

ФОРМУВАННЯ ЕКОМЕРЕЖ У КОНТЕКСТІ ВПЛИВУ НЕОРГАНІЧНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ

С. В. Совгіра

доктор педагогічних наук, професор

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (м. Умань, Україна)

e-mail: sovgyrasvitlana@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8742-7773>**Н. Ю. Душечкіна**

кандидат педагогічних наук, доцент

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (м. Умань, Україна)

e-mail: nataxeta74@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4203-7122>**О. В. Кочубей**

доктор філософії з педагогіки

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (м. Умань, Україна)

e-mail: sncelelena@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5047-6694>

У статті представлено результати комплексного дослідження, спрямованого на оцінку впливу неорганічних забруднювачів на формування екомережі регіону Центрального Побужжя (Україна). Обґрунтовано необхідність урахування просторового розподілу хімічного навантаження у структурному плануванні екомереж, зокрема в процесі визначення меж екокоридорів, буферних зон і природних ядер. Досліджено вміст важких металів (свинцю, кадмію, цинку, міді, нікелю) у ґрунтах, донних відкладах і в надземних частинах рослин. Проаналізовано концентрації нітратів і фосфатів у воді річок і ставків, а також визначено їхній вплив на гідробіоти, зоопланктон, зообентос і риби. Встановлено, що неорганічне забруднення спричиняє порушення мікробіологічної активності ґрунтів, деградацію біоти, спрощення структур природних угруповань, а також активну біоаккумуляцію токсикантів у тканинах організмів. У межах зон техногенного навантаження зафіксовано зменшення видового різноманіття фітоценозів на 40–50%, зниження вмісту хлорофілу в модельних рослинах, пригнічення ферментативної активності ґрунтових мікроорганізмів. За допомогою ГИС-аналізу ідентифіковано просторові зони між проектованими елементами екомережі та осередками підвищеного забруднення. На основі отриманих результатів сформульовано низку практичних рекомендацій щодо адаптації схеми екомережі до умов техногенно трансформованого ландшафту. Зокрема, запропоновано здійснити рекультивацию забруднених ґрунтів, створити буферні лісосмуги, перенести маршрути екокоридорів у більш екологічно стабільні зони, а також запровадити довготривалий екологічний моніторинг. Результати дослідження мають важливе теоретичне та практичне значення для природоохоронного планування, відновлення деградованих екосистем і сталого просторового розвитку регіону.

Ключові слова: важкі метали, нітрати, деградація екосистем, фіторе mediaція, ГИС-аналіз, біоіндикація, сталий розвиток, Центральне Побужжя.

ВСТУП

Екологічні мережі — це просторово взаємопов'язані системи природних територій, призначені для збереження біорізноманіття та забезпечення стійкості екосистем на ландшафтному рівні. Сучасне суспільство дедалі більше усвідомлює важливість таких мереж для протидії фрагментації середовища, ізоляції популяцій та деградації ландшафтів.

Україна, зокрема, активно впроваджує концепцію національної екологічної мережі, спираючись на законодавчі засади (Закон України “Про екологічну мережу”, 2004) та відповідну державну програму. Водночас на стан довкіл-

ля суттєво впливає техногенне навантаження: промисловість, сільське господарство та інші види діяльності призводять до накопичення неорганічних забруднювачів (важких металів, надлишкових мінеральних сполук тощо) у ґрунтах, воді та біоті.

За оцінками, понад 10 мільйонів га ґрунту у світі зазнали забруднення, причому більш ніж половина з них — важкими металами. Накопичення таких токсикантів у ґрунтового середовищі погіршує його якість і родючість, а також створює ризики для екосистем та здоров'я живих організмів. Крім того, у сільськогосподарських регіонах широко розповсюджене забруд-

нення вод нітратами: в Україні на території агроландшафтів концентрація нітратів у більшості криниць перевищує допустимий рівень — 50 мг/дм³, що спричиняє явище евтрофікації водойм і випадки метгемоглобінемії в людей.

За таких обставин особливо актуальним є дослідження впливу неорганічних забруднювачів на елементи екологічних мереж (ґрунти, рослинність, водні об'єкти) і врахування цього впливу на формування екомережі.

Метою дослідження є виявлення впливу основних неорганічних забруднювачів на компоненти екомережі.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питання формування екомереж та екологічної безпеки територій, забруднених неорганічними сполуками, є предметом численних наукових досліджень як в Україні, так і за кордоном. Упродовж останніх років наукові дослідження дедалі частіше зосереджуються на необхідності поєднання ландшафтно-екологічного планування з аналізом хімічного стану довкілля, зокрема рівнів забруднення ґрунтів, води та біоти неорганічними токсикантами.

Наукові дослідження з формування екологічних мереж в Україні свідчать про поступове здійснення національного екомережевого планування, орієнтованого на принципи Пан-Європейської екологічної мережі (англ. *Pan-European Ecological Network, PEEN*) [1–3]. Основні завдання національної екомережі визначені Законом України “Про екологічну мережу” та Загальнодержавною програмою її розвитку. Проте в новітніх публікаціях [4; 5] зазначається, що значна частина територій, які потенційно можуть бути включені до екомережі, зазнає антропогенного забруднення, зокрема важкими металами, що суттєво обмежує можливості їх інтеграції у природоохоронні структури.

Актуальність аналізу впливу хімічного навантаження на елементи екомережі підтверджується також зарубіжними дослідженнями. Зокрема, у публікаціях [6; 7] висвітлено механізми накопичення важких металів у ґрунтах різного типу, їхній вплив на біотичні угруповання та трансформацію екосистем унаслідок порушення ґрунтово-рослинного покриву. Автори вказують, що понад 16% сільськогосподарських земель у світі мають надлишковий вміст Cd, Pb, Zn або Hg, що є прямим чинником ризику для створення екокоридорів і збереження біотопів рідкісних видів.

В Україні тема взаємозв'язку між неорганічним забрудненням і структурою екосистем знайшла відображення в роботах [8–10]. Автори наводять дані про деградацію ґрунтів

у зоні техногенного навантаження: зниження біологічної активності, зменшення чисельності мікроорганізмів, накопичення важких металів у фітомасі, що суттєво знижує екологічну якість ландшафтів, включених до мережі або прилеглих до неї.

Окреме місце у структурі наукових розвідок посідає аналіз гідрологічного та гідрохімічного стану водних об'єктів — важливих компонентів екомереж. Річки, болота, заплави й озера формують середовище для рідкісних та ендемічних видів, проте, як свідчать матеріали досліджень [11–13], ці екосистеми зазнають сильного виливу внаслідок евтрофікації, підкислення та накопичення в донних відкладах важких металів і біогенних речовин. За даними державного моніторингу, у багатьох річках України вміст нітратів перевищує гранично допустимі концентрації, що унеможлиблює їхнє використання як території для міграції фауни в межах екокоридорів [14].

Дослідження фіторе mediaційного потенціалу деяких рослин, здатних до акумуляції важких металів, знайшли відображення в праці [15]. Автори доводять можливість використання фітомеліоративних заходів у межах деградованих територій, включених до екомереж, з метою зниження токсичності ґрунтів і покращення умов для відновлення рослинного покриву.

Низка сучасних публікацій акцентує увагу на важливості застосування наноматеріалів у моніторингових і відновлюваних технологіях, що може бути корисним для діагностики трансформованих компонентів екомереж. Перспективним є також досвід інтеграції геоінформаційних технологій у плануванні просторової конфігурації екомереж, що дозволяє враховувати трансформованість територій у процесі прокладання екологічних коридорів і визначення буферних зон [5].

Отже, проаналізовані дослідження свідчать про міждисциплінарний характер проблеми: вона охоплює як природоохоронне планування, так і хіміко-аналітичний контроль стану довкілля. Проте, незважаючи на значну кількість публікацій, на сьогодні залишається недостатньо розробленим питання інтеграції хімічної безпеки в практику формування екомереж, що створює підґрунтя для подальших досліджень.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проведено з використанням комплексного підходу, який поєднував аналіз просторових даних, лабораторні вимірювання, біоіндикаційні методи та геоінформаційне моделювання.

Основними об'єктами спостереження в межах екомережі Центрального Побужжя були елементи ландшафтною структури (екодра, екокоридори, буферні зони), що зазнають впливу неорганічних забруднювачів.

Польові дослідження здійснювалися у весняно-літній період 2024 року на територіях, що охоплювали зони інтенсивного сільськогосподарського використання, промислові ділянки та умовно чисті контрольні території. Відбір проб ґрунтів проводився з глибини 0–20 см за сіткою 25×25 м для забезпечення репрезентативності, а зразки води з поверхневих водойм — на глибинах 0,3–0,5 м відповідно до стандартів ДСТУ ISO 5667-6:2001 [1]. Одночасно проводився опис рослинних угруповань на облікових ділянках (10 м²) із фіксацією видового складу, проєкційного покриття та біомаси.

У лабораторних умовах вміст важких металів (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn) у пробах ґрунту та води визначався методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії (ААС) згідно з методикою [2]. Визначення нітратів і фосфатів здійснювалося колориметричним методом: для NO₃⁻ — з використанням сульфанілової кислоти, для PO₄³⁻ — з молібдату амонію [3]. Кислотність ґрунтів (pH) вимірювали у водній витяжці (1:2,5), а вміст гумусу — за Тюріном у модифікації Коновалова [4].

Для просторової візуалізації результатів та оцінки територіального розподілу забруднення застосовувалися геоінформаційні технології на базі QGIS. Обробка супутникових знімків Sentinel-2, відкритих векторних шарів CORINE Land Cover та ГІС-шарів екомережі, дозволила створити інтегровану карту концентрацій забруднювачів із накладанням на межі планованої екомережі. Це дало змогу виявити просторові зони між осередками біорізноманіття та техногенним навантаженням [5].

Для оцінки екологічного стану території використовувалися біоіндикаційні методи. Стан рослинних угруповань аналізували за видовим різноманіттям, індексами Шеннона та Пієлу. Для водних об'єктів застосовували індекси сапробності Pantle-Buck, а для ґрунтів — мікробіологічний індекс, що охоплював оцінку чисельності мікроорганізмів, активності каталази та дегідрогенази [6].

Інтегральну оцінку ступеня забруднення здійснювали за допомогою кількох екологічних індексів. Зокрема, індекс геохімічного накопичення (I_{geo}) за Müllera дозволив оцінити відхилення від фонового рівня. Індекс екологічного ризику (Er) за Hakanson використовувався для обчислення потенційної токсичності металів, а комплексний індекс Немероу —

для інтегральної оцінки багатofакторного навантаження [7].

Отже, обрані методи дозволили не лише визначити концентрації основних неорганічних забруднювачів, а й провести комплексну просторову та біоіндикаційну оцінку їхнього впливу на потенційні ділянки екомереж, що є основою для екологічно обґрунтованого природокористування.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У результаті дослідження встановлено, що забруднення довкілля неорганічними токсикантами — зокрема, важкими металами та біогенними елементами (нітратами, фосфатами) — має суттєвий вплив на стан екосистем Центрального Побужжя. Найбільшу загрозу становлять антропогенно навантажені території, де концентрації забруднювачів значно перевищують регіональні фонові рівні. Комплексна оцінка стану довкілля охоплювала аналіз ґрунтів, води, рослинності, біоти та просторову прив'язку до проєктованої екомережі [1].

Зокрема, виявлено значні концентрації важких металів (Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Ni) у верхньому шарі ґрунту (0–20 см), особливо поблизу транспортних коридорів, колишніх промислових зон, складів агрохімікатів. Найвищі рівні свинцю зафіксовано поблизу доріг регіонального значення — 120–180 мг/кг, що у 3–4 рази перевищує фонові значення для ґрунтів Лісостепу [3]. Вміст кадмію та нікелю в деяких точках перевищує ГДК у 1,5–2,2 рази [8]. Ці елементи є високотоксичними навіть у незначних кількостях, а їхня наявність у ґрунті пригнічує активність мікроорганізмів, знижує ферментативну функцію, уповільнює розкладання органіки. Виявлено значне зменшення мікробної біомаси, погіршення азотофіксації, активності дегідрогеназ, каталази та фосфатаз [4].

Водночас вплив важких металів на рослинний покрив Центрального Побужжя проявляється в зменшенні проєкційного покриття та зниженні фітодиверсифікації. У зонах із підвищеним вмістом Pb і Cd видовий склад скорочується на 35–50% порівняно з референсними ділянками [5]. Домінування переходить до екологічно пластичних видів, зокрема *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Polygonum aviculare*. Типові лісо-лучні фітоценози заміщуються вторинними дерновими угрупованнями, які є менш цінними для формування стабільного середовища для фауни. Вміст хлорофілу в листках модельних видів (*Trifolium pratense*, *Festuca rubra*) був на 25–30% нижчим на забруднених ділянках [6].

Особливу увагу приділено вивченню стану водних об'єктів. Річки Південний Буг, Устя, Дохна, Бершадка та численні дрібні притоки регіону є ключовими екокоридорами, проте зазнають суттєвого біогенного та металевого навантаження [7]. Вміст нітратів у воді навесні сягав 80–120 мг/дм³ (ГДК — 45 мг/дм³), фосфатів — до 1,2 мг/дм³ (норма — 0,2) [3]. Вміст хлорофілу-*a* у фітопланктоні досягав 90 мкг/дм³, що вказує на гіперевтрофний стан водойм. У донних відкладах ставків і заплавлених ділянок річок зафіксовано концентрації важких металів: цинку (Zn) — 140–190 мг/кг, свинцю (Pb) — 60–85 мг/кг [9].

Біотичні індикатори підтверджують зміни екосистемного стану досліджуваних територій. У зоопланктоні водойм спостерігалось домінування *Brachionus calyciflorus*, *Keratella quadrata* та зменшення чисельності *Cladocera* [10]. Макрозообентос представлений переважно толерантними до гіпоксії личинками комарів (*Chironomidae*) та олігохетами. У прибережній іхтіофауні відзначено зниження чисельності окуня, плітки та зникнення форелі з приток. У тканинах риб фіксувалося перевищення допустимих рівнів Hg та Cd [11].

На основі аналізу просторового розподілу забруднення за допомогою ГІС встановлено, що понад 30% проєктованих екокоридорів у регіоні проходять територіями з незадовільною екологічною стійкістю. Зокрема, водні притоки Південного Бугу зазнають агрохімічного навантаження, а перешийки між природними лісовими масивами — металевого. Виявлено конфліктні ділянки: зона між селами Побузьке й Крижопіль, прибережна смуга Бершадки. Це вимагає корекції маршрутів коридорів або проведення рекультиваційних заходів [12].

Отже, формування екомережі в Центральному Побужжі має ґрунтуватися на інтегрованому підході, що враховує реальні екологічні ризики. Це дозволить забезпечити екосистемну стійкість, збереження біорізноманіття та реалізацію природоохоронного потенціалу території в умовах антропогенного забруднення.

ВИСНОВКИ

Результати дослідження засвідчують, що неорганічні забруднювачі, насамперед важкі метали та біогенні сполуки (нітрати, фосфати),

є критичним чинником, який ускладнює процес формування ефективної та стійкої екомережі в межах Центрального Побужжя. Встановлено, що значна частина територій, запланованих для включення до структури екомережі, перебуває під впливом різнотипного хімічного навантаження, яке створює потенційні бар'єри для збереження та відтворення біорізноманіття.

Ґрунтове забруднення важкими металами спричиняє деградацію фізико-хімічних властивостей, зниження родючості, пригнічення ґрунтової мікрофлори та фауни. Порушується мінеральний обмін у рослин, скорочується видовий склад природних фітоценозів, зростає частка нітрофільних і толерантних видів. Водні екосистеми зазнають впливу евтрофікації, дефіциту кисню, накопичення токсичних речовин у донних відкладах, що призводить до структурної деградації фіто- та зооугруповань. У донних організмах і рибах фіксується біоаккумуляція свинцю, кадмію, ртуті, що створює ризики для вищих трофічних рівнів, зокрема людини.

Застосування ГІС-аналізу дозволило просторово локалізувати ділянки з рівнем забруднення та елементами перспективної екомережі. Найбільш уразливими виявилися прибережні смуги та ділянки поблизу промислових і аграрних об'єктів, на яких концентрації забруднювачів значно перевищують гранично допустимі норми.

На основі отриманих результатів запропоновано низку управлінських рішень: впровадження фіторе mediaційних заходів, розширення буферних смуг, коригування конфігурації елементів екомережі з урахуванням осередків забруднення, створення системи довгострокового моніторингу. Ці заходи мають бути інтегровані в просторове планування, регіональну екологічну політику та практику природоохоронного менеджменту.

Отже, у контексті формування екомереж в умовах антропогенно трансформованих ландшафтів необхідно впроваджувати адаптивні підходи, які враховують реальний стан довкілля, його вразливість і здатність до самовідновлення. Це дозволить створити не лише формально зв'язані природні території, а повноцінно функціональні екологічні структури, здатні підтримувати стійкість ландшафтів і біорізноманіття в умовах техногенного навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гуліч М. П., Харченко О. О., Ємченко Н. Л. та ін. Війна в Україні: проблема забруднення важкими металами сільськогосподарських угідь та продукції (аналіз літературних даних). *Довкілля та здоров'я*. 2024. № 4. С. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.32402/dovkil2024.04.038>
2. Євтушенко О. О., Боднарук І. В. Моніторинг стану поверхневих вод України: проблеми та перспективи. *Вісник НАН України*. 2021. № 9. С. 47–55. DOI: <https://doi.org/10.30888/2410-6615.2020-06-02-108>

3. Совгіра С., Душечкіна Н., Гончарук В. та ін. Комплексна оцінка екологічної безпеки малих річок Південно-Бузького екологічного коридору: монографія ; за ред. С. Совгіри ; Умань: Сочінський М. М., 2025. 216 с.
4. Бойко О. В., Гончар О. Ф., Гавриш О. М., Осокіна Т. Г. Формування екологічної мережі Черкаської області. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 3. С 14–19. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2019.183463>
5. Бужин О. А., Швиденко А. В., Куліца О. С. та ін. Екологічна безпека: експлуатація ґрунтів у Черкаській області. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2019. № 1 (19). С. 53–58. DOI: [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2019-1\(19\)-53-58](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2019-1(19)-53-58)
6. Омелич І. Ю., Непошивайленко Н. О. Концентрації рухомих форм важких металів (Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) у ґрунтах сільськогосподарських угідь. *Східноукраїнський науковий вісник*. 2022, Том 2 № 41. С. 149–160. DOI: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.41.2022.17>
7. Ткачук О. П., Яковець Л. А. Особливості забруднення зернової продукції важкими металами в умовах Вінницької області. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. № 4. С. 179–186.
8. Васецька А. В., Логінова М. В. Екологічна складова при відбудові малих українських міст. *Галузеві проблеми екологічної безпеки – 2024*: зб. матеріалів Міжнародної наук.-практ. конф. за участю молодих науковців (Харків, 24 жовтня 2024 р.). Харків, 2024. С. 16–17.
9. Моніторинг та технології очищення поверхневих вод басейну річки Південний Буг: монографія / С. В. Совгіра, Н. Ю. Душечкіна, В. Г. Парахненко [та ін.] ; за ред. С. Совгіри ; Умань: Сочінський М. М., 2025. 234 с.
10. Стецюк О., Кириченко Л., Любченко В., Ратошнюк Т. Динаміка важких металів у ґрунті за органічної технології виробництва хмелю. *Органічне виробництво і продовольча безпека*: збірник праць учасників Х Міжнародної науково-практичної конференції. Житомир: ПП “Євро-Волинь”, 2022. С. 221–223.
11. Мудрак О. В., Хаєцький Г. С., Мудрак Г. В., Серебряков В. В. Оцінка екологічного стану малих річок Східного Поділля в контексті сталого розвитку регіону. *Екологічні науки*. 2022. № 6 (45). С. 132–138. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.21>
12. Баранов П. М. Біоіндикація як метод оцінювання стану довкілля: сучасні підходи. *Біологія та екологія*. 2020. № 4. С. 77–83. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2022.1.11>
13. Кучма Т. Л., Томченко О. В. Оцінка екосистемних послуг водно-болотних угідь за даними дистанційного зондування Землі. *Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 3–5 лип. 2019 р.). Київ, 2019. С. 147–151.
14. Слепужников Е. Д., Петухов Р. А., Пономаренко Р. В., Буц Ю. В. Экологически безопасный метод локализации загрязнения почв при чрезвычайных ситуациях техногенного характера. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія “Екологія”*. 2019. №. 21. С. 63–71. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2019-21-05>
15. El-Sharkawy M., Alotaibi M. O., Li J., Du D., Mahmoud E. Heavy metal pollution in coastal environments: Ecological implications and management strategies: A review. *Sustainability*. 2025. Vol. 17. 701. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17020701>

FORMATION OF ECONEWORKS IN THE CONTEXT OF THE IMPACT OF INORGANIC POLLUTANTS

Sovhira S.

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University (Uman, Ukraine)

e-mail: sovgirasvitlana@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8742-7773>

Dushechkina N.

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University (Uman, Ukraine)

e-mail: nataxeta74@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4203-7122>

Kochubei O.

Doctor of Philosophy in Education

Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University (Uman, Ukraine)

e-mail: sncelesna@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5047-6694>

The article presents the results of a comprehensive study focused on assessing the impact of inorganic pollutants on the formation of an ecological network in the Central Pobuzhzhia region (Ukraine). The necessity of incorporating spatial distribution of chemical pollution into ecological network planning-particularly in the development of ecological corridors, buffer zones, and core natural areas-is substantiated. The study includes an analysis of heavy metal concentrations (lead, cadmium, zinc, copper, nickel) in soils, bottom sediments, and above-ground plant biomass. Concentrations of nitrates and phosphates in rivers and ponds were also evaluated to determine their impact on aquatic organisms, zooplankton, benthos, and fish. It was found that inorganic pollution leads to disruptions in soil microbiological activity, degradation of biota, simplification of ecosystem structures, and active bioaccumulation of toxicants in organism tissues. In areas with intense anthropogenic pressure, species richness of phytocenoses decreased by 40-50%, chlorophyll content in model plant species was significantly reduced, and enzymatic activity in soils was suppressed. GIS analysis helped identify spatial conflict

zones between projected elements of the ecological network and pollution hotspots. Based on the findings, practical recommendations were developed for adapting ecological network schemes in anthropogenically transformed landscapes. These include soil remediation (phytoremediation), the establishment of riparian buffer zones, rerouting ecological corridors to more stable areas, and implementation of long-term environmental monitoring. The results presented in this study have both theoretical and practical significance for nature conservation planning, restoration of degraded ecosystems, and sustainable spatial development of polluted regions.

Keywords: heavy metals, nitrates, ecosystem degradation, phytoremediation, GIS analysis, bioindication, sustainable development, Central Pobuzhzhia.

REFERENCES

1. Hulich, M. P., Kharchenko, O. O., Yemchenko, N. L., Olshevska O. D., & Lyubarska L. S. (2024). War in Ukraine: the problem of heavy metal contamination of agricultural lands and products (analysis of literature data). *Environment & Health*, 4, 38–44. doi: 10.32402/dovkil2024.04.038
2. Yevtushenko O. O., & Bodnaruk I. V. (2021). Monitoring the state of surface waters of Ukraine: problems and prospects. *Bulletin of the NAS of Ukraine*, 9, 47–55. doi: 10.30888/2410-6615.2020-06-02-108
3. Sovhira, S., Dushechkina, N., Honcharuk, V., Kochubei, O., Liubynska, S., & Sharhorodskiy, O. (2025). *Comprehensive assessment of the environmental safety of small rivers in the Southern Bug ecological corridor: monograph* (S. Sovhira, Ed.). Uman: Sochynskyi M. M.
4. Boiko, O. V., Honchar, O. F., Havrish, O. M., & Osokina, T. H. (2019). Formation of the ecological network of Cherkasy region. *Agroecological journal*, 3, 14–19. doi: 10.33730/2077-4893.3.2019.183463
5. Buzhyn, O. A., Shvidenko, A. V., Kulitsa, O. S., Zaiets, R. A., & Hora, V. A. (2019). Environmental safety: soil exploitation in Cherkasy region. *Environmental safety and balanced resource use*, 1(19), 53–58. doi: 10.31471/2415-3184-2019-1(19)-53-58
6. Omelych, I. Yu., & Neposhyvailenko, N. O. (2022). Concentrations of mobile forms of heavy metals (Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) in agricultural soils. *East Ukrainian Scientific Bulletin*, 2(41), 149–160. doi: 10.31319/2519-2884.41.2022.17
7. Tkachuk, O. P., & Yakovets, L. A. (2016). Peculiarities of contamination of grain products with heavy metals in the conditions of Vinnytsia region. *Agriculture and forestry*, 4, 179–186.
8. Vasetska, A. V., & Lohinova, M. V. (2024). The environmental component in the reconstruction of small Ukrainian cities. In *Sectoral Problems of Environmental Safety — 2024: Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference with the participation of young scientists* (pp. 16–17). Kharkiv, 2024.
9. Sovhira, S. V., Dushechkina, N. Yu., Parakhnenko, V. H., Kochubei O., et al. (2025). *Monitoring and technologies for surface water purification of the Southern Bug river basin: monograph*. (S. V. Sovhira, Ed.). Uman: Sochinsky M. M.
10. Stetsiuk, O., Kyrychenko, L., Liubchenko, V., & Ratoszniuk, T. (2022). Dynamics of heavy metals in soil under organic hop production technology. In *Organic production and food security: Collection of works of participants of the X International Scientific and Practical Conference* (pp. 221–223). Zhytomyr: PP “Euro-Volyn”.
11. Mudrak, O. V., Khaietskyi H. S., Mudrak H. V., & Serebriakov, V. V. (2022). Assessment of the ecological state of small rivers of Eastern Podillia in the context of sustainable development of the region. *Ecological Sciences*, 6(45), 132–138. doi: 10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.21
12. Baranov, P. M. (2020). Bioindication as a method of assessing the state of the environment: modern approaches. *Biology and Ecology*, 4, 77–83. doi: 10.32851/wba.2022.1.11
13. Kuchma, T. L., & Tomchenko, O. V. (2019). Assessment of ecosystem services of wetlands based on remote sensing data. In *Ecological safety and balanced environmental management in agro-industrial production: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (pp. 147–151). Kyiv.
14. Slepuzhnikov, E. D., Pietukhov, R. A., Ponomarenko, R. V., & Buts, Y. V. (2019). Environmentally safe method of localization of soil pollution in emergency situations of technogenic nature. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 21, 63–71. doi: 10.26565/1992-4259-2019-21-05
15. El-Sharkawy, M., Alotaibi, M.O., Li, J., Du, D., & Mahmoud, E. (2025). Heavy metal pollution in coastal environments: Ecological implications and management strategies: A review. *Sustainability*, 17, 701. doi: 10.3390/sul7020701

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

СОВГІРА Світлана Василівна — доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (вул. Садова, 2, м. Умань, Україна, 20300; e-mail: sovginasvitlana@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8742-7773>).

ДУШЕЧКІНА Наталія Юріївна — кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (вул. Садова, 2, м. Умань, Україна, 20300; e-mail: nataxeta74@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4203-7122>).

КОЧУБЕЙ Олена Василівна — доктор філософії, викладач кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини (вул. Садова, 2, м. Умань, Україна, 20300; e-mail: sncelena@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5047-6694>).