

БІОТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТЕХНОГЕННОЇ ЕКОСИСТЕМИ ХВОСТОСХОВИЩА ЯВОРІВСЬКОГО ДГХП «СІРКА»

Нагурський О.А., Вихівська К.М.

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, 79013, м. Львів

Oleg.A. Nahursky@lpnu.ua

У статті досліджено біотичний потенціал техногенної екосистеми, що сформувалася на території колишнього Яворівського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка». Розглянуто вплив багаторічної діяльності підприємства з видобутку та переробки сірки на стан навколишнього середовища, зокрема на ґрунти, водний режим та біорізноманіття. Проаналізовано сукцесійні зміни, що відбуваються в рослинних і тваринних угрупованнях на посттехногенній території, та адаптаційний потенціал видів, які її заселяють.

Особливу увагу приділено дослідженню трофічної структури техногенної екосистеми та порівняльній характеристиці природних екосистем, що збереглися на території транскордонного біосферного резервату «Розточчя», та екосистем, що зазнали антропогенного впливу. Виявлено значні відмінності між ними, що проявляються у зниженні біорізноманіття, спрощенні трофічних зв'язків та уповільненні процесів відновлення в техногенних екосистемах.

У статті наголошується на важливості оцінки біотичного потенціалу для розробки ефективних стратегій рекультиваци та відновлення екологічної рівноваги на порушених територіях. Запропоновано шляхи застосування природоорієнтованих методів, таких як фіторе mediaція та заліснення, для відновлення ґрунтового покриву, водного балансу та біорізноманіття. Підкреслено значення транскордонного співробітництва у збереженні та відновленні унікальних природних комплексів, до яких належить біосферний резерват «Розточчя».

Результати дослідження свідчать про значний негативний вплив промислової діяльності на екологічний стан території. Проте, наявність природних процесів сукцесії свідчить про потенціал екосистем до самовідновлення. Ефективна рекультиваци із застосуванням сучасних екологічних методів може сприяти відновленню екосистемного балансу та мінімізації довгострокових наслідків антропогенного впливу. *Ключові слова:* біотичний потенціал, техногенні екосистеми, рекультиваци, біорізноманіття, Яворівське ДГХП «Сірка».

Biotic potential of the anthropogenic ecosystem of the tailings dump of yavoriv sulphur processing plant. Nahurskyi O., Vykhyvska K.

The article investigates the biotic potential of the anthropogenic ecosystem formed on the territory of the former Yavoriv State Mining and Chemical Enterprise "Sulphur". The impact of the long-term activity of the enterprise for the extraction and processing of sulfur on the state of the environment, in particular on soils, water regime and biodiversity, is considered. The article analyzes the succession changes that occur in plant and animal communities in the post-technological area and the adaptive potential of the species that inhabit it.

Particular attention is paid to the study of the trophic structure of the anthropogenic ecosystem and the comparative characterization of natural ecosystems preserved in the Roztochya Transboundary Biosphere Reserve and ecosystems that have been affected by anthropogenic impact. Significant differences between them have been identified, which are manifested in a decrease in biodiversity, simplification of trophic relationships, and slower recovery processes in anthropogenic ecosystems.

The article emphasizes the importance of assessing the biotic potential for developing effective strategies for reclamation and restoration of ecological balance in disturbed areas. Ways of applying nature-based methods, such as phytoremediation and afforestation, to restore soil cover, water balance, and biodiversity are proposed. The importance of transboundary cooperation in the conservation and restoration of unique natural complexes, including the Roztochya Biosphere Reserve, is emphasized.

The results of the study indicate a significant negative impact of industrial activity on the ecological state of the territory. However, the presence of natural succession processes indicates the potential of ecosystems for self-healing. Effective reclamation using modern ecological methods can help restore ecosystem balance and minimize the long-term effects of anthropogenic impact. *Key words:* biotic potential, anthropogenic ecosystems, reclamation, biodiversity, Yavoriv State Mining and Chemical Enterprise "Sulphur".

Постановка проблеми. Біотичний потенціал екосистеми визначає її здатність підтримувати стабільне біорізноманіття, регулювати природні процеси та відновлюватися після впливу зовнішніх факторів. У природних умовах цей потенціал забезпечується розгалуженими трофічними зв'язками та високою адаптивністю живих організмів. Втім, у техногенних екосистемах, що утворилися на місці промислових об'єктів, біотичний потенціал є суттєво знижений через деградацію ґрунтів,

зміну водного режиму та забруднення хімічними речовинами.

Яворівський ДГХП «Сірка» є одним із яскравих прикладів техногенно порушених територій, де процеси природної сукцесії відбуваються повільно через несприятливі екологічні умови. Дане підприємство здійснювало свою виробничу діяльність у межах транскордонного біосферного резервату «Розточчя», розташованого на кордоні Польщі та України. Українська частина резервату, включена до

Всесвітньої мережі біосферних резерватів (2011 р.) та трансформована у транскордонний біосферний заповідник (2019 р.), характеризується унікальним поєднанням природних зон і високим рівнем біорізноманіття [1]. Діяльність Яворівського ДГХП «Сірка», що здійснювалась з 1964 р. до 2006 р., мала значний вплив на природні екосистеми, спричинивши забруднення водних ресурсів, деградацію ґрунтів, втрату біорізноманіття та зміну екосистемних функцій [2-5].

Важливим аспектом відновлення екосистем є оцінка біотичного потенціалу території. Біотичний потенціал визначає здатність екосистеми підтримувати стабільне біорізноманіття, відновлюватися після порушень та адаптуватися до нових умов. У природних екосистемах цей потенціал забезпечує баланс популяцій та їхню стійкість до змін середовища, тоді як у техногенно порушених ландшафтах його відновлення вимагає активного екологічного менеджменту та застосування природоорієнтованих підходів до рекультивації.

Основними показниками біотичного потенціалу є рівень біорізноманіття, відновлення рослинного покриву, чисельність і різноманітність тварин, стабільність трофічних ланцюгів, а також здатність екосистеми до саморегуляції. Дослідження видового складу рослин і тварин на посттехногенних територіях дозволяє оцінити їхню здатність до виживання в екстремальних умовах та механізми природної сукцесії. Наприклад, використання стійких до забруднення видів рослин сприяє очищенню ґрунтів і стабілізації екосистем [6-7].

Екосистемна характеристика території Яворівського ДГХП «Сірка» свідчить про суттєве порушення біотичних компонентів та необхідність заходів щодо їх відновлення. Особливу увагу слід приділити відновленню ґрунтового покриву, водного балансу, формуванню стійких біоценозів та забезпеченню умов для природної сукцесії. Важливими заходами є рекультивація, біологічне відновлення, реінтродукція втрачених видів і створення сприятливих умов для розвитку природних екосистем [8-13].

Аналіз біотичного потенціалу дозволяє оцінити ефективність рекультиваційних заходів, прогнозувати екологічні зміни та розробляти стратегії відновлення природного середовища. Врахування біотичного потенціалу у процесах рекультивації сприятиме мінімізації техногенного впливу, підвищенню стійкості екосистем і збереженню біорізноманіття у межах транскордонного біосферного резервату «Розточчя».

Матеріали та методи. У дослідженні використано просторові дані, картографічні матеріали, зокрема, карта функціонального зонування біосферного резервату «Розточчя», (рис. 1) та екологічні характеристики території. Інформація була зібрана на основі аналізу літературних джерел, результатів польових досліджень та даних дистанційного зондування. Польові дослідження включали маршрутні

обстеження та візуальні спостереження. Даний метод полягає у безпосередньому спостереженні та реєстрації видів, що зустрічаються на маршруті дослідження. Він є особливо ефективним для вивчення великих та добре помітних організмів, таких як дерева, чагарники, великі ссавці, птахи тощо. Це прямий метод вивчення взаємодії між організмами у природному середовищі. Структуру дослідження подано за наступними блоками:

- Опис природних екосистем (лісових, лучно-степових, болотних).
- Аналіз техногенних екосистем (хвостосховище, кар'єри, відвали, кислотні озера).
- Порівняльна характеристика природних і техногенних ділянок з врахуванням ґрунтових, водних та біологічних параметрів.

Результати. Техногенні об'єкти Яворівського ДГХП «Сірка» розташовані у регіоні Розточчя – природному і культурному прикордонному районі, що межує з Львовом (Україна) та Замостям (Польща). Загальна площа української частини транскордонного біосферного резервату складає 74 887 га, а вся територія заповідника – 371 902 га. Функціональне зонування резервату включає:

- Природне ядро (3325 га);
- Буферну зону (11 800 га);
- Транзитну зону (59 762 га).

Територія біосферного заповідника включає типові для Розточчя ліси (47,1%), луки (8,4%), водно-болотні угіддя (1%), водні екосистеми (3,5%) [14].

Лісові масиви є одним із ключових елементів території. Серед домінуючих деревних порід – дуб звичайний (*Quercus robur*), бук лісовий (*Fagus sylvatica*), сосна звичайна (*Pinus sylvestris*) та граб звичайний (*Carpinus betulus*). Фауна представлена великим числом видів, зокрема козулею європейською (*Capreolus capreolus*), кабаном диким (*Sus scrofa*), білкою звичайною (*Sciurus vulgaris*), а також різноманітними видами птахів (сова сіра *Strix aluco*, дятел строкатий *Dendrocopos major*). Промислове видобування сірки призвело до фрагментації лісових масивів, що має негативний вплив на місцеве біорізноманіття.

Лучно-степові екосистеми відкритих ділянок, що збереглися в околицях техногенних територій, характеризуються типово для лучно-степових зон. Флора представлена ковилою волосистою (*Stipa capillata*), шавлею лучною (*Salvia pratensis*) та тимофіївкою лучною (*Phleum pratense*). Фауна включає дрібних ссавців (мишки, полівки) та степових птахів (жайворонок польовий *Alauda arvensis*, перепілка звичайна *Coturnix coturnix*). Проте, поступове заростання чагарниками та зменшення площ типових степових фрагментів під впливом антропогенних факторів створюють загрозу для даних екосистем.

Болотні екосистеми регулюють водний режим території та сприяють збереженню високого рівня біорізноманіття. Вони є осередками для рідкісних

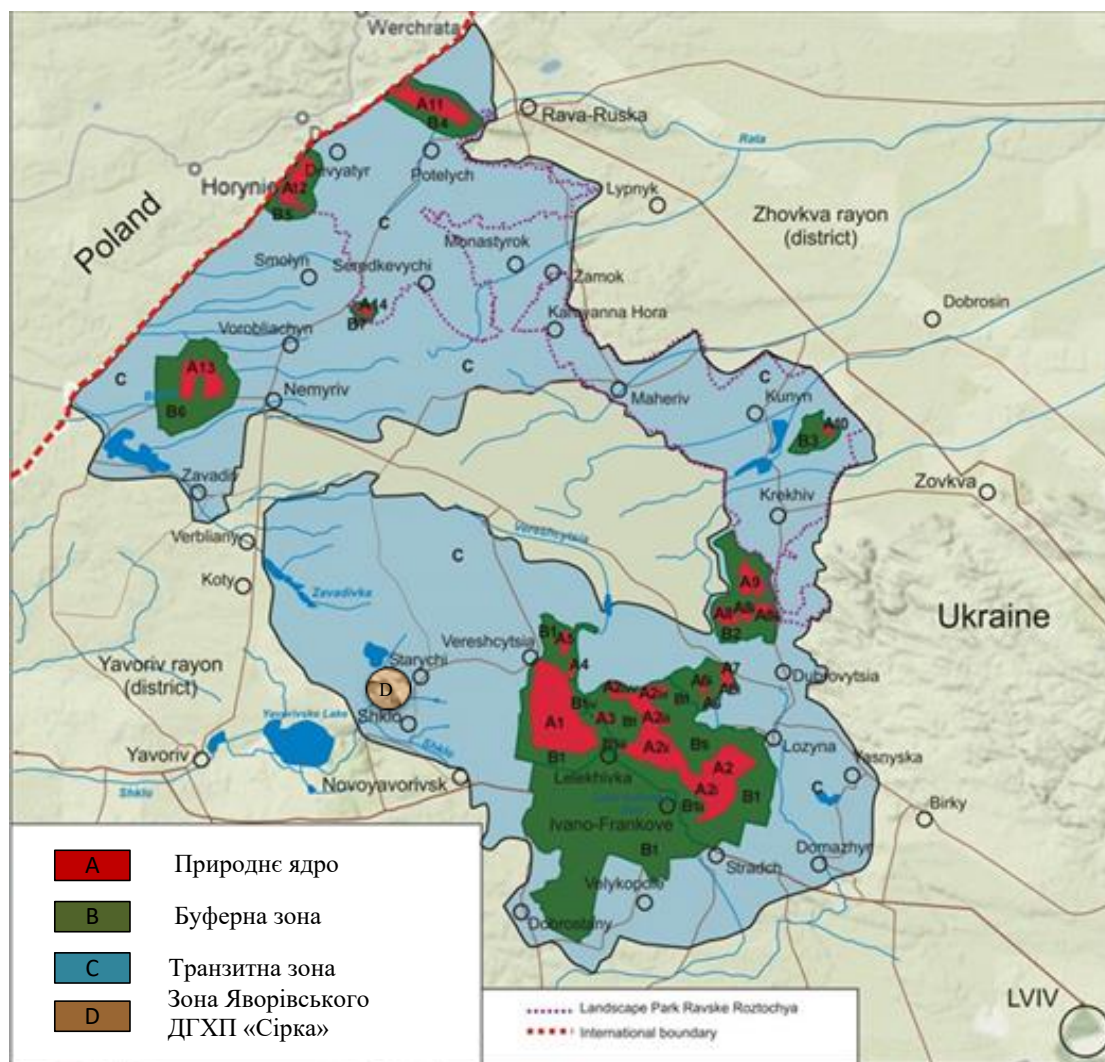


Рис. 1. Карта функціонального зонування біосферного резервату «Розточчя»

видів рослин і тварин, пристосованих до умов підвищеної вологості.

Унікальність регіону «Розточчя» полягає у поєднанні лісів, луків, боліт та водойм. Резерват розташований на стику різних природних зон, що забезпечує високий рівень видового різноманіття. Територія належить до екорегіону змішаних лісів Центральної Європи, з південним впливом Карпатського лісового екорегіону. Поряд із цим, територія виконує роль природного бар'єру для поширення окремих видів, наприклад, бука європейського, поширення якого обмежено північно-східною межею [15-19].

У цій роботі досліджували техногенні екосистеми, що сформувалися на території хвостосховища Яворівського ДГХП «Сірка» (рис. 1), яке використовується для складування відходів видобутку та переробки сірки. На його території сформувалися особливі екосистеми, які характеризуються своїми специфічними ознаками. Територія хвостосховища має плоску або слабкохвилясту топографію з нерівностями, сформованими внаслідок відкладання

шламів та відходів виробництва. Після припинення виробництва сірки сформовані техногенні ґрунти з високим рівнем засоленості та хімічного забруднення (сульфати, важкі метали, токсичні сполуки), бідні на органічні речовини (рис. 2). На частині території розвиваються рудеральні екосистеми, де поширені стійкі до забруднення види, зокрема осот (*Cirsium*), щавель кінський (*Rumex confertus*), кропива дводомна (*Urtica dioica*). На початкових стадіях сукцесії переважають галофітні види (солянка, кермек). Місцево проводяться заходи з висаджування деревно-чагарникових насаджень (сосна звичайна, береза) для стабілізації ґрунтів. Різноманіття рослинного покриву є низьким через екстремальні умови середовища.

Тваринний світ представлений переважно безхребетними видами, адаптованими до засоленних умов (комахи, павукоподібні). Серед хребетних переважно перебувають птахи, зокрема водоплавні та болотні види (Крижень (*Anas platyrhynchos*), Чирянка мала (*Anas crecca*), Сіра чапля (*Ardea*



Рис. 2. Фрагмент техногенної екосистеми, що утворилася на території хвостосховища

cinerea)), тоді як ссавці зустрічаються рідко через обмежену кормову базу.

Важливим показником екологічного стану екосистеми є її трофічна структура. Вона відображає структуру живлення організмів, механізми кругообігу речовин та потоки енергії. Трофічна структура визначає стабільність екосистеми, її продуктивність і здатність до самовідновлення. У природних екосистемах, таких як лісові, лучно-степові та болотні біоценози біосферного резервату «Розточчя», трофічні ланцюги мають розгалужену багаторівневу структуру, що сприяє їхній екологічній стійкості.

На першому трофічному рівні знаходяться продуценти – рослини, які за допомогою фотосинтезу акумулюють сонячну енергію. До них належать дерева (дуб, бук, сосна), трав'янисті рослини (ковила, шавлія, тимофіївка), водні макрофіти (очерет, осока). Ці види формують основу живлення для консументів першого порядку – трав'яїдних тварин, серед яких козуля, білка, гризуни, водні безхребетні та деякі птахи.

Консументи другого порядку – це хижаки та комахоїдні організми, які регулюють чисельність популяцій трав'яїдних видів. У природних екосистемах до них належать сова сіра, яструб, лисиця, ласка, а також водоплавні птахи (крижень, чапля). Завершують трофічний ланцюг редуценти – бактерії, гриби та детритофаги, які забезпечують розкладання органічних залишків і повернення поживних речовин у ґрунт або воду.

У техногенних екосистемах, що виникли на території хвостосховища і кар'єрів, трофічні ланцюги є значно спрощеними. Через екстремальні умови середовища тут проживають лише стійкі до

забруднення види рослин (осот, кропива, солянка), невелика кількість комах і дрібних гризунів, тоді як чисельність хижаків та редуцентів є обмеженою. Це робить техногенні екосистеми менш стабільними, з низькою продуктивністю і повільними сукцесійними процесами.

Порівняльні характеристики природних та техногенних екосистем наведені у таблиці 1.

Обговорення. Одним із ключових факторів, що визначають структуру та функціонування екосистем є ґрунтові умови. Вони впливають на видовий склад рослинності, продуктивність біоценозів, стійкість до змін середовища та здатність до самовідновлення. У природних екосистемах, зокрема лісових, лучно-степових і болотних біоценозах біосферного резервату «Розточчя», ґрунти характеризуються високим рівнем родючості, добре розвинутим гумусовим шаром і стабільними фізико-хімічними властивостями. На хвостосховищі Яворівського ДГХП «Сірка», ґрунтові умови є вкрай несприятливими для розвитку біоти. Вони характеризуються високою засоленістю, кислотністю, низьким вмістом гумусу, порушеною структурою та наявністю токсичних речовин (важкі метали, сульфати, залишки промислових відходів). У таких умовах процеси ґрунтоутворення відбуваються дуже повільно, що значно обмежує розвиток рослинності та біотичних угруповань [20].

Аналіз трофічної структури показав, що у природних екосистемах біосферного резервату «Розточчя» є високий біотичний потенціал завдяки розгалуженим трофічним зв'язкам, великій кількості видів та їхній здатності до адаптації. Лісові екосистеми

Таблиця 1

Основні відмінності між природними та техногенними екосистемами

Показник екосистеми	Природні екосистеми	Техногенні екосистеми
Ландшафт та ґрунти	характеризуються родючими ґрунтами з високим вмістом гумусу	залежені, засолені та еродовані ґрунти
Біорізноманіття	високий видовий склад флори та фауни	домінують стійкі до забруднення види з менш різноманітними біоценозами
Водні екосистеми	є чистими	характеризуються підвищеною кислотністю та мінералізацією
Сукцесія та відновлення	мають високу здатність до самовідновлення	потребують тривалих рекультиваційних заходів.

з різноманітним рослинним покривом (дуб, бук, сосна, граб) та багатою фауною (козуля, білка, сова, лисиця) демонструють високу саморегуляцію і стійкість до природних змін. Лучно-степові та болотні екосистеми, хоча і більш вразливі до антропогенних впливів, також володіють значним біотичним потенціалом через здатність рослин і тварин швидко пристосовуватися до змін умов середовища.

Натомість у техногенних екосистемах біотичний потенціал є низьким. Забруднені та засолені ґрунти хвостосховищ, нестача поживних речовин і води, високий рівень токсичних речовин суттєво обмежують можливості розвитку флори та фауни. Тут домінують стійкі до несприятливих умов рослини (осот, кропива, солянка) і невелика кількість адаптованих тварин, що значно знижує рівень біорізноманіття. Процеси природної сукцесії проходять повільно, і без втручання людини (рекультивация, фіторе mediaція) відновлення екосистеми може тривати століттями.

Результати дослідження підтверджують, що територія Яворівського ДГХП «Сірка» зазнала істотних змін внаслідок інтенсивної промислової діяльності. Аналіз структури природних та техногенних екосистем показав значні відмінності між ними, що проявляється в деградації ґрунтів, зміні гідрологічного режиму та зниженні рівня біорізноманіття. Особливо важливими є зміни в хімічному складі ґрунтів і води, що визначає умови існування рослинних і тваринних угруповань.

Незважаючи на значні екологічні порушення, спостерігається природне заростання техногенних територій, що вказує на потенціал екосистем до самовідновлення. Виявлено, що на початкових стадіях сукцесії домінують рудеральні та галофітні види, що свідчить про адаптацію до екстремальних умов. Водночас відсутність достатньої кількості органічної речовини та висока мінералізація ґрун-

тів значно уповільнюють процеси екологічної реабілітації.

Дані дослідження також підкреслюють важливість транскордонного підходу до управління природоохоронними територіями, адже регіон «Розточчя» виконує функцію екологічного коридору для багатьох видів. Збереження його екосистем потребує комплексного підходу, що включає моніторинг екологічного стану, рекультиваційні заходи та міжнародну співпрацю.

Таким чином, результати дослідження є важливими для розробки подальших стратегій екологічного відновлення регіону та мінімізації антропогенного впливу. Використання природоорієнтованих методів рекультивации може стати основою для довготривалого відновлення екосистемного балансу та підтримання сталого розвитку біосферного резервату.

Висновки. Дослідження впливу промислової діяльності Яворівського ДГХП «Сірка» на екосистеми біосферного резервату «Розточчя» показало, що тривала експлуатація сірчаних родовищ спричинила значні екологічні зміни. Основними наслідками стали деградація ґрунтів, забруднення водних ресурсів, фрагментація лісових масивів та скорочення біорізноманіття. Порівняльний аналіз природних та техногенних екосистем вказує на різке зниження рівня екологічної стійкості в зонах промислового впливу. Водночас дослідження показали наявність природних процесів сукцесії, що свідчить про можливість екологічної реабілітації територій. Ефективна рекультивация із застосуванням природоорієнтованих методів, таких як фіторе mediaція та заліснення, може сприяти відновленню екосистемного балансу. Транскордонний статус біосферного резервату відкриває перспективи міжнародної співпраці для збереження та відновлення унікального природного комплексу.

Література

1. Біосферний резерват «Розточчя» / ред.-упоряд. С. Стойко, А.-Т. Башта, Ю. Зінько, М. Гарасім'юк. Львів: ЗУКЦ, 2015. 224 с.
2. Про припинення Яворівського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка»: Наказ Міністерства промислової політики України від 27.06.2006 № 230. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0230581-06#Text> (дата звернення: 11.02.2025).

3. Про розв'язання соціально-економічних та екологічних проблем у Яворівському та Жидачівському районах Львівської області : Постанова Кабінету Міністрів України від 21.06.1995 № 442. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/176837__176902?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 07.02.2025).
4. Про затвердження проекту відновлення екологічної рівноваги та рекультивації порушених гірничими роботами земель Яворівського державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка» : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 лютого 2003 р. № 87-р. URL: https://www.kmu.gov.ua/npras/152879?utm_source=chatgpt.com. (дата звернення: 17.01.2025).
5. Генік Я.В., Заячук В.Я. Сукцесії рослинності на посттехногенних територіях зони діяльності яворівського державного гірничо-хімічного підприємства «СІРКА». *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.16. С. 93–99.
6. Білан Н. М., Чернявська Т. Є. Відновлення техногенно-порушених територій: сучасний стан та перспективи. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2019.
7. LaRue, E. A., Hardiman, B. S., Elliott, J. M., & Fei, S. (). Structural diversity as a predictor of ecosystem function. *Environmental Research Letters*. 2019. № 14(11), 114011. DOI 10.1088/1748-9326/ab49bb
8. Hou, H., & Shi, Y. (2021). Ecosystem-as-structure and ecosystem-as-coevolution: A constructive examination. *Technovation*. 2021. № 100, 102193.
9. Романчук Л.Д., Ціпан Ю.Р., Грицюк В.В., Миронець М.А. Зміни екосистемних послуг ґрунту під впливом антропогенних факторів. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 127. С. 391–399. doi.org/10.32851/2226-0099.2022.127.50.
10. Безлатня Л.О., Матківський М.П., Лозінська Т.П. Біорізноманіття як основа екосистемних послуг: оцінка, збереження та відновлення. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 135. Ч. 1. С. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.2>.
11. Beaury, E. M., Finn, J. T., Corbin, J. D., Barr, V., & Bradley, B. A. (2020). Biotic resistance to invasion is ubiquitous across ecosystems of the United States. *Ecology Letters*. 2020. № 23(3). С. 476–482.
12. Xiong, W., Jousset, A., Li, R., Delgado-Baquerizo, M., Bahrām, M., Logares, R., & Geisen, S. A global overview of the trophic structure within microbiomes across ecosystems. *Environment International*. 2021. № 151, 106438.
13. Loch, J. M., Walters, L. J., & Cook, G. S. Recovering trophic structure through habitat restoration: A review. *Food Webs*. 2020. № 25, e00162.
14. Андрійчук В. М. Розточчя: природні комплекси та біорізноманіття. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2018.
15. Головач О. Л. Вплив техногенної діяльності на ландшафти Яворівщини. *Геоікологічний журнал*. 2020.
16. Природний заповідник «Розточчя»: охорона та відновлення біорізноманіття / Під ред. М. Ковальчука. Київ: Наукова думка, 2021.
17. Бродович Т. С. Геохімічні особливості ґрунтів Яворівського промислового району. Львів: Видавництво ЛНУ, 2019.
18. Шевчук В. Г. Вплив кислотних водойм на гідробіонтів у зоні техногенного впливу. *Екологічний журнал*. 2022.
19. Дослідження екологічного стану техногенних територій Львівщини / Львів: Наукова думка, 2023.
20. Nahurskyi O., Vykhivska K., Krylova H., Vasiichuk V., Kachan S., Nahursky A., Bogatov O., Pavlenko O., Orobchuk O. Study of ecosystem Edaphic components in the tailings storage of a decommissioned sulfur mining enterprise. *Ecol. Eng. Environ. Technol.* 2025. 4. URL: <http://www.ecoeet.com/Study-of-ecosystem-Edaphic-components-in-the-tailings-storage-of-a-decommissioned,200623,0,2.html> (дата звернення: 12.02.2025).