

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ
З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

**Володимир ПІНДЕР
Василь ПОПОВИЧ
Павло БОСАК**

**РЕКУЛЬТИВАЦІЙНІ ЗАХОДИ
ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ
ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ
ШАХТ НА ДОВКІЛЛЯ
EcoLab. Том 2**

Монографія

Львів 2023

УДК 504.54.056+504.064.2+581.14+632.151+712.24

Рецензенти: **Кузик Андрій Данилович** – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Геник Ярослав В'ячеславович – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоекології Національного лісотехнічного університету України;

Петрушка Ігор Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національного університету «Львівська політехніка».

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Львівського державного університету безпеки життєдіяльності
(протокол № 3 від 22 листопада 2023 року)**

Піндер, Володимир Федорович

Рекультивацийні заходи зниження техногенного впливу породних відвалів вугільних шахт на довкілля EcoLab. Том 2 : монографія/ В. Ф. Піндер, В. В. Попович, П. В. Босак. – Львів: ЛДУ БЖД, 2023. – 245 с.

У наш час 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 рекультивацийних робіт в Україні, більшість породних відвалів піддаються природному заростанню (природна фітомеліорація). Екологічна ситуація у Малому Поліссі є однією з найважчих на Львівщині, що викликано техногенним впливом на довкілля таких галузей промисловості, як вуглевидобувна, вуглезбагачувальна та хімічна. Велика частина земель району зайнята породними відвалами вугільних шахт. Монографія присвячена дослідженням особливостей природної фітомеліорації та екологічного стану піонерної сукцесії за участю *Pinus sylvestris* L. на породних відвалах вугільних шахт у межах Малого Полісся. 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 тощо.

Для фахівців з питань еколого-техногенної небезпеки породних відвалів вугільних шахт, екологів, дослідників породних відвалів, а також широкого загалу тих, хто цікавиться питаннями захисту довкілля від потенційно небезпечних об'єктів.

© В. Ф. Піндер, 2023

© В. В. Попович, 2023

© П. В. Босак, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ	13
РОЗДІЛ 1. ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ТА ОСОБЛИВОСТІ ФІТОМЕЛІОРАЦІЇ ДЕВАСТОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ	14
1.1. Небезпека породних відвалів вугільних шахт для довкілля.....	14
1.2. Горіння териконів як чинник погіршення стану довкілля та аналіз методів їх гасіння.....	21
1.3. Сингенетична сукцесія на поверхні породних відвалів вугільних шахт.....	29
1.4. Європейський досвід рекультивації та фітомеліорації породних відвалів вугільних шахт.....	34
1.5. Питання рекультивації та фітомеліорації породних відвалів вугільних шахт в Україні.....	40
РОЗДІЛ 2. ЕДАФО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ МАЛОГО ПОЛІССЯ У ЗВ'ЯЗКУ З ПОТРЕБОЮ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТА ФІТОМЕЛІОРАЦІЇ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ В ЗОНІ ВУГЛЕВИДОБУТКУ	45
2.1. Кліматичні особливості і мезоклімат.....	45
2.2. Грунтовий покрив і ґрунтоутвірні породи.....	49
2.3. Рослинний покрив і фіторізноманіття.....	50
2.4. Гідрологічна мережа.....	52
2.5. Об'єкт, предмет та методи досліджень.....	56
РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА УМОВ МІСЦЕЗРОСТАНЬ НА ПОРОДНИХ ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	78
3.1. Типологія териконів у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну.....	78
3.2. Фізико-хімічні властивості підтериконових стічних вод.....	84

3.3. Фізико-хімічні властивості відвальної породи.....	86
3.4. Фітотоксичність субстрату за умовами розвитку тест-рослин.....	104
3.5. Водоутримувальна здатність сосни звичайної на відвальній породі.....	106
3.6. Аутоекологічна стійкість сосни звичайної за морфологічними показниками пристосування в екотопах породного відвалу.....	111
3.7. Життєвість парцелярних мікропопуляцій сосни звичайної в умовах породних відвалів вуглевидобутку.....	113
3.8. Газостійкість <i>Pinus sylvestris</i> L. в умовах породних відвалів вуглевидобутку.....	121
3.9. Біоіндикація повітря у зоні впливу породних відвалів за допомогою індексу флуктуючої асиметрії хвої <i>Pinus sylvestris</i> L.....	125
3.10. Радіаційний фон у зоні впливу відвалів вугільних шахт.....	130
РОЗДІЛ 4. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ДОВКІЛЛЯ У ЗОНІ ВПЛИВУ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ.....	134
4.1. Температурні градієнти середовища розвитку сосни звичайної та способи їх регулювання.....	134
4.2. Формування фітогенних полів за участі солітерів та парцел сосни звичайної.....	140
4.3. Екологічні закономірності поширення рослин в умовах породних відвалів шахт.....	152
4.4. Фітомеліоративна ефективність природного поновлення сосни звичайної на породних відвалах.....	169
4.5. Регулювання розвитку фітоценозів з участю сосни звичайної на породних відвалах.....	174
4.6. Гірничотехнічний та біологічний етапи рекультивації згасаючих териконів.....	179

4.7. Гірничотехнічний та біологічний етапи рекультивації діючих териконів.....	182
ВИСНОВКИ.....	187
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	193
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	194
ДОДАТКИ.....	214

ВСТУП

Монографія присвячена дослідженням особливостей природної фітомеліорації та екологічного стану піонерної сукцесії за участю *Pinus sylvestris* L. на породних відвалах вугільних шахт у межах Малого Полісся. 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 тощо.

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°C - +64,4°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°C, а самозаймання – +475°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 Великомоствіська» (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 Великомоствська», який становить 132 бали.

Водний баланс хвої *Pinus sylvestris* L. залежить від умов місцезростань та найнижчий на поверхні породних відвалів «Шахти №3 Великомоствська» 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%.

Екологічний стан піонерної сукцесії і фітомеліоративні процеси залежать від стану експлуатації породних відвалів вугільних шахт – діючий, згаслий, рекультивований. Розраховані коефіцієнти фітомеліоративної ефективності, які показали, що найнижчі значення KFM притаманні вершинам породних відвалів – KFM = 2,1 для ПАТ «Львівська вугільна компанія» і KFM = 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 – KFM = 4,5 для ПАТ «Львівська вугільна компанія» і KFM = 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 (KFM = 5,55 для ПАТ «Львівська вугільна компанія» і KFM = 6,55 для Шахти № 3), що пояснюється сприятливішими едафо-кліматичними умовами.

Поліпшення умов місцезростання та відновлення рослинного покриву можна забезпечити шляхом терасування

схилiв, перекриття насипними ґрунтами шахтної породи. Флористичне ядро рослинного покриву породних вiдвалiв формують лучнi i синантропнi види iз широким дiапазоном толерантностi, здатнi витримувати несприятливi екологiчнi умови. Типологiчну схему рослинного покриву породних вiдвалiв шахт можна представити у виглядi чотирикутника, у центрi якого розташованi лучна i синантропна рослиннiсть, а в кутах: 1. бореальна i псаммофiльна; 2. неморальнолисова; 3. гiдрофiльна; 4. лучно-степова i кальцепетрофiльна.

Гiрничотехнiчний етап рекультивацiї необхідно передбачати лише для дiючих териконiв. Згасаючi терикони вже пiддаються природному заростанню *Pinus sylvestris* L. (пiвнiчнi та захiднi експозицiї схилiв), тому гiрничотехнiчний етап слiд здiйснювати у мiсцях зсувiв та там, де вiдсутнiй трав'яний покрив.

Вклад авторiв:

У монографiї використанi результати дисертацiйної роботи кандидата технiчних наук Пiндера Володимира Федоровича i наукових публiкацiй доктора технiчних наук, професора Поповича Василя Васильовича та кандидата технiчних наук, доцента Босака Павла Володимировича.

Ключовi слова: породний вiдвал, ландшафт, екологiчний стан, пiонерна сукцесiя, фiтомелiорацiя, сосна звичайна, газостiйкiсть, солестiйкiсть, жаростiйкiсть.

INTRODUCTION

The monograph 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. 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, etc.

It is established that the processes of rock combustion in the heap are different and depend on the age of the heap dump, the availability of storage technology, the geometric parameters of the heaps. The substrate temperature on the surface of the heap of PAT "Lviv Coal Company" was + 21.2 ° C - + 64.4 ° C in the summer, 2018. Self-ignition of vegetation on the heaps of coal mines occurs as a result of spontaneous combustion due to the gradual accumulation of heat. It was established in the laboratory that the ignition temperature of the sample of *Pinus sylvestris* L., which developed on the side surface of the same heap, is + 225 ° C, and the spontaneous combustion is + 475 ° C. According to the results of the study of heat resistance, it was found that its high level was recorded in cuttings of *Pinus sylvestris* L., which grows at a distance of 100 m from the heap "Mine № 3 Chervonogradska" (total score is 112 points). The average level of heat resistance was found in *Pinus sylvestris* L., which grows on the surface of the heap of PAT "Lviv Coal Company" - 118 points. The lowest level of heat resistance is in the sample of the

mound "Mine № 3 Chervonogradska" growing on the surface, which is 132 points.

The water balance of *Pinus sylvestris* L. needles depends on habitat conditions and is the lowest on the surface of waste heaps "Mine № 3 Chervonogradska" and the heap of PAT "Lviv Coal Company" (3.36% and 3.89% respectively). With the improvement of conditions in the depletion of the heap, where phytomeliorative processes are already present, the level of moisture supply increases - 4.24% and 3.9%, respectively. High rates were recorded at distances of 100 m from the studied heaps - 4.67% and 4.17%. The maximum level of water balance was recorded in the most favourable conditions of habitats from 2 km on south from the mining region in the pine forest (control) - 6.76%.

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.

Contribution of authors:

The monograph uses the results of the dissertation of Candidate of Technical Sciences Volodymyr Pinder and scientific publications of Doctor of Technical Sciences, Professor Vasyl Popovych and Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Pavlo Bosak.

Keywords: waste heap, landscape, ecological condition, pioneer succession, phytomelioration, scots pine, gas resistance, salt resistance, heat resistance.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

- БСК** – біохімічне споживання кисню
ГДК – граничнодопустима концентрація
ГН – граничні норми
ЄС – Європейський Союз
НВ – Нововолинськ
ПЕД – потужність еквівалентної дози
ХПК – хімічна потреба в кисні
ХСК – хімічне споживання кисню
ЦЗФ – центральна збагачувальна фабрика

РОЗДІЛ 1. ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ТА ОСОБЛИВОСТІ ФІТОМЕЛІОРАЦІЇ ДЕВАСТОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ

1.1. Небезпека породних відвалів вугільних шахт для довкілля

У відповідності до гірничого Закону України основними екологічними вимогами у сфері проведення гірничих робіт є: розташування виробничих підрозділів гірничого підприємства, складів корисних копалин і відвалів порід з урахуванням можливості проведення профілактичних заходів щодо запобігання їх самозайманню; застосування екологічно безпечних гірничих технологій; впровадження передових технологій проведення гірничих робіт та очищення стічних вод і відпрацьованого повітря; раціональне використання мінеральних відходів породних відвалів (сховищ) для повторної переробки на основі широкого застосування новітніх технологій; організація санітарно-захисної зони між гірничим підприємством і жилими будівлями відповідно до законодавства; запобігання осіданню, підтопленню, заболочуванню, засоленню, висушенню та забрудненню відходами виробництва поверхні землі; запобігання несприятливому впливу водовідведення з гірничих виробок на рівень ґрунтових вод і поверхневі водні об'єкти; зниження рівня викидів, скидів речовин, що забруднюють довкілля у процесі гірничого виробництва, та вжиття заходів щодо запобігання аварійним ситуаціям, пов'язаним із залповими та раптовими викидами і скидами; своєчасне проведення рекультивації земель; додержання інших вимог, передбачених законодавством про охорону навколишнього природного середовища [29].

Із ліквідацією шахт у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну залишається не вирішеною проблема їх еколого-техногенної небезпеки. Чинниками техногенного

пресингу на довкілля гірничодобувного регіону є: затоплення гірничих виробітків, завали та зсуви шахтних стволів, просідання земної поверхні, підвищений радіаційний фон породних відвалів та довколишньої місцевості, виділення токсичних елементів, сполук та продуктів горіння у водойми, ґрунти, повітря із териконів [84].

Породні відвали ліквідованих шахт у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну переформатовують із конічної форми у плоску з метою запобігання горінню відвальної породи та подальшої їх рекультивації. Однак, не всі відвали переформатовані за різних причин та потребують озеленення. На поверхні відвалів розвивається рослинність, яка виникла тут в результаті природних фітомеліоративних процесів, що є свідченням придатності їх до залісення. Проте, для проведення фітомеліоративних робіт слід врахувати підготовчий етап рекультивації та розробити заходи з проведення гірничотехнічної рекультивації. А також підібрати відповідний асортимент трав'яної та деревно-чагарникової рослинності, для біологічного етапу рекультивації, із високими показниками газо-, пило-, посухо-, жаростійкості та низьким коефіцієнтом водовіддачі.

У наш час проблемам екологічної безпеки відвалів вугільних шахт науковцями приділяється значна увага. Безпосередньо біля цих техногенних об'єктів проживає велика кількість людей, які потерпають від смогу, продуктів самозаймання та тління породи, порушеної естетики ландшафтів тощо.

При видобутку кожної тисячі тон вугілля шахтним способом на поверхню надходить в середньому 100-115 м³ породи, а при кар'єрному видобутку вимагають розміщення 3,6 тис. м³ розкритих порід. У 4033 шахтах світу щороку видобувається 2025 млн. т вугілля, при цьому з надр витягується 6 млрд. м³ шахтних вод, 26,5 млрд. м³ метану, 16,8 млрд. м³ вуглекислого газу. До районів розробки

вугільних родовищ приурочені збагачувальні фабрики, теплоелектростанції, хімічні підприємства, що дають тверді, рідкі та газоподібні відходи [15, 100, 120].

На території України налічується близько 1300 териконів. Із них 28 (загальною площею 116,7 га) – на території Нововолинського гірничопромислового району. Всього на породних відвалах (териконах) регіону накопичено понад 31 млн. т шахтної породи. Сьогодні дуже гострим є питання моніторингових досліджень динаміки негативного впливу відходів вугледобувної галузі на довкілля.

Результати спектрального аналізу породи, проведеного в Інституті геології і геохімії АН України (мг/кг) дали змогу встановити рівень екологічної небезпеки породних відвалів шахт за показниками: 1. Zr – 0,78; 2. Co – 0,24; 3. Mn – 6,1; 4. Pb – 0,29; 5. Cr – 0,47; 6. Be – 0,035; 7. As – 0,062; 8. Ga – 0,035; 9. Ni – 0,48; 10. Mo – 0,036; 12. La – 0,062; 13. Cu – 0,97; 14. Ag – 0,002; 15. Zn – 0,42; 16. Ti – 17,0; 17. Sc – 0,42; 19. Sn – 0,015; 20. Ca – 5,8; 21. Ba – 2,1; 22. Sr – 1,5; 23. Mg – 10,06.

Хімічний склад породи і шламів наступний: аргіліт - 54-97%, алевроліт -17-28%, піщаник – 2-20%, вугілля – 1-17% (табл. 1.1). Аргіліт – технічна назва відходів збагачення вугілля, що вміщують значну частину глинистих порід і можуть використовуватися як основна сировина або паливна домішка при виробництві будівельних матеріалів, зокрема цегли. Алевроліт – тверда гірська порода, зцементований алеврит. Основні породотвірні матеріали: кварц, глинисті мінерали, цемент (карбонатний, карбонатно-глинистий і слюдистий).

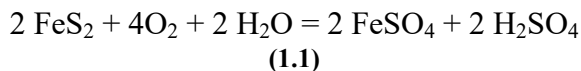
Таблиця 1.1

Хімічний склад породи відвалу ЦЗФ (%) [69]

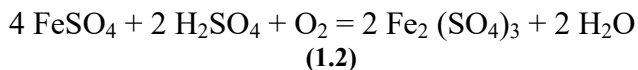
Сполука	Аргіліт (Argillyte)	Алевроліт (Aleurolite)
SiO ₂	51,12-59,20	49,78-70,54

Al ₂ O ₃	14,4-24,3	16,23-23,15
TiO ₂	0,7-0,9	0,79-1,09
Fe ₂ O ₃	2,6	1,2-1,49
FeO	2,25-12,7	0,51-3,41
MnO	0,1-1,5	0,14
CaO	0,4-1,5	0,69-1,2
MgO	2,6	0,79-1,85
Na ₂ O	2,3-5,9	1,5-3,15
K ₂ O	0,8-2,01	0,51-1,45
SO ₃	сліди	0,29
S	0,2-2,4	1,89

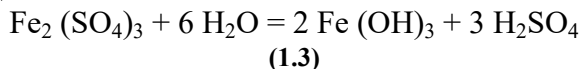
У породних відвалах та відходах збагачення вугілля міститься близько 1% піриту, окиснення якого призводить до утворення сірчаної кислоти і легкорозчинних сульфатів заліза. Внаслідок цього в підніжжі відвалів та териконів накопичуються сульфатні води. Окиснення піриту відбувається за такою схемою:



Сульфат заліза (II) в присутності вільного кисню переходить в сульфат заліза (III):



Сульфат заліза (III) гідролізується з утворенням гідроксидів заліза:



Нерозчинні гідроксиди заліза випадають в осад, утворюючи мінерали групи лімониту, які призводять до кольматації порового простору і зменшення проникності шару піску. Під териконами утворюється сірчана кислота.

Вона проникає в підземні горизонти і розноситься ґрунтовими водами [68].

Визначено вміст *Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Sr, S* у ґрунтах та рослинах техногенних ландшафтів родовищ самородної сірки Передкарпаття. За винятком *Mn*, вміст досліджених елементів у ґрунтах не перевищує кларкових значень та існуючих в Україні гранично допустимих концентрацій. Концентрація *Mn* коливається від значень нижчих до величин у 2–3 рази вищих за кларкові. Фізико-хімічні властивості ґрунтів (слаболужна реакція водної витяжки, значний вміст органічної речовини, важкий механічний склад) не сприяють рухливості елементів [50, 91].

За результатами дослідження екологічних особливостей ліхеноіндикації атропогенно трансформованого середовища на південному сході України виявлено у екотопах антропогенно територій на південному сході України видовий склад лишайників – 70 видів, що належать до 32 родів, 16 родин, 4 порядків відділу *Ascomycotina*. Встановлено, що у ліхенофлорі антропогенно трансформованих територій на південному сході України представлені евриголарктичний (26 видів; 37,1% від загальної кількості), неморальний (18; 25,7), бореальний (17; 24,3), аридний (8; 11,4), монтанний (1; 1,4) геоелементи. Виявлено провідні екоморфи видів лишайників у екотопах антропогенно трансформованих територій: епіфіти (30 видів; 42,9%), ацидофіли (38; 54,3), геліофіти (28; 40,0), ксерофіти (38; 54,3). За екологічною відповідністю щодо поширення лишайників у екотопах антропогенно трансформовані території нами розташовані у такий спосіб: території високої трансформації (антропогенно утворені, промислові, стрічкові) → території середньої трансформації (комунікаційні, селітебні, урбанізовані) → території низької трансформації (природні, напівприродні). Розраховано індекси чистоти повітря (ІЧП) міст Донецька, Макіївка,

Красного Луча та встановлено вiдповiднi лiхеноiндикацiйнi зони: сильно забруднена (IЧП=0-5), помiрно забруднена (IЧП=5-10), слабо забруднена (IЧП=10-15), незабруднена (IЧП=15 та бiльше) [1].

На прикладi Чорногорського гiрничодобувного району середнього за масштабами видобутку, показано вплив вiдходiв гiрничодобувних пiдприємств на компоненти природного середовища з видiленням зон i елементiв-iндикаторiв впливу кожного з пiдприємств, яке доводить, що подiбна ситуацiя можлива на будь-якому об'єкті, що є джерелом утворення вiдходiв та якi не займаються питаннями їх комплексного використання.

Використання техногенних мiнеральних ресурсiв дозволить не тiльки отримати додатковий економiчний ефект, а й сприятиме полiпшенню стану навколишнього середовища в районах розмiщення вiдходiв гiрничодобувної та переробної промисловостi.

Екологiчний стан поверхневих вод на територiях, прилеглих до териконiв, за забрудненням сульфат-iонами оцiнюється як незадовiльний (>500 мг/дм³). Оцiнка придатностi води для зрошення показала, що за вiстом солей i водневим показником вода всiх ставкiв, за винятком тих, що знаходяться на вiдстанi 860 м, є непридатною для зрошення. Вода в водоймах, що примикають до вiдвалiв, насичена важкими металами. Рухомi форми таких металiв, як титан, марганець, цинк, хром, нiкель, свинець, мiдь, мiстяться у водi в пiдвижених концентрацiях, а екологiчний стан водойм характеризується як незадовiльний i задовiльний.

За результатами радiометричних дослiджень встановлено, що питома гамма-активнiсть ґрунту збiльшується у напрямку вiд прилеглої територiї до вiдвалiв. Питома активнiсть усiх проб ґрунту перевищує фонове значення, але не перевищує допустиме значення для будматерiалiв – 370 Бк/кг. Присутнiсть iзотопу Cs¹³⁷ в

досліджених зразках не виявлена. Підвищений рівень активності ґрунту обумовлений вмістом у зразках Th^{232} та інших важких елементів і продуктів їх розпаду.

Для зниження рівня екологічної небезпеки стічних вод з поверхні породних відвалів пропонується інженерний комплекс, який включає траншеї для збирання поверхневого стоку з відвалів з нейтралізаційними карбонатними перемичками-габіонами. Лабораторні дослідження засвідчили, що крейдяна порода габіонів, залежно від кількості кислих стічних вод, що пропускаються, зменшує їх кислотність з 3,85 до 7,10 рН, знижує вміст рухомих металів в стічній воді, зокрема Ni на 72,9%, Pb на 63,9%, Cu на 59,4%, Zn на 72,9 %, Cr на 63,9%, зменшуючи при цьому екологічну небезпеку відвалів [14, 24, 97, 130].

Питанням екологічної небезпеки породних відвалів вугільних шахт присвячені численні праці науковців. Науковцями у праці [21] проаналізовані екологічні та техногенні наслідки ліквідації вугільних шахт. Охарактеризовано особливості впливу масового закриття гірничих підприємств на стан довкілля. Запропоновано комплекс заходів спрямованих на підвищення рівня екологічної та техногенної безпеки процесів ліквідації шахт.

У науковій роботі [26] відображено результати досліджень біоморфологічної структури флори та густоти переважаючих видів деревних рослин породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району. Встановлено приживлюваність та лісівничо-таксаційні показники лісових культур сосни звичайної, створених на порушених землях зони діяльності Яворівського державного гірничо-хімічного підприємства “Сірка”. Науковцями [4] вивчено зміни пігментного складу та структури хлоропластів у листках рослин *Calamagrostis epigeios*, які ростуть на різних субстратах терикону. Показано, що відбуваються зміни вмісту пігментів фотосинтезу та будови хлоропластів С.

epigeios за дії несприятливих факторів техногенного едафотопу. Загалом, головною метою в умовах девастрованих ландшафтів є штучна і природна фітомеліорація. Рушійною силою ендоекологічної сукцесії, яка має забезпечити заростання девастрованих ландшафтів є фітогенне поле, яке розглядається авторами [60] як група фітоценозів, а не поодинокі рослини.

Слід відмітити, що всебічні дослідження науковцями відвалів гірничодобування є надзвичайно важливими для розробки найрізноманітніших заходів покращення екологічної обстановки населених пунктів у зоні їх впливу.

1.2. Горіння териконів як чинник погіршення стану довкілля та аналіз методів їх гасіння

Терикони вугільних шахт спричиняють значний еколого-техногенний пресинг на довкілля та живі організми. Залежно від технології відвалоутворення формуються відвали наступних типів: конічні (терикони), хребтові і плоскі [132].

Великою загрозою для людини є процес самозаймання териконів. Унаслідок самозаймання териконів відбувається гальмування процесу фітомеліорації через вигорання саджанців порід дерев; виникнення завалів, зсувів; підвищення температури навколишнього середовища; шкідливі викиди пилу та газів у атмосферу; велику концентрацію небезпечних хімічних сполук в довкіллі, що становить небезпеку для населення (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Горіння відвалу вуглезбагачення ПАТ «Львівська вугільна компанія», м. Червоноград Львівської області

Окрім горимих териконів забруднення довкілля відбувається і через згасаючі терикони діючих шахт. Об'єм породи, яка складається у відвали діючих шахт перевищує проектні норми. У Нововолинському гірничопромисловому регіоні можуть піддаватися горінню до 80,2 % териконів, що призведе до зростання екологічної небезпеки. Найбільш оптимальним методом ліквідації горіння на териконах вугільних шахт є переформатування їх у відвали плоскої форми [14, 84, 136].

Самозаймання породних відвалів вугільних шахт відбувається, здебільшого, поблизу поверхні з боку надходження кисню повітря. Продукти окисної зони за температур вищих за $+800^{\circ}\text{C}$ вступають у вторинні реакції. За низьких температур вони є лише теплоносієм, і на своєму шляху підігрівають породну масу. При нагріванні породи до $+100 - +110^{\circ}\text{C}$ відбувається виділення вологи. З підвищенням температури до $+200^{\circ}\text{C}$ виділяються депоновані у вугіллі газу, які складаються в основному з вуглекислоти і вуглеводнів. За температури $+200 - +250^{\circ}\text{C}$ починається вже помітне розкладання горючої речовини, підсилюється виділення вуглекислоти, близько $+300^{\circ}\text{C}$ – з'являються смоляні продукти. Між $+350 - +500^{\circ}\text{C}$ відбувається інтенсивне розкладання вугілля. Різко підвищується кількість

виділених газів, які у цей період стають горючими, оскільки містять крім вуглекислоти ще і значну кількість вуглеводнів, метану і водню. За температури $+550 - +1100^{\circ}\text{C}$ газу виділяється в 4-5 разів більше, ніж у діапазоні температур з $+200^{\circ}\text{C}$ до $+500^{\circ}\text{C}$. Ці гази містять метан, водень та азот [16, 85, 87].

Наявна в породній масі у формі піриту сірка при повільному окислюванні вже за температури $+170 - +260^{\circ}\text{C}$ виділяє сірчистий ангідрид. Інтенсивне розкладання піриту відбувається при температурі понад $+300^{\circ}\text{C}$ і остаточно закінчується за температури $+600^{\circ}\text{C}$. Загальновідомо, що у глибині палаючих териконів температура сягає $+1000^{\circ}\text{C}$ і більше. При горінні (швидкому окисленні) відвалів відбувається плавлення, випал порід, гідротермальні процеси, близькі за характером до ендегенних, що ведуть до інтенсивного мінералоутворення і підсилюють міграцію елементів. Характерними продуктами є як хімічно стійкі мінерали – муліт, тридиміт, так і не цілком стійкі - сульфати заліза, калію, алюмінію, схильні до подальшого розкладання [84, 126].

Загоряння вугільних відвалів призводить до накопичення поліаренів у всім профілі ґрунтів відвалів і в гумусових горизонтах прилеглих до відвалу ґрунтів (рис. 1.2). Залежно від горючого матеріалу виділені асоціації пірогенних ПАВ в ґрунтах. Їх використання можливе для діагностики джерел поліаренів в ландшафтах [121, 123, 124].



Рисунок 1.2 –Перегорілий породний відвал шахти №3 «Великомостівська», м. Червоноград Львівської області

За добу із терикона виділяється 10 тонн окисів вуглецю, 1,5 тони сірчистого ангідриду та значна кількість газоподібних речовин, оскільки усі відвали містять FeS_2 . Значні площі не рекультивованих земель, що з'явилися за останні десятиліття в Нововолинському гірничопромисловому районі, визначили особливу актуальність вивчення темпів і механізмів самозаростання техногенних відвалів гірничих порід. Закономірності становлення ґрунтів і екосистем в екстремальних умовах техногенних ландшафтів, можливості регенераційних геосистем в запобіганні екологічному впливу на суміжні землі залишаються маловивченими науковими проблемами світового масштабу [18, 128].

Гасіння териконів та хребтовидних відвалів, що горять, проводиться переформуванням їх у відвали плоскої форми або промуленням поверхневого шару порід. Гасіння плоских

відвалів, що горять, здійснюється промуленням поверхневого шару порід або зрізанням укосів у верхній частині відвалу.

Окремі поверхневі осередки горіння на відвалах усіх форм знищуються засипанням негорючими матеріалами або промуленням, а на відвалах плоскої форми ліквідуються ще й вийманням. Роботи з гасіння породних відвалів дозволяється здійснювати після обстеження робочих місць щупами з метою виявлення тріщин, порожнин, тощо. Виявлені небезпечні ділянки повинні огорожуватися попереджувальними знаками. Гасіння породних відвалів, що горять, починається із зрошення водою для охолодження порід поверхневого шару на глибину 0,1-0,2 м до температури нижче як $+80^{\circ}\text{C}$. При цьому витрати води приймаються з розрахунку не менше як 50 л/м^2 поверхні, що горить. Для відведення дренажної води передбачається риття каналів на відстані 10-30 м від підніжжя відвалу. Відвал вважається загашеним, коли температура порід на глибині до 2,5 м від поверхні не перевищує $+80^{\circ}\text{C}$ та на глибині від 1,0 до 2,5 м не збільшується до наступної планової зйомки. Технологія гасіння териконів і хребтовидних відвалів, що горять, переформуванням їх у відвали плоскої форми включає в себе змивання порід з їх вершини гідромонітором, зниження висоти відвалів переміщенням попередньо охолоджених порід під укіс, охолодження інших порід через верхній горизонтальний майданчик. Якщо вершина відвалу складена розпеченими породами та такими, що горять, то їх перед змиванням додатково охолоджують зрошенням водою до температури 150°C на глибину 2,5-3,0 м; витрати води при цьому приймаються не менше як 300 л на 1м^2 поверхні відвалу. Змивання порід здійснюється гідромонітором із дистанційним управлінням, який устатковується безпосередньо біля вершини терикона. Вершина розмивається шарами товщиною не більшою як 2,5 м до зниження висоти відвалу на 5-10 м. Зниження відвалу

здійснюється горизонтальними шарами шляхом переміщення породи під укіс бульдозером (екскаватором). Улаштування початкового в'їзду дозволяється лише по хвостовій частині терикона. Порода кожного з горизонтальних шарів перед переміщенням під укіс охолоджується до температури 80°C. Витрата води складає в середньому 1500 л/м³ нагрітої породи. Технологія гасіння териконів та хребтоподібних відвалів, що горять, промуненням включає ін'єктування води, глинистої пульпи, розчину (суспензії) антипірогену у поверхневий шар середньої та верхньої частини відвалу та ізоляцію його нижньої частини породою дрібних класів або ґрунтом (негорючим матеріалом). Технологія використовується під час гасіння териконів та хребтоподібних відвалів висотою до 40 м, які не схильні до інтенсивного горіння. Ін'єктування води, глинистої пульпи, розчину (суспензії) антипірогену у поверхневий шар здійснюється у напрямі від хвостової частини терикона до лобової. Гасіння осередків горіння здійснюється у напрямі від їхньої периферії до центру. Встановлення ін'єкторів у центрі осередку або в зоні горіння не дозволяється. Ін'єктори розміщуються по сітці 2х2 або 3х3 м та забиваються у відвал на глибину 1,8-2,0 м. Ізоляція нижньої пористої частини териконів і хребтоподібних відвалів здійснюється шляхом ущільнення породою дрібних класів, що змивається струменем глинистої пульпи (суспензії) з їх гребеня [72].

Безпосередньо гасінням териконів займаються спеціалізовані формування, які за структурою входять у структуру вугледобувних підприємств. На території досліджуваного регіону гасінням породних відвалів, а також рекультивацією займається "Червоноградське спецуправління з гасіння териконів і рекультивації земель".

Відокремлений підрозділ "Червоноградське спецуправління з гасіння териконів і рекультивації земель" Державного підприємства „Львіввугілля” створено згідно з

наказом Державного підприємства "Львіввугілля" від 12.02.2003 р. № 1 "Про створення відокремлених підрозділів ДП "Львіввугілля". Відповідно до наказу Міністерства енергетики України від 08.06.2012 р. № 405 "Про затвердження переліків державних підприємств, установ, організацій та об'єднань, що належать до сфери управління Міністерства енергетики України" підприємство належить до сфери управління Міністерства енергетики України.

Видами діяльності, які здійснює підрозділ, є: гасіння і формування породних відвалів; профілактика породних відвалів від самозапалювання; озеленення породних відвалів; будівельна діяльність (будівництво водних споруд, зведення несучих та огорожуючих конструкцій будівель і споруд; обслуговування захисних дамб; ремонт під'їздних доріг до відвалів і безпосередньо на породних відвалах; прийом, перекачування, відстоювання і освітлення шахтної та госфікальної води в ставках – накопичувачах; меліорація, рекультивація підроблених територій; надання послуг у рослинництві, облаштування ландшафту; збір, очищення та розподілення води; забезпечення безпечних умов праці тощо. Підрозділ є цілісним майновим комплексом, здійснює діяльність, яка не суперечить чинному законодавству, Статуту Підприємства, меті та предмету діяльності, які встановлені цим Положенням.

Використовуючи знання про особливості формування структури та функцій логістики аварійно-рятувальних служб нами здійснено проектування логістичних ланцюгів для залучення пожежно-рятувальних автомобілів на гасіння териконів вугільних шахт (рис. 1.3).

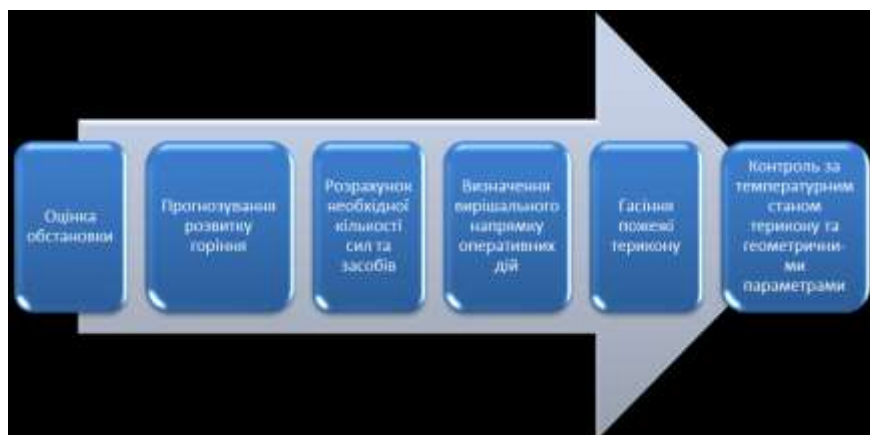


Рисунок 1.3 – Логістичний ланцюг локалізації та ліквідації горіння терикону

У зв'язку із складністю горіння відвалів до гасіння залучаються підрозділи ДСНС України. Логістичний ланцюг залучення пожежно-рятувальних автомобілів для гасіння пожеж териконів наведений на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Логістичний ланцюг залучення пожежно-рятувальних автомобілів для гасіння териконів

Залучення іншої пожежно-рятувальної техніки здійснюється за рішенням керівника ліквідації надзвичайної ситуації ДСНС України.

У світовій практиці реабілітації техногенних геосистем намітився новий підхід, пов'язаний з максимальним використанням регенераційних можливостей природних екосистем для відтворення ресурсних і екологічних функцій порушених ландшафтів – екологічна реставрація. Використання потенціалу перетворювальної функції адаптованих рослинних угруповань дає змогу значно знизити інтенсивність процесів денудації техногенних субстратів, ініціювати в них ґрунтоутворювальні процеси. Новоутворені компоненти молодих геосистем розглядаються як, недорозвинені, примітивні, унікальні, проте, їх еколого-біосферні функції достатньо не вивчені та недооцінені.

1.3. Сингенетична сукцесія на поверхні породних відвалів вугільних шахт

Сукцесія рослинності на техногенних субстратах проявляється як в незворотній зміні видового складу, так і в формуванні її фітоценотичної структури. Вже на ранніх стадіях сукцесії присутня сукупність стійких видів, які мають високу різноманітність в субклімаксовій екосистемі. Швидкість проходження стадій сукцесії залежить від ініціального проростання видів у конкретній точці в конкретний час.

В ході первинної сукцесії характерний склад домінантів характеризувалася тільки екосистема акумулятивної позиції (50% лучно-болотних видів). Фітоценотична структура найбільш швидко формується як за видами, так і за фітомасою в екосистемі акумулятивної позиції. Зелена фітомаса і надземна мортмаса виходять на зональний рівень вже через 7-8 років розвитку екосистеми. Підземна рослинна речовина накопичується повільніше. Сукцесія рослинності

при вторинному заростанні по динаміці не відрізняється від початкових стадій первинної сукцесії. Запас насіння і наявність рослинних залишків у субстраті сприяють швидкому виходу термінальних видів на домінуючі позиції як в надземній, так і в підземній сфері. Фітоценоз, який формується по співвідношенню перелогових і лісо-лугових видів, наблизився до контрольної екосистеми мезофітного луку і має схожість зі сформованим в ході первинної 27-річної сукцесії луговим угрупованням. Кількість зеленої фітомаси на експериментальних майданчиках вище, ніж G мезофітного луку, що характерно для ранніх стадій сукцесії. Запаси R на 5 рік, також як і V , виходять на стаціонарний рівень, характерний для мезофітного луку. Спостерігалось, що сіяні луки на рекультивованому відвалі є високоврожайними. Біологічний урожай досягав 4,2 т/га, що перевищує урожай сіна природних луків, який становить 3,7 т/га. Сіяні трави мають тривалість життя і поведінку видів в сукцесії, що відповідають їх розвитку в екосистемах з природним ґрунтовим покривом. Порівняння агрофітоценозів з природними трав'яними екосистемами дозволяє відзначити, що за величиною G вони близькі до заплавлених луків, а за запасами R – до лугового степу. Сукцесія сіяних сінокосів супроводжується падінням частки люцерни в зеленій фітомасі і різким зниженням запасу живих підземних органів, що пов'язано зі старінням вихідної травосуміші, випаданням люцерни і заміщенням її злаками [52-57].

Зміна режиму використання сінокісних луків (СЛ) викликала зміну в структурі рослинної речовини як наземної, так і підземної, що спричинило зміни у видовому складі фітоценозу. З'явилася тенденція до зміни дерновинних злаків довгокореневищними. В середині угруповання самої багаточисельної і самої флуктуючої є група лісо-лугових видів. Така поведінка характерна для рослинного угруповання, що знаходиться в постдемутаційній сукцесії,

коли випадають види, що не виносять велику кількість дрантя, що утворюється в процесі відмирання закінчивших вегетацію рослин. Однією з таких рослин є *Artemisia commutata*, що належить до групи перелогових видів: вже через рік заповідання, вона зникла з домінантів, знизивши частку в загальній фытомасі до 3% в порівнянні з 14% в перший рік заповідання [51-53].

Лісові культури сосни та інших порід створюють на відвалах лісове середовище. В умовах хвостосховищ сосна формує кореневі системи поверхнево-стрижневого типу. При слабкому зростанні стрижневих коренів найбільший розвиток отримують бічні шнуровидні коріння горизонтальної орієнтації середнього ступеня розгалуженості, що ростуть в поверхневих шарах піску. Введення в куліси верб і закріплення ними основної території відвалів створює передумови отримання цінної сировини для плетіння кошиків. При лісовій рекультивації укосів відвалів слід орієнтуватися на реалізацію наступних лісотехнологічних заходів: сприяння природному заростанню; виключення нанесення на поверхню родючого шару; виключення механізованої обробки ґрунту; створення буферних смуг з вербових; створення змішаних насаджень; переважне використання дрібного посадкового матеріалу; розміщення рядів культур по горизонталях; виробництво лісових культур ранньою весною; більшення початкової густоти культур; диференційоване застосування мінеральних добрив. Пропоновані методи лісової рекультивації відвалів промислових відходів дозволять закріпити укоси доступними засобами і тим самим забезпечити стійкість відвалів, їх локалізацію, введення в господарський обіг значних площ, створення діяльних біоценозів, оздоровлення навколишнього середовища, поліпшення постіндустріального ландшафту [63, 66].

У роботі [10] встановлено екологічну амплітуду куничника наземного до фізико-хімічних властивостей субстратів відвалів Червоноградського гірничопромислового регіону та його екологічну валентність до несприятливих чинників на організмовому та популяційному рівнях. Показано, що при переході із злакової на деревно-злакову стадію сукцесії рослинності відвалів у ценопопуляціях *S. Erigeios* зменшується здатність до самовідновлення внаслідок пригнічення як генеративного, так і вегетативного розмноження. З'ясовано середовищеворну роль куничника наземного на відвалах, яка проявляється у покращенні едафічних, мікрокліматичних умов і формуванні гумусового горизонту на техногенному субстраті. Екологічна валентність куничника наземного до несприятливих чинників відвалів вугільних шахт пов'язана із структурними змінами в апараті фотосинтезу. Визначено кількісні зміни пігментів фотосинтезу, збільшення розмірів хлоропластів (у два рази), нагромадження в них вуглеводів за умов росту на субстратах відвалу, порівняно з контролем. Встановлено зменшення в органах куничника наземного за умов росту на субстратах відвалу загального вмісту амінокислот (у 1,6 раза), порівняно із контролем, разом із тим відзначено збільшення вмісту стрес-протекторних амінокислот (проліну, тирозину, гістидину, сірковмісних амінокислот, γ -аміномасляної кислоти) і фенольних сполук. За віковими спектрами всі досліджувані ценопопуляції куничника наземного на відвалах вугільних шахт є інвазійного типу, що свідчить про їхню відносну "молодість" та інтенсивне вегетативне розмноження. Під час переходу із злакової на деревно-злакову стадію сукцесії рослинності відвалів визначено загальне пригнічення генеративного розмноження внаслідок зменшення кількості насіння у суцвіттях (у 2 рази) і кількості генеративних пагонів на одиницю площі (у 3 рази).

Формування фракційно-групового складу гумусу молодих ґрунтів визначається особливостями субстрату ґрунтоутворення. Для ґрунтів на карбонатних щербистих техногенних елювіальних і кембрійських глинах характерно дуже низький вміст ГК і ФК, що пов'язано з низьким ступенем гуміфікації органічної речовини. У разі водно льодовикових пісків і відсівів дроблення гранітів на фоні значного змісту ГК, істотно переважають ФК. У разі четвертинних суглинків, рекультивованих субстратів і 200-300 літніх рендзини відносно зміст ГК значно збільшується.

Рекультивація оптимізує властивості розкривних порід і викликає швидкий розвиток фітоценозів, що сприяє більш інтенсивному прояву біогенної-акумулятивних процесів, високого ступеня гуміфікації органічної речовини і суттєве перетворення мінеральної частини ґрунту в порівнянні з ґрунтами ділянок самозаростання кар'єрів [7].

Виявлено, що характер змін в профілі ґрунтів відповідає зональній спрямованості ґрунтоутворення, а початкові стадії онтогенезу для нині експонованих моногенетичних зрілих зональних типів ґрунтів на відповідних породах були подібними. Показано, що формування ґрунту (ембріоземи) відрізняється від фонових не тільки меншими запасами гумусу, але і менш «зрілими» в хімічному відношенні (менш конденсованими) в порівнянні з фоновими гуміновими кислотами, що свідчить про існування періоду розвитку в системі гумусових речовин. Виявлено, що навіть при однаковій потужності підстилок в країнах, що розвиваються і фонових ґрунтах, зольний склад підстилок в перших відрізняється меншим вмістом біофільних елементів, що також може свідчити про незавершеність періоду розвитку в формуванні найважливішого органогенного горизонту до 200 років. Вперше показана динаміка формування в онтогенезі приватних ґрунтових профілів: гумусового, лужно-кислотного, текстурного і ін., а також

обґрунтована можливість застосування їх при дослідженні старіших ґрунтів (на поверхнях археологічних пам'яток віком від 400 до 5000 років) [90, 106].

1.4. Європейський досвід рекультивації та фітомеліорації породних відвалів вугільних шахт

У світовій практиці реабілітації техногенних геосистем намітився новий підхід, пов'язаний з максимальним використанням регенераційних можливостей природних екосистем для відтворення ресурсних і екологічних функцій порушених ландшафтів – екологічна реставрація. Використання потенціалу перетворювальної функції адаптованих рослинних угруповань дає змогу значно знизити інтенсивність процесів денудації техногенних субстратів, ініціювати в них ґрунтоутворювальні процеси. Новоутворені компоненти молодих геосистем розглядаються як, недорозвинені, примітивні, унікальні, проте, їх еколого-біосферні функції достатньо не вивчені та недооцінені [107, 127, 146].

Девастовані ландшафти спостерігаються у багатьох країнах світу промисловість яких направлена на видобуток корисних копалин. Серед них варто відзначити Німеччину, США, Мексику, Австралію, Індію і Україну. Проблема фітомеліорації девастованих ландшафтів активно вивчається багатьма вченими. Деякі важливі питання фітомеліорації девастованих ландшафтів є не достатньо дослідженими. Такими питаннями є вивчення фітоценотичної структури рослинності різних типів відвалів та вплив екологічних чинників на розвиток рослинного покриву. Надзвичайно актуальним є вивчення фітогенних полів на девастованих ландшафтах, де рослини підпадають під значний техногенний пресинг унаслідок антропогенної діяльності людини [114, 116].

Експериментально встановлено, що зниження рівня кислотності на поверхні відвалу через розведення і вимивання кислоти атмосферними опадами згодом компенсується за рахунок дифузії сульфат-іона з нижчих верств породної маси. Встановлено, що електроліз, що знаходиться в зоні пилоутворення сірчаної кислоти, можна використовувати для переміщення її з найбільш небезпечних для призначених для забудови територій ділянок породного відвалу на інші його частини; знижуючи таким чином токсичність здуває з відвалу породної пилу. Пропускання постійного електричного струму через водонасичену окислену порідну масу збільшує показник її рН на 0,5-1,0 одиниці, що еквівалентно зниженню концентрації сірчаної кислоти в 3-10 разів. Встановлено, що в процесі електророзкислення породної маси водорозчинні сполуки магнію, калію, сірки і мікроелементів, будучи за своєю суттю добривами, підвищують родючість поверхневого шару породного маси і полегшують завдання реалізації біологічного закріплення відвалів [11, 88].

При проведенні рекультиваційних робіт процес відновлення рослинних екосистем відбувається значно швидше, однак, в посадках сосни звичайної відновлення надгрунтового покриву йде набагато інтенсивніше, ніж в дрібнолистих насадженнях. Найбільші величини проективного покриття трав'янистої рослинності в процесах природного заростання відзначені на заболочених мікропониженнях, на ділянках відвалів, оточених степовою рослинністю і серед деревно-чагарникової азотонакопичувальної рослинності, де зазначено найвищу різноманітність видового складу. Характер природного самозаростання багато в чому залежить від експозиції схилів відвалів, їх крутизни, природного терасування і напрямків ерозійних процесів [8, 22, 25, 77].

Підбір порід для рекультиваційних робіт повинен проводитися з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов, рельєфу місцевості, інтенсивності ерозійних процесів та базуватися на таких якісно важливих характеристиках видів, як: олігонітрофільність, солестійкість і посухостійкість. Порооди повинні бути обов'язково аборигенними і за своїм видовим складом подібними з проростаючими в близьких до відвалів лісових масивах. На процеси становлення штучних лісових угруповань і природного самозаростання крім хімізму ґрунту, великий вплив має формування насіння і проростків. Його утворення зумовлене наявністю сусідніх джерел насіння і шляхами їх перенесення. Нерідко, природного перенесення насіння може не вистачити і тоді, необхідне штучне цілеспрямоване антропогенне перенесення насіння в екосистеми, що формуються. Для поліпшення розвитку фітоценозів, що формуються, і прискорення ґрунтоутворювальних процесів необхідне поетапне внесення в новоутворений ґрунт відповідних бактерій, мікроорганізмів і міцелію грибів-мікоризоутворювачів, які можна взяти з верхнього шару ґрунту подібних екосистем. При закритті відпрацьованих територій родовища, необхідне обов'язкове проведення ландшафтної реконструкції та виконання заходів щодо поліпшення структури ґрунтів. Слід також врахувати, що природне поновлення не є альтернативою лісової рекультивації, це лише спосіб більш повного використання регенераційних природних можливостей [75, 77, 110].

В результаті багаторічних спостережень за видовим складом агрофітоценозів встановлено, що флора спланованих розкривних відвалів представлена 184 видами, що відносяться до 134 родів і 44 родин. Найбільш багатовидові виявилися родини *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*, *Salicaceae* і пологи *Salix*, *Potamogeton*, *Trifolium*, *Vicia*, *Artemisia*. Видове різноманіття досягається за рахунок збільшення числа сімейств і пологів рослин, що мешкають на

відвалах, а не за рахунок збільшення різноманітності всередині останніх. До групи видів, віднесених за літературними даними до засмічених, належить близько 60%, близько 21% раніше до таких не ставилися, а близько 19% посіяно або висаджено нами. За кількістю видів серед екологічних груп виділяються мезофіти, на частку яких припадає понад 60%, серед біологічних груп – трав'янисті багаторічники, особливо серед висіяних видів, одно-дворічні, особливо серед аборигенів, серед життєвих форм – реліктові рослини. Серед висіяних видів переважають види з Голарктичним, євразійським, євросибірським ареалами. Серед аборигенних видів – з Голарктичним, євразійським, північноєвропейським, та євросибірським ареалами.

Вертикальна структура рослинних угруповань характеризується значною висотою травостою, що перевищує висоту травостою раніше існуючих тут суходільних луків. Це пов'язано з особливостями родовищ кам'яного вугілля, і може служити геоіндикаційною ознакою. Розподіл надземної фітомаси по вертикальному профілю залежить від відносного віку відвалів і складу травосуміші. Графіки процентного розподілу надземної фітомаси по вертикальному профілю мають вигляд піраміди, характерний для суходільних луків, в травосумішах, в яких домінують злаки або злаки разом з бобовими.

Горизонтальна структура агрофітоценозів на другий-третій рік стає такою, яка існує в зональних фітоценозах: переважають види з контагіозним розподілом видів. Відсоток видів, що характеризуються випадковим розподілом, поступово знижується. Види з регулярним розподілом відсутні.

Надземна фітомаса створених агрофітоценозів не поступається такій раніше існуючих тут суходільних луків, а іноді і перевищує її. Середні багаторічні значення повітряно-сухої надземної фітомаси в агрофітоценозах, сформованих на

четвертинних відкладах – $37,4 \pm 6,6$ ц/га, ліміти від 27,5 до 49,3 ц/га; на пермських – $28,7 \pm 3,0$ ц/га, ліміти від 21,8 до 42,8 ц/га. Переважають злаки і бобові, тому якість травостою хороша. Але, на відміну від зональних співтовариств, тут різко підвищується внесок в надземну фітомасу цих двох господарсько-ботанічних груп; роль різнотрав'я, в основному, виконують синантропні види. Відмінною рисою створених спільнот є відсутність в травостой осік, які в невеликій кількості відзначені тільки в сирих місцях біля водойм. Підземна фітомаса значно нижче за аналогічний показник існуючих тут суходільних луків, тому загальна біомаса менше, ніж в суходільних луках [42, 119].

Лісорослинні умови породного відвалу несприятливі, внаслідок чого рослинний покрив породного відвалу неоднаковий. Видове різноманіття знаходиться в тісному зв'язку з лісовою приналежністю ґрунтового покриву ділянок відвалу. Ґрунти відвалу переущільнені, сильно кам'яністі, засолені, характеризуються кислою реакцією середовища, недостатньою кількістю вологи і поживних елементів. Для формування стійкого біоценозу на породному відвалі необхідно підбирати деревні породи з урахуванням лісорослинних умов, які є кислото-, соле-, посухостійкими, а також невимогливими до ґрунтового харчування. Рослинність в значній мірі дозволяє зменшити стік води, що утворюється при випаданні зливових опадів. Трав'яниста рослинність дозволяє повністю запобігти утворенню стоку і сприяє більш рівномірному розподілу вологи на поверхні відвалу. Деревна рослинність чинить менший стокорегулюючу дію, проте формування стійкого фітоценозу на породному відвалі неможливе без неї і вимагає застосування комплексу фітомеліоративних заходів. Найбільшу ефективність дає озеленення породних відвалів з паркового типу, яке включає висадку деревних і

чагарникових порід одночасно з висіванням трав'янистої рослинності.

З метою запобігання деформацій породних відвалів, зниження інтенсивності ерозійних процесів та підвищення ефективності фітомеліоративних заходів відводити вологу з плоскої вершини з подальшим її очищенням і використанням для рівномірного зволоження лісонасаджень на породному відвалі [36, 137, 141].

Вивчено досвід проведення біологічної рекультивації на порушених землях урбанізованих територій (золовідвалах і шламонакопичувачах), що дозволяє стверджувати, що найбільш розповсюдженим способом усунення їх цвітіння є створення рослинного покриву. У зв'язку з чим, необхідна розробка ефективних технологій біологічної рекультивації з використанням методів і способів меліорацій. Запропоновано класифікацію меліорацій, використовуваних на біологічному етапі рекультивації порушених земель. Встановлено, що застосування різних видів меліорацій, що реалізуються проведенням меліоративних заходів, які, в свою чергу, виконуються відповідними способами, забезпечує формування культурного ландшафту на рекультивованій території. Розроблено і теоретично обґрунтовано етапи створення штучного фітоценозу на порушених землях урбанізованих територій при їх біологічній рекультивації. Складено теоретичну схему формування штучних фітоценозів на порушених землях при біологічній рекультивації з використанням фітомеліорації, яка дозволяє визначити склад операцій технології біологічної рекультивації. Розроблено наукові основи проектування технологій біологічного етапу рекультивації. Встановлено, що теоретичною основою технологій біологічного етапу при санітарно-гігієнічних напрямках рекультивації є застосування прийомів, які забезпечать надійну консервацію порушених земель і спрямовані на поліпшення екологічної

обстановки в районі їх розміщення. Розроблено методику біологічної рекультивації порушених земель із застосуванням технології фітомеліорації у вигляді структурно-функціональної схеми. Внесення мінеральних добрив позитивно вплинуло на фотосинтетичну діяльність посівів травосуміші «еспарцет + пирій + кострець». Максимальні значення фотосинтетичного потенціалу і чистої продуктивності фотосинтезу в середньому за вегетацію спостерігалися при внесенні підвищеної на 30% дози добрив – 4760,4 тис. $\text{м}^2/\text{га} \cdot \text{дн.}$ і $6,5 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{добу}$ відповідно [74, 78, 129].

1.5. Питання рекультивації та фітомеліорації породних відвалів вугільних шахт в Україні

За добу із терикона виділяється 10 тонн окисів вуглецю, 1,5 тони сірчистого ангідриду та значна кількість газоподібних речовин, оскільки усі відвали містять FeS_2 [96]. Значні площі не рекультивованих земель, що з'явилися за останні десятиліття в Нововолинському гірничопромисловому районі, визначили особливу актуальність вивчення темпів і механізмів самозаростання техногенних відвалів гірничих порід. Закономірності становлення ґрунтів і екосистем в екстремальних умовах техногенних ландшафтів, можливості регенераційних геосистем в запобіганні екологічному впливу на суміжні землі залишаються маловивченими науковими проблемами світового масштабу [94, 125].

Терикони без рослинного покриву характеризуються надзвичайно високим виносом продуктів ерозії з їх поверхні за час існування: від 2568 до 3450 т/га. Залісення відвалів дозволяє підвищити водопроникність породи з 2,2-4,3 мм/хв до 10,3-11,0 мм/хв за першу годину вбирання води, що є достатнім для повного запобігання поверхневому стоку і змиву породи з відвалів. Екологічна небезпека процесу надходження породи, що змивається або видувається з

відвалів, на територію, що оточує їх, визначається високим вмістом в породі важких металів, особливо Ni, Pb і Cu, що перевищує ГДК рухомої форми відповідно в 1,5-2,5, 3,5-7 і 3,3-5 разів. Тому заліснення відвалів, здійснюване при їх включенні до регіональної екомережі, яке запобігає виносу з їх поверхні породи, радикально зменшує їх екологічну небезпеку відвалів для прилеглої території [37, 140].

Питанням рекультивації, фітомеліорації, екологічної небезпеки териконів у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну присвячено чимало праць українських вчених. Зокрема, у роботі [93] встановлені особливості розвитку аномалій техногенних забруднювачів геоекологічного середовища, а також вплив більшості хімічних сполук і газів на екологічну ситуацію та зміну хімічного складу ґрунтів, рослинності, атмосфери. Визначені зміни ландшафтно-геохімічного стану території, зумовлені техногенними чинниками (утворенням териконів) та активізацією геохімічних процесів у ґрунтах – розвитком засолення хлорид і сульфат-іонами.

Особливості проведення фіторекультивації на териконах Червоноградського гірничопромислового району вивчалися у науковій праці [5] де встановлено, що у процесі природнього заростання беруть участь представники родин *Fabaceae*, *Rosaceae*, *Lamiaceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*. Також трапляються термофільні види, що пояснюється наявністю ділянок із теплотворним субстратом.

Аналіз заходів із фітомеліорації териконів, які піддаються впливу підвищених температур через самозаймання породи, висвітлені у монографії [84]. Встановлено, що температура на поверхні терикона зазнає впливу сезонних коливань та залежить від процесу горіння в осередку. На відстані понад 4 метри від поверхні терикона вплив сезонних коливань температури відсутній. Кліматопо відвалів формується залежно від орієнтації схилів (північ-

південь, захід-схід) та характеру поверхні едафотопу. Оптимальними для зарощування є схили північної орієнтації (північний, північно-західний, північно-східний), на яких краще утримується волога. Для схилів південних експозицій характерними є ксерофітні умови (відносна вологість субстрату 37%).

Безпосередньо вивченням процесів фітомеліорації поблизу місць самозаймання на териконах Нововолинського гірничопромислового району присвячена наукова праця [85]. Встановлено, що процеси горіння породи спостерігаються на середньому рівні терикона, температура осередків виходу продуктів горіння та газів становить +35-47°C. Біля місць самозаймання ростуть *Taraxacum officinala* Wigg., *Leontodon autumnalis* L., *Polytrichum commune* Sp. У радіусі 5 м від місць самозаймання ростуть деревні види – *Betula pendula* Roth., *Robinia pseudoacacia* L., *Pinus sylvestris* L. Процес природного заростання терикона ускладнюється внаслідок самозаймання та просідання породи. Проте у наведеній праці питання гірничотехнічного етапу рекультивації згасаючих та діючих териконів вугільних шахт вивчені недостатньо.

Породний відвал ПАТ «Львівська вугільна компанія» с. Сілець Сокальського району Львівської області, за визначеними фізико-хімічними властивостями, є моделлю, яка розвивається за природними законами і діє як багатofакторний абіотичний стресор на навколишнє середовище. Екологічне обстеження породних відвалів вугільних шахт показало, що концентрація важких металів - зокрема свинцю, міді, хрому, цинку значно перевищувала ГДК для ґрунту. Застосування капсульованих добрив позитивно діє на основні фізіолого-біохімічні показники рослин-фітотеремедіантів і має певні переваги для адаптації проростків до несприятливих умов субстрату породного відвалу. Зафіксовано значну стимуляцію росту рослин, приросту площі листків та збільшення суми хлорофілів (110-

179 %) і каротиноїдів (116-139 %) у рослин ріпаку, а також білку і амінокислот. Визначені зміни показників оксидативного стресу і вмісту елементів живлення свідчать про зменшення впливу стресового навантаження на рослини ріпаку на субстратах породних відвалів. Показано, що досліджені рослини накопичують важкі метали у наступній послідовності: на субстратах з червоною породою: Zn>Cu>Pb>Fe>Cd>Cr>Ni>Co; на субстратах з чорною породою Zn>Cu>Fe>Pb>Cd>Cr>Ni>Co. Доведено, що коефіцієнт біологічного накопичення важких металів у рослинах олійних культур підвищується завдяки внесенню капсульованих мінеральних добрив, які сприяють біодоступності важких металів до рослин олійних культур. Під час фіторемедіації субстратів природних відвалів виявлено зміни серед фізіологічних груп мікроорганізмів, які відбулися під впливом капсульованих форм нітроамофоски і вирощування олійних культур, що дозволило використати одержані результати як біоіндикаторні показники для встановлення ступеня родючості субстратів породних відвалів. Обґрунтовано ефективність застосування олійних культур як фіторемедіантів породних відвалів вугільних шахт. Кількісні оцінки вмісту Zn, Cu, Pb, Fe, Cd, Cr, Ni, Co у різних видах технічних олійних культур та субстратах, а також зміни їх співвідношення є вихідною базою для подальших моніторингових досліджень у антропогенно-навантажених екосистемах [25].

Ефективна рекультивация ГПТ можлива лише на основі врахування закономірностей їх ландшафтної організації, детального великомасштабного вивчення структури, динаміки і тенденцій розвитку антропогенних геокомплексів. Важливою умовою для такої рекультивациі і створення культурних ландшафтних комплексів є ландшафтно-екологічне проектування. Під час проектування і експлуатації антропогенних геокомплексів необхідно проведення заходів,

що сприяють швидкій стабілізації сучасних природно-антропогенних і фізико-географічних процесів, послаблення рівнів хімічного і радіоактивного забруднення, активізації процесів відновлення ґрунтового і рослинного покривів, таких як вивчення і врахування особливостей ландшафтної структури антропогенних місцевостей, їх ландшафтно-геохімічних і ландшафтно-геофізичних властивостей та проведення біологічної рекультивациі [39].

Висновки до розділу 1

Породні відвали вугільних шахт спричиняють значний техногенний пресинг на довкілля та біоту. Проблема екологічної безпеки набула світового масштабу. Гірничопромислові комплекси розосереджені у нашій державі на сході та заході. У зв'язку із цим фітомеліоративні підходи відрізняються, оскільки передбачають різні едафо-кліматичні умови та видовий склад рослинності. Додатковими перешкодами при проведенні підготовчого етапу рекультивациі є явища горіння відвальної породи та просідання, а також зсуви на териконах.

Для ефективного проведення фітомеліоративних та рекультивацийних заходів необхідно вивчити особливості едафічного та мікрокліматопічного впливу, а також життєвість та стійкість видового складу.

РОЗДІЛ 2. ЕДАФО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ МАЛОГО ПОЛІССЯ У ЗВ'ЯЗКУ З ПОТРЕБОЮ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТА ФІТОМЕЛІОРАЦІЇ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ В ЗОНІ ВУГЛЕВИДОБУТКУ

2.1. Кліматичні особливості і мезоклімат

Лісогосподарський район Малополіської низовини розташований в основному в північній частині Львівської області, з незначним виходом в південну частину Рівненської та північну частину Тернопільської та Хмельницької областей [2, 81, 83]. Північна межа району простягається від державного кордону з Республікою Польща по південному краю Волинської височини, проходить на південь від м. Дубно на Острог і Славути. Західна сторона обмежена державним кордоном з Республікою Польща, південна - проходить біля підніжжя Розточчя, Опілля, Подільського плато, тобто від Рави-Руської на Винники, Підкамінь, Кременець, Полонне Хмельницької області.

Екологічна ситуація в Сокальському районі є однією з найважчих на Львівщині, що викликано техногенним впливом на довкiлля таких галузей промисловості, як вуглевидобувна, вуглезбагачувальна та хімічна. Велика частина земель району зайнята породними вiдвалами вугiльних шахт (териконами) [73].

На території Сокальського адміністративного району Львівської області зосереджений Червоноградський гірничопромисловий район, який за геолого-промисловим районуванням належить до центральної частини Львівсько-Волинського вугільного басейну, розташованого при західному кордоні України із Польщею на межі Волинської та Львівської областей. Цей басейн є південно-східною околицею крупного за площею, поширеного і на території Польщі вугільного басейну, який називають Люблінським.

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 яких 265,9 гектари і об'єм накопичених відходів 42,1 мільйона метрів кубічних), 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% [73].

Рельєф Малополіської низовини рівнинний, місцями - горбистий, висота - 200-270 м н. у. м. (рис. 2.1). У верхів'ях Бугу добре помітні подовжені пасма пагорбів між окремими притоками і долинами, часто затоплювані весняними водами.



Рисунок 2.1 – Типовий малополіський ландшафт (НПП «Мале Полісся»)

Клімат району відноситься до атлантично-континентального типу. Вегетаційний період триває приблизно 210 днів (рис. 2.2).

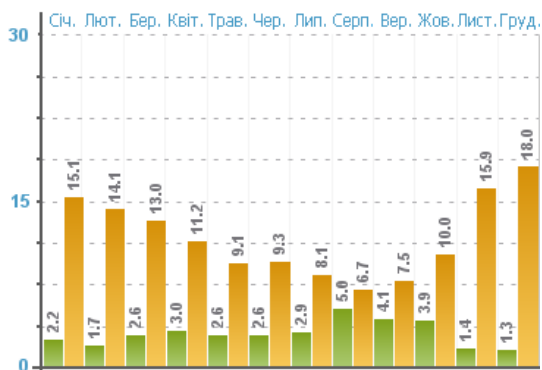


Рисунок 2.2 – Кількість ясних і похмурих днів за загальною та нижньою хмарністю (за даними «Укргідрометцентру» на станції Рава-Руська з 1899 року)

Кількість опадів – значна, близько 700 мм в рік (в Острозі – 630 мм, Бродях – 742 мм, Раві-Руській – 718 мм) (рис. 2.3).

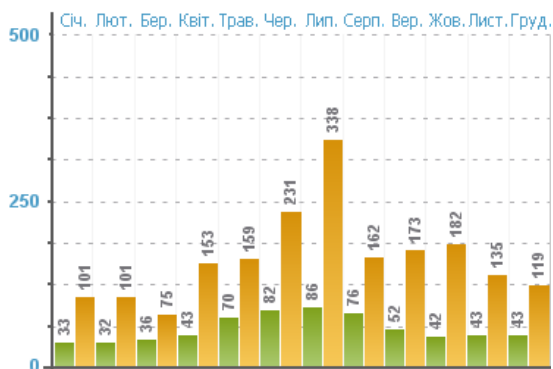


Рисунок 2.3 – Середня місячна і максимальна кількість опадів (мм) з поправками на змочування (за даними «Укргідрометцентру» на станції Рава-Руська з 1899 року)

Середня температура повітря – $7,5^{\circ}\text{C}$, зима м'яка, літо помірно тепле. Тут часто мають місце пізні весняні заморозки (рис. 2.4).

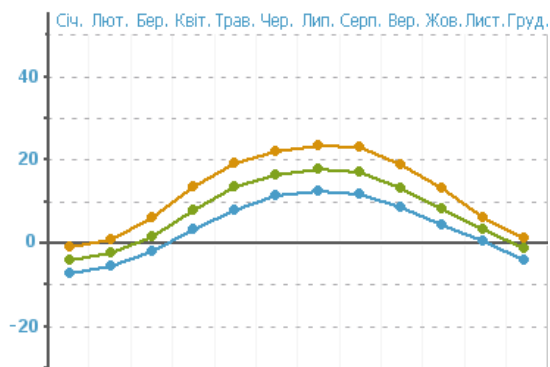


Рисунок 2.4 – Середня місячна і річна температура повітря ($^{\circ}\text{C}$) (за даними «Укргідрометцентру» на станції Рава-Руська з 1899 року)

Переважають західні і північно-західні вітри з невеликими швидкостями, хоча зрідка дмуть вітри, що досягають 20-25 км/год (рис. 2.5).

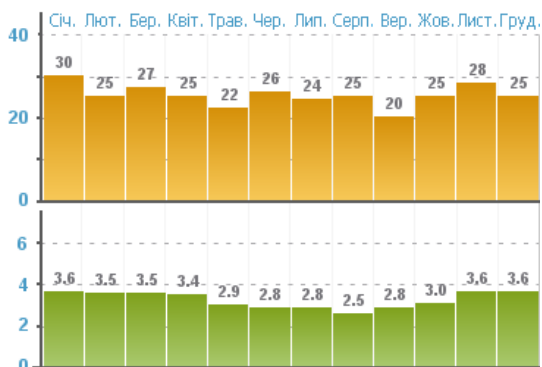


Рисунок 2.5 – Швидкість вітру (м/с) (за даними «Укргідрометцентру» на станції Рава-Руська з 1899 року)

Одними із найбільших забруднювачів атмосферного повітря в межах Сокальського адміністративного району та Червоноградського промислового району є підприємства гірничої промисловості, які входять до складу державного підприємства “Львіввугілля” та ПАТ «Львівська вугільна компанія» (Центральна збагачувальна фабрика «Червоноградська»). 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 інградієнтами: 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 [73].

У Малому Поліссі проводяться розробки торфу, скляних пісків та ін. Лісистість району Малополицької низовини становить 25% і коливається від 22,5% в Буському районі до 33,9% у Бродівському районі [84, 86].

2.2. Ґрунтовий покрив і ґрунтовірні породи

Ґрунтоутворюючі породи дуже різноманітні: найбільш поширені водно-льодовикові і давні алювіальні піски, менш поширені – мергель і лесовидні суглинки; по долинах річок – сучасні наноси з піщаних суглинків. У зв’язку з таким розмаїттям геологічної будови цей район відрізняється великою строкатістю ґрунтового покриву. Найбільш поширені дерново-слабопідзолисті піщані і супіщані ґрунти, а в понижених місцях – оглеєні. У місцях виходу до поверхні мергелів знаходяться перегнійно-карбонатні ґрунти (рендзини), в більшості випадків вони розорані. По долинах річок і інших зниженнях переважають лучно-дернові, лучно-дерново-глейові або торф’яно-болотні ґрунти. Зрідка, звичайно на підвищеннях, на лісовидних суглинках зустрічаються сірі лісові ґрунти [84].

Дерново-підзолисті ґрунти поділяють на слабо-, середньо- і сильно підзолисті. Більше половини цих ґрунтів у

межах Малого Полісся зазнають надмірного зволоження за рахунок неглибоко залягаючих підземних вод, тобто відносяться до глеюватих та глейових [58-59].

Дерново-слабопідзолисті піщані ґрунти є збідненими. Вони містять 0,6-1,3% гумусу, слабо забезпечені рухомими поживними речовинами (азот – 1,1-6,5, фосфор – 0,4-5,5, калій – 0,3-4,5 мг на 100 г ґрунту). Реакція ґрунтового розчину середньокисла (рН = 4,7-5,4). Сума ввібраних основ становить 1,0-2,6 мг-екв на 100 г ґранту, ступінь насичення основами – 22,1-38,5%. Гідролітична кислотність невисока і складає 1,5-3,3 мг-екв на 100 г ґрунту, що пов'язано із дуже малою місткістю вбирання.

За холодний період року ґрунт промерзає в середньому на 40 см, найбільша глибина промерзання - 84 см. Нормативна глибина промерзання ґрунту складає до 0,8 м. Стійкий сніговий покрив утворюється в кінці другої-третьої декади грудня і остаточно сходить у першій декаді березня. Висота снігового покриву змінюється від 9 до 43 см.

2.3. Рослинний покрив і фіторізноманіття

У Малому Поліссі дубові ліси представлені дубом черешчатим, виростають окремими ділянками; на піднесених місцях рельєфу, на суглиннистих ґрунтах зустрічаються і дуб гірський (скельний). В основному це насадження штучного походження. В лісових культурах Бродівського лісгоспу значну роль відіграє дуб північний, який вводить у вигляді супутньої породи на менш родючих ґрунтах.

Невеликі ділянки займають лісові насадження з переважанням ясена, липи, клена, в яких зазвичай зустрічаються дубові насадження. У ряді лісгоспагів створені так само культури горіха волоського, бука, білої акації і деяких інших порід [84].

Залежно від ґрунтових умов і рельєфу в даному лісгосподарському районі формуються різноманітні типи

лісу, головним чином в сугрудових і суборевих типах лісорослинних умов (табл. 3.1).

Таблиця 2.1

Розподіл площі лісового фонду Малопопільський низовини по
типам лісорослинних умов, %

Тип лісорослинних умов	Всього	У тому числі за ступенем зволоження				
		сухі	свіжі	вологі	сирі	мокрі
Бори	3,2	0,3	1,4	1,2	0,3	-
Субори	32,6	-	14,3	16,5	1,6	0,2
Сугрудки	61,8	-	14,2	37,5	9,6	0,5
Груди	2,4	-	0,9	1,3	-	0,2
Всього	100	0,3	30,8	56,5	11,5	0,9

Сугруди представлені грабовими судібровами (вологі займають 37,5%, свіжі – 14,5%). Це найбільш продуктивні в цьому районі насадження: в 1-му ярусі росте сосна – I-Ia бон., У 2-му дуб – I-II бон. з домішкою клена, липи, в 3-му – граб, груша, яблуня, з густим підліском з ліщини та інших чагарників. У похідних насадженнях зустрічаються березняки, осичняки, Грабняк, багато чисто соснових культур, які відрізняються дуже низькою стійкістю до снігу. У сирих і заболочених сугрудках (С4, С5) переважають насадження вільхи чорної, з домішкою осики, сосни II-III бонітету.

Продуктивність лісів в більшості типів лісу висока. Бонітет соснових лісів зазвичай III (Ia), листяних порід – II-III (I). Особливо високою продуктивністю відрізняються соснові, модринові, ялинові культури, що досягають рекордної для даних місць продуктивності: в наступають віці – 460-600 м³/га. Однак середні показники по району невисокі: приріст – 4,5 м³/га, загальний запас – 160 м³/га, запас стиглих і пристигаючих деревостанів – 250 м³/га.

При веденні господарства в лісах зелених зон основне завдання має полягати в створенні довговічних сосново-дубових насаджень з максимальним введенням (куртинами, окремими насадженнями) екзотів: модрини, сосни Веймутова, дуба північного, псевдотсуґи та інших декоративних і плодкових деревних порід. Для підвищення рекреаційної цінності зелених зон слід збільшити домішку плодкових чагарників – смородини чорної, обліпихи, аронії чорноплідної, шипшини та ін. В придорожніх і захисних лісах необхідно більше уваги приділяти введенню листяних порід, що знижують пожежну небезпеку – дуба північного, липи, берези, декоративних і плодкових чагарників.

2.4. Гідрологічна мережа

Водозберігаюча захисна роль лісів району порівняно невелика, але, будучи розташованими в верхів'ях таких річок, як Стир, Полтва, Буг, Іква, вони регулюють стік та надходження води в ці річки. У південно-східній частині району лісу, розташовані на височинах, відіграють окрім того, важливу протиерозійну роль.

За допомогою відкритих джерел, зокрема інформаційно-аналітичної системи «*Open environment*» (<http://www.openenvironment.org.ua/>) нами було згенеровано для досліджуваного регіону карти забруднення гідрологічної мережі (басейну ріки Вісла) (рис. 2.6) [111].



Рисунок 2.6 – Карта з відмітками відбору даних про геохімічний склад водойм

Гідрологічна мережа басейну ріки Вісла характеризується неоднорідністю фізико-хімічного складу та за деякими показниками вміст небезпечних речовин перевищує гранично допустимі концентрації. Детальніший моніторинг забруднення у період 2010-2018 років за окремими показниками наведено на рис. 2.7-2.15.

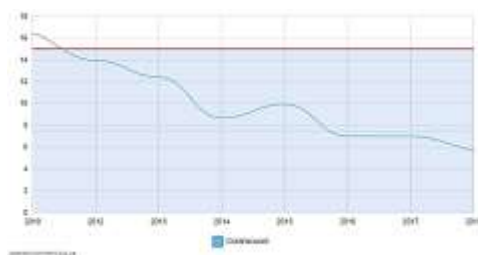


Рисунок 2.7 – Завислі (супендовані) речовини, мг/дм³
(допустима норма 15 мг/дм³)

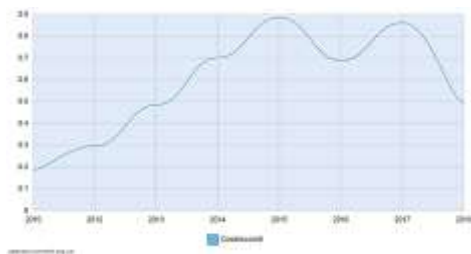


Рисунок 2.8 – Фосфат-іони (поліфосфати), мг/дм³
(допустима норма 3.5 мг/дм³)

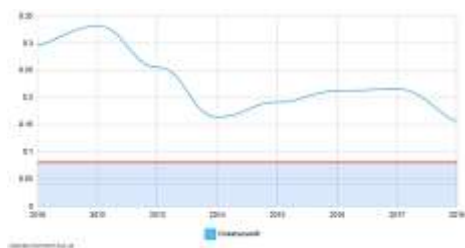


Рисунок 2.9 – Нітрит-іони, мг/дм³ (допустима норма 0.08 мг/дм³)

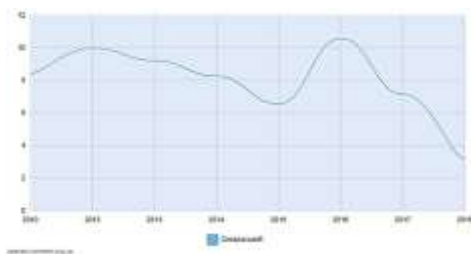


Рисунок 2.10 – Нітрат-іони, мг/дм³ (допустима норма 40 мг/дм³)

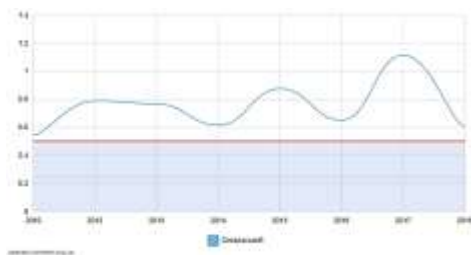


Рисунок 2.11 – Амоній-іони, мг/дм³ (допустима норма 0.5 мг/дм³)

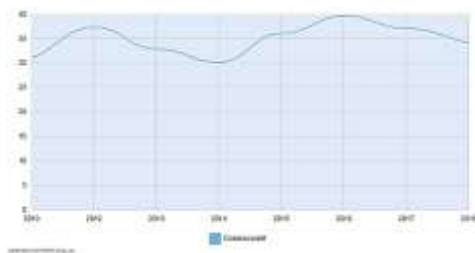


Рисунок 2.12 – Хлорид-іони, мг/дм³ (допустима норма 300 мг/дм³)

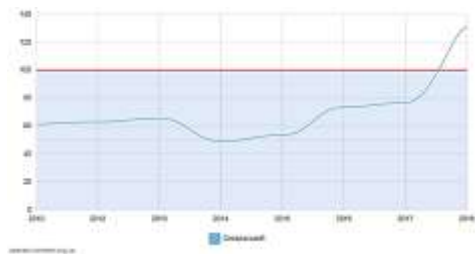


Рисунок 2.13 – Сульфат-іони, мг/дм³ (допустима норма 100 мг/дм³)

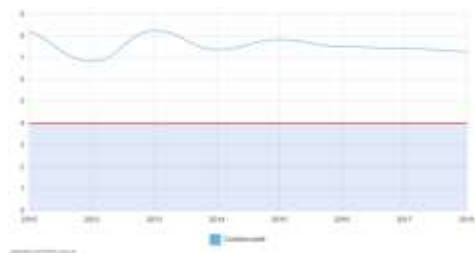


Рисунок 2.14 – Кисень розчинений, мгО₂/дм³
(допустима норма 4 мгО₂/дм³)

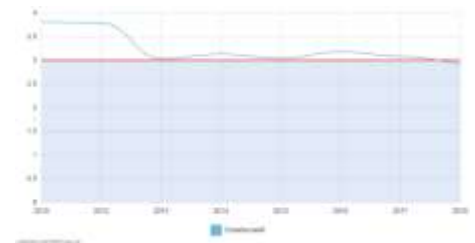


Рисунок 2.15 – Біохімічне споживання кисню за 5 діб, мгО/дм³
(допустима норма 3 мгО/дм³)

Таким чином вміст небезпечних речовин у гідорологічній мережі на території Львівсько-Волинського вугільного басейну за деякими показниками перевищує допустимі норми. Безпосередній вплив на забруднення як поверхневих, так і підземних вод має вуглевидобувна галузь та хімічне виробництво, яке її супроводжує.

2.5. Об'єкт, предмет та методи дослідження

Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн розташований у західній частині України, у середній течії р. Західний Буг (рис. 1.1) [15]. Перші відомості про басейн з'явилися у 1810 р., а в 1950 р. тут були закладені перші шахти [99]. Площа басейну займає північно-західну частину Львівської та південно-західну частину Волинської областей [13]. На заході басейн продовжується на території Польщі, де має назву Люблінського басейну [31].

Загальна площа басейну близько 10000 км². За територіальною приналежністю, особливостями геологічної будови і вугленосності, ступенем розвіданості й освоєння в басейні виділяється три вуглепромислові райони: Нововолинський, Червоноградський і Південно-Західний (рис. 2.16).

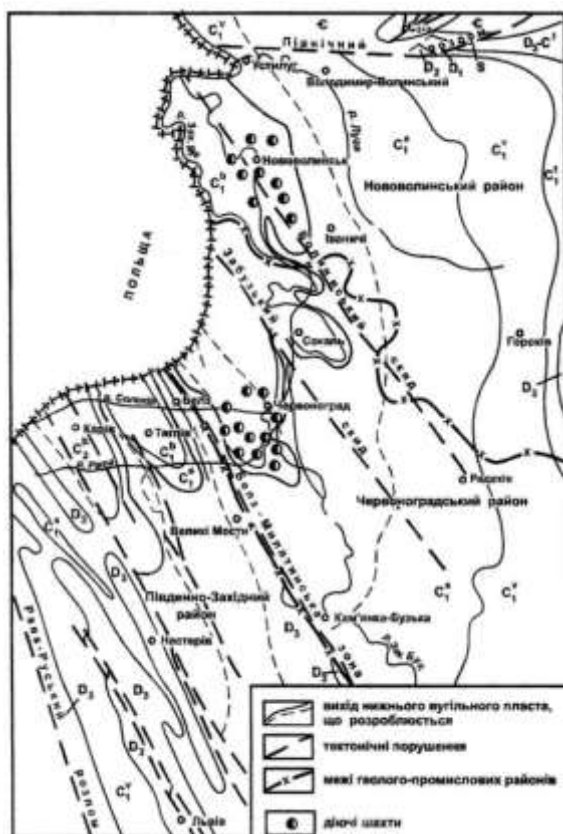


Рисунок 2.16 – Схематична карта-схема Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну (за Михайлов В. А., Курило М. В., Омельченко В. Г., Мончак Л. С.)

Червоноградський гірничопромисловий район займає центральну частину Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну і на північному сході межує з Нововолинським районом [23]. Східна і південна границі проходять по смугі нижньовізейських вапняків, а південно-західна вздовж Великомоствівського насуву, який на північному-сході переходить в Кам'яно-Бузьку тектонічну зону.

На території Львівсько-Волинського вугільного басейну у стадії ліквідації перебувають 8 шахт, які накопичили відвальну породу на 20-ти згаслих териконах. За формою згаслі терикони є конічні, з усіченим конусом, плоскі та хребтоподібні. Така різна форма зумовлена як порядком відсипання породи, так і намаганнями провести гірничотехнічний етап рекультивації. Загалом згаслі терикони займають площу 95,2 га та накопичують 16589300 м³ породи. Найвищу висоту над рівнем моря мають терикони «Шахти №2 Нововолинська» (59,8 м) та «Шахти №8 Нововолинська» (66 м).

Центральна збагачувальна фабрика “Червоноградська” (зараз ПАТ «Львівська вугільна компанія») – місце знаходження: м. Соснівка, Львівська область, залізнична станція Сілець-Завоне.

Збудована за проектом інституту “Південдіпрошахт” і введена в дію у 1979 році. Проектна потужність, яка була на той час найбільшою у Європі становила 9600 тис. тон на рік, що передбачало охоплення збагаченням усього вугілля, яке видобувалося шахтами Львівсько-Волинського вугільного басейну. Товарний концентрат призначався для постачання на теплові електростанції Західного регіону і, частково, на коксохімічні заводи Придніпров’я. Фабрика має потужний вуглеприйм (3 бокові вагоноперекидачі), значну ємність дозувально-акумуляюючих бункерів, двосекційну (по 2 потоки) технологічну схему з глибиною збагачення 0 мм: клас 13-150 мм – у важкосередовищних сепараторах, 0-0,5-13 мм у відсаджувальних машинах, шлам 0-0,5 мм – флотацією. В подальшому флотаційне відділення було демонтоване, у водно-шламову схему внесені відповідні зміни. На фабриці встановлене додаткове обладнання (гідроциклони, гвинтові сепаратори, фільтр-преси) для збагачення шламового продукту, що виймається з мулонакопичувача, з метою

одержання паливного продукту. Біля фабрики сформовано породний відвал (рис. 2.17).



Рисунок 2.17 – Породний відвал ПАТ «Львівська вугільна компанія» (ЦЗФ «Червоноградська») та розвиток сосни звичайної на його поверхні

ДП «Шахта №9 Нововолинська» об'єднання «Волиньвугілля». На південному заході від шахти розміщено два відвали вугледобування, які мають спільну основу. Відвал №1 – недіючий, конічної форми. Початок експлуатації відвалу здійснено у 1961 році, закінчення відсипання – у 1982 році. Висота відвалу – 59,8 м, площа основи – 47,1 тис. м², об'єм породи у відвалі 1050 тис. м³. Деформації відвалу не спостерігалися [84].

Відвал №2 – діючий, плоскої форми. Початок експлуатації відвалу здійснено у 1981 році. Висота відвалу – 24,2 м, площа основи – 56 тис. м², об'єм породи у відвалі 1360 тис. м³, річний обсяг за складованої породи – 11 тис. м³. Кількість викидів забруднюючих речовин становить 8,183 т/рік. Деформації відвалу не спостерігалися [84].

Процес природного заростання відбувається на схилах та біля підніжжя териконів. Тут представлені деревні види –

Betula verrucosa Ehrh., *Pinus sylvestris* L, *Robinia pseudoacacia* L. [80, 84].

Пробна площа № 1

Об'єкт: *Pinus sylvestris* L., яка зростає на поверхні терикону центральної збагачувальної фабрики “Червоноградська” розташованої у м. Соснівка, Львівська обл., залізнична станція Сілець-Завоне.

Проби відбирались 09.10.2020 р. в період 13⁰⁰ – 14⁰⁰.
Погодні умови: низька хмарність, температура повітря становила 19°C, відносна вологість повітря 60-65%, швидкість вітру 1,5 м/с. Розміри сосни звичайної: висота - 3,0 м., проекція крони – 2,7 x 2,4 м (рис.2.18).



Рисунок 2.18 – *Pinus sylvestris* L. на поверхні терикону центральної збагачувальної фабрики

Сосна звичайна зростає на поверхні відвалу у складних екологічних умовах, поруч із насипами порід та ділянок, які в результаті тривалих природних фітомеліоративних процесів покриті трав'яним вкриттям та деревно-чагарниковим насадженнями. Поруч зростають береза бородавчаста (*Betula pendula* Roth.), глід одноматочковий (*Crataegus monogyna*

Ясц.) та верба козяча (*Salix caprea* L.), робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia* L.). Значна частка із супутніх насаджень перебуває у висихаючому та сухостійному стані (50-60%). Трав'яне вкриття носить сліди вигорання спричиненого природним освітленням. Температура ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 13,9°C, на межі намету крони – 15,7°C, на відкритому просторі - 16,5°C. Вологість ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 84,7%, на межі намету крони – 70,5%, на відкритому просторі – 62,6%. Рівень освітлення: під наметом крони – 12900 лк., на межі намету крони – 20700 лк., на відкритому просторі – 47500 лк.

Пробна площа № 2

Об'єкт: *Pinus sylvestris* L., яка зростає біля підніжжя терикону центральної збагачувальної фабрики “Червоноградська” розташованої у м. Соснівка, Львівська обл., залізнична станція Сілець-Завоне. Проби відбирались 09.10.2020 р. в період 13⁰⁰ – 14⁰⁰. Погодні умови: низька хмарність, температура повітря становила 18°C, відносна вологість повітря 68%, швидкість вітру 1,0 м/с. Розміри сосни звичайної: висота – 1,6 м., проекція крони – 1,2 x 1,1 м (рис. 2.19).



Рисунок 2.19 – *Pinus sylvestris* L. біля підніжжя терикону центральної збагачувальної фабрики

Сосна звичайна зростає біля підніжжя відвалу у помірно девастованих умовах. Поруч зростають береза бородавчаста (*Betula pendula* Roth.), глід одноматочковий (*Crataegus monogyna* Jacq.) та верба козяча (*Salix caprea* L.), робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia* L.), поодинокі верба біла (*Salix alba* L.). Частка насаджень, які перебувають у висихаючому та сухостійному стані коливається у межах 20%. Присутнє більш різноманітне трав'яне вкриття, сліди природного вигорання менші, ніж на поверхні.

Температура ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 12,3°C, на межі намету крони – 13,5°C, на відкритому просторі – 16,3°C.

Вологість ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 85,3%, на межі намету крони – 77,5%, на відкритому просторі – 63,9%.

Рівень освітлення: під наметом крони – 11350 лк., на межі намету крони – 13000 лк., на відкритому просторі – 46130 лк.

Пробна площа № 3

Об'єкт: *Pinus sylvestris* L., яка зростає на віддалі 100 м від підніжжя Центральної збагачувальної фабрики “Червоноградська” розташованої у м. Соснівка, Львівська обл., залізнична станція Сілець-Завоне.

Проби відбирались 09.10.2020 р. в період 14⁰⁰ – 15⁰⁰.

Погодні умови: середня хмарність, температура повітря становила +17°C, відносна вологість повітря 69%, швидкість вітру 1,7 м/с.

Розміри сосни звичайної: висота – 5,0 м., проекція крони – 4,3 x 4,0 м (рис. 2.20).



Рисунок 2.20 – *Pinus sylvestris* L. на віддалі 100 м від терикону
центральної збагачувальної фабрики

Сосна звичайна зростає біля підніжжя відвалу у практично природних умовах, вплив деградації менший. Поруч зростають береза бородавчаста (*Betula pendula* Roth.), глід одноматочковий (*Crataegus monogyna* Jacq.) та верба козяча (*Salix caprea* L.), робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia* L.), верба біла (*Salix alba* L.), поодинокі дуб звичайний (*Quercus robur* L.) та осика (*Populus tremula* L.). Частина насаджень, які перебувають у висихаючому та сухостійному стані коливається у межах 5%. Присутнє інтенсивне лучне трав'яне вкриття, слідів вигорання не виявлено. Присутні незначні пониження рельєфу із слідами заболочення.

Температура ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 12,0°C, на межі намету крони – 13,1°C, на відкритому просторі – 16,0°C.

Вологість ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 86,8%, на межі намету крони – 79,5%, на відкритому просторі – 65,2%. Рівень освітлення: під наметом крони – 10820 лк., на межі намету крони – 12300 лк., на відкритому просторі – 42200 лк.

Пробна площа № 4

Об'єкт: *Pinus sylvestris* L., яка зростає на віддалі 2 км від підніжжя Центральної збагачувальної фабрики “Червоноградська” (контроль)

Проби відбирались 09.10.2020 р. в 15⁰⁰. Погодні умови: середня хмарність, температура повітря становила 16°C, відносна вологість повітря 70%, швидкість вітру 2,0 м/с. Розміри сосни звичайної: висота - 8,0 м., проекція крони – 5,5 x 4,5 м (рис. 2.21).



Рисунок 2.21 – *Pinus sylvestris* L. на віддалі 2 км від терикону центральної збагачувальної фабрики

Сосна звичайна зростає у лісовій місцевості (на віддалі до 300 м від траси Львів-Червоноград), на рівнинному ландшафті у природних умовах, вплив деградації відсутній. Поруч зростають наступні деревні породи: береза бородавчаста (*Betula pendula* Roth.), дуб звичайний (*Quercus robur* L.).

Присутнє інтенсивне лучне трав'яне вкриття, з нормальним розвитком. Присутні незначні пониження рельєфу із підвищеною вологістю ґрунту та слідами заболочення. Температура ґрунту під дослідним об'єктом:

під наметом крони – 12,2°C, на межі намету крони – 13,5°C, на відкритому просторі – 16,0°C.

Вологість ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 87,0%, на межі намету крони – 80,4%, на відкритому просторі – 73,5%. Рівень освітлення: під наметом крони - 10500 лк., на межі намету крони - 11180 лк., на відкритому просторі – 40350 лк.

Пробна площа № 5

Об'єкт: *Pinus sylvestris* L., яка зростає на поверхні шахти №3 м.Червоноград

Проби відбирались 09.10.2020 р. в 16⁰⁰. Погодні умови: середня хмарність, температура повітря становила 15°C, відносна вологість повітря 70%, швидкість вітру 2,3 м/с. Розміри сосни звичайної: висота - 2,8 м., проекція крони – 1,7 х 2,0 м (рис. 2.22).



Рисунок 2.22 – *Pinus sylvestris* L. на поверхні терикону шахти № 3

Дослідна сосна звичайна зростає на поверхні відвалу у складних екологічних умовах, поруч із високими териконними насипами порід та ділянок, які в результаті тривалих природних фітомеліоративних процесів покриті трав'яним вкриттям та деревними насадженнями.

Насадження характеризуються бідністю видового різноманіття: основною супутньою породою є береза бородавчаста (*Betula pendula* Roth.), поодинокі трапляється верба козяча (*Salix caprea* L.). У трав'янистому вкритті переважають види родини злакові (Poaceae), подорожникові.

Температура ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 13,0°C, на межі намету крони – 14,1°C, на відкритому просторі – 15,0°C.

Вологість ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 84,0%, на межі намету крони – 72,8%, на відкритому просторі – 65,0%.

Рівень освітлення: під наметом крони – 12520 лк., на межі намету крони – 17450 лк., на відкритому просторі – 44560 лк.

Пробна площа № 6

Об'єкт: *Pinus sylvestris* L., яка зростає біля підніжжя шахти №3 м.Червоноград

Проби відбирались 09.10.2020 р. в 16³⁰. Погодні умови: середня хмарність, температура повітря становила 15°C, відносна вологість повітря 70%, швидкість вітру 1,9 м/с.

Розміри сосни звичайної: висота – 1,8 м., проекція крони – 1,0 x 12 м (рис. 2.23).



Рисунок 2.23 – *Pinus sylvestris* L. біля підніжжя терикону шахти № 3

Дослідна сосна звичайна зростає біля підніжжя відвалу в зоні ділянок, які в результаті тривалих природних фітомеліоративних процесів покритись трав'яним вкриттям та деревними насадженнями. В зоні рівнинного терасованого ландшафту Насадження характеризуються вищим видовим різноманіттям: основною супутньою породою є береза бородавчата (*Betula pendula* Roth.) і поодинокі робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia* L.). У трав'янистому вкритті переважають види родини злакові (Poaceae), подорожникові, гірчак та ін.

Температура ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 13,5°C, на межі намету крони – 14,3°C, на відкритому просторі – 15,0°C.

Вологість ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 84,6%, на межі намету крони – 77,4%, на відкритому просторі – 69,0%.

Рівень освітлення: під наметом крони – 11350 лк., на межі намету крони – 14750 лк., на відкритому просторі – 38540 лк.

Пробна площа № 7

Об'єкт: *Pinus sylvestris* L., яка зростає 100 м від підніжжя шахти №3 м.Червоноград

Проби відбирались 09.10.2020 р. в 17⁰⁰. Погодні умови: висока хмарність, температура повітря становила 15°C, відносна вологість повітря 75%, швидкість вітру 2,5 м/с.

Розміри сосни звичайної: висота – 2,5 м., проекція крони – 1,5 x 1,0 м (рис. 2.24).



Рисунок 2.24 – *Pinus sylvestris* L. за 100 м від підніжжя терикону шахти № 3

Дослідна сосна звичайна зростає за 100 м від підніжжя відвалу в зоні ділянок, які в результаті переходу від природного вкриття до зони, де присутній помітний рівень деградації ландшафту. Трав'яне вкриття більш різноманітне, аніж на підніжжі та вершині терикону. Хоча присутні деградаційні ділянки, де практично відсутнє, через значне ущільнення ґрунту, природне трав'яне поновлення. Характерний видовий склад деревної рослинності: береза бородавчата (*Betula pendula* Roth.), осика (*Populus tremula* L.), робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia* L.).

Температура ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 12,5°C, на межі намету крони – 13,8°C, на відкритому просторі – 14,1°C.

Вологість ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 85,5%, на межі намету крони – 79,0%, на відкритому просторі – 73,5%.

Рівень освітлення: під наметом крони – 10470 лк., на межі намету крони – 12860 лк., на відкритому просторі – 32200 лк.

Пробна площа № 8

Об'єкт: *Pinus sylvestris* L., яка зростає на відкритій місцевості за 2 км від підніжжя шахти №3 м. Червоноград

Проби відбирались 09.10.2020 р. в 17³⁰.

Погодні умови: висока хмарність, температура повітря становила 14°C, відносна вологість повітря 70%, швидкість вітру 3,0 м/с.

Розміри сосни звичайної: висота – 10,0 м., проекція крони – 6,0 x 5,0м (рис. 2.25).



Рисунок 2.25 – *Pinus sylvestris* L. за 2 км від терикону шахти № 3

Дослідна сосна звичайна зростає на відкритій місцевості за 2 км від підніжжя шахти №3. Поруч присутній сосновий ліс. Тут присутній типовий для Малеого Полісся природний рослинний покрив. Ландшафт переважно рівнинний із незначною заболоченістю в пониженнях. Чергування ділянок із луговою рослинністю та піщаних ділянок.

Видовий склад деревної рослинності на відкритій місцевості: береза бородавчаста (*Betula pendula* Roth.), осика

(*Populus tremula* L.), поодинокі дуб звичайний (*Quercus robur* L.).

Температура ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 12,6°C, на межі намету крони – 13,7°C, на відкритому просторі – 14,2°C.

Вологість ґрунту під дослідним об'єктом: під наметом крони – 86,0%, на межі намету крони – 79,3%, на відкритому просторі – 71,8%.

Рівень освітлення: під наметом крони – 9650 лк., на межі намету крони – 10900 лк., на відкритому просторі – 29550 лк.

Під час проведення рекогносцировно-маршрутних досліджень об'єктів накопичення відходів вуглевидобутку виявлені діючі терикони та терикони із завершеним експлуатаційним циклом. Функціонування більшості із цих потенційно-небезпечних об'єктів супроводжуються частими зсувами на схилах, просіданням земної поверхні, неорганізованим відведенням стоків та підтериконових вод, горінням породи.

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.

У роботі використано наступні методи: екологічні, геоecологічні, геоботанічні, фітоценологічні, ґрунтознавчі, лісівничо-таксаційні, біометричні, геоінформаційні, статистичні, системного аналізу.

Радіаційний фон на дослідних ділянках у зоні розвитку *Pinus sylvestris* L. виміряно за допомогою екотестеру довкілля «Soeks» відповідності до положень Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-93).

Полеві дослідження ґрунтів у місцях росту *Pinus sylvestris* L. проводили у відповідності до «Інструкції...» [40]. Проби відібрано відповідно до низки нормативних документів [32]. Аналіз зразків ґрунту проведено за загальноприйнятими в ґрунтознавстві методиками [41]. 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, Скалябян, Сучилкіної, вміст кальцію та магнію – комплексометричним методом.

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.

Опис та аналіз мікроасоціацій за участю *Pinus sylvestris* L. здійснено за методиками В. П. Кучерявого [64]. Екологічна структура флори наведена за П. С. Погребняком [82]. Для оцінки надґрунтового рослинного покриву була використана шкала О. Друде. Вивчення видового складу здійснено за допомогою методу видових майданчиків площею 1 м². Фітомеліоративна ефективність фітоценозів-меліорантів визначалася за В. П. Кучерявим [65].

Розвиток *Pinus sylvestris* L. на породних відвалах вивчали за лісівничо-таксаційною методикою, що передбачає закладання тимчасових пробних площ, вимірювання діаметра деревних порід на висоті 1,3 м, загальну висоту дерев та параметри крон [6, 9]. 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. (2009), Гнатівим П. С. (2002); солестійкість рудеральних видів – за методикою Генкеля П. А. (1965); водний дефіцит – за методикою Паршикової Т. В. (2010).

Для встановлення температурних режимів у субстратах та на поверхні породних відвалів використовували тепловізор «FLUKE TiS40».

Для визначення температури займання твердих речовин та матеріалів згідно з пунктом 7.8 ДСТУ 8829:2019 [34] 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, що 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 пальника. 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 °C на протязі 4

годин, згідно вимог ДСТУ EN ISO 291:2017 «Пластмаси. Стандартні атмосферні умови для кондиціонування й випробувань».

Проби підтериконових вод відбиралися за рекомендаціями, які наведені у нормативній документації [43, 46, 49]. У відібраних пробах визначався такий комплекс показників (параметрів): органолептичні: колір, прозорість, запах; фізичні: завислі речовини, сухий залишок, мінеральний залишок – гравіметричними методами (ЗВТ - ваги аналітичні, термометри лабораторні) [45, 49]; фізико-хімічні: водневий показник, загальна мінералізація – потенціометричними методами згідно з інструкціями до відповідних приладів (прилади – рН-метр «рН-150», солемір універсальний TDS); хімічні: твердість загальна, лужність (твердість карбонатна), вміст гідрокарбонатів – титриметричними методами з трилоном Б та хлоридною кислотою,; вміст хлоридів – титриметричним методом з нітратом срібла; вміст сульфатів – гравіметричним методом (прилад – ваги аналітичні); вміст нітритів – фотометричним методом з реактивом Грісса (прилад – електрофотоколориметр КФК-2) [44]; вміст нітратів – фотометричним методом з саліциловою кислотою Грісса (прилад – електрофотоколориметр КФК-2); вміст амоній-іонів – фотометричним методом з реактивом Неслера Грісса (прилад – електрофотоколориметр КФК-2) [47]; вміст фосфатів – фотометричним методом з комбінованим «молібденовим реактивом» та аскорбіновою кислотою (прилад – електрофотоколориметр КФК-2) [48]; вміст заліза – фотометричним методом з роданідом (прилад – електрофотоколориметр КФК-2) [48]; вміст важких металів (свинець, мідь, цинк, нікель та ін.) – атомно-абсорбційним методом відповідно до інструкції з експлуатації приладу (прилад – атомно-абсорбційний спектрометр ААС-115.М-1); хімічне споживання кисню (ХСК) - титриметричним методом

з дихроматом калію; біологічне споживання кисню (БСК5) – титриметричне визначення розчиненого кисню з йодидом калію (прилад – термостат сухо повітряний) [45]; вміст нафтопродуктів – гравіметричним методом з хлороформом та гексаном (прилад – ваги аналітичні) [70].

Дослідження відібраних проб здійснено у Науково-дослідній лабораторії екологічної безпеки, яка функціонує 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" (станом на 01 листопада 2023 року Свідоцтво про відповідність системи керування вимірюваннями № РЛ091/21 від 30.11.2021 р., чинне до 29.11.2026 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.

Статистичну обробку даних проводили згідно із загальноприйнятими методиками, кореляційний та регресійний аналіз – з використанням прикладних програм Microsoft Excel 2010, Mathcad, Origin 8.

Висновки до розділу 2

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 яких 265,9 гектари і об'єм накопичених відходів 42,1 мільйона метрів кубічних), 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%.

Рельєф Малополюської низовини рівнинний, місцями – горбистий, висота – 200-270 м н. у. м. У верхів'ях Бугу добре помітні подовжені пасма пагорбів між окремими притоками і долинами, часто затоплювані весняними водами. Клімат району відноситься до атлантично-континентального типу. Вегетаційний період триває приблизно 210 днів.

Залежно від ґрунтових умов і рельєфу в даному лісогосподарському районі формуються різноманітні типи лісу, головним чином в сугрудових і суборевих типах лісорослинних умов. Найбільш поширені дерново-слабопідзолисті піщані і супіщані ґрунти, а в пониженнях місцях – оглеєні.

У місцях виходу до поверхні мергелів знаходяться перегнійно-карбонатні ґрунти (рендзини), в більшості випадків вони розорані. По долинах річок і інших зниженнях переважають лучно-дернові, лучно-дерново-глейові або торф'яно-болотні ґрунти. Едафо-кліматичні умови Малого Полісся сприятливі для розвитку сосни звичайної на поверхні породних відвалів вугільних шахт.

На території Львівсько-Волинського вугільного басейну у стадії ліквідації перебувають 8 шахт, які накопичили відвальну породу на 20-ти згаслих териконах. За формою

згаслі терикони є конічні, з усіченим конусом, плоскі та хребтоподібні. Така різна форма зумовлена як порядком відсипання породи, так і намаганнями провести гірничотехнічний етап рекультивації. Загалом згаслі терикони займають площу 95,2 га та накопичують 16589300 м³ породи.

Для проведення досліджень піонерної сукцесії та фітомеліоративних заходів були закладені пробні площі на території Шахти №3 Великомоствівської та ПАТ «Львівська вугільна компанія». За контроль було взято пробну ділянку за 2 км на південь від меж міста Червоноград у сосновому борі.

РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА УМОВ МІСЦЕЗРОСТАНЬ НА ПОРОДНИХ ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

3.1. Типологія териконів у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну

Типологію породних відвалів гірничодобувної промисловості розглядали ряд вчених у своїх наукових працях [20, 61, 67, 86, 110, 143]. Зокрема, наводяться наступні групи териконів: терикони з відвальних порід неантрацитового вугілля (73% від загальної кількості відвалів); терикони, створені з породи при проходці стволів та штреків (2% від загальної кількості відвалів); терикони шахт, які видобувають антрацитове вугілля (близько 20% від загальної кількості відвалів); терикони збагачувальних фабрик. До категорії «А» віднесені відвали складені мінеральними субстратами, які збіднені на органічні та мінеральні речовини. До категорії «Б» віднесені відвали складені субстратами, які багаті на органічні речовини.

У праці [66] відображено особливості розташування териконів відносно рельєфу місцевості – в низині, на рівнині, на височині, на схилі. Також автором розроблено узагальнену класифікацію і методику кодування порушених територій для реабілітації міського середовища (на прикладі Донецько-Макіївської агломерації). Наукова праця [90] відображає розроблену автором екологічну класифікацію техногенних ландшафтів, яка дозволяє прогнозувати розвиток вторинних екосистем та визначити ландшафтне різноманіття територій Кривбасу, порушених гірничими роботами. Зроблено висновок про те, що екологічна класифікація техногенних ландшафтів базується на принципах ієрархічності системної оцінки техногенної складової та фасетності для екологічно важливих показників. Дослідженнями [22] встановлено, що в процесі видобутку корисних копалин утворюються

ландшафти, які відрізняються висотною диференціацією та біорізноманіттям. Зроблено висновок, що складна морфологія новоутворених ландшафтів зумовлює різноманітність місцевостей і урочищ, ярусність і ступінчастість їх територіальної структури, особливості рослинного і тваринного світу.

У роботі [42] запропоновано визначати стиглість до залісення териконів вугільних шахт Донбасу за типологічною трьохмірною сіткою, яка побудована за координатами: висота терикону, час після відсипання гірської породи у терикон або вік терикону, ступінь окислення гірської породи у териконі. Сітка класифікації териконів за стиглістю їх до залісення будується за координатами альтогенного, хроногенного та ацидогенного рядів. Автором зроблено висновок, що класифікація териконів за ступенем стиглості до залісення значно спростить планування, проектування та вирощування захисно-декоративних лісостанів на териконах.

Науковцями у праці [74] виділено наступні групи відвалів: I – на стадії згасання внутрішніх та зовнішніх фізико-хімічних процесів; II – на стадії згасання фізико-хімічних процесів за умов порушення цілісності тіла відвалу та відслонення внутрішніх порід; III – на стадії згасання фізико-хімічних процесів за умов внесення свіжої відвальної породи; IV – з активними внутрішніми та зовнішніми фізико-хімічними процесами.

У роботі [15] запропоновано класифікувати породні відвали залежно від ступеня їх потенційної екологічної небезпеки: I ступінь – максимальна потенційна екологічна небезпека для навколишнього середовища (об'єкти розміщуються безпосередньо біля підніжжя терикону); II ступінь – середній ступінь потенційної екологічної небезпеки (об'єкти – у межах санітарної зони, до 500 м); III ступінь – слабка потенційна екологічна небезпека (об'єкти – на відстані 500 – 1000 м); IV ступінь – відносна потенційна

екологічна небезпека (об'єкти – у межах від 1000 до 2000 м); V ступінь – непряма потенційна екологічна небезпека (об'єкти – далі ніж 2000 м).

Безумовно, що всі вищенаведені типології териконів та відвалів гірничодобувної промисловості є важливими у різних аспектах. Проте, типологію териконів у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну вивчено ще недостатньо.

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. Метою було розробка типології териконів вугільних шахт у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну для структуризації чинників екологічної небезпеки та ефективного запровадження заходів із підвищення рівня екологічної безпеки довкілля.

Запропонована нами типологія териконів у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну передбачає 8 рівнів ієрархічного розподілу [86]. За розміром терикони поділені на III категорії: великі (займають площу більше 10 га), середні (5-10 га), малі (0,3-5 га). За формою терикони бувають неправильної форми (терикони шахт «Великомостівська №2» та «Нововолинська №9») та правильної форми (рекультивовані терикони). Слід зазначити, що геометрична форма териконів порушується внаслідок виймання породи для потреб будівництва. На териконах неправильної форми не проводилися рекультиваційні роботи (горимі, згасаючі, згаслі). Рекультивовані терикони не горять. У залежності від відсіпання породи на терикони (за експлуатацією) вони розподілені нами на діючі та не діючі. Слід відмітити, що на

діючих териконах відсутнє фітомеліоративне вкриття внаслідок відсутності умов для розвитку фітоценозів. Не діючі терикони піддаються природній та штучній фітомеліорації. За порушенням поверхні внаслідок процесів ерозії та зсувів породи терикони розподілені на II типи. У залежності від такого розподілу терикони, на яких наявна ерозія та зсуви, потребують гірничотехнічного етапу рекультивації. Як завершальним етапом ієрархічного розподілу териконів вугільних шахт є необхідність проведення моніторингу стану довкілля гірничодобувного регіону. Схему типології териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну наведено на рис. 3.1.

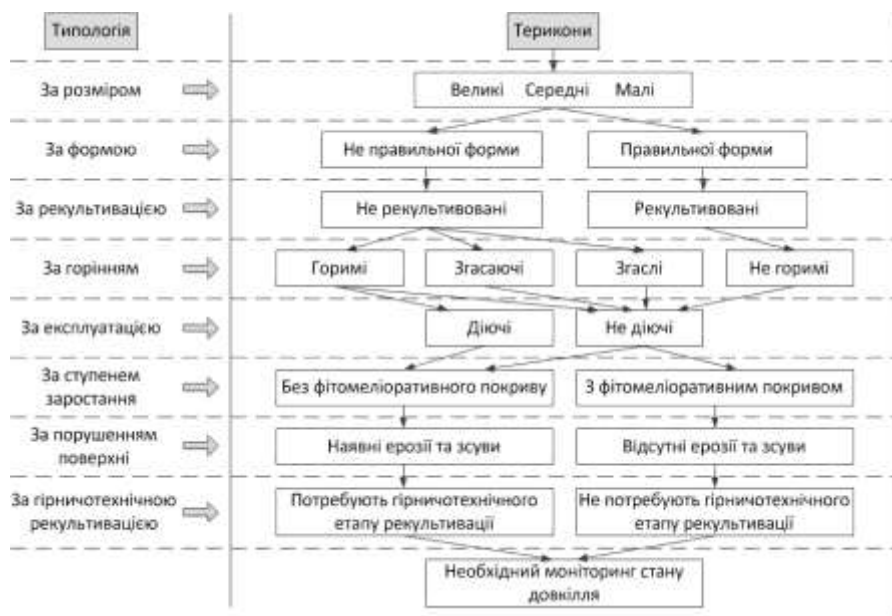


Рисунок 3.1 – Типологія териконів

Внаслідок розробленої типології териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну можна структурувати девастовані ландшафти за ступенем порушення та рівнем проведення рекультиваційних робіт.

Запропонована типологія териконів включає як технологічні, так і екологічні різновиди. Важливим є розмежування териконів за агрегатним станом, оскільки складування дрібнодисперсних матеріалів потребує додаткових заходів із попередження пилоутворення та рівня токсичності. Врахування цих чинників безпосередньо пов'язані із проблемами рівня екологічної безпеки.

За результатами польових досліджень на території зазначеного вуглевидобувного регіону встановлено, що процеси горіння породи протікають неоднаково та залежать від давності відсипання терикону, наявності технології складування, геометричних параметрів відвалів тощо. Процеси горіння відсутні на 2-х типах териконів – перегорілих (згаслих) та рекультивованих. Ми здійснили типологію териконів вугільних шахт за наявністю процесів горіння на їх поверхні. Найбільш безпечними, з точки зору горіння, є терикони, які були піддані рекультивації (терикон №2 «Шахта №2 Нововолинська»). Рекультивовані терикони засаджені лісовими культурами відповідно до проектів. Найбільш поширеними культурами є береза повисла, клен гостролистий та горобина. Проте, такого типу териконів є мало: на території Нововолинського гірничопромислового району нами виявлено всього 3. Типологію териконів відображено на рис. 3.2.

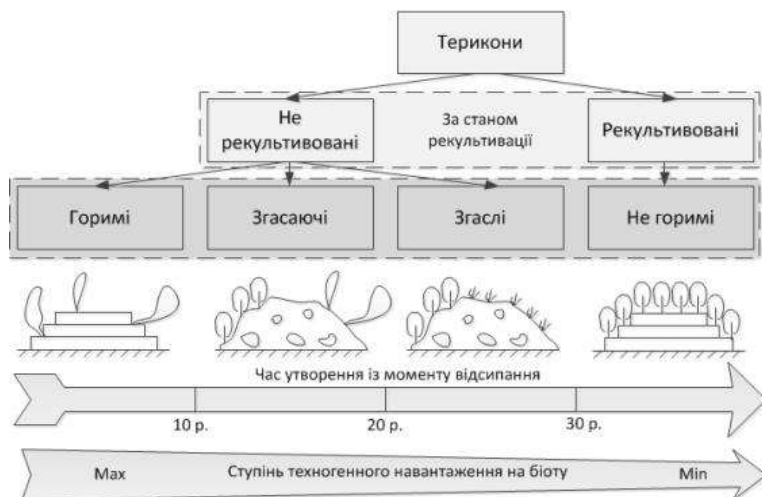


Рисунок 3.2 – Типологія териконів за наявністю процесів горіння

Найбільш небезпечними є терикони, які горять. Їхнє горіння супроводжується виділенням небезпечних парів та газів по усій поверхні. Горіння таких териконів активізується при потраплянні вологи та кисню повітря у шар породи. Встановлено, що при згорянні 1 кг породи забруднюється до небезпечної межі від 6,7 до 8,7 млн. м³ повітря [147]. При температурах породи вище +100°C Hg переноситься в елементній формі, а при температурах нижче +100°C – у вигляді хлориду (HgCl). Так само в елементній формі в мінімальних кількостях можуть переноситися Cd і Zn при температурах вище +400°C. В інтервалі температур +200-400°C переважають форми CdCl, ZnCl₂, ZnBr₂ [16, 87].

Найбільш яскравим представником цієї групи териконів є відвал ПАТ «Львівська вугільна компанія» (Центральна збагачувальна фабрика «Червоноградська»), який розташований у с. Сілець Сокальського району Львівської області. Слід зазначити, що такі терикони є і на діючих шахтах, на яких ще не проведено рекультивацію.

Окрім териконів, які горять, забруднення довкілля відбувається і через згасаючі терикони діючих шахт. У Нововолинському гірничопромисловому районі експлуатуються 4 шахти, які розміщують відвальну породу на 8 териконах (4 терикони діючі та 4 терикони згасаючі недіючі). Об'єм породи, яка складується у відвали діючих шахт перевищує проектні норми (за даними паспортів на породні відвали). Також з плином часу збільшуються геометричні параметри відвалів.

3.2. Фізико-хімічні властивості підтериконових стічних вод

Підтериконові стічні води представляють собою серйозну техногенно-екологічну небезпеку, оскільки потрапляють не лише у водоносні горизонти, але й у підземні води. Під час польових досліджень нами було виявлені озера із такими стічними водами біля підніжжя породних відвалів ПАТ «Львівська вугільна компанія» та Шахти №4 «Нововолинської» (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Стічні води із підвищеним вміст солей біля підніжжя породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³

З огляду на отримані дані можна констатувати, що у стічних підтериконових водах міститься підвищений вміст хлоридів, сульфатів, нітратів, що є свідченнями значної засоленості породи. Отримані дані є важливими з точки зору підбору асортименту ролинності для проведення біологічного етапу рекультивації (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Фізико-хімічні властивості стічних вод з відвалів

№ з/п	Назва показника	Розмірність	Результат
1.	Прозорість	см	9
2.	Водневий показник (рН)	од. рН	4,6
3.	Завислі речовини	мг/дм ³	156
4.	Сухий залишок	мг/дм ³	938
5.	Жорсткість загальна	мг-екв/дм ³	12,8
6.	Жорсткість карбонатна	мг-екв/дм ³	2,6
7.	Гідрокарбонати (НСО ₃ ⁻)	мг/дм ³	158,6
8.	Хлориди (Сl ⁻)	мг/дм ³	148,8
9.	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	349
10.	Нітрити (NO ₂ ⁻)	мг/дм ³	2,8
11.	Нітрати (NO ₃ ⁻)	мг/дм ³	56,3
12.	Фосфати (PO ₄ ³⁻)	мг/дм ³	10,8
13.	Кальцій (Ca ²⁺)	мг/дм ³	112,2
14.	Магній (Mg ²⁺)	мг/дм ³	87,6
15.	Залізо загальне (Fe _{заг})	мг/дм ³	1,2
16.	Амоній сольовий (NH ₄ ⁺)	мг/дм ³	2,8
17.	Сума натрій (Na ⁺) + калій (K ⁺)	мг/дм ³	62,4
18.	Загальна мінералізація	мг/дм ³	982
19.	Хімічне спожив. кисню (ХСК)	мгО/дм ³	12,8

Для зниження техногенного пресингу озер-відстійників із підтериконовими стічними водами слід здійснювати технологічні операції з детоксикації води, а також використовувати рослини-віоленти у біоплато [15, 102].

3.3. Фізико-хімічні властивості відвальної породи

Фізико-хімічним дослідженням ґрунтів та відвальної породи у межах Червоноградського гірничопромислового району, який входить до складу Львівсько-Волинського вугільного басейну, присвячені численні наукові праці видатних науковців, зокрема Башуцької У. Б. [5]. Особливості розвитку аномалій техногенних забруднювачів геоecологічного середовища, а також вплив більшості хімічних сполук і газів на екологічну ситуацію та зміну хімічного складу ґрунтів, рослинності, атмосфери Нововолинського гірничопромислового району відображено в праці Терещук О. С. [93]. Згасаючі терикони викидають у довкілля значну кількість небезпечних речовин (рис. 3.4).

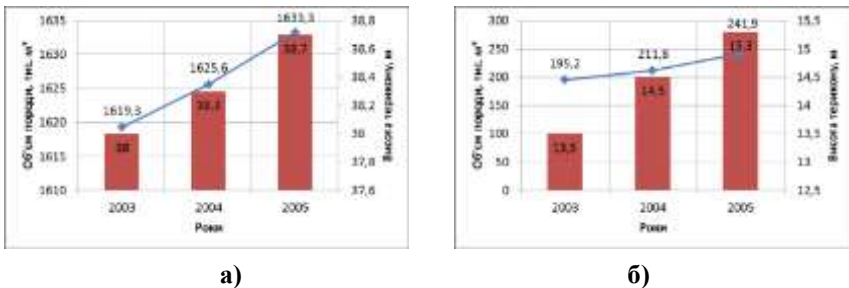


Рисунок 3.4 – Нагромадження відвальної породи (за даними паспортів на породні відвали), *а)* – на териконі №4 «Шахта №5 Нововолинська»; *б)* – на териконі «Шахта Бужанська»

На териконах процес самозаймання виникає переважно у літню пору року. Самозаймання ліквідують шляхом розбирання породи за допомогою бульдозерів. Спостерігаються часті зсуви поверхні. Терикони, на яких

відвальна порода червоного кольору не самозаймаються, а на териконах із чорною породою самозаймання можливе.

Породи неоднорідні за гранулометричним складом та мають розмір від глинистих частинок до брил [28]. Щільність породи терикону знижується від вершини до підніжжя. Вершині терикону, яка складена породою із дрібних фракцій, притаманна найбільша щільність. Така структура терикону характерна у випадках, коли складування відвальної маси відбувається конвеєром, починаючи з вершини. Для деяких териконів нижня 1/3 частина відвалу є проникною для повітря. Решта ділянок слабо проникні або непроникні. Надзвичайно небезпечним чинником погіршення екологічного стану довкілля є горіння териконів. Найбільш сприятливі умови до самозаймання породної маси шахтних териконів створюються на межі 1-ї та 2-ї зон (рис. 3.5). На териконах збагачувальних фабрик такі умови створюються між 2-ю та 3-ю зонами [76, 92].

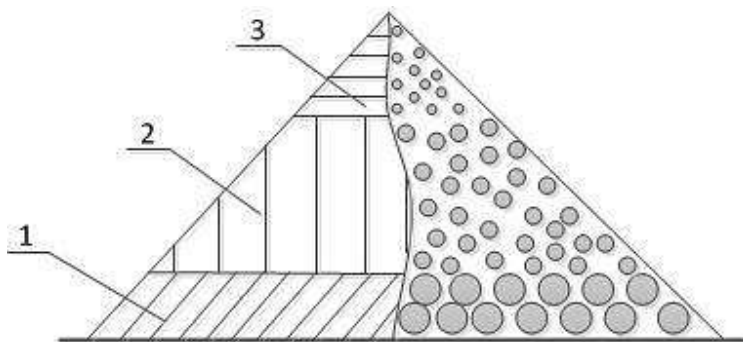


Рисунок 3.5 – Структура терикону (1– підніжжя; 2 – середня зона; 3 – вершина)

Слід зазначити, що 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. Найнижча вологість субстрату виявлена на

бічних поверхнях, що є наслідком горіння відвальної маси (рис. 3.6).

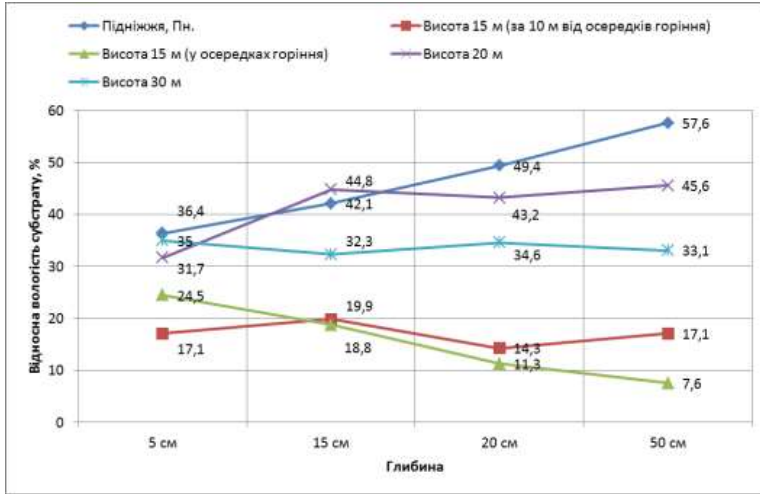


Рисунок 3.6 – Вологість субстратів згасаючого терикона «Шахти №9 Нововолинська»

Використовуючи статистичні методи досліджень, нами описана зміна вологості із глибиною у осередках горіння згасаючих териконів (найнижчі значення вологості):

$$\varphi = 0,5l^2 - 8,32l + 32,6 \quad (3.1)$$

де l – глибина заміру.

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

$$\varphi = 0,625l^2 + 3,965l + 31,775 \quad (3.2)$$

де l – глибина заміру.

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. 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 [80, 87].

Таблиця 3.2

Сезонна динаміка породних відвалів вугільних шахт № 9,
 № 2, № 4 Нововолинського гірничопромислового району

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	

Значення вологості субстратів є важливими даними, які дають змогу оцінити екологічну сукцесію на різних ділянках та особливості підбору асортименту рослинності для біологічного етапу рекультивації.

Важливою хімічною характеристикою породи териконів вугільних шахт є зольність (вміст золи). Зольність – залишок після згоряння твердого палива. Слід зазначити, що чим менша зольність, тим вища якість палива.

За даними паспортів на породні відвали вміст золи у породі териконів діючих шахт м. Нововолинськ становить 84,0-98,025%. Густина породи становить 2,42-2,55 кг/м³ (рис. 3.7).

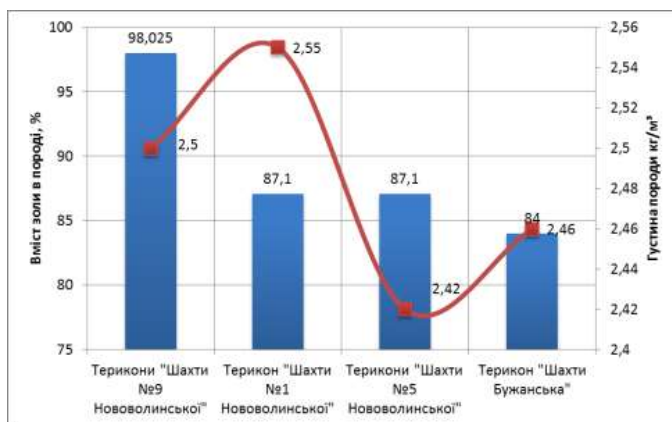


Рисунок 3.7 – Вміст золи та густина діючих териконів (за даними паспортів на породні відвали)

Тепловий стан териконів залежить від вмісту сірки у відвальній масі. Досліджено понад 866 породних відвалів Донецького і Львівсько-Волинського вугільних басейнів. За даними досліджень [16, 20, 68, 76, 84, 87] побудовано графік залежності відносної кількості териконів, що горять від вмісту сірки у їх породі (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Залежність відносної кількості горимих териконів від вмісту сірки у породі

Вміст сірки у териконах Нововолинського гірничопромислового району становить 0,26-3,2%. Таким чином, відповідно до графіка на рис. 3.8, у регіоні можуть горіти до 80,2% териконів. Математична модель залежності відносної кількості горимих териконів від вмісту сірки у породі описується як:

$$n_i = -0,5208v^4 + 6,7787v^3 - 27,718v^2 + 44,354v + 34,367 \quad (3.3)$$

де v – вміст сірки у породі терикону, %

Об'єм породи, яка складується у відвали діючих шахт, перевищує проектні норми (за даними паспортів на породні відвали). З плином часу збільшуються геометричні параметри відвалів. Вміст золи у породі териконів становить 84,0-98,025%; густина породи – 2,42-2,55 кг/м³. Вміст сірки у териконах Нововолинського гірничопромислового району становить 0,26-3,2%. Таким чином, відповідно до розробленої залежності, у регіоні можуть піддаватися горінню до 80,2% териконів, що становить екологічну небезпеку. Найбільш оптимальним методом ліквідації

горіння на териконах вугільних шахт є переформатування їх у відвали плоскої форми.

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. 3.9 та рис. 3.10).

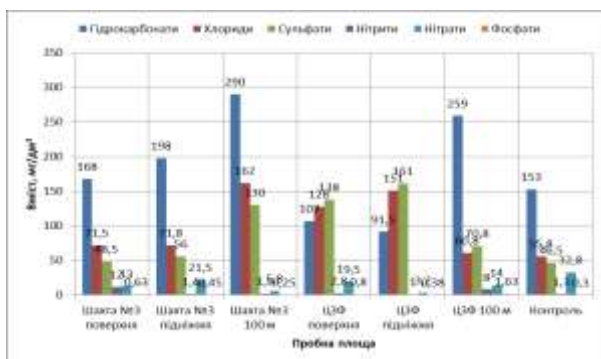


Рисунок 3.9 – Вміст у досліджуваній породі гідрокарбонатів, хлоридів, сульфатів, нітритів, нітратів, фосфатів

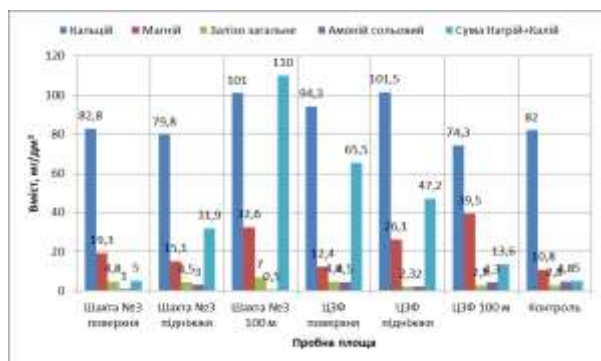


Рисунок 3.10 – Вміст у досліджуваній породі кальцію, магнію, заліза (загального), амонію сольового, Натрій+Калій

На рисунках 3.11-3.21 наведено моделі у 2-D просторі поширення забруднюючих речовин в едафотобах для породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград Львівської області).

Моделювання поширення амонію сольового у субстраті породного відвалу Шахти №3 дало змогу оцінити, що найбільші його значення спостерігаються на поверхні та біля підніжжя породного відвалу (2-3 мг/дм³).

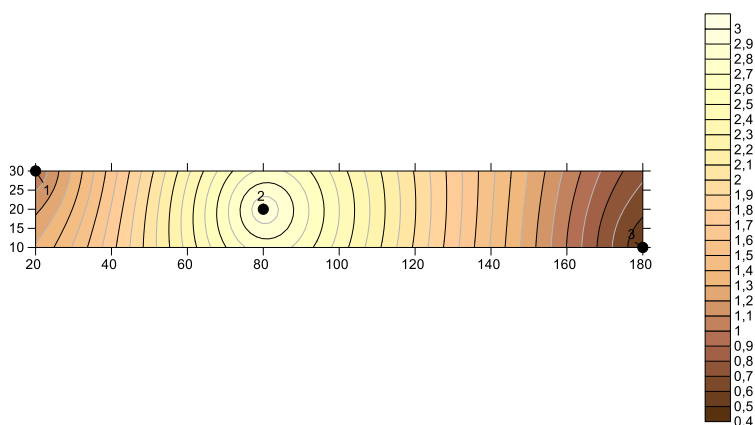


Рисунок 3.11 – Моделювання поширення амонію сольового у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³

Моделювання поширення небезпечних речовин та сполук у межах впливу породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград) зображено на рис. нижче. Встановлено, що найбільш забрудненими ділянками є поверхня та підніжжя породного відвалу, а забруднюючі речовини поширюються у радіусі до 180 м.

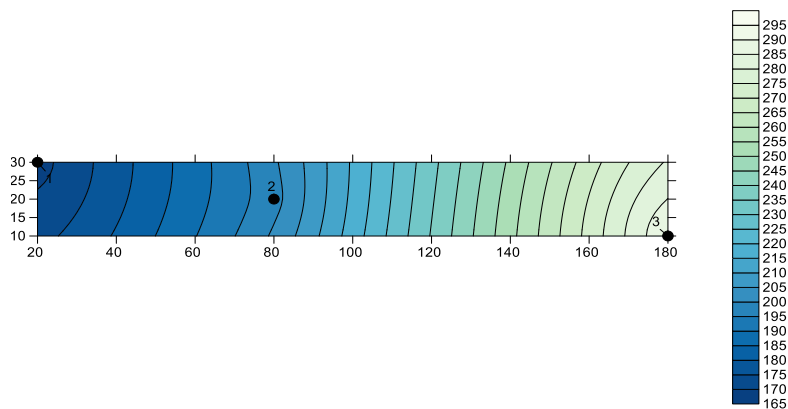


Рисунок 3.12 – Моделювання поширення гідрокарбонатів у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³

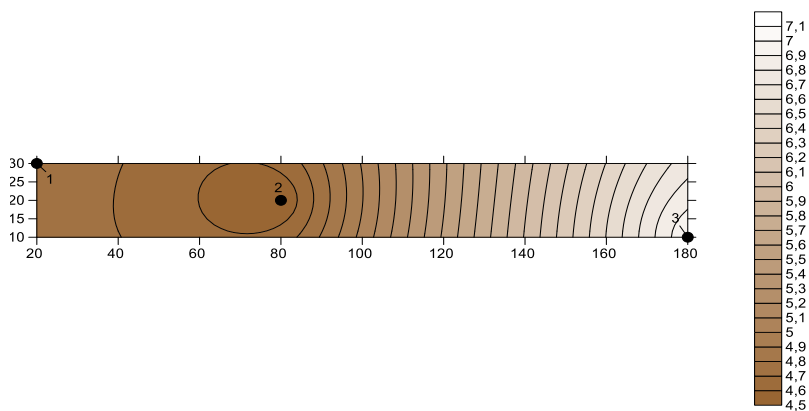


Рисунок 3.13 – Моделювання поширення заліза (загального) у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³

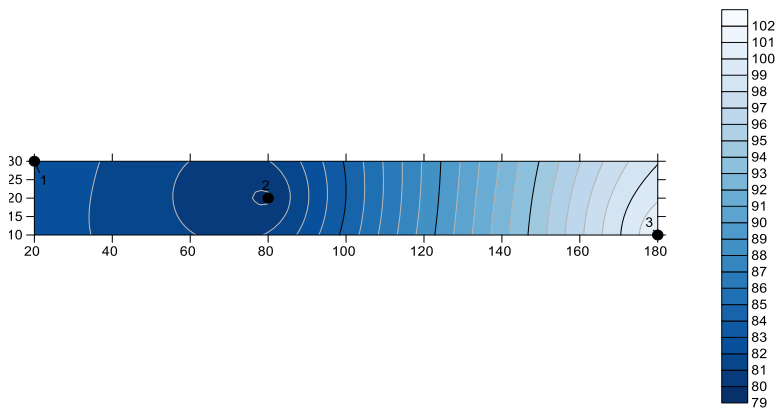


Рисунок 3.14 – Моделювання поширення кальцію у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм^3

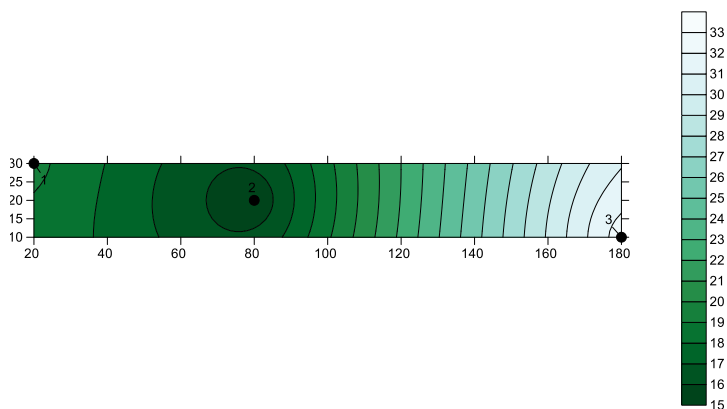


Рисунок 3.15 – Моделювання поширення магнію у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм^3

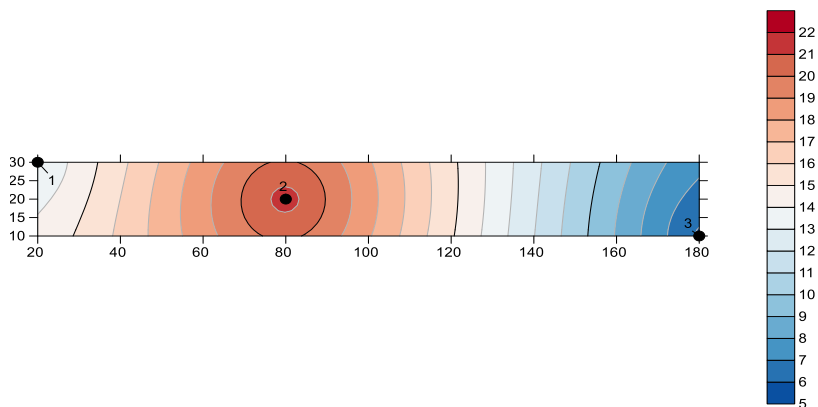


Рисунок 3.16 – Моделювання поширення нітратів у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³

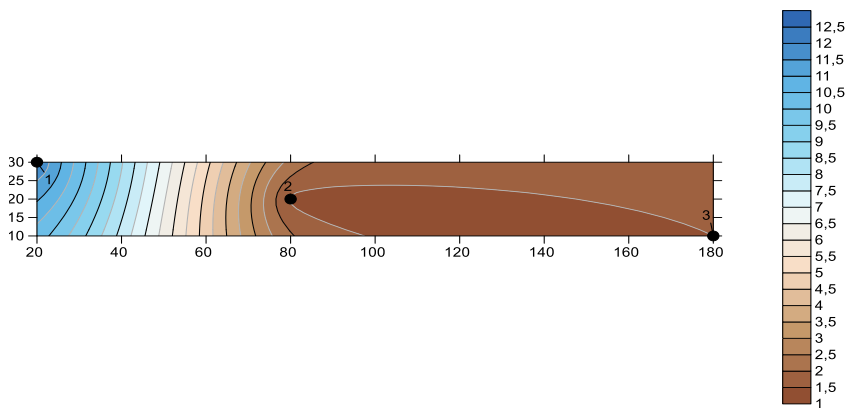


Рисунок 3.17 – Моделювання поширення нітритів у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³

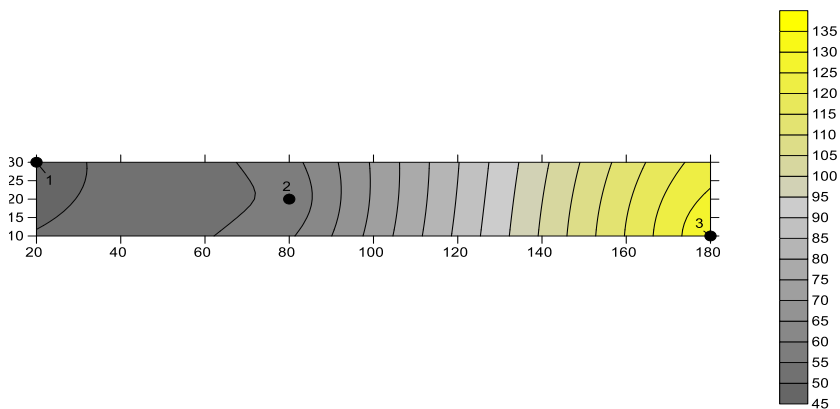


Рисунок 3.18 – Моделювання поширення сульфатів у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³

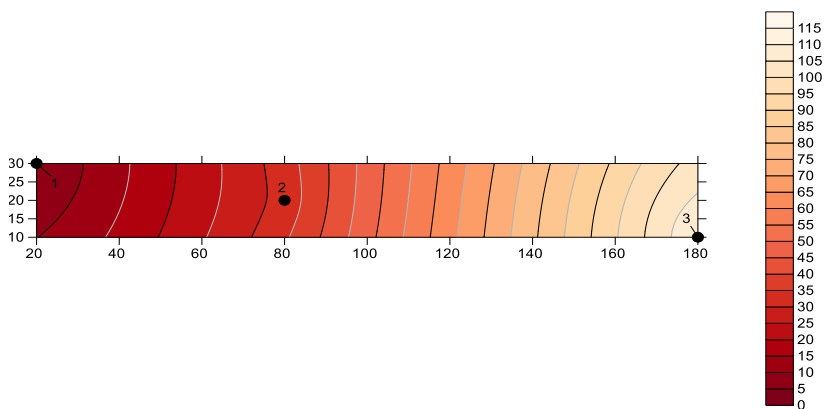


Рисунок 3.19 – Моделювання поширення натрію+калію у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³

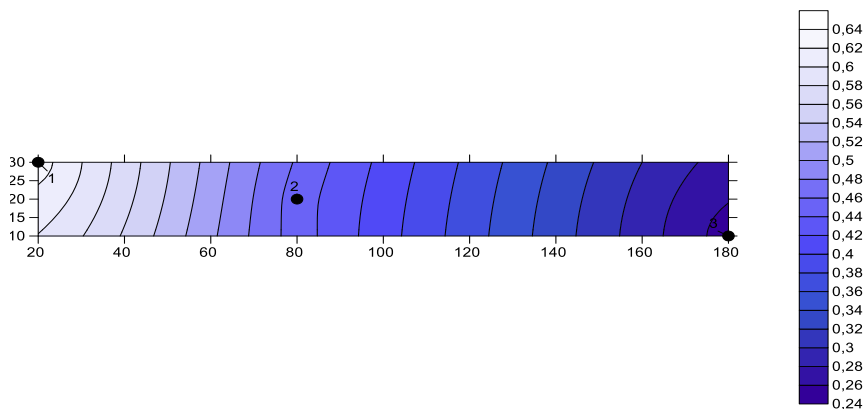


Рисунок 3.20 – Моделювання поширення фосфатів у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³

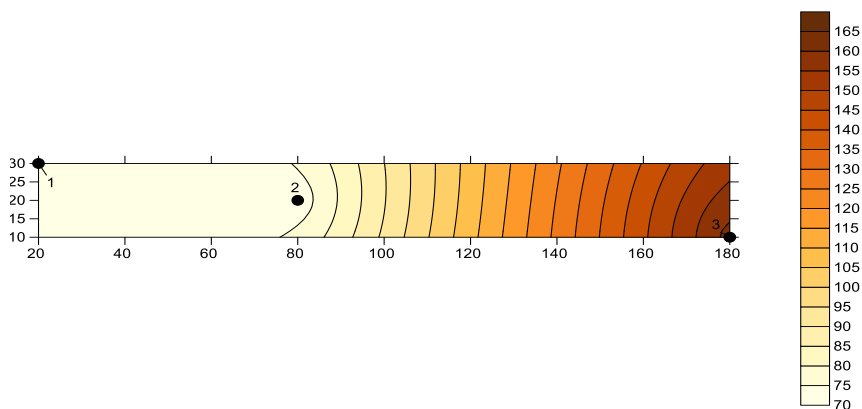


Рисунок 3.21 – Моделювання поширення хлоридів у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³

Також здійснено моделювання поширення забруднюючих речовин у зоні впливу породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець Львівської області). На рисунках 3.22-3.32 наведено моделі у 2-D просторі поширення забруднюючих речовин в едафотопях для породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія».

Загалом встановлено, що висока концентрація небезпечних речовин та сполук спостерігається у радіусі 200 м від підніжжя породних відвалів.

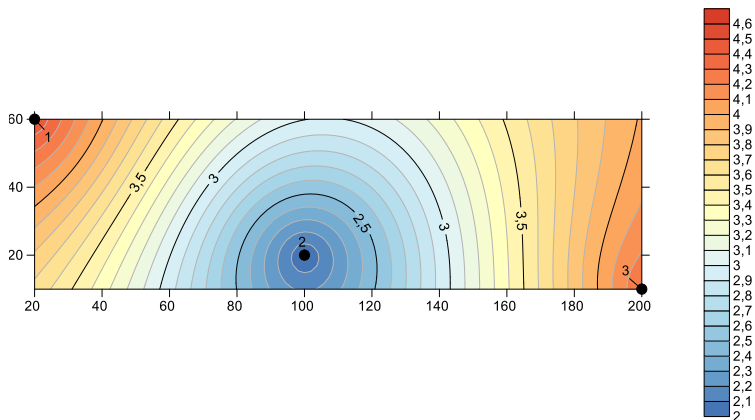


Рисунок 3.22 – Моделювання поширення амонію сольового у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³

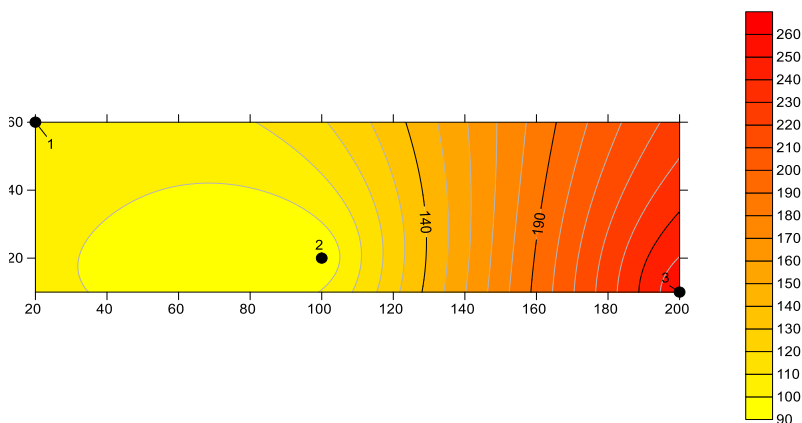


Рисунок 3.23 – Моделювання поширення гідрокарбонатів у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³

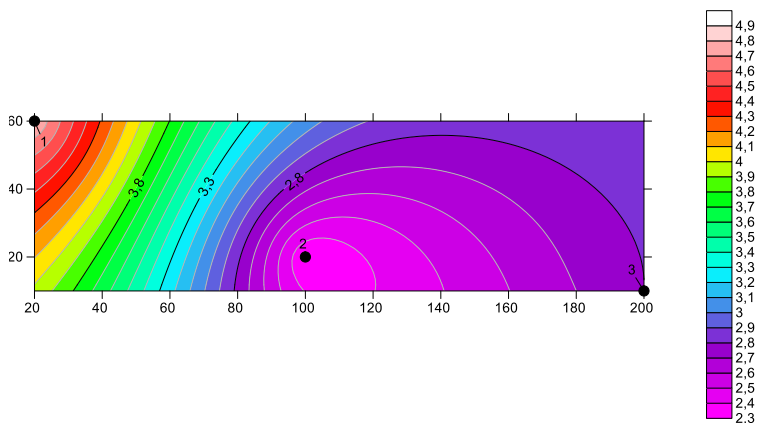


Рисунок 3.24 – Моделювання поширення заліза (загального) у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³

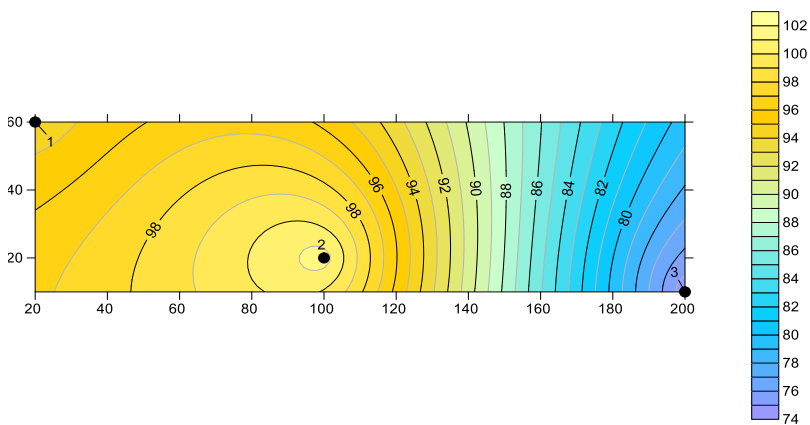


Рисунок 3.25 – Моделювання поширення кальцію у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³

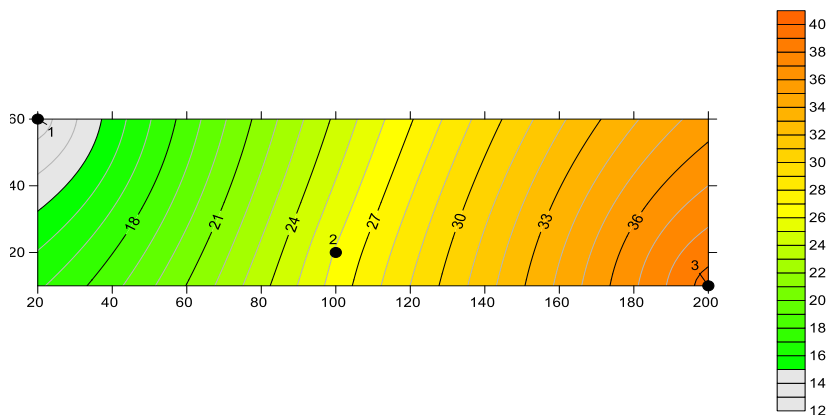


Рисунок 3.26 – Моделювання поширення магнію у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³

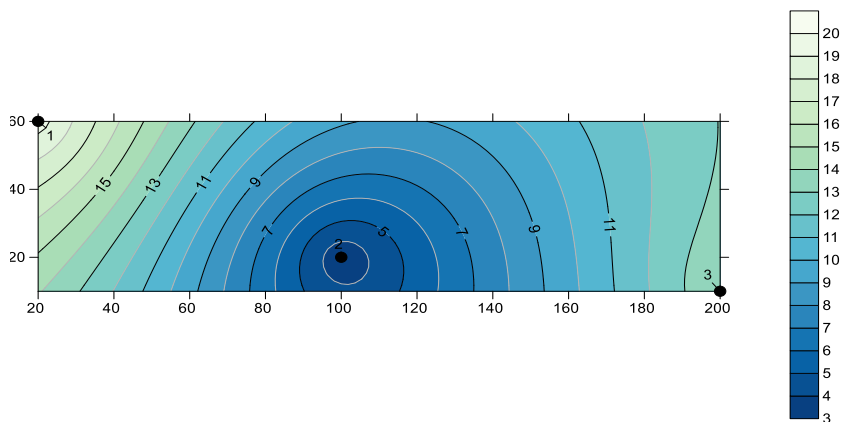


Рисунок 3.27 – Моделювання поширення нітратів у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³

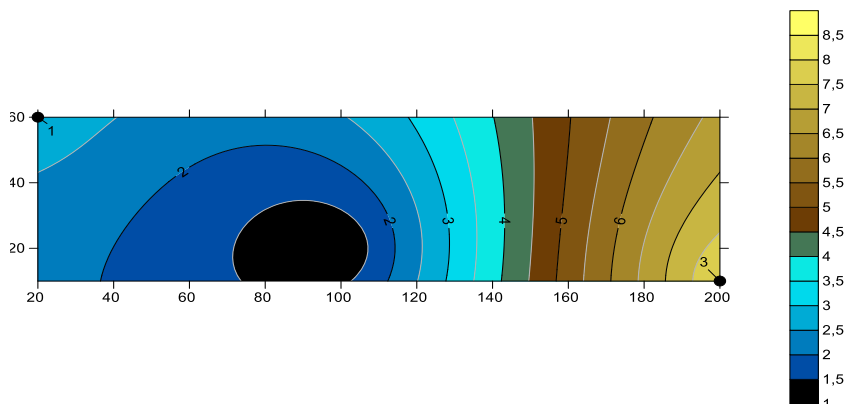


Рисунок 3.28 – Моделювання поширення нітритів у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм^3

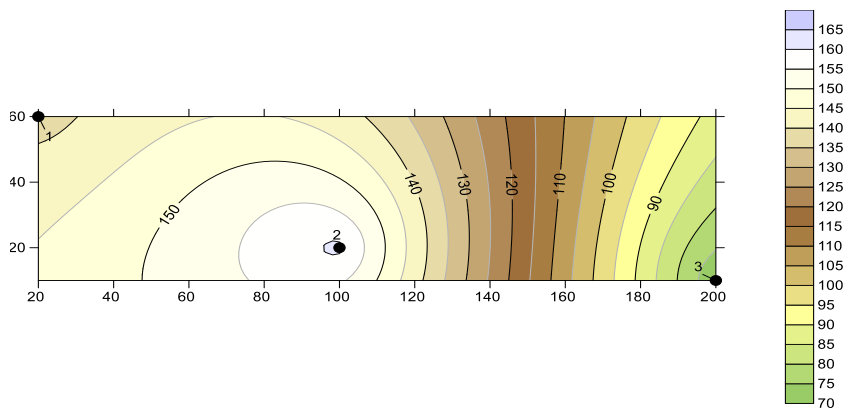


Рисунок 3.29 – Моделювання поширення сульфатів у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм^3

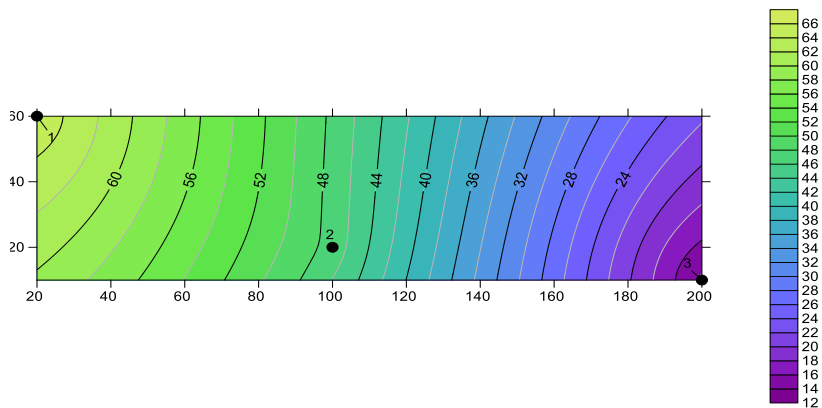


Рисунок 3.30 – Моделювання поширення натрію+калію у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм^3

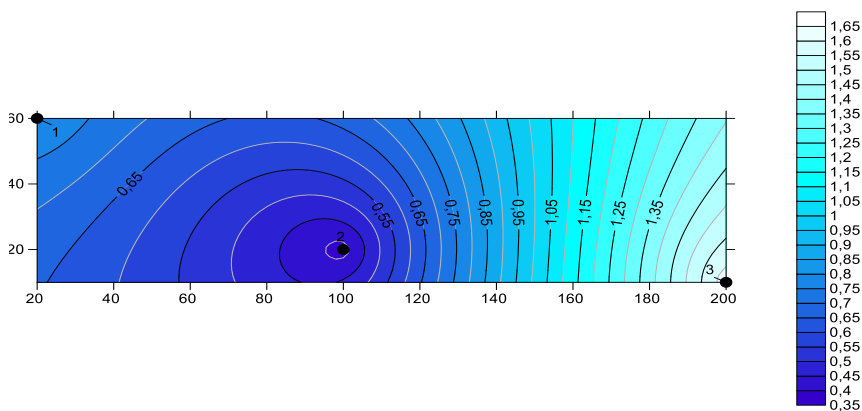


Рисунок 3.31 – Моделювання поширення фосфатів у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм^3

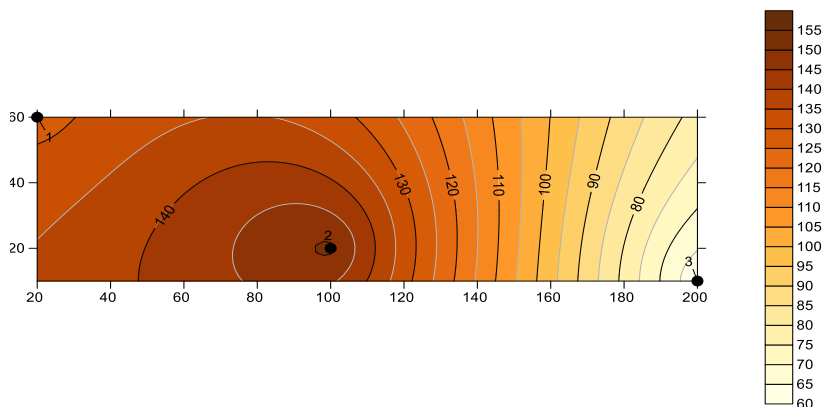


Рисунок 3.32 – Моделювання поширення хлоридів у субстраті породних відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³

Аналіз поширення забруднюючих речовин та сполук в зоні впливу породних відвалів вугільних шахт дає змогу оцінити ступінь техногенного впливу на біоту і запропонувати ефективні заходи рекультиваційних та фітомеліоративних робіт з участю синантропної рослинності.

3.4. Фітотоксичність субстрату за умовами розвитку тест-рослин

Питання фітотоксичності субстрату, особливо у зоні впливу промислових та інших техногенно небезпечних об'єктів, давно цікавить вчених. Вважається, що за здатністю проростати на субстратах тест-культур можна оцінювати рівень техногенного забруднення. Для оцінки фітотоксичності відальної породи нами були взято 4 види насіння тест-культур – *Lepidium sativum* L. (крес-салат), *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. (редис), *Sinapis alba* L. (гірчиця біла), *Brassica napus* L. (ріпак). Насіння вищезгаданих культур висіяли у чашки Петрі по 10 шт. на субстрат із таких ділянок породних відвалів: 1 – поверхня відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія»; 2 – підніжжя

відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія»; 3 – за 100 м від підніжжя відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія»; 4 – поверхня відвалу Шахти №3; 5 – підніжжя відвалу Шахти №3; 6 – за 100 м від підніжжя відвалу Шахти №3; 7 – контроль (дендропарк НЛТУУ) (рис. 3.33).



Рисунок 3.33 – Висіяні тест-культури на субстрат

Дата закладання – 10.10.2020 р. Температура повітря в лабораторії – +12+16°C. Освітлення – 230-450 Лк. Вологість повітря в лабораторії – 35-40%. Дата опису – 21.10.2020 р. Термін досліду – 10 днів.

Встановлено, що такі текст-культури як *Sinapis alba* L. та *Brassica napus* L. взагалі не проросли на субстратах, що свідчить про значне забруднення та вибагливість до родючості ґрунту. Результати досліду детально наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати проростання тест-культур на субстратах

Культура	Кількість / висота проростання, см						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>Lepidium sativum</i> L.	0	0	0	0	1/0,5; 1/0,4; 1/0,1	0	0

<i>Raphanus sativus</i> var. <i>radicula</i> Pers.	1/0,4	1/0,6	0	1/0,4	1/0,2; 1/0,3; 1/0,4; 1/0,5; 1/0,6	1/0,2	1/2,1
<i>Sinapis alba</i> L.	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brassica napus</i> L.	0	0	0	0	0	0	0

Таким чином, 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 Шахти №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.

3.5. Водоутримувальна здатність сосни звичайної на відвальній породі

Процеси природної фітомеліорації, особливо на сильно порушених місцезростаннях, до яких належать землі які зазнали впливу вуглевидобувної промисловості, вимагають підбору рослинного асортименту, який невибагливий до родючості ґрунту, до насичення поживними мінеральними речовинами, характеризуються високою екологічною стійкістю. Важливим аспектом фізіологічної стійкості, а значить придатності до фітомеліоративного процесу, є рівень посухостійкості рослини.

Відомо, що *Pinus sylvestris* L., з усіх хвойних найбільш стійкою до нестачі вологи. Важлива роль у цьому відводиться роботі кореневої системи, яка відноситься до стрижневого типу, може проникати на глибину 5-6 м в товщу ґрунтових горизонтів. Тому навіть в умовах посухи можуть постачати дерево водою. Позитивний водний баланс у свою чергу сприяє підвищенню рівня життєвості її, а значить опірності впливу екстремальних умов навколишнього простору. Тому програмою досліджень було поставлено завдання вивчити особливості процесу посухостійкості дослідних піонерних сукцесій сосни звичайної на дослідних місцезростаннях.

Тому важливими є порівняльні дослідження водного режиму, в дерев зростаючих що зростають в сприятливих природних умовах (контроль) і умовах досліджуваних териконів, які у зв'язку із підвищеними температурними умовами, можливими стихійно спричиненими природними загораннями, характеризуються підвищеними ксерофільними умовами [3, 27].

У хвойних, у порівнянні із листяними, більш урівноважений водний режим, в умовах сухого літа і атмосферного забруднення рівновага різко порушується і хвойні дерева, важко реагують на подібного роду стресові ситуації [71].

Процес посухостійкості напряму пов'язаний із структурою хвої *Pinus sylvestris* L. Як відомо у неї є по дві хвоїнки голчастого типу в пучку, сизувато-зеленого забарвлення, завдовжки 4-7 см., шириною до 2 мм., із зазубреним краєм, на плоскій стороні з сильно виступаючими блакитно-білими продиховими лініями. Тримається на пагонах до трьох років [142].

Для дослідження відбирались зразки пагонів, які розташовані в середній частині крони з південного боку, в якому хвоя, як відомо, транспірує інтенсивніше. Одним із

важливих показників успішного водного режиму є водоутримуюча здатність рослини.

В продовж вегетаційного періоду 2020 року (травень, липень, вересень) були проведені дослідження сезонної динаміки водоутримуючої здатності листкової тканини *Pinus sylvestris* L.

Найбільші втрати води у тканині хвої спостерігались весною (травень), що пов'язано з тим, що на початком росту пагонів відбуваються активні метаболічні процеси, які супроводжуються підвищенням вмісту вільної води і низькою водоутримуючою здатністю тканин. Влітку (липень) водоутримуюча здатність проявляє певні коливання, а в кінці вегетативного періоду різко зменшується [142].

Дослідження вологоутримуючої здатності хвої сосни звичайної проводились 18 липня 2020 року у лабораторії екологічної безпеки ЛДУ БЖД. Для досліду нарізали хвою із різних ярусів досліджуваних дерев, розміщували її компактно в абсолютно сухі бюкси, закривали кришкою і відразу зважували на лабораторних аналітичних вагах. Потім хвою виймали, занурювали у бюветки з водою, перемішували і залишали для насичення тканини вологою на дві години. Після цього її виймали і розкладали на приготовленому заздалегідь фільтрувальному папері, яким водночас накривали проби зверху, злегка притискаючи його до хвої, щоб максимально забрати вологу із її контактної поверхні. Після цього хвою знову закладали в бюкси, закривали та повторно зважували. Отримані дані дозволили за нижче вказаною формулою вирахувати показник водного дефіциту дерев, що зростали в різних екологічних умовах:

$$Vd = \frac{((\text{маса проби після насичення, } g) - (\text{маса проби до насичення водою, } g))}{\text{маса проби після насичення водою, } g} \times 100 \% \quad (3.4)$$

Одержані лабораторні дані подані у таблиці 3.4

Таблиця 3.4

Результати проростання тест-культур на субстратах

Дослідна точка	Маса порожнього алюмінієвого блоку, г	Маса проби до насичення, г	Маса проби після насичення, г	Водний баланс, %
поверхня террикону ЦЗФ	8,50	34,5	35,9	3,89
підніжжя террикону ЦЗФ	8,50	36,1	37,7	4,24
100 м. від террикону ЦЗФ	8,50	38,7	40,6	4,67
поверхня террикону шахти №3	8,50	35,08	36,3	3,36
підніжжя террикону шахти №3	8,50	36,9	38,4	3,9
100 м. від террикону шахти №3	8,50	37,85	39,5	4,17
2 км. від террикону (контроль)	8,50	40,65	43,6	6,76

Одержані результати виявили пряму залежність між посушливими ґрунтовими умовами і нестачею вологи у тканині хвої *Pinus sylvestris* L. В найксерофітніших умовах (поверхня терриконів шахти №3 і ЦЗФ) рівень водного балансу був найнижчим – 3,36% і 3,89%. З покращенням умов в пониженні террикону, де вже присутня численна природна рослинність, рівень вологозабезпечення відповідно зростає – 4,24% і 3,9%. Ще вищі результати були зафіксовані на віддальх 100 м від дослідних терриконів – 4,67% і 4,17%. Ну і природно, що максимальний рівень зафіксовано у

найсприятливіших умовах зростання за 2 км від терикону (контроль) – 6,76%.

Ще одним аспектом вивчення посухостійкості *Pinus sylvestris* L. було вивчення особливостей динаміки водоутримуючої здатності через обрахунок маси пагона однакової довжини впродовж 2-х годин у встановлені часові інтервали у 30 хв. Показник вивчався за методом А. А. Арланда. Для повноти статистичної вибірки із кожного дослідного дерева бралось по 10 пагонів, розміром 20 см.

Одержані дані зміни ваги пагонів характеризують рівень водоутримуючої здатності у різних місцезростаннях (рис. 3.34).

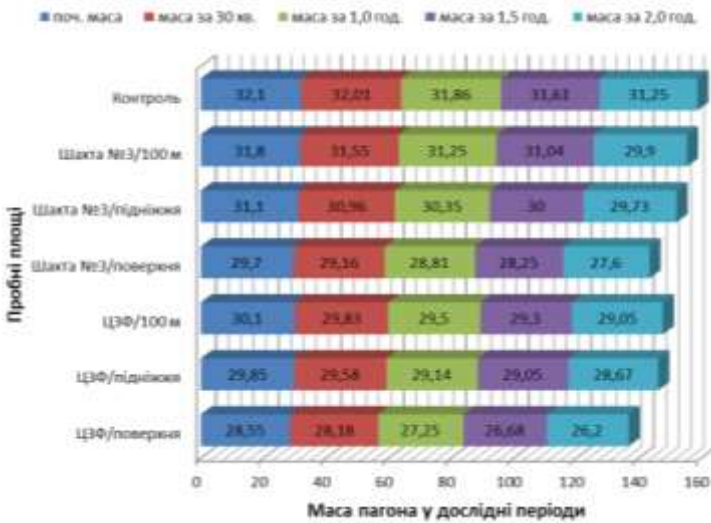


Рисунок 3.34 – Динаміка зміни водоутримуючої здатності пагонів *Pinus sylvestris* L. на дослідних площах

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 падає, а рівень збільшення дефіциту вологи наростає. Найбільш низький рівень водоутримуючої здатності і найвищий рівень втрати вологи, як це видно із вище вказаного рисунку, зафіксований у пагонах дослідних екземплярів, зростаючих в умовах максимальної ксерофілізації – на вершинах терикону центральної збагачувальної фабрики та шахти №3.

3.6. Аутокологічна стійкість сосни звичайної за морфологічними показниками пристосування в екотопах породного відвалу

Засоленість субстратів відвальної породи є негативним ландшафто-трансформуючим чинником териконів.

Для визначення солестійкості *Pinus sylvestris* L. використано такі матеріали та обладнання: гілки *Pinus sylvestris* L., 4% розчин *NaCl*, кристалізатори, хімічні стакани на 300 мл. Гілки *Pinus sylvestris* L. із різних досліджуваних ділянок породних відвалів, зрізали біля основи. Контрольні гілки помістили черешками у воду, дослідні – у 4% розчини *NaCl*. Контрольні вимірювання здійснювали на 3-у та 7-у доби [8-10].

Для досліджень використовували зразки *Pinus sylvestris* L. із таких ділянок породних відвалів: 1 – поверхня відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія»; 2 – підніжжя відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія»; 3 – за 100 м від підніжжя відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія»; 4 – поверхня відвалу Шахти №3; 5 – підніжжя відвалу Шахти №3; 6 – за 100 м від підніжжя відвалу Шахти №3; 7 – контроль (дендрарій НЛТУУ). Результати досліджень наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Солестійкість *Pinus sylvestris* L.

Пробна ділянка	Показники аутоекологічної стійкості							
	Розмір пагонів у 4% NaCl, см	Розмір пагонів у воді, см	Кристалізація у 4% NaCl, %	Знебарвлення у 4% NaCl, %	Опадання хвої у 4% NaCl, %	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

У результаті дослідження солестійкості встановлено, що найбільш несприятливі умови зростання сосни звичайної є ділянки №1 та №4, що 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% відповідно. Знебарвлення хвоїнок 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.

3.7. Життєвість парцелярних мікропопуляцій сосни звичайної в умовах породних відвалів вуглевидобутку

За результатами польових досліджень на території Червоноградського вуглевидобувного регіону встановлено, що процеси горіння породи протікають неоднаково та залежать від давності відсипання терикону, наявності технології складування, геометричних параметрів відвалів тощо. На териконах ПАТ «Львівська вугільна компанія» (Центральна збагачувальна фабрика «Червоноградська») та «Шахти Бужанська» нами спостерігалися процеси інтенсивного горіння впродовж останніх років, які погіршують рівень екологічної безпеки регіону. Внаслідок горіння териконів відбуваються різноманітні фізіологічні зміни трав'яного покриву та дерево-чагарникової рослинності внаслідок токсичної дії газів та впливу високих термічних режимів [84]. При проведенні гірничих робіт з вугільних шахт щороку виділяється (за різними оцінками) від 750 млн. м³ до 2,7 млрд. м³ метану, більшість якого викидається в атмосферу. Підвищені температури субстрату спричиняють розвиток рослинності на поверхні породних відвалів у зимовий період [83].

Породний відвал вважається таким, що горить, якщо на ньому є хоч би один осередок горіння (незалежно від його площі) з температурою порід на глибині до 2,5 м більшою за +80°C. Якщо відвал був таким, що не горить, а під час температурної зйомки буде виявлено на глибині до 2,5 м температуру більшу за +80°C, яка збережеться до наступної планової зйомки, то відвал переводиться до числа таких, що горять, за актом [72, 92].

Нами проводилися обстеження температурних режимів діючого породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (Червоноградський гірничопромисловий район Львівсько-Волинського вугільного басейну), який розміщений у с. Сілець Сокальського району Львівської

області. Для обстеження теплового стану породного відвалу необхідно було розбити ділянку, на якій проводилися дослідження, на сектори відповідно за схемою як вказано НПАОП 10.0-5.21-04. Для встановлення температурних режимів використовували тепловізор «FLUKE TiS40» (рис. 3.35).



Рисунок 3.35 – Цифрове зображення осередків горіння породного відвалу із відмітками середніх, максимальних та мінімальних температур

За результатами проведеного зондування термопарою та тепловізійною зйомкою було виявлено чотири ймовірні осередки самозаймання. Аналізуючи отримані температурні показники надають можливість стверджувати, що міграція температурного поля відбувається вздовж лінії краю укусу, а не в глибину терикона [87].

Самозаймання лісових культур на териконах вугільних шахт виникає в результаті самочинного горіння внаслідок поступового накопичення тепла. Як правило воно спостерігається під час різкого збільшення швидкості екзотермічних реакцій тоді, коли швидкість виділення тепла перевищує швидкість його розсіювання. Горіння териконів (через самозаймання органічних речовин, при цьому

температура всередині терикона знаходиться в межах +100-800 °С) характеризується процесами термічного розкладу та випаровуванням небезпечних речовин, а також відбувається теплообмін між розігрітим відвалом та довкіллям. Унаслідок довготривалого горіння відбувається забруднення повітря вуглеводнями, пилом та іншими шкідливими речовинами, які виділяються від горіння. Процес самозаймання лісових культур на териконах може також перерости в ландшафтні пожежі, що призводять до великих економічних втрат і негативних екологічних наслідків [84].

Дослідження показників займання та самозаймання твердих речовин і матеріалів проводили у весняний період. Досліджуваними об'єктами були зразки деревних порід з терикону шахти Нововолинського гірничопромислового району (Волинська область, м. Нововолинськ).

Для визначення температури займання твердих речовин та матеріалів згідно з пунктом 7.8 ДСТУ 8829:2019 [34] були використані зразки хвої сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) з терикону шахти №3 Нововолинського гірничопромислового району.

Отримане значення температури займання матеріалу зразків лісових культур округлено з точністю до +5 °С (табл.3.6).

Таблиця 3.6

Результати експериментального вимірювання температури
займання матеріалу зразків лісових культур
(*Pinus sylvestris* L.)

№ зразка	Температура випробування, °С	Результат випробування
1	+220	відмова
2	+220	відмова
3	+220	відмова
4	+230	займання
5	+230	займання
6	+230	займання

Аналізуючи отримані результати з таблиці 1 можна зробити висновок про те, що температура займання зразку сосни звичайної складає +225 °С.

Для визначення температури самозаймання зразку *Pinus sylvestris* L. згідно ДСТУ 8829:2019 «Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їх визначення. Класифікація», п. 7.10. був використаний метод експериментального визначення температури самозаймання твердих речовин і матеріалів [34]. Отримане значення температури округлено з точністю до +5 °С (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Результати експериментального вимірювання температури самозаймання зразків лісових культур (*Pinus sylvestris* L.)

№ зразка	Температура випробування, °С	Результат випробування
1	+460	відмова
2	+460	відмова
3	+460	відмова
4	+470	самозаймання
5	+470	самозаймання
6	+470	самозаймання

Результати в таблиці 2 свідчать, що згідно з п. 7.10 ДСТУ 8829:2019 [34] температура самозаймання взірця сосни звичайної складає +475 °С.

Процес рекультивації вугільних териконів, який відбувається у девастрованих місцях, яким локально притамані специфічні екологічні умови середовища, а саме підвищенні температури повітря та ґрунту, підвищений рівень концентрації солей у едафотобах, ксерофітність. Певна екстремальність умов середовища, особливо діючих териконів, куди здійснюється підсіпка свіжих розкривних порід, доповнюється ризиками природних загорань, що ще

збільшує довколишню температуру повітря. Тому фітомеліоративний процес, як природний так і планово-регульований вимагає підбору деревно-чагарникового рослинного асортименту, який би зміг адаптуватись до цих складних едафо-кліматичних умов, які відповідно едафічній сітці Крюденера-Погребняка, можна віднести до А1-А2 і В1-В2 [12, 65].

Методикою досліджень було поставлено завдання вивчення рівня жаростійкості сосни звичайної, під якою розуміється здатність витримувати тривалі підвищення температури при порівнянні із оптимальною. Жаростійкість забезпечується супутніми фізіологічними змінами, зокрема обміну речовин, підвищеною в'язкістю та гідрофільністю цитоплазми хвої, посиленням рівня транспірації [66].

Для вивчення жаростійкості *Pinus sylvestris* L., 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) у різних ярусах крони.

Дослідження рівня жаростійкості проводилось у лабораторії кафедри ЛА, СПГ та урбоекології НЛТУ України. Як базовий застосовувався метод Ф. Мацкова, який базується на вивченні здатності рослинної протоплазми протистояти дії високих температур [9].

З кожному із досліджуваних пагонів нарізали по 5 живців, які зв'язували маркувальною стрічкою. Далі поміщали у резервуар із водою, яку нагрівали у водяній бані в десятикратному температурному діапазоні (+40+-80°C). В кожному із температурних діапазонів (+40, +50, +60, +70 і +80°C), занурювались на 30 хвилин, зв'язані по 5 штук живців. Після цього, виймали по одному живцю, переносили в чашки Петрі із кристалізатором, і піднімали температуру у водяній бані на 10 градусів. Збільшувався на 10 хвилин і

часовий інтервал нагрівання. Так повторяли для всіх зазначених температур. Охолоджені протягом 5 хвилин живці, занурювались на 20 хвилин в окремі термостійкі посудини з 0,2 н розчином соляної кислоти (HCl) (рис. 3.36).



Рисунок 3.36 – Процес нагрівання дослідних живців у водній бані

Поверхня хвої вийнятих живців сосни звичайної, вкривалась бурими плямами різної величини та форми. Спостерігався так званий “феофітиновий спалах”, який є віддзеркаленням умов тривалого впливу підвищених температур. Дослідні зразки розкладали і за 30 хв. здійснювалась оцінка ступеня феофітинізації за 5-ти бальною шкалою, на різних температурних діапазонах (рис. 3.37).



Рисунок 3.37 – Вивчення рівня феофітинізації дослідних живців

Одержані дані представлені нижче (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Оцінка рівня жаростійкості живців за оціночним ступенем феофітинізації

Місце відбору	Забарвлення хвої	Ступінь феофітинізації поверхні на різних температурних діапазонах, °С				
		+40	+ 50	+ 60	+70	+80
Терикон шахта №3 (поверхня)	темнозелена	–	–	++	+++	+++
Терикон ЦЗФ (поверхня)	темнозелена	–	–	++	++	+++
Терикон шахта №3 (віддаль 100 м)	темнозелена	–	+	++	++	++

Примітки: “ - ” - відсутність бурих плям, “ + ” - незначне побуріння, “+++” - побуріння 50% і вище, “+++” - побуріння 90%.

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

$$Ddt = (d_1 \times 1 + d_2 \times 2 + d_3 \times 3 + d_4 \times 4 + d_5 \times 5) / 5 \quad (3.5)$$

де Ddt – загальний бал ушкодження поверхні живця високими температурами; $d_1 \dots d_5$ – бал ушкодження

при певній температурі нагрівання, 1...5 – коефіцієнти впливу температур – 40, 50, 60, 70, 80 (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Оцінка рівня жаростійкості живців дослідних *Pinus sylvestris* (за Ф. Мацковим)

Вид	Забарвлення хвої	Рівень температури, °С					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

Розрахунок сумарного балу рівня ушкодження дозволив дослідні зразки розділити на три групи: висока жаростійкість, середня жаростійкість і низька жаростійкість.

Як видно із таблиці 2 одержані наступні результати: високий рівень жаростійкості зафіксований у живців *Pinus sylvestris*, яка зростає на віддалі 100 м від терикону шахти №3, сумарна кількість обрахованих балів становила 112. Середній рівень жаростійкості виявлено у *Pinus sylvestris*, яка зростає на поверхні терикону центральної збагачувальної фабрики (с. Сілець) – 118 балів. Відповідно найнижчий рівень жаростійкості – у зразка зростаючого на поверхні терикон шахти №3 (м. Червоноград), який становить 132 бали.

Горіння породних відвалів вугільних шахт та центрально-збагачувальних фабрик спричиняють погіршення рівня екологічної безпеки вуглевидобувного регіону. Для

запобігання самозайманню відвалів необхідно дотримуватися вимог складування породи, а ліквідацію горіння необхідно здійснювати шляхом переформатування відвалів.

3.8. Газостійкість *Pinus sylvestris* L. в умовах породних відвалів вуглевидобутку

Зростаюче техногенне навантаження, яке спричиняє руйнування природних ландшафтів, змінює механічну структуру ґрунтів, спричиняє суттєве забруднення компонентів навколишнього природного середовища. Помітну негативну роль в зоні гірничих розробок, яка впливає на рівень життєвості природних насаджень та планово посаджених лісових культур, відіграє забрудненням атмосферного повітря поллютантами. Серед широкого спектру забруднюючих поллютантів, які є чи не найшкідливіми для фізіологічного розвитку деревно-чагарникової рослинності, є сірчаний ангідрид (SO_3), оксиди азоту (NO , NO_2 , N_2O_5), діоксид сірки (SO_2), сірководень (H_2S), аміак (HN_3), ацетилен та ін. [16, 79, 89].

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 сосни звичайної. Дослідження даного важливого параметру життєвості проводились у лабораторії кафедри екологічної безпеки ЛДУБЖД. Відповідно програми досліджень вивчався ступінь газостійкості сосни звичайної до дії наступних токсичних газових сполук – NO_2 , SO_2 і Cl_2 . У дослідженнях використовувалась методика В. П. Бессонової [9].

Згідно методики, були відібрані зразки пагонів сосни звичайної на семи дослідних площах. По десять пагонів завдовжки 20 см. зв'язувались у пучки і поміщались

почергово у фумігаційну камеру (об'ємом 20 дм³) в чашки Петрі із приготованими розчинами наступних реактивів: HCl, NaClO, H₂SO₄, Na₂SO₃, HNO₃ і KMnO₄. В даній фумігаційній камері відбувався процес газовиділення та вплив токсикантів на дослідну хвою. Для обчислення площі ушкоджень дослідних пагонів *Pinus sylvestris* L. використовувалась формула:

$$A = (S_1 / S_2) \times 100 \% \quad (3.6)$$

де L-довжина споруди, м;

S_2 – ушкодження хвої, см²;

S_1 – площа цілого пагона, см².

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%).

Збільшення площі опіків виступає індикатором нижчого рівня газостійкості до певного з застосовуваних дослідних газів. На основі одержаних даних підраховувався сумарний бал газостійкості (Bg) для сосни звичайної з усіх пробних площ. Одержані результати представлені нижче у табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Рівень ушкодження *Pinus sylvestris* L. при дії різних газів

Пробна площа	Дослідний газ	Рівень ушкодження, %	Бал ушкодження
поверхня терикону ЦЗФ	Cl ₂	8	1
	SO ₂	13	2
	NO ₂	11	2

підніжжя террикону ЦЗФ	Cl ₂	5	1
	SO ₂	8	1
	NO ₂	6	1
100 м від террикону ЦЗФ	Cl ₂	3	1
	SO ₂	3	1
	NO ₂	2	1
поверхня террикону шахти №3	Cl ₂	10	1
	SO ₂	12	2
	NO ₂	11	2
підніжжя террикону шахти №3	Cl ₂	5	1
	SO ₂	6	1
	NO ₂	4	1
100 м від террикону шахти №3	Cl ₂	2	1
	SO ₂	2	1
	NO ₂	3	1
2 км від террикону (контроль)	Cl ₂	1	1
	SO ₂	1	1
	NO ₂	1	1

Порівняльні співвідношення індикаторних сумарних балів ушкодження пагонів сосни звичайної досліджуваними газами (Cl₂, SO₂, NO₂) на дослідних ділянках представлені на рис. 3.38 і рис. 3.39.

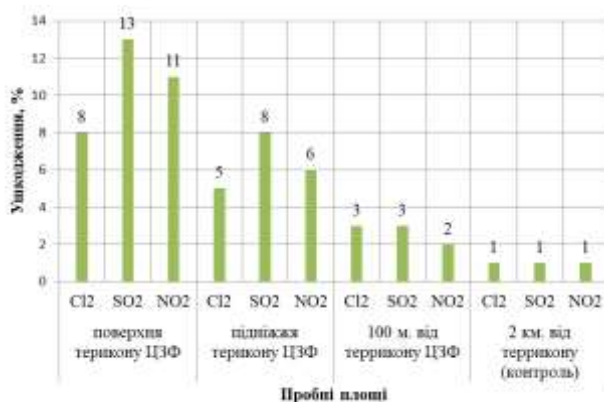


Рисунок 3.38 – Ураження хвої дослідних зразків, ЦЗФ (с. Сілець)

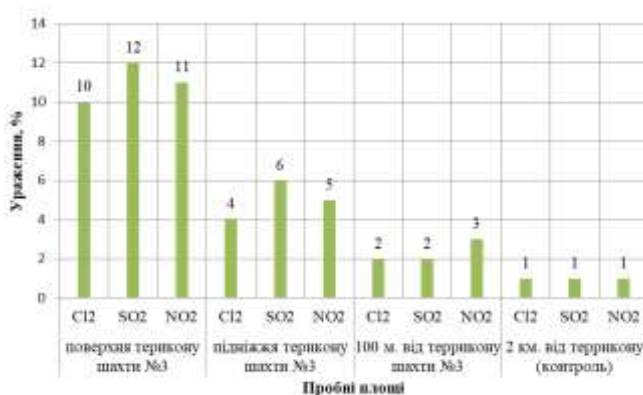


Рисунок 3.39 – Ураження хвої дослідних зразків, шахта №3 (м. Червоноград)

Як можна побачити із рисунків, отримані результати є індикаторним віддзеркаленням екологічних умов в місцях зростання досліджуваних *Pinus sylvestris* L. Простежується пряма залежність зростання відсотка ураження хвої по мірі наближення до осередків забруднення – поверхонь териконів ЦЗФ і Шахти №3. Відповідно сумарний бал ушкодження вегетуючої поверхні (табл. 3.10) тут теж максимальний. Відповідно рівень газостійкості найнижчий.

Децю сприятливіші показники виявлені в підніжжі териконів ЦЗФ і Шахти №3. Відсоток ураження дослідними газами зменшується на 30-50%. Це, як показали маршрутні спостереження, зовнішньо відображено на фізіологічно вищому рівні життєвості. Рівень газостійкості тут помірний.

Кращі екологічні умови зростання та менший відсоток ураження хвої під дією газів, спостерігається на віддалях 100м від дослідних териконів. У порівнянні із вершинами відсоток ураження хвої зменшується на 70-80%. Рівень газостійкості високий.

І найсприятливіші умови зростання, найнижчий відсоток ураження хвої та найвищий рівень газостійкості

закономірно спостерігався в зразків, відібраних у контролі на віддалі 2 км від осередку забруднення. Тут практично відсутні були індикаторні плями ушкодження.

3.9. Біоіндикація повітря у зоні впливу породних відвалів за допомогою індексу флюктуючої асиметрії хвої *Pinus sylvestris* L.

Хвойні рослини є природними індикаторами якості довкілля, що обумовлено їхньою акумулятивною здатністю і тривалістю збереження асиміляційного апарату, адже цю індикаторну функцію вони виконують протягом цілого року.

Важливим негативним наслідком техногенного забруднення є погіршення ряду морфометричних характеристик у хвойних рослин: знижується вік хвої, пришвидшуються процеси її опадання, маса хвоїнок, появляються зовнішні ознаки пошкодження хвої, змінюється структура, форма і розміри крони, погіршується показник життєвого стану [75, 89, 95].

Соснові насадження посідають одне із провідних місць по чутливості до забруднення атмосферного повітря. Саме зважаючи на їх біоіндикаційні властивості *Pinus sylvestris* L. широко використовується як індикатор. Зокрема, хвойні не рекомендується висаджувати в зонах впливу радіоактивного випромінювання.

Даний важливий параметр вивчався на основі матеріалу зібраного нами з семи дослідних місць: поверхонь та підніжь териконів шахти №3 і Центральної збагачувальної фабрики, на віддальх 100 м від териконів та у контролі. Дослідження проводились у вересні 2020 року у лабораторії екології ЛДУ БЖД. З кожного дослідного екземпляру відбирались пагони завдовжки 20 см. На них вівся підрахунок хвоїнок, їхні середні розміри, які замірялись з допомогою мірної лінійки, середньої ширини, яка вимірялась з допомогою лабораторного мікроскопу (рис.3.40 і рис. 3.41).



Рисунок 3.40 – Відбір дослідних зразків

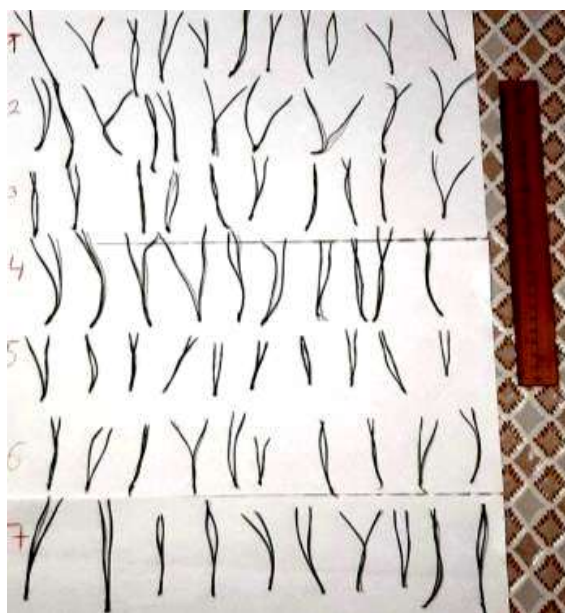


Рисунок 3.41 – Аналізована хвоя з дослідних місцезростань

Одержані дані представлені у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Морфометричні характеристики хвої *Pinus sylvestris* L.

Пробна площа	Річний приріст бокових пагонів, см	Кількість хвої на 20 см. пагону, шт.	Середня довжина хвої, см	Середня ширина хвої, мм	Маса хвої з 20 см пагону, г
Центральна збагачувальна фабрика (с. Сілець)					
Поверхня терикону	26,5	394	3,90	0,84	7,6
Підніжжя терикону	35,8	334	4,30	0,86	6,2
За 100 м від терикону	39,0	286	6,57	1,05	5,7
Шахта №3 (м. Червоноград)					
Поверхня терикону	27,4	482	3,84	0,79	7,0
Підніжжя терикону	34,8	340	5,39	0,94	6,5
За 100 м від терикону	40,2	304	7,17	1,01	5,8
Контроль (2 км від шахти №3)	48,6	258	7,51	1,3	4,9

Виходячи із одержаних даних, вимальовується закономірність: прирости пов'язані із рівнем деградації: чим він більший, тим приріст менший. Максимальні вони у контролі – 48,6 см. Дана закономірна тенденція простежувалась на обидвох дослідних об'єктах.

Кількість хвоїнок 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 – вони навпаки зменшуються в напрямку до поверхні терикону. Зменшення

розмірів хвоїнок є проявом ксероморфності та підвищеної ущільненості ґрунту.

Для оцінки морфометричних показників додатково розраховувався індекс флуктуючої асиметрії (ІФА). Він був розроблений і запропонований за методикою Скрипальшикової Л. М. та Стасової В. В. Цей показник Визначався за наступною формулою:

$$I\Phi A = 2(WL - WR) / (WL + WR) \quad (3.7)$$

де L-довжина споруди, м;

WL – довжина лівої хвоїнки в пучку;

WR – довжина правої хвоїнки в пучку.

Для цього відбиралось по 10 пучків хвої (у пучку є дві хвоїнки) із різних ярусів крон *Pinus sylvestris* L. Одна з них маркувалась, щоб не спугувалось. В лабораторії замірялись наступні показники: довжини лівих і правих хвоїнок, ширина плоского та напівсферичного боків. Одержані дані подані у таблиці 3.12.

Таблиця 3.12

Середнє значення морфометричних показників на основі індексу флуктуючої асиметрії

Пробна площа	Довжина, мм		Ширина плоских боків, мм		Ширина напівсферичних боків, мм		Загальна поверхня, мм ²	
	WL	WR	WL	WR	WL	WR	WL	WR
Центральна збагачувальна фабрика (с. Сілець)								
Поверхня терикону	75,2	84,0	1,02	1,05	81,6	103,5	157,82	188,55
Підніжжя терикону	95,5	98,7	1,06	1,11	92,3	107,4	188,86	207,21
За 100 м від терикону	101,9	106,5	1,1	1,18	99,3	110,6	202,3	209,28
Шахта №3 (м. Червоноград)								
Поверхня терикону	73,7	79,1	0,95	1,01	85,2	95,4	159,85	175,51

Пiднiжка терикону	86,8	90,4	0,99	1,08	88,9	97,6	176,69	189,08
За 100 м вiд терикону	91,0	92,3	1,02	1,12	97,0	99,4	189,02	192,82
Контроль (2 км вiд шахти №3)	112,5	115,8	1,10	1,20	104,7	112,5	218,3	229,5

В результатi обробки табличних даних на рисунках 3.42 i 3.43 зображуємо спiввiдношення флуктуючої асиметрiї хвoї сосни звичайної обидвох об'єктiв.

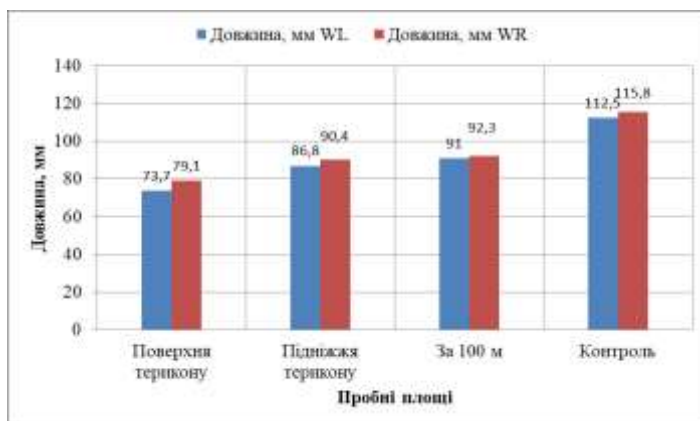


Рисунок 3.42 – Флуктуюча асиметрiя хвoї *Pinus sylvestris* L. шахти №3

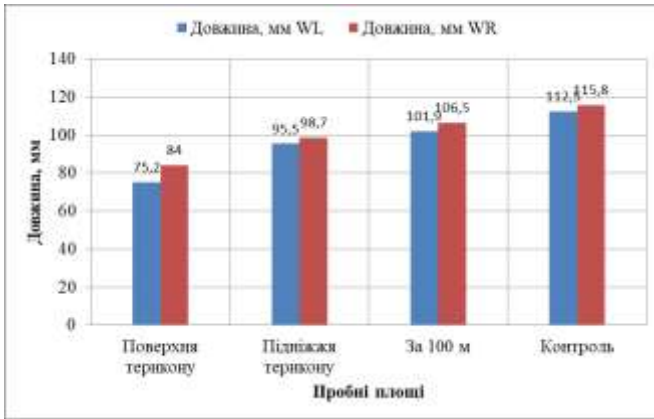


Рисунок 3.43 – Флуктуюча асиметрія хвої *Pinus sylvestris* L. ЦЗФ

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.

3.10. Радіаційний фон у зоні впливу відвалів вугільних шахт

Переміщення радіонуклідів в екосистемі пов'язане з процесами ерозії, горінням породи, вторинним переносом за рахунок вітру, а також старінням і руйнуванням радіоактивних частинок, яке відбувається дуже повільно [38, 100].

Дослідження радіаційного фону здійснено за допомогою екотестеру довкілля «Soeks» який має сертифікат відповідності. Згідно «Норм радіаційної безпеки України» (НРБУ-97) максимально допустимим рівнем гамма-фону (який найбільше впливає на біологічні організми) вважається рівень 0,30 мкЗв/год.

Дослідженнями радіаційного фону встановлено, що найбільші значення потужності еквівалентної дози

фотонного іонізуючого випромінювання притаманні схилам породного відвалу «Шахти №3 Великомоствівська» та відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія». Показники радіаційного фону перевищують допустимі норми (0,3 мкЗв/год.) та становлять 0,3-0,37 мкЗв/год. Детальніші результати досліджень наведені на рисунку 3.44.

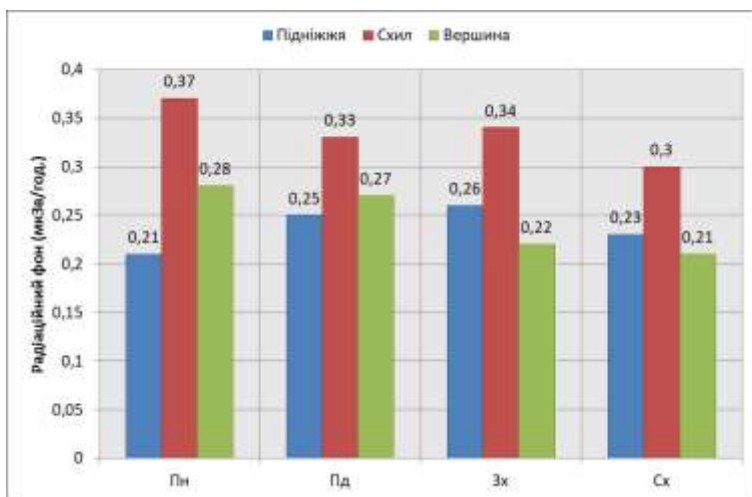


Рисунок 3.44 – Потужність еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання у зоні впливу шахти №3

Одержані значення радіаційного фону спонукають зробити висновок про додатковий пресинг на життєвість піонерних видів (сосни звичайної) у вигляді радіації. Загальновідомим є факт згубного впливу радіації на розвиток хвойних культур [38, 100-102].

Висновки до розділу 3

За результатами польових досліджень на території зазначеного вуглевидобувного регіону встановлено, що процеси горіння породи протікають неоднаково та залежать від давності відсипання терикону, наявності технології

складування, геометричних параметрів відвалів тощо. Процеси горіння відсутні на 2-х типах териконів – перегорілих (згаслих) та рекультивованих. Здійснено типологію териконів вугільних шахт за наявності процесів горіння на їх поверхні. Найбільш безпечними, з точки зору горіння, є терикони, які були піддані рекультивації. Рекультивовані терикони засаджені лісовими культурами відповідно до проектів.

Процеси горіння породи згубно впливають на природні фітомеліоративні процеси, які відбуваються за участю сосни звичайної.

Вміст сірки у териконах Нововолинського гірничопромислового району становить 0,26-3,2%. Встановлено, що у регіоні можуть піддаватися горінню до 80,2% териконів, що становить екологічну небезпеку.

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 падає, а рівень збільшення дефіциту води наростає.

Високий рівень жаростійкості зафіксований у живців *Pinus sylvestris*, яка зростає на віддалі 100 м від терикону шахти №3, сумарна кількість розрахованих балів становила 112. Середній рівень жаростійкості виявлено у *Pinus sylvestris*, яка зростає на поверхні терикону центральної збагачувальної фабрики (с. Сілець) – 118 балів. Відповідно найнижчий рівень жаростійкості – у зразка зростаючого на

поверхні терикон шахти №3 (м. Червоноград), який становить 132 бали.

Простежується пряма залежність зростання відсотка ураження хвої по мірі наближення до осередків забруднення – поверхонь териконів ЦЗФ і Шахти №3. Відповідно сумарний бал ушкодження вегетуючої поверхні тут теж максимальний. Відповідно рівень газостійкості найнижчий.

Дещо сприятливіші показники виявлені в підніжжі териконів ЦЗФ і Шахти №3. Відсоток ураження дослідними газами зменшується на 30-50%. Це, як показали маршрутні спостереження, зовнішньо відображено на фізіологічно вищому рівні життєвості. Рівень газостійкості тут помірний.

Для оцінки морфометричних показників додатково розраховувався індекс флуктуючої асиметрії. 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.

РОЗДІЛ 4. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ДОВКІЛЛЯ У ЗОНІ ВПЛИВУ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

4.1. Температурні градієнти середовища розвитку сосни звичайної та способи їх регулювання

Великий вплив на ріст, розвиток рослин, тривалість вегетаційного процесу, його початок і завершення, має температурний режим у місцях зростання. Причому оцінка впливу температур на окремо зростаючу рослину або ж групу, здійснюється комплексно у двох площинах – вертикальній і горизонтальній.

Дана комплексність є дуже важливою, адже часто температура надземних частин рослини (хвоя, пагони) часто не відповідає температурам середовища. Тому, виходячи із напрацювань вчених та науковців, для кожної з них, виділяють окремий температурний градієнт: вертикальний і горизонтальний градієнти рослин та середовища. Даний параметр дозволяє оцінити рівень позитивного чи негативного впливу на перебіг онтогенезу рослин, рівень їх життєвості в конкретних умовах місцезростання, особливостей формування їхніх фітогенних полів [30].

Більшість вчених свого часу стверджували: "...вищі рослини пристосовані до від'ємного температурного градієнту, тобто до такого температурного режиму, при якому температура ґрунту в сонячний літній день повинна бути на 3-8°C нижчою від температури повітря. Ігнорування цієї вимоги, спричиняє передчасне фізіологічне старіння, а потім і вироджування рослини" [62-64].

Вертикальні температурні градієнти розраховуються за наступними формулами:

$$TC = \pm(t_n - t_z); TP = \pm(t_n - t_k) \quad (4.1)$$

де TC – вертикальний градієнт середовища;

t_n – температура повітря на рівні рослини (крони);
 t_c – температура на рівні розгалуження кореневої системи;
 TP – вертикальний градієнт рослини;
 t_n – температура надземних органів (хвої) або ж навколо них;
 t_k – температура кореневої системи або ґрунту в зоні розповсюдження.

Важливий вплив на онтогенез рослини спричиняє так звана “теплова мозаїчність” горизонтального температурного градієнтів рослини і середовища. Під ним розуміється різниця температур в двох вимірювальних точках на одному горизонтальному рівні. Тут йдеться як про наземний простір, де розміщена крона, стовбур, гілки деревних рослин, так і в підземному просторі, де є розгалужена коренева система.

Формули розрахунку горизонтальних температурних градієнтів є наступними:

$$TG_z = \pm (t_2 - t_1); TPe = \pm (t_2 - t_1) \quad (4.2)$$

де TG_z – горизонтальний градієнт ґрунту;

$t_n - TPe$ – горизонтальний градієнт повітря;

t_1 і t_2 – різниця температур між точками заміру.

Нами для оцінки сприятливості рівня впливу температури на ріст, розвиток і життєвість *Pinus sylvestris* L. впродовж періоду травень-вересень 2020 року вивчались вертикальні та горизонтальні температурні градієнти на семи дослідних площах: вершина терикону шахти №3, вершина терикону центральної збагачувальної фабрики, підніжжя терикону шахти №3, підніжжя терикону центральної збагачувальної фабрики, на віддалі 100 м від обидвох териконів та на контрольній дослідній ділянці за 2 км. Заміри температури здійснювались у сонячні, малохмарні дні в

середині кожного місяця. Для заміру температури у кроні дерев використовувався спеціальний штатив, до якого кріпився термометр. Час заміру становив 5 хвилин. Заміри проводились тричі на день у наступні години: 8⁰⁰ - 10⁰⁰, 13⁰⁰ - 15⁰⁰, 18⁰⁰ - 20⁰⁰. На основі одержаних температур вираховувався середньоденний температурний градієнт.

Вивчення рівня впливу горизонтальних градієнтів здійснювалось як для градієнтів повітря, так і градієнтів ґрунту. Ґрунтові термометри вимірювали температуру в продовж 5 хвилин в площинах крона – відкритий простір і під наметовий простір – відкрита місцевість. Замір здійснювався на глибині 20 см.

Одержані результати виміру вертикальних температурних градієнтів *Pinus sylvestris* L. Червоноградської шахти №3 та центральної збагачувальної фабрики (с. Сілець) подані на рисунках 4.1 і 4.2.

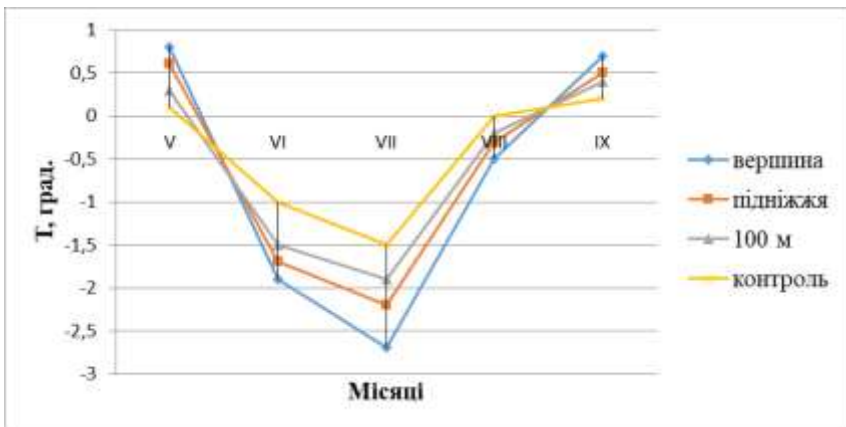


Рисунок 4.1 – Вертикальні температурні градієнти *Pinus sylvestris* L. центральної збагачувальної фабрики (с. Сілець)

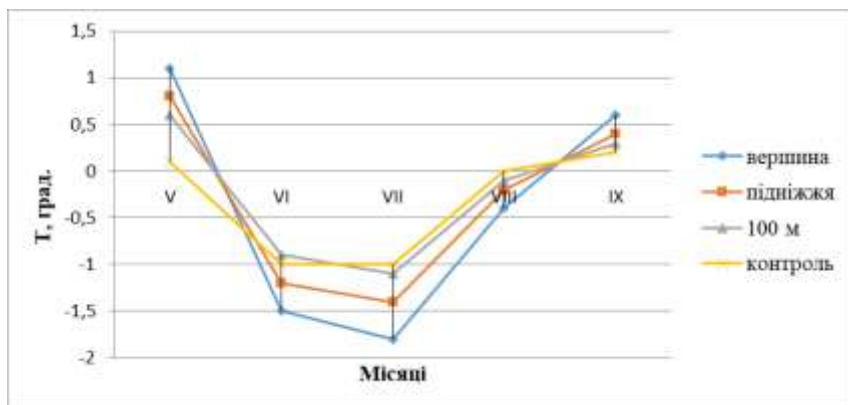


Рисунок 4.2 – Вертикальні температурні градієнти *Pinus sylvestris* L. шахти №3 (м.Червоноград)

Із рисунків поданих вище видно, що впродовж досліджуваного періоду, який охоплює весну–літо–осінь, спостерігалася тенденція, що весною додатній градієнт, характерний для зимового періоду, поступово зменшувався і наближався до від’ємного. Це мало місце на двох дослідних об’єктах. Встановлено, що не сприятливіші температурні умови (вищий додатній градієнт), виявлено під сосною звичайною шахти №3 – 1,1°C, тоді як під екземпляром зростаючим на вершині терикону центральної збагачувальної фабрики – 0,8°C.

Літній період характеризувався фіксацією від’ємних вертикальних температурних градієнтів. Причому пік їх припадав на липень місяць: шахта №3 – 1,8°C, центральна збагачувальна фабрика – 2,7°C.

У вересні були знову зафіксовані додатні температурні вертикальні градієнти під дослідними екземплярами.

Виходячи із місця із різним ступенем деградації, найекстремальніші умови були зафіксовані на вершинах териконів, поступово зменшуючись у підніжжі та на віддалях 100 м. Що й відображено на зовнішньому фізіологічному

стані рослин: найбільша сухість пагонів, пожовтіння та ураження та опадання хвої зафіксовано на вершинах териконів. Різниця у температурному навантаженні в порівнянні із вершинами знаходиться в діапазоні 50-70%. Максимально сприятливі умови відповідно у контролі, де рівень деградації та вплив ушкоджуючих факторів найнижчий. Практично зовнішніх значних ушкоджень на обстежених *Pinus sylvestris* L. не виявлено.

Результати дослідження рівня впливу горизонтальних температурних градієнтів у цих же дослідних екземплярів *Pinus sylvestris* L. проілюстровано на рисунках 4.3 і 4.4.

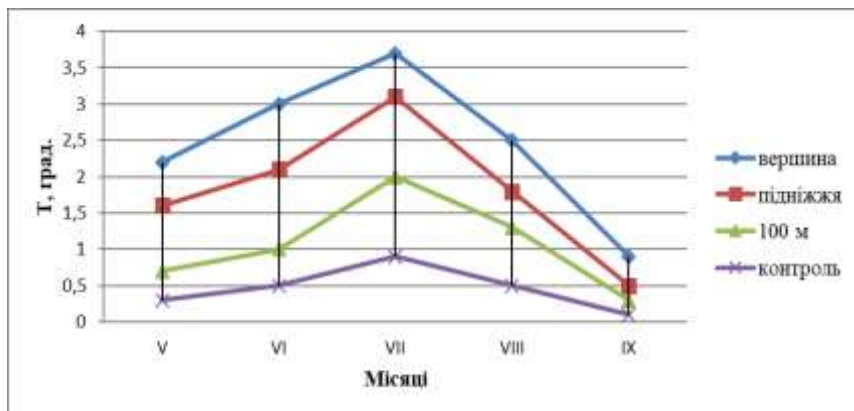


Рисунок 4.3 – Горизонтальні температурні градієнти *Pinus sylvestris* L. центральної збагачувальної фабрики (с. Сілець)

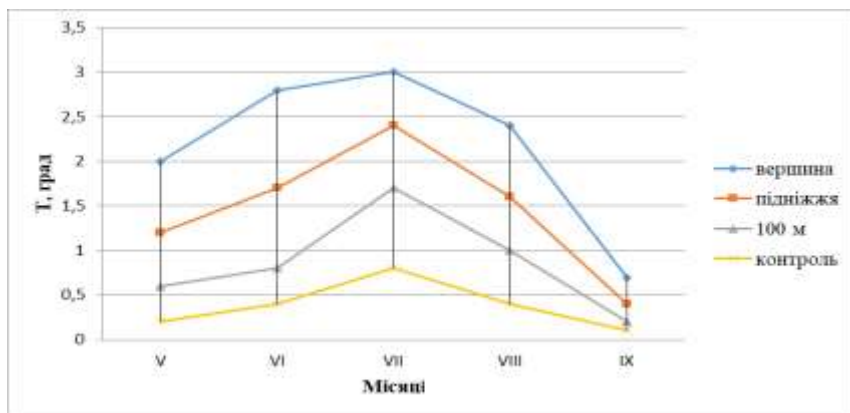


Рисунок 4.4 – Горизонтальні температурні градієнти *Pinus sylvestris* L. шахти №3 (м.Червоноград)

Вивчення сезонного впливу цього показника дозволило зафіксувати, те що вони є позитивними, тобто температура у місці, яке порівнюють із відкритим простором завжди була нижчою. Цьому відповідно сприяло часткове затінення під наметового простору, вищий рівень природного зволоження, що вкрай необхідно для росту і розвитку рослини, особливо у таких відносно несприятливих умовах, які склались у місцях складування продуктів вугільних розробок. Максимум температурної різниці спостерігався на обидвох об'єктах в липні місяці, на коли припадає сезонний пік росту пагонів. На вершині терикону шахти №3 різниця температур становила – 3,0°C, а на центральній збагачувальній фабриці – 3,7°C, що якраз входить небезпечного для рівня життєвості температурного діапазону, про що свого часу попереджали вчені та науковці. Поступово до вересня місяця, як видно із рисунків 4.3 і 4.4 співвідношення температур під наметового і відкритого простору суттєво зменшуються.

Як і у випадку із вертикальними температурними градієнтами максимум зафіксовано нами на вершинах дослідних териконів, а мінімуми на віддалях 100 м та

особливо в сприятливих місцезростаннях контрольної ділянки.

Таким чином сезонне вивчення рівнів вертикального та горизонтальних температурних градієнтів *Pinus sylvestris* L. дослідних місцезростань показало, що найнесприятливіші умови розвитку присутні в осередках активної деважації – 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.

4.2. Формування фітогенних полів за участі солітерів та парцел сосни звичайної

Реабілітацію екосистем неможливо уявити собі без участі рослинних угруповань. Рослинні угруповання на девастрованих ландшафтах деталізують для того, щоб ординувати їх за ектопічними характеристиками (підніжжя, схили, тераси, плато) та віковими стадіями. Враховуючи, що екологічні сукцесії оцінюються за речовинними, енергетичними та інформаційними складовими, їх слід розглядати як фітогенне поле. Розвиток вчення про фітогенне поле розпочалося у 60-х роках ХХ століття та тісно переплітається із фітомеліорацією. Фітогенне поле складається з двох відмінних частин: внутрішньої і зовнішньої. Зовнішня частина фітогенного поля обмежена простором, де фізично присутні живі або відмерлі частини рослини. Межі зовнішньої частини фітогенного поля також визначаються дальністю проникнення горизонтальних коренів, за наявності листового опадку. Розмір внутрішньої частини фітогенного поля визначається діаметром надземної

або підземної сфер, тобто простором, зайнятим основною масою кореневої системи рослини або діаметром крони дерева чи чагарника. У фітогенних полях рослин, поряд зі світловим, трофічним, температурним, вологісним режимами, значну роль може грати алелопатія, яка визначає хімічну взаємодію між рослинами.

Слід зазначити, що фітогенне поле з його біоенергетикою є рушійною силою ендекологічної сукцесії, що є актуальним для девастрованих ландшафтів гірничодобувної промисловості та сміттєзвалищ. Активне фітогенне поле спричиняє континуум рослинного вкриття. Фітомеліорація є одним із найбільш ефективних методів зниження рівня екологічної небезпеки девастрованих ландшафтів. Вивчення природної перетворювальної функції рослинних угруповань на порушених територіях є важливим завданням екологічної безпеки людства. Терикони, як окремі біологічні системи із визначальними сукцесійними процесами, потребують першочергової рекультивації. Відомо, що породні відвали експлуатуються без дотримання вимог нормативних документів, а питання про закриття та рекультивацію взагалі не стоїть на порядку денному владних організацій. Санітарний, гігієнічний та епідеміологічний стан породних відвалів не відповідає вимогам, а отже спричиняє значний техногенний вплив на живі організми. Фізико-хімічні та біогенні процеси, які протікають у товщі відвалів, потребують детального вивчення з метою зниження згубного впливу на довкілля та живі організми. Фітомеліорація враховує ренатураційний підхід реабілітації геосистем.

Дослідження особливостей інтерференції фітогенних полів на териконах є важливими для розроблення достовірного прогнозу співіснування видів та становлення континууму.

Про концепцію формування фітогенних полів у різних умовах середовища було присвячено чимало наукових праць.

Зупинимось на аналізі наукових праць, які суттєво вплинули на розвиток теорії фітогенного поля як поодиноких особин, так і фітоценозів в умовах порушених територій.

Питанням розвитку фітогенного поля присвячена наукова робота [30], яка розглядає його з точки зору поодинокі рослини. Здійснені дослідження освітлюваності та ультрафіолетового режиму внутрішньої частини фітогенного поля. Встановлено, що режим ультрафіолетового випромінювання корелюється із освітлювальним режимом у видимому діапазоні, що зумовлено морфоструктурними особливостями рослин.

Відомо, що основні типи фітогенних полів у рослин різних біоморф та зміни в процесі онтогенезу. Згідно представленої теорії, фітогенне поле – це сукупність фітогенних полів ценопопуляцій окремих видів, які й формують фітоценоз [30, 33]. Така теорія є правдивою, оскільки фітогенне поле поодинокі рослини не має істотного впливу на розвиток фітоценотичного вкриття. Недоліком при цьому є відсутність описання фітогенних полів на порушених територіях, оскільки в умовах ландшафто-трансформуючих чинників динаміка розвитку та стійкість фітоценозів відмінні від умов луки [86, 112].

У роботі [117] встановлено, що на породних відвалах специфічні мікробні функціональні угруповання пов'язані з групами рослин, а не з окремими видами. Такий взаємозв'язок доводить, що саме фітогенні поля угруповань створюють умови для подальшого розвитку сукцесій.

Доведено, що розвиток фітогенних полів та характеристики інфільтрації ґрунтів мають взаємозв'язок (позитивна кореляція) з віком. Це свідчить про те, що рекультиваційний підхід до реабілітації екосистем є ефективним. Однак повне відновлення потребує тривалого процесу [108].

Прикладні дослідження щодо підвищення ефективності екологічного відновлення вугільних шахт фітомеліоративними методами відображено у роботі [98]. Проведено експеримент та польові дослідження з метою вивчення впливу мікроміцетів на продуктивність росту рослин. Такий підхід призвів до розробки екологічно безпечних технологій відновлення ґрунтів шляхом фіторекультивації. Напрями рекультиваційних робіт тісно пов'язані з плануванням землекористування [118]. Тіла відвалів можуть залишатися у своєму первинному стані без необхідності або з мінімальним плануванням його поверхні. Інша можливість – часткове розвантажування відходів до відвалу, а потім вирівнювання у відповідності до потреб. Найкращий варіант – повне розбирання відвалу та рекультивація місцевості.

Експериментально встановлено [113], що фітомеліорація на породних відвалах є ефективним способом зменшення стоку і ерозії ґрунтів та є ключовим елементом відновлення екосистем у екологічно небезпечних регіонах.

У роботі [108] вивчено зміни видового різноманіття рослин та фізико-хімічних властивостей ґрунтів на породних відвалах різного віку. Доведено, що видове різноманіття, а також покриття та біомаса трав'янистих видів, значно зросли з плином часу. Утворені фітогенні поля популяцій. Проте, для чагарників початкове збільшення видового різноманіття спостерігалось протягом перших 10 років, після чого відбувалося поступове зниження. Загалом, рослинний покрив на породних відвалах шахт притаманний вершинам. На схилах значної крутизни заростання значно менше. Фітомеліоративне вкриття на вікових відвалах є значно стабільнішим аніж на свіжовідсипаних [75, 148].

Дослідження [105] відображають вплив фітомеліорації на гідрологічні процеси відвальної породи. Темпи

інфільтрації та гідравлічна провідність були значно вищими в районі лісонасадження.

У дослідженні [138] вивчено можливості використання місцевих видів для механічної стабільності сміттєзвалища на поверхні відвалу залізної руди з метою довготривалого захисту довкілля. Встановлено, що механічна стійкість відвалу значно покращилася після фітомеліорації схилів.

Слід відмітити про позитивну роль ґрунтових водоростей у розвитку вищих рослин на породних відвалах. У дослідженні [145] доведено, що велика кількість ґрунтових водоростей у відвалах мідних шахт збільшується внаслідок зменшення вмісту важких металів та поліпшення живильних умов. Зростання ґрунтових водоростей створило умови для розселення та зростання вищих рослин. Поява моху та судинних рослин загальмувала розвиток ґрунтових водоростей на відвалах мідних шахт.

Особливості формування фітогенного поля на породних відвалах вугільних шахт вивчені ще не в повній мірі та першочергово потребують встановлення перебігу фітомеліоративних процесів і, як наслідок, умов розвитку фітоценозів. Слід зазначити, що вивчення фітогенних полів чагарників нечисленні. Така ситуація склалася через те, що на відміну від загальноновизнаної перетворювальної функції дерев, чагарникам в лісових популяціях відведена підпорядкована роль підліску з незначною ценотичною роллю.

Досліджуючи фітогенні поля на прикладі Нововолинського гірничопромислового району, необхідно звернути увагу на формування рослинного покриву рекультивованих териконів. На териконах із природним відновленням відбувається сингенетична (піонерна) сукцесія. Піонерна сукцесія у перспективі має перейти в ендоекогенетичну. В штучних насадженнях спостерігається ендоекогенетична сукцесія, яка знаходиться на початковій

стадії. У зв'язку із цим переважають породи, які насаджені на відвалах у 80-х роках ХХ століття: дуб звичайний, береза повисла, верба козяча, робінія псевдоакація. На території району виявлено 19 не рекультивованих (неефективно рекультивованих) териконів, з яких три згасаючі. Загальна площа порушених територій складає 116,7 га. Важливу роль для оптимізації цих порушених об'єктів відіграє природне заростання, оскільки воно може слугувати індикатором стану порід, що складають відвали. Вивчення фітоценозів, які формуються при самозаростанні, дозволяє також оцінити угруповання, що утворилися, з огляду місця і ролі в рослинному покриві регіону та прогнозувати подальший розвиток.

Під час проведення польових досліджень пробні площі закладалися з урахуванням рельєфу. Це спричинене тим, що терикони мають складну структуру. У териконах чітко виділяється вершина, з якої відбувається змивання дрібних частинок і поживних речовин. Транзитна зона – схили, з яких відбувається транспортування дрібних частинок породи до підніжжя відвалу. Акумулятивна зона – у якій накопичуються речовини, змиті з вершини. У цій зоні створюються найбільш сприятливі умови для розвитку рослинності.

Після припинення експлуатації низки шахт Нововолинського гірничопромислового району («Шахти № 2, 3, 4, 6, 7, 8 Нововолинська») процес рекультивації згасаючих териконів не здійснювався належним чином. Це пояснюється недостатнім фінансуванням рекультиваційних робіт, застарілими технічними засобами та відсутністю ефективних методик створення насаджень у відповідності до особливостей регіону. У процесі штучного зарощування, який проведений на териконах «Шахт № 2, 3, 8 Нововолинська» домінуючою породою стала *Robinia pseudoacacia* L., яка спостерігається на усіх териконах. Ця

порода розвивається, переважно, на схилах. У процесі дослідження були виявлені інші види – *Betula pendula* Roth., *Salix caprea* L., *Quercus robur* L.

За результатами польових досліджень встановлено, що на рекультивованих териконах розвиваються представники таких родин: *Asteraceae*, *Menyanthaceae*, *Scrophulariaceae*, *Urticaceae*, *Rosaceae*, *Compositae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Caryophyllaceae*, *Brassicaceae* Burnett (*Cruciferae* Juss.), *Poaceae*, *Plantaginaceae*, *Violaceae*, *Umbelliferae*, *Malvales*, *Apiaceae*, *Geraniaceae*, *Betulaceae*, *Fagaceae*, *Salicaceae*, *Rubiaceae*.

На різних стадіях сукцесії окремі види вступають у агрегації (скупчення особин), тобто яскраво виражене групове розташування особин у популяції. На піонерній стадії заростання затухаючих териконів агрегуванням відзначається *Plantago lanceolata*; у простому фітоценозі – *Artemisia absinthium*, *Plantago lanceolata*, *Trifolium campestre*; у складному фітоценозі – *Artemisia vulgaris*, *Arctium lappa*, *Trifolium pratense*, *Calamagrostis epigeios*, *Daucus carota*. Рівномірний розподіл притаманний культурфітоценозам на рекультивованих териконах, зокрема за участю *Robinia pseudoacacia*. Випадковий розподіл притаманний значній кількості популяцій, зокрема – *Tussilago farfara*, *Chamomilla suaveolens*, *Taraxacum officinale*. Цим самим рудероценози створюють своє фітогенне поле.

Фітогенне поле тут проявляється в безперервній життєдіяльності фітоценозів, які підтримують континуум – широке покриття екологічних амплітуд і розосередження центрів розподілу популяцій вздовж градієнта середовища [60, 134].

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 девастрованих ландшафтах як породні відвали та терикони вугільних шахт дозволить також удосконалити біоіндикаційні методи досліджень лісових культур на поверхні та створювати інноваційні методики догляду (рис. 4.5-4.11).

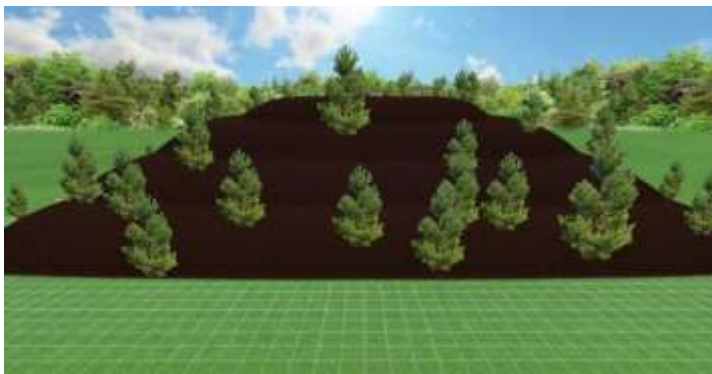


Рисунок 4.5 – Модель моноцентричного фітогенного поля за участі одного виду – *Pinus sylvestris* L

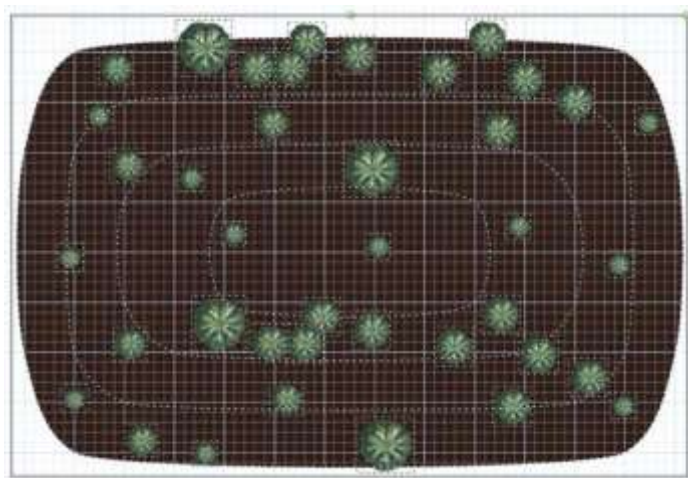


Рисунок 4.6 – Модель моноцентричного фітогенного поля за участі одного виду – *Pinus sylvestris* L. (вид зверху)

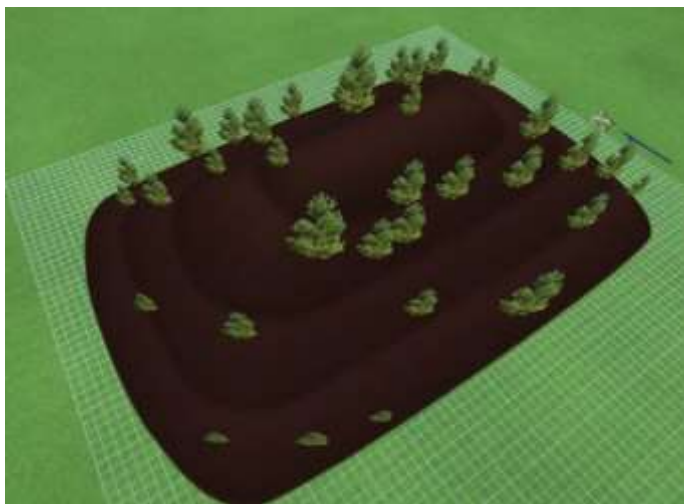


Рисунок 4.7 – 3D-модель моноцентричного фітогенного поля за участі одного виду – *Pinus sylvestris* L



Рисунок 4.8 – 3D-модель початкового поліцентричного фітогенного поля за участі *Pinus sylvestris* L.+ *Betula pendula* Roth.+ *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth

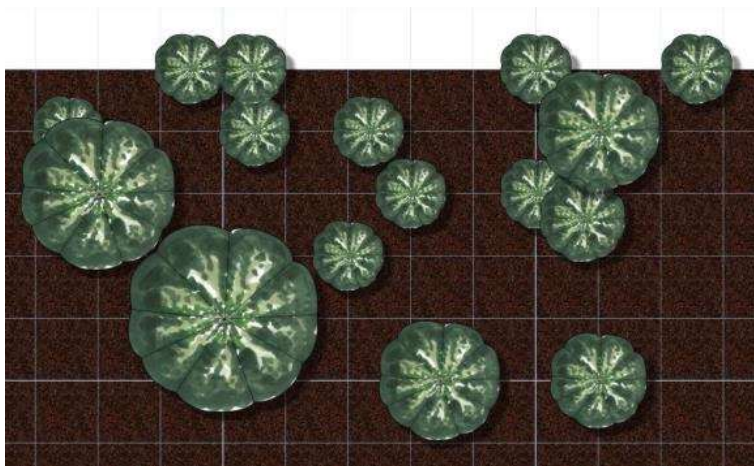


Рисунок 4.9 – Модель початкового поліцентричного фітогенного поля за участі *Pinus sylvestris* L.+ *Betula pendula* Roth.+ *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. (вид зверху)



Рисунок 4.10 – 3D-модель зрілого поліцентричного фітогенного поля за участі *Pinus sylvestris* L.+ *Betula pendula* Roth.+ *Populus tremula* L.+ *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth

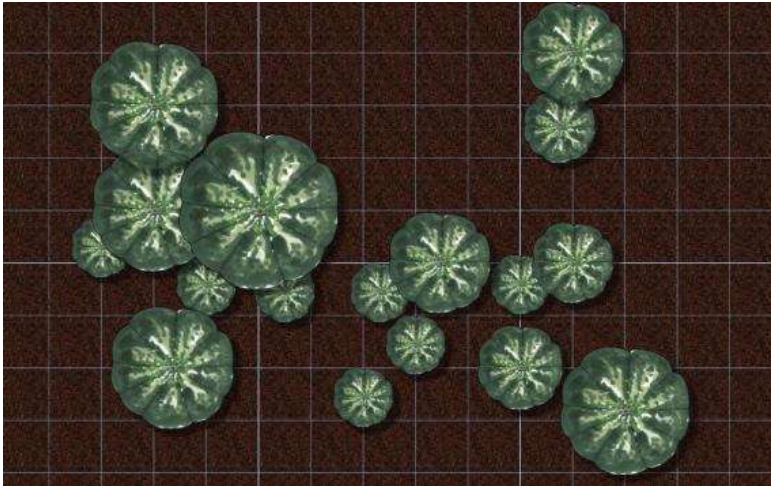


Рисунок 4.11 – Модель зрілого поліцентричного фітогенного поля за участі *Pinus sylvestris* L.+ *Betula pendula* Roth.+ *Populus tremula* L.+ *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. (вид зверху)

Проведені дослідження виникнення та поширення фітогенних полів дають змогу оцінити ступінь придатності породних відвалів до заліснення незалежно від країни, у якій вони сформовані. Як вияснилося, фітомеліорація та фітогенні поля нерозривно пов'язані між собою. Фітогенне поле утворюється навколо поодинокі рослини та набуває розвитку з плином часу, об'єднуючи в собі фітогенні поля інших особин. Тим самим, рослини на породних відвалах вугільних шахт самі собі формують середовище для розвитку та розмноження. Фітогенне поле, на момент дослідження, дає змогу оцінити свою речовинну, енергетичну та інформаційну складову. Фітомеліорація, враховуючи середовище, яке ценози починають змінювати, вивчає перетворення біотичних, геофізичних, геохімічних потоків, а також покращує естетику довкілля та атрактивність. Фітогенне поле – це теоретичний аспект оцінки формування рослинного покриття. Фітомеліорація – практичний аспект оцінки

розвитку фітоценозів, який завдяки зміні геопотоків формує привабливість девастрованого ландшафту.

Слід зазначити, що на різних стадіях сукцесій, фітогенні поля формуються по різному. 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. 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. 4.12).

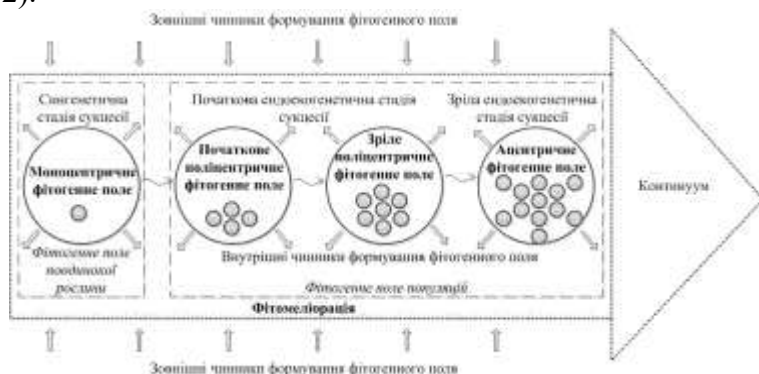


Рисунок 4.12 – Теоретичні аспекти формування фітогенного поля на породних відвалах вугільних шахт

Результати представлених досліджень можна використовувати при проведенні біологічного етапу рекультивації породних відвалів (териконів) вугільних шахт.

Наведені результати досліджень щодо формування

фітогенних полів на девастрованих ландшафтах та взаємозв'язок із фітомеліорацією розглядається вперше. Підґрунтям для встановлення взаємозв'язку між фітогенним полем та фітомеліорацією стали дослідження багатьох вчених, які згадувалися у цій праці.

Для належної оцінки формування фітогенних полів на породних відвалах вугільних шахт, поряд із представленими результатами досліджень, слід врахувати показники мікроклімату та едафотопу. Значну цікавість стосовно утворення фітогенних полів представляють згасаючі терикони. На таких типах відвалів формуючий сингенез знаходиться під впливом термічних режимів та недостатньої зволоженості субстрату. Тут фітогенні поля, очевидно, формуються за участі посухостійких видів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на встановлення внутрішніх та зовнішніх чинників формування фітогенних полів на породних відвалах вугільних шахт та зв'язок із процесами сингенезу.

4.3. Екологічні закономірності поширення рослин в умовах породних відвалів шахт

Екологічні закономірності поширення рослин в умовах породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району вивчали методами добування даних [19]. Добування даних – це процес аналітичного дослідження великих масивів інформації з метою виявлення певних закономірностей і залежностей між змінними (скритих знань), які можна застосувати до нових сукупностей даних, та достовірного прогнозування процесів і явищ. На відміну від традиційних методів статистики, процедури добування даних базуються на принципі "чорного ящика" і більшою мірою орієнтовані на практичне використання отриманих результатів [17, 19, 84, 135]. Дослідження включали три основні етапи: вивчення структури взаємного

розташування видів у багатовимірному просторі ознак екологічних параметрів, математичне моделювання структури та перевірку математичної моделі.

Основу геоботанічної інформації становлять відомості про екологічні умови місцезростання вісімдесяти дев'яти трав'янистих видів, які представляють різноманітні екотопи рекультивованих і нереккультивованих відвалів шахт, за дев'ятьма параметрами: T_m – термічний режим, K_n – континентальність клімату, O_m – омброклімат, C_r – кріоклімат, H_d – вологість ґрунту, T_r – вміст солей, R_c – кислотність ґрунту, N_t – мінеральний азот, L_c – режим освітленості–затінення [I, J]. Крім власних досліджень, використовували також дані літературних джерел [6, 58, 59, 75, 95].

Математичне моделювання здійснювали шляхом встановлення систематичних взаємозв'язків між екологічними параметрами місцевиростань рослинних видів. Кожний вид можна представити у вигляді точки у багатовимірному просторі ознак, координати якої відповідають значенням параметрів екологічних режимів. У цьому випадку подібність видів за сукупністю екологічних параметрів можна визначити на основі відстаней між точками. Суть подальшої математичної процедури полягає у виділенні осей максимального варіювання, визначенні їх кількості, оцінці вкладу кожного екологічного параметра у варіювання на основі аналізу головних компонент. Перевірку математичної моделі виконували на основі порівняльної оцінки положення видів на осях максимального варіювання (багатовимірної ординації) із результатами геоботанічних досліджень та даними літературних джерел [6, 58, 59, 77, 95].

Еколого-фітоценологічний аналіз є одним із методів пізнання закономірностей становлення, функціонування та прогнозування динаміки рослинного покриву. Основою цього аналізу служить класифікація видів рослин за ознакою

приуроченості до певного типу рослинних угруповань [95]. Дані про стійкі поєднання видів (еколого-ценотичні групи видів – ЕЦГ), які характеризуються подібним відношенням до умов середовища і трапляються в однотипних фітоценозах, широко використовуються в сучасних ботанічних дослідженнях [6-9]. Аналізуючи еколого-ценотичний склад угруповань рослинного покриву породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району, завдання наших досліджень полягало у визначенні розташування еколого-ценотичних груп видів на градієнтах екологічних факторів.

На основі власних досліджень та аналізу літературних джерел [6, 58, 59, 95] у рослинному покриві породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району ми виділили 8 еколого-ценотичних груп та 5 підгруп видів рослин (табл. 4.1). Найбільша кількість видів властива синантропній, лучній і неморальнолісовій еколого-ценотичним групам.

Таблиця 4.1

Система еколого-ценотичних груп видів рослинного покриву териконів Червоноградського гірничопромислового регіону

Еколого-ценотична група, підгрупа	Типові представники флори
1. Бореальна	<i>Hypochoeris radicata</i> L., <i>Oxalis acetosella</i> L., <i>Scleranthus perennis</i> L., <i>Solidago virgaurea</i> L., <i>Thymus serpyllum</i> L., <i>Veronica officinalis</i> L., <i>Vicia hirsuta</i> (L.) S.F.Gray
2. Неморальнолісова	<i>Alliaria petiolata</i> (Bieb.) Cavara et Grande, <i>Campanula trachelium</i> L., <i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott, <i>Geranium robertianum</i> L., <i>Lathyrus sylvestris</i> L., <i>Poa nemoralis</i> L., <i>Pulmonaria obscura</i> Dumort., <i>Stellaria holostea</i> L.
3. Лучна	
3.1. суходільнолучна на породному субстраті	<i>Achillea submillefolium</i> Klok. et Krytzka, <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth, <i>Cerastium holosteoides</i> Fries, <i>Chamaerion angustifolium</i> (L.) Holub, <i>Hypericum perforatum</i> L., <i>Poa pratensis</i> L.

3.2. суходільнолучна на насипному субстраті	<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) J. et C.Presl, <i>Holcus lanatus</i> L., <i>Medicago lupulina</i> L., <i>Odontites vulgaris</i> Moench, <i>Trifolium repens</i> L.
3.3. заплавнолучна на насипному субстраті	<i>Carex acutiformis</i> Ehrh., <i>Festuca rubra</i> L. s.str., <i>Rumex thyrsiflorus</i> Fingerh., <i>Sanguisorba officinalis</i> L.
4. Лучно-степова	<i>Alyssum calycinum</i> L., <i>Coronilla varia</i> L., <i>Daucus carota</i> L., <i>Tragopogon major</i> Jacq.
5. Кальцепетрофільна	<i>Hieracium cymosum</i> L., <i>Poa compressa</i> L., <i>Reseda lutea</i> L.
6. Псаммофільна	<i>Corynephorus canescens</i> (L.) Beauv., <i>Helichrysum arenarium</i> (L.) Moench, <i>Hieracium pilosella</i> L., <i>Rumex acetosella</i> L., <i>Senecio viscosus</i> L., <i>Trifolium arvense</i> L.
7. Гідрофільна	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L., <i>Bidens tripartita</i> L., <i>Epilobium parviflorum</i> Schreb., <i>Eupatorium cannabinum</i> L., <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud., <i>Polygonum persicaria</i> L., <i>Typha angustifolia</i> L.
8. Синантропна	
8.1. сегетальна	<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Beauv., <i>Erigeron canadensis</i> L., <i>Galeopsis ladanum</i> L., <i>Scleranthus annuus</i> L., <i>Setaria glauca</i> (L.) Beauv., <i>Sonchus arvensis</i> L.
8.2. рудеральна	<i>Artemisia absinthium</i> L., <i>Artemisia vulgaris</i> L., <i>Echium vulgare</i> L., <i>Euphorbia cyparissias</i> L., <i>Oenothera biennis</i> L., <i>Polygonum aviculare</i> L., <i>Rumex crispus</i> L.

Особливості кліматичного режиму території визначаються географічною широтою, висотою над рівнем моря, характером підстильної поверхні [J]. Мікроклімат відвалів шахт часто відрізняється від мікроклімату природних рослинних угруповань. Висока крутість поверхні відвалів зумовлює контрасти у поступленні сонячної радіації схилів різної експозиції. Темний колір породи і низька її питома теплоємність стають причиною загибелі рослин унаслідок сильного нагрівання та швидкого висушування поверхневих шарів породи [6]. На рівні еколого-ценотичних груп рослин термічний режим відвалів шахт

Червоноградського гірничопромислового району характеризується порівняно вузьким діапазоном значень параметрів термічного режиму ($T_m=8.17-9.38$ балів), що відповідає бореальнонеморальному та неморальному типам терморезиму із значеннями радіаційного балансу $40-45 \text{ kcal}/(\text{cm}^2 \times \text{year})$ [104]. Максимальними значеннями параметрів термічного режиму характеризуються лучно-стєпова та група і рудеральна підгрупа, а мінімальними – суходільнолучна на насипному субстраті і псаммофільна еколого-ценотичні групи (табл. 4.2). Помітною є відмінність термічного режиму місцевиростань суходільнолучної рослинності на породному та насипному субстраті. Нанесення на породний відвал шарів насипних ґрунтосумішей сприяє зменшенню їх температури у порівнянні з породним субстратом.

Континентальність клімату визначається впливом великих площ суші на атмосферні та кліматоутворюючі процеси [104]. Континентальність залежить від річної амплітуди повітря, дефіциту відносної вологості повітря. Для району досліджень властивий геміконтинентальний тип клімату ($K_n=9$ балів). Мінімальні значення континентальності характерні місцевиростанням бореальної і неморальнолісової еколого-фітоценотичних груп рослин (табл. 4.2). На видовому рівні максимальними параметрами континентальності характеризуються види *Hypericum perforatum*, *Echium vulgare*, *Coronilla varia*, *Potentilla norvegica*, *Helichrysum arenarium*, *Reseda lutea* – представники синантропної, псаммофільної, кальцепетрофільної і лучно-стєпової еколого-фітоценотичних груп.

Показник гумідності клімату (омброклімат) O_m представляє собою різницю річної кількості опадів та випаровуваності (максимально можливого випаровування при даних кліматичних умовах з підстиляючої поверхні,

вологозапаси якої необмежені) [169]. Мінімальні параметри гумідності зафіксовані для місцевиростань лучно-степової і кальцепетрофільної еколого-фітоценотичних груп ($O_m=6.83-7.13$ бали) – субаридний тип омброрежиму (табл. 4.2). У рослинних угрупованнях інших еколого-ценотичних групах діапазон параметрів гумідності вказує на проміжний між субаридним та субгумідним тип омброрежиму. Максимальними значеннями параметрами гумідності клімату характеризуються місцевиростання бореальної і неморальнолісової рослинності.

Одним із важливих екологічних факторів є морозність клімату (кріоклімат) Cr . Ріст рослин восени припиняється при стійкому переході середньодобової температури менше $5^{\circ}C$. Дуже часто умови перезимівлі рослин визначають можливості їх зростання в певному екоотопі. Максимальні значення параметрів кріоклімату характерні місцевиростанням лучно-степової та кальцепетрофільної ЕЦГ ($Cr=9.25-9.33$ бали) – режим м'яких зим із температурою найхолоднішого місяця $-6^{\circ}C - -2^{\circ}C$. У рослинних угрупованнях інших ЕЦГ діапазон параметрів кріоклімату вказує на проміжний тип між режимом помірних зим та режимом м'яких зим. Мінімальні значення параметрів кріоклімату властиві місцевиростанням заплавнолучної еколого-ценотичної підгрупи ($Cr=6.75$ бали) – режим помірних зим із температурою найхолоднішого місяця $-14^{\circ}C - -10^{\circ}C$. (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Екологічні параметри місцезростань породних відвалів шахт

Еколого-ценотична група, підгрупа рослин	Середні значення екологічних параметрів місцезростань, бали								
	Tm	Kn	Om	Cr	Hd	Tr	Rc	Nt	Lc
1. Бореальна	8.44	7.69	8.19	8.56	10.56	5.50	5.31	4.31	3.69
2. Неморальнолісова	8.55	7.77	7.95	8.59	12.59	6.68	7.68	6.68	5.05

3. Лучна	8.40	8.82	7.62	7.42	11.55	7.75	7.45	5.63	2.85
3.1. суходільнолучна на породному субстраті	8.17	8.72	7.61	7.28	11.28	7.11	6.89	5.72	3.22
3.2. суходільнолучна на насипному субстраті	9.00	8.64	7.71	8.00	10.93	8.29	7.86	5.57	2.57
3.3. заплавнолучна на насипному субстраті	7.88	9.38	7.50	6.75	13.25	8.25	8.00	5.50	2.50
4. Лучно-стєпова	9.38	8.75	7.13	9.25	8.13	8.38	8.75	4.75	2.25
5. Кальцепетрофільна	8.67	8.83	6.83	9.33	8.33	6.33	9.33	4.00	2.00
6. Псаммофільна	8.23	8.59	7.68	7.64	9.91	5.77	5.59	4.23	2.55
7. Гідрофільна	8.93	8.68	7.86	7.96	15.46	7.89	7.04	7.21	3.07
8. Синантропна	8.79	8.62	7.68	8.21	10.35	7.62	6.76	6.32	2.50
8.1. сегетальна	9.31	8.56	7.69	8.75	10.50	7.56	7.00	6.31	2.44
8.2. рудеральна	8.33	8.67	7.67	7.72	10.22	7.67	6.56	6.33	2.56
Mean	8.62	8.49	7.72	8.10	11.51	7.14	6.97	5.78	3.10
Std. Dev.	0.88	0.85	0.64	1.21	2.54	1.60	1.64	1.82	1.15

Режим вологозабезпеченості відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району характеризується найбільшою варіабільністю порівняно з іншими екологічними факторами (табл. 4.2). Це пояснюється низькою водоутримуючою здатністю породи, неоднорідними умовами рельєфу, наявністю рекультивованих ділянок із насипним ґрунтом. Мінімальні параметри вологості ґрунту ($H_d=8.13-8.33$ бали) характерні місцевиростанням лучно-стєпової та кальцепетрофільної рослинності – свіжостєповий тип режиму зволоження. Місцевиростанням гідрофільної ЕЦГ властиві максимальні параметри вологості ґрунту ($H_d=15.46$ бали) – сиролісолучний та мокролісолучний типи режими зволоження. Найбільш оптимальні умови вологозабезпеченості ґрунтів (свіжі і вологі типи) спостерігаються на рекультивованих ділянках із неморальнолісовою рослинністю ($H_d=12.59$ бали).

Сольовий режим ґрунту істотно впливає на умови ґрунтоутворення та поширення рослин. У зв'язку із високим

вмістом важких металів, солей, виділенням під час окиснення субстрату шкідливих газів відвали шахт є надзвичайно токсичними для рослин [6]. Процес формування едафотопу та заселення його рослинами триває десятки років і характеризується такими часовими стадіями: окиснення, вимивання, поселення рослин [9]. Місцевиростання відвалів шахт із рослинним покривом характеризуються досить широким діапазоном параметра сольового режиму як для порівняно невеликої території ($Tr=5.50-8.38$ бали), що відповідає градієнту від небагатих до багатих ґрунтів. Небагатими ґрунтами ($Tr=5.50-5.77$ бали) характеризуються місцевиростання бореальної і псаммофільної еколого-ценотичних груп рослин, максимальні значення параметрів сольового режиму властиві екотопам лучно-степової, заплавнолучної і суходільнолучної рослинності на насипних ґрунтах рослинності ($Tr=8.25-8.38$ бали). На видовому рівні індикаторами слабозасолених ґрунтів слугують: *Sonchus arvensis*, *Alisma plantago-aquatica*, *Medicago falcata*, *Setaria glauca*, *Polygonum aviculare*, *Tragopogon dubius*, *Bidens tripartita*, *Calamagrostis epigeios*, *Festuca rubra*.

Окиснення сірковмісного мінералу піриту за участі тіонових бактерій з утворенням сірчаної кислоти обумовлює високу кислотність породних відвалів шахт на перших стадіях формування едафотопу [6]. На видовому рівні індикаторами дуже сильно кислих ґрунтів виступають *Rumex acetosella*, *Scleranthus annuus*, *Chamaenerion angustifolium*, *Juncus bufonius*, *Corynephorus canescens*. Кислими ґрунтами ($Rc=5.31-5.59$ бали) характеризуються місцевиростання бореальної і псаммофільної еколого-ценотичних груп рослин (табл. 4.2), нейтральні ґрунти властиві екотопам кальцепетрофільної і лучно-степової рослинності ($Rc=8.75-9.33$ бали).

Екотопи породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району істотно відрізняються вмістом

азоту в ґрунті (табл. 4.2) – від дуже бідних на азот ґрунти ($N_t=4.00-4.23$ бали) в ектопах кальцепетрофільної і псаммофільної рослинності до достатньо забезпечених азотом ґрунтів ($N_t=6.79-7.21$ бали) в ектопах гідрофільної і неморальнолісової рослинності. Індикаторами низького вмісту азоту в ґрунті виступають види *Thymus serpyllum*, *Helichrysum arenarium*, *Scleranthus perennis*, *Trifolium arvense*, *Corynephorus canescens*, *Hieracium pilosella*. На високий вміст азоту в ґрунті вказує наявність у трав'яному покриві видів *Alliaria petiolata*, *Galium aparine*, *Myosoton aquaticum*, *Solanum dulcamara*, *Campanula trachelium*, *Epilobium roseum*, *Eupatorium cannabinum*.

В екологічній структурі рослинного покриву породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району переважають види відкритих і напіввідкритих просторів ($L_c=1-3$ бали). Максимальними значеннями параметра освітленості-затінення L_c відрізняються види неморальнолісової еколого-ценотичної групи: *Poa nemoralis*, *Dryopteris filix-mas*, *Moehringia trinervia* та інші.

Аналіз залежності між екологічними параметрами трав'янистих видів (табл. 4.3) вказує на відсутність тісного зв'язку між змінними. Коефіцієнти кореляції характеризуються низькими значеннями, і тільки для параметрів температурний режим – кріорежим цей показник перевищує 0,5.

Таблиця 4.3

Залежність між екологічними параметрами трав'янистих видів породних відвалів шахт та комплексними градієнтами середовища

	Tm	Kn	Om	Cr	Hd	Tr	Rc	Nt	Lc
Tm	1.00	0.02	-0.24	0.60	-0.09	0.22	0.23	0.15	-0.09
Kn	0.02	1.00	-0.45	-0.46	-0.07	0.23	0.08	0.02	-0.35
Om	-0.24	-0.45	1.00	-0.18	0.27	-0.00	-0.20	0.04	0.24

Cr	0.60	-0.46	-0.18	1.00	-0.22	-0.11	0.14	-0.05	0.08
Hd	-0.09	-0.07	0.27	-0.22	1.00	0.19	-0.03	0.44	0.33
Tr	0.22	0.23	-0.00	-0.11	0.19	1.00	0.43	0.30	-0.25
Rc	0.23	0.08	-0.20	0.14	-0.03	0.43	1.00	0.16	-0.11
Nt	0.15	0.02	0.04	-0.05	0.44	0.30	0.16	1.00	0.29
Lc	-0.09	-0.35	0.24	0.08	0.33	-0.25	-0.11	0.29	1.00
Factor1	0.55	0.51	-0.69	0.26	-0.45	0.41	0.51	-0.11	-0.62
Factor2	0.10	0.21	0.12	-0.29	0.68	0.69	0.41	0.76	0.17
Factor3	-0.63	0.66	-0.07	-0.86	-0.04	0.05	-0.21	-0.23	-0.39
Factor4	0.12	0.36	-0.58	0.03	0.13	-0.41	-0.30	0.32	0.38

У більшості випадків зв'язок між змінними носить криволінійний характер (рис. 4.13).

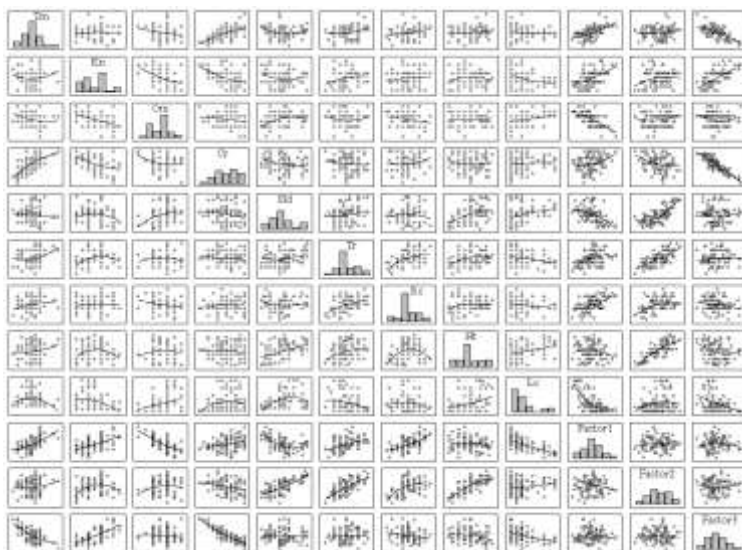


Рисунок 4.13 – Діаграма залежностей між екологічними параметрами трав'янистих видів породних відвалів шахт та комплексними градієнтами середовища (умовні позначення: Tm – термічний режим, Kп – континентальність клімату, Om – омброклімат, Cr – кріоклімат, Hd – вологість ґрунту, Tr – вміст солей, Rc – кислотність ґрунту, Nt – мінеральний азот, Lc – режим освітленості – затінення, Factor_i – комплексні градієнти середовища)

Значні відхилення точок від кривої регресії свідчать про відсутність впорядкованої структури у розташуванні видів у багатовимірному просторі ознак екологічних параметрів. Унаслідок цього двовимірні діаграми розсіювання не дозволили виявити чітких закономірностей, на основі яких можна було би пояснити особливості поширення видів породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району.

Ідея наших подальших досліджень полягала у математичному моделюванні структури розташування видів у гіперпросторі ознак. Оскільки візуально неможливо розпізнати структуру у багатовимірному просторі, основна увага приділялася методам багатовимірної ординації. Завдання математичного моделювання полягало у заміні великого масиву чисел (екологічних параметрів видів) на такий розкид точок, що допоміг би виявити його структуру як відображення екологічних закономірностей [77-79, 103].

Оскільки екологічні параметри трав'янистих видів породних відвалів шахт корельовані між собою, можна зробити висновок, що дані спостережень можна пояснити невеликою кількістю нових змінних, які безпосередньо не вимірюються, але можуть бути отримані через лінійну комбінацію вихідних даних. Це дає змогу зменшити вимірність простору спостережень. Графічно процедура розрахунків зводиться до переміщення початку координат у центр даних і повороту осей координат таким чином, щоб абсциса проходила у напрямі максимальної дисперсії множини даних (рис. 4.13).

Результати аналізу головних компонент на основі кореляційної матриці є такими:

$$\text{Factor 1} = 0.375 \cdot T_m + 0.346 \cdot K_n - 0.469 \cdot O_m + 0.181 \cdot C_r - 0.309 \cdot H_d + 0.282 \cdot T_r + 0.350 \cdot R_c - 0.073 \cdot N_t - 0.428 \cdot L_c, \lambda_1=2,13;$$

(4.3)

$$\text{Factor 2} = 0.074 \cdot T_m + 0.155 \cdot K_n + 0.087 \cdot O_m - 0.214 \cdot C_r + 0.497 \cdot H_d + 0.505 \cdot T_r + 0.298 \cdot R_c + 0.557 \cdot N_t + 0.126 \cdot L_c, \lambda_2=1,86; \quad (4.4)$$

$$\text{Factor 3} = -0.467 \cdot T_m + 0.485 \cdot K_n - 0.053 \cdot O_m - 0.639 \cdot C_r - 0.027 \cdot H_d + 0.034 \cdot T_r - 0.155 \cdot R_c - 0.169 \cdot N_t - 0.285 \cdot L_c, \lambda_3=1,82. \quad (4.5)$$

де Factor_i – компонентні координати, комплексні градієнти середовища;

T_m, K_n, O_m, C_r, H_d, T_r, R_c, N_t, L_c – стандартизовані значення екологічних параметрів трав'янистих видів (термічний режим, континентальність клімату, омброклімат, кріоклімат, вологість ґрунту, вміст солей, кислотність ґрунту, мінеральний азот, режим освітленості – затінення);

λ_i – власні значення векторів.

Із аналізу характеристик власних чисел λ_i випливає, що вже три головні компоненти забезпечують близько 70 % загальної дисперсії, тому для багатьох цілей аналізу достатньо використовувати тривимірну проекцію вихідної матриці даних [77-79, 81]. Власні вектори кореляційної матриці (1-3) дають змогу виділити комбінації екологічних факторів, які визначають осі максимального варіювання трав'янистих видів породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району. Основна закономірність формування екотопів породних відвалів шахт (перша головна компонента) полягає у такій структурі взаємозв'язків між екологічними параметрами (табл. 4.3): із зменшенням параметрів вологості клімату (коефіцієнт кореляції r=-0.69), затінення у ценозі (r=-0.62) і вологості ґрунту (r=-0.45) зростають показники термічного режиму (r=0.55), континентальності (r=0.51), рН ґрунту (r=0.51) і вмісту солей (r=0.41). Перша головна компонента пояснює всього 23.7 % загальної дисперсії, але на основі її значень досить чітко прослідковується основна закономірність

формування екоотопів породних відвалів шахт. Так, низькими значеннями першої головної компоненти Factor₁ характеризуються види, які є індикаторами свіжих і вологих, кислих і слабокислих, незасолених ґрунтів: *Veronica officinalis*, *Dryopteris filix-mas*, *Solanum dulcamara*, *Oxalis acetosella*, *Scrophylaria nodosa*, *Poa nemoralis*, *Thymus serpyllum*, *Pulmonaria obscura*, *Chamaenerion angustifolium*, *Moehringia trinervia*, *Solidago virga-aurea*. В основному це види неморальнолісової та бореальної еколого-ценотичних груп, які трапляються на рекультивованих ділянках породних відвалів шахт із насипними ґрунтами в умовах штучно створених лісових насаджень.

Високі значення першої головної компоненти властиві видам, які є індикаторами нейтральних за кислотністю, сухих ґрунтів з ознаками невеликого засолення, характерних для субаридних (посушливих) територій: *Reseda lutea*, *Coronilla varia*, *Alyssum alyssoides*, *Medicago lupulina*, *Medicago falcata*, *Setaria glauca*, *Tragopogon dubius*. Вони трапляються в екотопах кальцепетрофільної, лучно-степової та суходільнолучної на насипних ґрунтах рослинності. Ординація видів на першій осі максимального варіювання може служити показником антропогенного навантаження. В умовах породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району, розташованих у лісовій зоні, екологічним еквівалентом зростаючого антропогенного впливу виступають збільшення вмісту солей, зменшення кислотності і вологості ґрунту, збільшення температури, зменшення параметрів омброклімату. Екологічним еквівалентом цього процесу можна вважати також закономірності географічної широтної зональності при переході від лісової до степової області.

Друга вісь максимального варіювання трав'янистих видів породних відвалів шахт додатково пояснює 20.7 % загальної дисперсії даних. Значення функції Factor₂ в

основному залежить від факторів вологозабезпеченості ґрунту ($r=0,68$), вмісту азоту ($r=0,76$) та солей ($r=0,69$). Так, *Corynephorus canescens* ($\text{Factor}_2 = -3,25$) є індикатором сухих, кислих, бідних на солі і азот піщаних ґрунтів [J]. Подібне розташування на другій осі максимального варіювання рослинності мають види псамофільної і бореальної еколого-ценотичних груп: *Thymus serpyllum*, *Scleranthus perennis*, *Trifolium arvense*, *Hieracium pilosella*, *Helichrysum arenarium*. Максимальними значеннями другої головної компоненти характеризуються види гідрофільної еколого-ценотичної групи: *Bidens tripartita*, *Alisma plantago-aquatica*, *Polygonum persicaria*, *Myosoton aquaticum*, *Typha angustifolia*, *Cucubalus baccifer*, *Epilobium roseum*. Друга вісь максимального варіювання рослинності певною мірою відображає закономірності формування рослинного покриву породних відвалів шахт залежно від умов рельєфу, оскільки види гідрофільної еколого-ценотичної групи часто трапляються на надмірно зволжених ділянках підніжжів відвалів. Поширення вологолюбивих видів інколи зумовлене появою невеличких водно-болотних комплексів унаслідок просідання поверхні відвалів, а також неупорядкованої виїмки породи [6].

Дві головні компоненти забезпечують всього 44,4 % загальної дисперсії, тому для багатьох цілей аналізу не завжди достатньо використовувати тільки двовимірну проекцію вихідної матриці даних (рис. 4.14). Положення трав'янистих видів породних відвалів шахт на третій осі максимального варіювання відображає зростання континентальності ($r=0,66$) та зменшення параметрів термічного режиму ($r=-0,63$) і кріорежиму ($r=-0,86$). Відображенням цієї осі є еколого-фітоценотичний ряд: неморальнолісова рослинність → псамофільна і заплавнолучна рослинність. 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. 4.14). 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.

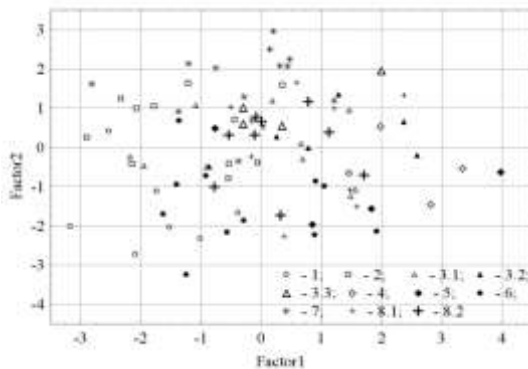


Рисунок 4.14 – Еколого-ценотичний простір рослинного покритву породних відвалів шахт Малеого Полісся.

(умовні позначення еколого-ценотичних груп і підгруп рослин: 1. Бореальна; 2. Неморальнолісова; 3. Лучна; 3.1. суходільнолучна на породному субстраті; 3.2. суходільнолучна на насипному субстраті; 3.3. заплавнолучна на насипному субстраті; 4. Лучно-степова; 5. Кальцепетрофільна; 6. Псаммофільна; 7. Гідрофільна; 8. Синантропна; 8.1. сегетальна; 8.2. рудеральна).

Оскільки простори різних еколого-ценотичних груп рослин перекриваються (рис. 4.14), для визначення подібності екотопів породних відвалів шахт ми використовували координати центрів цих просторів, а також середні значення їх екологічних параметрів (табл. 4.4). Близьке розташування в еколого-ценотичному просторі демонструють: 1) бореальна і псаммофільна ЕЦГ; 2) суходільнолучна на породному субстраті і синантропна рудеральна ЕЦГ; 3) суходільнолучна на насипному субстраті і синантропна сегетальна ЕЦГ; 4) лучно-степова і кальцепетрофільна. Із врахуванням неморальнолісової, заплавнолучної на насипному субстраті і гідрофільної ЕЦГ, особливості формування рослинного покриву породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового регіону визначаються сімома типами умов місцевиростання. 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-степова і кальцепетрофільна.

Таблиця 4.4

Результати координації еколого-ценотичних груп і підгруп рослин породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району

Еколого-ценотична група, підгрупа рослин	Положення на осях максимального варіювання рослинності		
	Factor1	Factor2	Factor3
1. Бореальна	-1.36	-1.57	-0.52
2. Неморальнолісова	-1.20	0.49	-1.35
3. Лучна	0.32	0.36	0.72
3.1. суходільнолучна на породному субстраті	-0.18	0.06	0.80
3.2. суходільнолучна на насипному субстраті	0.88	0.36	0.04

3.3. заплавнолучна на насипному субстраті	0.44	1.03	1.71
4. Лучно-степова	2.40	-0.53	-0.61
5. Кальцепетрофільна	2.22	-1.39	-0.18
6. Псаммофільна	-0.24	-1.47	0.91
7. Гідрофільна	-0.29	1.56	-0.16
8. Синантропна	0.56	0.00	0.07
8.1. сегетальна	0.88	-0.02	-0.53
8.2. рудеральна	0.27	0.02	0.60
Mean	0.00	0.00	0.00
Std. Dev.	0.15	0.14	0.14

Знаючи екологічні параметри видів флори, можна визначити їх положення в еколого-ценотичному просторі рослинного покриву породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового регіону та прогнозувати їх динаміку. Так, основні деревні види, які часто трапляються на відвалах шахт, характеризуються таким положенням на типологічній схемі (рис. 4.14): *Pinus sylvestris* L. – (-1.83; 0.03; 2.10); *Quercus robur* L. – (-1.08; 0.20; -1.04); *Betula pendula* Roth – (-2.07; -0.22; 1.11); *Populus tremula* L. – (-1.41; 0.68; 1.28); *Salix caprea* L. – (-2.71; 0.16; 0.36). Висока стійкість до несприятливих умов відвалів шахт властива деревним видам, які мають високі значення першої головної компоненти Factor₁: *Acer negundo* L. – (1.15; 0.56; -1.17), *Salix purpurea* L. – (1.21; -0.06; -2.37), *Robinia pseudoacacia* L. – (1.88; 1.10; -1.74), *Amorpha fruticosa* L. – (3.15; -0.03; -1.82), *Hippophae rhamnoides* L. – (3.24; -0.43; 0.53), *Prunus divaricata* Ledeb. – (3.50; 1.04; -0.32). Асоціації лісової рослинності регіону займають таке положення на типологічній схемі: Molinio-Pinetum W.Mat. et J. Mat.1973 – (-3.20; -0.87; 0.97), Peucedano-Pinetum W.Mat. (1962) 1973 – (-2.70; -0.95; 0.86), Querco-Pinetum J.Mat. 1982 – (-3.63; -0.78; 1.29), Vaccinio uliginosi-Pinetum Kleist 1929 – (-4.65; -0.98;

2.95), соснове болото Ledo-Sphagnetum magellanici Sucopp 1959 em. Neuhausl 1969 – (-4.96; -1.25; 3.20).

Велика різноманітність умов місцезростання рослинного покриву гірничих відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового регіону, який є складовою 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 місцевиростання та відновлення рослинного покриву можна забезпечити шляхом терасування схилів, перекриття насипними ґрунтами шахтної породи.

Флористичне ядро рослинного покриву гірничих відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового регіону 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.

4.4. Фітомеліоративна ефективність природного поновлення сосни звичайної на породних відвалах

Фітомеліоративна ефективність видового складу рослинності на девастрованих ландшафтах, які не піддавались рекультиваційним роботам є низькою. Зазначимо, що оцінку фітомеліоративній ефективності рослинного покриву у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну в своїх наукових працях відображали Кучерявий В. П., Башуцька У. Б., Генік Я. В., Попович В. В. та ін. Вчені та науковці дійшли до

висновків, що у залежності від сприятливих едафокліматичних умов, поверхня породних відвалів придатна для розвитку рослинності, а отже має відповідну фітомеліоративну ефективність, хоча й низьку [97, 109, 115, 122, 131, 133, 139].

Відомо, що фітомеліоративна ефективність оцінюється в балах. Для визначення коефіцієнта фітомеліоративної ефективності міської та заміської зони використовуємо формулу (за В. П. Кучерявим, 2003) [65]:

$$K_{FM} = \frac{S_p \cdot b + S_a \cdot b + S_{pm} \cdot b + S_f \cdot b + S_v \cdot b + S_{sv3} \cdot b + S_{sv1} \cdot b + S_{st} \cdot b + S_r \cdot b}{S}, \quad (4.6)$$

де S_x - площа зайнята: p - пратоценозом; a - агроценозом; pm - помологоценозом; f - фрутоценозом; v - вітоценозом; $sv3$ - сільваценозом триярусним; $sv1$ - сільваценозом однарусним; st - стрипоценозом; r - рудероценозом; b - кількість балів, які здобув ценоз; S - загальна площа;

Фітомеліоративна ефективність розраховувалася для породних відвалів Центральної збагачувальної фабрики та Шахти №3 Великомоствівської на таких пробних ділянках (розмір 10x10 м): 100 м від підніжжя породного відвалу, північ; середня експозиція схилу (північ), вершина. Такий нерівномірний розподіл пробних площ обумовлено неоднорідністю поверхні породного відвалу та нерівномірним розвитком сосни звичайної на його поверхні.

Оскільки на породних відвалах не набувають розвитку пратоценоз, агроценоз, вітоценоз, сільваценоз триярусний, стрипоценоз формула розрахунку коефіцієнтів фітомеліоративної ефективності буде видозмінена у відповідності до умов місцезростань сосни звичайної. Зазначимо, що на породному відвалі Шахти №3

Великомостівська проективне вкриття у сосни звичайної є дещо вищим, ніж на породному відвалі ЦЗФ, що вплинуло на відповідні коефіцієнти фітомеліоративної ефективності.

На вершині породного відвалу ЦЗФ площа зайнята сільваценозом однарусним – 20% (20 м²). Тоді, формула 4.6 набуває наступний вигляд:

$$K_{FM} = \frac{S_{sv1} \cdot b}{S}. \quad (4.7)$$

На середній експозиції схилу (північ) породного відвалу ЦЗФ площа зайнята сільваценозом однарусним – 40% (40 м²), рудероценозом – 10% (10 м²). Тоді, формула 4.6 набуває наступний вигляд:

$$K_{FM} = \frac{S_{sv1} \cdot b + S_r \cdot b}{S}. \quad (4.8)$$

На відстані 100 м (на північ) від породного відвалу ЦЗФ площа зайнята сільваценозом однарусним – 50% (50 м²), рудероценозом – 20% (20 м²). Тоді, формула 4.6 набуває наступний вигляд:

$$K_{FM} = \frac{S_{sv1} \cdot b + S_r \cdot b}{S}. \quad (4.9)$$

На вершині породного відвалу Шахти №3 Великомостівська площа зайнята сільваценозом однарусним – 30% (30 м²), рудероценозом – 30% (30 м²). Тоді, формула 4.6 набуває наступний вигляд:

$$K_{FM} = \frac{S_{sv1} \cdot b + S_r \cdot b}{S}. \quad (4.10)$$

На середній експозиції схилу (північ) породного відвалу Шахти №3 Великомоствівська площа зайнята сільваценозом одноярусним – 40% (40 м²), рудероценозом – 30% (10 м²). Тоді, формула 4.6 набуває наступний вигляд:

$$K_{FM} = \frac{S_{sv1} \cdot b + S_r \cdot b}{S}. \quad (4.11)$$

На відстані 100 м (на північ) від породного відвалу Шахти №3 Великомоствівська площа зайнята сільваценозом одноярусним – 50% (50 м²), рудероценозом – 40% (40 м²), фрутоценозом – 20% (20 м²). Тоді, формула 4.6 набуває наступний вигляд:

$$K_{FM} = \frac{S_{sv1} \cdot b + S_r \cdot b + S_f \cdot b}{S}. \quad (4.12)$$

Середні значення балів (b) зеленої маси наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Середні значення балів (b) зеленої маси (за В. П. Кучерявим, 2003)

Тип фітоценозу	Зелена маса, (b)
Рудероценоз	1,5
Фрутоценоз	3,5
Сільваценоз одноярусний	10,5

Коефіцієнти фітомеліоративної ефективності досліджуваних ділянок породних відвалів, розраховані відповідно до формулами (2-10), наведено на рис. 4.15.

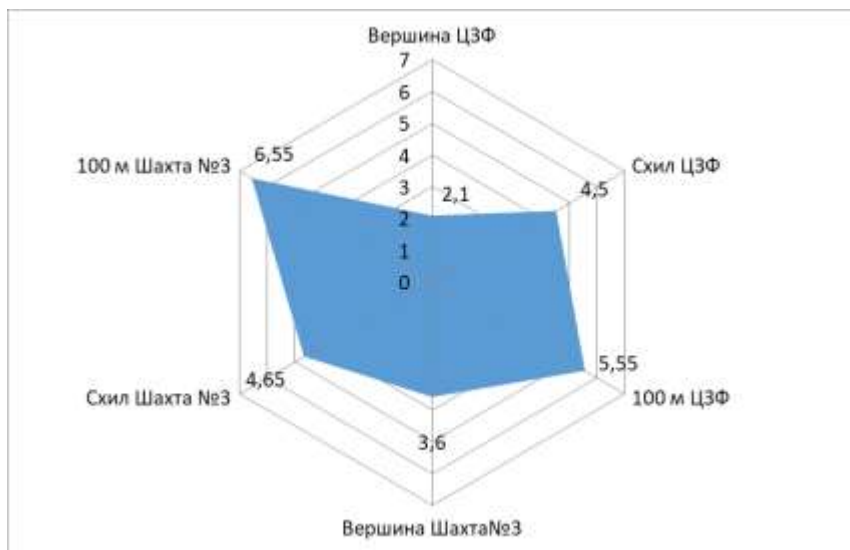


Рисунок 4.15 – Діаграма зі значеннями розрахованих коефіцієнтів фітомеліоративної ефективності досліджуваних ділянок породних відвалів

В результаті вивчення фітомеліоративної ефективності рослинності породних відвалів Шахти №3 та ЦЗФ 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 ЦЗФ 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 ЦЗФ 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 ЦЗФ і $K_{FM} = 6,55$ для Шахти №3.), що пояснюється сприятливішими едафо-кліматичними умовами.

Таким чином, поверхня поверзня породних відвалів придатна для проведення рекультиваційних і фітомеліоративних робіт з метою зниження згубного впливу на довкілля.

4.5. Регулювання розвитку фітоценозів з участю сосни звичайної на породних відвалах

Рекультивація териконів вугільних шахт передбачає три етапи – підготовчий, технічний та біологічний. У межах Львівсько-Волинського вугільного басейну планування та проведення рекультиваційних робіт здійснюється спеціальною організацією – Західно-Українською виконавчою дирекцією з ліквідації шахт. На прикладі породного відвалу «Шахти №8 Нововолинська» розглянемо основні складові рекультиваційних робіт. Підготовчий етап рекультивації териконів ліквідованих шахт передбачає згрібання зрізаного або викорчуваного середнього чагарника і дрібнолісся граблями на тракторі потужністю 79 кВт (108 к.с.) з переміщенням до 20 м; облаштування дороги на відвал бульдозерами потужністю 96 кВт (130 к.с.) з переміщенням ґрунту до 10 м; п поверхні дороги механізованим способом. Технічний етап передбачає подрібнення породи шпуровими зарядами; розчистку кам'яно-ловильної канави; транспортування ґрунту на відвал; розробку породи на відвалі бульдозерами потужністю 96 кВт (130 к.с.) з переміщенням ґрунту до 10 м; розрівнювання породи на відвалі бульдозерами потужністю 96 кВт (130 к.с.) з переміщенням ґрунту; розробку потенційно-родючого ґрунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами

одноківшовими дизельними на гусеничному ході з ківшом місткістю 0,5 (0,5-0,63) м³; розробку водовідвідних канав. Біологічний етап рекультивації передбачає підготовку механізованим способом стандартних місць для садіння дерев-саджанців; висівання багаторічних трав; догляд за культурфітоценозами. Весь перелік робіт наведений у табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Планування основних робіт для рекультивації породного відвалу «Шахти №8 "Нововолинська"»*

№ п/п	Шифр і номер позиції нормативу	Назва позиції	Одиниця виміру	Кількість
Підготовчий етап				
1	E1-203-2	Зрізування середнього чагарника і дрібнолісся у ґрунтах природного залягання кушорізами на тракторі потужністю 79 кВт (108 к.с.)	га	0,05
2	E1-207-2	Згрібання зрізаного або викорчуваного середнього чагарника і дрібнолісся граблями на тракторі потужністю 79 кВт (108 к.с.) з переміщенням до 20 м	га	0,05
3	E1-25-3	Облаштування дороги на відвал (малий) бульдозерами потужністю 96 кВт (130к.с.) з переміщенням ґрунту до 10 м, група ґрунтів 3	1000 м ³	2
4	E1-145-12	Планування поверхні дороги механізованим способом, група ґрунтів 2	1000 м ³	1,53
Технічний етап				
5	E3-35-1	Подрібнення породи шпуровими зарядами	100 м ³	336,8

6	E1-17-16	Розчистка кам'яно-ловильної канави. Розробка ґрунту з навантажуванням на автомобілі - самоскиди екскаваторами одноківшовими дизельними на гусеничному ході з ківшом місткістю 0,5 (0,5-0,63) м ³ , група ґрунтів 4	1000 м ³	1,9
7	C311-1 варіант 1	Перевезення ґрунту до 1 км без навантаження	т	3515
8	E1-25-4	Розробка породи на відвалі бульдозерами потужністю 96 кВт (130 к.с.) з переміщенням ґрунту до 10 м, група ґрунтів 4 (всього 50 м, в об'ємах врахований К=1,48)	1000 м ³	50
9	E1-25-12 К=4	При переміщенні ґрунту більше 10 м бульдозерами потужністю 96 кВт (130к.с.) добавляти на кожні наступні 10 м, група ґрунтів 4 (40м)	1000 м ³	50
10	E1-25-4	Розробка породи на відвалі бульдозерами потужністю 96 кВт (130 к.с.) з переміщенням ґрунту до 10м, група ґрунтів 4 (всього 100м, в об'ємах врахований К=1,48)	1000 м ³	72,62
11	E1-25-12 К=9	При переміщенні ґрунту більше 10 м бульдозерами потужністю 96кВт (130 к.с.) добавляти на кожні наступні 10м, група ґрунтів 4 (90м)	1000 м ³	72,62
12	E1-17-16	Розчистка кам'яно-ловильної канави. Розробка ґрунту з навантажуванням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноківшовими дизельними на гусеничному ході з ківшом місткістю 0,5 (0,5-0,63) м ³ , група ґрунтів 4	1000 м ³	2,5
13	*C311-Г варіант 1	Перевезення ґрунту до 0,5 км без навантаження	т	4625
14	E1-25-4	Розрівнювання породи на відвалі бульдозерами потужністю 96кВт (130к.с.) з переміщенням ґрунту до 10м, група ґрунтів 4	1000 м ³	2,5

15	E1-17-14	Розробка потенційно-родючого ґрунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноковшовими дизельними на гусеничному ході з ківшом місткістю 0,5 (0,5-0,63) м ³ , група ґрунтів 2	1000 м ³	23,1
16	C311-15	Перевезення ґрунту до 15 км без навантаження	т	39270
17	E1-145-12	Планування відкосів насипу механізованим способом, група ґрунтів 2	1000 м ³	49,15
18	E1-145-12	Планування поверхні відвалу механізованим способом, група ґрунтів 2	1000 м ³	27,85
19	E1-37-2	Розробка водовідвідних каналів, група ґрунтів 2	1000 м ³	0,9
Біологічний етап				
20	E47-11-3	Підготовка механізованим способом стандартних місць для садіння дерев-саджанців з оголеною кореневою системою з додаванням родючої землі до 50%	10 шт.	190
21	E47-13-2	Садіння дерев-саджанців з оголеною кореневою системою в ями розміром 1,0х0,8 м	10 шт.	190
22	C1429-1	Саджанці берези бородавчатої, 1 група, 1 сорт	шт.	800
23	C1429-15	Саджанці клену гостролистого, 1 група, 2 сорт	шт.	800
24	C1429-20	Саджанці горобини, 1 група, 2 сорт	шт.	300
25	E47-152-2	Висівання багаторічних трав	га	3,7
26	E47-152-3	Коткування посівів	га	3,7
27	E47-224-1	Посів багаторічних трав на схилах вручну	га	4
28	C1429-117	Суміш насіння газонних трав	ц	15,4

* - за даними Західно-Української виконавчої дирекції з ліквідації шахт

Санітарні та ландшафтні рубки, рубки переформування і рубки догляду в молодняках на породних відвалах вугільних шахт рекомендується проводити з разовим об'ємом вибірки не більше 10%. Вирубуванню підлягають гниючі і

ослаблені дерева хвойних і листяних порід. Сильне розрідження молодняків і середньовікових лісових масивів веде до прискорення деградації дерево-чагарникової рослинності під впливом агресивного повітряного середовища.

У відповідності до «Проекту організації робіт при формуванні плоского породного відвалу шахти №9 Нововолинська» для попередження самозаймання породи у відвалі проводиться ізоляція відкосів відвалу ізолюючим матеріалом. Товщина ізолюючого матеріалу для відкосів становить 0,8 м. По контуру породного відвалу пропонується відсипати через кожен метр висоти шар ізолюючого матеріалу шириною 3 м та висотою 0,25-1,0 м. Ущільнення ізолюючого матеріалу здійснюється одночасно із ущільненням породи.

З метою виявлення можливих осередків горіння та своєчасного прийняття заходів з попередження самонагрівання породи здійснюється контроль теплового стану. Вимірювання температури породи необхідно проводити 3-и рази на рік (травень, липень, вересень). Точки замірів температур розташовуються на горизонтальній частині відвалу у вершинах попередньо утворених квадратів з довжиною сторін 20 м. Окрім цього точки повинні бути розташовані на відстані 5 м від відкосу. Додаткові точки заміру розташовуються у видимих осередках самозаймання. Тут вимірювання температури здійснюється на глибині 0,5 м від поверхні.

Для породних відвалів встановлюється захисна механічна зона мінімальною шириною 20 м. По контуру захисної зони встановлюються знаки із написом про заборону входу. Механічна захисна зона встановлюється для виключення шкідливого впливу зсувів та обвалів породи із схилів. В межах механічної захисної зони заборонено розміщення житлових та виробничих будівель та споруд. Для

доставки ізолюючого матеріалу на терикон слід передбачити в'їзну дорогу шириною 4 м і узбіччя 1 м. Дорога відсипається із перегорілої породи.

Для створення нової, більш стійкої до впливу забруднюючих речовин, екологічної системи зони впливу териконів, необхідно запроваджувати культурфїтоценози наступних деревно-чагарникових порід: тополя бальзамічного, в'язу, яблуні сибірської, берези повислої, осики, обліпихи, акації білої тощо.

Ці рослини повинні бути переважаючими в біоценозі, тому, що окрім високої стійкості до забруднювачів повітря, яке містить фтористі з'єднання та оксиди сірки і азоту, вони володіють властивостями газо- і пилопоглинання, а також посухостійкістю, зимостійкістю, високою трофністю. З хвойних можна використовувати ялівець сибірський. Йому притаманна підвищена газостійкість.

4.6. Гірничотехнічний та біологічний етапи рекультивації згасаючих териконів

Діючі відвали наявні біля шахт, на яких продовжується вугледобування («Шахта №1 Нововолинська», «Шахта №5 Нововолинська», «Шахта №9 Нововолинська», шахта «Бужанська»). Це терикони, які з часом збільшуються унаслідок безперервного відсипання «пустої» породи. Зазвичай відрізняються вони від інших териконів наявністю стрічкового конвеєра на своїй вершині та незначним самозаростанням рослинністю біля підосви (рис. 4.16 і 4.17).



Рисунок 4.16 – Згасаючий терикон «Шахти №9 Нововолинської»



Рисунок 4.17 – Діючий терикон шахти «Бужанська»

У Малому Поліссі на згасаючих териконах вугільних шахт необхідна орієнтація на природне лісовідновлення. Під час проведення лісової рекультивації териконів, які були відсіпані ще у 80-х роках минулого століття, вирівнювання поверхні здійснювати не бажано, адже внаслідок вирівнювання буде знищено вже наявний трав'яний покрив,

порушиться стабільний стан відвальної породи, зміняться шляхи водовідведення з териконів і оголяться ґрунти, які не були вивітрені. Заростання згасаючих териконів навколо осередків виходу продуктів горіння та випарів зображено на рис. 4.18.

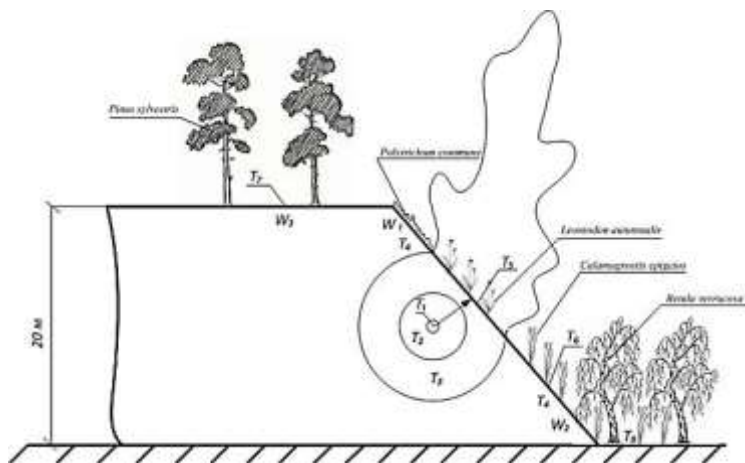


Рисунок 4.18 – Схема згасаючого терикону із природними фітомеліоративними процесами та розвитку видового складу в залежності від джерела горіння породи

Гальмують процес природного заростання згасаючих териконів скельні відвальні породи, які не здатні утворювати однорідний субстрат. Унаслідок цього лісові культури на териконах Нововолинського гірничопромислового району необхідно запровадити на невеликих за площею ділянках, максимально використовуючи еколого-біологічні властивості деревних порід, які будуть задіяні у залісенні відвалів. При плануванні природно зарощених площ відвальних ландшафтів необхідно враховувати сформовані водотоки, оскільки при їх засипанні в інших місцях можуть виникнути рови і конуси виносу, а також підтоплення понижених ділянок, які були задерновані раніше засипаними водяними потоками.

4.7. Гірничотехнічний та біологічний етапи рекультивації діючих териконів

За Кучерявим В. П. [61] процес рекультивації на териконах вугільних шахт передбачає три етапи: підготовчий, гірничотехнічний, біологічний. Науковці Донецького національного технічного університету [51] передбачають також три покоління переформування териконів, які забезпечують адаптацію девастрованих ландшафтів до умов довкілля.

Терикони переформовують від конічних гострих до плоских. При переформуванні конічного відвалу в плоский утворюються схили стрімкістю 35-40°, подібні до кута природного нахилу відвальної маси. Для вирівнювання схилів застосовують бульдозери. При цьому площа відвалу може збільшуватися від початкової на 40%. Переформування териконів бульдозерами здійснюють в декілька етапів (додаток Д).

Під час складування порід у багатоярусні відвали для забезпечення стійкості слід здійснювати терасування (висота до 10 м). Тераси і мікротераси створюються на схилах териконів з метою запобігання розвитку ерозійних процесів та відведення атмосферних опадів (рис. 4.19).



Рисунок 4.19 – Процеси ерозії та зсуви на териконі «Шахти №4 Нововолинська»

Висота терас приймається 8-10 м, ширина горизонтального майданчика – 6-10 м з кутом відкосу 15-25° [61]. Для запобігання ерозії тераси повинні мати поперечний нахил додатково 1,5-2° в бік вищої тераси (рис. 4.20).

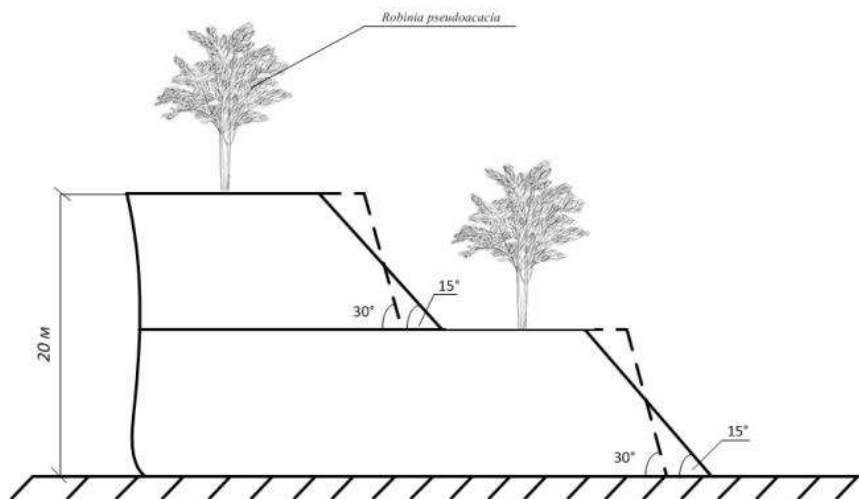


Рисунок 4.20 – Складування породи в багатоярусні відвали (утворення терас та штучне заліснення)

Слід зауважити, що на понижених ділянках, а також у місцях свіжого відсипання породи (діючі терикони), водонасичені ґрунти не витримують навантаження важких технічних засобів, які залучаються до планування відвальних площ (бульдозери, грейдери). У такому випадку слід запроваджувати заходи із видалення води.

На свіжовідсипаних ділянках териконів, які віднесені до проведення фітомеліоративних робіт, не рекомендується здійснювати підготовку до сівби плуговими боронами, оскільки вони можуть стати ділянками водовідведення, що посилить процес водної ерозії та на підвищеннях буде призводити до вимивання корневих систем саджанців, а на пониженнях – до їх затоплення.

Заліснення терас переформованих відвалів деревно-чагарниковою рослинністю забезпечує їх стійкість, збільшує естетичну цінність техногенно порушеного довкілля [130, 140]. Після нанесення насипних ґрунтосумішей необхідно здійснити лісогосподарський напрям рекультивації, що входить до біологічного етапу, який передбачає створення лісонасаджень озеленувального, протиерозійного та санітарного призначення.

На рис. 4.21 зображено порядок нанесення родючих шарів на малопритатні та непридатні для лісогосподарської рекультивації відвали.

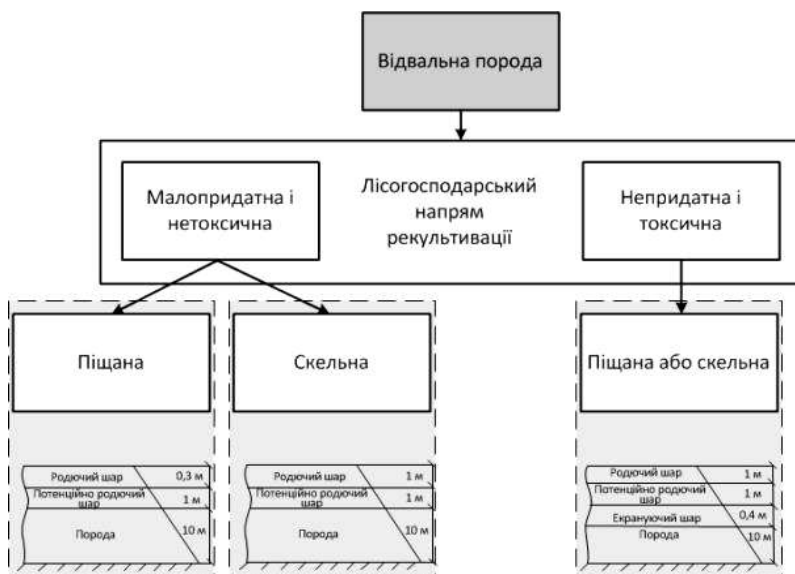


Рисунок 4.21 – Схема нанесення родючих шарів на відвали вугільних шахт

Залежно до придатності підстилаючих порід для лісогосподарського напрямку рекультивації формується дво- або тришарова поверхня. Загалом потенційно родючі породи вкладаються потужністю не менше 1 м, після чого на

плануючу поверхню наноситься родючий шар висотою 0,3 м. Якщо розкриті породи сформовані скельними породами, то родючий шар повинен мати висоту 1 м. У випадку, коли відвальна порода не придатна до лісогосподарського напряму рекультивації та є токсичною, необхідно запроєктувати екрануючий шар товщиною не менше 0,4 м (зазвичай використовують щебінь), який відділяє породу від потенційно родючого та родючого шарів. Висота екрануючого шару залежить від гранулометричного складу породи і орієнтовно дорівнює: 0,4-0,5 м – для глин; 0,5-1,0 м – для пісків; 1,0-1,5 м – для супісків; 1,5-3,0 м – для суглинків [61].

Висновки до Розділу 4

Флористичне ядро рослинного покриву гірничих відвалів шахт досліджуваного регіону 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: бореальна і псаммофільна; неморальнолісова; гідрофільна; лучно-степова і кальцепетрофільна.

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 широкого цільового застосування у фітомеліоративному процесі.

В результаті вивчення фітомеліоративної ефективності рослинності породних відвалів Шахти №3 та ЦЗФ 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 ЦЗФ 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 ЦЗФ 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 ЦЗФ і $K_{FM} = 6,55$ для Шахти №3.), що пояснюється сприятливішими едафокліматичними умовами.

У межах Львівсько-Волинського вугільного басейну функціонують три типи териконів: рекультивовані, згасаючі та діючі. У повному обсязі гірничотехнічну рекультивацію необхідно передбачати лише для діючих териконів. Згасаючі терикони вже піддаються природному заростанню (північні та західні експозиції схилів), тому гірничотехнічний етап слід здійснювати у місцях зсувів та там, де відсутній трав'яний покрив.

У представлених дослідженнях наведено основні заходи рекультивації териконів різних типів. Також зображено схеми териконів, де вказано природні фітомеліоративні процеси (згасаючі) та технології розрівнювання насипів (діючі).

ВИСНОВКИ

У цій монографії 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.

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.

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.

Встановлено, що найбільші значення потужності еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання притаманні схилам породного відвалу «Шахти №3 Великомоствська» 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.

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 sukcesії за участі *Pinus sylvestris* L.

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

Встановлено, що процеси горіння породи у відвалі протікають неоднаково та залежать від давності відсіпання терикону, наявності технології складування, геометричних параметрів відвалів. Температура субстрату на поверхні терикону ПАТ «Львівська вугільна компанія» влітку 2018 року становила +21,2°C -+64,4°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°C, а самозаймання – +475°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 Великомоствська» (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 Великомоствська», який становить 132 бали.

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.

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 довілля 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.

Сезонне вивчення рівнів вертикального та горизонтальних температурних градієнтів *Pinus sylvestris* L. дослідних місцезростань показало, що найнесприятливіші умови розвитку присутні в осередках активної деважації – на вершинах териконів ПАТ «Львівська вугільна компанія» та «Шахти №3 Великомоствська». Максимум температурної різниці спостерігався на обидвох об'єктах в липні місяці, на коли припадає сезонний пік росту пагонів. На вершині терикону «Шахти №3 Великомоствська» різниця температур становила – 3,0 °С, а на териконі ПАТ «Львівська вугільна компанія» – 3,7 °С, 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.

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.

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-степова і кальцепетрофільна.

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.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

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 запроваджувати у місцях зсувів та там, де відсутній трав'яний покрив.

З метою збереження природних фітоценозів за участі *Pinus sylvestris* L. на поверхні породних відвалів необхідно обмежити пересування будівельної техніки, стрічкових конвеєрів та вагонеток у місця природного заростання.

Для запобігання пошкоджень *Pinus sylvestris* L. здійснювати сантіарну та формувальну обрізку крони та розчищати від снігу під час сильних снігопадів.

Із метою підвищення фізіологічної стійкості *Pinus sylvestris* L. необхідно вправджувати моделі поліцентричних фітогенних полів.

Заборонити відсипання твердих побутових відходів у западинах породних відвалів для запобігання виникнення додаткових джерел еколого-техногенної небезпеки (горіння відходів, утворення фільтратів, знищення фітоценозів).

У місцях зсувів, провалів та тріщин породних відвалів необхідно обмежити доступ людей шляхом встановлення загороджувальних смуг та попереджувальних знаків про небезпеку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аверчук А.С. Екологічні особливості ліхеноіндикації антропогенно трансформованого середовища на південному сході України: автореф. дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.16. Екологія. Дніпропетровськ, 2011. 23с.

2. Андрієнко Т. Л. Мале Полісся: проєктований національний природний парк України (Хмельницька область) / Т. Л. Андрієнко, Л. П. Казімірова, О. І. Прядко, Р. Г. Білик, Л. С. Юглічек / за заг. ред. Т.Л. Андрієнко. Кам'янець-Подільський : Видавець П.П. Мошинський, 2007. 40 с.

3. Антіпова Ю. Л. Екологічні особливості спонтанної дендрофлори відвалу Малокохнівського гранкар'єру (Полтавська область). *Синантропізація рослинного покриву України*: тези наук. доп., 27-28 квітня 2006 р. Переяслав-Хмельницький, 2006. С. 5–6.

4. Баранов В., Бешлей С., Соханьчак Р., Козловський М. Вміст пігментів і структура хлоропластів куничника наземного (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) за умов росту на відвалах породи вугільних шахт. Біологічні студії / *Studia Biologica*. 2011. Том 5, № 3. С. 97–102.

5. Башуцька У. Б. Антропогенно-природні сукцесії рослинності девастрованих ландшафтів Червоноградського гірничопромислового регіону : дис. ... канд. с.-г. наук: спец. 06.03.01 "Лісові культури та фітомеліорація" / Башуцька Уляна Богданівна. Львів, 2004. 214 с.

6. Башуцька У. Б. Сукцесії рослинності породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району: монографія. Львів: РВВ НЛТУ України, 2006. 180 с.

7. Башуцька У. Б. Мікрокліматичні умови породних відвалів шахт Червоноградського гірничо-промислового району. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України. 2009. С. 48–51.

8. Башуцька У. Б. Озеленення териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну. Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук.-техн. праць. Львів: Вид-во УкрДЛТУ. 2000. Вип. 10.2. С. 61–63.

9. Бессонова В. П. Практикум з фізіології рослин. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2006. 316 с.

10. Бешлей С. В. Екологічні властивості *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth та його середовищетворна роль на відвалах вугільних шахт (Червоноградський гірничопромисловий район): автореф. дис.... канд. біол. наук: спец. 03.00.16. Екологія. Львів, 2016. 148 с.

11. Білонога В. М. Первинні сукцесії техногенних ландшафтів сірчаних родовищ. Зб. наук. праць НТШ : *Екологічні проблеми природокористування та біорізноманіття Львівщини*. Львів: НТШ. 2001. Т. VII. С. 75–82.

12. Білонога В. М. Рослинність відвалів сірчаних родовищ Львівської області. Укр. ботан. журн. 1989. Т. 46. № 1. С. 26–29.

13. Бобровник Д. П., Болдирєва Т. О., Іщенко А. М. Львівсько-Волинський кам'яновугільний басейн / під ред. П. Л. Шульги. Київ: Видавництво Академії Наук Української РСР, 1962. 145 с.

14. Босак П. В. Фізико-хімічні властивості стічних вод з технологічних відвалів Нововолинського гірничопромислового району. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2018. 18. С. 117–124. [DOI:10.32447/20784643.18.2018.13](https://doi.org/10.32447/20784643.18.2018.13).

15. Босак П. В., Попович В. В. Екологічна небезпека підтериконових стічних вод Нововолинського гірничопромислового району EcoLab. Том 1 : монографія/ П. В. Босак, В. В. Попович. Львів : ЛДУ БЖД, 2022. 231 с.

16. Босак П. В., Попович В. В., Піндер В. Ф., Стокалюк О. В. Температура займання та самозаймання

найпоширеніших деревних порід териконів. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2020. 30 (5). С. 53-58 <https://doi.org/10.36930/40300509>.

17. Босак П. В., Стокалюк О. В., Корольова О. Г., Попович В. В. Управління екологічною безпекою у проєктах розвитку гірничопромислових комплексів. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2020. 22. С. 5-11. <https://doi.org/10.32447/20784643.22.2020.01>.

18. Босак П. В., Тиндик О. С., Попович В. В. Вплив підтериконових стічних вод гірничопромислових комплексів на довкілля. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*. VII Міжнародний конгрес, 12-14 жовтня 2022, Україна, Львів : Збірник матеріалів. Київ : Яроценко Я. В., 2022. С. 54.

19. Бровко Ф. М. Культурфітоценози дуба на відвальних ландшафтах Придніпровської височини. Наукові доповіді НАУ : електронний журнал. 2008. № 1(9). С. 1–9. Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-Journals/nd/2008-1/08bfmlph.pdf>.

20. Бровко Ф. М. Лісова рекультивация відвальних ландшафтів Придніпровської височини України : монографія, К.: Вид-во "Арістей", 2009. 264 с.

21. Бузило В. І., Павличенко А. В. Екологічні та техногенні наслідки ліквідації вугільних шахт. Розробка родовищ: Зб. наук. пр., 2014. Т. 8. С. 535–540.

22. Война І. М. Особливості ландшафтного різноманіття гірничопромислових ландшафтів у зв'язку з їх висотною диференціацією. Наукові записки Вінницького педуніверситету. Сер. Географія. 2013. Вип. 25. С. 40–47.

23. Войтович С. П. Геохімічні особливості підземних та шахтних вод вугільних басейнів України (на прикладі Червоноградського гірничопромислового району і

Центрального Донбасу). Науковий вісник Національного гірничого університету. 2015. № 2 (146). С. 23–30.

24. Воробйов С. Г. Захист територій, прилеглих до породних відвалів, від надходження забруднювальних речовин (на прикладі Луганської області): автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 21.06.01. Екологічна безпека. Київ, 2011. 22с.

25. Гавриляк М. Я. Екологічне обґрунтування фіторе mediaції породних відвалів вугільних шахт: автореф. дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.16. Екологія. Київ, 2010. 21 с.

26. Геник Я. В. Лісовідновлення складних техногенних екосистем Львівщини. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету: зб. наук. праць. Дніпропетровськ: Вид-во ДДАУ. 2012. №. 1. С. 117–120.

27. Геник Я. В., Заячук В. Я. Сукцесії рослинності на посттехногенних територіях зони діяльності Яворівського ДГХП "Сірка". Науковий вісник НЛТУ України. Львів: РВВ НЛТУ України. 2013. Вип. 23.16. С. 93–99.

28. Геник Я. В. Ревіталізація антропогенно порушених екосистем: методологічні та технологічні аспекти. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України. 2016. Вип. 26.8. С. 180–185.

29. Гірничий закон України : Закон України від 06.10.1999 р. № 1127-XIV : станом на 28 берез. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1127-14#Text> .

30. Горелов О. М. Еколого-морфологічні основи концепції фітогенного поля. Автореферат дис. ... док. біол. наук, 2014. 37 с.

31. Горючі корисні копалини України: Підручник / В. А. Михайлов, М. В. Курило, В. Г. Омельченко, Л. С. Мончак,

В. В. Огар, В. М. Загнітко, О. В. Омельчук, В. В. Шунько, В. М. Гулій. К.: КНТ, 2009. 376 С.

32. ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб».

33. ДСТУ 7738:2015 «Безпека екологічна та техногенна. Терміни та визначення понять».

34. ДСТУ 8829:2019 «Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їх визначення. Класифікація».

35. Забокрицька М. Р. Гідрохімічний режим та оцінка якості річкових вод басейну Західного Бугу на території України : автореф. дис. ... на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.07 "Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія", 2005. 19 с.

36. Зверковський В. М. Фітомеліорація шахтних відвалів в Західному Донбасі. Український ботанічний журнал: науковий журнал НАН України, Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. 1997. В. 54, № 5. С. 474–481.

37. Зубов А. О. Екологічна небезпека території розміщення породних відвалів вугільних шахт: методи оцінки, система і алгоритм управління: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 21.06.01. Екологічна безпека. Дніпропетровськ, 2012. 22 с.

38. Іванов Є., Ковальчук І. Радіоактивне забруднення технооекосистем породного терикону шахти "Візейська". *Біомедична електроніка та фізичні методи в екології*: зб. тез Всеукр. наук. сем. 13-16 вересня 2007 року. Львів-Ворохта, 2007. С. 64.

39. Іванов Є. А. Еколого-ландшафтознавчий аналіз гірничопромислових територій (на прикладі Львівської області): автореф. дис. ... канд. геогр. наук: спец. 11.00.11. Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів. Київ, 2001. 14 с.

40. Інструкція і методичні матеріали до обслідування ґрунтів колгоспів і радгоспів, Української РСР. Офіц. вид. Харків, 1957. 371 с.

41. Кирильчук А. А. Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикум : навч. посібник / А. А. Кирильчук, О. С. Бонішко. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 354 с.

42. Киричок Л. С. Типологія териконів вугільних шахт Донбасу за лісорослинними умовами. Науковий вісник УкрДЛТУ. 2003. Вип. №13.3. С. 123–127.

43. КНД 211.1.0.009-94. Гідросфера. Відбір проб для визначення складу і властивостей стічних і технологічних вод.

44. КНД 211.1.4.023-95. Методика фотометричного визначення нітрит-іонів з реактивом Грісса в поверхневих та очищених стічних водах.

45. КНД 211.1.4.027-95. Методика фотометричного визначення нітратів з саліциловою кислотою в поверхневих та біологічно очищених водах.

46. КНД 211.1.4.027-95. Методика фотометричного визначення нітратів з саліциловою кислотою в поверхневих та біологічно очищених водах.

47. КНД 211.1.4.030-95. Методика фотометричного визначення амоній-іонів з реактивом Неслера в стічних водах.

48. КНД 211.1.4.034-95. Методика фотометричного визначення загального заліза в поверхневих та стічних водах.

49. КНД 211.1.4.039. Методика гравіметричного визначення завислих (суспензованих) речовин в природних та стічних водах.

50. Козловський В. І. Важкі метали в ґрунтах техногенних ландшафтів родовищ самородної сірки Передкарпаття (Україна). Ґрунтознавство. 2008. Т. 9, № 3-4. 101–107.

51. Колеснікова В. В. Удосконалення технологій підготовки схилів породних відвалів до озеленення. Проблеми екології : загальнодержавний наук.-техн. журнал. Донецьк : ДонНТУ, 2007. № 1-2. С. 41–46.

52. Копій М. Л., Вицега Р. Р., Копій С. Л. та ін. Особливості росту та розвитку лісостанів на порушених землях відвалів Новороздільського сірчаного кар'єру. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України, 2017. Вип. 27.1. С. 44–47.

53. Копій М. Л., Заїка В. К., Копій Л. І. Вплив сформованих ґрунтосумішей на вміст пластидних пігментів у деревних породах на порушених землях Яворівського сірчаного кар'єру. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України, 2016. Вип. 26.8. С. 193–199.

54. Копій М. Л., Копій Л. І. Вплив рослинності на перерозподіл органічних речовин та хімічних елементів у тезноземах Яворівського сірчаного кар'єру». Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України, 2016. Вип. 26.5. С. 194–204.

55. Копій М. Л., Копій Л. І. Роль деревних рослин у відтворенні ґрунтів на відвалах Новороздільського Державного гірничо-хімічного підприємства «Сірка». Наукове товариство ім. Шевченка. Праці наукового товариства ім. Шевченка. Екологічний збірник. Львів, 2016. Том XLVI. С.158–168.

56. Копій М. Л., Марутяк С. Б., Копій Л. І. Аналіз морфологічної структури та хімічного складу порушених ґрунтів у межах Новороздільського ДГХП «Сірка». Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України, 2016. Вип. 26.4. С. 212–219.

57. Копій М. Л., Оліферчук В. П., Копій Л. І. Порівняльна характеристика мікологічної структури техноземів сірчаних кар'єрів Львівщини. Науковий вісник

НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України, 2017. Вип. 27.3. С. 95–99.

58. Кузярін О. Т. Анотований список судинних рослин вугільних відвалів Львівсько-Волинського гірничопромислового регіону. Біологічні студії / *Studia Biologica*. 2011. Том 5, № 3. С. 155–170.

59. Кузярін О. Т. Порівняльний аналіз флори вугільних відвалів Львівсько-Волинського гірничопромислового регіону // Біологічні Студії / *Studia Biologica*. 2012. Том 6, № 2. С. 189–198.

60. Кучерявий В. П., Попович В. В. Вплив фітогенного поля на оптимізацію континуально-дискретної структури рослинного покриву девастрованих ландшафтів. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи* : тези доп. II Міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 4-6 листопада 2015 р. Львів : ЛДУ БЖД, 2015. С. 73–74.

61. Кучерявий В. П. Рекультивація та фітомеліорація / В. П. Кучерявий, Я. В. Генік, А. П. Дида, М. М. Колодко. Львів: Світ, 2006. 116 с.

62. Кучерявий В. П. Урбоекологія. Львів: “Новий Світ-2000”, 2021. 460 с.

63. Кучерявий В. П. Витоки і шляхи розвитку урбоекології та фітомеліорації як нових екологічних дисциплін. Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук.-техн. праць. Сер.: Проблеми урбоекології та фітомеліорації. Львів: Вид-во УкрДЛТУ. 2003. Вип. 13.5. С. 16–22.

64. Кучерявий В. П. Екологія: підручник [для студ. ВНЗ] / В. П. Кучерявий. Львів: Світ, 2000. 500 с.

65. Кучерявий В. П. Фітомеліорація: підручник [для студ. ВНЗ] / В. П. Кучерявий. Львів: Світ, 2003. 540 с.

66. Лобов І. М. Функціонально-планувальна реабілітація забудови порушених територій (на прикладі Донецько-Макіївської агломерації) : автореф. дис. ... на

здобуття наук. ступеня канд. арх.: спец. 18.00.04 “Містобудування та ландшафтна архітектура”. Київ, 2002. 20 с.

67. Макеєва Д. О. Екологічна небезпека породних відвалів та шляхи вирішення проблеми. Проблеми екології. 2013. № 1 (31). С. 43–48.

68. Малик Ю. О., Голець Н. Ю. Аналіз впливу полігону твердих промислових відходів Червоноградської ЦЗФ на довкілля. Вісник НУ «Львівська політехніка» Хімія, технологія речовин та їх застосування. 2008. 609. С. 253–256.

69. Матеріали з гігієнічного та екологічного обґрунтування можливості використання двох типів відходів вуглезбагачення (породи, тонкі відходи) і шлаків збагачувальної фабрики ЦЗФ “Червоноградська” в цегельній, цементній, будівельній та інших галузях промисловості. Львів, 2008. 23 с.

70. МВВ № 081/12-0116-03. Методика виконання вимірювань масової частки нафтопродуктів гравіметричним методом.

71. Некрасенко Л. А. Екологічний аналіз рослинного покриву міста Кременчука та його зеленої зони (відновлення культурфітоценозів, їх охорона, прогноз): дис. ... канд. біолог. наук: спец. 03.00.16. Полтава, 2004. 337 с.

72. НПАОП 10.0-5.21-04 «Інструкція із запобігання самозапалюванню, гасіння та розбирання породних відвалів» (до п. 8.5.6 «Правила безпеки у вугільних шахтах»).

73. Офіційний сайт Сокольської РДА. Режим доступу: <http://sokal-rda.gov.ua/main.html>

74. Павличенко А. В., Коваленко А. А. Дослідження екологічних наслідків розміщення вугледобувних підприємств у навколишньому середовищі. Розробка родовищ: Зб. наук. пр. 2014. Т. 8. С. 497–507.

75. Панас Р. М. Рекультивація земель: навч. посібн. / Р. М. Панас. Львів : Новий світ-2000, 2005. 224 с.

76. 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.

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

78. 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. 30–33.

79. 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.

80. 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.

81. 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>.

82. Погребняк П. С. Загальне лісівництво. К.: Колос, 1968. 440 с.

83. Попович В. В. Вплив кліматичних умов на розвиток рослинності техногенних ландшафтів Малого Полісся у зимовий період. Науковий Вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. Львів: РВВ НЛТУ України. 2009. Вип. 19.3. С. 37–42.

84. Попович В. В. Фітомеліорація згасаючих териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну : монографія / В. В. Попович. Львів : ЛДУБЖД. 2014. 174 с.

85. Попович В. В. Характеристика осередків самозаймання породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового регіону. Наук. вісник Нац. лісотех. ун-ту України: зб. наук.-техн. праць. 2009. Вип. 19. С. 77–82.

86. 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>

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

88. 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.

89. Попович В. В., Піндер В. Ф. 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.

90. Сметана С. М. Екологічна класифікація техногенних ландшафтів гірничодобувних регіонів. Екологія і природокористування. 2008. Вип. №11. С. 30–41.

91. Снітинський В. В. Ґрунтознавство з основами агрохімії та геоботаніки / В. В. Снітинський, В. Ф. Якобенчук : навч. посібн. Вид. 2-ге, [перероб. та доп.]. Львів : Аверс, 2006. 312 с.

92. СОУ 10.1.00174125.010:2007 «Породні відвали вугільних шахт і збагачувальних фабрик. Вимоги до формування, запобігання самозапалюванню, розбирання і гасіння» зареєстровано державним підприємством «Український науково-дослідний та учений центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» від 12.12.07 № 3259752/1646 (СОУ 10.1.00174125.010:2007).

93. Терещук О. С. Вплив відвалів гірничодобувної промисловості на навколишнє середовище Нововолинського гірничопромислового району. Вісник Львівського університету. Сер.: Географічна. 2007. С. 279–285.

94. Терещук О. С. Географічні засади оптимізації геоекологічного стану природно-господарських систем Нововолинського гірничопромислового району : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.11 "Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів". Чернівці, 2008. 20 с.

95. Ткачик В. П. Флора Прикарпаття. Львів: НТШ, 2000. 254 с.

96. Шевченко Л. М. Геохімічний аспект проблем природокористування у гірничопромислових ландшафтах України. Український географічний журнал: наук.-теор. журнал. 2004. № 4. С. 19–23.

97. Яцух О. М., Снітинський В. В. Особливості територіального розподілу важких металів у зоні впливу відвалу Червоноградської шахти. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної

медицини та біотехнологій ім. Гжицького. 2011. Т. 13, № 2(2). С. 190–195.

98. Anfal Arshi. Reclamation of coalmine overburden dump through environmental friendly method / Saudi Journal of Biological Sciences (2017) 24, 371–378. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.09.009>.

99. Bosak P. (2019). Spontaneous combustion of coal mine dumps in the Novovolynsk mining industrial area. The second round table: «Ecological impact of fire. Deforestation and forest degradation. Reclamation of devastated landscapes». Lviv. P. 3–5.

100. Bosak P., Popovych V. (2019). Radiation-ecological monitoring of coal mines of Novovolynsk mining area. News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. 5. 437. P. 132–137. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.134>.

101. Bosak P., Popovych V., Stepova K., Dudyn R. (2020). Environmental impact and toxicological properties of mine dumps of the Lviv-Volyn coal basin. News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. 2. 440. P. 48–54. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.30>.

102. Bosak P., Popovych V., Stepova K., Marutyak S. (2020). Features of seasonal dynamics of hazardous constituents in wastewater from colliery spoil heaps of Novovolynsk mining area. News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. 5. 443. P. 39–46. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.102>.

103. Chetveryk, M., Bubnova, O., Babii, K., Shevchenko, O., & Moldabaev, S. (2018). Review of geomechanical problems of accumulation and reduction of mining industry wastes, and ways of their solution. Mining of Mineral Deposits, 12(4), 63–72. <https://doi.org/10.15407/mining12.04.063>

104. Didukh Ya. P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv: Phytosociocentre, 2011. 176 p.

105. Elyse V. Clark, Carl E. Zipper. Vegetation influences near-surface hydrological characteristics on a surface coal mine in eastern USA / CATENA (2016), 139, 241–249.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.004>.

106. Farmaki, S., Vorrisi, E., Karakasi, O. K., & Moutsatsou, A. (2018). The role of limestone and dolomite tailings' particle size in retention of heavy metals from liquid waste. *Mining of Mineral Deposits*, 12(2), 95–103.
<https://doi.org/10.15407/mining12.02.095>

107. Filonenko, O (2018). Sustainable development of Ukrainian iron and steel industry enterprises in regards to the bulk manufacturing waste recycling efficiency improvement. *Mining of Mineral Deposits*, 12(1), 115–122.
<https://doi.org/10.15407/mining12.01.115>

108. Huang Lei, Zhang Peng, Hu Yigang, Zhao Yang. (2016). Vegetation and soil restoration in refuse dumps from open pit coal mines / *Ecological Engineering*. 94, 638–646.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.108>.

109. Huang Lei, Zhang Peng, Hu Yigang, Zhao Yang. (2015). Vegetation succession and soil infiltration characteristics under different aged refuse dumps at the Heidaigou opencast coal mine / *Global Ecology and Conservation* 4 255–263.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.07.006>.

110. Kirin, R. (2019). Statutory and regulatory requirements in the process of mineral mining in Ukraine. Review and analysis. *Mining of Mineral Deposits*, 13(2), 59–65.
<https://doi.org/10.33271/mining13.02.059>.

111. Kořcova M., Hellmer M., Anyona S., Gvozdkova T. (2018). Geo-Environmental Problems of Open Pit Mining: Classification and Solutions. *E3S Web of Conferences* 41, 01034.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101034>.

112. Kuzmenko, O., Petlyovanyy, M., & Heylo, A. (2014). Application of fine-grained binding materials in technology of hardening backfill construction. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 465–469. <https://doi.org/10.1201/b17547-79>

113. Ling Zhang, JinmanWang, Zhongke Bai, Chunjuan Lv. (2015). Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area / *CATENA*. 128, 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.016>.

114. Malanchuk, Ye., Korniienko, V., Moshynskiy, V., Soroka, V., Khrystyuk, A., & Malanchuk, Z. (2019). Regularities of hydromechanical amber extraction from sandy deposits. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 49–57. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.049>

115. Malanchuk, Z., Korniienko, V., Malanchuk, Ye., Soroka, V., & Vasylychuk, O. (2018). Modeling the formation of high metal concentration zones in man-made deposits. *Mining of Mineral Deposits*, 12(2), 76–84. <https://doi.org/10.15407/mining12.02.076>

116. Malanchuk, Z.R., Moshynskiy, V.S., Korniienko, V.Y., Malanchuk, Y.Z., & Lozynskiy, V.H. (2019). Substantiating parameters of -zeolite-smectite puff-stone washout and migration within an extraction chamber. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (6), 11–18. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-6/2>

117. Markowicz, A., Wozniak, G., Borymski, S. et al. (2015). Links in the functional diversity between soil microorganisms and plant communities during natural succession in coal mine spoil heaps / *Ecological Research*. 30: 1005–1014. <https://doi.org/10.1007/s11284-015-1301-3>

118. Meshcheryakov L. I. , Shirin A. L. Reclamation (2011). *Technology of Land Destroyed by Mining and Logistics Monitoring Criteria / Procedia Earth and Planetary Science*, 3.

62–65. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.077>.

119. Nettour, D., Chettibi, M., Bulut, G., & Bensehoub, A. (2019). Beneficiation of phosphate sludge rejected from Djebel Onk plant (Algeria). *Mining of Mineral Deposits*, 13(4), 84–90. <https://doi.org/10.33271/mining13.04.084>

120. Petlovanyi M. V., Zubko S. A., Popovych V. V., Sai K. S. (2020). Physicochemical mechanism of structure formation and strengthening in the backfill massif when filling underground cavities. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 6. P. 142–150. DOI: <https://doi.org/0.32434/0321-4095-2020-133-6-142-150>.

121. Petlovanyi M., Kuzmenko O., Lozynskiy V., Popovych, V., Sai K., & Saik P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*. 13 (1). P. 24–38. DOI: [10.33271/mining13.01.024](https://doi.org/10.33271/mining13.01.024).

122. Petlovanyi M., Lozynskiy V., Zubko S., Saik P., & Sai K. (2019). The influence of geology and ore deposit occurrence conditions on dilution indicators of extracted reserves. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 34(1), 83–91. <https://doi.org/10.17794/rgn.2019.1.8>

123. Petlovanyi M., Malashkevych D., Sai K., Bulat I., & Popovych V. (2021). Granulometric composition research of mine rocks as a material for backfilling the mined-out area in coal mines. *Mining of Mineral Deposits*, 15(4), 122–129. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.122>

124. Petlovanyi M., Sai K., Malashkevych D., Popovych, V., & Khorolskiy A. (2023). Influence of waste rock dump placement on the geomechanical state of underground mine workings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1156(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1156/1/012007>.

125. Petlovanyi M. V., & Medianyuk V. Y. (2018). Assessment of coal mine waste dumps development priority.

Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (4), 28–35. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-4/3>.

126. Popovych V. V. (2016). Phytomeliorative recovery in reduction of multi-element anomalies influence of devastated landscapes. Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University. 6 (1). P. 94–114. DOI: <http://dx.doi.org/10.15421/201606>.

127. Popovych V. V., Henyk Ya. V., Voloshchyshyn A. I., Sysa L. V. (2019). Study of physical and chemical properties of edaphotopes of the waste dumps at coal mines in the Novovolynsk mining area. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 5. P. 122–129. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-5/19>.

128. Popovych V., Bosak P., Petlovanyi M., Telak O., Karabyn, V., Pinder V. (2021). Environmental safety of phytogenic fields formation on coal mines tailings. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2(446). P. 129–136. DOI: <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.44>.

129. Popovych V., Petlovanyi M., Henyk Y., Popovych N., Bosak P. (2022). Efficiency of vegetative reclamation of coal spoil heaps. Ecological Engineering & Environmental Technology. 23(1). P. 172–177 <https://doi.org/10.12912/27197050/143137>.

130. Popovych V., Stepova K., Voloshchyshyn V., Bosak P. Physico-Chemical Properties of Soils in Lviv Volyn Coal Basin Area. E3S Web Conference. IVth International Innovative Mining Symposium. 105, 02002. 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910502002>.

131. Popovych V., Voloshchyshyn A., Bosak P., Popovych N. Waste heaps in the urban environment as negative factors of urbanization. International Conference on Environmental Sustainability in Natural Resources Management, ISCES. 2021. 174594. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/915/1/012001>.

132. Popovych V., Voloshchyshyn A., Rudenko D., Popovych N. Geochemical properties of water under the waste heaps in Chervonohrad mining region. E3S Web of Conferences. 2019. 123, 01035. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301035>.

133. Popovych V., Voloshchyshyn A., Tyndyk O., Menshykova O., Shuplat T., Bosak P. (2022). Monitoring of heavy metals migration into edaphic horizons of coal mine dumps. *Ecologia Balkanica*. Vol. 14, Issue 2. pp. 63–74.

134. Popovych V. V., Stepova K. V. Phase dynamics of phytocoenosis on the damped waste heaps of Novovolyn mining area. *Applied Biotechnology in Mining : Proceedings of the International Conference, Dnipro, april 25-27, 2018. Dnipro, 2018. P. 31.*

135. Popovych V., Kuzmenko O., Voloshchyshyn A., Petlovanyi M. Influence of man-made edaphotopes of the spoil heap on biota. E3S Web of Conferences. 2018. 60. 00010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000010>.

136. Popovych V., Voloshchyshyn A. (2019). Features of temperature and humidity conditions of extinguishing waste heaps of coal mines in spring. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 4(436). P. 230–237. DOI: <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.118>.

137. Ramayah M., Rasiah R., Somasundram S., & Turner J. J. (2019). Determinants of environmental degradation: reflections on the impact of identified economic variables on the environment. *Mining of Mineral Deposits*, 13(4), 42–52. <https://doi.org/10.33271/mining13.04.042>

138. Ranjan V., Sen P., Kumar D. et al. (2017). Enhancement of mechanical stability of waste dump slope through establishing vegetation in a surface iron ore mine/ *Environ Earth Sci*, 76: 35. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6350-6>.

139. Sai K., Malanchuk Z., Petlovanyi M., Saik P., &

Lozynskiy V. (2019). Research of Thermodynamic Conditions for Gas Hydrates Formation from Methane in the Coal Mines. *Solid State Phenomena*, 291, 155–172.

<https://doi:10.4028/www.scientific.net/ssp.291.155>

140. Saik P., Petlovanyi M., Lozynskiy V., Sai K., & Merzlikin A. (2018). Innovative Approach to the Integrated Use of Energy Resources of Underground Coal Gasification. *Solid State Phenomena*, 277, 221–231.

<https://doi:10.4028/www.scientific.net/ssp.277.221>

141. Šebelíková L., Csicssek G., Kirmer A., Vítovcová K., Ortmann-Ajkai A., Prach K., Řehounková K. (2018). Spontaneous revegetation versus forestry reclamation – vegetation development in coal mining spoil heaps across Central Europe. *Land degradation and development*. 30(3). 348–356.

<https://doi.org/10.1002/ldr.3233>

142. Seneta W. *Drzewa i krzewy iglaste*. Warszawa: PWN SA, 1981. 650 s.

143. Skrobala V., Popovych V., Tyndyk O., Voloshchyshyn A. (2022). Chemical pollution peculiarities of the Nadiya mine rock dumps in the Chervonohrad Mining District, Ukraine. *Mining of Mineral Deposits Volume 16, Issue 4*. P. 71–79. <https://doi.org/10.33271/mining16.04.071>.

144. Skrobala, V., Popovych, V., Pinder, V. (2020). Ecological patterns for vegetation cover formation in the mining waste dumps of the Lviv-Volyn coal basin. *Mining of Mineral Deposits Volume 14, Issue 2*. P. 119–127

<https://doi.org/10.33271/mining14.02.119/>

145. Song Y., Shu W., Wang A. et al. Characters of soil algae during primary succession on copper mine dumps / *J Soils Sediments* (2014) 14: 577. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0815-y>.

146. Sýkorová I., Kříbek B., Martina Havelcová M., Machovič V., Laufek F., Veselovský F., Špaldoňová A., Lapčák L., Knésl I., Matysová P., Majer V. (2018). *Hydrocarbon*

condensates and argillites in the Eliška Mine burnt coal waste heap of the Žacléř coal district (Czech Republic): products of high-and low-temperature stages of self-ignition. 190. 146–165.

<https://doi.org/10.1016/j.coal.2017.11.003>

147. Uncontrolled coal fires and their environmental impacts: Investigating two arid mining regions in north-central China [Claudia Kuenzer, Jianzhong Zhang, Anke Tetzlaff, Paul van Dijk, Stefan Voigt, Harald Mehl, Wolfgang Wagner] / *Applied Geography*. 2007. Vol. 27, Issue 1. P. 42–62.

148. Xiaoyang Liu, Wei Zhou, Zhongke Bai. (2016). Vegetation coverage change and stability in large open-pit coal mine dumps in China during 1990–2015 / *Ecological Engineering*. 95, 447–451.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.051>.

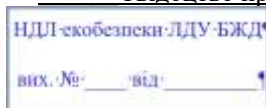
ДОДАТКИ

**Додаток А. Протокол вимірювання фізико-хімічних
властивостей підтериконових вод
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності**

Науково-дослідна лабораторія екологічної безпеки

79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35; тел. 067-185-16-23

Свідоцтво про атестацію № РЛ 127/17 від 14.11. 2017 р.



**Протокол № 322 від «___» ___ 20__ р.
вимірювань показників якості води**

Дата відбору: «___» ___ 20__ 19__ р.

Шифр

проби ВП-102/19

Об'єкт дослідження: поверхнева вода біля шахт

Замовник: Піндер В. Ф.
(назва та місцезнаходження)

Акт відбору № 302 від «___» ___ 20__ р.

Використані ЗВТ: електрофотокolorиметр КФК-2, ваги
аналітичні, мірний посуд

№ з/п	Назва показника	Шифр методики	Розмірність	Результат	ГДК*
1.	Запах при 20 °С	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	бали	0,0	до 2
2.	Присмак при 20 °С	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	бали	не визн.	до 2
3.	Прозорість	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	см	9	більше 20
4.	Водневий показник (рН)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	од. рН	4,6	6,5-8,5
5.	Завислі речовини	КНД 211.1.4.039-95	мг/дм ³	156	не норм.
6.	Сухий залишок	КНД	мг/дм ³	938	до

		211.1.4.042-95			1000
7.	Жорсткість загальна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	12,8	до 7,0
8.	Жорсткість карбонатна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	2,6	до 6,5
9.	Гідрокарбонати (HCO ₃ ⁻)	РД 52.24.24-86	мг/дм ³	158,6	до 300
10.	Хлориди (Cl ⁻)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	148,8	до 250
11.	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	КНД 211.1.4.026-95	мг/дм ³	349	до 500
12.	Нітриди (NO ₂ ⁻)	КНД 211.1.4.023-95	мг/дм ³	2,8	до 3,3
13.	Нітрати (NO ₃ ⁻)	КНД 211.1.4.027-95	мг/дм ³	56,3	до 45
14.	Фосфати (PO ₄ ³⁻)	МВВ 081/12-0005-1	мг/дм ³	10,8	не норм.
15.	Кальцій (Ca ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	112,2	не норм.
16.	Магній (Mg ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	87,6	до 80
17.	Залізо загальне (Fe _{зар})	КНД 211.1.4.034-95	мг/дм ³	1,2	до 0,3
18.	Амоній сольовий (NH ₄ ⁺)	КНД 211.1.4.030-95	мг/дм ³	2,8	до 2,0
19.	Сума натрій (Na ⁺) + калій (K ⁺)	розрахунок	мг/дм ³	62,4	до 300
20.	Загальна мінералізація	розрахунок	мг/дм ³	982	не норм.
21.	Хімічне спожив. кисню (ХСК)	Ю.Ю. Лурье, 1989.	мгО/дм ³	12,8	до 5
	Специфічні показники:				

22.	Свинець	Ю.Ю. Лурье, 1989.	мг/дм ³	не визн.	до 0,01
23.	Мідь	Ю.Ю. Лурье, 1989.	мг/дм ³	не визн.	до 1,0
24.	Цинк	Ю.Ю. Лурье, 1989.	мг/дм ³	не визн.	до 1,0

* - для питної води.

М.П. Зав. лабораторії, к. х. н., доц. _____ Л.В. Сиса _____
(підпис) (ін. та прізвище)

Виконавець: _____
(підпис) (ін. та прізвище)

**Додаток Б. Протоколи вимiрювань фiзико-хiмiчних
властивостей субстрату на пробних площах
Львiвський державний унiверситет безпеки
життєдiяльностi**

Науково-дослiдна лабораторiя екологiчної безпеки
79007, м. Львiв, вул. Клепарiвська, 35; тел. 067-185-16-23
Свiдоцтво про атестацiю № РЛ 127/17 вiд 14.11. 2017 р



**Протокол № 135 вiд « 12 » 01 20 21 р.
вимiрювань складу водної витяжки з ґрунту (породи)
Дата вiдбору: « 10 » 12 20 20 р. Шифр
проби Вгр-75/20**

Об'єкт дослідження: водна витяжка з породи терикону; т. 1 («Контроль»)

Місце вiдбору проби: доставлено замовником (Пiндером В.Ф., Поповичем В.В.)

за НД ---; акт вiдбору № 128 вiд 15.12 20 20 р.;

Використанi ЗВТ: електрофотоколориметр, ваги
аналiтичнi, мiрний посуд

№ з/п	Назва показника	Шифр методики	Одиниця вимiру	Результат	Пере-рахунок, мг/кг
Вихiднi данi:					
1.	Наважка ґрунту	ГОСТ 26423-85	г	100	
2.	Об'єм витяжки	ГОСТ 26423-85	мл	250	
Результати аналізу:					
3.	Водневий показник (рН)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	од. рН	7,0	
4.	Сухий залишок (90)	КНД 211.1.4.042-95	мг/дм ³	123	

	°С)				
5.	Жорсткість загальна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	2,0	
6.	Жорсткість карбонатна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	1,0	
7.	Гідрокарбонат и (НСО ₃ ⁻)	РД 52.24.24-86	мг/дм ³	61,0	153
8.	Хлориди (Сl ⁻)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	22,3	55,8
9.	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	КНД 211.1.4.026-95	мг/дм ³	18,6	46,5
10.	Нітриди (NO ₂ ⁻)	КНД 211.1.4.023-95	мг/дм ³	0,5	1,3
11.	Нітрати (NO ₃ ⁻)	КНД 211.1.4.027-95	мг/дм ³	13,1	32,8
12.	Фосфати (PO ₄ ³⁻)	МВВ 081/12-0005-1	мг/дм ³	0,12	0,30
13.	Кальцій (Ca ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	32,8	82,0
14.	Магній (Mg ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	4,3	10,8
15.	Залізо загальне (Fe _{заг})	КНД 211.1.4.034-95	мг/дм ³	1,1	2,8
16.	Амоній сольовий (NH ₄ ⁺)	КНД 211.1.4.030-95	мг/дм ³	1,9	4,8
17.	Сума натрій (Na ⁺) + калій (K ⁺)	розрахунок	мг/дм ³	2,0	5,0

Завідувач лабораторії: к.х.н., доц. Л.В. Сиса
(підпис) (ін. та прізвище)

Виконавець вимірювань: _____
(посада) (підпис) (ін. та прізвище)

**Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності**

Науково-дослідна лабораторія екологічної безпеки
79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35; тел. 067-185-16-23
Свідоцтво про атестацію № РЛ 127/17 від 14.11. 2017 р.



Протокол № 136 від « 12 » 01 20 21 р.
вимірювань складу водної витяжки з ґрунту (породи)
Дата відбору: « 10 » 12 20 20 р. Шифр
проби Вгр-76/20

Об'єкт дослідження: водна витяжка з породи терикону; т. 2
(«Шахта №3 підніжжя»)

Місце відбору проби: доставлено замовником (Піндером
В.Ф., Поповичем В.В.).

за НД ---; акт відбору № 129 від
15.12 20 20 р.;

Використані ЗВТ: електрофотокolorиметр, ваги
аналітичні, мірний посуд

№ з/п	Назва показника	Шифр методики	Одиниця виміру	Результат	Пере-рахунок, мг/кг
Вихідні дані:					
1.	Наважка ґрунту	ГОСТ 26423-85	г	100	
2.	Об'єм витяжки	ГОСТ 26423-85	мл	250	
Результати аналізу:					
3.	Водневий показник (рН)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	од. рН	7,8	
4.	Сухий залишок (90 °С)	КНД 211.1.4.042-	мг/дм ³	154	

		95			
5.	Жорсткість загальна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	2,1	
6.	Жорсткість карбонатна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	1,3	
7.	Гідрокарбонат и (НСО ₃ ⁻)	РД 52.24.24-86	мг/дм ³	79,3	198
8.	Хлориди (Сl ⁻)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	28,7	71,8
9.	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	КНД 211.1.4.026-95	мг/дм ³	22,4	56,0
10.	Нітрити (NO ₂ ⁻)	КНД 211.1.4.023-95	мг/дм ³	0,55	1,4
11.	Нітрати (NO ₃ ⁻)	КНД 211.1.4.027-95	мг/дм ³	8,6	21,5
12.	Фосфати (PO ₄ ³⁻)	МВВ 081/12-0005-1	мг/дм ³	0,18	0,45
13.	Кальцій (Ca ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	31,9	79,8
14.	Магній (Mg ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	6,0	15,1
15.	Залізо загальне (Fe _{заг})	КНД 211.1.4.034-95	мг/дм ³	1,8	4,5
16.	Амоній сольовий (NH ₄ ⁺)	КНД 211.1.4.030-95	мг/дм ³	1,2	3,0
17.	Сума натрій (Na ⁺) + калій (K ⁺)	розрахунок	мг/дм ³	12,8	31,9

Завідувач лабораторії: к.х.н., доц.

_____ Л.В. Сиса _____
(підпис) (ін. та прізвище)

Виконавець вимірювань:

_____ (посада) _____ (підпис) _____ (ін. та прізвище)

**Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності**

Науково-дослідна лабораторія екологічної безпеки
79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35; тел. 067-185-16-23
Свідоцтво про атестацію № РЛ 127/17 від 14.11. 2017 р.



Протокол № 138 від « 12 » 01 20 21 р.
вимірювань складу водної витяжки з ґрунту (породи)
Дата відбору: « 10 » 12 20 20 р. Шифр
проби Вгр-78/20

Об'єкт дослідження водна витяжка з породи терикону; т. 4
(«Шахта №3 за 100 м»)

Місце відбору проби: доставлено замовником (Піндером
В.Ф., Поповичем В.В.).

за НД ---; акт відбору № 131 від
15.12 20 20 р.;

Використані ЗВТ: електрофотоколориметр, ваги
аналітичні, мірний посуд

№ з/п	Назва показника	Шифр методики	Одиниця виміру	Результат	Пере-рахунок, мг/кг
Вихідні дані:					
1.	Наважка ґрунту	ГОСТ 26423-85	г	100	
2.	Об'єм витяжки	ГОСТ 26423-85	мл	250	
Результати аналізу:					
3.	Водневий показник (рН)	СЭВ, 1987. ч.2. Т.1.	од. рН	8,5	

4.	Сухий залишок (90 °С)	КНД 211.1.4.042-95	мг/дм ³	235	
5.	Жорсткість загальна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	3,1	
6.	Жорсткість карбонатна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	1,9	
7.	Гідрокарбонати (НСО ₃ ⁻)	РД 52.24.24-86	мг/дм ³	116	290
8.	Хлориди (Сl ⁻)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	64,8	162
9.	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	КНД 211.1.4.026-95	мг/дм ³	52,1	130
10.	Нітриди (NO ₂ ⁻)	КНД 211.1.4.023-95	мг/дм ³	0,60	1,5
11.	Нітрати (NO ₃ ⁻)	КНД 211.1.4.027-95	мг/дм ³	2,3	5,8
12.	Фосфати (PO ₄ ³⁻)	МВВ 081/12-0005-1	мг/дм ³	0,10	0,25
13.	Кальцій (Ca ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	40,3	101
14.	Магній (Mg ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	13,0	32,6
15.	Залізо загальне (Fe _{заг})	КНД 211.1.4.034-95	мг/дм ³	2,8	7,0
16.	Амоній сольовий (NH ₄ ⁺)	КНД 211.1.4.030-95	мг/дм ³	0,3	0,5
17.	Сума натрій (Na ⁺) + калій (K ⁺)	розрахунок	мг/дм ³	44,0	110

Завідувач лабораторії: к.х.н., доц.

Л.В. Сиса

(підпис)

(ін. та прізвище)

Виконавець вимірювань:

(посада)

(підпис)

(ін. та прізвище)

**Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності**

Науково-дослідна лабораторія екологічної безпеки
79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35; тел. 067-185-16-23
Свідоцтво про атестацію № РЛ 127/17 від 14.11. 2017 р.



Протокол № 139 від « 12 » 01 20 21 р.
вимірювань складу водної витяжки з ґрунту (породи)
Дата відбору: « 10 » 12 20 20 р. Шифр
проби Вгр-79/20

Об'єкт дослідження водна витяжка з породи терикону; т. 5
(«ЦЗФ підніжжя»)

Місце відбору проби: доставлено замовником (Піндером
В.Ф., Поповичем В.В.).

за НД ---; акт відбору № 132 від
15.12 20 20 р.;

Використані ЗВТ: електрофотоколориметр, ваги
аналітичні, мірний посуд

№ з/п	Назва показника	Шифр методики	Одиниця виміру	Результат	Пере-рахунок, мг/кг
Вихідні дані:					
1.	Наважка ґрунту	ГОСТ 26423-85	г	100	
2.	Об'єм витяжки	ГОСТ 26423-85	мл	250	
Результати аналізу:					
3.	Водневий показник (рН)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	од. рН	7,8	

4.	Сухий залишок (90 °С)	КНД 211.1.4.042-95	мг/дм ³	117	
5.	Жорсткість загальна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	2,9	
6.	Жорсткість карбонатна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	0,6	
7.	Гідрокарбонати (НСО ₃)	РД 52.24.24-86	мг/дм ³	36,6	91,5
8.	Хлориди (Сl)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	60,3	151
9.	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	КНД 211.1.4.026-95	мг/дм ³	64,5	161
10.	Нітриги (NO ₂ ⁻)	КНД 211.1.4.023-95	мг/дм ³	0,40	1,0
11.	Нітрати (NO ₃ ⁻)	КНД 211.1.4.027-95	мг/дм ³	1,3	3,2
12.	Фосфати (PO ₄ ³⁻)	МВВ 081/12-0005-1	мг/дм ³	0,15	0,38
13.	Кальцій (Ca ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	40,6	101,5
14.	Магній (Mg ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	10,4	26,1
15.	Залізо загальне (Fe _{заг})	КНД 211.1.4.034-95	мг/дм ³	0,9	2,3
16.	Амоній сольовий (NH ₄ ⁺)	КНД 211.1.4.030-95	мг/дм ³	0,8	2,0
17.	Сума натрій (Na ⁺) + калій (K ⁺)	розрахунок	мг/дм ³	18,9	47,2

Завідувач лабораторії: к.х.н., доц.

(підпис)

Л.В. Сиса

(ін. та прізвище)

Виконавець вимірювань:

(посада)

(підпис)

(ін. та прізвище)

**Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності**

Науково-дослідна лабораторія екологічної безпеки
79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35; тел. 067-185-16-23
Свідоцтво про атестацію № РЛ 127/17 від 14.11. 2017 р.



Протокол № 140 від « 12 » 01 20 21 р.
вимірювань складу водної витяжки з ґрунту (породи)
Дата відбору: « 10 » 12 20 20 р. Шифр
проби Вгр-80/20

Об'єкт дослідження водна витяжка з породи терикону; т. 6
(«ЦЗФ поверхня»)

Місце відбору проби: доставлено замовником (Піндером
В.Ф., Поповичем В.В.).

за НД ---; акт відбору № 133 від
15.12 20 20 р.;

Використані ЗВТ: електрофотокolorиметр, ваги
аналітичні, мірний посуд

№ з/п	Назва показника	Шифр методики	Одиниця виміру	Результат	Пере-рахунок, мг/кг
Вихідні дані:					
1.	Наважка ґрунту	ГОСТ 26423-85	г	100	
2.	Об'єм витяжки	ГОСТ 26423-85	мл	250	
Результати аналізу:					
3.	Водневий показник (рН)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	од. рН	7,8	

4.	Сухий залишок (90 °С)	КНД 211.1.4.042-95	мг/дм ³	107	
5.	Жорсткість загальна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	2,3	
6.	Жорсткість карбонатна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	0,7	
7.	Гідрокарбонати (НСО ₃)	РД 52.24.24-86	мг/дм ³	42,7	107
8.	Хлориди (Сl)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	51,3	128
9.	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	КНД 211.1.4.026-95	мг/дм ³	55,2	138
10.	Нітриги (NO ₂ ⁻)	КНД 211.1.4.023-95	мг/дм ³	1,10	2,8
11.	Нітрати (NO ₃ ⁻)	КНД 211.1.4.027-95	мг/дм ³	7,8	19,5
12.	Фосфати (PO ₄ ³⁻)	МВВ 081/12-0005-1	мг/дм ³	0,32	0,80
13.	Кальцій (Ca ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	37,7	94,3
14.	Магній (Mg ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	5,0	12,4
15.	Залізо загальне (Fe _{заг})	КНД 211.1.4.034-95	мг/дм ³	1,9	4,8
16.	Амоній сольовий (NH ₄ ⁺)	КНД 211.1.4.030-95	мг/дм ³	1,8	4,5
17.	Сума натрій (Na ⁺) + калій (K ⁺)	розрахунок	мг/дм ³	26,2	65,5

Завідувач лабораторії: к.х.н., доц.

(підпис)

Л.В. Сиса

(ін. та прізвище)

Виконавець вимірювань:

(посада)

(підпис)

(ін. та прізвище)

**Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності**

Науково-дослідна лабораторія екологічної безпеки
79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35; тел. 067-185-16-23
Свідоцтво про атестацію № РЛ 127/17 від 14.11. 2017 р.



Протокол № 141 від « 12 » 01 20 21 р.
вимірювань складу водної витяжки з ґрунту (породи)
Дата відбору: « 10 » 12 20 20 р. Шифр
проби Вгр-81/20

Об'єкт дослідження водна витяжка з породи терикону; т. 7
(«ЦЗФ за 100 м»)

Місце відбору проби: доставлено замовником (Піндером
В.Ф., Поповичем В.В.).

за НД ---; акт відбору № 134 від
15.12 20 20 р.;

Використані ЗВТ: електрофотокolorиметр, ваги
аналітичні, мірний посуд

№ з/п	Назва показника	Шифр методики	Одиниця виміру	Результат	Пере-рахунок, мг/кг
Вихідні дані:					
1.	Наважка ґрунту	ГОСТ 26423-85	г	100	
2.	Об'єм витяжки	ГОСТ 26423-85	мл	250	
Результати аналізу:					
3.	Водневий показник (рН)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	од. рН	8,5	

4.	Сухий залишок (90 °С)	КНД 211.1.4.042-95	мг/дм ³	162	
5.	Жорсткість загальна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	2,8	
6.	Жорсткість карбонатна	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг-екв/дм ³	1,7	
7.	Гідрокарбонати (НСО ₃)	РД 52.24.24-86	мг/дм ³	103,7	259
8.	Хлориди (Сl)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	24,3	60,8
9.	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	КНД 211.1.4.026-95	мг/дм ³	28,3	70,8
10.	Нітриги (NO ₂ ⁻)	КНД 211.1.4.023-95	мг/дм ³	3,2	8,0
11.	Нітрати (NO ₃ ⁻)	КНД 211.1.4.027-95	мг/дм ³	5,6	14,0
12.	Фосфати (PO ₄ ³⁻)	МВВ 081/12-0005-1	мг/дм ³	0,65	1,63
13.	Кальцій (Ca ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	29,7	74,3
14.	Магній (Mg ²⁺)	СЭВ, 1987. Ч.2. Т.1.	мг/дм ³	15,8	39,5
15.	Залізо загальне (Fe _{заг})	КНД 211.1.4.034-95	мг/дм ³	1,1	2,8
16.	Амоній сольовий (NH ₄ ⁺)	КНД 211.1.4.030-95	мг/дм ³	1,7	4,3
17.	Сума натрій (Na ⁺) + калій (K ⁺)	розрахунок	мг/дм ³	5,4	13,6

Завідувач лабораторії: к.х.н., доц.

(підпис)

Л.В. Сиса

(ін. та прізвище)

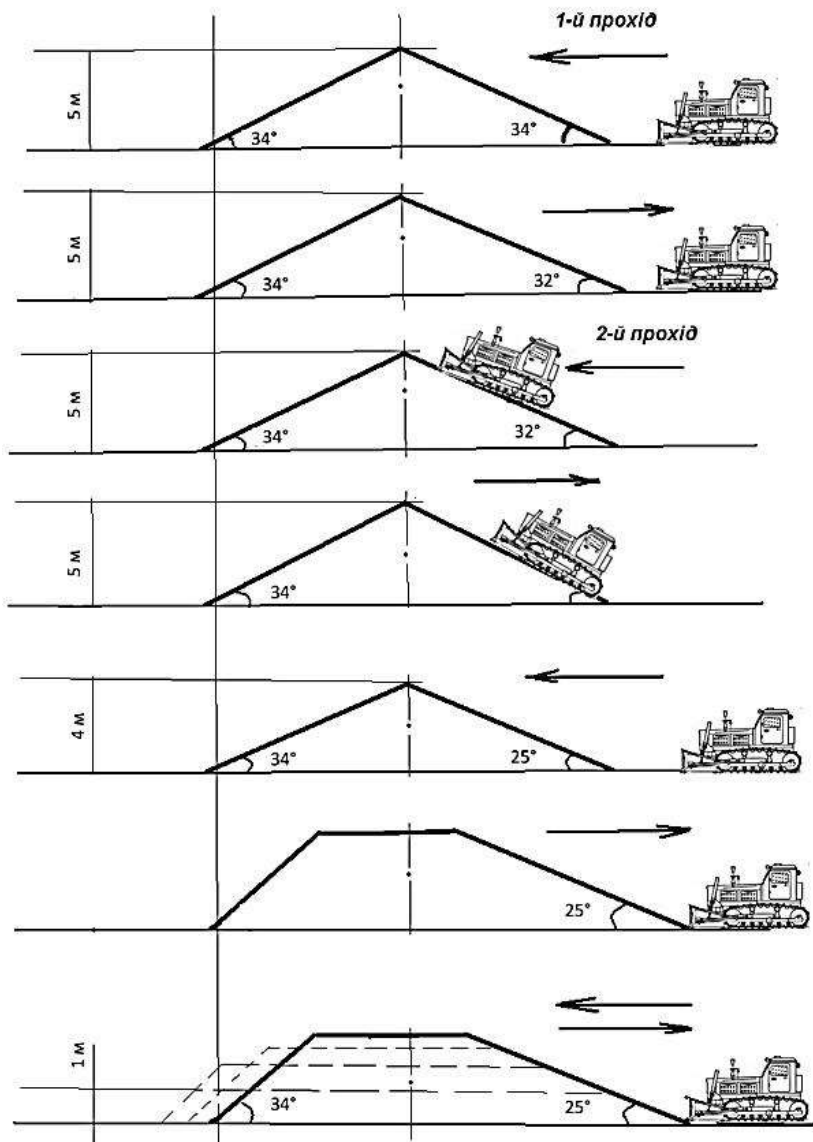
Виконавець вимірювань:

(посада)

(підпис)

(ін. та прізвище)

Додаток В. Технологія розрівнювання насипів з відвальної породи



**Додаток Г. Протокол визначення температури займання
та температури самозаймання твердих речовин та
матеріалів згідно ДСТУ 8829:2019**

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ**

Свідчення про атестацію № РЛ 125/15 від 02 листопада 2015 р.
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

ПРОТОКОЛ № 29/8/200519
ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЙМАННЯ ТА ТЕМПЕРАТУРИ
САМОЗАЙМАННЯ ТВЕРДИХ РЕЧОВИН ТА МАТЕРІАЛІВ
ЗГІДНО ДСТУ 8829:2019

Львів - 2020

ПРОТОКОЛ № 29/8/200519

1. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЙМАННЯ
ТВЕРДИХ РЕЧОВИН ТА МАТЕРІАЛІВ ЗГІДНО З 7.8 ДСТУ 8829:2019

Дата проведення
випробування: 19.05.2020 р.

Умови в приміщенні:
температура, °С 19
атм. тиск, кПа 97.5

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ: Теплотехнічна лабораторія науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки ЛДУ БЖД.
Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ:

Зразок хвої сосни з терикону шахти Нововолинського гірничопромислового району (Волинська область м. Нововолинськ).
Зразок відібраний та наданий Замовником 15.05.2020 р.

МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ: за ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їх визначення. Класифікація. п.7.8.

Метод експериментального визначення температури займання твердих речовин і матеріалів.

Для випробування готують 10-15 зразків досліджуваної речовини (матеріалу) масою $(3,0 \pm 0,1)$ гр. Зразки матеріалів повинні мати циліндричну форму діаметром (45 ± 1) мм. Плівкові і листові матеріали набирають у стопку діаметром (45 ± 1) мм, накладаючи шари один на одного до досягнення зазначеної маси.

Якщо при температурі випробування зразок займається, то випробування припиняють. Якщо протягом 20 хв. зразок не займається, або раніше цього часу цілком припиниться димовидалення, то випробування припиняють і в протоколі відзначають відмовлення.

За температуру займання приймають покази термоелектричного перетворювача, що вимірює температуру зразка. Методом послідовних наближень визначають мінімальну температуру зразка, при якій за час витримки в печі не більше 20 хв. зразок займається і буде горіти більше 5 с після віддалення палика, а при температурі на 10°C менше займання відсутнє.

За температуру займання досліджуваної речовини (матеріалу) приймають середнє арифметичне двох температур, що відрізняються не більше ніж на 10°C , при одній з яких спостерігається займання 3 зразків, а при іншій – три відмовлення. Отримане значення температури округляють з точністю до 5°C .

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ:

Таблиця 1

№ п/п	Найменування приладу чи пристрою	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка вимірювання
1	Установка ОТП	0614	Від 20 до 600 °С	-
2	Регулятор вимірювач РТ 0102	10.354	Від 0 до 1200 °С	± 2 °С
3	Термомпара ТХА	6	Від 0 до 1200 °С	
4	Секундомір СОП	8625	Від 0 до 3600 с	Клас точн. 2
5	Ваги ВТУ 210/ СЗ	1826	Від 0 до 210 г	Клас точн. 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ:

Таблиця 2

№ зразка	Температура випробування, °С	Результат випробування
1	220	відмова
2	220	відмова
3	220	відмова
4	230	займання
5	230	займання
6	230	займання

ВИСНОВОК:

Згідно з п. 7.8 ДСТУ 8829:2019 температура займання взірця сосни звичайної (*Pinussylvestris*) складає 225°С.

2. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ САМОЗАЙМАННЯ ТВЕРДИХ РЕЧОВИН ТА МАТЕРІАЛІВ ЗГІДНО З 7.10 ДСТУ 8829:2019

Дата проведення

випробування: 19.05.2020 р.

Умови в приміщенні:температура, °С 19
атм. тиск, кПа 97,5

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ: Теплотехнічна лабораторія науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки ЛДУ БЖД.
Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ: по ДСТУ 8829:2019 "Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методів визначення. Класифікація", п. 7.10.

Метод експериментального визначення температури самозаймання твердих речовин і матеріалів.

Метод реалізується в діапазоні температур від 25°С до 600°С.

Для випробування готують 10-15 зразкiв досліджуваної речовини (матеріалу) масою $(3,0 \pm 0,1)$ гр. Зразки матеріалів повинні мати циліндричну форму діаметром (45 ± 1) мм. Плівкові і листові матеріали набирають у стопку діаметром (45 ± 1) мм, накладаючи шари один на одного до досягнення зазначеної маси.

Методом послідовних наближень визначають мінімальну температуру робочої камери, при якій взіреш самозаймається і горить більше 5 с, а при температурі на 10°C менше – спостерігається відмова.

За температуру самозаймання досліджуваної речовини (матеріалу) приймають середнє арифметичне двох температур, що відрізняються не більше ніж на 10°C , при одній з яких спостерігається самозаймання 3 зразків, а при іншій – три відмови. Отримане значення температури самозаймання округлюють з точністю до 5°C .

ХАРАКТЕРИСТИКА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ:

Таблиця 3

№ п/п	Найменування приладу чи пристрою	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка вимірювання
1	Установка ОТП	б/н	Від 25 до 600°C	-
2	Секундомір СОП	8625	Від 0 до 3600 с	Клас точн. 2
3	Термопара ТХА	6	Від 0 до 1200°C	$\pm 2^\circ\text{C}$
4	Регулятор-вимірювач РТ 0102	10.354	Від 0 до 1200°C	
5	Ваги ВТУ 210/ С3	1826	Від 0 до 210г	Клас точн. 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ:

Таблиця 4

№ зразка	Температура випробування, $^\circ\text{C}$	Результат випробування
1	460	відмова
2	460	відмова
3	460	відмова
4	470	самозаймання
5	470	самозаймання
6	470	самозаймання

ВИСНОВОК: Згідно з 7.10ДСТУ 8829:2019 температура самозаймання взірца сосни звичайної (*Pinussylvestris*) складає 475°C .

Начальник
НДЛ ЛДУБЖД



Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

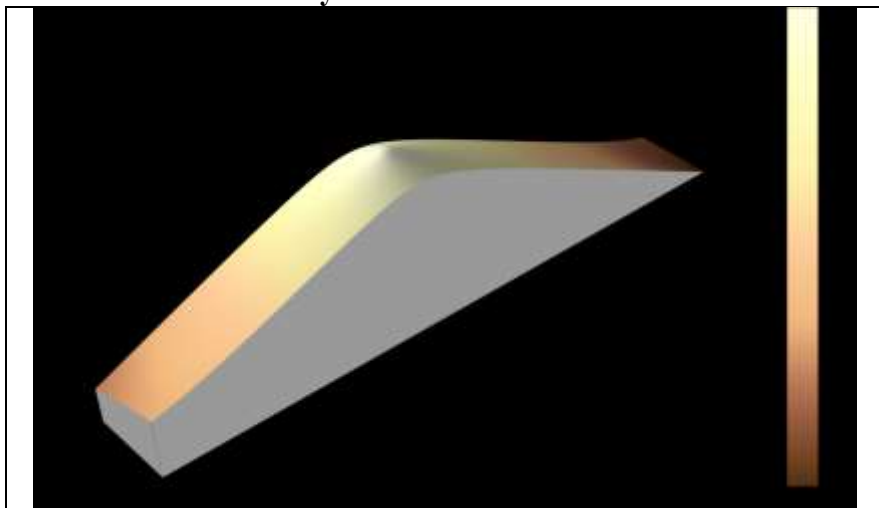
Науковий співробітник
НДЛ ЛДУБЖД

Павло ПАСТУХОВ

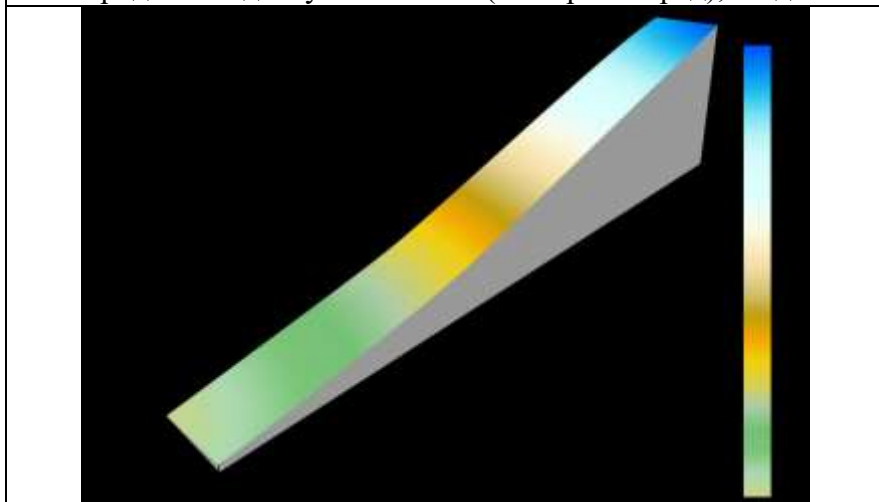
Викладач кафедри екологічної
безпеки ЛДУБЖД

Павло БОСАК

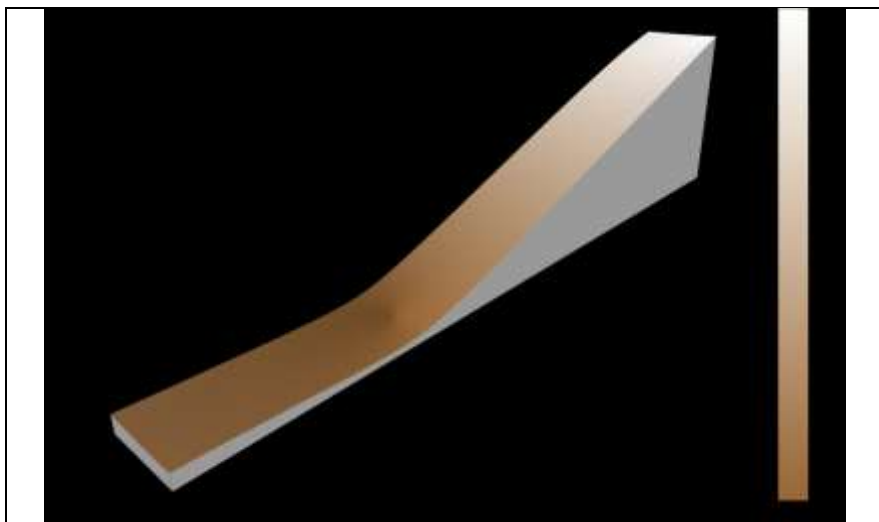
Додаток Д. 3D-моделі поширення забруднювачів у зоні впливу породних відвалів Шахти №3 та ПАТ «Львівська вугільна компанія»



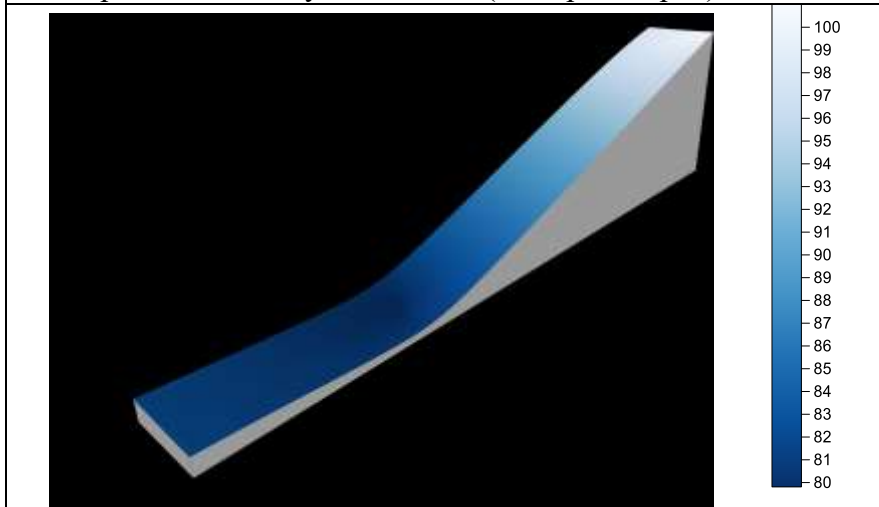
3D-модель поширення амонію сольового у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм^3



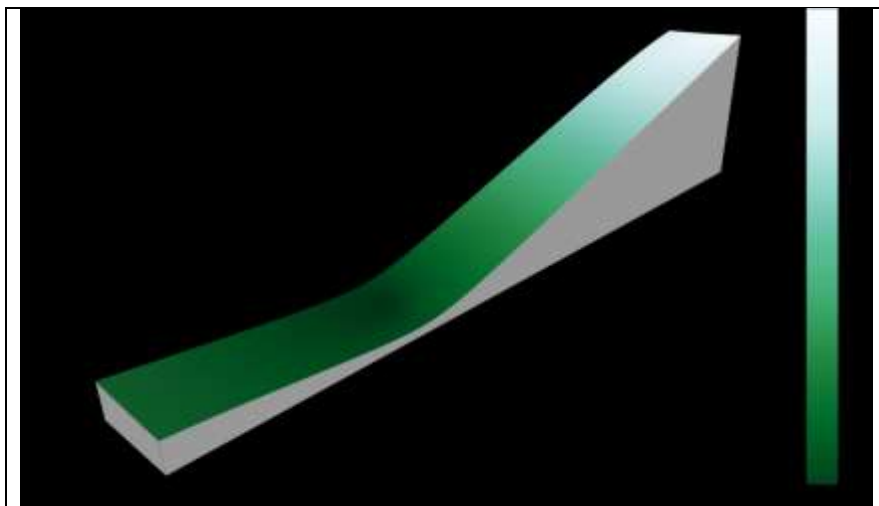
3D-модель поширення кальцію у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм^3



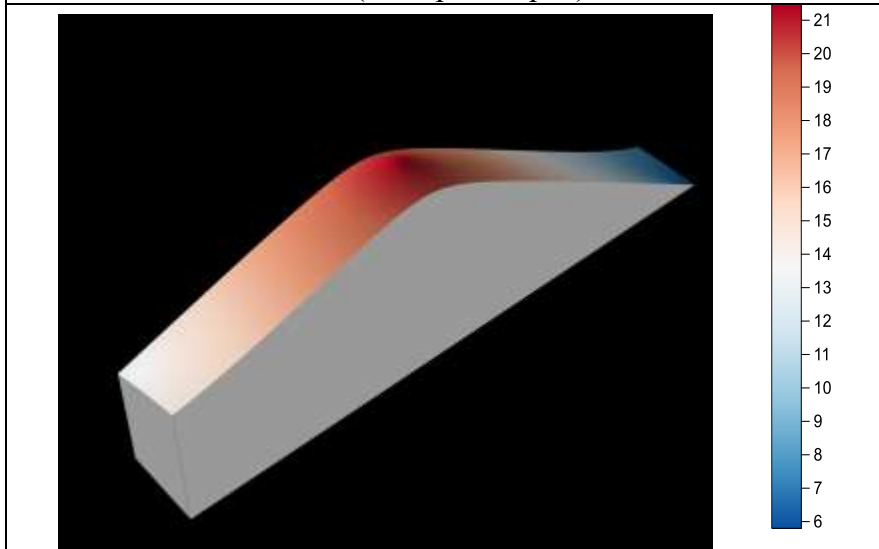
3D-модель поширення заліза (загального) у субстраті
породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм^3



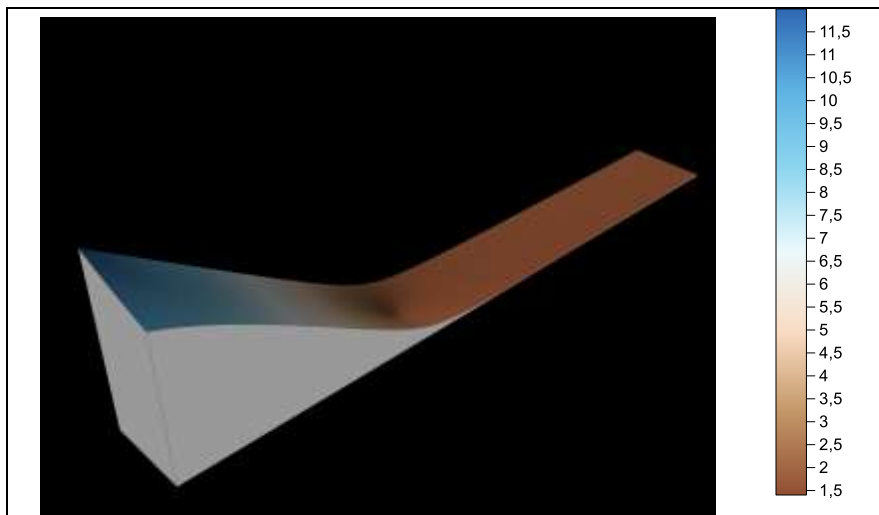
3D-модель поширення кальцію у субстраті породного відвалу
Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм^3



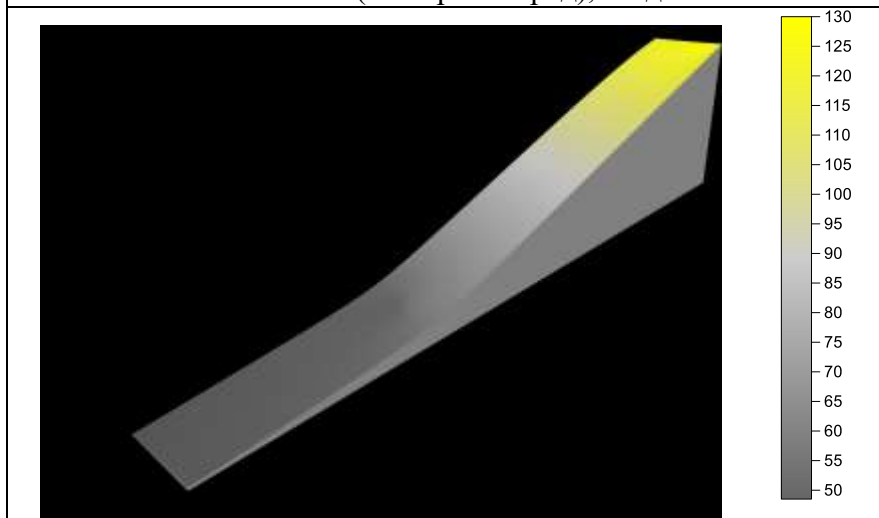
3D-модель поширення магнію у субстраті породного відвалу
Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³



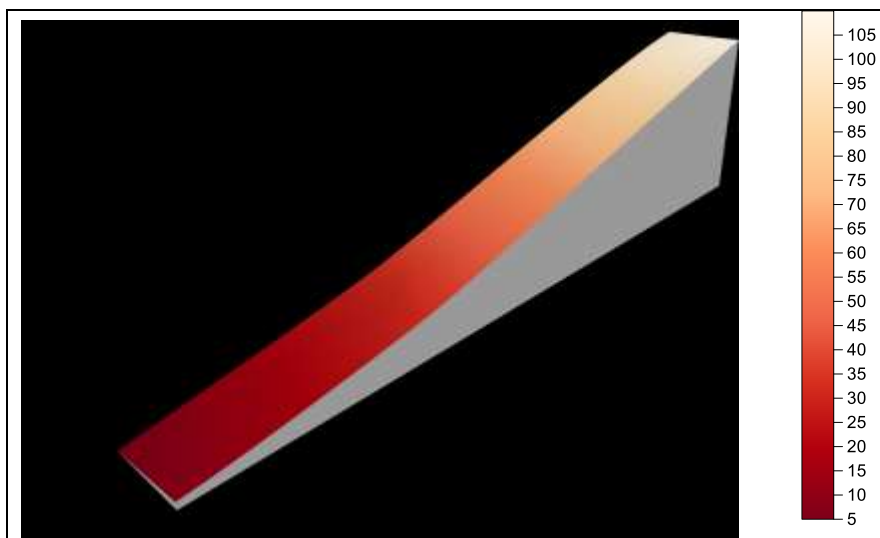
3D-модель поширення нітратів у субстраті породного відвалу
Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³



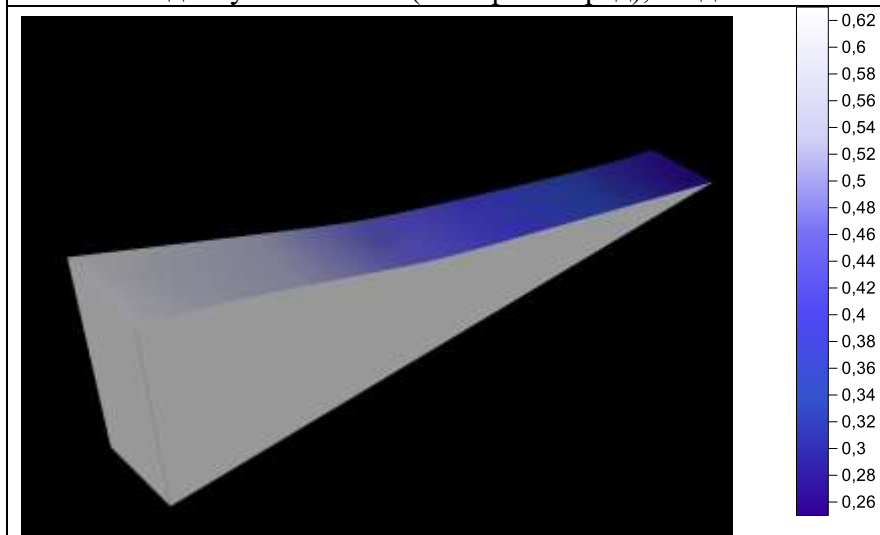
3D-модель поширення нітритів у субстраті породного відвалу
Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³



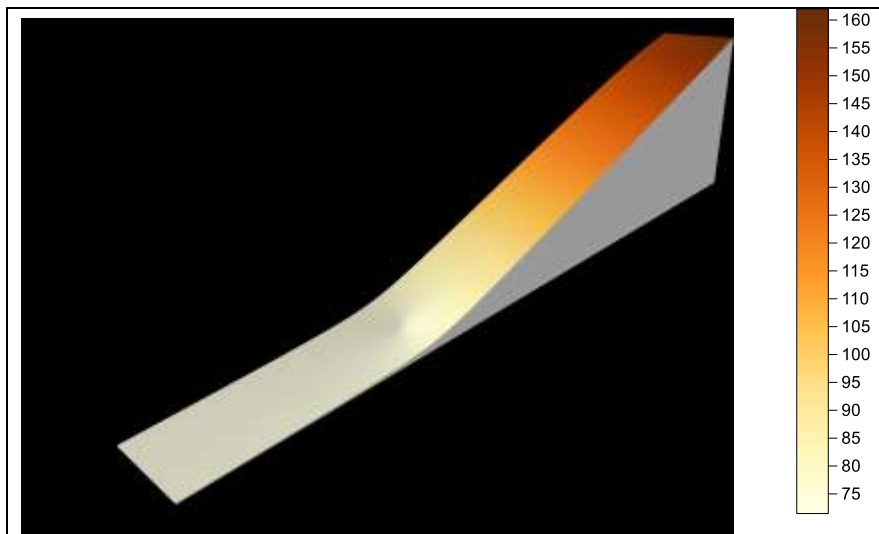
3D-модель поширення сульфатів у субстраті породного
відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³



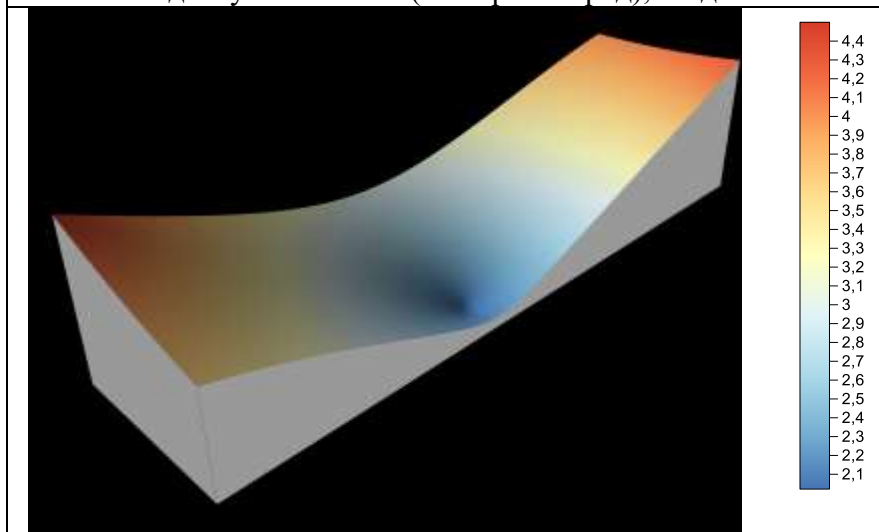
3D-модель поширення Натрію+Калію у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³



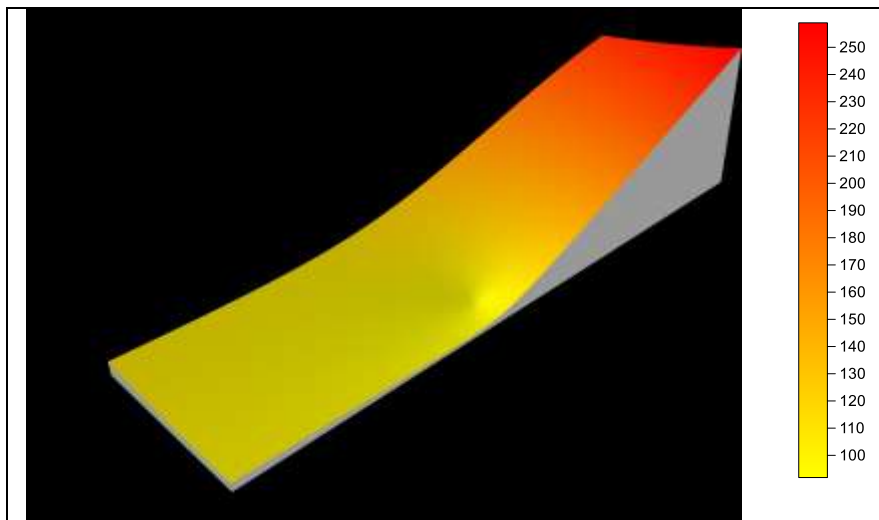
3D-модель поширення фосфатів у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³



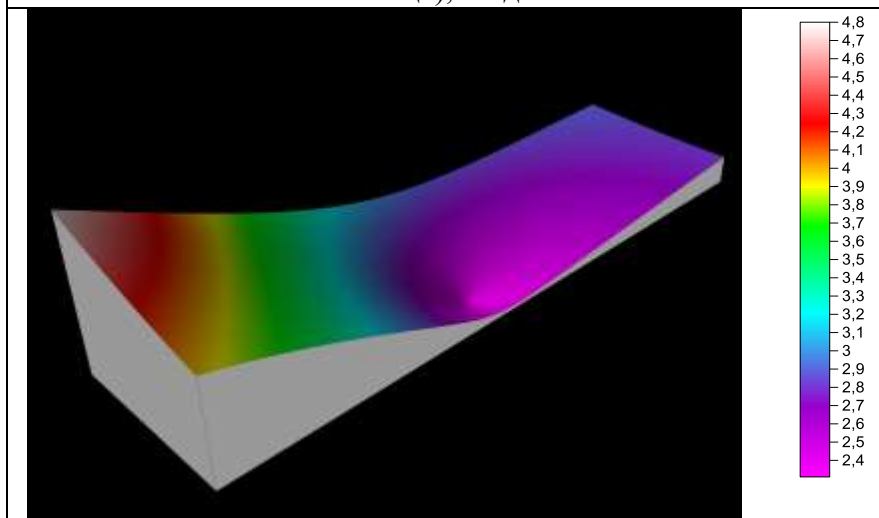
3D-модель поширення хлоридів у субстраті породного відвалу Шахти №3 (м. Червоноград), мг/дм³



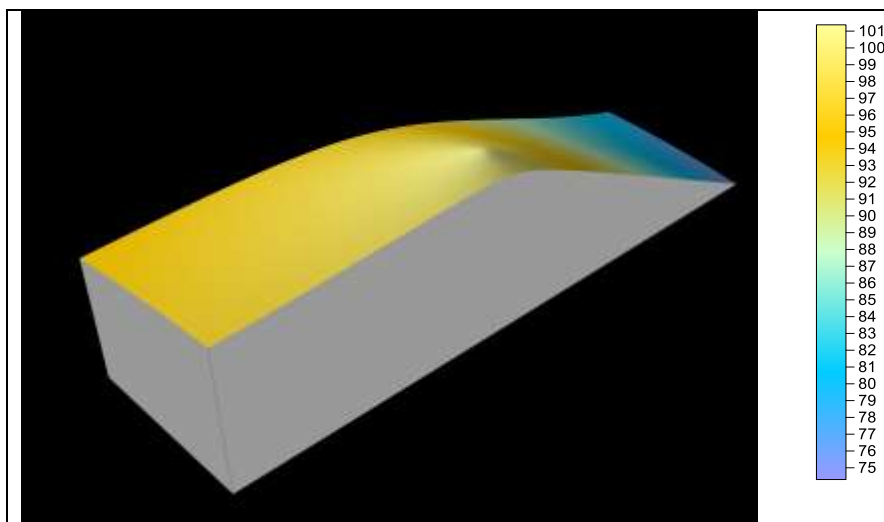
3-D модель поширення амонію сольового у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³



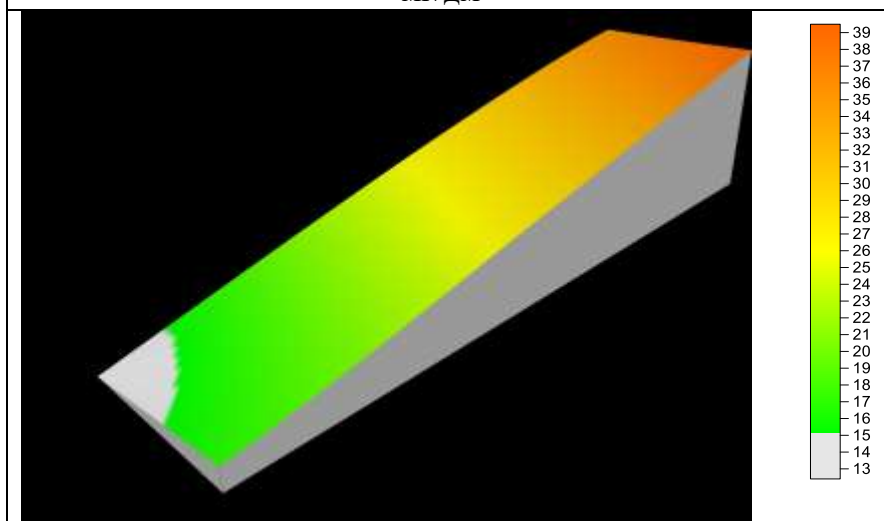
3-D модель поширення гідрокарбонатів у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³



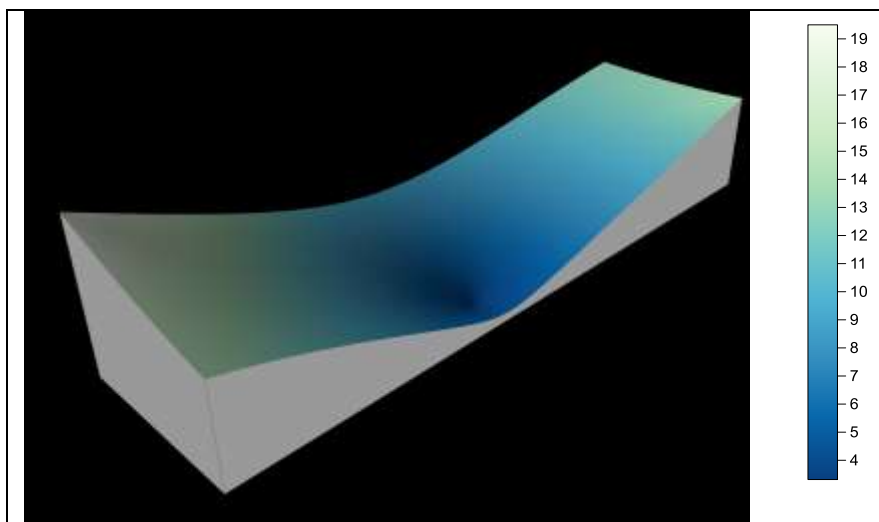
3-D модель поширення заліза (загального) у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³



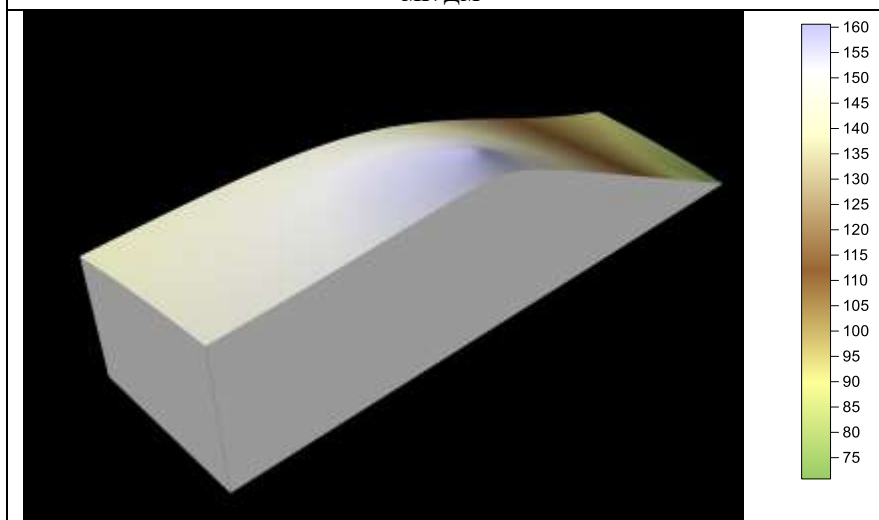
3-D модель поширення кальцію у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³



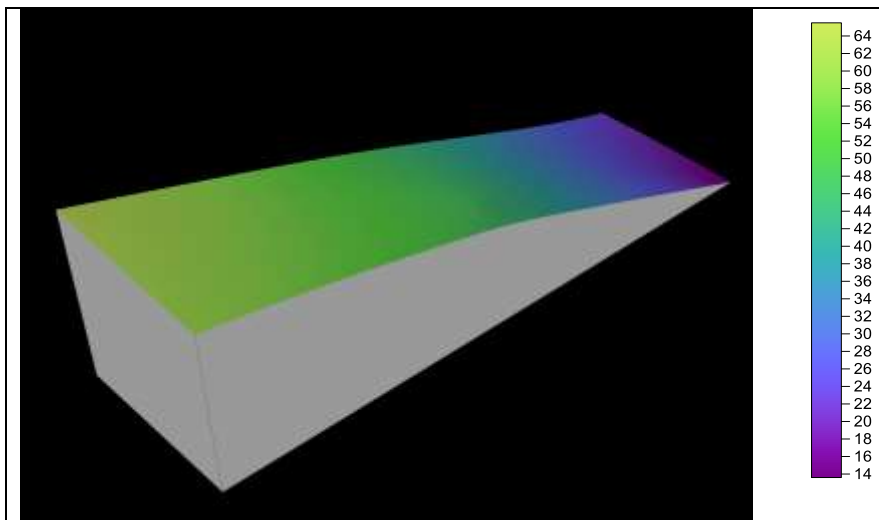
3-D модель поширення магнію у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець), мг/дм³



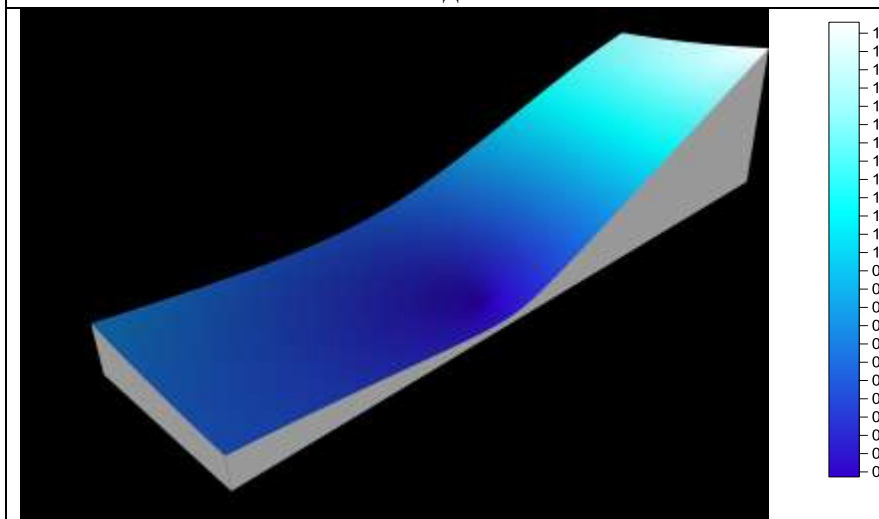
3-D модель поширення нітратів у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець),
мг/дм³



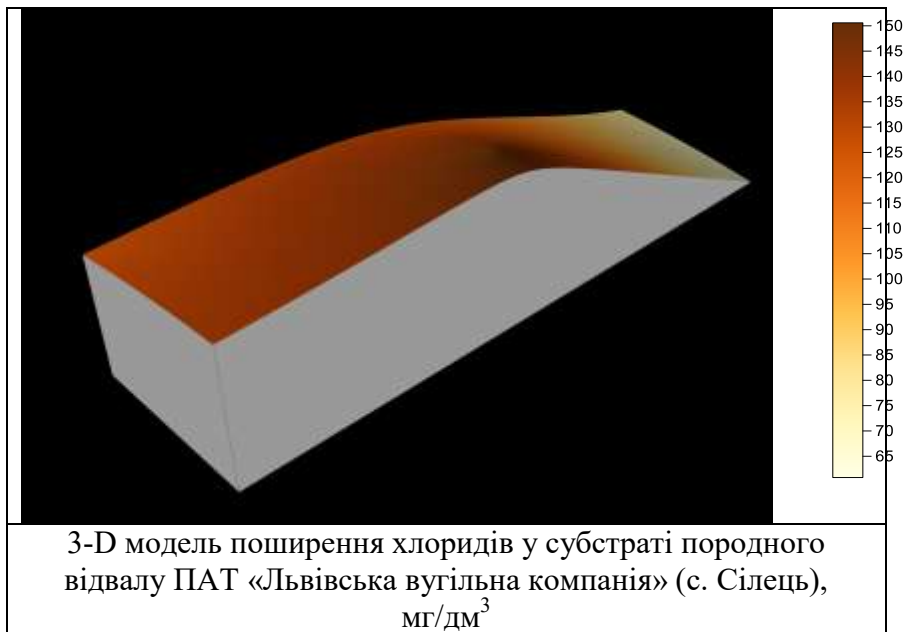
3-D модель поширення сульфатів у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець),
мг/дм³



3-D модель поширення Натрію+Калію у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець),
мг/дм³



3-D модель поширення фосфатів у субстраті породного відвалу ПАТ «Львівська вугільна компанія» (с. Сілець),
мг/дм³



Наукове видання

**ПНДЕР Володимир Федорович
ПОПОВИЧ Василь Васильович
БОСАК Павло Володимирович**

**РЕКУЛЬТИВАЦІЙНІ ЗАХОДИ ЗНИЖЕННЯ
ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ
ВУГІЛЬНИХ ШАХТ НА ДОВКІЛЛЯ
EcoLab. Том 2**

Монографія

Літературний редактор	Галина Падик
Комп'ютерна верстка	Андрій Беседа
Друк	Назарій Петролюк
Відповідальний за виауск	Тетяна Войтович

Підписано до друку 22.11.2023 р.
Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman.
Друк на різнографі. Папір офсетний. Ум. Друк. арк. 15,3

Друк ЛДУБЖД
79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35
Тел. /факс: (032) 233-32-40, 233-24-79
e-mail: ldubzh.lviv@dsns.gov.ua