallonia pulchella* склала 1,8 особин на 100 г ґрунту, а представники *Cochlicopa lubrica* і *Acanthinula aculeata* не було виявлено (292). Рівень варіації чисельності *V. pulchella* і *C. lubrica* істотно статистично не відрізнявся ( $F = 1,16$ ,  $p = 0,42$ ). Рівень варіації чисельності *A. aculeata* вищий, ніж у двох інших видів.

Таблиця 5.2.1.

## Описова статистика популяцій мікромоллюсків

Види	Кількість окремих осіб				CV, %	Асиметрія±	Ексцес±
	На 100 гр проби ґрунту						
	Сума	Середнє значення±	Мінімум	Максимум			
<i>Vallonia pulchella</i>	618	4.90±0.60	0	24	136.86	1.53±0.22	1.27±0.43
<i>Cochlicopa lubrica</i>	120	0.95±0.12	0	7	144.76	1.96±0.22	4.18±0.43
<i>Acanthinula aculeata</i>	58	0.46±0.08	0	3	187.69	1.75±0.22	1.86±0.43

На досліджуваному локалітеті твердість ґрунту збільшувалась з глибиною до 25-30 см, після чого цей показник залишався стабільним (табл.5.2.2). Це зумовлено тим, що верхні ґрунтові шари можуть відновлювати опір проникнення до нормального рівня, натомість у глибоких шарах цей процес може затримуватись. В основі відновлення пенетрації до нормального рівня лежать фактори фізичної природи та дія біотичних чинників. Можна зробити припущення, що відносна роль біотичних факторів зростає з глибиною в результаті діяльності коренів трав'яних рослин. Однак

на досліджуваному полігоні трав'яний покрив практично відсутній, тому провідна роль належить абіотичним факторам, активність яких найбільш висока у поверхневих шарах ґрунту. Щодо коефіцієнта варіації твердості ґрунту: він зменшувався до шару 35–40 см, після чого показник залишався стабільним. Асиметрія розподілу твердості ґрунту змінила свій знак від позитивного до негативного зі збільшенням глибини шару ґрунту.

Таблиця 5.2. 2.

Описова статистика властивостей ґрунту та відстані від дерев та доріжок

Змінні	Середнє значення, ±	Мінімум	Максимум	CV, %	Асиметрія, ±	Ексцес, ±
Твердість ґрунту на глибині, см у МПа						
0–5	2.97±0.09	1.10	5.80	33.71	0.77±0.22	0.02±0.43
5–10	4.72±0.12	2.60	8.00	28.65	0.62±0.22	-0.63±0.43
10–15	6.10±0.14	3.40	9.67	25.13	0.38±0.22	-0.68±0.43
15–20	6.93±0.14	4.00	9.86	22.24	0.13±0.22	-0.94±0.43
20–25	7.67±0.12	4.60	9.87	18.19	-0.44±0.22	-0.72±0.43
25–30	8.19±0.11	5.00	10.00	14.62	-0.60±0.22	-0.34±0.43
30–35	8.35±0.08	5.80	9.90	11.09	-0.62±0.22	0.03±0.43
35–40	8.66±0.08	6.00	10.60	10.87	-0.62±0.22	0.34±0.43
40–45	8.48±0.09	5.94	10.04	11.67	-0.76±0.22	0.01±0.43
45–50	8.17±0.09	5.60	9.86	11.71	-0.76±0.22	0.05±0.43
Структура ґрунту, фракції розміром, %						
>10 мм	11.25±0.37	2.62	20.75	37.27	0.08±0.22	-0.49±0.43
7–10 мм	7.23±0.09	5.40	9.55	13.67	0.18±0.22	-0.66±0.43
5–7 мм	8.08±0.12	5.36	11.10	16.59	0.12±0.22	-0.73±0.43
3–5 мм	10.68±0.17	6.17	14.37	18.35	-0.26±0.22	-0.75±0.43
2–3 мм	9.58±0.18	4.26	14.33	21.06	-0.08±0.22	-0.16±0.43
1–2 мм	13.18±0.25	6.07	20.57	21.22	0.25±0.22	0.18±0.43
0.5–1 мм	2.45±0.04	1.57	3.45	17.58	0.01±0.22	-0.45±0.43
0.25–0.5 мм	12.59±0.26	7.66	18.83	23.04	0.25±0.22	-0.87±0.43
<0.25 мм	25.00±0.40	15.38	37.54	17.89	0.42±0.22	0.30±0.43
Інші властивості ґрунту						
Електропровідність дСм/м (ЕС)	0.07±0.00	0.03	0.11	17.87	0.23±0.22	0.68±0.43
Вологість ґрунту, %	9.31±0.10	6.10	11.41	12.22	-0.78±0.22	0.14±0.43
Насипна щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>	1.10±0.01	0.96	1.35	8.56	0.88±0.22	0.04±0.43

	Відстань, м					
Від дерев	2.54±0.15	0.32	8.59	67.05	1.38±0.22	2.28±0.43
Від маршрутних доріжок	3.25±0.22	0.00	10.18	77.35	0.61±0.22	-0.57±0.43

Збільшення рекреаційного навантаження пов'язане зі змінами в агрегуванні та пористості ґрунту. Серед агрегатних фракцій домінували мікроагрегати (розміром менше 0,25 мм). Слід також зазначити, відносно високою є частка макроагрегатів (агрегати понад 10 мм). Коефіцієнт варіації агрегатних фракцій знаходиться в межах 13,67–37,27%. Зменшення частки мезоагрегатів, які є агрономічно цінними компонентами ґрунтової структури, призводить до негативних екологічних наслідків. Мезоагрегати забезпечують оптимальний водний і повітряний режим ґрунту, що сприяє створенню раціональних умов для життя та розвитку як кореневих систем рослин, так і для життєдіяльності ґрунтових тварин (9,305). Варто звернути увагу на протилежні умови формування агрегатної структури. Насип валу складається з переважанням макроагрегатів, натомість прилеглий до нього ґрунт має більшу частку мікроагрегатів. Внаслідок ущільнення ґрунту, що супроводжується зміною агрегатної структури, відбувається зменшення життєвого простору для ґрунтових тварин та погіршення умов їх дихання. Ущільнення ґрунту в межах доріжок призводить до відносного зниження фізичних показників ґрунту. Під час сезону дощів вода накопичується на доріжках, і ґрунт трамбується на їх межі. Так утворюється берма. Волога скочується з берми, забезпечуючи додатковий притік води на сусідні ділянки. Той факт, що зона ущільнення ґрунту під рекреаційним впливом не має чіткої вертикальної проєкції, але ця проєкція має трапецієподібний профіль зі збільшенням бази, вказує на можливий механізм формування «ореолу». Таким чином, зона підвищення твердості ґрунту в околицях доріжок збільшується з глибиною, що цілком узгоджується з результатами, отриманими раніше (306).

Збільшення опору penetрації та щільності ґрунту під впливом рекреації, збігається зі зменшенням вологості ґрунту. Зрозуміло, що ця динаміка також негативно впливає на чисельність популяцій мікромолюсків (табл.5.2.3). Електропровідність ґрунту коливається від 0,03 до 0,11 дСм/м, що набагато менше критичного рівня, який становить 2,0 дСм /м для міських ґрунтів. Вміст води в ґрунті коливається в межах 6,10-11,41%. Діапазон зміни щільності ґрунту становив 0,96-1,35 г /см<sup>3</sup>. Відстань точок відбору проб від дерев знаходився в межах 0,32-8,59 м, а від рекреаційних доріжок – 0,00-10,18 м. Слід зазначити, що між цими параметрами існувала статистично значуща негативна кореляція ( $r = 0,41$ ,  $p < 0,001$ ).

Таблиця 5.2.3.

Моделі реакції мікромолюсків на екологічні градієнти, представлені головними компонентами, а також параметрами екологічних ніш

Параметри	PC1 (діапазон результатів -4.84+6.93)			PC2 (діапазон результатів -2.63+4.29)			PC3 (діапазон результатів -3.43+2.80)		
	VP	CL	AA	VP	CL	AA	VP	CL	AA
Найкращі моделі	IV	III	IV	IV	I	I	VII	IV	I
IQV	0.85	0.83	0.59	0.83	0.71	0.40	0.53	0.88	0.89
Opt <sub>min</sub>	-2.37	-4.84	-0.77	0.94	-	-	2.64	0.90	-
Opt <sub>max</sub>	-	1.81	-	-	-	-	2.80	-	-
Slope <sub>max</sub>	23.21	5.09	2.65	8.47	-	-	47.11	2.55	-
CB <sub>low</sub>	-4.37	-4.84	-2.75	-1.52	-2.63	-2.63	1.51	-0.88	-3.43
CB <sub>high</sub>	-0.37	3.03	1.21	3.39	4.29	4.29	3.77	2.66	2.80
OB <sub>low</sub>	-6.87	-4.84	-5.22	-2.63	-2.63	-2.63	-1.77	-3.05	-3.43
OB <sub>high</sub>	2.13	4.61	3.68	4.52	4.29	4.29	5.00	4.84	2.80

Примітки: IQV – Індекс якісних варіацій; Opt<sub>min</sub> – оптимальний мінімальний край, Opt<sub>max</sub> – оптимальний максимальний край, Slope<sub>max</sub> – максимальний нахил, CB<sub>low</sub> – низький край центральних кордонів, CB<sub>high</sub> – високий край центральних кордонів, OB<sub>low</sub> – нижній край зовнішніх кордонів, OB<sub>high</sub> – високий край зовнішніх кордонів; VP – *V. pulchella*, CL – *C. lubrica*, AA – *A. aculeate*, типи моделей реагування – I - без відповіді, II - збільшення або зменшення без плато, III - збільшення або зменшення з плато, IV - асиметричні унімодальні відповіді, V - симетрична унімодальна відповідь, VI - бімодальна асиметрична відповідь, VII - симетрична бімодальна форма відповіді

У результаті комплексного аналізу ґрунту було виділено три основні компоненти, які змогли пояснити 60,89% варіацій у просторі (табл. 5.2.4)

Таблиця 5.2.4.

Результати паралельного аналізу Хорна для утримання компонентів після 5000 ітерацій (КМО-критерій 0,81 – відповідно до емпіричному правила, запропонованого Кайзером (Kaiser, 1974) (230), Кайзером і Райсом (Kaiser & Rice, 1974) (231), значення можна визнати гідним)

Компонент	Власне значення	Власне значення	Зміщення	Пояснення варіації, %	Стандартне відхилення
1	9.19	10.08	0.90	42.02	3.16
2	1.80	2.53	0.74	10.56	1.59
3	1.37	1.99	0.62	8.31	1.41

Головний компонент 1 тлумачить 42,02% варіацій у просторі ознак і залежить від твердості, агрегатного складу, щільності, електропровідності та вологості ґрунту. Цей компонент відзеркалював тенденцію до збільшення твердості та щільності ґрунту з огляду на наближення до рекреаційних доріжок. Ця тенденція пов'язана і зі зменшенням вологості та електропровідності ґрунту, а також зі збільшенням частки агрегатних фракцій розміром більше 10 мм і менше 0,5 мм (табл. 5.2.5). Виходячи з цього, головний компонент 1 вказує на градієнт рекреаційної трансформації ґрунтового покриву. Зі збільшенням рекреаційного навантаження чисельність всіх видів моллюсків знизилась, це було визначено за допомогою головного компонента 1. Реакція видів мікромоллюсків на прямий рекреаційний вплив мала вигляд плато (*C. lubrica*) та унімодальну, різко асиметричну реакцію (*V. pulchella* і *A. aculeata*). Зона оптимуму *V. pulchella* перебувала в діапазоні низького рекреаційного навантаження. Зона оптимуму *A. aculeata* – у діапазоні помірного рекреаційного навантаження. Мікромоллюск *C. lubrica* виявився чутливим тільки до високого рівня рекреаційного навантаження, а до помірного або низького рекреаційного впливу вид був байдужий.

Значення головних компонентів для маніфестних змінних (представлено статистично значущі значення навантажень при  $p < 0,05$ )

Змінні	PC1	PC2	PC3
Твердість ґрунту на глибині, см у МПа			
0–5	0.27	0.14	–
5–10	0.28	–	–
10–15	0.27	–	–
15–20	0.26	–	–
20–25	0.22	–	0.24
25–30	0.21	–	0.25
30–35	0.21	–0.22	0.21
35–40	0.20	–0.28	0.23
40–45	0.14	–0.44	–
45–50	0.09	–0.49	–
Структура ґрунту, фракції розміром, %			
>10 мм	0.17	–0.25	–0.41
7–10 мм	0.06	–0.33	–0.36
5–7 мм	–0.22	–0.13	0.24
3–5 мм	–0.25	–0.15	0.28
2–3 мм	–0.25	–	0.25
1–2 мм	–0.08	–	0.33
0.5–1 мм	–0.16	–	0.23
0.25–0.5 мм	0.17	0.23	–
<0.25 мм	0.08	0.27	–0.13
Інші властивості ґрунту			
Електропровідність дСм/м (ЕС)	–0.19	–0.13	–
Вологість ґрунту, %	–0.22	–	–0.20
Насипна щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>	0.25	–	–
Відстань, м			
Від дерев	0.18	–	–
Від маршрутних доріжок	–0.24	–0.18	–

За допомогою головного компонента 2 пояснено 10,56% мінливості в просторі детермінованих ознак. Він негативно корелює з відстанню від рекреаційних доріжок, твердістю ґрунту на глибині 35 см і більше, електропровідністю та частиною агрегатів розміром понад 3 мм. Цей компонент позитивно корелює з твердістю ґрунту на глибині 0–5 см і часткою агрегатів розміром менше 0,5 мм.

Поблизу рекреаційної доріжки виникає особлива зона, яка створює «ореол» навколо зони інтенсивного рекреаційного навантаження,



визначеного головною компонентою 2. Може бути кілька причин для створення такої зони. Спонтанні рекреаційні доріжки мають постійний напрямок, але не мають постійної траєкторії, тому їх розташування безперервно змінюється – вони «мігрують». Також «ореол» біля доріжок може виникнути в результаті формування уздовж них бордюра. Той факт, що головний компонент 2 відображає варіації ґрунтових властивостей переважно на значній глибині, пояснює незначну важливість цього градієнта як чинника, що впливає на чисельність мікромоллюсків. Для *Vallonia pulchella* характерне локальне збільшення популяції в зоні, прилеглий до рекреаційних доріжок, натомість інші види мікромоллюсків байдужі до цього виду впливу. Наголосимо, що отримані результати відповідають дійсності в межах цього дослідження. Вочевидь, вплив цієї закономірності має дещо меншу ступінь вираженості, для виявлення якої потрібна більш детальна сітка вибірки.

За допомогою головного компонента 3 (табл. 5.2.5.) пояснено 8,31% варіацій в просторі детермінованих ознак. Він позитивно корелював з твердістю ґрунту на глибині 20-40 см, часткою агрегатів розміром 0,5-7 мм і вологістю ґрунту. Однак негативно корелював з часткою агрегатів розміром більше 7 мм і менше 0,25 мм. Компонента 3 вказує на важливу роль мезоагрегатів для формування оптимальних умов життя мікромоллюсків. Саме ця розмірна фракція агрегатів дозволяє забезпечити найкращі умови для формування сприятливого водно-повітряного режиму, що позитивно впливає як на самих мікромоллюсків, так і на їх трофічні об'єкти. Цей компонент вказує на зміну властивостей ґрунту, зумовлений причинами, які не залежать від рекреаційного впливу. Мінливість властивостей ґрунту, позначена головною компонентою 3, оцінюється як природна варіабельність. Цілком можливо, що патерни, які описуються головним компонентом 1, також спочатку мали природні причини своєї появи. Такі причини корелюють з відстанню від дерев. Тому варіабельність, викликана рекреацією, накладається на природну варіабельність властивостей ґрунту, зумовленою віддаленістю від дерев. Внаслідок аналізу головного

компонента 3 було з'ясовано, що мікромолюски *V.pulchella* і *C.lubrica* досить чутливі до природної мінливості показників ґрунту. При цьому збільшення частки фракцій 0,5-7 мм позитивно впливало на чисельність молюсків *V.pulchella*. Для молюсків *C. lubrica* існувала оптимальна пропорція цих фракцій, за якої чисельність цього виду була найбільшою. Реакція *A. aculeata* на природну варіативність показників ґрунту не була вираженою.

У такий спосіб головний компонент 3 висвітлює мінливість, яка не залежить від рекреаційного впливу. Головні компоненти 1 і 2 є наслідком рекреаційного впливу, і разом пояснюють 56,6% варіацій у просторі ознак, при цьому рекреаційні доріжки займають близько 5,2% площі полігону. Таке співвідношення вказує на те, що вплив рекреаційних доріжок поширюється далеко за межі їх видимих кордонів. Головний компонент 1 є маркером прямого рекреаційного впливу та вказує на збільшення опору penetрації по всьому профілю ґрунту зі зростанням рекреаційного навантаження. Кореляція головного компонента 1 з показником твердості ґрунту спадає вниз за профілем, вказуючи на те, що рекреаційне ущільнення ґрунту зменшується з глибиною.

### 5.3. Відгук чисельності видів у градієнті екологічних факторів

Екологічні градієнти, які відіграють значну роль в організації природних екосистем, підлягають значним змінам в результаті урбанізації. Ця тенденція набула поширення в концепції гомогенізації міських територій (307). Збільшення чисельності немісцевих видів молюсків в урбанізованому середовищі здатне спричинити біотичну гомогенізацію (164). В урбаністичному градієнті деградація біотопів відбувається поступово, зменшуючи видове багатство угруповань наземних мікромолюсків, перш за все рідкісних і антропофобних видів. Природне середовище існування особливо важливе для забезпечення різноманітності молюсків у міському середовищі (122). В урбанізованому середовищі тип біотопу істотно

позначається на різноманітності угруповань наземних мікромолюсків (308). Узгодженість факторів навколишнього середовища, які в природних умовах формують специфіку дії складних градієнтів довкілля, трансформуються шляхом гомогенізації в міському середовищі. Слід зазначити, що в цьому середовищі формуються нові градієнти за умов вирівнювання природних градієнтів та складності їх позначення традиційними методами. Цей градієнт позначається таким поняттям, як гемероб. Гемеробність – це ступінь відхилення екологічних умов від природного стану (309). Таке відхилення може бути наслідком різних антропогенних впливів, зокрема рекреації. Організми з низькою здатністю до поширення, такі як мікромолюски, досить чутливі до антропогенного навантаження. Мікромолюски (<5 мм в діаметрі) нерідко виявляються більш уразливими до дії факторів середовища внаслідок їх обмеженої мобільності та розповсюдження, а також від високої залежності умов мікросередовища (52). Отже, наземні мікромолюски є відмінним інструментом для оцінки ефекту рекреації.

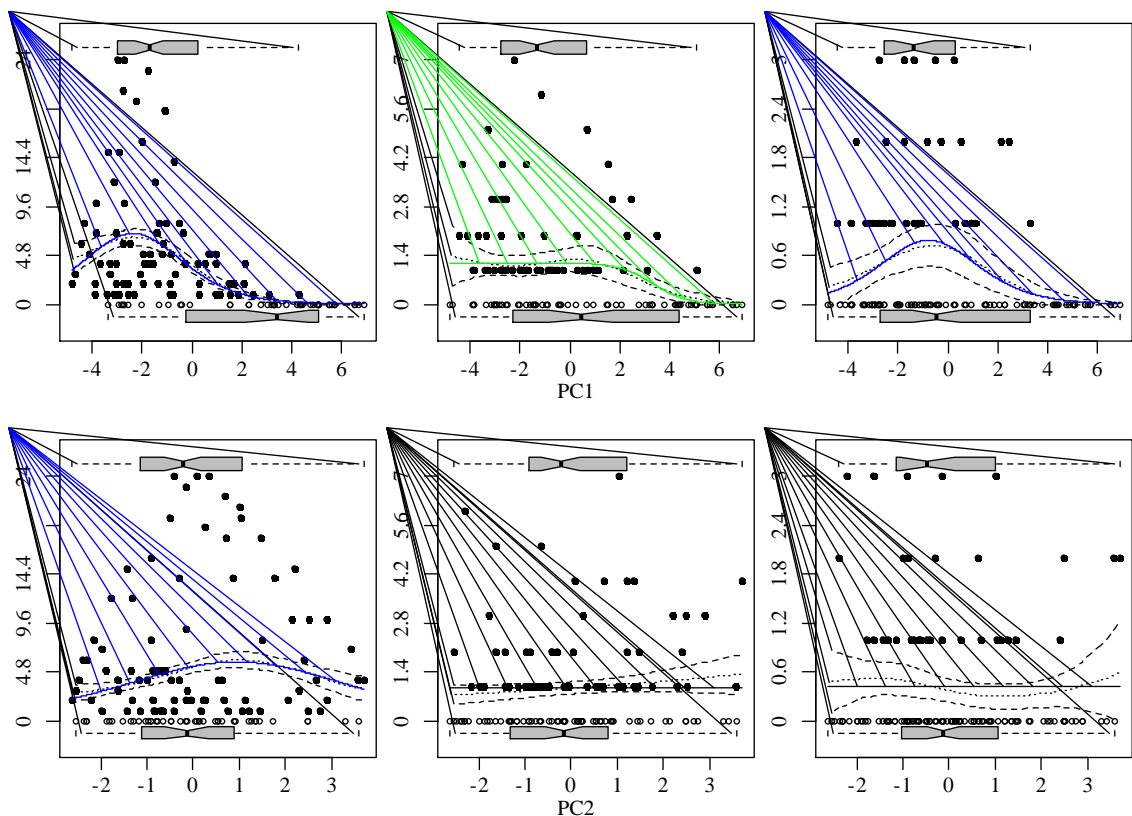
Особливий інтерес і практичну значущість має дослідження просторового розподілу видів молюсків на рекреаційній території. Загальна щільність популяції мікромолюсків досягає плато внаслідок зниження рівня рекреаційної трансформації, що вказує на посилення конкурентних відносин між видами у зв'язку зі зниженням щільності окремих видів. Це вказує на те, що конкурентні відносини між видами стають більш жорсткими, оскільки чисельність окремих видів знижується, натомість загальна чисельність угруповань залишається майже незмінною. Конкуренція між видами за трофічні ресурси або воду здатна пояснити мінливість чисельності популяцій наземних мікромолюсків. Проте їжа, в багатьох випадках, не є лімітуючим фактором для наземних молюсків, відіграючи другорядну роль (310, 311). На активність молюсків сильно впливає вологість, а також те, що вони змушені пересуватись, щоб добути необхідні ресурси. Дефіцит вологи може істотно обмежити доступність їжі, тому конкуренція між молюсками за вологі ділянки цілком можлива (312) (*табл.5.3.1*).

Моделі відповідей та діапазон сприятливих значень властивостей навколишнього середовища, представлених у вигляді центральних кордонів (для бімодальних моделей представлено найбільш крайні значення оцінок; для I моделі оцінки не можуть бути зроблені)

Змінні	<i>Vallonia pulchella</i>		<i>Cochlicopa lubrica</i>		<i>Acanthinula aculeata</i>	
	Модель	Діапазон	Модель	Діапазон	Модель	Діапазон
Твердість ґрунту на глибині, см у МПа						
0–5	VII	1.43–5.97	I	–	III	1.1–3.94
5–10	VI	3.06–8.00	III	2.60–6.25	III	2.60–5.75
10–15	VII	4.00–9.89	III	3.40–7.68	IV	4.05–6.84
15–20	IV	4.49–7.22	I	–	IV	5.22–7.76
20–25	V	5.43–7.85	II	4.60–7.00	II	4.60–6.76
25–30	VII	5.94–10.33	IV	5.96–8.68	I	–
30–35	VII	5.67–8.80	II	5.80–7.73	I	–
35–40	VII	5.99–9.08	III	6.00–9.34	I	–
40–45	VII	4.19–10.86	I	–	IV	7.54–9.55
45–50	VII	4.82–9.06	I	–	I	–
Структура ґрунту, фракції розміром, %						
>10 мм	II	2.60–6.51	II	2.60–8.97	I	–
7–10 мм	VII	5.40–12.87	I	–	I	–
5–7 мм	III	7.81–11.10	III	7.01–11.10	IV	7.53–10.27
3–5 мм	II	12.77–14.40	II	11.67–14.40	III	8.68–14.40
2–3 мм	II	12.13–14.30	III	7.97–14.30	III	8.50–14.30
1–2 мм	VII	11.71–21.46	IV	11.83–19.36	I	–
0.5–1 мм	III	2.40–3.40	II	2.6–3.40	I	–
0.25–0.5 мм	V	9.19–14.69	I	–	I	–
<0.25 мм	VII	14.53–30.58	II	15.40–24.59	I	–
Інші властивості ґрунту						
Електропровідність дСм/м (ЕС)	V	0.06–0.08	I	–	IV	0.06–0.08
Вологість ґрунту, %	VII	5.82–10.60	I	–	I	–
Насипна щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>	II	0.96–1.03	II	0.96–1.12	II	0.96–1.07
Відстань, м						
Від дерев	VII	0.00–3.39	II	0.32–2.90	II	0.32–2.05
Від маршрутних доріжок	V	1.95–5.94	IV	1.26–7.11	III	1.06–10.18

Примітки: типи моделей відповідей – I – немає відповіді; II – зростаючий або спадаючий без плато; III – зростаючий або спадаючий з плато; IV – асиметричні унімодальні відповіді; V – симетричні унімодальні відповіді; VI – бімодальна асиметрична відповідь; VII – симетрична бімодальна форма відповіді

Щодо популяцій молюсків, які мешкають на досліджуваному локалітеті, то найбільша чисельність із всіх видів притаманна мікромолюску *Vallonia pulchella*, однак цей же вид є найбільш чутливим до антропогенного впливу (рис. 5.3.1.). За сприятливих умов цей вид демонструє здатність істотно збільшувати свою чисельність. Проте навіть помірний рівень рекреаційного тиску істотно впливає на чисельність *Vallonia pulchella*. Чисельність мікромолюсків *Cochlicopa lubrica* і *Acanthinula aculeata* значно нижча, ніж популяції *Vallonia pulchella*. Мікромолюск *Cochlicopa lubrica* реагує тільки на дуже високий рівень рекреаційного навантаження. Максимальна чисельність популяції *Acanthinula aculeata* спостерігається при помірному рекреаційному тиску.



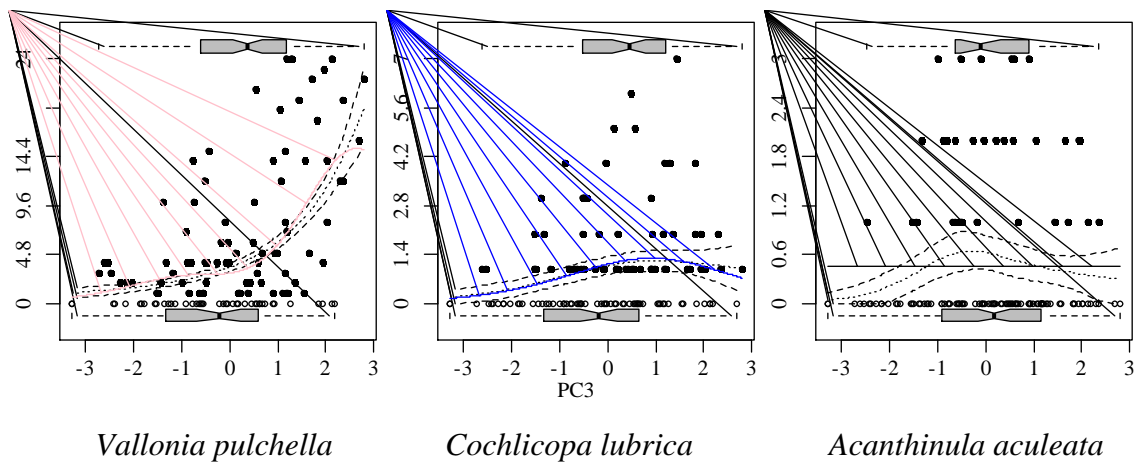


Рис. 5.3.1. Моделі реакції мікромоллюсків на екологічні градієнти, представлені головними компонентами: вісь x – бали головних компонент, вісь y – видове різноманіття

Усі види мікромоллюсків демонструють тенденцію до невеликого зниження чисельності на протилежному полюсі градієнта рекреаційного навантаження. Збільшення чисельності мікромоллюсків при зниженні рекреаційного навантаження цілком зрозуміла. Зменшення чисельності за «надзвичайно сприятливих» умов може бути викликана певними причинами. У сприятливих умовах хижі види педобіонтів здатні отримати певну перевагу, що може знизити чисельність мікромоллюсків. Біотичні взаємодії відіграють важливу роль у динаміці розвитку угруповання наземних мікромоллюсків, оскільки вони є джерелом води для багатьох хижаків, особливо в посушливих умовах (313, 314), а також джерелом енергії і поживних речовин, зокрема кальцію (315).

Закономірність видової поведінки можна оцінити не тільки для інтегральних змінних, але і для ознак, які характеризують окремими властивостями ґрунту або іншими екологічними показниками. Отримані дані свідчать про те, що тісне сусідство з деревами створює сприятливі умови для проживання всіх видів моллюсків. З іншого боку, відстань менше 1-2 метрів до рекреаційних доріжок є несприятливою зоною для існування мікромоллюсків. Мікромоллюск *Vallonia pulchella* чутливий до всіх показників ґрунту. Окрім того, збільшення чисельності цього виду спостерігалось при

домінуванні агрегатних фракцій розміром 0,5-7 мм, тоді як інші види були менш чутливі до агрегатних властивостей ґрунту.

Таким чином, рекреаційний вплив у вигляді стихійних доріжок суттєво змінює властивості ґрунту в штучних паркових насадженнях. Зона впливу такої трансформації значно перевищує видимі межі доріжок. Основними тенденціями трансформації є підвищення твердості та щільності ґрунту, погіршення повітряного та водного режиму, негативна зміна агрегатних структур ґрунту. Така трансформація впливає на умови життя ґрунтових мікромолюсків. В результаті наближення до рекреаційних доріжок умови життя погіршуються, що призводить до різкого зниження чисельності мікромолюсків. *Vallonia pulchella* найбільш вразлива до рекреаційного навантаження. Мікромолюски *Cochlicopa lubrica* і *Acanthinula aculeata* більш стійкі до рекреаційного навантаження, але їх чисельність нижча, ніж у *Vallonia pulchella*. Конкуренція між видами має важливе значення для динаміки угруповань мікромолюсків в умовах низького антропогенного навантаження. Абіотичні фактори займають домінуючу ланку, яка підвищує рекреаційну трансформацію ґрунту.

#### Висновки до розділу

1. Просторова варіабельність угруповань мікромолюсків має ієрархічну структуру та представлена широкомасштабними, середньомасштабними та дрібномасштабними компонентами. Широкомасштабний компонент визначався відстанню між деревами і пішохідними доріжками. Ця модель також враховувала варіативність твердості ґрунту, агрегатний склад, електропровідність, вологість і щільність ґрунту. Середньомасштабний компонент характеризувався варіабельністю агрегатного складу ґрунту, а також незалежним від властивостей ґрунту компонентом. Дрібномасштабна компонента просторової варіації угруповань молюсків є незалежною від вимірюваних ґрунтових параметрів і, найімовірніше, є наслідком структуруючого ефекту міжвидових взаємодій.

2. Рекреаційне вплив, у вигляді пішохідних доріжок, істотно впливає на параметри ґрунту в штучних паркових насадженнях. При цьому основні процеси перетворення представлено твердістю та щільністю ґрунту, порушенням повітряного і водного режиму, несприятливим агрегатним складом ґрунту. Подібна зміна позначилась на життєдіяльності ґрунтових мікромолюсків.

3. Зі збільшенням рекреаційного навантаження чисельність популяцій всіх видів скорочувалась. Реакція видів мікромолюсків на прямий рекреаційний вплив мала вигляд плато (*C. lubrica*) та асиметричної унімодалної реакції (*V. pulchella* і *A. aculeata*). За низького антропогенного впливу конкуренція між видами має важливе значення в динаміці угруповань мікромолюсків. Унаслідок зростання рекреаційної трансформації ґрунту абіотичні чинники можуть посідають провідне положення.



1. У межах техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну виявлено популяцію мікромолюска *Vallonia pulchella*, а на ділянці рекреаційного призначення в Новоолександрівському парку встановлено наявність трьох видів наземних мікромолюсків: *Vallonia pulchella* (Muller 1774), *Cochlicopa lubrica* (Muller 1774), *Acanthinula aculeata* (Muller 1774).

2. Роль електропровідності ґрунту як предиктора екологічної ніші *V. pulchella* спричинена мінливістю режиму вологості, особливостями мінерального живлення і наявністю поживних речовин. Встановлено, що мікромолюск чутливий до структури ґрунтових агрегатів: найбільша кількість особин припадає на агрегатні фракції 1–2 мм та 3–5 мм, а найменша – на 0,5–1,0 мм, тобто *V. pulchella* негативно реагує на збільшення вмісту в техноземах дрібних агрегатних фракцій (розміром до 1 мм). У межах варіабельності твердості ґрунту мікромолюск найбільш чутливий до лесоподібних суглинків, менш чутливий – до педоземів, найменш – до дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах. Крім того, мікромолюск надає перевагу проєктивному покриттю бобовим та злакам, а відкрита площа ґрунту й відмерла трав'яниста рослинність несприятливо впливає на чисельність *V. pulchella*.

3. Агрегатна структура ґрунту відіграє важливу роль постаючи маркером екологічної ніші *V. pulchella*. Вміст цінних, в агрономічному відношенні, агрегатів (1-5 мм) здійснює позитивний вплив на чисельність мікромолюска. Екологічна ніша *V. pulchella* представлена інтегральними змінними, такими як вісь маргінальності та спеціалізації. Вісь маргінальності та спеціалізації екологічної ніші *V. pulchella*, проєктовані в просторі ґрунтових агрегатів, достовірно відрізняються від випадкової альтернативи. Маргінальність екологічної ніші мікромолюска корелює з твердістю ґрунту на глибині від 0-5 до 20-25 см, вологістю, кислотністю й аерацією. Спеціалізація корелює з

твердістю ґрунту на глибині 25-35 см, вмістом азоту і режимом кислотності. Крім того, *V. pulchella* унікає ділянок з високою електропровідністю.

4. Фітоіндикаційні шкали є важливим методом для пошуку даних щодо стану едафотопів. Аналіз ставлення *V. pulchella* щодо кожного з розглянутих екологічних режимів свідчить про те, що мікрмолюск найбільш чутливий до дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах, менш чутливий – до лесоподібних суглинків, і найменш чутливий – до педоземів. Зростання карбонатних солей, високе значення омброклімату та незначний вміст вільного азоту в едафотопі впливають на чисельність мікрмолюска в техноземах.

5. Вплив рекреації у формі спонтанних доріжок істотно трансформує ґрунтові параметри в штучних паркових насадженнях. Основні процеси трансформацій представлено твердістю та щільністю ґрунту, порушенням повітряного і водного режиму, несприятливим агрегатним складом ґрунту. Зі збільшенням рекреаційного навантаження чисельність популяцій всіх видів скорочувалась. Реакція видів мікрмолюсків на прямий рекреаційний вплив мала вигляд плато (*C. lubrica*) і асиметричної унімодальної реакції (*V. pulchella* і *A. aculeata*). Внаслідок зростання рекреаційної трансформації ґрунту абіотичні чинники посідають провідне положення.

6. Просторова варіабельність угруповань мікрмолюсків має ієрархічну структуру та представлена широкомасштабними, середньомасштабними та дрібномасштабними компонентами. Широкомасштабний компонент визначався відстанню між деревами і пішохідними доріжками. Ця модель також враховувала варіативність твердості ґрунту, агрегатний склад, електропровідність, вологість і щільність ґрунту. Середньомасштабний – характеризувався варіабельністю агрегатного складу ґрунту, а також незалежним від властивостей ґрунту компонентом. Дрібномасштабна компонента просторової варіації угруповань молюсків є незалежною від вимірюваних ґрунтових параметрів і, найімовірніше, є наслідком структуруючого ефекту міжвидових взаємодій.

1. Sheoran V., Sheoran A., Poonia P. Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*. 2010;3(2):13.
2. Kundu N.K., Ghose M.K. Soil profile Characteristic in Rajmahal Coalfield area. *Indian Journal of Soil and Water Conservation*. 1997;25(1):28–32.
3. Ghose M.K. Land reclamation and protection of environment from the effect of coal mining operation. *Mine technology*. 1989;10(5):35–39.
4. Malanchuk M., Palamar A., Muzyka N., Vovk A. A systematic justification of the decision-making scheme in planning the rational use of disturbed lands in Ukraine. *Geodesy and Cartography*. 2021;70(1):1–10.
5. Забалуєв В.А. Формирование агроэкосистем рекультивированных земель в Степи Украины: эдафическое обоснование. 2010. 261 с.
6. Лихарев И.М., Раммельмейер Е.С. Наземные моллюски фауны СССР. 1952. 512 с.
7. Gural-Sverlova N.V., Gural R.I. Identification book of the terrestrial molluscs of Ukraine. 2012. Lviv. (In Ukrainian).
8. Hutchinson G.E. Concluding Remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology*. 1957;22:415–427.
9. Zhukov O.V., Kunah O.M., Dubinina Y.Y., Novikova V.O. The role of edaphic, vegetational and spatial factors in structuring soil animal communities in a floodplain forest of the Dnipro river. *Folia Oecologica*. 2018;45(1):8–23.
10. Сверлова Н.В., Мартинов В.В., Мартинов О.В. До вивчення наземної малакофауни (Gastropoda: Pulmonata) південно-східної України. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. 2006;22:35–46.
11. Сверлова Н.В. Пространственное распределение наземной малакофауны степной зоны Украины. *Ruthenica*. 2018;28(4):131–138.
12. Балашов И.А. Охрана наземных моллюсков Украины. 2016. 272 с.

13. Gural-Sverlova N., Gural R. Expansion of the ranges of land mollusks of the genus *Xeropicta* (Gastropoda, Hygromiidae) in Ukraine. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2017;8(3):212–217.
14. Lindholm W.A. Materialien zur Molluskenfauna von Südwestrussland, Polen und der Krim. *Записки Новороссийского общества естествоиспытателей*. 1908;31:199–232.
15. Гураль-Сверлова Н.В., Бусел В.А., Гураль Р.И. Видовой состав наземных моллюсков Запорожской области и влияние на него антропохории. 2018;28(3):101–112.
16. Вычалковская Н.В., Крамаренко С.С. Особенности устойчивости к потере влаги у наземных моллюсков *Brephulopsis cylindrica* (Gastropoda, Pulmonata, Buliminidae). Біорізноманіття та роль зооценозу в природних і антропогенних екосистемах: Матеріали II Міжнародної наукової конференції – Дніпропетровськ: ДНУ, . 2003.104–106.
17. Сверлова Н.В., Крамаренко С.С., Шклярчук А.Н. Наземная малакофауна Северо-Западного Причерноморья: основные результаты и перспективы исследований. *Чтения памяти А.А.Браунера*. 2000. 29–34.
18. Гураль-Сверлова Н.В., Амирян А.Л., Гураль Р.И. К изучению наземных моллюсков Армении. *Ruthenica, Russian Malacological Journal*. 2017;27(2):87–93.
19. Шилейко А.А. Наземные моллюски надсемейства Helicoidea. *Фауна СССР Моллюски Т 3, вып. 6 Нов. сер. № 117*. 1978. 384 с.
20. Гураль-Сверлова Н.В., Гураль Р.И. Малакологічний фонд. 2012. 253 с.
21. Гураль-Сверлова Н.В., Гураль Р.И. Расширение ареалов наземных моллюсков рода *Xeropicta* (Gastropoda, Hygromiidae) на территории Украины. *Российский журнал биологических инвазий*. 2017;2:20–27.
22. Гураль-Сверлова Н.В., Гураль Р.И. Визначник наземних молюсків України. 2012. 216 р.
23. Hatzioannou M., Eleutheriadis N., Lazaridou-Dimitriadou M. Food preferences and dietary overlap by terrestrial snails in logos area (Edessa,

- Macedonia, Northern Greece). *Journal of Molluscan Studies*. 1994;60(3):331–341.
24. Laguerre C., Sanchez-Hernandez J.C., Köhler H.R., Triebkorn R., Capowiez Y., Rault M., Mazzia C. B-type esterases in the snail *Xeropicta derbentina*: an enzymological analysis to evaluate their use as biomarkers of pesticide exposure. *Environmental pollution*. 2009 Jan;157(1):199–207.
  25. Сверлова Н.В. Анализ видового разнообразия наземных моллюсков в степной зоне Украины (без Крыма). Эколого-функциональні та фауністичні аспекти дослідження молюсків, їх роль у біоіндикації стану навколишнього середовища: Зб. наук. праць. 2006;2:252–256.
  26. Лихарев И.М., Виктор А.Й. Слизни фауны СССР и сопредельных стран (*Gastropoda Terrestria Nuda*). Фауна СССР. 1980. с. 409—411
  27. Балашев И.А., Сверлова Н.В. Новые данные о распространении наземных моллюсков подрода *Limacus* (*Gastropoda, Pulmonata, Limacidae*) на территории Украины. *Вестн. зоологии*. 2007;41(4):361–364.
  28. Гураль-Сверлова Н.В., Мартынов В.В. Наземные моллюски “Каменных Могил” и других заповедных территорий на востоке Украины. Кам'яні Могили – минуле та сучасність: Матер. наук.-практ. конф. – Донецьк: Ноулідж. 2012. с. 225–230.
  29. Гураль-Сверлова Н.В., Мартынов В.В., Мартынов А.В. Наземные моллюски (*Gastropoda, Pulmonata*) Донецкой возвышенности и прилегающих территорий. *Вестн. зоологии*. 2012;46(4):319–326.
  30. Гураль-Сверлова Н.В., Мартынов В.В. Первая находка наземных моллюсков рода *Gibbulinopsis* (*Gastropoda, Pulmonata, Pupillidae*) на территории Украины. *Зоологический Журнал*. 2010;89(6):758–61.
  31. Куница Н.А. Стратиграфия и малакофауна плейстоцена Украины. 1974. 82 с.
  32. Lydeard C., Cowie R. H., Ponder W. F., Bogan A. E., Bouchet P., Clark S. A., Cummings K. S. The Global Decline of Nonmarine Mollusks.

- Bioscience. 2004;54(4):321–330.
33. Régnier C., Fontaine B., Bouchet P. Not knowing, not recording, not listing: Numerous unnoticed mollusk extinctions. *Conservation Biology*. 2009;23(5):1214–1221.
  34. Alonso M.R., Ibáñez M. Biogeographic study of *Iberus gualtiranus* (Pulmonata: Helicidae). *Soosina*. 1985;13:1–10.
  35. Watters G., Menker T., O’Dee S. A comparison of terrestrial snail faunas between strip-mined land and relatively undisturbed land in Ohio, USA - An evaluation of recovery potential and changing faunal assemblages. *Biological Conservation*. 2005;126:166–174.
  36. Beltramino A.A., Vogler R.E., Gutiérrez Gregoric D.E., Rumi A. Impact of climate change on the distribution of a giant land snail from South America: predicting future trends for setting conservation priorities on native malacofauna. *Climatic Change*. 2015;131(4):621–633.
  37. Capinha C., Rödder D., Pereira H., Kappes H. Response of non-native European terrestrial gastropods to novel climates correlates with biogeographical and biological traits. *Global Ecology and Biogeography*. 2014; 23(8): 857–866.
  38. Магомедова М.З., Магомедова П.Д. Метод наложения современных ареалов на палеокарту, как один из методов палеогеографической реконструкции истории сложения Кавказского перешейка и его биоты. *Юг России: экология, развитие*. 2011;6(1):150–153.
  39. Удалой А.В. Наземные моллюски (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata) юга Западной Сибири: Фауна, экология, география. Автореф. на дис. к.б.н. 2004;35 с.
  40. Jones C., Shachak M. Fertilization of the desert soil by rock-eating snails. *Nature*. 1990;346:839–41.
  41. Jones C.G., Shachak M. Desert snail’s daily grind. *Natural History*. 1994;103(8):56–61.
  42. Thompson L., Thomas C.D., Radley J.M.A., Williamson S., Lawton J.H. The

- effect of earthworms and snails in a simple plant community. *Oecologia*. 1993;95(2):171–178.
43. Умерова А.К. Аналіз екологічної ніші *Vallonia pulchella* (Muller 1774) у дерново-літогенних ґрунтах на сіро-зелених глинах (Нікопольський марганцеворудний басейн). *Біоресурси і природокористування*. 2019;468:67–74.
  44. Simkiss K. Intracellular and extracellular routes in bioremineralization. *Symposia of the Society of Experimental Biology*. 1976;30:423–444.
  45. Graveland J., Wal van der R. Decline in snail abundance causes eggshell defects in forest passerines. *Oecologia*. 1996;105:351–360.
  46. Dallinger R. Strategies of metal detoxification in terrestrial invertebrates. *Ecotoxicology of Metals in Invertebrates*. 1993;245–290.
  47. Dallinger R., Lagg B., Egg M., Schipflinger R., Chabicovsky M. Cd accumulation and Cd-metallothionein as a biomarker in *Cepaea hortensis* (Helicidae, Pulmonata) from laboratory exposure and metal-polluted habitats. *Ecotoxicology*. 2004;13(8):757–772.
  48. Hawkins J.W., Lankester M.W., Lautenschlager R.A., Bell F.W. Effects of alternative conifer release treatments on terrestrial gastropods in northwestern Ontario. *Forestry Chronicle*. 1997;73(1):91–98.
  49. Шилейко А.А., Рымжанов Т.С. Фауна наземных моллюсков Казахстана и сопредельных территорий. 2013. 389 p.
  50. Newbold T., Hudson L.N., Hill Samantha L.L., Contu S., Lysenko I., Senior R.A. et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*. 2015;520(7545):45–50.
  51. Goodfriend G.A. Variation in land-snail shell form and size and its causes: A review. *Systematic Biology*. 1986;35(2):204–223.
  52. Baur A., Baur B. Individual movement patterns of the minute land snail *Punctum pygmaeum* (Draparnaud) (Pulmonata: Endodontidae). *Veliger*. 1988;30:372–376.
  53. Hylander K., Nilsson C., Jonsson B., Göthner T. Difference in habitat quality

- explain nestedness in a land snail meta-community. *Oikos*. 2005;108:351–361.
54. Wäreborn I. Changes in the land mollusc fauna and soil chemistry in an inland district in southern Sweden. *Ecography*. 1992;15(1):62–69.
55. Martin K., Sommer M. Relationships between land snail assemblage patterns and soil properties in temperate humid ecosystems. *Journal of Biogeography*. 2004;31(4):531–545.
56. Horsák M., Hájek M., Tichý L., Juříčková L. Plant indicator values as a tool for land mollusc autecology assessment. *Acta Oecologica*. 2007;32(2):161–171.
57. Prior D.J. Water-regulatory behaviour in terrestrial gastropods. *Biological Reviews*. 1985;60(3):403–24.
58. Luchtel D.L., Deyrup-Olsen I. Body wall: form and function. 2001. p. 147–178.
59. Frest T.J., Johannes E.J. Interior Columbia Basin mollusk species of special concern. Report to Interior Columbia Basin Ecosystem Management Project. 1995. p. 274.
60. Asami T. Interspecific differences in desiccation tolerance of juvenile land snails. *Functional Ecology*. 1993;7:571–577.
61. Tattersfield P. Terrestrial mollusc faunas from some South Pennine woodlands. *Journal of Conchology*. 1990;33:355–374.
62. Wardhaugh A.A. The terrestrial molluscan fauna of some woodlands in North East Yorkshire, England. *Journal of Conchology*. 1995;35(4):313–27.
63. Steinberger Y., Grossman, S., Dubinsky Z., Shachak M. Stone microhabitats and the movement and activity of desert snails, *Sphincterochila prophetarum*. *Malacological Review*. 1983;16:63–70.
64. Jaremovic R., Rollo C. Tree climbing by the snail *Cepaea nemoralis* (L.): a possible method for regulating temperature and hydration. *Canadian Journal of Zoology*. 2011;57:1010–1014.
65. Moreno-Rueda G. Refuge selection by two sympatric species of arid-



- dwelling land snails: Different adaptive strategies to achieve the same objective. *Journal of Arid Environments*. 2007;68:588–598.
66. Raut S.K., Ghose K.C. Pestiferous Land Snails of India. *Zoological Survey of India*. 1984;11:151.
  67. Балашов И.А. Фауна Украины. Том 29. Моллюски. Вып. 5. Стебельчатоглазые (*Stylommatophora*). 2016. 592 p.
  68. Perea J., García A., Gómez G., Acero R., Peña F., Gómez S. Effect of light and substratum structural complexity on microhabitat selection by the snail *Helix aspersa* Müller. *Journal of Molluscan Studies*. 2007;73(1):39–43.
  69. Cowie R. Microhabitat choice and high temperature tolerance in the land snail *Theba pisana* (Mollusca: Gastropoda). *Journal of Zoology*. 2009;207:201–211.
  70. Лихарев И.М. Клаузилииды. Фауна СССР Моллюски. 1962. 317 с.
  71. Livshits G.M. Ecology of the terrestrial snail (*Brephulopsis bidens*): age composition, population density and spatial distribution of individuals. *Journal of Zoology*. 1983;199(4):433–446.
  72. Smith T., Nekola J. Terrestrial Gastropod Richness Patterns in Wisconsin Carbonate Cliff Communities. *Malacologia*. 1999;41:253–269.
  73. Paul C. R. C. Ecology of mollusca in ancient woodland. 2. Analysis of distribution and experiments in Hayley Wood. *Camebridgeshire Journal of Conchology*. 1978;29(APR):281–294.
  74. Cowie R.H., Nishida G.M., Basset Y., Gon S.M. Patterns Of Land Snail Distribution In a Montane Habitat On the Island Of Hawaii. *Malacologia*. 1995;36(1–2):155–169.
  75. Barker G., Mayhill P. Patterns of diversity and habitat relationships in terrestrial mollusc communities of the Pukeamaru Ecological District, northeastern New Zealand. *Journal of Biogeography*. 2001;26(2):215–238.
  76. Oldham C. Further observations on the influence of lime on the shells of snails. *Journal of Molluscan Studies*. 1934;21:131–138.
  77. Crowell H.H. Laboratory study of calcium requirements of the brown garden

- snail, *Helix aspersa* Muller. Journal of Molluscan Studies. 1973;40(6):491–503.
78. Tompa A.S., Wilbur K.M. Calcium mobilization during reproduction in snail *Helix aspersa*. Nature. 1977;270:53–54.
  79. Hotopp K. Land snails and soil calcium in Central Appalachian Mountain forest. Southeastern Naturalist. 2002;27–44.
  80. Романенко В.Н. Почвенная зоология. Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет. 2013. 196 с.
  81. Grime J.P., Blythe G.M. An investigation of the relationship between snails and vegetation at the Winnats Pass. Journal of Ecology. 1969;57(1):45–66.
  82. Kralka R.A. Population characteristics of terrestrial gastropods in boreal forest habitats. The American Midland Naturalist. 1986;115(1):156–164.
  83. Locasciulli O., Boag D.A. Microdistribution of terrestrial snails (*Stylommatophora*) in forest litter. The Canadian Field-Naturalist 1987;101(1):76–81.
  84. Prezio J., Lankester M., Lautenschlager R., Bell F.W. Effects of alternative conifer release treatments on terrestrial gastropods in regenerating spruce plantations. Canadian Journal of Forest Research. 2011;29:1141–1148.
  85. Boschi C., Baur B. Effects of management intensity on land snails in Swiss nutrient-poor pastures. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2007;120(2):243–249.
  86. Labaune C., Magnin F. Pastoral management vs. land abandonment in Mediterranean uplands: Impact on land snail communities. Global Ecology and Biogeography. 2002;11:237–245.
  87. Baur B. Between and Within Population Differences in Geotactic Response in the Land Snail *Arianta Arbustorum* (L.) (Helicidae). Behaviour. 1986;96(1–2):147–160.
  88. Klausnitzer B. Okologie der Grobstadtfauna. Vols. 2.Aufl. – 1993. 454 p.
  89. Tappert A. Die Molluskenfauna von Koln. Beihefte. 1996;35:579–643.
  90. Кирпан С., Крамаренко С., Сверлова Н., Сон М., Шклярук А. Изучению

- Наземной Малакофауны В Городах Украины. Вісник Житомирського Державного Університету Імені Івана Франка. 2002;(10):93–96.
91. Кульбачко Ю. Л., Унковская С. И. Характеристика фауны наземных брюхоногих моллюсков искусственных древесных насаждений и рекультивированных территорий в г. Желтые Воды. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2008;16(1):128–132.
92. Гитилис В.С. Видовой состав наземных моллюсков культурного ландшафта Черновицкой области. Научный ежегодник Чернов. гос. ун-та. 1960;439–440.
93. Гитилис В.С. Наземные моллюски Советской Буковины. Животный мир Советской Буковины Черновцы: Изд-во Чернов. гос. ун-та. 1959;264–78.
94. Байдашников А.А. Наземная малакофауна Украинского Полесья. Вестник зоологии. 1992;4:13–19.
95. Balashov I.A. Land mollusks (Gastropoda, Pulmonata) of the Poltava region. Proc. of the State Nat. Hist. Museum. 2010;26:191–198.
96. Решетняк О.С. Оценка эффекта антропогенного воздействия и экологического риска в экосистеме нижней волги. Труды ИБВВ РАН. 2018;83(86):23–31.
97. Reshetnyak O.S., Nikanorov A.M., Bryzgalov V.A., Kosmenko L.S. Anthropogenic transformation of the aquatic ecosystem of the Lower Volga. Water Resources. 2013;40(6):667–676.
98. Wilcove D.S., Rothstein D., Dubow J., Phillips A., Losos E. Quantifying threats to imperiled species in the United States: Assessing the relative importance of habitat destruction, alien species, pollution, overexploitation, and disease. Bioscience. 1998;48(8):607–615.
99. Stuart L., Raven P., Raven P. Biodiversity: extinction by numbers. Nature. 2000;403(6772):843–845.
100. Venter O., Brodeur N., Nemiroff L., Belland B., Dolinsek I., Grant J. Threats to Endangered Species in Canada. Bioscience. 2006;56:903–910.

101. Rouget M., Richardson D., Lloyd J., Lombard A. Current patterns of habitat transformation and future threats to biodiversity in terrestrial ecosystems of the Cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation - BIOL CONSERV.* 2003;112:63–85.
102. Power A.G. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.* 2010;365(1554):2959–2571.
103. McKinney M.L. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems.* 2008;11(2):161–76.
104. Brewer D., Dennis D., Fry G., Milton D., Dambacher J., Velde van der T., Manson F., Heales D., Koutsoukos A., Skewes T., Taranto T., Jones P., Venables B., Wang Y.G., MacIntyre M., Foale S., Blaber S. Assessment of mine impacts on Lihir Island fish communities with an estimation of the potential fisheries resources. CSIRO Final Report. June 2004, Lihir Mining Company. 2004.
105. Дем'янюк О.С., Симочко Л.Ю., Тертична О.В. Сучасні методичні підходи до оцінювання екологічного стану ґрунту за активністю мікробіоценозу. *Питання біоіндикації та екології.* 2017;22(1):55–68.
106. Яблоков А.В., Левченко В.Ф., Керженцев А.С. Очерки биосферологии 1. Выход есть: переход к управляемой эволюции биосферы. *Philosophy and Cosmology.* 2015;14:92–119.
107. Нотов А.А., Мейсурова А.Ф., Зуева Л.В, Нотов В.А., Андреева Е.А., Иванова С.А. Некоторые итоги реализации программы комплексного биомониторинга экосистем Верхневолжья. *Вестник ТвГУ. Серия "Биология и экология".* 2017;2:244–269.
108. Беднова О.В. Биоразнообразие в лесных экосистемах: зачем и как его оценивать. *Лесной вестник.* 2003;2:149–155.
109. Mikusiński G., Gromadzki M., Chylarecki P. Woodpeckers as Indicators of Forest Bird Diversity. *Conservation Biology.* 2001;15:208–217.
110. Potapova M., Charles D. Diatom Metrics for Monitoring Eutrophication in

- Rivers of the United States. *Ecological Indicators*. 2007;7:48–70.
111. Nekola J. C. Land Snail Ecology and Biogeography of Eastern Maine. 2008. 121 p.
  112. Roth B. Revision der Gattung *Vallonia* Risso 1826 (Mollusca: Gastropoda: Valloniidae), by Jochen Gerber. *Veliger-Berkeley*. 1996;39(4):362.
  113. Herbert D.G. The introduced terrestrial Mollusca of South Africa. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 2010;53(9):108.
  114. Roll U., Dayan T., Simberloff D., Mienis H.K. Non-indigenous land and freshwater gastropods in Israel. *Biological Invasions*. 2009;11(8):1963–1972.
  115. Mitra S., Dey A.R. Pictorial Handbook-Indian Land Snails. 2004. 344 p.
  116. Hubricht L. The distributions of the native land mollusks of the Eastern United States. *Fieldiana: Zoology New Ser.* 1985;24:191.
  117. Kearney M.P., Cameron R. A. D. A Field Guide to the Land Snails of Britain and North West Europe. 1979. 288 p.
  118. Gural-Sverlova N.V., Gural R.I. Guide to the terrestrial mollusks of Ukraine. Lviv (in Ukrainian). 2012.
  119. Zemoglyadchuk K.V. Species composition of terrestrial mollusks of the Berezinsky state biospherereserve. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series*. 2005;5(1):87-90 (in Russian).
  120. Kulbachko Y. L. Influence of spring floods on the vertical distribution of soil invertebrates in the riverbed floodplain of river Samara. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology*. 2006;14(1):96–100 (in Russian).
  121. Koralewska-Batura E., Błoszyk J. Stability of malacocoenoses in an ash-elm forest based on two year observations. *Folia Malacologica*. 2007;15(4):175–180.
  122. Čejka T., Hamerlík L. Land snails as indicators of soil humidity in Danubian woodland (SW Slovakia). *Polish Journal of Ecology*. 2009;57(4):741–7.
  123. Kunakh O.N., Kramarenko S.S., Zhukov A.V., Zadorozhnaya G.A., Kramarenko A.S. Intra-population spatial structure of the land snail *Vallonia*

- pulchella (Müller, 1774) (Gastropoda; Pulmonata; Valloniidae). *Ruthenica*. 2018;28(3):91–9.
124. Georg F.J. Armbruster. Selection and habitat-specific allozyme variation in the self-fertilizing land snail *Cochlicopa lubrica* (O. F. Müller). *Journal of Natural History*. 2001;35(2):185–99.
  125. Quick H.E. *Cochlicopa* in the British Isles. *Journal of Molluscan Studies*. 1954;30(6):204–213.
  126. Gassies J–B. Tableau méthodique et descriptif des mollusques terrestres et d'eau douce de l'agenais. 1849. 209 p.
  127. Edna N-G., Neil E.F. The Lesser Families of Mexican Terrestrial Molluscs. *American Malacological Bulletin*. 2010;28(1–2):59–80.
  128. Cook L.M., Cameron R.A.D., Lace L.A. Land snails of eastern Madeira: Speciation, persistence and colonization. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 1990;239(1294):35–79.
  129. Willan R. Globe-trotting nudibranch arrives in Australia. *Aust shell news*. 2006;130:1–8.
  130. Bruggen Van A.C. *Cochlicopa lubrica* and other alien testaceous land snails in South Africa. *Journal of Conchology*. 1980;30:225–228.
  131. Anderson R. An Annotated List of the Non-Marine Mollusca of Britain & Ireland. *Journal of Conchology*. 2005;38:607–38.
  132. Killeen I.J. Atlas of the Land and Freshwater Molluscs of Britain and Ireland. 1999. 264 p.
  133. Kerney M. P., Cameron R.A. Land snails of the British Isles. 1979. 82 p.
  134. Jungbluth J.H., Knorre von D. Trivialnamen der Land-und Süßwassermollusken Deutschlands (Gas-tropoda et Bivalvia). *Mollusca*. 2008;26(1):105–156.
  135. Outeiro A. Gasterópodos de O Courel (Lugo). In: Tesis doctoral (inérita) Universidad de Santiago. 1988. p. 626.
  136. Paul C.R.C. The ecology of mollusca in ancient woodland. The fauna of Hayley wood, Cambridgeshire. *Journal of Conchology*. 1975;28:301–327.

137. Кирпан С.П., Сверлова Н.В. До вивчення синантропних елементів у наземних малакоценозах заходу України. Наукові записки Державного природознавчого музею. 2002;17:191–195.
138. Гураль-Сверлова Н.В. Деякі зміни у видовому складі наземної малакофауни Львова за останні 100 років. Наукові записки Державного природознавчого музею. 1997;13:65–68.
139. Сверлова Н.В. Полиморфизм интродуцированного вида *Serapea hortensis* (Gastropoda, Pulmonata, Helicidae) во Львове. Зоологический Журнал. 2001;80(520–524).
140. Ström L., Hylander K., Dynesius M. Different long-term and short-term responses of land snails to clear-cutting of boreal stream-side forests. Biological Conservation. 2009;142:1580–1587.
141. Zhang Y., Zou X., Xu C., Yang Q. Decoupling greenhouse gas emissions from crop production: A case study in the heilongjiang land reclamation area, China. Energies. 2018;11(6).
142. Hu X., Lu L., Li X., Wang J., Lu X. Ejin oasis land use and vegetation change between 2000 and 2011: The role of the ecological water diversion project. Energies. 2015;8(7):7040–7057.
143. Ma E., Deng X., Zhang Q., Liu A. Spatial variation of surface energy fluxes due to land use changes across China. Energies. 2014;7(4):2194–2206.
144. Deng X., Zhao C., Yingzhi L., Tao Z., Qu Y., Zhang F., Wang Z., Wu F. Downscaling the Impacts of Large-Scale LUCC on Surface Temperature along with IPCC RCPs: A Global Perspective. Energies. 2014;7:2720–2739.
145. Zhao H., Zhu X., Li Y., Zhao X. Analysis on Susceptibility of Vegetation Canopy Spectra in Coal Mining Area to Land Reclamation. Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi. 2019;39:1858–1863.
146. Брыксин Н.С., Велякина Г.Ф., Запольская Н.С. Рекультивация нарушенных земель с сохранением верхних ценных литогенных ресурсов в условиях Кузнецкого угольного бассейна. Творчество юных - шаг в успешное будущее : материалы VIII Всероссийской научной

студенческой конференции с элементами научной школы имени профессора М. К. Коровина, г. Томск, 23-27 ноября

147. Sheoran A., Sheoran V., Poonia P. Rehabilitation of mine degraded land by metallophytes. *Mining Eng. J.* 2008;10:11–16.
148. Wong M.H. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere.* 2003;50(6):775–780.
149. Иванова Л.В. Зарубежный опыт решения проблем рекультивации земель, нарушенных в процессе недропользования. *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2015;56:491–8.
150. Акимова Т.А., Хаскин В.В. *Экология. Учебник для вузов.* 1999. 455 с.
151. Лазарева И.В. *Восстановление (рекультивация) нарушенных территорий.* 1962. 317 с.
152. Тимошук І.І. Концептуальні засади та напрями рекультивації промислово – вироблених торфовищ. *Ефективна економіка.* 2016;2: 1-4.
153. Singh A.N., Raghubanshi A.S., Singh J.S. Plantations as a tool for mine spoil restoration. *Current Science.* 2002;82(12):1436–1441.
154. Lone M.I., He Z., Stoffella P.J., Yang X. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: progresses and perspectives. *Journal of Zhejiang University. Science. B.* 2008;9(3):210–220.
155. Kavamura V.N., Esposito E. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. *Biotechnology Advances.* 2010;28(1):61–69.
156. Федосеева Т.П. *Рекультивация земель.* 1977. 142 с.
157. Некрасова А.Е. Рекультивация нарушенных земель на примере породного отвала обогатительной фабрики шахты «Капитальная» Кемеровской области. In: *Науки о Земле: вчера, сегодня, завтра: материалы II Междунар науч конф.* 2016.с. 23–6.
158. Kalybekov T., Sandibekov M., Rysbekov K., Zhakypbek Y. Substantiation of ways to reclaim the space of the previously mined-out quarries for the recreational purposes. *E3S Web of Conferences.* 2019;123:1-13.



159. Тихонова Е.Н., Малинина Т.А., Селиванова А.С., Бархударян Д.А. Рекреационная рекультивация территории как основа создания паркового. Лесотехнический журнал. 2018;4(32):148–156.
160. Liu J.X., Wu H.J., An Z.Q. Analysis on the Ecological Restoration Technology. In: Civil Engineering, Architecture and Sustainable Infrastructure II. 2013;438:1282–1285.
161. Zenkov I.V. The impact of water erosion on the relief of coal and rock dumps. Recovery work. Ecology and industry of Russia. 2014;6:28–31.
162. Косолапов А.И., Пташник Ю.П., Пташник А.И. Перспективы использования выработанных пространств карьеров для размещения предприятий жизнеобеспечения крупных городов. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013;3:83–6.
163. Faly L.I., Kolombar T.M., Prokopenko E. V., Pakhomov O.Y., Brygadyrenko V.V. Structure of litter macrofauna communities in poplar plantations in an urban ecosystem in Ukraine. Biosystems Diversity. 2017;25(1):29–38.
164. Myšák J., Horsák M., Svobodová E., Cernohorsky N. Small-scale distribution of terrestrial snails: Patterns of species richness and abundance related to area. Journal of Molluscan Studies. 2013;79(2):118–127.
165. Martin K., Sommer M. Relationships between land snail assemblage patterns and soil properties in temperate-humid forest ecosystems. Journal of Biogeography. 2004;31:531–545.
166. Millar A. J., Waite S. Mollusks in coppice woodland. Journal of Conchology. 1999;36(5):25–48.
167. Müller J., Strätz C., Hothorn T. Habitat factors for land snails in European beech forests with a special focus on coarse woody debris. European Journal of Forest Research. 2005;124(3):233–242.
168. Weaver K., Anderson T., Robert G. Combining phylogenetic and ecological niche modeling approaches to determine distribution and historical

- biogeography of Black Hills mountain snails (Oreohelicidae). Diversity and Distributions. 2006;12:756–766.
169. Umerova A.K. Peculiarities of the Spatial Organization of the Ecological Niche of *Vallonia pulchella* (Muller, 1774) on the Pedozems of the Nikopol Manganese Ore Basin. *Agrology*. 2020;3(1):39–45.
  170. Bohan D.A., Glen D.M., Wiltshire C.W., Hughes L. Parametric intensity and the spatial arrangement of the terrestrial mollusc herbivores *Deroceras reticulatum* and *Arion intermedius*. *Journal of Animal Ecology*. 2000;69(6):1031–1046.
  171. Hall L., Krausman P., Morrison M. The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin*. 1997;5:173–182.
  172. Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв. 1965. 279 с.
  173. Zhukov O.V., Zadorozhna G.O., Maslikova K.P., Andrushevych K.V., Lyadskaya I.V. *Tehnosols Ecology: Monograph*. Dnipro: Zhurfond. 2017. 442 с. (in Ukrainian).
  174. Pidwirny M. Concept of Ecological Niche. *Fundamentals of Physical Geography*. 2006;2nd Editio: Date Viewed.
  175. Pianka E.R. Competition and niche theory. In: *Theoretical Ecology* 2nd ed, Sinauer Associates, Sunderland, MA. 1981. p. 167–196.
  176. Soberón J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology letters*. 2007;10 12:1115–1123.
  177. Devictor V., Clavel J., Julliard R., Lavergne S., Mouillot D., Thuiller W., Venail P., Villéger S., Mouquet N. Defining and measuring ecological specialization. *Journal of Applied Ecology*. 2010;47(1):15–25.
  178. Grinnell J. The niche relationship of the California Thrasher. *The Auk: Ornithological Advances*. 1917;34(4):427–433.
  179. Elton C. *Animal Ecology*. Sidgwick and Jackson, London. 1927. 207 p.
  180. Krebs C.J. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance* (2nd ed.) Harper and Row, New York. 1978. 678 p.
  181. Giller P.S. *Community Structure and the Niche*. 1984. 184 p.

182. Kearney M. R., Simpson S. J., Raubenheimer D., Helmuth B. Modelling the ecological niche from functional traits. *Philosophical Transactions of the Royal Society B – Biological Sciences*. 2010;365(1557):3469–3483.
183. Polechová J., Storch D. Ecological Niche. In S. E. Jørgensen & B. D. Fath (Eds.). *Encyclopedia of Ecology*. 2008;Oxford: Ac:1088–1097.
184. Guisan A., Thuiller W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*. 2004;10(5):435.
185. Guisan A., Zimmermann N.E. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*. 2000;135(2–3):147–186.
186. Ogurtsov S.S., Mikhalap S.G. Ecological Niche and Habitat Suitability Modeling of Two Species of Forest Voles in the Southern Taiga. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2021;6(1):1–17.
187. Calenge C., Basille M. A general framework for the statistical exploration of the ecological niche. *Journal of Theoretical Biology*. 2008;252(4):674–685.
188. Hirzel A.H., Helfer V., Metral F. Assessing habitat-suitability models with a virtual species. *Ecological Modelling*. 2001;145(2):111–121.
189. Bernard C. Habitat selection by lynx (*Lynx lynx*) in a human-dominated landscape – from theory to application. Univ Claude Bernard, Villeurbanne, Diss. 2008;
190. Yorkina N., Maslikova K., Kunah O., Zhukov O. Analysis of the spatial organization of *Vallonia pulchella* (Muller, 1774) ecological niche in Technosols (Nikopol manganese ore basin, Ukraine). *Ecologica Montenegrina*. 2018;17(April):29–45.
191. Andrushenko A.Yu., Zhukov A.V. 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 Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*. 2016;6(3):234–247.
192. Calenge C., Darmon G., Basille M., Loison A., Jullien J.M. The factorial decomposition of the Mahalanobis distances in habitat selection studies. *Ecology*. 2008;89(2):555–566.

193. Knecht de H., Langevelde F., Skidmore A., Delsink A., Slotow R., Henley S., Bucini G., Boer de W.F., Coughenour M.B., Grant C.C., Heitkoönig I. M.A., Henley M., Knox N.M., Kohi E.M., Mwakiwa E., Page B.R., Peel M., Pretorius Y., Wieren van S.E., Prins H.H.T. The spatial scale of habitat selection by African elephants. *The Journal of animal ecology*. 2010;80:270–81.
194. Hirzel A.H., Hausser J., Chessel D., Perrin N. Ecological-Niche Factor Analysis: How to Compute Habitat-Suitability Maps without Absence Data? *Ecology*. 2002;83(7):2027.
195. Basille M., Calenge C., Marboutin É., Andersen R., Gaillard J.M. Assessing habitat selection using multivariate statistics: Some refinements of the ecological-niche factor analysis. *Ecological Modelling*. 2008;211(1–2):233–240.
196. Дніпропетровська ОДА. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2019 рік. 2020. 235 с.
197. Голюкова Е.О. Природно-просторові ресурси міста Дніпро. IV Всеукраїнська наукова конференція студентів «Наукова Україна» з міжнародною участю. 2018. с. 36–43.
198. Кузнецова И. В., Азовцева Н. А., Бондарев А. Г. Нормативы изменения физических свойств почв степной, сухостепной, полупустынной зон европейской территории России. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2011;67:3–19.
199. Національний атлас України. Видавництво ДНВП «Картографія». 2007. 440 с.
200. Узбек И.Х., Кобец А.С., Волох П.В., Дырда В.И., Демидов А.А. Рекультивация нарушенных земель как устойчивое развитие сложных техноэкосистем. Днепропетровск: «Пороги». 2010. 263 с.
201. Єстеревська Л.В., Момот Г.Ф., Лехцієр Л.В. Рекультивовані ґрунти: підходи до класифікації і систематики. *Ґрунтознавство*. 2008;9(3–4):147–150.

202. Масюк Н. Т., Бекаревич Н. Е. Рациональное использование насыпного слоя почвы на участках рекультивации в черноземной зоне. Освоение нарушенных земель. Наука. 1976;112–150.
203. Teluk P., Yorkina N., Umerova A., Budakova V., Nydion N., Zhukov O. Estimation of the Level of Recreational Transformation of Public Green Spaces by Indicators of Soil Penetration Resistance. *Agrology*. 2021;3(3):171–80.
204. Scoggins H.L., Iersel Van M.W. In situ probes for measurement of electrical conductivity of soilless substrates: Effects of temperature and substrate moisture content. *HortScience*. 2006;41(1):210–4.
205. Zhukov A.V., Kunah O.N., Novikova V.A., Ganzha D.S. Phytointication estimation of soil mesopedobionts communities catena and their ecomorphic organization. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*. 2016;6(3):91–117.
206. Al-Shammary A. A.G., Kouzani A.Z., Kaynak A., Khoo S.Y., Norton M., Gates W. Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review. *Pedosphere*. 2018;28(4):581–596.
207. Didukh Y.P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv. *Phytosociocentre*. 2011;176.
208. Calenge C. The package “adehabitat” for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling*. 2006;197(3–4):516–519.
209. Oksanen J., Blanchet F. G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlenn D., Minchin P. R., O’Hara R.B., Simpson G. L., Solymos P., Stevens, M.H.H., Szoecs E., Wagner H. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6. <https://CRANR-project.org/package=vegan>. 2019;<https://cr>.
210. Шибанін В.С., Крамаренко С.С., Ганганов В.М. Аналіз структури популяцій. 2008. 232 с.
211. Minasny B., Mcbratney A. The Matérn function as a general model for soil variograms. *Geoderma*. 2005;128:192–207.

212. McBratney A.B., Pringle M.J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. *Precision Agriculture*. 1999;1:125–152.
213. Webster R., Oliver M. *Geostatistics for Environmental Scientists: Second Edition*. Geostatistics for Environmental Scientists: Second Edition. 2007. 336 p.
214. Stein M.L. *Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging*. New York: Springer. 1999. 247 p.
215. Marc G., Kleiber W. Cross-Covariance functions for multivariate geostatistics. *Statistical Science*. 2015;30:147–163.
216. Abramowitz M., Stegun I.E. *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*. 10th Printing. U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Washington DC. 1972; 1076 p.
217. Triantafilis J., Huckel A., Odeh I. Comparison of Statistical Prediction Methods for Estimating Field-Scale Clay Content Using Different Combinations of Ancillary Variables. *Soil Science*. 2001;166(6):415–427.
218. Oades J.M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*. 1993;56(1–4):377–400.
219. Pebesma E. The Role of External Variables and GIS Databases in Geostatistical Analysis. *T. GIS*. 2006;10:615–32.
220. Vasat R., Pavlu L., Boruvka L., Drabek O., Nikodem A. Mapping the topsoil pH and humus quality of forest soils in the north bohemian jizerské hory mts. region with ordinary, universal, and regression kriging: Cross-validation comparison. *Soil and Water Research*. 2013;8(3):97–104.
221. Rao C. The use and interpretation of principal component analysis in applied research. *Sankhya A*. 1964;26(4):329–358.
222. Blanchet F.G., Legendre P., Borcard D. Forward selection of explanatory variables. *Ecology*. 2008;89(9):2623–2632.
223. Zhukov O.V., Kunah O.M., Dubinina Y.Y., Fedushko M.P., Kotsun V.I., Zhukova Y.O., Potapenko O.V. Tree canopy affects soil macrofauna spatial

- patterns on broad- And meso-scale levels in an Eastern European poplar-willow forest in the floodplain of the River Dnipro. *Folia Oecologica*. 2019;46(2):101–114.
224. Borcard D., Legendre P. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices. *Ecological Modelling*. 2002;153(1–2):51–68.
225. Legendre P., Legendre L. *Numerical Ecology*. Third English Edition. Elsevier, Amsterdam. 2012. 1006 p.
226. Chudomelová M., Zelený D., Li C.F. Contrasting patterns of fine-scale herb layer species composition in temperate forests. *Acta Oecologica*. 2017;80:24–31.
227. Chang L.W., Zelený D., Li C.F., Chiu S.T., Hsieh C. F. Better environmental data may reverse conclusions about niche- and dispersal-based processes in community assembly. *Ecology*. 2013;94(10):2145–2151.
228. Dray S., Bauman D., Blanchet G., Borcard D., Clappe S., Guenard G., Jombart T., Larocque G., Legendre P., Madi N., Wagner H.H. *adespatial: Multivariate Multiscale Spatial Analysis*. R package version 0.3-2. <https://CRAN.R-project.org/package=adespatial>. <https://rdrr.io/rforge/adespatial/>. 2018;
229. Kaiser H. F. A second generation little jiffy. *Psychometrika*. 1970;35(4):401–415.
230. Kaiser H.F. An index of factorial simplicity. *Psychometrika*. 1974;39(1):31–36.
231. Kaiser H.F., Rice J. Little Jiffy, Mark IV. *Educational and Psychological Measurement*. 1974;34(1):111–117.
232. Maier M.J. Companion Package to the Book ‘‘R: Einfuhrung durch angewandte Statistik’’. R package version 0.9.3. 2015. <http://cran.r-project.org/package=REdaS%3E>
233. Horn J.L. A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*. 1965;30(2):179–185.

234. Dinno A. paran: Horn's Test of Principal Components/Factors. R package version 1.5.2. <https://cran.r-project.org/package=paran>. 2018;
235. Huisman J., Olf H., Fresco L.F.M. A hierarchical set of models for species response analysis. *Journal of Vegetation Science*. 1993;4(1):37–46.
236. Michaelis J., Diekmann M. R. Biased niches – Species response curves and niche attributes from Huisman-Olf-Fresco models change with differing species prevalence and frequency. *PLoS One*. 2017;12(8):1–16.
237. Jansen F., Oksanen J. How to model species responses along ecological gradients – Huisman-Olf-Fresco models revisited. *Journal of Vegetation Science*. 2013;24(6):1108–1117.
238. Mueller J. H., Schuessler K. F. *Statistical reasoning in sociology* Houghton Mifflin Company, Boston. 1962. 442 p.
239. Heegaard E. The outer border and central border for species – Environmental relationships estimated by non-parametric generalised additive models. *Ecological Modelling*. 2002;157(2–3):131–139.
240. R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing* (3.6.3). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>. 2020.
241. Dillon M.E., Wang G., Huey R.B. Global metabolic impacts of recent climate warming. *Nature*. 2010;467(7316):704–6.
242. Chang H-W., Emlen J.M. Seasonal Variation of Microhabitat Distribution of the Polymorphic Land Snail *Cepaea nemoralis*. *Oecologia*. 1993;93(4):501–507.
243. Arad Z., Goldenberg S., Heller J. Water balance and resistance to desiccation in rock-dwelling snails. *International Journal of Biometeorology*. 1995;38(2):78–83.
244. Yom-Tov Y. The biology of two desert snails Trochoidea (*Xerocrassa*) *seetzeni* and *Sphincterochila boissieri*. *Israel Journal of Zoology*. 1971;20:231–48.
245. Heller J., Dolev A. Biology and population dynamics of a crevice-dwelling



- landsnail, *Cristataria genezarethana* (Clausiliidae). Journal of Molluscan Studies. 1994;60(1):33–46.
246. Nicolai A., Ansart A. Conservation at a slow pace: Terrestrial gastropods facing fast-changing climate. Conservation Physiology. 2017;5(1):1-17
247. Zhukov A.V., Zadorozhnaya G.A., Andrusevich Ye.V. The optimal strategy for soil sampling on the basis of data on the electrical conductivity of tehnozem. Biological Bulletin of The Melitopol State Pedagogical University. 2012;4:64-80 (in Russian).
248. Medvedev V.V. Soil penetration resistance. Gorodskaya Tipografiya, Kharkov (in Russian). 2009.
249. Zhukov A.V., Andrusevich K.V. Influence of edaphic factors on the abundance of *Vallonia pulchella* mollusk population in sod-lithogenic soils on red-brown clays. Zoocenosis–2013. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах. VII Міжнародна наукова конференція. ДНУ. Дніпро. 2013.
250. Ruiz J.R., Sui X., Lobelo F., Morrow J.R., Jackson A.W., Sjöström M., Blair Steven N. A. Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. Вmj. 2008;337(7661):92–95.
251. Волох П.В., Узбек І.Х. Сучасний ґрунтогенез на рекультивованих літоземах зони степу України. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 2010;1:39–47.
252. Dmitriev E.A. Ecological aspects of soil conditions. Pochvovedenie. 1997;7:831–839 (in Russian).
253. Babchenko V., Kovalenko D.V. Comparative analysis of the terrestrial mollusks ecological niches features in different types of the tehnosols within Nikopol manganese ore basin. Biological Resources and Nature Management. 2019;11(3–4):70–83.
254. Demidov A.A., Kobets A.S., Gritsan Yu.I., Zhukov, A.V. Spatial agricultural ecology and soil recultivation. Dnepropetrovsk. 2013. 560 p.
255. Zhukov O.V., Kovalenko D.V., Kramarenko S.S., Kramarenko A.S. Analysis of the spatial distribution of the ecological niche of the land snail

- Brephulopsis cylindrica* (Stylommatophora, Enidae) in technosols. *Biosystems Diversity*. 2019;27(1):62–68.
256. Dvořáková J., Horsák M. Variation of Snail Assemblages in Hay Meadows: Disentangling the Predictive Power of Abiotic Environment and Vegetation. *Malacologia*. 2012;55:151–162.
257. Horsák M., Hájek M., Tichý L., Juříčková L. Plant indicator values as a tool for land mollusc autecology assessment. *Acta Oecologica*. 2007;32:161–71.
258. Бельгард А. Л. Лесная растительность Донецкой и Луганской областей УССР. Киев.1950. 264 с.
259. Angilletta M.J. Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis. *Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis*. 2009. 302 p.
260. Thompson R., Cheny S. Raising Snails. National Agriculture Library. Special Reference Briefs Series. 1996.No SRB 96-05.
261. Задорожная Г.А. Просторова організація дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах. Біологічний вісник МДПУ імені Богдана Хмельницького. 2012;2(1):48–57.
262. Bronick C.J., Lal R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*. 2005;124:3–22.
263. Xie J., Xu M-G., Ciren Q., Yang Y., Zhang S., Sun B., Yang X-Y. Soil aggregation and aggregate associated organic carbon and total nitrogen under long-term contrasting soil management regimes in loess soil. *Journal of Integrative Agriculture*. 2015;14:2405–2416.
264. Zhang S., Wang R., Yang X-Y., Sun B., Li Q. Soil aggregation and aggregating agents as affected by long term contrasting management of an Anthrosol. *Scientific Reports*. 2016;6:39107.
265. Delgado-Baquerizo M., Powell J.R., Hamonts K., Reith F., Mele P., Brown M.V, Dennis P.G., Ferrari B.C., Fitzgerald A., Young A., Singh B.K, Bissett A. Circular linkages between soil biodiversity, fertility and plant productivity are limited to topsoil at the continental scale. *The New*

- Phytologist. 2017;215(3):1186–1196.
266. Bonham C.D., Clark D.L. Quantification of plant cover estimates. *Grassland Science*. 2005;51:129–137.
267. Chen W., Li J., Zhang Y., Zhou F., Koehler K., LeBlanc S., Fraser R., Olthof I., Zhang Y., Wang J. Relating Biomass and Leaf Area Index to Non-destructive Measurements in Order to Monitor Changes in Arctic Vegetation. *Arctic*. 2009;62(3):1-14.
268. Zhukov O.V. Phytoindicator estimation of the multidimensional scaling of the plant community structure. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*. 2015;1(1):69–93 (in Russian).
269. Zhukov A.V., Kunakh O.M., Balyuk Y.O. Spatial variation of ecomorphological structure of soil fauna of forest-park stand (the case of Dnepropetrovsk City park). *Bulletin of Lviv National University. Series Biology*. 2014;65:224–237.
270. Balyuk Yu.A., Kunakh O.N., Zhukov A.V., Zadorozhnaya G.A., Ganzha D.S. Ecomorphological aspect of spatial organization of mesopedobiont communities in urban soils. *Management and Protection of Ecosystems*. 2014;10:159–176.
271. Balyuk Yu.A., Kunakh O.N., Zhukov A.V., Zadorozhnaya G.A., Ganzha D.S. Adaptive strategy of sampling for estimation of spatial organization of soil animal communities of urban areas at various hierarchical levels. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*. 2014;4(3):8–33.
272. Zukov A.V., Kunah O.N., Novikova V.A., Ganža D.S. Phytoindication assessment of the catena of soil mesofauna communities and their ecomorphic organization. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*. 2016;6(3):91–117.
273. Smagin A.V., Khakimova G.M., Khineeva D.A., Sadovnikova N.B. Gravity factor of the formation of the field and capillary water capacities in soils and artificial layered soil-like bodies. *Eurasian Soil Science*. 2008;41(11):1189–

- 1197.
274. Novikova V.A. Geostatic analysis of soil penetration resistance of weakly developed sandy soil in natural reserve "Dneprovsko-Orelskiy". *Agrochemistry and Soil Science*. 2016;85:87-95 (in Russian).
275. Дідух Я.П., Плюта П.Г. Фітоіндикація екологічних факторів. Київ: Наукова думка. 1994. 280 с.
276. Дідух Я.П., Плюта П.Г., Протопопова В.В., Єрмоленко В.М., Коротченко І.А., Бурда Р.І., Каркуцієв Г.М. Екофлора України. Київ: Фітосоціоцентр. 2000. 284 с.
277. Zhukov A.V., Zadorozhnaya G. O. Spatial variability of pedozems mechanical impedance. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University*. 2013;1:34-49 (in Russian).
278. Wick A., Stahl P., Ingram L. Aggregate-Associated Carbon and Nitrogen in Reclaimed Sandy Loam Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 2009;73(6):1852–1860.
279. Klimkina I., Kharytonov M., Zhukov O. Trend analysis of water-soluble salts vertical migration in technogenic edaphotops of reclaimed mine dumps in western donbass (Ukraine). *Environmental Research, Engineering and Management*. 2018;74(2):82–93.
280. Задорожна Г.О. Просторова та часова динаміка твердості педозему. *Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки*. 2016;1:138–147.
281. Faechner T., Pyrcz M., Deutsch C. Prediction of Yield Response to Soil Remediation. *Geoderma*. 2000;97(1):21–38.
282. Zhukov O.V., Kunah O.M, Dubinina Y.Y. Sensitivity and resistance of communities: Evaluation on the example of the influence of edaphic, vegetation and spatial factors on soil macrofauna. *Biosystems Diversity*. 2017;25(4):328–341.
283. Rillig M.C., Muller L.A.H., Lehmann A. Soil aggregates as massively concurrent evolutionary incubators. *ISME Journal*. 2017;11(9):1943–1948.

284. Zhang S., Li Q., Zhang X., Wei K., Chen L., Liang W. Effects of conservation tillage on soil aggregation and aggregate binding agents in black soil of Northeast China. *Soil and Tillage Research*. 2012;124:196–202.
285. Ge N., Wei X., Wang X., Liu X., Shao M., Jia X., Li X., Zhang Q. Soil texture and phosphorous under two contrasting land use types in the Loess Plateau. *CATENA*. 2019;172:148–157.
286. Wilpiseski R.L., Aufrecht J.A., Retterer S.T., Sullivan M.B., Graham D.E., Pierce E.M., Zablocki O.D., Palumbo A.V., Elia D.A. Soil Aggregate Microbial Communities: Towards Understanding Microbiome Interactions at Biologically Relevant Scales. *Applied and environmental microbiology*. 2019;85(14):1–18.
287. Whittle P. On Stationary Processes in the Plane. *Biometrika*. 1954;41(3/4):434–449.
288. Oades J.M., Waters A.G. Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*. 1991;29:815–828.
289. Sodhi G.P.S., Beri V., Benbi D.K. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice–wheat system. *Soil and Tillage Research*. 2009;103(2):412–418.
290. Rivera J.I., Bonilla C.A. Predicting soil aggregate stability using readily available soil properties and machine learning techniques. *Catena*. 2020;187:104408.
291. Katschinski N.A. Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Boden nach ihrer mechanischen Zusammensetzung. *Rapports Au Sixieme Congres International de La Science Du Sol*. Paris, France, 1956;321–327.
292. Kunakh O., Kramarenko S., Zhukov O., Kramarenko A., Yorkina N. Fitting competing models and evaluation of model parameters of the abundance distribution of the land snail *Vallonia pulchella* (Pulmonata, Valloniidae). *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2018;9:198–202.
293. Bécel C., Vercambre G., Pagès L. Soil penetration resistance, a suitable soil

- property to account for variations in root elongation and branching. *Plant and Soil*. 2012;353(1–2):169–80.
294. Maamar B., Nouar B., Soudani L., Maatoug M., Azzaoui M., Kharytonov M., Wiche O., Zhukov O. Biodiversity and dynamics of plant groups of Chebket El Melhassa region (Algeria). *Biosystems Diversity*. 2018;26(1):62–70.
295. Salminen J., Gestel van C.A., Oksanen J. Pollution-induced community tolerance and functional redundancy in a decomposer food web in metal-stressed soil. *Environmental toxicology and chemistry*. 2001 Oct;20(10):2287–2295.
296. Douglas D.D., Brown D.R., Pederson N. Land snail diversity can reflect degrees of anthropogenic disturbance. *Ecosphere*. 2013;4(2):1–14.
297. Kuznetsov V. A., Ryzhova I. M. The influence of recreation on changes in the vital conditions of soil invertebrates. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;368(1):1–5.
298. Ballantyne M., Pickering C.M. The impacts of trail infrastructure on vegetation and soils: Current literature and future directions. *Journal of Environmental Management*. 2015;164:53–64.
299. Tomczyk A.M., Ewertowski M.W. Recreational trails in the Poprad Landscape Park, Poland: the spatial pattern of trail impacts and use-related, environmental, and managerial factors. *Journal of Maps*. 2016;12(5):1227–1235.
300. Campbell D., White B., Arp P. Modeling and mapping Soil resistance to penetration and rutting using LiDAR-derived digital elevation data. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2013;68:460–473.
301. Bird S., Herrick J., Wander M., Murray L. Multi-scale variability in soil aggregate stability: Implications for understanding and predicting semi-arid grassland degradation. *Geoderma*. 2007;140(1-2):106–118.
302. Fattet M., Fu Y., Ghestem M., Ma W., Foulonneau M., Nespoulous J., Bissonnaise Y.Le., Stokesf A. Effects of vegetation type on soil resistance to

- erosion: Relationship between aggregate stability and shear strength. Fuel and Energy Abstracts. 2011;87:60–69.
303. Davies P., Galé C., Lees M. Quantitative studies of modern wet-ground molluscan faunas from Bossington, Hampshire. Journal of Biogeography. 1996;23:371–377.
304. Gołas-Siarzewska M. Malacofauna of the Wawel Hill in Cracow (Poland) – a quarter of a century after its first description. Folia Malacologica. 2013;21(1):19–23.
305. Zadorozhnaya G.A., Andrusyevych K.V., Zhukov O.V. Soil heterogeneity after recultivation: Ecological aspect. Folia Oecologica. 2018;45(1):46–52.
306. Zhukov O.V. Influence of usual and dual wheels on soil penetration resistance: the GIS-approach. Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University. 2015;5(3):73–100.
307. Groffman P.M., Cavender-Bares J., Bettez N.D., Grove J.M., Hall S.J., Heffernan J.B., Hobbie S.E., Larson K. L., Morse J.L., Neill C., Nelson K., O’Neil-Dunne J., Ogden L., Pataki D.E., Polsky C., Chowdhury R.R., Steele M.K. Ecological homogenization of urban USA. Frontiers in Ecology and the Environment. 2014;12(1):74–81.
308. Lososová Z., Horsák M., Chytrý M., Čejka T., Danihelka J., Fajmon K., Hájek O., Juříčková L., Kintrová K., Láníková D., Otýpková Z., Řehořek V., Tichý L. Diversity of Central European urban biota: Effects of human-made habitat types on plants and land snails. Journal of Biogeography. 2011;38(6):1152–1163.
309. Hill M., Roy D.B., Thompson K. Hemeroby, urbanity and ruderality: Bioindicators of disturbance and human impact. Journal of Applied Ecology. 2002;39:708–720.
310. Williamson P., Cameron R.A.D., Carter M.A. Population Dynamics of the Landsnail *Cepaea nemoralis* L.: A Six-Year Study. Journal of Animal Ecology. 1977;46(1):181–194.
311. Butler A.J. A shortage of food for the terrestrial snail *Helicella virgata* in

- South Australia. *Oecologia*. 1976;25(4):349–371.
312. Pearce T.A. Interference and resource competition in two land snails: Adults inhibit conspecific juvenile growth in field and laboratory. *Journal of Molluscan Studies*. 1997;63(3):389–399.
313. Yom-Tov Y. The Effect of Predation on Population Densities of Some Desert Snails. *Ecology*. 1970;51(5):907–911.
314. Shachak M., Leeper A., Degen A. Effect of population density on water influx and distribution in the desert snail *Trochoidea seetzenii*. *Écoscience*. 2002;9(3):287–292.
315. Graveland J., Gijzen van T. Arthropods and seeds are not sufficient as calcium sources for shell formation and skeletal growth in passerines. *Ardea*. 1994;82:299–314.