

АНТРОПОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕКОТОНІВ ЗАХИСНОГО ТИПУ НА ШЛЯХАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

© Обица Анатолій¹, Сорока Ірина¹, Руда Марія², 2016

¹Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра вищої математики,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

²Національний лісотехнічний університет України, кафедра екології,
вул. Ген. Чупринки 103, 79000, Львів, Україна

Подано результати досліджень щодо формування екотонів захисного типу та створення інформаційно-аналітичної системи підтримки управлінських рішень для забезпечення рівня їх функціонування, який відповідає міжнародним стандартам, що регламентують сучасні вимоги до систем захисту довкілля. Ключові слова: екотон, захист довкілля, забруднення середовища, важкі метали, залізничний транспорт.

Представлены результаты исследований по формированию экотонов защитного типа и созданию информационно-аналитической системы поддержки управленческих решений для обеспечения уровня их функционирования, который соответствует международным стандартам, регламентирующим современные требования к системам защиты окружающей среды.

Ключевые слова: экотон, защита окружающей среды, загрязнение среды, тяжелые металлы, железнодорожный транспорт.

The influence of rail transport on the environment creates many problems as it includes violation of the stability of natural landscapes transport infrastructure through the development of erosion and landslides; air pollution by exhaust gases; permanent increase in oil pollution of earth, lead, blowing products and shedding of bulk cargo (coal, ore, cement). Along with the benefits offered by the railway transport, there arise acute issues of environmental safety during its use, which is caused by its negative and even destructive impacts on the environment. Sanitation methods provide for mandatory monitoring of the environment.

The object of study is the quality of protective ecotones of the Lviv Railway.

The forest shelterbelts, investigated in the railway sections Lviv – Sambir, Lviv – Ivano-Frankivsk, Lviv – Rava-Ruska, Lviv – Kovel, Lviv – Krasne, Lviv – Mostyska, Lviv – Stryi, Stryi – Mukachevo, and Ivano-Frankivsk – Chernivtsi, are mainly double-row ones (except natural forests growing along the railway lines) of 200 m in width on both sides of the track. The species composition of the stands is characterized by its diversity depending on forest site type. The trees are often top-drying, from the side of the railway tracks they have windfirm and dense crowns. The undergrowth is suppressed by snow drifts. The protective ecotones are characterized by the distribution of precipitation, soil moisture, and productivity of the adjacent agricultural lands.

As a result, a kind of parademe system is formed along the Lviv Railway lines, consortium, that significantly differs from natural one due to overlapping ecological niches. This consortium has much in common with conserved (ecological) corridors because the integrated assessment shows increasing species diversity of agrosystem flora by 17 – 73 %, entomofauna – by 27 – 62.5 %, zoofauna – by a factor of 2.7 times.

According to the field studies, we have classified the protective ecotones of the Lviv Railway by characteristics of profile, i.e. the structure and composition of plantations by their origin. Full-profile protective ecotones are plantations where the structure of shelterbelts (ecotones) can be clearly seen, they can be found in all sections of the Lviv Railway where the protective forest plantations were artificially created. Predominantly, they consist of one or, less common, three strips. Ecotone is formed at the boundary of two different anthropogenic tracts in a railway precinct. Across the study sections of the railway lines, only mixed stands were observed, no pure stands were found.

A field study of ties between morphology and function of cumulative and ecosystem engineer; statistical methods investigated the potential protective effect of ecotones Lviv railway.

The complex and differentiation characteristics of cumulative function of protective ecotones depends on the morphology and composition of forest communities –edificator. In the structure of vegetation in the consortium of

protective ecotones, there is a significant amount of synanthropic and acclimatized species. Active processes are currently observed of human-induced changes in primary stands to form natural-anthropogenic stands in a wider array. The aggregate of protective ecotones at the Lviv Railway is functioning as a single system or forest reclamation complex that serves as the ecological framework where elements and subsystems interact providing a synergistic effect.

Proceeding from the necessity of shifting to landscape-ecological principles of management and ensuring the maximum possible protective effect, the creation of a system of protective ecotones is one of the most innovative ways of ensuring ecosystem sustainability, in particular, enhancing their buffering capacity due to partial renewal of forest ecosystems as an integral component of natural landscape, which will provide for environmental safety on railway lines using only natural mechanisms of environmental protection.

Method of investigation of environmental safety in railway transport is of great polyfunctional importance as this enables, on the basis of the landscape-ecological methods, to form consortiums of protective ecotones that will provide the maximum spatial-temporal efficacy.

Key words: *ecotone, environmental protection, pollution of environment, heavy metals, railway transport.*

Вступ. Стан навколишнього природного середовища за взаємодії з об'єктами залізничного транспорту залежить від багатьох факторів і, зокрема, інтенсивності використання рухомого складу й інших об'єктів на залізницях. Вплив залізничного транспорту на середовище породжує багато проблем, оскільки спричиняє порушення стійкості природних ландшафтів транспортною інфраструктурою через розвиток ерозій і обвалів; забруднення атмосфери відпрацьованими газами; постійне зростання рівня забруднення ґрунту нафтою, свинцем, продуктами видудання і осипання сипких вантажів (вугілля, руда, цемент тощо). У відпрацьованих газах дизельних двигунів тепловозів містяться оксид вуглецю, оксид і діоксид азоту, різні вуглеводні, сірчистий ангідрид, сажа. З пасажирських вагонів на залізничні шляхи виливаються стічні води, що містять патогенні мікроорганізми, та викидається сухе сміття. Ці проблеми вирішують за допомогою правових, соціально-економічних, організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і екологічних методів [1]. Зокрема, технічні методи ґрунтовані на створенні нових технологій і виробничого устаткування, що зменшують шкідливу дію на природне середовище, впровадженні ефективних засобів очищення викидів у атмосферу й у водоймища. Санітарно-гігієнічні методи передбачають обов'язковий контроль за станом навколишнього природного середовища з метою своєчасного вживання заходів із запобігання шкідливому впливу забруднень на природне життєве довкілля.

Одним з важливих екологічних методів захисту довкілля є використання екотонів – реальних природних дискретних структурних одиниць рослинного покриву, які мають специфічні властивості. Враховуючи обсяги перевезень, наявну інфраструктуру на залізничних та

автомобільних шляхах України, економічний потенціал нашої країни, актуальним є вивчення, проектування та удосконалення систем захисту довкілля, основою яких є екотони захисного типу. У зарубіжних природознавчих виданнях терміном “екотон” і “геоекотон” приділено достатньо уваги, зокрема у працях Т. В. Бобри [2–4], М. Д. Гродзинського [5], П. М. Дем'янчука [6–7] та Г. І. Денисика [8–9]. Однак відсутні дослідження стосовно їх екологічних функцій, зокрема забезпечення екологічної безпеки на шляхах залізничного транспорту.

1. Методики дослідження. Об'єктом дослідження є статистична інформація щодо розроблення методики дослідження придатності природних екологічних бар'єрів для створення екотонів захисного типу на шляхах Львівської залізниці. Аналізу підлягали стан, горизонтальна і вертикальна структури екотонів Львівської залізниці. Здійснено загальне обстеження лісосмуги ділянок колії: Львів–Самбір, Львів–Івано-Франківськ, Львів–Рава-Руська, Львів–Ковель, Львів–Красне, Львів–Мостиська, Львів–Стрий, Стрий–Мукачєво та Івано-Франківськ–Чернівці. Проведено польові дослідження зв'язків між кумулятивною функцією та морфологією й едифікатором; статистичними методами досліджено водний режим ґрунту під лісосмугами та наявність резервів захисного ефекту екотонів Львівської залізниці.

2. Дослідження захисних лісових насаджень залізниці. Головним принципом створення та функціонування захисних лісових насаджень залізниці є забезпечення неперервності й постійності захисної, природоохоронної, санітарно-оздоровчої та естетичної функцій захисних лісосмуг.

Оскільки екотони мають специфічні, порівняно зі насадженнями захисного типу, автотрофні й гетеротрофні блоки, едафотоп і кліматоп, то можна висловити гіпотезу про те, що їх (екотони) доцільно розглядати як примежові екосистеми з притаманними їм біотичним кругообігом та швидкістю потоку енергії, які здатні ефективніше, аніж захисні лісові насадження залізниці, виконувати певні функції для забезпечення екологічної безпеки.

В екотонах простежується екотонний ефект (*ekotone effect*), який виявляється у підвищенні видового різноманіття внаслідок перекриття екологічних амплітуд видів різних систематичних груп організмів [10]. З огляду на важливість проблем екотонів Ю. Одум [11] це питання розглянув у окремому розділі фундаментальної книги “Основи екології”. Зокрема, він зазначив, що в широких екотонах можуть траплятися організми, які не властиві жодному з угруповань, що межують між собою. Такі організми отримали назву примежових. Окрім того, в екотонах змінюється не лише чисельність організмів, а й їхня поведінка та фізико-хімічна характеристика ґрунтів, тобто виявляється “крайовий ефект”. Найдосконаліше “крайовий ефект” описано для птахів наземних екосистем [12].

Просторово-функціональна роль екотонів захисного типу на шляхах залізничного транспорту є домінантою в оптимізації їхніх компонентів, оскільки розміщення та розміри насаджень мають бути підпорядковані вітроломному ефекту та напряму шкідливих для залізничних шляхів та прилеглих агроценозів турбулентних потоків. З позицій аеродинаміки вітроломний ефект лісосмуг як просторових ґратів полягає в гальмуванні швидкості та трансформації латентності вітрових потоків на відстань $5H$ (H – захисна висота насадження) з навітряного боку і $25H$ – із підвітряного. Проте така конструкція захисних насаджень погіршує виконання ними деяких інших функцій.

На ерозійно небезпечних землях (крутістю понад 20°) розміщення захисних насаджень (із заданими стокорегулювальними функціями) повинно бути підпорядковане принципам контурно-меліоративної організації території з відповідними ґрунтозахисними агротехнологіями та протиерозійними гідротехнічними спорудами, що зводять ризики розвитку ерозії ґрунтів до мінімуму [13].

Саме тому, на сучасному етапі розвитку, захисні лісові насадження залізниці необхідно розглядати не

лише з позиції їхнього утилітарного значення як об'єкта безпосереднього захисту залізниці від дії несприятливих природно-антропогенних факторів, а насамперед як систему лісівничих заходів з оптимізації просторової інфраструктури ландшафту залізничних магістралей, тобто як систему екотонів захисного типу, що мають потужний потенціал забезпечення екологічної безпеки на шляхах залізничного транспорту.

Багаторічні дослідження просторово-функціональних функцій захисних лісових насаджень ділянок колій Львівської залізниці доводять, що вони набули ознак екотонів, оскільки в них спостерігається різке збільшення кількості ценопопуляцій, що є підтвердженням загальноекологічного принципу різноманітності життя на межі розподілу фаз чи середовища за В. І. Вернадським [14].

Обстежені лісосмуги ділянок колії Львів–Самбір, Львів–Івано-Франківськ, Львів–Рава-Руська, Львів–Ковель, Львів–Красне, Львів–Мостиська, Львів–Стрий, Стрий–Мукачево та Івано-Франківськ–Чернівці є переважно дворядними (окрім природних лісових масивів, що розташовані вздовж залізниці), завширшки до 200 м по обидва боки колії. Склад деревостанів відрізняється строкатістю залежно від типу лісорослинних умов. Деревина часто суховершать, мають стійку проти вітру з боку залізничних шляхів й густішу крону, підлісок пригнічений наметами снігу. Крім того, екотони захисного типу характеризуються розподілом опадів, вологістю ґрунту, температурою, а також продуктивністю прилеглих агроценозів.

У результаті на шляхах Львівської залізниці формується своєрідна парадимічна система – консорція, що істотно відрізняється від натуральної за рахунок перекриття екологічних ніш. Ця консорція має багато спільного з екологічними коридорами, оскільки за інтегрованими оцінками спостерігається збільшення видового різноманіття флори агролісосистем на 17–73 %, ентомофауни – 27–62,5 %, зоофауни у 2,7 разу. Сьогодні кожен екотон є місцем перебування типових і рідкісних рослин.

У консорціях екотонів захисного типу Львівської залізниці помічено ефект синергізму щодо впливу на трофотопи та геохімічні процеси на шляхах залізничного транспорту та прилеглих агроценозах. На шляхах Львів–Самбір, Львів–Стрий та Стрий–Мукачево спостерігається зниження поверхневого стоку до 1,3 %, середньорічної амплітуди температур на 3–8 $^\circ\text{C}$, розсіювання рівня звукових потоків на 15,2 дБ,

спостерігається також висока кумулятивна здатність насаджень [15].

За результатами польових досліджень ми класифікували екотони захисного типу Львівської залізниці за ознаками профільності, тобто складу і структури насаджень за їхнім походженням. Повнопрофільні екотони захисного типу – це насадження, у яких чітко простежується структура смуг (екотонів), їх можна

зустріти на усіх ділянках Львівської залізниці, де захисні лісові насадження створено штучно (рис. 1). Переважають консорції екотонів захисного типу, в яких виокремлюються одна – рідше три смуги. Екотон формується на межі двох різних антропогенних урочищ у смузі відведення залізниці. За складом на всіх обстежених ділянках колій спостерігаються мішані насадження – однотипних не виявлено.

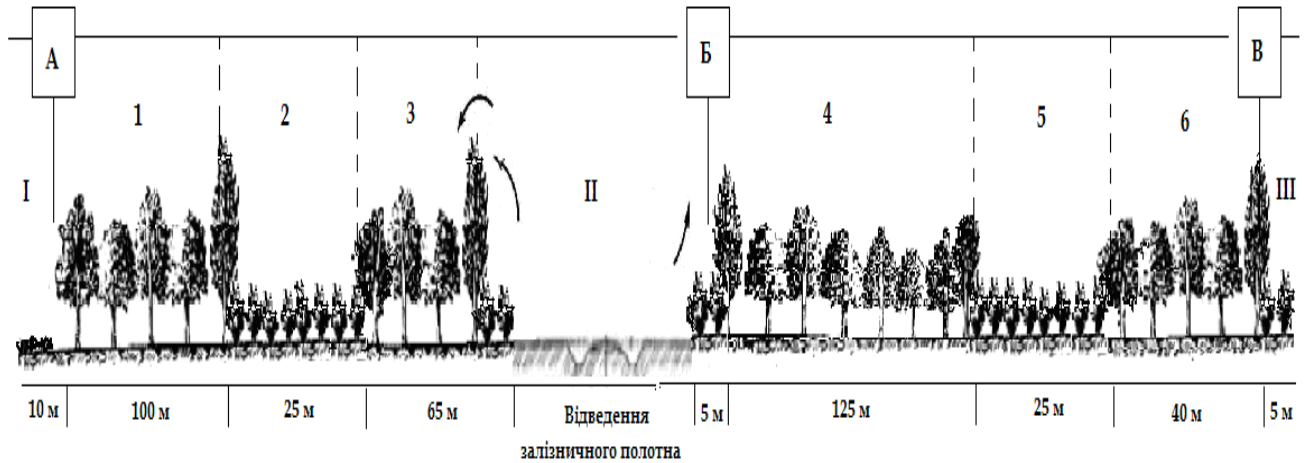


Рис. 1. Схема вертикальної структури повнопрофільного екотону захисного типу на Львівській залізниці
 А – різнотравно-злакова смуга, поле із сільськогосподарськими культурами; Б – смуга відведення залізничних шляхів;
 В – консорція екотонів захисного типу; 1, 3, 4, 6 – екотони; 2, 5 – перехідні екотони;
 I – агроценоз; II – антропоценоз; III – корінні деревостани

Fig. 1. Diagram of the vertical structure of the full-profile consortiums of protective ecotones at the Lviv Railway
 A – herb-grass strip, field of crop plants; B – railway precinct; B – consortium of protective ecotones; 1, 3, 4, 6 – ecotones;
 2, 5 – transition ecotones; I – agrocoenosis; II – anthropoenosis; III – primary stands



Рис. 2. Схема типової повнопрофільної консорції екотонів захисного типу на шляхах залізничного транспорту

Fig. 2. Diagram of the representative structure of the full-profile consortiums of protective ecotones on railway lines

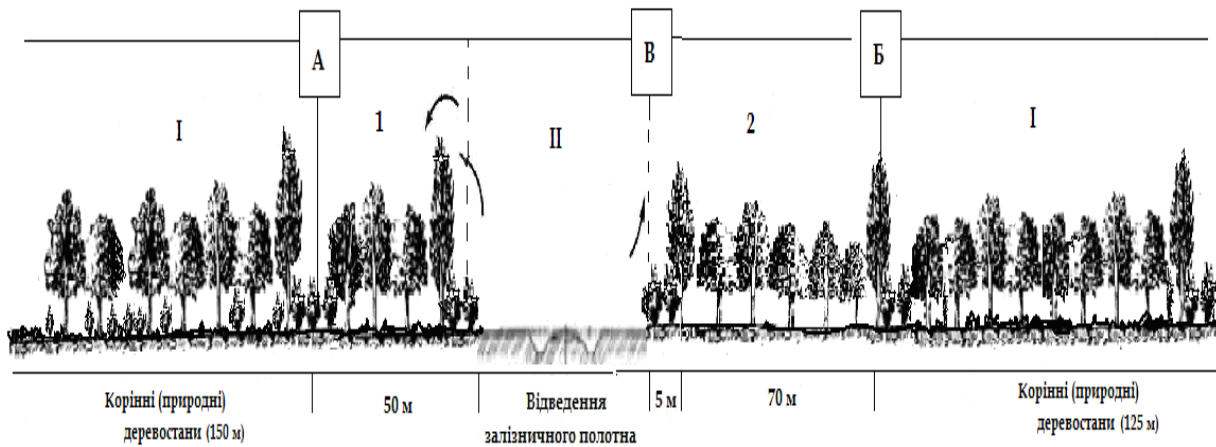


Рис. 3. Схема вертикальної структури неповнопрофільної консорції екотонів захисного типу Львівської залізниці: А – корінні (природні) деревостани; Б – консорція екотонів захисного типу; В – смуга відведення залізничних шляхів; 1, 2 – екотони; I – агроценоз; II – антропоценоз; III – корінні деревостани

Fig. 3. Diagram of the vertical structure of partial-profile consortium of protective ecotones at the Lviv Railway: A – primary (natural) stands; B – consortium of protective ecotones; B – railway precinct; 1, 2 – ecotones; I – agrocenosis; II – anthropocenosis; III – primary stands



Рис. 4. Схема типової неповнопрофільної консорції екотонів захисного типу на шляхах залізничного транспорту

Fig. 4. Diagram of the representative structure of the partial-profile consortium of protective ecotones on railway lines

Неповнопрофільні екотони захисного типу – це переважно залишки природних лісів, де неможливо виокремити певні смуги – власне екотони (рис. 2). Породний склад таких насаджень залежить від типу лісорослинних умов. Так, на ділянці колії Львів–Стрий–Сянки у високогірній частині насадження представлені деревними рослинами ялиці білої (*Abies alba* Mill., *A. alba*), яка є однією з основних лісоутворюю-

ворувальних порід у цій мезоекосистемі [25, с. 134]. Для ділянки колії Львів–Самбір основу насадження становлять: дуб звичайний (*Quercus robur* L.), горобина звичайна (*Sorbus aucuparia* L.), клен звичайний (*Acer platanoides* L.), тополя пірамідальна (*Populus pyramidalis* Roz.), граб звичайний (*Carpinus betulus* L.), глід звичайний (*Crataegus monogyna* Jacq.), ліщина звичайна (*Corylus avellana* L.) та ін., узлісся облямовані

декоративними чагарниками – бирючина звичайна (*Ligustrum vulgare L.*), пухироплідник калинолистий (*Physocarpus opulifolius*), шипшина (*Rosa canina L.*) тощо.

Складність та диференційованість кумулятивної функції екотонів захисного типу залежать від морфології та складу лісового фітоценозу – едифікатора. Водний режим ґрунту під лісосмугами характеризується більшою амплітудою через додаткове надходження вологи від накопиченого снігу та підвищених витрат вологи у вегетаційний період [20]. Трофотопи в лісосмугах змінюються у бік інтенсифікації накопичення гумусу та біогенних елементів по ґрунтовому профілю; в зоні впливу характеризуються збільшенням запасів вологи в метровому шарі ґрунту в середньому на 30–55 мм, підвищеним вмістом і запасами гумусу та біогенних елементів внаслідок підвищеного надходження органіки та посилення процесів гуміфікації. У структурі рослинності консорцій екотонів захисного типу спостерігається значна кількість синантропних та акліматизованих видів.

Сукупність екотонів захисного типу Львівської залізниці функціонує як єдина система або лісомеліоративний комплекс – консорція, що виконує функції екологічного каркасу, елементи якого та підсистеми взаємодіють, забезпечуючи синергійний ефект. Ураховуючи необхідність переходу до ландшафтно-екологічних принципів ведення господарства та забезпечення максимального захисного ефекту, створення системи екотонів захисного типу є одним із найінноваційніших шляхів забезпечення стійкості екосистем, зокрема, підвищення їхньої буферності за рахунок часткового відтворення лісових біогеоценозів, як невід'ємної складової природних ландшафтів, що дасть змогу забезпечити екологічну безпеку на шляхах залізничного транспорту, використовуючи тільки природні механізми захисту довкілля.

На думку В. Б. Логгінова [16], консорції екотонів захисного типу можна зарахувати до біогеоценозичних геохімічних бар'єрів, які є не тільки засобом підвищення буферних властивостей довкілля, але і засобом біоконверсії площ (зокрема сільгоспугідь), які вже досягли граничного та позаграничного рівнів агрохімічної та агрофізичної деградації.

Роль консорції екотонів захисного типу як геохімічних бар'єрів виявляється у кумулятивній функції – затриманні седиментів та поллютантів, які акумулюються в зоні захисту і залучаються в біогеохімічний

цикл, запобігаючи їх територіальній міграції. Безпосередньо у лісосмузі й на відстані 2 метрів від неї простежується загальна тенденція до зростання валового вмісту важких металів. Розподіл хімічних елементів Cu, Co, Fe, Mn, Cr, Cd, Pb, Zn, Al у зоні впливу корелює з конструкцією насадження: непродувна лісосмуга основну масу поллютантів та седиментів затримувала під наметом та в прилеглий зоні 1–5 Н, ажурна та ажурно-продувна – розподіляли поллютанти в зоні 15 Н [17].

3. Оцінювання інтенсивності накопичення металів у елементах екотонів захисного типу. Особлива увага приділяється питанню накопичення седиментів та поллютантів у ґрунтах відведення залізничного полотна. Звичайно, рівень забруднення ґрунтів на залізничних шляхах залежить від інтенсивності, складу руху (перевезених вантажів) і тривалості експлуатації полотна.

Результати дослідження вмісту важких металів у ґрунтах на ділянках колії Львівської залізниці подано в табл. 1.

Зразки наземної фітомаси рослин (кора, гілки, хвоя, деревина і серцевина) відібрано в кінці вегетативного періоду (серпень–вересень) на визначених ділянках колії Львівської залізниці (табл. 2). Зразки відібрано у п'ятикратній повторюваності зі 258 модельних дерев, загальною площею 3 га, які репрезентують середній віковий, повнотний і якісний стан деревостану. Лабораторно-аналітичні дослідження вмісту важких металів у рослинних зразках проводили полярографічним методом на Полярографі універсальному ПУ-1. Статистичне оброблення отриманих результатів здійснено варіаційно-статистичним методом за допомогою стандартних пакетів офісних програм Microsoft Exel 2003 і Oragin Pro 8.5.

Необхідно зазначити, що чітко не встановлено, які саме важкі метали найпріоритетніші у відведеннях залізниць, але можна чітко визначити, що на шляхах залізничного транспорту спостерігається систематичне забруднення седиментами та поллютантами. Розподіл важких металів у ґрунті залежно від глибини наведено на рис. 5.

Для оцінювання інтенсивності накопичення металів у рослинах (табл. 3) розраховували коефіцієнт накопичення (K_n) – відношення середнього вмісту елемента в органах рослин до вмісту його рухомих форм у ґрунті [18].

Таблиця 1

**Варіаційно-статистичні показники вмісту мікроелементів-біофілів (Cu, Zn)
та токсикантів (Pb, Cd) у досліджуваних зразках ґрунту**

Table 1

Variation-statistical parameters of trace elements-biofl (Cu, Zn) and toxicants (Pb, Cd) in the investigated soil samples

| № з/п | Місце відбору проб (ділянки колії) | Відстань до колії, м | Значення, мг/кг (ppm) | | | |
|-------|------------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | Cu ²⁺ | Zn ²⁺ | Pb ²⁺ | Cd ²⁺ |
| 1 | Львів–Мостиська | 200 | 1,00 | 1,03 | 0,004 | 0,007 |
| | | 150 | 1,44 | 2,08 | 0,008 | 0,0078 |
| | | 100 | 1,97 | 1,85 | 0,009 | 0,008 |
| | | 50 | 1,64 | 1,25 | 0,007 | 0,0065 |
| | | 0 | 3,45 | 2,78 | 0,032 | 0,047 |
| 2 | Львів–Рівне | 200 | 3,01 | 3,56 | 0,0027 | 0,001 |
| | | 150 | 1,24 | 1,87 | 0,0034 | 0,002 |
| | | 100 | 2,13 | 2,78 | 0,003 | 0,0031 |
| | | 50 | 1,17 | 1,54 | 0,004 | 0,003 |
| | | 0 | 4,04 | 5,02 | 0,029 | 0,037 |
| 3 | Львів–Розлуч | 200 | 2,11 | 2,56 | 0,0011 | 0,0012 |
| | | 150 | 1,54 | 2,50 | 0,0021 | 0,0023 |
| | | 100 | 1,13 | 1,45 | 0,0027 | 0,003 |
| | | 50 | 1,17 | 1,54 | 0,0029 | 0,0032 |
| | | 0 | 2,56 | 2,16 | 0,003 | 0,0037 |
| 4 | Львів–Рава-Руська | 200 | 1,57 | 2,50 | 0,0031 | 0,0032 |
| | | 150 | 1,75 | 1,66 | 0,003 | 0,004 |
| | | 100 | 2,13 | 2,78 | 0,0046 | 0,0057 |
| | | 50 | 2,22 | 2,68 | 0,0045 | 0,0053 |
| | | 0 | 3,68 | 4,54 | 0,004 | 0,005 |
| 5 | Львів–Луцьк | 200 | 2,56 | 2,79 | 0,0021 | 0,001 |
| | | 150 | 2,16 | 2,53 | 0,0027 | 0,002 |
| | | 100 | 1,75 | 2,12 | 0,0029 | 0,0023 |
| | | 50 | 2,13 | 2,41 | 0,003 | 0,0027 |
| | | 0 | 3,45 | 3,04 | 0,0034 | 0,0029 |
| 6 | Львів–Ходорів | 200 | 2,23 | 2,57 | 0,003 | 0,0047 |
| | | 150 | 2,34 | 2,94 | 0,0031 | 0,005 |
| | | 100 | 3,40 | 3,03 | 0,0032 | 0,0054 |
| | | 50 | 3,46 | 3,17 | 0,004 | 0,0056 |
| | | 0 | 4,08 | 4,35 | 0,0043 | 0,006 |
| 7 | Ковель–Луцьк | 200 | 2,63 | 2,94 | 0,0027 | 0,003 |
| | | 150 | 2,97 | 3,05 | 0,003 | 0,0032 |
| | | 100 | 3,45 | 3,67 | 0,0032 | 0,004 |
| | | 50 | 3,76 | 3,92 | 0,0038 | 0,0041 |
| | | 0 | 4,12 | 4,27 | 0,004 | 0,0045 |
| 8 | Красне–Тернопіль | 200 | 3,08 | 3,17 | 0,004 | 0,0041 |
| | | 150 | 3,54 | 4,02 | 0,005 | 0,005 |
| | | 100 | 4,75 | 4,78 | 0,0053 | 0,0058 |
| | | 50 | 5,03 | 5,63 | 0,0067 | 0,006 |
| | | 0 | 5,17 | 6,36 | 0,007 | 0,0068 |
| 9 | Івано-Франківськ–Чернівці | 200 | 0,98 | 1,47 | 0,0019 | 0,0021 |
| | | 150 | 1,44 | 2,07 | 0,002 | 0,002 |
| | | 100 | 1,87 | 2,10 | 0,0021 | 0,0023 |
| | | 50 | 2,02 | 2,45 | 0,0022 | 0,0027 |
| | | 0 | 2,17 | 2,67 | 0,0026 | 0,0029 |
| 10 | Ужгород–Чоп | 200 | 2,45 | 2,78 | 0,0037 | 0,0027 |
| | | 150 | 2,32 | 2,47 | 0,004 | 0,0029 |
| | | 100 | 2,87 | 2,16 | 0,0041 | 0,003 |
| | | 50 | 3,01 | 3,16 | 0,0042 | 0,0042 |
| | | 0 | 3,14 | 3,45 | 0,005 | 0,0047 |

Таблиця 2

**Варіаційно-статистичні показники вмісту мікроелементів-біофілів (Cu, Zn)
та токсикантів (Pb, Cd) у фітомасі захисних лісових насаджень залізниці**

Table 2

**Variation-statistical parameters of trace elements-biofl (Cu, Zn) and toxicants (Pb, Cd)
in fithomas protective forest plantations railways**

| № з/п | Фітомаса рослин | Відстань до колії, м | Значення, мг/кг (ppm) | | | |
|--------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | Cu ²⁺ | Zn ²⁺ | Pb ²⁺ | Cd ²⁺ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Львів – Здобунів | | | | | | |
| 1 | Гілки | 200 | 2,65 | 2,09 | 0,0042 | 0,0047 |
| | | 150 | 2,77 | 2,37 | 0,0048 | 0,0047 |
| | | 100 | 3,17 | 3,15 | 0,0049 | 0,0049 |
| | | 50 | 3,45 | 3,65 | 0,005 | 0,005 |
| 2 | Листя | 200 | 2,68 | 3,17 | 0,005 | 0,0049 |
| | | 150 | 3,07 | 3,42 | 0,0051 | 0,005 |
| | | 100 | 3,12 | 3,58 | 0,0057 | 0,0058 |
| | | 50 | 4,52 | 4,76 | 0,006 | 0,006 |
| 3 | Кора | 200 | 2,08 | 1,96 | 0,003 | 0,0028 |
| | | 150 | 2,19 | 2,00 | 0,0032 | 0,003 |
| | | 100 | 2,37 | 2,48 | 0,0037 | 0,0039 |
| | | 50 | 2,62 | 2,73 | 0,004 | 0,0045 |
| 4 | Коріння | 200 | 2,19 | 1,97 | 0,004 | 0,004 |
| | | 150 | 2,34 | 2,08 | 0,004 | 0,0045 |
| | | 100 | 2,59 | 2,77 | 0,0043 | 0,0049 |
| | | 50 | 3,01 | 3,42 | 0,005 | 0,0055 |
| Львів – Стрий – Берегово | | | | | | |
| 5 | Гілки | 200 | 1,89 | 2,68 | 0,0041 | 0,0035 |
| | | 150 | 1,92 | 2,75 | 0,004 | 0,0037 |
| | | 100 | 2,08 | 3,02 | 0,0047 | 0,0038 |
| | | 50 | 2,34 | 3,13 | 0,0049 | 0,004 |
| 6 | Листя | 200 | 2,47 | 3,04 | 0,004 | 0,0047 |
| | | 150 | 2,13 | 3,95 | 0,0049 | 0,005 |
| | | 100 | 2,39 | 4,01 | 0,0053 | 0,0051 |
| | | 50 | 3,75 | 4,17 | 0,0058 | 0,0057 |
| 7 | Кора | 200 | 1,52 | 1,00 | 0,0027 | 0,002 |
| | | 150 | 1,68 | 1,76 | 0,0031 | 0,003 |
| | | 100 | 2,03 | 1,92 | 0,0034 | 0,0031 |
| | | 50 | 2,14 | 2,08 | 0,0035 | 0,0037 |
| 8 | Коріння | 200 | 1,45 | 1,68 | 0,0032 | 0,0034 |
| | | 150 | 1,89 | 2,18 | 0,0037 | 0,0035 |
| | | 100 | 2,21 | 2,37 | 0,004 | 0,004 |
| | | 50 | 2,36 | 2,69 | 0,004 | 0,0043 |
| Львів – Коломия | | | | | | |
| 9 | Гілки | 200 | 1,57 | 2,50 | 0,004 | 0,0041 |
| | | 150 | 1,66 | 2,25 | 0,0032 | 0,0037 |
| | | 100 | 1,26 | 2,03 | 0,0031 | 0,0035 |
| | | 50 | 1,52 | 2,25 | 0,0037 | 0,004 |
| 10 | Листя | 200 | 1,89 | 3,00 | 0,003 | 0,0032 |
| | | 150 | 1,53 | 2,32 | 0,0031 | 0,0037 |
| | | 100 | 1,45 | 1,17 | 0,003 | 0,004 |
| | | 50 | 4,04 | 2,45 | 0,0037 | 0,0041 |
| 11 | Кора | 200 | 1,57 | 2,08 | 0,002 | 0,0023 |
| | | 150 | 1,44 | 1,50 | 0,0021 | 0,0028 |
| | | 100 | 1,97 | 1,25 | 0,0027 | 0,0028 |
| | | 50 | 1,64 | 1,85 | 0,0029 | 0,003 |
| 12 | Коріння | 200 | 1,00 | 1,09 | 0,002 | 0,0021 |
| | | 150 | 1,42 | 1,77 | 0,0021 | 0,0023 |
| | | 100 | 1,44 | 2,08 | 0,0027 | 0,0028 |
| | | 50 | 1,96 | 2,47 | 0,0028 | 0,003 |

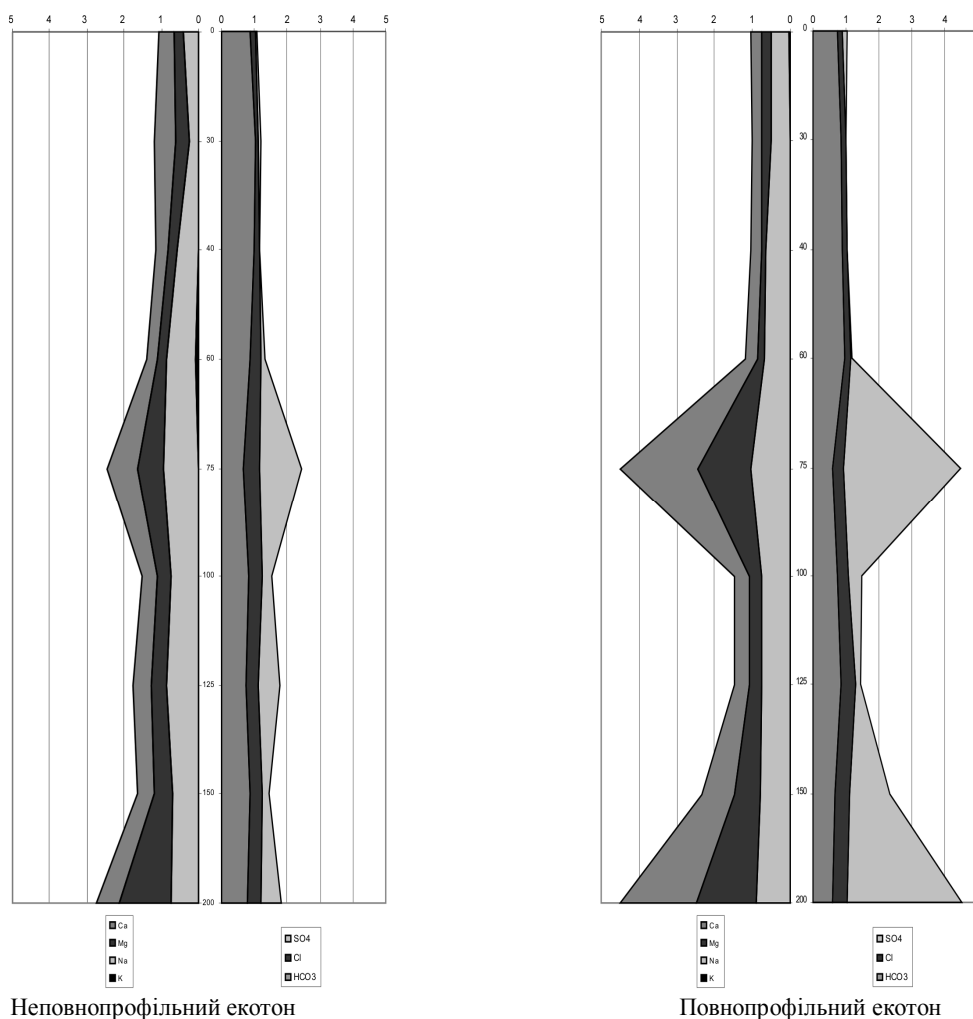


Рис. 5. Профільний розподіл есенціальних мікроелементів (Zn, Cu) та токсикантів (Pb, Cd) у ґрунтовому профілі на шляхах залізничного транспорту

Fig. 5. The profile distribution of trace elements (Zn, Cu) and toxins (Pb, Cd) in the soil profile on railway lines

Таблиця 3

Показники інтенсивності накопичення мікроелементів-біофілів у наземній фітомасі рослин в екотонах захисного типу на шляхах залізничного транспорту

Table 3

Indicators of intensity of accumulation of trace elements in the terrestrial bofilithomas plants in katonah protective type is the railway transport

| № з/п | Фітомаса рослин | Відстань до колії, м | Коефіцієнт накопичення, Кн | | Кларк концентрації, КК | | Кларк розсіювання, КР | |
|----------------|-----------------|----------------------|----------------------------|------------------|------------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | | | Cu ²⁺ | Zn ²⁺ | Cu ²⁺ | Zn ²⁺ | Cu ²⁺ | Zn ²⁺ |
| Львів-Здобунів | | | | | | | | |
| 1 | Гілки | 200 | 0,0883 | 0,0294 | 0,0312 | 0,0279 | 32,0755 | 35,8852 |
| | | 150 | 0,0923 | 0,0334 | 0,0326 | 0,0316 | 30,6859 | 31,6456 |
| | | 100 | 0,1057 | 0,0444 | 0,0373 | 0,0420 | 26,8139 | 23,8095 |
| | | 50 | 0,1150 | 0,0514 | 0,0406 | 0,0487 | 24,6377 | 20,5479 |
| 2 | Листя | 200 | 0,0893 | 0,0446 | 0,0315 | 0,0423 | 31,7164 | 23,6593 |
| | | 150 | 0,1023 | 0,0482 | 0,0361 | 0,0456 | 27,6873 | 21,9298 |

Продовження табл. 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------------|---------|-----|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| | | 100 | 0,1040 | 0,0504 | 0,0367 | 0,0477 | 27,2436 | 20,9497 |
| | | 50 | 0,1507 | 0,0670 | 0,0532 | 0,0635 | 18,8053 | 15,7563 |
| 3 | Кора | 200 | 0,0693 | 0,0276 | 0,0245 | 0,0261 | 40,8654 | 38,2653 |
| | | 150 | 0,0730 | 0,0282 | 0,0258 | 0,0267 | 38,8128 | 37,5000 |
| | | 100 | 0,0790 | 0,0349 | 0,0279 | 0,0331 | 35,8650 | 30,2419 |
| | | 50 | 0,0873 | 0,0385 | 0,0308 | 0,0364 | 32,4427 | 27,4725 |
| 4 | Коріння | 200 | 0,0730 | 0,0277 | 0,0258 | 0,0263 | 38,8128 | 38,0711 |
| | | 150 | 0,0780 | 0,0293 | 0,0275 | 0,0277 | 36,3248 | 36,0577 |
| | | 100 | 0,0863 | 0,0390 | 0,0305 | 0,0369 | 32,8185 | 27,0758 |
| | | 50 | 0,1003 | 0,0482 | 0,0354 | 0,0456 | 28,2392 | 21,9298 |
| Львів – Стрий – Берегово | | | | | | | | |
| 5 | Гілки | 200 | 0,0630 | 0,0377 | 0,0222 | 0,0357 | 44,9735 | 27,9851 |
| | | 150 | 0,0640 | 0,0387 | 0,0226 | 0,0367 | 44,2708 | 27,2727 |
| | | 100 | 0,0693 | 0,0425 | 0,0245 | 0,0403 | 40,8654 | 24,8344 |
| | | 50 | 0,0780 | 0,0441 | 0,0275 | 0,0417 | 36,3248 | 23,9617 |
| 6 | Листя | 200 | 0,0823 | 0,0428 | 0,0291 | 0,0405 | 34,4130 | 24,6711 |
| | | 150 | 0,0710 | 0,0556 | 0,0251 | 0,0527 | 39,9061 | 18,9873 |
| | | 100 | 0,0797 | 0,0565 | 0,0281 | 0,0535 | 35,5649 | 18,7032 |
| | | 50 | 0,1250 | 0,0587 | 0,0441 | 0,0556 | 22,6667 | 17,9856 |
| 7 | Кора | 200 | 0,0507 | 0,0141 | 0,0179 | 0,0133 | 55,9211 | 75,0000 |
| | | 150 | 0,0560 | 0,0248 | 0,0198 | 0,0235 | 50,5952 | 42,6136 |
| | | 100 | 0,0677 | 0,0270 | 0,0239 | 0,0256 | 41,8719 | 39,0625 |
| | | 50 | 0,0713 | 0,0293 | 0,0252 | 0,0277 | 39,7196 | 36,0577 |
| 8 | Коріння | 200 | 0,0483 | 0,0237 | 0,0171 | 0,0224 | 58,6207 | 44,6429 |
| | | 150 | 0,0630 | 0,0307 | 0,0222 | 0,0291 | 44,9735 | 34,4037 |
| | | 100 | 0,0737 | 0,0334 | 0,0260 | 0,0316 | 38,4615 | 31,6456 |
| | | 50 | 0,0787 | 0,0379 | 0,0278 | 0,0359 | 36,0169 | 27,8810 |
| Львів–Коломия | | | | | | | | |
| 9 | Гілки | 200 | 0,0523 | 0,0352 | 0,0185 | 0,0333 | 54,1401 | 30,0000 |
| | | 150 | 0,0553 | 0,0317 | 0,0195 | 0,0300 | 51,2048 | 33,3333 |
| | | 100 | 0,0420 | 0,0286 | 0,0148 | 0,0271 | 67,4603 | 36,9458 |
| | | 50 | 0,0507 | 0,0317 | 0,0179 | 0,0300 | 55,9211 | 33,3333 |
| 10 | Листя | 200 | 0,0630 | 0,0423 | 0,0222 | 0,0400 | 44,9735 | 25,0000 |
| | | 150 | 0,0510 | 0,0327 | 0,0180 | 0,0309 | 55,5556 | 32,3276 |
| | | 100 | 0,0483 | 0,0165 | 0,0171 | 0,0156 | 58,6207 | 64,1026 |
| | | 50 | 0,1347 | 0,0345 | 0,0475 | 0,0327 | 21,0396 | 30,6122 |
| 11 | Кора | 200 | 0,0523 | 0,0293 | 0,0185 | 0,0277 | 54,1401 | 36,0577 |
| | | 150 | 0,0480 | 0,0211 | 0,0169 | 0,0200 | 59,0278 | 50,0000 |
| | | 100 | 0,0657 | 0,0176 | 0,0232 | 0,0167 | 43,1472 | 60,0000 |
| | | 50 | 0,0547 | 0,0261 | 0,0193 | 0,0247 | 51,8293 | 40,5405 |
| 12 | Коріння | 200 | 0,0333 | 0,0154 | 0,0118 | 0,0145 | 85,0000 | 68,8073 |
| | | 150 | 0,0473 | 0,0249 | 0,0167 | 0,0236 | 59,8592 | 42,3729 |
| | | 100 | 0,0480 | 0,0293 | 0,0169 | 0,0277 | 59,0278 | 36,0577 |
| | | 50 | 0,0653 | 0,0348 | 0,0231 | 0,0329 | 43,3673 | 30,3644 |

А. П. Виноградов у монографії з геохімії рідкісних і розсіяних елементів у ґрунтах [19] до рідкісних елементів зарахував, серед інших елементів, Cd та, Pb, оскільки їх кларки у земній корі становлять соті частки відсотка [20], тому для подальших розрахунків їх не братимемо.

Висновки. Успішне функціонування та розвиток залізничного транспорту залежать від стану природних комплексів та наявності природних ресурсів, розвитку інфраструктури штучного середовища, соціально-економічного середовища суспільства. Між кожним із елементів системи залізничного транспорту є прямі та зворотні зв'язки, а також певні обмеження використання природних комплексів, трудових та фінансових ресурсів.

Відмінність параметрів екологічних факторів екотонів від захисних лісових насаджень, притаманних суміжним екосистемам, є умовою формування специфічних ценозів та змін у структурі популяцій. Зокрема, в екотонах можуть формуватися специфічні, притаманні лише їм популяції рослин і тварин, або скластись така ситуація, коли частина популяції перебуває в одному угрупованні, друга – у іншому, а третя – в екотоні.

Формування та відновлення консорцій екотонів захисного типу для дотримання екологічної безпеки на шляхах залізничного транспорту згідно з міжнародними стандартами, що регламентують сучасні вимоги до систем захисту довкілля – це пріоритетний інноваційний проект, спрямований на відновлення екологічної рівноваги в зоні постійної дії залізничного транспорту шляхом:

– відведення навколо залізничних шляхів вільних для формування екотонів захисного типу та їх консорцій смуг завширшки не менше ніж 150–200 м. Ландшафтно-екологічні дослідження доводять, що там, де такі смуги обабіч залізничних шляхів утворені, повнопрофільний екотон формується активніше. Це спостерігається не лише на окраїнах лісових масивів, але й поблизу лісових смуг на полях.

– створення консорцій екотонів захисного типу рослин з відповідною структурою з урахуванням поліфункціональної ролі останніх.

Кумулятивна здатність консорцій екотонів захисного типу відзначається комплексним впливом на довкілля і має середовищестабілізуювальні та середови-

щеутворювальні функції. За системного і збалансованого просторового розміщення можливо досягти істотних позитивних впливів на прилеглі території. Тому важливим є формування екотонів та їхніх консорцій на основі ландшафтно-екологічних методів, що забезпечить максимальну просторово-часову дію у часі й просторі та значний синергетичний ефект у дотриманні екологічної безпеки на шляхах залізничного транспорту.

Створення системи екотонів захисного типу є одним із найінноваційніших шляхів забезпечення стійкості екосистем, зокрема підвищення їхньої буферності за рахунок часткового відтворення лісових біогеоценозів як невід'ємної складової природних ландшафтів, що дасть змогу використати природні механізми захисту довкілля для досягнення екологічної безпеки на шляхах залізничного транспорту та покращити показники якості довкілля залізничних шляхів.

Аналіз системи захисту довкілля на шляхах залізничного транспорту екотонами захисного типу дасть змогу створити методичку дослідження придатності задекларованого процесу захисту довкілля на Львівській залізниці.

1. Лоза В. Г., Кухлівський С. В., Косенко Б. Я., Підскребаєв О. М. (ДІТ) Способи захисту навколишнього середовища на залізничному транспорті України // *Наука і прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту.* – С. 92–96.
2. Бобра Т. В. К вопросу о понятиях “граница” – “экотон” в географии / Т. В. Бобра // *Проблемы материальной культуры: географические науки.* – Симферополь, 2005. – С. 7–12.
3. Бобра Т. В. Ландшафтные экотоны Крыма / Т. В. Бобра // *Биологическое и ландшафтное разнообразие Крыма: проблемы и перспективы.* – 1999. – Вып. II. – С. 31–33.
4. Бобра Т. В. Экотон – объект ландшафтоведения XXI века / Т. В. Бобра // *Записки общества геоэкологов.* – Симферополь, 2000. – Вып. 3. – С. 20–22.
5. Гузий А. Н. Орнитологические комплексы лесных экосистем Украинских Карпат, их экология, практическое значение и охрана: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 1992. – 27 с.
6. Дем'ячук П. М. До питання класифікації геоекотонів / П. М. Дем'ячук // *Наукові записки ВДПУ. Серія: Географія.* – 2002. – Вып. 3. – С. 21–27.
7. Дем'ячук П. М. Дослідження

- географічних геоекотонів як еколого-географічна й загальногеографічна проблема / П. М. Дем'янчук // Наукові записки Тернопільського національного університету ім. В. Гнатюка. Серія: Географія. – 2011. – № 1. – С. 16–21.
8. Денисик Г. І. Антропогенні ландшафти Правобережної України / Г. І. Денисик. – Вінниця: Арбат, 1998. – 292 с.
9. Денисик Г. І. Дорожні ландшафти Поділля / Г. І. Денисик, О. М. Вальчук. – Вінниця: Теза, 2005. – 178 с.
10. Falinski K. *Ecologia roslin*. – Warszawa: PWN, 1997. – 453 s.
11. Одум Ю. Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
12. Green T. *The role of invisible biodiversity in pasture landscapes // Pasture Landscapes and Nature Conservattion / Ed. B. Redecker, P. Finck et ol.* – Berlin, Heideberg, New York, London, Tokyo: Springer, 2002. – P. 135–145.
13. Пилипенко О. І. Система захисту ґрунтів від ерозії / О. І. Пилипенко, В. Ю. Юхновський, М. М. Ведмідь. – К.: Златояр, 2004. – 435 с.
14. Бібліографія праць В. І. Вернадського. Література про життя та діяльність / НАН України, Коміс. НАН України з наук спадщини акад. В. І. Вернадського, Нац. б-ка України ім. В. І. Вернадського; редкол.: А. Г. Загородній, О. С. Онищенко (голова), В. П. Волков [та ін.]; уклад.: О. С. Онищенко, Л. В. Беляєва, С. А. Дзюбич, Л. С. Новосьолова, В. Ю. Омельчук, Д. В. Устиновський. – К., 2012. – 603 с. – (Вибрані наукові праці академіка В. І. Вернадського; т. 10).
15. Паславський М. М. Закономірності розподілу есенціальних хімічних елементів у мезоекосистемі Дністровського Передкарпаття / М. М. Паславський, М. В. Руда // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014 – Вип. 24.8 – С. 131–135.
16. Логгінов В.Б. Концепція біогеноценотичних геохімічних бар'єрів / В.Б. Логгінов // Вісник ЖДТУ. – 2009. – № 1 (48). – С. 214–220.
17. Максименко Н. В. Агроекологічне значення тривалого існування системи лісосмуг / Н. В. Максименко, Я. С. Заїченко // Наук. праці Уманського ун-ту садівництва. – 2009. – Вип. 71. – С. 229–236.
18. Мікроелементи в сільському господарстві / С. Ю. Булигін та ін. – 3-тє вид., [перероб. та доп.]. – Д.: Січ, 2007. – С. 18–19.
19. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М., 1957. – 238 с.
20. Справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. В. Коккин, А. Е. Мирошников, В. Г. Прохоров. – М., 1990. – 480 с.