

УДК 55; 504; 574

**Volodymyr Mokryi**, Assoc. prof., Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity of Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable Development  
ORCID ID 0000-0002-5814-5160 *e-mail*: mokryi@ukr.net

**Ihor Petrushka**, Professor, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity of Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable Development  
ORCID ID 0000-0003-3344-4196 *e-mail*: petim@ukr.net

**Elvira Dzhumelia**, PhD, Assistant at the Software Department of Institute of Computer Science and Information Technologies  
ORCID ID 0000-0003-3146-8725 *e-mail*: elviradzhumelia@gmail.com

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

## **RESTORATION OF CROSS-BORDER UKRAINIAN-POLISH MAN-MADE TERRITORIES OF ROZTOCHIA BY PHYTOMELIORATIVE METHODS**

**Abstract.** *Extraction leads to the formation of specific anthropogenic landscapes, which are mining. They are inferior in the area to agriculture and forestry. As a result, the lithogenic basis of landscapes is broken, and there is a fast alteration of a surface therefore the man-made neo relief is formed.*

*The purpose of the work is theoretical substantiation of phytocoenotic bases of afforestation of dump landscapes and practical realization of biological-coenotic grounds of technology of creation of forest cultures on the reclaimed lands which correspond to concepts of nature conservation paradigms and are based on data of morphophysiological monitoring and application of mycorrhizal technologies.*

*The object of comparative studies are selected syngenetic phytomeliorants: common reed (*Phragmites australis*); buttercup caustic (*Ranunculus acris*); horsetail (*Equisetum arvense*); Reed warbler (*Phalaroides arundinacea*); goat willow (*Salix coprea*). The experimental material was taken from the territory of underground smelting of sulfur, areas adjacent to Yavoriv quarry, control samples – from the adjacent intact area. Quantitative determination of pigments was performed by the standard spectrophotometric method, as well as by the method of derivative spectroscopy. The activity of the photosynthetic apparatus was studied by photoinduced chlorophyll fluorescence.*

*Studies have shown statistically significant changes in the quantitative composition of plastid pigments in plant leaves in all studied areas compared to their appropriate background values.*

*The technology of forest reclamation of anthropogenic geocomplexes has been developed and tested by creating silvicultural areas based on mycorrhized planting material. The system of landscape-ecological reclamation measures, together with complex ecological monitoring, serves as a basis for sustainable development of cross-border Ukrainian-Polish man-made territories of Roztochia.*

**Key words:** *Roztochia; environmental monitoring; photosynthesis; fluorescence; recultivation; mycorrhiza*

В.І. Мокрий, І.М. Петрушка, Е.А. Джумеля

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

## ВІДНОВЛЕННЯ ТРАНСКОРДОННИХ УКРАЇНСЬКО-ПОЛЬСЬКИХ ТЕХНОГЕННИХ ТЕРИТОРІЙ РОЗТОЧЧЯ ФІТОМЕЛІОРАТИВНИМИ МЕТОДАМИ

**Анотація.** Видобування призводить до формування специфічних антропогенних ландшафтів, які називають гірничопромисловими. Площею вони поступаються сільськогосподарським та лісгосподарським. У результаті порушується літогенна основа ландшафтів, а також відбувається швидка перебудова поверхні, унаслідок чого формується техногенний неорельєф.

Мета роботи – теоретичне обґрунтування фітоценотичних основ заліснення відвальних ландшафтів та практична реалізація біологоценотичних засад технології створення лісових культур на рекультивованих землях, які відповідають концепціям природозберігаючих парадигм і базуються на даних морфологічного моніторингу та застосуванні мікоризаційних технологій у лісокультурній практиці.

Об'єктом порівняльних досліджень вибрані сингенетичні фітомеіоранти: очерет звичайний (*Phragmites australis*); жовтець їдкий (*Ranunculus acris*); хвоць польовий (*Equisetum arvense*); очеретянка звичайна (*Phalaroides arundinacea*); верба козяча (*Salix caprea*). Дослідний матеріал відібрано з території підземної виплавки сірки, ділянок, прилеглих до Яворівського кар'єру, контрольні зразки – з прилеглої непорушеної місцевості. Кількісне визначення пігментів проводилось стандартним спектрофотометричним методом, а також методом похідної спектроскопії. Активність фотосинтетичного апарату досліджувалась методом фотоіндукованої флуоресценції хлорофілу.

Проведені дослідження показали статистично достовірні зміни кількісного складу пластидних пігментів у листках рослин на всіх досліджених ділянках стосовно відповідних їм фонових значень.

Розроблено і апробовано технологію лісомеліорації антропогенних геокомплексів, шляхом створення лісокультурних площ, на основі мікоризованого лісопосадкового матеріалу. Система ландшафтно-екологічних рекультиваційних заходів, разом із комплексним екологічним моніторингом, слугить основою сталого розвитку транскордонних українсько-польських техногенних територій Розточчя.

**Ключові слова:** Розточчя; екологічний моніторинг; фотосинтез; флуоресценція; рекультивація; мікориза

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.100-109>

### Вступ

Природні ландшафти транскордонних українсько-польських техногенних територій Розточчя знаходяться на межі стійкого функціонування, а їхнє подальше руйнування може призвести до повної втрати самовідновлюючих біосферних функцій природи. На теренах України площа техногенних ландшафтів займає понад 220 тисяч гектарів, із них близько 70% порушено внаслідок відкритого видобутку покладів корисних копалин. При застосуванні цього способу знищується рослинний та ґрунтовий покрив, пригнічується ріст

рослин, внаслідок чого знижується їх життєздатність та довговічність [1–5]. За таких умов суттєво погіршується екологічний стан відвальних ландшафтів, їхні санітарні, естетичні та рекреаційні якості [6–12]. Тому реалізація стратегії природовідтворення, фітомеліорація техногенних ландшафтів, вирішення соціально-екологічних проблем на основі сучасних інформаційно-аналітичних методів та біотехнологій є актуальним для Яворівського гірничопромислового району (ГПР), який є частиною транскордонних українсько-польських техногенних територій Розточчя.

Враховуючи, що лісові ценози використовують до 90% сонячної енергії (агроценози – лише 40%), а також зважаючи, що гармонійний розвиток суспільства з природою потребує співвідношення лісової рослинності до агроландшафтів у межах 50% [13, 14], на землях, які зазнали техногенного впливу, доцільно створювати лісові культурфітоценози, які виконували б різноманітні життєво важливі захисні функції. Заліснення таких земель буде сприяти покращенню якості довкілля, збільшенню лісистості гірничодобувних районів та залученню до господарського обігу земель з порушеним ґрунтовим покривом.

**Мета дослідження** – теоретичне обґрунтування фітоценотичних основ заліснення відвальних ландшафтів та практична реалізація біологоценотичних засад технології створення лісових культур на рекультивованих землях, які відповідають концепціям природозберігаючих парадигм і базуються на даних морфологічного моніторингу та застосуванні мікоризаційних технологій у ліскокультурній практиці.

## Методи досліджень

Об'єктом порівняльних досліджень вибрані сингенетичні фітомеліоранти: очерет звичайний (*Phragmites australis*); жовтець їдкий (*Ranunculus acris*); хвощ польовий (*Equisetum arvense*); очеретянка звичайна (*Phalaroides arundinacea*); верба козяча (*Salix coprea*). Дослідний матеріал відібрано з території підземної виплавки сірки (ПВС), ділянок, прилеглих до Яворівського кар'єру, контрольні зразки – з прилеглої непорушеної місцевості.

Кількісне визначення пігментів проводилось стандартним спектрофотометричним методом, а також методом похідної спектроскопії. Активність фотосинтетичного апарату досліджувалась методом фотоіндукованої флуоресценції хлорофілу [15, 16]. Активність мікоризації визначено за кількістю спор на см<sup>3</sup> препарату. Для оцінки результатів досліджень використано критерій Стьюдента.

## Результати дослідження

Отримані результати [17] вказують на інактивацію фотосинтезу внаслідок дисбалансу пігментного комплексу. Зміна вмісту пігментів впливає не лише на інтенсивність фотосинтезу, але і на загальний рівень метаболізму, рух асимілянтів, синтез ростових речовин. Порівняльний аналіз результатів визначення вмісту пігментів вказує на високу точність методу похідної спектроскопії (рис. 1) в порівнянні з спектрофотометричним.

Проведені дослідження показали статистично достовірні зміни кількісного складу пластидних пігментів у листках рослин на всіх досліджених ділянках

стосовно відповідних їм фонових значень. При цьому, відзначено появу видоспецифічних змін пігментного комплексу деревних рослин у трансформованих умовах середовища існування. У рослинних тканинах зафіксовано загалом знижений вміст каротиноїдів, статистично достовірно відмінний від фонових значень, що обумовлено морфофізіологічними особливостями досліджуваних рослин.

Зміни в пігментному комплексі відображають адаптованість фізіологічних функцій рослин до різних екологічних умов і є основною причиною інактивації фотосинтезу. Для досліджених видів характерним є зниження суми пластидних пігментів у ряді: поля підземної виплавки сірки < кар'єрні відвали < непорушена фонові територія. Простежується відмінність у характері зміни окремих пластидних пігментів деревних рослин на територіях різного функціонального призначення. В досліджуваних зразках рослин спостерігається достовірно послідовне зниження вмісту хлорофілів «a» та «b» у ряді досліджених ділянок стосовно до відповідних фонових. Відзначено зміни у співвідношенні хлорофілів «a», «b» та каротиноїдів у листках досліджених видів на різнофункціональних деастрованих ландшафтах Яворівського ГПП порівняно із фонові територією. Спостерігається зниження відсоткової частки хлорофілу «a» та зростання частки каротиноїдів у асиміляційних органах рослин.

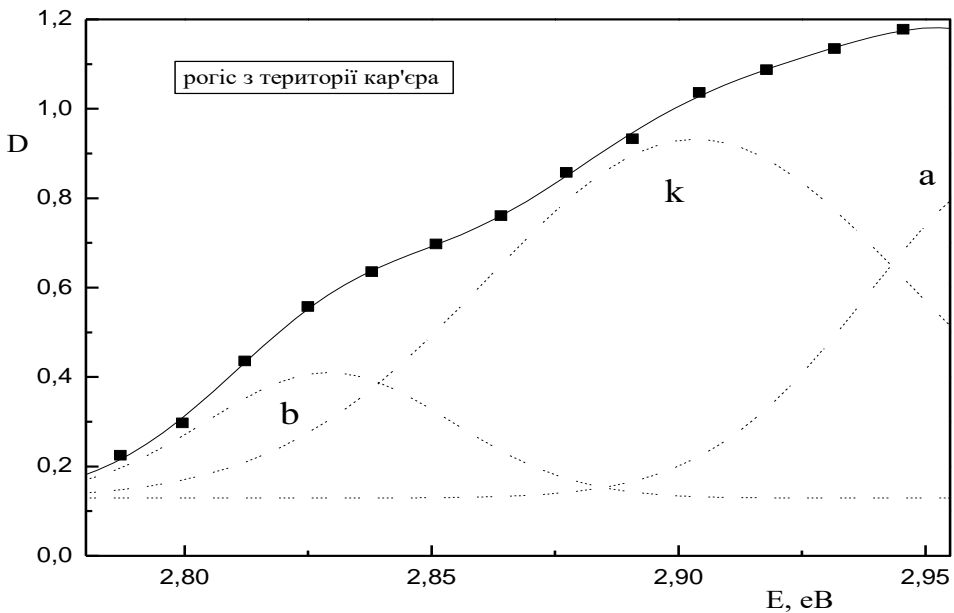


Рис. 1 – Спектр поглинання екстрагованої витяжки пігментів листків очерету звичайного (*Phragmites australis*) з трьома вибраними аналітичними довжинами хвиль відповідно для хлорофілу «a», «b» і каротиноїдів

Отримані параметри фотоіндукованої флуоресценції хлорофілу показують, що в умовах деградованого середовища Яворівського ГПП індекс життєвості рослин у порівнянні з контрольними зразками нижчий. Згідно з даними флуоресцентного тестування, на фоні відносно високих значень індексу життєвості досліджуваних рослин, прослідковується тенденція його

зниження в умовах деградованого середовища, у порівнянні з контролем. Фіксовані значення індексу життєвості рослин вказують на відносну достатність деградованих умов для існування і розвитку піонерного рослинного покриву.

Кореляція даних вимірювань вмісту пігментів і флуоресцентного тестування рослин показує, що адаптація пігментного апарату рослин до відповідних екологічних умов є складовою стратегії виживання видів в конкретному середовищі.

Отримані результати і літературні дані про лісові культури, що зростають на порушених ґрунтах, свідчать про можливу успішність рекультивациі сучасних відвалів гірничодобувних кар'єрів за допомогою культур змішаного складу за участю *Quercus robur* та домішкою *Alnus glutinosa*, *Populus tremula*, *Pinus sylvestris*. Незважаючи на низьку продуктивність, ці насадження відзначаються достатньою біологічною стійкістю. Успішність фітомеліорації в першу чергу залежить від правильного підбору комплексу агротехнічних та лісокультурних заходів у відповідності до екологічної специфіки девастрованих ландшафтів. При цьому особливе значення має підбір асортименту фітомеліорантів та послідовність їх застосування. Здійснення фітомеліоративних заходів повинно забезпечити послідовне формування стійких серійних рослинних угруповань. Кінцевою метою фітомеліорації є рослинні угруповання субкліматського характеру – у лісостеповій зоні деревно-чагарникових та лучно-степових типів. В межах суходільних поверхонь кар'єрів локальні гідрокліматичні та геліотопічні умови близькі за своїми характеристиками до умов навколишнього ландшафту, вкритого лісовою та лучною рослинністю.

При розробці фітомеліоративних заходів та підборі фітомеліорантів відзначається будова техногенних форм рельєфу, умови формування едафотопічних умов девастрованих ландшафтів, береться до уваги специфіка кожного елемента кар'єрно-відвальних ландшафтів. На основі цього синтезуються координаційно-класифікаційні схеми кар'єрно-відвальних комплексів.

На схилах відвалів, де лише ініціюються ерозійні процеси, ефективними природними фітомеліорантами є *Calamagrostis epigeios*, *Phragmites australis*, *Tussilago farfara*. Прибережні зони заповнених водами кар'єрних виїмок та підтоплювані суходільні схили потребують фітомеліоративних заходів з метою припинення водної ерозії шляхом створення смуг з *Phragmites australis* та гігрофільної деревної та чагарникової рослинності, зокрема вільшаників, верболозів тощо.

Процес фітомеліорації території Яворівського ГПР (рис. 2) проходить екстенсивно (самозаростання) та інтенсивно (штучне зарощування), забезпечуючи припинення техногенної деградації земель та повернення девастрованих територій до рекреаційно-господарського використання.

На ділянках земель цієї категорії переважають ґрунти різного механічного складу та еродовані (різного ступеня змиті та розмиті), виходи материнських порід. Найкращим чином такі землі можуть бути використані для вирощування лісомеліоративних насаджень, які відіграють значну роль у охороні земель від руйнування та деградації, підтримують екологічну рівновагу в регіонах, забезпечують відновлення функцій саморегуляції ландшафтних систем, утрачених у процесі високого антропогенного навантаження.

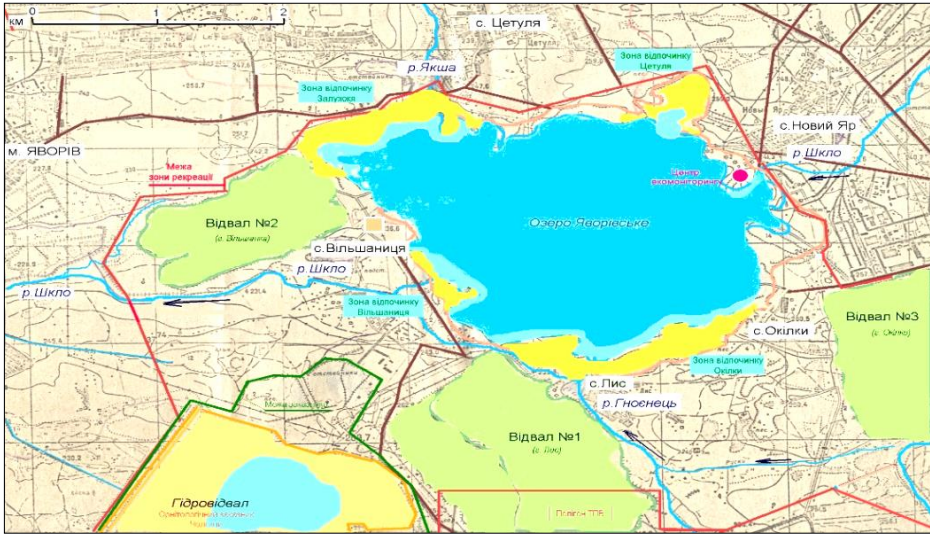


Рис. 2 – Територія Яворівського рекреаційно-господарського комплексу

Такі принципи [18] розміщення лісових насаджень на площі землекористувань пройшли широке випробування у світі і знайшли позитивну оцінку у землевласників та підтримку у впровадженні від урядів і міжнародних екологічних фондів. Наукові програми з лісового землеробства підтримуються Радою Європи протягом останніх десятиліть.

Таким чином, першочерговими завданнями та пріоритетами лісомеліорації регіону є:

- розробка нового лісомеліоративного районування на основі комплексного оцінювання несприятливих природно-антропогенних явищ;
- захист, збереження і формування земельних ресурсів шляхом застосування адаптивних лісомеліоративних комплексів;
- розробка оптимальних екологічних параметрів техногенних ландшафтів, які забезпечать стійкість їх функціонування й підвищення використання біокліматичного потенціалу (БКП);
- поступове створення за допомогою систем захисних лісових насаджень умов для відновлення у ландшафтів функцій саморегулювання й самопоновлення, здатності реалізації додаткових можливостей БКП;
- стабілізація водно-ресурсного потенціалу басейнів основних річок, що впадають у Яворівське озеро, у системах захисних лісових насаджень і поліпшення якості озерної води;
- перехід захисного лісорозведення на селекційно-генетичні та біонанотехнологічні основи створення нових насаджень;
- підвищення кормового, технічного та екологічного потенціалу існуючих і майбутніх лісомеліоративних насаджень;
- розробка програми інтродукції лісомеліоративних насаджень для ефективного використання інтродукованих порід;
- розробка ефективних систем лісових насаджень на специфічних техногенних ландшафтах.

Яворівський ГПР розташований (80%) в межах Передгірно-височинної фізико-географічної області і лише незначна частина – в межах Розточчя. Авторами [19] закартовано 4 ландшафти та 15 видів індивідуальних антропогенних місцевостей (13,3% площі району), в тому числі 1 – кар’єрного, 3 – відвального, 4 – відстійного і 7 – аквального видів та 43 антропогенних урочища.

Для Яворівського ГПР характерні процеси заболочення, площинний змив і карст. Ці дані враховані для проєктивних і посадкових лісомеліоративних робіт.

Для фітооптимізації техногенних ландшафтів [20] створено препарат мікоризації лісопосадкового матеріалу на основі видів *Suillus luteus*, *Amanita muscaria*, *Tuber melanosporum*, а також дріжджів *Torulopsis candida*. Отриманий мікоризований лісопосадковий матеріал використано при створенні біогруп на девастрованих ділянках. Це дасть змогу ефективно використати три функції мікоризи: трофічну (забезпечення рослин якісним живленням і водою); гормонально-інформаційну (регулювання і сприяння плодоношення); комунікаційну (створення складних екосистем), що забезпечить ендоекогенетичну сукцесійну стадію фітомеліорації Яворівського ГПР.

## Висновки

Аналіз природно-кліматичних умов Розточчя свідчить про доцільність і необхідність лісомеліоративної трансформації техногенних, деградованих і малопродуктивних земель. Регіональні особливості прояву деградаційних процесів зумовлюють суттєві переваги застосування лісомеліоративного захисту земель над іншими.

Розроблена ефективна ґрунто-водо-охоронна система забезпечує оптимальну рекультивацію техногенних ландшафтів шляхом лісомеліоративного облаштування.

Завдяки високій ефективності мікоризованого лісопосадкового матеріалу, лісомеліорація техногенних ландшафтів посідає чільне місце у комплексі заходів щодо екологічного моніторингу, екологічної безпеки, локалізації деградаційних процесів, вдосконалення структури земельного фонду та стійкого розвитку транскордонних українсько-польських техногенних територій Розточчя.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Білявський, Г.О., Падун, М.М., Фурдуй, Р.С. (1993) *Основи загальної екології*. "Либідь", 316 с.
2. Tyuleneva, T. (2018). Environmental consequences of coal mine elimination. *Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection"*. <https://doi.org/10.2991/coal-18.2018.65>.
3. Štofějov, L., Fazekaš, J., Fazekašov, D. (2021). Analysis of heavy metal content in soil and plants in the dumping ground of Magnesite Mining Factory Jelšava-Lubenik (Slovakia). *Sustainability*, 13(8), 4508. <https://doi.org/10.3390/su13084508>
4. Копач, П.І., Горобець, Н.В., Данько, Т.Т., Бондаренко, Л.В. (2009). Основні положення методології створення системи моніторингу наукового середовища гірничодобувних регіонів. *Екологія і природокористування*, 12, 181-187.

5. Прохорова, Н.В., Кавеленова, Л.М. (2003). *Проблеми організації системи фітотомоніторингу городської середовища в умовах лесостепи*. Изд-во «Самарський університет».
6. Rudko, G., Shkitsa, L. (2002). Ecological consequences of the activity of Western Ukraine mining complexes. *Rocznik AGH, Wiertnictwo Nafta Gaz, Poland*, T. 19/2, pp. 415-418.
7. Dzhumelia, E., Pohrebennyk, V. (2021). Methods of soils pollution spread analysis: Case study of mining and chemical enterprise in Lviv region (Ukraine). *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 22(4), pp. 39-44.
8. UNDP and UN Environment. (2018). *Managing mining for sustainable development. A sourcebook*. Bangkok: United Nations Development Programme.
9. Rhind, S. M. (2009) Anthropogenic pollutants: a threat to ecosystem sustainability, *Phil. Trans. R. Soc. B*, 364, pp. 3391-3401.
10. Lee, S., Ji, W., Yang, H. (2017). Reclamation of mine-degraded agricultural soils from metal mining: lessons from 4 years of monitoring activity in Korea, *Environ Earth Sci*, vol. 76, no. 720, pp. 1-7.
11. Carvalho, F. P. (2017). Mining industry and sustainable development: time for change, *Food and Energy Security*, pp. 61-77.
12. Bryk, M., Kołodziej, B. (2009). Reclamation problems for the area of a former borehole sulfur mine with particular reference to soil air properties, *Land Degrad. Dev.*, 20, pp. 509-521.
13. Бровко, Ф.М. (2009). *Лісова рекультивация відвальних ландшафтів Придніпровської височини України: монографія*. "Арістей", 263 с.
14. Трохимчук, С.В., Ковальчук, І.В., Кравчук, Я.С. (1978). Некоторые аспекты изучения антропогенных изменений природы Западного Подолья. *Тез. докл. респ. научн. конф. "Природные ресурсы Карпат и Приднестровья, вопросы их рационального использования и охраны"*. С. 125–127.
15. Капустяник, В.Б., Мокрий, В.І. (2004). *Опτικο-спектральні методи в науково-технічній експертизі: Практикум*. "Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка", 207 с.
16. Ломницька, Я.Ф., Василечко, В.О., Чихрій, С.І. (2011). *Склад та хімічний контроль об'єктів довкілля*. Львів, Новий Світ-2000, 589 с.
17. Копій, Л.І., Мокрий, В.І., Оліферчук, В.П. (2009) Експрес-тестування та оптимізація фітомеліорантів девастрованих ландшафтів Яворівського ГПР. *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. Зб. матеріалів I Міжнародного конгресу*. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», с. 41-42.
18. Гладун, Г.Б., Дем'яненко, Л.В. (2009) *Лісівництво і агролісомеліорація*. Харків: УкрНДЦЛГА, Вип. 115.
19. Іванов, Є.А. (2001). *Еколого-ландшафтознавчий аналіз гірничопромислових територій (на прикладі Львівської області)* (Автореф. дис. на здобуття наук. ст. к. географ. н.).
20. Мокрий, В.І., Копій, Л.І., Paslavskyy, M.M., Pankivskyy, Y.I. (2010). The complex monitoring of the degraded landscapes of Chervonograd mining-industrial region. *Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna «Przyrodnicze wykorzystanie ubocznych produktów spalania węgla, biomasy oraz węgla z biomasa» Szczecin-Ostoja 5.11.2010*, Zachodniopomorski uniwersytet technologiczny w Szczecinie, p. 41-44.

Стаття надійшла до редакції 07.09.2021 і прийнята до друку після рецензування 09.12.2021



## REFERENCES

1. Biliavskiyi H. O., Padun, M. M., & Furdii, R. S. (1993). Osnovy Zahalnoi Ekolohii. "Lybid" (in Ukrainian).
2. Tyuleneva, T. (2018). Environmental consequences of coal mine elimination. In *Proceedings of the 9th China-Russia Symposium "Coal in the 21st Century: Mining, Intelligent Equipment and Environment Protection"*. <https://doi.org/10.2991/coal-18.2018.65>
3. Štofejová, L., Fazekaš, J., Fazekašová, D. (2021). Analysis of heavy metal content in soil and plants in the dumping ground of Magnesite Mining Factory Jelšava-Lubenik (Slovakia). *Sustainability*, 13(8), 4508. <https://doi.org/10.3390/su13084508>
4. Kopach, P. I., Horobets, N. V., Danko, T. T., & Bondarenko, L. V. (2009). Osnovni polozhennia metodolohii stvorennia systemy monitorynhu navkolyshnoho seredovyshcha hirnychodobuvnykh rehioniv. *Ekolohiia I Pryrodokorystuvannia*, 12, 181-187 (in Ukrainian).
5. Prokhorova, N. V., & Kavelenova, L. M. (2003). Problemy orhanyzatsii systemy fitomonitoryngha gorodskoi sredey v uslovyakh lesostepu. Yzd-vo «Samarskyi universytet» (in Russian).
6. Rudko, G., & Shkitsa, L. (2002). Ecological consequences of the activity of Western Ukraine mining complexes. *Rocznik AGH, Wiertnictwo Nafta Gaz*, 19/2, 415-418.
7. Dzhumelia, E., & Pohrebennyk, V. (2021). Methods of soils pollution spread analysis: Case study of mining and chemical enterprise in Lviv region (Ukraine). *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 22(4), 39-44.
8. UNDP and UN Environment. (2018). Managing mining for sustainable development. A sourcebook. Bangkok: United Nations Development Programme.
9. Rhind, S. M. (2009) Anthropogenic pollutants: a threat to ecosystem sustainability. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 364, 3391-3401.
10. Lee, S., Ji, W., & Yang, H. (2017). Reclamation of mine-degraded agricultural soils from metal mining: lessons from 4 years of monitoring activity in Korea. *Environ Earth Sci*, 76(720), 1-7.
11. Carvalho, F. P. (2017). Mining industry and sustainable development: time for change. *Food and Energy Security*, 61-77.
12. Bryk, M., & Kołodziej, B. (2009). Reclamation problems for the area of a former borehole sulfur mine with particular reference to soil air properties. *Land Degrad. Dev.*, 20, 509-521.
13. Brovko, F. M. (2009). Lisova rekultyvatsiia vidvalnykh landshaftiv Prydniprovskoi vysochyny Ukrainy: monohrafiia. "Aristei" (in Ukrainian).
14. Trohimchuk, S. V., Kovalchuk, I. V., & Kravchuk, Ya. S. (1978). Nekotorye aspekty izucheniya antropicheskikh izmeneniy pripody Zapadnogo Podolya. In *Tez. dokl. resp. nauchn. konf. "Pripodnye resursy Karpat i Pridnestrovyia, voprosy ih racionalnogo ispolzovaniya i ohrany"* (pp. 125-127) (in Russian).
15. Kapustianyk, V. B., & Mokryi, V. I. (2004). Optyko-spektralni metody v naukovotekhnichnii ekspertyzi: Praktykum. "Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka" (in Ukrainian).
16. Lomnytska, Ya. F., Vasylechko, V. O., & Chykhrii, S. I. (2011). Sklad ta khimichniy kontrol ob'ektiv dovkillia. Lviv: Novyi Svit-2000 (in Ukrainian).
17. Kopii, L. I., Mokryi, V. I., & Oliferchuk, V. P. (2009). Ekspres-testuvannia ta optymizatsiia fitomeliorantiv devastovanykh landshaftiv Yavorivskoho HPR. In *Zakhyst navkolyshnoho seredovyshcha. Enerhooshchadnist. Zbalansovane pryrodokorystuvannia. Zb. materialiv I Mizhnarodnoho konhresu*, (pp. 41-42). Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika» (in Ukrainian).
18. Hladun, H. B., & Demianenko, L. V. (2009). Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia. Kharkiv: UkrNDILHA, Vyp. 115 (in Ukrainian).
19. Ivanov, Y. A. (2001). Ekoloho-landshaftoznavchyi analiz hirnychopromyslovykh terytorii (na prykladi Lvivskoi oblasti) (Doctoral dissertation) [Abstract] (in Ukrainian).

20. Mokryi, V., Kopyi, L., Paslavskyy, M., & Pankivskyy, Y. (5.11.2010). The complex monitoring of the degraded landscapes of Chervonograd mining-industrial region. In *Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna «Przyrodnicze wykorzystanie ubocznych produktów spalania węgla, biomasy oraz węgla z biomasa»* (pp. 41-44). Szczecin-Ostoja: Zachodniopomorski uniwersytet technologiczny w Szczecinie.

*The article was received 07.09.2021 and was accepted after revision 09.12.2021*

**Мокрий Володимир Іванович**

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Інституту сталого розвитку ім. В. Чорновола Національного університету «Львівська політехніка»

**Адреса робоча:** 79013 Україна, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12

ORCID ID 0000-0002-5814-5160 **e-mail:** mokriy@ukr.net

**Петрушка Ігор Михайлович**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Інституту сталого розвитку ім. В. Чорновола Національного університету «Львівська політехніка»

**Адреса робоча:** 79013 Україна, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12

ORCID ID 0000-0003-3344-4196 **e-mail:** petim@ukr.net

**Джумеля Ельвіра Анатоліївна**

доктор філософії, асистентка кафедри програмного забезпечення Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка»

**Адреса робоча:** 79013 Україна, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12

ORCID ID 0000-0003-3146-8725 **e-mail:** elviradzhumelia@gmail.com