

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ  
ТАРАСА ШЕВЧЕНКА  
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ФІЗИЧНОЇ ГЕОГРАФІЇ ТА ГЕОЕКОЛОГІЇ**

На правах рукопису

УДК: 504.064

**ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНОГО ВПЛИВУ  
ПОЛІГОНУ ТПВ НА ЛАНДШАФТИ  
(НА ПРИКЛАДІ ГЕОЕКОСИСТЕМИ СМІЛЯНСЬКОГО ПОЛІГОНУ)**

Галузь знань: **10 «Природничі науки»**

Спеціальність: **106 «Географія»**

Освітня програма: **«Природнича географія»**

Кваліфікаційна робота магістра  
студентки 2-го курсу  
освітнього рівня магістр  
Вавер Марії Янівни

Науковий керівник: к. х. н., доцент  
кафедри фізичної географії та  
геоекології  
Михайленко Валерій Петрович

**КИЇВ – 2023**

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>		<b>3</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>		<b>6</b>
<b>1.1.</b>	Концепція збалансованого розвитку у сфері управління відходами	<b>6</b>
<b>1.2.</b>	Конструктивно-географічні дослідження антропогенно-змінених геоекосистем	<b>9</b>
<b>1.3.</b>	Ландшафтно-геохімічні бар'єри: забруднення ґрунтового покриву	<b>10</b>
<b>РОЗДІЛ 2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>		<b>13</b>
<b>2.1.</b>	Загальна фізико-географічна та кліматична характеристика	<b>13</b>
<b>2.2.</b>	Басейнова структура території та гідрологічні особливості	<b>16</b>
<b>2.3.</b>	Ґрунтовий та рослинний покрив	<b>17</b>
<b>РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНОГО ВПЛИВУ ПОЛІГОНУ ТПВ НА УРБОГЕОСИСТЕМУ</b>		<b>20</b>
<b>3.1.</b>	Урбогеосистема міста Сміли, як джерело надходження відходів	<b>20</b>
<b>3.2.</b>	Теплове забруднення ландшафтів: вплив полігону на мікроклімат території	<b>23</b>
<b>3.3.</b>	Забруднення ґрунтового покриву	<b>26</b>
<b>3.3.1.</b>	Забруднення важкими металами	<b>26</b>
<b>3.3.2.</b>	Еколого-гігієнічна оцінка ґрунту	<b>29</b>
<b>3.4.</b>	Вплив об'єкту на водні ресурси	<b>30</b>
<b>3.5.</b>	Стан рослинного покриву	<b>31</b>
<b>3.6.</b>	Вплив місця складання відходів на здоров'я населення	<b>37</b>
<b>РОЗДІЛ 4. ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ ДЕВАСТОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ</b>		<b>38</b>
<b>4.1.</b>	Фіторемедіація як технологія рекультивації сміттєзвалищ	<b>38</b>
<b>4.2.</b>	Міжнародний досвід застосування практики фіторемедіації	<b>40</b>
<b>РОЗДІЛ 5. ПЕРСПЕКТИВИ РЕМЕДІАЦІЇ ГЕОЕКОСИСТЕМИ СМІЛЯНСЬКОГО ПОЛІГОНУ ТПВ</b>		<b>43</b>
<b>5.1.</b>	Рекомендації щодо мінімізації негативного впливу полігону на довкілля	<b>43</b>
<b>5.2.</b>	Підбір рослин для ремедіації ґрунтів геоекосистеми Смілянського полігону ТПВ	<b>45</b>
<b>ВИСНОВКИ</b>		<b>46</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>		<b>50</b>
<b>ДОДАТКИ</b>		<b>56</b>

## ВСТУП

*Актуальність теми.* В Україні упродовж багатьох років застосовувалась практика складування відходів на полігонах та сміттєзвалищах, які експлуатуються без дотримання екологічних норм, що призводить до засмічення та деградації ландшафтів у загальнодержавному масштабі.

Фрагментація природно-територіальних комплексів призводить до порушення потоку енергії, речовин та інформації у ландшафтах. В умовах недостатнього регулювання природокористування це спричиняє кризові екологічні ситуації, особливо навколо урбогеосистем міст та техгеоекосистем промислових комплексів.

Збереження ландшафтів, як інтегруючого цілого та просторової ділянки сталого розвитку, є одним із ключових напрямів міжнародного природоохоронного співробітництва в Європі. Україна є стороною багатьох міжнародно-правових актів природоохоронної тематики та програм співпраці щодо реалізації концепції збалансованого розвитку.

Підписання Угоди про Асоціацію з ЄС (2014 р.) зобов'язало Україну наблизити своє законодавство у сфері управління відходами до законодавства ЄС. В числі основних цілей Стратегії поводження з ТПВ в Україні значне скорочення кількості полігонів, тобто кластерного підходу відповідно до вимог Директиви 1999/31/ЄС про захоронення відходів [9].

Розташування міських полігонів ТПВ близько до селитебних зон, а також земель сільськогосподарського призначення створює високі ризики для здоров'я населення, оскільки ці об'єкти є джерелом надходження у довкілля важких металів, звалищних газів, мікробіологічного забруднення ґрунтового покриву та теплового забруднення ландшафтів.

*Об'єктом вивчення* конструктивно-географічного дослідження є міський біогеоценози.

*Предметом дослідження* – зміна еколого-геохімічного стану, а також геохімічна трансформація компонентів довкілля територій, що перебувають під впливом різноманітних викидів, пов’язаних з ТПВ.

*Мета роботи* – вивчення стану та прогнозування шляхів розвитку девастрованих ландшафтів та фацій урбогеосистеми м. Сміли загалом та її окремих компонентів, а також вплив міського полігону ТПВ на прилеглі території та їхні біогеосистеми.

Завданнями є:

- формування загальної фізико-географічної характеристики довкілля;
- визначення ландшафтної структури території дослідження;
- вивчення масштабу та інтенсивності антропогенного і технічного впливу на урбогеосистему;
- визначення ландшафтно-геохімічні бар’єрів;
- дослідження впливу полігону ТПВ на навколишнє середовище;
- аналіз ймовірних ризиків для здоров’я мешканців м. Сміла від полігону;
- дослідження міжнародного досвіду фіторемедіації;
- здійснення підбору рослин для фіторемедіації;
- розроблення рекомендації щодо зменшення негативного впливу Смілянського полігону на довкілля;

При виконанні роботи були використані наступні *методи дослідження*: універсальні загальнонаукові методи, системний підхід, методи теоретичного аналізу, ландшафтно-геохімічний підхід, ландшафтно-екологічний аналіз, аналіз матеріалів космічної зйомки, статистичні методи обробки даних.

Методологічною основою роботи є Директиви ЄС, законодавчі акти щодо раціонального природокористування та охорони ландшафтів, державні стратегії щодо втілення концепції збалансованого розвитку, містобудівна документація,

матеріали науково-практичних конференцій та проєктів, начальні посібники, фундаментальні праці з ландшафтознавства та геохімії ландшафтів.

Структурно кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел, що налічує 51 найменування та 7 додатків. Основний зміст роботи викладено на 62 сторінках та містить 3 таблиці і 22 рисунки.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** оцінка впливу на довкілля, кластер, ландшафт, важкі метали, геоекосистема, фітореємедіація

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1. Збереження ландшафтів в контексті сталого розвитку

Антропогенна трансформація природних територій спричиняє зникнення та деградацію природних ландшафтів, а також зниження їх стійкості.

Раціональне використання ландшафтів є одним з ключових напрямів реалізації концепції збалансованого розвитку, який був проголошений на міжнародній конференції ООН в Ріо-де-Жанейро (1992 р.) у «Порядку денному на 21 століття» [13].

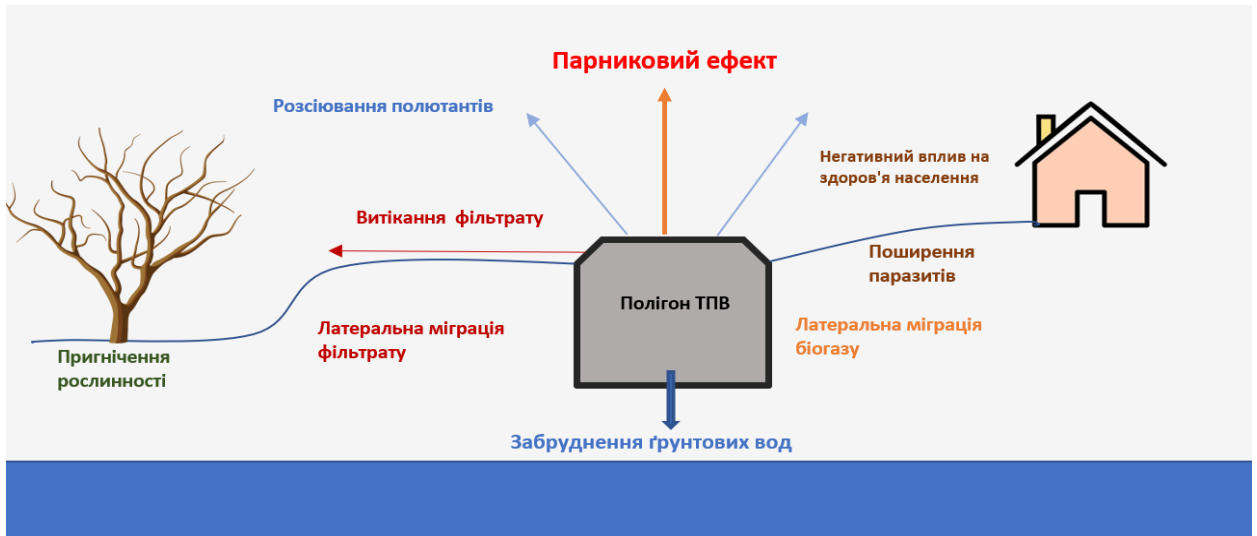
Поводження з відходами є проблемним питанням, яке висвітлюється і в Цілях сталого розвитку (ЦСР) – ЦСР 12.3 та 12.5. А також, це пов'язано з іншими цілями, такими як, сталий розвиток міст та спільнот, інновації та інфраструктура, збереження екосистем (ЦСР 9, 11, 15) [2].

Одним з найважливіших міжнародних документів, який регулює діяльність щодо збереження ландшафтного різноманіття є – Європейська конвенція про ландшафти (Флоренція, 2000 р., Україна доєдналась у 2005 р.), яка сприяє управлінню, плануванню, охороні ландшафтів та співпраці між державами [26, 33].

Українська система управління відходами ґрунтується на принципах, що використовувались у 1970-х роках, які передбачали розміщення відходів на полігонах без їх попередньої обробки (рис. 1.1.) [16].

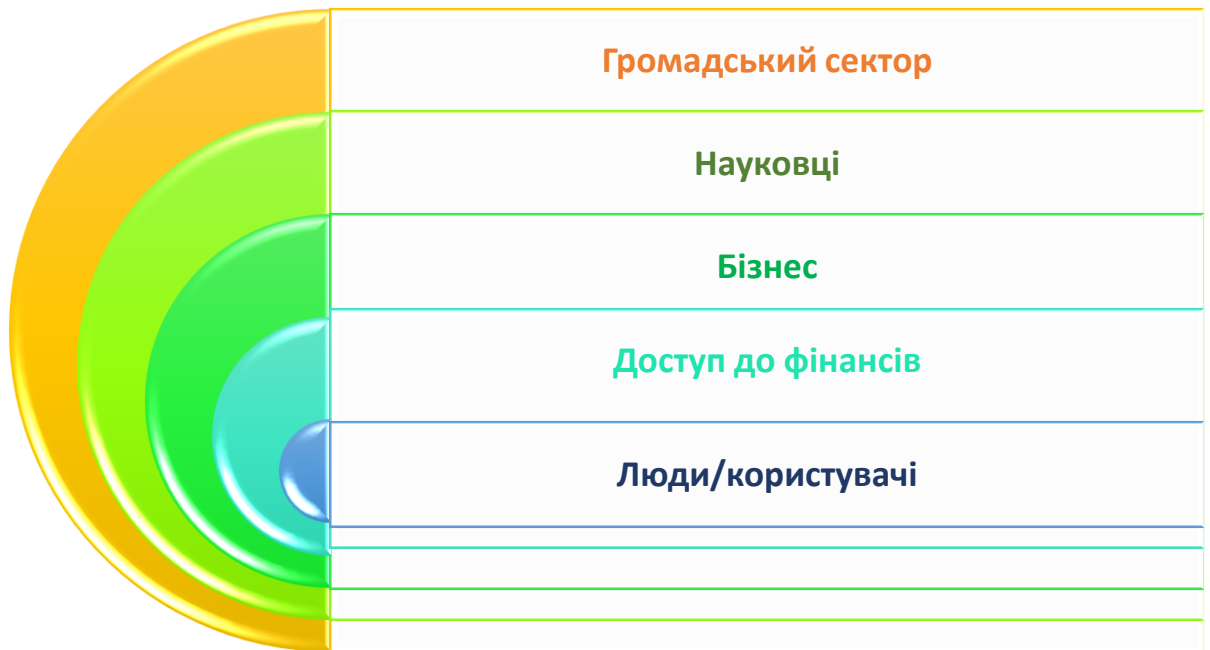
Інтеграція геоecологічного та ландшафтного поглядів у сферу прикладних і соціальних наук є одним з шляхів вирішення «конфліктів» природокористування та зменшення антропогенного впливу на ландшафти згідно принципів збалансованого розвитку.

Одним з проявів такої кроссекторальної інтеграції можна вважати кластерний підхід у сфері поводження з відходами.



**Рис. 1.1. Геоєкологічний вплив звалищ на довкілля**

Кластер є системою самостійного управління, що поєднує аспекти організаційно-правового, технологічного, морально-етичного та економічного характеру управління відходами (рис. 1.2.).



**Рис. 1.2. Структура кластерної моделі стейкхолдерів [16]**

Основою законодавства ЄС щодо управління побутовими відходами є резолюція ООН 70/1 «Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері збалансованого розвитку до 2030 р.» [46].

Цілі, які сформульовані в резолюції, спрямовані на досягнення збалансованого розвитку усіх трьох компонентів сталого розвитку: економічного, екологічного та соціального, завдяки впровадженню циркулярної економіки. Згідно з прогнозами Світового банку, до 2050 року щорічна кількість відходів збільшиться на 70% [51].

Відповідно до стратегій [23] передбачається, що в Україні до 2030 року 50% відходів спрямовуватимуться на перероблення, а з 6000 полігонів/звалищ буде лише 300 полігонів, що будуть відповідати європейським вимогам.

Однією з стратегій Європейського Зеленого Курсу (European Green Deal) є прагнення до нульового забруднення навколишнього середовища та мінімізації утворення токсичних речовин [35].

Кілька законів ЄС про відходи оновлюються в рамках Європейського Зеленого Курсу. Зокрема, Директива 2008/98/ЄС «Про відходи...» від 19.11.2008 року встановила п'ятиступеневу ієрархію управління відходами, яка включає запобігання утворенню, повторне використання, рециклінг, відновлення та видалення [9].

Директива (ЄС) 2018/851 доповнила директиву 2008/98/ЄС з урахуванням сучасних викликів, пов'язаних з підвищенням ефективності використання викопних ресурсів та впровадження циркулярної економіки [27, 31].

Крім того, директива передбачає зменшення глобальних харчових відходів на душу населення на 50% на рівні роздрібної торгівлі та споживання до 2030 року.

Разом з питаннями забруднення ландшафтів полігонами ТПВ та несанкціонованими сміттєзвалищами важливо розглянути, як ресурси для вторинного використання та джерела енергії, включаючи використання звалищного газу в рамках Кіотського протоколу [11].

Отже, забруднення ландшафтів місцями розміщення ТПВ (сміттєзвалища/звалища) є проблемним питанням, яке потребує вирішення в розрізі збалансованого природокористування, ландшафтного планування та концепції збалансованого розвитку.

## **1.2. Конструктивно-географічні дослідження антропогенно-змінених геоекосистем**

Дослідження ландшафтів, як об'єктів господарського використання вимагає проведення послідовних етапів, одним з яких є ландшафтознавчий аналіз досліджуваної території. Важливими аспектами цього дослідження є оцінювання ступеня антропогенної перетвореності ландшафтів, їх стійкості та функціонування сформованих у процесі природокористування ландшафтно-технічних систем. На основі результатів типологічного аналізу ландшафтно-технічної структури формується ландшафтна карта, яка дозволяє об'єктивно відобразити диференціацію території на типологічні природні комплекси. Для планування культурних ландшафтів на ландшафтних картах необхідно відображати характер техногенного впливу на ПТК, їхні зміни під впливом техногенних факторів, а також надавати рекомендації щодо формування культурного ландшафту [4].

У фундаментальних працях Гродзинського М. Д., Глазовської М.А., Арманда О. Д., Солнцевої Н. П. та інших ландшафтознавців поняття «стійкості» є – здатністю до самовідновлення, самоочищення та інші процесів, в результаті яких зберігається чи відновлюється «вихідна» структура ландшафту після антропогенного впливу [4,6,7,8].

Серед складових ландшафту, властивості яких відіграють найважливішу роль у формуванні умов перебігу цих процесів – літологічна основа, ґрунтовий та рослинний покрив, умови зволоження, експозиція схилів.

Дослідження ландшафтних комплексів, їх складових та елементів дозволяє оцінювати та передбачати взаємодію з техногенними забрудниками [13].

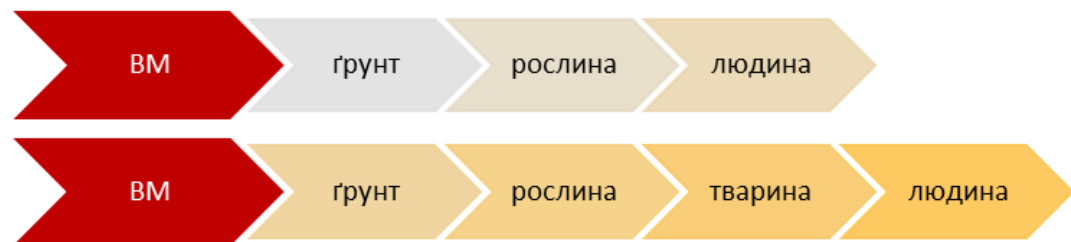
Ґрунтовий покрив ландшафтів, який є природним комплексом, відіграє важливу роль у вивченні стійкості ландшафту до забруднень, оскільки має здатність утримувати політанти [3, 28, 30].

### 1.3. Забруднення ґрунтового покриву: ландшафтно-геохімічні бар'єри

Ландшафтно-геохімічні умови – ключова складова природних умов території, часто зміна цих умов є наслідком антропогенного впливу. При цьому виникає порушення геохімічних циклів, і як результат формуються антропогенно змінені ландшафтні комплекси [21, 14]. Дослідження ландшафтно-геохімічних умов території висвітлюється у роботах Б.Б. Полинова, М.А. Глазовської, О.І. Перельмана, М.С. Касимова, Н.П. Солнцевої, Л.Л. Малишевої, Л.М. Шевченко, Ю.Г. Тютюнника, у яких сформульовано основні положення сучасної геохімії ландшафтів.

Ґрунт – є депонуючим середовищем, який акумулює у собі забруднювальні речовини, зокрема важкі метали. Ґрунтовий покрив межах геоекосистеми полігону ТПВ є техноедафотопом, а одним з головних джерел його забруднення – фільтрат.

Важкі метали (ВМ) – це група стійких поллютантів із щільністю понад 5 г/см<sup>3</sup>, які є токсичними та мають здатність до накопичення у живих організмах. Їм характерна властивість міграції у системах:



Важкі метали є природними складовими ґрунтів та відіграють роль важливих мікроелементів (Zn, Mn, Ni, Cu), антропогенний вплив на ландшафти та педосферу, зокрема спричиняє накопичення цієї групи хімічних сполук у ґрунтах, що має негативний вплив на біогеоценози та здоров'я населення. Забруднені важкими металами ґрунти становлять серйозну проблему для довкілля та здоров'я людини, яка все ще потребує ефективного та доступного технологічного вирішення [30].

Ландшафтно-геохімічна система (ЛГС) – ландшафтний комплекс, що зазнають змін геохімічних процесів у просторі та часі під впливом природних та

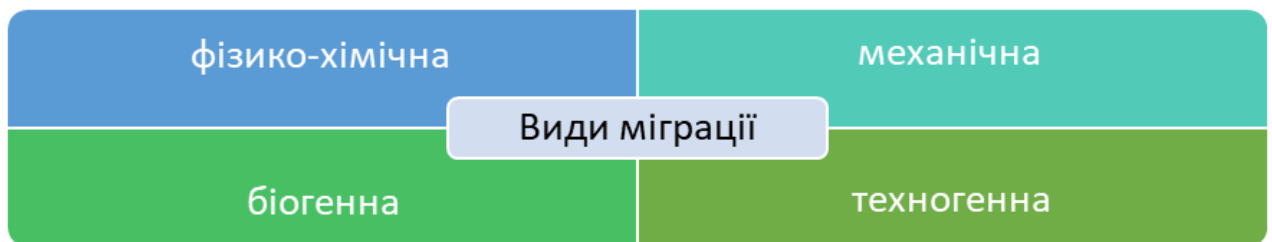
антропогенних факторів. Основний акцент ставиться на фізико-хімічних характеристиках ландшафтів, процесах міграції та геохімічних зв'язках, перерозподілі хімічних елементів та розподілі сполук, що мають природне або техногенне походження.

Класифікація ландшафтно-геохімічних систем за О. І. Перельманом базується на виділенні таксонів елементарних та геохімічних ЛГС (ряд, група, тип, родина, клас, рід і вид) [21].

За визначенням М. А. Глазовської, геохімічна структура ландшафтів характеризується чергуванням зон вилуговування і збагачення, їх співвідношенням у просторі, речовинним складом, формою та розмірами. Це тлумачення може бути корисним при вивченні змін геохімічних параметрів антропоізованих ландшафтів, з урахуванням природних та антропогенних факторів формування вказаних складових ландшафтно-геохімічної структури [6, 14].

У зв'язку зі складністю геохімічної структури ландшафтів, можна виділити окремі фактори або властивості, які можна розглядати, як самостійні структури в контексті конкретних досліджень. Для вивчення ландшафтно-геохімічних особливостей території, використовуються основні типи ландшафтно-геохімічних структур: елементно-компонентна, каскадна, міграційна та бар'єрна.

Залежно від форм руху матерії, з якими пов'язане переміщення речовини, розрізняють такі види міграції (рис 1.3.):



**Рис. 1.3. Види міграції речовин [14]**

Для аналізу ландшафтно-геохімічних особливостей розрізняють різні типи міграційних потоків в елементарних ландшафтно-геохімічних системах (ЕЛГС). Міграційні потоки можна розділити на внутрішні циклічні, які включають біологічний кругообіг речовин, та внутрішні спрямовані, до яких належить латеральна та радіальна міграція.

Латеральна міграція, що полягає в переміщенні сполук залежно від перепаду висот між ЕЛГС, може бути спрямованою або циклічною, та вона сприяє міжтериторіальному обміну речовин та диференціації хімічних речовин між ЕЛГС [14].

Тож, аналіз ландшафтно-геохімічних умов території дослідження дозволить визначити «ключові» ділянки забруднення та можливі шляхи міграції поллютантів у ландшафті.

## РОЗДІЛ 2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1. Загальна фізико-географічна та кліматична характеристика

За фізико-географічним районуванням територія дослідження приурочена до Придніпровської правобережної височинної області (рис. 2.1.), яка знаходиться у межах Лісостепової зони.

Урбогеосистема міста Сміли знаходиться в центральній частині Черкаської області на берегах водосховища, створеного на річці Тясмин (права притока р. Дніпро) та відноситься до Городищенсько-Кам'янського фізико-географічного району. Досить поширені ландшафти а зонального типу, саме – заплавні, це пояснюється густотою гідрологічної мережі [5].

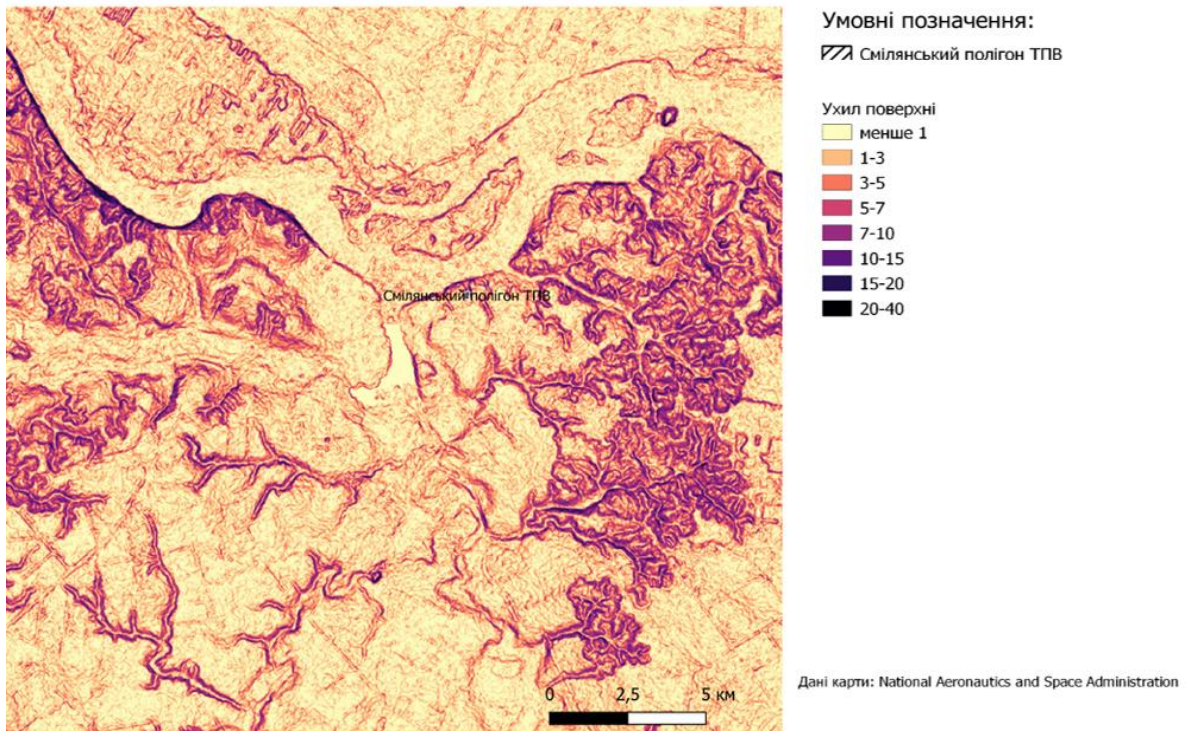
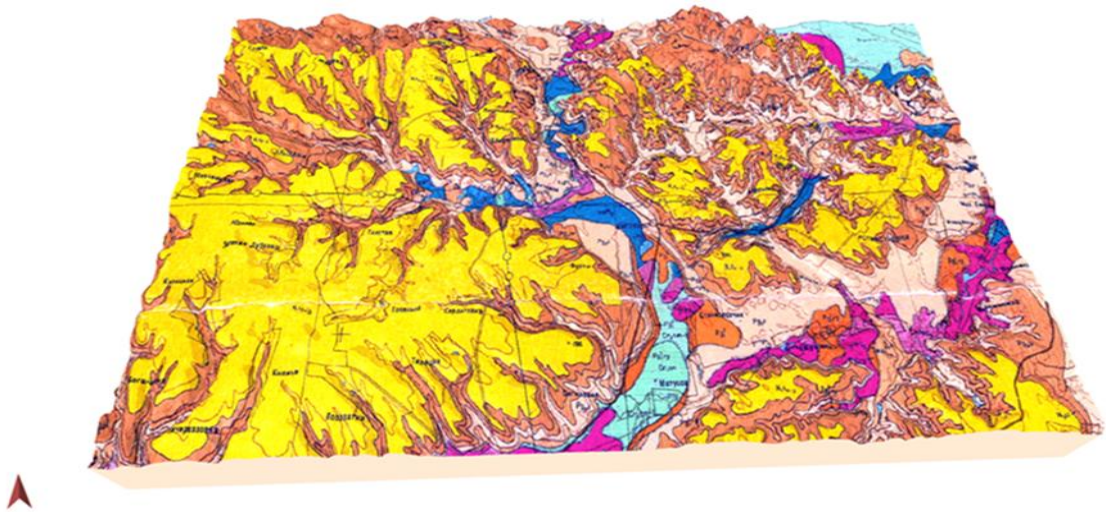


Рис. 2.1. Ухил поверхні

**Фізичні аргументи ландшафтогенезу. Літологічні.** Особливістю природних умов є те, що крейдові, палеогенові і неогенові відклади залягають вище місцевих базисів ерозії. У сучасній ландшафтній структурі області виявляється вплив лесових порід, які широко поширені. Докембрійські граніти, гнейси, магматити, сієніти та базальти, що є кристалічними породами, високо підняті й відслонюються на вододільних просторах, а також по річкових долинах. На більшій частині території антропогенні відклади, зокрема лесоподібні суглинки, залягають на цих породах (рис 2.2.).



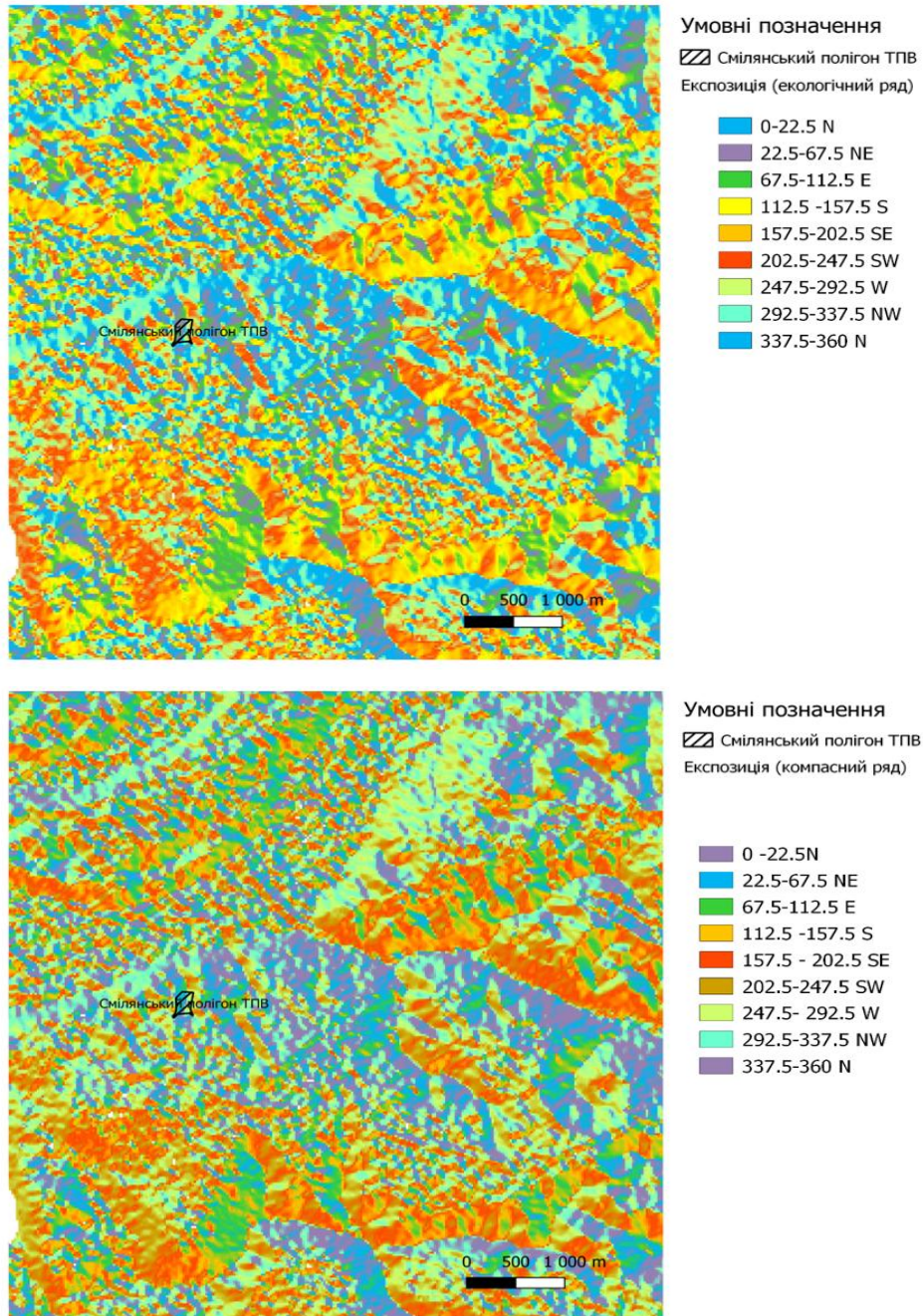
**Рис. 2.2. Неогенові відклади досліджуваної території**

**Морфологічні.** Рельєф ландшафтів приурочених до Українського щита залежить від структури кристалічних порід, що включають антиклінорії та синклінорії, розташованих в меридіональному та субмеридіональному напрямках.

Хвилясто-рівнинні ландшафти виникають через нерівні поверхні цих порід. У різних частинах регіону виявляються еродовані місцевості з глибокими ярами.

**Кліматогенні чинники ландшафтогенезу.** Поля і градієнти основних факторів. Середня температура липня  $+20^{\circ}\text{C}$ , січня  $-6^{\circ}\text{C}$ . Сумарна сонячна радіація складає  $4000-4200$  МДж/м<sup>2</sup> за рік. Альbedo в середньому становить 18%, а отже відбита радіація становить  $720-756$  МДж/м<sup>2</sup> за рік. Радіаційний баланс за рік на даній території змінюється від 1800 до 1900 МДж/м<sup>2</sup>. А отже, ефективне випромінення становить 1480 МДж/м<sup>2</sup> (рис. 3.3. – 3.4).

В середньому за рік від 35 до 70 днів з туманами. Найбільша кількість приземних інверсій у період з квітня по жовтень [5].



**Рис. 3.3. та 3.4. Типології інсоляційних місцеположень (екологічний та компасний ряди) [за даними 43]**

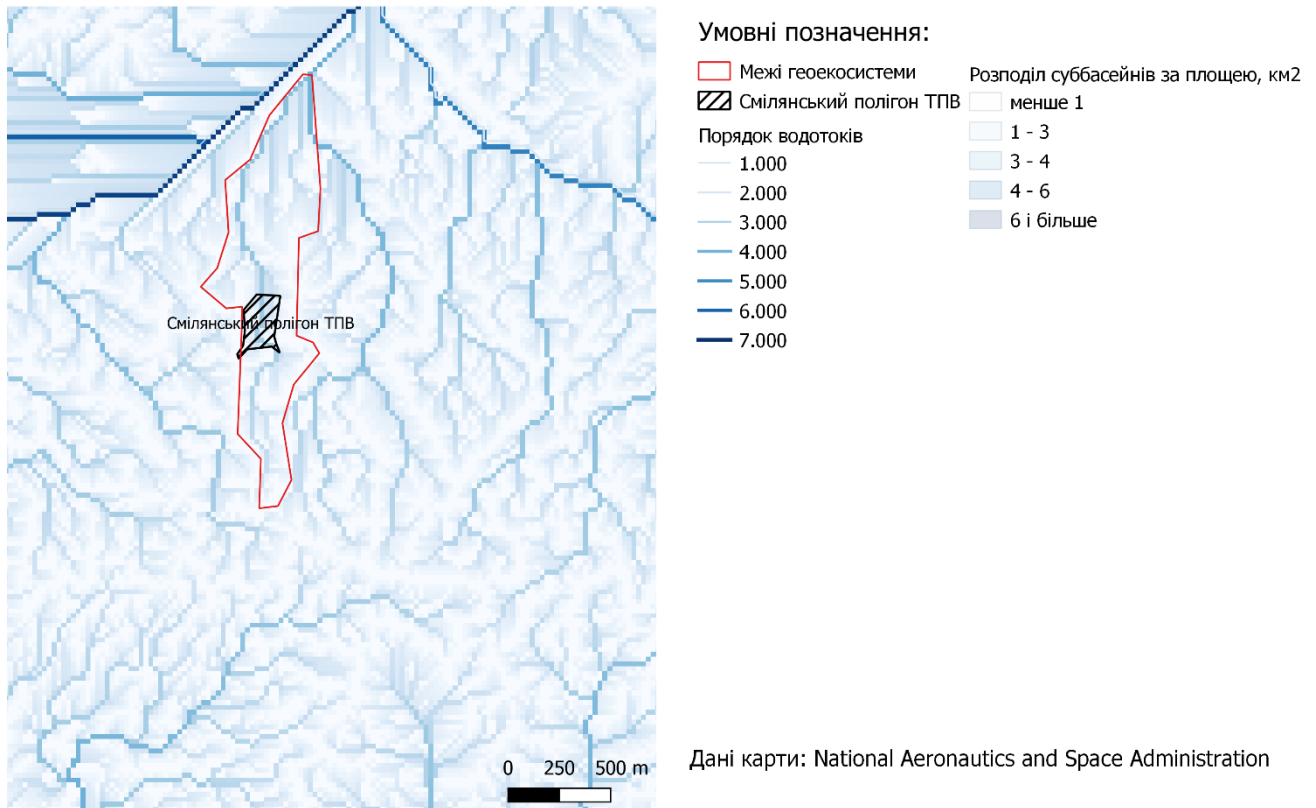
Часті весняні та осінні заморозки. Річна сума опадів коливається залежно від пори року від 575-550 мм. Коефіцієнт зволоження 1.5 –1.8 [5, 12].

Густина глибинного теплового потоку від 40 до 50 мВт/м<sup>2</sup> є фоновим значенням для території дослідження, як і для всієї лісостепової зони. Таким чином, ландшафти території дослідження належать до субмезотермних природних територіальних комплексів.

Отже, досліджувана територія складається з фацій, що чергуються від місцевих вододілів до водотоків в межах одного водозбірного басейну. На цій території відбувається латеральна міграція хімічних елементів, яка закінчується в акумулятивній ландшафтно-геохімічній системи – ландшафтно-геохімічній арені. Оскільки на цій території представлені різні геохімічні ландшафти, розташовані в різних геохімічних спряженнях від елювіальних до супераквальних, то розподіл поллютантів та форми їх міграції будуть відрізнятися. Характер морфологічної будови створює умови для переважання виносу та міграції речовин з верхньої частини схилу до нижньої частини, де вони відкладаються в конусі виносу та донних відкладах річки Тясмин. У теплий період року температурний режим сприяє активному атмосферному розподілу поллютантів, тоді як у холодний період ця активність зменшується.

## **2.2. Басейнова структура території та гідрологічні особливості**

Під час виконання бакалаврської роботи було виконано визначення меж геоекосистеми полігону та прилеглих геоекосистем за басейновим принципом. Для проведення аналізу рельєфу було використано цифрову модель висот. Вхідні дані були отримані з набору даних NASADEM. За допомогою інструментів WhiteboxGIS було визначено водотоки (порядок водотоків – за методом Хортон-Страхлера).



**Рис. 3.5. Гідрологічний аналіз території**

Отже, об'єктом дослідження є фація урбогеосистеми міста Сміли, межі геоекосистеми полігону ТПВ було визначено за допомогою гідрологічного аналізу рельєфу.

### **2.3. Ґрунтовий та рослинний покрив**

Ґрунтовий покрив на урбогеосистеми міста та прилеглих територій значно змінений антропогенною діяльністю.

На вододільних ділянках значні площі займають чорноземами глибокими та чорноземами опідзоленими (малогумусні), які зазнають значної площинної та водної ерозії (рис. 3.6).

Важливе значення у процесі ґрунтоутворення відіграють ґрунтоутворюючі породи – і суглинисті та супіщані лесовидні породи. Для долини р. Тясмин (рис.3.7.)

характерні супіщані та лучні глибоко-слабосолонцюваті, лучно-болотні ґрунти (поширені у заплаві річки та днищах балок) [5].

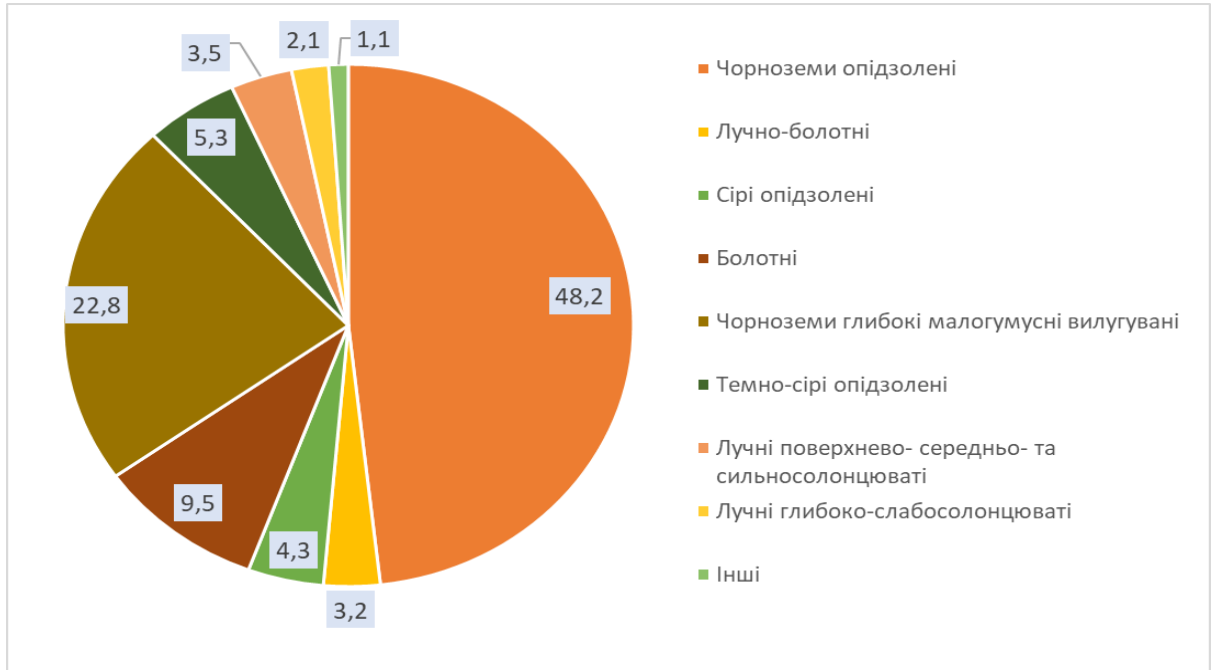


Рис. 3.6. Структура ґрунтового покриву [5, 24]

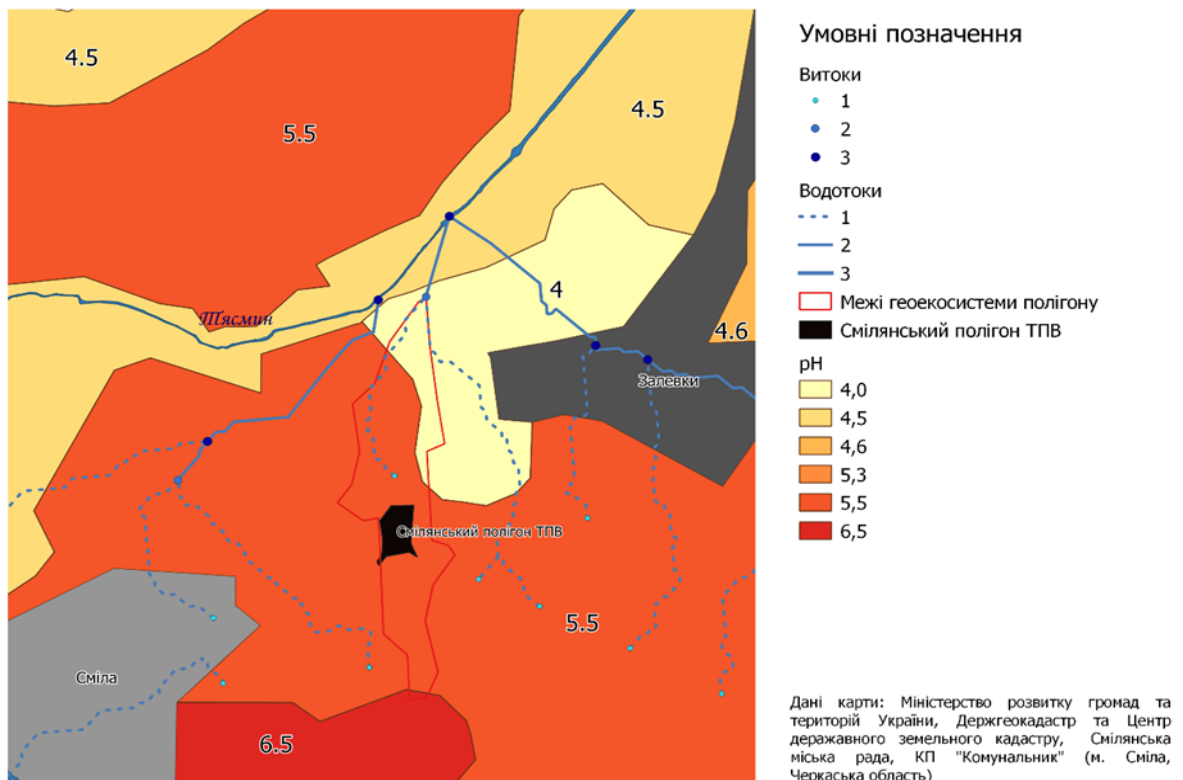


Рис. 3.7. Кислотність ґрунтів

Рослинний покрив території дослідження значно змінений. У долинах річок Тясмин та Ірдинь, на заплавах збереглися значні площі напівприродної рослинності. На схилах яружно-балкової мережі збереглась природно-степова рослинність. По периферії водних об'єктів поширена прибережно-водна рослинність. Значні площі займають широколистяні ліси (дубово-соснові та дубово-грабові) [12, 24].

За ландшафтно-геохімічним районуванням територія полігону розміщується в зоні зі здатністю до самоочищення та акумуляції. Поширені ці ландшафти на лесах і кристалічних породах. У їх межах добре виявляється низхідна і висхідна міграція хімічних елементів, а також площинний змив важких металів з ґрунтовим шаром і розвантаженням ґрунтових вод у зниженій частині рельєфу (долини річок, дно ярів). Ці процеси сприяють очищенню ландшафтів від техногенного забруднення.

## РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНОГО ВПЛИВУ СМІЛЯНСЬКОГО ПОЛІГОНУ ТПВ НА УРБОГЕОСИСТЕМУ

### 3.1. Урбогеосистема міста Сміли, як джерело надходження відходів

Сміла відноситься до середнього за кількістю населення міста, тут проживає 68,8 тис. осіб, яке щорічно продукує від 25 до 28 тис. м<sup>3</sup> відходів щороку. Його площа 3973 га. Населений пункт розташований на берегах річок Тясмин, яка є правою притокою р. Дніпро та Сріблянки (ліва притока р Тясмин).

Для господарства міста характерні транспортні, промислові та функції забезпечення сільського господарства. Територію міста структурно можна поділити на три основні зони: західну, східну та південну (рис. 3.1.).

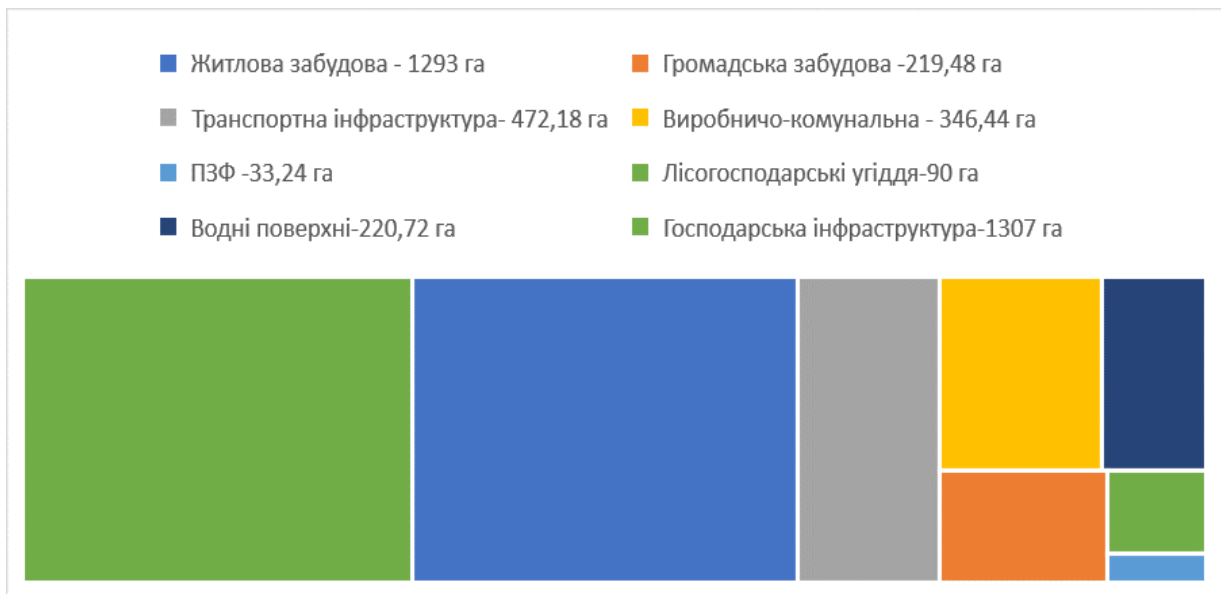


**Рис. 3.1. Функціональне зонування м. Сміла**

Ці зони перетинаються залізничними магістралями. Багато великих промислових підприємств розташовані в північно-західній, південно-західній, центральній частині міста та біля станції ім. Т.Г. Шевченка [5].

За ландшафтно-функціональним призначенням можна виділити наступні складові (рис. 3.2.):

- *житлова забудова* (багатоквартирний житловий фонд – 61,0 тис. м<sup>2</sup> (382 будинків від 1-14 поверхів), 1(2)-кімнатних житлових будівель типу садибного на 1-2 поверхах – 544,8 тис. м<sup>2</sup>);
- *виробнича* (промислова зона, комунально-складська, виробнича зона сільгоспідприємств);
- *рекреаційна та природоохоронна* (21 об'єкт природно-заповідного фонду);
- *транспортна* (залізничні магістралі, районні, сільські транспортні шляхи, національні автомобільні дороги державного значення Н-1 та Н-16).



**Рис. 3.2. Розподіл функціональних зон міста [5]**

Здійснення господарської діяльності в межах кожної з перелічених ландшафтно-функціональних складових призводить до утворення відходів. Складування відходів на сміттєзвалищах, час експлуатації яких перевищує 20 років є типовою практикою поводження з відходами в Черкаській області – міські полігони ТПВ міст Умань, Ватутіне, Черкаси перевантажені, так як і Смілянський полігон [5, 31].

Таблиця 3.1.

### Техніко-економічні показники полігону [19]

№	Характеристика	Одиниця виміру	Показники
1.	Площа сміттєзвалища ТПВ	м <sup>2</sup>	39549
2.	Проектна потужність	тонна	575000
3.	Площа покриття	м <sup>2</sup>	8552,5
4.	Загальна місткість сміттєзвалища (проектна)	тис. м <sup>3</sup>	622,5
5.	Відсоток заповнюваності	%	102,8
6.	Термін експлуатації	рік	34

На цьому сміттєзвалищі складується: побутове сміття від житлових будівель, громадських споруд та підприємств (рис.3.3.).

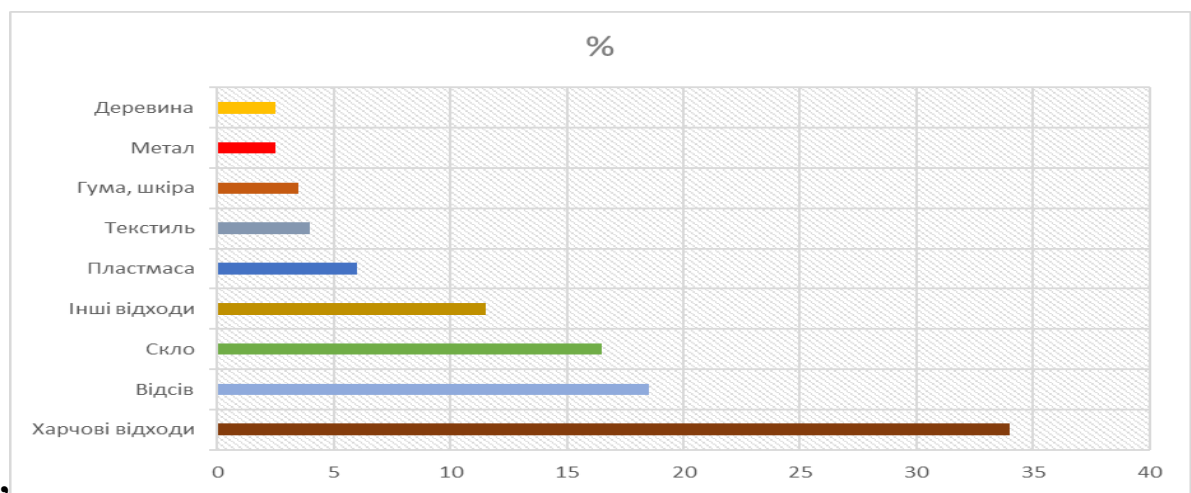


Рис. 3.3. «Типовий» склад відходів [19]

### 3.2. Теплове забруднення ландшафтів: вплив полігону на мікроклімат території

Метан, який звільняється під час розкладу органічних відходів на сміттєзвалищі, є парниковим газом, який ефективніше утримує тепло в атмосфері у порівнянні з вуглекислим газом. Викиди метану складають 14% від світових викидів парникових газів. Загалом звалищні гази, що виділяються зі сміттєзвалищ, містять сполуки, які можуть пригнічувати стан рослин та мати негативний вплив на населення, зокрема сірководень, аміак, оксиди азоту (Додаток Г, Д, Ж).

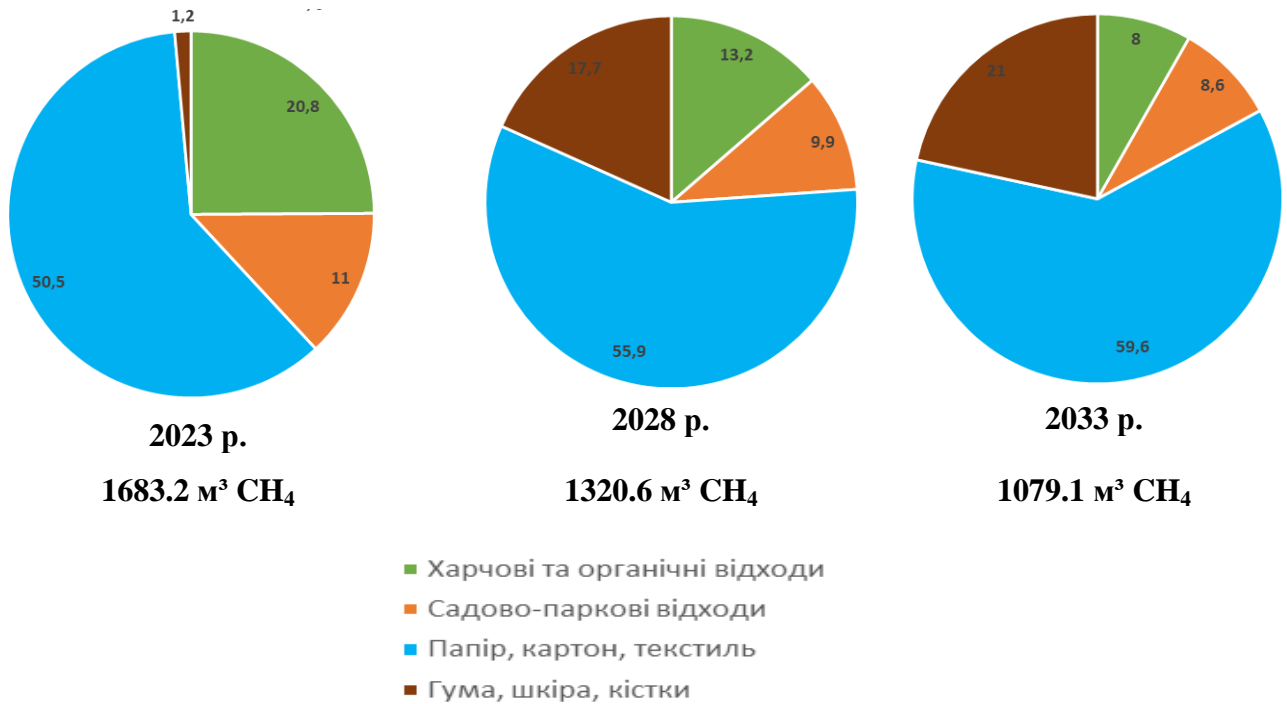
Директива ЄС про полігони (1999/31/ЄС) вводить зобов'язання для країн Європейського союзу щодо зменшення викидів метану. Поширеною практикою є використання цього парникового газу для виробництва енергії, інша практика – спалювання у факелах. Ці заходи спрямовані на покращення показників системи управління відходами та кліматичної складової, загалом [9].

Виділення метану із тіла полігону залежить не тільки від кліматичних та фізико-географічних умов, ключову роль відіграє морфологічний склад відходів та час експлуатації складування відходів.

Використання поліетиленових виробів, упаковок для харчових продуктів призводить до збільшення кількості горючих органічних речовин у складі ТПВ. Одним з основним джерел утворення метану є органічні відходи, кількість яких залежить від пори року.

Процеси деструкції в тілі полігону для різних типів відходів відбуваються з різною швидкістю (рис. 3.4.).

Для органічних відходів та паперу характерні анаеробні процеси розкладання. В той час, як гума, поліетиленові та шкіряні вироби меншою мірою піддаються цим процесам, але легше піддаються горінню. У складі продуктів горіння полімерів знаходяться отруйні речовини, до складу яких входять чадний газ, хлороводень, оксиди азоту, ціаністий водень, оксиду вуглецю, діоксиду сірки, фтористий водень та стійкі органічні забрудники [17, 25].

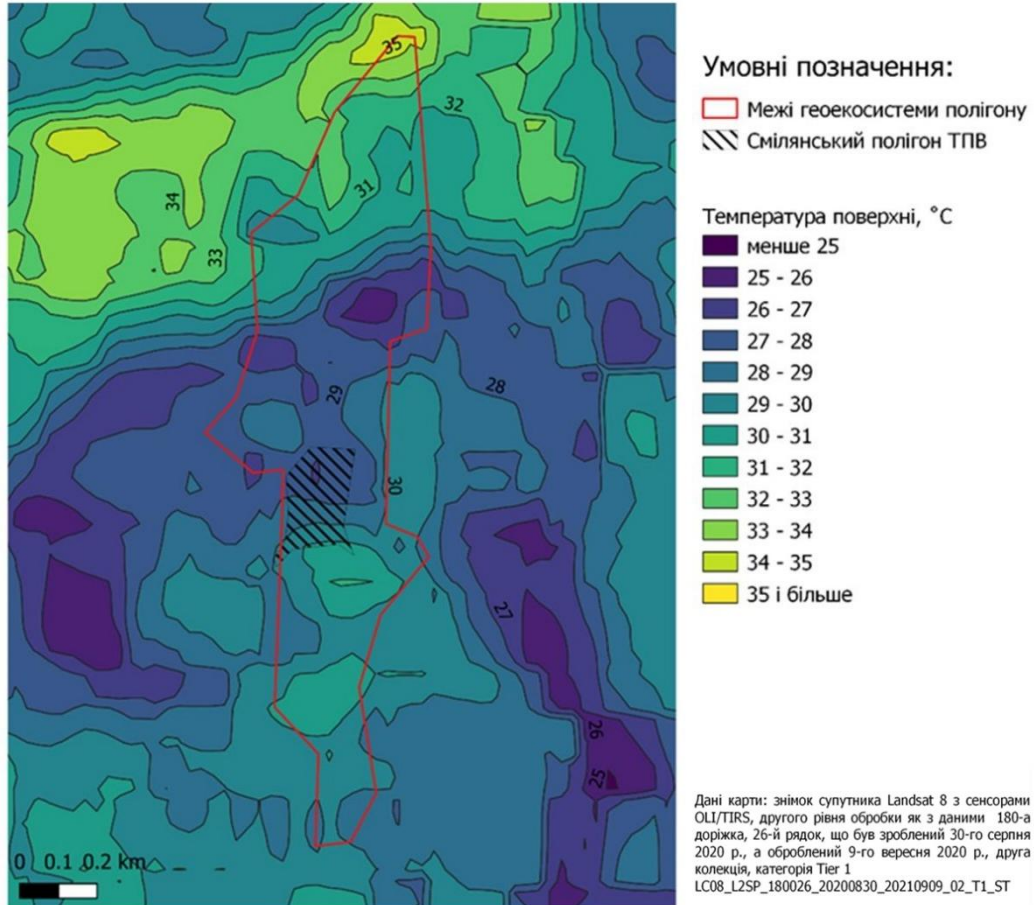


**Рис. 3.4. Динаміка утворення метану в залежності від морфологічного складу відходів Смілянського полігону за 2023–2033 рр. (Додаток А)**

Ще одним джерелом теплового забруднення ландшафтів є пожежі на сміттєзвалищах, одними з головних причин їх виникнення є підпали та неефективне управління з відходами [15].

За останні роки було зафіксовано 2 масштабних пожежі на Смілянському сміттєзвалищі 15 червні 2019 та 6 вересня 2020 року. Для оцінки теплового забруднення ландшафтів місцями видалення відходів можна застосовувати космічні знімки супутника серії Landsat 8 з сенсором Thermal Infrared Sensor (TIRS) 2-канальним скануючим інфрачервоним радіометром. Отримання термодинамічних даних передбачає комп'ютерну обробку даних космічного знімку у довгохвильовому інфрачервоному діапазоні [27, 29].

На рис. 3.5. відображено аналіз температури поверхні за 2 дні після пожежі (9 вересня 2020 року).



**Рис. 3.5. Температура поверхні після пожежі (09.09.2020 р.)**

Отже, контроль за емісією метану зі звалищ є важливою складовою стратегії зменшення негативного впливу відходів на довкілля, а здійснення моніторингу пожеж та визначення масштабів теплового забруднення від полігонів можна здійснювати за використання космічних знімків з термальним сенсорами.

### 3.3. Забруднення ґрунтового покриву

#### 3.3.1. Забруднення важкими металами

Для різних типів ґрунтів території дослідження значення рН знаходиться у діапазоні від рН 4 (кисле середовище) до рН 6,5 (нейтральне середовище), тобто більшість ґрунтів в межах фації мають нейтральну реакцію рН, що обмежує рухливість важких металів. Рухливі водорозчинні форми більшості важких металів за таких умов переходять у нерозчинну фазу.

Фільтрат є джерелом важких металів у ґрунті, він формується упродовж всього року. У ландшафті важкі метали нестійкі та постійно переходять з однієї форми в іншу. Це призводить до створення зон підвищеної екотоксичності в ґрунті, де відбувається взаємодія металів з ґрунтом за допомогою різних фізико-хімічних процесів, таких як сорбція, осадження-розчинення та комплексоутворення. Швидкість та спрямованість цих процесів залежать від реакції середовища, гранулометричного складу ґрунту та вмісту гумусу [22].

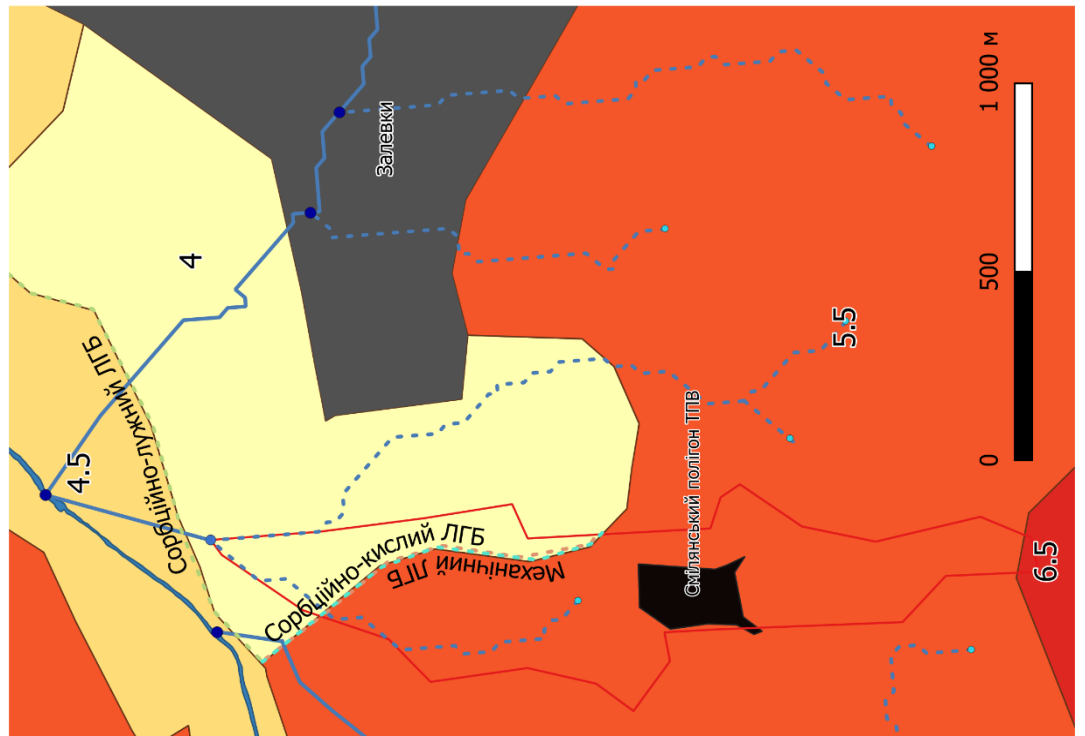
Рухомість важких металів залежить від складу ґрунтового розчину, де нейтральні та лужні ґрунти характеризуються низькою міграційною здатністю важких металів, що мають низьку розчинність оксидів та гідроксидів.

Рухомість важких металів збільшується внаслідок кислої реакції ґрунтового розчину. Існує взаємозалежність – рухливість значної кількості сполук у водних розчинах стає інтенсивнішою за низьких значень рН [1, 42].

Залежність від розчинності важких металів та їх токсичність можна розмістити у ряді [20, 42]:



Для визначення можливих ділянок ґрунтового покриву забруднених важкими металами було визначено ландшафтно-геохімічні бар'єри в межах досліджуваної території (рис. 3.6.).



- Умовні позначення**
- Геоекосистема полігону
  - Смілянський полігон ТПВ
- Витоки**
- 1
  - 2
  - 3
- Водотоки**
- - - 1
  - 2
  - 3
- Ландшафтно-геохімічні бар'єри**
- ⋯ Механічний ЛГБ
  - - - Сорбційно-лужний ЛГБ
  - - - Сорбційно-кислий ЛГБ
- pH**
- 4,0
  - 4,5
  - 4,6
  - 5,3
  - 5,5
  - 6,5

Дані карти: Міністерство розвитку територій України, Держгеокадастр та державного земельного кадастру, Смілянська рада, КП "Комунальник" (м. Черкаська область)

**Рис. 3.6. Ландшафтно-геохімічні бар'єри**

В межах території дослідження формуються 3 типи ландшафтно-геохімічних бар'єрів:

- механічний ЛГБ;
- сорбційно-кислий ЛГБ;
- сорбційно-лужний ЛГБ.

Відношення показників умов міграції у напрямі руху елементів до і після бар'єра називають *контрастністю бар'єру* і визначають як (формула 3.1.) [14]:

*Формула 3.1.*

$$S = m_1/m_2$$

$m_1$  — значення показника умов міграції ( $t, P, Eh, pH...$ ) до бар'єра;

$m_2$  — значення показника умов міграції після бар'єра.

За показник  $m_1$  і  $m_2$  було взято значення рН:

- для сорбційно-лужний ЛГБ  $S = 0,89$
- для сорбційно-кислого ЛГБ  $S = 1,38$

Чим більше значення контрастності і градієнта бар'єру, тим вища інтенсивність накопичення елемента.

Механічні бар'єри виникають при різкій зміні умов та факторів міграції, зокрема зміні гранулометричного складу ґрунту. Кислі чи лужні ЛГБ характерні для зон де відбувається контрастним значенням рН (щонайменше на +0,6 та -0,6) [14].

На сорбційно-кислому ЛГБ можуть осідати – Ва, Zn, Ni, U, Co, Pb, As, Cu, Cl, Si, Br, I, F, Cd, S, P, V, Mo, а на механічному – Co, Na, K, Cs, I, Fe, S [14, 20, 28].

Для дослідження відграє роль сорбційно-кислий та механічний бар'єри. Сполуки заліза та міді при потраплянні у ґрунт перейдуть у нерухому форму і акумулюються на ЛГБ за таких значень рН. З огляду на особливості рельєфу сполуки магнію, молібдену, що міститься у фільтраті можуть мігрувати з площинним змивом [14, 17].

Рослини поглинають Мо у формі молібдату ( $\text{MoO}_4$ ), що є найбільш поширеною формою в ґрунтах з  $\text{pH} > 5$ . За пробами фільтрату молібден має більше перевищення за нормою у 285 разів [32].

Значення молібдену (Мо) у еколого-геохімічних і агрохімічних процесах зумовлене його властивістю бути одночасно життєво необхідним та токсичним елементом (віднесений до 2-го класу небезпеки для ґрунту). Молібден є важливим фізіологічним елементом, оскільки він бере участь у фіксації атмосферного азоту, редукції нітратного азоту в рослинах, окислювально-відновлювальних процесах, вуглеводному обміні, синтезі хлорофілу [10].

Отже, ландшафтні комплекси території знаходяться під дією техногенного забруднення від полігону ТПВ, що призводить до зміни фонових значень ландшафтно-геохімічних умов. Для більш точного визначення переліку полютантів необхідно провести аналіз фільтрату для оцінки вмісту інших важких металів «характерних» (ртуть, кадмій, свинець, нікель) для місць накопичення відходів та ґрунтознавчі дослідження для визначення гранулометричного складу ґрунту та вмісту гумусу для комплексного аналізу ймовірних шляхів міграції важких металів.

### **3.3.2. Еколого-гігієнічна оцінка ґрунту**

Стан ґрунту має значний вплив на здоров'я людини, оскільки може бути джерелом і поширювачем різних інфекційних та паразитарних захворювань для людини. Збудники цих захворювань можуть бути передані людині через безпосередній або опосередкований контакт з ґрунтом, таким як пил, забруднені руки, харчові продукти, вода, обладнання, посуд та упаковки. Крім того, збудники можуть бути передані людині через тварин, гризунів та комах. Ґрунт, що містить значну кількість органічних речовин, може стати фактором передачі бактерій та

вірусів, що викликають кишкові інфекції, такі як дизентерія, тиф, паротити А і В, сальмонельоз, вірусний гепатит та псевдотуберкульоз [22].

За результатами санітарно-мікробіологічного дослідження проведеного 10 лютого 2023 року, зразок відібраного ґрунту за 100 м від сміттєзвалища відповідно 14 ДСП планування та забудови населених пунктів № 173-96 проба не відповідає нормам (Додаток Б). Такі дослідження проводиться КП «Комунальник» щоквартально, за аналізом наявних результатів мікробіологічних досліджень (дані за 2021-2023 роки) – техноедафотоп забруднений патогенною мікрофлорою.

### **3.4. Вплив об'єкту на водні ресурси**

В результаті атмосферних опадів, які потрапляють на поверхню полігону, який не захищений екраном, утворюється фільтрат. За обрахунками середньорічна кількість фільтраційних вод – 3218 м<sup>3</sup>.

За даними наданими КП «Комунальник» концентрація таких важких металів, як мідь, молібден, марганець, залізо перевищує нормативи. Варто зазначити, що сам полігон не є основним джерелом надходження у довкілля значної кількості Молибдену (концентрація 20,01 мг/дм<sup>3</sup> – норма <0,07) це наслідок вторинного забруднення ландшафту через роботу теплоелектростанції, яка спалює мазут (Додаток З).

Концентрація забруднень фільтрату перевищує забрудненість побутових стічних вод, їх біологічне споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) досягає 1000 мг/л. За результатами мікробіологічного аналізу води зі свердловини показав її невідповідність нормам, та перевищення вмісту патогенної мікрофлори (Додаток В). В той час, як проби на урізі води р. Тясмин біля річці сміттєзвалища не проводиться.

Фільтраційні води, що потрапляють до ґрунту, можуть забруднювати його та сприяти міграції небезпечних хімічних елементів до річки Тясмин. Дослідження ландшафтно-геохімічних умов показали, що деякі елементи не досягають річки через

бар'єри в ґрунті. Проте полютанти, які не зупиняються або частково зупиняються цими бар'єрами, рухаються вниз по схилу та потрапляють у річку Тясмин.

Відходи з полігону, що потрапляють у річку через фільтрацію, забруднюють її хімічними речовинами. Іхтіофана річки, може накопичувати небезпечні сполуки, а її вживання є небезпечним для здоров'я мешканців села Залевки та міста Сміли.

Через накопичення величезної кількості пластикових відходів з муніципальних та промислових джерел на полігонах, фільтрат звалищ стає значним резервуаром мікропластику [46], зокрема на Смілянському полігоні 6 % від загального складу відходів займають пластмаси [19]. Потрапляння мікропластику з фільтрату полігонів у навколишнє середовище може мати небажаний вплив на людину та біоту [47].

### 3.5. Стан рослинного покриву

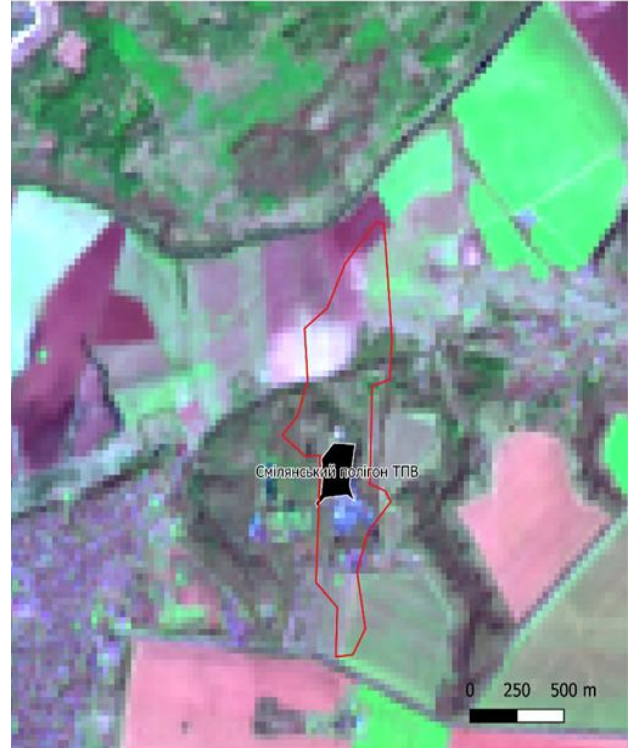
Рослини мають важливе значення для міграції хімічних елементів, яке є одним з найважливіших факторів. Вони беруть участь у геохімічному циклі мікроелементів та включають забруднення у харчові ланцюги. Рослини можуть зберігати мікроелементи, включаючи важкі метали, в своїх тканинах або на поверхні завдяки адаптації до змін хімічних властивостей навколишнього середовища. Це робить рослини проміжним резервуаром, через який мікроелементи переходять з ґрунту, води та повітря до тварин і людей [22, 23].

Для комплексної оцінки стану рослинного покриву та структури землекористування були використані дані Дистанційного зондування Землі, а саме здійснено інтерпретація комбінацій каналів супутника Landsat 8 OLI та TIRS [41].

За допомогою інтерпретації комбінацій штучні кольори (5–4–3), хибні кольори (7–5–3) та у справжніх кольорах (4–3–2) було визначено антропогенні зміни рослинного покриву, структуру землекористування [29].



**Рис. 3.7. Комбінація каналів 5-4-3**



**Рис. 3.8. Комбінація каналів 7-5-3**

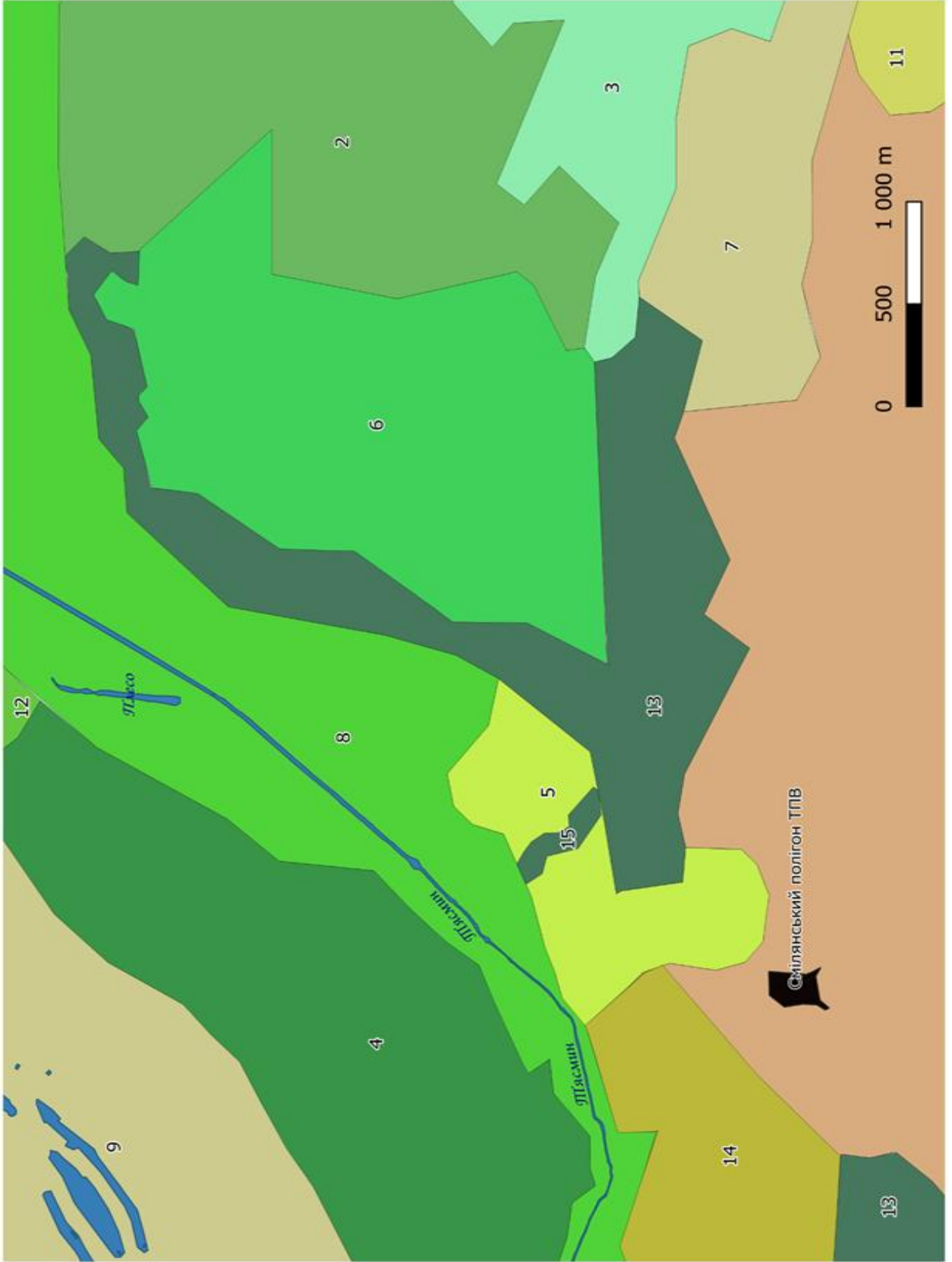


**Рис. 3. 9. Комбінація каналів 4-3-2**

За використання даних щодо ґрунтового та рослинного покритву, особливостей рельєфу та землекористування [36] було визначено ландшафтні комплекси території дослідження (рис. 3.10 та рис. 3.11).

- Смілянський полігон ТПВ
- Вототоки
- Ландшафтні комплекси
- Плaskі привододільні рівнини з чорноземами опідзоленими, що сформувались на лесових відкладах, під сільськогосподарськими культурами (1)
- Слабкопохилі схили з чорноземами опідзоленими, що сформувались на лесах, під сільськогосподарськими культурами (2)
- Спадисті схили з чорноземами опідзоленими під антропогенно зміненими дубово-грабовими лісами (3)
- Пологі схили з чорноземами опідзоленими, що сформувались на лесах, під широколистяними та хвойним лісом (4)
- Спадисті схили з піщаними ґрунтами, що сформувались на лесових суглинках, під сільськогосподарськими культурами (5)
- Пологі схили з сірими ґрунтами, що сформувались на лесових відкладах, під широколистяним лісом (6)
- Пологі схили з сірими опідзоленими ґрунтами, що сформувались на лесових відкладах, під чагарниковою рослинністю (7)
- Вирівняні заплави з лучно-болотними ґрунтами, що сформувались на алювіально-делювіальні відкладах під лучною рослинністю (8)
- Вирівняні супіщані заплави з лучно-болотними ґрунтами під різнотравно-осоковими асоціаціями (9)
- Пологі схили з темно-сірими опідзоленими ґрунтами, що сформувались на лесових відкладах, під сосновими лісами (11)
- Заплави з лучними повернево-середньо- і сильносолонцюватими ґрунтами, під лучною рослинністю (12)
- Населені пункти (13)
- Пологі схили з чорноземами опідзоленими, що сформувались на лесових відкладах, під сільськогосподарськими культурами (14)
- Слабкоспадисті схили з чорноземами глибокими малогумусованими вилугуватими, що сформувались на лесових відкладах, під трав'янистою рослинністю
- Днища балок та ярів з делювіальними відкладами під широколистяним лісом (15)

**Рис. 3.10. Умовні позначення до ландшафтної карти**



**Рис. 3.11. Ландшафтна карта**

Тож, в межах ландшафтно-геохімічних бар'єрів геоекосистеми полігону, де можуть накопичуватись важкі метали, вирощують сільськогосподарські культури, вживання цих рослин у їжу є небезпечним для здоров'я людей.

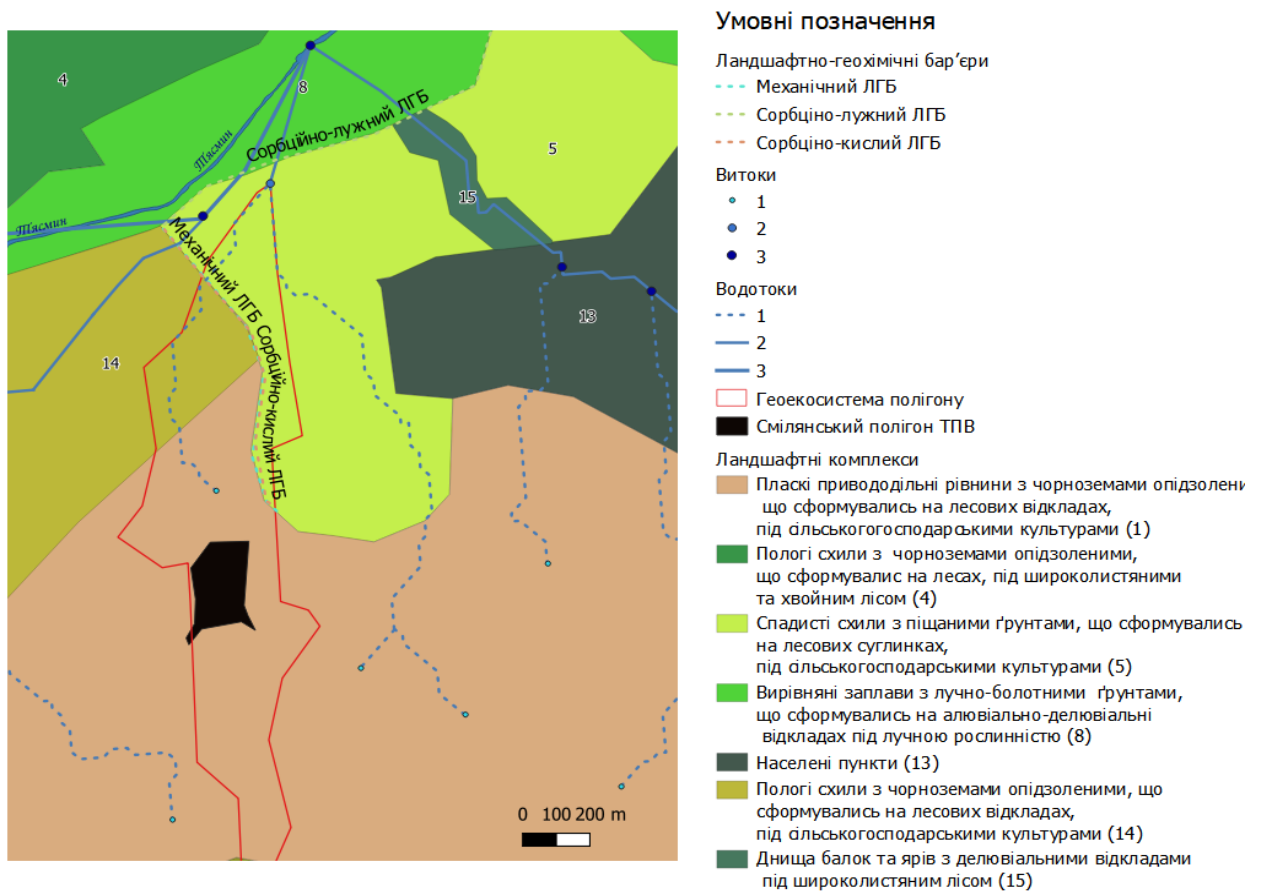


Рис. 3.12. Ландшафтна карта з ЛГБ

### 3.6. Вплив місця складування відходів на здоров'я населення

Сміттєзвалища, розташовані поблизу міст та сіл, мають значний негативний вплив не тільки на ландшафти, а й на здоров'я мешканців найближчих населених пунктів.

У разі пожеж на звалищах їдкий запах палаючих побутових відходів поширюється до селітебних зон, його вплив на організм людини у таких випадках відбувається миттєво. При цьому у атмосферне повітря потрапляють токсичні речовини, які утворюються при низькотемпературному горіння пластиків: від діоксиду азоту, який викликає подразнення дихальних шляхів, до стійких органічних забрудників, зокрема, діоксинів, що є канцерогенами та викликають генні мутації навіть при потраплянні мікроскопічних доз. Чадний газ є надзвичайно небезпечним, оскільки при взаємодії з оксигемоглобіном крові, він витісняє кисень, тоді кров втрачає здатність постачати його до клітин організму [22, 27].

Поліхлоровані дифеніли є складними хімічним сполуками з властивістю акумуляції в харчових ланцюгах, та можуть провокувати онкологічні захворювання. Раніше вони широко використовувались при виробництві електроприладобудування, фарб та чорнил, а з 1980-х років є забороненими для використання. Згорання ПХД призводять до утворення поліхлордифенілофуранів, при цьому продукти цього типу формуються при спалюванні міських відходів. Ртуть надзвичайно токсична, особливо якщо потрапляє через дихальні шляхи та до травної системи. На прикладі, м. Мінамата (Японія) значні концентрації ртуті викликають сліпоту, глухоту, порушення координації рухів [22].

Свинець, так само як ртуть і кадмій, мають здатність до випаровування і утворення аерозолів, які обумовлюють токсичний вплив на нирки під час процесу реабсорбції. Діти є особливо вразливою групою, надходження свинцю до їх організму може спричинити затримки розумового розвитку.

Отже, проживання у зоні впливу полігону та прилеглих територіях призводить до виникнення хронічних хвороб всіх життєво важливих систем організму людини.

## РОЗДІЛ 4. ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ ДЕВАСТОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ

### 4.1. Фітотремедіація як технологія рекультивації сміттєзвалищ

Фітотремедіація – це відносно новий підхід до видалення забруднювачів з едафотопів ландшафтів. Його можна визначити як використання рослин для видалення, руйнування або поглинання небезпечних речовин з навколишнього середовища. На жаль, навіть рослини, які є відносно толерантними до різних забрудників довкілля, часто залишаються малочисельними в присутності забруднювача [18].

Фітотремедіація використовує переваги того факту, що жива рослина може розглядатися як «насос» на сонячних батареях, який може витягувати і концентрувати певні забруднювальні сполуки з ґрунту.

Метали, на які спрямована фітотремедіація, включають свинець, кадмій, хром, миш'як і різні радіонукліди (табл. 4.1.). Такі рослини, як *Thlaspi*, *Urtica*, *Chenopodium*, *Polygonum sachalense* і *Alyssum*, мають здатність накопичувати кадмій, мідь, свинець, нікель і цинк і, отже, можуть розглядатися як непрямий метод очищення забруднених ґрунтів [18, 28, 39].

Таблиця 4.1.

Рослини-акумулятори важких металів [на основі 39]

<i>Рослини</i>	<i>Важкі метали</i>
<i>Brassica juncea</i> , <i>Eupatorium cannabinum</i> <i>Pelargonium hortorum</i> ,	<b>Pb</b>
<i>Pteris vittate</i>	<b>Arsenic (As)</b>
<i>Lolium perenne</i> , <i>Lactuca sativa</i>	<b>Ni, Co, Fe</b>
<i>Helianthus annuus</i>	<b>Cu, Zn, Pb, Hg, As, Cd, Ni</b>
<i>Typha angustifolia</i>	<b>Zn, Cu, Mn, Ni, Fe, Pb</b>

Існує кілька специфічних підгруп фіторемедіації металів, що розробляються в даний час.

*Фітоекстракція або фітонакопичення*, передбачає поглинання токсичних металів корінням рослин з подальшою транслокацією поглинутих металів у пагони і відкладенням у вакуолях, клітинній стінці, клітинній мембрані та інших метаболічно неактивних частинах рослинних тканин.

*Фітофільтрація* – при якій коріння рослин (ризофільтрація) або саджанці (бластофільтрація), вирощені в аерованій воді, осаджують і концентрують токсичні метали із забруднених стоків [18].

*Фітоволатилізація* – при якій рослини витягують леткі метали (наприклад, Hg і Se) з ґрунту і випаровують їх з листя [40].

*Фітостабілізація* – це процес вилучення компонентів з рослин, здатних знижувати рН ґрунту та утворювати комплекси металів. Рослини повинні бути ізольовані від дикої природи та сільськогосподарських угідь. При використанні цього методу необхідно враховувати кліматичні умови та біодоступність металів.

Після стабілізації забруднень рослинами їх необхідно утилізувати у відповідний спосіб. Деякі методи включають сушіння, спалювання, газифікацію, піроліз, кислотну екстракцію, анаеробне розкладання, хлорофілових волокон з рослин або захоронення, оскільки рослини легше утилізувати, ніж ґрунт [18].

Фіторемедіаційний потенціал рослин зазвичай оцінюють за допомогою визначення коефіцієнта біоконцентрації (Bioconcentration Factor), що описується як відношення концентрації забруднювача в частинах рослини до його концентрації в середовищі, та коефіцієнта транслокації, який визначається як відношення накопичення елемента в пагоні рослини порівняно з коренем рослини [39].

Місцем зростання рудеральних видів таких, як сарепська гірчиця, талабан, коноплі, лобода часто є землі забруднені ВМ. Таку властивість мають і деякі види диких злакових рослин [40].

Отже, процес фітореMediaції полягає у використанні рослин для очищення забруднених ґрунтів та водних джерел. Рослини можуть збирати забруднювальні речовини з навколишнього середовища, накопичувати їх у своїх тканинах та концентрувати, що дозволяє їх ефективно видалити з природного середовища.

ФітореMediaція є більш економічно ефективним та екологічно безпечним способом боротьби з забрудненням, а також може використовуватися для відновлення природних біотопів та збереження біорізноманіття.

#### 4.2. Міжнародний досвід застосування практики фітореMediaції

У прибалтійських країнах існувала значна кількість старих звалищ і сміттєзвалищ, розташованих поблизу річок і озер, у водозбірному басейні Балтійського моря. Ці девастованих ландшафти поступово відновлюють за допомогою використання технологій фітореMediaції.

У підрозділі розглянуто проекти щодо використання фітореMediaційних рослин для відновлення територій колишні сміттєзвалищ, у яких брали участь студенти кафедри фізичної географії та геоecології у попередні роки:

- ***Phytoremediation park for treatment and recreation at glasswork contaminated sites (PHYTECO), Естонія.*** Міжнародний проект «Парк фітореMediaції для лікування та рекреації на забруднених територіях склозаводів» фінансувався Шведським інститутом, та реалізовувався впродовж 2016-2017 рр. [48, 50].

Мета проекту – рекультивация полігонів скляних заводів у місті Еммабода, Швеція. Перший пілотний фітопарк, побудований у місті Орефорш, на землях, які колись були забруднені сполуками свинцю та арсену. Соняшник став основною рослиною-гіперакумулятором [45].

Перший план парку фітореMediaції був розроблений у 2015 році на місці старого звалища склозаводу «Орефорс». Основними цілями процесу проектування були очищення забруднюючих речовин за допомогою рослин, рекультивация території склозаводу після розкопок шляхом поєднання знань, накопичених в

Естонії, Україні та Латвії. Фіторемедіація використовувалась, як «зелена» технологія, для очищення ґрунту та води за допомогою рослин.

Велика кількість видів рослин була класифікована для фіторемедіації важких металів, таких як трави, соняшник, кукурудза, коноплі, льон, люцерна, тютюн, верба, індійська гірчиця, тополя, водяний гіацинт тощо. Рослини можуть іммобілізувати важкі метали в ґрунтах шляхом сорбції корінням, осадження, комплексоутворення або відновлення валентності металу в ризосфері – процес, відомий як фітоекстракція. Після фітоекстракції кожна рослина буде зібрана [44].

Методи утилізації забруднених рослин включають затверджені безпечні звалища, поверхневі водосховища, глибоке закачування у свердловини, компостування або спалювання. Традиційним і перспективним способом утилізації біомаси, отриманої в результаті фіторемедіації, є фіторемедіації є термохімічне перетворення [49].

- **«Closing the Life Cycle of Landfills».** Полігон Кудьяпе на острові Сааремаа був закритий і перетворений на фітопарк за допомогою фіторемедіації в рамках проєкту **«Завершення життєвого циклу полігону Кудьяпе, Саарема»**. Кудьяпе є всесвітньо відомим прикладом того, як деградовану і забруднену територію, зокрема важкими металами (Cr, Cu, Ni, Pb і Zn) можна перетворити на корисну суспільну власність з різноманітним використанням в якості громадської зеленої зони і центру відпочинку.

Партнери цього проєкту Тартуський Університету наук про життя (Естонія) та Ліннейський університет (Швеція) [39].

- **«Closing the Life Cycle of Landfills -Landfill Mining in the Baltic Sea Region for future».** Шведський інститут надав фінансову підтримку проєкту **«Завершення життєвого циклу звалищ – видобуток корисних копалин у регіоні Балтійського моря в майбутньому»**, пов'язаному з концепцією «за межами нульових відходів» у 2012-2015 рр.. Європейський фонд згуртованості та Естонський центр екологічних

інвестицій взяли участь у фінансуванні проєкту розкопок в Естонії, в якому взяли участь дослідники з 7 країн.

В рамках проєкту були запропоновані рішення щодо відновлення/запобігання забрудненню води і ґрунту та рекультивації земель. Відновлення ресурсів є однією з вигідних сфер отримання доходу для успішної реалізації проєктів з видобування корисних копалин. Представлено повномасштабні дослідження морфологічного складу відходів естонського полігону Кудяппе (о. Саарема, Естонія), полігону Хьогбюторп та полігону Віка у Швеції [38, 48].

Отже, практика фітореємедіації є ефективним інструментом для відновлення територій та може бути числі в межах фації, де знаходиться Смілянського полігону.

## **РОЗДІЛ 5. ПЕРСПЕКТИВИ РЕМЕДАЦІЇ ГЕОЕКОСИСТЕМИ СМІЛЯНСЬКОГО ПОЛІГОНУ ТПВ**

### **5.1. Рекомендації щодо мінімізації негативного впливу полігону на довкілля**

На території дослідження відзначається низький рівень якості ландшафтів. Смілянський полігон твердих побутових відходів (ТПВ) становить значну довготривалу екологічну небезпеку для прилеглих територій, тому важливим є мінімізація негативного впливу полігону на довкілля та здоров'я населення (табл. 5.1.).

Для зменшення деструктивного впливу на ландшафти при функціонуванні міського сміттєзвалища необхідно:

- провести відбір ґрунтових проб для геохімічного моніторингу території;
- здійснити відбір проб рослин, які зростають на геохімічних бар'єрах;
- виведення земель сільськогосподарського призначення у зонах ймовірного забруднення важкими металами;
- моніторингу стану поверхневих та підземних вод, зокрема відбирати проби на урізі води р. Тясмин біля полігону та у колодязях жителів с. Залевки;
- підвищити безпеки полігону під час його експлуатації (створення огорожі, наявність пожежних резервуарів з водою для гасіння пожеж);
- провести дегазацію полігону;
- підготувати полігон до рекультивації (здійснити «виїмку» відходів, які підлягають вторинному використанню);
- закрити полігон та здійснити його рекультивацію з використанням методів фіторе-mediaції.

В розрізі кластеру поводження з відходами важливо враховувати як геоекологічну складову, так і соціальну. Один із запропонованих управлінських заходів – встановлення ефективної системи роздільного збирання відходів у м. Сміла.

А також, підвищення екологічної культури серед населення, запровадження інформаційної кампанії щодо важливості роздільного збирання відходів. Забезпечити райони міста достатньою кількістю контейнерів для різних типів відходів.

*Таблиця 5.1.*

### Шляхи зменшення негативного впливу полігону на довкілля

<b>Виклики:</b>		
<b>1. Забруднення ландшафтів фільтраційним стоками</b>	<b>2. Ризики виникнення пожеж</b>	<b>3. Забруднення едафотопу важкими металами</b>
<b>Рішення:</b>		
1.1. пошук дієвих способів стабілізації концентрату;	2.1.дегазація сміттєзвалища;	3.1.здійснення геохімічного дослідження території;
1.2. посилення захисних екранів (дамби);	2.2.уникнення захоронення легкозаймистих відходів;	3.2. підбір рослин для здійснення фітореMediaції;
1.3. створення потужностей з очистки фільтрату.	2.3. моніторинг за забрудненням нижніх шарів атмосферного повітря.	3.3.впровадження практики фітореMediaції.

## 5.2. Підбір рослин для ремедіації ґрунтів геоекосистеми Смілянського полігону ТПВ

Рослини можуть видаляти органічні та неорганічні забруднювачі з ґрунту та води, використовуючи різні механізми залежно від виду рослин та умов навколишнього середовища. Взаємодія рослин з навколишнім середовищем (ґрунтом, водою і повітрям) та мікроорганізмами відіграє вирішальну роль у видаленні забруднювачів. Ефективність відновлення залежить від забруднювача, виду рослин і ґрунту. Біомаса та метаболізм рослин відіграють вирішальну роль в ефективності рекультивації, на яку впливають рН ґрунту, електропровідність, вміст органічної речовини, мікробіологічні процеси та інші зміни в ґрунті [18, 28, 42].

До рослин з високою толерантністю до солей Cu належать [34]:

- костриця червона (*Festuca rubra*);
- мітлиця кастильська (*Agrostis castellana*);
- тополя чорна (*Populus nigra*);
- верба лозова (*Salix viminalis* L).

Також, враховуючи характер забруднення території соняшник має здатність накопичувати у значній кількості Mn, Pb, Cd, Zn, Cu, As та Cr [35].

Підібрані рослини для фіторемедіації зможуть сформувати стійкій фітоценозу, який буде виконувати функцію запобігання міграції полютантів за межі забрудненої території та на поступове очищення едафотопу в процес біоаккумуляції полютантів. Проблемним питанням буде використання біомаси рослин-аккумуляторів ВМ або необхідність її спеціальної утилізації через накопичення високих концентрацій важких металів у рослинах.

## ВИСНОВКИ

Проведено фізико-географічне дослідження території урбогеосистеми м. Сміли. Показано, що досліджувана територія складається з фацій, що чергуються від місцевих вододілів до водотоків в межах одного водозбірного басейну. Геоекосистема міського полігону розташована в ландшафтно-геохімічному районі, який характеризується здатністю до самоочищення та акумуляції, особливо на лесах та кристалічних породах.

Складено та визначено 14 ландшафтних комплексів на основі даних щодо особливостей рельєфу, характеру ґрунтоутворюючих порід, структури землекористування, ґрунтового, рослинного покриву та інтерпретації космічних знімків восьмого супутника місії Landsat. Одержані результати показують, що характер морфологічної будови створює умови для переважання виносу та міграції речовин з верхньої частини схилу до нижньої частини, де вони відкладаються в конусі виносу та донних відкладах річки Тясмин. У теплий період року температурний режим сприяє активному атмосферному розподілу поллютантів, тоді як у холодний період ця активність зменшується. Ландшафти цієї території є підвищено чутливими до еколого-геохімічного навантаження.

В межах території дослідження було визначено 3 типи ландшафтно-геохімічних бар'єрів: механічний, сорбційно-кислий та сорбційно-лужний. Показано, що більшість ґрунтів у межах фації мають нейтральну реакцію рН – значення коливаються у діапазоні від 4 (слабокисле середовище) до 6,5 (нейтральне середовище). У разі надходження заліза та міді в ґрунт, вони будуть перетворені на нерухому форму та накопичуватися в межах ЛГБ при значеннях рН вище 4. Оскільки полігон на вершині спадистого схилу, сполуки магнію та молібдену, які містяться у фільтраті, можуть переміщуватися з поверхневим стоком.

В результаті дослідження було виявлено, що важкі метали можуть мігрувати по схилу, всередині ландшафтно-геохімічних бар'єрів геоекосистеми та надходити

до територій де вирощують сільськогосподарські культури. Вживання таких рослин у їжу може призвести до порушення функціонування життєво важливих систем організму людини. Також, іхтіофауна річки Тясмин, яка знаходить на відстані менше 2 км, може накопичувати в собі ці небезпечні сполуки, які мігрують по катені схилу від полігону.

Аналіз та обробка космічних знімків (зокрема, супутників серії Landsat), цифрових моделей висот (NASADEM), структури землекористування (Copernicus Programme) надав можливість комплексної оцінки стан ландшафтів при геоекологічному дослідженні. Методика дистанційного моніторингу полігонів ТПВ включає відбір космічних знімків з потрібними просторовими та часовими характеристиками для зйомки території дослідження, а також їх подальшу обробку та інтерпретацію. Пожежі на сміттєзвалищах є джерелом забруднення атмосфери та теплового забруднення. Для зменшення пожежної небезпеки доцільно використовувати космічні знімки з термальним сенсором Thermal Infrared Sensor (TIRS) супутника серії Landsat 8.

Було з'ясовано, що здійснення господарської діяльності в межах ландшафтно-функціональних складових урбосистеми м. Сміли призводить до утворення від 25 до 28 тис. м<sup>3</sup> відходів щороку, що формує значне антропогенне навантаження.

Показано, що накопичення на полігонах пластикових відходів з муніципальних та промислових джерел призводить до утворення мікропластику і надходження його з фільтратом у ґрунтові води. Смілянський полігон ТПВ стає значним резервуаром пластикових відходів, які займають 6 %.

При загоранні відходів на звалищі поширюється їдкий запах, який впливає на організм людини миттєво, а токсичні речовини, що утворюються внаслідок пожеж мають негативний вплив на стан здоров'я місцевих громад. Технодафотоп полігону забруднений патогенною мікрофлорою.

Відходи на сміттєзвалищах є джерелом утворення таких токсичних сполук, як поліхлоровані дифеніли, ртуть, свинець та інші важкі метали, які можуть

акумулюватися в харчових ланцюгах та викликати онкологічні захворювання, хвороби нирок та негативно впливати на розумовий розвиток дітей.

З'ясовано, що на досліджуваній території спостерігається низький рівень якості ландшафту, що пов'язано з існуванням Смілянського полігону твердих побутових відходів, що становить значну довготривалу екологічну загрозу для прилеглих територій та здоров'я населення. Тому дуже важливо зменшити негативний вплив полігону на довкілля, зокрема очистити едафотоп від важких металів застосовуючи фіторемедіацію, який полягає у використанні рослин для очищення забруднених ґрунтів та водних джерел.

Аналіз кращих доступних технологій відновлення девастрованих ландшафтів показав, що в прибалтійських країнах (Естонія, Латвія, Литва) фіторемедіація ефективно застосовується для боротьби з забрудненням водою наслідками промислової діяльності та забрудненнями від сільського господарства. Ці країни взяли на озброєння фіторемедіацію як ефективний та екологічно безпечний метод очищення води. Успішний досвід використання фіторемедіації може стати прикладом для України, яка шукає ефективні методи боротьби з забрудненням водою та ґрунтового покриву, утворених внаслідок бойових дій на тимчасово окупованих територіях.

На прикладах технологій фіторемедіації, впроваджених в країнах Балтійського регіону підібрані рослини які характеризуються високою толерантністю до солей міді. В їх числі: костриця червона (*Festuca rubra*), верба лозова (*Salix viminalis* L), мітлиця кастильська (*Agrostis castellana*), тополя чорна (*Populus nigra*). Враховуючи характер забруднення території, показано, що соняшник має здатність накопичувати у значній кількості Mn, Pb, Cd, Zn, Cu, As та Cr. Рослини, відібрані для фіторемедіації, можуть створити стійкий фітоценоз, що допоможе запобігти розповсюдженню забруднення за межі забрудженої території та поступово очистити ґрунт.

Для зменшення негативного впливу, який спричинює міське сміттєзвалище на природні ландшафти, рекомендовано :

1. Взяти проби рослин, які зростають на геохімічних бар'єрах, проведення для геохімічного моніторингу на території.
2. Вилучити землі сільськогосподарського призначення з зон, які ймовірно забруднені важкими металами.
3. Проводити моніторинг стану поверхневих та підземних вод, включаючи забір проб на урізі води річки Тясмин біля полігону та у колодязях місцевих жителів; покращити безпеку полігону під час його функціонування (створити огорожу та мати пожежні резервуари з водою для гасіння пожеж).
4. Одним з ключових моментів є вилучення звалищних газів з тіла полігону. Підготовка полігон до рекультивації (вилучення відходи, які можуть бути використані повторно) є ключовим моментом перед закриттям полігону та рекультивації за допомогою фітореMediaції.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буц Ю.В., Крайнюк О.В., Барбашин В.В., Кобзін В. Г. Пірогенний вплив на геохімічну міграційну здатність важких металів. // «Людина та довкілля. Проблеми неоекології». 2018. № 1–2.– Х. : Вид-во ХНУ, С. 110-111.
2. Вавер М. Я. Поводження з твердими побутовими відходами в Україні. *Перспективні напрями наукових досліджень*: матеріали LV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (24 листопада 2020, Львів). Львів: 2020 – С. 77-79.
3. Войтків П. Конструктивно-географічні дослідження урбосистем : навчальний посібник – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2019. – 118 с.
4. Гавриленко О. П., Циганок Є. Ю. Ландшафтознавчий аналіз для оптимізації природоохоронного природокористування в урбанізованому середовищі // Український географічний журнал. 2018. – № 1. – С. 24-29.
5. Генеральний план та план зонування території міста Сміла Черкаської області. Звіт. URL: [https://www.smila-rada.gov.ua/sites/default/files/pz\\_gp\\_smila.pdf](https://www.smila-rada.gov.ua/sites/default/files/pz_gp_smila.pdf) (дата звернення: 01.02.2023).
6. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: учеб. пособ. для студ. геогр. спец. Вузов. – М.:Высшая школа, 1988. – 328 с.
7. Гриневецький В. Т. До обґрунтування основних понять і методології досліджень ландшафтного різноманіття в Україні // Український географічний журнал. – 2000. – № 2 – С. 8-13.
8. Гродзинський М. Д. Основи ландшафтної екології: підруч. – К.: Либідь, 1993. – 224 с.
9. Директива про полігони (1999/31/ЄС). URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_925#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_925#Text) (дата звернення: 30.04.2023)
10. Єгорова Т.М., Моклячук Л.І. Еколого-геохімічні процеси міграції молібдену в агроландшафтах України // Агроєкологічний журнал. – 2014. – № 2. – С. 17-25.

11. Ігнатенко О.П. Будівництво та експлуатація об'єктів поводження з побутовими відходами. Практичний посібник. – Київ, 2015. – 159 с.
12. Конякін С.М. Еколого-географічні аспекти природно-заповідного фонду Смілянського району. *Екологічний шлях у майбутнє*: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції – К.: Наук. світ, 2012. – С. 87-89.
13. Максименко Н. В., Клещ А. А. Ландшафтно-екологічне планування, як втілення екологічного імперативу // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – 2012. – № 6. – С. 186-189.
14. Малишева Л. Л. Геохімія ландшафтів: Навч. посібник. К.: Либідь, 2000 – 472 с.
15. Михайленко В. П., Близнюк М. М. Відкриті пожежі та поводження з твердими побутовими відходами в Україні // Дорожня карта реалізації Закону України «Про управління відходами»: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 24–25 листопада 2022 р.). – К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2022. С. –139-141.
16. Михайленко В.П. Ландшафтна політика в контексті міжнародної екологічної співпраці та сталого розвитку України // Міжвідомчий науковий збірник «Фізична географія та геоморфологія ». – 2013. – Вип. 71. – С. 197-204.
17. Молчанова А.В. Екологічні аспекти впливу полігонів твердих побутових відходів на агроландшафт, водне середовище та атмосферне повітря // Вісник По лтавської державної аграрної академії. – 2016. – № 4. – С. 106-110.
18. Окрушко С.Є., Стасюк С.В. Фіторе mediaція забруднених ґрунтів // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. 2011. Випуск № 9(49) – С. 179-186.
19. Паспорт місця видалення відходів № 26, м. Сміла.
20. Пащенко В. М. Ландшафтна різноманітність та її історичні трансформації // Проблеми ландшафтного різноманіття України. Збірник наукових праць. Київ, 2000. – С 28-33.

21. Перельман А. И., Касимов. Н. С. Геохимия ландшафта Н. С. – М.: Астрейя-2000, 1999. – 763 с.
22. Пособие по мониторингу полигонов твердых бытовых отходов – Донецк. Тасис. – 2004. -293 с.
23. Практичні аспекти управління відходами в Україні: посібник / Барінов М. О, Олексієвець І. Л, Родная Д. В., Журавель Т. В., Коломієць С. В., Козлова І. А., Пархоменко Г. П. – К.: «Поліграф плюс», 2021. – 118 с.
24. Природа Черкащини / Самарський С. Л., Головатюк В. С., Дудник, Моляка О. Н., Сидоренко В. Н. Київ: «Урожай», 1971. 124 с.
25. Про затвердження Правил експлуатації об'єктів поводження з побутовими відходами. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0821-12#Text> (дата звернення: 12.05.2023)
26. Про ратифікацію Європейської ландшафтної конвенції. Закон України: URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_154#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_154#Text) (дата звернення: 02.02.2023)
27. Рекультивация полігонів і сміттєзвалищ: проблемні питання та кращі практики: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Святогірськ, Донецька область, 7-8 листопада 2019 р.). - К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2019. – 197 с.
28. Розподіл важких металів у ґрунтах південнополіських ландшафтів Києва та приміської зони / Кураєва І.В., Самчук А.І., Сорокіна Л.Ю., Голубцов, О.Г., Войтюк Ю.Ю. Мінералогічний журнал, 2010 № 1 (32) – 77-90.
29. Свідзінська Д.В. Методи геоекологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA: навчальний посібник - К.: Логос, 2014. - 402 с.
30. Сорокіна Л.Ю., Рога І.В. Геопросторовий аналіз антропогенних змін ландшафтно-геохімічних умов території (теоретичний аспект) // Український географічний журнал – 2011, № 1 – С. 38–43.

31. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2022 рік. *Міністерство розвитку громад та територій України. Сайт.* URL: [www.minregion.gov.ua](http://www.minregion.gov.ua) (дата звернення: 02.02.2023)
32. Трохименко А.Р., Заблоцька О.С. Молибден та його роль у розвитку рослин. URL: [http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/5534/1/Chim\\_aspektu\\_ekologii\\_2010\\_32-36.PDF](http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/5534/1/Chim_aspektu_ekologii_2010_32-36.PDF) (дата звернення 02.01.2023)
33. Чайка. О.В. Європейська ландшафтна конвенція як інструмент впровадження ландшафтної політики в Україні // Екологія. Людина. Суспільство: матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих учених (27-29 травня 2015 р., м. Київ): збірка тез доповідей. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – С. 192-193.
34. Шелест З. М., Кондратюк М. О. Фіторе mediaція території, забрудненої сполуками Купруму. *Екологічна безпека сталого розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сталий розвиток країн в рамках Європейської інтеграції» (7 листопада 2019 року) – Житомир: «Житомирська політехніка» – 2019 – С. 42*
35. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (COM(2019) 640 final). URL: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2019-640-final> (дата звернення 15.02.2023)
36. Copernicus URL: <https://lcviewer.vito.be/2019> (дата звернення 10.05.2023)
37. Experiences of three landfill mining projects in the Baltic Sea area – with focus on machinery for material recovery / M, Hogland, Hogland W., J. Yahya. Conference paper: Linnaeus ECO-TECH'14 at Kalmar, Sweden November 24-26, 2014.
38. Hunting for valuables from landfills and assessing their market opportunities A case study with Kudjape landfill in Estonia /Bhatnagar A, Kaczala F, Burlakovs J,

- Kriipsalu M, Hogland, Hogland W. Waste Manag Res. 2017 Jun;35(6):627-635. doi: 10.1177/0734242X17697816 (дата звернення: 01.02.2023)
- 39.**Jankaite A., Vasarevičius S. Remediation technologies for soils contaminated with heavy metals, Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 13:2, 2005, pages 109-113. <http://dx.doi.org/10.1080/16486897.2005.9636854>(дата звернення: 01.03.2023)
- 40.** Kafle A., Timilsina A., Gautam A., Bhattarai A., Aryal N. Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents, Environmental Advances, Volume 8, 2022, pages. 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100203> (дата звернення: 02.04.2023)
- 41.**Landsat Missions. URL: [Landsat Satellite Missions | U.S. Geological Survey \(usgs.gov\)](https://www.usgs.gov/landsat-missions) (дата звернення 20.02.2023)
- 42.**Mykhaylenko V., Sholokhova A. Possibilities of phytoremediation for land recovery of Tulchin MSW landfill geoecosystem. *Visnyk Kyivskogo nacionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka GEOGRAFIYA* , № 3-4 (68-69), pages 68-72.
- 43.**National Aeronautics and Space Administration. URL:<https://search.earthdata.nasa.gov/search> (дата звернення: 20.12.2022)
- 44.**Phytopark design in contaminated sites of the kingdom of crystal in Sweden. / Lundström, T. Kovalenko, V. Mykhaylenko, M. Kriipsalu, J. Burlakovs, C. Marchand, I. Grinfelde, R. Mutafela, W. Hogland // Екологія. Людина. Суспільство: матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції: збірка тез доповідей. – м. Київ. 2019. С.- 26-28.
- 45.**Phytoremediation as tool for prevention of contaminant flow to hydrological. URL: systems. Research for Rural Development 2018: Engineering, landscape architecture, Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2018, p. 188-194. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1651616&dswid=-4849> (дата звернення: 12.05.2023)

- 46.**Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015/70/1. «Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development». URL: [https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_70\\_1\\_E.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf) (дата звернення: 15.02.2023)
- 47.**Sholokhova A, Denafas G, Mykhaylenko V. The organic output from mechanical-biological treatment plants as a source of microplastics: Mini-review on current knowledge, research methodology and future study perspectives. *Waste Manag Res.* 2021 May; 39(5):652-663. doi: 10.1177/0734242X20983914. Epub 2021 Jan 6. PMID: 33407020.
- 48.**Valujeva K. Fitoremediacija izmantosanas iespējas Latvija / K. Valujeva, I. Grinfelde, I. Straupe. – Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Meža un ūdens resursu zinātniskajā laboratorijā. – 2016. – p.118. Project: Phytoremediation park in Kingdom of Glass. URL: <https://lnu.se/en/research/research-projects/project-phytoremediation-park-in-kingdom-of-glass/> (дата звернення: 13.05.2023)
- 49.**Valujeva K., Burlakovs J., Grinfelde I., Pilecka J. Phytoremediation as tool for prevention of contaminant flow to hydrological systems. *Research for Rural Development 2018. Annual 24th International Scientific Conference Proceedings. Volume 1, Latvia Univ. of Life Sciences and Technologies, Jelgava (Latvia).*- 16–18 May 2018. - p. 188–194. URL: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=LV2019000257> (дата звернення: 12.05.2023)
- 50.**W. Hogland, J. Burlakovs, R. Mutafela1, Y. Jani. From glass dump to phytoremediation park. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 390, XVI-th International youth Science and Environmental Baltic Region Countries Forum 7–9 October 2019, Gdansk, Poland.* URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/390/1/012007/meta#references> (дата звернення: 11.05.2023).
- 51.** Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.

## **ДОДАТКИ**

**Розрахунок кількості утвореного метану за методикою  
Агентства захисту довкілля США (U.S. Environmental Protection Agency)**

$$Q = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$$

де: **Q** – кількість метану за рік, м<sup>3</sup>/рік;

**L<sub>0</sub>** – потенціал утворення метану, м<sup>3</sup>/тону ТПВ

**R** – середня кількість ТПВ, яка надходить на полігон, т/рік;

**k** – величина утворення метану (стала), 1/рік;

**c** –кількість років після закриття полігону, років;

**t** – кількість років від відкриття полігону, років.

<b>Рік</b>	<b>Харчові та органічні відходи</b>	<b>Садово-паркові</b>	<b>Папір, картон, текстиль</b>	<b>Гума, шкіра, деревина, кістки</b>	<b>Загальна кількість СН<sub>4</sub>*</b>
<b>2023</b>	350.5909	185.9683	850.2107	296.4239	1683.19385
<b>2028</b>	174.1014	131.05	739.1425	276.3826	1320.676462
<b>2033</b>	86.45479	92.34855	642.5695	257.6921	1079.064846

## Додаток Б

Результат санітарно-мікробіологічного дослідження ґрунту Смілянського  
полігону ТПВ

**РЕЗУЛЬТАТ № 1-3**  
санітарно-мікробіологічного дослідження

Назва лабораторії, яка проводила дослідження мікробіологічна

Назва зразка ґрунт

Місце відбору зразка полігон ТПВ смт. "Коммунарський"  
(100м від сміттєзвалища)

Мета дослідження на відповідність доданку 14 ДСП планувальних  
та забудови населених пунктів №173-96

Дата надходження матеріалу в лабораторію 10.02.23  
число, місяць, рік

Результат дослідження *E. coli* 14.10<sup>4</sup> КЕО в 10 г  
Ентерококи в 10 г < 10 КЕО  
Бактеріальна мікрофлора в т.ч. salmonella  
в 10 г не виявлена

(Відповідає НД, не відповідає НД, НД відсутня)

Дата видачі «15» 02 2023р.

Прізвище лікаря РБ (підпис)

## Додаток В

Результат санітарно-мікробіологічного дослідження води із свердловини  
Смілянського полігону ТПВ

Міністерство охорони здоров'я України Найменування закладу: Державна установа «Чкраський ОЦКПХ МОЗ» Лабораторія: мікробіологічна	МЕДИЧНА ДОКУМЕНТАЦІЯ Форма № 205/о Затверджена наказом МОЗ України 04.01.2001 р. №1
<b>РЕЗУЛЬТАТ № <u>97-99</u> санітарно-мікробіологічного дослідження</b>	
Назва лабораторії, яка проводила дослідження <u>мікробіологічна</u>	
Назва зразка <u>Вода свердловини</u>	
Місце відбору зразка <u>полігон ТПВ СП, комуніальний</u>	
Мета дослідження <u>на відповідність ДСанПму 2.2.4-171-10</u>	
Дата надходження матеріалу в лабораторію	<u>10.02.23</u> число, місяць, рік
Результат дослідження <u>ЗМЧ - 134 мпо/см<sup>3</sup></u> <u>Загальні мікроросли виявлені в 100 см<sup>3</sup>,</u> <u>Е. coli, кишковими в 100 см<sup>3</sup> води не</u> <u>виявлено</u>	
(Відповідає НД, <u>не відповідає НД</u> , НД відсутня)	
Дата видачі « <u>15</u> » <u>02</u> 20 <u>23</u> р.	Прізвище лікаря <u>[підпис]</u> (підпис)

## Дослідження якості атмосферного повітря

Міністерство охорони здоров'я України Смілянське міське відділення Черкаського районного відділу ДУ "Черкаський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України."	МЕДИЧНА ДОКУМЕНТАЦІЯ ФОРМА № 329/0 Затверджена наказом МОЗ України 11.07.2000 р. №160
<b>ПРОТОКОЛ №2</b> <b>дослідження повітря населених місць</b> <b>„ 08” лютого 2023 року</b>	
Місце відбору проб повітря <u>Полігон ТПВ Смілянської міської ради м.Сміла т№1</u> <u>полігон ; т №2 500 м від полігону</u>	
Мета відбору <u>заява Смілянського КП *Комунальник*</u>	
Вид проби (разова, середньодобова) <u>разова</u>	
Дата і час відбору <u>т№1 08.02.23. р. 9<sup>20</sup>-10<sup>30</sup> ; т№2 08.02.23 р. 10<sup>40</sup>-11<sup>50</sup> доставки т №1 та т№2 08.02.2023 р. 12<sup>00</sup></u>	
Умови транспортування <u>автотранспортом</u> зберігання <u>-</u>	
Методи консервації <u>-</u>	
Засоби вимірювання, які застосовуються при відборі <u>ротаметри, психрометр МВ-4М №8420</u>	
Інформація про державну повірку <u>IV кв.2021р. (чинне) ; св.№478/302 від 08.12.2021р. (чинне).</u>	
Характеристика району проведення досліджень (жилий квартал, промисловий район, межа санітарно-захисної зони тощо) <u>т№1-полігон ; т№2- межа санітарно-захисної зони.</u>	
Характеристика поверхні місцевості (асфальт твердий ґрунт, газон, зелені насадження) і рельєфу <u>твердий ґрунт,рельєф спокійний</u>	
Характеристика джерел забруднення, висота джерел викидів над поверхнею землі (м) мінімальна – максимальна <u>-</u>	
Потужність викидів інгредієнтів, за якими ведеться контроль (г/сек.) за даними статистичної звітності підприємства <u>-</u>	
Відстань від джерел забруднення <u>т.№1-безпосередньо полігон ; т.№2 -500м.</u>	
Форма факелу <u>-</u>	
Ескіз з місцевості з вказівкою джерела забруднення і точок відбору проб повітря (порядковий номер точок відбору)	
НТД, згідно якої проводився відбір <u>-</u>	
Посада , прізвище особи яка провела відбір проб <u>фельдшер-лаборант Діхтяр В.О.</u>	
Протокол складається в двох примірниках	



## Дослідження якості атмосферного повітря

Стор.3 №329/0

Назва досліджуваної речовини, інгредієнта	Результат дослідження концентрації в одиницях виміру				НТД на методи дослідження
	разова		середньодобова		
	виявлена	ГДК	виявлена	ГДК	
13	14	15	16	17	18
сірководень	0,006				РД 52.04.186-89 п.5.2.7.3
	0,006				
	0,006				
діоксид азоту	0,064	0,085			РД 52.04.186-89 п.5.2.1.4
	0,064	0,085			
	0,064	0,085			
сірчистий ангідрид	0,038				РД 52.04.186-89 п.5.2.7.1
	0,037				
	0,038				
формальдегід	<0,01				РД 52.04.186-89 п.5.3.3.7
	<0,01				
	<0,01				
сірководень	<0,004				РД 52.04.186-89 п.5.2.7.3
	<0,004				
	<0,004				
діоксид азоту	<0,023	0,085			РД 52.04.186-89 п.5.2.1.4
	<0,023	0,085			
	<0,023	0,085			
сірчистий ангідрид	<0,04				РД 52.04.186-89 п.5.2.7.1
	<0,04				
	<0,04				
формальдегід	<0,01				РД 52.04.186-89 п.5.3.3.7
	<0,01				
	<0,01				

### Типовий склад фільтрату Смілянського полігону ТПВ

Речовина	Концентрація, мг/дм <sup>3</sup>	Згідно з нормою, мг/дм <sup>3</sup>
Хлориди	71,4	250
Сульфати	50,1	250
Залізо	0,8	0,3
Мідь	<b>20,02</b>	1,0
Молібден	<b>20,01</b>	<0,07
Поліфосфати	<b>20,01</b>	<3,5
Марганець	<b>20,05</b>	0,1
Магній	20,2	< 10,0, але $\geq$ 80,0
Кальцій	46,87	1100
Аміак	0,72	5000
Нітрити	0,089	50
Нітрати	17,3	45