

# ЕКОЛОГІСТИКА

Теорія і практика  
управління сміттєзвалищами

наук. ред. Василь Попович, Оксана Теляк, Ольга Меньшикова



**Екологістика**  
Теорія і практика  
управління сміттєзвалищами

ЕКОЛОГІСТИКА  
Теорія і практика  
управління сміттєзвалищами

Додаток до журналу "Екологістика" № 1 (10) 2010 року



Головна Школа Пожежної Служби

# Екологістика

## Теорія і практика управління сміттєзвалищами

наук. ред. Василь Попович, Оксана Теляк, Ольга Меньшикова



Варшава 2021

Одніє  
блем  
на ко  
сті тве  
модел  
тання  
серед  
повер  
прис  
росли  
ритор  
харак  
німіза  
смітте

#### **Наукова рецензія**

Володимир Кучерявий, доктор сільськогосподарських наук, професор  
Олександр Придатко, кандидат технічних наук, доцент

#### **Наукова редакція**

Василь Попович, доктор технічних наук, професор  
Оксана Теляк, доктор габілітований УВУ  
Ольга Меньшикова, кандидат фізико-математичних наук, доцент

#### **Керуючий редактор**

Ева Юхимівч

#### **Мовна коректа**

Галина Хлипавка, кандидат педагогічних наук

#### **Дизайн обкладинки і комп'ютерне верстання**

Томаш Броньчик, Студіо СтрефаДТП

Опубліковано під ліцензією Creative Commons: Визнання авторства-Некомерційне використання\_Без похідних робіт 4.0 Польща

„Екологістика – вдосконалення управління звалищами твердих побутових відходів у Львівській області”

Project co-financed by the Polish development cooperation programme of the Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Poland

Проект фінансується програмою польського співробітництва з розвитку Міністерства закордонних справ Республіки Польща

The publication expresses exclusively the views of the author and cannot be identified with the official stance of the Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Poland

Публікація висловлює виключно думку автора та не може сприйматися, як офіційне становище Міністерства закордонних справ Республіки Польща



Polish aid



польська допомога

#### **Перше видання**

Варшава 2021

**ISBN 978-83-961824-7-0**

#### **Видавець**

Szkoła Główna Służby Pożarniczej (Головна Школа Пожежної Служби)

01-629 Варшава

e-mail: wydawnictwo@sgsp.edu.pl

www.sgsp.edu.pl

тел. 22 561 73 83

#### **Друк**

Mazowieckie Centrum Poligrafii (Мазовецьке Центрум Поліграфії)

Об'єм публікації: 11 видавничих аркушів

**Наукова рецензія**

Володимир Кучерявий, доктор сільськогосподарських наук, професор  
Олександр Придатко, кандидат технічних наук, доцент

**Наукова редакція**

Василь Попович, доктор технічних наук, професор  
Оксана Теляк, доктор габілітований УВУ  
Ольга Меньшикова, кандидат фізико-математичних наук, доцент

**Керуючий редактор**

Ева Юхимівч

**Мовна коректа**

Галина Хлипавка, кандидат педагогічних наук

**Дизайн обкладинки і комп'ютерне верстання**

Томаш Броньчик, Студіо СтрефаДТП

Опубліковано під ліцензією Creative Commons: Визнання авторства-Некомерційне використання\_Без похідних робіт 4.0 Польща

„Екологістика – вдосконалення управління звалищами твердих побутових відходів у Львівській області”

Project co-financed by the Polish development cooperation programme of the Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Poland

Проект фінансується програмою польського співробітництва з розвитку Міністерства закордонних справ Республіки Польща

The publication expresses exclusively the views of the author and cannot be identified with the official stance of the Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Poland

Публікація висловлює виключно думку автора та не може сприйматися, як офіційне становище Міністерства закордонних справ Республіки Польща



Polish aid



польська допомога

**Перше видання**

Варшава 2021

**ISBN 978-83-961824-7-0**

**Видавець**

Szkoła Główna Służby Pożarniczej (Головна Школа Пожежної Служби)  
01-629 Варшава  
e-mail: wydawnictwo@sgsp.edu.pl  
www.sgsp.edu.pl  
тел. 22 561 73 83

**Друк**

Mazowieckie Centrum Poligrafii (Мазовецьке Центрум Поліграфії)

Об'єм публікації: 11 видавничих аркушів

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
<i>Ігор Шукель, Ярослав Геник, Ірина Сидь, Любомир Глоговський</i> ДОСВІД ГРОМАДСЬКОЇ ІНІЦІАТИВИ ПО ЗБОРУ ТА СОРТУВАННЯ ПОБУТОВОГО СМІТТЯ В М. ЛЬВОВІ.....	9
<i>Віктор Скробала</i> ЕКОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ТА РІВЕНЬ СІНАНТРОПІЗАЦІЇ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ СМІТТЄЗВАЛИЩ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ .....	17
<i>Роман Сукач, Володимир-Петро Пархоменко, Володимир Товарянський</i> АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕК ПІД ЧАС ПОЖЕЖИ НА ПОЛІГОНАХ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....	33
<i>Павло Босак, Роман Ратушний, Василь Попович, Олег Стокалюк</i> АНАЛІЗ НАКОПИЧЕННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВІДХОДІВ ПІДПРИЄМСТВ ВУГІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ .....	57
<i>Роман Сукач, Володимир-Петро Пархоменко, Володимир Товарянський</i> ЗАХОДИ ЩОДО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВИНИКНЕННЯ НС НА ПОЛІГОНАХ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА ПРИКЛАДІ ЛКП «ЗБИРАНКА».....	73
<i>Григорій Дмитрів, Назарій Походило, Микола Обушак, Лілія Дубенська, Леся Олексів</i> ВИКОРИСТАННЯ БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕКОТАРИ .....	97
<i>Ігор Шукель, Сергій Соколов, Олександр Кузярін, Оксана Тиманська</i> СПОНТАННА ФЛОРА КАР'ЄРУ З СУХОЮ ВИЙМКОЮ ТА РОЛЬ СМІТТЄЗВАЛИЩА У ЙОГО БІОРІЗНОМАНІТТЯ (НА ПРИКЛАДІ КАР'ЄРУ ПАФ "ДНІСТЕР" У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ).....	117
<i>Mykhailo Petlovanyi, Kateryna Sai, Yevheniia Sherstiuk</i> UTILIZATION OF TECHNOGENIC WASTE AND THE FORMATION OF A BACKFILL MASS ON ITS BASIS DURING UNDERGROUND MINING OF IRON ORE DEPOSITS .....	131

<i>Наталія Гоцїї</i> ОЗЕЛЕНЕННЯ ЯК СПОСІБ ФІТОМЕЛІОРАЦІЇ ДОВКІЛЛЯ ТА ЕКОФУНКЦІЇ ЛІАН В УРБОЛАНДШАФТІ.....	155
<i>Катерина Степова, Роман Конанець, Ірина Федів</i> КРИТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ АДСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ПІДТЕРИКОНОВИХ ВОД.....	169
<i>Ірина Кочмар, Василь Карабин</i> ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ГОРІННЯ ВУГІЛЬНИХ ТЕРИКОНІВ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ МЕТОДИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ВУГЛЕВИДОБУТКУ.....	183
<i>Тарас Шуплат, Андрій Волощишин</i> ФІТОМЕЛІОРАТИВНІ ПРОЦЕСИ ПРИБЕРЕЖНО-ВОДНОЇ РОСЛИННОСТІ КАР'ЄРУ ЯВОРІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ГІРНИЧО-ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА "СІРКА".....	199
<i>Наталія Кендзьора</i> КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА РИТМИ РОСТУ І РОЗВИТКУ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УРБОГЕННИХ УМОВАХ.....	213
<i>Михайло Казимир, Марія Кошіль</i> ВИВЧАЄМО, ДОСЛІДЖУЄМО, ОХОРОНЯЄМО!.....	229
ВИСНОВОК.....	239

## ВСТУП

Однією із найбільш складних і небезпечних екологічних проблем України у XXI столітті, яка має виражено негативний вплив на компоненти довкілля, є проблема утворення значної кількості твердих побутових відходів та неналагодженість раціональної моделі поводження із ними. Наслідком невирішеності цього питання є забруднення компонентів навколишнього природного середовища: едафотопів, атмосферного повітря, підземних та поверхневих вод, практично докорінна трансформація раніше природно сформованої ландшафтної структури, видозміна рослинного та тваринного біорізноманіття на забруднених територіях.

Основними об'єктами накопичення побутових відходів в Україні є сміттєзвалища та полігони твердих побутових відходів. Кількість їх щорічно зростає, а регіональна географія постійно розширяється. Ці ділянки належать до категорії дуже сильнозмінених умов місцезростання, тому актуальним є проведення рекультиваційних процесів на цих об'єктах, адже проблема поводження з побутовими відходами розглядається як один із найбільш визначальних та пріоритетних напрямків забезпечення екологічної безпеки України.

У колективній монографії розкрито широке коло актуальних екологічних питань сьогодення: підвищення стану екологічної та пожежної безпеки полігонів твердих побутових відходів підприємств вугільної галузі України, комплексу екологічних небезпек, які виникають в наслідок горіння вугільних териконів та аналізу перспективних методів використання відходів вуглевидобутку, заходи із попередження виникнення надзвичайних ситуацій на полігонах твердих побутових відходів на прикладі ЛКП "Збиранка", аналіз комплексу небезпек, які виникають під час пожеж на полігонах твердих побутових відходів, розкриття діяльності полігону твердих побутових відходів ЛКП "Збиранка" та генерованих ним екологічних небезпек для довкілля, заходам із попередження виникнення небезпечних ситуацій на даному об'єкті, підвищення стану екологічної та пожежної безпеки полігонів твердих побутових відходів, з формулюванням фахових рекомендацій та правил гасіння пожеж на полігонах твердих побутових відходів, утилізація техногенних відходів та утворення на їх основі засипної маси при підземних роз-



робках родовищ залізної руди, аналіз перспективних методів адсорбційного очищення підтериконових вод внаслідок добування руд і корисних копалин в Україні, рекультиваційні процеси на сміттєзвалищах, особливості процесу формування спонтанної флори на території Миколаївського піщано-вапнякового кар'єру і ролі сміттєзвалища як джерела синантропних видів рослин на території кар'єру, дослідження екологічної структури та рівня синантропізації рослинного покриву сміттєзвалищ Львівської області із використанням показників гемеробії видів та екологічних шкал Г. Елленберга, проходження фітомеліоративних процесів прибережно-водної рослинності у зоні затопленого кар'єру із видобутку сірчаної руди, кліматичні зміни та їх вплив на ритми росту і розвитку деревних рослин в урбогенних умовах із вивченням рівня адаптації рослин, озеленення як спосіб фітомеліорації довкілля та екологічні функції ліан в урбанізованому ландшафті, роль громадської ініціативи у питаннях збору та сортування побутового сміття, як засіб налагодження ефективної моделі поводження із побутовими відходами в урбогенних умовах, еколого-просвітницька роль виховного процесу учнівської молоді у підвищенні рівня природоохоронного виховання і підняття рівня усвідомленої громадянської відповідальності у питаннях поводження із побутовими відходами.

У монографії здійснено системний аналіз усіх структурних ланок проблеми поводження із побутовими відходами: джерел їх утворення, наявних проблем у питанні сортування, збору та транспортування на об'єкти складування, накопичення на сміттєзвалищах різного типу, комплекс спрочинених екологічних проблем для довкілля та населення, проходження етапів рекультиваційних процесів на сміттєзвалищах, запобігання потенційним пожегам відведених територіях та шляхи підвищення рівня екологічної і пожежної безпеки девастрованих ландшафтів.

Монографія має виражений природоохоронний характер, вона стане важливою ланкою, спрямованою на мінімізацію рівня екологічної та пожежної небезпеки в зоні впливу сміттєзвалищ та відновлення девастрованих ландшафтів України.

*Василь Попович, Оксана Теляк, Тарас Шуплат*

**доцент, к.с.-г.н. Ігор Шукель**

shukel@ukr.net, +380964668323,  
Національний лісотехнічний університет України, Україна  
ORCID: 0000-0002-9331-1523

**Ірина Сидь**

irunasib1977@gmail.com, +380673350511  
Національний лісотехнічний університет України, Україна  
ORCID: 0000-0002-9940-3111

**д.с.-г.н., доцент Ярослав Геник**

yarhenyk@gmail.com, +380503150257  
Національний лісотехнічний університет України, Україна  
ORCID: 0000-0002-6079-6827

**Любомир Глоговський**

glogovski19@gmail.com, +380963993746  
Національний лісотехнічний університет України, Україна  
ORCID: 0000-0002-7275-6769

---

## ДОСВІД ГРОМАДСЬКОЇ ІНІЦІАТИВИ ПО ЗБОРУ ТА СОРТУВАННЯ ПОБУТОВОГО СМІТТЯ В М. ЛЬВОВІ

### *EXPERIENCE OF A PUBLIC INITIATIVE FOR THE COLLECTION AND SORTING OF HOUSEHOLD WASTE IN LVIV*

#### Анотація

У питаннях розкриття суті та реалізації ініціативи мешканців в громадському середовищі міста Львова розглянуто підходи до розкриття поняття «громадянська ініціатива». На реальному прикладі показано узагальнення підходів з реалізації місцевої громадської ініціативи по збору та сортування побутового сміття в конкретному мікрорайоні вулиці Природна № 1-6. Відмічено тенденцію до поглиблення суті громадянських ініціатив в галузі екологічної освіти та покращення екологічного середовища міста Львова, як одного з показників вдосконалення самоорганізаційного капіталу громадянського суспільства України.

**Ключові слова:** громадянська ініціатива, місцева ініціатива, побутове сміття, сміттєзбірники, благоустрій території, озеленення території.

#### Abstract

In terms of disclosing the essence and implementation of the initiative of residents in the public environment of the city of Lviv, approaches to the disclosure of the concept of "civic initiative" are considered. A real example shows the generalization of approaches to the implementation of a local public initiative for the collection and sorting of household waste in a particular neighborhood – Prirodna Street – 1-5. There is a tendency to deepen the essence of civic initiatives in the field of environmental education and improve the environmental environment of the city of Lviv, as one of the indicators of improving the self-organization capital of civil society in Ukraine.

**Keywords:** civic initiative, local initiative, household garbage, garbage collectors, landscaping, landscaping.

**Актуальність проблеми.** Українське суспільство вже тривалий час прагне вирішувати проблеми дефіциту соціального капіталу, який пов'язаний із здатністю людей до об'єднання для участі у суспільному житті. Російсько-українська війна та обумовлені нею події у суспільстві, значним чином активізують процеси самоорганізації громадян та подолання наслідків посткомуністичного минулого, сприяючи прискоренню побудови громадянського суспільства зі свідомими та ініціативними громадянами [1-3]. Аналіз реалізації громадянської ініціативи констатує факт їхнього збільшення як показника посилення організаційного капіталу громадянського суспільства в сучасній Україні; суттєво розширився перелік проблематики та поява ініціатив з використанням соціальних мереж та інтернет-ресурсів; підвищення ролі громадської ініціативи у формуванні системи цінностей українців у контексті розвитку європейської цивілізації та відтворення досвіду прийняття рішень консенсусом. Проте відмічається ще не повна завершеність створення інституціонального клімату для ефективної імплементації ініціатив громадян, що суттєво обмежує їх здатність впливати на формування напрямів розвитку суспільства, збереження пасивності та відстороненості частини населення від розробки, прийняття, реалізації та контролю за їх виконанням управлінських рішень [2-6].

**Аналіз останніх досліджень.** Місцева ініціатива розглядається як письмова пропозиція про розгляд радою будь-якого питання, віднесеного до відання органів місцевого самоврядування. Ця пропозиція також може супроводжуватись поданням проекту рішення ради з розглядуваного питання. А ініціювати внесення місцевої ініціативи та брати участь у її підтримці може будь-який член територіальної громади, що проживають та зареєстровані на території, які є дієздатними та мають право голосу на виборах і референдумах [5].

Самоорганізація жителів громади є конституційним правом. В Конституції України зазначено: "Сільські, селищні, міські ради можуть дозволяти за ініціативою жителів створювати будинкові, вуличні, квартальні та інші органи самоорганізації населення і наділяти їх частиною власної компетенції, фінансів, майна". А порядок самоорганізації та діяльності жителів громади регулює Закон України "Про органи самоорганізації населення" [6]. Кожен житель може подати проект, пов'язаний з покращенням життя в місті чи ОТГ, взяти участь у конкурсі, перемогти в голосуванні і спостерігати за тим, як його проект реалізують [8]. Так, у 2017 році конкурс «Громадські ініціативи» дозволив ініціювати та реалізувати 5 важливих для міста Енергодар проектів, спрямованих на благоустрій прибудинкових територій, дитячих та спортивних майданчиків, на озеленення території, розвиток творчості у дошкільнят та проекти по енергозбереженню і об'єднав зусилля жителів та працівників міських служб у вирішенні проблемних питань міста [4]. Екоактивісти зібрали перший урожай із урбан-саду у львівському парку «Залізна вода» [10].

Ряд громадських організацій працює над розвитком громадської активності та свідомості місцевих громад, сприяє створенню та підсиленню мережі активістів, які матимуть волю та інструменти самостійного відстоювання власних інтересів. Центр Громадських ініціатив м. Львова навчає бути громадянами, впроваджуючи та розвиваючи самоорганізацію, інформуючи, зв'язуючи та мотивуючи лідерів громадянських ініціатив в громадах у сфері місцевого розвитку, культури, екології та охорони навколишнього середовища, розвитку благодійності, волонтерства, захисту та представлення інтересів (адвокати), роботи з дітьми з інвалідністю, з дітьми та молоддю [11]. Жителі Львівської ОТГ зареєстрували на 2021 рік рекордні 240 проєктів, де пропонують створювати та розвивати громадські простори у різних мікрорайонах [13]. Зокрема, спілка "Громадські ініціативи України" в рамках проєкту "Активна Громада: право вибору", яка підтримується Національним Демократичним Інститутом за фінансування наданим Агентством США з Міжнародного Розвитку, в період з 20 по 28 лютого 2021 року організувала заходи з обміну досвідом, історіями успіху для пропаганди своєї діяльності серед українців. Мета таких заходів полягає у сприянні обміну досвідом з реалізації громадських ініціатив у різних сферах життєдіяльності між громадянами, активістами, представниками політичних партій та органами місцевого самоврядування при впровадженні реформ та розвитку добробуту громад. Місія "Активної Громади" передбачає досягнення добробуту шляхом демократичного розвитку громад. Метою "Активної Громади" на 2025 рік є активізація та залучення до 1% громадян до участі у прийнятті рішень і просуванні реформ на системній основі для добробуту в громадах України [7]. За даними тижневика «Фокус» у 13-й Рейтинг 2021 року серед 24 найбільших міст лідерство та статус «Найкомфортнішого міста України» здобув Тернопіль [12]. 20 жовтня 2021 року Номінаційний комітет завершив розгляд проєктів, що подані жителями Тернопільської громади на «Громадський бюджет 2022», з них 53 проєкти отримали позитивну оцінку та допущені до голосування [15]. При цьому, допомога Європейського Союзу передбачає 4 млн євро на підтримку громадських ініціатив для України, що спрямовані на протидію поширенню коронавірусу [14].

**Виклад основного матеріалу.** Одним з найбільших недоліків сучасного суспільного життя громадян міста та будь-якої територіальної громади є слабка обізнаність жителів у своєї правах та обов'язках та відірваність виконавців адміністративних органів від нагальних потреб жителів громади. Позитивним прикладом вирішення дефіциту соціального капіталу, пов'язаного із здатністю людей до об'єднання у суспільному житті є залучення громадськості до організації збору та сортування побутового сміття в районі вулиці Природної у місті Львові.

У 2017 році виконаними органами Львівської міськради в процесі ліквідації наслідків надзвичайної ситуації 30 травня 2016 року на Грибовицькому

сміттезвалищі було ліквідовано низку смітєвих майданчиків, зокрема в районі вулиць Природної, Моршинської та Генерала Чупринки. На їх заміну було створено по вулиці Природна №3 один великий смітєвий майданчик з розміщенням на ньому 12-ти смітєвих контейнерів. Проте обсяги побутового сміття, що поступало на смітєвий майданчик не забезпечувались необхідною кількістю смітєвих контейнерів. Окрім того, сміття не сортувалось та невчасно прибиралось. Постійний нестерпний сморід, особливо у літній період, значна кількість безпритульних тварин та мишовидних гризунів створювали серйозний дискомфорт для мешканців прилеглих будинків. Внаслідок того, що вулиця Природна є досить вузькою, на ній постійно утворювались затори смітєвозами. Все це створювало суттєві незручності для мешканців будинків № 1, 3, 4, 6 по вулиці Природній (Рис. 1).



Рисунок 1 – Смітєвий майданчик по вулиці Природна №3 (фото автора 2017 року)

Це послужило вагомою причиною для формування у середовищі жителів мікрорайону думки про хибність адміністративного рішення з реорганізації смітєвих майданчиків. Ініціативна група жителів збрала необхідну кількість підписів мешканців будинків по вулиці Природній для оформлення звернень до міського голови Львова, голови Франківської районної адміністрації та житлово-експлуатаційної контори (ЖЕК) із прохання збільшити кількість смітєвих майданчиків та організувати сортування сміття (Рис. 2–7).

За результатами неодноразових тривалих особистих зустрічей з адміністрацією району, житлово-експлуатаційною конторою та радником міського голови Львова було видано розпорядження голови Франківської районної адміністрації про повернення на попередні місця смітєвих майданчиків з організацією сортування сміття. Загалом було відновлено смітєві майданчики по вулиці Природна № 3 – 5, вулиці Моршинській № 11–12, вулиці Котопська № 7, вулиці Генерала Чупринки № 136.

При цьому слід відзначити, що силами мешканців будинків № 1, 3, 4, 6 по вулиці Природній та за їх приватні кошти було проведено облагородження

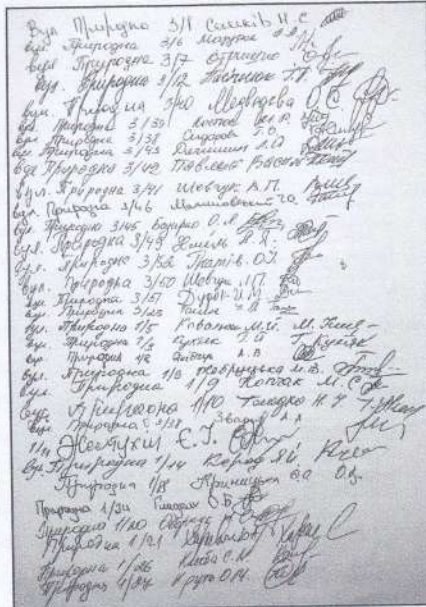


Рисунок 2 – Фрагмент підписного листа (фото автора)

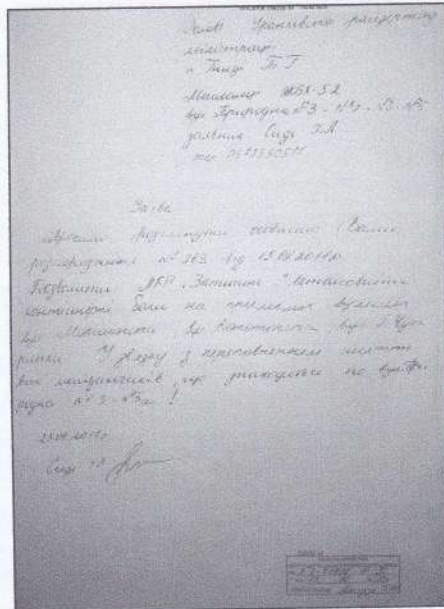


Рисунок 3 – Звернення до Голови рай адміністрації (фото автора)

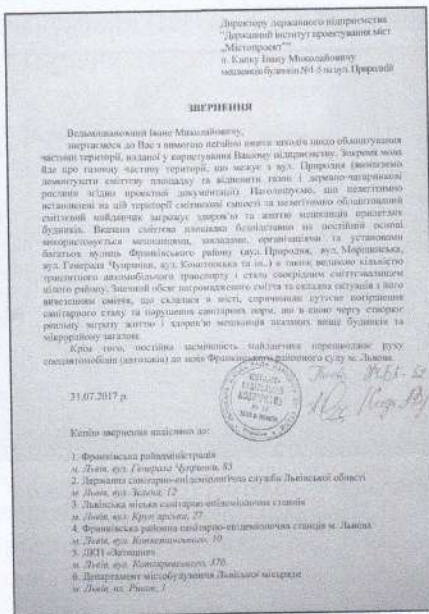


Рисунок 4 – Звернення до ДПРМсту (фото автора)

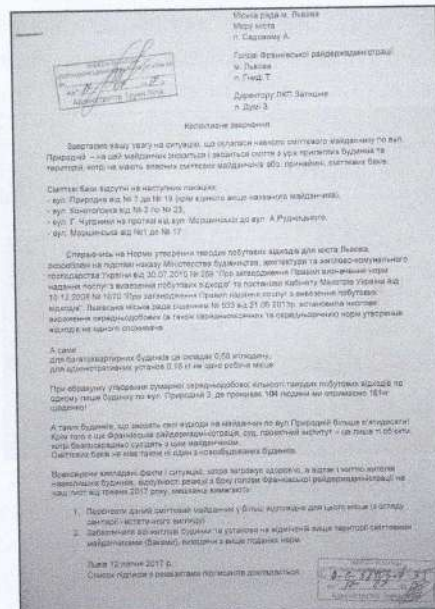


Рисунок 5 – Звернення до Голови міста (фото автора)

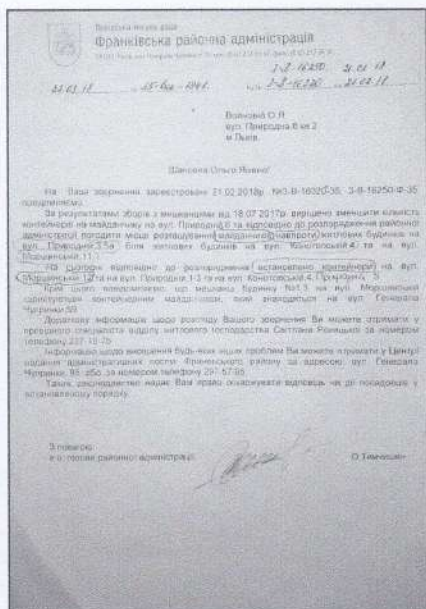


Рисунок 6 – Звернення до райадміністрації (фото автора)

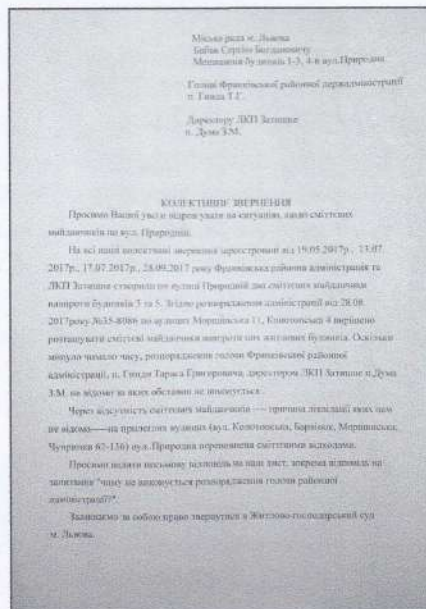


Рисунок 7 – Звернення до міської ради (фото автора)



Рисунок 8 – Вигляд на сміттевий майданчик (фото автора)



Рисунок 9 – Благоустрій сміттевого майданчика (фото автора)

сміттевого майданчика. Зокрема, встановлено сміттеві контейнери для сортування сміття – для твердих побутових відходів, ПЕТ-пляшок, скла, органічних відходів. Окремо проводиться збирання опалого листя та скошеної газонної трави. З трьох сторін сміттевого майданчика з метою огорожі та декоративного оформлення створено стінки із габіонів, за якими не проглядаються сміттеві контейнери, вздовж вулиці встановлено бетонні квіткові вази та висаджено в них квіти, посаджені чагарники та масиви квітів. Вздовж габіонів було висаджено декоративну стінку з дикого винограду п'ятилисточкового *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch. Це швидкоросла ліана яка досягає 20-30 м. Має властивість рости, піднімаючись по гладких поверхнях за допомогою вусиків, що закінчуються липкою подушечкою. Невеликі зеленуваті квітки зібрані в верхівці суцвіття з 80 до 150 квіток. Цвіте пізньою весною. Темно-сині, майже чорні плоди діаметром 5-7 мм дозрівають в кінці літа початку осені. Ягоди неїстівні для людини, але є їжею для птахів взимку. Дівочий виноград п'ятилисточковий культивується як декоративна рослина для вертикального озеленення. Окрім того, його використання дозволить захистити сміттеві контейнери від перегріву на сонці. (Рис. 8–9). Планується також встановити смітник з механічним пресом, який виконуватиме функції збору і зберігання Пет-тари або алюмінієвих банок і є першою ланкою в системі замкнутих циклів поводження з твердими побутовими відходами. Контейнер буде корисним для громади тим, що суттєво зменшить об'єми складування Пет-тари або алюмінієвих банок перед утилізацією [16].

Головним ініціатором та натхненником даної громадської ініціативи виступила мешканка будинку № 3 по вулиці Природної пані Ірина Сидь, яка за освітою є фахівцем з садово-паркового господарства.

В процесі реалізації громадської ініціативи зі збирання та сортування побутового сміття все ще можна відмітити відвертий вандалізм деяких мешканців: не завжди відбувається сортування побутового сміття, обламують чагарники, виривають квіти, знищують конструкцію із габіонів.

**Висновки.** Реалізація громадської ініціативи зі збирання та сортування побутового сміття по мікрорайону вулиці Природної в місті Львові вказує на ефективність такої суспільної праці.

Впровадження відміченого досвіду громадської ініціативи з екологічних питань, а саме зі збирання та сортування побутового сміття, заслуговує на похвалу, пропаганду та поширення у громадському середовищі міст. Розширення комунікації подібних громадських ініціатив в межах міста Львова призведе до більш якісного впровадження комунальними службами соціально-екологічних завдань. Загалом, тенденція до поглиблення суті громадянських ініціатив в галузі екологічної освіти та покращення екологічного середовища міста Львова, є одним з показників вдосконалення самоорганізаційного капіталу громадянського суспільства України.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Громадські ініціативи в культурній політиці міста: проблеми і перспективи партнерства з владою (на прикладі Києва та Львова). Аналітична записка. Національний інститут стратегічних досліджень. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://old2.niss.gov.ua/articles/746/>
2. Матвійчук А. Громадянська ініціатива як чинник самоорганізації громадянського суспільства в сучасній Україні / Наукові записки Інституту політичних і етнонаціональних досліджень ім. І. Ф. Кураса НАН України. 2016. Вип. 3-4. С. 288-298.
3. Спілка «Громадські ініціативи України». – Річний звіт 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – <http://ngonetwork.org.ua/>
4. Інвестиційний портал м. Енергодар. Громадські ініціативи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – <http://investen.bissoft.org/uk/pages/initiatives>
5. Що таке місцева ініціатива та як її внести? Електронний ресурс]. – Режим доступу: – [https://kyivcity.gov.ua/petytsii\\_ta\\_hromadska\\_aktivnist/mistsevi\\_initsiatiivi/1154/](https://kyivcity.gov.ua/petytsii_ta_hromadska_aktivnist/mistsevi_initsiatiivi/1154/)
6. Органи самоорганізації населення будуть в тренді. Підсумки тренінгу Олександра Солонтая [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inrespublica.org.ua/bez-kategoriyi-uk/organy-samoorganizatsiyi-naselennya-budut-v-trendi-pidsumky-treningu-oleksandra-solontaya.html>
7. Спілка “Громадські ініціативи України” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ngonetwork.org.ua/about/>
8. Змінити місто власними руками: як працюють громадські ініціативи в містах України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rivne1.tv/news/96729-zminiti-misto-vlasnimi-rukami-yak-pratsyuyut-hromadski-initsiatiivi-v-mistakh-ukraini>
9. Як громадські ініціативи стають рушієм суспільства. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hmarochos.kiev.ua/2021/04/01/yak-gromadski-initsiatiivyv-stayut-rushiyem-suspilstva/>
10. Як виглядає урбан-сад у львівському парку «Залізна вода». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://zaxid.net/yak\\_viglyadaye\\_lvivskiy\\_urban\\_sad\\_u\\_parku\\_zalizna\\_voda\\_n1519901](https://zaxid.net/yak_viglyadaye_lvivskiy_urban_sad_u_parku_zalizna_voda_n1519901)
11. Центр Громадських ініціатив м. Львова. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cehrin.org.ua/>
12. Тернопіль посів перше місце у рейтингу найкомфортніших міст України 2021. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ternopilcity.gov.ua/news/53750.html>
13. У Львові почали прийом заявок на 75 млн грн громадського бюджету. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zaxid.net/news/>
14. Пакет допомоги ЄС для України передбачає €4 мільйони на громадські ініціативи проти COVID-19. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ua/rubric-politics/3004332-paket-dopomogi-es-dla-ukraini-peredbae-4-miljoni-na-gromadski-iniciatiivi-proti-covid19.html>
15. 53 проекти, поданих тернополянами на «Громадський бюджет 2022», отримали позитивну оцінку та допущені до голосування. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ternopilcity.gov.ua/news/53927.html>
16. «Полезный» мусорник с прессом для ПЭТ-бутылок. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://setech.in.ua/ru/polezny-musornik-s-pressom-dlya-pt-butlok/>

доцент, к.с.-г.н. Віктор Скробала  
skrobala@ukr.net, +380964629092,  
Національний лісотехнічний університет України, Україна  
ORCID: 0000-0002-0606-8079

---

## ЕКОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ТА РІВЕНЬ СИНАНТРОПІЗАЦІЇ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ СМІТТЄЗВАЛИЩ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

*ECOLOGICAL STRUCTURE AND LEVEL OF SYNANTHROPIZATION OF LANDFILL VEGETATION  
OF LVIV REGION*

### Анотація

Наведено результати досліджень екологічної структури та рівня синантропізації рослинного покриву сміттєзвалищ Львівської області із використанням показників гемеробії видів та екологічних шкал Г. Елленберга: світлового й термічного режимів, континентальності, вологості, кислотності, засолення та вмісту мінерального азоту в ґрунті. Визначено головні екологічні фактори, які впливають на процеси формування та диференціацію рослинного покриву сміттєзвалищ.

**Ключові слова:** сміттєзвалища, рослинний покрив, гемеробія, екологічні шкали.

### Abstract

The results of researches of ecological structure and level of synanthropization of landfills vegetation of Lviv region with the use of species hemeroby index and ecological scales of H. Ellenberg (light and thermal regimes, continentality, humidity, acidity, salinity and mineral nitrogen content in soil) are presented. The main ecological factors that influence the processes of formation and differentiation of vegetation of landfills are identified.

**Key words:** landfills, vegetation, hemeroby index, ecological scales.

В Україні, незважаючи на зменшення кількості населення, спостерігається тенденція до безупинного зростання обсягів збирання й вивезення твердих побутових відходів (ТПВ). За даними Мінрегіонбуду України, у 2015 році

утворилось близько 48 млн м<sup>3</sup> ТПВ, або близько 10 млн тонн. Загальною тенденцією для України залишається низький рівень перероблення й утилізації ТПВ та високий показник їх захоронення на полігонах [9].

Побутові відходи захоронюються на 6 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею понад 9 тис. га. Через неналежну систему поводження з твердими побутовими відходами в населених пунктах, як правило у приватному секторі, щорічно виявляється близько 28 тис. несанкціонованих звалищ, що займають площу понад 1 тис. га. Із 593 сміттєзвалищ, які потребують рекультивациі, фактично рекультивовано 37 одиниць [9].

Функціонування сміттєзвалищ супроводжується виділенням у довкілля токсичних речовин – важких металів, продуктів розкладу і горіння. У зв'язку з цим актуальними стають фітомеліоративні методи відновлення забруднених територій. Дослідження рослинних серійних угруповань на сміттєзвалищах дадуть змогу у подальшому запровадити та сформувавши оптимальні захисні насадження [7, 8, 14, 18, 24].

Дослідженню негативного впливу полігонів та звалищ ТПВ на довкілля присвячена велика кількість наукових праць [2, 4]. Але тільки невеликий відсоток їх обсягу присвячений рослинному покриву [5, 10, 11–13, 17, 20, 25, 27].

### Матеріали та методи досліджень

Екологічну структуру та рівень синантропізації рослинного покриву звалищ твердих побутових відходів вивчали на основі аналізу літературних джерел [1, 11–13] та власних польових досліджень, виконаних упродовж 2006-2012 рр. на Львівському полігоні ТПВ. Об'єкти досліджень – 24 сміттєзвалища Львівської області, детальний аналіз яких наведений у роботі Білик Г.С. [1], та Львівський полігон ТПВ. Предмет досліджень – загальні закономірності формування рослинного покриву сміттєзвалищ та пристосувальні риси видів в умовах негативного впливу забруднення довкілля ТПВ.

Рослинний покрив звалищ ТПВ Львівської області вивчали у процесі маршрутних обстежень [15]. Для аналізу підібрано 135 видів судинних рослин. Дослідження екологічної структури рослинного покриву проводили за методикою Г. Елленберга [3, 19, 21] із використанням екологічних шкал освітленості, термічного режиму, континентальності, вологозабезпеченості і кислотності ґрунту, вмісту мінерального азоту. Особливості синантропізації рослинного покриву досліджували на основі розподілу видів за індексом гемеробії [6, 22, 23, 26]. Математичне опрацювання геоботанічних даних виконували за допомогою статистичного пакету Statistica 6.0.

## Результати досліджень

Для екоотопів сміттєзвалищ характерні нагрівання субстрату, горіння відходів, шкідливий вплив газів, які виділяються при інтенсивному розкладенні сміття. У результаті просочування атмосферних опадів через відходи утворюється фільтрат, який накопичується в підніжжі звалищ. Через систематичне перешаровування відходів та надходження їх нових порцій відбувається постійне руйнування рослинного покриву. У зв'язку з цим для рослинного покриву сміттєзвалищ характерна велика неоднорідність та мозаїчність. Великий вплив на формування рослинного покриву здійснюють сільськогосподарські угіддя та лісові насадження, які розташовані поруч з сміттєзвалищами.

Залежно від тривалості формування рослинного угруповання розрізняють три стадії відновлювальної сукцесії – піонерну, проміжну та ренатуральну [1]. Для піонерної стадії характерними видами є *Chenopodium album* L. (лобода біла), *Convolvulus arvensis* L. (березка польова), *Tussilago farfara* L. (підбіл звичайний), *Matricaria perforata* Merat (ромашка продірявлена), *Stenactis annua* Nees (стенакіс однорічний). Основу угруповань на ренатуральній стадії формують *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth (куничник наземний), *Dactylis glomerata* L. (грястиця збірна), *Artemisia vulgaris* L. (полин звичайний), *Elytrigia repens* (L.) Nevski (пирій повзучий), *Sambucus nigra* L. (бузина чорна) [1].

Екологічна шкала освітленості відображає відносну величину цього екологічного фактора в конкретному місцевиростанні у порівнянні з відкритим простором. Практично всі судинні рослини, включаючи тіньюлюбиві, краще розвиваються при повному або частковому денному світлі при умові, що вологість повітря залишається достатньою. Власне світлові рослини (екологічний параметр освітленості L=8–9 балів) здатні переносити сильне освітлення тривалий час [3, 21]. Для деревних рослин екологічний індекс встановлений в молодшому віці, коли вони перебувають в стані проростків або ювенільних особин і перебувають в межах трав'яно-чагарничкового ярусу.

Розподіл видів рослинного покриву сміттєзвалищ за екологічними параметрами освітленості має такий вигляд:

4 бали – види, що ростуть при частковому затіненні, від тіньюлюбивих до тіньювитривалих – *Acer platanoides* L. (клен гостролистий), *A. pseudoplatanus* L. (клен несправжньо-платановий), *Impatiens parviflora* DC. (розрив-трава дрібноквіткова), *Carex pilosa* Scop. (осока волосиста), *Fraxinus excelsior* L. (ясен звичайний) – 5 видів (3.7%);

5 балів – тіневитривалі рослини, у більшості випадків ростуть при освітленості більше як 10% , і тільки, як виняток, при повному освітленні – *Acer negundo* L. (клен ясенolistий), *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. (вільха клейка),

*Equisetum telmateia* Ehrh. (хвощ великий), *Impatiens glandulifera* Royle (розрив-трава залозиста), *Lamium maculatum* (L.) L. (глуха кропива крапчаста), *Populus alba* L. (тополя біла), *P. nigra* L. (тополя чорна), *Robinia pseudoacacia* L. (робінія звичайна) – 8 видів (5.9%);

6 балів – види від тіневитривалих до світлолюбивих, рідко ростуть при відносній освітленості менше як 20 % – *Alnus incana* (L.) Moench (вільха сіра), *Alopecurus pratensis* L. (китник лучний), *Althaea officinalis* L. (алтея лікарська), *Calamagrostis arundinacea*, *Chelidonium majus* L. (чистотіл звичайний), *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv. (плоскуха звичайна), *Equisetum arvense* L. (хвощ польовий), *Plantago lanceolata* L. (подорожник ланцетолистий), *Polygonum persicaria* L. (гірчак почечуйний) та інші – 20 видів (14.8%);

7 балів – світлолюбиві види, що ростуть у більшості випадків при повному освітленні, але можуть і при частковому затіненні, до 30% відносної освітленості – *Artemisia vulgaris*, *Carduus crispus* L. (будяк кучерявий), *Carlina vulgaris* L. (відкасок звичайний), *Chenopodium urbicum* L. (лобода міська), *Convolvulus arvensis*, *Dactylis glomerata*, *Elytrigia repens*, *Eupatorium cannabinum* L. (сідач конопляний), *Galinsoga ciliata* (Rafin.) Blake (галінсога війчаста), *G. parviflora* Cav. (галінсога дрібноцвіта), *Leontodon autumnalis* L. (любочки осінні), *Mentha arvensis* L. (м'ята польова), *Stenactis annua* Nees (стенакіс однорічний), *Taraxacum officinale* Webb. ex Wigg. (кульбаба лікарська) та інші – 52 види (38.5%);

8 балів – види від світлолюбивих до дуже світлолюбивих, які можуть рости як виняток і при відносній освітленості менше як 40% – *Achillea submillefolium* Klok. et Krytzka (деревій майже звичайний), *Arctium tomentosum* Mill. (лопух павутинистий), *Bidens tripartita* L. (череда трироздільна), *Cirsium arvense* (L.) Scop. (осот польовий), *C. vulgare* (Savi) Ten. (осот звичайний), *Daucus carota* L. (морква дика), *Leonurus cardiaca* L. (собача кропива звичайна), *Lolium perenne* L. (пажитниця багаторічна), *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (буркун лікарський), *Plantago major* L. (подорожник великий), *Solidago canadensis* L. (золотушник канадський), *Tanacetum vulgare* L. (пижмо звичайне), *Tussilago farfara* та інші – 29 видів (21.5%);

9 балів – дуже світлолюбиві рослини, які ростуть на відкритій місцевості і рідко при відносній освітленості менше як 50 % – *Arctium lappa* L. (лопух справжній), *Artemisia absinthium* L. (полін гіркий), *Carduus acanthoides* L. (будяк акантовидний), *Lactuca serriola* Torner (латук дикий), *Oenothera biennis* L. (енотера дворічна) та інші – 8 видів (5.9%);

індиферентні види – *Chenopodium album*, *Urtica dioica* L. (кропива дводонна) та інші – 13 видів (9.6%).

У структурі рослинного покриву сміттєзвалищ переважають світлолюбиві види (екологічний параметр L=7-8 балів), на які припадає 60.0% їх загальної кількості. Тіньовитривалі види частіше трапляються на схилах північної експозиції та підніжжі схилів, де призупинення перемішування субстрату

сприяло поширенню деревних рослин. Середнє значення параметра режиму освітленості місцевиростань сміттєзвалищ становить  $L=6.96\pm 0.10$  бали, характерного для світлолюбивих видів.

Екологічна шкала температурного режиму  $T$  відображає градації видів за відношенням до фактора тепла – від нивального та альпійського поясу гір до теплих рівнин [21]. Градація  $T=1-3$  бали характерна для холодолюбних видів, поширених в альпійському та субальпійському поясі гір. Їх культивування на рівнинах можливе, якщо забезпечити відсутність конкуренції зі сторони інших видів. У рослинному покриві сміттєзвалищ Львівської області холодолюбних видів нема. Дуже широку амплітуду мають середньоевропейські види групи  $T=5$  балів, які поширені від північних рівнин до середньогірського поясу, найбільш часто в передгірському поясі.

Розподіл видів рослинного покриву сміттєзвалищ за параметрами температурного режиму має такий вигляд:

4 бали – високогірні і гірські види – *Alnus incana* (L.) Moench (вільха сіра), *Carum carvi* L. (кмин звичайний) – 2 види (1.5%);

5 балів – рослини помірно теплого клімату, від рівнин до гірських місцевиростань, із середньорічною температурою  $5.0-6.0-7.0^{\circ}\text{C}$  – *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Calamagrostis arundinacea*, *C. epigeios*, *Carduus acanthoides*, *Cirsium arvense*, *C. vulgare*, *Epilobium hirsutum* L. (зніт мохнатий), *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (очерет звичайний), *Rubus caesius* L. (ожина сиза), *Sonchus arvensis* L. (жовтий осот польовий) та інші – 24 види (17.8%);

6 балів – рослини передгір'їв та підгірських рівнин, із середньорічною температурою  $6.5-7.5-8.5^{\circ}\text{C}$  – *Anthemis tinctoria* L. (роман фарбувальний), *Arctium lappa*, *Artemisia absinthium*, *A. vulgaris*, *Bidens cernua* L. (череда поникла), *B. tripartita*, *Chelidonium majus*, *Daucus carota*, *Elytrigia repens*, *Galium aparine* L. (підмаренник чіпкий), *Hippophae rhamnoides* L. (обліпіха крушиновидна), *Lycopus europaeus* L. (вовконіг європейський), *Polygonum hydropiper* L. (гірчак перцевий) та інші – 59 видів (43.7%);

7 балів – рослини теплого клімату, із середньорічною температурою  $8.0-9.0-9.5^{\circ}\text{C}$  – *Chenopodium urbicum*, *Echinochloa crusgalli*, *Impatiens glandulifera*, *Oenothera biennis*, *Setaria glauca* (L.) Beauv. (мишій сизий) та інші – 9 видів (6.7%);

8 балів – види субсередземномор'я, із середньорічною температурою  $9.0-10.0-10.5^{\circ}\text{C}$  *Diplotaxis muralis* (L.) DC. (дворядник муровий) – 1 вид (0.7 %);

індиферентні види – *Chamaerion angustifolium* (L.) Holub (хамерій вузьколистий), *Chenopodium album*, *Lotus corniculatus* L. (лядвенець рогатий), *Poa pratensis* L. (тонконіг лучний) та інші – 40 видів (29.6%).

У структурі рослинного покриву сміттєзвалищ переважають види зі значеннями екологічного параметра  $T=5-6$  балів, на які припадає 61.5% їх загальної кількості. Близько третини видів характеризується широким діапазоном толерантності. Теплолюбні види представлені виключно руде-

ральними рослинами. Середнє значення параметра термічного режиму місцевиростань сміттезвалищ становить  $T=5.82\pm 0.07$  бали, характерного для передгір'їв та підгірських рівнин.

Екологічна шкала континентальності відображає збільшення градієнта континентальності від атлантичного узбережжя до центру Євразії, із врахуванням температурних коливань [3, 21]. При однакових величинах тепла відмінності в ступені континентальності відбуваються у міру віддалення від моря. У зв'язку з цим зростає загроза пошкодження рослин від низьких температур взимку.

Розподіл видів рослинного покриву сміттезвалищ за параметрами континентальності К має такий вигляд:

2 бали – океанічний режим, види із центром поширення в Західній, включаючи захід Центральної Європи – *Equisetum telmateia*, *Impatiens glandulifera* – 2 види (1.5%);

3 бали – евриокеанічний режим, переважно центрально-європейські види – *Armoracia rusticana* Gaertn., Mey. et Scherb. (хрін звичайний), *Cirsium vulgare*, *Dactylis glomerata*, *Galinsoga parviflora*, *Galium aparine*, *Leucanthemum vulgare* Lam. (королиця звичайна), *Plantago lanceolata*, *Rumex conglomeratus* Murr. (щавель скупчений) та інші – 33 види (24.4%);

4 бали – субокеанічний режим, центрально-європейські і східно-європейські види – *Arctium lappa*, *Calamagrostis arundinacea*, *Euphorbia cyparissias* L. (молочай кипарисовидний), *Lathyrus sylvestris* L. (чина лісова), *Setaria glauca* (L.) Beauv. (мишії сизий), *Tanacetum vulgare* та інші – 18 видів (13.3%);

5 балів – проміжний, від слабо океанічного до слабо субконтинентального – *Centaurea jacea* L. (волошка лучна), *Chamaerion angustifolium*, *Conium maculatum* L. (болиголов плямистий), *Lythrum salicaria* L. (плакун верболистий), *Phleum pratense* L. (тимофіївка лучна), *Solidago canadensis* та інші – 23 види (17.0%);

6 балів – субконтинентальний режим, із центром поширення в східній частині Центральної й на межі Східної Європи – *Althaea officinalis*, *Carduus acanthoides*, *Hippophae rhamnoides*, *Melilotus officinalis* та інші – 7 видів (5.2%);

7 балів – від субконтинентального до континентального – *Arctium tomentosum*, *Artemisia absinthium*, *Calamagrostis epigeios*, *Elytrigia repens*, *Plantago media* L. (подорожник середній) та інші – 12 видів (8.9%);

індиферентні види – *Achillea submillefolium*, *Artemisia vulgaris*, *Chenopodium album*, *Plantago major*, *Stenactis annua* та інші – 40 видів (29.6%).

У структурі рослинного покриву сміттезвалищ переважають види із значеннями екологічного параметра К=3-5 балів, на які припадає 54.7% їх загальної кількості, а також індиферентні види із широким діапазоном толерантності (29.6%). Середнє значення параметра континентальності місцевиростань сміттезвалищ становить  $K=4.39\pm 0.14$  бали, характерного для

субокеанічного та проміжного, від слабко океанічного до слабко субконтинентального клімату.

Шкала вологозабезпеченості ґрунту F характеризує поширення видів на градієнті вологості ґрунтів або рівня ґрунтових вод від сухих скель до боліт і водойм [21]. Розподіл видів рослинного покриву сміттєзвалищ за параметрами вологозабезпеченості ґрунту F має такий вигляд:

3 бали – сухі місцевиростання – *Anthemis tinctoria*, *Euphorbia cyparissias*, *Melilotus officinalis* та інші – 6 видів (4.4%);

4 бали – від сухих до свіжих місцевиростань – *Achillea submillefolium*, *Artemisia absinthium*, *Carduus acanthoides*, *Chenopodium album*, *Oenothera biennis*, *Sonchus oleraceus* L. (жовтий осот городній), *Verbascum thapsus* L. (дивина ведмежа) та інші – 26 видів (19.3%);

5 балів – свіжі місцевиростання (середньовологі) – *Arctium lappa*, *A. tomentosum*, *Calamagrostis arundinacea*, *Chamaerion angustifolium*, *Chelidonium majus*, *Echinochloa crusgalli*, *Lolium perenne*, *Phleum pratense*, *Plantago major*, *Polygonum persicaria* та інші – 32 види (23.7%);

6 балів – від свіжих до вологих місцевиростань – *Alopecurus pratensis*, *Artemisia vulgaris*, *Stenactis annua*, *Tussilago farfara*, *Urtica dioica* та інші – 15 видів (11.1%);

7 балів – вологі місцевиростання (добре насичені вологою, але не сирі) – *Eupatorium cannabinum*, *Mentha arvensis*, *Ranunculus repens*, *Symphytum officinale* L. (живокіст лікарський) та інші – 8 видів (5.9%);

8 балів – від вологих до сирих місцевиростань – *Epilobium hirsutum*, *Humulus lupulus* L. (хміль звичайний), *Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch. (очеретянка звичайна), *Polygonum hydropiper* та інші – 10 видів (7.4 %);

9 балів – сирі місцевиростання (переважно бідні киснем ґрунти) – *Alnus glutinosa*, *Bidens cernua*, *B. tripartita*, *Lycopus europaeus* та інші – 6 видів (4.4%);

10 балів – тимчасово затоплювані місцевиростання (пересихаючі водойми) – *Phragmites australis*, *Typha latifolia* L. (рогоз широколистий) – 2 види (1.5%);

11 балів – мілководдя (надводні рослини) – *Hydrocharis morsus-ranae* L. (жабурник звичайний), *Lemna minor* L. (ряска мала), *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla (куга озерна) – 3 види (2.2%);

індиферентні види – *Calamagrostis epigeios*, *Centaurea jacea*, *Equisetum arvense*, *Erigeron canadensis*, *Matricaria perforata* Merat (ромашка продірявлена), *Solidago canadensis* та інші – 27 видів (20.0%).

У структурі рослинного покриву сміттєзвалищ переважають види зі значеннями екологічного параметра F=4-6 балів, на які припадає 54.1% їх загальної кількості, а також індиферентні види із широким діапазоном толерантності (20.0%). Вологість ґрунту значною мірою залежить від умов рельєфу та експозиції схилів. Велику роль відіграє висока водопроникна здатність субстрату із високим вмістом будівельних решток. Ділянки із перезволоженими



грунтами формуються у підніжжі схилів. Середнє значення параметра вологозабезпеченості ґрунту місцевиростань сміттєзвалищ становить  $F = 5.69 \pm 0.18$  бали, характерного для свіжих та вологуватих ґрунтів. Із 95% впевненістю середнє значення параметра  $F$  лежить в діапазоні 5.33...6.05 балів.

Шкала кислотності ґрунтів  $R$  характеризує залежність поширення видів на градієнті від вкрай кислих до лужних (багатих карбонатами або кальцієм) ґрунтів [3, 21]. Від кислотності ґрунту залежить доступність для рослин поживних речовин. У дуже кислих ґрунтах залізо і алюміній переходять у легкодоступні для засвоєння рослинами форми, а збільшення їх концентрації може здійснювати токсичний вплив. Розподіл видів рослинного покриву сміттєзвалищ за параметрами кислотності ґрунтів  $R$  має такий вигляд:

4 бали – від кислих до помірно кислих ґрунтів – *Calamagrostis arundinacea*, *Frangula alnus* Mill. (крушина ламка) – 2 види (1.5%);

5 балів – помірно кислі ґрунти – *Chamaerion angustifolium*, *Galinsoga parviflora*, *Leontodon autumnalis*, *Polygonum hydropiper* та інші – 6 видів (4.4%);

6 балів – від помірно кислих до слабо кислих ґрунтів – *Alopecurus pratensis*, *Galinsoga ciliata*, *Galium aparine*, *Humulus lupulus*, *Matricaria perforata*, *Trifolium repens* та інші – 11 видів (8.1%);

7 балів – від слабо кислих до слабо лужних ґрунтів – *Arctium lappa*, *Artemisia absinthium*, *Carduus crispus*, *Carlina vulgaris*, *Cirsium vulgare*, *Lamium maculatum*, *Lolium perenne*, *Phragmites australis*, *Polygonum persicaria*, *Urtica dioica* та інші види – 37 видів (27.4%);

8 балів – слабо лужні ґрунти – *Arctium tomentosum*, *Carduus acanthoides*, *Hippophae rhamnoides*, *Leonurus cardiaca*, *Melilotus officinalis*, *Rubus caesius*, *Tanacetum vulgare*, *Tussilago farfara* та інші види – 20 видів (14.8%);

9 балів – лужні і карбонатні ґрунти – *Stachys recta* L. (чистець прямий) – 1 вид (0.7%);

індиферентні види – *Artemisia vulgaris*, *Bidens tripartita*, *Calamagrostis epigeios*, *Dactylis glomerata*, *Erigeron canadensis*, *Oenothera biennis*, *Plantago major*, *Solidago canadensis* та інші види – 58 видів (43.0%);

У структурі рослинного покриву сміттєзвалищ переважають види зі значеннями екологічного параметра  $R=7-8$  балів (слабо кислі й слабо лужні ґрунти), на які припадає 42.2% їх загальної кількості, а також індиферентні види із широким діапазоном толерантності (43.0%). Середнє значення параметра кислотності ґрунту місцевиростань сміттєзвалищ становить  $R=6.65 \pm 0.12$  бали, характерного для нейтральних ґрунтів (від слабо кислих до слабо лужних).

Шкала забезпеченості ґрунту азотом  $N$  відображає градацію запасів мінеральних форм азоту ( $\text{NH}_4^+$  і  $\text{NO}_3^-$ ) [3]. Розподіл видів рослинного покриву сміттєзвалищ за параметрами вмісту азоту  $N$  має такий вигляд:

2 бали – від вкрай бідних до бідних азотом ґрунтів – *Koeleria cristata* (L.) Pers. (кипець гребінчастий), *Lathyrus sylvestris*, *Stachys recta* – 3 види (2.2%);

3 бали – бідні азотом місцевиростання – *Equisetum arvense*, *Euphorbia cyparissias*, *Hippophae rhamnoides*, *Melilotus officinalis*, *Plantago media* та інші види – 10 видів (7.4%);

4 бали – від бідних до помірно забезпечених азотом – *Althaea officinalis*, *Anthemis tinctoria*, *Daucus carota*, *Lactuca serriola*, *Oenothera biennis* та інші види – 9 видів (6.7%);

5 балів – помірно забезпечені азотом місцевиростання – *Achillea submillefolium*, *Calamagrostis arundinacea*, *Leontodon autumnalis*, *Tanacetum vulgare*, *Trifolium hybridum* L. (конюшина гібридна) та інші види – 9 видів (6.7%);

6 балів – від помірно забезпечених до багатих азотом – *Calamagrostis epigeios*, *Dactylis glomerata*, *Impatiens parviflora*, *Matricaria perforata*, *Plantago major*, *Poa pratensis*, *Solidago canadensis*, *Trifolium repens* та інші види – 17 видів (12.6%);

7 балів – багаті азотом місцевиростання – *Carduus acanthoides*, *Chenopodium album*, *Ch. urbicum*, *Cirsium arvense*, *Elytrigia repens*, *Lolium perenne*, *Phleum pratense*, *Phragmites australis*, *Ranunculus repens* та інші види – 24 видів (17.8%);

8 балів – від багатих до дуже багатих азотом – *Artemisia absinthium*, *A. vulgaris*, *Chamaerion angustifolium*, *Echinochloa crusgalli*, *Lamium maculatum*, *Polygonum hydropiper*, *Sonchus oleraceus*, *Stenactis annua*, *Taraxacum officinale* та інші види – 25 видів (18.5%);

9 балів – дуже багаті азотом місцевиростання – *Arctium lappa*, *A. tomentosum*, *Carduus crispus*, *Sambucus nigra*, *Urtica dioica* та інші види – 8 видів (5.9%);

індиферентні види – *Convolvulus arvensis*, *Erigeron canadensis*, *Mentha arvensis*, *Plantago lanceolata*, *Sonchus arvensis*, *Tussilago farfara* та інші види – 30 видів (22.2%).

У структурі рослинного покриву сміттєзвалищ переважають види зі значеннями екологічного параметра  $N=7-8$  балів, на які припадає 42.2% їх загальної кількості, а також індиферентні види із широким діапазоном толерантності (22.2%). Середнє значення параметра вмісту азоту місцевиростань сміттєзвалищ становить  $N=6.29 \pm 0.18$  бали, характерного для градації від помірно забезпечених до багатих азотом ґрунтів. Із 95 % впевненістю середнє значення параметра  $N$  лежить в діапазоні 5.93...6.66 балів.

Важливим показником рослинного покриву сміттєзвалищ є рівень синантропізації видів. Синантропізація – це процес проникнення в природну флору заносних видів рослин або зміна складу і структури природної флори під впливом антропогенних факторів [6]. Синантропними рослинами прийнято вважати види, які регулярно трапляються в фітоценозах у результаті прямого або опосередкованого впливу господарської діяльності людини. Вивчення впливу синантропізації в умовах сміттєзвалищ дозволяє порівня-

ти стан природних і антропогенних фітоценозів і аналізувати тенденції тих змін, які вносять у природне середовище людина.

Ступінь толерантності видів до антропогенного фактору відображає поняття гемеробії (гемеробності). Це здатність виду існувати та поширюватися в антропогенно-змінених біотопах [6, 16]. Гемеробію можна оцінити кількісно інтенсивністю та тривалістю антропогенних впливів, які витримує вид. За класифікацією Д. Яласа та Г. Сукоппа [22, 23] розрізняють:

– агемероби (а) – майже відсутній антропогенний вплив – вузькоспеціалізовані види природних угруповань, що не витримують найменшого антропогенного впливу – оголені скелі;

– олігогемероби (о) – слабкий антропогенний вплив – вузькоспеціалізовані види угруповань, наближених до природних, здатні витримувати нерегулярний та незначний антропогенний вплив – широколистяні, хвойні і мішані ліси із рослинністю, близькою до потенційної природної, піщані рівнини, болота, солончаки, прибережні періодично затоплювані низини;

– мезогемероби (м) – помірний вплив – види напівприродних угруповань, витримують слабкий антропогенний вплив, складають основу сучасної природної рослинності, мають широку екологічну валентність до природних факторів, здебільшого є домінантами та співдомінантами – ліси із невідповідною потенційній природній рослинності, природні луки й пасовища, чагарники та трав'яна рослинність низовин і височин, згарища та ін.;

– еугемероби – види, стійкі до антропогенного впливу, віддають перевагу антропогенно-зміненим біотопам, їх фітоценотична специфічність майже не виявляється; серед них розрізняють бета- (менш стійкі) та альфа-еугемероби (стійкіші);

– β-еугемероби (б) – помірно сильний вплив – зелені зони міст, пасовища, агроугіддя з істотними площами природної рослинності, водотоки, водойми;

– α-еугемероби (с) – сильний вплив – об'єкти спорту і дозвілля, незрошувана рілля, виноградники, сади та ягідники;

– полігемероби (р) – дуже сильний вплив – дискретна забудова, місця видобутку корисних копалин, звалища, будівельні об'єкти;

– метагемероби (т) – надзвичайно сильний вплив – види повністю порушених екосистем, які перебувають на грані винищення – суцільна забудова, промислові об'єкти, мережі автомобільних і рейкових шляхів, портові зони.

Розподіл видів рослинного покриву сміттєзвалищ за параметрами гемеробії має такий вигляд:

om (2-3 бали) – *Alnus glutinosa*, *Calamagrostis arundinacea*, *Carex pilosa*, *Equisetum telmateia*, *Frangula alnus*, *Galium verum*, *Lythrum salicaria*, *Malus sylvestris*, *Stachys recta* та інші – 11 видів (8.1%);

omb (2-4 бали) – *Achillea submillefolium*, *Carduus crispus*, *Carlina vulgaris*, *Euphorbia cyparissias*, *Humulus lupulus*, *Lamium maculatum*, *Lotus corniculatu*,

*Lycopus europaeus*, *Phragmites australis*, *Pinus sylvestris*, *Plantago lanceolata*, *P. major*, *P. media*, *Ranunculus repens* та інші – 24 види (17.8%);

**ombc** (2-5 балів) – *Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *Bidens tripartita*, *Fraxinus excelsior*, *Phalaroides arundinacea*, *Poa pratensis*, *Sambucus nigra* – 8 видів (5.9%);

**ombcp** (2-6 балів) – *Galium aparine*, *Potentilla anserina*, *Rubus caesius* – 3 види (2.2 %);

**m** (3 бали) – *Althaea officinalis* – 1 вид (0.7%);

**mb** (3-4 бали) – *Acer negundo*, *Alopecurus pratensis*, *Arctium lappa*, *A. tomentosum*, *Artemisia absinthium*, *Calamagrostis epigeios*, *Chelidonium majus*, *Dactylis glomerata*, *Hippophae rhamnoides*, *Rumex conglomeratus*, *Stenactis annua*, *Tanacetum vulgare*, *Trifolium pratense* та інші – 28 видів (20.7 %);

**mbc** (3-5 балів) – *Artemisia vulgaris*, *Bidens cernua*, *Carduus acanthoides*, *Daucus carota*, *Impatiens parviflora*, *Lolium perenne*, *Mentha arvensis*, *Polygonum hydropiper*, *Solidago canadensis*, *Taraxacum officinale*, *Trifolium repens*, *Urtica dioica* та інші – 13 видів (9.6%);

**mbsp** (3-6 балів) – *Chamaerion angustifolium*, *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*, *Elytrigia repens*, *Equisetum arvense*, *Impatiens glandulifera*, *Tussilago farfara*, *Polygonum lapathifolium* та інші – 9 видів (6.7%);

**b** (4 бали) – *Conium maculatum* – 1 вид (0.7%);

**bc** (4-5 балів) – *Asparagus officinalis*, *Cirsium vulgare*, *Helianthus tuberosus*, *Leonurus cardiaca*, *Melilotus officinalis* – 5 видів (3.7%);

**bsp** (4-6 балів) – *Chenopodium album*, *Lactuca serriola*, *Matricaria perforata*, *Oenothera biennis*, *Papaver rhoeas*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Polygonum persicaria*, *Setaria glauca*, *Sonchus arvensis*, *Thlaspi arvense* – 10 видів (7.4%);

**cp** (5-6 балів) – *Calendula officinalis*, *Chenopodium urbicum*, *Diplotaxis muralis*, *Echinochloa crusgalli*, *Galinsoga ciliata*, *G. parviflora*, *Helianthus annuus*, *Setaria viridis*, *Sonchus oleraceus* – 9 видів (6.7%);

**p** (6 балів) – *Anethum graveolens* – 1 вид (0.7%).

У структурі рослинного покриву сміттєзвалищ переважають види зі значеннями індекса гемеробії  $Nem=2-4$  балів, на які припадає 38.5% їх загальної кількості. Середнє значення індекса гемеробії видів рослинного покриву сміттєзвалищ становить  $Nem= N=3.78\pm 0.08$  бали, характерного для  $\beta$ -еугемеробів. За величиною індекса гемеробії найбільшою стійкістю характеризуються види екологічних груп **ombcp**, **mbsp**, **bsp**, **cp** і **p**, загальна кількість яких становить 32 види (23.7%);

Аналіз залежності між екологічними параметрами видів вказує на відсутність тісного зв'язку між змінними (рис.). Коефіцієнти кореляції характеризуються низькими значеннями. Максимальні значення коефіцієнтів кореляції властиві парам F-N і T-Немеробы, але вони не перевищують 0.4. На основі значень коефіцієнтів кореляції з індексом гемеробії можна зробити попередній висновок, що антропогенне навантаження в умовах сміттєзва-

лиц пов'язане зі збільшенням температури, зменшенням вологозабезпеченості ґрунту, збільшенням вмісту азоту. У більшості випадків зв'язок між змінними має криволінійний характер. Істотні відхилення точок від кривої регресії свідчать про відсутність впорядкованої структури для багатовимірної ординації видів (рис.).

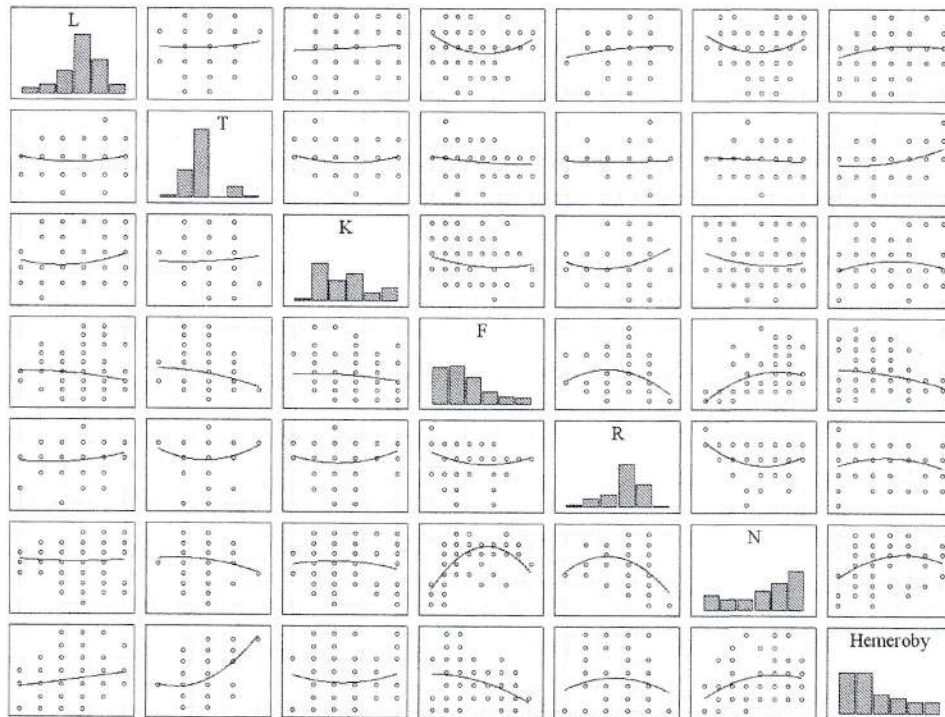


Рис 1. Діаграма залежності між екологічними параметрами видів рослинного покриву сміттезвалищ  
Умовні позначення: L – освітленість, T – термічний режим, K – континентальність, F – режим зволоженості, R – кислотність, N – вміст азоту, Немеґобу – індекс гемеробії, бали. Джерело: власне дослідження

Одновимірний статистичний аналіз хоча і дає багато для розуміння екологічних закономірностей формування типів місцезростань звалищ ТПВ, його слід розглядати як попередній варіант досліджень [2, 7]. Так, порівняння амплітуди показників екологічних факторів та повної розмірності відповідних їм екологічних шкал дає підстави стверджувати про високу значущість всіх без винятку факторів. Таким чином, кожний рослинний вид потрібно розглядати у багатовимірному просторі екологічних параметрів. Наприклад, екологічний простір *Arctium lappa* можна представити у вигляді формули  $L_9 T_6 K_4 F_5 R_7 N_9 \text{Hem}_{3,5}$ , *Artemisia absinthium* –  $L_9 T_6 K_4 F_7 R_8 N_8 \text{Hem}_{3,5}$ ,

*Salicag*  
ставити  
темі ко  
вимірюк  
лити еко  
лиць, що

Особ  
діграє фі  
ал мікро  
ефективн  
брудненн  
ється від  
та ефект  
свідчать,  
езвалищ  
характер  
лення ліс

Велика р  
Львівщи  
більший  
рального  
гічних фа  
антропо  
збільшен  
ченості пр  
Флора  
здатні ви  
новить 2  
у складі  
сукцесії.

1. Білик  
дих п  
ження
2. Білик  
запис

*Calamagrostis arundinacea* –  $L_6T_5K_4F_5R_4N_5Hem_{2.5}$ . Такий підхід дає змогу представити екологічний простір видів рослинного покриву сміттєзвалищ у системі координат комплексних градієнтів середовища, які безпосередньо не вимірюються, а є комбінацією екологічних факторів. Це дозволить окреслити екологічні закономірності формування рослинного покриву сміттєзвалищ, що стане предметом наших подальших досліджень.

Особливу роль у звільненні верхнього шару ґрунту від токсикантів відіграє фітореMediaція, що використовує об'єднаний метаболічний потенціал мікроорганізмів і рослин [7, 27]. Технології фітореMediaції часто є більш ефективними, ніж традиційні інженерні технології на стадії доочищення забруднених ґрунтів. Для удосконалення цього методу основна увага приділяється відбору рослин, здатних витримувати несприятливі екологічні умови та ефективно трансформувати токсичні речовини. Результати досліджень свідчать, що домінантами і субдомінантами рослинних угруповань сміттєзвалищ виступають види із високим індексом гемеробії. Наявність видів, характерних лісовим фітоценозам, свідчить про високу ймовірність відновлення лісової рослинності.

## Висновки

Велика різноманітність умов місцевиростання сміттєзвалищ в умовах Львівщини пояснюється складною комбінацією екологічних факторів. Найбільший вплив на розподіл видів здійснюють вологість ґрунту і вміст мінерального азоту, про що свідчить амплітуда значень параметрів цих екологічних факторів у порівнянні з розмірністю відповідних шкал. Еквівалентом антропогенного навантаження в умовах сміттєзвалищ можуть слугувати збільшення температури і освітленості в ценозі, зменшення вологозабезпеченості ґрунту, збільшення вмісту азоту.

Флористичне ядро рослинного покриву звалищ ТПВ формують види, здатні витримувати сильне антропогенне навантаження. Їх кількість становить 23.7 % від загального видового складу. Збільшення кількості видів у складі рослинних угруповань пропорційне тривалості відновлювальної сукцесії.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Білик Г. С. Еколого-ценотичні особливості рослинного покриву звалищ твердих побутових відходів на території Львівської області. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності*. 2011. Т. 2(9), № 1. С. 33–50.
2. Білик Г. С. Стан звалищ твердих побутових відходів у Львівській області *Наукові записки Вінницького педуніверситету. Сер. Географія*. 2010. Вип. 21. С. 280–289.

3. Булохов А. Д. Фитоиндикация и ее практическое применение. Брянск: Изд-во БГУ, 2004. 245 с.
4. Бухта І. О. Проблеми поводження з твердими побутовими відходами у м. Львові. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Географічні науки*. Випуск 8. 2018. С. 13–20.
5. Бялт В. В., Попов В. И. Флора Южного полигона ТБО г. Санкт-Петербурга в 1999 году. *Hortus bot.* 2019. Т. 14, 2019, С. 53–68.
6. Гончаренко І. В. Фітоіндикація антропогенного навантаження : монографія. Дніпро: Середняк Т.К., 2017. 127 с.
7. Киреева Н. А., Григориади А. С., Багаутдинов Ф. Я. Фиторемедиация как способ очищения почв, загрязнённых тяжёлыми металлами. *Теоретическая и прикладная экология*. №3, 2011. С. 4–10.
8. Луцевич А. А. Подбор флоры лесополосы для рекультивации свалок твердых бытовых отходов. *Лесотехнический журнал*. 4/2014. С. 21–26.
9. Національна доповідь про реалізацію національної екологічної політики / за наук. ред. Бондаря О. І. Херсон: ФОП Гринь Д. С., 2016. 120 с.
10. Нотов А. А. Роль свалок и полигонов ТБО в формировании адвентивной флоры Тверской области. *Вестник Тверского государственного университета. Сер. биология и экология*. 2006. Вып. 2. С. 101–116.
11. Попович В. В. Девастовані ландшафти в зоні нагромадження твердих побутових відходів і їх фітомеліорація. *Наук. вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць : «Ландшафтна архітектура і сучасність»*. 2013. Вип. 23.9. С. 376–380.
12. Попович В. В. Екологічна структура та закономірності розвитку водної та прибережно-водної рослинності техногенних водойм сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів у межах Західного Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць*. Львів : РВВ НЛТУ України. 2012. Вип. 22.13. С. 106–113.
13. Попович В. В. Природні фітомеліоративні процеси на Львівському міському полігоні твердих побутових відходів. *Лісівництво і агролісомеліорація : зб. наук. праць*. Харків : Вид-во УкрНДЛГА. 2012. № 120. С. 80–87.
14. Попович В. В. Фітомеліорація як засіб виведення сміттєзвалищ із експлуатації. *Збірник наукових праць : «Вісник ЛДУБЖД»*. 2015. № 11. С. 126–130.
15. Работнов Т. А. Фитоценология. М. : МГУ, 1983. 396 с.
16. Самойленко В. М., Діброва І. О., Пласкальний В. В. Антропоізація ландшафтів: монографія. Київ : Ніка-Центр, 2018. 232 с.
17. Скробала В. Екологічні закономірності розподілу рудеральних рослин на порушених землях: попередня оцінка. *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Полігони твердих побутових відходів: проектування та експлуатація, вимоги Європейського Союзу, Кіотський протокол» смт.Славсько Львівської обл. 16-18 квітня 2008 р. Львів: Тріада плюс, 2008. С. 245–250.*
18. Теплякова Т. Е., Малюхин Д. М., Бакина Л. Г. Особенности формирования растительного покрова на новых видах органогенных субстратов при рекультивации полигона твердых бытовых отходов. *Биосфера*. 2014. Т. 6, № 2. С. 134–145.

19. Borhidi A. Social behaviour types, the naturalness and relative ecological indicator values of the higher plants in the Hungarian flora. *Acta Botanica Hungarica*. 1995. Vol. 39, № 1–2. P. 97–181.
20. Dementieva Ya. Yu., Aseeva S. V., Andrusenko L. Yu., Chaplygina A. B. Analysis of solid waste landfills vegetation cover of Kharkiv region. *Biol. Stud.* 2020; 14(4); P. 23–34. DOI: <https://doi.org/10.30970/sbi.1404.640>
21. Ellenberg H., Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa / H. Ellenberg, H.E. Weber, R. Dull, V. Wirth, W. Werner, D. Paulisen. *Scripta Geobotanica*. Göttingen: Verlag Erich Goltze KG, 1991. Vol. 18. P. 248.
22. Frank D., Klotz S. Biologisch-Ökologische Daten Zur Flora der DDR. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 1990. 167 p.
23. Hill M., Roy D., Thompson K. Hemeroby, urbanity and ruderality: bioindicators of disturbance and human impact. *Journal of Applied Ecology*. 2002. Vol. 39, № 5. P. 708–720.
24. Song Uhram. Selecting plant species for landfill revegetation: a test of 10 native species on reclaimed soils. *Journal of Ecology and Environment*. (2018) 42:30. <https://doi.org/10.1186/s41610-018-0089-9>.
25. Vaverková M.D, Radziemska M, Barton S, Cerdà A, Koda E. The use of vegetation as a natural strategy for landfill restoration. *Land Degrad Dev*. 2018; P. 1–7. <https://doi.org/10.1002/ldr.3119>.
26. Walz U., Stein C. Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. *Journal for Nature Conservation*. 2014. Vol.22. P. 279–289.
27. Zhengkai Tao, Wei Shi, Yang Liu & Xiaoli Chai. Temporal variation of vegetation at two operating landfills and its implications for landfill phytoremediation. *Environmental Technology*. 2020, 41:5, P. 649–657, DOI: 10.1080/09593330.2018.1508253.



**к. т. н. Роман Сукач**  
sukach.r@gmail.com, +380677297897,  
ORCID: 0000-0003-4174-9213

**к. т. н. Володимир-Петро Пархоменко**  
pvpo2018@gmail.com, +380938510600,  
ORCID: 0000-0001-7431-4801

**к. т. н. Володимир Товарянський**  
vi\_tovarianskyi@ukr.net, +380977082659,  
ORCID: 0000-0002-4484-8164

---

## АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕК ПІД ЧАС ПОЖЕЖИ НА ПОЛІГОНАХ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

### *DANGER ANALYSIS DURING FIRE AT SOLID HOUSEHOLD WASTE*

#### Анотація

Робота присвячена підвищенню стану екологічної та пожежної безпеки полігонів твердих побутових відходів. У цій роботі приведено аналіз стану захоронення твердих побутових відходів в Україні та країнах світу, детальний розбір резонансних пожеж на сміттєзвалищах, вимоги щодо улаштування полігонів ТПВ і аналіз небезпек при горінні відходів на полігонах. В результаті проведеної роботи автори сформувавши рекомендації щодо гасіння та правила пожежної безпеки на полігонах ТПВ, розробили схеми заходів з логістичного управління в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій на сміттєзвалищах ТПВ.

**Ключові слова:** полігон твердих побутових відходів, пожежа, надзвичайна ситуація, екологічна безпека, пожежна безпека.

#### Abstract

The work is devoted to improving the environmental and fire safety of solid waste landfills. This paper presents an analysis of the state of solid waste protection in Ukraine and the world, a detailed analysis of resonant fires in landfills, requirements for setting up landfills and analysis of hazards when burning waste at landfills. Result of this work, the authors formed recommendations for firefighting and fire safety rules at landfills, developed schemes of measures for logistics management in the process of emergency response at landfills.

**Keywords:** solid waste landfill, fire, emergency situation, ecological safety, fire safety.

## 1. Вступ

Починаючи з кінця XIX сторіччя, часів розвитку індустріалізації в світі, глобальна усереднена температура суші та океанів збільшилась на  $0,85^{\circ}\text{C}$ , що вже спричинило безповоротні наслідки для екологічної безпеки нашої планети: підвищення рівня світового океану, перерозподіл опадів, збільшення зон екстремальних температурних умов тощо. За прогнозами Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату подальше збільшення цієї температури протягом XXI сторіччя складе від  $1,5$  до  $4,0^{\circ}\text{C}$ . Однією з головних причин глобального потепління клімату є збільшення концентрації парникових газів (у першу чергу вуглекислого газу, метану та закису азоту) в атмосфері унаслідок антропогенної діяльності, тому дослідження обсягів викидів парникових газів (ПГ) та чинників, що впливають на їх значення, є важливою складовою екологічної безпеки в світі у цілому. За даними Мінрегіону України щороку в Україні збирається понад 10 млн тонн твердих побутових відходів (ТПВ), з яких понад 95% захоронюються на понад 6 тисячах звалищах та відповідних полігонах із загальною площею 9,4 тисяч га, що за оцінками Мінприроди України спричинює 2,3 % загальнонаціональних викидів ПГ.

Відходи життєдіяльності людини є глобальною екологічною проблемою сучасності. Якщо до певного часу ці відходи перероблялися природним шляхом в природних умовах, то пізніше з'явилися нові матеріали, природне розкладання яких може тривати сотні років, а таке антропологічне навантаження природі вже не під силу. До того ж сучасна кількість утворюваних відходів величезна – об'єм світових полігонів і звалищ росте зі швидкістю двох трильйонів тонн на рік. Сьогодні планета Земля перебуває в режимі сміттевої катастрофи.

На території нашої країни щорічно утворюється близько 50 млн.  $\text{m}^3$  побутових відходів. До речі, Україна відноситься до десятки країн з найбільшим об'ємом сміття на жителя.

Станом на 2020 рік 78% населення України було охоплено послугами з вивезення ТПВ, водночас протягом зазначеного року на площі 9,4 тисяч га було захоронено 95,8 % від усіх зібраних ТПВ, або більше 10 млн тонн. Лише 4,2 % відходів було перероблено та утилізовано, з них: 1,7 % спалено та 2,2% потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні заводи. Дані показники було досягнуто за рахунок впровадження роздільного збору ТПВ у 496 населених пунктах країни, роботи 21 сміттєсортувальних ліній, одного сміттєспалювального заводу та трьох сміттєспалювальних установок.

В цілому для системи поводження з ТПВ в Україні характерні наступні проблемні питання: величезна загальна площа, відведена під захоронення – понад дев'ять тисяч га, з якої на перевантажені полігони та такі, що не відповідають нормам безпеки, припадає 25%; потреба у кількості двох тисяч га для

нових полігонів; частка населення, що не охоплена збором сміття – 22%; зношеність спецавтотранспорту – 67%; площа встановлених несанкціонованих сміттєзвалищ – понад 1,5 тисяч га. На сьогодні, Україна активно адаптує власне законодавство в сфері поводження з ТПВ до країн Європейського Союзу (ЄС). Закон України «Про відходи» зі змінами та доповненнями є головним регулятором взаємовідносин у сфері поводження з відходами. Він визначає основні положення та особливості в сфері захисту навколишнього природного середовища та населення України від негативного впливу відходів. Державне регулювання здійснюється також законами України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про поводження з радіоактивними відходами», «Про металобрухт», «Про екологічну мережу України» та іншими документами. Будівництво нових полігонів відбувається відповідно до нормативного документу ДБН В 2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування». В законі України «Про відходи» були враховані сучасні тенденції розвинутих країн світу в сфері поводження з ТПВ, а саме: з 1 січня 2018 року заборонено захоронення не перероблених (необроблених) побутових відходів, змішування чи захоронення відходів, для утилізації яких в Україні є відповідні технології; спалювання дозволяється лише на енергетичні цілі тощо. На рис. 1 зображено частку захоронення ТПВ від загальних обсягів зібраних відходів такого типу в країнах Європи та деяких розвинутих країнах світу у 2020 році, а на рис. 2 – в країнах Європи у 2015 році. З рис. 1 видно, що частка захоронення ТПВ для окремих країн має чітко регіональний соціально-економічний та політичний характер, особливо для країн ЄС. Цей факт є яскравим свідченням ефективності впровадження довготермінових планових узгоджених та системних заходів зі скорочення обсягів захоронення ТПВ. Станом на 2020 рік рівень захоронення ТПВ в Україні був значно вищий, аніж в країнах ЄС, у тому числі його країн-членів зі Східної Європи, та є співставним з країнами Латинської Америка на прикладі Чилі, та окремими країнами Південної Європи (Мальта та Чорногорія). В узагальненому вигляді, у 2020 році країни умовно можна розподілити на п'ять груп за рівнем захоронення ТПВ: менше 5% – Швейцарія, Німеччина тощо (9 країн); від 5% до 30% – Естонія, Фінляндія тощо (8 країн); від 30% до 60% – Польща, Австралія тощо (8 країн); від 60% до 85% – Болгарія, Словачія тощо (8 країн) та більше 85% – Мальта, Чорногорія, Україна та Чилі. Порівнюючи рис. 1 та рис. 2 впливає, що лише за 5 років у період з 2015 по 2020 роки стан сфери поводження з ТПВ в більшості країн світу значно покращився. Так, у 2015 році лише у п'яти країнах Європи рівень захоронення складав менше 5%; від 5% до 30% – у чотирьох; від 30% до 60% – у п'яти; від 60% до 85% – у десяти та більше 85% – у дванадцяти. Водночас найбільш помітних успіхів досягли нові члени ЄС зі Східної Європи, в середньому скоротивши частку захоронення з 85–90% до 40–55%, а в окремих випадках (Естонія) – з 74% до 7%.

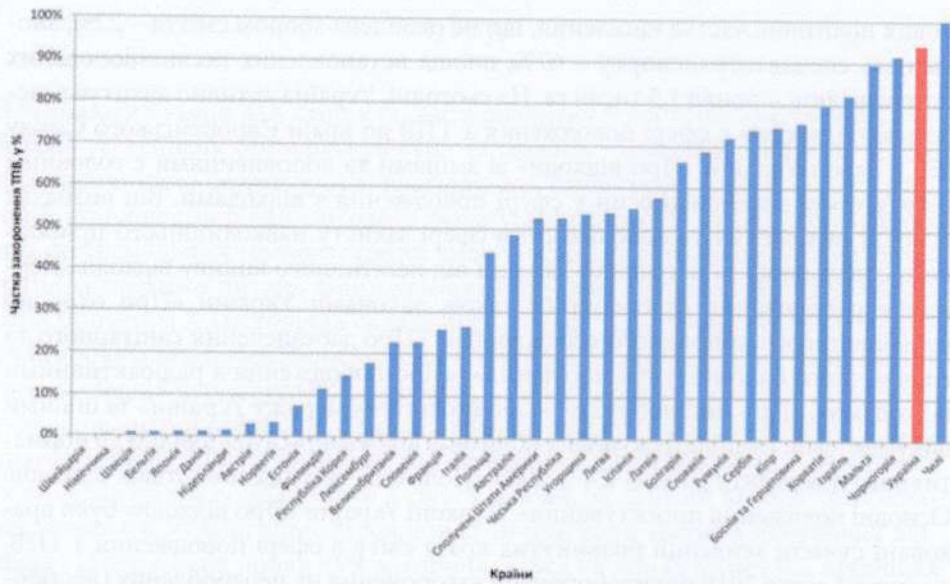


Рис. 1 – Захоронення ТПВ в країнах світу станом на 2020 рік [2]

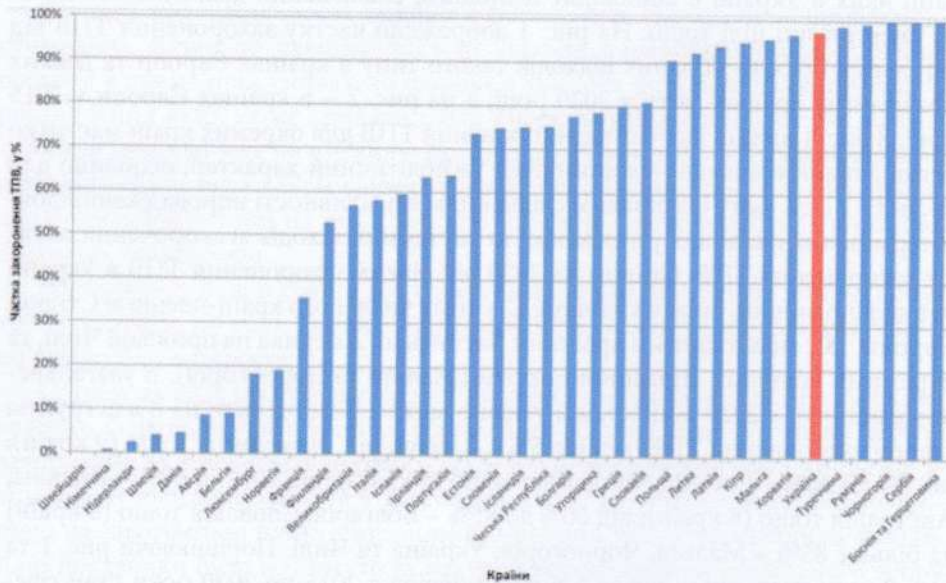


Рис. 2 – Захоронення ТПВ в країнах світу станом на 2015 рік [2]

Окремим видом екологічних загроз, які можуть виникати на полігонах ТПВ являються пожежі. Пожежі на полігонах твердих побутових відходів (сміттєзвалищах) належать до найбільш складних і тривалих, гасіння яких вимагає залучення значних ресурсів, зусиль, засобів і часу. Прогнозування

та попередження пожеж на полігонах (сміттєзвалищах) вкрай ускладнено, оскільки важко визначити можливі осередки підвищення температур через різну питому теплоємність відходів. Доки вогонь, або дим не вийшли на поверхню, виявити осередок загоряння візуально практично неможливо. В основному пожежі виникають у пожежонебезпечний період влітку. Основною причиною виникнення пожеж залишається людська необачність і недбалість, нехтування правилами пожежної безпеки, необережне поводження з вогнем. Полігони ТПВ здатні до самозаймання. Спричиняє цей процес біохімічне розкладання відходів, яке супроводжується підвищенням температури до 40–70°C.

Загальної статистики по кількості пожеж на територіях полігонів ТПВ не ведеться, але з огляду на їх масштабність можна зробити аналіз резонансних подій, таких як:

- Пожежа на ЛКП “Збиранка” у с. Великі Грибовичі Жовківського району Львівської області, що виникла 29 травня 2016 року. О 05 год. 07 хв. на території полігону твердих побутових відходів ЛКП «Збиранка» виникла пожежа. Вогнем охоплено сміття площею 2000 м. кв. Для ліквідації даної пожежі залучались від Головного управління ДСНС України у Львівській області 14 одиниць техніки та 63 особи особового складу, від комунальних підприємств міста Львова 12 одиниць техніки та 23 особи, від місцевих пожежних команд (МПК) Львівської області 2 особи та 1 одиниця техніки. Пожежу локалізовано о 18 год. 20 хв., ліквідовано о 07 год. 40 хв. 30 травня 2016 року.
- Пожежа на сміттєзвалищі у смт. Черняхів Житомирської області 03 серпня 2021 року. О 19 год. 21 хв на території полігону твердих побутових відходів Черняхівської громади виникло загоряння сміття окремими осередками на площі близько 2,5 га. Висота насипу 0-2 м. На гасіння пожежі залучено 5 одиниць техніки Головного управління ДСНС України у Житомирській області та 25 чоловік особового складу, також 4 трактори від Черняхівської громади (МТЗ-80 та 3 трактори з бочками для підвозу води) та 13 осіб. О 21:25 пожежу локалізовано. На ранок 04 серпня 2021 року залишається горіння окремими осередками на площі близько 1 га. Пожежу ліквідовано о 23 год 47 хв. 04 серпня 2021 року
- Пожежа, що виникла 03.09.2020 року на полігоні ТПВ в селі Макухівка Полтавської області. О 15 год. 15 хв. до Служби порятунку «101» надійшло повідомлення про пожежу на території Полтавського міського сміттєзвалища твердих побутових відходів, що знаходиться поблизу села Макухівка Полтавського району. Площа пожежі 2,2 га. До гасіння пожежі залучено 65 чоловік та 17 одиниць техніки Головного управління ДСНС України у Полтавській області. О 11 год 45 хв 04 вересня

2020 року пожежу локалізовано. О 01 год 15 хв 05 вересня 2020 року пожежу ліквідовано.

- Пожежа на полігоні ТПВ у місті Черкаси, що виникла 23 вересня 2020 року. О 17 год. 00 хв. на території полігону ТПВ виникла пожежа. Загорівся сухостій, що знаходиться довкола території полігону і пожежа перекинулася на сміття. Площа пожежі на сміттєзвалищі становила 800 м. кв. Складності даній пожежі надавав сильний вітер. До ліквідації даної пожежі було залучено від Головного управління ДСНС України у Черкаській області 4 одиниці техніки та 20 чоловік особового складу, від комунальних підприємств міста Черкаси 3 одиниці техніки та 10 осіб. Для забезпечення умов локалізації пожежі було зроблено міліоріаційну зону для відділення пожежі на сухостої від полігону та зменшення умов щодо поширення пожежі. Пожежу локалізовано о 21 год. 20 хв., ліквідовано о 10 год. 00 хв. 24 вересня 2020 року. Сума нанесених збитків становить 95,7 млн. грн.

Аналіз цих пожеж свідчить, що тематика досліджень є надзвичайно актуальною та ставить нові задачі для її вирішення.

## 2. Вимоги щодо улаштування полігонів ТПВ

Перед тим як розібратись із нормами улаштування полігонів твердих побутових відходів потрібно ознайомитись з основними поняттями та об'єктами, що будуть використовуватись у дослідженні.

Відходи – будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються у процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення та від яких їх власник позбувається, має намір, або повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення.

Відходи сфер споживання – промисловий продукт, непридатний для подальшого використання (споживання).

Тверді побутові відходи (ТПВ) – тверді відходи сфер споживання, які утворюються в процесі життєдіяльності людини у житлових будинках, закладах соціальної культури, громадських, навчальних, лікувальних, торговельних та інших закладах (харчові відходи, макулатура, скло, метали, пластмаси, полімерні матеріали тощо).

Небезпечні відходи – відходи, що мають такі фізичні, хімічні, біологічні чи інші небезпечні властивості, які створюють, або можуть створити значну небезпеку для навколишнього природного середовища і здоров'я людини, та які потребують спеціальних методів і засобів поводження з ними.

Поводження з твердими побутовими відходами – дії, спрямовані на запобігання утворенню ТПВ, їх збирання, транспортування, зберігання, об-

роблення, утилізацію, видалення, знешкодження і захоронення, включаючи контроль за цими операціями та нагляд за місцями видалення.

Збирання твердих побутових відходів – діяльність, пов'язана з вилученням, накопиченням і розміщенням ТПВ у спеціально відведених місцях чи об'єктах, включаючи сортування відходів з метою їх подальшої утилізації чи видалення.

Зберігання твердих побутових відходів – тимчасове розміщення ТПВ у спеціально відведених місцях чи об'єктах (до їх утилізації чи видалення).

Перероблення (оброблення) твердих побутових відходів – здійснення будь-яких технологічних операцій, пов'язаних із зміною фізичних, хімічних чи біологічних властивостей ТПВ, з метою підготовки їх до екологічно безпечного транспортування, утилізації чи видалення.

Перевезення твердих побутових відходів – транспортування ТПВ від місць їх утворення, або зберігання до місць чи об'єктів оброблення, утилізації чи видалення.

Утилізація твердих побутових відходів – використання ТПВ як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів.

Знешкодження твердих побутових відходів – зменшення чи усунення небезпечності ТПВ шляхом механічного, фізико-хімічного, термічного чи біологічного оброблення.

Захоронення твердих побутових відходів – остаточне розміщення ТПВ при їх видаленні у спеціально відведених місцях чи на об'єктах так, щоб довгостроковий шкідливий вплив ТПВ на навколишнє середовище та здоров'я людини не перевищував установлених нормативів.

Об'єкти поводження з твердими побутовими відходами – місця чи об'єкти, що використовуються для збирання, перероблення, утилізації, видалення, знешкодження та захоронення ТПВ.

Спеціально відведені місця чи об'єкти – місця чи об'єкти (місця розміщення ТПВ, комплекси, споруди, у тому числі – полігони тощо), на використання яких отримано дозвіл спеціально уповноважених органів на видалення ТПВ, чи здійснення інших операцій з ТПВ.

Рекультивация – роботи із зняття, складування, збереження та нанесення родючого шару ґрунту на порушені землі після закриття або ліквідації об'єктів поводження з ТПВ.

Біогаз – суміш газів, що утворюється при анаеробному розкладанні органічної складової ТПВ.

Фільтрат – рідка фаза, що утворюється на полігоні при захороненні ТПВ з вологістю більше 55 % та внаслідок атмосферних опадів, обсяг яких перевищує кількість вологи, що випаровується з поверхні полігона.

Визначення цих ключових понять дають зрозуміти основу цих процесів та матеріалі, та природу їх походження. Тому для подальшого вивчення та правильного поводження з відходами потрібно визначити основні вимоги

щодо їх складування та правильного облаштування полігонів для їх зберігання.

Полігони ТПВ є інженерними спеціалізованими спорудами, які призначені для захоронення твердих побутових відходів.

Полігони ТПВ повинні забезпечувати санітарне та епідемічне благополуччя населення, екологічну безпеку навколишнього природного середовища, запобігати розвиткові небезпечних геологічних процесів і явищ.

Розміри і потужність полігона ТПВ повинні визначатись потребами у складуванні твердих побутових відходів із урахуванням екологічних вимог і санітарних норм, кількості населення, розрахункового терміну експлуатації, річної норми накопичення ТПВ.

На полігони ТПВ приймають тверді побутові відходи з житлових і громадських будинків, установ, підприємств торгівлі та громадського харчування, а також вуличне, садово-паркове, будівельне сміття і деякі види твердих інертних відходів за відповідним обґрунтуванням, а також промислові відходи III – IV класів небезпеки відповідно до додатку Ж з дозволу місцевих органів санітарно-епідеміологічної та екологічної служб та пожежної інспекції.

Промислові відходи IV класу небезпеки можуть використовуватись на полігоні твердих побутових відходів як ізолюючий матеріал.

Прийняттю на полігони ТПВ не підлягають відходи, які можуть бути вторинною сировиною (за можливості їх утилізації); відходи, що містять токсичні, отруйні та агресивні щодо споруд полігона ТПВ речовини.

Як правило, складуванню на полігонах ТПВ підлягає тільки та частина твердих побутових відходів, що не може бути утилізована. Рекомендується при полігонах ТПВ передбачати спеціальні споруди для вилучення ресурсно-цінних компонентів ТПВ згідно із чинним законодавством.

При полігонах ТПВ, де відбувається складування брикетів ТПВ, рекомендується передбачити майданчик для створення технологічних ліній з виробництва брикетів. Полігони ТПВ, де відбувається одночасне складування як звичайних, так і брикетованих ТПВ, повинні мати окремі ділянки їх складування.

Полігони ТПВ необхідно проектувати на основі інженерних та екологічних розрахунків. При проектуванні полігонів ТПВ повинні бути передбачені:

- рішення, що забезпечують експлуатаційну надійність, економічність, мінімальне відчуження земельних та інших природних ресурсів і обов'язкове повернення тимчасово відчужуваних земель для подальшого господарського використання;
- інженерні заходи, що забезпечують стійкість полігона як споруди, його довговічність і безпеку навколишнього середовища;
- вимоги щодо безпеки життя і здоров'я людини.

Гідротехнічні споруди (дамби, водовідводи тощо) або їх елементи в складі полігонів ТПВ слід відносити до класу капітальних споруд із урахуванням



наслідків у разі аварії – згідно зі СНиП 2.06.01-86 «Гидротехнические сооружения. Основы положения проектирования».

Проектом має бути передбачена рекультивація земель після закриття полігона ТОВ. При розробленні рекультивованих або інших полігонів ТПВ як техногенних родовищ (чи з іншою метою) проектна документація для складування перероблених відходів повинна відповідати цим Нормам та погоджуватися відповідно до чинного законодавства.

На всіх етапах вибору ділянки під розміщення полігона ТПВ, його проектування та будівництва необхідно керуватися чинним законодавством.

## 2.1. Вимоги щодо розміщення полігонів ТПВ

Ділянка для розміщення полігонів ТПВ повинна обиратися за територіальним принципом відповідно до схеми санітарного очищення міста чи регіону і проекту районного планування або генерального плану населеного місця.

Полігони ТПВ розміщують:

- 1) на землях несільськогосподарського призначення, непридатних для сільського господарства, погіршеної якості, не зайнятих зеленими насадженнями (особливо лісами 1-ї групи);
- 2) на ділянках, де є можливість вжиття заходів і впровадження інженерних рішень, що виключають забруднення навколишнього природного середовища, розвиток небезпечних геологічних процесів чи інших негативних процесів і явищ;
- 3) на ділянках, прилеглих до міських територій, якщо вони не включені в житлову забудову відповідно до генерального плану розвитку міста на найближчі 25 років, а також під перспективну забудову;
- 4) на ділянках, що характеризуються природною захищеністю підземних вод від забруднення;
- 5) за межами зон можливого впливу на водозабори, поверхневі води, заповідники, курорти тощо;
- 6) з урахуванням рози вітрів відносно житлової забудови, зон відпочинку й інших місць масового перебування населення за межами санітарно-захисної зони;
- 7) за межами міст;
- 8) на відстані, не менше:
  - 15 км від аеропортів;
  - 3 км від межі курортного міста, відкритих водоймищ господарського призначення, об'єктів, які використовуються з культурно-оздоровчою метою, заповідників, місць відпочинку перелітних птахів, морського узбережжя;
  - 1 км від межі міст;
  - 0,5 км від житлової та громадської забудови (санітарно-захисна зона);

- 0,2 км від сільськогосподарських угідь і від автомобільних та залізничних шляхів загальної мережі.
- 0,050 км від межі лісу і лісопосадок, не призначених для використання з метою рекреації.

Відстані від зазначених вище об'єктів можуть коригуватися за даними моделювання чи розрахунків впливу полігона ТПВ на навколишнє середовище, з обов'язковим погодженням з місцевими органами екологічного контролю та установами державної санітарно-епідеміологічної служби.

Розміщення полігонів ТПВ не допускається:

- на площах залягання корисних копалин і територіях з гірничими виробками без погодження з органами державного гірничого нагляду;
- у небезпечних зонах відвалів породи різних шахт чи збагачувальних фабрик;
- у зонах активного карсту;
- у зонах розвитку тектонічних розломів, зсувів, селевих потоків, снігових лавин, підтоплення й інших небезпечних геологічних процесів, а також на територіях сезонного затоплення;
- у заболочених місцях;
- у зонах поповнення і виходу на поверхню підземних вод;
- у зонах формування і використання мінеральних вод;
- на територіях зон I, II поясу санітарної охорони водозаборів питних і мінеральних вод;
- у охоронних зонах водойм;
- у зонах санітарної охорони курортів та заповідників;
- на землях, зайнятих чи призначених під зайняття лісами, лісопарками, іншими зеленими насадженнями, що виконують захисні функції і є місцями масового відпочинку населення.

Розміщення полігонів ТПВ допускається:

- на просадних ґрунтах за умови повного усунення просадних властивостей ґрунтів;
- на потенційно підтоплюваних територіях за умови спорудження дренажу з улаштуванням проти фільтраційного екрана в основі і на схилах полігона і знезаражування вод у випадку аварійної ситуації;
- у зоні III поясу санітарної охорони водозаборів за наявності в них природної захищеності (при сутність у літологічному розрізі достатньо потужних і витриманих водотривких порід), з улаштуванням у чаші полігона надійного протифільтраційного екрана (коефіцієнт фільтрації води не більше  $10^{-9}$  м/с);
- у сейсмічних районах при дотриманні відповідних нормативних вимог СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах»;

- на ділянках, віддалених від тектонічних розломів і активних зон геодинамічної напруженості, що виявляються за допомогою інженерних розрахунків.

Ґрунтові води на ділянці розміщення полігонів ТПВ повинні знаходитися на глибині не менше 2 м від його основи. Протифільтраційним екраном полігонів ТПВ вважається екран, що має відповідно до європейських стандартів коефіцієнт фільтрації води не більше 10<sup>-9</sup> м/с.

Полігони ТПВ за особливостями розташування в рельєфі поділяються на:

- рівнинні (розташовані на відносно рівній поверхні з ухилом рельєфу до 5%);
- схиліві (розташовані на схилах рельєфу з ухилом місцевості більше 5%);
- вододільні (розташовані на вододільних просторах);
- ярово-балкові (розташовані в природних зниженнях рельєфу, балках і ярах);
- котловинні чи кар'єрні (розташовані в штучних виїмках або кар'єрах після видобутку будівельних матеріалів або корисних копалин);
- гірські (розташовані в гірській місцевості);
- змішані (наприклад, кар'єрно-схиліві та ін.).

Залежно від особливостей розміщення полігонів ТПВ у рельєфі виконують: комплекс інженерних, екологічних і санітарно-гігієнічних вишукувань, оцінку впливу на навколишнє середовище, включаючи середовище життєдіяльності людини, розробку конструктивних і технологічних проектних рішень, обґрунтування заходів щодо зменшення, або ліквідації негативного впливу на навколишнє середовище та розвитку небезпечних геологічних процесів і явищ, а також забезпечення експлуатаційної надійності полігонів ТПВ.

За типом зволоження території, що визначається як відношення суми річних опадів до вологи, що випаровується з поверхні суші ( $K_{зв}$ ) полігони ТПВ відносять до зони:

- |                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| I – надлишкового зволоження,   | $K_{зв} > 1,2;$        |
| II – достатнього зволоження,   | $K_{зв} = 1,0...1,2;$  |
| III – нестійкого зволоження,   | $K_{зв} = 0,75...1,2;$ |
| IV – недостатнього зволоження, | $K_{зв} = 0,5...0,75;$ |
| V – посушливої                 | $K_{зв} < 0,5.$        |

Залежно від типу зволоження території, на якій розміщуються полігони ТПВ, розраховується об'єм утворення фільтрату, визначаються методи боротьби з його накопиченням, розмір секцій накопичувачів фільтрату, тривалість їх наповнення й особливості складу робіт.

Відведення земельної ділянки під розміщення полігонів ТПВ, складання акту вибору та відведення здійснюються відповідно до чинного законодавства і нормативних документів.

## 2.2. Схема типового полігона ТПВ

Основними елементами полігона ТПВ (рис. 3) є: під'їзна дорога, ділянка складування ТПВ, господарська зона, інженерні споруди і комунікації.

Під'їзна дорога з'єднує автомобільну дорогу загального користування з ділянкою складування ТПВ. Під'їзну дорогу розраховують на двосторонній рух. Категорія й основні параметри під'їзної дороги визначають відповідно до розрахункової інтенсивності руху (автомобілів/добу).

Основна споруда полігона ТПВ – ділянка складування ТПВ. Вона займає, як правило, до 85...95 % загальної площі полігона ТПВ (залежно від об'єму ТПВ, що приймаються).

Ділянку складування розбивають на черги експлуатації з урахуванням забезпечення приймання відходів на кожній черзі протягом 3-5 років. У складі першої черги виділяють пусковий комплекс на перші 1-2 роки.

Складування відходів на першій, другій і, якщо дозволяє площа ділянки, на третій черзі ведеться на висоту у 2-3 яруси (висота ярусу приймається рівною 2,0... 2,5 м).

Кожна наступна черга експлуатації здійснюється шляхом збільшення рівня насипу ТПВ до проектної позначки з подальшим складуванням шарами висотою 2,0...2,5 м. Розбивка ділянки складування на черги виконується з урахуванням рельєфу місцевості та річної кількості ТПВ, що складуються.

Територія полігона ТПВ, у тому числі ділянка складування і господарська зона, має бути захищеною від затоплення зливовими та талими водами з вище розташованих земельних масивів (ділянок). Для забезпечення запобігання попаданню стоку зливових і талих вод, а також фільтрату з території полігона у зовнішні водовідвідні споруди проектується комплекс гідротехнічних споруд. Господарська зона, обвалування, зелені насадження, інженерні комунікації займають, як правило, 5...15 % загальної площі полігона ТПВ.

Поверхневі (зливові та талі) води з території полігона збирають у секційний контрольню-регулюючий ставок. Місткість кожної секції слід розраховувати на об'єм максимального добового дощу, що повторюється раз на 10 років.

Освітлені води після контролю їх якості слід спрямовувати:

- чисті – на виробничі потреби, при відсутності споживача – на водоскид;
- забруднені – до ставка-випарника або до загальних каналізаційних чи спеціальних (при полігоні ТПВ) очисних споруд стічних вод.

Як правило, на відстані 1...2 м від водовідвідної канами розміщується огорожа території полігона ТПВ. По периметру на смузі шириною 5...8 м проектується садіння дерев, прокладаються інженерні комунікації (водопровід, каналізація), встановлюються щогли електроосвітлення. За відсутності інженерних споруд на цій смузі відсипаються кавальєри ґрунту, який буде використаний для ізоляції ТПВ.

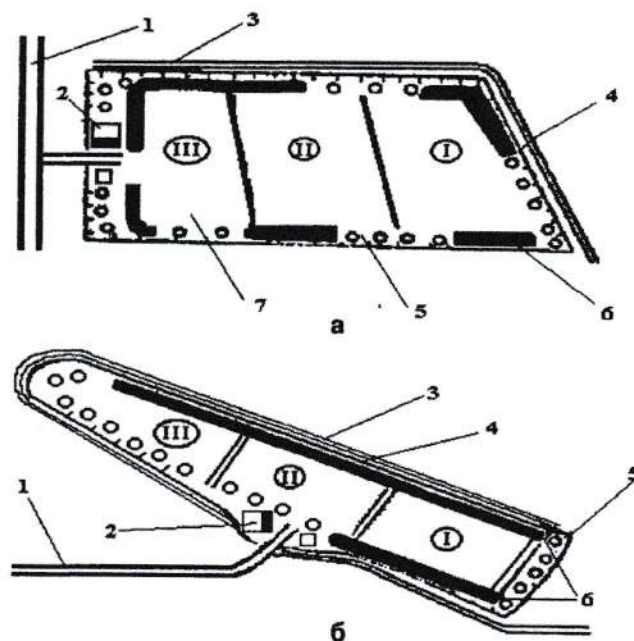


Рис. 3 – Рекомендована схема розміщення основних споруд полігона ТПВ  
 а – при співвідношенні довжини і ширини полігона ТПВ менше 1:2; б – те саме  
 при співвідношенні понад 1:3; 1 – під'їзна дорога; 2 – господарська зона;  
 3 – нагрівна канава; 4 – огорожа; 5 – зелена зона; 6 – ґрунт для ізолюючих шарів;  
 7 – майданчики складування ТБО; I, II і III – черги експлуатації [1]

Господарська зона проектується на перетині під'їзної дороги з межею полігона ТПВ, що забезпечує можливість експлуатації зони на будь-якій стадії його заповнення. У господарській зоні розміщуються адміністративні, побутові та виробничі будинки і споруди.

### 3. Небезпека при горінні відходів на полігонах ТПВ.

В Україні щорічно утворюється ~49 млн м<sup>3</sup> твердих побутових відходів (ТПВ), які складуються на 5,5 тисячах звалищах і полігонах загальною площею понад 9 тисяч га. Кількість перевантажених сміттєзвалищ становить 327 одиниць (6%), а 1339 одиниць (24%) не відповідають нормам екологічної безпеки.

Особливо гостро при експлуатації місць складування відходів стоїть проблема пожеж, виїзд на гасіння яких становить частину рутинної роботи пожежників. Значна кількість звалищ горять регулярно, незалежно від методів і засобів їх гасіння. Масштаб горіння може бути від невеликої тлію-

чої ділянки до великомасштабної пожежі з відкритими вогнищами полум'я. Оскільки пожежі на звалищах і смітниках відносяться до пожеж на відкритій місцевості і бувають досить тривалими, трапляється так, що їх гасіння проводиться без застосування засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД). Таке рішення, як правило, пояснюється наявністю в димовому середовищі пожежі достатньої кількості кисню для дихання, а також підвищеною стомлюваністю учасників гасіння та додатковими незручностями роботи в разі використання ЗІЗОД.

Однак еколого-токсикологічний ризик впливу диму від горіння і тління ТПВ сильно недооцінюється. У зв'язку з застосуванням у всіх сферах діяльності людини широкої гама матеріалів різного хімічного складу за практичної відсутності попереднього сортування ТПВ, склад диму стає все більш небезпечним і шкідливим для здоров'я і містить речовини, здатні навіть у мікро- і наноконцентраціях здійснювати шкідливий біологічний вплив.

Комбінований вплив токсикантів диму в концентраціях, що перевищують гранично допустимі, в умовах роботи на пожежі з високим фізичним, психологічним та температурним навантаженням можуть бути причиною розвитку професійних захворювань, які у пожежників практично не реєструються. Тому захист особового складу пожежно-рятувальних формувань від токсичного впливу диму і мінімізація наслідків такого впливу є однією з найбільш актуальних проблем протипожежних служб.

Прогнозування і попередження пожеж на звалищах ТПВ вкрай ускладнено, оскільки важко визначити можливі осередки підвищення температур через різну питому теплоємність відходів. Доки вогонь або дим не вийшли на поверхню, виявити осередок загоряння візуально практично неможливо. Причиною загоряння може служити цілий ряд причин (табл. 1).

Таб. 1 – Джерела і причини виникнення пожеж на звалищах ТПВ

Джерело	Причина
Техногенне	Інциденти на прилеглих територіях, які спричинили займання
Соціальне	Протиправні несанкціоновані дії, відсутність екологічної культури
Надійність об'єкту	Помилки при проектуванні, відсутність активної дегазації звалищного газу
Надійність персоналу	Помилки та порушення при експлуатації
Природне	Кліматичні та природні впливи

Відомо, що токсичність диму залежить не тільки від виду матеріалів, що горять, але і від теплоємності полум'я і від того, скільки є кисню для згорання. Полум'яне горіння характеризується високою швидкістю згорання ТПВ і відповідно, підвищеними обсягами димових газів, що утворюються. При тліючому (піролітичному) горінні утворюється менший обсяг димових газів, однак більш токсичних, що пояснюється наявністю широкого спектру продуктів неповного згорання, насамперед сажі, ПАВ, ціаністого водню, вінілхлориду, діоксинів та ін. Відомо понад 175 токсичних продуктів горіння, які присутні в диму пожежі в різних комбінаціях. Речовини, які найбільшою мірою визначають токсичність димових газів при горінні ТПВ (нормовані Директивою 2000/76/ЄС), наведено в табл. 2.

Табл. 2 – Речовини, які найбільшою мірою визначають токсичність димових газів при горінні ТПВ

Речовина	Концентрація в продуктах горіння ТПВ, мг/м <sup>3</sup>	Норматив, мг/м <sup>3</sup>	Клас безпеки	Характер біологічного впливу
Тверді частки	1500–2000	30	3	Посилення несприятливого впливу адсорбованих речовин, здатністю затримуватися в легенях і налипати на шкірні покриви
HCl	300–2000	10	2	Подразнення шкіри і слизових; порушення роботи кровоносної системи
SO <sub>2</sub>	200–1000	-	3	
NO <sub>x</sub>	200–500	500	3	
HF	2–25	1	2	<i>Гостре отруєння:</i> подразнення шкіри і слизових; загальна токсичність. <i>Хронічне отруєння:</i> ембріотропна, мутагенна і кумулятивна дія
Hg	0,2–0,8	0,05	1	<i>Гостре отруєння:</i> загальна токсичність. <i>Хронічне отруєння:</i> меркуріалізм

Речовина	Концентрація в продуктах горіння ТПВ, мг/нм <sup>3</sup>	Норматив, мг/нм <sup>3</sup>	Клас небезпеки	Характер біологічного впливу
Cd + Ti	2–15	0,05	14	<i>Гостре отруєння:</i> блювання і судоми. <i>Хронічне отруєння:</i> кумулятивна отрута; канцероген; ураження нервової, кровоносної, опорно-рухової системи, печінки і нирок
Cr + Pb + V + Ni + Cu + Mn + As + Sb		0,5	1-3	Кумулятивні отрути широкого спектру дії
Діоксини (нг I-TEQ/нм <sup>3</sup> )	0,5–5	0,1	1	<i>Гостре отруєння:</i> шкірні ушкодження (хлоракне), зміна функції печінки. <i>Хронічне отруєння:</i> стійкі органічні забруднювачі (СОЗ), здатні до накопичення; порушення імунної, нервової, ендокринної і репродуктивної систем; канцерогени

#### 4. Рекомендації щодо гасіння та правила пожежної безпеки (ПБ) на полігонах ТПВ

Обстановка, що може скластися під час пожеж на полігонах твердих побутових відходів:

- поширення вогню поверхнею твердих побутових відходів на робочій карті полігона та виникнення нових осередків горіння в разі сильного вітру;
- проникнення вогню у тверді побутові відходи на глибину до 2–2,5 м до ізолювального шару та утворення прогарів;
- самозагоряння твердих побутових відходів після гасіння пожежі;
- поширення вогню на сільськогосподарські угіддя та лісові масиви;



- виділення великої кількості диму та розповсюдження його на значну територію;
- наявність на окремих полігонах твердих побутових систем збирання, транспортування та накопичення біогазу;
- зсув укосів, складованих твердими побутовими відходами.

Під час гасіння пожежі на полігоні твердих побутових відходів Керівник гасіння пожежі (КГП) зобов'язаний:

- утворити Штаб на пожежі, до складу якого включити представників адміністрації полігона та місцевих органів влади;
- уточнити через уповноважених представників полігона глибину складування відходів, загрозу зсувів, небезпеку вибуху біогазу та наявність системи збирання біогазу;
- організувати оперативні дії з гасіння пожежі з урахуванням особливостей та небезпечних явищ, що можуть виникнути на полігоні твердих побутових відходів та узгоджувати їх з представниками адміністрації полігона;
- використовувати для гасіння стволи-розпилувачі. З метою підвищення ефективності гасіння та зменшення надлишкового зволоження твердих побутових відходів застосовувати воду зі змочувачем;
- визначати розстановку пожежно-рятувальної техніки, прокладання рукавних ліній та позиції ствольників у тих місцях, що виключають потрапляння особового складу під зсув твердих побутових відходів. Для пересування техніки та особового складу використовувати тимчасові дороги, облаштовані на полігоні;
- залучити інженерну техніку для насування ґрунту (не менше 0,2 метри) на верхній шар побутових відходів у місцях горіння на експлуатованих картах полігона, у подальшому утрамбувати його бульдозерами, катками або іншою технікою;
- забезпечити під час гасіння пожежі дотримання особовим складом заходів безпеки праці. Особливу увагу приділити організації заходів для недопущення провалювання людей і техніки в прогари та отруєння особового складу продуктами горіння під час тривалої роботи в зоні сильного задимлення;
- організувати після ліквідації пожежі проведення санітарної обробки особового складу, який брав участь у гасінні пожежі, за потреби направити його на медичне обстеження;
- провести дезінфекцію пожежно-рятувальної техніки та обладнання, що використовувалися під час гасіння пожежі.

З метою попередження виникнення пожеж на сміттєзвалищах, а також забезпечення протидії пожежам на території сміттєзвалищ повинні дотримуватись правила пожежної безпеки полігона побутових відходів (сміттєзвалища):

1. Керівництвом полігона побутових відходів має бути затверджена інструкція про заходи пожежної безпеки, в якій встановлюються порядок та спосіб забезпечення пожежної безпеки, обов'язки і дії працівників у разі виникнення пожежі, включаючи порядок оповіщення людей та повідомлення про неї пожежної охорони, евакуації людей, тварин і матеріальних цінностей, застосування засобів пожежогасіння та взаємодії з підрозділами пожежної охорони.

2. Керівник полігона повинен визначити обов'язки посадових осіб (у тому числі заступників керівника) щодо забезпечення пожежної безпеки, призначити відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, дільниць тощо, технологічного та інженерного устаткування, а також за утримання і експлуатацію технічних засобів протипожежного захисту.

3. Для розміщення первинних засобів пожежогасіння на території полігона побутових відходів (у господарській зоні) встановлюються спеціальні пожежні щити (стенди) згідно з вимогами Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 N 1417.

4. Пожежні щити на території об'єкта встановлюються з розрахунку один щит на 5000 м. кв. площі.

5. Усі працівники при прийнятті на роботу і за місцем роботи повинні проходити інструктажі з питань пожежної безпеки, які поділяються на вступний, первинний, повторний на робочому місці, позаплановий та цільовий.

6. Особи, яких приймають на роботу, пов'язану з підвищеною пожежною небезпекою, повинні попередньо (до початку самостійного виконання роботи) пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум). Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежною небезпекою, один раз на рік мають проходити перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з пожежної безпеки.

7. Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, протипожежного інструктажу і перевірки знань з питань пожежної безпеки, забороняється.

8. Використання пожежного обладнання, інструментів, інвентарю для господарських, виробничих та інших потреб, не пов'язаних з гасінням пожежі або навчанням протипожежних формувань, забороняється.

9. Кожний транспортний засіб, який працює на полігоні побутових відходів, має бути оснащений згідно з Правилами пожежної безпеки в Україні, затвердженими наказом Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 N 1417.

10. У приміщеннях під навісами та на відкритих майданчиках, де зберігається автотракторна техніка полігона побутових відходів, а також безпосередньо на робочих картах складування відходів забороняється:

– заправляти техніку паливом;

- заряджати акумулятори безпосередньо на машинах;
- залишати транспортні засоби з увімкненим запаленням.
- 11. Унаслідок біохімічних процесів у тілі полігона побутових відходів утворюється біогаз. Щоб запобігти його вибуху і пожежам створюється система вилучення та знешкодження біогазу.
- 12. Свердловини облаштовуються металевими, або полімерними трубами діаметром 200 мм і більше з перфорацією у заглибленій частині до 2,5–3,0 м.
- 13. У міру зростання шару відходів трубу слід нарощувати таким чином, щоб висота над поверхнею становила не менше 1,5 м.
- 14. Частина труби, що виступає над поверхнею, має бути пофарбована в яскравий оранжевий колір, щоб запобігти її руйнуванню транспортними засобами.
- 15. Якщо полігон побутових відходів має куполоподібну форму, дренажні свердловини для витікання біогазу можуть бути горизонтальними.
- 16. Заборонено палити і розпалювати вогнища на території полігона побутових відходів.

#### 5. Розроблення заходів з логістичного управління в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій на сміттєзвалищах ТПВ

Ліквідація пожежі або іншої надзвичайної ситуації на об'єктах, де експлуатуються тверді побутові відходи – складний процес, який вимагає відмінної організації та управління силами та засобами. Оскільки від моменту виявлення події до прийняття управлінського рішення щодо її ліквідації має проходити якомога менше часу, найважливішим завданням є власне організація та ефективне застосування наявних сил і засобів для локалізації надзвичайної ситуації. За умови визначення кількості сил і засобів з метою ліквідації надзвичайної ситуації необхідно враховувати параметри її змін, що у випадку пожежі – параметри і особливості пожежі. Керівник ліквідації надзвичайної ситуації в усіх випадках має виходити із необхідності забезпечення найбільш швидкої її локалізації усіма силами, що знаходяться в його розпорядженні, а також засобами.

Поруч з цим підвищення ефективності організації матеріально-технічного забезпечення оперативно-рятувальної служби цивільного захисту (ОРС ЦЗ) є одним із основних елементів економічної складової надзвичайних ситуацій, що є тісно пов'язаною з економічною безпекою країни в цілому. Ця система відіграє важливу роль як сполучна ланка між суб'єктами та об'єктами взаємодії, що формує попит на необхідність використання технічних засобів відповідного типу, призначення та забезпечує їх наявність. Водночас специфіка полягає в тому, що часто економічна ефективність сис-

теми є низькою та непродуктивною. Це відбувається через відсутність знань в царині управління, неналежні організаторські якості, а також чинники, які впливають на процеси прийняття управлінських рішень. На рис. 4 запропоновано алгоритм прийняття управлінських рішень в процесі ліквідації НС в межах сміттєзвалищ ТПВ.

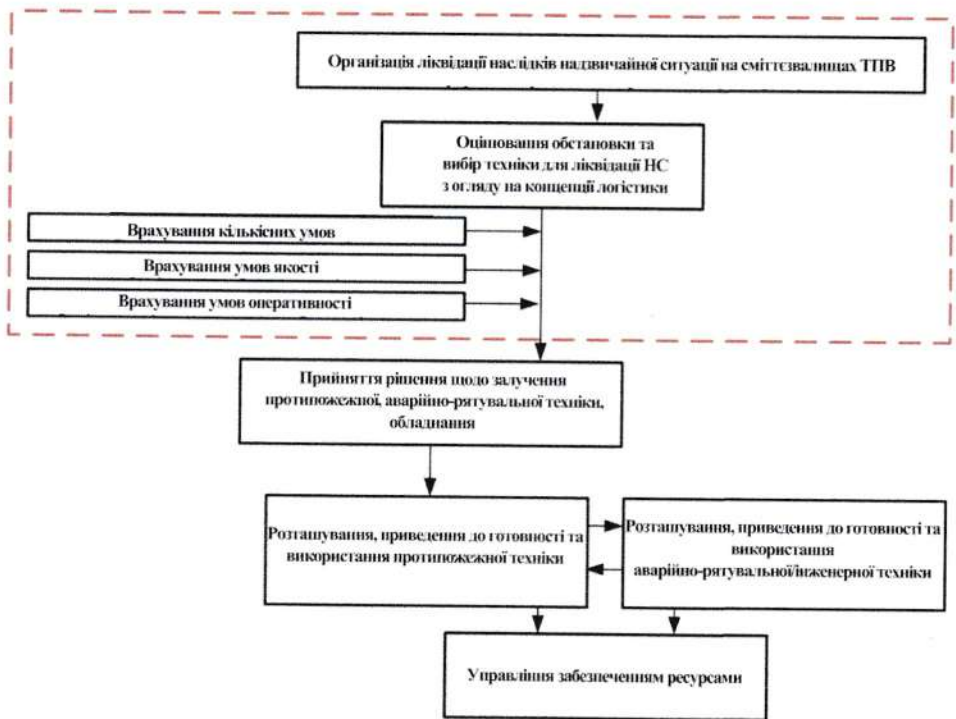


Рис. 4 – Алгоритм прийняття управлінських рішень в процесі ліквідації НС в межах сміттєзвалищ ТПВ (автор Товарянський В.І.)

Основними проблемними питаннями, які виникають під час ліквідації пожеж на ТПВ, є:

- невідповідність та непристосованість технічних засобів і обладнання;
- відсутність вмінь та навиків персоналу щодо організації та тактики використання технічних засобів та обладнання;
- виникнення умов, що ускладнюють можливість створення протипожежних відстаней (розривів);
- відсутність сучасних методів та методик, які дають змогу прогнозувати обстановку на пожежі, а також планувати та організовувати заходи щодо ефективного логістичного управління в процесі її ліквідації.

Зазначимо, що належному використанню матеріально-технічного забезпечення притаманні деякі особливості, а саме:

- матеріально-технічне забезпечення в цілому, як вид діяльності, може змінюватися, розвивається, переходити на якісно новий рівень;
- виникає необхідність досліджувати цей вид діяльності як специфічну систему відповідно до вимог економічної обстановки, аналізувати та розвивати її перспективні напрямки.

Крім того, вирішальною характеристикою такої системи логістичної діяльності є надійність та стійкість, з метою забезпечення яких необхідно:

- попередньо узгодити дії учасників процесу логістичного забезпечення;
- розробити запасні варіанти матеріально-технічного постачання як види резервів;
- створити в структурних підрозділах оптимальний запас матеріально-технічних ресурсів для практичної діяльності, забезпечити їх надійне зберігання та ефективне розміщення;
- організувати захист ресурсів від впливу шкідливих речовин, володіти відповідними засобами їх знешкодження;
- створити оптимальний запас матеріальних ресурсів виробничо-технічного призначення для відновлювальних робіт, попередньо розробити запасні варіанти доставки додаткових ресурсів.

Удосконалення логістичного управління в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій на полігонах ТПВ передбачає розкриття особливостей заходів, що базуються на основних концепціях логістики (рис. 5).



Рис. 5 – Мета логістики в управлінні ліквідацією надзвичайними ситуаціями на сміттєзвалищах ТПВ (автор Товарянський В.І.)

Для того, щоб розробити і запропонувати систему чи комплекс заходів для вдосконалення логістичного управління, потрібно попередньо виконати підбір обладнання для локалізації надзвичайної ситуації з використанням

таких ресурсів, які ефективно забезпечать уникнути наслідкам від її виникнення та розповсюдження. Зокрема, потрібно виконувати прогнозування розвитку, якщо справа стосується пожежі, як для найбільш вірогідної ситуації, так і ситуації, за якої на полігоні ТПВ при оптимально-можливому сприянні сил і засобів буде враховуватися вплив усіх вражаючих факторів. А тому, беручи до уваги вище зазначене, необхідно виконувати аналітичне моделювання дій, опираючись на логістичні концепції – системи поглядів на раціоналізацію діяльності підрозділів шляхом оптимізації спільних заходів взаємодії. Тому нами запропонована логістична концепція, яка, на нашу думку, враховуватиме усі ці фактори (рис. 6).

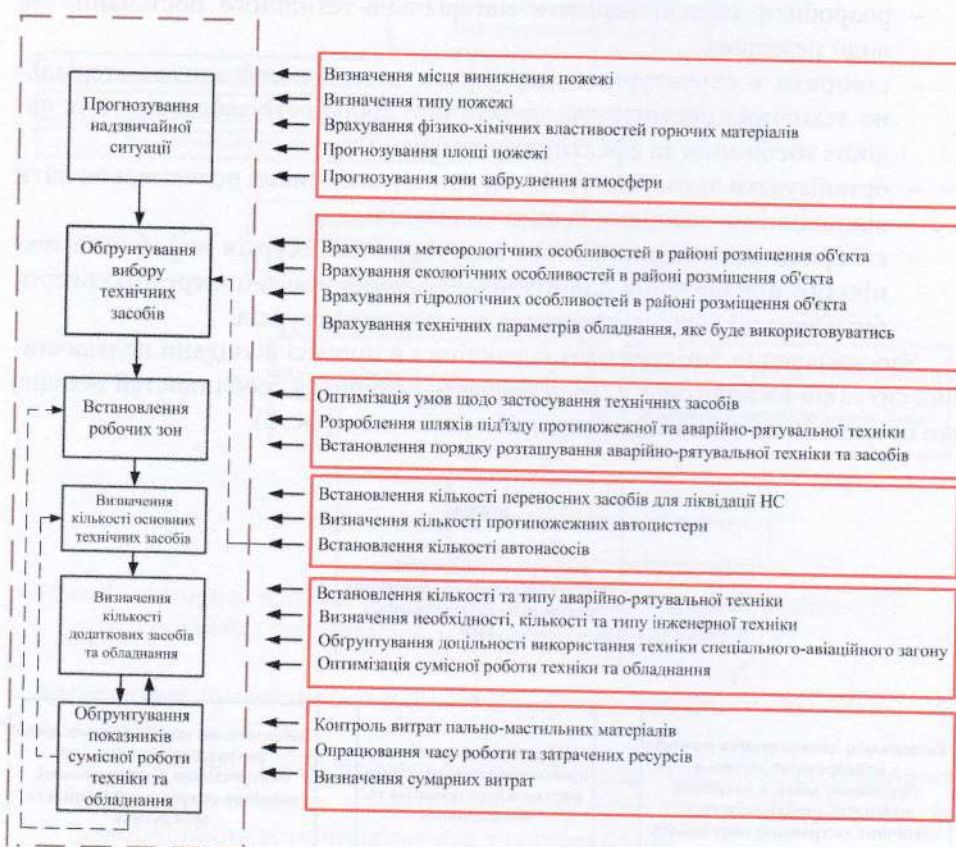


Рисунок 6 – Запроектована схема логістичної концепції для управління ліквідацією НС в межах сміттєзвалищ ТПВ (автор Товарянський В.І.)

Запропонована схема логістичної концепції являє собою прямолінійну послідовність етапів, результатом виконання яких є оптимізація заходів запобігання та ліквідації надзвичайної ситуації з урахуванням особливостей

кількісних характеристик наявних сил і засобів щодо заданих умов. При цьому враховується тип місцевості, усі необхідні умови з точки зору екології, ефективність методів реагування, максимальна ефективність дій сил і засобів задля мінімальних витрат на ліквідацію НС.

Потрібно зазначити, що запропонована схема є «гнучкою». Це пояснюємо тим, що її можна вдосконалювати, а також підлаштовувати для діяльності різних типів об'єктів, де експлуатуються ТПВ.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.4-2:2005 Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування.
2. Шмарін С.Л. Прогнозування викидів парникових газів з місць захоронення твердих побутових відходів в Україні: дис. канд. техн. наук: 21.06.01 – Екологічна безпека / Шмарін Сергій Левович. Київ, 2018. 189 с.
3. Звіт з оцінки впливу на довкілля Реконструкція полігону ТПВ м. Львова в с. В. Грибовичі Жовківського району Львівської області в об'ємі першочергових заходів з попередження надзвичайних ситуацій, ліквідації негативних наслідків аварії на землях Малехівської сільської ради №20189141712 [Електронний ресурс] // Київ, 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/1712/reports/d682d00bbc3218ca7c704235f6dcccfeb.pdf>.
4. Сарапіна М. В. Еколого-токсикологічний ризик професійного захворювання пожежників внаслідок ліквідації пожеж на звалищах / Марина Володимирівна Сарапіна // Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. №139. Харків, 2017. С. 73–78.
5. Наказ МВС України від 24.04.2018 року № 340 “Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж”.
6. Наказ МВС України від 30.12.2014 року №1417 “Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні”.
7. Наказ Міністерства з питань ЖКГ від 01.12.2010 року №435 “Про затвердження Правил експлуатації полігонів побутових відходів”.
8. Про охорону навколишнього природного середовища: закон України від 26 червня 1991 р. № 1268-ХІІ (з урахуванням поточної редакції від 22.04.2018 р.) // Відомості Верховної Ради України. – 1991. – № 41. – ст. 546.
9. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення: закон України від 24 лютого 1994 р. № 4005-ХІІ (з урахуванням поточної редакції від 28.12.2015 р.) // Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 27. – ст. 218.
10. Про поводження з радіоактивними відходами: закон України від 30 червня 1995 р. № 256/95-ВР (з урахуванням поточної редакції від 01.01.2018 р.) // Відомості Верховної Ради України. – 1995. – № 27. – ст. 198.

11. Про металобрухт: закон України від 05 травня 1999 р. № 619-XIV (з урахуванням поточної редакції від 15.09.2016 р.) // Відомості Верховної Ради України. – 1999. – № 25. – ст. 212.
12. Про екологічну мережу країни: закон України від 24 червня 2004 р. № 1864-IV (з урахуванням поточної редакції від 19.04.2018 р.) // Відомості Верховної Ради України. – 2004. – № 45. – ст. 502.
13. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування: наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 06 червня 2016 року № 138. – 2006. – шифр 138.
14. СНиП 2.06.01-86 «Гидротехнические сооружения. Основы положения проектирования»
15. Eurostat. 2017. Environment and Energy. — Environment. — Waste.
16. UNSD. 2017. UNSD Environmental Indicators — Waste. United Nations Statistics Division.
17. OECD. 2017. OECD Environmental Data — Waste. OECD.
18. National Status of Solid Waste Generation and Treatment, the Ministry of Environment, Korea, 2015.



**к.т.н. Павло Босак**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна  
pasha.bosak@ukr.net, +380971827288,  
ORCID: 0000-0002-0303-544X

**д.т.н., доцент Роман Ратушний**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна  
ratushnyi@ldubgd.edu.ua, +380676732980,  
ORCID: 0000-0003-0448-0331

**д.т.н., професор Василь Попович**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна  
popovich2007@ukr.net, +380676733265  
ORCID: 0000-0003-2857-0147

**к.т.н. Олег Стокалюк**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна  
stokoleg@gmail.com, +380679477353  
ORCID: 0000-0002-9877-771X

---

## АНЛІЗ НАКОПИЧЕННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВІДХОДІВ ПІДПРИЄМСТВ ВУГІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

### *ANALYSIS OF ACCUMULATION AND ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF WASTE OF COAL INDUSTRY ENTERPRISES*

#### Анотація

На сьогодні підприємствами вугільної промисловості класифікуються як зони підвищеної екологічної небезпеки. Однією з головних складових гірничовидобувної галузі є породні відвали, які виділяють в атмосферу понад 70 тис. т шкідливих речовин на рік. Чинниками екологічної небезпеки є забруднення атмосфери, ґрунтів, гідросфери продуктами горіння, які утворюються в результаті самозаймання породних відвалів та підтериконними стічними водами.

**Ключові слова:** технологічні відходи, терикони, екологічна безпека.

#### Abstract

Today, coal industry enterprises are classified as areas of high environmental danger. One of the main components of the mining industry are waste heaps, which emit more than 70 thousand tons of harmful substances per year. Factors of ecological danger are pollution of the atmosphere, soils, hydrosphere by combustion products, which are formed as a result of spontaneous combustion of waste heaps and subtericone sewage.

**Keywords:** technological waste, heaps, ecological safety.

## 1. Екологічні проблеми відходів підприємств вугільної галузі

Життя людини минає у створеному нею продукті історичного і особливо соціального розвитку людства – техногенному середовищі. Оскільки, техногенне середовище є продуктом суспільної діяльності людства, то для нього, як і для будь-якої форми діяльності, характерні наявність небезпеки й шкоди для довкілля та здоров'я людини.

Людська діяльність піднімає з глибин величезні маси ендегенних мінералів, збагачених рідкісними для поверхні хімічними елементами – важкими металами, радіонуклідами тощо, навіть незначні концентрації яких небезпечні для біоти.

Вугільна галузь України є важливою складовою промислового потенціалу, яка забезпечує розвиток провідних галузей економіки. Від ефективності та стабільності її функціонування залежить подальший сталий розвиток держави та енергетична безпеки [2, 4].

Важливе значення при добуванні вугілля має утворення породних відвалів (териконів), які, як відомо, є штучним насипом, концентратором «порожніх порід», витягнутих при підземній розробці вугільних родовищ. Цей вид твердих промислових відходів, крім того, що займає значні території, є комплексним джерелом негативного навантаження, щодо екології. За роки промислово-господарської діяльності людини на території країни було утворено і накопичено понад 1 млн м<sup>3</sup> відходів у вигляді породних відвалів. Зараз основне завдання полягає в розробці нових технологій з утилізації та переробки відвальної маси териконів. Залежно від технології відвалоутворення розрізняють конічні (терикони), хребтові і плоскі відвали. Найбільшої шкоди природному ландшафту завдає відсипання конічних й хребтових відвалів, висота яких в окремих випадках досягає 110-120 м [1].

На сьогодні гірнича галузь займає друге місце по викидах забруднюючих речовин в атмосферне повітря (рисунок 1). Екологічний стан вугільної промисловості ще більш ускладнюється із-за надмірного об'єму накопичення відходів, зокрема токсичних. Більшість накопичувачів не відповідають санітарно-екологічним вимогам, а також не гарантує виключення попадання токсичних елементів у довкілля. Основними джерелами утворення відходів є вугільна, металургійна, енергетична галузі.

Головні небезпечні процеси, які відбуваються на відвалах це, насамперед вітрова і водна ерозія, внаслідок чого забруднюється атмосферне повітря, ґрунтовий покрив і поверхневі та підземні води. Включення породних відвалів з недостатньо розвиненим фітоценозом в екомережу як відновлюваних територій і проведення фітомеліорації поверхні відвалів одночасно знизило б їх негативний вплив на довкілля.

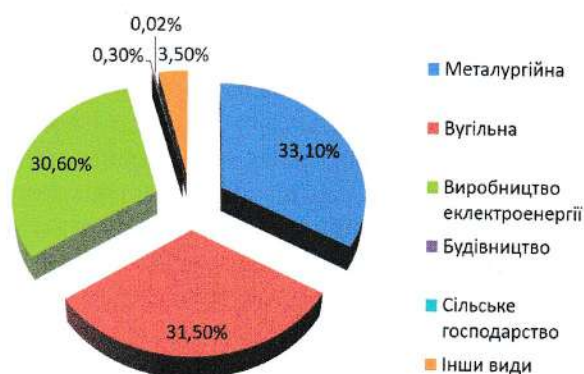


Рис. 1 - Кількість викидів в результаті діяльності підприємств забруднюючих речовин в атмосферу, % [2-3]

## 2. Вплив на довкілля териконів вугільних шахт

Одним з небезпечних процесів на териконах вугільних шахт є також горіння породи. Провідна роль при горінні породи належить діяльності мікроорганізмів, адже вміст сірки у відвалах часто сягає 10%, сульфідна сірка – 85%. Її окиснення здійснюється тіоновими бактеріями (*Thiobacillus ferrooxidans*). Тіонові бактерії являють собою, зазвичай, автотрофні мікроорганізми, що використовують  $\text{CO}_2$  для побудови свого тіла й отримують енергію при окисненні сірки і її відновлених продуктів. Вивчення умов розвитку мікроорганізмів у зонах окиснення сульфідних родовищ встановило їх стійкість при температурах від  $2^\circ\text{C}$  до  $70^\circ\text{C}$ , рН середовища – від 1 до 8. При цьому розвиток бактерій протікає в умовах високої вологості породної маси. Ці дані показують, що мікроорганізми стійкі в умовах кислого середовища, оскільки при окисненні сульфідів утворюється сульфатна кислота, проте вони переносять високих температур. Мікроорганізми здійснюють процес окиснення, який супроводжується виділенням тепла і розігрівають певну зону, а власне горіння може протікати всередині терикону в сприятливих умовах при доступі достатньої кількості кисню, коли відбувається загоряння органічної частини вугілля [1-3].

До гірничохімічних та енергетичних відходів можна віднести відходи вугледобування, фосфогіпс, хвости збагачення руд (сірчаніх, фосфоритних, калійних і т.п.), шлаки теплових електростанцій, шлами, кислі гудрони. Ці відходи характеризуються багатотонажністю і для уникнення екологічної небезпеки від їх нагромадження придатні лише технології багатотонажного застосування (виробництво будівельних матеріалів, будівництво автодо-

ріг, використання їх як матеріалу для заповнення пустот у відпрацьованих кар'єрах та шахтах тощо).

Крім того, при окисленні виділяється вуглекислота, нітроген оксид (IV), який із водою утворює нітратну кислоту. При нестачі кисню в осередках горіння в парогазових викидах міститися сірководень, вуглеводні, амоніак, оксид карбону (II). При виході на поверхню частина породного відвалу утворюють кірочки, нальоти, кристалічні або сферолітові агрегати нових мінералів, серед яких переважають сульфати, сульфіди і карбонати. Інша частина окиснених сполук випаровується в атмосферу, наповнюючи її шкідливими речовинами.

Горіння і окиснення відвальних порід супроводжується викидами широкого спектру леткими органічними речовинами, основним із яких є водяна пара, що утворюється при випаровуванні та потрапляють в зону атмосферних опадів, а також при вивільненні породової й кристалізаційної води безпосередньо з мінералів та порід. Для більшої частини новоутворених мінералів вода є мінералоутворюючим середовищем: гідрокарбонатів, фосфатів, карбонатів, сульфатів та разом з парогазовими викидами в атмосферу з боку шахтних териконів можуть потрапляти сполуки токсичних елементів – миш'яку, кадмію, ртуті. Розігрів органічної частини вугілля в осередках окиснення супроводжується її термічним розкладанням, аналогічним процесу піролізу. При цьому утворюються органічні компоненти: феноли, нафтопродукти, формальдегіди тощо.

Наприклад, у Китаї та Республіці Польщі інтенсивно розробляються системи моніторингу теплового стану вуглепородних відвалів і науковці запропонували системи дистанційного моніторингу з використанням тепловізорів, які значно полегшують проведення спостережень і здійснення контролю. Наприклад, необхідно досліджувати наявні способи моніторингу вуглепородних відвалів і прогнозувати місця виникнення осередків самозаймання з метою швидкого реагування на процес горіння відвальної маси, що підтверджує актуальність цієї проблеми для гірничопромислових регіонів. Тривимірна модель розподілу температури була розділена на три категорії на основі різних температурних рівнів, у якій спостерігалися зони. Запропонована методологія може бути корисна при проведенні моніторингу відвалів для своєчасного визначення місця розташування потенційних осередків та раннього попередження і запобігання загоряння.

В Австралії, крім випадків самозаймання відвалів, відзначаються також випадки самозаймання вугілля при веденні відкритих гірничих робіт. На сьогодні для профілактики загоряння відвалів розроблені спеціальні схеми укладання відходів, які не допускають надходження повітря в тіло відвалу. Попередньо на майданчиках, планованих для розміщення вуглепородних

відвалів, знімають верхній родючий шар ґрунту, потім створюють ізолюючий шар з інертних матеріалів по периметру відвалу на висоту кожного новоутвореного ярусу для запобігання виникненню окремих осередків горіння на глибині і переміщення їх від поверхні відвалу в сторону його укусу. Одночасно по зовнішньому контуру ярусів формують насип з інертних матеріалів, потім проводять відсіпання і складування породи вирівнюючого шару майданчика з подальшим ущільненням відвальної маси кулачковими катками. Після цього на схилах укладають шар ґрунту і навесні проводять садіння саджанців. Таким чином, вся бічна поверхня відвалу виявляється озелененою, що перешкоджає вітровій ерозії й надходженню повітря у відвал.

Проблема загоряння відвалів є дуже актуальною і для Німеччини. У роботі Пала М. Х. зазначається, що самозайманню відвалів сприяє проникненню кисню до відвальної маси через її пухке насипання. У 1967 році в Німеччині були видано директиви, що містять правила і технології відсіпання, в яких лімітувалася певна висота відсіпання відвалів. Також відвали пропонується рекультивувати та озеленювати, щоб використовувати їх як частину природного ландшафту.

Зростання концентрації кремнезему, глинозему і оксидів феруму обумовлено їх практично нерухомим станом в процесі окиснення. Ці компоненти не можуть переходити у високомінералізований водний розчин, що насичений сульфатами, тому їх концентрація збільшується завдяки винесенню рухомих компонентів з вихідних порід при окисненні або горінні останніх. При цьому монолітні породи стають пористими. У перехідних зонах ці пори заповнюють легкорозчинні водою сульфати, гідрокарбонати, а на видаленні від осередків окиснення, де вимивання цих мінералів атмосферними водами випереджає процеси їх утворення, спостерігається утворення порожнечі різної форми. Ці порожнечі утворюються на місці раніше існуючих окиснених мінеральних агрегатів і органічної речовини.

Таким чином, негативний вплив на довкілля породних відвалів в умовах урбанізованого середовища можна систематизувати, як:

- зміна гідрогеологічного режиму примикаючих територій;
- хімічна та радіологічна токсикація ґрунтів і стічних вод та порушення рівноваги геологічного, фізичного і механічного стану відвального масиву;
- видування і вимивання шкідливих компонентів, забруднення земель і зменшення їх родючості;
- спільний вплив відвалів вугільних шахт, які горять при змиканні зон поширення продуктів горіння;
- вплив на орні землі та кормові угіддя.

### 3. Рекультивация технологичних відходів гірничопромислових підприємств

Екологічна безпека шахтних породних відвалів в умовах урбанізованого середовища є негативною на біоту. Для її оцінки у кожному конкретному випадку потрібні спеціальні екологічні дослідження для розробки природоохоронних заходів щодо мінімізації негативних впливів на довкілля. Це, перш за все: запобігання викидам, організація поверхневого стоку, запобігання фільтрації атмосферних опадів у горизонти підземних вод, рекультивация та озеленення. Оптимальним є розбирання відвалів і утилізация породної маси з урахуванням її фізико-хімічних, фізико-механічних, мінерально-геохімічних властивостей.

Науковці запропонували ряд практичних рекомендацій для проектування і технічного обслуговування відвалів, а саме:

- в основі відвалу не повинно бути глинистих і сланцевих відкладень у зв'язку з тим, що такі породи можуть деформуватися і стискатися в зв'язку зі зміною вмісту в них вологи;
- основа повинна бути рівна і тверда, вільна від виходів на земну поверхню корисних копалин;
- вугілля і порожні породи повинні складуватися разом, для запобігання самонагрівання;
- породи слід укладати рівними шарами й ущільнювати;
- при проектуванні відвалу повинна бути врахована дренажна система;
- краще вибирати для розміщення відвалу долиноподібні рівнини для обмеження повітряного потоку;
- при виборі розміру і форми відвалів повинні враховуватися не тільки розрахункова місткість відвалу, а й принципи, що сприяють запобіганню самозаймання відвальної маси;
- вісь відвалу повинна бути обрана в напрямку переважаючих вітрів.

Негативні геофізичні процеси проявляються в різних аспектах. Породна маса має додатковий тиск на ґрунти основи терикону, що призводить до зміни їх фільтраційних властивостей. Однак найсуттєвіший вплив проявляється у заміщенні в зонах аерації ґрунтів і водовміщуючих породах, і це призводить до їх вторинної мінералізації, а також супроводжується перерозподілом більшої частини макро- і мікрокомпонентів. Таким чином, крім безповоротного втрачених ділянок ґрунту, що знаходяться в основі відвалів, з точки зору сільськогосподарського значення варто звернути увагу на інженерно-геологічні аспекти в частині впливу на ґрунти, які оточують терикони.

Викиди з боку териконів можуть поширюватися на сотні метрів, захоплюючи великі площі, в тому числі селітебні території. Компоненти викидів, осідаючи на земну поверхню, забруднюють ґрунти. При цьому формуються ореоли розсіювання. Найбільш забрудненими є заболочені ділянки долин

річок і балки. Досвід проведення періодичного екологічного моніторингу ґрунтів поблизу териконів показує, що такі ґрунти мають підвищений фон, який часто перевищує ГДК кадмію, арсену, ртуті, плумбуму і сульфат-іона. Головним джерелом забруднення ґрунтів даними компонентами є численні викиди з боку відвалів.

Самі терикони й ореоли розсіювання забруднюючих речовин в ґрунтах служать джерелами забруднення водного середовища сульфатами і токсичними компонентами. При цьому забруднюється поверхневий стік, що вилуговує розчинні сульфати з поверхні териконів і ґрунтів та підземні води в процесі інфільтрації забруднених атмосферними опадами. Відомо, що поверхневі та підземні води міської межі мають високу мінералізацію (більше 2 г/л), жорсткість (більше 15 мг-екв/л), сульфатно-натрієвий склад.

Скидання забруднених стоків згубно впливає на водні ресурси, особливо на малі річки, екологічний стан більшості з яких близький до критичного. Більшість річок поблизу вугільних відвалів належать до категорії «забруднених» і «дуже забруднених», а показники якості води в них значно перевищують ГДК забруднюючих речовин. Обстеження, що проводяться органами обласної санітарно-епідеміологічної станції, показують, що понад 60% проб води, взятих з відкритих водойм, не відповідають гігієнічним нормативам за хімічними показниками і майже 40% – бактеріологічними [1–3, 6].

Господарська діяльність вугільних підприємств призводить до значних порушень ландшафту на відведених землях. Так, площа порушених земель становить понад 20000 га., адже під відвалами зайнято значну кількість землі. Багато шахт ставлять питання про виділення нових земельних територій для відводів вод у зв'язку з тим, що більшість відвалів вичерпали свої ресурси і вимагають переформування з конусних у плоскі форми.

На сьогодні зниження негативного впливу на довкілля гірничопромислових комплексів здійснюється в основному за допомогою методів очищення і знезараження стічних шахтних вод, викидів в атмосферу, рекультивациі порушених земель, утилізації відходів. Але на жаль, практично всі ці методи спрямовані на усунення наслідків впливу існуючих технологій видобутку і переробки вугілля, а не на їх запобігання їм безпосередньо шляхом зміни технології виробництва. Як показує європейський досвід, шляхом будівництва природоохоронних об'єктів повністю вирішити проблему захисту біосфери від шкідливого впливу виробництва не вдасться. Тому, екологічна безпека в гірничопромислових районах залишається напруженою, триває щорічне накопичення твердих відходів видобутку і збагачення вугілля, велика кількість токсичних компонентів продовжує викидатися і розсіюватися зі стічними водами або концентруватися у відвалах вугільних шахт.

Основними джерелами викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря є діючий негорючий плоский породний відвал. Безперервна міграція до поверхні глибинних газів супроводжується більш-менш активним

рухом підземних вод закономірно призводять до утворення в вугленосних товщах вертикальної газової зональності і пов'язаної з нею гідродинамічної зональності. В ході прогнозування газоносності вугленосних товщах і в процесі експлуатації вугільних родовищ виділяють загальну газову зональність двох основних зон: зони неметанових газів (газового вивітрювання) з переважанням у складі природної газової суміші газів повітряного походження (азоту, вуглекислоти) і зони метанових (вуглеводневих) газів. Для антрацитів ще додається зона вуглекислих газів, яка обумовлена конверсією метану. Поряд із вивітрюванням, яке поширене в зовнішній частині териконів, всередині їх створюються сприятливі умови для окиснення і подальшого загоряння.

Загалом же, природні гази вугленосних відкладень являють собою багатоконпонентні суміші вуглеводнів виду  $C_nH_{2n+2}$  і неуглеводневих сполук: азоту, вуглекислого газу, сірководню, інертних газів (переважно He, Ar), водню, рідко – парів ртуті. Поза зоною газового вивітрювання вони представлені в основному метаном (вміст від 70 до 99%), важкими вуглеводнями (від слідів до 15–20%), азотом (від 1-5 до 25-30%) і вуглекислим газом (1,5–2,0%).

З віддаленням від поверхні метанової зони на більшості вугільних родовищ спостерігається інтенсивне зростання вмісту метану від 70 до 90-95%, при подальшому поглибленні відзначається деяке зменшення його вмісту до 80-85% шляхом зростання частки важких вуглеводнів. Концентрація азоту і вуглекислоти в природній газовій суміші з глибиною, зазвичай зменшується. Підвищена концентрація гелію пояснюється переважно приналежністю до зон неглибоко залягаючого кристалічного фундаменту і великих довгоживучих розломів, водню – до порушених зон і проявів магматизму.

Терикони вугільних шахт є значними забруднювачами біоти. Гірниче виробництво має найбільший вплив на біосферу і всі її елементи. З кожним роком шахти все більше впливають на довкілля через забруднення атмосфери, зміну водного режиму, забруднення і засмічення вод, осідання поверхні. До того ж, терикони займають невиправдано великі ділянки землі, які могли б бути використані набагато продуктивніше. Утворені шахтні відвали можна не накопичувати, а відразу використовувати в певних сферах виробництва, наприклад при будівництві доріг або виробництві будівельних матеріалів.

Видобуток і використання вугілля мають специфічний вплив на довкілля. З одного боку шахти використовують чисте повітря для вентиляції підземних виробок, воду для зрошувальних і протипожежних систем, лісоматеріали для кріплення. Водночас шахти, крім вугілля, видають відпрацьоване, насичене газами і пилом повітря, шахтні води, що містять хімічні і механічні домішки, гірські породи, що складуються у відвали й терикони. Видана на поверхню шахтна вода забруднена не тільки механічними домішками, але й значною мірою – мінеральними солями (рисунок 2-4).





Рис.к 2 – Загальний вигляд породних відвалів териконів шахти № 9 Нововолинського гірничопромислового району (фото автора Босак П.В.)



Рис. 3 – Загальний вигляд породних відвалів териконів шахти № 2 Нововолинського гірничопромислового району (фото автора Босак П.В.)



Рис. 4 – Загальний вигляд породних відвалів териконів шахти № 4 Нововолинського гірничопромислового району (фото автора Босак П.В.)

Увесь субстрат териконів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району є великозернистим, що спричиняє значну водопроникність і практично відсутність водопідйимальної здатності. Рельєф відвалів є також аномальним для прилеглих територій, характеризується висотою понад 60 м над рівнем місцевості, крутизна схилів може становити понад 45°, що спричиняє контрасти у надходженні сонячної радіації, змінюється вітровий режим, тобто, створюється особливий мікроклімат, який відрізня-

ється від загальних кліматичних умов місцевості. Формуються такі елементи мікрокліматичні умови.

У результаті аналізу статистичного розподілу потенційної інтенсивності впливів відвалів на довкілля були виділені чотири ступені їх екологічної небезпеки, які зображені на рисунку 5.

<b>I ступінь</b> –	Максимальна потенційна екологічна небезпека для біоти (небезпечні чинники знаходяться безпосередньо біля підніжжя терикону)
<b>II ступінь</b> –	Значний ступінь потенційної екологічної небезпеки (небезпечні чинники знаходяться в межах від 100 до 300 м від терикону)
<b>III ступінь</b> –	Висока потенційна екологічна небезпека (небезпечні чинники знаходяться на відстані від 300 до 500 м від терикону)
<b>IV ступінь</b> –	Середня потенційна екологічна небезпека (небезпечні чинники знаходяться далі 500 м від терикону)

Рис. 5 – Інтенсивність впливів відвалів на довкілля за ступенем їх екологічної небезпеки [1]

Рекультивация та фітомеліорація породних відвалів вугільних шахт. Перші спроби рекультивации територій, порушених вугільною промисловістю, розпочалися ще в кінці XVIII ст. у Німеччині, перед початком використання Рейнського буро-вугільного басейну. З початку XX ст. подібні роботи проводилися у США та Великій Британії. У цей час перевага надавалась найзручнішим та найменш затратним методам фітомеліорації – створенню лісових насаджень різного цільового призначення, що насамперед, передбачає покращення та охорону довкілля. Досить часто фітомеліоративні роботи обмежувались тільки заходами щодо сприяння природному відновленню порушених територій. Поряд із тим, на територіях значного відчуження сільськогосподарських та лісгосподарських угідь проводять також і дороговартісні заходи із відновлення порушених земель та повернення їх у сільськогосподарське й лісгосподарське використання.

На технологічному етапі проведення робіт із відновлення порушених територій перевага надається лісгосподарській фітомеліорації. Так, у Німеччині, на території Рейнського та Рурського вугільних басейнів до 1920 року, коли ще не проводилось селективне розкриття порід, відпрацьовані відвали

заліснювали тільки акацією білою (*Robinia pseudoacacia* L.) та вільхою чорною (*Alnus glutinosa* (L) Gaertn.). Заліснення порушених земель проводили і іншими листяними та хвойними деревними породами, зокрема дубом звичайним (*Quercus robur* L.), дубом північним (*Quercus borealis* L.), кленом-явором (*Acer pseudoplatanus* L.), модриною європейською (*Larix decidua* Mill.).

### 3.1. Фітомеліорація технологічних відходів гірничопромислових підприємств

Лісогосподарська фітомеліорація здійснюється, зазвичай, шляхом садінням невибагливих до ґрунтових умов деревних і чагарникових порід. На відвалах розробок корисних копалин у верхніх частинах схилів рекомендується садіння чагарники, в середніх частинах – деревні породи невибагливі до ґрунтових умов та зміни мікрокліматичних умов, біля підніжжя схилів – деревні пори, що характеризуються швидким ростом кореневої та надземної частин.

Варто виокремити значний обсяг фітомеліоративних робіт в Україні, що були проведені у ХХ ст.: створення у степовій і лісостеповій зонах системи полязахисних смуг; формування водорегулюючих та берегоукріплюючих насаджень у басейні Дніпра, пов'язаних із створенням Дніпровського каскаду водосховищ; заліснення Олешківських пісків та пісків Полісся; масове озеленення міст і робітничих селищ; біологічна рекультивация відвалів, териконів, кар'єрів, звалищ, створення протиерозійних посадок, створення промислових санітарно-захисних зон. На сьогодні площа цих фітомеліоративних посадок становить в Україні понад мільйон гектарів.

Розвиваючи ідеї В. І. Вернадського, про властивість «живої речовини» біосфери та В. М. Сукачова про біогеоценоз, як екосистему в межах фітоценозу, Ю. П. Бялович поділяє біотичні засоби оптимізації середовища на дві групи:

- фітомеліоранти, тобто угруповання автотрофів фотосинтезуючих продуцентів – вищих рослин і водоростей, в тому числі одноклітинних, лишайників;
- зоомеліоранти – угруповання гетеротрофів – тварин, за винятком найпростіших;
- протомеліоранти – переважають гетеротрофи, здебільшого редуценти – більшість бактерій і актиноміцетів.

Терикони розкритих порід за своєю якістю неоднорідні щодо придатності для біологічної рекультивации і умовно поділяються на чотири групи: цілком придатні; придатні; придатні після покращення; придатні після корінного меліоративного покращення. Як активна форма охорони природи, рекультивация включає в себе такі заходи:

- охорону і відтворення природних ресурсів, насамперед ґрунтових;
- створення нових природно-техногенних ландшафтів, які естетично цінні, оздоровлюють довкілля і мають продуктивні біогеоценози.

Лісові насадження визнані потужним ґрунтоутворюючим фактором, який значно впливає на їх морфологічну будову, фізико-хімічні та біологічні властивості. При створенні лісових насаджень акцентується увага на підборі асортименту деревних видів, які здатні підвищувати родючість ґрунтосумішей.

Встановлено, що мікоризація сприятливо впливає на водний баланс рослин, підвищуючи їх посухостійкість. Узагальнюючим показником позитивного впливу ектомікоризи на розвиток рослин є кращий їх ріст. Штучна мікоризація позитивно впливає на приживлюваність і подальший ріст сіянців, висаджених на лісокультурній площі. На техногенних об'єктах, за нестачі доступних для рослин елементів мінерального живлення (особливо нітрогену і фосфору), несприятливому водному і повітряному режимі наявність мікоризи є важливим фактором адаптації рослин до змінених умов середовища.

Початковою стадією сукцесійного ряду розвитку рослинності нерекультивованих породних відвалів приурочена до всіх екоотопів, відзначена деревна стадія, яка характерна для окислених порід десятирічного періоду. Встановлено, що сформовані внаслідок самозаростання природні фітоценози, доцільно використовувати для формування своєрідного фітокаркасу, що дозволить уникнути технічного етапу рекультивациі. Поряд з тим, пропонується підсилювати окремі властивості природних фітоценозів, шляхом впровадження швидкоростучих оліготрофів, здатних формувати значну підземну і надземну біомасу та збагачувати едафотопу органічною речовиною. Збагачення фітоценозів на окремих ділянках слід проводити з урахуванням особливостей поширення зональної рослинності [1, 5-7].

Відвали шахтних порід після винесення їх на поверхню землі трансформуються, потрапляючи в нові умови термодинамічного режиму. Унаслідок процесів вивітрювання відбуваються зміни хімічних та фізичних властивостей.

Відкрите видобування корисних копалин призводить до техногенної трансформації природного середовища. Внаслідок вуглевидобувних розробок на території Малого Полісся, що є пониженою акумулятивно-денудаційною рівниною з високим рівнем залягання ґрунтових вод, утворилися штучні озера, які виступають у ролі новоутвореного техногенного елемента ландшафту, що видозмінює первинний природний. Більшість техногенних озер дуже малі. Вони характеризуються складною будовою ложа, неоднорідністю мікрорельєфу, формування якого здебільшого, підпорядковувалось технологічним факторам експлуатації, внаслідок чого в розподілі глибин немає чіткої закономірності та розвиненої літоральної зони.

Розвиваючись згідно із природними закономірностями, озера підлягають поступовому природному заростанню, що зумовлює відновлення рослинного покриву – найбільш важливої та інформативної складової біогеоценозів.

Важливим аспектом, який є маркером успішності перебігу природних фітомеліоративних процесів, є те, що на територіях, які межують із техногенно девастрованими ділянками відбувається вивчення видового різноманіття прибережно-водної рослинності водойм, котрі утворились внаслідок гірничих розробок.

Проведене дослідження у Нововолинському гірничопромисловому районі показало, що заростання досліджуваного озера відбувається за природним типом, тобто з утворенням трьох смуг рослинності: повітряно-водної, з плаваючими листками та зануреної. Специфіка сформованого на цей час рослинного покриву – це переважання ценозів, утворених повітряно-водними рослинами. Вони простягаються по периметру озер, на глибині до 3 м, утворюючи часто безперервну смугу, ширина якої залежить від глибини і є мало-розвиненою через вузьку смугу літоралі та круті ухили дна від берега.

На береговій лінії досліджуваної водойми із трьох боків виявлені поодинокі типові гідрофільні деревні види – верба біла (*Salix alba* L.) і вільха сіра (*Alnus incana* (L.) Moench.), які є маркерами зволжених місцезростань.

Друга смуга рослинності з плаваючими листками розміщується до глибини водойми 0,3-3,0 м і складається із угруповань за участю переважаючих рдесників та поодиноких глечиків жовтих.

Занурена рослинність спостерігається на глибині в діапазоні до 4,5 м і структурно складається із ценозів кушира зануреного, водопериці зануреної та водяного жовтецю закрученого. На досліджуваній території відновлення континууму рослинного покриву відбувається за рахунок формування вищої прибережної, прибережно-водної та водної рослинності.

На сьогодні доведено, що крім виділення клітинами кореня в ризосферу різних хелаторів на стійкість рослин до важких металів впливає і їх взаємодія з мікроорганізмами ризосфери. При цьому показано, що в присутності ризобактерій ріст рослин, уповільнених дією токсичних іонів, відновлюється шляхом покращення всмоктування необхідних елементів мінерального живлення і зміни балансу фітогормонів, зокрема, обмеження синтезу етилену. Здатність зв'язувати метали описана для багатьох типових представників ризосферної мікрофлори: *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* (рисунок 6).

Дослідження вмісту важких металів у рослинності породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району показало значне накопичення кадмію спостерігається у корі (5,25 мг/кг) та (2,75 мг/кг) корінні *Salix caprea* L. Такий нерівномірний розподіл вмісту кадмію у різних частинах дерев викликаний місцем їх зростання та близькістю коріння до підтериконових стічних вод із високим вмістом важких металів. Аналізуючи вміст плумбуму в рослинній сировині встановлено, що високий його вміст накопичується у коренях берези (2 мг/кг) та корі верби (0,71 мг/кг). Спостерігається значна акумуляція купрум та цинку у корі сосни (14,50 мг/

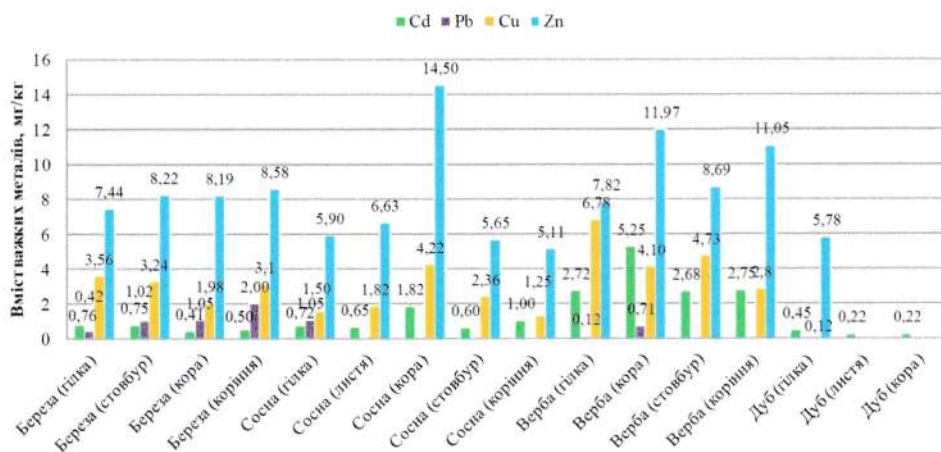


Рис. 6 – Вміст важких металів у рослинних зразках породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району [1]

кг) та верби (11,97 мг/кг). Такий високий вміст забруднень пояснюється пористою структурою деревини. Вміст кобальту та нікелю у зразках рослинності не перевищують ГДК.

#### 4. Шляхи зниження рівня екологічної небезпеки відходів вугільної галузі

Вирішувати проблеми екології гірничих підприємств в повному обсязі можна лише на державному рівні та при залученні нових технологічних підходів до вуглевидобувної галузі в цілому. Це можливо при виділенні додаткового фінансування коштом фонду охорони природи, залученні приватних та іноземних капіталів, виконанні заходів, що впливають з Державних програм розвитку паливно-енергетичного комплексу України.

Заходи щодо зменшення небезпеки та негативного впливу породних відвалів гірничопромислових підприємств на довкілля:

- підготовка технічних рішень щодо покращення екологічної безпеки гірничопромислових підприємств;
- розробка проектів утилізації та озеленення породних відвалів;
- проведення інвентаризації виробничих відходів і викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел підприємств, включаючи терикони вугільних шахт;
- паспортизація породних відвалів вугільних шахт.

З метою подолання екологічної кризи та зміни негативної екологічної ситуації в якості системного опрацювання, що містить інструкції екологічної безпеки, залишкові запаси, оцінку ризику для біоти, технологію рекультива-

ції, методи і засоби моніторингу, умови використання після рекультивації у гірничопромислових комплексах необхідно більше приділити увагу в екологічному оздоровленню довкілля, відтворенню й охороні його ресурсів, поліпшенню природних життєвих умов. При організації управління екологічною безпекою в гірничих підприємств повинен бути застосований комплексний підхід у здійсненні ефективного екологічного управління, зокрема, при розробці екологічної безпеки на довкілля, визначенні основних цілей і завдань у цій галузі, організації діяльності, мотивації та контролі. Першочерговими заходами в цьому напрямку є: перегляд екологічного управління, відповідне коригування (розробка) екологічної стратегії, методів тощо.

Для вирішення проблем екологічної небезпеки в гірничопромислових комплексах необхідно провести:

- розробка екологічного паспорта гірничопромислового району;
- реалізацію та контроль за виконанням екологічного управління в гірничопромисловому районі;
- забезпечення екологічної безпеки териконів (шахтних порід) гірничопромислового району: попередження аварійних викидів (скидів), ліквідація наслідків забруднення довкілля в результаті можливих аварій і катастроф;
- мінімізацію екологічної небезпеки гірничопромислового району на довкілля (фітомеліоративні відтворення, рекультивація териконів, утилізація породних відвалів тощо).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Босак П. В. Екологічна безпека стічних вод породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району: дисертація на здобуття кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». Львів, 2021. 218 с.
2. Гладій О.В. Сутність проблеми накопичення техногенних відходів, техногенних родовищ в Україні. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. 25. 2017. С.65–68
3. Попович В. В. Еколого-техногенна небезпека сміттєзвалищ і наукові основи фітомеліоративних заходів їх виведення з експлуатації: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». Львів, 2017. 480 с.
4. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Кіровоградської області у 2019 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://ekolog.kr-admin.gov.ua/files/DOP\\_01\\_09\\_2020\\_2019.pdf](http://ekolog.kr-admin.gov.ua/files/DOP_01_09_2020_2019.pdf).
5. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, 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). 24–38. DOI: 10.33271/mining13.01.024.

6. 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>
7. Popovych, V., Kuzmenko, O., Voloshchyshyn, A., Petlovanyi, M. (2018). Influence of man-made edaphotopes of the spoil heap on biota. *E3S Web of Conferences*. 60. 00010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000010>.



**к. т. н. Роман Сукач**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна

sukach.r@gmail.com, +380677297897,  
ORCID: 0000-0003-4174-9213

**к. т. н. Володимир-Петро Пархоменко**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна

rvpo2018@gmail.com, +380938510600,  
ORCID: 0000-0001-7431-4801

**к. т. н. Володимир Товарянський**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна  
vi\_tovarianskyi@ukr.net, +380977082659,

ORCID: 0000-0002-4484-8164

---

## ЗАХОДИ ЩОДО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВИНИКНЕННЯ НС НА ПОЛІГОНАХ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ НА ПРИКЛАДІ ЛКП «ЗБИРАНКА»

*MEASURES TO PREVENT EMERGENCIES ON DUMP OF SOLID HOUSEHOLD WASTE  
ON THE EXAMPLE OF LME «ZBIRANKA»*

### Анотація

У цій роботі проведено детальний аналіз полігону твердих побутових відходів ЛКП «Збиранка». Внаслідок проведеного аналізу представлено опис основних характеристик планової діяльності полігону ТПВ, опис поточного стану довкілля, а саме зміни клімату і мікроклімату, геологічного середовища території, атмосферного повітря. Також було виділено місцеві умови при розрахунку забруднення атмосфери, водних ресурсів та поверхневих вод і поводження з полігонними фільтратами. Результатом проведення даної роботи стали запропоновані заходи щодо забезпечення безпеки полігону ТПВ ЛКП «Збиранка», які значно покращать його стан пожежної та екологічної безпеки. До них віднесено закупівля сучасної техніки та створення добровільної пожежної команди на території полігону ТПВ.

**Ключові слова:** полігон, звалище твердих побутових відходів, надзвичайна ситуація, пожежна безпека, екологічна безпека, транспортні засоби, пожежна техніка.

### Abstract

In this work, a detailed analysis of the dump of solid household waste LME "Zbyranka". The analysis describes the main characteristics of the planned activities of the landfill, a description of the current state of the environment, namely changes in climate and microclimate, geological environment, air. Local conditions were also identified in the calculation of air pollution, water resources and surface waters and the treatment of landfill filtrates. The result of this work were proposed measures to en-

sure the safety of the dump of solid household waste LME "Zbyranka", which will significantly improve its fire and environmental safety. These include the purchase of modern equipment and the creation of a voluntary fire brigade on the landfill.

**Keywords:** landfill, dump of solid household waste, emergency situation, fire safety, ecological safety, vehicles, fire equipment.

## 1. Вступ

З розвитком торгово-ринкових відносин збільшується кількість пакування (паперова обгортка, жерстяні банки, поліетилен, пластикове пакування та ін.), що призводить до збільшення обсягів відходів. Після остаточного розміщення відходів на полігонах твердих побутових відходів (ТПВ) відбувається забруднення повітряного середовища, ґрунту, підземних та поверхневих вод та прилеглих до нього територій. На сьогоднішні 94,1% побутових відходів в Україні захоронюються на полігонах та сміттєзвалищах, лише 2,7% спалюється та 3,2% потрапляє на заготівельні пункти та сміттєпереробні комплекси. Низька культура суспільства щодо поводження з відходами уможливорює ймовірність появи нових несанкціонованих сміттєзвалищ, що утворюються біля автомобільних шляхів, залізниць, лісів, полів, та на околицях населених пунктів.

Не кращою є ситуація у Львівській області, де станом на 01 вересня 2021 року захоронення відходів відбувалося на 20 діючих санкціонованих звалищах/полігонах, з яких 4 потребують паспортизації та 10 рекультиватії. Ці об'єкти здебільшого є перевантаженими та не відповідають нормам екологічної безпеки, що може призвести до надзвичайних ситуацій (далі НС) з екологічними наслідками. Така надзвичайна ситуація, а саме пожежа і зсув відходів, спостерігалися на Львівському міському полігоні ТПВ 29 травня 2016 р. Згідно із доповіді щодо хронології пожежі та ліквідації наслідків НС відомо, що о 05 год. 07 хв. на території полігону твердих побутових відходів ЛКП «Збиранка» виникла пожежа площею 2000 м. кв. Для ліквідації даної пожежі залучались 27 одиниць техніки та 88 осіб особового складу підрозділів ДСНС України. Дані про локалізацію пожежі отримано о 18 год. 20 хв., ліквідація – о 07 год. 40 хв. 30 травня 2016 року.

Після ліквідації пожежі особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів залишилися для проведення моніторингу горіння, пошуку не виявлених осередків пожежі та їх проливання, з метою унеможливити повторне займання.

О 15 год. 06 хв. 30 травня 2016 року до пункту зв'язку оперативно-диспетчерської служби оперативно-координаційного центру ДСНС України у Львівській області надійшло повідомлення про обвал частини схилу сміттєзвалища, під завали якого потрапили троє рятувальників 17 ДПРЧ міста

Жовква та працівник комунального підприємства «Збиранка». Загальна площа обвалу становила 30 000 м. кв.

При отриманні даної інформації до пошуково-рятувальних робіт було залучено 500 чоловік особового складу та 70 одиниць техніки ГУ ДСНС України у Львівській області.

О 21 год. 15 хв. 31 травня 2016 року було знайдено тіла трьох рятувальників однак тіла працівника ЛКП «Збиранка» до сьогоднішнього дня залишається незнайденим.

Пошуково-рятувальні роботи по пошуку тіла працівника ЛКП «Збиранка» продовжувались щоденно аж до 04 серпня 2016 року. За результатами робіт було здійснено:

- розчищення ставків з інфільтратами об'ємом 6 930 м. куб.;
- пересипання сміття в секторах об'ємом 98 219 м. куб.;
- загальна прохідність екскаватора 2 200 метрів (з моменту початку робіт);
- обстежено площу близько 21 100 м. кв. що складає близько 96% від доступних та можливих місць виконання пошуково-рятувальних робіт у секторах першої черги району пошукових робіт (крім площі завалів у ставках інфільтратів);
- ліквідацію ще восьми пожеж на території Львівського комунального підприємства «Збиранка» в період з червня по липень. До ліквідації було залучено загалом 28 одиниць пожежної техніки та 111 осіб особового складу пожежно-рятувальних підрозділів;
- завезення 3 7884 м. куб. глини, яку сплановано на площі 20 800 м. кв. на поверхні сміття.

Дані аналізу дій під час ліквідації НС на території ЛКП «Збиранка» відкривають безліч питань для подальшої діяльності полігонів твердих побутових відходів як Львівської області так і України в цілому. Тому, дана тематика є актуальною та потребує подальшого розвитку та вирішення проблематики належного улаштування полігонів для складування твердих побутових відходів та забезпечення їх екологічної та пожежної безпеки.

## 2. Аналіз полігону твердих побутових відходів (ТПВ) ЛКП «Збиранка»

ЛКП «Збиранка» розташоване у селі Великі Грибовичі Жовківського району Львівської області, приблизно на відстані 5-7 км від межі міста Львова. Поблизу розташовані села Малехів (2 км на південний схід), Грибовичі (2,5 км на північний захід), Великі Грибовичі (1 км на північний схід) та Збиранка (1,5 км на захід).

ЛКП «Збиранка» – діюче підприємство, що займається збиранням та захороненням відходів. Полігон ТПВ знаходиться на земельній ділянці загальною площею 38,8 га.

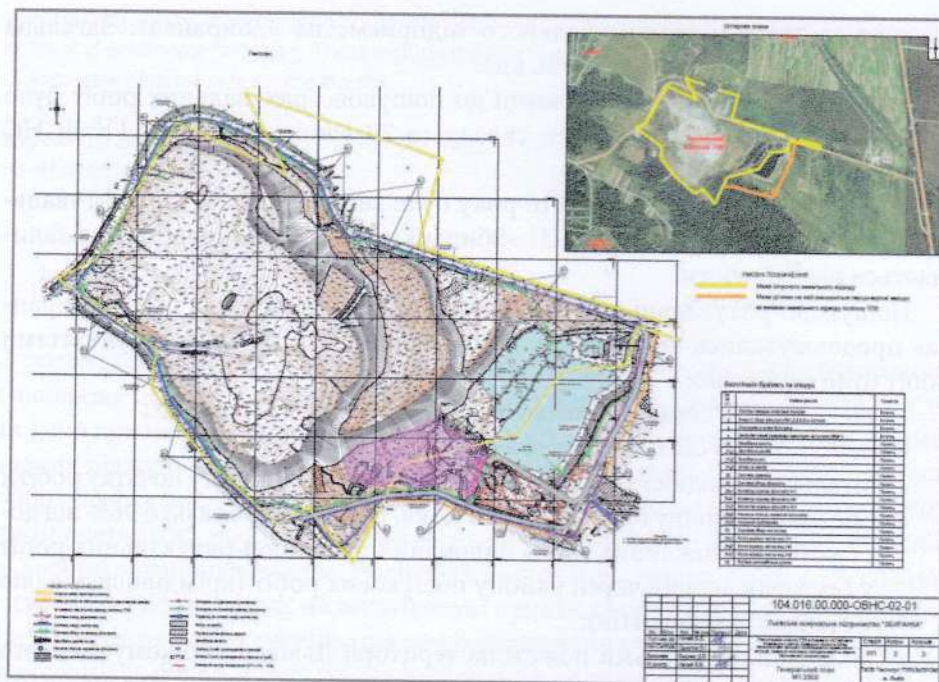


Рис. 1 – Генеральний план полігону ТПВ м. Львів ЛКП «Збірника» [3]

Полігон в с. Великі Грибовичі, який перебуває під управлінням міста Львова, діяв впродовж 1957–2016 років і приймав в пізніші періоди експлуатації приблизно 240 000 тон відходів на рік. На сьогодні полігон має орієнтовну місткість понад 11 млн. куб. м. Його не обладнано захисним екраном, або мережею відведення фільтрату. Полігон ТПВ приймав відходи 3 та 4 класів небезпеки з м. Львова та з більшої частини населених пунктів, розміщених в Жовківському та Пустомитівському районах Львівської області.

30 травня 2016 року в південно-західній частині полігону стався зсув великої маси твердих побутових відходів, що були заскладовані в верхньому ярусі експлуатаційних карт полігону. На теперішній час в місці зсуву в тілі полігону продовжується утворення заколів та поступове осідання незначних ділянок заскладованого сміття.

Земельна ділянка існуючого полігону твердих побутових відходів включає:

- полігон ТПВ;
- споруди збору та очистки фільтрату;
- господарську зону: побутовий корпус, механічну майстерню, бокс для автомобілів, повітки (3шт), склад;
- КТП 10/0,4 кВ (100 кВА);

- об'єкти контролю та перепуску транспорту: контрольно-пропускний пункт, вагові (2 шт.), яму для миття коліс;
- систему дегазації (власність фірми ТзОВ «Гафса», знаходиться в неробочому стані).

За даними Львівського комунального підприємства «Збиранка» на полігоні твердих побутових відходів накопичено 14,3млн. тон твердих побутових відходів.

Основний масив звалища розташований в межах ділянки, площа якої становить 26,5 га. На даний час поверхня полігону ТПВ являє собою терасований схил, на якому фіксуються три основні техногенні тераси, схили яких лежать під кутами 25–45°. У нижній частині полігону ТПВ розташовані існуючі та збудовані резервуари-накопичувачі стічних вод та витоків фільтрату.

Згідно додатку 4 ДСП 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів» полігон ТПВ відноситься до II класу (Санітарно-технічні споруди та установки комунального призначення. п.3. Полігон твердих побутових відходів) з санітарно-захисною зоною 500 м.

Звалище характеризується складною формою. Воно було закладено в днищі природної балки на рівні абсолютних відміток 274–280 метрів. В північно-західному напрямку балка розгалужується на два окремих яри, що «врізаються» в східний схил Малехівський гряди, яка в привододільній частині лежить на висотах 350–360 метрів. На південний схід від звалища рельєф місцевості перетворюється в інтенсивно обводнену рівнину. Таким чином, підшва звалищного масиву має вигляд кривої площини із загальним напрямом нахилу на південний схід.

Поверхня полігону – терасований схил, на якому чітко фіксуються три основні техногенні тераси (блоки), площини яких характеризуються горбисто-похилими поверхнями, а схили лежать під кутами 25–45°.

Найнижча серед терас була сформована на першому етапі заповнення полігону. Її поверхня лежить на відмітках 293–300 метрів, а підніжжя опускається до висот 274–280 метрів. Товщина відходів складає 5–13 метрів.

Середня техногенна тераса утворена на стадії інтенсивної експлуатації полігону. Вона охоплює територію 11–13 га і розташовується в його центральній частині. Її поверхня знаходиться, головним чином, на абсолютних відмітках 332–334 метрів. Товщина відходів змінюється від 20–40 метрів.

Верхня техногенна тераса займає північно-західну частину полігону. Поверхня тераси, практично по всій площі, лежить на абсолютних відмітках 347–350 метрів і лише в південно-східній частині полого знижується до висот 345 метрів. Загальна товщина шарів сміття в її межах змінюється від 7 до 30 метрів.

### 3. Опис поточного стану довкілля

#### 3.1. Клімат і мікроклімат

Клімат району проектованої діяльності є помірно-континентальний. Місцевість характеризується теплим літом з рясними дощами та помірно м'якою зимою з частими відлигами та снігопадами.

Пересічна температура липня +17,7°C; січня -4°C; середньорічна температура +7,4°C. Середня максимальна температура + 23°C; середня температура найбільш холодного періоду – 20°C.

Таблиця 1. Температура зовнішнього повітря

Середня температура по місяцях											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-4	-2,7	1,4	7,9	13,4	16,3	17,7	17,2	13,0	8,0	2,5	-2,2

Середньорічна сума опадів складає 742 мм на рік; з них у зимовий період до 150 мм (11%). Найбільше число опадів випадає у липні, серпні й вересні – по 83,1 мм (44%). Літом опади випадають у вигляді зливових дощів, які сильно впливають на режим рік. Річні й місячні суми опадів часто коливаються. За кількістю опадів район відноситься до вологої зони.

Стійкий сніговий покрив утворюється в кінці другої декади грудня і остаточно сходить у другій-третьій декадах березня. Висота снігового покриву змінюється від 9 до 43 см.

Глибина промерзання ґрунту: максимальна – 61-70 см, мінімальна – 25 см, середня – 38 см. Найбільша глибина промерзання ґрунту сягає 84 см. Нормативна глибина промерзання ґрунту – 0,8 м.

Для району характерна середня вологість повітря, середньомісячне значення якої складає 79%. Також характерні різкі коливання тиску, що спричинені частими змінами напрямку руху повітряних мас.

Протягом року переважають західні, південно- та північно-західні вітри. Гранічна швидкість вітру 6,4-8,0 м/с. Середня швидкість – 3,0 м/с.

Таблиця 2. Напрямок і швидкість вітру Переважний напрям вітру (чисельник), %. Середня швидкість вітру за напрямками (знаменник), м/с

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
3	ПдСх	ПдСх	ПдСх	ПдСх	3	3	3	3	3	ПдСх	3
28/ 4,0	29/ 4,0	27/ 4,1	19/ 3,7	22/ 3,2	27/ 3,0	29/ 2,8	27/ 2,6	28/ 2,9	23/ 3,4	25/ 4,0	27/3 ,9

### 3.2. Геологічне середовище.

В геологічній будові району досліджень бере участь строкатий комплекс верхньої крейди, неогену та четвертинні відклади.

Практично всюди з поверхні залягають різні за генезою та літологічним складом накопичення плейстоцену. Найбільш поширення серед них є еолово-делювіальні лесовидні супіски та суглинки. Вони суцільним плащем покривають Малехівське лесове пасмо, вододіли та схили височини Розточчя. Їх потужність визначається положенням у рельєфі та змінюється від 1-3 до 10-20 м.

Складені лесовидні ґрунти переважно шаруватими супісками палевого та жовтуватого-коричневого кольору з лінзами та тонкими прошарками дрібного і пілуватого піску.

Часто у нижній частині товщі залягає шар дрібнозернистих пісків з прошарками лесовидних супісків.

Такого типу породи залягають і безпосередньо під сміттєзвалищем. Товщина шару цих відкладів під ним складає 8-10 м.

У міжпасмовій улоговині, долинах річок і потоків та днищах ярів і балок залягає товща алювіальних, алювіально-пролювіальних та алювіально-делювіальних відкладів голоцену та верхнього плейстоцену. Вони представлені пластичними супісками, м'яко-та тугопластичними суглинками, дрібнозернистими пісками, часто з домішками органічних решток та уламків осадових порід. Інколи зустрічаються заторфовані відміни вказаних вище порід. Загальна їх потужність коливається від 4 до 12 м. Окремих шарів від 0,5 до 2,0 м.

Неогенові відклади підстеляють описані вище осадки четвертинного віку і мають чітку геоморфологічну приуроченість. Вони поширені лише у межах височини Розточчя. Їх потужність коливається у дуже широких межах від 10-15 до 35-50 м і контролюється глибиною залягання верхньокрейдових мергелів.

Накопичення неогенового комплексу представлені верхньо- та нижньо-баденським під'ярусами. Відповідно тираським і опільським горизонтами. У літологічному складі товщі зверху переважають різнозернисті кварцові піски з прошарками вапняковистих пісковиків, у нижній – хомогенні ратинські вапняки. На окремих ділянках товщина шарів піску скорочується і в розрізі переважають вапняки.

Верхньокрейдові відклади у районі робіт представлені маастрихтським ярусом. Вони на відміну від накопичень неогену поширені на всій території. Характерною особливістю їх є значний діапазон коливань глибини залягання. Навіть у межах контуру полігону та ділянок, що безпосередньо прилягають до нього вона змінюється від 16 до 35 м. На більших віддальх різниця сягає декількох десятків метрів.

Наприклад, якщо покрівля мергелів біля звалища знаходиться на абсолютній позначці 326 м, то біля школи у с. Великі Грибовичі вона знижується

до 243 м. Тобто, різниця становить 83 метри. Такі масштабні коливання глибини залягання мергелів істотно впливають на гідрогеологічні умови території. Зокрема, на умови формування вод та напрямку руху. Другою особливістю відкладів крейди є наявність у їх верхній частині кори вивітрювання, складеної мергелистою глиною. Її потужність змінюється у широких межах від 1-3 до 5-10 м і більше. Наявність глинистого шару над тріщинуватими мергелями з одного боку сприяє формуванню напору у водоносному горизонті, з іншого – покращує їхній природний захист від забруднення.

### 3.3. Атмосферне повітря

Спостереження за станом повітряного середовища в Львівській області здійснюється Львівським регіональним центром з гідрометеорології ДСНС України. Стан атмосферного повітря характеризують фонові концентрації забруднюючих речовин, що співставляються з максимально-разовими гранично-допустимими концентраціями (ГДК). Фонові концентрації визначаються за даними стаціонарних спостережень як рівень концентрацій, що перевищується в 5% випадків від загальної кількості спостережень.

В районі розміщення полігону ТПВ відсутні стаціонарні пости Львівської РЦГМ зі спостереженням за станом атмосферного повітря.

У таблиці 3 наведені величини фонових концентрацій для забруднюючих речовин, отримані розрахунковим методом.

Таб. 3. Значення фонових концентрацій забруднюючих речовин

Код	Найменування речовин	Концентрація, мг/м <sup>3</sup>
301	Азоту діоксид	0,008
303	Аміак	0,08
330	Діоксид сірки	0,02
333	Сірководень	0,0032
337	Вуглецю оксид	0,4
410	Метан	-
2902	Завислі речовини (пил)	0,05

### 3.4. Місцеві умови при розрахунку забруднення атмосфери

Розрахункова температура при визначенні приземних концентрацій, що дорівнює середній температурі найжаркішого місяця (липня) о 13 годині, становить 22,7°C. Максимальна швидкість вітру, повторюваність якої перевищує 5%, становить 12 м/с.



Метеорологічні характеристики і коефіцієнти, що визначають умови розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері Жовківського району Львівської області, наведені в таблиці 4.

Таб. 4. Метеорологічні характеристики і коефіцієнти

Метеорологічні характеристики	Коефіцієнти
Коефіцієнт, залежний від стратифікації атмосфери	200
Коефіцієнт рельєфу місцевості	1
Середня максимальна температура повітря найбільш спекотного місяця, Т°С	+22,7
Середня максимальна температура повітря найбільш холодного місяця, Т°С	-3,1
Середньорічна повторюваність напрямку вітру в % для рози вітрів	
Пн	7,4
ПнС	5,7
С	9,5
ПдС	20,9
Пд	8,9
ПдЗ	11,7
З	23,3
ПнЗ	12,6
Середня швидкість вітру, повторюваність перевищень якої складає 5 %	12-13 м/с

У 2008 році фірмою ТзОВ «Гафса» була побудована система дегазації. За даними ТзОВ «Гафса» було пробурено 160 свердловин. Вони розташовані серповидними та радіально-променевими кущами відповідно з морфологією окремих блоків полігона.

Свердловини пробурені шнеками діаметром 300 мм до основи тіла полігону. Газ відсмоктувався вакуумним пластинчато-роторним насосом. Відділення парів води виконувалось на фільтрато-відділювачі. Охолоджений газ через лічильник поступав на вузол збору, де спалювався.

У цей час газозбірні свердловини та газові колектори засипані 5 м шаром відходів. Установка утилізації біогазу знаходиться в незадовільному стані і потребує повного перевлаштування.

Дослідження атмосферного повітря в районі полігону проводилося компанією EGIS на 7 точках вимірювання з 19 по 20 вересня 2017 року у житло-

вих районах та межах ділянки. Вимірювання проводили протягом щонайменше 1 години за допомогою датчика Multi RAE Lite, оснащеним зондами  $\text{CH}_3\text{SH}$  (меркаптани),  $\text{H}_2\text{S}$ , ЛОС та  $\text{NH}_3$ . За винятком точки на вершині полігону, жодні міри не перевищували межі кількісного визначення датчика. На полігоні було помічено лише низьку концентрацію  $\text{CH}_3\text{SH}$  (менше част./млн.).

### 3.5. Водні ресурси

Територія впровадження планованої діяльності характеризується складними гідрогеологічними умовами.

У відповідності до геологічної будови тут виділяється три водоносні комплекси: четвертинний, неогеновий і верхньокрейдовий. Практично всі вони використовуються для водопостачання прилеглих населених пунктів. Основним джерелом децентралізованого водопостачання сіл Великі Грибовичі, Малехів та міста Дубляни є четвертинний водоносний горизонт еолово-делювіальних лісів та пісків. У с. Малі Грибовичі для цього використовуються води переважно алювіально-делювіальних відкладів, меншою мірою (на схилах) лісів.

Важливою особливістю вод цього горизонту є достатньо близьке від поверхні залягання, легка доступність для використання, непогана якість води і, у той же час, висока вразливість до антропогенного забруднення через абсолютну природну незахищеність. Територія с. Збиранка завдяки надзвичайно високій дренованості території глибокими ярами по суті є безводною.

Для питних потреб у ньому використовуються головним чином джерельні води, що формуються на контакті мергелистих глин і відкладів неогену. Ці джерела розташовані у глибоких ярах на південно-західній та північно-західній околицях села, у зв'язку з чим створюють значні проблеми при їх експлуатації. Іншим джерелом водопостачання є крейдовий водоносний горизонт, води якого подаються з глибокої (76 м) водозабірної свердловини.

Четвертинний водоносний комплекс включає водоносні горизонти сучасних, верхньо- та середньо-четвертинних відкладів. Враховуючи той факт, що між ними не існує водотривких шарів їх можна розглядати як єдиний водоносний горизонт. Умови залягання, закономірності поширення, живлення, напрямок руху у різних місцях досліджуваної території істотно відрізняються. Води цього водоносного горизонту у межах вододільної частини Розточчя, де власне розташований полігон, завдяки сильному і глибокому розчленуванню цієї частини території взагалі відсутні.

Результати буріння свердловин показали, що четвертинний водоносний горизонт, який формується поза межами звалища у лесовидних супісках Малехівського пасма, в силу особливостей рельєфу дронується системою меліоративних каналів, одна з яких розташована на південній околиці с. Ве-

ликі Грибовичі, а інша на північній околиці с. Малехів. Це дає підставу стверджувати, що води цього водоносного горизонту, які формуються поблизу звалища не доходять до сіл Великі Грибовичі, Малехів та міста Дубляни.

Виняток можуть становити лише частина криниць у с. Малехів, які розташовані у заплаві р. Малехівки і можуть під час повеней дренувати забруднені води цієї річки. У той же час, не слід виключати можливість їх забруднення і водами схилових та привододільних ділянок підземного потоку, який також спрямований до русла річки. Для з'ясування особливостей руху ґрунтових вод у західній і східній частинах с. Великі Грибовичі був розбурений поперечний профіль свердловин, який охоплював вододільну та придолинні (північну та південну) частини села.

Отримані дані показали, що ґрунтові води розтікаються від вододілу, на якому розташована головна магістраль села у північному та південному напрямках до найближчих природних дрен: меліоративної системи каналу Яричівський тамеліорованого потічка, що протікає на південній околиці села. Це ще раз підтверджує що води четвертинного водоносного горизонту від звалища не надходять до села.

Найбільш вразливим до забруднення є четвертинний водоносний горизонт алювіально-делювіальних та алювіально-болотних відкладів, що формується у внутрішньопасмовій улоговині, яка безпосередньо прилягає до південно-східної межі звалища (до збірників фільтрату). Тут завдяки особливостям рельєфу та геологічної будови води четвертинного горизонту залягають практично біля поверхні, не мають жодного природного захисту, є найменш вразливими до забруднення і рухаються у напрямку с. Малехова. Глибокими свердловинами, пробуреними по периферії полігона води неогенового водоносного горизонту виявлені не були.

У той же час, наявність значної кількості джерел, що формуються на контакті неогенових відкладів з мергелями верхньої крейди свідчать проте, що води цього горизонту зустрічаються спорадично і формуються у сприятливих для цього геологічних умовах. Враховуючи цілковиту їх незахищеність вони є досить вразливими до забруднення.

Верхньокрейдовий водоносний горизонт є найбільш поширеним на території досліджень. У зв'язку з наявністю напорів він відноситься до артезіанських. Завдяки строкатості геологічної будови та широкому діапазону коливання абсолютних позначок його поверхні, глибина залягання рівня води змінюється у дуже широкому інтервалі. Найбільшими глибинами характеризуються зазвичай вододільні території. Наприклад, у свердловині, пробуреній безпосередньо на смітнику рівень води цього горизонту зафіксовано на глибині 42 м, а у днищі яру, південніше с. Збиранка він знаходиться на 6 м.

Карта п'єзогідроізогіпс, збудована за даними буріння низки глибоких свердловин показує, що територія сміттєзвалища є не лише вододілом у ре-

льєфі, але й вододілом підземних вод. Звідси вони розтікаються в напрямку найближчих дрен, якими є глибокі яри, що оточують полігон. Тобто, ці води рухаються у напрямку сіл Великі та Малі Грибовичі, Збиранка, Малехів та міста Дубляни.

Наявність у верхній частині товщі мергелів, мергелистих глин та значний їх напір робить цей горизонт більш захищеним від забруднення у порівнянні з іншими. У той же час, незначна їх потужність, подекуди повна відсутність і наявність численних тектонічних порушень дають підставу відносити його також до мало захищених, а на окремих ділянках зовсім незахищених від забруднення. На Грибовицькому полігоні ТПВ тектонічні розломи не виявлені.

Розглядаючи питання захищеності вод цього горизонту слід враховувати також глибину його залягання, товщину зони аерації та ступінь тріщинуватості верхньої частини мергелистої товщі. У межах контуру полігона найбільшою захищеністю характеризується невеликий за площею майданчик, що знаходиться на найвищих абсолютних висотах, де у зоні аерації знаходиться вся товща четвертинних і неогенових відкладів та верхня частина нетріщинуватих мергелів загальною потужністю 38 м. Натомість, уже на віддалі декількох десятків метрів, де ґрунтова товща розтинається глибокими ярами, захищеність цього горизонту різко зменшується.

Наведені дані свідчать про те, що підземні води у районі полігона захищені недостатньо. Розглядаючи питання захищеності вод цього горизонту слід враховувати також глибину його залягання, товщину зони аерації та ступінь тріщинуватості верхньої частини мергелистої товщі.

У довколишніх селах є декілька криниць. Їх орієнтовна кількість така: Збиранка – 22, Великі Грибовичі – 85, й Малехів – 150. Але за інформацією Жовківського районного відділу ДУ «Львівський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України», в трьох колодязях житлової забудови села Малехів, яке розташоване поряд з полігоном ТПВ та нижче за течією підземних вод, результати дослідження колодязних вод показали, що в усіх пробах є перевищення норм кадмію в 2,8-4,4 рази і що вода бактеріально забруднена (загальні колиформи – 2,3 КУО, норматив  $\leq 1$ ).

### 3.6. Поверхневі води

Полігон охоплює південно-східні схили та верхню частину місцевого вододілу, сформованого верхніми плесами долини річки Малехівка і струмка, який протікає через с. Малі Грибовичі та впадає в р. Стара Малехівка – це рівнинна річка. На ній немає рибних господарств і не проводиться промислове рибальство. Річка використовується лише для рекреаційного рибальства.

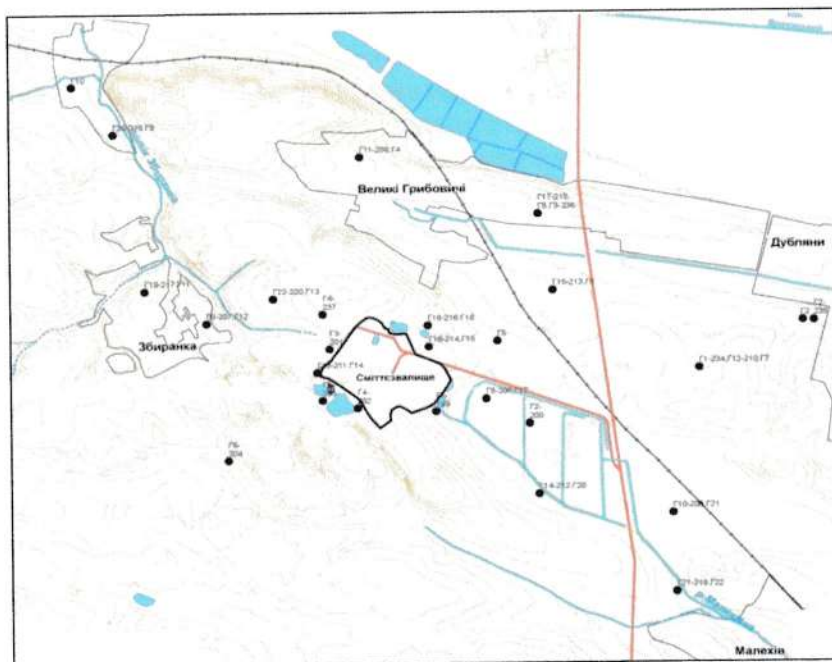


Рис. 2 – Карта-схема розташування гідрографічної мережі в районі розташування полігону ТПВ [3, 5]

### 3.7. Полігонний фільтрат

Фільтрат, що утворюється з тіла полігону очищається на станції фізико-хімічної очистки фільтрату. Для повної доочистки до стану ГДК очищений станцією фільтрат подається на міські очисні споруди напірним трубопроводом для подальшої доочистки.

Збірник фільтрату, що утворився за захисною дамбою внаслідок техногенної аварії 30 травня 2016 року є обвалованим і фільтрат з нього по мірі накопичення перекачується у відстійник накопичувач за допомогою переносної мотопомпи.

### 4. Запропоновані заходи щодо забезпечення безпеки полігону

Здійснивши ґрунтовний аналіз діяльності та усіх основних та кліматичних показників території на якій розміщений полігон ТПВ Львівського комунального підприємства «Збиранка» запропоновано ряд заходів щодо належного укомплектування, забезпечення необхідних екологічних норм та попередження виникнення аварійних ситуацій, а саме:

- закупівля сучасної техніки;
- створення добровільної пожежної команди.

Відповідно для облаштування ділянки ТПВ дані впровадження мають відбутись з виготовленням проектної документації, прозорими відкритими тендерами та з дотриманням усіх можливих норм законодавства.

Запропоновані заходи позитивно вплинуть на екологічну та пожежну безпеку не тільки самої території полігону але і Жовківського району та міста Львова в цілому, адже ці впровадження надають можливість правильного складування та забезпечення вимог до утримання полігонів ТПВ, а також стануть прикладом для сусідніх областей.

Вибір відповідної техніки надзвичайно важливий через екстремально суворі умови проведення робіт на полігоні. Помилка при виборі типу, або класу машини може спричинити великі матеріальні затрати. Звичайні, або не адаптовані до умов роботи на полігоні технічні та транспортні засоби, не в змозі довготривало працювати у важких умовах. Встановлені на заводі-виробнику елементи та функції захисту допомагають запобігти попаданню сміття у відповідальні компоненти машини. Це допомагає продовжити термін служби і скоротити простої в роботі. Найбільші перспективи мають постачальники обладнання, що володіють широким спектром машин, які враховують особливості різновидів відходів і водночас добре узгоджені з вимогами замовника.

Робота на сміттевому полігоні крім спеціальної підготовки вимагає особливих заходів щодо підвищеної концентрації уваги, оскільки потрібно постійно відстежувати, де знаходяться інші машини і чи є поблизу персонал, щоб уникнути надзвичайних ситуацій. Крім того, необхідно мати уявлення про процес надходження та інтенсивності потоків відходів, періоди пікових навантажень, а також досконально знати функціональні та технічні можливості техніки, рельєф місцевості і маршрути руху сміттевозів. Оператор технічних засобів повинен оперативно оцінювати глибину шару відходів, щоб успішно виконувати свою роботу.

В основному, звезені на полігон відходи переміщуються і розрівнюються спеціальними машинами на базі колісних та гусеничних транспортних засобів. Сюди відносяться технічні засоби, які дають змогу не тільки розрівняти і перемістити відходи в різні боки, а й зруйнувати, можливість подрібнити, ущільнити, а також пересипати ґрунтом. Тому, для окремих функцій застосовують певний тип технічного засобу.

Одними з найбільш поширених на сміттєзвалищах ТПВ технічними засобами є *бульдозери* – транспортні засоби, в основному, на гусеничному шасі, що мають обладнання ковшоподібної форми в передній частині, яке дає змогу переміщати за один прохід до 3,5 м<sup>3</sup> ТПВ. Відвал, що входить до складу обладнання, змонтований на штовхальній рамі, шарнірно закріплений в секції навантажувача. Машини для первинної обробки відходів, такі

як гусеничні бульдозери та ущільнювачі, необхідні для виконання щоденної поточної роботи відповідно до нормативних вимог. Гусеничні бульдозери використовуються для розподілу відходів по робочій поверхні, а також для їх попереднього ущільнення. ТПВ повинні розподілятися тонким шаром товщиною не більше 60 см, що пояснюється спрощенням технології його ущільнення. Досягнення високого ступеня ущільнення відходів має важливе значення для управління сучасним полігоном ТПВ, оскільки це підвищує безпеку, забезпечуючи стійку поверхню, на якій працюють машини і персонал, а також дає змогу максимально збільшити віддачу від інвестицій в інфраструктуру. Гусеничні бульдозери Dressta TD-20M масою 28 тон та потужністю двигуна 128 кВт використовуються на полігонах для підготовки ділянки під закладення сміття, створення під'їзних шляхів, а також для розподілу і попереднього ущільнення відходів. Завдяки низці опцій такі машини адаптуються для роботи на будь-яких полігонах ТВП. Напівсферичний, або сферичний відвал дає змогу захопити значний обсяг відходів. При роботі зі сферичними відвалами, які мають велику масу, потрібно використовувати додаткові противаги, які забезпечує ваговий баланс машини. Також поширеним є бульдозер Dressta TD-20M LGP LA, при використанні якого забезпечується низький тиск на ґрунт з прямим відвалом для сміття. Загальний вигляд Dressta TD-20M зображено на рисунку 3.



Рис. 3 – Гусеничний бульдозер Dressta TD-20M [6]

В 2019 році компанія Case Construction Equipment (США) представила абсолютно нову версію бульдозера Case 2050M, спеціально розроблену для полігонів ТПВ. За даними виробника, новий зразок техніки більш досконаліший та захищений від дії сторонніх чинників. Case 2050M – найпотужніший бульдозер виробника для подібних цілей, який має двигун потужністю 173 кВт і масу 22539 кг. Нова версія оснащена системами захисту для

високопродуктивної роботи в умовах великомасштабних полігонів ТПВ. Додаткові переваги:

- комплект ущільнення шасі, виготовлений з листової сталі, для перекриття зазорів і запобігання попаданню та накопиченню сміття;
- новий попередній очищувач Sy-Klone Series 9000 з екранами, що запобігають потраплянню пилу і сміття в повітряну систему двигуна;
- підсилена решітка радіатора, що захищає від ударів і сміття;
- підсилена система захисту головної передачі з декількома захисними кожухами ущільнення, які запобігають намотування матеріалу і дроту. Загальний вигляд Case 2050M зображено на рисунку 4.



Рис. 4 – Загальний вигляд бульдозера Case 2050M під час роботи на полігоні ТПВ [7]

Універсальний бульдозер Caterpillar Cat D9T WH (рис. 5) являє собою важку (маса 50 тон), маневрену машину для розподілу і ущільнення відходів, обладнану двигуном C18 ACERT потужністю 306 кВт. Ця модель пристосована для точного профілювання ґрунтової поверхні після засипки. Для роботи на полігоні на бульдозер встановлені додаткові елементи захисту: бічні кришки пазів радіатора, перфоровані захисні панелі двигуна, шумоізолявані щитки на днище рами, захист сальників бортових редукторів, щитки напрямних коліс, щитки сальників осі гойдання, захист гідробака системи робочого обладнання і паливного бака, щиток трубопроводів гідроциліндра нахилу. Платформа оператора оснащена швидкознімними панелями, що полегшує її регулярне очищення. У конструкцію системи відпрацьованих газів включені ізолявані захисні екрани з металевими кожухами для випускних колекторів, а також впускні патрубки для подачі повітря в турбокомпресор та глушник. У відцентровому фільтрі попереднього очищення повітря двигуна шляхом обертання робочого колеса, що приводиться в дію потоком



повітря, сміття розподіляється на периферії і подається назовні. Вентилюваний генератор високої потужності забезпечує додаткове живлення для допоміжного електроустаткування. Повітропровід запобігає потраплянню сміття в генератор. Для збільшення продуктивності при роботі з ТПВ бульдозер D9T WH можна також оснастити спеціальним відвалом у верхній частині, щоб сміття не перекидалось на капот, кутовими передніми і задніми відбійними брусами, опорами гусеничних стрічок, через які сміття виштовхується провідним колесом назовні. Бульдозер D9T WH оснащений електрогидравлічним диференціальним рульовим керуванням, що дозволяє постійно зберігати тягу на обох гусеницях при поворотах.



Рис. 5 – Загальний вигляд бульдозера Caterpillar Cat D9T під час роботи на полігоні ТПВ [8]

Поруч з бульдозерами, часто використовуються також навантажувачі або компактори – транспортні засоби, основною функцією яких є захоплення та піднімання обсягу ТПВ на певну висоту з метою подальшого переміщення. Версія навантажувача Dressta серії 534 LA (рис. 6) масою 20,8 тонн зі сталевими колесами, з двигуном Cummins потужністю 169 кВт використовується для ущільнення відходів. Машина оснащена захисними пристроями, відрізняється посиленою конструкцією і модифікованою кабіною, демонструє високу продуктивність при роботі з відходами.

Компанія Caterpillar для роботи з відходами пропонує декілька моделей гусеничних навантажувачів, зокрема 953K WH, 963K WH і 973D WH. Найважча машина 973D WH (рис. 7) масою 29555 кг і потужністю 196 кВт має набір захисних елементів сальників бортових редукторів, передніх напрямних коліс, трубопроводів гідроциліндрів і гідророзподільника. Конструкцію доповнюють посилений бампер, захист радіатора і вітрового скла. Навантажувач 973D WH має гідростатичний привід з безступеневим регулюванням швидкості



Рис. 6 – Навантажувач Dressta 534 LA масою 20,8 т зі сталевими колесами [9]

машини до 11 км/год і може оснащуватися ковшами двох типів, об'ємом 4,9 та 4,6 м<sup>3</sup>, а також розпушувачем. Компактор може працювати в економічному режимі з автоматичним перемиканням передач і обмеженням максимальної частоти обертання колінчастого вала двигуна. Це дозволяє оптимізувати продуктивність і зменшити витрату пального. Один важіль (система Cat STIC), що поєднує в собі функції вибору напрямку руху, перемикання передач і зміни кута повороту керованих коліс, дозволяє легко маневрувати на важкій машині поруч з сміттєвозами, самоскидами і бульдозерами.



Рис.7 – Компактор Caterpillar 973D WH [10]

Компактори для полігонів фінської компанії TANA з жорсткою конструкцією рами і двома широкими вальцями розроблені, щоб забезпечувати більш широке охоплення поверхні осередку полігону за один прохід. Крім того, з-під робочих органів викидається менше сміття порівняно з чотирьохколесними машинами. Компактор TANA, як і більшість подібних машин, розділений на дві частини: передню з відвалом і задню, де розташований двигун. Робоче місце оператора знаходиться в передній частині на відміну від більшості традиційних машин. Це дозволяє збалансувати масу і забезпечує оператору хороший огляд відвалу. Крім того, жорстка рама забезпечує постійний дорожній просвіт розміром 890 мм, а схема з двома вальцями дозволяє зменшити їх діаметр і відповідно збільшити частоту обертання для більш ефективного дроблення сміття без ризику зниження прохідності. Лінійка ущільнювачів TANA включає п'ять моделей з гідростатичним приводом, починаючи з E260 (рис. 8) масою 26 тон і закінчуючи E520 масою 52 тон.



Рис. 8 – Компактор-подрібнювач TANA E260 [11]

Компанія BOMAG пропонує найбільший в галузі ряд ущільнювачів сміття, 12 моделей масою від 24 до 55 тон, які виробляються в Німеччині. Відмінною особливістю компактнів BOMAG є колеса Premium з полігональними ущільнювальними сегментами і навареними кованими зубами. Такий дизайн дозволяє виробляти подрібнення матеріалу і ущільнення за допомогою зубів, а також додаткове ущільнення за допомогою полігональних сегментів. Колеса Premium легко справляються з будівельним сміттям, наприклад, можуть дробити шматки залізобетону. Передні і задні скребки на кожному колесі призначені для очищення налиплого сміття, забезпечення максимального проникнення кулачків в шар відходів, щоб стиснути більше матеріалу в одиниці об'єму. Шарнір з болтовим з'єднанням забезпечує хитання напіврам на 15° в двох напрямках і підтримує колеса в постійному контакті зі сміттям, забезпечуючи перепад коліс до 90 см. Компактори-ущільнювачі BOMAG повністю охоплюють смугу за два проходи. Передні і задні колеса встановлені із

зсувом колії, тому після двох проходів неуцільнених ділянок практично не залишається. Застосування гідростатичного приводу дозволяє знизити витрату палива і збільшити силу тяги. Кожне колесо має індивідуальний привід, що забезпечує хорошу прохідність. Дефлектор з ріжучою кромкою біля основи кожного колеса служить для запобігання намотування проводів і дроту. Днище рами ущільнювачів BOMAG має герметичну конструкцію для захисту двигуна і трансмісії, тому потрапляння сміття всередину виключено. BOMAG пропонує кілька типів відвалів для різного застосування, зокрема моделей з вантажним ковшем, які можуть використовуватися на полігоні не тільки як компактор, але і як фронтальний навантажувач.



Рис. 9 – Компактор-навантажувачі BOMAG [11]

У широкій лінійці техніки компанії XCMG, найбільшого виробника в КНР, представлені три моделі компакторів ТКО ХН233], ХН263] і ХН283] експлуатаційною масою 23, 26 і 28 тон. Чотириколісні ущільнювачі обладнані гідромеханічною трансмісією з перемиканням передач під навантаженням і двигуном потужністю 192 кВт. Відвал висотою 2000 мм дозволяє переміщати великий обсяг сміття. Система гідравліки оснащена пріоритетним клапаном рульового управління. З особливостей можна відзначити централизовану систему змащення і систему зрошування робочих органів.



Рис. 10 – Компактор-навантажувач XCMG [11]

Потрібно зазначити, що ефективність роботи будь-якого компактора можна підвищити, якщо замість стандартних кулачків, встановлених виробником, використовувати спеціалізований комплект кулачків для конкретного застосування, наприклад, для роботи на схилах або для подрібнення специфічних матеріалів.

У разі виникнення надзвичайної ситуації, зокрема пожежі, вище перелічені технічні засоби можуть ефективно використовуватися. Це пояснюється тим, що природа виникнення пожеж має свої особливості. ТПВ можуть згоряти по всій площі полігону, причому пожежа може поширюватися в товщі шарів сміття, на глибині 3–5 м, про що свідчить надмірне димоутворення. При чому, практика свідчить, що переважає тління, а полуменеве горіння спостерігається в меншій мірі. Тому, для забезпечення належного пожежогашіння, необхідно застосування протипожежної техніки з насосним устаткуванням, що забезпечить достатні величини подачі та напору води до місця виникнення й поширення вогню.

Потрібно відзначити, що сьогодні не існує особливих зразків пожежної техніки, яка є пристосованою саме для полігонів ТПВ. Вищезазначена техніка може використовуватися, зокрема, під час гасіння пожеж на полігонах чи складах ТПВ (рис. 11).



Рис. 11 – Використання навантажувача під час гасіння сміттєзвалища ТПВ (Україна, Львівська обл., 2021 рік) [12]

У разі виникнення пожежі до її місця прибувають пожежно-рятувальні відділення на основних протипожежних автомобілях – автоцистернах. Однією з таких є АЦ-4-60(5309)515М (рис. 12), яка повільно «витісняє» застарілі зразки пожежних автоцистерн виробництва періодів Рядянського Союзу та становлення України як незалежної держави.

Технічними характеристиками цього автомобіля зокрема визначено, що номінальна подача відцентрового насоса ПН-60 становить 60 л/с при напорі значенням 10 бар. Об'єм цистерни для води становить 4 м<sup>3</sup>. Можливо вико-



Рис. 12 – Використання автоцистерни АЦ-4-60 (5309) 515М для гасіння сміттєзвалища ТПВ [12]

ристовувати ручні, а також лафетні прилади для гасіння пожежі, перевагою яких є можливість формування водяного струменя на відстань понад 60 м.

Крім цього, застосовують інші пожежні автоцистерни. Важливим параметром є значний запас ємностей для вогнегасних речовин. Зокрема, ще одним зразком такої машини є АЦ-60 (65111)-264.02 (рис. 13), яка характеризується достатньою об'ємною цистерною для води (8 м<sup>3</sup>).



Рис. 13 – Використання автоцистерни АЦ-60 (65111)-264.02 для гасіння пожежі сміттєзвалища [12]

У випадку, якщо гасіння пожежі ускладнюється через незадовільне водопостачання, особливо, якщо вододжерела знаходяться на великій відстані, застосовуються пожежні насосні станції (рис. 14), які відносяться до основних протипожежних автомобілів і призначені для подачі води магістральними пожежними рукавами безпосередньо до пересувних лафетних стволів або до

пожежних автоцистерн з подальшою подачею води на пожежу. Така машина може забезпечити подачу води величиною 110 л/с при напорі 10 бар.



Рис. 14 – Використання пожежної насосної станції ПНС-110 (131) 131А з метою перекачування води в цілях пожежогасіння [12]

Також, враховуючи досвід гасіння пожеж на полігонах ТПВ, бували випадки застосування пожежної авіації. Зокрема, влітку 2016 року для виполонення схилу Грибовицького сміттєзвалища (рис. 15) залучалися пожежні літаки Ан-32П, якими здійснено 12 скидів води (96 тон).



Рис. 15 – Використання пожежних літаків Ан-32 під час ліквідації наслідків НС на сміттєзвалищі ТПВ [12]

Незважаючи на постійний прогрес в області створення й використання спеціальної техніки для виконання робіт на сміттєзвалищах ТПВ, важливою складовою є належне фінансування роботи такого типу об'єктів. В протилежному випадку, продовжується експлуатація часто застарілої техніки. Поруч з цим ще більшої актуальності отримують завдання оптимального використання простору полігону і підвищення ефективності його роботи.

Важливим завданням є розроблення та впровадження новітніх технологій, які складають альтернативу не лише в процесі їх використання, а й в проведенні наукових досліджень, спрямованих на удосконалення системи раціонального використання усіх технічних засобів полігонів ТПВ.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.4-2:2005 Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування.
2. Лозинський В. А. Геоінформаційний моніторинг полігонів твердих побутових відходів: дис. канд. техн. наук: 05.24.01 – Геод / Лозинський Віктор Адамович. Львів, 2019. 181 с.
3. Звіт з оцінки впливу на довкілля Реконструкція полігону ТПВ м. Львова в с. Великі Грибовичі, Жовківського району Львівської області в об'ємі першочергових заходів з попередження надзвичайних ситуацій, ліквідації негативних наслідків аварії на землях Малехівської сільської ради №20189141712 [Електронний ресурс] // Київ, 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/1712/reports/d682d00bbc3218ca7c704235f6dccfeb.pdf>.
4. ДСП 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів».
5. Розділ «ОВНС» робочого проекту «Реконструкція полігону ТПВ м. Львова в с. Великі Грибовичі, Жовківського району Львівської області в об'ємі першочергових заходів з попередження надзвичайних ситуацій, ліквідації негативних наслідків аварії на землях Малехівської сільської ради», ТзОВ «Інститут «ГІР-ХІМПРОМ», 2018.
6. ООО УКР-СПЕЦТЕХ DRESSTA TD-20 [Електронний ресурс] <https://dressta-ukraine.com.ua/%D0%B1%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%B4%D0%BE%D0%B7%D0%B5%D1%80-dressta-td-20>.
7. CASE LAUNCHES NEW PURPOSE-BUILT LANDFILL CONFIGURATION FOR 2050M DOZER [Електронний ресурс] <https://www.casece.com/northamerica/en-us/resources/articles/general-case-launches-new-purpose-built-2050m-landfill-configuration>.
8. СОЮЗ ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ ОТРАСЛЕВОЙ ПОРТАЛ О ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ [Електронний ресурс] <http://www.mining-portal.ru/catalog/buldozeryi/cat/d6r/>.
9. Dressta 534 LA Landfill compactor Manual [Електронний ресурс] <http://www.esbsofia.com/productDocuments/brochure-36.pdf>.
10. Zeppelin Caterpillar Машина 973D WHA [Електронний ресурс] <https://www.zeppelin.am/products/gusenichnye-pogruzchiki-dlya-zakladki-otkhodov-na-poligonakh/973d-wha/>.
11. Офіційний дилер Shacman [Електронний ресурс] <https://temp98.ru/spectechnika-zapchasti/frontalny-pogruzchik-xcmg-lw500k-lng-na-spg/>.
12. Львівська обласна державна адміністрація [Електронний ресурс] <https://loda.gov.ua/>.



**к.х.н., доцент Григорій Дмитрів**

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна  
grygoriy.dmytriv@lnu.edu.ua, +380674398956,  
ORCID: 0000-0003-3138-656X

**д.х.н., старший дослідник Назарій Походило**

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна  
nazariy.pokhodylo@lnu.edu.ua, +380673999395,  
ORCID: 0000-0001-8222-5008

**д.х.н., професор Микола Обушак**

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна  
mykola.obushak@lnu.edu.ua, +  
ORCID: 0000-0001-8146-9529

**к.х.н., доцент Лілія Дубенська**

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна  
liliya.dubenska@lnu.edu.ua, +380677539380,  
ORCID: 0000-0002-8321-6020

**к.х.н., Леся Олексів**

Львівський національний університет імені Івана Франка, Україна  
lesya.oleksiv@lnu.edu.ua, +380961268736  
ORCID: 0000-0001-6779-5993

---

## ВИКОРИСТАННЯ БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕКОТАРИ

### *USE OF BIODEGRADABLE POLYMERS FOR ECOTARY PRODUCTION*

#### Анотація

Звичайні пластмаси становлять серйозну проблему глобального забруднення, адже вони залишаються у навколишньому середовищі на сотні років. У зв'язку із цим запропоновано використовувати біопластик як більш безпечну альтернативу. Біопластик – це матеріал на біологічній основі і/або біологічно розкладний, який одержують повністю або частково із відновлювальних ресурсів. Біодеградабельні полімери є кількох типів: крохмалевмісні, модифікована целюлоза, поліестери, полікапролактон, полівініловий спирт та інші. Найчастіше використовують матеріали на основі полілактиду та термопластичного крохмалю.

**Ключові слова:** пластик, біополіметри, біодеградабельні, відновлювальні ресурси.

#### Abstract

Ordinary plastics pose a serious problem of global pollution, as they remain in the environment for hundreds of years. Considering this, it is proposed to use bioplastics as a safer alternative. Bioplastic is bio-based and/or biodegradable material that is obtained in whole or in part from renewable resources. Biodegradable polymers are of several types: starch-containing, modified cellulose, polyesters, polycaprolactone, polyvinyl alcohol and others. Most often the materials based on polylactide and thermoplastic starch are used.

**Keywords:** plastic, biopolymers, biodegradable, renewable resources.

## 1. Різновиди біополімерів та технології їх виготовлення

У сучасному світі пластик набув широкого використання у всіх сферах завдяки своїм властивостям (гнучкості, довговічності, дешевизні). Однак вироби із пластику є стійкими до багатьох природних процесів деградації, через що дуже довго розкладаються, а також токсичними. Це спричиняє забруднення навколишнього середовища пластиком, яке негативно впливає на людей, тварин та природу. Пластмаси як забруднювач довкілля поділяють за розміром на мікро-, мезо- та макросміття [1].

Оскільки 40% сміття, що викидається – це пластик, тому у світі докладають багато зусиль для зменшення споживання пластику, а також його для переробки. Багато країн намагається вирішити цю проблему заміною звичайного пластику на біополімери.

Згідно з European Bioplastics, пластиковий матеріал визначається як біопластик, якщо він або на біологічній основі, або піддається біологічному розкладанню, або володіє обома властивостями. На рисунку 1 наведено класифікацію біопластику за походженням та здатністю до біорозкладу [2].

Термін «біоснова» належить до матеріалів або продуктів, які повністю або частково отримані з відновлювальних ресурсів (біомаса); таким чином нафтохімічна смола, типова для звичайних пластмас, замінюється рослинними або тваринними полімерами, а сполуки такі, як скло, вуглецеве волокно або тальк, замінюються природними волокнами (деревні волокна, конопля, льон, сизаль, джут).

Біопластик може бути згрупований за біодеградабельністю та вмістом біологічної основи: на біологічній основі (або частково на біологічній основі), але не є біодегардабельним; біодеградабельний пластик на біологічній основі та біодеградабельний пластик на основі корисних копалин [3, 4].

Важливою властивістю біополімерів, яку визначають, є здатність до біологічного розкладу, яку відносять до здатності матеріалу розкладатись після взаємодії з біологічними елементами.

Біодеградація полімерів включає три етапи, а саме: біологічне руйнування, біофрагментацію та асиміляцію. Біоруйнування — це зміна механічних, хімічних і фізичних властивостей полімеру внаслідок зростання мікроорганізмів на поверхні полімерів або всередині неї. На етапі біофрагментації мікроорганізми фрагментують полімери на олігомери і мономери, які на наступному етапі асиміляції доступні як джерела вуглецю, енергії та поживних речовин, CO<sub>2</sub>, водою та біомасою як побічними продуктами. Слід зазначити, що лише специфічні мікроорганізми можуть руйнуватися певний тип біопластику [2].

Біодеградація біопластикових матеріалів сильно залежить від їх хімічної структури. Як правило, полімери з коротшим ланцюгом, більш аморфними

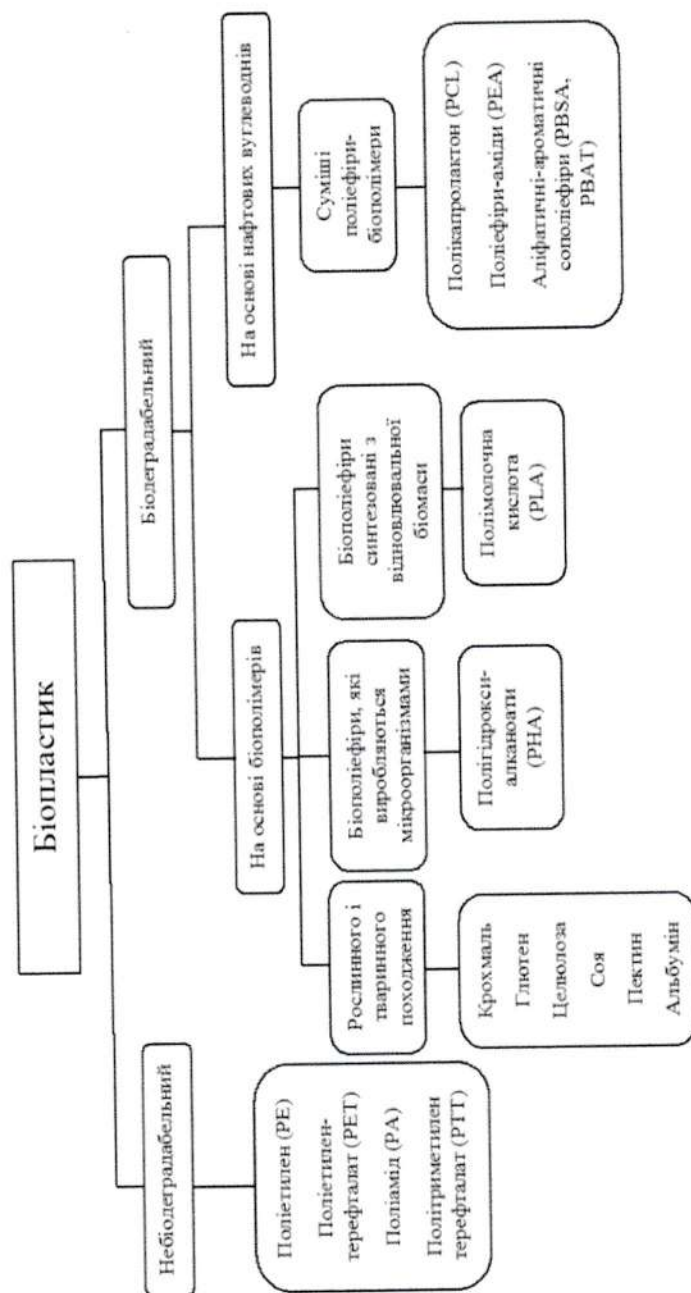


Рис. 1 – Види біопластику

частинами та менш складною формулою більш сприйнятливі до біодеградації мікроорганізмами. Наявність добавок також може вплинути на біологічний розклад матриці.

На сьогодні розроблено широкий спектр методів для вимірювання здатності до біологічного розкладання полімерних біоматеріалів, і більшість з них узгоджуються зі стандартними методами ASTM, ISO та Європейськими стандартами (EN) з точки зору умов навколишнього середовища, часу та масштабів. У цілому всі методи орієнтовані на непрямі вимірювання процесу деградації, такого як споживання кисню або утворення біогазу ( $\text{CO}_2$ ) шляхом вимірювання різниці тиску у випробувальних колбах і утворення вуглекислого газу [2].

Рівень біодеградації вище 90% у порівнянні з целюлозою (позитивний стандарт) за 180 днів в умовах контрольованого компостування, вимірний за допомогою респірометричних методів, встановлено Європейською нормою EN 13432 як рівень для матеріалу/продукту, який має бути визначений як біологічно розкладний і компостується. Крім того, рівень дезінтеграції вище 90% за три місяці, а також відповідні критерії екотоксичності та хімічної безпеки слід дотримуватися. Тоді лише тоді, коли продукти відповідають стандартним критеріям EN 13432, на етикетці упаковки може бути зазначено слово "біорозкладний".

У будь-якому випадку умови експериментів, що проводяться з вивчення біологічного розкладання біопластів, дуже різноманітні й провести чітке порівняння між ними важко. Експерименти, проведені в компості або в середовищі анаеробного перетворення, показали, що біологічний розклад становить понад 50% у 65 і 68% відповідно. Для тих, що проводяться у водному середовищі, ця частка становить 44%, а для експериментів, проведених у ґрунті – 33% випадків [2].

Метою створення та використання біорозкладних полімерних матеріалів є отримання таких економічних і екологічних переваг:

- утилізація та/або переробка полімерних відходів;
- нижча вартість полімерів із відновлюваної сировини;
- зниження потреби в синтетичних полімерах, які негативно впливають на стан довкілля;
- зниження викидів парникових газів на 15–60 % при заміні полімерних матеріалів минулого покоління на біорозкладні полімери.

Біопластик, який не піддається біологічному розкладанню, отримується з відновлюваних ресурсів і порівняно з класичною пластмасою термін необхідний для його повної деградації є меншим. Цю групу пластмас називають біопластиком, що "падає", і на сьогоднішній день вона представляє одну з найбільших галузей світового виробництва біопластику. Біо-РЕТ (біополіетилентерефталат) є дуже поширеним прикладом біопластичного виробництва. Для виробництва РЕТ використовується реакція етерифікації між

терефталевою кислотою (РТА) та етиленгліколем ((EG) з подальшою полімеризацією через реакцію поліконденсації з водою як побічним продуктом. У традиційному виробництві ПЕТ як РТА, так і EG є продуктами переробки нафти: нафтопереробники спочатку відокремлюють пара-ксилол (PX) від сумішей ВТХ (бензол, толуол, ксилол) методом кристалізації, а потім окислюють його до РТА.

Подібним чином для отримання EG, етилен, отриманий із алкених супутніх продуктів природного газу, переробляється шляхом гідратації та окислення. Натомість для біо-РЕТ EG або обидва мономері отримують із відновлюваних джерел способом, ідентичним цьому використовуваних для нафто-РЕТ, а також їх технічні властивості ідентичні властивостям їх викопних аналогів. Етиленгліколь завжди доступний у великих масштабах з біомаси: спочатку целюлоза, видобута з лігноцелюлозної біомаси, перетворюється на ксиліт та сорбіт, які легко гідролізуються до EG у присутності кількох моно- та біметалічних фосфідних катализаторів. До того ж, біоетанол, одержаний із цукрової тростини або кукурудзяного корму та гліцерин, як побічний продукт біодизеля, використовувались як вихідна сировина для полімерів, що виробляють EG. Виробництво терефталевої кислоти за допомогою зелених хімічних процесів, заснованих на використанні хімічних попередників, витягнутих з кукурудзи, цукрових буряків або апельсинової кірки, тобто ізобутанолу, 5-гідроксиметилфурфуралу та лімонену, використовується відповідно меншою мірою [2, 5, 6].

Біополімери можуть виготовлятися за різними технологіями: як з сировини тваринного або рослинного походження (відновлювані ресурси), так і на основі нафтохімічних продуктів. Деякі полімери рослинного походження вже представлені на споживчому ринку.

Способи виробництва біодеградуємих полімерів можуть бути хімічними або біологічними (під впливом мікроорганізмів або ферментів). Найбільш відомі способи отримання даного матеріалу:

а) отримання з природних полімерів шляхом їх механічної і хімічної обробки. Приклади: біорозкладаний пластик з деструктурованого крохмалю, з целюлози (висока вартість).

б) хімічний синтез полімерів з мономерів, одержаних біоперетворенням відновлюючих джерел сировини [зокрема, використання молочної кислоти, одержаної при ферментації цукрів, для виготовлення хімічним способом полімолочної кислоти (PLA)]. Для біорозкладу полімеру на основі PLA необхідні певні умови: температура і кисень. PLA отримують з кукурудзи, цукрової тростини, цукрового буряка.

в) отримання біотехнологічним способом з відновлювальних джерел сировини (ферментація цукрів, при якій мікроорганізми синтезують термoplastичні аліфатичні полієфіри, зокрема, полігідроксибутират, полігідроксисилканоати (PHA), бактеріальну целюлозу). Способи отримання

біорозкладних полімерів за допомогою синтезу бактеріями є дорогими і недоцільними з погляду рентабельності до промислового виробництва.

г) хімічний синтез із продуктів переробки нафти та інших невідновлюваних джерел сировини. Традиційні синтетичні пластики з введеними в них біорозкладними добавками.

Бактерії можуть синтезувати та накопичувати велику кількість біополімерів, багато з яких потенційно можуть бути використані для промислового застосування, або як цінний продукт у медицині. Полігідроксиалканоати (РНА) – це сімейство синтезованих полієфірів життєдіяльністю кількох видів бактерій, де вони накопичуються, для запасу вуглецю. Внутрішньоклітинному накопиченню РНА, як правило, сприяють особливі умови культивування та голодування поживних речовин, що може призвести до високої концентрації накопиченого полімеру. Декілька відновлюваних джерел сировини, а також вуглекислий газ, хімічні речовини та викопні ресурси можуть бути використані як субстрат для виробництва РНА. У типовому процесі посівну культуру, що містить обрані бактерії, засівають у ферментаційній посудині, що містить середовище для бродіння. Наприкінці періоду культивування полімери можуть бути отримані за допомогою екстракції розчинником, відокремлені від залишкової біомаси та переосажені шляхом змішування з іншим розчинником, як правило, спиртом. На сьогодні виявлено понад 150 мономерних ланок, які можуть призводити до різних полімерів з різними властивостями. Полігідроксибутират (РНВ) є найпростішим РНА і першим, який був виявлений у бактерії *Bacillus megaterium* [7].

Наприклад, пластик із кукурудзи роблять наступним чином: спочатку зерна кукурудзи, сульфур(IV) оксид і воду перемелюють. Далі суміш перекидають у центрифугу, щоб відділити кукурудзяне масло від крохмалю і залишається практично чистий крохмаль. Далі додають лимонну кислоту, перемішують і отримують довгі ланцюги полімеру для отримання пластика.

Крохмаль, целюлоза, пектин, а також тваринні та рослинні білки, такі як казеїн та глютен, добре відомі тим, що є вихідною сировиною на основі агрополімерних біопластів. Крохмаль, целюлоза та пектин – це полісахариди, які можна отримати з кількох овочів та фруктів (картопля, кукурудза, рис, тапіока, яблуко), і вони використовуються головним чином для виробництва пакувальних матеріалів. Часто білкові добавки використовують для виготовлення матеріалів з новими або вдосконаленими технологічними властивостями.

У чистому вигляді, як правило, крохмаль важко переробляється у виробі на технологічному устаткуванні для термопластів. Бажано його використовувати разом із пластифікаторами. Властивість крохмалю містити до 30–40% зв'язаної вологи дозволяє розглядати воду як найдоступніший пластифікатор. Пластифікація крохмалю здійснюється при одночасному впливі температури та механічних напруг. В результаті відбувається значна зміна його фізичних та механічних властивостей.

Пластифікуючу дію на крохмаль має також сечовина, моно-, ді- та поліетиленгліколі. За екструзивною технологією виготовляють спінені матеріали, що застосовуються як звукоізолювана упаковка. Екструзією сумішей кукурудзяного крохмалю та мікрокристалів целюлози та метилцелюлози із добавками пластифікаторів, або без них отримують біорозкладні плівкові матеріали, призначені для захисту харчових продуктів від втрати маси та псування. Біорозкладні плівки отримують з водних розчинів сумішей крохмалю та натрієвих солей карбоксиметилцелюлози.

Зростаюче значення як основа для біодеградабельних матеріалів набуває хітин та хітозан. Суміші хітину та хітозану вважаються перспективними полімерними матеріалами для пакувальних плівок, текстильних волокон. Плівки на основі хітозану формують з оцтово-кислих розчинів, регулюючи розчинність і набухання плівок зшивкою хітозану глутаровим альдегідом або олігомерним дієпоксидом.

Целюлозні біопластики – це естери целюлози, сюди також входить ацетат целюлози, нітроцелюлози і все, що від них походить, наприклад, целулоїд. Для пластику із целюлози підходить навіть низькосортна деревина. Одержання пластику із целюлози досліджують зокрема в Тартуському університеті (м. Тарту, Естонія).

Полілактид – це один із біодеградабельних пластиків, які використовуються у 3Д друці. Його розкладання проходить в два етапи: 1-коли ефірні групи поступово піддають гідролізу водою для формування молочної кислоти та інших невеликих молекул; 2 – подальше їх розкладання за допомогою мікробів в певному середовищі. За даними дослідників, вироби з PLA при компостуванні повністю розкладаються на воду і вуглекислий газ за період 30–90 днів.

Ще одним біодеградабельним пластиком, який набирає популярність, особливо в низькотемпературній 3Д друку, є полікапролактон – PCL [2, 5].

Найближчим часом команда MonoFilament представить новинку – гнучкий біорозкладаний пластик для 3Д друку – біополіестер ВРЕ.

Біопластик можна створювати навіть із харчових відходів (наприклад, бананової шкірки, цитрусових відходів, лущиння стручків какао, томатних відходів і т.д.), що є вигідно і з економічної точки, і з екологічної. Перетворення харчових відходів у біопластик може відбуватися шляхом вилучення біополімерів та їх механічного виготовлення (екструзія, лиття, формування або їх поєднання). У більш складних процесах харчові відходи використовуються як субстрат для бактеріального бродіння з метою отримання біополімерів або як сировина для вилучення інших природних компонентів таких, як волокна, які діють як підсилюючі агенти та/або природний наповнювач біокомпозитів. У табл. 1 наведено перелік основних біополімерних матеріалів, які одержують із фруктових та овочевих відходів [5].

Таб. 1 – Властивості основних біополімерів вилучених з фруктових та овочевих відходів для виробництва біопластику

Біополімер	Вид біополімеру	Властивості	Фруктові та овочеві відходи використанні як джерело біополімеру
Целюлоза	Полісахарид	Високоструктурована міжмолекулярна мережа водневого зв'язку; неможливість плавлення або розчинення стандартними процесами, такими як термоформування	Бананові кірки, відходи моркви, відходи цвітної капусти, лушпиння стручків какао, шкірки апельсина, стебла петрушки, відходи радиккіо, рисові лушпиння, стебла шпинату, відходи чайного листа.
Крохмаль	Полісахарид	Міцний між- та внутрішньомолекулярний водневий зв'язок; чутливість до води та погана текучість; ламкість.	Бананові шкірки, маниоки, картопляні шкірки.
Пектин	Полісахарид	Гелеутворююча здатність, але погані розтягуючі та бар'єрні властивості; чутливість до води	Яблучні вичавки, шкірки банана, цитрусові відходи, апельсинові кірки
Кутин	Поліестер гідрокси жирних кислот	Аморфний та гнучкий тривимірний полімер; гідрофобний, низька чутливість до води.	Томатні відходи

Розробка процесів перетворення відходів до біополімерів може бути складнішою, ніж їх звичайні аналоги. Впровадження таких технологій вимагає співпраці різних зацікавлених сторін від утворення відходів, збору, перетворення, виробництва до розподілу кінцевого продукту, а взаємодія різних секторів може призвести до різних проблем невідповідності. Наприклад, відходи утворюються в первинному процесі, і їх кількість або характеристики відрізняються, що необхідно для їх перетворення у вторинному процесі. Тому необхідний міжсекторний зв'язок, об'єднання знань та інформації, аналіз територіальних потоків (поживних речовин, матеріалів та енергії).

Ці технології все ще можуть генерувати відходи, і каскадний потік відходів у серії виробничого процесу для максимального повторного використання потоків відходів є вкрай необхідним і досі бракує вичерпних досліджень. Управління матеріалами необхідне для усунення невідповідностей та незбалансованого потоку поживних речовин, накопичення забруднюючих речовин та перетворення відходів [4].

Детальний опис методів виробництва біопластику із фруктових та овочевих відходів (технологія та попередня обробка відходів, їх переробка),



а також основні фізико-механічні властивості отриманих матеріалів наведені у статті [2]. Аналізуючи ці дані варто відзначити, що найчастіше біополімери такого типу одержують за допомогою використання процесів лиття.

## 2. Світові виробники біопластику. Використання біополімерів.

В 2019-2020 рр. біопластик складав приблизно 1% від 335 млн тон пластику, який виготовляють щорічно. Згідно з European Bioplastics прогнозується, що глобальні виробничі потужності біопластика виростуть із близько 2,11 млн тон в 2019 році до приблизно 2,42 млн тон у 2024 році. Обсяг біорозкладного пластику в 2019 році склав 1,174 млн тон, а на біологічній основі – 941 млн тон. Згідно з прогнозами, в 2024 році ринок біорозкладного пластику виросте на 16,0%, або 151 млн тон, а на біологічній основі/небіорозкладний – на 13,6%, або 160 млн

Європа є основним центром для всієї галузі біопластичної промисловості; вона посідає найвище місце у галузі досліджень та розробок і є найбільшим ринком у цій галузі в світі. З огляду на фактичне виробництво біопласту та розвиток регіонального потенціалу, Азія є головним виробничим вузлом. У 2018 році 55% біопластику були вироблені в Азії, Європа – 19%, Північна Америка – 16%, Південна Америка – 9%, Австралія – 1% (Загально – 2,011 млн тон). Близько п'ятої світової потужності з виробництва біопласту розташовано в Європі. Прогнозується, що частка зросте до 27% до 2023 р. Очікуване зростання до 2023 р. буде підтримано політикою кількох європейських країн таких, як Італія, Франція.

Згідно з даними European Bioplastics, у 2019 року: 45% біопластику були вироблені в Азії, Європа – 25%, Північна Америка – 18%, Південна Америка – 12%.

За даними European Bioplastics e.V. виробництво полімерних матеріалів, які піддаються біодеградації та відповідають вимогам EN 13432, в ЄС у 2018 році становило 912 тисяч тонн, за прогнозами має досягти в 2023 році 1.228 мільйонів тонн. На даний час основними видами біодеградабельних полімерних матеріалів, які використовуються, в тому числі для виробництва упаковки, є полібутиленадипінат-терефталат (PBAT) — ефір адипінової кислоти, 1,4-бутандіолу та терефталевої кислоти, полібутилен (політетраметилен)-сукцинат (PBS) — поліефір бутилену та янтарної кислоти, полілактид (PLA) — аліфатичний поліефір, мономером якого є молочна кислота та циклічний діефір лактид, полігидроксиалканоати (PHAs) та похідні крохмалу [8]. На рис. 2 наведено структуру виробництва біопластику у 2019 році.

До переваг біодеградабельних полімерів прийнято відносити: можливість обробки, як звичайних полімерів, на стандартному обладнанні; низь-

**Структура світового виробництва біопластику в розрізі біорозкладних, на біологічній основі/небіорозкладних за матеріалом в 2019 році. %**



Рис. 2 – Структура світового виробництва біополімерів у 2019 році

кий бар'єр пропускання кисню, водяної пари (оптимально для використання в області харчової упаковки); стійкість до розкладу в звичайних умовах; швидкий і повний розклад при спеціально створених умовах або звичайних, процес утилізацією не вимагає додаткового обладнання та витрат; незалежність від нафтохімічної сировини. До недоліків прийнято відносити обмежені можливості багатотонажного виробництва, висока вартість кінцевого продукту. Але потрібно враховувати, що економічна вартість попри ціни продукту повинна містити в собі також і витрати на утилізацію. Відновлювані ресурси, які необхідні для їх виготовлення – більш вигідні з багатьох точок зору. У таблиці 2 наведено витрати на виготовлення полімерних матеріалів на біологічній основі та звичайних полімерів.

Таб. 2 – Порівняння вартості виготовлення біопластику та звичайного пластику

Матеріал	Джерело	Ціна (€/кг)
Лігноцелюлозна клітковина	Рослини	0,4-1,2
Естери/етери целюлози	Рослини/нафтопродукти	4,0-20,04
Крохмаль	Рослини	0,2-2,0
Крохмаль/полімерні суміші	Рослини, рослини	2,0-4,0
Полілактид (PLA)	Рослини	0-2,0
Полігідроксиалканоати (PHA)	Рослини	4,0-12,02
Поліетилен (PE)	Нафтопродукти	1,31-1,6
Поліпропілен (PP)	Нафтопродукти	1,71-2,0
Поліетилентерефталат (PET)	Нафтопродукти	1,71-1,8
Полістирол (PS)	Нафтопродукти	2,0-2,4
Полівінілхлорид (PVC)	Нафтопродукти	1,71-2,02

Біопластик використовується у різних галузях в залежності від походження і здатності до біорозкладу. Приклади використання біополімерів наведені у таблицях 3 і 4 [5, 6, 9, 10].

Таб. 3 — Класифікація полімерних матеріалів за здатністю до біорозкладу та приклади використання

	Пластмаси на основі біополімерів, отриманих з природних рослинних матеріалів	Приклади використання	Пластмаси на основі нафтових вуглеводнів	Приклади використання
Біодеградуємі пластикові матеріали	Полілактиди (PLA)	Медичне використання	Полі (ε-капролактон) (PCL)	Клей ПВХ
	Полігидроксиалканоати (PHAs)	Медичне використання	Полі(бутилен сукцинат/адипінат) (PBS/A)	Сільське господарство
	Похідні полісахаридів	Упаковка для харчових продуктів	Полі(бутиленадипінат-терефталат) (PBA/T)	Паперові стаканчики
	Полі(амінокислоти)	Медичне використання		
Небіодеградуємі пластикові матеріали	Поліетилен (біо-PE)	Упаковка	Поліетилен (PE)	Упаковка
	Поліол-поліуретан	Шини	Поліпропілен (PP)	Упаковка
	Похідні полісахаридів	Упаковка для харчових продуктів	Полістирол (PS)	Упаковка
	Полі(етилентерефталат) (біо-PET)	Пляшки для питної води	Полі(етилентерефталат) (PET)	Пляшки для питної води
			Поліметилметакрилати	Оптичні матеріали

Незважаючи на те, що нині частка біорозкладних пластиків на ринку надзвичайно мала, потенціал цього ринку величезний. Подальше посилення екологічних вимог може допомогти біорозкладаються пластмас успішно конкурувати зі звичайними пластмасами, замінюючи їх. У цей час «масова» сфера застосування біорозкладних пластиків – тара і упаковка для харчових продуктів. Проте вже відомі приклади застосування біопластиків у галузях IT технологій, автомобілебудування, іграшок і т. д. Крім того, вся Європа використовує біорозкладні мішки для біологічних відходів, багато країн застосовують і біорозкладну мульчу.

Найчастіше як пакувальний матеріал для харчових продуктів використовують PLA. Недолік те, що при температурі більше 50°C він стає м'яким. Також дуже часто для виготовлення різних упаковок використовують кро-

Таб. 4 – Сучасне застосування біопластику

Приклади використання	Тара	Компанія, яка використовує тару
Полілактид (PLA)		
Кава, чай	Картонні стаканчики покриті PLA	KLM
Напої	PLA стаканчики	Mos Burger (Японія)
Масло	PLA контейнери	Cyclus (Бразилія)
Свіжий салат	PLA тарілки	McDonald's
Вода газована, свіжі соки, молочні напої	PLA пляшки	Biota, Noble
Порізані та цілі фрукти, овочі, хлібобулочні вироби, салати	Жорсткі лотки та пакети з PLA	Asda (retailer)
Органічні кренделі, картопляні чіпси	PLA мішечки	Snyder's of Hanover, PepsiCo's Frito-lay
Йогурт	PLA банки	Stonyfield (Danone)
Заморожена картопля фрі	PLA плівки (Bio-Flex)	McCain
Органічні фрукти та овочі	PLA упаковка	Mont Blanc Primeurs
Паста	PLA упаковка	Biorigin
Трави	PLA упаковка	Asda (retailer)
Готові бутерброди, салати з макаронів	PLA тарілки, упаковка	Delhaize (retailer)
Хліб	Паперові пакети з віконечком із PLA	
Органічна птиця	Миски PLA, поглинаючі прокладки	
Крохмаль		
Молочні шоколадні цукерки	Лотки з кукурудзяного крохмалю	Cadbury Schweppes food Group, Marks& Spencer
Органічні помідори	Упаковка на основі кукурудзяного крохмалю	Iper supermarkets (Italy), Coop Italia
Целюлоза		
Ківі	Лотки на біологічній основі, обмотані целюлозною плівкою	Wal-Mart
Картопляні чіпси	Металізована целюлозна плівка	Boulder Canyon
Органічна паста	Упаковка на основі целюлози	Birkel
Солодощі	Металізована целюлозна плівка	Qualitystreet, Thornton

хмаль і целюлозу. Під час досліджень пластикової упаковки із целюлози та клітковини було встановлено, що найбільше підходить біопластикова плівка для упаковки харчових продуктів має мати такий склад: 75% целюлози та 25% клітковини, оскільки вона продемонструвала найнижчий відсоток водопоглинання та паропроникності.

На сьогодні у світі існує ряд підприємств, які займаються виготовлення біопластику і продають його під власною торговою маркою. Найпершою, яка виникла і світовим лідером у розробці та виробництві біохімікатів та композитованої біопластики є італійська компанія Novamont ([https://www.facebook.com/novamont/?ref=page\\_internal](https://www.facebook.com/novamont/?ref=page_internal)). Ця компанія була заснована ще у 1990 році, яка бере свої витoki із 1989 року. Продукцією Novamont є пластик під торговою маркою “Mater-Bi”. За створення пластику рослинного походження Mater-Bi Novamont отримала премію “Європейський винахідник року” (2007 р.) [11].

Mater-Bi – це інноваційний асортимент біопластику, який використовує речовини, отримані з рослин, таких як кукурудзяний крохмаль, та біорозкладані полімери, отримані як з відновлюваної сировини, так і з викопної сировини. Один із компонентів, які використовуються для виготовлення MATER-BI-це серія біополіефірів ORIGO-BI, отриманих із рослинних олій згідно із запатентованою технологією NOVAMONT. Продукція Mater-Bi використовується у багатьох різних секторах, таких як широкомасштабна роздрібна торгівля, роздільне збирання відходів, громадське харчування, сільське господарство та пакування. MATER-BI підходить для обробки за найпоширенішими технологіями перетворення: видування, лиття, екструзія/термоформування та для лиття під тиском для традиційних пластмас.

У 2021 році Novamont придбала BioBag та зміцнила своє лідерство і продовжила поширювати свої філіали на півночі Східної Європи, Північній Америці та Австралії [12].

Американська компанія NatureWorks (2005 р.) з офісами в Нідерландах, Японії та Тайланді. Є провідним виробником полілактиду (PLA), який отримують з кукурудзяного крохмалю і продають під маркою “Ingeo” [13].

Для виготовлення Ingeo використовують такі рослини як: кукурудза, маниока, цукрова тростина або буряк, на першому етапі із них захоплюють та секвертують CO<sub>2</sub> перетворюючи його на молекули цукру із довгим ланцюгом.

Створення молочної кислоти, будівельного матеріалу Ingeo, відбувається наступним чином: рослини проходять процес подрібнення, екстрагують крохмаль (глюкозу). Ферменти додаються для перетворення глюкози в декстрозу за допомогою гідролізу. Потім мікроорганізми ферментують цю декстрозу в молочну кислоту. Далі відбувається перетворення молочної кислоти на кільце лактиду, який є цінною хімічною речовиною сам по собі та ядром платформи хімічних проміжних продуктів. У процесі полімеризації лактидне кільце розкривається утворюючи довгий ланцюг полілактидного полімеру, який отримав назву “Ingeo” [14].

Ingeo використовують у 3D-друці, будівництві та конструюванні, пакуванні, ландшафті та сільському господарстві, електроніці та побутовій техніці. Універсальність Ingeo як пластику та волокна створює можливості для інтегрованої форми та функцій у застосуваннях від масок для обличчя до посуду [15].

Algorack французька компанія (2010 р.), яка виробляє біопластик з водоростей. Така сировина має ряд переваг у порівнянні з іншою сировиною для біопластику, а саме: багато водоростей відзначаються високою швидкістю росту біомаси, потребують мінімального догляду, їх досить легко вирощувати, не займають великих площ на суші.

Algorack використовує водорості Саргассо з метою вилучення біоматеріалу із цих бурих інвазійних бур'янів, які вимиваються на узбережжі Карибського моря та виділяють токсичні гази, що загрожують здоров'ю населення. Технологія виготовлення такого біопластика є досить простою: із висушених водоростей роблять порошок, у який додають інші рослинні компоненти, утворюючи гранули. Ці гранули виступають сировиною для виготовлення біопластику [16].

Одержаний біопластик із такого матеріалу є жорстким, вогнестійким, швидко розкладається (протягом 12 тижнів у ґрунті та 5 годин у воді) та трансформується шляхом термопресування. Цей біопластик відіграє роль добрива для ґрунту [17].

Асортимент Algorack® та Algoblend® орієнтовані на промисловість з переробки пластмас, а також на всі галузі виробництва пластмас, такі як автомобіль, канцелярське приладдя, побутове обладнання, меблі, будівельні та електротехнічні вироби, іграшки – спектр використання безмежний у сучасному світі. Також виготовляють келихи «Есо Суп», з бретонських водоростей, які є ідеальним рішенням для заміни одноразових пластикових келихів у громадському харчуванні, офісах, на виставках, фестивалях тощо [17].

Інші світові підприємства з виробництва біопластику наведені у таблиці 5.

На сьогодні день пакувальний матеріал на основі біополімерів в основному використовується для упаковки продуктів з коротким терміном зберігання (наприклад, свіжі овочі та фрукти), продуктів із довгим терміном зберігання, які не потребують дуже високої кисневої та/або пароізоляції (наприклад, чіпси, макарони). Проте плівки при дослідженнях показали різноманітні властивості, що можна використати в подальшому для зберігання харчових продуктів, які потребують суворіших умов. Проте перш ніж перейти до використання упаковок на основі біопластику потрібно ретельно оцінити функціональні властивості матеріалу на біоснові.

Для покращення властивостей пакувальних матеріалів із біополімерів було запропоновано покривати додатковим тонким шаром іншого матеріалу поверх плівок на біоснові. Завдяки такому нанесенню покращується стійкість плівок до проникності кисню і водяної пари, масел, жирів, децю

Таб. 5 – Основні закордонні підприємства, які виготовляють біопластик

Найменування підприємства	Країна реєстрації	Торгова марка продукції	Вихідна сировина	Застосування
Novamont	Італія	Mater-Bi	Крохмаль, целюлоза, рослинні олії	Різного роду упаковки в тому числі і плівки, сільське господарство
NatureWorks	США	Ingeo	Кукурудзяний крохмаль	3D-друці, будівництві та конструюванні, пакуванні, ландшафті та сільському господарстві, електроніці та побутовій техніці
Algorack	Франція	“Eco sup” та інший пластик	водорості	канцелярське приладдя, побутове обладнання, меблі, будівельні та електротехнічні вироби, іграшки, у громадському харчуванні та інше.
BASF SE (Societas Europaea)	Німеччина	Ecoflex, Ecovio	суміші крохмаль-полікапролактон (PCL)	плівки, мішки для органічних відходів, сумки для покупок або плівки для сільськогосподарства, термоусадочні плівки, паперовий картон з покриттям та жорстка спінена упаковка.
Limagrain	Франція	Biolice	Полілактид (PLA) із кукурудзи	пакети для покупок, пакети для сміття, мішки для садових відходів, горщики для рослин, сільськогосподарські плівки та промислові плівки
Plantic	Австралія	Eco-Plastic	Рослинний крохмаль	Упаковка для харчової продукції
Futamura	Японія	Nature Flex	целюлоза	Пакувальні плівки для різних типів продуктів та упаковок
Arkema	Франція	Rilsan B	поліамід 11 із Касторової олії	галузях нафти і газу, аерокосмічної, автомобільної промисловості, текстилю, електроніки та спортивного обладнання, часто в трубках, обшивках з дроту та металевих покриттях

покращуються механічні властивості (міцність до розриву, еластичність). У вигляді покриття можуть використовуватись матеріали на біоснові та без біоснови. Наприклад, покриття плівки із полілактиду чи полікапролактону за допомогою  $\text{Si/SiO}_x$  дозволяє надалі використовувати ці пакувальні матеріали для зберігання продуктів із середнім терміном придатності. А тонке покриття за допомогою  $\text{AlO}_x$  збільшить захист продуктів від водяної пари та кисню [5].

### 3. Оцінка ризиків використання екотари для харчової продукції

Основні вимоги та процедури для визначення здатності до компостування та анаеробної обробки упаковки та пакувальних матеріалів викладені в ДСТУ EN 13432:2015 та в ДСТУ EN 14995:2018 [18, 19]. Прийняття цих стандартів в Україні дозволяє проводити оцінювання та сертифікувати упаковку за критеріями біорозпаду як для внутрішнього ринку, так і для експорту, найперше до країн ЄС.

Біодеградабельні полімери є кількох типів: крохмалевмісні, модифікована целюлоза, поліестери (полігідроксибутират, полімолочна кислота (полілактид)), полікапролактон, полівініловий спирт тощо. Перші три класи одержують із біомаси, а полікапролактон і полівініловий спирт є синтетичними продуктами.

Найбільше застосування в галузі технології пластичних мас з огляду на експлуатаційні показники виробів на їхній основі знайшли біодеградабельні матеріали на основі полілактиду та термопластичного крохмалю (ТПК). Споживчі властивості полімерної упаковки за багатьма параметрами перевершують інші види тари. Особливо це стосується поліетилентерефталату, оскільки висока якість цієї тари дозволяє продовжувати термін придатності продуктів харчування без використання консервантів.

На основі аналізу потенційних ризиків використання екотари з біополімерів для харчової продукції з'ясовано, що головними перешкодами у цій сфері є високі ціни, зумовлені малими обсягами виробництва і значними затратами на розробку біодеградабельних матеріалів, слабкі технологічні розробки, відсутність практичного досвіду застосування різних технологій, труднощі в переробці матеріалів на традиційному обладнанні. Крім того, механічні і теплофізичні властивості біодеградабельних матеріалів переважно поступаються звичайним полімерам (табл. 5).

Для того, щоб використовувати біопластик у якості тари і ввести його в обіг потрібно попередньо провести детальну оцінку ризиків використання екотари для різних видів харчової продукції на основі аналізу світового досвіду впровадження біодеградабельних матеріалів.



Таб. 5 — Потенційні ризики використання екотари (біодеградуємих полімерів та інших біоматеріалів)

Ступінь загрози	Ризики
Низький	Масове накопичення екотари у випадку неконтрольованого використання
Низький	Загроза безпечності продуктів харчування при первинному контакті з біодеградуємих упакованням
Середній	Завдяки достатній абсорбційній здатності – можливість біодеградуємих матеріалів виступати переносниками мікроорганізмів та хімічних забруднювачів
Середній	Деструктивний вплив на якість та термін придатності продуктів харчування при первинному контакті з біодеградуємих упакованням
Високий	Імовірність розпаду біодеградуємих полімерів на мікропластик та нанопластик (потенційна загроза для життєдіяльності водних організмів)

\* зібрано на основі відкритих джерел даних

Найперше необхідно встановити критичні фактори впливу на збереження якості харчової продукції, дослідження умов утилізації екотари. За умови впровадження виробничих ліній з виробництва екотари необхідно отримати наукову підтримку та розробити необхідну сертифікацію харчової продукції, визначення та систематизацію умов використання тари та пакування залежно від виду харчової продукції й типу пластику, що використовується. За результатами аналізу уже можливе розроблення рекомендацій щодо умов та ризиків використання різних видів екотари з біодеградуємих полімерів.

Враховуючи те, що біодеградуєма тара має значний потенціал впливу як на харчовий продукт, так і на навколишнє середовище, доцільно проводити валідаційні дослідження можливої зміни якості продукції під час застосування такої тари, а також оцінювати її взаємодію з екосистемою. Важливо досліджувати можливість акумулювання хімічних забруднювачів (важких металів) на поверхні екотари. Окрім цього, варто зважати на можливість утворення мікро- та наночастинок біодеградуємого полімеру при його розкладанні та наслідки їх впливу на мікроорганізми. Потребують окремого дослідження ефекти, зумовлені вторинним розкладанням екотари, зокрема абіотичною деградацією, а також наявність потенційного екотоксикологічного впливу продуктів розпаду. У зв'язку з цим необхідно оцінювати та інтегрувати у виробництво вплив екотари на безпеку харчової продукції та здоров'я людини шляхом тестування потенційних загроз біодеградуємих матеріалів для екосистеми.

Загалом, підвищення екологічної обізнаності громадськості є важливою частиною популяризації застосування біодеградабельних матеріалів у харчовій промисловості, а консолідація академічних та бізнесових зусиль у вивченні технологій виробництва та умов використання таких матеріалів дозволить зменшити пов'язані з ними ризики і загрози.

*Потрібно враховувати, що біопластик не вирішує повністю проблему забруднення навколишнього середовища, однак здатний суттєво змінити якість світової екосистеми. Міжнародні експерти, які досліджують вплив біопластику, рекомендують створювати спеціальні центри з переробки біопластику, враховуючи різні його типи і відповідно умови розпадання. Це актуалізує необхідність проведення наукових досліджень з вибору оптимальних для країни (регіону) технологій виробництва і переробки біодеградабельних полімерів, обґрунтування соціальних, економічних та екологічних ефектів від їх масового запровадження.*

Робота виконана в рамках Програми підтримки секторальної політики — Підтримка регіональної політики України. Номер проєкту 13106-20.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Hammer, J., Kraak, M.H.S., Parsons, J.R. (2012). Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift. In: Whitacre D. (eds) Reviews of Environmental Contamination and Toxicology (Continuation of Residue Reviews). 220. 1–44. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3414-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3414-6_1).
2. Acquavia, M.A., Pascale, R., Martelli, G., Bondoni, M., Bianco, G. (2021). Natural polymeric materials: a solution to plastic pollution from the agro-food sector. *Polymers*. 13 (1). 158–196. <https://doi.org/10.3390/polym13010158>.
3. European Bioplastics Bioplastics Facts and Figures. – Available online: [https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP\\_Facts\\_and\\_figures.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf).
4. Yadav, B., Pandey, A., Kumar, L.R., Tyagi R.D. (2019). Bioconversion of waste (water)/residues to bioplastics- a circular bioeconomy approach. *Bioresource Technology*. 298. 122584. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122584>.
5. Peelman, N., Ragaert, P., De Meulenaer, B., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L., Van Impe, F., Devlieghere, F. (2013). Review: Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*. 32(2). 128–141. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.06.003>.
6. Iwata T. (2015). Biodegradable and bio-based polymers: future prospects of eco-friendly plastics. *Angewandte Chemie*. 54. 2-8. <https://doi.org/10.1002/anie.201410770>.
7. Di Bartolo, A., Infurna, G., Dintcheva, N.T. (2021). A review of bioplastics and their adoption in the circular economy. *Polymers*. 13(8). 1229–1254. <https://doi.org/10.3390/polym13081229>.
8. European Bioplastics. – Available online: <http://www.european-bioplastics.org/market/>.
9. Massy, J.A. Little Book about BIG Chemistry The Story of Man-Made Polymers Springer Briefs in Materials DOI 10.1007/978-3-319-54831-9.82 p.;

10. Zeng, S.H., Duan, P.P., Shen, M.X., Xue, Y.J. and Wang, Z.Y. (2016). Preparation and degradation mechanisms of biodegradable polymer: a review IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 137. 012003. doi:10.1088/1757-899X/137/1/012003
11. Novamont Group. – Режим доступу: <https://www.novamont.com/eng/>
12. Novamont Group. – Режим доступу: <https://www.novamont.com/eng/read-press-release/novamont-acquires-biobag-and-strengthens-its-leadership-and-global-presence/>.
13. NatureWorks. – Режим доступу: <https://www.natureworksllc.com/>
14. NatureWorks. – Режим доступу: <https://www.natureworksllc.com/What-is-Ingeo/How-Ingeo-is-Made>
15. NatureWorks. – Режим доступу: <https://www.natureworksllc.com/Ingeo-in-Use>
16. ALGOPACK. – Режим доступу: <https://www.algopack.com/en/nos-algues/>
17. ALGOPACK. – Режим доступу: <https://www.algopack.com/en/nos-solutions/>
18. ДСТУ EN 13432:2015 (EN 13432:2000, IDT) «Упаковка. Вимоги до упаковки, утилізованої способом компостування і біодеградації. Тестові схеми та критерії оцінювання для остаточного прийняття упаковки».
19. ДСТУ EN 14995:2018 (EN 14995:2006, IDT) «Пластмаси. Оцінювання здатності до біохімічного розпаду. Порядок випробування та технічні умови».

доцент, к.с.-г.н. Ігор Шукель

shukel@ukr.net, +380964668323,  
Національний лісотехнічний університет України, Україна  
ORCID: 0000-0002-9331-1523

к.біол.н. Олександр Кузярін

kuzyarin@gmail.com, +380972390112  
Львівський Державний природознавчий музей, Україна  
ORCID: 0000-0002-7728-3665

доцент, к.с.-г.н. Сергій Соколов

sergiysokolov1967@gmail.com, +380684561821  
Луганський національний університет імені Тараса, Україна  
ORCID: 0000-0001-9704-0938

старший викладач Оксана Тиманська О.Б.

oksanaburak@ukr.net, +380972468190  
Бережанський агротехнічний інститут, Україна  
ORCID: 0000-0001-5603-8823

## СПОНТАННА ФЛОРА КАР'ЄРУ З СУХОЮ ВІЙМКОЮ ТА РОЛЬ СМІТТЄЗВАЛИЩА У ЙОГО БІОРІЗНОМАНІТТЯ (НА ПРИКЛАДІ КАР'ЄРУ ПАФ "ДНІСТЕР" У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ)

*SPONTANEOUS FLORA OF A QUARRY WITH A DRY EXCAVATION AND THE ROLE  
OF A LANDFILL IN ITS BIODIVERSITY (ON THE EXAMPLE OF THE QUARRY OF PAF "DNISTER"  
IN LVIV REGION)*

### Анотація

Розглянуто особливості формування спонтанної флори на території Миколаївського піщано-вапнякового кар'єру. Встановлено, що спонтанну флору формує 204 види вищих рослин, які відображають строкатість умов місцезростання на кар'єрі. Виявлено місцезростання охоронюваного виду рослин *Botrychium lunaria* (L.) Sw. або гронянки півмісяцевої (ключ-трава) з природоохоронним статусом – «рідкісний» (Червона книга України, 2009). Чисельність виявленої ценопопляції на сьогодні є найбільшою з відомих на території України. Встановлено, що ділянки Миколаївського сміттєзвалища є потужним джерелом синантропних видів рослин на територію кар'єру. Серед синантропів поширені апофіти та адвенти. Ідентифіковано односезонні локалітети кенофітів, ефемерофітів та трапляються інвазійні види.

**Ключові слова:** кар'єр з сухою виїмкою, сміттєзвалище, спонтанна флора, синантропні види, адвенти, інвазійні види.

### Abstract

Peculiarities of spontaneous flora formation on the territory of Mykolayiv sand and limestone quarry are considered. It is established that the spontaneous flora is formed by 204 species of higher plants,

which reflect the diversity of habitat conditions in the quarry. The habitat of the protected plant species *Botrychium lunaria* (L.) Sw. or crescent clusters (key-grass) with conservation status – «rare» (Red Book of Ukraine, 2009). The number of identified coenopopulations is currently the largest known in Ukraine. It has been established that the plots of the Mykolayiv landfill are a powerful source of synanthropic plant species on the territory of the quarry. Apophytes and Adventists are common among synanthropes. One-season localities of kenophytes, ephemeroxytes have been identified and invasive species occur.

**Keywords:** quarry with dry excavation, landfill, spontaneous flora, synatropic species, advent, invasive species.

**Актуальність проблеми.** Актуальність розроблюваної теми роботи обумовлена впливом на навколишнє середовище, в тому числі і біологічне різноманіття, полігонів твердих побутових відходів та сміттєзвалищ, які в Україні розташовані на площах, що порівняні з Волинською областю.

**Аналіз останніх досліджень.** Обсяги твердих побутових відходів в Україні не дуже відстають від середньоєвропейських. Щорічно українці продукують близько 14 мільйонів тон сміття – це близько 300 кг на людину. Загальна маса твердих відходів в країні щорічно сягає 1 млрд. тон. Із них лише 5,6% відсортовується, 1,4% відходів спалюється на сміттєспалювальному заводі в Києві, а 93% просто вивозяться у несортованому вигляді на сміттєзвалища. В Україні система управління відходами, в основному складається з елементів: санітарне очищення і видалення відходів, утилізація і рециклінг цінної вторинної сировини, термічна обробка побутових відходів, розміщення і поховання побутових відходів [1, 2].

Домінуючим методом в Україні поводження з побутовими відходами залишається розміщення і поховання твердих побутових відходів на сміттєзвалищах і спеціальних полігонах. Полігони твердих побутових відходів – це інженерна споруда зі своїми спеціальними санітарними та екологічними вимогами, що призначена для захоронення побутових відходів. Вона повинна запобігати негативному впливу складованих твердих побутових відходів на навколишнє середовище та відповідати санітарно-епідеміологічним і екологічним нормам. А сміттєзвалища слугують тимчасовими майданчиками для накопичення відходів для їх подальшого перероблення або ж захоронення на полігони. Сміттєзвалищ в Україні нараховується 39132 шт., з них офіційно зареєстрованих є 6148 шт., а несанкціонованих більше ніж у 5 разів більше – 32984 шт. Нині 5% території України займають площі побутових відходів, а це дорівнює площі Волинської області. За прогнозами, до 2025 року кількість відходів збільшиться у 4-5 разів, а вартість переробки – у 2-3 рази. При цьому, вартість захоронення сміття в Україні нині становить 4,02 гривні на одну тону. Переробляти сміття в Україні у рази дорожче, ніж про-

сто вивезти на полігон [1, 3]. Більшість сміттєзвалищ (80-90%) працюють в режимі перевантаження, з давно порушеними проектними показниками по об'ємах надходження відходів, без дотримання запобіжних заходів відносно забруднення підземних вод і повітряного басейну. Ці полігони розміщені поблизу міст і приймають міські відходи. У селах в переважній більшості сміття просто вивозять за околиці і скидають в природні поглиблення (яри, рови тощо). Поширеною є практика вивезення сміття на об'єкти, які не передбачені до використання як сміттєзвалища (лісові поляни, поля тощо). Так лише великих стихійних нагромаджень сміття налічується близько 66% кількості сміттєзвалищ [2]. Їх експлуатація у більшості пов'язана з економічними та екологічними проблемами [3 – 7].

Відмічається, що складування сміття на сміттєзвалищах і спеціальних полігонах є згубним для довкілля. Окрім того, що в цих умовах спостерігається негативний вплив випарів та запахів у повітря, просочування фільтрату та важких металів у ґрунтові води, розвивається спонтанна флора з переважанням синантропних видів рослин, в тому числі адвентивних та інвазійних. В умовах недостатнього фінансування сфери поводження із твердими побутовими відходами пропонується розміщення твердих побутових відходів у відпрацьованих кар'єрах, ярах, траншеях, що дасть змогу поховати сміття та використовувати відпрацьовані території для соціокультурних потреб і гармонізувати складування сміття з одночасної рекультивациєю порушених територій [8 – 10].

**Мета роботи.** Мета роботи оцінити біорізноманіття спонтанної флори Миколаївського родовища піску та вапняків і вплив на нього Миколаївського сміттєзвалища.

**Методика робіт.** Польові дослідження флори Миколаївського родовища піску та вапняків виконувались на застосуванні загальноприйнятих методів: статистичному аналізу, польовій експедиції, камеральній обробці [14–15]. Латинські та українські назви видів флори подано відповідно до сучасної таксономії [16].

**Виклад основного матеріалу.** Миколаївське сміттєзвалище в урочищі Гроби розташоване в центрі діючого піщано-вапнякового кар'єру за межами міста. Миколаївське родовище піску та вапняків є друге найбільше за розмірами родовище Львівської області, розташоване на території Миколаївського району на північно-східній околиці міста Миколаїв. Найближчими до родовища населеним пунктом є місто Миколаїв – 10-15 м. У районі розташування родовища розвинена мережа автомобільних доріг. На відстані 2,0 км на захід від родовища проходить автомобільна дорога національного значення Н-13 «Львів-Миколаїв-Стрий-Ужгород». Основним споживачем корисної копалини – піску, глини і каоліну є Приватна агрофірма «Дністер» (ПАФ «Дністер»). Гірничий відвід Миколаївського родовища піску та вапняків становить 102 га, середній обсяг видобутку дорівнює до 35 тис. м<sup>3</sup>/

міс. Місцезнаходження с. Верин, Миколаївський р-н, Львівська обл. У геоморфологічному відношенні територія належить до Подільської височини і представлена найбільш підвищеною і розчленованою Розтоцько-Опільською підобластю. Розташоване в межах геоморфологічних районів: Стільсько-Бібрського Опілля та Городоцько-Щирецької рівнини. Район Подільського нагір'я з горбистим рельєфом і абсолютними висотами до 340 м над рівнем моря. Характеризується широколистяними буково-дубовими лісами і переважно сірими підзолистими ґрунтами. Клімат помірно-континентальний. Характеризується м'якістю і високою вологістю повітря: тривалість вегетаційного періоду 205 днів, глибина промерзання ґрунту до 39 см, кількість днів зі зливами – 10-20, середньорічна температура повітря – +7,5 С°; температура повітря макс. +36 С°, мінім. -35 С°, середньорічна кількість опадів – 645 мм. Кліматичні фактори, що негативно впливають на ріст і розвиток рослинності: в окремі роки спостерігаються пізні весняні заморозки; протягом зими змінюються умови погоди – часті відлиги і зниження температури приводять до вимерзання лісових культур і зниження їх зимостійкості, а мокрий сніг приводить до утворення сніголамів та сніговалів. В районі Миколаївського родовища піску та вапняків на схід та південний схід на відстані 1-1,5 км розташовані межі об'єкту Смарагдової мережі: UA0000177 Stilske Horbohiria (Табл. 1. Рис. 1).

Об'єкт Смарагдової мережі Stilske Horbohiria створено з метою охорони та відновлення природних умов для збереження унікального пташиного комплексу, в т. ч. понад 135 гніздових видів та 74 видів зимуючих птахів, багато з яких перераховані в Червоній книзі даних України та збереження іншого перелітних птахів. Смарагдовий об'єкт включає 5 заповідних територій регіонального рівня охорони: Липниківський заказник – ландшафтний заказник місцевого значення (засновано 1984 р.), Відслонення тортонських пісковиків із скупченням викопної тортонської фауни – геологічна пам'ятка природи місцевого значення (засновано 1984 р.), Стариці Дністра, ландшафтний заказник загальнодержавного значення (засновано 1989 р.), Стільська – комплексна пам'ятка природи місцевого значення (засновано 1999 р.), Роздільське – заповідне урочище місцевого значення (засновано 1984 р.).

Утилізація сміття на Миколаївському сміттєзвалищі пов'язана з великими проблемами економічного та політичного характеру. Проте сміттєзвалище в межах укладених угод компанією «Екотех» з місцевим комунальним підприємством протягом дня приймає твердих побутових відходів обсягом понад 120 тон [12 – 14].

За результатами досліджень на ухилах та відкосах Миколаївського родовища та на ділянках самозаростання в місцях де вже закінчена виробітка родовища ідентифіковано спонтанну флору, яка представлена 204 видами рослин. Зокрема: *Abietinella abietina* (Hedw.) M.Fleisch., *Acer platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *Achillea submillefolium* Klok. et Krytzka, *Acinos arvensis* (Lam.)

Таб. 1. Характеристика об'єкта Смарагдової мережі UA0000177 Stilske Horbohiria

Код місцепроживання	Місцепроживання	Площа, га	Птахи, к-сть видів	Інші, к-сть	Типи оселищ, к-сть	Всі таксони, шт
UA0000177	Stilske Horbohiria	22867,0	19	16	13	48



Рис. 1 – Схема міста Миколаїв, родовища піску і вапняків та об'єкту Смарагдової мережі UA0000177 Stilske Horbohiria (фрагмент Google карти).

Dandy, *Aegopodium podagraria* L., *Agrimonia eupatoria* L., *A. procera* Wallr., *Ajuga reptans* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Anemone nemorosa* L., *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Anthyllis vulneraria* L., *Arenaria viscida* Hall. f. ex Lois., *Arrhenatherum elatius* (L.) J. et C. Presl, *Artemisia absinthium* L., *A. campestris* L., *A. vulgaris* L., *Asarum europaeum* L., *Astragalus glycyphyllos* L., *Atrichum undulatum* (Hedw.) P.Beauv., *Barbula unguiculata* Hedw., *Betula pendula* Roth., *Botrychium lunaria* (L.) Sw., *Brachypodium sylvaticum* (Huds.) Beauv., *Briza media* L., *Bromus mollis* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Campanula persicifolia* L., *C. rapunculoides* L., *C. trachelium* L., *Cardaminopsis arenosa* (L.) Hayek, *Carex contigua* Hoppe, *C. digitata* L., *C. hirta* L., *C. pallescens* L., *C. pilosa* Scop., *C. sylvatica* Huds., *Carlina vulgaris* L., *Carpinus betulus* L., *Centaurea jacea* L., *C. rhenana* Boreau, *Cerastium arvense* L., *C. holosteoides* Fries, *Cerasus avium* (L.) Moench, *C. mahaleb* (L.) Mill., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Chaenorhinum minus* (L.) Lange, *Chaerophyllum aromaticum* L., *Chenopodium album* L., *Cichorium intybus* L., *Cirsium arvense*



(L.) Scop., *C. vulgare* (Savi) Ten., *Clinopodium vulgare* L., *Convallaria majalis* L., *Coronilla varia* L., *Corylus avellana* L., *Crataegus crus-galli* L., *C. monogyna* Jacq., *Crepis biennis* L., *Cruciata glabra* (L.) Ehrend., *Dactylis glomerata* L., *Daphne mezereum* L., *Daucus carota* L., *Digitalis grandiflora* Mill., *Echium vulgare* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Epilobium dodonaei* Vill., *Equisetum arvense* L., *Erigeron acris* L., *E. canadensis* L., *Erysimum odoratum* Ehrh., *Euonymus verrucosa* Scop., *Euphorbia amygdaloides* L., *E. cyparissias* L., *Fagus sylvatica* L., *Festuca gigantea* (L.) Vill., *F. pratensis* Huds., *F. rubra* L. s. str., *Fragaria vesca* L., *F. viridis* Duch., *Fraxinus excelsior* L., *Fumaria officinalis* L., *Galeobdolon luteum* Huds., *Galium aparine* L., *G. intermedium* Schult., *G. mollugo* L., *Geranium robertianum* L., *Geum urbanum* L., *Hedera helix* L., *Helianthemum ovatum* (Viv.) Dun., *Hepatica nobilis* Mill., *Hieracium pilosella* L., *H. piloselloides* Vill., *Hippophae rhamnoides* L., *Holcus lanatus* L., *Hypericum perforatum* L., *Jacobaea vulgaris* Gaertn., *Juglans regia* L., *Knautia arvensis* (L.) Coult., *Lactuca serriola* Torner, *Lamium purpureum* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Leontodon hispidus* L., *Leucanthemum vulgare* Lam., *Linum catharticum* L., *Lolium multiflorum* Lam., *Lotus corniculatus* L., *L. uliginosus* Schkuhr, *Luzula campestris* (L.) DC., *Malus domestica* Borkh., *Medicago falcata* L., *M. lupulina* L., *Melampyrum nemorosum* L., *Melica nutans* L., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Melittis melissophyllum* L., *Nymphaea candida* N. et C. Presl, *Odontites vulgaris* Moench, *Oenothera rubricaulis* Klebahn, *Ononis arvensis* L., *Origanum vulgare* L., *Papaver rhoeas* L., *Pastinaca sativa* subsp. *sylvestris* (Mill.) Rouy & E.G. Camus, *Phleum pratense* L., *Pimpinella saxifraga* L., *Pinus sylvestris* L., *Plagiomnium affine* (Bland.) T. Kop., *Plantago lanceolata* L., *P. major* L., *P. media* L., *Poa compressa* L., *P. nemoralis* L., *P. pratensis* L., *P. trivialis* L., *Polygala decipiens* Bess., *Polygonatum multiflorum* (L.) All., *Polygonum convolvulus* L., *Populus alba* L., *P. tremula* L., *Potentilla anserina* L., *P. arenaria* Borkh., *P. humifusa* Willd. ex Schlecht., *Primula veris* L., *Prunus divaricata* Ledeb., *P. spinosa* L., *Pulmonaria obscura* Dumort., *Pyrus communis* L., *Quercus robur* L., *Q. s. rubra* L., *Ranunculus acris* L., *Reseda lutea* L., *Rhinanthus minor* L., *Rosa canina* L., *R. villosa* L., *Rubus caesius* L., *R. plicatus* Weihe et Nees, *Rumex acetosa* L., *Salix acutifolia* Willd., *S. caprea* L., *S. purpurea* L., *Salvia glutinosa* L., *Sanicula europaea* L., *Scabiosa ochroleuca* L., *Senecio jacobaea* L., *Seseli annuum* L., *Silene nutans* L., *S. vulgaris* (Moench) Garcke, *Solidago canadensis* L., *Sonchus arvensis* L., *Sorbus aucuparia* L., *Stellaria media* (L.) Vill., *Stenactis annua* Nees, *Swida alba* (L.) Opiz, *S. sanguinea* (L.) Opiz, *Symphytum officinale* L., *Taraxacum officinale* aggr., *Teucrium chamaedrys* L., *Thuidium assimile* (Mitt.) A. Jaeger Syn., *Thymus pulegioides* L., *Tilia cordata* Mill., *Tragopogon pratensis* L., *Trifolium campestre* Schreb., *Trifolium medium* L., *T. pratense* L., *T. repens* L., *Trisetum flavescens* (L.) Beauv., *Tussilago farfara* L., *Typha laxmannii* Lepech., *Ulmus glabra* Huds., *Urtica dioica* L., *Valeriana officinalis* L., *Verbascum phlomoides* L., *V. phoeniceum* L., *Veronica chamaedrys* L., *V. officinalis* L., *Viburnum opulus* L., *Vicia angustifolia* Reichard, *V. cracca* L., *V. hirsuta* (L.) S.F. Gray, *V. sepium* L., *Viola hirta* L., *V. mirabilis* L.

Особливо слід відмітити, що на відносно стрімкому (40-50°) слабо задернованому схилі кар'єру (період експлуатації – 60-ті роки двадцятого століття) було виявлено місцезростання *Botrychium lunaria* (L.) Sw. або гронянки півмісяцевої (ключ-трава). Це рідкісний голарктичний вид папоротеподібних родини Вужачкові – *Orphioglossaceae* із диз'юнкціями в Австралії та Північній Америці. В Євразії він поширений в Європі, Західному і Східному Сибіру (лісова зона), Середній Азії, Гімалаях та на Далекому Сході. В Україні росте переважно в лісовій, рідше лісостеповій зонах на рівнині, а також в Українських Карпатах та Кримських горах. Охороняється на загальнодержавному рівні з природоохоронним статусом – «рідкісний» (Червона книга України, 2009). Загальна чисельність виявленої ценопопляції нараховує 35 особин на площі 100 м<sup>2</sup>. На сьогодні це одна з найбільших ценопопуляцій виду, що відомі з території України.

У спонтанній флорі панують Дводольні, які представлені 164 видами, 120 родами та 44 родинами. Однодольні представлені 31 видом, 20 родами та 5 родинами (табл.2).

Таб. 2. Таксономічна структура флори ділянок Миколаївського родовища

№ пп	Відділ	Кількість родин		Кількість родів		Кількість видів	
		од.	%	од.	%	од.	%
1	Листостеблові мохи	6	10,34	6	4,03	6	2,94
2	Хвоцевидні	1	1,72	1	0,67	1	0,49
3	Однодольні	5	8,62	20	13,42	31	15,20
4	Дводольні	44	75,86	120	80,54	164	80,39
5	Хвойні	1	1,72	1	0,67	1	0,49
6	Плауноподібні	1	1,72	1	0,67	1	0,49
	Разом	58	100,00	149	100,00	204	100,00

Спонтанна флора Миколаївського родовища піску та вапняків представлена у більшості трав'янистими рослинами – 166 таксонів, або 81,37%. Деревна флора представлена *Acer platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *Betula pendula* Roth., *Carpinus betulus* L., *Cerasus avium* (L.) Moench, *C. mahaleb* (L.) Mill., *Corylus avellana* L., *Crataegus crus-galli* L., *C. monogyna* Jacq., *Daphne mezereum* L., *Euonymus verrucosa* Scop., *Fagus sylvatica* L., *Fraxinus excelsior* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Juglans regia* L., *Malus domestica* Borkh., *Pinus sylvestris* L., *Populus alba* L., *P. tremula* L., *Prunus divaricata* Ledeb., *P. spinosa* L., *Pyrus communis* L., *Quercus robur* L., *Q. rubra* L., *Rosa canina* L., *R. villosa* L., *Rubus caesius* L., *Salix acutifolia* Willd., *S. caprea* L., *S. purpurea* L., *Sorbus aucuparia* L., *Swida alba* (L.) Opiz, *S. sanguinea* (L.) Opiz, *Tilia cordata* Mill., *Ulmus glabra* Huds. та *Viburnum opulus* L.



Рис. 2 – Типи життєвих форм флори Миколаївського родовища

Для спонтанної флори Миколаївського родовища піску та вапняків характерно панування лісо-чагарникового (105 таксонів, або 53,57%), лучно-степового (42 таксони, або 21,43%) та агро-рудерального (23 таксони, або 11,73%) флороценотипів, що притаманно для Стільсько-Бібрського Опілля.

Структура трофоморф флори Миколаївського родовища піску та вапняків вказує на відносно багаті умови кар'єру. Рослини репрезентують в основному відносно забезпечені для росту рослин умови. Серед них рослини, які характерні для бідних умов (оліготрофи та мезо-оліготрофи – 13 таксонів, або 6,37%), відносно бідних (оліго-мезотрофи, мезотрофи та ев-мезотрофи – 94 таксонів, або 46,08%) та відносно багатих (мезо-евтрофи, евтрофи та мегаевтрофи – 96 од., або 47,06%) і таксон для багатих (мегатрофи – 1 таксон, 0,49%) умови.

Розподіл флори Миколаївського родовища піску та вапняків за гідроморфами репрезентує на свіжі за вологістю умови. Рослини репрезентують як сухі (евксерофіти, ксерофіти, мезо-ксерофіти – 7 таксонів, або 3,43%), свіжі (ксеро-мезофіти, мезофіти, гігро-мезофіт – 189 таксонів, або 92,65%), вологі (мезо-гігрофіти, гігрофіти – 7 од., або 3,92%) та мокрі умови (гігрофіт – 1 од., або 0,49%).

Геліоморфи флори Миколаївського родовища підтверджують панування відкритих просторів піщано-вапнякового кар'єру. Рослини репрезентують в основному освітлені (геліофіти, сциогеліофіти – 135 таксонів, або 66,18%), відносно освітлені (геліосциофіти – 52 таксони, або 25,49%) та відносно затінені (сциофіти – 17 таксонів, або 8,33%) умови росту рослин.

Більшість видів рослин на Миколаївському кар'єрі піску та вапняків є лікувальними – 167 таксонів. Окрім того, у флорі визначено кормові – 67 таксонів, харчові – 66 таксонів, медоносні – 58 таксонів, бур'яни – 56 таксонів та декоративні – 51 таксон.



Рис. 3 –

У спонтанній флорі Миколаївського родовища піску та вапняків частка лісо-чагарникового (105 таксонів, або 36,76%) флороценотипу (Lam.) *artemisiifolia* Artemisia L., *Cerasifolia* Chenopodium (Savi) Tenore, *carota* L., *Erigeron* L., *Galeobdella rhamnoides* Coult., *Lotus corniculatus* L., *Melilotus albus* Klebahn, E.G.Cambridge, *Poa compressa* L., *Poa divaricata* L., *jacobaea* L.

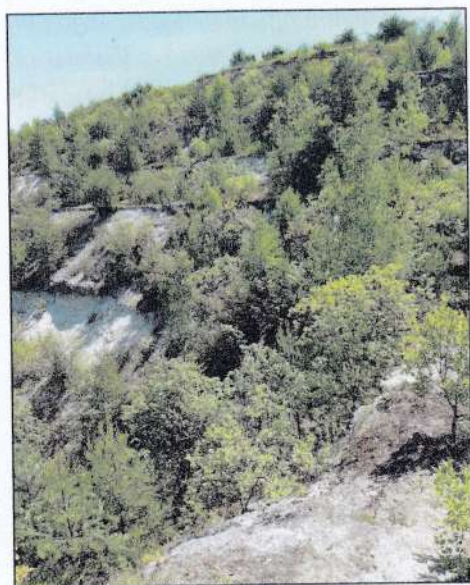


Рис. 3 – Схили Миколаївського кар'єру  
(фото автора)



Рис. 4 – Миколаївське сміттєзвалище  
(фото автора)

У спонтанній флорі Миколаївському кар'єру піску та вапняків значна частка представлена привнесеними видами, адвентами – 75 таксонів, або 36,76 %. Серед них: *Achillea submillefolium* Klok. et Krytzka, *Acinos arvensis* (Lam.) Dandy, *Aegopodium podagraria* L., *Agrimonia eupatoria* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Arenaria viscida* Hall. f. ex Lois., *Artemisia absinthium* L., *A. vulgaris* L., *Bromus mollis* L., *Campanula rapunculoides* L., *Cerastium arvense* L., *C. holosteoides* Fries, *Chaenorhinum minus* (L.) Lange, *Chenopodium album* L., *Cichorium intybus* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *C. vulgare* (Savi) Ten., *Coronilla varia* L., *Crataegus crus-galli* L., *Crepis biennis* L., *Daucus carota* L., *Echium vulgare* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Equisetum arvense* L., *Erigeron acris* L., *E. canadensis* L., *Euphorbia cyparissias* L., *Fumaria officinalis* L., *Galeobdolon luteum* Huds., *Galium aparine* L., *Geum urbanum* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Jacobaea vulgaris* Gaertn., *Juglans regia* L., *Knautia arvensis* (L.) Coult., *Lactuca serriola* Torner, *Lamium purpureum* L., *Lolium multiflorum* Lam., *Lotus corniculatus* L., *Malus domestica* Borkh., *Medicago falcata* L., *M. lupulina* L., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Odontites vulgaris* Moench, *Oenothera rubricaulis* Klebahn, *Papaver rhoeas* L., *Pastinaca sativa* subsp. *sylvestris* (Mill.) Rouy & E.G.Camus, *Pimpinella saxifraga* L., *Plantago lanceolata* L., *P. major* L., *P. media* L., *Poa compressa* L., *Polygonum convolvulus* L., *Potentilla anserina* L., *Prunus divaricata* Ledeb., *Quercus rubra* L., *Reseda lutea* L., *Rhinanthus minor* L., *Senecio jacobaea* L., *Solidago canadensis* L., *Sonchus arvensis* L., *Stellaria media* (L.) Vill.,

*Stenactis annua* Nees, *Swida alba* (L.) Opiz, *Taraxacum officinale* aggr., *Trifolium campestre* Schreb., *T. repens* L., *Tussilago farfara* L., *Urtica dioica* L., *Verbascum phlomoides* L., *Vicia angustifolia* Reichard, *Vicia cracca* L., *V. hirsuta* (L.) S.F. Gray, *V. sepium* L.

Слід відмітити, що значну частку спонтанної флори Миколаївського кар'єру складають заносні синантропні види з території сміттєзвалища. Серед них представлені апофіти (*Artemisia campestris* L., *Artemisia vulgaris* L., *Chenopodium album* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Stellaria media* (L.) Vill., *Urtica dioica* L., *Tussilago farfara* L. тощо) та адвентивні види (*Armoracia rusticana* Gaertn., Mey. et Scherb., *Artemisia absinthium* L., *Chaenorhinum minus* (L.) Lange, *Fumaria officinalis* L., *Lactuca serriola* Torner, *Papaver rhoeas* L., *Pastinaca sylvestris* Mill., *Reseda lutea* L., *Sonchus arvensis* L., тощо). Із твердими побутовими відходами рослинних решток (з присадибних ділянок, городів, квітників, садів) тут пов'язані головним чином односезонні локалітети кенофітів, ефемерофітів (декоративні рослини, польові та городні культури): *Amaranthus paniculatus* L., *Cosmos bipinnatus* Cav., *Beta vulgaris* L., *Brassica oleracea* L., *Calendula officinalis* L., *Lycopersicon esculentum* Mill., *Solanum tuberosum* L., *Cucurbita pepo* L. тощо.

На окремих ділянках Миколаївського сміттєзвалища відмічено також молодий підріст дерев і кущів, зокрема: *Hippophae rhamnoides* L., *Cerasus mahaleb* (L.) Mill., *Juglans regia* L., *Malus domestica* Borkh., *Prunus divaricata* Ledeb., *Swida alba* (L.) Opiz тощо.

На території Миколаївського сміттєзвалища часто трапляються інвазійні види рослин: *Acer negundo* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Erigeron canadensis* L., *Oenothera rubricaulis* Klebahn, *Solidago canadensis* L., *Stenactis annua* Nees, *Bidens frondosa* L. тощо. *Acer negundo* L. – дерево до 25 м. Походить з північної Америки. Зимо- і посухостійка рослина. Розмножують насінням. Ксенофіт, агріофіт, характер поширення – суцільний; мезофіт, геліосціофіт, анемохор; декоративна, медоносна, харчова, бур'яниста й технічна рослина. *Malus sylvestris* (L.) Mill. – дерево заввишки від 3 до 10-12 м. Походить з Європи. Зимостійка рослина. Розмножується насінням. Ксенофіт, ефемерофіт, характер поширення – дифузне, мезофіт, сціогеліофіт, ендозоохор; декоративна, лікарська, медоносна і харчова рослина. *Rosa rugosa* Thunb. – чагарник заввишки до 2 м. Походить з Японії, Китаю. Морозостійка рослина, зростає повсюдно. Інвазійна активність проявляється внаслідок утворення повзучих кореневищ, з яких виростають порослеві пагони і формують густі моновидові зарості. *Salix × fragilis* L. – дерево заввишки 15-20 м. Походить з малої Азії та Європи. Швидкоросла, світлолюбна рослина. Розмножується насінням. Археофіт, характер поширення – суцільне, мезофіт, геліофіт, анемохор; вітамінна, декоративна, кормова, лікарська, ефіроолейна та технічна рослина. Для деревної інвазійної фракції є притаманні стратегії, що забезпечують активні фітоінвазії. Це підвищена репродуктивна здатність завдяки утво-

ренню значної кількості вегетативних клонів і активне перенесення насіння птахами, що з одної сторони є сприятливим для формування зімкнутого рослинного покриву на відпрацьованих площах кар'єру. Окремі види мають високу алопатичну активність та здатність до трансформації природного середовища. Потенційно інвазійними вважаємо усі адвентивні види деревних і чагарникових рослин, з високою регенераційною здатністю.

**Висновки.** За результатами виконаних досліджень встановлено, що спонтанна флора на ухилах та відкосах навколо Миколаївського піщано-вапнякового кар'єру та на ділянках самозаростання в місцях де вже закінчені виробітки родовища представлена 204 видами рослин.

При цьому, на стрімкому слабо задернованому схилі старої кар'єрної виробітки виявлено місцезростання *Botrychium lunaria* (L.) Sw. або гронянки півмісяцевої (ключ-трава) – рідкісного голарктичного виду папоротеподібних родини Вужачкові – *Ophioglossaceae*. Місцезростання виду охороняються на загальнодержавному рівні з природоохоронним статусом – «рідкісний» (Червона книга України, 2009). Чисельність виявленої ценопопляції нараховує 35 особин на площі 100 м<sup>2</sup>, що на сьогодні є найбільшою з відомих на території України ценопопуляцій виду.

У спонтанній флорі Миколаївського кар'єру панують Дводольні – 164 види (80,39%), 120 родів (80,54%) та 44 родини (75,86%). Однодольні представлені 31 видом (15,20%), 20 родами (13,42%) та 5 родинами (8,62%). Досліджувана флора представлена у більшості трав'янистими рослинами – 166 таксонів, або 81,37%. Загалом, для спонтанної флори Миколаївського родовища піску та вапняків характерно панування притаманних для Стільсько-Бібрського Опілля лісо-чагарникового (53,57%), лучно-степового (21,43%) та агро-рудерального (11,73%) флороценотипів.

Структура трофоморф флори Миколаївського родовища піску та вапняків вказує на відносно багаті умови кар'єру. Рослини репрезентують в основному відносно забезпечені для росту рослин умови: оліготрофи та мезо-оліготрофи – 6,37%, оліго-мезотрофи, мезотрофи та ев-мезотрофи – 94 46,08% та мезо-евтрофи, евтрофи та мегаевтрофи – 47,06% і мегатрофи – 0,49%. Розподіл гідроморф флори Миколаївського родовища піску та вапняків репрезентує свіжі за вологістю умови.

Геліоморфи флори Миколаївського родовища підтверджують панування відкритих просторів піщано-вапнякового кар'єру: геліофіти та сциогеліофіти – 66,18%, геліосциофіти – 25,49% та сциофіти – 8,33% рослин.

У спонтанній флорі Миколаївському кар'єру піску та вапняків значна частка представлена привнесеними видами, адвентами – 36,76 %.

Територія Миколаївського сміттєзвалища є потужним джерелом синантропних видів рослин на прилеглі до нього ділянки кар'єру. Серед них апофіти (*Artemisia campestris* L., *Artemisia vulgaris* L., *Chenopodium album* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Stellaria media* (L.) Vill., *Urtica dioica* L., *Tussilago*

farfara L. тощо) та адвенти (*Armoracia rusticana* Gaertn., Mey. et Scherb., *Artemisia absinthium* L., *Chaenorhinum minus* (L.) Lange, *Fumaria officinalis* L., *Lactuca serriola* Torner, *Papaver rhoeas* L., *Pastinaca sylvestris* Mill., *Reseda lutea* L., *Sonchus arvensis* L. тощо). Поширені односезонні локалітети кенофітів, ефемерофітів: *Amaranthus paniculatus* L., *Cosmos bipinnatus* Cav., *Beta vulgaris* L., *Brassica oleracea* L., *Calendula officinalis* L., *Lycopersicon esculentum* Mill., *Solanum tuberosum* L., *Cucurbita pepo* L. тощо. Часто трапляються інвазійні види: *Acer negundo* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Erigeron canadensis* L., *Oenothera rubricaulis* Klebahn, *Solidago canadensis* L., *Stenactis annua* Nees, *Bidens frondosa* L. тощо. І загалом, підвищена репродуктивна здатність цих рослин сприятливим чинником для формування зімкнутого рослинного покриву на відпрацьованих площах кар'єру.

Характер самовідновлення біотопів на виробках Миколаївського кар'єру піску і вапняків та ділянок Миколаївського сміттєзвалища визначається ступенем механічного порушення ґрунтового субстрату та часом, що минув після припинення видобутку корисної копалини і складування твердих побутових відходів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Сміттева біда Волині, або чому нові полігони не вирішують проблеми з відходами. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://shatsk.rayon.in.ua/news/15862-smitteva-bida-volini-abo-chomu-novi-poligoni-ne-virishat-problemi-z-vidhodami>.
2. Диана Курьшко. 500 пирамід Хеопса: скільки мусора в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-russian-43417368>.
3. В Дніпре представителі компанії по вивозу мусора напали на мужчину с пистолетом. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://opentv.media/v-dnepre-stroyat-edinyj-tsentri-okazaniya-administrativnyh-i-sotsialnyh-uslug>.
4. В Запорозької області на месте стихийных свалок появляются камеры видеонаблюдения. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://iz.com.ua/zaporoje/v-zaporozhskoy-oblasti-na-meste-stihiynyih-svalok-poyavyatsya-kameryi-videonablyudeniya>.
5. Рагуліна М. Є. Кам'яністі техногенні відслонення як осередки підтримання різноманітності бріофлори Розточчя-Опілля. // Наукові записки Державного природознавчого музею. Львів, 2004. Т. 19. С. 123–128.
6. На Київщині побудують шість сміттєпереробних заводів. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rubryka.com/2021/10/31/na-kyuyivshhyni-pobuduyut-shist-smittyepereobnyh-zavodiv/>.
7. Італійська армія знову розчищає вулиці Неаполя. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.radiosvoboda.org/a/24097112.html>.
8. Попович В. В. Полігони твердих побутових відходів у вироблених кар'єрах, ярах, траншеях і особливості їх фітомеліорації. Науковий вісник НЛТУ України. 2012. Вип. 22.11. С. 119–128.

9. Попович В. В. Природні фітомеліоративні процеси на Львівському міському полігоні твердих побутових відходів / Збірник УкрНДІЛГА: Лісівництво і агролісомеліорація. 2012. № 120. С. 80–87.
10. Слюсар В., Серета А., Стокалюк О. Аналіз екологічної небезпеки існуючих сміттєзвалищ та стратегія її мінімізації (на прикладі Грибовицького сміттєзвалища). Науково-технічний журнал, № 1, (15), 2017. С. 5–11.
11. Михайло Галушак. Миколаїв сьогодні бореться за те, щоб не стати «другими Грибовичами». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – <https://dyvys.info/2018/07/17/mykolayiv-sogodni-boretsya-za-te-shhob-ne-staty-drugymy-grybovychamy-myhajlo-galushhak/>.
12. На Львівщині показали, як впорядкували миколаївський полігон сміття (фото). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – <https://dyvys.info/2018/05/11/nalvivshhyni-pokazaly-yak-vporyadkuvaly-mykolayivskyy-poligon-smittya-foto/>.
13. Назад в минуле. Показове приватне сміттєзвалище у Миколаєві вимагають знову передати комунальникам-банкрутам. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – [https://galinfo.com.ua/news/nazad\\_v\\_mynule\\_pokazove\\_pryvatne\\_smittiezvalyshche\\_u\\_mykolaievi\\_vymagayut\\_znovu\\_peredaty\\_komunalnykambankrutam\\_299133.html](https://galinfo.com.ua/news/nazad_v_mynule_pokazove_pryvatne_smittiezvalyshche_u_mykolaievi_vymagayut_znovu_peredaty_komunalnykambankrutam_299133.html).
14. Екофлора України. В 6 т. / за ред. Я.П. Дідуха. Київ: Фітосоціоцентр. 2000–2010.
15. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я.П. Дідуха. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
16. Mosyakin S. L. Fedoronchuk M.M. Vascular plants of Ukraine a nomenclatural checklist. Kyiv, 1999. 234 p.



**Ph.D., Associate Professor Mykhailo Petlovanyi**

Dnipro University of Technology, Ukraine  
petlovanyi@ukr.net, +380963194577  
ORCID: 0000-0002-8911-4973

**Ph.D., Associate Professor Kateryna Sai**

Dnipro University of Technology, Ukraine  
kateryna.sai@gmail.com, +380631138454  
ORCID: 0000-0003-1488-3230

**Assistant Professor Yevheniia Sherstiuk**

Dnipro University of Technology, Ukraine  
eusherstuk@gmail.com, +380665279367  
ORCID: 0000-0002-1844-1985

---

## UTILIZATION OF TECHNOGENIC WASTE AND THE FORMATION OF A BACKFILL MASS ON ITS BASIS DURING UNDERGROUND MINING OF IRON ORE DEPOSITS

### Abstract

The presented research is devoted to the problematic issues of utilization of industrial technogenic waste from the enterprises of the mining and metallurgical complex in Ukraine. The data on the industrial technogenic waste accumulation have been generalized, and, as it has been determined, the highest yield of waste is provided by the mining, processing and metallurgical industries. A detailed analysis has been performed of the technogenic waste utilization in the composition of cemented rockfill mixtures intended for filling underground cavities at mining enterprises. The peculiarities and aspects of backfilling operations at an advanced iron ore plant have been revealed. The paper presents a study of the parameters of the backfill mass formation from technogenic waste in terms of its qualitative characteristics.

**Keywords:** technogenic waste, mining, underground.

### 1. Introduction. The general state of the technogenic waste accumulation in Ukraine

For a long period of time, on the territory of the industrial regions of Ukraine, the structure of natural resources management has been formed without taking into account the objective laws of development, as well as the restoration of natural resource complexes and ecosystems. In addition, preference was given to the development of ecologically-dangerous resource-extracting and processing industries on these territories, which has led to a high pollution level of the atmosphere, ground and surface waters, as well as the accumulation of significant volumes of hazardous, including toxic and radioactive industrial waste. As a result, in the early 1990s, the state of ecosystems and the health of the population sharply deteriorat-

ed in these regions, the birth rate decreased, the mortality rate increased, which has caused a negative population growth [1, 2].

Industrial regions are one of the main factors in the unsatisfactory ecological state in Ukraine, since their share in the total volume of emissions and discharges of pollutants, as well as the volume of waste generation, is 70-90%. The energy intensity of the Ukrainian gross domestic product (GDP) is more than 9 times higher than the average European indicator. Almost 100% of fuel for nuclear power plants, 90% of oil, 80% of natural gas and about 15% of coal are imported annually. In the structure of GDP, the share of resource-intensive and energy-intensive (the most polluting the environment) industries, such as mining and metallurgical, fuel and energy, as well as chemical and petrochemical industries, has increased. A strongly marked raw-material orientation of exports has been formed (60%, of which 40% is ferrous metallurgy). The physical and technological obsolescence of the main industrial and production assets has acquired a significant scale (60-70%) [3, 4].

The activity of industrial complexes is characterized by a variety of environmental impacts: there are changes in the state of its components – atmospheric air, surface and ground waters, soils, relief, rocks. These changes are causing significant, unforeseen negative consequences for the environment and society.

According to the National Report on the State of the Environment in Ukraine, the worst environmental conditions are observed in Donetsk, Dnipropetrovsk, Zaporizhia and Luhansk oblasts, where the metallurgical, mining and chemical industries are a priority.

In comparison with other countries, Ukraine belongs to one of the countries with the most specific and absolute volumes of waste generation and accumulation. A peculiarity of the Ukrainian economy structure, both in the past and at the present time, is the largely exaggerated share of the fuel and energy, metallurgical and chemical industries. Thus, in the period from 1981 to 1990, the absolute volume of all types of waste generated in Ukraine reached 1.8–1.9 billion tons annually. In subsequent years, due to the crisis phenomena growing in the economy, these indicators have significantly decreased [2, 4].

The volume of waste generated in the late 1990s – early 2000s was 700–750 million tons annually. Of these, about 250-260 million m<sup>3</sup> are formed during the extraction and processing of minerals, 20 million tons are metallurgical slags, about 10 million tons are ash and slag waste from thermal power plants, 40 million tons are waste from coal mining and coal beneficiation, etc.

According to statistical reports, the enterprises of Ukraine annually generate 77-82 million tons of toxic waste, including 1.7–2.6 million tons of I-III hazard class.

During the 1990s and early 2000s, the process of waste accumulation continued in both the industrial and household sectors. As of 2003, the total mass of waste accumulated on the territory of Ukraine (in surface storage facilities) is estimated at 30 billion tons. The preliminary assessment conducted at industrial waste accumulation facilities gives grounds to classify some of them as technogenic deposits.

The analysis of indicators for the utilization of waste as secondary raw materials in recent years indicates a trend towards resource economy in the national economic sector. Thus, according to the statistical report data, out of 51 types of valuable resource wastes, the volume of use in 2002 amounted to 83.4 million tons, which is 44.9% of the volume of waste generated and 123.2% compared to 2000. Among them, a significant share belongs to overburden and associated rocks for the construction of hydraulic structures and other works. A significant share is the processing of metallurgical slag – blast-furnace and steelmaking slags, the use of ash and slag, coal mining and coal beneficiation wastes. Compared to 2000, in 2002 the use of waste paper increased by almost 30% (up to 377 thousand tons), the use of secondary polymer raw materials increased by 56.6% (up to 8.3 thousand tons), the use of wood increased by 2.3 times (up to 854 thousand m<sup>3</sup>), the use of cullet increased by 49%, etc. [2].

In the period of 2010-2018, there were no significant changes in the structure of accumulation and handling of technogenic waste in the country, and the annual accumulation was at the level of 0.45-0.5 million tons (Fig. 1) [5, 6].

In 2015 and 2016, there is a significant decrease in the volume of waste accumulation at the level of 0.3-0.4 million tons, which is associated with the temporary occupation of the eastern territories of Ukraine and the inability of the Ministry of Ecology to keep accurate records of waste. By the type of waste management, dumping (removal to specially designated sites or facilities) is the leading one in terms of the amount of more than 50% of all generated waste.

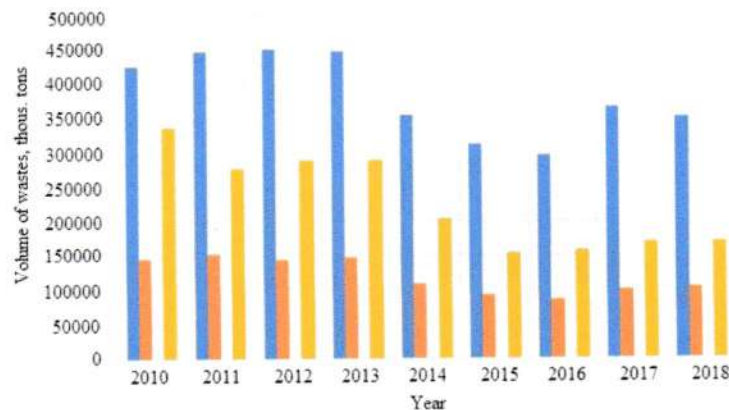


Fig 1. Dynamics of waste generation and management in Ukraine for 2010-2018 [5, 6]:

● – was formed; ● – was disposed; ● – was removed to specially designated places

Waste utilization is at the level of 25–0%, and this is mainly waste rock (64%), which must be disposed of during the reclamation of caving zones. A fairly low level of waste utilization is 1–5%, compared to the European Union, where this figure reaches 60–95%. The level of toxic waste use in different classes ranges from

5 to 30% or more. From the group of toxic wastes, oil waste and oil sludge, metal-containing and other wastes are characterized by the highest level of use.

If to consider wastes of all hazard classes accumulated in the regions of Ukraine, the undoubted leader is the Dnipropetrovsk region, where more than 80% of all wastes in the country is accumulated annually (Fig. 2) [7].

In addition, in terms of waste accumulation, Donetsk, Kirovohrad, Lviv and Luhansk regions should be distinguished. This is conditioned by the location of powerful mining enterprises on their territories (Fig. 3) [7].

According to Figure 3, by type of economic activity, the mining industry is the main industry – a waste accumulator (more than 70% of the total) in Ukraine. Thus, the Dnipropetrovsk region is the most representative in terms of the technogenic waste accumulation.

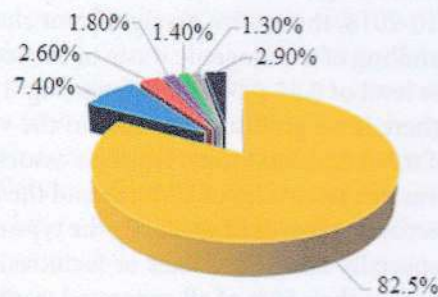


Fig. 2. Waste distribution in industrial regions of Ukraine [7]: ● – Dnipropetrovsk; ● – Donetsk; ● – Kirovohrad; ● – Lviv; ● – Luhansk; ● – Zaporizhia; ● – other regions

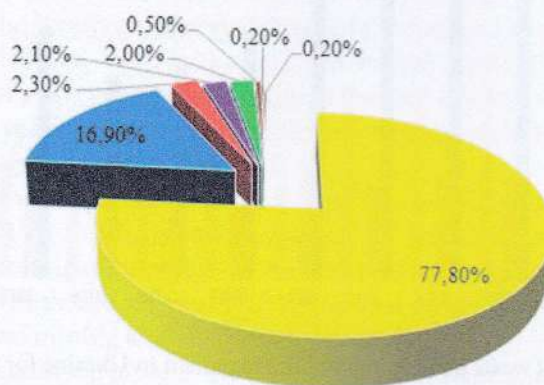


Fig. 3. Waste distribution by type of economic activity [7]: ● – Mining industry; ● – Supply of electricity, gas and air conditioning; ● – Agriculture, forestry and fisheries; ● – Processing industry; ● – Household sector; ● – Other types of economic activity; ● – Construction sector; ● – Transport, warehousing

Only through the involvement of technogenic waste in industrial development with the simultaneous restoration of valuable land can significantly change the ecological situation in Ukraine towards a positive one. The functioning of the industrial complex in Ukraine is characterized by a high level of waste generation, as a result of which more than 30 billion tons of solid wastes have been accumulated on the daylight surface within Ukraine [6]. Therefore, the problem of processing and utilization of technogenic waste is extremely urgent.

## 2. Utilization of technogenic wastes in the composition of cemented rockfill mixtures when mining the ore deposits of Ukraine

The metallurgical industry is one of the leading sectors of the Ukrainian economy, which, playing an important role in the functioning of the economy, provides foreign exchange earnings to the country's budget at the level of 40%. At the same time, in the process of creating the main products (smelting of pig-iron, steel), large-tonnage wastes are generated in the form of metallurgical slags, which are insufficiently used as raw materials and for the accumulation of which valuable land plots are allocated. The accumulation of metallurgical slags has a negative impact on the environment.

In the metallurgical industry, the annual slag output is: blast-furnace slag – about 45 million tons, open-hearth furnace slag – 20 million tons, nonferrous metallurgy – 10 million tons, other metallurgical industries – 5 million tons. And this is without taking into account the huge amount of slag accumulated on the dumps of metallurgical enterprises. Only blast-furnace slag in the form of melts, about 15 million tons, is discharged into dumps annually, the rest is granulated [8, 9].

The similarity of granulated blast-furnace slags in chemical and mineralogical composition with Portland cement, capable of exhibiting hydraulic activity during grinding, has led to several main technologies of blast-furnace slag application in the construction industry, namely, in the production of cementitious materials (raw materials for the production of Portland cement); additive to clinker in the production of portland blast-furnace-slag cement; in the production of slag binders with the addition of activators; in the production of slag-alkali binders, etc.

The experience of using the granulated blast-furnace slag in the mining industry for underground mining of rich ferrous and non-ferrous metal ores is also known, which is conducted mainly by mining systems with cemented backfilling [10-12]. At the mines of the CIS countries, granulated blast-furnace slags have found distribution as the main cementitious material or inert aggregate in the composition of cemented rockfill mixtures.

Cemented rockfill mixtures are used to fill underground cavities in the subsoil resulting from the extraction of minerals, in order to increase the rate of their

extraction (replacing the natural mass with an artificial one), thereby preventing the daylight surface deformation, preserving the groundwater regime and increasing the level of safety during mining operations. When filling underground cavities with cemented rockfill mixtures, the stress concentration in the rock mass decreases [13, 14].

Backfill mixtures are prepared mainly in surface backfill complexes, consisting of various chains of special apparatuses. With the help of pipeline transport, the mixture in a liquid state is fed into the underground space to the place of backfilling. The blast-furnace slag is usually ground in ball mills by wet grinding with a capacity of 50-60 tons/hour with a specified fractional yield of 50-60% of particles with a size of  $-0.074$  mm [15, 16]. After filling the underground cavities with the backfill mixture, the backfilled mass for a certain period of hardening crystallizes from a liquid state as a result of the hydration process into a solid state with certain strength properties.

In foreign mining practice with backfilling, priority is given to cements as a cementitious material, in domestic practice – to metallurgical slags. It is considered more expedient to use a simple and cheap backfill complex on the surface with a low consumption of binder (cement) compared to the use of slag with its transportation from metallurgical plants to the mine, as well as preparation (grinding), which is more expensive than the cost of an equivalent amount of cement. However, with large production capacities of mines and, accordingly, the volume of backfilling operations, the use of cement as the main cementitious material is economically inexpedient. The mill tailing, waste rocks, sands, metallurgical slags, flux production wastes, and the like have become widely used as inert aggregates.

The specificity of the cemented technology for backfilling the underground cavities is that, in the composition of the backfill mixtures, it becomes possible to dispose of significant volumes of industrial waste in the underground space, which improves the state of the environment in mining areas. In Ukraine, two enterprises mine ores by an underground method with cemented backfilling – PJSC Zaporizhzhia Iron Ore Plant (iron ore mining) and SE Eastern Ore Dressing Complex (VostGOK SE) (uranium ore mining).

PJSC Zaporizhzhia Iron Ore Plant mines iron ores from the Pivdenno-Bilozirske field using a stope system of mining with cemented backfilling. The following composition of the backfill mixture is used: ground-granulated blast-furnace slag “Zaporizhstal” – 700 kg, flux limestone wastes – 300–400 kg, dump blast-furnace slag – 200 kg, crushed waste rock – 300–400 kg, water – 350–400 l. The strength of the formed backfilled mass is 7–8 MPa. The ore depletion is at the level of 1–7%, loss of 8%. The annual volume of backfilling operations is 1.1–1.2 million m<sup>3</sup>. The gradual increase in the production capacity of the plant leads to a significant volume of backfilling operations. In conditions of significant volumes of backfill mixture production, the issue of its cost reduction is constantly relevant. Annually, 1.8 million tons of wastes are utilized in the underground cavities of the Pivden-

no-Bilozirske field as part of the backfill mixture. Mining operations are conducted within the limits of 640-940 m [17, 18].

SE Eastern Ore Dressing Complex develops uranium ores of the Vatutine field. To reduce the cost, crushed rocks to a particle size of 15 mm are added to the backfill mixture. The composition of 1 m<sup>3</sup> of the mixture: slag – 200-300 kg; sand – 650-750 kg; crushed rock – 750 kg; mine water – 300-400 litres [19]. The ore reserves in the mine are developed using a surface-stope system with an cemented backfilling. The volume of backfilling operations is 0.5 million m<sup>3</sup>/year. The strength of the backfilled mass is 3-5 MPa. Annually, 1.8 million tons of waste is utilized in the underground cavities of the Vatutine field as part of the backfill mixture. The depth of mining operations is 550 m.

Vostok-Ruda LTD. The system of mining is level-stope with the backfilling of the mined-out space using an cemented rockfill mixture. The backfill mixture composition: granulated blast-furnace slag (with a fineness of at least 50% of particles -0.074 mm) – 400-500 kg; dressing mill tailings – 1500-1600 kg; water – 400-450 l. Loss 5.7%, dilution 7.1%. The volume of backfilling operations is 0.45 million m<sup>3</sup>/year. The strength of the backfilled mass is 5 MPa at the age of 6 months. The depth of mining operations is 550 m. Figure 4 shows the histograms of the annual production of the rockfill mixture for backfilling the underground mined-out space.

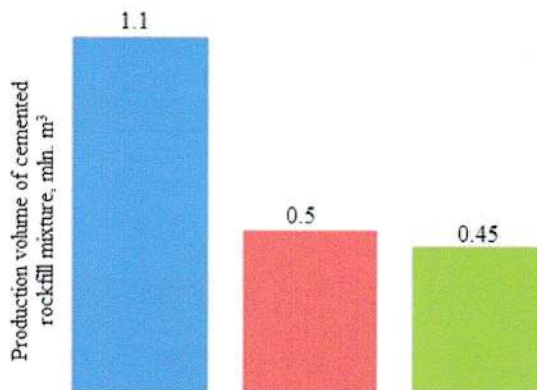


Fig. 4. Annual volumes of the cemented rockfill mixture production at the mines of Ukraine: ● – PJSC Zaporizhzhia Iron Ore Plant; ● – VostGOK SE; ● – Vostok-Ruda

The most large-scale use of technogenic waste in the process of the backfill mixture preparation is carried out at PJSC Zaporizhzhia Iron Ore Plant, which develops the Pivdenno-Bilozirske field of high-grade iron ore deposits (Fig. 5). Thus, about 850 thousand tons of granulated blast-furnace slags, 330 thousand tons of flux production waste, 220 thousand tons of dump blast-furnace slag, 350 thousand tons of mine waste rock are dumped annually in the formed underground cavities.

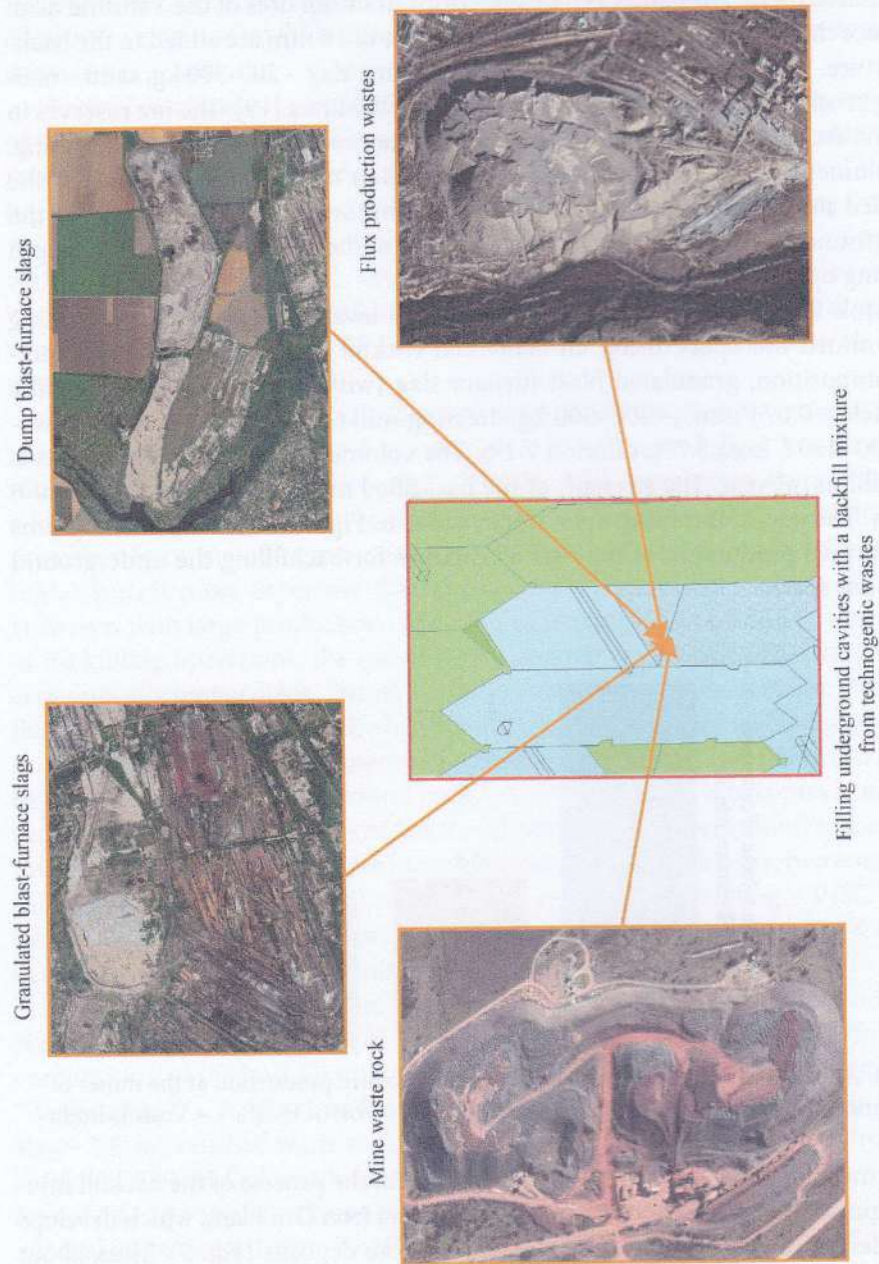


Fig. 5. Schematic representation of the utilized industrial technogenic waste from the mining industry and metallurgy as part of the backfill mixture in underground cavities



Fig. 5. Schematic representation of the utilized industrial technogenic waste from the mining industry and metallurgy as part of the backfill mixture in underground cavities

World and domestic experience of underground mining of valuable ferrous and non-ferrous metal ores confirms that the main priority direction of mining development is the introduction of various options for mining systems with cemented backfilling, providing high technical and economic indicators [20–22]. The successful implementation of mining systems with backfilling ensures the completeness of ore mining with minimal losses and dilution, as well as the safety of mining operations while reducing the technogenic load on the environment [23, 24]. In underground mining of thick ore deposits by stope systems with cemented backfilling, one of the important issues is to maintain the stability of the artificial mass outcropping that can safely take up the load from overlying rocks [25, 26]. The formation of a strong and stable mass is ensured by the selection of backfill materials with certain physical-chemical properties and compliance with the optimal technological parameters of its erection.

The efficiency of the used systems for mining the ore deposits with cemented backfilling is estimated by the value of losses and dilution of ore [27–29]. The penetration of the backfill into the broken ore (dilution), due to its low resistance to rock pressure and seismic effects of blasting operations, significantly reduces its quality. There are a number of reasons under the influence of which the formed backfilled mass has different quality and stability, and this is an important task for mining science. One of the reasons for the decrease in the backfilled mass stability are the conditions and parameters of its formation in the mined-out space of the stopes, which often leads to its heterogeneity and stratification [30–31]. In Ukraine, PJSC Zaporizhzhia Iron Ore Plant is the only enterprise using the technology of mining the high-grade iron ore reserves of the Pivdenno-Bilozirske field with cemented backfilling. Depending on the technological peculiarities of mining and the importance of the stopes, the mined-out space is filled with various compounds. The technical and economic indicators of the mining system of sublevel blast-hole stoping, including the value of the mined ore dilution, depend on the quality and technology of erecting the backfill mass.

Below, the parameters are studied of the backfill mass formation from technogenic waste during the Pivdenno-Bilozirske field development, which influence on its qualitative characteristics.

### 3. Characteristics of backfilling operations during mining the Pivdenno-Bilozirske field

The backfill complex is located on the surface almost in the center above the ore deposit, which reduces the distance of the backfill mixture transportation to the mined-out space (Fig. 6).

The complex includes a point for unloading the bulk material, a material warehouse, a main building and a mixer. From the warehouse, slag and limestone flux

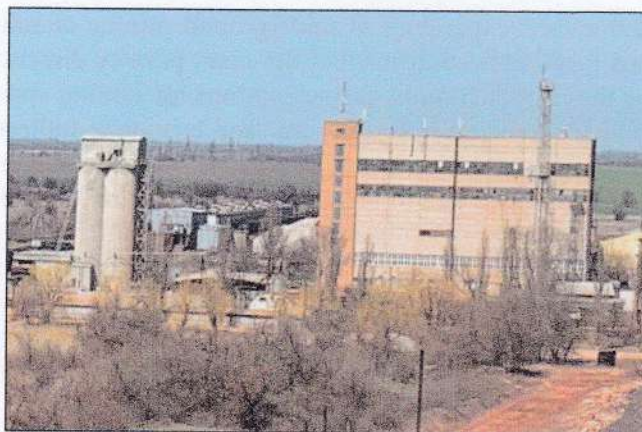


Fig. 6. Surface backfill complex for preparing cemented rockfill mixture

are fed through separate conveyor lines to the apparatus chain of the main building. The rock is crushed in a Coarse Mill located on the waste dump to a fraction of 20 mm, loaded into cars and fed to the main building of the backfill complex.

The blast-furnace slag is ground by wet grinding in two ball mills of the MShTs 3.6×5.5 type, each with a capacity of 60 tons/hour. The fractional yield is 50–60% of particles with a particle size of  $-0.074$  mm. The pulp density at the outlet from the mill ranges from 1.45 to 1.55 g/cm<sup>3</sup>. All components are supplied to the S-892 type mixer, after which they are mixed with water and fed to the underground space through the filling pipeline. The most important technological equipment is shown in Figure 7.

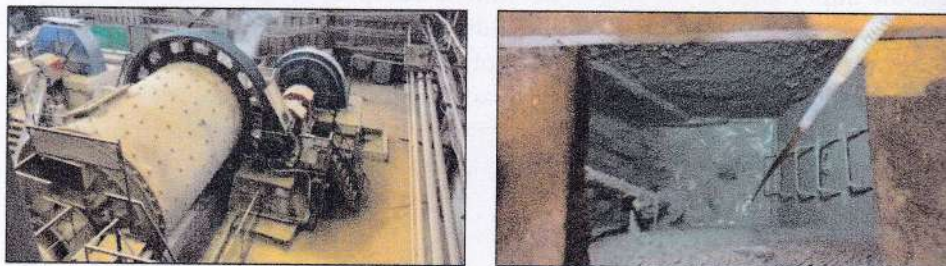


Fig. 7. Ball mills of MShTs 3.6×5.5 type for wet grinding and mixer S-892 for preparation of backfill mixture

The backfill mixture is transported through three vertical wells drilled to a horizon of 325 m, and one to a horizon of 465 m. Pipeline diameters are 219, 245 and 273 mm. The critical speed of the mixture is 1 m/s. Loss of the backfill mixture mobility occurs after 7–10 hours, and its setting – after 15–20 hours. The ultimate shear stress is 0.98–1.47 MPa. Depending on the transportation distance, the back-

fill mixture mobility is regulated. In practice, as a rule, the backfill mixture mobility is in the range of 10.5–12 cm.

The backfill mass is erected in several stages. The stope is filled from the bottom, and cement is added in the amount of  $10 \text{ kg/m}^3$  to strengthen it. A day later, the mixture continues to be fed to the sublevel mine workings, where the bulkheads are set. Sublevel mine workings are filled with a separate portion of the mixture to gradually reduce the pressure on the bulkheads with the addition of cement. Similarly, the extraction space is filled up to the next sublevels; upon reaching the last, the backfill is continuously fed under the roof. In this case, after passing through the bulkheads, the filled layer of the backfill is settled for 16–20 hours until the water is completely drained. The disadvantage when filling the stope is the consumption of cement during filling the bottom and sublevel horizons.

Thus, a heterogeneous structure and stratification of the backfilled mass is formed, which reduces its stability as a load-bearing element. In addition, in the technological process, there are frequent stops of the backfill complex, which leads to an uncontrolled increase in the number of layers of the backfilled mixture, blockage of the filling pipeline with the mixture, periodic flushing of ball mills, as well as stops on command from the mine. As a result, the number of backfill mass layers may increase by 20–30%. In the backfilled stope, the strength of the layers, according to the control data of backfilling operations, can vary up to 80%. A change in the ratio of the constituent components in the segregated part of the backfill reduces the calculated strength properties by more than 1/3.

### 3. Research methods

To study the erection and formation of the strong backfill mass when filling the mined-out stopes, the data of the plant's backfilling operations have been analyzed during mining the ore reserves at the 640–740 m and 740–840 m levels, the mined-out stopes of which were filled with an cemented rockfill mixture from ground metallurgical slags, limestone waste and crushed waste rock. The following parameters of backfilling operations during intensive mining of stopes have been analyzed: productivity of the complex, operating time of ball mills, mixture mobility, backfill mixture composition, strength of the backfill mixture before filling into the stope at the age of 90 days, control of the grinding fineness of cementitious material.

Based on the analyzed parameters of the backfill mass formation, the layers of the cemented rockfill mixture have been determined and calculated, which are formed when the backfill complex stops in the course of filling the mixture into the stope. The data on the dilution of ore mined from the stopes of the 640–740 m level at the contact with the backfilled mass and the strength characteristics of the con-

tacting backfill mass have been analyzed. In the course of the work, the negative influence of the backfill mass stratification on its stability and quality is revealed. For the most complete assessment of the backfill mass strength characteristics, it is proposed in the study to use the coefficient of the backfill strength variation along the height of the stope.

## 4. Research results

### 4.1. Influence of the grinding fineness on the backfill mass strength properties

The processing of the actual mine data on backfilling operations for the preparation of a cementitious material in the surface complex during backfilling the stopes at a 640-740 m level made it possible to determine a number of dependences of the backfill mass strength on the fraction of particles in the pulp with an industrial grinding fineness of 50–55% of particles  $-0.074$  mm at various ratios of the backfill mixture components (Fig. 8).

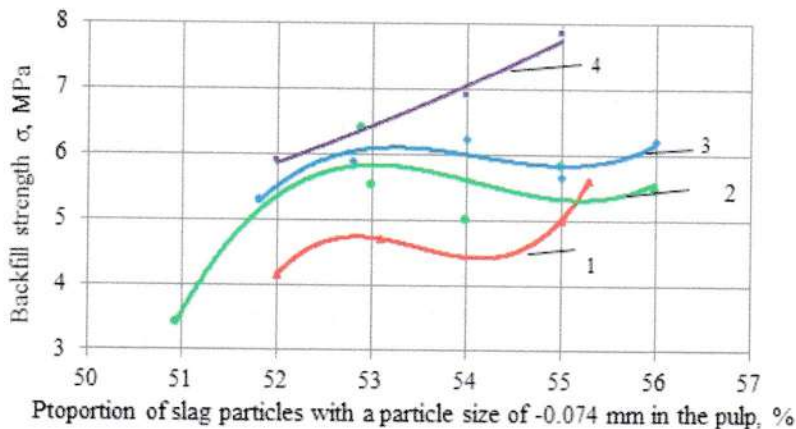


Fig. 8. Dependence of the backfill strength on the proportion of particles with a particle size of  $-0.074$  mm in the mill pulp at different ratios of cementitious material-aggregate: (1) – 1:6.4; (2) – 1: 4.6; (3) – 1:4.5; (4) – 1: 4.1

The analysis of given dependences (Fig. 8) confirms the following: an increase in the backfill strength is observed when the fineness of grinding is 55% of particles with a particle size of  $-0.074$  mm. In the process of ore mining at the horizons of 640, 740 and 840 m with a composition for backfilling at a high cementitious material-aggregate ratio of 1:4.1 (slag consumption in a mixture is  $510 \text{ kg/m}^3$ ) and a maximum grinding fineness of 55%, it is not possible to form a backfill mass with a strength of 8–10 MPa [32]. To increase it, it is necessary to use expensive cement or activating

additives in backfill mixtures. These measures are taken to strengthen the bottoms of the stopes and the backfill layers at the locations of the sublevel workings. A significant difficulty in the backfill mass formation with a standard strength is the uneven grinding of slag in a ball mill, which varies in a fairly wide range from 46 to 55% of particles with a particle size of  $-0.074$  mm [33]. The uniformity of the proportion of fine particles distribution in the backfill mixture at a certain ratio of chemical compounds can provide the required strength of the backfill mass.

#### 4.2. Influence of the backfill mass stratification on the backfill mass strength

The volume of extraction space of the stopes to be backfilled has different values and depends on fluctuations in the ore deposit thickness. The stopes in the northern flank are smaller, and those in the southern flank are larger. The volume of the mined-out space in the stopes of the northern flank of the deposit is within 60–90, and of the southern flank – 100–150 thousand  $m^3$  and more. The size of the mined-out space to contain a certain backfill volume influences on the stratification of the backfill mass. With its increase, the number of layers of the backfilled cemented mixture also increases.

Let us study the stopes at the 640–740m and 740–840 m levels in terms of the volume of the backfilled cemented mixture. The backfill layer is the volume of backfilled mass portion, when the time intervals between feeding portions of the backfill mixture are more than 24 hours. This means that there is a loss of mixture mobility and the setting process begins due to the hydration of active minerals. Table 1 presents data on the volumes of the backfilled stopes and analytical determination of the quantitative values of the backfilled mass layers. The results obtained indicate the heterogeneity of the resulting artificial mass both in structure and in strength.

Tab. 1. Estimated number of layers for a certain volume of stope cavities

Level	Stope	Estimated number of layers	Volume, $m^3$
605–740	1/7 s	19	158.2
605–740	1/3 s	14	126.8
605–740	1/1 s	10	169.4
605–740	1/15 s	25	169.7
715–840	1/1 n	17	109.4
740–840	1/5 s	26	163.3
605–740	1/9 s	15	122.1
715–840	1/1 s	17	169.7
715–840	2/3 n	13	94.4
740–840	2/13 s	13	69.2

The data of the Table 1 are presented in the form of a graph, which is shown in Figure 9. The graph of the backfill layers distributed in the stopes of different volumes shows the tendency of an increase in the number of cemented rockfill layers with an increase in the volume of the cavities in the stopes, contributing to the mass heterogeneity. This is conditioned by the fact that with an increase in the volume of the extraction space to be backfilled, the probability of manifestation of factors influencing on the stratification increases.

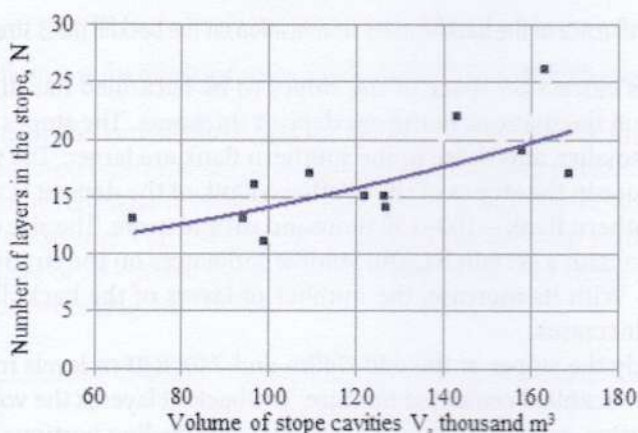


Fig. 9. Distribution of the number of backfill layers depending on the stope volume

The distribution of number of layers in the backfilled stope depending on its volume can be represented by an equation of the form:

$$N = 0.0962V + 4.6417, R^2 = 0.50, \quad (1)$$

where:  $N$  – number of backfill layers in the stope;  $V$  – volume of stope cavities,  $m^3$ .

An unfavorable factor influencing on the stability of the backfilled stope is a sharp fluctuation in the strength of the backfilled layers, which reaches 2–4 MPa or 5–70% of the accepted standard. In addition, the physical-mechanical properties of the cemented rockfill layers are characterized by isotropy.

The backfill mass stratification is also determined by the number of sublevels in the stope mining system. With a stope system of mining, there are 4 sublevels at the 640–740 and 740–840 m levels. A decrease in the number of backfill layers can be achieved by changing to another option of the mining system, where the number of sublevel subsidiary workings is reduced. The stability of horizontal and vertical outcrops of the backfill mass directly depends on the backfill mixture quality, the time of settling and solidity, but solidity, in turn, depends on the degree of mixture stratification during the breaks when backfilling the stopes.

It has been revealed that the backfill mass is prone to stratification at all horizons and along the elements of the stopes (floor pillar, bottom, sides). The heterogeneity of the backfill mass in terms of strength is observed when mining the primary stopes at the 640–740 and 740–840 m levels. This is a negative factor, since the mass is a load-bearing support when mining the secondary stopes. The backfill mass caves into the extraction space in two directions: when mining the stopes of the underlying level in the form of the backfilled bottom failure of the upper level and from the sides of the previously backfilled stopes.

With an increase in the continuity of the backfill mixture supply, the number of layers decreases and the mass acquires solidity. It should be noted that the strength of the stope bottoms is often low, even with the addition of cement. This is due to the fineness of slag grinding and the properties of newly formed substances. As a rule, the layer of cemented rockfill mixture of the stope bottom settles for 24 hours or more. The second layer has lower strength properties; therefore, the contact between the surface layer of the bottom (adhesion) and the second layer weakens, leading to the separation (cleavage) of the backfill volume at the stope bottom under the action of gravitational forces. An important role is also played by the aging time of the first layer mixture (bottom), since with an increase in the settling time of the backfill layer, the adhesion force between the first and second layers decreases. Therefore, with a reduction in settling time of the backfilled mixture portion for  $t < 20$  h, the backfilled mass tends to homogeneity. To reduce the backfill mass stratification, it is not possible to reduce the number of stops of the mills. Therefore, the strength in the formed layers should comply with the standard.

Thus, the average strength of the backfill mass is not always maintained, which can be observed in the stopes of the 605–740 m level: 1/5s – 4.5 MPa, 1/1n – 5.4 MPa, 1/3s – 5 MPa, 1/9s – 4.4 MPa, 1/9n – 4.6 MPa, 1/7n – 5.1 MPa, 1/11s – 5.4 MPa, 1/15s – 5.3 MPa, 1/16n – 5.3 MPa; at the 715 – 840 m level: 2/3s – 5.4 MPa, 2/3n – 4.1 MPa, 2/1s – 4.3 MPa, 2/11s – 4.4 MPa, 2/9s – 4.9 MPa, 1/8n – 5.4 MPa. If for secondary stopes the strength and composition of the backfill is not regulated, then for primary stopes the strength should correspond to the standard value.

With an increase in the depth of mining, tension stresses around the stope increase and exceed the actual tension strength of the backfill mass, which is only in the range of  $0.05-0.1 \sigma_{\text{compr}}$ . This leads to cleavage and squeezing-out, followed by sloughing of a part of the backfilled mass from the total volume of the backfilled stope [34, 35]. The major problem when filling the stope with an cemented mixture is the creation of a solid bottom foundation. The stability of the stope roof in the underlying level depends on the strength of the cemented rockfill mixture at the bottom. When mining the ore at deep horizons of the 640–740 and 740–840 m levels, the stope volumes are large. The area and height of the backfill mass outcropping increase, which requires a rigorous approach to strength characteristic.

To calculate the volumes of the backfill mixture filled into the layer and to determine its height, the parameters of the backfill complex are used, as well as

data on the volume and shape of the mined-out space of the empty stope to be backfilled.

The volume of the backfill layer is calculated from the expression:

$$V_c = t \cdot Q_b, \text{ m}^3, \quad (2)$$

where:  $t$  – time of filling the layer, h;  $Q_b$  – backfill complex productivity,  $\text{m}^3/\text{h}$ .

The average strength in the layer is determined from the control measurements of the strength within the layer, and the strength of the layer itself is determined from the expression:

$$\sigma_c = \frac{\sum \sigma_i}{n}, \text{ MPa}, \quad (3)$$

where:  $\sum \sigma_i$  – total strength measurements within the backfill layer, MPa;  $n$  – number of measurements of the backfill layer strength.

The height of filling is calculated based on the actual dimensions of the stope (width and length), according to which the horizontal area of the stope is determined. Since the horizontal areas of the stope are virtually constant in height, the height of filling is determined:

$$h_l = \frac{V_l}{S_k}, \text{ m}, \quad (4)$$

where:  $V_c$  – the volume of the backfilled layer,  $\text{m}^3$ ;  $S_k$  – horizontal area of the stope at the place of backfilling the layer,  $\text{m}^2$ .

According to the graphic documentation, the actual contours, shape and parameters of the stope 1/11s have been determined [36]. The volume and height of each layer of the cemented rockfill mixture have been calculated, which are formed when the backfill complex stops when filling the stope with the mixture. Taking into account both the parameters of the backfilling operations and the parameters of the extraction space of the studied stope, the formed backfill mass of the stope 1/11s has been analytically modeled. The backfill mass of the stope 1/11s, from where it fell into the extraction space of the stope 1/10s, was erected 30 days earlier (from 23.06.07 to 23.07.07), and after 2 months the remaining cavities were refilled. The volume of the mixture backfilled in the mined-out space of the stope 1/11s was 64.6 thousand  $\text{m}^3$  (the reserves of the stope were 258 thousand tons). To erect the backfill mass of the 1/11s stope, the same composition of the cemented mixture was used: granulated blast-furnace slag – 17.6%, undersize flux – 44.2%; crushed waste rock – 22%, water – 16.2%. The backfill mixture mobility was within 11.4-11.7 cm.

Taking into account both the parameters of backfilling operations and the parameters of the extraction space of the studied stope, the history of its formation has been analytically reproduced (Fig. 10).



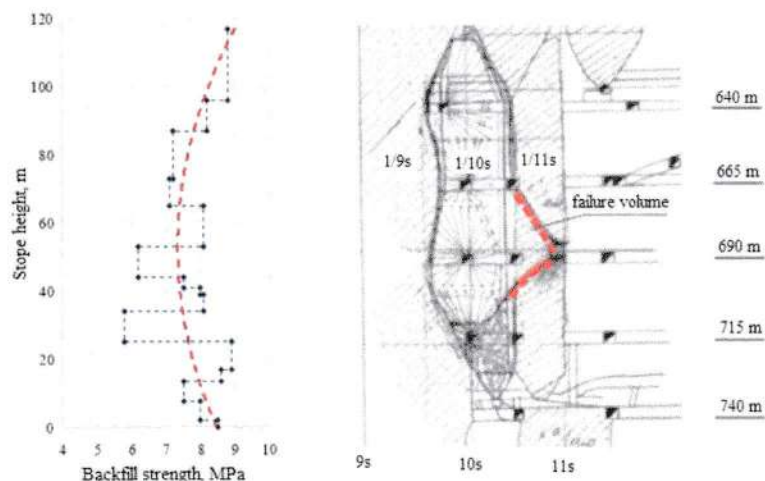


Fig. 10. Formation of zones of the backfill mass low stability along its height

Analysis of the graph in Figure 10 indicates that the distribution of strength in the stope is characterized by a nonlinear character, while the stability of the vertical outcropping in the center of the artificial mass is not ensured. The nature of a change in the backfill strength along the height (dash-dotted line) shows a tendency for the strength to fall in the range of heights of 30–60 m, which leads to the formation of stress concentrations and orients the direction of the backfill mass failure into the extraction space.

Based on the data analysis of the dilution of ore mined from the stopes of the 640–740 m level and the strength indicators of the backfill mass in contact with these stopes, a correlation relationship between these parameters has been determined, which is expressed by an exponential dependence with a certainty value of  $R^2 = 0.55$  and is shown in Figure 11. Analysis of the dependences in Figure 11 shows that the backfill mass strength is essential for the quality of mined ore reserves: with its decrease, the probability of the backfill failure into the mined-out stope increases, which deteriorates the quality of the produced ore. Thus, with an increase in the backfill mass strength from 7.0 to 8.5 MPa, the dilution factor of the mined ore can decrease from 5 to 3%.

The areas of reduced stability when plotting the strength dependences along the height of the stopes are in good agreement with the data of the areas of actual failures. The strength along the height of the stope is distributed according to a polynomial dependence. The discrepancy between the ultimate strength of the backfill in these areas relative to the value of the loads on the mass as a whole, arising at a depth of 640–740 and 740–840 m, leads to destruction and caving of the backfill mass. The data of the strength distribution along the stope height show weakly stable areas of the backfill mass, which falls into the zone of destruction. These data correlate with the data of mine surveying of the backfill failures.

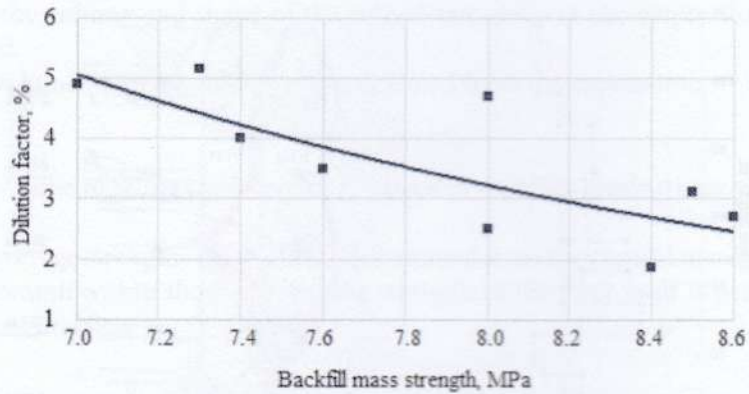


Fig. 11. Relationship between the backfill strength and dilution factor

The mined ore diluted by the backfill is illustrated in the Figure 12.



Fig. 12. Dilution of ore with backfill material when ore is mined from the stope

According to the results of the analysis of mine documentation and mine surveying of the extraction spaces of the stopes (for 2006–2015), cases of the backfill failure and ore dilution at the 640–740 m level were recorded in at least 18 stopes. Moreover, the main zones of failure are the roof, sides of the stopes, the zones of conjugation of the roof and sides of the stopes.

#### 4.3. Consideration of stratification when assessing the backfill mass strength

When loading the artificial mass of the primary stopes, thin low-strength layers are squeezed out into the extraction space of the secondary stopes, which leads to the dilution of the mined ore. In the production of building structures, this effect is called eccentric compression, which is a type of deformation when the resultant of forces does not coincide with the structure axis. In backfilled stopes, this is facilitated by the uneven distribution of strength along the height. It follows from this that it is necessary to observe the linearity of the strength distribution along the height to prevent negative manifestations of destruction, or to form the strength of the backfill mass not lower than the standard. To fill the extraction space of the stopes, several compositions of the cemented rockfill mixture are used. Some stopes are filled with a homogeneous composition, others – with three or four compositions of the backfill, which is explained by the simultaneous filling of several stopes.

To calculate the strength of the backfill mass, the indicators of laboratory control of the backfill mixture strength are taken into account, as a result of which the arithmetic mean value for the stope is determined. When erecting a backfill mass, the backfill layers of certain strength are filled to different heights. Therefore, it is necessary not only to take into account the strength values, but also the height of filling the layers, which undoubtedly influences on the stability of the entire backfill mass. This statement can be represented as a coefficient of the backfill strength variation along the stope height:

$$k = \frac{\sigma}{\sigma_h}, \quad (4)$$

where:  $\sigma$  – arithmetic mean of the strength of the backfill layers in the stope, MPa;  $\sigma_h$  – backfill strength taking into account the height of filling, MPa.

$$\sigma_h = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i h}{H_k}, \text{ MPa}, \quad (5)$$

where:  $\sigma_i$  – strength of the backfill layer, MPa;  $h$  – height of filling the layer in the stope, m;  $H_k$  – stope height, m.

After filling the stope with an cemented rockfill mixture, the strength of the backfilled stope, which takes into account the height of backfilling, can be specified according to the values of the average backfill strength. This makes it possible to correct the calculation of the parameters of the extraction space in the stopes, where the backfill strength is taken into account. The strength of the stope, taking into account the filling height, may differ from that adopted in the passports by up to 15%.

The determined coefficient testifies to the negative influence of the backfill mass stratification on its strength, since the mass is divided into layers of different thickness and different strength. It is necessary to form a backfill mass with strength not lower than the standard. If the number of layers cannot be reduced, then for a stable state of the backfill mass, their strength should be increased in order to prevent the influence of the extraction space of the mined stope. In the conditions of the Pivdenno-Bilozirske field, this is difficult, since the composition of the used backfill mixture in terms of adhesion factor and gaining the strength does not allow filling of thick backfill mass layers above the sublevel working layer in the stope. Therefore, at the level of the sublevel bulkhead, it is necessary to create high-strength backfill layers up to 10 MPa to hold thick layers.

## 5. Conclusions

The conducted research on the technological peculiarities of the backfill mass formation and its qualitative characteristics makes it possible to obtain the following results:

- on the territory of Ukraine, 30 billion tons of industrial waste have been accumulated, which occupy significant areas, where the largest waste volume (90%) is generated by the mining, processing and metallurgical industries;
- the greatest use of technogenic waste in the process of the backfill mixture production is made by PJSC Zaporizhzhia Iron Ore Plant, which develops the Pivdenno-Bilozirske field of high-grade iron ores, annually utilizing about 1.7 million tons of technogenic waste (metallurgical slags, flux production waste and mine waste rocks);
- the dependences of the backfill strength on the fraction of particles in the pulp have been determined with an industrial grinding fineness of 50-55% of particles -0.074 mm at different ratios of components in the backfill mixture;
- the tendency has been revealed of an increase in the number of cemented rockfill mixture layers with an increase in the volume of the cavities in the stopes and the nature of the mode of the backfill mixture erection in the stope, contributing to the formation of heterogeneity and stratification of the mass. With an increase in the volume of the extraction space for backfilling, the probability of manifestation of factors influencing on the stratification increases;
- it has been found that the backfill mass strength is distributed nonlinearly along the height of the stope and is most accurately described by a second-order curve, which causes stress concentrations on the contour of the outcropped backfill mass;

correlation relationship has been determined between the dilution factor of the mined ore and the strength of the backfill mass, which is in contact with these stopes.

## REFERENCES

- G.I. (2001). *Technogenic and ecological safety of the geological environment*. Ukraine: Publishing house "Ivan Franko Lviv National University Center", 359 p.
- Annual report on the state of the environment in Ukraine in 2003. (2003). Kyiv, Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, 200 p.
- Annual collection of the environment of Ukraine for 2014. (2015). Kyiv, Ukraine: Statistics Service of Ukraine, 223 p.
- Annual report on the state of the environment in Ukraine in 2018. (2018). Kyiv, Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, 350 p.
- Annual collection "Environment of Ukraine" for 2010-2018. (2018). Kyiv, Ukraine: Statistics Service of Ukraine, 214 p.
- Yurii, M., Kuzmenko, O., Lozynskiy, V., Popovych, V., Sai, K., & Saik, P. (2019). Accumulation of man-made mineral formations accumulation and prospects of their development in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
- Annual report on the state of the environment in Ukraine in 2015. (2017). Kyiv, Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, 308 p.
- Yurii, A.A., Kazachkov, E.A., & Ostroushko, A.V. (2007). Improving the efficiency of processing of solid metallurgical slags. *Bulletin of the Azov State Technical University*, 120-223.
- Filonenko, V., & Filonenko, O. (2020). Analysis of the accumulation and influence of metallurgical slag to the environment. *Collection of Research Papers of the NMU*, 120-143.
- S.K., Mishra, D.P., Prashant Singh, Mishra, K., Sujit, K. Mandal, Ghosh, C.N., Kumar, Phanil, K. Mandal. (2021). Utilization of mill tailings, fly ash and slag as backfill material: Review and future perspective. *Construction and Building Materials*, (309), 125120. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125120>
- T., & Sithole, T. (2021). Clean production of sustainable backfill material from waste gold tailings and slag. *Journal of Cleaner Production*, (308), 127357. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127357>
- M., & Mamaikin, O. (2019). Assessment of an expediency of binder mechanical activation in cemented rockfill. *ARNP Journal of Engineering and Sciences*, 14(20), 3492-3503.
- M., & Sai, K. (2021). Modeling the stress state of the backfilling mass with physical and mechanical properties. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 12(18). <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2021-1-7-18>
- Lin, S., Chen, X., Zhang, M., & Yang, S. (2021). Study on characteristic stress damage evolution mechanism of cemented tailings backfill under uniaxial compression. *Construction and Building Materials*, (301), 124333. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124333>

15. Petlovanyi, M.V., Kuzmenko, O.M., Gorobets, L.Zh., Pryadko, N.S., & Usatyy, V.Yu. (2011). On mechanical grinding of the components of the hardening backfill to fill the mined-out space of mines. *Metallurgical and Mining Industry*, (3), 75–78.
16. Petlovanyi, M.V., Zubko, S.A., Popovych, V.V., & Sai, K.S. (2020). Physico-chemical mechanism of structure formation and strengthening in the backfill massif when filling underground cavities. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, (6), 142–150. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2020-133-6-142-150>
17. Bazaluk, O., Petlovanyi, M., Lozynskiy, V., Zubko, S., Sai, K., & Saik, P. (2021). Sustainable underground iron ore mining in Ukraine with backfilling worked-out area. *Sustainability*, 13(2), 834. <https://doi.org/10.3390/su13020834>
18. Kuzmenko, O.M., Petlovanyi, M.V., & Usatyy, V.Yu. (2015). *Solidifying backfill during mining of steep ore deposits in difficult mining and geological conditions*. Dnipropetrovsk, Ukraine: National Mining University, 139 p.
19. Lyashenko, V.I., Dudchenko, A.Kh., & Tkachenko, A.A. (2008). Scientific and technical foundations of environmental protection technologies for underground mining of uranium deposits. *Ecology of Environment and Life Safety*, (4), 34–42.
20. Bulat, A.F., Chetverik, M.S., Bubnova, E.A., & Levchenko, E.S. (2017). Problems and prospects for the use of disturbed open-pit and underground mining of geological environments. *Metallurgical and Mining Industry*, (1), 90–97.
21. Peregodov, V.V., Gritsina, A.E., & Dragun, B.T. (2010). Current state and future development of iron-ore industry in Ukraine. *Metallurgical and Mining Industry*, (2), 145–151.
22. Hrinov, V., Khorolskyi, A., & Kaliushchenko, O. (2019). Elaboration of environmental scenarios for the effective development of valuable mineral deposits. *Mineral Resources of Ukraine*, (2), 46–50. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.46-50>.
23. 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), 24–38. <https://doi:10.33271/mining13.01.024>.
24. Zhang, Y., Wang, X., Wei, C., & Zhang, Q. (2017). Dynamic mechanical properties and instability behavior of layered backfill under intermediate strain rates. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(7), 1608–1617. [https://doi:10.1016/s1003-6326\(17\)60183-3](https://doi:10.1016/s1003-6326(17)60183-3).
25. Liu, G., Li, L., Yang, X., & Guo, L. (2017). Numerical analysis of stress distribution in backfilled stopes considering interfaces between the backfill and rock walls. *International Journal of Geomechanics*, 17(2), 06016014. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0000702](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0000702).
26. Chistyakov, E., Ruskih, V., & Zubko, S. (2012). Investigation of the geomechanical processes while mining thick ore deposits by room systems with backfill of worked-out area. *Geomechanical Processes During Underground Mining – Proceedings of the School of Underground Mining*, 127–132. <https://doi.org/10.1201/b13157-23>.
27. Urli, V., & Esmaeili, K. (2016). A stability-economic model for an open stope to prevent dilution using the ore-skin design. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (82), 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2015.12.001>

- menko, O.M., & Petlovanyi, M.V. (2014). The influence of the structure of the mass and the order of mining of chamber reserves on the dilution of ore. *Geotechnical Mechanics*, (118), 37–45.
- olskiy, A., Hrinov, V., & Kaliushenko, O. (2019). Network models for searching optimal economic and environmental strategies for field development. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 6(3), 463–471.
- baev, M.Zh., Krupnik, L.A., & Shaposhnik, Yu.N. (2012). *The theory and practice of backfilling works in the development of mineral deposits*. Almaty, Kazakhstan: Association of Universities of the Republic of Kazakhstan, 624 p.
- enko, O., Petlyovanyy, M., & Heylo, A. (2014). Application of fine-grained binders in technology of hardening backfill construction. *Progressive Technology of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 465–469. <https://doi.org/10.1201/b19901-79>.
- enko, O.M., Petlovanyi, M.V., & Usatyi, V.Yu. (2010). Influence of finely ground particles on the strength properties of the hardening backfill. In *Materials of International Scientific and Practical Conference "School of Underground Mining"* (33–386). Dnipropetrovsk, Ukraine: National Mining University.
- enko, O., & Petlovanyi, M. (2015). Substantiation of the expediency of fine grinding of cementing material during backfill works. *Mining of Mineral Deposits*, 9(2), 180–190. <https://doi.org/10.15407/mining09.02.183>.
- enko, O.M., & Petlovanyi, M.V. (2017). The stability of the artificial massif during the underground development of a powerful ore deposit at great depth. *Collection of Research Papers of the NMU*, (50), 56–62.
- enko, O., Kononenko, M., & Petlovanyi, M. (2015). Analytical modeling of the artificial massif deformations around the chamber with mining depth increase. *New Advances in Mining Engineering*, 265–269. <https://doi.org/10.1201/b19901-47>.
- enko, O.M., & Petlovanyi, M.V. (2017). Destruction of the backfill massive, depending on the technology of its construction. *Collection of Research Papers of the NMU*, (52), 159–166.

к.с.-г.н. Наталія Гоцій

natali\_gocij@ukr.net, +380678362032

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

ORCID: 0000-0002-6108-5963

---

## ОЗЕЛЕНЕННЯ ЯК СПОСІБ ФІТОМЕЛІОРАЦІЇ ДОВКІЛЛЯ ТА ЕКОФУНКЦІЇ ЛІАН В УРБОЛАНДШАФТІ

### *GREENING AS A WAY OF ENVIRONMENTAL PHYTOMELIORATION AND ECOFUNCTION OF CLIMBING PLANTS IN URBAN LANDSCAPE*

#### Анотація

В умовах ущільнення міської забудови створення зелених зон є дедалі більш проблематичним. Вертикальне озеленення – один з найбільш ефективних методів збільшення біологічно активної поверхні урбогенного середовища. Розкрито позитивний вплив ліан для фітомеліорації урбанізованих територій, їх екофункції та кліматотворчий вплив. Проаналізовано перспективи застосування прийомів вертикального озеленення для сучасного міста.

**Ключові слова:** фітомеліоративний вплив, вертикальне озеленення, урбанізоване середовище, ліани, зелені фасади.

#### Abstract

Creation of green zones in the conditions of dense city housing becomes more and more problematic. Vertical greening is one of the most effective methods of increasing the biologically active surface of urban environment. The positive influence of climbers for phytomelioration of urban areas, its ecologic function and climatic influence is shown. Here are also analyzed perspectives of use of vertical landscaping techniques for the modern city.

**Keywords:** phytomeliorative influence, vertical landscaping, urban environment, climbers, green facades.

Від початку свого існування на Землі людина була оточена рослинами, які передусім давали їй плоди, виконуючи таким чином утилітарну функцію. Тому, відколи людина почала вести осілий спосіб життя, вона використовувала їх біля свого місця проживання. Водночас людина зауважувала деко-



ративність квітів, плодів, листків, а також кліматотворчу функцію рослин, котрі забезпечували їй прохолоду у спекотні дні. Так поступово під впливом різних факторів соціум формував естетичне уявлення про сад [1]. Таким чином сад супроводжував всі наступні етапи розвитку цивілізації, змінюючись лише залежно від потреб і нових стильових підходів. Еволюція різних за уявленням райських садів йшла в напрямку до моделі сучасного саду чи парку.

Декоративне садівництво декілька тисячоліть було надбанням тогочасних панівних прошарків суспільства. Вже в Стародавній Греції та Стародавньому Римі створювались перші публічні сади. Через 1,5 тис. років вони набули широкого застосування в Англії, Франції, Німеччині, Росії, Україні. І лише в XIX-XX ст. з інтенсивним розвитком міст відбулися засадничі зміни щодо масового озеленення населених місць.

Озеленення як засіб декорування оточуючого довкілля по-справжньому себе проявило лише в урбанізованих ландшафтах великих старовинних міст. Проте сьогодні екологів цікавить такий аспект життєдіяльності міст як використання природного середовища в процесі забудови міст, як зберегти і відновити екологічну рівновагу між урбанізованим і неурбанізованим ландшафтом [4].

Розвиваючись, озеленення використовує все нові й нові елементи рослинного матеріалу. Сьогодні в арсеналі садово-паркового мистецтва є традиційні паркові масиви, декоративні групи, солітери, алеї, живоплоти і прийоми вертикального озеленення.

Поняття "ліана" включає в себе всі виткі і повзучі рослини, котрі мають різноманітні способи кріплення до опори. В наукову термінологію воно введене німецьким природодослідником О. Гумбольдтом в 1806 р. Слово "ліана" походить від фр. "lier" і його старішої латинської форми "ligare" – зв'язувати. До ліан відносять велику групу рослин, котрі належать до різних видів, ботанічних родів та родин. Головною спільною рисою є будова стебла, яке нездатне до самостійного вертикального росту, а потребує опори. Обвиваючись навколо неї або чіпляючись за допомогою різних пристосувань (листіків, вусиків, коренів) ці рослини можуть утримуватись у вертикальному положенні. Ліани є представниками найдревнішої флори серед покрито-насієних, які поступаються за віком лише деревам та чагарникам.

Найбільший асортимент витких деревних рослин в Україні зосереджений в ботанічних садах і дендропарках, котрі розташовані в різних кліматичних зонах. До міст з найбільш широким асортиментом ліан належить Львів, Київ і Ужгород [6].

Приклад поширеного використання і застосування ліан у для різного типу опор у м. Львові показано на рис. 1.

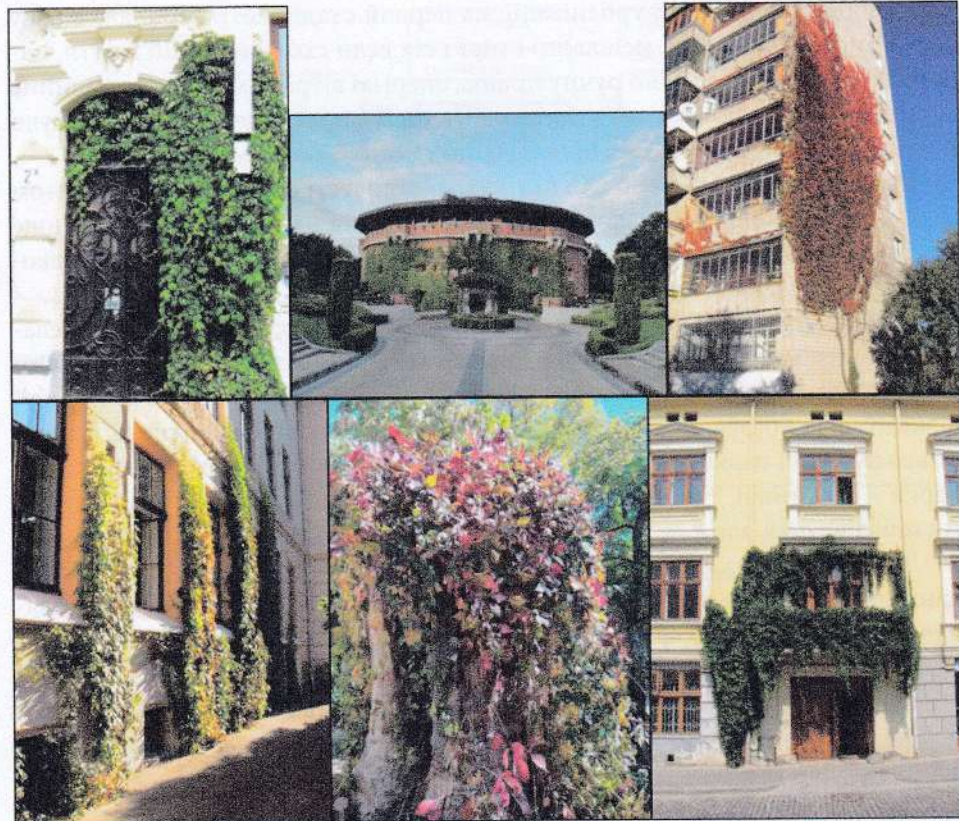


Рис. 1 – Прийоми застосування ліан у вертикальному озелененні Львова (вул. Валова, вул. Пасічна, вул. О. Кобилянської, вул. Ген. Чупринки, парк Цитадель)

Зі зростанням урбанізаційних процесів, концентрація населення, а відповідно капіталу та знарядь виробництва, зосередилася в містах. Власне з розвитком міст пов'язані основні досягнення цивілізації. Перші міста з'явилися в Єгипті, Месопотамії, Сирії, Індії, Малій Азії, Китаї ще в III-I тис. до н.е. У Стародавній Греції та Римі значного розвитку набули Афіни, Рим, Карфаген. У другій половині XIX ст. розпочалися справжні урбанізаційні процеси, котрі характеризувались не лише збільшенням концентрації населення, стрімким зростанням забруднення навколишнього середовища, але і різкою зміною компонентів ландшафту [1, 4]. В густо забудованих міських агломераціях залишалось все менше місця для рослин.

Тому в умовах глобальної урбанізації та ущільненої забудови міських територій необхідним є спосіб збільшення біологічно-активної поверхні міст [5, 7, 8].

Виділяють три стадії урбанізації: на першій стадії, котра тривала з часу появи міст до VI-VII ст. мешканці і міст і сіл вели схожий спосіб життя, використовували переважно ручну працю, енергію вітряних і водяних млинів. Переважаючими у той час є утилітарні сади. Декоративне садівництво було поширене лише на території біля палаців та садиб вельмож.

Друга стадія урбанізації (XVI ст.) характеризується інтенсивним ростом міст. Однак вплив промислового виробництва на навколишнє середовище не був критичним. Утилітарне садівництво продовжує домінувати, а декоративне залишається закритим за мурами замків.

Третя стадія (кін. XVIII – поч. XIX ст.) характеризується значною перевагою урбанізованого середовища над природним та різкою зміною природного ландшафту. Як наслідок, починає інтенсивно розвиватися міське зелене будівництво, яке базувалося на принципах садово-паркового мистецтва. З'являються публічні парки, сквери бульвари. У XX ст. створюються функціональні парки – спортивні, етнографічні, лісо- та гідропарки, які виконують не лише містобудівельну, але й екологічну, соціальну та історико-культурну функції.

Друга половина XX – початок XXI ст. став періодом переосмислення урбанізаційних процесів. Зелені насадження мають не лише архітектурно-планувальну і естетичну функцію, але й санітарно-гігієнічну, захисну та ін. [1, 4, 5, 8, 12, 13].

На створення комфортного мікроклімату, а також підвищення естетичної цінності ландшафту спрямована гуманітарна фітомеліорація. Регулювання термічного режиму з допомогою зелених насаджень полягає в контролюванні ними сонячної радіації, на затінених ділянках теплова радіація до 5°C нижча, ніж на відкритій ділянці. Деревя, чагарники і ліани впливають на зниження як прямої, так і відбитої сонячної радіації. За даними Л.О. Машинського, п'ятиметрова зелена смуга між тротуарами і бруківкою може знизити теплове опромінення пішоходів більше ніж в 2,5 рази.

Ліани поряд з деревами і чагарниками, за своїм впливом на пряму сонячну радіацію створюють перфоративну перепону. Дослідження багатьох науковців [7, 8, 9, 10, 14, 15] в різних кліматичних зонах світу експериментально підтвердили, що ліани, які покривають стіни будинків, зменшують температуру в приміщенні в середньому на 2-3°C.

Сучасні системи вертикального озеленення – це зелені фасади і «живі стіни» [9, 14, 15] (рис. 2). Ліани можна застосовувати як для систем безпосереднього, так і для систем непрямого застосування при створенні зелених фасадів (рис. 3, 4).

Живі стіни, які також називають зеленими стінами або вертикальними садами створюють з модульних панелей, які містять ґрунт, або штучне середовище (поліуретанова губка, фетр, перліт, мінеральна вата) для росту рослин (рис. 4, 5). Використовують гідропонічні культури і систему зрошення збалансованими розчинами, які покривають потребу рослин у поживних речовинах і воді.

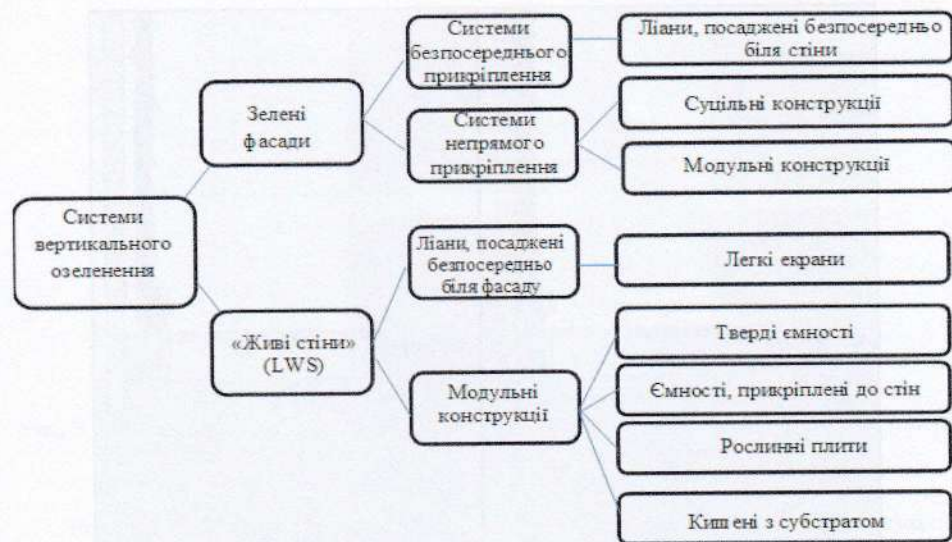
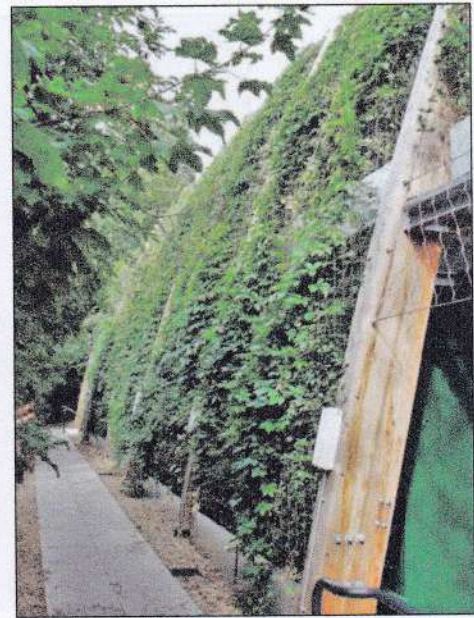


Рис. 2 – Класифікація систем вертикального озеленення [15]



А



Б

Рис. 3 – Зелені фасади з ліан роду *Parthenocissus* Planch. (А – безпосереднього прикріплення, Б – непрямого прикріплення)

... з часу  
... вистія, ви-  
... склинів.  
... штво було

... ростом  
... едовиче  
... а деко-

... перева-  
... сродного  
... ене бу-  
... З'явля-  
... циональні  
... ле лише  
... ункції.

... ення ур-  
... лавно-пла-  
... ну та ін.

... естетич-  
... Регулю-  
... в кон-  
... радіація  
... вплива-  
... ими Л.О.  
... може

... прому со-  
... багатьох  
... експеримен-  
... меншують

... і «живі  
... стем безпо-  
... нні зелених

... иними са-  
... редови-  
... руктин (рис.  
... тансова-  
... их і воді.

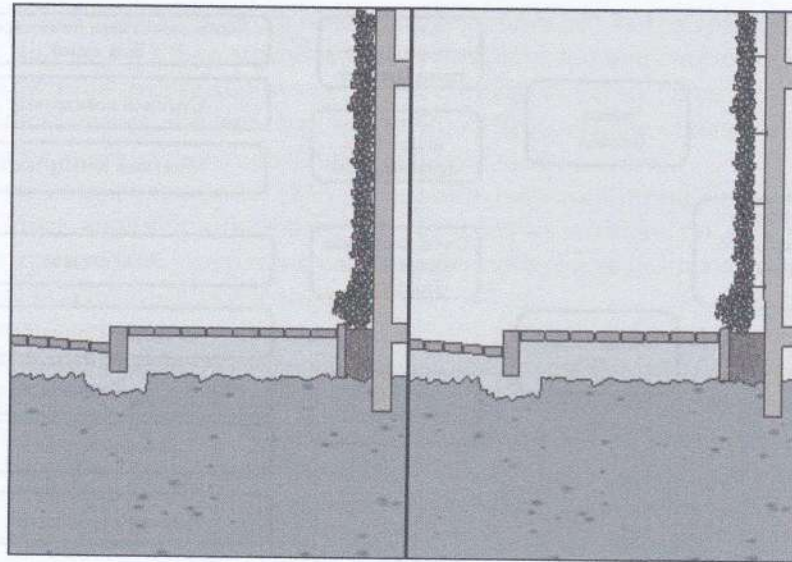


Рис. 4 – Схема створення зелених фасадів

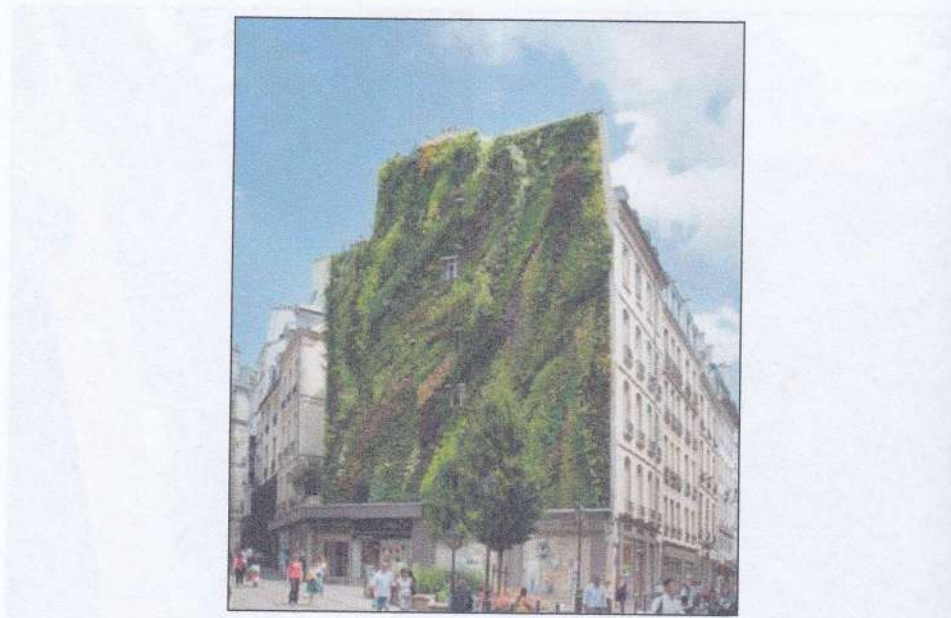


Рис. 4 – Жива стіна на житловому будинку, Париж (Пагрік Бланк) [252,253]

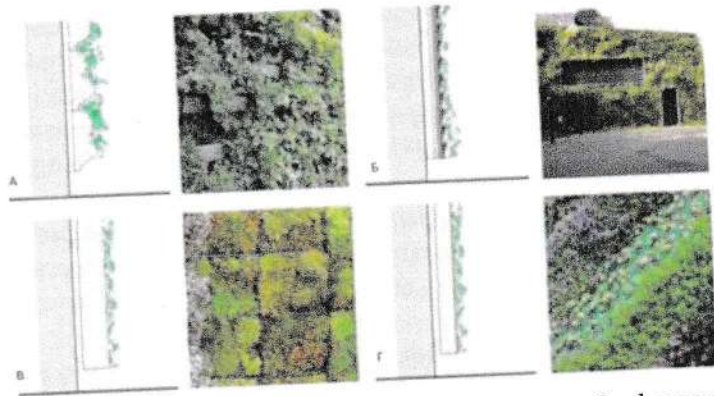


Рис. 5 – Схеми створення живих стін: А – рослинні контейнери, Б – фетрові плити, В – губкоподібний субстрат, Г – мінеральна вата [291]

Як видно з таблиці, кожна з систем має переваги і недоліки, але беззаперечною перевагою зелених фасадів є простота створення системи та незрівнянно менша вартість влаштування та обслуговування.

Позитивний вплив ліан підтверджений багатьма науковими роботами в різних частинах світу.

Зокрема вивчалися такі напрямки як регулювання радіаційного режиму, фітомеліоративна роль ліан, вплив на температурний режим стін та приміщень всередині будинку, пилезатримуюча дія та здатність до біофільтрації, зменшення шумового забруднення, покращення мікрокліматичних показників, збільшення біорізноманіття міського середовища, підвищення естетичного вигляду міста, позитивний психологічний вплив на людину [2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16].

Нами проведено детальний аналіз кліматотворчого впливу ліан [2]. Значна кількість іноземних авторів також вивчали вплив систем вертикального озеленення на мікроклімат будівель, їх енергозберігаючу ефективність: Я. Боровські та ін. [8], М. Оттеле [15], М.-Т. Гольдшер і ін. [10], І. Куце і ін. [9], І. Малюшинська і ін. [14], А. Л. Калмикова і ін. [3] та багато інших. Така кількість наукових досліджень в різних кліматичних зонах щодо кліматотворчих властивостей ліан підтверджує важливість вивчення цієї теми.

За даними А.Л. Калмикової [3] позитивний вплив рослин на тепловий режим пояснюється тим, що листки поглинають значну кількість енергії і в дуже невеликій кількості віддають її: величина альbedo біля стіни з тесаного каменю становить 37, у жимолості – 20, у дівочого винограду – 25, у плюща – 26 %. Інтенсивність теплового випромінювання стіни на відстані 1 м зменшується для жимолості на 68, для плюща – на 56, для дівочого винограду п'ятилисточкового на 41%.

Окрім температурного режиму, зелені насадження мають позитивний вплив також на підвищення відносної вологості повітря, яке сприймається людиною як зниження температури. За даними Л.Б. Лунца [4], підвищення відносної вологості на 15% сприймається людським організмом як зниження температури повітря на 3,5°C. Ефект прохолоди, яку створює одне дерево еквівалентний ефекту 10 кімнатних кондиціонерів. Збільшення вологості повітря пов'язане з випаровувальною здатністю рослинного покриву. Тривалі мікрокліматичні дослідження показали, що величина відносної вологості значною мірою залежить від величини зеленого об'єкта та часу спостереження [8].

Поверхня, покрита рослинністю випаровує в десятки разів більше вологи, ніж непокрита. Так, дослідження І. Калмикової також показали, що відносна вологість всередині ліан і за ними була вища порівняно з зовнішніми показниками. Жимолость капріфоль на 2,81, дикий виноград – на 3,75, клематис Жакмана – на 1,56, іпомея пурпурова – на 3,43%. Таким чином, в умовах сучасного міста поверхні, покриті ліанами, можуть збільшувати відносну вологість повітря міського середовища.

На температуру і вологість повітря впливає сила та напрям вітру. Він має вигляд латеральних потоків, обмежених структурою фітомеліоранта [4, 13]. Тому завданням оптимізації вітрових потоків полягає в тому, щоб дію вітру скерувати на оптимізацію мікрокліматичного ефекту. За даними науковців, швидкість вітру за різними досліджуваними видами ліан знижувалась від 0,5 до 2,91 м/с (на 20-75%).

Важливою складовою формування кліматичного комфорту є світло. Зелені насадження можуть регулювати світлові потоки і таким чином створювати затінені місця. Дослідження рівня освітленості під листяним покривом ліан показали, що освітленість також змінюється в сторону зменшення від 17,32 до 54,62% залежно від виду, але залежить від похмурості погоди та часу дня. Так, в похмуру погоду та ранковий і вечірній періоди дня різниця була менш вираженою, ніж в сонячні дні і обідню пору. На різницю показників також суттєво впливає ступінь облиствлення ліани.

Густота листяного покриву впливає не лише на здатність до редукції шумового забруднення, але й на показники фітоклімату, здатність знижувати температуру стіни. Показником, який відображає величину асиміляційної поверхню є індекс листкової площі (LAI). Цей показник застосовується для оцінки продуктивності цілих областей і навіть біомів. Також на основі цього показника визначають показник озеленення (Green Plot Ratio (GnPR)). LAI ліан вивчали Я. Боровські, М. Оттеле [8, 15]. Так, Я. Боровські визначив, що середній показник LAI *P. quinquefolia* становить 2,9. І. Сусорова і ін. [15] встановила, що чим більше значення LAI ліан, тим більше зниження температури опори (при LAI=4 зниження температури опори становить 13,1°C порівняно з непокритою ділянкою).

Шумозахисну роль ліан на прикладі *Parthenocissus quinquefolia* в м. Новочеркаськ (Росія) вивчали науковці з Донського державного аграрного університету. Згідно їхніх досліджень, високий рівень шуму був зафіксований вздовж магістралей та автодоріг і його значення становило від 50 до 80 дБА, в житловій зоні цей показник був значно меншим (35-40 дБА), тоді як в парковій зоні він був доволі незначним – 18-30 дБА. Автори виявили закономірність зниження рівня шуму не лише залежно від джерела шуму, але і від щільності листяного покриву ліани. Листки ліан поглинають до 20% енергії звукових хвиль, які на них падають, а відбивають і розсіюють 74%. Здатність рослин знижувати шум залежить від густоти листяного покриву, від способу формування ліан, від їх звукопоглинальної здатності.

Згідно даних довідників ООН в 2010 році в світі нараховували 511 міст-мільйонників, а до 2025 року їх чисельність становитиме 639. За даними сучасних урбаністів до 2030 року практично все населення планети буде зосереджене в містах. В Україні урбанізаційні процеси становлять 67%, тобто кожен другий житель з трьох проживає в містах. Такі тенденції змушують науковців, архітекторів та екологів шукати вирішення питання збільшення площ зелених насаджень в умовах тотального збільшення територій з мертвою підстилаючою поверхнею.

Населення м. Львова складає майже 755,8 тис. осіб, але за даними ГО «Великий Львів» до 2025 року населення м. Львова може зрости на 250 000 чол. Враховуючи велику ймовірність м. Львова поповнити число міст-мільйонників, надзвичайно важливим завданням є створення комфортних умов проживання шляхом збільшення площ зелених насаджень. В умовах надмірного ущільнення міської забудови посадка деревних і чагарникових рослин є дедалі менш можливою. Тому вирішенням даної проблеми може бути застосування прийомів вертикального озеленення.

Досвід успішного використання дерев'янистих ліан мають провідні країни світу. Так, наприклад, у 1983 році корпорація Kassel City в Німеччині запустила кампанію, яка заохочувала мешканців міста застосовувати прийоми вертикального озеленення з використанням ліан. Корпорація надавала підтримку в частині експертизи і в деяких випадках робочою силою. Інтерес до такого способу міського озеленення послідовно перейшов до Мюнхена, Берліна і Франкфурта. Більш радикальні ідеї запропонував німецький архітектор Рудольф Дорнах. В своїх проектах, таких як каплиця в Бонні він пропонував включати рослини у фасади як активний будівельний матеріал з можливістю самовідновлення. Результатом такої кампанії стало те, що лише в Берліні з 1983 по 1997 рік було покрито виткими рослинами 245,584 м<sup>2</sup> стін.

Попри очевидні переваги збільшення площ зелених насаджень за допомогою вертикального озеленення, існують думки щодо їх негативного впливу на будівлі [8, 12, 14]. Найчастіше ці застереження стосуються ймовірного підвищення вологості стін та негативного механічного впливу на конструк-



тивні елементи. Доказом безпідставності таких висновків служать приклади багаторічного використання дерев'янистих ліан в прибережних регіонах Британії, Англії та французької Нормандії з їхнім вологим кліматом. На противагу таким припущенням є багато наукових праць з дослідженнями в різних частинах світу, зі спростуванням таких думок і експериментально доведеним позитивним впливом рослин на будівлі і споруди.

Науковці, які вивчали вологісний режим також спростовують думку про негативний вплив ліан на стіни будівель і їх руйнування через підвищення вологості. Їхні дослідження проводились впродовж року, під час якого вивчали мікроклімат біля стіни будівлі, покритої деревовидними ліанами в умовах помірного клімату. Автори дійшли висновку, що застосування ліан зменшує амплітуду коливання температури і вологості. Відносна вологість повітря під покриттям є на 2-4% вища, порівняно з непокритою ділянкою.

Також 30-річні дослідження в Інституті будівельних технологій в Польщі показали, що показники структури штукатурки під шаром листя ліан були кращі порівняно з контролем, яким була непокрита рослиною стіна [8]. Такі дані були підтверджені також нашими дослідженнями (рис. 6) [2].

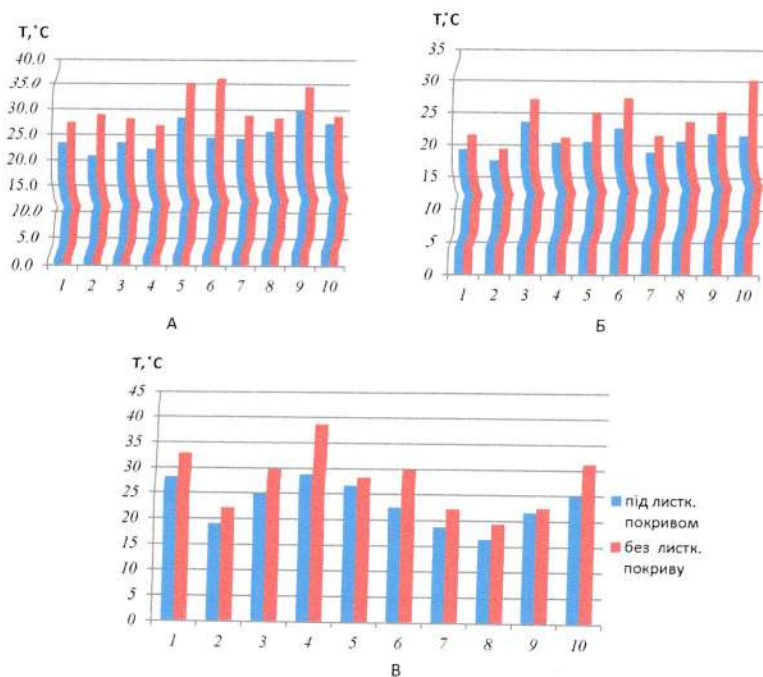


Рис. 6 – Різниця температурних показників опори на покритих і непокритих ліанами ділянках: 1-10 – об'єкти спостережень;  
А – *P. quinquefolia*, Б – *P. quinquefolia* 'Engelmannii', В – *P. tricuspidata* 'Veichii'

Середня різниця для всіх видів складає 3,5–5,3°C. Однак на об'єктах південної експозиції в сонячну погоду різниця температурних показників покритих і непокритих диким виноградом ділянок сягала 11,6°C.

Незаперечним фактом є те, що великі перепади температури і вологості є причиною руйнування каменю і інших будівельних матеріалів. Професор Варшавського інституту садівництва Я. Боровські [8] на основі проведених досліджень стверджує, що шар листя ліани зменшує амплітуду коливань температури і вологості, завдяки чому будівельні матеріали, котрими покриті стіни, не піддаються руйнуванню. Схематично дія ліан на фасад будинку зображено на рис. 7.



Рис. 7 – Вплив ліан роду *Parthenocissus* Planch. на фасад будинку [8]

Якщо процеси руйнування мають місце, то експериментально доведено, що вони почалися раніше і не пов'язані із зростанням рослини. Такі висновки зроблені також іншими дослідниками. Китайські науковці Хі і ін. в своїх наукових працях також спростовує думки щодо негативного механічного впливу ліан на стіни будинків, котрі прикріплюються за допомогою присосок (дикий виноград) або повітряних коренів (плющ звичайний). Він стверджує, що вусики з присосками є біологічно активні лише кілька днів. Контакт епідерми вусика з поверхнею спричиняє виділення адгезивної речовини, яка прикріплює його до стіни. Виділення рослиною органічних кислот і хімічні зв'язки, котрі могли б бути причиною пошкоджень діють дуже короткий час. Винятком є лише старі занедбані мури, де застосування такого роду ліан може пришвидшити процес руйнування.

Одним з найбільших забруднювачів сучасного міста є пил. Внаслідок вмісту в ньому таких шкідливих речовин як сірка, фтор, хлор, він має негативний вплив не лише на людину, але й на зелені насадження. У рослин, забруднених пилом, погіршуються транспіраційні та фотосинтетичні процеси. Фільтраційна функція зелених насаджень полягає в механічному затриманні пилу і хімічних утворень. Встановлено, що 1 га зелених насаджень затримує з повітря до 60-70 т пилу за рік, зменшуючи його концентрацію на 25-45%. Численні наукові дослідження показали істотну роль ліан у зменшенні забруднення повітря. Так, польські дослідники вивчали затримання пилових часточок різного розміру листками *P. quinquefolia* (L) Planch., а китайські науковці в Пекіні – пилоосадження та вміст важких металів листками *P. tricuspidata* Planch. Щепан Марчиньські, наприклад, стверджує, що цей вид акумулює на листовій поверхні 4 г пилу на 1 м<sup>2</sup> площі впродовж вегетаційного періоду. Пил містить поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), котрі, осідаючи на листовій поверхні, закривають їхні пори. Таким чином збільшується кількість цих речовин в тканинах рослини. Практично весь змитий з поверхні листової пластинки кадмій і олово походить із забруднюючих утворень прилеглих вулиць.

За даними багатьох науковців, зменшення рівня пилового забруднення прямо пропорційне збільшенню площі зелених насаджень. Їх фільтрувальна здатність пояснюється архітектонікою будови крони і листків. Кількість пилу, яку здатні затримувати різні види деревних рослин, залежить від багатьох факторів: наявності опадів, вітру, місцезнаходження рослин (наближеність до автомагістралей), видових особливостей будови листової пластинки (форма, розмір, розсіченість, опушеність) і т. д. Наші дослідження пилезатримуючої здатності окремих представників роду *Parthenocissus* Planch. показали, що вони мають високу пилезатримувальну здатність завдяки значній площі фітомаси.

Рослини на фасадах впливають на баланс газів в атмосфері міського середовища. Киснепродукуючу роль деревних ліан вивчали науковці з Польщі [8], І. Сусорова з США та М. Оттеле з Нідерландів [15]. Так, в праці М. Оттеле приведені дані щодо продукування кисню плюща звичайного. За його даними, рослина, котра займає площу 1000 м<sup>2</sup> може продукувати 1712 кг O<sub>2</sub>, використовуючи для цього 2351 кг CO<sub>2</sub>. Польські науковці, які вивчали киснепродукування представників дикого винограду встановили, що *P. quinquefolia*, який займає 531 м<sup>2</sup> стіни будинку з площею листової поверхні 2600 м<sup>2</sup> за 1 рік продукує приблизно 250 кг кисню і поглинає 500 кг вуглекислого газу. Як вказує автор, значення є приблизні. Натомість науковці С. Кандефер і М. Олек [11] стверджують, що 1 кг листя дикого винограду тригострокінцевого (*Parthenocissus tricuspidata* Sieb et Zucc.) продукує 1,4 м<sup>3</sup> кисню протягом року і поглинає приблизно таку ж кількість вуглекислого газу. Згідно наших досліджень, на основі існуючих даних, на п'яти об'єктах

дослідження загальною площею 842,52 м<sup>2</sup> рослини дикого винограду три го-  
строкінцевого впродовж вегетаційного періоду продукують 459 кг O<sub>2</sub> і по-  
глинають 631,13 кг CO<sub>2</sub>.

### ВИСНОВКИ

Ліани – це рослини, які в процесі еволюції створили специфічний спо-  
сіб росту – піднімання по опорах. В їх природних умовах такими опорами  
є інші рослини (дерева чи великі чагарники), в той час, як в містах цю функ-  
цію виконують будинки та різноманітні вертикальні споруди. В даний час  
виткі рослини є надзвичайно важливим знаряддям в руках ландшафтного  
архітектора. Вони можуть використовуватись практично в кожному про-  
єктованому об'єкті ландшафтної архітектури – від присадибних ділянок до  
парків чи відпочинкових територій. Їм є місце як в позаміських територіях,  
так і в тісних центрах міст.

Очевидно, що у великих містах через брак місць для зелених насаджень  
процес озеленення вимагає вирішення у спосіб, що максимально вико-  
ристовує природно-естетичні переваги рослин. Ландшафтні архітектори  
все частіше використовують ліани – рослини, які при обмеженому просторі  
можуть досконало співіснувати з архітектурою міста, зменшувати візуальне  
забруднення та покращувати мікрокліматичні показники.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Горохов В.А., *Городское зеленое строительство*, Москва: Стройиздат 1991.
2. Гоций Н.Д., *Влияние лиан рода Parthenocissus Planch. на температурный и вла-  
госный режим подпологового пространства*, «Журнал Белорусского государ-  
ственного университета. Экология», 2019, №4, с. 20–28
3. Калмыкова А.Л., Терешкин А.В., *Изменение показателей микроклимата при  
использовании лиан в вертикальном озеленении г. Саратова*, «Вестник Саратов-  
ского госагроуниверситета», 2008, №3, с. 20–23
4. Кучерявий В.П., *Фітомеліорація*. Львів: «Світ» 2003.
5. Лаптев О.О., *Екологічна оптимізація біогеоценотичного покриву в сучасному  
урболандшафті*. Київ: Укр. екол. акад. наук 1998.
6. Осипова Н.В., *Лианы: справочное пособие*. Москва. Лесная промышленность  
1989.
7. Barnaś K., *Elewacje zielone - nowoczesne technologie w projektowaniu i wykonawstwie*.  
«Czasopismo Techniczne», z. 2-A2/2011, Kraków, s. 7–13
8. Borowski, J., Latocha, P., *Zastosowanie roślin pnących i okrywowych w architekturze  
krajobrazu*, Warszawa: Wydawnictwo SGGW 2014.
9. Cuce E., Cuce P. M., Sher F., Bali T., Altin I., *The role of plants in temperature regulation  
of external walls: An experimental and numerical research*, «15th International

- Conference on Sustainable Energy Technologies», 2016, DOI 10.2495/DNE-V9-N1-31-46.
10. Jänicke B., Meier F., Hoelscher M.-T., Scherer D. *Evaluating the Effects of Façade Greening on Human Bioclimate in a Complex Urban Environment*, «Advances in Meteorology», Vol. 2015, Article ID 747259, 15 p, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/747259>.
  11. Kandefer S., Olek M. *Rola pnączy w procesie naturalnego oczyszczania środowiska*, «Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja», 2007, №11, p.23-24
  12. Krzywobłocka-Laurów R., Borowski J., *Ekologiczne aspekty zieleni w postaci pnączy a trwałość elewacji*. «Mat. X Ogólnopolskiej Interdyscyplinarnej Konf. Naukowo-Technicznej. Ekologia i budownictwo», 1998, st. 241-251
  13. Kycheryavij V. P., Popovych V., Kycheryavij V. S., *The climate of a large city and ecocline ordination of its vegetation cover*, «J. Geogr. Inst. Cvijic», 2018, 68 (2), s. 177–193, [doi.org/10.2298/IJGI1802177K](https://doi.org/10.2298/IJGI1802177K).
  14. Małuszyńska I., Caballero-Frączkowski W.A., Małuszyński M.J., *Zielone dachy i zielone ściany jako rozwiązania poprawiające zdrowie środowiskowe terenów miejskich*, «Inżynieria Ekologiczna», 2014, nr 36, s. 40–52.
  15. Ottelé M., *The green building envelope: vertical greening*, TU Delft, 2011.
  16. Robert A. Francis *Wall ecology: A frontier for urban biodiversity and ecological engineering*, «Progress in Physical Geography», Vol. 35(1), P. 43–63, DOI: 10.1177/0309133310385166.

доцент, к.т.н. Катерина Степова

katyastepova@gmail.com, +380677941774

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна

ORCID: 0000-0002-2082-9524

Роман Конанець

konanec@gmail.com, +380673520962

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна

ORCID: 0000-0003-2360-4002

Ірина Федів

ira.arnaut94@gmail.com, +380973445187

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

ORCID: 0000-0003-4554-8347

---

## КРИТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ АДСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ПІДТЕРИКОНОВИХ ВОД

*CRITICAL REVIEW OF ADSORPTION METHODS OF SUBTERRICONE WATERS*

### Анотація

Важкі метали – це політанти, які за своїм впливом не мають аналогів, адже, вступаючи у взаємодію з природними компонентами, їх іони утворюють не лише непередбачувані сполуки, а й такі, які володіють синергетичними властивостями. Так небезпека сумішей перевищує токсичну дію самих компонентів в чистому вигляді. Найнебезпечнішими прийнято вважати свинець, ртуть та кадмій. Але понад 35 елементів опиняється у навколишньому середовищі внаслідок добування руд та корисних копалин. У водних середовищах, які утворюються у вигляді підтериконових вод метали та нові суміші розповсюджуються та утворюють різні небезпечні сполуки.

**Ключові слова:** технологічні відходи, екологічна безпека, важкі метали, адсорбція.

### Abstract

Heavy metals are pollutants that have no analogues in their influence. Interacting with natural components, their ions form not only unpredictable compounds, but also may result in synergistic properties. So the hazard of mixtures exceeds the toxic effect of their components. Lead, mercury and cadmium are considered to be the most hazardous. Though more than 35 elements get into environment due to the extraction of ores and minerals. Metals and new mixtures spread into water environment and form various dangerous compounds generating the subterriconic waters.

**Keywords:** technological waste, environmental safety, heavy metals, adsorption.

### 1. Підтериконові води: походження, склад, небезпека для довкілля, заходи зменшення їх негативного впливу на довкілля

У реальному середовищі поведінка металів малодосліджена, але відомо, що недостатньо очищені води спричиняють хвороби та сприяють росту смертності живих істот. Варто зазначити, що найбільш небезпечними забрудниками є важкі метали, адже наслідки для здоров'я людей, водних організмів, навколишнього середовища катастрофічні.

Видобувні роботи забруднюють поверхню та ґрунтові води спричиняючи хвороби [1]. Підтериконові води є радіоактивними, токсичними та канцерогенними [2, 3].

Важливо зазначити, що забруднення, спричинене важкими металами, є однією із найбільших екологічних проблем, що впливає на життя людини [4]. Найбільший негативний вплив отримує водна екосистема, оскільки вода широко використовується у промисловості, а важкі метали та їх сполуки легко розчиняються у ній поширюючись у навколишньому середовищі внаслідок утворення стічних вод [5]. Миш'як, хром, кобальт, нікель, мідь, цинк, срібло, кадмій, ртуть, титан, селен і свинець спричиняють серйозні проблеми для здоров'я людини, оскільки вони не піддаються біологічному розкладу і мають тенденцію накопичуватися в живих організмах, викликаючи ряд захворювань, які впливають на нирки, нервову систему, кровотворення та шлунково-кишковий тракт [6]. Окрім того, важкі метали негативно впливають на сільське господарство та унеможливають отримання чистого врожаю.

Відтак однією з найважливіших проблем у гірничодобувних підприємствах є очищення підтериконових вод та відвалів. Видобуток корисних копалин є джерелом доходу у всьому світі протягом багатьох років, залишаючи після себе понад 6000 хвостосховищ, 4800 покинутих майданчиків і приблизно 6 мільярдів тонн підтериконових відходів лише у Південній Африці [7].

Питання очищення вод від металів не перестає вивчатись, відтак, аналізуючи роботи науковців встановлено, що постійно відбувається модернізація, модифікація та неординарне поєднання різних методів та методик для очистки водного середовища від поллютантів, до прикладу видалення Cd з води є важливим і вивчалось у численних роботах [8]. Різні методи були використані для видалення Cd, а саме: фільтрація, іонообмін та електрокоагуляція та адсорбція. Важливо зазначити, що саме адсорбція є однією із найефективніших методів через високу ефективність, низьку вартість та простоту в роботі [9].

У Монголії було виявлено значні поклади золота, міді і інших дорогоцінних та напівцінних металів, дана діяльність передбачувала утворення великої кількості підтериконових стічних вод, які необхідно було очищувати. В даному напрямі процес нейтралізації в якості очистки не виправдовував

себе, у зв'язку з чим було направлено дослідницькі пошуки на адсорбційні методи, які в свою чергу показали позитивний результат. В якості сорбента використовувались глини, в складі яких переважали цеоліти. Було проаналізовано роботи, в яких вивчались адсорбційні властивості цеолітів відібраних у Туреччині [10] та Монголії [11, 12].

Оскільки молярні співвідношення алюмінію щодо кремнію, що поглинали монгольські природні цеоліти, в дослідженні були нижчими, ніж у чистих цеолітів, зразки природного цеоліту містили значну кількість домішок. Під час експерименту порівняно збільшувалась ємність зразку природного цеоліту зі збільшенням вмісту алюмінію у ньому. Природні монгольські цеоліти адсорбувати і видаляли мідь, цинк і марганець з водних розчинів. Осадження гідроксиду металу впливали на результати адсорбції. Насичені іонами важких металів адсорбенти оцінювали за рівнянням Ленгмюра. Встановлені значення були майже однаковими, але під час експерименту здатність природного цеоліту збільшувалися зі зміною рН розчину [13].

## 2. Огляд технологій очищення вод від важких металів

За рахунок оновлення, модифікування та реалізації новітніх рішень у методах очистки підтериконових та стічних вод загалом, вдається зробити цей процес доступнішим та ефективнішим, у зв'язку з чим питання модифікування та вивчення даного аспекту не втрачає актуальності. Таким чином з оновленням технологій з'являється можливість вирішити одну із світових проблем, таку як забруднення вод світового океану в цілому. Впровадження технологій у промислові процеси має сприяти не лише очищенню стічних вод, а також надавати можливість оптимізації процесів та створювати умови для зниження рівня забрудненості вод до допустимого [3].

Для очищення підтериконових вод використовуються різні технології. Їх застосування залежить від природи домішок та якості очищення. Основні методи розділені на дві групи, а саме: активна і пасивна очистка. Відтак до пасивних методів відноситься відстоювання, адсорбція, активними вважаються ті, де необхідно застосування енергії та додавання хімікатів, ці дві групи в свою чергу розділяються за більш вузькими характеристиками. Нижче більш детально розглянемо сучасні методики.

### 2.1. Видалення важких металів із підтериконових вод за допомогою зворотного осмосу

Зворотний осмос використовується протягом багатьох років. Основні забрудники, з якими дана технологія вдало справляється – віруси, бактерії, метали у залишкових кількостях, досягаючи ступеня очищення 99,8% [14]. Мембранні технології з використанням зворотного осмосу останнім часом



використовують і у промислових масштабах, відтак під тиском можна очищувати і підтериконові води. Варто зауважити, що ефективність цієї технології, без сумніву, може бути придатною і для доведення шахтних вод до якості питної води [15].

Очистка відбувається за рахунок різниці тисків, що створюється з обох боків мембрани. Очистка є високоефективною щоправда складною у своїй реалізації за рахунок високої вартості обладнання, обслуговування та складності самого процесу [16].

## 2.2. Видалення важких металів із підтериконових вод за допомогою біологічних методів очищення

Основними забрудниками, які вилучаються з вод за допомогою біологічних методів є фосфати, нітрати. Метод очистки складається з етапів, на кожному з яких вилучаються ті чи інші сполуки. Питання біологічної очистки вивчається та дослідники постійно працюють над її удосконаленням. Відповідно одним із важливих моментів є необхідність повторної доочистки забруднених вод, адже після проходження всіх етапів не вдається досягти бажаного ступеня очищення. Наприклад, при дослідженні процесу очищення від ванадію біологічними методами було встановлено, що він майже не розкладається у заданих умовах, тому даний вид очистки не є універсальним, але в свою чергу є досить складним для реалізації та високовартісним.

## 2.3. Видалення важких металів із підтериконових вод за допомогою хімічних методів очистки

Для стічних, підтериконових вод та інших забруднених в промислових стоків використовуються хімічні методи очищення. Їх реалізація передбачає додавання хімічних реагентів, та в подальшому відокремлення осаджених твердих частинок від води. Зазначимо, що здебільшого процес хімічної очистки поєднується з процесом флотації, в якому за рахунок утворення бульбашок забрудники приєднуються до кисню та відділяються від рідини. Однак необхідна ефективність очищення досягається лише при повторному доочищенні або при комбінуванні хімічного методу з біосорбцією. Недоліком даного рішення є необхідність великих витрат на великі площі, де має проходити процес та необхідність вирішення проблеми з утвореним осадом [17].

## 2.4. Видалення важких металів із підтериконових вод за допомогою процесів фільтрації та коагуляції

Для видалення твердих частинок, що є візуально помітними, із забрудненої води, використовують фізичні методи очистки. Відтак переважно завжди

коагуляція передувє процесу фільтрації і взагалі ці процеси можна вважати нероздільними [18]. Дані методи також часто використовуються для відділення осаду у процесі адсорбції, а також за допомогою них часто видаляють миш'як [19]. Встановлено, що коагуляція селену малоефективна на відміну від урану, радію, торію та інших моно- та двовалентних іонів, що попадають у підтериконові води внаслідок урановидобувної діяльності.

### 2.5. Видалення важких металів із підтериконових вод за допомогою іонообміну

Процес іонообміну застосовується для видалення іонних забруднень з промислових, стічних та підземних вод. Даний метод передбачає застосування аніонітів і катіонітів або іонообмінних мембран, які приєднують до себе і відділяють забрудники. Проблема даного методу полягає у тому, що наявність у воді біологічного забруднення та ряду інших домішок, перешкоджає даному процесу, а як відомо, переважно всі забруднені води мають в собі ряд полютантів різного походження. По причині неуніверсальності даний метод не можливо вважати оптимальним.

### 2.6. Видалення важких металів із підтериконових вод за допомогою адсорбції

Сорбційні процеси є максимально ефективними, адже вони є придатні для різних цілей, очистки від широкого спектру полютантів, а також є економічно вигідними.

Основними вимогами до адсорбентів є висока стійкість, висока поверхнева здатність та чітка структура пор, що дає змогу поглинати полютанти [20].

Адсорбція може використовуватись при очищенні підтериконових вод для видалення металів навіть у залишкових кількостях; процес високоефективний і для очистки вод з низькою концентрацією металів. Як згадувалося вище, продуктивність будь-якого процесу адсорбції залежить від вибору сорбента, і найчастіше ефективно використовується активоване вугілля, сорбенти на основі полімерів, цеоліту, клиноптилоліту [3].

Оскільки проблема забруднення вод важкими металами набирає обертів, відповідно методи очищення та новітні технології, що мають на меті зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище, активно вивчаються. Відповідно до стандартів, очищення вод передбачає досягнення допустимої концентрації збудників, що можливо реалізувати використовуючи природні сорбенти. В роботі [21] було досліджено сорбційні властивості цеолітів і доведено, що метод адсорбції є перспективним методом через його нескладність, швидкість, надійність та економічність [22]. За останні кілька років було доведено, що цеоліти є ефективними для ліквідації забруднення, особливо іонів важких металів. Цеоліти гідратовані алюмосилікати лужноземельних металів утворюють мікропористі структурні групи мінера-

лів, які містять  $\text{SiO}_4$  та  $\text{AlO}_4$  в основі тетраедрів, що у свою чергу спричиняє явище просторової взаємодії [21].

За ступенем очищення від заліза промислових забруднених вод методи можна представити у вигляді послідовності: екстракція 80% очищення, фільтрація активованим вугіллям – 75–90%, адсорбційне окислення – 84–92%, електрокоагуляція (ЕС) – 95–99%, підземний метод вилучення заліза – > 50%, гранульований фільтр – 80–90%, іонообмін – 90% та окиснення/фільтрування – 80–90%, [23]. Зважаючи на це, варто відмітити, що у відношенні ціна – якість, найоптимальнішим методом очищення є адсорбція, за рахунок своєї низької вартості та ефективності. При цьому слід зауважити, що якість очищення є кращою при модифікуванні сорбентів.

### 3. Природні мінерали як адсорбенти важких металів

Цеоліти – це поширені матеріали, які використовуються в різних хімічних процесах та промисловості. Цеоліти мають унікальні структурні особливості пор, яким характерна специфічна щільність, що демонструє хороші показники у ефективності очищення розчинів від домішок [24]. Характеристики цеолітових матеріалів дають змогу змінювати та розширювати їх сорбційні властивості за рахунок модифікування, що істотно підвищує ефективність видалення та селективність поглиначів, а також сприяє одночасному видаленню декількох забруднюючих речовин [25]. У порівнянні з іншими наноматеріалами, перевага цеолітів у їх доступності та низькій вартості [26].

Модифіковані природні цеоліти використовуються для очищення від забруднюючих речовин, шляхом поглинання аніонів зі стоків за рахунок протікання процесу адсорбції (Haggerty and Bowman, 1994). Процеси гідратації–дегідратації та катіонного обміну з водними розчинами протікають без значних змін структури. Катіонообмінна ємність таких матеріалів є відносно високою – від 200–300 м-екв. на 100 г [27,28]

Природні цеоліти відносяться до середнього класу іонообмінних сорбентів. Їх хімічний склад змінюється в рамках, масова частка %:  $\text{SiO}_2$  – 66–72;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 11–14;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,6–1,7;  $\text{CaO}$  – 0,5–2,0;  $\text{MgO}$  – 0,1–0,5;  $\text{MnO}$  – 0,06;  $\text{K}_2\text{O}$  – 2,8–4,8;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,34–3,55;  $\text{TiO}_2$  – 0,23–0,45;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,01;  $\text{H}_2\text{O}$  – 3,7–13,5. За хімічним складом цеоліти відносяться до алюмосилікатів [29].

В той же час процес видалення іонів міді, нікелю, кобальту та заліза природним цеолітом Ягоднинських родовищ (Камчатська область) з водних розчинів у діапазоні концентрацій 0,5–3,5 мг-екв/л показало, що цеоліти Ягоднинського родовища складаються з Na-кліноптилоліту (23,0 %), Ca-кліноптилоліту (52,1 %) та модерніту (12,9 %). Встановлено, що обмінними катіонами природного цеоліту Ягоднинських родовищ, Камчатська область

кальцій, калій і магній. Відповідно до результатів визначено, що цеоліт можна використовувати як ефективний сорбент для видалення іонів  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  та  $\text{Fe}^{2+}$  із підтериконових вод [29].

Природні цеоліти зустрічаються на теренах всього світу, власне географічне розповсюдження надає їм певних особливостей, але основним залишається те, що вони гідратованими алюмосилкатами лужних ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) та лужноземельних ( $\text{Ca}^{2+}$  та  $\text{Mg}^{2+}$ ) елементів. Утворення цеолітів-клинотолітів відбувається в умовах дії високих температур, тиску та мільйонів років, що впливають на зміну шару вулканічного попелу, та фізичних та хімічних змін порід. Використання клиноптилоліту датується 50-ми роками 20-го століття, коли даний мінерал був вже достатньо вивчений. Клинотоліт відноситься до цеолітної групи мінералів. Структура мінералу є трьохвимірною решіткою, складається з оксидних солей, що взаємно поєднані киснем, частина кремнієвих атомів заміщена атомами алюмінію, тим самим створюється велика кількість порожніх порожнин, які з'єднуються між собою та можуть бути використані для поглинання іонів металів або молекул води. Об'єм пор коливається від 24 до 32 %. Клинотоліт знаходить своє застосування не лише в промисловості як оптимальний матеріал для воодоочистки, а і в будівництві, сільському господарстві та лісоводстві. Повертаючись до питання мінералу, варто зазначити, що його особливістю своєї структури, що складається з пор та каналів, клиноптилоліт є природно здатен до адсорбції і іонного обміну, що є однією з найцінніших властивостей. У дослідженнях очистки вод від металів. Варто зауважити, що розумно висока селективність, адсорбційна здатність та висока питома площа поверхні в залежності від відношення  $\text{Si}/\text{Al}$ , відіграє важливу роль у продуктивності матеріалу і в залежності від співвідношення продуктивність адсорбції і призводить до більш високих теплових та фізичних показників. Природного співвідношення цеоліти демонструють більшу адсорбційну здатність, ніж саме алюміній в структурі відповідає за створення катіонних центрів. Також було встановлено, що наявність кремнезему надає кращі іонні характеристики. Отже, цеоліти з меншим співвідношенням  $\text{Si}/\text{Al}$  демонструють більшу катіонообмінну ємність, адже, чим більше алюмінію в структурі, тим більше катіонних центрів. Цеоліти із середнім і великим розподілом пор більш ефективні для адсорбції та застосування у каталізі. Природні цеоліти демонструють високу ефективність у очистці стічних вод [30].

#### 4. Технології покращення сорбційної здатності клиноптилоліту

[21] було проведено модифікування цеолітових глин взятих з розробки. Відтак цеолітовий матеріал з частинками розміром від 50 до 100 нм мелювали, промивали дистильованою водою, нагрівали протя-

гом 24 годин, активували кислотами та лугами, після чого знов промивали дистильованою водою, висушували повітрям та атмосферним азотом.

Було виявлено що при модифікуванні за рахунок кислот покращується адсорбційна здатність і відповідно залізо вилучається ефективніше, в той же час при модифікуванні лужними або сольовими розчинами збільшується площа поверхні, але сорбційна здатність щодо металів є нижчою, ніж при використанні кислот.

Відповідно до отриманих результатів встановлено, що адсорбційна здатність модифікованого кліноптилоліту покращується з часом. Важливо зазначити, що саме кислі умови сприяють кращому очищенню від заліза. Автори також зазначають, що найкращими умовами для адсорбції є температура атмосферного повітря 25°С, рН 6,5, час контакту 48 годин, ступінь очищення при цьому сягає 97.97% [21].

При визначенні адсорбційних властивостей кліноптилоліту з Сербії щодо  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Co}^{2+}$  та  $\text{Sr}^{2+}$  змінювали тривалість контакту сорбенту і забрудненої речовини, рН, та кількість ЕДТА. Визначено, що при діапазоні рН 3–12 адсорбція  $\text{Cs}^+$  залишається майже постійною, тоді як при низькому рН (2–3) адсорбційна здатність зменшується. При початковому діапазоні рН 2–10 адсорбція  $\text{Sr}^{2+}$  протікає стабільно, тоді як при початковому рН > 10 адсорбція значно зростає. Адсорбція  $\text{Co}^{2+}$  знижується зі зменшенням рН, але значно зростає із його збільшенням. На адсорбцію  $\text{Cs}^+$  на кліноптилоліті не впливає наявність ЕДТА, тоді як присутність ЕДТА перешкоджає адсорбції  $\text{Co}^{2+}$  та  $\text{Sr}^{2+}$  на кліноптилоліті [31]. Для експерименту було взято кліноптилоліт промитий дистильованою водою, висушений при 105°С та подрібнений. Для експерименту відбирали частинки розміром 200–250 мкм.

Під дією розчинами  $\text{NaCl}$  та  $\text{HCl}$  на кліноптилоліт [32] було проаналізовано здатність вилучення іонів  $\text{Zn}^{2+}$ . Експеримент було проведено використовуючи чотири зразки і виявлено, що обмінна ємність та ефективність видалення суттєво покращуються внаслідок модифікування. При температурі перемішування 90°С було визначено найкращий результат поглинання домішок, що склав 99,7 %. За даними отриманими в результаті розрахунку рівняння ізотерми Ленгмюра та Фрейндліха довели, що потенціал природних та модифікованих кліноптилолітів як адсорбенту/іонообмінного матеріалу для видалення важких металів є суттєвим.

При модифікуванні кліноптилоліту розчином  $\text{NaCl}$  вивчали поведінку кадмію. Найбільш ефективним (99%) очищення було за таких умов: рН 6,3, час дії 309 хв, початкова концентрація  $\text{Cd}$  79,41 мг/л і дозування модифікованого кліноптилоліту 7,02 г/л. Ізотерми адсорбції добре вкладаються у модель Ленгмюра. Їх максимальна адсорбційна ємність при різних температурах є не меншою за 20 мг/л. Термодинамічне дослідження показало, що адсорбція  $\text{Cd}$  на модифікованому кліноптилоліті є потенційним методом для виготовлення ефективних і недорогих адсорбентів з природних ресурсів [33].

#### 4.1. Покращення сорбційної здатності адсорбентів поверхнево-активними речовинами.

Поверхнево-активні речовини (ПАР) – це речовини, які можуть значно змінювати поверхневий натяг речовин. Ця властивість обумовлена дипольною структурою їх молекули, яка одночасно має як гідрофільні, так і гідрофобні групи, розташовані на обох кінцях молекули [34].

В останні роки було проведено багато досліджень щодо покращення сорбційної здатності адсорбентів [35, 36]. Одним із матеріалів, що використовуються для поліпшення поверхневих властивостей адсорбентів, є ПАР. Модифікування поверхні – це процес, який проводять з метою створення різних фізичних, хімічних та біологічних характеристик на поверхнях матеріалів. Цей процес проводять на зовнішньому шарі поверхні адсорбента. Адсорбент повинен мати такі характеристики, як: висока адсорбційна здатність, висока селективність, низька вартість і висока можливість повторного використання, щоб мати більш значну ефективність у процесі адсорбції [37].

ПАР збільшують протилежну поверхневу щільність заряду і, таким чином, посилюють електростатичні взаємодії та іонний обмін. Створюючи нові функціональні групи, в кінцевому підсумку підвищується швидкість адсорбції. Іншою перевагою використання поверхнево-активних речовин є поліпшення адсорбційних властивостей, включаючи зміну об'єму і діаметра пор, а також площу поверхні адсорбента [38].

Коли поверхнево-активна речовина вбудовується в пори глиняної поверхні, це спричиняє розширення проміжних шарів, що призводить до збільшення об'єму та діаметра пор і, таким чином, до зменшення питомої поверхні [39]. Також в дослідженні [40] бачимо, що модифікування бентонітової глини катіоногенною поверхнево-активною речовиною (Бенсилгексадецилдиметиламонію хлорид) призводить до того, що катіони міцел ПАР вбудовуються в проміжні шари бентоніту і замінюють обмінні катіони. Це призводить до заміни функціональних груп природного бентоніту на катіоногенні поверхнево-активні речовини, які домінують в адсорбції іонів важких металів. Модифікування також запобігає набухання бентоніту.

Крім того, Munig та інші зауважили, що рожева глина має більшу площу поверхні та об'єм пор після модифікування за допомогою катіоногенної поверхнево-активної речовини цетилтриметиламоній броміду. Також, вони показали, що адсорбент, модифікований катіоногенною поверхнево-активною речовиною, має високий потенціал для видалення амарантового барвника [41]. Катіоногенні поверхнево-активні речовини можуть збільшити як аніонну адсорбційну здатність, так і катіонну спорідненість глин, хоча модифікації обмежені їх зовнішніми поверхнями. Крім того, глини, модифіковані поверхнево-активними речовинами, можуть адсорбувати катіони металів і створювати комплекси, в яких активні центри на їх поверхні мають негативні заряди [42].

Існує декілька досліджень, присвячених адсорбції токсичних іонів за допомогою модифікованих поверхнево-активними речовинами адсорбентів. У табл. 1 наведені оптимальні умови та максимальна здатність поглинання для різних адсорбентів, модифікованих поверхнево-активними речовинами. Серед наведених досліджень ефективність видалення 99,5% була отримана за допомогою двох адсорбентів, таких як дріжджі/цетилтриметиламоній

Таб. 1. Огляд сорбції ПАР-модифікованими адсорбентами [43]

Адсорбент	Полютант	pH	Час (хв)	T (°C)	К-ція (мг/л)	К-сть адсорбента (г/л)	Макс. сорбційна ємність (мг/г)
CaO/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /SDS	Cr (III)	5	50	25	5	2	98.7 6.406
HDTMA-Br модифікована каолінова глина	As (III)	6	60	25	5	4	близько 85 2.3
HDTMA-Br модифікована каолінова глина	As (IV)	6	60	25	5	4	близько 90 2.88
Бентоніт модифікований бенсилгексадецилдиметиламонію хлорид	Cu (II)	5	80	-	50	5	94.75 50.76
Бентоніт модифікований бенсилгексадецилдиметиламонію хлорид	Zn (II)	5	80	-	50	5	98.90 35.21
DNPH/SDS/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Cr (VI)	4	90	25	50	0,5	99.5 169.5
SDS-GO	Ni (II)	9	1440	25	40	5	98 55.16
Оксид алюмінію модифікований SDS	Mn (II)	6	30	30	20	20	84 1.31
Цеоліт модифікований цетилпіридин бромідом	Nitrate	6	1440	25	88.6	4	- 9.68
СТАВ модифікований вуглицем	Cd (II)	8	120	30	30	1	98 279.5
СТАВ модифікований вуглицем	Pb (II)	5.8	120	30	30	2	98.89 -
СТАВ модифікований дріжджами	CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5.5	60	-	208	0.5	99.5 94.34

бромід і DNPН/SDS/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, що вказує на максимальний відсоток видалення важких металів адсорбцією [43].

Згідно з даними із досліджень, катіоногенна поверхнево-активна речовина СТАВ та аніоногенна поверхнево-активна речовина SDS були найбільш широко використовуваними поверхнево-активними речовинами для поліпшення властивостей поверхні адсорбентів і показали найвище підвищення ефективності видалення та адсорбційної здатності іонів металів. Тому вони можуть бути використані як модифікатори поверхонь адсорбентів у промислових масштабах. Серед усіх попередніх робіт максимальну ефективність сорбції (99,5%) показали DNPН/SDS/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> та СТАВ-модифіковані дріжджі, які змогли видалити іони Cr (VI) та CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> відповідно. Також вони показали значну сорбційну здатність [43].

## ЛІТЕРАТУРА

1. Andrea G., John C. Overview of airborne metals regulations exposure limits health effects, and contemporary research. *Cooper Environ Serv.* 2010. Vol. 4, №3. P. 3–4.
2. Fungaro D., Yamaura M., Craesmeyer G. Uranium removal from aqueous solution by zeolite from fly ash-iron oxide magnetic nanocomposite. *Int Rev Chem Eng.* 2012. Vol. 4. P. 353–358.
3. Opeyemi A. Oyewo, Oluranti Agboola, Maurice S. Onyango, Patricia Popoola, Mokgadi F. Bobape. Current methods for the remediation of acid mine drainage including continuous removal of metals from wastewater and mine dump. *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation.* 2018. P. 103–114.
4. Zare, E.N., Motahari, A., Sillanpää, M. Nano-adsorbents based on conducting polymer nanocomposites with main focus on polyaniline and its derivatives for removal of heavy metal ions/dyes: A review. *Environ. Res.* 2018. Vol. 162. P. 173–195. DOI: 10.1016/j.envres.2017.12.025.
5. Rai, P.K. Heavy metal phytoremediation from aquatic ecosystems with special reference to macrophytes. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2009. Vol. 39 (9), P. 697–753. DOI: 10.1080/10643380801910058.
6. Argun, M.E., Dursum, S. A new approach to modification of natural adsorbent for heavy metal adsorption. *Bioresour. Technol.* 2008. Vol. 99. P. 2516–2527.
7. Mengistu H, Roeyset O, Tessema A, Abiye TA, Demlie MB. Diffusive gradient in thin films (DGT) as risk assessment and management tools in the central Witwatersrand goldfields. *Water SA.* 2012. Vol. 38(1) P. 15–22.
8. Otunola, B.O., Ololade, O.O. A review on the application of clay minerals as heavy metal adsorbents for remediation purposes. *Environ. Technol. Innov.* 2020. Vol. 18. P. 100692. DOI: 10.1016/j.eti.2020.100692.
9. Escobar, C., Soto-Salazar, C., Toral, M.I. Optimization of the electrocoagulation process for the removal of copper, lead and cadmium in natural waters and simulated wastewater. *J. Environ. Manag.* 2006. Vol. 81, P. 384–391. DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.11.012.

Федів  
за до-  
ментів.  
вання  
нами.  
мана  
моній

Макс. сорбційна здатність (мг/г)
4,7
4,6
шико 85
1,3
шико 90
1,8
4,75
4,76
4,30
1,21
4,5
1,5
4,6
1,16
4
1,51
4,68
4,6
1,9,5
4,89
4,5
4,34



10. Motsi T, Rowson NA, Simmons MJH. Adsorption of heavy metals from acid mine drainage by natural zeolite. *Int J Mine Proc.* 2009. Vol. 92. P. 42–48.
11. Bolortamir Ts, Egashira R. Removal of Hexavalent Chromium from Model Tannery Wastewater by Adsorption Using Mongolian Natural Zeolite. *J Chem Eng of Jpn.* 2008. Vol. 41 P. 1003–1009.
12. Bolortamir Ts, Mio T, Egashira R, Habaki H. Trivalent Chromium Adsorption on Mongolian Natural Zeolites in Tannery Wastewater Treatment Process. *International Workshop on Process Intensification* 2008. PB13, P. 180–181.
13. R. Egashira, S. Tanabe, H. Habaki. Adsorption of heavy metals in mine wastewater by Mongolian natural zeolite. *Procedia Engineering.* 2012. Vol. 42. P. 49–57.
14. Anil KP, Syed SHR, Ana Maria S. Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food and Biotechnological Applications : London, New York : 2013. URL: <http://repository.um-palembang.ac.id/id/eprint/9141/1/Handbook%20of%20Membrane%20Separations.pdf>
15. Atkinson S. Reverse osmosis makes mine-water drinkable. *Membr Technol.* 1997. P. 7–10.
16. Pisa V, Gulikova E. Desalting of acid mine drainage by reverse osmosis method – field tests *9th International Mine Water Congress Oviedo.* 2005. P. 369–373
17. Park SM, Shin SY, Yang JS, Ji SW, Baek K. Selective recovery of dissolved metals from mine drainage using electrochemical reactions. *Electrochim Acta.* 2015. Vol. 181 P. 248–254.
18. Dong BF, Fishgold A, Lee P, Runge K, Deymier P, Keswani M. Sono-electrochemical recovery of metal ions from their aqueous solutions. *J Hazard Mater.* 2016. Vol. 318. P. 379–387.
19. Pawlak Z, Cartwright PS, Oloyede A, Bayraktar E. Removal of toxic arsenic and antimony from groundwater spiro tunnel Bulkhead in Park City Utah using colloidal iron hydroxide: comparison with reverse osmosis. *Advanced Materials Research.* 2010. Vol. 83–86. P. 553–562.
20. Ferrari L, Kaufmann J, Winnefeld F, Plank J. Interaction of cement model systems with superplasticizers investigated by atomic force microscopy, zeta potential, and adsorption measurements, *J Colloid Interface Sci.* 2010. Vol. 347 P. 15–24.
21. Amir Hossein Salimia, Ali Shamshirib, Ehsan Jaberib, Hossein Bonakdaric, Azam Akhbarid. Total iron removal from aqueous solution by using modified Clinoptilolite. *Ain Shams Engineering Journal.* 2021. Part of ISSN: 2090-4479.
22. Vafaeifard M, Lee G, Akib S, Ibrahim S, Yoon Y, Jang M. Facile and economic one-pot synthesis of rigid functional-polyurethane for the effective treatment of heavy metal-contaminated urban storm water run-off. *Desalin Water Treat.* 2016. Vol. 57 (54) P. 26114-26129. DOI: <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1164082>.
23. Chaturvedi S, Dave PN. Removal of iron for safe drinking water. *Desalination.* 2012. Vol. 303. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.07.003>
24. Liu R, Lal R. Nanoenhanced materials for reclamation of mine lands another degraded soils: a review. *J Nanotech.* 2012. P. 1–17.
25. Inglezakis LV, Grigoropoulou H. Effects of operating conditions on the removal of heavy metals by zeolite in fixed bed reactors. *J Hazard Mater.* 2004. Vol. 112. P. 37–43.
26. Eyde TH. Zeolites, *Minerals Eng.* 2010. P. 62–86.

- огляд методів адсорбційного очищення підтериконових вод
- Ming DW, Allen ER. Use of natural zeolites in agronomy, horticulture and environmental soil remediation, *Rev Mineral Geochem.* 2001. Vol. 45(1) P. 619–654.
- Daniel Pramudita, Irwan Iskandar, Antonius Indarto Institut Teknologi Bandung, Bandung. Nano-enhanced materials for reclamation of mine spoils. *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation.* 2018. P. 201–214.
- T.P. Belova. Adsorption of heavy metal ions ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{2+}$ ) from aqueous solutions by natural zeolite. *Heliyon.* Vol. 5 (9). e02320
- Kazemian, K. Gedikb and I. Imamoglu, In Natural Zeolites Bentham. *Science Publishers.* 2012. P. 473–508.
- Smičiklas, S. Dimović, I. Plečaš. Removal of  $\text{Cs}^{1+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  and  $\text{Co}^{2+}$  from aqueous solutions by adsorption on natural clinoptilolite. *Applied Clay Science* Vol. 35 (1–2). P. 139–144.
- Senra Çoruh. The removal of zinc ions by natural and conditioned clinoptilolites. *Desalination.* 2008. Vol. 225 (1–3). P. 41–57.
- Anh D. Nguyen, Tho T. Pham, Valerie Vranova, Hoa T.H. Nguyen, Linh T.N. Nguyen, Tuan T. Vuong, Quy M. Bui. Removal of cadmium from aqueous solution using organochemically modified clinoptilolite: Optimization and modeling. *Environmental Technology & Innovation.* 2020. Vol. 20. 101166.
- Walters, D. Fluid surfaces and interfaces. *J. Surfactants Deterg.* 2005. Vol. 3. P. 80–106.
- Mehrotra, R., Kapoor, B.S., Narayan, B. Defluoridation of drinking water using low cost adsorbent. *Indian J. Environ. Health.* 1999. Vol. 41. P. 53–58.
- Agarwal, M., Singh, K. Heavy metal removal from wastewater using various adsorbents: a review. *J. Water Reuse Desalination.* 2017. Vol. 7. P. 387–419.
- Loganathan, P., Vigneswaran, S., Kandasamy, J. Enhanced removal of nitrate from water using surface modification of adsorbents—a review. *J. Environ. Manage.* 2013. Vol. 131. P. 363–374.
- Chen, Y., Lin, J., Zhu, Z. Removal of nitrate from aqueous solution using carboxypyridinium bromide (CPB) modified zeolite as adsorbent. *J. Hazard. Mater.* 2011. Vol. 186. P. 1972–1978.
- Wanzielwana, R., Gitari, M.W., Ndungu, P. Performance evaluation of surfactant modified kaolin clay in As (III) and As (V) adsorption from groundwater: adsorption isotherms, isotherms and thermodynamics. *Heliyon.* 2019. Vol. 5. e02756.
- Kimbee, K., Kaewsichan, L. Enhancement of adsorption efficiency of heavy metal Cu (II) and Zn (II) onto cationic surfactant modified bentonite. *J. Environ. Chem. Eng.* 2018. Vol. 6. P. 2821–2828.
- Alamir, M., Nazar, M.F., Zafar, M.N. Removal of amaranth dye over surfactant modified dull pink clay from aqueous medium. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 2020. Vol. 21. P. 1–18.
- Alvarez-Castaneda, M.E., Medina, D.I. Use of surfactant-modified zeolites and clays for the removal of heavy metals from water. *Water.* 2017. Vol. 9. P. 235.
- Tamjidi, Bahareh Kamyab Moghadas, Hossein Esmaeili, Farideh Shakerian Gholamhossein Gholami, Mansoure Ghasemi. Improving the surface properties of adsorbents by surfactants and their role in the removal of toxic metals from wastewater: A review study. *Process Safety and Environmental Protection.* 2021. Vol. 148. P. 775–795.


 ИКОВА

**Ірина Кочмар**

irynalevytska1@gmail.com, +380967428341  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна  
ORCID: 0000-0003-1461-089X

**д.т.н., доцент Василь Карабин**

vasyl.karabyn@gmail.com, +380975166929  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна  
ORCID: 0000-0002-8337-5355

## ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ГОРІННЯ ВУГІЛЬНИХ ТЕРИКОНІВ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ МЕТОДИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ВУГЛЕВИДОБУТКУ

*ECOLOGICAL DANGER OF COAL HEAPS BURNING AND PROSPECTIVE METHODS  
OF COAL MINING WASTE USE*

### Анотація

Причновидобувна промисловість характеризується нагромадженням значних обсягів пустої відвальної породи, яка складається в терикони. На території Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну, який охоплює площу близько 10 000 км<sup>2</sup>, за період його промислової розробки накопичилась значна кількість відвальної породи, що чинить антропогенний тиск на навколишнє середовище. Значну небезпеку для прилеглих територій та населення вуглевидобувних районів представляють пожежі, що виникають на териконах вугільних шахт та збагачувальних фабрик. Одним із шляхів подолання цієї проблеми є використання відходів вуглевидобутку в якості вторинної сировини.

**Ключові слова:** техногенні відходи, екологічна безпека, горіння териконів, переробка відходів.

### Abstract

The mining industry is characterized by the accumulation of significant volumes of stockpile bulk materials, which is stored in heaps. On the territory of the Lviv-Volyn coal basin, which covers an area of about 10,000 km<sup>2</sup> during the period of its industrial development, significant amounts of stockpile bulk materials have been accumulated, which provides the anthropogenic pressure on the environment. Fires occurring in the heaps of coal mines and concentrating mills are of a significant danger to the surrounding areas as well as to the coal mining areas population. One way to overcome this problem is to use coal waste as a secondary raw material.

**Keywords:** technogenic waste, ecological safety, burning of heaps, waste processing.

## 1. Вплив вуглевидобутку на стан навколишнього середовища

Інтенсивний розвиток гірничодобувної промисловості та розробка вугільних родовищ упродовж минулого століття призвели до значних змін природних ландшафтів. Підземний метод видобутку кам'яного вугілля супроводжується накопиченням значних об'ємів пустих порід, котрі є промисловими відходами та в подальшому складаються у відвали. Утворення та нагромадження гірничих мас відбувається не лише внаслідок вуглевидобутку, але й у результаті роботи вуглезбагачувальних фабрик, де утворюються значна кількість твердих та рідких відходів. Кожна тисяча тонн підземного видобутку супроводжується нагромадженням на поверхні 110–150 м<sup>3</sup> порід, тисяча тонн збагачення вугілля – складуванням 100–120 м<sup>3</sup> порід [1]. Найвищим териконом в Європі вважають гору Шарлотта, розташовану біля польського міста Рідутлови, заввишки 135 м, площею 38 га та об'ємом 13,3 млн м<sup>3</sup>.

Слід зауважити, що негативний вплив вуглевидобутку на природне середовище включає в себе:

- збільшення крутизни схилів рельєфу, сприяє техногенному розвитку ерозії і зсувів та деградацію ґрунту в безпосередній близькості до осередків видобутку вугілля, відкачки шахтних вод та відсипання породи у відвали [2];
- активізацію негативних фізико-географічних явищ, геологічних змін, що впливають на розвиток шахтарських міст і селищ та ведення сільськогосподарських робіт [3];
- несприятливі зміни хімічного складу підземних та поверхневих вод, викликані реакціями різних сполук у процесі вивітрювання – наприклад, розкладання піриту та утворення сульфатів [4];
- водну ерозію з породних відвалів, під час якої в середньому змивається до 400 м<sup>3</sup>/га в рік породи, при цьому з південного схилу змив у 2 – 3 рази більше [5];
- дефляцію породних відвалів, що чинить негативний вплив на навколишнє середовище, відомо, що вплив вітру на породні відвали Луганщини призводить до потенційного виносу до 157 т/рік породи з гектара поверхні відвалу [6];
- порушення стійкості порід у поєднанні з дощами може спричинити зсуви, наприклад, 21 жовтня 1966 року трапилася Аберфанська катастрофа (Вельс, Сполучене Королівство), де внаслідок зсуву вугільного терикону, загинуло 116 дітей і 28 дорослих.

Розміри зон впливу породних відвалів у кілька разів перевищують їх площі, а особливо під час самозаймання та горіння. Гостро стоїть проблема впливу вуглевидобутку на стан навколишнього природного середовища, адже вони зосереджені практично на усіх континентах (рис.1).

Відділення  
тедіаль  
новлен  
основн  
го підп  
можли  
займан  
нальне  
повтор  
організ  
ми буд  
пленню  
виробн

У відхід  
понент  
у шахт  
ту. Це  
окисне  
дить до  
вих ум

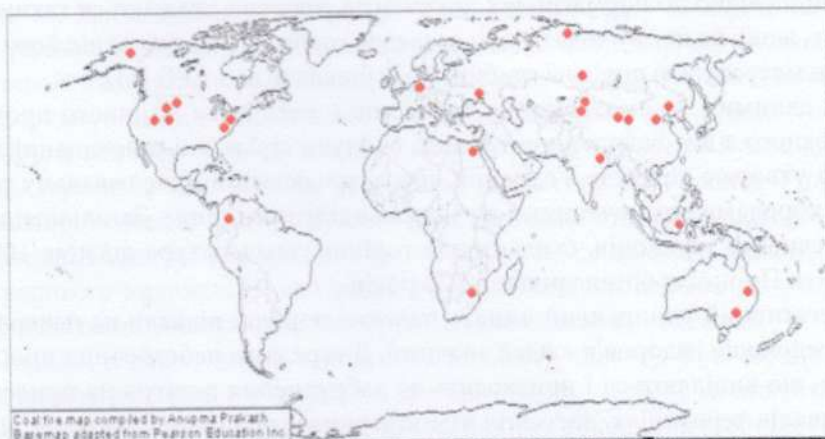


Рис. 1 – Найбільші вугільні гірничо-промислові райони [7]

Відповідно для забезпечення екологічної рівноваги та безпечної життєдіяльності в гірничо-промислових районах на законодавчому рівні встановлено низку екологічних вимог у сфері проведення гірничих робіт, до основних із них відносять: 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; раціональне використання мінеральних відходів порідних відвалів (сховищ) для повторної переробки на основі широкого застосування новітніх технологій; організацію санітарно-захисної зони між гірничим підприємством і жилими будівлями відповідно до законодавства; запобігання осіданню, підтопленню, заболочуванню, засоленню, висушенню та забрудненню відходами виробництва поверхні землі та ін [8].

## 2. Екологічна небезпека горіння відвальної породи

### 2.1. Закономірності та передумови самозаймання та горіння териконів

У відхідних відвальних породах спостерігається значний вміст горючих компонентів, переважно вуглецю та піриту. Вміст основних горючих компонентів у шахтних відходах може досягати до 30% вуглецевої речовини і до 8% піриту. Це компоненти, які при контакті з киснем зазнають природного процесу окиснення, що супроводжується виділенням тепла, що в подальшому призводить до саморозігріву, а потім і самозаймання вугільних відходів за сприятливих умов [9]. Пожежі, що виникають у цей спосіб називаються ендегенними

[10]. Відповідно до нормативних документів, терикон вважається таким, що горить, якщо на ньому хоча б один осередок горіння (незалежно від його площі) з температурою порід на глибині 2,5 м більшою за  $+80^{\circ}\text{C}$  [11].

За даними [1] самозаймання териконів є наслідком хімічного процесу, пов'язаного з високою концентрацією сполуки сірки, які в поєднанні з вологою утворює сірчисте з'єднання, що вступають в окислювальну реакцію з породами і включеннями вугілля з виділенням тепла. Загальновідомо, що в глибині териконів, схильних до горіння, температура досягає  $1000^{\circ}\text{C}$  і більше. Процес горіння триває до 20 років.

Негативний вплив, який чинять палаючі породні відвали на навколишнє середовище і здоров'я людей значний. Джерелами небезпечних процесів є гази, що виділяються і призводять до забруднення повітря на прилеглих до відвалів територіях, знесення атмосферними опадами з поверхні відвалів продуктів руйнування новоутворених мінералів, що призводять до забруднення ґрунтів і вод, великі деформації, викиди порід і пилу та ін. Тому виникає необхідність повністю виключити небезпечні явища, пов'язані з горінням відвалів [12].

Значну небезпеку для мешканців вугледобувних районів представляє горіння городних відвалів, наприклад, згорання 1 т вугілля призводить до емісії 1,17 т вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), 0,17 т метану ( $\text{CH}_4$ ). Також унаслідок цього процесу в атмосферу можуть надходити оксиди сульфуру і карбону, водень, хлор, амоній, сірководень, метан, етан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), етилен ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), пропілен ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ), ацитилен ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), формальдегід ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), мурашина кислота ( $\text{CH}_2\text{O}_2$ ), оцтова кислота ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ), гліюксаль ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$ ), ізопропиловий спирт ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ ), бензол ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), толуол ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ), етил-бензол ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ ), ртуть. Значна частина з цих сполук є токсичними, окремі з них канцерогенними [13]. Встановлено [14], що при горінні породного відвалу в середньому на добу в атмосферу потрапляє 9,758 т  $\text{CO}$ , 154,170 т  $\text{CO}_2$ ; 1,476 т  $\text{SO}_2$ ; 0,399 т  $\text{H}_2\text{S}$  і 0,072 т  $\text{NO} + \text{NO}_2$ , також при згорянні 1 кг породи забруднюється до небезпечної межі від 6,7 до 8,7 млн.  $\text{m}^3$  повітря [11], а гази що виділяються з глибини відвалів містять в своєму складі небезпечні для здоров'я елементи і з'єднання. Гарячі діючі породні відвали також становлять велику небезпеку для обслуговуючого персоналу. На таких відвалах можуть втраплятися випадки загибелі людей в результаті отруєння газами або попадання в осередки горіння з температурою близько  $800\text{-}1000^{\circ}\text{C}$ .

Навіть сплячі на вигляд терикони сильно забруднюють прилеглі території газами, димом і пилом. До того ж нерідко відбувається внутрішнє тління. Воно викликає утворення пустот, які можуть призвести до сходу зсувів. Горіння порід відвалів викликає також обвалення, осипи, тріщини внаслідок нерівномірного нагрівання тощо. Трапляються вибухи териконів, в результаті яких викиди десятків і сотень тисяч тонн розпеченої породи призводять до численних людських жертв. Такі події, наприклад, відбулися в 1962 році – вибух терикону

шахти ім. І. Му з териконової причини являється кіркою і шламу, а в середині терикону ендегенного вулканічного посереднього в підземні в

Породні банізовані 25% порівняно горінні породи конденсації киди забруднює 5 – 10% і кіл

Найбільше утворюючі нарощування будова забезпечують чергою сприяти так, що в лу. Основні часного складу самозайман

Щільність шини терикону на найбільш є проникно [11]. У міру породного в ще. Експериментування в укусі на гли перебігу про

Матеріалі гряді чистоті та піриту. Висів до велик антрацит, го найбільш сх

шахти ім. Ілліча колишнього тресту «Кадіїввугілля», та у 1966 році на одному з териконів шахти № 5-6 імені Димитрова сталася техногенна катастрофа, причиною якої стала сильна злива, внаслідок якої поверхня терикону покрилася кіркою, згодом з верхньої частини відвалу зірвався вниз масив з породи і шламу, а з кратера стався викид розжареного газу і попелу. Буває, що всередині териконів запускається процес так званого сухого горіння. У процесі ендогенного тління/горіння з рукотворних гір виділяються гази, що нагадують вулканічні. Пари, які виходять із відвалу, розносяться далеко за межі його безпосереднього впливу. Під час дощів отруйні домішки нерідко потрапляють в підземні води, поширюючись по ґрунтах і довколишніх водоймах.

Породні відвали також впливають на зміну клімату. Відомо, що в урбанізованому регіоні рух горизонтальних повітряних мас зменшується на 25% порівняно з прилеглою територією. Викиди токсичних газів і пилу при горінні породних відвалів певний час знаходяться в атмосфері, сприяючи конденсації водяної пари з утворенням хмар і туманів. Встановлено, що викиди забруднюючих речовин призводять до збільшення кількості опадів на 5 – 10% і кількості туманів у 2 – 5 разів [6].

Найбільш схильними до самозаймання є конічні відвали, котрі найчастіше утворюються при відкатці породи рейковим транспортом з поступовим нарощуванням колії, їх висота коливається від 20 до 110 ... 120 м [1]. Їхня будова забезпечує найбільший приток повітря в середину відвалу, що своєю чергою сприяє окисненню пальної частини породи, тому їх слід розташовувати так, щоб переважаючі вітри були спрямовані у хвостову частину відвалу. Основним недоліком конічних відвалів є відсутність можливості одночасного складування породи і виконання профілактичних заходів проти її самозаймання.

Щільність породи терикону знижується від вершини до підніжжя. Вершині терикону, яка представлена породою із дрібних фракцій, притаманна найбільша щільність. Для деяких териконів нижня 1/3 частина відвалу є проникною для повітря. Решта ділянок слабо проникні або непроникні [11]. У міру наближення до поверхні відвалу температура самонагрівання породного відвалу знижується через тепловіддачу в навколишнє середовище. Експериментально встановлено [14], що найбільш сприятливі умови для утворення вогнищ горіння створюються на плоских породах 1-3 м від краю укосу на глибині 1,8-2,5 м. Сюди надходить достатня кількість кисню для перебігу процесу при мінімальній тепловіддачі у довкілля.

Матеріали, що піддаються горінню, представлені у відвальній масі у вигляді чистого вугілля, вуглистих сланців, аргілітів, зростків вугілля з породою та піриту. Вміст вугілля в породних відвалах збільшується від дрібних класів до великих. У природних умовах самозаймається буре і кам'яне вугілля, антрацит, горючі сланці, сірчисті руди, торф. В умовах Донбасу, наприклад, найбільш схильні до самозаймання породи, які є відходами вуглезбагачення.

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 [11].

У роботі [15] визначено основні стадії процесу переходу самонагрівання гірських порід в їх загоряння:

1. Самонагрівання вологої гірської породи внаслідок біохімічного та хімічного окисного вилуговування піриту, що завершується утворенням в порушеному масиві або скупченні її хімічного реактора;
2. Розігрівання хімічним реактором поверхневого шару гірської породи і збагачення його елементною сіркою;
3. Самозаймання парів сірки на повітрі біля нагрітої до температури 248 – 261 °С поверхні гірської породи і загоряння тут метано-повітряної суміші;
4. Термічна деструкція вуглецевої речовини і мінеральних компонентів гірської породи, яка супроводжується виділенням горючих речовин;
5. Виникнення стійкого горіння продуктів термічної деструкції та газифікації гірської порід.

Для запобігання самозайманню породи у відвалі проводиться ізоляція відкосів відвалу ізолюючим матеріалом. Товщина ізолюючого матеріалу для відкосів становить 0,8 м. По контуру породного відвалу доцільно відсипати через кожен метр висоти шар ізолюючого матеріалу завширшки 3 м та висотою 0,25-1,0 м. Ущільнення ізолюючого матеріалу здійснюється одночасно із ущільненням породи.

З метою виявлення можливих осередків горіння та своєчасне вживання запобіжних заходів щодо самонагрівання породи необхідно контролювати тепловий стан відвалів. Вимірювання температури породи необхідно здійснювати 3 рази на рік (травень, липень, вересень). Точки замірів температури розташовуються на горизонтальній частині відвалу у вершинах умовно 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 [11].

## 2.2. Вплив самозаймання порід відвалу на стан атмосферного повітря (на прикладі ЦЗФ компанії «Львіввугілля»)

Горіння породних відвалів вугільних шахт та вуглезбагачувальних фабрик є всесвітньою проблемою, яка характерна і для України, де вуглевидобуток зосереджено в трьох басейнах: Донецькому, Львівсько-Волинському кам'яновугільних басейнах та Дніпровському буровугільному. У Львівсько-Волинському кам'яновугільному басейні (ЛВБ) вугілля видобувають підзем-

ним спосо  
фабриці «  
ЛВБ у геол  
ноградськ  
Найбільш  
вий район  
сті діючих

Збагачу  
ській обла  
гачує вугі  
сейні (ЛВБ  
10 млн. т у  
чика збага  
введений н  
основи – 6  
рід 30 млн





ним способом у шахтах та збагачують його на центральній збагачувальній фабриці «Червоноградська» ПАТ «Львівська вугільна компанія» (рис. 2.). ЛВБ у геолого-промисловому плані поділяють на Нововолинський, Червоноградський гірничо-промислові та Південнозахідний вугленосний райони. Найбільш екологічно небезпечним є Червоноградський гірничо-промисловий район (ЧГПР) з огляду на розміщення у його межах найбільшої кількості діючих шахт басейну та збагачувальної фабрики «Червоноградська».

Збагачувальна фабрика «Червоноградська» (ЗФЧ) знаходиться у Львівській області заходу України в 60 км на північ від м. Львів. Фабрика збагачує вугілля, видобуте у Львівсько-Волинському кам'яновугільному басейні (ЛВБ). Збагачувальна фабрика «Червоноградська» потужністю майже 10 млн. т у рік є однією з найбільших у Європі. Площа промислового майданчика збагачувальної фабрики складає 36,0 га. Відвал породи площею 73,7 га, введений в дію у 1979 р. Висота центральної частини відвалу – 60 м, площа основи – 650 тис.м<sup>2</sup>, периметр по підшві – 3300 м, об'єм заскладованих порід 30 млн м<sup>3</sup>, ухили схилів – 31°.

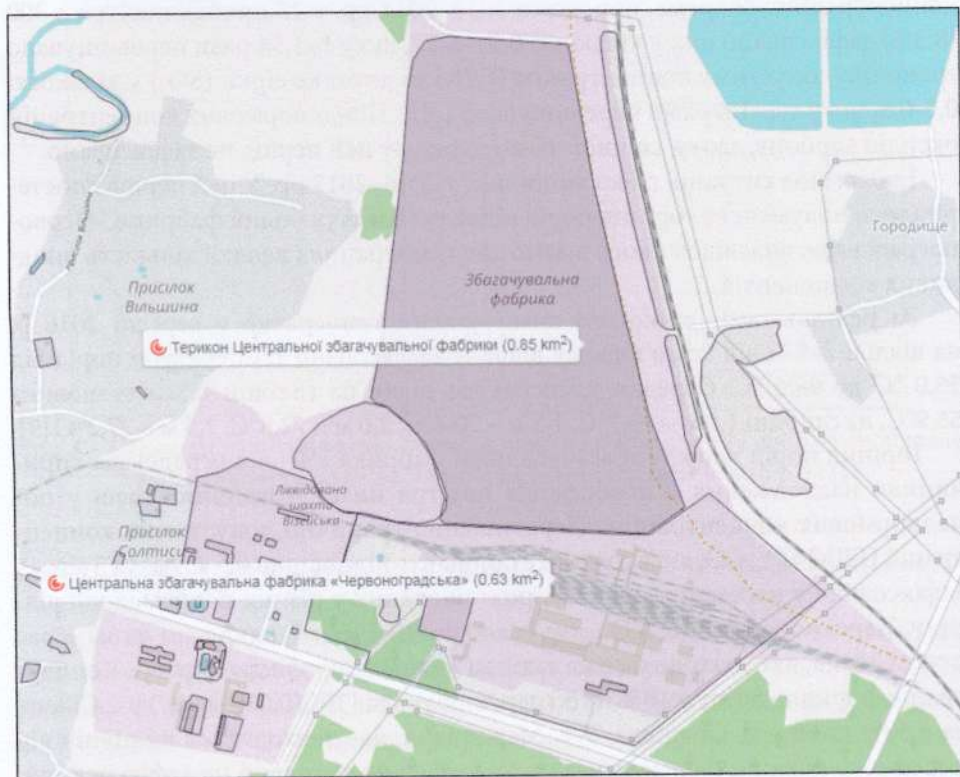


Рис. 2 – Центральна збагачувальна фабрика «Червоноградська» [16]

Відходи вуглезбагачення представляють собою суміш аргіліту (54–97 %), алевроліту (17–28), пісковиків (2,0–20,7) та мергелю з включенням дрібного вугілля (до 17 %). У складі відходів є пірит, а характерною ознакою є висока сірчистість порід, яка мінералогічно зумовлена підвищеним вмістом піриту й марказиту.

Високий рівень техногенного навантаження Сокальського району суттєво впливає на хімічний склад атмосферного повітря. У межах Сокальського району породні відвали займають площу 290 га з кількістю породи 90 млн тон. З 1 м<sup>2</sup> терикону, що горить у Сокальському районі, в атмосферу в середньому за добу потрапляє 10,7 кг окису вуглецю, 6,3 кг сірчистого газу, по 0,6 кг сірководню і оксидів азоту. Небезпечними забруднювачами атмосферного повітря району є викиди сполук сірки, внаслідок чого спостерігається випадання кислотних дощів [17].

Породи відвалів шахт, а особливо збагачувальної фабрики, характеризуються підвищеними температурними режимами. Внаслідок самозаймання порід териконів вугільних шахт в атмосферному повітрі навколишніх населених пунктів інколи надходять забруднюючі речовини у понаднормових концентраціях. Зокрема, впродовж 2013–2014 рр. у 25 пробах повітря з 300 (8,3%) зафіксовано пил у кількості 0,51–0,77, що у 1–1,54 рази перевищувало гранично допустиму концентрацію (ГДК) та двоокис сірки (SO<sub>2</sub>) у кількості 0,6–0,8, що у 1,2–1,6 разів перевищувало ГДК. Понаднормових концентрацій оксидів карбону, азоту, сірчистого ангідриду у цей період не зафіксовано.

Екологічна ситуація різко змінилась у 2016–2017 рр. У цей період спостерігалось полумєневе горіння порід відвалу збагачувальної фабрики «Червоноградська», внаслідок якого в атмосферу потрапила велика кількість шкідливих компонентів.

За результатами точкового вимірювання температур у вересні 2016 р. на відділі 7–8 м від краю відкосу відвалу зафіксовано температури порід від 35,0 °С до 98,6 °С. Середня температура порід на глибині 0,5 м становила 55,9°С, на глибині 1,0 м – 65,7°С, 1,5 м – 70,4°С, 2,0 м – 72,8°С, 2,5 м – 77,2°С [9].

Горіння порід відвалу збагачувальної фабрика «Червоноградська» спричинило надходження в атмосферне повітря низки токсичних газів у понаднормових концентраціях. Перевищення гранично-допустимих концентрацій (ГДК) SO<sub>2</sub>, CO, які в Україні становлять відповідно 0,5 мг/м<sup>3</sup> та 5 мг/м<sup>3</sup>, зафіксовано у населених пунктах, розташованих у різних напрямках від відвалу. Перевищення ГДК NO<sub>2</sub>, яке становить 0,2 мг/м<sup>3</sup>, виявлено лише 1 раз у селі Сілець, яке знаходиться на захід за 1 км від породного відвалу. Концентрація формальдегіду у 40 % проб перевищувала ГДК (0,035 мг/м<sup>3</sup>) у с. Сілець та у 50% проб у м. Соснівка. У с. Межиріччя, яке знаходиться на північ від породного відвалу, формальдегід в атмосферному повітрі не зафіксований, а у с. Городище його концентрацію не визначали (рис. 3). Слід зазначити, що кількість пилу впродовж 2016 р. в атмосферному повітрі населених пунктів

Рис. 3 -

району  
– 0,5 м  
Узи  
весни з  
глибин  
86,7°С,  
но впли  
ція СО  
населен

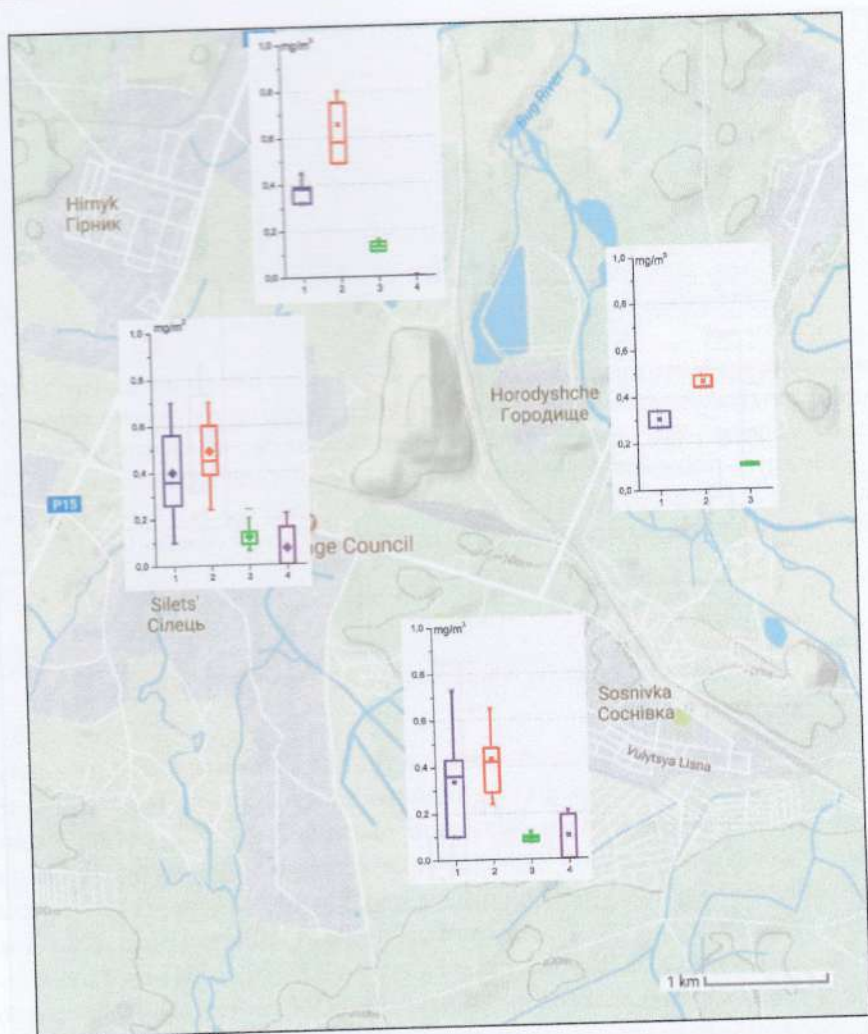


Рис. 3 – Схема забруднення атмосферного повітря у зоні впливу породного відвалу вуглезбагачувальної фабрики «Червоноградська» у 2016 р. [13]

району досліджень не перевищувала  $0,27 \text{ mg/m}^3$ , що є значно нижчим за ГДК –  $0,5 \text{ mg/m}^3$ .

Узимку 2016–2017 рр. інтенсивність горіння зменшилася, але з приходом весни знову збільшилася. У червні 2017 р. температура порід терикону на глибині 0,5 м становила  $57,3^\circ\text{C}$ , на глибині 1,0 м –  $69,7^\circ\text{C}$ , 1,5 м –  $80,8^\circ\text{C}$ , 2,0 м –  $86,7^\circ\text{C}$ , 2,5 м –  $92,7^\circ\text{C}$  [9]. Інтенсифікація горіння порід терикону неоднозначно вплинула на зміну складу атмосферного повітря. Збільшилась концентрація  $\text{CO}$  у с. Городище,  $\text{SO}_2$  – у населених пунктах Сілець і Городище. В інших населених пунктах – м. Соснівка, с. Межириччя концентрація оксиду азоту

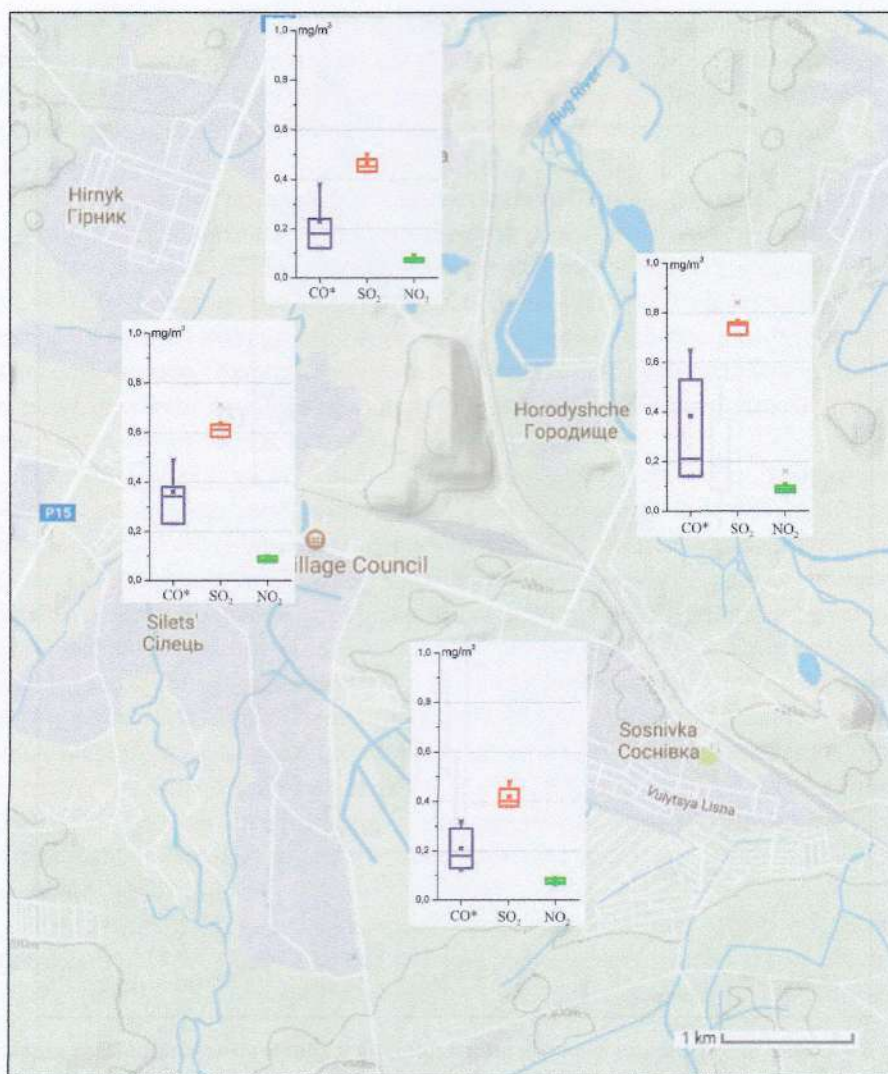


Рис. 4 – Схема забруднення атмосферного повітря у зоні впливу родового відвалу вуглезбагачувальної фабрики «Червоноградська» у 2017 р. [13]

та діоксиду сірки зменшилася. Так само зменшилася концентрація діоксиду азоту у всіх населених пунктах (рис. 4). Кількість пилу не перевищувала  $0,27 \text{ мг/м}^3$ .

Результати, представлені на рис. 5, вказують на закономірну зміну концентрацій оксиду карбону у західному на південному напрямках від родового відвалу (с. Сілець і м. Соснівка).

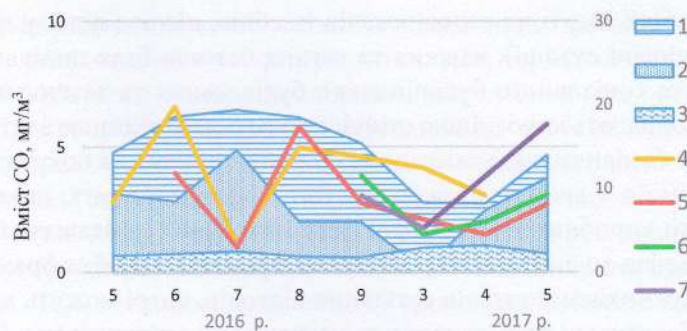


Рис. 5 – Динаміка зміни концентрацій оксиду карбону в атмосферному повітрі населених пунктів у зоні впливу породного відвалу вуглезбагачувальної фабрики «Червоноградська»: 1 – середньомісячна температура, °С, 2 – місячна сума атмосферних опадів п 0,1 мм, 3 – середньомісячна швидкість вітру, м/с, 4 – с. Сілець, 5 – м. Соснівка, 6 – с. Межиріччя, 7 – с. Городище, права вісь для областей (1–3), ліва вісь для графіків вмісту CO<sub>2</sub> у атмосферному повітря населених пунктів (4–7) [13]

### 3. Перспективні методи використання відходів вуглевидобутку

Зменшення техногенного впливу та навантаження вуглевидобувними підприємствами на довкілля – це основне питання, котре постає у вуглевидобувних регіонах, у т.ч. Львівсько-Волинському кам'яновугільному басейні. Впровадженням у промислове виробництво нових видів та обсягів мінеральних ресурсів таких як відходи вуглевидобутку на порозі еколого-ресурсної кризи є актуальним та перспективним.

За даними [18] у Польщі лише 2,2% відходів після гірничих виробок використовуються не для цілей постійного зберігання, наприклад, для виробництва заповнювачів для будівельної промисловості. Через їх фізико-хімічні властивості інтерес до їх використання мінімальний, а гірничі відходи, видобуті разом з вугіллям, зберігаються у вигляді відвалів або осадів.

Рекультивация поверхні териконів та їх утилізації як техногенних родовищ – шлях до відновлення порушених та девастрованих ландшафтів. Доцільність видобування певних корисних копалин із терикону має визначатися з огляду на економічну оцінку вугільного терикону як техногенного родовища. Як свідчить світовий та вітчизняний досвід, відходи вуглевидобутку використовують як джерела додаткової сировини в будівництві, металургії, хімічній та лакофарбовій промисловості, при виробництві кераміки.

Відходи видобутку вугілля можуть використовуватися як сировина для: виробництва будівельних матеріалів (для виготовлення цегли і черепиці, вогнетривких виробів, скла, штукатурно-кладкових розчинів, цементу та

інших виробів); інертних заповнювачів (щебінь, пісок з відсіву дроблення, щебенево-піщані суміші); важких та легких бетонів (для цивільного, промислового та соціального будівництва); будівельних та тампонажних розчинів, що володіють корозійною стійкістю і гідроізоляційною здатністю; для дорожнього будівництва, а саме: для створення підстав та покриттів, у тому числі покриттів з дрібно- і грубознистого асфальтобетону; використання для загладки виробничих просторів шахт і кар'єрів та облаштування порушених рельєфів місцевості; виробництво брикетів з дрібнофракційних та тонкодисперсних компонентів вугільних відходів, котрі можуть використовувати ТЕС, котельні промислових та комунальних підприємств [19].

Використання териконів як техногенного родовища визначається передусім корисними властивостями відвальних порід, які зумовлені масою цінного хімічного елементу у породі [20]. Породна маса відвалів шахт містить до 46 % вугілля, до 15 % глиноземів та до 20 % оксидів кремнію і заліза. Вміст рідкоземельних елементів в тонні породи сягає таких показників: германій – 55 г, скандій – 20 г, галій – 100 г. Загальна кількість рідкоземельних елементів у відвалах становить близько 230–260 г/т [21].

Перспективним є такі напрями розробки породних відвалів: виробництво бокситів і алюмінієвих сплавів, відділення магнітних залізовмісних сполук з відвалів порід, виділення германію тощо. Сьогодні існує технічна можливість виділення бокситів з негорілих відвалів з одночасним підвищенням їх концентрації з 14,9 до 40–50% [22].

Нині у світі в основному використовують горілі відвальні породи з вмістом вугільних домішок менше ніж 5% і мінеральної глинисто-піщаної частини, більше чи менше обпаленої. Такі породи придатні для виготовлення керамзиту, насипних ґрунтів і цегли. Відвальні породи також використовують для виробництва плити, перекриття, стінових панелей, ліфтових шахт тощо. Використання відходів вуглевидобувної промисловості зменшує собівартість виробництва на 15-20%.

Проблему шахтних териконів можна вирішити шляхом використання їх як нетрадиційних джерел теплової та електричної енергії. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми є газифікація відвалів. Вугільний терикон, як природний реактор, має необхідні умови для цього процесу: вміст органічного вуглецю і сірки складає 15–30%, достатність вологи – 4–16%, об'ємна повітропроникність і теплопровідність порід [23].

Актуальною є розробка нових технологій, що стосується екологічно-безпечного та економічно ефективного використання породних відвалів та використання альтернативних джерел енергії [24, 25]. Способом такого використання є розташування на породних відвалах автономних вітроустановок. В умовах вуглевидобувних районів України є усі передумови для ефективного розташування вітроенергетичних установок та використання енергії вітру [26].

На  
довкл  
ня ная  
саджен  
повної  
утиліза  
основн  
Однієк  
для ро  
лин, ча  
пання  
Усі  
роди ву  
ваного  
ходжен  
елемент

1. Гим  
нал  
URI  
нен
2. Khe  
opti  
Web
3. Кар  
Чер  
їни.
4. Star  
char  
i lok  
Wsc
5. Сми  
нов  
232
6. Терр
7. Glen  
persp
8. Гірн  
(дата
9. Karal  
wash

Найбільш розповсюдженим способом зменшення впливу териконів на довкілля є рекультивация чи фіторекультивация териконів – це зменшення наявної небезпеки териконів шляхом створення на них рослинних насаджень. Це своєрідна консервація териконів до настання можливості їх повної утилізації. Рекультивация териконів – менш витратний спосіб, ніж утилізация. Сьогодні розроблено і розробляються способи рекультивации, основною метою яких є зниження витрат і поліпшення рослинного покриву. Однією з основних проблем рекультивации є токсичність породи териконів для рослин. Щоб зменшити токсичність і підвищити приживлюваність рослин, часто пропонують переформування конічних териконів в плоскі і насипання шарів ґрунтів [27].

Усі перелічені вище методи поводження та використання відвальної породи вуглевидобутку характеризують можливості застосування запропонованого підходу: відходи вугільних підприємств – сировина техногенного походження для подальшої переробки в корисну продукцію, видобутку цінних елементів та енергії.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Гимли Ю.А. Использование энергии горящих терриконов. Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы» № 11, ноябрь 2005. URL: <http://masters.donntu.org/2014/igg/ulshina/library/article4.htm> (дата звернення: 19.10.2021).
2. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Fomychova, L. (2020). Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. E3S Web Of Conferences, 201, 01030.
3. Карабин В. В. Чинники просідання та підтоплення територій вуглевидобутку Червоноградського гірничо-промислового району // Мінеральні ресурси України. 2018. № 3. С. 32–36.
4. Starodub G., Karabyn V., Ursulyak P., Pyroszok S. Assessment of anthropogenic changes natural hydrochemical pool Western Bug River // Studia regionalne i lokalne Polski Południowo-Wschodniej. Tom XI. Drogi wodne Europy Środkowo-Wschodniej. Dzierdziozka – Krakow 2013. S. 79-90.
5. Смирный, М. Ф., Зубова Л. Г., Зубов О. Р. Экологическая безопасность терриконовых ландшафтов Донбасса : монография. Луганск: Изд. ВНУ им. Даля, 2006. 232 с.
6. Терриконы: монография / Л. Г. Зубова та ін. Изд-во «Ноулидж», 2015. 712 с.
7. Glenn B. Stracher, Anupma Prakash, Ellina V. Sokol. Coal and peat fires: a global perspective. Volume 1: Coal – Geology and Combustion. Elsevier Science. 2010. 380 p.
8. Гірничий закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1127-14#Text> (дата звернення: 01.11.2021).
9. Karabyn V., Shtain B., Popovych V. Thermal regimes of spontaneous firing coal washing waste sites. News of the National Academy of Sciences of the Republic of

- Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences. 2018. Volume 3, No 429. Pp. 64–74.
10. Drenda J., Róžański Z., Słota K., Wrona P. Zagrożenie pożarowe na zwalowiskach odpadów powęglowych. *Górnictwo i Geoinżynieria*. Rok 31. Zeszyt 3/1. 2007. s. 149–157.
  11. Попович В. В., Піндер В. Ф. Горіння териконів як ландшафтно-трансформуючий чинник зростання регіональної екологічної небезпеки. Збірник наукових праць. Пожежна безпека № 29, 2016. С. 116–124.
  12. Панов Б. С., Проскурня Ю. А. Модель самовозгорання породних отвалов угольних шахт Донбасса. «Геология угольных месторождений» (Межвузовский научный тематический сборник). Екатеринбург. 2002. С. 274–281. URL: <http://masters.donntu.org/2008/ggeo/solovyova/library/2.html> (дата звернення: 01.11.2021).
  13. Карабин В. В. Анализ распространения газообразных продуктов горения пород отвалов обогатительной фабрики Львовско-Волынского угольного бассейна. Вестник Кокшетауского технического института КЧС МВД Республики Казахстан. 2019. № 1 (33). С. 48–56.
  14. Саранчук В. И. Борьба с горением породных отвалов. Киев.: Наукова думка, 1978. 162 с.
  15. Зборщик М. П. Горение пород угольных месторождений и их тушение. Донецк : ДонГТУ, 2000. 180 с.
  16. Центральна збагачувана фабрика «Червоноградська» URL: <https://mistaua.com/%D0%BC%D0%B0%D0%BF%D0%B0/?setcity=1096#l=4,0&c=50.30334834255992,24.207558631896976,50.322806178860425,24.24540996551514> (дата звернення: 02.11.2021).
  17. Міщенко О., Папаевич Н. Антропогенна деструкція ландшафтів Сокальського району Львівської області. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Географія*. Тернопіль : [Тайп], 2016. Вип. 1 (40). – С. 200–207.
  18. Hałdy górnicze – ukryć trudno, a i pozbyć się niełatwo: URL: <https://www.nik.gov.pl/aktualnosci/haldy-gornicze-ukryc-trudno-a-i-pozbyc-sie-nielatwo.html> (дата звернення: 02.11.2021).
  19. Кочмар І. М., Карабин В. В. Сучасні методи використання та поводження з відходами вуглевидобутку. Матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів «Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку», м. Ірпінь, 7–15 листопада 2016 р. Ірпінь: УДФСУ, 2016. С. 127–128.
  20. Волотковська Ю. О. Економічна оцінка вугільних териконів як техногенних родовищ : авторефер. дис ... канд. екон. наук : спец. 08.00.06 «Економіка природокористування та охорони навколишнього середовища». М-во освіти і науки України, Держ. вищий навч. заклад «Нац. гірн. ут-т». Дніпро, 2016. 21 с.
  21. Богач К. С. Визначення засад еколого-економічної політики поводження з відвалами гірської породи вугільних шахт. Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту. – Випуск 2 (15). 2013. С. 101–110.



22. Ярема Я. Р., Свинороев Ю. С. Потенціал використання відходів як сировини для створення нової продукції. Управління проектами та розвиток виробництва. 2011. № 3. С. 83–88.
23. Традиційні та нетрадиційні системи енергозабезпечення урбанізованих і промислових територій України: моногр. / Г. Г. Півняк та ін.; за ред. Г. Г. Півняка. Д.: Національний гірничий університет, 2013. 333 с.
24. Hrinov, V. & Khorolskyi, A. (2018). Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. In E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering. (Vol. 60. p. 00017). EDP Sciences
25. Хорольський, А. О., Грінюв, В. Г., Мамайкін, О. Р. (2019). Інноваційні перспективи підземної експлуатації вугільних родовищ. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки, №1 (83), 289–298.
26. Макеєва Д. О. Екологічна небезпека породних відвалів та шляхи вирішення проблеми. *Проблеми екології*. 2013. № 1(31). С. 43–48.
27. Бутюгин А. В., Узденников Н. Б., Гнеденко М. В., Зубкова Ю. Н. Способы рекультивации терриконов. *Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону*. 2010. № 1(10). С. 184–189.

**к.с.-г.н. Тарас Шуплат**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна  
tarasshyplat@ukr.net, +380964690126  
ORCID: 0000-0003-3497-2636

**Андрій Волощишин**

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
Україна  
voloshichin\_25@ukr.net, +380961017150  
ORCID: 0000-0003-3174-9965

---

## ФІТОМЕЛІОРАТИВНІ ПРОЦЕСИ ПРИБЕРЕЖНО-ВОДНОЇ РОСЛИННОСТІ КАР'ЄРУ ЯВОРІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ГІРНИЧО-ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА "СІРКА"

*PHYTOMELIORATIVE PROCESSES OF COASTAL AND WATER VEGETATION OF THE QUARRY  
OF THE YAVORIVSK STATE MINING AND CHEMICAL ENTERPRISE "SIRKA"*

### Анотація

Розкрито негативні для компонентів навколишнього природного середовища екологічні наслідки діяльності Яворівського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка". Проаналізовано етапи фітомеліоративного процесу прибережно-водної рослинності в зоні "Яворівського" озера.

**Ключові слова:** сірчаний кар'єр, відвали, екологічна безпека, фітомеліорація, сукцесія.

### Abstract

The negative consequences of the activity of the Yavoriv State Mining and Chemical Enterprise "Sirka" for the components of the natural environment have been revealed. The stages of phytomeliorative process of coastal-aquatic vegetation in the zone of "Yavorivsky" lake are analyzed.

**Keywords:** sulfur quarry, dumps, environmental safety, phytomelioration, succession.

Визначальним фактором техногенезу для довкілля промислових центрів Західної України впродовж тривалого часу була добування і переробка корисних копалин, що призвела до формування локальних геохімічних аномалій на даних територіях та ряд супутніх екологічних проблем. Девастаційні процеси зумовлюють забруднення природних компонентів навколишнього природного середовища – атмосферного басейну, водного середовища (по-

верхневі і підземні води), ґрунтової товщі, зменшення та видозміну складу рослинних угруповань та тваринних популяцій, масштабну видозміну типового для природних умов ландшафту і втрату його естетичної привабливості (рисунк 1).



Рис. 1 – Класифікація техногенних форм рельєфу підприємств відкритого видобутку копалин [4]

Кар'єри із мокрим вийманням мають притаманні лише їм особливості зарощування, зумовлені специфікою морфології, характером утвореної штучної водойми, способом зняття ґрунту, його фізико-механічним та хімічним складом, клімато-едафічними особливостями регіону розташування [3].

На території Львівської області розташований сірконосний басейн із значними покладами, який в роки своєї експлуатації забезпечував сірчаною сировиною колишню УРСР і незалежну Україну. На його території знаходилось чотири гірничо-хімічні підприємства: Яворівське ДГХП "Сірка", Роздільське ДГХП "Сірка", ДРП "Подорожнянський рудник" та Стебницьке ДГХП "Полімінерал" [1, 10].

У фокусі досліджень були екологічні наслідки діяльності одного із них, а саме, Яворівського ДГХП "Сірка", розташованого на території Яворівського району, який географічно розміщений у північно-західній частині Львівської області та межує на заході із Республікою Польща, на сході із землями м. Львова.

Виробничі фонди даного підприємства розташовувались у центральній частині Яворівського району, поруч із смт. Шкло та ряду прилеглих сіл Старий Яр, Новий Яр, Молошковичі, Воля Старицька, Тарнавиця (рисунк 2)

Ви  
зультата  
і шири  
Перше  
ністю  
тужні  
потуж  
На  
вуван  
ватис  
ДГХП  
ної ру  
Фу  
блем у  
терито  
ведена  
попер  
вали).  
проце  
Моло  
валів  
більш  
22.01.1  
кла ка



Рис. 2 – Розташування ЯДГХП “Сірка” [1]

Видобуток сірки здійснювався екстенсивним відкритим способом, в результаті якого утворився великий кар'єр глибиною 90 м, довжиною 5 км і шириною 2,5 км, який розвивався в північному та південному напрямках. Перша черга Центрального кар'єру Язівського сірчаного родовища потужністю 500 тис. т., була введена в експлуатацію в 1974 році. Друга черга, потужністю біля 500 тис. т. сірки в рік була введена в 1976 році, ну а третя, потужністю 300 тис. т в рік була введена в експлуатацію у 1986 році.

На початку 90-тих років ХХ ст. у світі через нерентабельність застосовуваної технології видобутку і значу собівартість продукції, почали закриватись підприємства подібного профілю. Така ж доля спіткала і Яворівське ДГХП “Сірка”, яке в червні 1993 року повністю припинило видобуток сірчаної руди [1, 8].

Функціонування даного підприємства спричинило ряд екологічних проблем у регіоні. Одними із них була трансформація гідрологічного режиму території, р. Шкло із численними притоками р.Якша та р. Гноєць, була відведена із характерного для неї розташування, були докорінно змінений тип попереднього природного ландшафту (утворився кар'єр і три породні відвали). Суттєву проблему становила інтенсифікація карстово-суфозійних процесів. В зоні небезпеки опинились смт. Шкло та села Підлуби, Бердихів, Молошковичі, Лісновичі і Воля Старицька. Було зафіксовано до 1 тис. провалів найрізноманітнішої глибини і діаметру, які утворювались на автомобільних дорогах, поблизу діючої залізничної лінії, в долинах рік. Наприклад 22.01.1995 р. в с. Воля Старицька на віддалі 2 м від житлового будинку, виникла карстова воронка діаметром до 50 м., глибиною 25 м (рисунок 3)



Рис. 3 – Небезпечне карстове провалля, як наслідок функціонування кар'єру [8]

Функціонування кар'єру спричинило забруднення повітряного басейну регіону та тривалу транскордонну екологічну проблему – забруднення вод р. Шкло, яка є правою притокою р. Сян, яка відноситься до басейну р. Вісли, яка несе свої води у Балтійське море. Проблема виникла через те, що із кар'єру відкачували до 48 млн. т. на рік (130 тис. м<sup>3</sup> вод щодобово) із середньою концентрацією солей 3,6 г/л, в тому числі 1,6 г/л SO<sub>4</sub>. До 50 мг/л сірководню потрапляло в атмосферу, а в річкову мережу надходило 173 тис. т. солей, з них 120 тис. т. CaSO<sub>4</sub>. Сульфати у взаємодії з органічними речовинами утворюють сірководень, який порушує екологічну рівновагу [8, 11].

Комплекс прогресуючих екологічних умов спричинив до розробки у 1997 році інститутом гірничо-хімічної промисловості проекту закриття кар'єру та його альтернативне використання. Було використано європейський досвід закриття таких об'єктів, зокрема Німеччини (буровугільні кар'єри), Республіки Польща (сірчаний кар'єр в Махуві). На місці колишнього кар'єру створити високо продуктивне проточне озеро "Яворівське", з площею водного дзеркала 1200 га і довжиною берегової лінії 10 км яке стане основою майбутнього гідропарку з п'ятьма зонами відпочинку та обслуговуючою інфраструктурою, який слугуватиме для забезпечення водно рекреаційних потреб для мешканців Львівської області та Республіки Польщі (рисунок 4)

Згідно з проектом в основі лежала природна залежність притоку підземних вод від режиму затоплення кар'єрної виїмки прісною водою. Затоплення здійснювалось водами річок Шкло та Гноєць з площею водозабору 235 км<sup>2</sup>. Загальний притік річкових вод становив 37 млн. м<sup>3</sup>/рік. Притік підземних вод у свою чергу скоротився з 35 до 3,6 млн. м<sup>3</sup>/рік. Весною 2007 року була досягнута проектна відмітка затоплення і вода почала витікати в старе русло р. Шкло. На цьому завершився процес затоплення озера "Яворівське" [1, 10].

Ознайом  
є дуже важл  
порушених д  
Під прощ  
на поліпшен  
могою виро  
культур.

В умовах  
до яких нал  
напрями фі  
ж планован  
два напрям

Процес  
первно за б  
свою "житт  
заселяють р  
вими, кліма

Він про  
своєння без  
екогенетич  
тривидовок  
ресурси. П  
ня, характе



Рис. 4 – Картосхема зони рекреації “Яворівського” озера [1]

Ознайомлення із типами ґрунтів та процесами, які перебігають в них є дуже важливим для вивчення процесів заростання колишніх техногенно порушених ділянок, внаслідок комплексу фітомеліоративних процесів.

Під процесом фітомеліорації розуміється комплекс заходів спрямований на поліпшення та створення родючості рекультивованих земель за допомогою вирощування трав'яних, чагарникових та деревних меліоративних культур.

В умовах девастованих ландшафтів, сформованих у процесі техногенезу, до яких належить територія навколо озера “Яворівське”, спостерігались два напрями фітомеліорації – екстенсивна (природна) і інтенсивна (штучна або ж планована). Як показала практика численних польових досліджень, обидва напрями протікають паралельно і не заважають одна одній.

Процес природної фітомеліорації проходить без участі людини, безперервно за будь яких погодних умов. Рослинний покрив поступово займає свою “життєву нішу”, фрагментарно покриваючи різні едафотопи. Простір заселяють різні форми рослинності, які напряму тісно пов'язані із ґрунтовими, кліматичними і гідрологічними умовами.

Він проходить в дві основні сукцесійні стадії: сингенетичну (піонерне засвоєння без видимої конкуренції за простір та ресурси серед рослин) і ендекогенетичну, яка є більш пізнішою у часі і характеризується значною внутривидовою і міжвидовою конкуренцією за життєвий простір та природні ресурси. Причому у перспективі можуть проявитись рослинні угруповування, характерні для даної природно-кліматичної зони [2, 4, 5].

### Сингенетична сукцесія проходить у три основні етапи:

**Перший етап** – триває 5–6 років і завершується утворенням мозаїчного незімкнутого рослинного покриву, який складається із невибагливого еври-топного рослинного покриву, з широкою екологічною амплітудою і високою продуктивною здатністю. Піонерною виступає рудеральна рослинність. Характерні зональні риси зарощування починають проявлятися на 3–4 рік.

**Другий етап** – протікає у віці від 5–6 до 10 років і характеризується створенням складних багатовидових фітоценозів (30-40 видів) з більш чітко вираженим зональним характером флори. Паралельно із цим, зменшується представництво та різноманіття рудеральної однорічної рослинності і зростає рясність багаторічників. Розпочинається формування деревно-чагарникових угруповувань.

**Третій етап** – починається після 10–12 річного віку та характеризується посиленням екологічної диференціації видового складу, яка протікає на фоні жорсткої конкуренції за життєвий простір та природні ресурси. Тут переважають багаторічні види [9].

Сукцесійні процеси на девастованих ділянках є свідченням сили рослинного покриву, як потужного автотрофного блоку новоутворених біоценозів. Піонерні фітоценози акумулюючи в складних едафо-кліматичних умовах сонячну енергію, збагачують девастовані поверхні органічною речовиною у вигляді кореневої системи, надземних органів, що в наслідок роботи редуцентів і детритофагів, циклічно повертається до рослинного покриву. Також мертву органічну продукцію творять гетеротрофні організми, тісно залучені у речовинно-енергетичний потік. Як відомо, порода перетворюється у ґрунт лише тоді, коли в ній акумулюється достатній запас органічної речовини, що разом із впливом абіотичних факторів середовища є рушіями майбутніх сукцесійних процесів.

Інтенсивний спосіб фітомеліорації здійснює людина шляхом планового створення культур, знову ж з врахуванням абіотичних і біотичних факторів середовища, притаманного місцевості [7].

У типових умовах колишніх кар'єрів, як правило практикують використання заходів лісогосподарської чи сільськогосподарської фітомеліорації.

Зважаючи, що територія біля сірчаного кар'єру характеризується численними перепадами висот, різним кутом нахилу берегової лінії до водного дзеркала утвореного штучного озера, тому практикувати сільськогосподарську фітомеліорацію не зовсім доцільно, бо твориться складна ландшафтна структура з характерною мальовничістю і строгістю форм.

Доцільніше проводити лісогосподарську фітомеліорацію, шляхом створення лісових культур. Лісові культури творяться шляхом посадки або ж посіву насіння у підготовлений ґрунт. Створення лісових культур на де-

вастов  
Лісові  
нован  
рощен  
критер  
цевост

У п  
чагарн  
ру вид  
лісови

Рек  
садков  
гарник

Важ  
тації, а  
процес  
менті с  
ще з 20

форму  
Як

товани  
вернен  
рокий  
фітоте

Баг  
довж І  
структ  
ють на  
лишнь

Вид  
лось з  
вченог  
бережн  
ми рос

І п  
ІІ п  
процес

ІІІ  
ІV  
атмосф  
В р  
судинн

вастованих місцях є прикладом активного фітомеліоративного процесу. Лісові культури створюються трьома методами: посівом, посадкою і комбіновано. При садінні використовують саджанці і сіянці деревних порід, вирощені у розсадниках. Підбір чагарників і дерев регулюється за важливим критерієм, а саме, відповідність їх фізіологічних характеристик умовам місцевості, куди вони садяться.

У природі умови місця перебування обумовлюють визначену сукупність чагарників та дерев, відому як тип рослинності. Вони й є основою для підбору видового складу. Виявлені на основі даних про природний видовий склад лісових рослин території, де будуть здійснюватись посадкові роботи.

Рекомендовано, щоб у цих заходах головна порода займала 50-60% посадкових місць. Головна порода із допоміжними висаджується рядами, а чагарники чергуються через одне посадкове місце із допоміжною породою.

Важливе місце у дослідженні фітомеліоративних процесів місць деградації, а саме колишніх кар'єрів, відводиться вивченню фітомеліоративних процесів у прибережній зоні "Яворівського" озера. Акцент на даному сегменті фітомеліоративного процесу у польових дослідженнях здійснюється ще з 2007 року, коли згідно проекту відбулось повне затоплення кар'єру та формувались рослинні біогрупи з приуроченістю до зволжених біотопів.

Як показали багаторічні дослідження природне заростання таких деградованих територій як правило проходить повільно і для повноцінного повернення їх у майбутнє господарське використання необхідно провести широкий спектр рекультиваційних заходів, складовою частиною яких є процес фітомеліорації.

Багато в чому прибережно-водна рослинність, яка формувалася впродовж 15 років відображає стан водойми, основні динамічні взаємозв'язки, структуру утворюваних фітоценозів. Дані показники у свою чергу впливають на механічну стабільність берегів, на особливості формування довколишнього ландшафту та якість води у водоймі.

Вивчення видового складу прибережно-водної рослинності проводилось з усіх боків озера. У дослідженнях опирались на рекомендації відомого вченого Хартмута Пойкера, який свого часу рекомендував формувати прибережно-водну рослинність кар'єрів за природними аналогами, так званими рослинними поясами:

**I пояс** – підводна рослинність, яка постійно вкрита водою;

**II пояс** – рослинність коливального рівня води, яка залежить хвильового процесу та сезонних коливань рівнів води

**III пояс** – рослинність берегової зони, до якої не достають хвилі озера;

**IV пояс** – рослинність, яка росте вище по берегу та живиться за рахунок атмосферних опадів [6]

В результаті досліджень встановлено зростання значної кількості видів судинних рослин, які таксономічно належать до наступних родин: Осокові



(*Cyperaceae* Juss.), Аралієві (*Araliaceae* Juss.), Хвощеві (*Equisetaceae* Michx. ex DC.), Молочайні (*Euphorbiaceae* Juss.), Гречкові (*Polygonaceae* Juss.), Жовтецеві (*Ranunculaceae* Juss.), Розові (*Rosaceae* Juss.), Рогозові (*Typhaceae* Juss.), Айстрові (*Asteraceae* Bercht. & J. Presl), Подорожникові (*Plantaginaceae* Juss.), Бобові (*Fabaceae* Lindl.), Онагрові (*Onagraceae* Juss.), Ситникові (*Juncaceae* Juss.), Злакові (*Poaceae* Barnhart.), Лободові (*Chenopodiaceae* Burnett.), Губоцвіті (*Lamiaceae* Bromhead.), Вербові (*Salicaceae* Mirb.), Березові (*Betulaceae* Gray.), Гвоздичні (*Caryophyllaceae* Juss.) і Бальзамінові (*Balsaminaceae* A.Rich.).

Вони представлені здебільшого життєвими формами трав'янистих рослин та низьких чагарників, типових для прибережно-водної рослинності Західного лісостепу. До складу рослинності досліджуваної території за результатами досліджень входять 42 види вищих судинних рослин, які належать до 20 родин.

Таб. 1. Систематичний склад виявлених родин прибережно-водної рослинності кар'єру ЯДГХП "Сірка"

Родина	Кількість видів	%
Осокові ( <i>Cyperaceae</i> Juss.)	2	4,8
Аралієві ( <i>Araliaceae</i> Juss.)	1	2,4
Хвощеві ( <i>Equisetaceae</i> Michx. ex DC.)	2	4,8
Молочайні ( <i>Euphorbiaceae</i> Juss.)	1	2,4
Гречкові ( <i>Polygonaceae</i> Juss.)	1	2,4
Жовтецеві ( <i>Ranunculaceae</i> Juss.)	1	2,4
Розові ( <i>Rosaceae</i> Juss.)	3	7,1
Рогозові ( <i>Typhaceae</i> Juss.)	3	7,1
Айстрові ( <i>Asteraceae</i> Bercht. & J. Presl.)	8	19
Подорожникові ( <i>Plantaginaceae</i> Juss.)	1	2,4
Бобові ( <i>Fabaceae</i> Lindl.)	5	11,8
Онагрові ( <i>Onagraceae</i> Juss.)	1	2,4
Ситникові ( <i>Juncaceae</i> Juss.)	1	2,4
Злакові ( <i>Poaceae</i> Barnhart.)	4	9,4
Лободові ( <i>Chenopodiaceae</i> Burnett.)	1	2,4
Губоцвіті ( <i>Lamiaceae</i> Bromhead.)	2	4,8
Вербові ( <i>Salicaceae</i> Mirb.)	2	4,8
Березові ( <i>Betulaceae</i> Gray.)	1	2,4
Гвоздичні ( <i>Caryophyllaceae</i> Juss.)	1	2,4
Бальзамінові ( <i>Balsaminaceae</i> A.Rich.)	1	2,4
Сума	42	100

Розподіл видового різноманіття за виявленим таксономічним складом родин є наступним:

1. Айстрові (*Asteraceae* Bercht. & J. Presl.): нечуй волохатий (*Hieracium villosum* Jacr.), осот польовий (*Sonchus arvensis* L.), полин звичайний (*Artemisia vulgaris* L.), золотарник канадський (*Solidago Canadensis* L.), череда трироздільна (*Bidens tripartita* L.), скереда покривельна (*Srepis tectorum* L.), деревій тисячолістий (*Achillea millefolium* L.), деревій дрібноквітковий (*Achillea micranta* Willd.).
2. Бобові (*Fabaceae* Lindl.): буркун білий (*Melilotus albus* Med.), лядвинець польовий (*Lotus arvensis* Pers.), люцерна посівна (*Medicago sativa* L.), люпин звичайний (*Lupinus vulgaris* L.), лядвинець болотний (*Lotus palustris* Pers.).
3. Злакові (*Poaceae* Barnhart.): тонконіг стиснутий (*Poa compressa* L.), куничник наземний (*Calamagrostis epigeious* (L.)), пирій повзучий (*Elytrigia repens* L.), очерет звичайний (*Phragmites Australis* (Cav.)).
4. Розові (*Rosaceae* Juss.): ожина сиза (*Rubus caesius* L.), ожина складчаста (*Rubus plicatus* Weih.), перстач гусячий (*Potentilla anserina* L.).
5. Рогозові (*Typhaceae* Juss.): рогіз вузьколистий (*Typha angustifolia* L.), рогіз широколистий (*Typha latifolia* L.).
6. Осокові (*Cyperaceae* Juss.):осока побережна (*Carex riparia* Curt.), комиш лісовий (*Scirpus sylvaticus* L.).
7. Хвощеві (*Equisetaceae* Michx. ex DC.): хвощ лісовий (*Equisetum fluviat* L.), хвощ болотний (*Equisetum palustre* L.).
8. Губоцвіті (*Lamiaceae* Bromhead.): вовконіг європейський (*Lycopus europeus* L.), м'ята водяна (*Mentha aquatica* L.).
9. Вербові (*Salicaceae* Mirb.): верба ламка (*Salix fragilis* L.), верба біла (*Salix alba* L.).
10. Аралієві (*Araliaceae* Juss.): морква дика (*Daucus carota* L.).
11. Молочайні (*Euphorbiaceae* Juss.): молочай кипарисовидний (*Euphorbia cyparissias* L.).
12. Гречкові (*Polygonaceae* Juss.): гірчак почечуйний (*Polygonum persicaria* L.).
13. Жовтецеві (*Ranunculaceae* Juss.): жовтець їдкий (*Ranunculus acris* L.).
14. Подорожникові (*Plantaginaceae* Juss.): подорожник ланцетолистий (*Plantago lanceolata* L.).
15. Онагрові (*Onagraceae* Juss.): зніт шорсткий (*Epilobium hirsutum* (L.)).
16. Ситникові (*Juncaceae* Juss.): ситник колінчастий (*Juncus geniculatus* Schr.).
17. Лободові (*Chenopodiaceae* Burnett.): лобода біла (*Chenopodium album* L.).
18. Березові (*Betulaceae* Gray.): вільха чорна (*Alnus glutinosa* (L.)).
19. Гвоздичні (*Caryophyllaceae* Juss.): куколиця біла (*Melandrium album* (Mill.)).

Michx. ex  
Жовте-  
Juss.),  
Juss.),  
Juncaceae  
), Губо-  
Betulaceae  
A.Rich.).  
рослин  
Західного  
стами до-  
родин.

ності

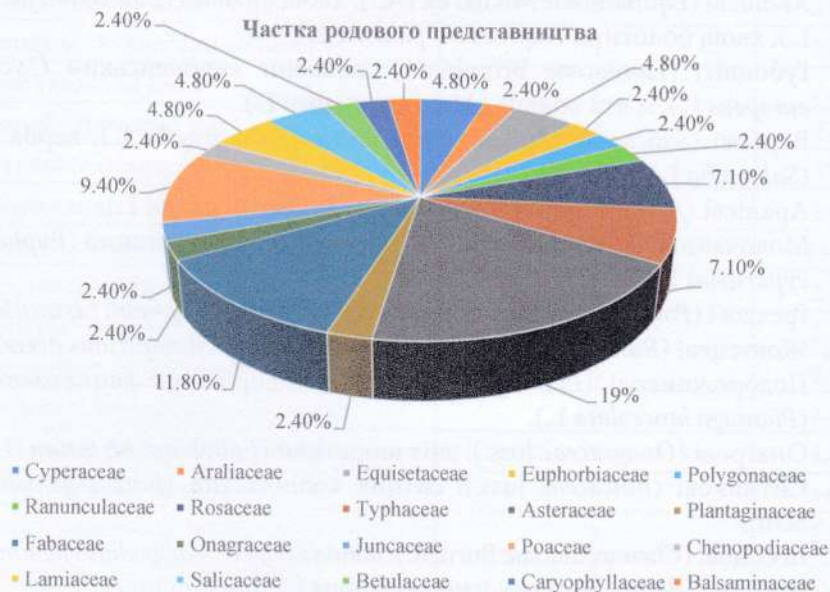
%
4,8
2,4
4,8
2,4
2,4
2,4
7,1
7,1
19
2,4
11,8
2,4
2,4
9,4
2,4
4,8
4,8
2,4
2,4
2,4
100

20. Бальзамінові (*Balsaminaceae* A. Rich.): бальзамін звичайний (*Impatiens noti – tangere* L.).

Співвідношення виявлених видів та частка родинного різноманіття при-  
ведені нижче (рисунок 5; рисунок 6)



Рис. 5 – Співвідношення видового різноманіття прибережно-водної рослинності [3]



Рису. 6 – Виявлене родові різноманіття прибережно-водної рослинності  
“Яворівського озера” [9]

Перша частка територій до трьох Едифікацій львовий стиснут (L.), п. Australis sylvaticus lanceolatus

Екотипною при в екології у розі і реакції режно-в страту т

Розпиту є різні

Як ви група ро рослинн становит рахунок вими ро берегові рофіти (мосферні з високою

Групи ким чин

Прові зростає н ня. Вони до яких н нем міне групою. М підвищен лінних п

Переважаючі родини *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*, включають 17 видів, частка яких у рослинному покриві становить 41% флори досліджуваної території. На решту ж 25 виявлених видів припадає частка 59%. Більшість родин володіють доволі низьким рівнем флористичного багатства (від одного до трьох видів), що є свідченням поступових сукцесійних трансформацій. Едифікаторами умов середовища виступали наступні види: лядвинець польовий (*Lotus arvensis* Pers.), люцерна посівна (*Medicago sativa* L.), тонконіг стиснутий (*Poa compressa* L.), куничник наземний (*Calamagrostis epigeios* L.), пирій повзучий (*Elytrigia repens* L.), очерет звичайний (*Phragmites Australis* (Cav.)), осока побережна (*Carex riparia* Curt.), комиш лісовий (*Scirpus sylvaticus* L.), верба біла (*Salix alba* L.), подорожник ланцетолистий (*Plantago lanceolata* L.), і вільха чорна (*Alnus glutinosa* (L.)) (рисунок 7).

Екотопи кар'єрних виїмок є специфічними за механічною, фізико-хімічною природою, характерним мікрокліматом, що знаходить відображення в екологічній структурі фітоценозів. Дана екологічна структура виражається у розподілі видів за екологічними групами залежно від умов середовища і реакції на них рослин. Найбільш інформативним є розподіл рослин прибережно-водної та берегової зони "Яворівського" озера за зволоженням субстрату та трофністю (багатством) ґрунту.

Розподіл рослинного матеріалу за відношенням до зволоження субстрату є різним (рисунок 8).

Як видно із рисунку, переважаючою групою є мезофіти (38,4%), тобто група рослин приурочена до помірно зволених умов місцезростань. Це рослинність III поясу згідно класифікації Пойкера X. Частка мезогідрофітів становить 24,7%, які зайняли нішу II поясу, де зволоження відбувається за рахунок хвильового процесу у озері. Гідрофіти становлять 15,8% і є типовими рослинами I поясу, який має постійний контакт із водою. Вище по береговій зоні знаходяться рослини IV поясу – ксеромезофіти (17,3%) і ксерофіти (3,8%), тобто види, які є посухостійкими і живляться за рахунок атмосферних опадів. Вони представлені в основному деревами і чагарниками з високою інтенсивністю насінневого та вегетативного розмноження.

Групи рослин за приуроченістю до трофності ґрунту розподілились таким чином (рисунок 9).

Провідне місце посідають мезотрофи (57,6%), тобто група рослин, яка зростає на едафотобах із помірним вмістом елементів мінерального живлення. Вони є представниками II і III рослинних поясів. Оліготрофи (16,2%), до яких відносяться рослини, які успішно ростуть у місцях із нижчим рівнем мінеральних речовин у ґрунтах (IV рослинний пояс) є значно меншою групою. Мегатрофи (26,2%), які вимагають для успішного росту та розвитку підвищеного забезпечення мінеральними речовинами ростуть у I і II рослинних поясах, ближче до водного дзеркала.



Рис. 7 – Фотофіксація переважаючої прибережно-водної рослинності “Яворівського озера” на берегах різної експозиції [фото автора]

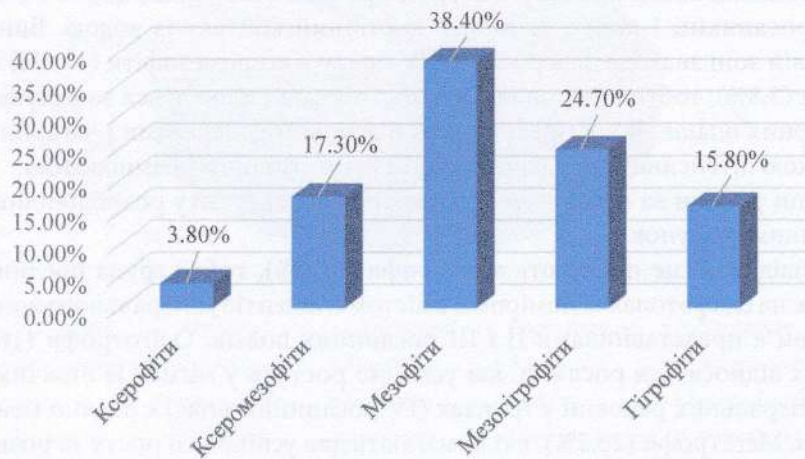


Рис. 8 – Групи прибережно-водної рослинності за ставленням до вологості ґрунту [3]

60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

Рис. 9 – П...

Пров...  
ності де...  
констат...  
фізични...  
ню посу...  
гідрофіт...  
вих до рі...  
озера зн...  
ної сукц...  
складу т...  
Тобто...  
видів ба...  
гардних...  
Спец...  
підбору...  
та схилі...  
вільшан...  
ність бер...  
схилів сл...  
стинах с...  
та форм...  
Комп...  
процесу...

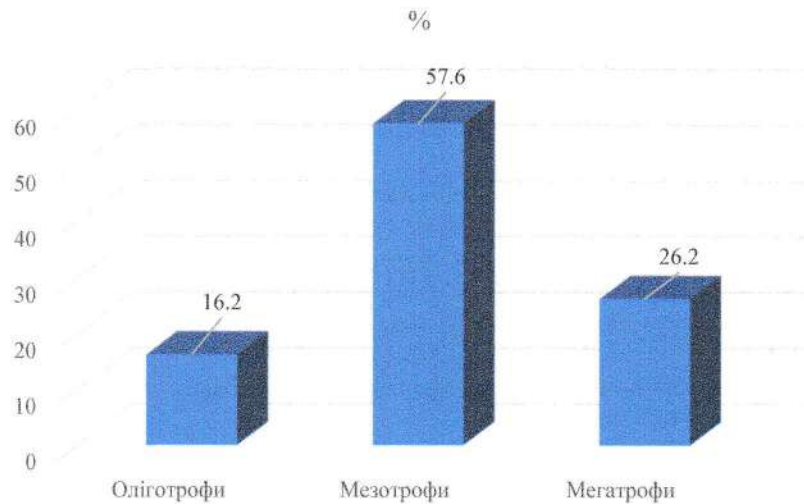


Рис. 9 – Групи прибережно-водної рослинності за ставленням до трофності ґрунту [3]

Проведені нами геоботанічні дослідження прибережно-водної рослинності деастрованого ландшафту “Яворівського” озера, дають можливість констатувати суттєву зміну спрямованості і швидкості перебігу хімічних, фізичних та геоботанічних процесів. Підняття рівня води сприяє витісненню посухостійких видів з наступним поширенням у цій “просторовій ніші” гігрофітів. Звідти спостерігається збільшення частки видів більш вимогливих до рівня зволоження і трофності ґрунту. Прибережно-водна рослинність озера знаходиться на етапі переходу від сингенетичної до ендоекогенетичної сукцесії, із характерним посиленням екологічної диференціації видового складу та посиленням конкуренції за використання природних ресурсів.

Тобто присутні характерні ознаки перебігу стадії розвитку авангардних видів багаторічних і однорічних трав'яних рослин та стадії розвитку авангардних видів деревно-чагарникової рослинності.

Специфіка елементів схилового ландшафту колишнього кар'єру, вимагає підбору різноманітних фітомеліоративних заходів. Для прибережних зон та схилів, рекомендуємо створення смуг з очерету звичайного, верболозів, вільшаників, що сприятиме ґрунтоукріпленню та зменшуватиме інтенсивність берегової абразії. На краєвих зонах схилів озера, з метою укріплення схилів слід створювати насадження із повзучих чагарників, а на середніх частинах схилів рекомендуємо створювати деревно-чагарникові насадження та формувати лучний трав'яний покрив.

Комплекс цих заходів сприятиме інтенсифікації фітомеліоративного процесу та покращенню екологічного стану порушених територій.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Гайдин А.М. Про необхідність розробки альтернативного проекту ліквідації Яворівського сірчаного кар'єру. *Проблеми і перспективи розвитку природоохоронних об'єктів на Розточчі* : зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. Львів : Логос, 2000. С. 90–92.
2. Генік Я.В., Дида А.П. Рекультивация: навч. посіб. Львів, 2019. 288 с.
3. Кучерявий В.П. Фітомеліорація : навч. посіб. Львів : Світ, 2003. 540 с.
4. Рекультивация та фітомеліорація / Кучерявий В.П., Генік Я.В., Дида А.П., Колодко М.М. Львів : ТзОВ "ГАФСА", 2006. 116 с.
5. Панас Р.М. Рекультивации земель : навч. посіб. Львів : "Новий Світ-2000", 2018. 224 с.
6. Пойкер Х. Культурный ландшафт: формирование и уход : монография. М. : ВО "Агропромиздат", 1987. 176 с.
7. Попович В.В. Фітомеліорація як засіб виведення сміттєзвалищ із експлуатації. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2015. №11. С. 126–130.
8. Рудько Г.І., Бойчук М.Д., Лещух Р.Й., Преснер Б.М. Екологічний моніторинг геологічного середовища Яворівського гірничо-промислового району. *Проблеми і перспективи розвитку природоохоронних об'єктів на Розточчі* : зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. Львів : Логос, 2000. С. 113–116.
9. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Гидрботаника: прибрежно-водная растительность : учеб. Пособие. М. : "Академия", 2005. 240 с.
10. Тарас У.М. Проблеми рекультивации сірчаного кар'єру в зоні діяльності Яворівського державного гірничо-хімічного підприємства "Сірка". *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.2. С. 154–158.
11. Шуплат Т.І., Городна О.П. Екологічні проблеми транскордонного характеру, пов'язані із забрудненням р. Шкло. *Екологічна безпека об'єктів туристично-рекреаційного комплексу* : зб. матеріалів I Міжнар. наук.-практ. конф. Львів : ЛДУ БЖД, 2019. С. 135–136.

IP

CLIMA

Провед  
тохтонн  
умов ма  
фенори  
ням цві  
впливу  
рівень а

Ключов

The stud  
of native  
er and c  
season.  
a very e  
special  
the futu  
adaptat

Keywor  
rhythms

к.с.-г.н. Наталія Кендзьора

nataly\_kend@ukr.net, +380674223350

Національний лісотехнічний університет України, Україна

ORCID: 0000-0002-0603-7811

## КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА РИТМИ РОСТУ І РОЗВИТКУ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УРБОГЕННИХ УМОВАХ

### *CLIMATE CHANGE AND THEIR IMPACT ON THE RHYTHMS OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF TREE PLANTS IN URBOGENIC CONDITIONS*

#### Анотація

Проведено дослідження впливу метеофакторів на зміни феноритмів вегетації і цвітіння автохтонних та інтродукованих видів дендрофлори. Виявили, що мінливість погодно-кліматичних умов має більший вплив на фенодати початку вегетації. Під час цвітіння найбільші відхилення феноритмів спостерігали у рослин з дуже раннім початком цвітіння та з дуже пізнім завершенням цвітіння, що свідчить про їх особливу метеочутливість. Краще розуміння механізмів такого впливу надалі дозволить зробити висновки щодо реакції на зміни у середовищі існування та рівень адаптації рослин.

**Ключові слова:** клімат, метеофактори, температура, опади, фенологія рослин, феноритми.

#### Abstract

The study of influence of meteorophactors on changes in vegetation phenorhythms and flowering of native and introduced types of arboretums was carried out. We found that the variability of weather and climatic conditions has a greater impact on the phenodates of the beginning of the growing season. During flowering, the greatest deviations of phenorhythms were observed in plants with a very early onset of flowering and with a very late completion of flowering, which indicates their special meteorological sensitivity. A better understanding of the mechanisms of such an impact in the future will allow us to draw conclusions about the reaction to changes in habitat and the level of adaptation of plants.

**Keywords:** climate, meteorological factors, temperature, precipitation, phenology of plants, phenorhythms.



Глобальне потепління не викликає сумнівів і вважається експериментально доведеним фактом [10]. Такі ж тенденції кліматичних змін простежуються і для різних регіонів України [3, 5, 6, 7]. Зміни середовища існування можуть спричинити значні трансформації у загальному форматі біорізноманіття та флористичних угруповань зокрема. Збереження біорізноманіття в умовах сучасних кліматичних змін є одним з основних чинників належного функціонування урбоєкосистем [8, 9].

Розвиток міст, в тому числі й м. Львова, супроводжується зменшенням площ зелених насаджень, порушенням їх санітарного стану та естетичного вигляду. Вразливість зелених зон визначається зміною екологічних умов для рослин, появою нових захворювань насаджень, підвищенням рівня забруднення атмосферного повітря у місті. Парникові гази, що потрапляють в атмосферу, викликають посилення парникового ефекту. Наслідком такої антропогенної діяльності може стати зміна режиму зволоження, температурні аномалії, відмінності у часових межах кліматичних сезонів [7, 12].

Температура атмосферного повітря та опади є одними з основних лімітуючих факторів росту і розвитку рослин [8, 11]. Майбутні зміни ресурсів тепла та вологи вносять певні корективи у формування природних і культурних фітоценозів [1, 10]. Реакція рослин на кліматичну нестабільність є різною. Важливим є географічне походження виду, його адаптаційна здатність до змінених умов зростання. При цьому значні відхилення феноритмів спостерігаються як в інтродукованих, так і в автохтонних видів [4, 8].

Під час дослідження динаміку показників температури атмосферного повітря впродовж доби визначали з обчисленням середнього значення ряду даних, а також мінімальних та максимальних значень. Для опадів визначали сумарну добову кількість. Фенологічні дослідження проведені в дендрологічній колекції Ботанічного саду НЛТУ України. Використовували загальноприйнятну методику [2]. Початком вегетації прийнято дату настання фенофази набубнявіння вегетативних бруньок, кінцем – настання фенофази завершення осінньої зміни забарвлення листя. Інтервал між фазами – тривалість періоду вегетації. Для визначення фенолагу цвітіння використовували дату настання фенофаз початку та завершення цвітіння. Для порівняльного аналізу та оцінки сезонної феноритміки використані матеріали статистичної обробки показників фено- і метеоспостережень 2011-2020 рр.

## 1. КЛІМАТ МІСТА

Спостереження за динамікою основних метеофакторів, показують, що для м. Львова найхолоднішим місяцем в році за період досліджень 2011-2020 рр. був січень (середньомісячна температура атмосферного повітря  $-2,4^{\circ}\text{C}$ ),

Показ
Температ
Опади, мм

найтеплішими – липень (+19,3°C) і серпень (+19,4°C). Максимальна кількість опадів спостерігалась у травні (95 мм), мінімальна – в лютому і квітні (42 мм). Значення показників температури і опадів приведені в табл. 1.

Таб. 1. Середньомісячні показники температури атмосферного повітря та опадів за період 2011–2020 рр.

Показники	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °C	-2,4	-1,4	+3,3	+9,7	+14,1	+18,3	+19,3	+19,4	+14,6	+9,0	+4,1	+0,4
Опади, мм	50	42	47	42	95	91	86	57	70	56	43	59

Проте впродовж вказаного десятиріччя спостерігалась певна мінливість річного ходу метеофакторів, на що вказує графічний розподіл середньомісячних температур та накопичення опадів (рис. 1).

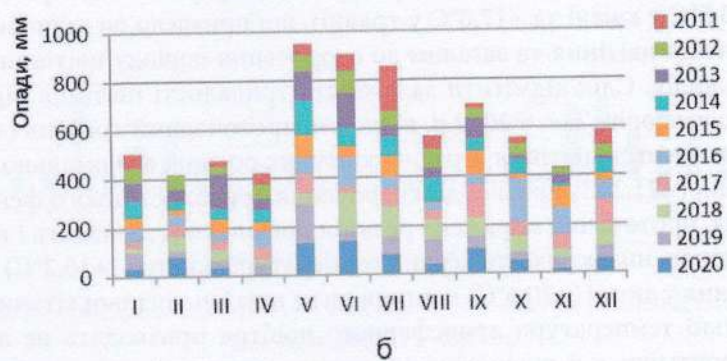
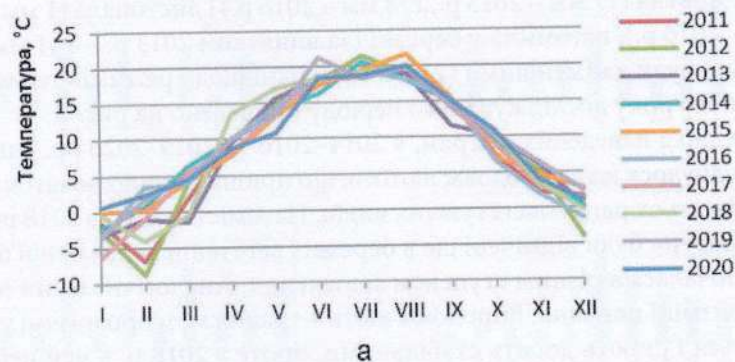


Рис. 1 – Середньомісячні показники температури атмосферного повітря (а) та кількості опадів (б) за період з 2011 до 2020 рр.

Як видно з графіка температур, найбільш нестабільним у цьому відношенні є зимовий та ранньо-весняний періоди. В різні роки впродовж лютого і березня були зафіксовані як додатні, так і від'ємні середньомісячні температури, що призводило до значних відмінностей в феноритміці рослин. Для наступного календарного періоду (квітень-травень) показники температури були відносно сталими, за винятком 2018 р., коли спостерігались температурні аномалії впродовж усього весняного періоду. Середньомісячні температури червня за досліджуваний період особливо не відрізнялися, за винятком екстремальних 2014 і 2019 рр. Високі температури впродовж липня і серпня хоч були лімітуючими для морфогенезу рослин, проте їх хід був досить стабільним. У вересні значних температурних відхилень також не спостерігали. Наступний календарний період виявився більш мінливим, що спричиняло певні зміни у тривалості вегетації рослин.

Важливим фактором у сезонному розвитку рослин є опади. Впродовж року кількість опадів не є рівномірною. За весь період найбільш нестабільними щодо опадів були календарні періоди серпня (1 мм – 2015 р., 102 мм – 2019 р.), жовтня (17 мм – 2013 р., 178 мм – 2016 р.) і листопада (1 мм – 2011 р., 109 мм – 2016 р.), натомість у березні (за винятком 2013 р. – 141 мм) і квітні коливання були найменшими (21–55 мм). Дані щодо режимів тепла і вологи для кожного року досліджуваного періоду приведено на рис. 2.

Як видно з наведених діаграм, у 2014–2016 та 2019–2020 рр. раннє потепління відбулося вже впродовж лютого, що пришвидшило початок вегетації рослин багатьох ранньовеgetуючих видів. Натомість у 2013 і 2018 рр. від'ємні температури були відмічені ще в березні і вегетація переважної більшості рослин почалася з різним ступенем запізнення. Аналогічні зміни відбулися і у феноритміці цвітіння. Впродовж квітня-травня метеорологічні умови вирівнюються і стають досить стабільними, проте у 2018 р. в цей період були зафіксовані нетипово високі температури атмосферного повітря (в середньому  $+13,5^{\circ}\text{C}$  у квітні та  $+17,0^{\circ}\text{C}$  у травні), що призвело до пришвидшеного завершення цвітіння та загалом до скорочення періоду цвітіння рослин більшості видів. Слід відмітити залежність тривалості цвітіння від різких змін метеофакторів. Так, у 2019 р. відносно прохолодний травень ( $+13,1^{\circ}\text{C}$ ) сповільнив початок цвітіння середньоквітучих рослин, а аномально спекотний червень ( $+21,2^{\circ}\text{C}$ ) призвів до скорочення тривалості цього феноперіоду. Подібна, проте менш виражена реакція рослин спостерігалась і в 2020 р. У 2014 р. доволі низька як для червня температура повітря ( $+16,2^{\circ}\text{C}$ ) та різке її підвищення у липні ( $+20,6^{\circ}\text{C}$ ) змінили ритм цвітіння пізньоквітучих видів. Екстремальні температури атмосферного повітря призводять не лише до збою феноритміки, а й пошкодження самих рослин – зокрема опіки фотосинтезуючих листових пластинок та передчасна часткова дефоліація були наслідком аномально спекотного ( $+21,6^{\circ}\text{C}$ ) і посушливого серпня 2015 р.



Рис. 2 – Динаміка температури атмосферного повітря та кількості опадів в м. Львові (2011–2020 рр.)

у цьому відно-  
спродовж лютого  
місячні тем-  
ператури рослин.  
показники темпе-  
ратури спостерігались  
Середньомісячні  
температури відрізнялися, за  
спродовж лип-  
ця, проте їх хід був  
звичайно також не  
надто мінливим, що

Впродовж  
літньої нестабіль-  
ності 2015 р., 102 мм –  
2011 р.,  
141 мм) і квітні  
тепла і вологи

раннє поте-  
початок вегетації  
2018 рр. від'єм-  
ної більшості  
зміни відбулися  
в умовах ви-  
сокої період були  
в повітря (в серед-  
ньому швидшено-  
виростання рослин  
від різких  
змінь (+13,1°C)  
в значно спекот-  
ного феноперіо-  
ду і в 2020 р.  
(+16,2°C) та різке  
температурних видів.  
вплив не лише до  
опіки фото-  
сінтеза були  
2015 р.

Також суттєвим є вплив режиму тепла на хід осінніх фаз розвитку рослин. Високі температурні показники вересня (переважно близько  $+14...+15^{\circ}\text{C}$ ) стимулювали продовження вегетації рослин та збільшення тривалості феноперіоду осіннього забарвлення листя. За вказаний час спостережень лише у 2013 рр. температури були відносно низькими ( $+11,6^{\circ}\text{C}$ ). Відносно високі середні температури жовтня ( $+6,6...+10,8^{\circ}\text{C}$ ) і листопада ( $+1,9...6,3^{\circ}\text{C}$ ) також в тій чи іншій мірі пролонгували ростові процеси рослин групи середнього і пізнього завершення вегетації. У грудні температура коливалась в межах  $-4,0...+2,7^{\circ}\text{C}$ , тобто роки були як «холодні» (2012, 2016, 2018 рр.), так і «теплі» (2011, 2013, 2014, 2015, 2017, 2019, 2020 рр.), коли фізіологічні процеси окремих пізньовегетуючих видів продовжувались, а період спокою розпочинався із значною затримкою.

Щодо атмосферних опадів, то для стабільної феноритміки рослин значення має як загальна зволоженість впродовж року, так і рівномірність їх випадання. Особливо вплив опадів на сезонний розвиток дендрофлори проявляється у комплексі з температурним режимом. Так, наприклад, у серпні 2015 р. при високих температурах саме мінімальна кількість опадів (1 мм) стала визначальною для морфогенезу рослин в цей період. Загалом, у різні роки спостережень режим опадів був як умовно рівномірним (2012 р.), так і виражено стрибкоподібним (2011 і 2020 рр.).

Динаміка температури повітря та опадів останнього десятиріччя, як основних показників кліматичних змін, приведена в табл. 2.

Таб. 2. Середньорічні температури атмосферного повітря та сумарні кількості опадів за період 2011–2020 рр.

Показники	Роки										За весь період
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Температура, $^{\circ}\text{C}$	+8,3	+8,4	+8,6	+9,3	+9,5	+8,9	+8,6	+9,2	+9,9	+9,6	+9,0
Опади, мм	579	668	811	775	616	866	759	809	700	775	736

Таким чином, для періоду 2011–2020 рр. середньорічна температура атмосферного повітря становила  $+9,0^{\circ}\text{C}$ , а сумарна кількість опадів – 736 мм. З 2014 р. простежується стійка тенденція до зростання температури повітря. Для опадів певного тренду (стійкого збільшення чи зменшення кількості) на даний час не спостерігається, проте навіть у цьому випадку може виникнути їх дефіцит у зв'язку з підвищеним випаровуванням [1, 3]. Ще більш критичними є кліматичні особливості 2015 та 2019 рр., коли спостерігались одночасно і позитивні аномалії температури, і від'ємні аномалії опадів. За таких умов у більшості рослин відбувається збій феноритміки, скорочується період вегетації та значно погіршуються їх ріст та розвиток.

Потрібно відзначити також, що реакція на вплив метеофакторів у рослин, які походять з різних кліматичних зон є відмінною. Перебіг їх вегетативних і генеративних процесів має певні особливості. Характерною ознакою і перевагою феноперіоду вегетації є довга тривалість у часі, що дає змогу при відносно короткому періоді спостережень отримати достовірний результат. Феноперіод цвітіння має порівняно меншу тривалість, проте важливість його дослідження полягає в тому, що це одна з основних ознак адаптації інтродукованих видів, особливо чутливих до змін метеофакторів.

## 2. СЕЗОННІ РИТМИ РОЗВИТКУ РОСЛИН

Для аналізу сезонних ритмів вегетації і цвітіння на основі статистичної обробки фенологічних матеріалів, отриманих впродовж всього періоду дослідження, був використаний поділ деревно-чагарникових рослин на наступні групи.

- **феногрупи за середньою фенодатою початку вегетування:**
  - ДРПВ – дуже раннього початку вегетації (до 11 березня),
  - РПВ – раннього початку вегетації (11 березня – 20 березня),
  - СПВ – середнього початку вегетації (21 березня – 31 березня),
  - ППВ – пізнього початку вегетації (1 квітня – 10 квітня),
  - ДППВ – дуже пізнього початку вегетації (після 10 квітня).
- **феногрупи за середньою фенодатою закінчення вегетування:**
  - ДРЗВ – дуже раннього завершення вегетації (до 11 жовтня),
  - РЗВ – раннього завершення вегетації (11 жовтня – 20 жовтня),
  - СЗВ – середнього завершення вегетації (21 жовтня – 31 жовтня),
  - ПЗВ – пізнього завершення вегетації (1 листопада – 10 листопада),
  - ДПЗВ – дуже пізнього завершення вегетації (після 10 листопада).
- **феногрупи за тривалістю вегетаційного періоду:**
  - ДКВ – дуже коротка вегетація (до 171 доби),
  - КВ – коротка вегетація (171–190 діб),
  - СВ – середня вегетація (191–210 діб),
  - ДВ – довга вегетація (211–230 діб),
  - ДТВ – дуже довга вегетація (понад 230 діб).
- **феногрупи за середньою фенодатою початку цвітіння:**
  - ДРПЦ – дуже раннього початку цвітіння (до 21 березня),
  - РПЦ – раннього початку цвітіння (21 березня – 20 квітня),
  - СПЦ – середнього початку цвітіння (21 квітня – 31 травня),
  - ППЦ – пізнього початку цвітіння (1 червня – 30 червня),
  - ДППЦ – дуже пізнього початку цвітіння (після 30 червня).

	За весь період
2020	+9,0
2021	736

температура ат-  
- 736 мм.  
повітря.  
кількості)  
вине-  
Ще більш  
стерігалісь  
опадів. За  
рочується

- **феногрупи за середньою фенодатою закінчення цвітіння:**
  - ДРЗЦ – дуже раннього завершення цвітіння (до 11 квітня),
  - РЗЦ – раннього завершення цвітіння (11 квітня – 10 травня),
  - СЗЦ – середнього завершення цвітіння (11 травня – 20 червня),
  - ПЗЦ – пізнього завершення цвітіння (21 червня – 20 липня),
  - ДПЗЦ – дуже пізнього завершення цвітіння (після 20 липня).
- **феногрупи за тривалістю вегетаційного періоду:**
  - ДКЦ – дуже коротке цвітіння (до 11 діб),
  - КЦ – коротке цвітіння (11–20 діб),
  - СЦ – середнє цвітіння (21–40 діб),
  - ДЦ – довге цвітіння (41–60 діб),
  - ДДЦ – дуже довге цвітіння (понад 60 діб).

Для рослин окремих феногруп календарні дати настання фенофаз та довжин феноперіодів впродовж усього часу досліджень мали значні відхилення від середніх багаторічних значень. Температура атмосферного повітря односторонньо виступає основним лімітуючим чинником вегетації. При цьому настання фенофаз початку вегетації, а також їх тривалість визначаються не лише сумою ефективних температур. Для одних видів особливе значення мають високі денні температури ранньовесняного періоду, для інших – низькі (переважно мінусові) нічні температури, чи певні характерні середньодобові температури. Визначальною є амплітуда між значеннями денних і нічних температур. Така ж неоднорідна реакція спостерігається і під час цвітіння. Важливо також, якою є частота та рясність опадів в період масового цвітіння рослин. Значна кількість опадів скорочує його тривалість, при цьому зменшується ефективність запилення та наступне плодоношення.

### 3. ФЕНОЛОГІЯ–2020

Для розуміння виразної реакції деревних рослин на вплив погодно-кліматичних умов, як приклад, приводимо детальний аналіз змін їх сезонних ритмів впродовж одного року. Метеоумови 2020 р. відзначались, переважно, порівняно високою температурою повітря. Кількість атмосферних опадів була мінливою. Такі особливості спричинили певні відхилення як загальних феноритмів рослин, так і окремих фаз вегетативного і генеративного розвитку (табл. 3 і табл. 4).

Як видно з табл. 3, вегетація рослин деревно-чагарникової колекції дендрарію у 2020 році почалась ще в першій декаді лютого. Це, очевидно, було спричинене високими температурними показниками вказаного календарного періоду (середньодобові +2...+8°C, денні до +10°C). Першими розпочали

Таб. 3. Фенологія вегетації рослин деревно-чагарникової колекції дендрарію у 2020 році

Початок вегетації (ПВ)						
Феногрупи		ДРПВ дуже ранній	РПВ ранній	СПВ середній	ППВ пізній	ДППВ дуже пізній
Фенодати	середні	до 11.03	11.03–20.03	21.03–31.03	01.04–10.04	після 10.04
	2020 р.	07.02–17.03	15.02–27.03	13.03–11.04	03.04–21.04	11.04–5.05
Завершення вегетації (ЗВ)						
Феногрупи		В дуже ранне	РЗВ ранне	СЗВ середнє	ПЗВ пізне	ДПЗВ дуже пізне
Фенодати	середні	до 11.10	11.10–20.10	21.10–31.10	01.11–10.11	після 10.11
	2020 р.	21.09–22.10	28.09–20.11	13.10–23.11	18.10–8.12	07.11–16.12
Тривалість вегетації (В)						
Феногрупи		ДКВ дуже коротка	КВ коротка	СВ середня	ДВ довга	ДДВ дуже довга
Феноперіод, діб	середні	–	171–190	191–210	211–230	більше 230
	2020 р.	–	167–98	181–237	203–265	220–294

вегетацію *Ulmus glabra* Huds., *Lonicera tatarica* L., *Rosa multiflora* Thunb. Загалом, у більшості рослин феногрупи ДРПВ активування ростових процесів, а саме, фаза набубнявіння бруньок, яка є відліком початку вегетації, спостерігалась ще впродовж лютого та в перших числах березня. Така пришвидшена вегетація є характерною реакцією на аномально теплі зимові місяці. Слід зазначити, що вже з першої декади лютого показники денних температур атмосферного повітря були стабільно додатними. Порівняно пізно почали вегетацію лише *Cotoneaster integerrimus* Medicus та *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. (12.03–17.03).

Набубнявіння вегетативних бруньок у рослин феногрупи РПВ також відбулося значно раніше середньостатистичних фенодат. Найбільш ранній початок вегетації спостерігали у *Philadelphus coronarius* L. 'Nana' (15.02), у інших ранньовегетуючих рослин – переважно вже в першій половині березня. Денні температури цього періоду були стабільно додатними (+5...+15°C), а нічні рідко опускалися нижче 0°C. Більш пізній початок вегетації був у *Corylus avellana* L., *Philadelphus hirsutus* Nutt., *Acer mandshuricum* Maxim., *Swida alba* L. (17.03–27.03). Незначне запізнення початку вегетації вказаних рослин групи РПВ може бути наслідком короткочасного стрибкоподібного



зниження температур атмосферного повітря (особливо нічних до  $-5\dots-7^{\circ}\text{C}$ ) в цей період.

Рослини середнього початку вегетації (СПВ) вступили у фазу набубнявіння бруньок найбільш неоднорідно і розтягнуто у часі. Окремі рослини, такі як *Ostrya carpinifolia* Scop., *Viburnum lantana* L., *Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc. почали вегетувати вже в другій декаді березня, проте основна частина особин даної феногрупи – в період з 25.03 по 28.03, що цілком відповідає середнім фенодатам. Рослини таких видів, як *Tilia europaea* L., *Forsythia intermedia* Zab., *Cotinus coggygria* Scop., *Eucommia ulmoides* Oliv., *Hamamelis virginiana* L., *Magnolia kobus* DC., *Zanthoxylum americanum* Mill. розпочали вегетацію на початку квітня з певним запізненням. Очевидно, що для них лімітуючим стало зниження нічних температур атмосферного повітря впродовж 30.03-02.04 (до  $-9^{\circ}\text{C}$ ). Таким чином, початок вегетації рослин-представників феногрупи СПВ у 2020 році припав на період, коли впродовж березня і початку квітня спостерігалось періодичне коливання додатних і від'ємних середньодобових температур при значній амплітуді нічних і денних. При цьому, рослини окремих видів виявилися більш меочутливими, що спричинило їх відхилення від стандартних феноритмів.

Рослини феногрупи ППВ розпочали вегетаційні процеси в порівняно стислий термін з певним запізненням. Так, якщо для особин, які вступили у фенофазу на початку квітня терміни наближені до середньостатистичних, то інші рослини (близько половини групи) мали суттєвіші відхилення. Такий ритм вегетації міг бути спричиненим більшою їх чутливістю до від'ємних нічних температур (15.04, 18.04, 20.04). Представник феногрупи ДППВ розпочали вегетацію в характерний для них період – з другої декади квітня. Проте, фенофаза набубнявіння бруньок у рослин-представників більшої частини групи була зафіксована впродовж 21.04–24.04. Найпізніший початок вегетації спостерігався у *Gymnocladus dioica* (L.) K. Koch (05.05).

Завершення вегетації деревно-чагарникових рослин дендрарію у 2020 році мало певні особливості. Як видно з табл. 3, граничні фенодати суміжних феногрупи часто накладалися. Рослини, які, як правило, дуже рано завершують вегетацію вступили у фазу повного осіннього забарвлення досить неоднорідно. Більшість з них (*Amelanchier ovalis* Medik., *Aesculus hybrida* DC., *Phellodendron amurense* Rupr., *Padus avium* Mill., *Sorbus torminalis* (L.) Crantz.) – ще в кінці вересня і на початку жовтня. Проте, окремі представники феногрупи ДРЗВ, такі як *Hamamelis virginiana* L., *Euonymus alata* (Thunb.) Sieb., *Sambucus nigra* L. – в період з 20.10 до 22.10, що значно пізніше за середньостатистичні терміни. Така ж неоднорідність завершення вегетації спостерігалась і в рослин феногрупи РЗВ: *Padus virginiana* L. та *Lonicera tatarica* L. – з випередженням (28.09 і 10.10), *Syringa josikaea* Jacq. f., *Tilia cordata* Mill., *Zanthoxylum americanum* Mill. – у характерні для феногрупи терміни, рослини всіх інших видів з раннім завершенням вегетації – з різним ступенем

затри  
носно  
забар  
СЗВ.  
в хара  
sylvati  
довж л

Ще  
шення  
на рос  
заверш  
лах ли  
і Steph  
ці росл

Три  
рію у 2  
вегетар  
них тер  
період  
ша вег  
biloba L  
Forsyth  
важно  
ДВ – до  
вегетат  
від 220  
у Berbe  
ку це п  
в наслі  
ми росл  
(Thunb.

Осо  
наступн

Квіт  
зокрема  
(до  $+10^{\circ}$   
числах л  
почали м  
за серед

Росл  
ми відхи  
раніше в

затримки (від 22.10 до 20.11). Очевидно, це стало наслідком теплого і відносно бездощового осіннього періоду 2020 року. Подібно відбулася зміна забарвлення листя на типово осіннє і в рослин-представників феногрупи **СЗВ**. Раніше завершили вегетацію *Syringa vulgaris* L. і *Gleditsia triacanthos* L., в характерні терміни – *Quercus acutissima* Carruth., *Hibiscus syriacus* L., *Fagus sylvatica* L. 'Purpurea', *Crataegus coccinoides* Ashe., інші – з запізненням, впродовж листопада.

Ще більший діапазон фенодат спостерігався у феногрупі **ПЗВ** – завершення вегетації рослин проходило в період з 18.10 до 08.12. Більша частина рослин завершила вегетацію з запізненням. Рослини феногрупи **ДПЗВ** завершили вегетацію в період 07.11-16.12. Основна частина – в 20-тих числах листопада. Найпізніше відвегетували *Philadelphus grandiflorus* Willd. і *Stephanandra inciza* (Thunb.) Zabel. За довголітніми спостереженнями саме ці рослини останніми завершують вегетацію.

Тривалість вегетації деревно-чагарникових рослин колекції дендрарію у 2020 році була переважно близькою до норми чи довшою. Тривалість вегетації рослин групи **КВ** виявилась найближчою до середньостатистичних термінів. Рослини феногрупи **СВ** провегетували переважно у звичний період за винятком *Fagus sylvatica* L. 'Laciniata', *Celtis occidentalis* L. (коротша вегетація), а також *Padus avium* Mill., *Acer manshuricum* Maxim., *Ginkgo biloba* L., *Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc., *Euonymus alata* (Thunb.) Sieb., *Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl. (довша вегетація). Більші відхилення, переважно в сторону подовження періоду вегетації, спостерігались у феногрупі **ДВ** – довша вегетація більш як у половини рослин. У рослин з дуже довгою вегетацією (**ДДВ**) тривалість вегетаційного періоду знаходилась в межах від 220 до 294 діб. Найкоротша вегетація у даній феногрупі спостерігалась у *Berberis ottawensis* var. *purpurea* Schneid. (220 діб), проте, у цьому випадку це пояснюється не впливом погодних факторів, а ослабленням рослини в наслідок надлишкового притінення сусідніми домінуючими колекційними рослинами. Найдовша вегетація (більше 290 діб) – у *Stephanandra inciza* (Thunb.) Zabel, *Symphoricarpos albus* (L.) Blake, *Philadelphus grandiflorus* Willd.

Особливості феноперіоду цвітіння колекційних особин дендрарію були наступними (табл. 4).

Квітування рослин феногрупи дуже раннього початку цвітіння (**ДРПЦ**), зокрема, *Corylus avellana* L. почалося ще 07.02, що стало наслідком високих (до +10°C денні та до +7°C нічні) температур атмосферного повітря і перших числах лютого. Інші рослини, види яких належать до вказаної феногрупи, почали цвісти значно пізніше – 09.03–11.03, проте і в цьому випадку раніше за середньостатистичні фенодати.

Рослини феногрупи **РПЦ** у 2020 році цвіли практично в термін з малими відхиленнями. Натомість, у феногрупі **СПЦ** рослини починали цвісти як раніше визначеного терміну (*Syringa vulgaris* L., *Euonymus alata* (Thunb.) Sieb.,

Табл. 4. Фенологія цвітіння рослин деревно-чагарникової колекції дендрарію у 2020 році

Початок цвітіння (ПЦ)						
Феногрупи		ДРПЦ дуже ранній	РПЦ ранній	СПЦ середній	ППЦ пізній	ДППЦ дуже пізній
Фенодати	середні	до 21.03	21.03–20.04	21.04–31.05	01.06–30.06	після 30.06
	2020 р.	07.02–11.03	26.03–24.04	10.04–16.06	7.06–7.07	28.07
Завершення цвітіння (ЗЦ)						
Феногрупи		ДРЗЦ дуже ранне	РЗЦ ранне	СЗЦ середнє	ПЗЦ пізне	ДПЗЦ дуже пізне
Фенодати	середні	до 11.04	11.04–10.05	11.05–20.06	21.06–20.07	після 20.07
	2020 р.	9.03–3.04	17.4–19.05	5.5–30.06	28.6–19.7	18.7–28.9
Тривалість цвітіння (Ц)						
Феногрупи		ДКЦ дуже коротке	КЦ коротке	СЦ середнє	ДЦ довге	ДДЦ дуже довге
Феноперіод, діб	середні	до 11 діб	11–20 діб	21–40діб	41–60 діб	понад 60 діб
	2020 р.	4–15	7–36	9–38	32–56	62

*Pterocarya fraxinifolia* (Lam. ex Poir.) Spach), так і з різним ступенем запізнення. Проте більша частина рослин цієї феногрупи починали цвісти в межах вказаного терміну. Рослини пізнього початку цвітіння (ППЦ) – дещо пізніше. Запізнення початку цвітіння двох останніх феногруп частково спровокували пізні весняні заморозки, які спостерігались ще 13.05 (-2°C вночі). *Hibiscus syriacus* L., який належить до групи ДППЦ почав квітнути 28.07, а інший представник цієї феногрупи, *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott в 2020 році не квітнув. Слід зазначити, що квітвання дерева цього виду відбувається не щорічно.

Терміни завершення цвітіння рослин значною мірою залежать від термінів початку їх цвітіння. Так, рослини феногрупи ДРЗЦ відквітували раніше середньостатистичних фенодат, що значною мірою пов'язано з дуже раннім початком їх цвітіння. Рослини раннього завершення цвітіння (РЗЦ) відквітували в період, близький до середньостатистичних фенодат, чи дещо пізніше. Найпізніше серед рослин даної феногрупи відцвіли *Quercus acutissima* Carruth., *Lonicera xylosteum* L., *Viburnum lantana* L. Слід зазначити, що ці види належать до феногрупи рослин середнього початку цвітіння.

Рослини з  
ня. Нами  
фази у пр  
ня (до 11.  
*campestre*  
Schneid., S  
Graebn., A  
Willd. У в  
ПЗЦ. Ймо  
температу  
нім завер  
L., *Symphe*  
ньостатис  
Феноп  
*Lonicera x*  
стерігали  
рослин. К  
ставників  
нижчих т  
лося їх цв  
*syriacus* L.

Отже,  
у фенори  
зафіксова

#### Початок

через ано  
лин РПВ  
ня нічних  
коливанн  
амплітуд  
пізнення  
однорідн  
з виперед  
запізненн  
ДПЗВ – п  
гарников

#### Початок

статистич  
СПЦ – я  
рослин у  
ня цвітін  
фенодати

Рослини з середнім завершенням цвітіння (СЗЦ) мали найбільші відхилення. Нами зафіксовано як порівняно раннє, так і порівняно пізнє настання фази у представників даної феногрупи. Найбільш раннє завершення цвітіння (до 11.05) спостерігалось у *Berberis ottawensis* var. *purpurea* Schneid. і *Acer campestre* L., найпізніше (після 20.06) відквітували *Maclura pomifera* (Raf.) Schneid., *Sambucus nigra* L., *Hydrangea bretschneideri* Dipp., *Kolkwitzia amabilis* Graebn., *Amorpha fruticosa* L., *Philadelphus inodorus* L., *Philadelphus grandiflorus* Willd. У відносно короткий термін відквітували представники феногрупи ПЗЦ. Ймовірно, це є наслідком одночасного впливу на цвітіння як високих температур, так і частих короткотривалих опадів. Рослини видів з дуже пізнім завершенням цвітіння (*Spiraea japonica* L. 'Little Princess', *Hibiscus syriacus* L., *Symphoricarpos albus* (L.) Blake) відквітували у терміни, близькі до середньостатистичних. Це рослини тривалого і дуже тривалого цвітіння.

Феноперіод цвітіння усіх представників феногрупи ДКЦ (за винятком *Lonicera xylosteum* L.) був коротшим за 11 діб, натомість у феногрупі КЦ спостерігали як відносно коротшу, так і відносно довшу тривалість цвітіння рослин. Коротший феноперіод цвітіння також виявився в більшості представників феногрупи СЦ і ДЦ, чому посприяв тривалий період відносно низьких температур і частих опадів впродовж червня і липня, коли відбувалося їх цвітіння. До групи ДДЦ з колекції дендрарію віднесено лише *Hibiscus syriacus* L. Тривалість його цвітіння – 62 доби.

Отже, впродовж 2020 року під дією мінливих погодно-кліматичних умов у феноритмах вегетативних і генеративних органів деревних рослин були зафіксовані наступні відхилення.

**Початок вегетації** у рослин феногруп: ДРПВ і РПВ – пришвидшений через аномально теплі зимові місяці, незначне запізнення в окремих рослин РПВ може бути наслідком короткочасного стрибкоподібного зниження нічних температур; СПВ – найбільш неоднорідно і розтягнуто у часі при коливанні додатних і від'ємних середньодобових температур при значній амплітуді нічних і денних; ППВ – в порівняно стислий термін з певним запізненням. **Завершення вегетації** у рослин феногруп: ДРЗВ – досить неоднорідно, більшість ще в кінці вересня і на початку жовтня; РЗВ і СЗВ – з випередженням, у характерні для феногрупи терміни чи з різним ступенем запізнення; ПЗВ – з діапазоном у півтора місяці, більшість з запізненням; ДПЗВ – практично у відповідні терміни. **Тривалість вегетації** деревно-чагарникових рослин у 2020 році була близькою до норми чи довшою.

**Початок цвітіння** у рослин феногруп: ДРПЦ – раніше за середньостатистичні фенодати; РПЦ – практично в термін з малими відхиленнями; СПЦ – як раніше, так і з різним ступенем запізнення, проте більша частина рослин у відповідні терміни; ППЦ – з незначним запізненням. **Завершення цвітіння** у рослин феногруп: ДРЗЦ – раніше за середньостатистичні фенодати; РЗЦ – близько до середньостатистичних фенодат, чи дещо пізні-

Чендзьора

дендрарію

ДППЦ	дуже пізній
підняв	30.06
	28.07
ДПЗЦ	дуже пізніе
підняв	20.07
	23.7–28.9
ДЦ	дуже довге
понад	60 діб
	62

запізнен-

в межах

дещо пізні-

спрово-

вночі).

28.07,

(L.) Schott

виду

від тер-

ували ра-

з дуже

РЗЦ)

фенодат, чи

*Quercus*

зазначи-

цвітіння.

ше; СЗЦ – найбільші відхилення, як порівняно раннє, так і порівняно пізнє настання фази; ПЗЦ і ДПЗЦ – у відносно короткі, близькі до середньостатистичних терміни. *Тривалість цвітіння* була коротшою у феногруп ДКЦ, СЦ і ДЦ. У феногрупі КЦ спостерігали як відносно коротшу, так і відносно довшу тривалість цвітіння рослин.

## ВИСНОВКИ

Проведені нами дослідження показують, що режими тепла і вологи у середовищі існування рослинних організмів є визначальними чинниками при формуванні як природних, так і культурних фітоценозів. Реакції-відповіді деревних рослин на кліматичні зміни є добре вираженими та залежать від їх спадкових адаптаційних можливостей. Відхилення феноритмів були зафіксовані як в інтродукованих видів, так і в аборигенних представників дендрофлори.

Кліматичні аномалії є наслідком антропогенної діяльності. За період досліджень з 2011 до 2020 рр. виявлено переважно підвищення температури атмосферного повітря і збільшення сумарної кількості опадів у порівнянні з кліматичними нормами цих показників для м. Львова. Найбільш критичними є одночасно позитивні аномалії температури і від'ємні аномалії опадів.

Виявлено, що календарні терміни початку вегетування значною мірою залежать від погодно-кліматичних умов. Вплив метеофакторів на завершення вегетації рослин є меншим, крім коливання температур атмосферного повітря та опадів велике значення мають сума ефективних температур за весь період вегетування, кількість накопичених опадів, тривалість світлового дня. Найбільші відхилення феноритмів цвітіння спостерігали у рослин дуже раннього початку цвітіння, що свідчить про їх особливу метеочутливість. Кінець цвітіння є нестабільним у рослин з дуже пізнім завершенням цвітіння, лімітуючими факторами в цьому випадку виступають як високі температури, так і наявність чи відсутність атмосферних опадів у відповідний період.

Надалі ці дослідження будуть продовжені. Отриманий експериментальний матеріал при належному математичному опрацюванні дозволить поглибити розуміння адаптивних процесів окремих представників дендрофлори до наслідків кліматичних змін.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Барабаш М.Б., Гребенюк Н.П., Татарчук О.Г., *Особливості зміни ресурсів тепла та вологи в Україні при сучасному потеплінні клімату*, «Наукові праці УкрНДГ-МІ» 2007, вип. 256, с. 174–186.
2. Бульгин Н.Е., *Фенологические наблюдения над древесными растениями*. Л.: ЛЛТА 1979.

3. Гребенюк Н.П., Динаміка температур повітря та опадів у Києві в умовах сучасного клімату, «Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія» 2010, Т. 3 (20), с. 185–193.
4. Ивановская И.С., Зависимость фенодат у древесно-кустарниковых пород от погоды вегетационных сезонов 2000-2009 годов, «Труды Мордовского гос. прир. заповедника им. П.Г. Смидовича» 2011, вып. IX, с. 60–64.
5. Канарський Ю.В., Кліматичні зміни в регіоні Українських Карпат на початку XXI століття та їх вплив на біотичне різноманіття, «Наукові основи збереження біотичної різноманітності» 2016, Т. 7(14), № 1, с. 15–36.
6. Киналь О., Білик М., Вікові зміни температур повітря й кількості опадів у Східно-Карпатському регіоні, «Науковий вісник Ченнівецького університету» 2013, вип. 672–673 «Географія», с. 25–27.
7. Киналь О., Ванзуряк А., Козак Г, Семенчук Л., Тенденції кліматичних змін у Чернівцях на початку XXI століття (2000–2010 рр.), «Науковий вісник Ченнівецького університету» 2011, вип. 587–588 «Географія», с. 107–111.
8. Телегуз О., Вплив сучасного потепління на агрокліматичний потенціал агро-екосистем Львівської області, «Раціональне природокористування і охорона природи. Наукові записки» 2012, № 1, с. 232–238.
9. Фекета І.Ю., Феноспостереження як складова частина моніторингу кліматичних змін, «Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету» 2011, №1, вип. 29 «Серія: географія», с. 22–25.
10. Хохлов В.М., Ермоленко Н.С., Майбутні зміни клімату та їх вплив на режим опадів та температури в Україні, «Український гідрометеорологічний журнал» 2015, № 16, с. 76–82.
11. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H., Long term analysis of heat waves in Ukraine, «International Journal of Climatology» 2013, DOI: 10.1002/joc.3792.
12. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

**к.с-г.н. Михайло Казимир**

kazymyr@gmail.com, +38067 724 5437

Комунальний заклад Львівської обласної ради  
«Львівський обласний центр еколого-натуралістичної творчості  
учнівської молоді», Україна  
0000-0001-7228-1794

**Марія Кошіль**

lodenc@ukr.net, +38067 180 6654

Комунальний заклад Львівської обласної ради  
«Львівський обласний центр еколого-натуралістичної творчості  
учнівської молоді», Україна  
0000-0002-3893-3864

---

## ВИВЧАЄМО, ДОСЛІДЖУЄМО, ОХОРОНЯЄМО!

*WE STUDY, RESEARCH AND PROTECT!*

### Анотація

Невід'ємною складовою освітнього процесу творчих учнівських об'єднань КЗ ЛОР «ЛОЦЕНТУМ» є експериментально-дослідницька, пошукова, просвітницька та практична природоохоронна робота щодо захисту і збереження довкілля. Велике значення педагоги ЛОЦЕНТУМ надають екологічній освіті гуртківців. Одним із напрямів, над яким вони працюють зі своїми вихованцями, є напрям «Тверді побутові відходи або сміття». Керівники творчих учнівських об'єднань вчать дітей правил безпечного життя у високотехнологічному суспільстві та допомагають знаходити відповіді на питання чи може сучасна людина жити в гармонії з природою, чи можна перетворити відходи у доходи і найголовніше, як навчитися жити і не смітити.

**Ключові слова:** творчі учнівські об'єднання, освітня діяльність, екологічна культура, збереження довкілля, сортування сміття.

### Abstract

An integral part of the educational process of creative student associations KZ LOR "LOCENTUM" is experimental research, exploratory, educational and practical environmental work to protect and preserve the environment. LOCENTUM teachers attach great importance to the environmental education of students. One of the areas in which they work with their pets is the area of "Solid household waste or garbage". Leaders of creative student associations teach children the rules of safe living in a high-tech society and help find answers to the question of whether modern man can live in harmony with nature, whether it is possible to turn waste into income and most importantly how to learn to live and not litter.

**Keywords:** creative student associations, educational activities, ecological culture, environmental protection, garbage sorting.

Комунальний заклад Львівської обласної ради «Львівський обласний центр еколого-натуралістичної творчості учнівської молоді» — це заклад позашкільної освіти, що координує еколого-натуралістичну та природоохоронну роботу в закладах освіти області (рисунок 1).



Рис. 1 – Догляд за птахами у зимовий період (фото автора)

Сьогодні в КЗ ЛОР «ЛОЦЕНТУМ» діють три відділи: методичний, біології та екології, організаційно-масовий; працює 68 творчих учнівських об'єднань, еколого-освітня виставка «Планета ЗОО», навчально-дослідна земельна ділянка тощо.

Невід'ємною складовою освітнього процесу творчих учнівських об'єднань Центру є експериментально-дослідницька, пошукова, просвітницька та практична природоохоронна робота щодо захисту і збереження довкілля (рисунок 2).

Щоб виховати у дитини вміння розуміти природу такою, якою вона є насправді, з усіма її простими і великими у своїй гармонії властивостями, треба навчити її спостерігати, аналізувати й узагальнювати факти і події: зрозуміти, що зневажання споконвічних законів загального зв'язку явищ може призвести до загибелі життя на Землі. Тому завдання кожної людини є збереження і збагачення природи не лише в ім'я власного благополуччя, а й для майбутніх поколінь.

Виховна ефективність екологічної діяльності зростає тоді, коли учнівська молодь є не лише виконавцями, а й її організаторами. Саме тому педагогам потрібно давати школярам більше творчих завдань, котрі вирішуються колегіально, у співпраці, спонукають до пошуку об'єктів впливу, до раціоналізаторських ідей і розв'язання проблем.

Осн  
ньої ос  
охопле  
втішає  
і пласт  
ЛОЦЕН  
Вих  
ронних  
птахів,  
парків,  
боту щ  
доступ  
ської об

Ри





Рис. 2 – Екологічно-пізнавальні заняття (фото автора)

Оскільки гуртки ЛОЦЕНТУМ працюють на базі закладів загальної середньої освіти області, то просвітницькою роботою, яку проводить ЛОЦЕНТУМ охоплені діти і мешканці області. Батьки вихованців не стоять осторонь (і це втішає!) від участі в екологічних акціях: допомагають збирати макулатуру і пластик, виготовляють шпаківні й годівнички, «спонсорують» екскурсії до ЛОЦЕНТУМ, ботанічний сад ЛНУ, зоопарк «Меденичі», походи в природу.

Вихованці ЛОЦЕНТУМ беруть активну участь в багатьох природоохоронних акціях та екологічних конкурсах. Гуртківці регулярно підготовують птахів, виготовляють годівнички і шпаківні, прибирають від сміття території парків, скверів, відновлюють зелені насадження, ведуть просвітницьку роботу щодо шкоди паління сухого листа. Завдань і планів чимало: діти хочуть достукатися до свідомості громади і щодо стану екології Львова та Львівської області (рисунк 3).



Рис. 3 – Участь вихованців у природоохоронних заходах (фото автора)

Юннати є активні пропагандисти боротьби за чистоту довкілля. Традиційно кожного року юні натуралісти беруть участь в екологічному місячнику «Садимо дерева – відроджуємо Землю».

Тому завдання педагогів ЛОЦЕНТУМ направити думки і дії підростаючого покоління в правильне русло, адже дуже складно передбачити, як відповість нам природа на наші постійні спроби її експлуатувати.

Метою екологічної освіти вихованців КЗ ЛОР «ЛОЦЕНТУМ» є:

- виховувати любов і повагу до природи;
- спонукати до збереження неповторної краси рідного краю;
- формувати почуття відповідальності за стан природного середовища;
- сприяти розвитку творчих здібностей учнів;
- учити самостійно мислити, знаходити раціоналізаторські рішення поставленої проблеми;
- навчити бачити красу навколо себе, розвивати почуття прекрасного;
- формувати почуття дбайливого ставлення до навколишнього середовища;
- формувати активну життєву позицію.

Серед багатьох екологічних проблем є одна, до якої всі ми причетні безпосередньо, повсякчасно, незалежно від віку, статі, професії чи роду занять. Це – проблема побутових відходів або сміття.

Сучасний рівень розвитку інформаційних технологій дещо переносить наших дітей у віртуальний світ і відмежовує їх від реальних проблем. Тому часто вони не звертають увагу на такі дрібниці, як, наприклад сміття, а точніше тверді побутові відходи (далі ТПВ), які через неналежне поводження людини є повсюди: у парках, скверах, на узбіччях, у зонах відпочинку інколи біля закладів освіти.

У повсякденних клопотах ми й не замислюємося наскільки це справа серйозна і скільки коштів, ресурсів та енергії втрачаємо в результаті неправильного поводження з відходами. А насправді кожен з нас здатен зупинити навалу сміття. Ще не так давно за історичними мірками люди і зовсім не замислювалися про сміття – практично все сміття можна було переробити. Сьогодні ж ситуація дещо змінилася, оскільки з'явилися нові види матеріалу, які не підлягають швидкому розкладанню, що дуже шкодить довкіллю.

Люди намагаються знайти правила безпечного життя у високотехнологічному суспільстві. Напевне кожен з нас замислювався над питаннями:

- Чи може сучасна людина жити в гармонії з природою?
- Чи завжди сміття небезпечне для людини і довкілля?
- Чи можна перетворити відходи у доходи?
- Як навчитися жити і не смітити?

Відповіді на ці питання незаперечно свідчать про те, що накопичення сміття та проблеми, пов'язані з цим, є складовою частиною життя людини. Тому починати вивчати і досліджувати ці теми потрібно з раннього дитинства.

У нашому закладі працюють творчі учнівські об'єднання, які охоплюють дітей дошкільного, молодшого, середнього та старшого віку. Подібні заняття розпочинаємо з пояснення, що таке відходи, як і чому вони утворюються, як зменшити їхню кількість, як перетворити їх з проблеми на джерело доходів; про те, що сміття погіршує не лише вигляд наших ландшафтів, а загалом стан довкілля.

Тому, розуміючи важливість цього напрямку роботи, в ЛОЦЕНТУМ розроблено ряд освітньо-виховних заходів присвячених темі сміття, де домінуюча діяльність має соціально – дослідницький характер.

Проводячи День відкрити дверей у КЗ ЛОР «ЛОЦЕНУМ» педагоги не забувають звертати увагу відвідувачів (батьків, дітей, вчителів) на актуальні проблеми сьогодення серед них і сортування сміття. Цікаво і змістовно провели майстер-класи, творчі години, «гру-тренажер» для дітей, яка відтворювала процес сортування відходів і була для них не тільки корисною, але й цікавою!

Найбільше діти сприймають інформацію, яка подана у вигляді гри. Педагоги ЛОЦЕНТУМ розробили ряд ігор, які застосовують в освітній діяльності. А саме:

- мозковий штурм «Сміття і відходи». Де діти дізнаються про типовий склад міських відходів. Кожному гуртківцю пропонується назвати слово що асоціюється у нього зі словами сміття і відходи і записати на плакаті;
- вправа «Перевтілення». На столі у педагога є кошик, в якому зібрані предмети (пластикова пляшка, поліетиленовий пакет, імітація автшини, використана тканина, вживаний папір, тощо), які перестали бути потрібними, тобто вони перетворились на сміття і їх збираються викинути. Дітям пропонується пофантазувати: якби я був..., я хотів би, щоб з мене зробили...;
- гра «Сортування сміття». Кожній групі роздаються по п'ять кольорових листочків (які відіграють роль контейнерів) з написами: ОРГАНІКА, ПЛАСТИК, СКЛО, ПАПІР, ПУНК ЗБОРУ ОСОБЛИВО НЕБЕЗПЕЧНИХ ВІДХОДІВ і смужки з написами різного виду сміття.

За 5 хвилин учасники повинні заповнити контейнери сміттям. Перемагає команда, яка швидше з цим впорається;

- вправа «Мікрофон». Діти відповідають на запитання «Що я буду робити, щоб світ навколо став чистішим...» і передають з рук в руки уявний мікрофон.

І на завершення таких ігор діти пишуть спільного листа із своїми пропозиціями що робити, щоб зменшити кількість сміття.

Педагоги для вихованців склали також інструктивні картки:

1. Як правильно сортувати сміття:
  - \* знайти де розміщені окремі контейнери для кожного виду сировини;
  - \* підготувати сировину для викидання (промити, висушити, зняти кришки тощо);

- \* зменшити об'єм пакувального матеріалу (розкласти коробки, випустити повітря з пляшок, спресувати бляшанки);
- \* у закладах освіти де є НДЗД, приватних будинках та дачах використовувати компостні контейнери (компостувати органічні відходи й перетворити їх у добриво).

2. Як правильно використовувати контейнери (рисунок 4):



Рис. 4 – Практичні заняття з теми про сортування сміття (фото автора)

- \* у контейнер «Папір» заборонено викидати: пергаментний папір, паперові рушники, серветки, туалетний папір, стаканчики для кави;
- \* у контейнер «Пластик» не можна викидати: зубні та інші пластикові щітки, вушні палички, тощо.

Всі побутові відходи слід ущільнювати, щоб вони займали менше місця.

Такою узагальненою інформацією про ТПВ, діти можуть поділитись вдома зі своїми батьками, знайомими (рисунок 5).

Для набуття досвіду практичної та експериментальної діяльності гуртківці проводять елементарні дослідження про склад сміття у власних родинках; про швидкість розкладу відходів під впливом різних факторів; пропонують власні вирішення проблеми надмірної кількості сміття та розробляють практичні поради щодо зменшення кількості сміття.

Кожного року з нагоди Всесвітнього дня вторинної переробки для вихованців Центру проводяться бесіди про особливості утворення твердих побутових відходів, бережливого й економного ставлення до побутових речей, використання вторинних ресурсів, як основного етапу енергозбереження в побуті. Для вихованців Центру проводяться заняття «Друге життя старим речам», під час якого діти виготовляють цікаві поробки із відходів (рисунок 6).

Рис. 5

Рис. 6 – Пр

Щорічно  
алу». Заходи

Також у  
хованцями б  
відходи!».

Після сер  
ню сміття ви  
реробки пер

\* з батар



Рис. 5 – Практичні заняття з теми про сортування сміття (фото автора)



Рис. 6 – Практичні заняття з теми вторинної переробки сміття (фото автора)

Щорічно 21 листопада проводять День «Використовуйте менше матеріалу». Заходи свята спрямовані на збереження навколишнього середовища.

Також у ЛОЦЕНТУМ започатковано збір використаних батарейок. Вихованцями було підготовлено презентацію «Живи чисто – сортуй побутові відходи!».

Після серії гурткових занять та масових заходів, присвячених сортуванню сміття вихованці нашого закладу зрозуміли, що звичне сміття опісля переробки перетворюється на ряд корисних речей. До прикладу:

\* з батарейок отримують цинк, марганець, нікель та вуглецеві сполуки;

- \* з макулатури виготовляють деякі види тканин, звичайний та туалетний папір,
- \* пластик перетворюють у спеціальні гранули, що згодом застосовуються у вигляді основної сировини для виробництва нових пляшок та інших речей;
- \* гумові покришки слугують матеріалом для виготовлення килимів для підлоги, підшви для взуття, покриття спортивних майданчиків тощо.

Основне завдання таких занять – донести до вихованців інформацію про те, що сміття природним шляхом розкладається дуже багато років, а доки розкладається — забруднює ґрунт, води, атмосферу. Чим власне й небезпечні сміттєві звалища. Але не менш важливо, інформувати гуртківців, що сміття може мати «друге життя», тобто його можна переробляти і робити корисні речі — майже все, що нас оточує, має потенціал для вторинної переробки. І першим кроком вторинної переробки є роздільний збір відходів — паперові окремо, залишки їжі окремо, скло, пластик, металеві банки тощо (рисунок 7).

Наші гуртківці розумні, цікаві, активні і прогресивні! Вони з задоволенням вивчають дані щодо екологічної ситуації у Львові та області, історичні довідки, шляхи та способи розв'язання подібних проблем у інших країнах, зокрема в наших сусідів у Польщі, аналізують причини, діляться своїм баченням та розробляють пропозиції для зміни свідомості в учнівському середовищі у питаннях поведінки з відходами та збереження оточуючого середовища.



Рис. 7 – Екологічна толока в місцевому парку (фото автора)

Для вирішення проблеми сортування сміття у нашому місті юннати визначили наступні етапи:

1. Багато яскравих, смітників для роздільного збору, з великими написами.
2. Реклама в ЗМІ, соціальні проекти, обговорення.
3. Мотиваційні програми, які б заохочували всіх до здачі вторинної сировини на переробку.
4. Штрафи та контроль на місцевому рівні.
5. Зацікавленість влади у вирішенні проблеми відносно сміття на користь громади.

Розумне використання ресурсів має увійти у повсякденну звичку. Це досить складно, але такий спосіб життя змусить стати нашою метою, якщо ми хочемо створити суспільство стійкого розвитку. Тому основним завданням педагогів КЗ ЛОР «ЛОЦЕНТУМ» є плекання любові до рідної землі не лише платонічно, але й практично. Кожен наш вчинок повинен не тільки не шкодити ближнім і довкіллю, але й робити наш світ кращим.

## ВИСНОВОК

У монографії розкрито комплекс небезпечних екологічних проблем, спричинених негативним впливом сміттєзвалищ на компоненти навколишнього природного середовища. Дані негативні наслідки спричинені неврегульованою проблемою поводження із побутовими відходами в Україні. Причому актуальність проробки даної проблематики в Україні щорічно зростає, адже збільшується кількість стаціонарних (діючих і виведених із експлуатації) та стихійних сміттєзвалищ та розширюється їхня географія по областях.

Сукупний негативний екологічний вплив та суспільна небезпека, яку спричиняють загорання на сміттєзвалищах, ведуть до зростання запиту на наукові дослідження спрямовані на проведення процесів моніторингу на сміттєзвалищах, деталізованого вивчення впливу відходів на компоненти довкілля, на розробку механізмів оптимізації системи сортування, збору, транспортування, складування побутових відходів, розробки та реалізації інфраструктурних проектів спрямованих на залучення сучасних технологій з утилізації та переробки побутових відходів, реалізацію масштабних рекультивацийних проектів і перетворення вчорашніх небезпечних девастрованих місць на ландшафтні об'єкти, які виконують рекреаційну та природоохоронну роль.

Дуже важливим є розкриття ролі громадської ініціативи у питаннях збору та сортування побутового сміття, як засобу налагодження ефективної моделі поводження із побутовими відходами в урбанізованому середовищі, адже це є та важлива первинна ланка генерування побутових відходів. Тому наукова популяризація, просвітницька робота у суспільстві щодо питання поводження із побутовими відходами є вкрай важливою.

Виходячи із того, що негативний вплив на довкілля може мати транскордонний характер, важливим є обмін теоретичним досвідом, науковими напрацюваннями, реалізація спільних наукових проектів різного рівня складності та масштабності.

Практично усі грані зазначених питань, про що свідчить дана колективна наукова монографія, успішно реалізуються через міжнародний проект "Екологістика – вдосконалення управління звалищами твердих побутових відходів у Львівській області".



Спільними зусиллями науковці України та Республіки Польща вирішують комплекс актуальних наукових питань, розробляють механізми, практичне втілення яких, допоможе підвищити рівень екологічної безпеки сміттєзвалищ та звести до мінімуму можливий негативний вплив їх на довкілля. Дане поєднання наукових зусиль на тривалій основі, в майбутньому принесе значний природоохоронний результат.

Василь Попович

Однією із найбільш складних і небезпечних екологічних проблем України у XXI столітті, яка має виражено негативний вплив на компоненти довкілля, є проблема утворення значної кількості твердих побутових відходів та неналагодженість раціональної моделі поводження із ними. Наслідком невирішеності цього питання є забруднення компонентів навколишнього природного середовища: едафотопів, атмосферного повітря, підземних та поверхневих вод, практично докорінна трансформація раніше природно сформованої ландшафтної структури, видозміна рослинного та тваринного біорізноманіття на забруднених територіях. (...) Монографія має виражений природоохоронний характер, вона стане важливою ланкою, спрямованою на мінімізацію рівня екологічної та пожежної небезпеки в зоні впливу сміттєзвалищ та відновлення девастрованих ландшафтів України.



ISBN 978-83-961824-7-0