

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

ПІНДЕР ВОЛОДИМИР ФЕДОРОВИЧ



УДК 504.54.056+504.064.2+581.14+632.151+712.24

**РЕКУЛЬТИВАЦІЙНІ ЗАХОДИ ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ
ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ НА ДОВКІЛЛЯ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів-2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент,
Попович Василь Васильович,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій, начальник Навчально-наукового інституту цивільного захисту, професор кафедри екологічної безпеки, м. Львів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Мандрик Олег Миколайович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Міністерства освіти і науки України,
перший проректор, м. Івано-Франківськ;

доктор технічних наук, професор
Павличенко Артем Володимирович,
Національний технічний університет
“Дніпровська політехніка”
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, м. Дніпро.

Захист відбудеться «13» травня 2021 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.22 в Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 76013, м. Львів, вул. Пл. Святого Юра, 3/4, аудиторія 115.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів, вул. Професорська, 1 та на сайті Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: <https://lpnu.ua/spetsrady/k-3505222>

Автореферат розісланий «13» квітня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 35.052.22,
д. т. н., доцент



В. В. Сабадаш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вуглевидобувні регіони, як у національному, так і у світовому контекстах, спричиняють значне техногенне навантаження на довкілля та організм людини. Україна посідає 8-ме місце у світі за обсягами розвіданих запасів вугілля (34 млрд. т, або 3,5% світових запасів) та 13-те за обсягами видобутку. Основним способом поводження із відвальною породою, при видобуванні вугілля, є складування у відвали (терикони). Така ситуація призводить до значного техногенного пресингу на довкілля і живі організми та виникнення екологічної катастрофи загалом. Для зменшення техногенного навантаження на біоту, породні відвали рекультивують. Проте, в умовах недостатнього фінансування рекультиваційних робіт в Україні, більшість породних відвалів піддаються природному заростанню (природна фітомеліорація). В умовах Малого Полісся піонерним видом на породних відвалах вугільних шахт є сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.).

Враховуючи численні наукові дослідження В. П. Кучерявого (2003); Г. М. Мануїлової (2004); У. Б. Башуцької (2006); В. В. Поповича (2011); Н. Г. Міронової (2016); Я. В. Геника (2016); А. В. Павличенка (2016); М. Л. Копій (2018); I. Sýkorová, B. Kříbek, M. Havelcová, V. Machovič, F. Laufek, F. Veselovský, A. Špaldoňová, L. Lapčák, I. Knésl, P. Matysová, V. Majer (2018); М. В. Петльованого (2020); В. Г. Лозинського (2020); A. Abramowicz, O. Rahmonov, R. Chybiorz (2021) та ін., які пов'язані із вивченням екологічної ситуації та фітомеліорації у вуглевидобувних районах, зазначимо, що питання підвищення якості довкілля і збереження здоров'я людей є актуальними.

Едафо-кліматичні чинники розвитку *Pinus sylvestris* L., а також мікрокліматопічні умови росту, фізіологічна стійкість, формування фітогенних полів та їх взаємозв'язок із сукцесійними процесами, прикладні проблеми фітоценозів-меліорантів – саме ті актуальні питання, які потребують досліджень з метою пропозиції заходів щодо подолання ландшафто-трансформуючих чинників девастрованих ландшафтів вуглевидобування та покращення екологічної ситуації у промислових регіонах.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в контексті пріоритетних напрямів державної політики України у сфері сталого розвитку, охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів, які визначені Законом України "Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року", «Гірничим Законом України», Законом України «Про відходи», постановою Верховної Ради України «Про стан виконання законодавства у сфері поводження з відходами в Україні та шляхи його вдосконалення»; постановою Кабінету Міністрів України «Про додаткові заходи щодо вдосконалення системи збирання, заготівлі та утилізації відходів як вторинної сировини» та розпорядженням Кабінету Міністрів України ««Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»»».

Мета і завдання дослідження. Мета – встановити ландшафто-трансформуючі чинники фітомеліоративних процесів та екологічні умови протікання піонерної сукцесії за участю *Pinus sylvestris* L. на поверхні породних відвалів вугільних шахт Малого Полісся.

Досягнення поставленої мети зумовило необхідність виконання таких завдань:

- провести аналіз наукових джерел щодо екологічної ситуації вуглевидобувних регіонів;
- встановити причини та наслідки зростання рівня екологічної небезпеки внаслідок складування відвальної породи на відкритому просторі;
- з'ясувати едафо-кліматичні умови Малого Полісся у зв'язку з потребою фітомеліорації девастрованих ландшафтів вуглевидобування;
- встановити екологічні особливості протікання піонерної сукцесії за участю *Pinus sylvestris* L. на поверхні породних відвалів вугільних шахт;
- встановити фізіологічну стійкість *Pinus sylvestris* L., яка розвивається на поверхні породних відвалів вугільних шахт;
- вивчити особливості міграції небезпечних речовин у гідросферу, літосферу, атмосферу під час експлуатації породних відвалів вугільних шахт;
- встановити екологічні особливості формування фітогенних полів *Pinus sylvestris* L. на поверхні породних відвалів вугільних шахт;
- з'ясувати фітомеліоративну ефективність *Pinus sylvestris* L. на поверхні породних відвалів вугільних шахт;
- запропонувати шляхи підвищення якості довкілля за участі сосни звичайної у зоні впливу породних відвалів вугільних шахт.

Об'єкт дослідження – природна фітомеліорація за участі сосни звичайної в умовах девастрованих ландшафтів вуглевидобування Малого Полісся.

Предмет дослідження – фітомеліоративна ефективність, екологічний стан, едафо-кліматичні, мікрокліматопічні чинники росту і розвитку, фізіологічна стійкість та фітогенне поле сосни звичайної на поверхні і в зоні впливу породних відвалів вугільних шахт.

Методи дослідження. У процесі досліджень використовувалися такі методи: екологічні, ґрунтознавчі, фізичні, хімічні, біометричні, фізіологічні, фенологічні, камеральні, математично-статистичні, системного аналізу та методи логістичних побудов. Обробка результатів експериментів проводилась з використанням математичного програмування в пакеті *MS Excel, Surfer, Mathcad*.

Наукова новизна одержаних результатів. У результаті вивчення екологічних умов та ландшафто-трансформуючих чинників росту та розвитку сосни звичайної в умовах девастрованих ландшафтів вуглевидобування, а також впливу природних фітомеліоративних процесів на якість довкілля:

вперше:

- розроблено типологію породних відвалів Львівсько-Волинського вугільного басейну, завдяки якій є можливість структурувати девастровані ландшафти за ступенем порушення, техногенною небезпекою та рівнем проведення рекультиваційних робіт;

- встановлено, що показники фізіологічної стійкості (водуотримувальна здатність, жаростійкість, солестійкість, газостійкість, посухостійкість) сосни звичайної є вищими біля підніжжя породних відвалів вугільних шахт, аніж на поверхні, що дозволяє прогнозувати життєвість виду;

- встановлено теоретичні та практичні аспекти формування фітогенного поля на породних відвалах вугільних шахт Малого Полісся за участі сосни звичайної, що дає змогу оцінити едафо-кліматичні умови росту і розвитку;

- встановлено екологічні закономірності природної фітомеліорації в умовах породних відвалів вугільних шахт Малого Полісся шляхом виділення еколого-ценотичного простору рослинного покриву, що дає можливість прогнозувати суцесійні процеси;

- встановлено особливості міграції небезпечних речовин у довкілля в залежності від умов місцезростань сосни звичайної, що дозволяє прогнозувати рівень екологічної небезпеки в зоні впливу породних відвалів вугільних шахт;

удосконалено:

- методи регулювання розвитку фітоценозів з участю сосни звичайної під час проведення рекультивації та фітомеліорації відвалів;

набули подальшого розвитку:

- підходи щодо вивчення забруднення довкілля у межах впливу породних відвалів вугільних шахт;

- вивчення впливу несприятливих екологічних умов на формування флористичного ядра рослинного покриву породних відвалів.

Практичне значення одержаних результатів. Встановлено фітомеліоративну ефективність природного заростання *Pinus sylvestris* L. на поверхні породних відвалів вугільних шахт у межах Малого Полісся. Розроблено систему регулювання розвитку фітоценозів з участю сосни звичайної на породних відвалах у залежності від температури субстрату відвальної породи, яка забезпечує екологічну безпеку регіону та реалізацію заходів щодо збереження довкілля.

Результати досліджень використовують: ВП «Західна дирекція з ліквідації шахт державного підприємства «Об'єднана компанія Укрвуглереструктуризація»» (акт впровадження від 11.01.2021 р.); Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, під час викладання дисциплін «Ландшафтна екологія» та «Моніторинг довкілля» (акт впровадження від 12.01.2021 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею та є самостійним дослідженням здобувача, що має наукове та практичне значення. Дисертаційна робота є результатом наукових досліджень дисертанта. Автором розроблено програму та завдання досліджень. Усі наукові ідеї, положення і результати теоретичних досліджень дисертації розроблені, сформульовані та отримані особисто автором у період з 2016 до 2020 року.

Теоретичні узагальнення математичних моделей, аналіз та інтерпретація отриманих даних, висновки до роботи виконані безпосередньо здобувачем.

Апробація результатів досліджень. Основні положення і результати дисертаційної роботи та окремі результати досліджень доповідались на наукових симпозиумах та конференціях різних рівнів: II Міжнародному науковому симпозиумі SDEV-2020 «Сталий розвиток – стан та перспективи» (смт Славське, 2020 р.); II Всеукраїнській науковій конференції «Актуальні питання техногенної та цивільної безпеки України» (м. Миколаїв, 2020 р.); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (м. Черкаси, 2017 р.); XIII Міжнародній науково-технічній конференції "Авіа-2017" (м. Київ, 2017 р.); XII Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності» (м. Львів, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми природоохранный организации ландшафтов» (м. Новочеркаськ, 2017 р.);

New Horizons: Achievements of Various Branches of Science. Proceedings of 1st International Scientific Conference (Morrisville, 2016).

Публікації. За результатами досліджень, представлених у дисертаційній роботі, опубліковано 13 наукових праць, з яких: 1 стаття у фаховому виданні наукометричної бази даних Scopus; 5 статей – у наукових фахових виданнях України; 7 – у матеріалах конференцій та круглих столів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, практичних рекомендацій, списку використаних джерел та додатків. Список використаних джерел включає 201 найменування, з них 36 – латиницею. Загальний обсяг роботи складає 248 сторінок з 22 таблицями та 98 рисунками.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми та наукової проблеми, сформульовані мета і завдання досліджень, наведені основні наукові положення, а також відомості про практичне значення та впровадження результатів досліджень.

У першому розділі виконано аналіз літературних джерел та визначено основні чинники екологічної небезпеки деастрованих ландшафтів і особливості фітомеліорації їх поверхні. Відзначено, що породні відвали вугільних шахт спричиняють значний техногенний пресинг на довкілля та біоту. Проблема екологічної безпеки гірничовидобувних регіонів набула світового масштабу. Гірничопромислові комплекси розосереджені у нашій державі у різних кліматичних зонах. У зв'язку із цим фітомеліоративні підходи відрізняються, оскільки передбачають різні едафо-кліматичні умови та видовий склад рослинності. Додатковими перешкодами при проведенні підготовчого етапу рекультивації є явища горіння відвальної породи та просідання, а також часті зсуви на териконах. Для ефективного проведення фітомеліоративних та рекультиваційних заходів необхідно вивчити особливості едафічного та мікрокліматопічного впливу, а також життєвість та стійкість видового складу.

У другому розділі розроблено програму досліджень, наведено методи, методики та об'єкти, охарактеризовано полігони експериментальних досліджень, представлені сучасні технології фітомеліоративних досліджень.

Проби едафотопів породних відвалів відібрано відповідно до низки нормативних документів (ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 28168-89). Фізико-хімічні дослідження едафотопів у межах ґрунтових горизонтів здійснювалися за допомогою методичних вказівок Н. Б. Мякіної та Є. В. Аринушкіної (1979). Актуальну кислотність визначено потенціометрично, нітратну форму азоту – дисульфофеноловим методом Грандваль-Ляжу, рухомі форми фосфору і калію – за методами Мачігіна та Кірсанова, вміст гумусу – за методом Антонової, Скалабян, Сучилкіної, вміст кальцію та магнію – комплексометричним методом.

Відбір проб для дослідження токсичності підтериконових стічних вод здійснювався із ділянок антропогенного та природного походження. Проби відбиралися за рекомендаціями, які наведені у КНД 211.1.0.009-94 «Гідросфера. Відбір проб для визначення складу і властивостей стічних і технологічних вод».

Дослідження відібраних проб підтериконових стічних вод здійснено у Науково-дослідній лабораторії екологічної безпеки, яка знаходиться в Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності (Україна) (Свідоцтво про відповідність системи керування вимірюваннями № РА127/17 від 14.11.2017 р., чинне

до 13.11.2021 р., видане ДП "Львівстандартметрологія"). Положення про НДЛ розроблено на основі нормативного документа: «Порядок добровільного оцінювання системи керування вимірюваннями. Загальні вимоги та порядок проведення. СОУ 43.01-04725912-001.2016» (наказ ДП «Львівстандартметрологія» від 21.03.2016 р. № 648). Приміщення та навколишнє середовище лабораторії відповідає санітарним нормам, правилам і вимогам охорони праці. Випробувальне і допоміжне обладнання, засоби вимірювальної техніки і матеріали лабораторії екобезпеки відповідають вимогам нормативної документації, а також повірені та атестовані згідно ДСТУ 3215-95, ДСТУ 2708:2006, ГОСТ 24554-81.

У відібраних пробах визначався такий комплекс показників (параметрів): органолептичні: колір, прозорість, запах – за Ю. Ю. Лурье; фізичні: завислі речовини, сухий залишок, мінеральний залишок – гравіметричними методами (ЗВТ - ваги аналітичні, термометри лабораторні); фізико-хімічні: водневий показник, загальна мінералізація – потенціометричними методами згідно з інструкціями до відповідних приладів (прилади – рН-метр «рН-150И», солемір універсальний TDS); хімічні: твердість загальна, лужність (твердість карбонатна), вміст гідрокарбонатів – титрометричними методами із трилоном Б та хлоридною кислотою, відповідно; вміст хлоридів – титрометричним методом із нітратом срібла; вміст сульфатів – гравіметричним методом (прилад – ваги аналітичні); вміст нітритів – фотометричним методом з реактивом Грісса (прилад – електрофотоколориметр КФК-2); вміст нітратів – фотометричним методом із саліциловою кислотою Грісса (прилад – електрофотоколориметр КФК-2); вміст амоній-іонів – фотометричним методом із реактивом Неслера Грісса (прилад – електрофотоколориметр КФК-2); вміст фосфатів – фотометричним методом із комбінованим «молібденовим реактивом» та аскорбіною кислотою (прилад – електрофотоколориметр КФК-2); вміст заліза – фотометричним методом із роданідом (прилад – електрофотоколориметр КФК-2); хімічне споживання кисню (ХСК) - титрометричним методом із дихроматом калію; біологічне споживання кисню (БСК5) – титрометричне визначення розчиненого кисню із йодидом калію (прилад – термостат сухо повітряний); вміст нафтопродуктів – гравіметричним методом із хлороформом та гексаном (прилад – ваги аналітичні).

Для визначення температури займання твердих речовин та матеріалів згідно з пунктом 7.8 ДСТУ 8829:2019 були використані зразки *Pinus sylvestris* L. з терикону «Шахти №9 Нововолинська». Використовувався метод експериментального визначення температури займання твердих речовин і матеріалів, згідно якого, за температуру займання приймали покази термоелектричного перетворювача, який вимірює температуру зразку. Методом послідовних наближень визначали мінімальну температуру зразку, при якій за час витримки в печі не більше 20 хв зразок займався і горів більше 5 с після віддалення пального. За температуру займання досліджуваного матеріалу приймали середнє арифметичне значення двох температур, що відрізнялися не більше ніж на +10°C, при одній з яких спостерігалось займання трьох зразків, а при іншій – три відмовлення.

Згідно вимог ДСТУ 8829:2019 «Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їх визначення. Класифікація» було використано метод експериментального визначення температури займання твердих речовин і матеріалів, який реалізується в діапазоні температур від +25°C до +600°C і незастосовний для випробування металевих порошоків. Для випробування було приготовлено 10–15 зразків досліджуваної речовини (матеріалу) масою (3,0±0,1) гр.

Зразки матеріалів мали циліндричну форму діаметром (45 ± 1) мм., плівкові і листові матеріали набирали у стопку діаметром (45 ± 1) мм, накладаючи шари один на одного до досягнення зазначеної маси.

Перед випробуванням зразки кондиціонували при відносній вологості 50%, температурі $+23^{\circ}\text{C}$ на протязі 4 годин, згідно вимог ДСТУ EN ISO 291:2017 «Пластмаси. Стандартні атмосферні умови для кондиціонування й випробувань».

Геоботанічні описи проводили за стандартною методикою А. Г. Воронова (1973) та Л. А. Тахтаджяна (1966). Для оцінки надґрунтового рослинного покриву була використана шкала О. Друде. Вивчення видового складу здійснено за допомогою методу видових майданчиків площею 1 м^2 . Фітомеліоративна ефективність фітоценозів-меліорантів визначалася за В. П. Кучерявим (2003). Розвиток *Pinus sylvestris* L. на породних відвалах вивчали за лісівничо-таксаційною методикою Н. П. Анучіна (1977), що передбачає закладання тимчасових пробних площ, вимірювання діаметра деревних порід на висоті 1,3 м, загальну висоту дерев та параметри крон. Пробні площі закладали на породних відвалах із природним заростанням сосни звичайної, а саме: «Шахта №9 Нововолинська», «Шахта №3 Великомоствська», ПАТ «Львівська вугільна компанія». На підставі аналізу статистичних показників вибіркового сукупностей було проведено біометричний аналіз показників росту сосни звичайної.

Фізіологічні дослідження *Pinus sylvestris* L., яка зростає на породних відвалах вугільних шахт здійснювали за методами: ознаки мінерального голодування рослин – за методиками, які описані Бухаріною І. Л., Любимовою О. В. (2009); солестійкість рудеральних видів – за методикою П. А. Генкеля (1965); водний дефіцит – за методикою Т. В. Паршикової (2010); посухостійкість – методом крохмальної проби за Н. Н. Третьяковим (1990).

Радіаційний фон на дослідних ділянках виміряно за допомогою екотестеру довкілля «Soeks» відповідності до положень Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-93). Вимірювання вологості субстратів здійснювали за допомогою вологоміру "МГ-44". Кислотність та температура субстратів виміряні приладом «КС-300В». З метою встановлення взаємозалежності між показниками вологості субстратів на териконах використано коефіцієнт кореляції Пірсона. Для встановлення температурних режимів у субстратах та на поверхні породних відвалів використовували тепловізор «FLUKE TiS40».

Статистичну обробку даних проводили згідно із загальноприйнятими методиками, кореляційний та регресійний аналіз – із використанням прикладних програм Microsoft Excel 2010, Surfer, Mathcad.

У третьому розділі наведені едафо-кліматичні умови Малоого Полісся у зв'язку з потребою рекультивації та фітомеліорації порушених земель в зоні вуглевидобутку. За допомогою відкритих джерел, зокрема інформаційно-аналітичної системи «Open environment» (<http://www.openenvironment.org.ua/>) згенеровано для досліджуваного регіону карти забруднення гідрологічної мережі (басейну ріки Вісла).

Клімат Малополіської низовини відноситься до атлантично-континентального типу. Вегетаційний період триває приблизно 210 днів. Кількість опадів значна, близько 700 мм в рік (в Острозі – 630 мм, Бродах – 742 мм, Раві-Руській – 718 мм). Лісистість району Малополіської низовини становить 25% і коливається від 22,5% в Буському районі до 33,9% у Бродівському районі. Найбільш поширені дерново-слабопідзолисті піщані і супіщані ґрунти, а в понижених місцях – оглеєні. У місцях

виходу до поверхні мергелів знаходяться перегнійно-карбонатні ґрунти, в більшості випадків вони розорані. Гідрологічна мережа басейнів рік Вісла та Західний Буг характеризуються неоднорідністю фізико-хімічного складу та за деякими показниками вміст небезпечних речовин перевищує гранично допустимі концентрації. Безпосередній вплив на забруднення як поверхневих, так і підземних вод має вуглевидобувна галузь та хімічне виробництво, яке її супроводжує.

Гірничодобувний комплекс, виробнича діяльність якого призвела до значних змін ландшафту регіону (просідання поверхні землі в місцях відпрацювання вугільних пластів становить 2-4 метри), охоплює такі екологічно-небезпечні об'єкти, як породні відвали (загальна площа 265,9 Га і об'єм накопичених відходів 42,1 млн. м³), склади вугілля, ставки-накопичувачі, відстійники шахтних вод. Частка перегорілої породи в загальній кількості видобутої за всі роки експлуатації гірничих підприємств складає від 25% до 30% (<http://sokal-rda.gov.ua/main.html>). Загальна кількість викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря підприємствами ДП "Львіввугілля" коливається в межах 6,3-7,1 тисяч тон на рік, в тому числі за інгредієнтами: двоокис сірки – 3,9-4,1 тисяч тон; двоокис азоту – 0,7-0,9 тисяч тон; окис вуглецю - 1,0-1,2 тисяч тон; тверді речовини – 0,7-0,9 тисяч тон.

У четвертому розділі висвітлені результати досліджень екологічної безпеки умов місцезростань на породних відвалах вугільних шахт. Представлено типологію териконів у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну, радіаційний фон, фізико-хімічні властивості субстрату та стічних вод відвалів, а також фізіологічну стійкість та фітомеліоративне відновлення рослинності.

Під час польових досліджень відвалів шахт Львівсько-Волинського вугільного басейну нами були виявлені терикони, які відрізняються один від одного формою, площею, наявністю процесів горіння на поверхні, ступенем заростання рослинністю, наближеністю до населених пунктів, наявністю зсувів та просідань тощо. Внаслідок розробленої типології териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну можна структурувати деастровані ландшафти за ступенем порушення та рівнем проведення рекультиваційних робіт (рис. 1).

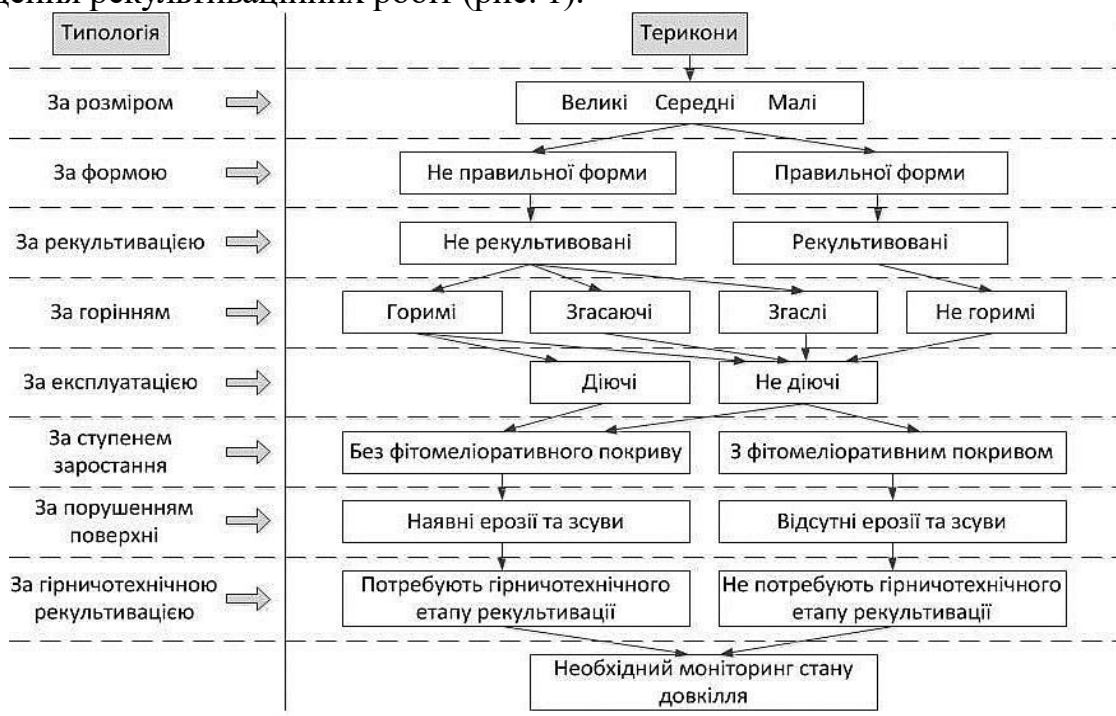


Рисунок 1 – Типологія териконів

Встановлено, що на породних відвалах вугільних шахт підвищений радіаційний фон. Показники радіаційного фону перевищують допустимі норми (0,3 мкЗв/год.) та становлять 0,3-0,37 мкЗв/год (породний відвал «Шахти №3 Великомоствівська»). Результати досліджень наведені на рисунку 2.

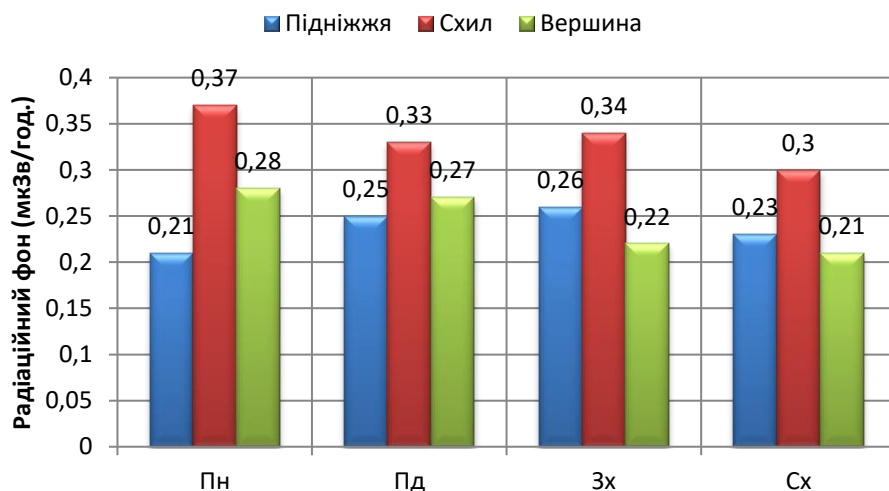


Рисунок 2 –
Потужність еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання у зоні впливу породного відвалу «Шахти №3 Великомоствівська»

Надзвичайно небезпечним чинником погіршення екологічного стану довкілля є горіння териконів (Шахта №9 «Нововолинська», «ПАТ «Львівська вугільна компанія»). На териконах процес самозаймання із подальшим горінням виникає, переважно, у літню пору року. Відповідно, вологість субстрату згасаючих териконів на різних рівнях та віддалях від підніжжя відрізняється. Найвища вологість субстрату спостерігається біля підніжжя терикону та свідчить про акумуляцію вологи у нижніх шарах (36,4-57,6%). Найнижча вологість субстрату виявлена на бічних поверхнях, що є наслідком горіння відвальної маси (17,1-19,9%). Використовуючи статистичні методи досліджень, описана зміна вологості із глибиною у осередках горіння згасаючих териконів (найнижчі значення вологості):

$$\varphi = 0,5l^2 - 8,32l + 32,6 (\%), \quad (1)$$

де l – глибина заміру.

Зміна вологості із глибиною біля підніжжя згасаючих териконів описується рівнянням (найвищі значення вологості):

$$\varphi = 0,625l^2 + 3,965l + 31,775 (\%), \quad (2)$$

де l – глибина заміру.

Кореляційний аналіз дав змогу простежити закономірності взаємовпливу показників відносної вологості субстрату ділянок згасаючого терикона (табл. 1).

Таблиця 1 – Кореляційний аналіз відносної вологості субстрату згасаючого терикона

Експозиція	Підніжжя, Пн.	Висота 15 м (за 10 м від осередків горіння)	Висота 15 м (у осередках горіння)	Висота 20 м	Висота 30 м
Підніжжя, пн.					
Висота 15 м (за 10 м від осередків горіння)	-0,32457				
Висота 15 м (у осередках горіння)	-0,98433	0,404455			
Висота 20 м	0,753657	0,100588	-0,792		
Висота 30 м	-0,31523	-0,74155	0,279233	-0,74003	

При підвищенні вологості субстрату біля підніжжя зростає вологість субстрату на середній експозиції схилу. Причому, на вершині згасаючого терикона значення вологості субстрату обернено пропорційні показникам на висоті 15 м та 20 м, що свідчить про висушування породи внаслідок повітряних потоків. Вологість субстрату в осередках горіння терикона обернено пропорційна значенням, які виміряні біля підніжжя та на рівні 20 м від підніжжя.

Для встановлення екологічної небезпеки відвальної породи було здійснено фізико-хімічний аналіз за такими показниками: гідрокарбонати, хлориди, сульфати, нітрити, нітрати, фосфати, кальцій, магній, залізо загальне, амоній сольовий тощо. Встановлено, що, практично, за усіма показниками вміст небезпечних речовин у породі перевищують значення, які отримані у контролі (рис. 3, 4). Вміст золи у породі териконів становить 84,0-98,025%; густина породи – 2,42-2,55 кг/м³.

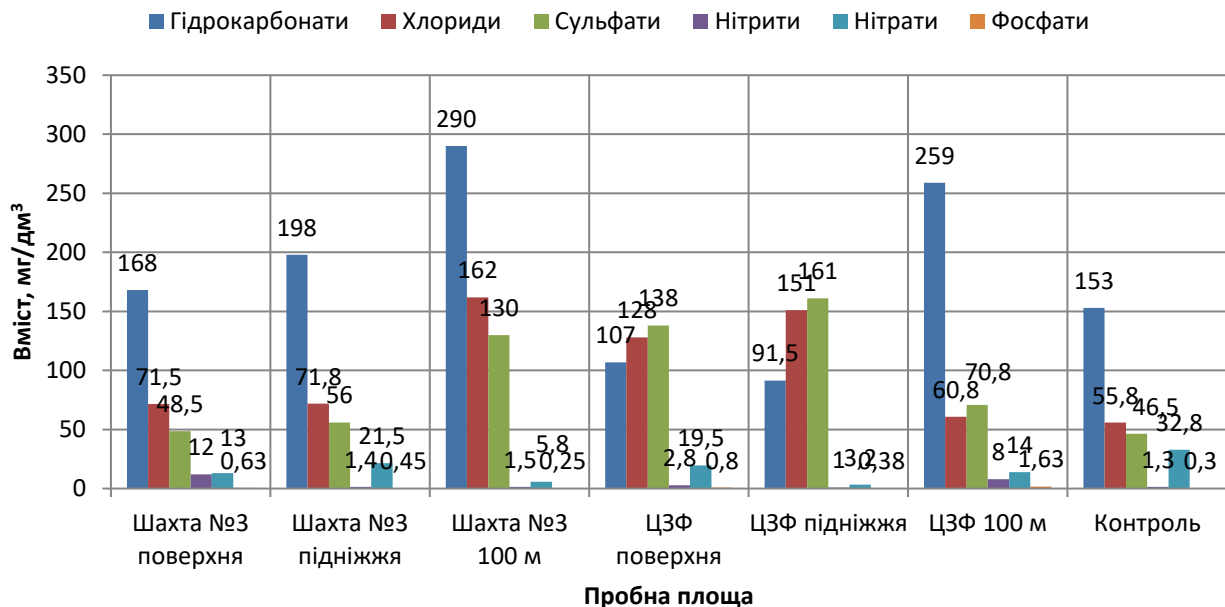


Рисунок 3 – Вміст у досліджуваній породі гідрокарбонатів, хлоридів, сульфатів, нітритів, нітратів, фосфатів

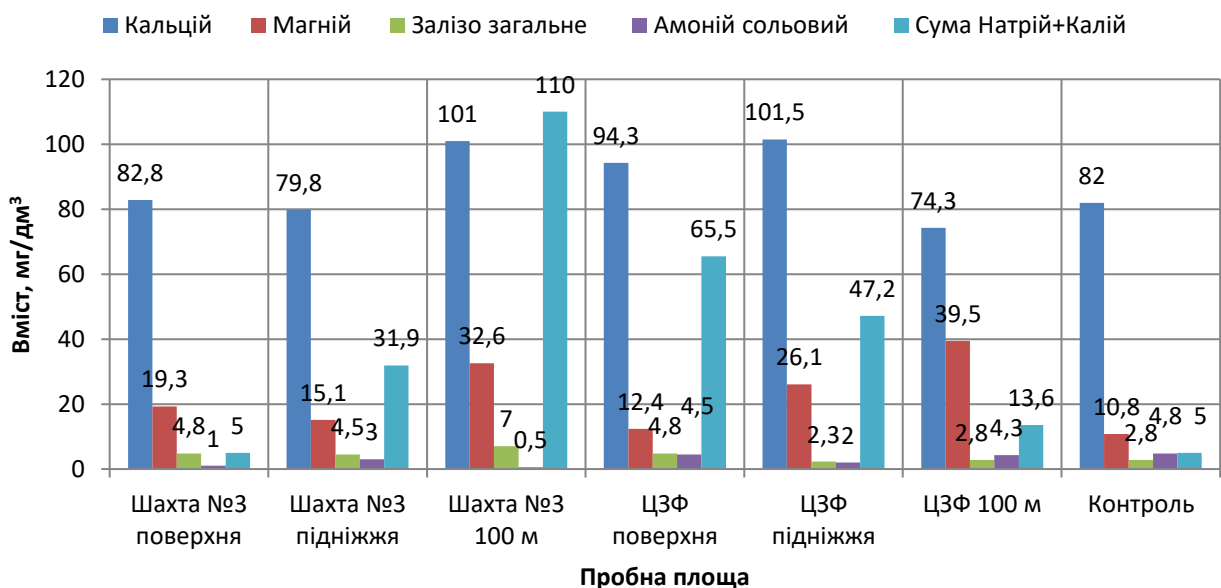


Рисунок 4 – Вміст у досліджуваній породі кальцію, магнію, заліза (загального), амонію сольового, мінеральних речовин (Na⁺+K⁺)

Вміст сірки у териконах Нововолинського гірничопромислового району становить 0,26-3,2%. Низка вчених у своїх роботах доводять, що тепловий стан териконів залежить від вмісту сірки у відвальній масі. Описана нами математична модель залежності відносної кількості териконів, які горять від вмісту сірки у породі описується як:

$$n_t = -0,5208v^4 + 6,7787v^3 - 27,718v^2 + 44,354v + 34,367, \quad (3)$$

де, v – вміст сірки у породі терикону, %.

Моделювання поширення забруднюючих речовин у зоні впливу породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» дало змогу встановити, що висока концентрація небезпечних речовин та сполук спостерігається у радіусі 200 м від підніжжя породних відвалів (рис. 5-9). Моделювання поширення амонію сольового у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» дало змогу оцінити, що найбільші його значення спостерігаються на поверхні та біля підніжжя породного відвалу (3-4 мг/дм³).

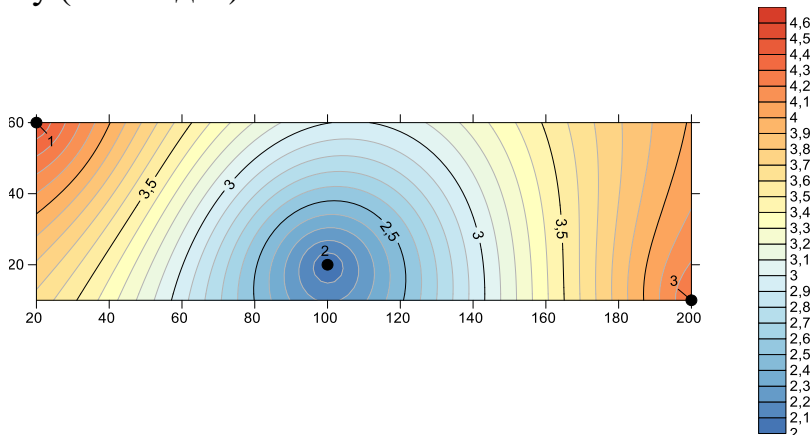


Рисунок 5 –
Моделювання
поширення амонію
сольового, мг/дм³

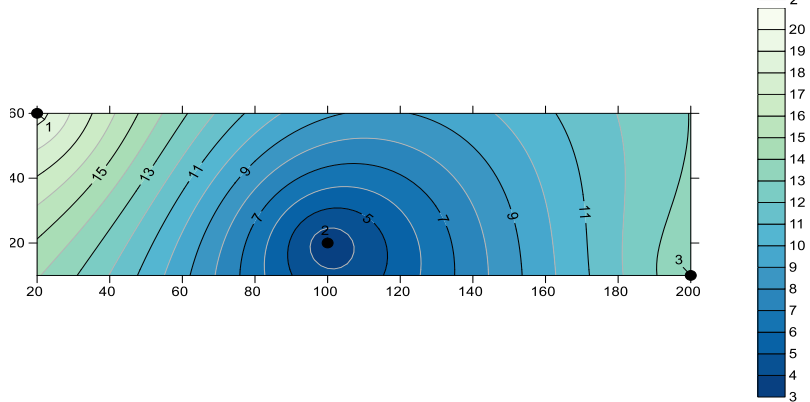


Рисунок 6 –
Моделювання
поширення нітратів,
мг/дм³

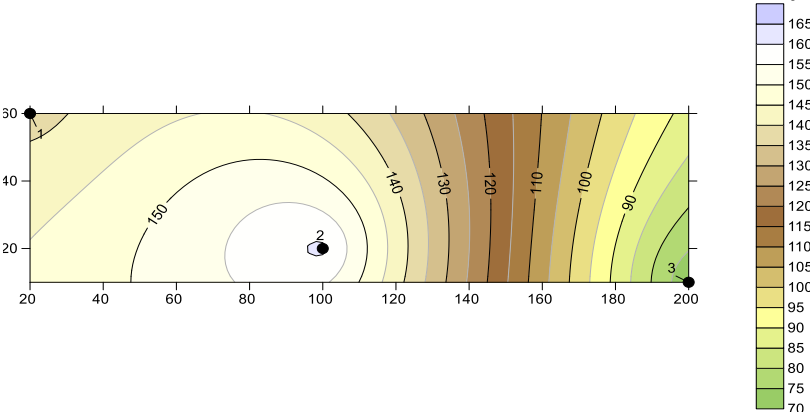


Рисунок 7 –
Моделювання
поширення
сульфатів, мг/дм³

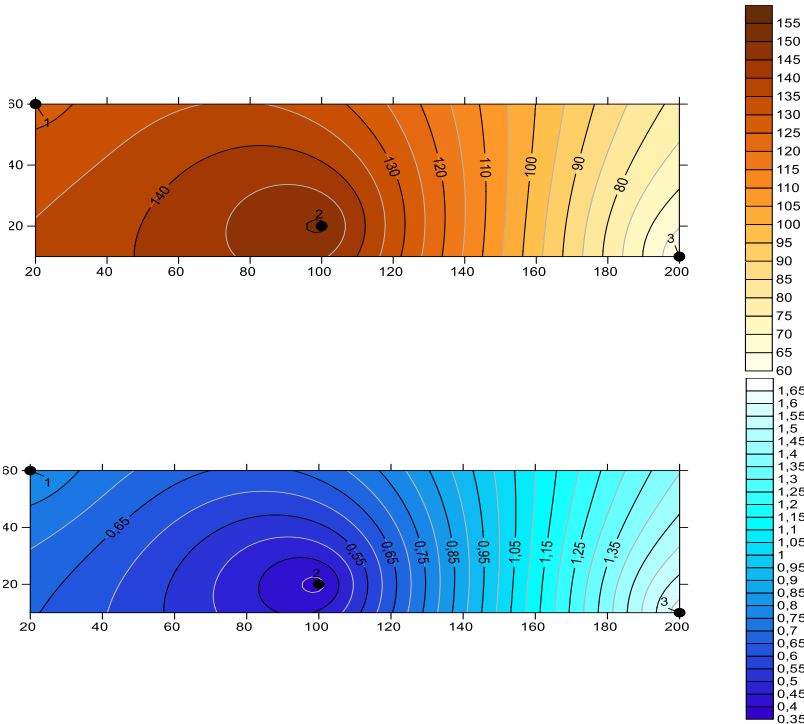


Рисунок 8 –
Моделювання
поширення хлоридів,
мг/дм³

Рисунок 9 –
Моделювання
поширення
фосфатів, мг/дм³

У результаті дослідження фітотоксичності субстратів з участю *Lepidium sativum* L., *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers., *Sinapis alba* L., *Brassica napus* L. у зоні впливу породних відвалів вугільних шахт встановлено: найвищу чутливість до забруднення субстрату має *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers., яка проросла на усіх ділянках, окрім 100 м від підніжжя ПАТ «Львівська вугільна компанія»; найбільш сприятливі умови росту спостерігаються біля підніжжя відвалу Шахта №3, що очевидно пов'язане із достатнім мінеральним складом субстрату та формуванням гумусу; найбільш токсичним є субстрат у радіусі 100 м від підніжжя ПАТ «Львівська вугільна компанія», на якому не проросла жодна тест-культура.

В продовж вегетаційного періоду 2020 року (травень, липень, вересень) були проведені дослідження сезонної динаміки водоутримуючої здатності листової тканини *Pinus sylvestris* L. Найвищий рівень водоутримуючої здатності виявлено у сприятливих умовах за 2 км від місць деградації (контроль), тут спостерігався найнижчий рівень втрати вологості, а значить максимальна водоутримуюча здатність і найдовший період зберігання тургору у порівнянні із іншими дослідними зразками. Пропорційно наближенню до терикону показник водоутримуючої здатності знижується, а рівень збільшення дефіциту води зростає (рис. 10).

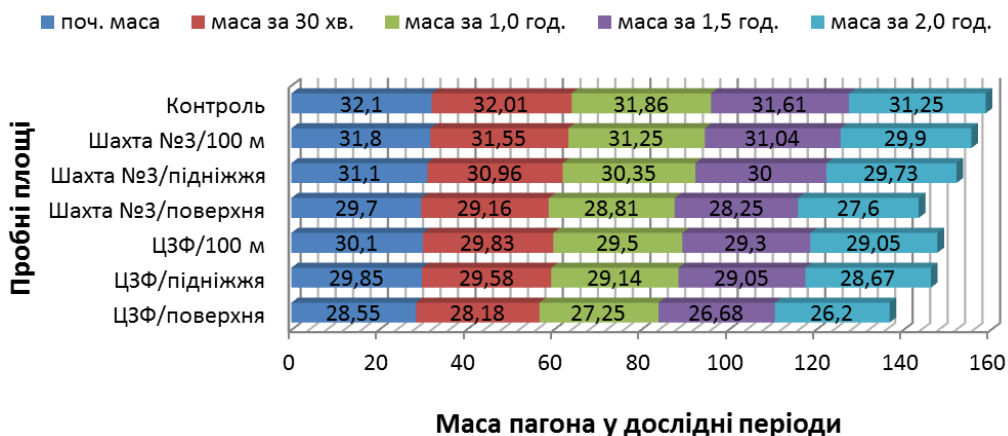


Рисунок 10 – Динаміка зміни водоутримуючої здатності пагонів *Pinus sylvestris* L. у зоні впливу породних відвалів

У результаті дослідження солестійкості *Pinus sylvestris* L. встановлено, що найбільш несприятливі умови зростання є ділянки №1 та №4, які відповідають вершинам териконів. Встановлено, що на вершинах териконів Шахти №3 та ПАТ «Львівська вугільна компанія» за дії 4% *NaCl* кристалізація на хвої сосни звичайної становить 25% та 20%. Знебарвлення хвої становить 25% для обох ділянок. Найбільш сприятливими умовами та найбільша солестійкість спостерігається на ділянці у радіусі 100 м від підніжжя відвалу Шахти №3 та на ділянці №7, де опадання хвої за дії 4% *NaCl* не виявлено (табл. 2).

Таблиця 2 – Солестійкість *Pinus sylvestris* L. на поверхні породних відвалів

Пробна ділянка	Показники аутоекологічної стійкості							
	Розмір пагонів у 4% <i>NaCl</i> , см	Розмір пагонів у воді, см	Кристалізація у 4% <i>NaCl</i> , %	Знебарвлення у 4% <i>NaCl</i> , %	Опадання хвої у 4% <i>NaCl</i> , %	Кристалізація у воді, %	Знебарвлення у 4% воді, %	Опадання хвої у воді, %
1.	25x8	24x7	20	25	2	5	10	1
2.	25x6	23x7	15	10	1	2	3	0
3.	44x20	25x11	5	5	0	0	0	0
4.	30x9	25x12	25	25	1	8	15	1
5.	20x5	22x6	10	15	1	5	10	1
6.	25x12	26x6	7	5	0	1	0	0
7.	23x16	25x14	1	2	0	0	0	0

Для вивчення жаростійкості сосни звичайної, відбирались дослідні зразки пагонів хвої на трьох пробних площах: на поверхні терикону шахти №3, на поверхні терикону центральної-збагачувальної фабрики та на віддалі 100 м від терикону шахти №3. Відбирались пагони визначеної довжини (1 м) на різних ділянках крони. Застосовувався метод Ф. Мацкова, який базується на вивченні здатності рослинної протоплазми протистояти дії високих температур. Поверхня хвої виїнятих живців сосни звичайної, вкривалась бурими плямами різної величини та форми. Спостерігався так званий “феофітиновий спалах”, який є віддзеркаленням умов тривалого впливу підвищених температур (рис. 11).



Рисунок 11 – Вивчення рівня феофітинізації дослідних живців *Pinus sylvestris* L.

За результатами дослідів встановлено загальний бал феофітинового ушкодження поверхні усіх груп дослідних живців за наступною формулою (4):

$$Ddt = (d_1 \times 1 + d_2 \times 2 + d_3 \times 3 + d_4 \times 4 + d_5 \times 5) / 5 \quad (4)$$

де, Ddt – загальний бал ушкодження поверхні живця високими температурами; $d_1...d_5$ – бал ушкодження при певній температурі нагрівання, $1...5$ – коефіцієнти впливу температур – 40, 50, 60, 70, 80 (табл. 3).

Таблиця 3 – Оцінка рівня жаростійкості живців дослідних *Pinus sylvestris* L. (за Ф. Мацковим)

Вид	Забарвлення хвої	Рівень температури, °C					Загальний бал (Ddt)
		+40	+50	+60	+70	+80	
		Бал ушкодження					
Терикон шахта №3 (поверхня)	темнозелена	1	1	2	3	3	132,0
Терикон ЦЗФ (поверхня)	темнозелена	1	1	2	2	3	118,0
Терикон шахта №3 (віддаль 100 м)	темнозелена	1	2	2	2	2	112,0

Високий рівень жаростійкості зафіксований у живців сосни звичайної, яка зростає на віддалі 100 м від терикону шахти №3, сумарна кількість обрахованих балів становила 112. Середній рівень жаростійкості виявлено у *Pinus sylvestris* L., яка зростає на поверхні терикону ПАТ «Львівська вугільна компанія» – 118 балів. Відповідно найнижчий рівень жаростійкості – у зразка зростаючого на поверхні терикон Шахти №3 «Великомостівська», який становить 132 бали.

Для успішного і максимально швидкого процесу фітомеліорації вугільних териконів, необхідний підбір асортименту дерев і кущів, які характеризуються високим рівнем резистентності до атмосферного забруднення. Тому на дослідних ділянках нами вивчався ступінь газостійкості *Pinus sylvestris* L. до дії токсичних газів – NO_2 , SO_2 і Cl_2 . У дослідженнях використовувалась методика В. П. Бессонової. Для обчислення площі ушкоджень дослідних пагонів *Pinus sylvestris* L. використовувалась формула (5):

$$A = (S_1 / S_2) \times 100 \% \quad (5)$$

де: S_2 – ушкодження хвої, cm^2 ; S_1 – площа цілого пагона, cm^2 .

Рівень газостійкості оцінювався за ступенем ушкодження у балах за наступною градацією: 0 – помітні плями відсутні; 1 – дуже слабкі опіки (1–10%); 2 – слабкі опіки (11–20%); 3 – середні опіки (21–40%); 4 – сильні опіки (41–80%); 5 – дуже сильні опіки (понад 81%).

Як можна побачити із рисунків 12 та 13, отримані результати є індикаторним віддзеркаленням екологічних умов місцезростань досліджуваних *Pinus sylvestris* L. Простежується пряма залежність зростання відсотка ураження хвої у мірі наближення до осередків забруднення – поверхонь териконів ПАТ «Львівська вугільна компанія» і «Шахти №3 Великомостівська». Відповідно, сумарний бал ушкодження вегетуючої поверхні тут максимальний, рівень газостійкості найнижчий.

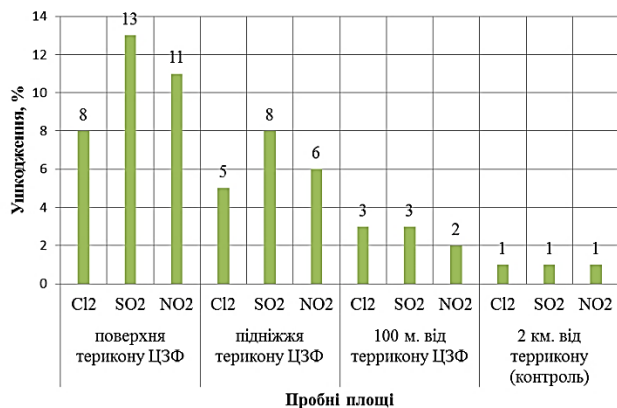


Рисунок 12 – Ураження хвої дослідних зразків відвалів ПАТ «Львівська вугільна компанія»

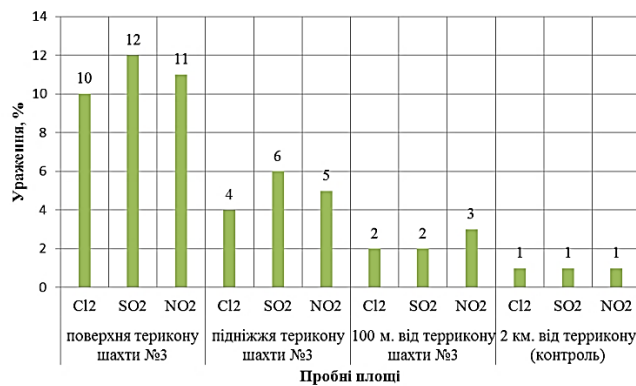


Рисунок 13 – Ураження хвої дослідних зразків відвалів «Шахти №3 Великомоствівська»

Спостерігається, що кількість хвоїнок *Pinus sylvestris* L. на 20 см пагону максимальна на поверхні терриконів – 394-482 шт. Їхня кількість зменшується вниз схилу, де сприятливіші умови місцезростання. Разом із тим характерна зворотна тенденція, яка стосується параметрів довжини і ширини хвоїнок – вони навпаки зменшуються у напрямку до поверхні террикону. Зменшення розмірів хвоїнок є проявом ксероморфності та підвищеної ущільненості ґрунту породних відвалів. Для оцінки морфометричних показників додатково розраховувався індекс флуктуючої асиметрії (ІФА). Цей показник визначався за методикою Л. М. Скрипальщикової та В. В. Стасової (6):

$$I\Phi A = 2(WL - WR) / (WL + WR) \quad (6)$$

де WL – довжина лівої хвоїнки в пучку, мм; WR – довжина правої хвоїнки в пучку, мм.

Спостерігається важлива тенденція, яка перебуває у прямій кореляції із локальним станом довкілля в місці зростання дослідних екземплярів: чим гірші екологічні умови, тим більш виражена асиметрія лівої і правої хвоїнки у пучку (рис. 14, 15).

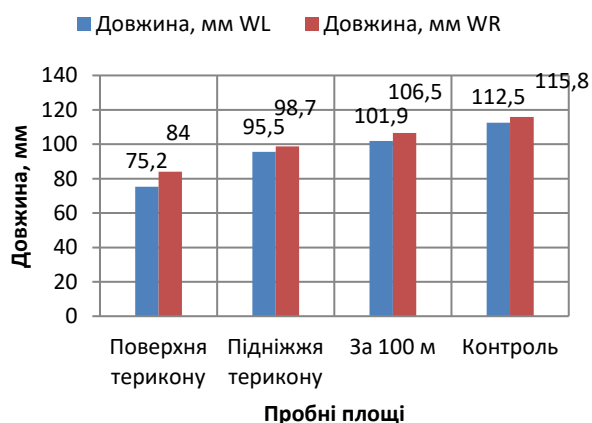


Рисунок 14 – Флуктуюча асиметрія хвої *Pinus sylvestris* L. ПАТ «Львівська вугільна компанія»

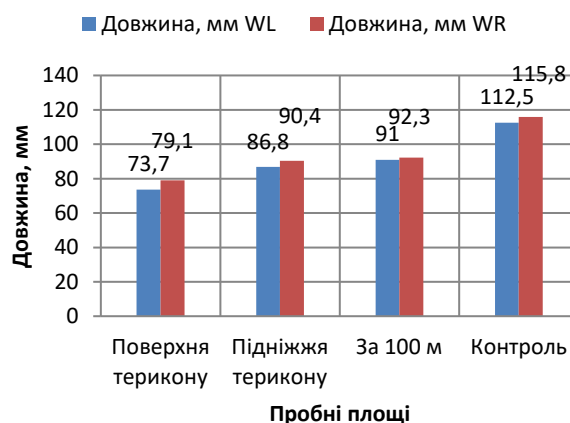


Рисунок 15 – Флуктуюча асиметрія хвої *Pinus sylvestris* L. «Шахти №3 Великомоствівська»

У п'ятому розділі відображено шляхи підвищення якості довкілля у зоні впливу породних відвалів вугільних шахт. Визначено температурні градієнти середовища розвитку сосни звичайної та способи їх регулювання, фітогенні поля,

фітомеліоративну ефективність, екологічні закономірності поширення рослин в умовах породних відвалів шахт та етапи рекультивації териконів.

Сезонне вивчення рівнів вертикального та горизонтальних температурних градієнтів *Pinus sylvestris* L. дослідних місцезростань показало, що найнесприятливіші умови розвитку присутні в осередках активної деградації – на вершинах териконів центральної збагачувальної фабрики та шахти №3. Паралельне обстеження рівня фізіологічного розвитку у напрямку відкритий простір – вершина терикону, дозволило виявити досить високу життєву адаптацію *Pinus sylvestris* L., яка доповнюється невибагливістю до природних кліматично-едафічних умов зростання, що дає підстави нам рекомендувати її для більш ширшого цільового застосування у фітомеліоративному процесі.

Флористичний склад угруповань, які формуються, в значній мірі визначається умовами місцезростань – едафічними та мікрокліматопічними чинниками. У цьому випадку рослинність завдяки агрегаціям створює свої фітогенні поля. Вивчення фітогенних полів на таких деградованих ландшафтах як породні відвали та терикони вугільних шахт дозволить також удосконалити біоіндикаційні методи досліджень лісових культур на поверхні та створювати інноваційні методики догляду. На рисунках 16, 17 наведено схеми моноцентричного фітогенного поля за участі піонерного виду – *Pinus sylvestris* L. (на прикладі породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія»).

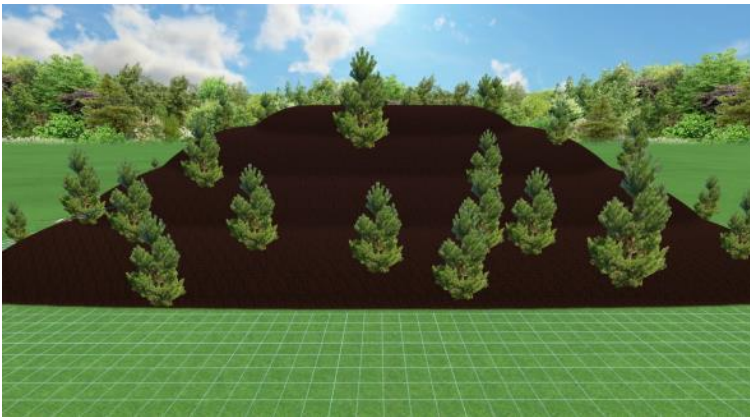


Рисунок 16 – Модель моноцентричного фітогенного поля за участі піонерного виду – *Pinus sylvestris* L. (3-D модель)

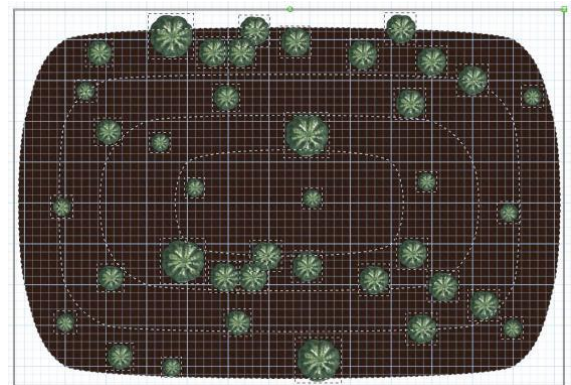


Рисунок 17 – Модель моноцентричного фітогенного поля за участі піонерного виду – *Pinus sylvestris* L. (схема)

Моноцентричне фітогенне поле виникає на породних відвалах під час сингенетичної стадії сукцесії. Початкова ендеоекогенетична стадія сукцесії передбачає формування двох типів фітогенних полів. Перший тип – початкове поліцентричне фітогенне поле. Характеризується здатністю об'єднувати у собі декілька особин одного виду. Другий тип – зріле поліцентричне фітогенне поле. Характеризується вищою стійкістю, а рослинне угруповання вже має здатність перетворювати геопотоки. Зріла ендеоекогенетична стадія сукцесії характеризується розвитком та поширенням деревних видів, а фітогенне поле є ацентричним та носить глобальний характер. Такий вид фітогенних полів зустрічається на териконах із штучною фітомеліорацією (рис. 18).

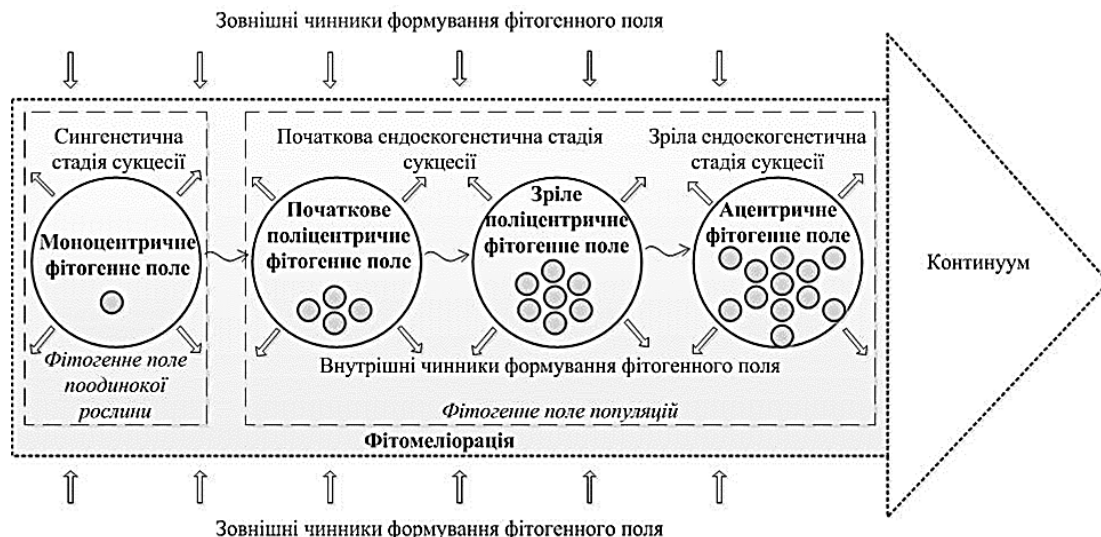


Рисунок 18 – Теоретичні аспекти формування фітогенного поля на породних відвалах вугільних шахт

Рослинний покрив породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району займає певний еколого-ценотичний простір, який наближено можна оцінити на основі ординації видів на осях комплексних градієнтів середовища (рис. 19). Центр цього простору займають лучні і синантропні види, які в умовах породних відвалів шахт демонструють найбільшу стійкість. Це, зокрема, види, які утворюють найвище проективне покриття на початкових етапах сукцесії: *Calamagrostis epigeios*, *Chamaerion angustifolium*, *Poa pratensis*, *Oenothera biennis*, *Daucus carota*, *Achillea submillefolium*. Найбільш вразливими є види лучно-степової, кальцефільної, гідрофільної рослинності, еколого-ценотичний простір яких характеризується розташуванням на периферії загального простору рослинності породних відвалів шахт. Певною мірою вразливими є і неморальнолісова, бореальна і псаммофільна рослинність, існування яких пов'язане із створенням штучного ґрунтового субстрату у процесі рекультивації.

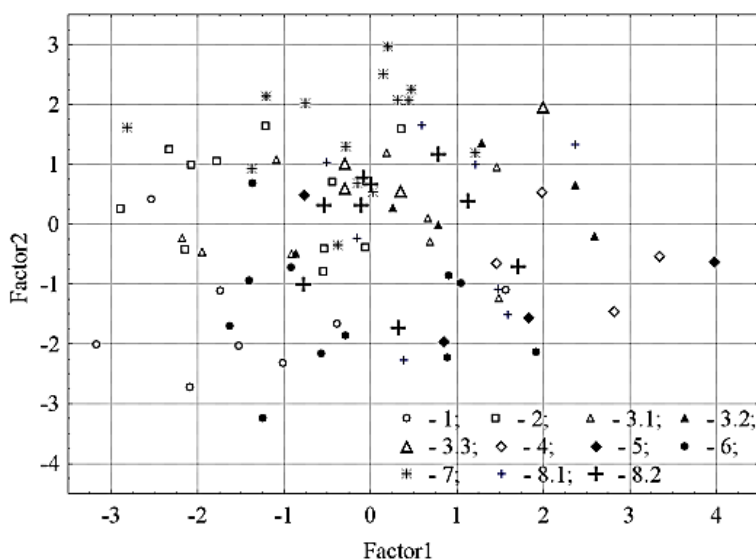


Рисунок 19 – Еколого-ценотичний простір рослинного покриву породних відвалів шахт Малоого Полісся

В результаті вивчення фітомеліоративної ефективності рослинності породних відвалів встановлено, що на їх поверхні переважає піонерна сукцесія за участі сосни звичайної, в окремих випадках із включенням рудеральної рослинності (куничник наземний). Найнижчі значення K_{FM} притаманні вершинам породних відвалів – $K_{FM} = 2,1$ для ПАТ і $K_{FM} = 3,6$ для Шахти №3 (пов'язано із вітровою ерозією та збідненням

мінеральним складом субстрату). На бічних експозиціях схилів, коефіцієнти фітомеліоративної ефективності дещо вищі, особливо із північного боку – $K_{FM} = 4,5$ для ПАТ і $K_{FM} = 4,65$ для Шахта №3 (вища вологість, аніж на інших експозиціях схилів та вершині). На відстані 100 м від підніжжя в північному напрямі коефіцієнти фітомеліоративної ефективності набули найбільших значень ($K_{FM} = 5,55$ для ПАТ і $K_{FM} = 6,55$ для Шахта №3.), що пояснюється сприятливішими едафо-кліматичними умовами (рис. 20).

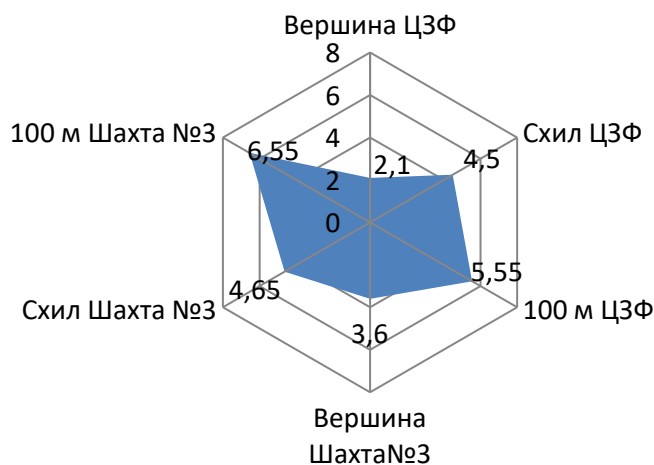


Рисунок 20 – Діаграма зі значеннями розрахованих коефіцієнтів фітомеліоративної ефективності досліджуваних ділянок породних відвалів

Під час проведення лісової рекультивації териконів, які були відсипані ще у 80-х роках минулого століття, вирівнювання поверхні здійснювати не бажано, адже внаслідок вирівнювання буде знищено вже наявний трав'яний покрив та деревно-чагарникова рослинність, порушиться стабільний стан відвальної породи, зміняться шляхи водовідведення з териконів і оголяться ґрунти, які не були вивітрені (рис. 21).

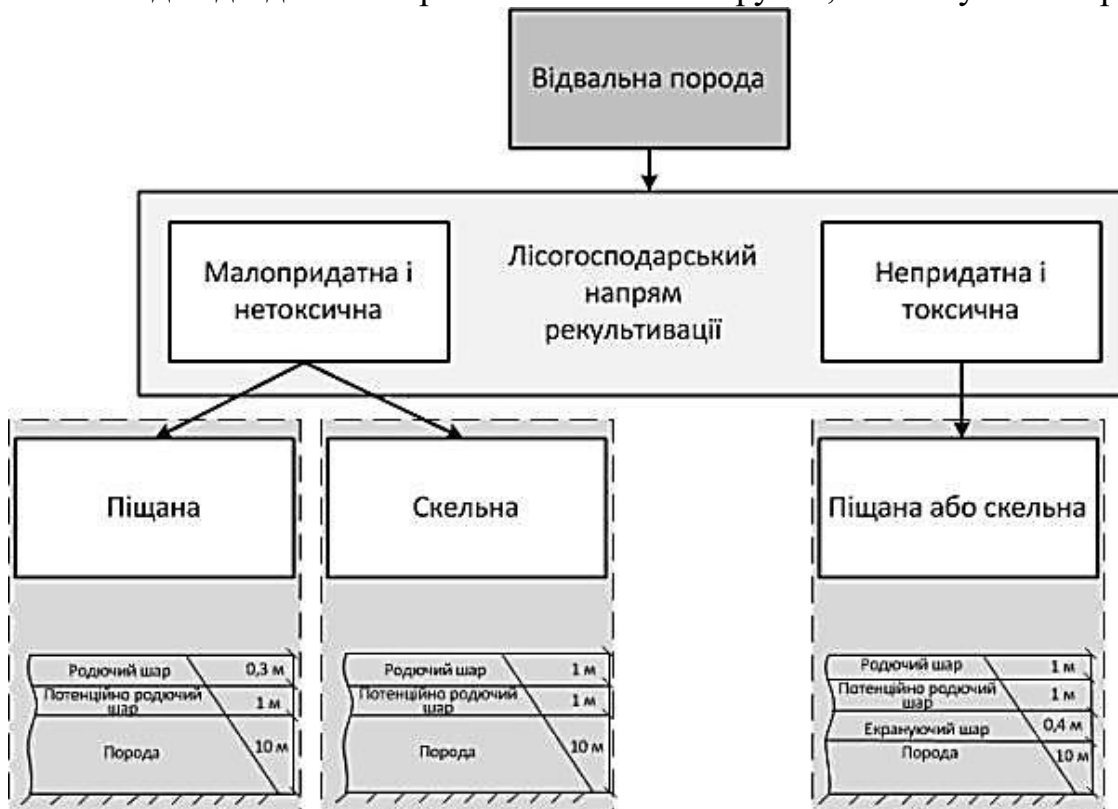


Рисунок 21 – Схема нанесення родючих шарів на породні відвали вугільних шахт

У процесі рекультивації потенційно родючі породи вкладаються на поверхню терикону шаром не менше 1 м, після чого на планувальну поверхню наноситься родючий шар ґрунту висотою 0,3 м. Якщо розкриті породи сформовані скельними, то родючий шар ґрунту необхідно утворити висотою 1 м.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлено результати експериментальних досліджень та теоретичних узагальнень піонерної сукцесії за участю *Pinus sylvestris* L. та особливості природної і штучної фітомеліорації на поверхні териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну. Досліджено едафо-кліматичні умови росту та розвитку сосни звичайної на техногенних відвалах вуглевидобування та ландшафто-трансформуючі чинники фітомеліоративних процесів. Встановлено, що екологічний стан піонерної сукцесії і фітомеліоративні процеси залежать від стану експлуатації породних відвалів вугільних шахт – діючий, згаслий, рекультивований. Запропоновані заходи підвищення регіональної екологічної безпеки у Малому Поліссі на териконах вугільних шахт шляхом орієнтації на природне лісовідновлення.

1. Розроблено типологію териконів, яка передбачає 8 рівнів ієрархічного розподілу: за розміром терикони типізовані на III категорії – великі (займають площу більше 10 га), середні (5-10 га), малі (0,3-5 га); за формою – неправильної форми (терикони шахт «Великомостівська №2» та «Нововолинська №9») та правильної форми (рекультивовані); в залежності від відсіпання породи типізовані на терикони діючі та не діючі; за порушенням поверхні внаслідок процесів ерозії та зсувів породи терикони розподілені на II типи.

2. Встановлено, що об'єм породи, яка складається у відвали діючих шахт Львівсько-Волинського вугільного басейну, перевищує проектні норми (за даними паспортів на породні відвали). З плином часу збільшуються геометричні параметри відвалів. Вміст золи у породі териконів становить 84-98%; густина породи – 2,42-2,55 кг/м³. Вміст сірки у териконах становить 0,26-3,2%. Відповідно до розробленої залежності встановлено, що у регіоні можуть піддаватися горінню до 80,2% териконів, що становить екологічну небезпеку. Процеси горіння породи згубно впливають на природні фітомеліоративні процеси, які відбуваються за участю *Pinus sylvestris* L. на поверхні териконів. Найбільш оптимальним методом ліквідації горіння на териконах вугільних шахт є переформатування їх у відвали плоскої форми.

3. Встановлено, що найбільші значення потужності еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання притаманні схилам породного відвалу «Шахти №3 Великомостівська» та відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» та залежать від фітомеліоративного вкриття – у місцях розвитку рослинності радіаційний фон на 10-15% нижчий від інших незарослих ділянок. Показники радіаційного фону на породних відвалах вугільних шахт перевищують допустимі норми (0,3 мкЗв/год.) та становлять 0,3-0,37 мкЗв/год.

4. Встановлено, що на вершині згасаючих териконів значення відносної вологості субстрату (33,1-35,0%) обернено пропорційні показникам на висоті 15 м (14,3-19,9%) та 20 м (35,0-49,4%), що свідчить про висушування породи внаслідок турбулентних повітряних потоків. Відносна вологість субстрату в осередках горіння терикона (7,6-24,5%) обернено пропорційна значенням, які виміряні біля підніжжя (36,4-57,6%) та на рівні 20 м від підніжжя. Кореляційний аналіз дав змогу простежити закономірності взаємовпливу показників відносної вологості субстрату ділянок згасаючого терикона. При підвищенні вологості субстрату біля підніжжя зростає вологість субстрату на середній експозиції схилу, що є сприятливим екологічним чинником для розвитку піонерної сукцесії за участі *Pinus sylvestris* L.

5. Встановлено, що водний баланс хвої *Pinus sylvestris* L. залежить від умов місцезростань та найнижчий на поверхні породних відвалів «Шахти №3

Великомостівська» і відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (3,36% і 3,89% відповідно). З покращенням умов в пониженні терикону, де вже присутні фітомеліоративні процеси, рівень вологозабезпечення зростає – 4,24% і 3,9% відповідно. Високі показники зафіксовані на віддальх 100 м від досліджуваних териконів – 4,67% і 4,17%. Максимальний рівень водного балансу зафіксовано у найсприятливіших умовах місцезростань за 2 км на південь від гірничопромислового регіону в сосновому борі (контроль) – 6,76%.

6. Встановлено, що процеси горіння породи у відвалі протікають неоднаково та залежать від давності відсипання терикону, наявності технології складування, геометричних параметрів відвалів. Температура субстрату на поверхні терикону ПАТ «Львівська вугільна компанія» влітку 2018 року становила $+21,2^{\circ}\text{C}$ - $+64,4^{\circ}\text{C}$. Самозаймання рослинності на териконах вугільних шахт виникає в результаті самочинного горіння внаслідок поступового накопичення тепла. Лабораторно встановлено, що температура займання зразку *Pinus sylvestris* L., яка розвивалася на бічній поверхні цього ж відвалу складає $+225^{\circ}\text{C}$, а самозаймання – $+475^{\circ}\text{C}$. За результатами дослідження жаростійкості встановлено, що високий її рівень зафіксований у живців *Pinus sylvestris* L., яка зростає на віддалі 100 м від терикону «Шахти №3 Великомостівська» (сумарна кількість балів 112). Середній рівень жаростійкості виявлено у *Pinus sylvestris* L., яка зростає на поверхні терикону ПАТ «Львівська вугільна компанія» – 118 балів. Найнижчий рівень жаростійкості – у зразка зростаючого на поверхні терикону «Шахти №3 Великомостівська», який становить 132 бали.

7. Встановлено, що сприятливі екологічні умови зростання та менший відсоток ураження хвої під дією продуктів горіння породи, спостерігається на віддальх 100 м від дослідних териконів. У порівнянні із вершинами відсоток ураження хвої зменшується на 70-80%. Рівень газостійкості високий.

8. Встановлено, що кількість хвоїнок *Pinus sylvestris* L. на 20 см пагона максимальна на поверхні териконів – 394 - 482 шт. Їхня кількість зменшується вниз по схилу, де сприятливіші умови місцезростання. Разом із тим характерна зворотна тенденція, яка стосується параметрів довжини і ширини хвоїнок – ці значення зменшуються в напрямку до поверхні терикону. Зменшення розмірів хвоїнок є проявом ксероморфності та підвищеної ущільненості ґрунту. Спостерігається важлива тенденція, яка перебуває у прямій кореляції із локальним станом довкілля в місці зростання дослідних екземплярів: чим гірші екологічні умови, тим більш виражена асиметрія лівої і правої хвоїнки у пучку. небезпечні речовини, які виділяються із породних відвалів вугільних шахт спричиняють деформацію, зупинку росту та гибель сосни звичайної, яка набула розвитку на їх поверхні у процесі сингенезу.

9. Сезонне вивчення рівнів вертикального та горизонтальних температурних градієнтів *Pinus sylvestris* L. дослідних місцезростань показало, що найнесприятливіші умови розвитку присутні в осередках активної деградації – на вершинах териконів ПАТ «Львівська вугільна компанія» та «Шахти №3 Великомостівська». Максимум температурної різниці спостерігався на обидвох об'єктах в липні місяці, на коли припадає сезонний пік росту пагонів. На вершині терикону «Шахти №3 Великомостівська» різниця температур становила – $3,0^{\circ}\text{C}$, а на териконі ПАТ «Львівська вугільна компанія» – $3,7^{\circ}\text{C}$, що якраз входить небезпечного для рівня життєвості температурного діапазону. Паралельне обстеження рівня фізіологічного розвитку у напрямку відкритий простір – вершина терикону,

дозволило виявити досить високу життєву адаптацію *Pinus sylvestris* L., яка доповнюється невибагливістю до природних кліматично-едафічних умов зростання, що дає підстави нам рекомендувати її для більш ширшого цільового застосування у фітомеліоративному процесі.

10. Моноцентричне фітогенне поле виникає на породних відвалах під час сингенетичної стадії сукцесії. Початкова ендеоекогенетична стадія сукцесії передбачає формування двох типів фітогенних полів. Перший тип – початкове поліцентричне фітогенне поле. Характеризується здатністю об'єднувати у собі декілька особин *Pinus sylvestris* L. Другий тип – зріле поліцентричне фітогенне поле. Характеризується вищою стійкістю, а рослинне угруповання вже має здатність перетворювати геопотоки. Зріла ендеоекогенетична стадія сукцесії характеризується розвитком та поширенням деревних видів, а фітогенне поле є ацентричним та носить глобальний характер. Такий вид фітогенних полів зустрічається на териконах із штучною фітомеліорацією.

11. Велика різноманітність умов місцезростання рослинного покриву породних відвалів Львівсько-Волинського вугільного басейну, визначається складною комбінацією екологічних чинників. Показниками антропогенного впливу слугують зменшення параметрів вологості клімату і вологості ґрунту, зростання показників термічного режиму, континентальності, рН ґрунту, вмісту солей і освітленості в ценозі. Поліпшення умов місцезростання та відновлення рослинного покриву можна забезпечити шляхом терасування схилів, перекриття насипними ґрунтами шахтної породи. Флористичне ядро рослинного покриву породних відвалів формують лучні і синантропні види із широким діапазоном толерантності, здатні витримувати несприятливі екологічні умови. Типологічну схему рослинного покриву породних відвалів шахт можна представити у вигляді чотирикутника, у центрі якого розташовані лучна і синантропна рослинність, а в кутах: 1. бореальна і псаммофільна; 2. неморальнолісова; 3. гідрофільна; 4. лучно-стєпова і кальцепетрофільна.

12. В результаті вивчення фітомеліоративної ефективності рослинності породних відвалів Шахти №3 та ПАТ «Львівська вугільна компанія» встановлено, що на їх поверхні переважає піонерна сукцесія за участі *Pinus sylvestris* L., в окремих випадках із включенням рудеральної рослинності (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth). Найнижчі значення K_{FM} притаманні вершинам породних відвалів – $K_{FM} = 2,1$ для ПАТ «Львівська вугільна компанія» і $K_{FM} = 3,6$ для Шахти №3 (пов'язано із вітровою ерозією та збідненим мінеральним складом субстрату). На бічних експозиціях схилів, коефіцієнти фітомеліоративної ефективності дещо вищі, особливо із північного боку – $K_{FM} = 4,5$ для ПАТ «Львівська вугільна компанія» і $K_{FM} = 4,65$ для Шахти №3 (вища вологість, аніж на інших експозиціях схилів та вершині). На відстані 100 м від підніжжя в північному напрямі коефіцієнти фітомеліоративної ефективності набули найбільших значень ($K_{FM} = 5,55$ для ПАТ «Львівська вугільна компанія» і $K_{FM} = 6,55$ для Шахти №3), що пояснюється сприятливішими едафо-кліматичними умовами. Поверхня породних відвалів придатна для проведення рекультиваційних і фітомеліоративних робіт з метою зниження згубного впливу на довкілля.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях, які входять до наукометричної бази

Scopus:

1. Skrobala, V., Popovych, V., **Pinder, V.** Ecological patterns for vegetation cover formation in the mining waste dumps of the Lviv-Volyn coal basin. *Mining of Mineral Deposits*. 2020. №14(2). P. 119-127. <https://doi.org/10.33271/mining14.02.119>

Особистий внесок – аналіз літературних джерел, збір та визначення гербарних зразків, формулювання цілей, узагальнення висновків.

Статті у наукових фахових виданнях України:

2. Босак П. В., Попович В. В., **Піндер В. Ф.**, Стокалюк О. В. Температура займання та самозаймання найпоширеніших деревних порід териконів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Вип. 30(5). С. 53-58. <https://doi.org/10.36930/40300509>

Особистий внесок – польові дослідження, відбір матеріалів для досліджень, постановка завдання.

3. **Піндер В. Ф.**, Попович В. В. Рекультивація породних відвалів ліквідованих шахт Львівсько-Волинського вугільного басейну. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27(3). С. 113-116. <https://doi.org/10.15421/40270325>

Особистий внесок – польові дослідження, аналіз нормативних документів, формулювання висновків.

4. Попович В. В., Підгородецький Я. І., **Піндер В. Ф.** Типологія териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. Вип. 26(8). С. 238-243. <https://doi.org/10.15421/40260837>

Особистий внесок – аналіз літературних джерел, розробка типологічної схеми.

5. Попович В. В., **Піндер В. Ф.** Особливості проведення гірничотехнічного етапу рекультивації териконів у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2016. №14. С. 93-101.

Особистий внесок – аналіз проблеми, польові дослідження, вимірювання вологості субстратів.

6. Попович В. В., **Піндер В. Ф.** Горіння териконів як ландшафтно-трансформуючий чинник зростання регіональної екологічної небезпеки. *Збірник наукових праць «Пожежна безпека»*. 2016. №29. С. 116-124.

Особистий внесок – аналіз літературних джерел, постановка завдання, статистичний аналіз показників шахт.

Публікації апробаційного характеру:

1. **Піндер В. Ф.**, Попович В. В. Особливості розвитку сосни звичайної на породних відвалах вугільних шахт як екологічного чинника підвищення якості довкілля. *«Актуальні питання техногенної та цивільної безпеки України» : Матеріали II Всеукраїнської наукової конференції (м. Миколаїв, 18-19 вересня 2020 року)*. 2020. С. 138-140.

Особистий внесок – польові дослідження, аналіз екологічних умов росту сосни звичайної.

2. Попович В., **Піндер В.** Екологічна роль сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) у підвищенні екологічної безпеки породних відвалів вугільних шахт. *Сталий розвиток – стан та перспективи: Матеріали II Міжнародного наукового симпозиуму SDEV'2020 (м. Львів - смт Славське, 12-15 лютого 2020 року)*. 2020. С. 101-102.

Особистий внесок – формулювання цілей досліджень, аналіз екологічної небезпеки породних відвалів.

3. **Піндер В. Ф.**, Попович В. В. Особливості термічних режимів у породних відвалах вугільних шахт. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України (м. Черкаси, 18-19 травня 2017 року). С. 234-235.*

Особистий внесок – аналіз літературних джерел, польові дослідження.

4. **Піндер В. Ф.**, Попович В. В. Моніторинг девастрованих ландшафтів Львівсько-Волинського вугільного басейну. *Матеріали XIII Міжнародної науково-техн. конференції "Авіа-2017" (м. Київ, 19-21 квітня 2017 р.). С. 29.30-29.33.*

Особистий внесок – аналіз літературних джерел, постановка завдання, польові дослідження.

5. **Піндер В. Ф.** Самозаймання териконів та його вплив на довкілля. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: XII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (м. Львів, 24 березня 2017 р.). 2017. Ч.1. С. 308-309.*

Особистий внесок – аналіз літературних джерел, узагальнення висновків.

6. **Піндер В. Ф.**, Попович В. В. Биологическая рекультивация породных отвалов угольных шахт Нововольнского горнопромышленного района. *Проблемы природоохранной организации ландшафтов: материалы между. науч.-практ. конф. / Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ. Новочеркасск, 2017. С. 328-333.*

Особистий внесок – формулювання цілей досліджень, узагальнення висновків.

7. **Піндер В. Ф.** Фітомеліорація та рекультивация териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну. *New Horizons: Achievements of Various Branches of Science. Proceedings of 1st International Scientific Conference. Morrisville, Lulu Press. 2016. P. 148-151.*

АНОТАЦІЯ

Піндер В. Ф. Рекультивационні заходи зниження техногенного впливу породних відвалів вугільних шахт на довкілля. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека» (101 «Екологія»). – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Львів, 2021.

У результаті проведених досліджень встановлено екологічні умови протікання піонерної сукцесії за участю *Pinus sylvestris* L. та ландшафто-трансформуючі чинники фітомеліоративних процесів на поверхні породних відвалів вугільних шахт Малого Полісся. Розроблено типізацію териконів досліджуваного регіону, з врахуванням екологічних чинників, у відповідності до якої запропоновано 8 рівнів ієрархічного розподілу: за розміром III категорії – великі (займають площу більше 10 га), середні (5-10 га), малі (0,3-5 га); за формою – неправильної форми та правильної форми (рекультивовані); в залежності від відсипання породи типізовані на терикони діючі та не діючі.

Екологічний стан піонерної сукцесії і фітомеліоративні процеси залежать від стану експлуатації породних відвалів вугільних шахт – діючий, згаслий,

рекультивованим. Розраховані коефіцієнти фітомеліоративної ефективності, які показали, що найнижчі значення K_{FM} притаманні вершинам породних відвалів – $K_{FM} = 2,1$ для ПАТ «Львівська вугільна компанія» і $K_{FM} = 3,6$ для Шахти №3 (пов'язано із вітровою ерозією та збідненим мінеральним складом субстрату). На бічних експозиціях схилів, коефіцієнти фітомеліоративної ефективності дещо вищі, особливо із північного боку – $K_{FM} = 4,5$ для ПАТ «Львівська вугільна компанія» і $K_{FM} = 4,65$ для Шахти №3 (вища вологість, ніж на інших експозиціях схилів та вершині). На відстані 100 м від підніжжя в північному напрямі коефіцієнти фітомеліоративної ефективності набули найбільших значень ($K_{FM} = 5,55$ для ПАТ «Львівська вугільна компанія» і $K_{FM} = 6,55$ для Шахти №3), що пояснюється сприятливішими едафо-кліматичними умовами.

Поліпшення умов місцезростання та відновлення рослинного покриву можна забезпечити шляхом терасування схилів, перекриття насипними ґрунтами шахтної породи. Флористичне ядро рослинного покриву породних відвалів формують лучні і синантропні види із широким діапазоном толерантності, здатні витримувати несприятливі екологічні умови. Типологічну схему рослинного покриву породних відвалів шахт можна представити у вигляді чотирикутника, у центрі якого розташовані лучна і синантропна рослинність, а в кутах: 1. бореальна і псаммофільна; 2. неморальнолісова; 3. гідрофільна; 4. лучно-стєпова і кальцепетрофільна.

Гірничотехнічний етап рекультивації необхідно передбачати лише для діючих териконів. Згасаючі терикони вже піддаються природному заростанню *Pinus sylvestris* L. (північні та західні експозиції схилів), тому гірничотехнічний етап слід здійснювати у місцях зсувів та там, де відсутній трав'яний покрив.

Ключові слова: породний відвал, ландшафт, екологічний стан, піонерна сукцесія, фітомеліорація, сосна звичайна, газостійкість, солестійкість, жаростійкість.

SUMMARY

Pinder V. F. Reclamation measures to reduce the technogenic impact of waste heaps of coal mines on the environment. - Qualifying scientific work as a manuscript.

The dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences (Ph.D.) on a specialty 21.06.01 " Ecological safety" (101 "Ecology"). – Lviv State University of Life Safety of Ukraine State Emergence Service, Lviv, 2021.

The dissertation is dedicated the research of the ecological state of pioneer succession with the participation of *Pinus sylvestris* L. on waste heaps of coal mines and features of natural phytomelioration within Male Polissia.

As a result of the conducted researches the ecological conditions of the pioneer succession with the participation of *Pinus sylvestris* L. and landscape-transforming factors of phytomeliorative processes on the surface of waste heaps of coal mines in Male Polissia were established. Taking into account ecological factors, the typification of heaps of the studied region is developed, according to which 8 levels of hierarchical distribution are offered: on the size of the III category are big (occupied the area more than 10 hectares), average (5-10 hectares), small (0.3-5 hectares); by form, they are irregular form and correct form (reclaimed); depending on the backfill, the rocks are typified on active and inactive heaps.

The ecological state of pioneer succession and phytomeliorative processes depend on the state of operation of waste heaps in coal mines, it can be operating, extinguished,

reclaimed. Phytomeliorative efficiency coefficients were calculated, which showed that the lowest values of K_{FM} are inherent in the tops of waste heaps - $K_{FM} = 2.1$ for PAT "Lviv Coal Company" and $K_{FM} = 3.6$ for Mine №3 (due to wind erosion and depleted mineral status of substrate). At the side slopes, the phytomeliorative efficiency coefficients are slightly higher, especially from the north - $K_{FM} = 4.5$ for PAT Lviv Coal Company and $K_{FM} = 4.65$ for Mine №3 (higher humidity than at other slopes and peaks). At a distance of 100 m from the foothills in the northern direction, the coefficients of phytomeliorative efficiency acquired the highest values ($K_{FM} = 5.55$ for PAT "Lviv Coal Company" and $K_{FM} = 6.55$ for Mine №3), which is explained by more favourable edapho-climatic conditions.

Improving the conditions of habitat and restoration of vegetation can be ensured by terracing the slopes, covering with loose soils of mine rock. The floristic core of the vegetation cover of waste heaps is formed by meadow and synanthropic species with a wide range of tolerance, able to withstand adverse environmental conditions. The typological scheme of vegetation of waste heaps of mines can be presented in the form of a quadrangle, in the centre of which there are meadow and synanthropic vegetation, and in the corners: 1. boreal and psammophilous; 2. immoral forest; 3. hydrophilic; 4. meadow-steppe and calcepetrophilic.

The mining stage of reclamation should be provided only for existing heaps. Fading heaps are already subject to natural overgrowth of *Pinus sylvestris* L. (northern and western exposures of slopes), so the mining stage should be carried out in landslides and where there is no grass cover.

Key words: waste heap, landscape, ecological condition, pioneer succession, phytomelioration, Scots pine, gas resistance, salt resistance, heat resistance.