

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і науки України
29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-9.02

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут суспільних наук, адміністрування та права
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра екології
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

УДК: 628.4.032

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

**ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТВЕРДИМИ
ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ У М. БОРИСЛАВ**

Виконала: ст. 6 курсу, групи **ЕК-61м**
напряму підготовки (спеціальності)

101 Екологія

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Приставняк А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник **Ошуркевич-Панківська О.Є.**

(прізвище та ініціали)

Рецензент **доц. Марутяк С.Б.**

(прізвище та ініціали)

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і науки України
29 березня 2012 року № 384


Форма № Н-9/01

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення суспільних наук, адміністрування та права
Кафедра, циклова комісія екології
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 101 Екологія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

 Завідувач кафедри, голова циклової
комісії проф.Копій Л.І.

29. 12 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Приставняк Анні Іванівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Оптимізація системи управління твердими побутовими відходами у м. Борислав

керівник проекту (роботи) Ошуркевич-Панківська О.Є, к.с.-г.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «15» грудня 2025 р. № 1-949

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18.12.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Програма поводження з побутовими відходами у м.Бориславі на 2020-2025 роки.; Звіт про проведення екологічного аудиту території розміщення Бориславського полігону твердих побутових відходів; Дані Держстатистики України про приріст населення у Львівській області

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ; 1. Загальна характеристика управління відходами у Бориславській МТГ; 2. Оцінка впливу місць складування твердих побутових відходів у Бориславській МТГ на довкілля; 2.1. Оцінка обсягів накопичення твердих побутових відходів у Бориславській МТГ; 2.2. Оцінка впливу на ґрунти внаслідок збільшення площі складування ТПВ Бориславської МТГ; 2.3. Оцінка

(підпис)

(прізвище та ініціали)

впливу на гідросферу; 2.4. Оцінка впливу на атмосферне повітря; 2.4.2. Оцінка ймовірного впливу полігону ТПВ у випадку надзвичайних ситуацій; 3. Оптимізація системи управління твердими побутовими відходами у м. Борислав; Висновки; Список використаних джерел; Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Графіки зміни загальної маси відходів, місткості полігону, площі земель під полігоном, кількості фільтрату та маси викидів забруднюючих речовин без сортування і у випадку поступового впровадження системи роздільного збирання

6. Дата видачі завдання 4.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного Проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Загальна характеристика управління відходами у Бориславській МТГ	15.09.25- 21.09.25	вико- нано
2	Опрацювання методика проведення досліджень та розрахунків	22.09.25- 08.10.25	вико- нано
3	Оцінка впливу місць складування твердих побутових відходів у Бориславській МТГ на довкілля	09.10.25- 08.11.25	вико- нано
4	Оцінка ймовірного впливу полігону ТПВ у випадку надзвичайних ситуацій	09.11.25- 15.11.25	вико- нано
5	Оптимізація системи управління твердими побутовими відходами у м. Борислав	16.11.25- 30.11.25	вико- нано
6	Оформлення пояснювальної записки	01.12.25- 17.12.25	вико- нано

Студент


(підпис)

Приставник А.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Ошуркевич-Панківська О.Є.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Приставняк А.І. Оптимізація системи управління твердими побутовими відходами у м. Борислав. Дипломна робота магістра: 101 Екологія / Приставняк Анна Іванівна. Львів: НЛТУ України, 2025. – 73 с.

У роботі на основі аналізу обсягів накопичення твердих побутових відходів та динаміки чисельності населення у Бориславській МТГ виконано оцінку впливу місць складування відходів на довкілля. Запропоновано шляхи оптимізації системи управління твердими побутовими відходами у м. Борислав та спрогнозовано її результати: зміни маси твердих побутових відходів, місткості та площі полігону для їх захоронення, об'єму фільтрату, масових викидів забруднюючих речовин.

Ключові слова: полігон твердих побутових відходів, система поводження з відходами, площа полігону, місткість полігону, фільтрат, викиди забруднюючих речовин, викиди парникових газів, самозаймання полігону.

ABSTRACT

Prystavnyak A.I. Optimization of the solid waste management system in Boryslav. Master's thesis: 101 Ecology / Prystavnyak Anna Ivanivna. Lviv: NLTU of Ukraine, 2025. – 73 p.

In the work, based on the analysis of the volume of solid waste accumulation and population dynamics in Boryslav MTG, an assessment of the impact of waste storage sites on the environment was performed. Ways to optimize the solid waste management system in Boryslav were proposed and its results were predicted: changes in the mass of solid waste, the capacity and area of the landfill for their disposal, the volume of leachate, mass emissions of pollutants.

Keywords: solid waste landfill, waste management system, landfill area, landfill capacity, leachate, emissions of pollutants, greenhouse gas emissions, spontaneous combustion of the landfill.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ У БОРИСЛАВСЬКІЙ МТГ.....	7
РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ВПЛИВУ МІСЦЬ СКЛАДУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У БОРИСЛАВСЬКІЙ МТГ НА ДОВКІЛЛЯ ...	11
2.1. Оцінка обсягів накопичення твердих побутових відходів у Бориславській МТГ.....	11
2.2. Оцінка впливу на ґрунти внаслідок збільшення площі складування ТПВ Бориславської МТГ.....	13
2.3. Оцінка впливу на гідросферу	16
2.4. Оцінка впливу на атмосферне повітря.....	18
2.4.1. Розрахунок кількості забруднюючих речовин, що надходить з тіла полігону ТПВ в атмосферне повітря	18
2.4.2. Оцінка ймовірного впливу полігону ТПВ у випадку надзвичайних ситуацій	37
РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ У М. БОРИСЛАВ.....	48
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ.....	60

ВСТУП

Виробнича і побутова діяльність людини неминуче пов'язана з утворенням відходів. Лише зовсім недавно людство усвідомило, що темпи накопичення відходів ставлять під загрозу існування самого життя на Землі. Виникло протиріччя – між тим, що економіка стимулює добування природних ресурсів, тим самим збільшення об'ємів відходів, і тим, що відходи скоро займуть весь простір, а ресурси – вичерпаються.

Місця складування відходів займають величезні території. Щороку в Україні складається близько 1,5 млрд. т твердих відходів, а звалища відходів займають більше 150 тис. га. Сьогодні проблеми твердих відходів кардинально не вирішуються, оскільки не достатньо вивчені і обґрунтовані екологічні, економічні, технологічні, технічні аспекти поводження з ними. Ситуація ускладнюється зниженням темпів переробки відходів.

Мета політики у сфері поводження з відходами повинна бути спрямована на зменшення обсягів утворення відходів, перетворення все більшої їх кількості у ресурси для повторного використання і на розробку та впровадження оптимальних методів експлуатації діючих полігонів твердих відходів.

З огляду на це, дослідження, оцінка та оптимізація системи поводження з твердими побутовими відходами у населених пунктах України є *актуальними*.

Мета роботи полягає в оптимізації системи поводження з твердими побутовими відходами у м. Борислав.

Досягнення мети забезпечувалось виконанням таких **завдань**:

- проаналізувати обсяги накопичення твердих побутових відходів та динаміки чисельності населення на території Бориславської МТГ;
- виконати прогностичні розрахунки оцінки впливу місць складування відходів на довкілля на період до 2035 року;
- запропонувати шляхи оптимізації системи управління твердими побутовими відходами у м. Борислав.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ У БОРИСЛАВСЬКІЙ МТГ

Проблема твердих відходів, як і інші екологічні проблеми, щорічно загострюється. Значне збільшення чисельності населення на фоні покращення якості життя, застосування недосконалих технологічних процесів в промисловості, викликає утворення величезної кількості твердих відходів [22, 24]. Зростання об'ємів твердих побутових відходів загострює так звану «сміттєву кризу», котра є частиною глобальної екологічної кризи [22].

На сьогодні на усій території Львівщини склалася критична ситуація у сфері управління відходами, зокрема відбувається збільшення обсягів утворення відходів у різних галузях життєдіяльності людини, накопичення їх у місцях тимчасового зберігання. Високий рівень утворення відходів, низькі показники їх використання як вторинної сировини, неналежна утилізація та захоронення відходів, відсутність інфраструктури управління відходами, зумовлює негативні екологічні та соціальні наслідки в регіоні, що в свою чергу актуалізує впровадження системного підходу до управління відходами [16].

Особливістю твердих побутових відходів є їх прив'язаність до місць утворення. Тому вони стають джерелами надходження в довкілля шкідливих хімічних, біологічних та біохімічних речовин практично у кожному населеному пункті, що створює загрозу здоров'ю місцевого населення [14,15, 22]. В останні десятиліття загострюється проблема стрімкого зростання кількості побутового сміття і, як наслідок збільшення обсягу відходів на сміттєзвалищі, поява великої кількості стихійних сміттєзвалищ, що стали невіддільною складовою урбанізованих територій.

Місто Борислав у сучасних умовах зіткнулося з однією з найбільш гострих екологічних проблем - проблемою утилізації твердих побутових відходів. Сьогодні відходи є одним з найбільш значних факторів забруднення довкілля міста та довколишніх територій [3].

Послугою централізованого вивозу твердих побутових відходів користуються сім населених пунктів: м. Борислав та села Попелі, Уріж, Винники, Мокряни, Підмонастирок, Ясениця-Сільна. Відходи вивозяться для захоронення на сміттєзвалище площею 11 га (на сьогодні площа під відходами - 3 га), що розташоване в північній частині міста, за межами планувальних кварталів по вулиці Братів Лисиків, 8, на відстані понад 500 м від житлової забудови. Сміттєзвалище введено в експлуатацію у 1978 році [12, 20].

На сміттєзвалище вивозять побутові відходи від житлових будинків і громадських установ, підприємств торгівлі, громадського харчування, учбових і дошкільних закладів, організацій культури і охорони здоров'я та ін; вуличний та садово-парковий змет, будівельне сміття від ремонту квартир, а також промислові відходи III та IV-го класів небезпеки з дозволу місцевих органів санітарно-епідеміологічної та екологічної служб і пожежної інспекції [12, 20]. На територію сміттєзвалища щоденно завозиться приблизно становить 175 м^3 сміття, що складає приблизно 28 тис. м^3 відходів на рік [20].

При проектуванні полігону ТПВ не була передбачена система захисту ґрунтових вод від забруднення фільтратом, тому впродовж усього терміну експлуатації сміттєзвалище було і залишається джерелом забруднення ґрунту та верхнього водоносного горизонту. Ця проблема частково усувається такими заходами як перешаруванням сміття інертним шаром, а також збиранням фільтрату у ставок-відстійник площею 300 м^2 . Територія «полігону» ТПВ обмежена канавою для запобігання витіканню за межі полігону забруднених поверхневих вод, які утворюються після випадання дощів.

Для контролю за станом підземних вод облаштовані дві моніторингові свердловини глибиною 2,5 м (у четвертинному водоносному горизонті) в напрямку розвантаження підземних вод [12].

З метою запобігання вибухів та самозаймання відходів на полігоні працює система вилучення біогазу. На території, де проведене перешарування, облаштовані дві свердловини призначені для пасивної дегазації полігону.

Також планується облаштування ще кількох дегазаційних свердловин. Система збирання чи спалювання біогазу в факелах не передбачена [12].

Згідно з офіційними даними за останні 15 років випадків самозагорання на сміттєзвалищі не зафіксовано. У 2021 році 18 липня була спроба підпалу сміттєзвалища, очевидно з метою видати це за самозагорання. До прибуття пожежників вогонь самоліквідувався, залишилося лише задимлення.

Зважаючи на незадовільне облаштування сміттєзвалища міста, стрімке зростання накопичення відходів (на 10-15 % щорічно) тверді побутові відходи стають реальною небезпекою для населення і навколишнього природного середовища, яка потребує негайного вирішення [20]. Зменшення обсягів накопичення відходів дало б можливість швидше та якісніше проводити рекультивацію та перешарування відходів на сміттєзвалищі, яких за період експлуатації накопичилось близько 659,600 тис. тон [3].

Ще донедавна основною схемою видалення твердих побутових відходів з території міста та прилеглих сіл залишалася система збирання та захоронення відходів на міському сміттєзвалищі. Проте, на даний час у м. Бориславі поступово впроваджується роздільне сортування відходів, що дасть можливість зменшити навантаження на полігон ТПВ [3].

Так, на сьогодні на території м. Борислава встановлено 136 контейнерних майданчиків для роздільного сортування твердих побутових відходів, а саме: паперу та картону (на 1540 м³/рік); пластмаси та ПЕТ пляшок (на 2100 м³/рік); скла (на 1848 м³/рік) [3, 20].

Також, у Бориславській МТГ запроваджується реалізація проекту зі створення заводу з компостування органічних та зелених відходів. Програма розроблена Комунальним некомерційним підприємством «Центр екології, туризму та сталого розвитку» спільно з управлінням ЖКГЕ Бориславської міської ради у рамках проекту «ULEAD з Європою» Проектом передбачено створення замкнутою структури оброблення біовідходів, яка включає увесь цикл від збирання, транспортування до оброблення біовідходів на власних потужностях. Впровадження програми відбуватиметься поступово протягом 10-

12 років і розраховане на кінцеву потужність 5 тис.т/рік. Обсяг органіки (харчових відходів) зібраної від населення становитиме – 3245,9 т/рік, відповідно обсяг зелених відходів (гілки, скошена трава, листя тощо) – 1813 т/рік [20].

Апробація проекту відбулася у приватному секторі на вулицях Ясна, Чумацька, Костомарова [3]. На наступних етапах впровадження програми планується створити мережу таких майданчиків, яка буде відповідати концепції поводження з відходами зеленого господарства, а також спроектувати майданчик для промислового компостування.

Крім цього проектом передбачені інформаційні компанії і робота з населенням щодо актуальності сортування відходів, що прискорюватиме налагодження ефективності системи роздільного збирання біовідходів [20].

РОЗДІЛ 2
ОЦІНКА ВПЛИВУ МІСЦЬ СКЛАДУВАННЯ ТВЕРДИХ
ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У БОРИСЛАВСЬКІЙ МТГ
НА ДОВКІЛЛЯ

2.1. Оцінка обсягів накопичення твердих побутових відходів у Бориславській МТГ

Для більшості міст України і світу загалом характерне неухильне зростання норм накопичення твердих побутових відходів. За об'ємом норми накопичення зростають щорічно на 3 - 5 %, за масою - на 0,3 - 0,5 % [11,13,18, 25]. Прогнозовані на проектний період норми накопичення твердих побутових відходів необхідні при проектуванні споруд для складування відходів, розробки схем санітарного очищення населених пунктів, інших техніко-економічних розрахунків.

Таблиця 2.1

Прогнозування накопичення ТПВ у Бориславській МТГ

Рік	Маса відходів у Бориславській МТГ (станом на 2023 рік), кг/рік	Коефіцієнт річного приросту накопичення відходів	Період прогнозування, роки	Маса відходів, т/рік
2023	13158	0,005		13158
2024			1	13290
2025			2	13356
2026			3	13423
2027			4	13490
2028			5	13558
2029			6	13625
2030			7	13694
2031			8	13762
2032			9	13831
2033			10	13900
2034			11	13970
2035	12	14039		
Разом				177097

Також їх можна використати для оцінки екологічних показників впливу місць складування твердих побутових відходів на довкілля, а саме для розрахунку: площі земель вилучених з користування для облаштування полігону ТПВ; кількості забруднюючих речовин, що потраплятимуть у атмосферне повітря від полігону ТПВ; кількості фільтрату, що утворюватиметься у тілі полігону.

Прогнозування накопичення твердих побутових відходів на період до 2035 року у Бориславській МТГ виконували згідно з методикою (див. Додаток А). На основі даних про норму накопичення відходів на одну особу станом на 2023 рік у Бориславській МТГ (340 кг/рік [20]), з врахуванням щорічного приросту норм накопичення відходів, розраховано масу відходів, що утворюватиметься на території Бориславської МТГ кожного наступного року прогнозування (табл. 2.1, рис.2.1). Розрахунки виконані за умови відсутності системи сортування відходів.

Спостерігаємо неухильне збільшення маси відходів з роками, так на кінцевий рік прогнозування (2035 рік) кількість відходів становитиме 14039 т/рік, що на 6 % більше, ніж на перший рік прогнозування. За весь період прогнозування на території Бориславської МТГ утвориться 177 097 тон відходів.

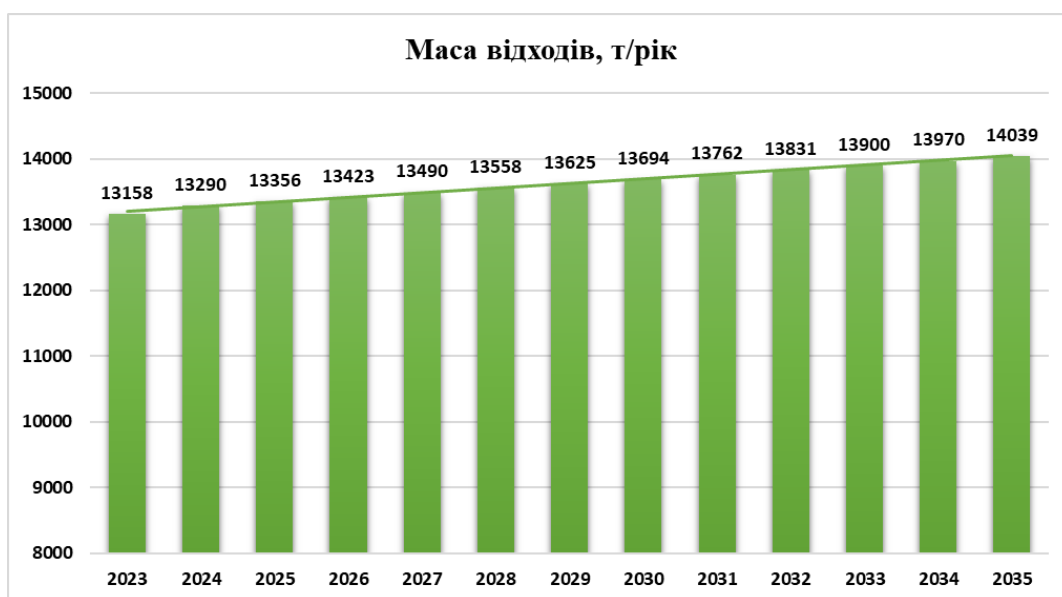


Рис. 2.1. Збільшення маси твердих побутових відходів на період з 2023 до 2035 року

2.2. Оцінка впливу на ґрунти внаслідок збільшення площі складування ТПВ Бориславської МТГ

Полігони твердих побутових відходів негативно впливають на ґрунти, забруднюючи їх важкими металами (свинець, кадмій, мідь), нітратами, хлоридами, нафтопродуктами та іншими токсинами, як наслідок погіршуючи якість ґрунту, знижуючи його родючість та роблячи непридатним для сільського господарства, а також створюючи ризики забруднення підземних вод. Рівні та масштаби цього впливу прямо пропорційні до об'єму відходів, що накопичені в тілі полігону, а також розміру земельної ділянки, що відводиться під складування ТПВ.

Проектна місткість (об'єм) полігону ТПВ розраховується для обґрунтування розмірів ділянки для складування ТПВ. Проте, розмір земельної ділянки, що відводиться під складування ТПВ залежить не лише від об'єму твердих побутових відходів, а й від: терміну експлуатації полігону; чисельності населення району, що обслуговується, з урахуванням перспективи його зростання (зменшення); норми накопичення ТПВ та їх щільності; обсягу всіх інших відходів, що складуються з ТПВ (будівельні відходи, деякі промислові відходи, які дозволено складувати разом з ТПВ та інші); геометричної форми ділянки та допустимої висоти складування відходів; методу, який приймається для ущільнення відходів при складуванні; напрямку подальшого використання земельної ділянки після закриття та рекультивації полігону ТПВ [9].

Розрахунок місткості полігону ТПВ проводили за методикою викладеною у Додатку А, на основі зпрогнозованої щорічної маси відходів, середньої густини відходів (згідно з [20] приймали $0,216 \text{ т/м}^3$), а також зпрогнозованої кількості населення Бориславської МТГ на кожен наступний рік прогнозування (табл. 2.2). Для прогнозування кількості населення використовували дані Держстатистики України про приріст населення у Львівській області ($-5,62$ особи/1000 осіб) [8].

Таблиця 2.2

Зміна кількості населення та об'єму полігону твердих побутових відходів

Рік	Період прогнозування, роки	Маса відходів, т/рік	Кількість населення, осіб	Місткість (об'єм) полігону, м ³
2023		13158	38700	38919,0
2024	1	13290	38483	312919,4
2025	2	13356	38266	470582,8
2026	3	13423	38051	629075,6
2027	4	13490	37837	788418,1
2028	5	13558	37625	948630,9
2029	6	13625	37413	1109734,7
2030	7	13694	37203	1271750,5
2031	8	13762	36994	1434699,4
2032	9	13831	36786	1598602,8
2033	10	13900	36579	1763482,2
2034	11	13970	36374	1929359,4
2035	12	14039	36169	2096256,3
Сумарно		177097		14392431,0

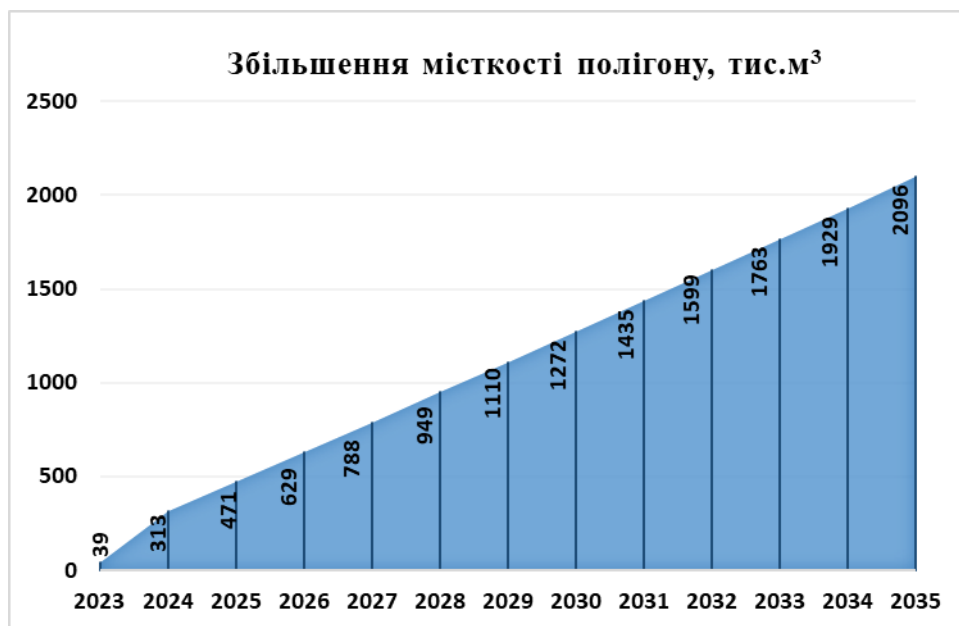


Рис. 2.2. Збільшення місткості полігону твердих побутових відходів

Результати розрахунків свідчать, що незважаючи на зменшення чисельності населення у Бориславській МТГ об'єм відходів неухильно збільшуватиметься і на кінцевий рік прогнозування місткість полігону становитиме 14392431,0 м³ (табл.2.2, рис.2.2).

Розмір (площу) земельної ділянки, яка необхідна для складування відходів розраховували, за методикою, викладеною у Додатку А на кожен рік прогнозування (табл.2.3, рис.2.3).

Таблиця 2.3

Зміна площі полігону твердих побутових відходів

Рік	Маса відходів, т/рік	Площа полігону, га
2023	13158	0,3
2024	13290	0,5
2025	13356	0,8
2026	13423	1,1
2027	13490	1,3
2028	13558	1,6
2029	13625	1,9
2030	13694	2,2
2031	13762	2,4
2032	13831	2,7
2033	13900	3,0
2034	13970	3,3
2035	14039	3,5

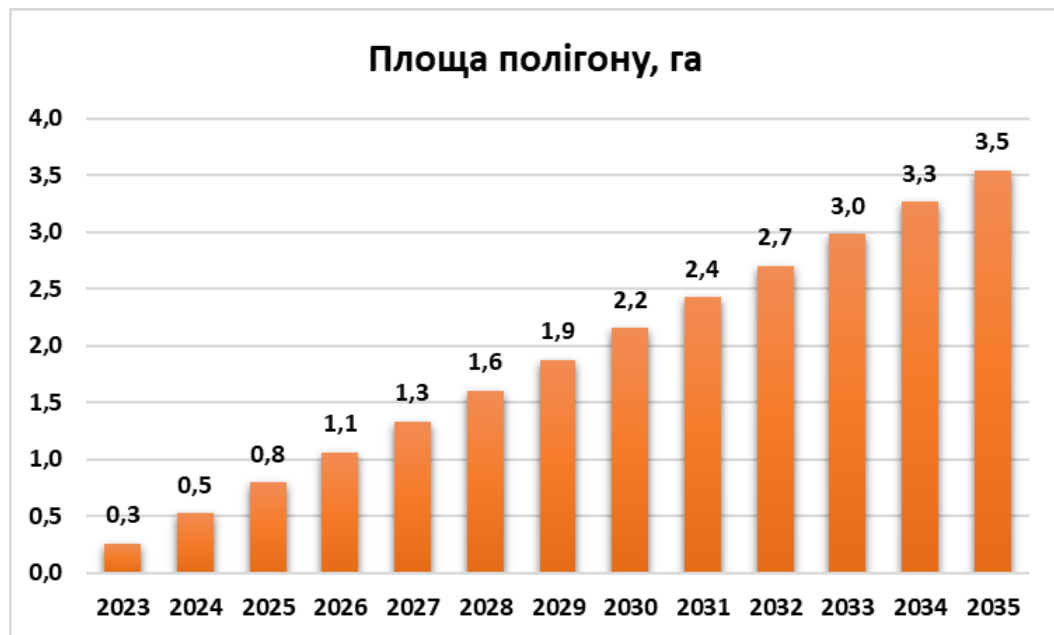


Рис. 2.3. Збільшення площі полігону твердих побутових відходів

Бачимо, що за весь період з 2024 до 2035 року площа полігону зростатиме в середньому на 0,2-0,3 га щороку, і на кінцевий рік прогнозування становитиме 3,5 га. З врахуванням площі нормативної санітарно-захисної зони,

ширина якої згідно з Державними санітарними правилами [7] має становити 500 м, площа вилучених з користування земель досягне 75 га.

2.3. Оцінка впливу на гідросферу

Основним чинником забруднення поверхневих та підземних вод на об'єктах поводження з ТПВ є фільтрат. Він може формуватися під впливом комплексу природних факторів, насамперед, атмосферних опадів, випаровування, фільтрації, а також поливання території об'єкту.

Розрахунок середньорічного об'єму фільтрату, що утворюватиметься в тілі полігону проводили згідно з методикою викладеною у Додатку А [9], на основі попередньо розрахованих параметрів: об'єму води, що витрачається на утворення біогазу (табл.2.4), об'єму атмосферних опадів, об'єму вологи, що випаровується та об'єму вологи, яка надходить на полігон з відходами. Результати розрахунків подані в таблиці 2.5 та на рис.2.4.

Таблиця 2.4

Об'єм води, що витрачається на утворення біогазу за відсутності сортування

Рік	Маса відходів, т/рік	Вологість відходів, %	Об'єм вологи у відходах, м ³ /рік	Витрати води на утворення біогазу, м ³ /т (загальної маси ТПВ)	Об'єм води, що витрачається на утворення біогазу, м ³ /рік
2023	13158	27,81	3658,6	0,061	802,64
2024	13290	27,81	3695,3		810,68
2025	13356	27,81	3713,7		814,74
2026	13423	27,81	3732,3		818,81
2027	13490	27,81	3751,0		822,91
2028	13558	27,81	3769,7		827,02
2029	13625	27,81	3788,6		831,16
2030	13694	27,81	3807,5		835,31
2031	13762	27,81	3826,5		839,49
2032	13831	27,81	3845,7		843,69
2033	13900	27,81	3864,9		847,90
2034	13970	27,81	3884,2		852,14
2035	14039	27,81	3903,7		856,40

Таблиця 2.5

Об'єм фільтрату, що утворюватиметься на полігоні

Рік	Площа полігону, га	Шар опадів [27], мм	Об'єм атмосферних опадів, м ³ ;	Об'єм води, що йде на утворення біогазу, м ³ .	Об'єм води, яка надходить на полігон з відходами, м ³ ;	Шар випаровування [9], мм	Об'єм води, що випаровується з поверхні полігону, м ³ ;	Об'єм фільтрату, м ³
2023	0,26	790	2079,0	802,6	3658,6	720	1894,8	3040,2
2024	0,53	790	4178,8	810,7	3695,3	720	3808,5	3254,8
2025	0,80	790	6289,1	814,7	3713,7	720	5731,8	3456,3
2026	1,06	790	8409,9	818,8	3732,3	720	7664,7	3658,7
2027	1,33	790	10541,4	822,9	3751,0	720	9607,3	3862,1
2028	1,61	790	12683,5	827,0	3769,7	720	11559,7	4066,6
2029	1,88	790	14836,3	831,2	3788,6	720	13521,7	4272,0
2030	2,15	790	16999,9	835,3	3807,5	720	15493,6	4478,5
2031	2,43	790	19174,3	839,5	3826,5	720	17475,3	4686,1
2032	2,70	790	21359,6	843,7	3845,7	720	19467,0	4894,6
2033	2,98	790	23555,8	847,9	3864,9	720	21468,6	5104,2
2034	3,26	790	25763,0	852,1	3884,2	720	23480,2	5314,9
2035	3,54	790	27981,2	856,4	3903,7	720	25501,9	5526,6
Разом								55615,6



Рис. 2.4. Середньорічний об'єму фільтрату, що утворюватиметься в тілі полігону

Очевидно, що з роками, із збільшенням маси відходів, а отже площі полігону, зростатимуть і об'єми фільтрату. За 12-річний період середньорічна кількість фільтрату зросте у 1,8 разів, а сумарно за цей період може утворитися 55615,6 м³ фільтрату.

2.4. Оцінка впливу на атмосферне повітря

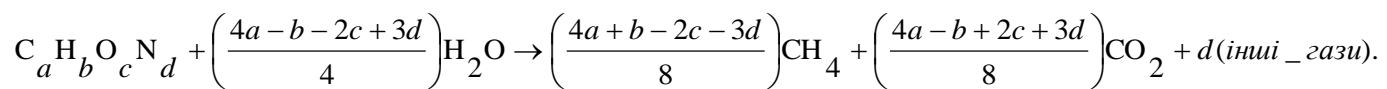
2.4.1. Розрахунок кількості забруднюючих речовин, що надходить з тіла полігону ТПВ в атмосферне повітря

Тверді побутові відходи, що складаються на міських звалищах, на 55-80 % складаються з органічних фракцій і являють собою потенційне джерело енергії. Середній склад газу, що виділяється при анаеробному розкладі органіки, такий: метан - 40-60 %, вуглекислий газ - 30-45 % та невелика кількість інших сполук: толуол, аміак, ксилол, вуглецю оксид, діоксид азоту, формальдегід, етилбензол, діоксид сірки, сірководень [4,5,21,29].

Процес розкладу ТПВ та співвідношення речовин, що виділяються залежить від складу відходів та умов їх захоронення. Він триває протягом

десяти років. Найбільша кількість метану на полігоні твердих побутових відходів накопичується у перший рік після завершення експлуатації полігону за оптимальних умов для життєдіяльності метанових бактерій (відсутність кисню; показник рН від 6 до 8; вологість 50-60 %; відсутність токсичних речовин; наявність поживних речовин; температура 30-40°C) [18, 29].

Для розрахунку максимальної кількості газів, що виділятимуться внаслідок анаеробної деструкції органічної частини відходів (з узагальненою формулою $C_aH_bO_cN_d$) використали рівняння (А.8, див. Додаток А) [18, 29]:



Таблиця 2.6

Середній відсотковий вміст інших газів у складі біогазу [31]

Назва речовини	Відсотковий вміст, %
Толуол	0,723
Аміак	0,533
Ксилол	0,443
Вуглецю оксид	0,252
Діоксид азоту	0,111
Формальдегід	0,096
Етилбензол	0,095
Діоксид сірки	0,07
Сірководень	0,026
Разом	2,349

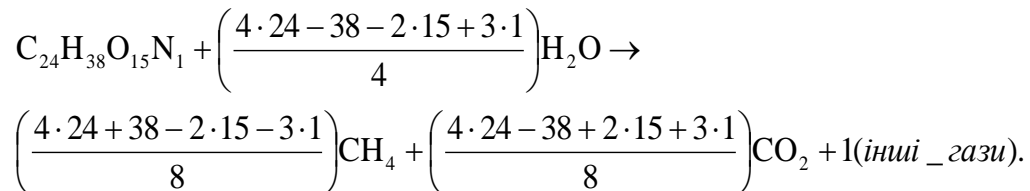
Співвідношення хімічних елементів у органіці та числові коефіцієнти в рівнянні визначали, розраховувавши коефіцієнти a , b , c , d на основі даних про вміст хімічних елементів у органічних складових відходах (Додаток А), окремо для органіки, що розкладається швидко і для органіки, що розкладається повільно (табл. 2.7-2.14).

Коефіцієнти a , b , c , d визначали із співвідношення хімічних елементів в органіці. Так як, маса Нітрогену у відходах найнижча, то у молярному співвідношенні його вміст приймали $d = 1$. Тоді кількість решти елементів

розраховуємо за відношенням молярних мас усіх інших хімічних елементів до молярної маси Нітрогену. Результати розрахунків занесли у таблиці 2.15-2.18.

Записуємо результуючі рівняння хімічних реакцій для обох випадків, використовуючи узагальнене рівняння.

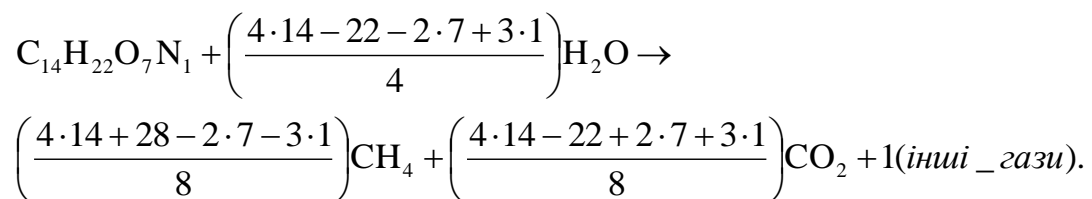
Для органіки, що розкладається швидко рівняння набуває вигляду:



Звідси:



Для органіки, що розкладається повільно рівняння набуває вигляду:

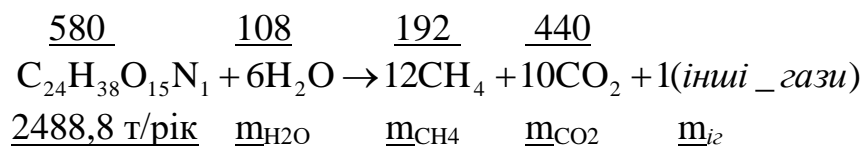


Звідси:



Далі, обчислили масу газів, що виділятимуться при розкладі органіки, що розкладається швидко і повільно за рівняннями реакцій, на основі молярних мас речовин і даними про масу відходів у сухому стані.

Для органіки, що розкладається швидко:



Таблиця 2.7

Середній хімічний склад харчових відходів (органіка, що розкладається швидко)

Рік	Маса харчових відходів, т/рік	Маса сухих харчових відходів, т/рік	Маса хімічних елементів, т/рік					
			С	Н	О	N	S	Зола
2023	3815,8	1144,7	159,3	20,91	125,2	8,3	1,00	159,3
2024	3854,1	1156,2	160,9	21,12	126,4	8,4	1,01	160,9
2025	3873,3	1162,0	161,8	21,23	127,0	8,4	1,01	161,8
2026	3892,7	1167,8	162,6	21,34	127,7	8,5	1,02	162,6
2027	3912,2	1173,7	163,4	21,44	128,3	8,5	1,02	163,4
2028	3931,7	1179,5	164,2	21,55	129,0	8,6	1,03	164,2
2029	3951,4	1185,4	165,0	21,66	129,6	8,6	1,03	165,0
2030	3971,2	1191,3	165,8	21,77	130,2	8,6	1,04	165,8
2031	3991,0	1197,3	166,7	21,87	130,9	8,7	1,04	166,7
2032	4011,0	1203,3	167,5	21,98	131,6	8,7	1,05	167,5
2033	4031,0	1209,3	168,3	22,09	132,2	8,8	1,05	168,3
2034	4051,2	1215,4	169,2	22,20	132,9	8,8	1,06	169,2
2035	4071,4	1221,4	170,0	22,32	133,5	8,9	1,06	170,0

Таблиця 2.8

Середній хімічний склад садово-паркових відходів, що розкладаються швидко

Рік	Маса садово-паркових відходів, що розкладаються швидко, т/рік	Маса відходів у сухому стані, т/рік	Маса хімічних елементів, т/рік					
			С	Н	О	N	S	Зола
2023	1184,2	473,7	20,3	2,56	16,2	1,49	0,128	1,92
2024	1196,1	478,4	20,5	2,58	16,4	1,51	0,129	1,94
2025	1202,1	480,8	20,6	2,60	16,4	1,51	0,130	1,95
2026	1208,1	483,2	20,7	2,61	16,5	1,52	0,130	1,96
2027	1214,1	485,6	20,8	2,62	16,6	1,53	0,131	1,97
2028	1220,2	488,1	21,0	2,64	16,7	1,54	0,132	1,98
2029	1226,3	490,5	21,1	2,65	16,8	1,55	0,132	1,99
2030	1232,4	493,0	21,2	2,66	16,9	1,55	0,133	2,00
2031	1238,6	495,4	21,3	2,68	16,9	1,56	0,134	2,01
2032	1244,8	497,9	21,4	2,69	17,0	1,57	0,134	2,02
2033	1251,0	500,4	21,5	2,70	17,1	1,58	0,135	2,03
2034	1257,3	502,9	21,6	2,72	17,2	1,58	0,136	2,04
2035	1263,5	505,4	21,7	2,73	17,3	1,59	0,136	2,05

Таблиця 2.9

Середній хімічний склад паперу та картону (органіка, що розкладається швидко)

Рік	Маса паперу і картону, т/рік	Маса відходів у сухому стані, т/рік	Маса хімічних елементів, т/рік					
			С	Н	О	N	S	Зола
2023	921,1	870,4	26,6	3,59	27,0	0,213	0,119	3,35
2024	930,3	879,1	26,9	3,63	27,3	0,215	0,120	3,38
2025	934,9	883,5	27,0	3,65	27,4	0,216	0,121	3,40
2026	939,6	887,9	27,2	3,67	27,5	0,218	0,121	3,42
2027	944,3	892,4	27,3	3,69	27,7	0,219	0,122	3,44
2028	949,0	896,8	27,4	3,70	27,8	0,220	0,122	3,45
2029	953,8	901,3	27,6	3,72	28,0	0,221	0,123	3,47
2030	958,6	905,8	27,7	3,74	28,1	0,222	0,124	3,49
2031	963,3	910,4	27,8	3,76	28,2	0,223	0,124	3,50
2032	968,2	914,9	28,0	3,78	28,4	0,224	0,125	3,52
2033	973,0	919,5	28,1	3,80	28,5	0,225	0,126	3,54
2034	977,9	924,1	28,3	3,82	28,7	0,226	0,126	3,56
2035	982,8	928,7	28,4	3,84	28,8	0,228	0,127	3,58

Таблиця 2.10

Сумарний хімічний склад органіки, що розкладається швидко

Рік	Маса органіки, що розкладається швидко, т/рік	Маса органіки, що розкладається швидко у сухому стані т/рік	Маса хімічних елементів, т/рік					
			С	Н	О	N	S	Зола
2023	5921,1	2488,8	206,3	27,1	168,3	10,0	1,24	164,6
2024	5980,5	2513,8	208,4	27,3	170,0	10,1	1,26	166,3
2025	6010,4	2526,4	209,4	27,5	170,9	10,2	1,26	167,1
2026	6040,4	2539,0	210,5	27,6	171,7	10,2	1,27	167,9
2027	6070,6	2551,7	211,5	27,8	172,6	10,3	1,27	168,8
2028	6101,0	2564,4	212,6	27,9	173,5	10,3	1,28	169,6
2029	6131,5	2577,3	213,6	28,0	174,3	10,4	1,29	170,5
2030	6162,1	2590,1	214,7	28,2	175,2	10,4	1,29	171,3
2031	6192,9	2603,1	215,8	28,3	176,1	10,5	1,30	172,2
2032	6223,9	2616,1	216,9	28,5	177,0	10,5	1,31	173,0
2033	6255,0	2629,2	217,9	28,6	177,8	10,6	1,31	173,9
2034	6286,3	2642,3	219,0	28,7	178,7	10,6	1,32	174,8
2035	6317,7	2655,6	220,1	28,9	179,6	10,7	1,33	175,6

Таблиця 2.11

Середній хімічний склад садово-паркових відходів і деревини (органіка, що розкладаються повільно)

Рік	Маса садово-паркових відходів, що розкладаються повільно і деревина, т	Маса сухих відходів, т	С	Н	О	N	S	Зола
2023	473,7	379,0	10,8	1,36	8,6	0,8	0,1	1,0
2024	478,4	382,7	11,0	1,38	8,7	0,8	0,1	1,0
2025	480,8	384,7	11,0	1,38	8,8	0,8	0,1	1,0
2026	483,2	386,6	11,1	1,39	8,8	0,8	0,1	1,0
2027	485,6	388,5	11,1	1,40	8,9	0,8	0,1	1,0
2028	488,1	390,5	11,2	1,41	8,9	0,8	0,1	1,0
2029	490,5	392,4	11,2	1,41	8,9	0,8	0,1	1,0
2030	493,0	394,4	11,3	1,42	9,0	0,8	0,1	1,0
2031	495,4	396,3	11,3	1,43	9,0	0,8	0,1	1,0
2032	497,9	398,3	11,4	1,43	9,1	0,8	0,1	1,1
2033	500,4	400,3	11,5	1,44	9,1	0,8	0,1	1,1
2034	502,9	402,3	11,5	1,45	9,2	0,8	0,1	1,1
2035	505,4	404,3	11,6	1,46	9,2	0,8	0,1	1,1

Таблиця 2.12

Середній хімічний склад текстилю (розкладається повільно)

Рік	Текстиль	Маса у сухому стані, т	С	Н	О	N	S	Зола
2023	447,4	402,6	7,5	0,9	4,3	0,6	0,0	0,4
2024	451,9	406,7	7,6	0,9	4,3	0,6	0,0	0,4
2025	454,1	408,7	7,6	0,9	4,3	0,6	0,0	0,4
2026	456,4	410,7	7,7	0,9	4,3	0,6	0,0	0,4
2027	458,7	412,8	7,7	0,9	4,4	0,6	0,0	0,4
2028	461,0	414,9	7,8	0,9	4,4	0,6	0,0	0,4
2029	463,3	416,9	7,8	0,9	4,4	0,6	0,0	0,4
2030	465,6	419,0	7,8	0,9	4,4	0,6	0,0	0,4
2031	467,9	421,1	7,9	1,0	4,5	0,6	0,0	0,4
2032	470,3	423,2	7,9	1,0	4,5	0,6	0,0	0,4
2033	472,6	425,3	8,0	1,0	4,5	0,6	0,0	0,4
2034	475,0	427,5	8,0	1,0	4,5	0,6	0,0	0,4
2035	477,3	429,6	8,0	1,0	4,5	0,6	0,0	0,4

Таблиця 2.13

Середній хімічний склад шкіри та гуми (розкладається повільно)

Рік	Шкіра, гума	Маса у сухому стані, т	С	Н	О	N	S	Зола
2023	236,8	213,2	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2024	239,2	215,3	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2025	240,4	216,4	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2026	241,6	217,5	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2027	242,8	218,5	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2028	244,0	219,6	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2029	245,3	220,7	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2030	246,5	221,8	1,4	0,3	0,5	0,2	0,0	0,4
2031	247,7	222,9	1,4	0,4	0,5	0,2	0,0	0,4
2032	249,0	224,1	1,5	0,4	0,5	0,2	0,0	0,4
2033	250,2	225,2	1,5	0,4	0,5	0,2	0,0	0,4
2034	251,5	226,3	1,5	0,4	0,5	0,2	0,0	0,4
2035	252,7	227,4	1,5	0,4	0,5	0,2	0,0	0,4

Таблиця 2.14

Сумарний хімічний склад органіки, що розкладається повільно

Рік	Маса органіки, що розкладається повільно, т	Маса відходів у сухому стані, т	С	Н	О	N	S	Зола
2023	1157,9	994,7	19,8	2,6	13,4	1,6	0,1	1,8
2024	1169,5	1004,7	20,0	2,6	13,5	1,6	0,1	1,8
2025	1175,4	1009,7	20,1	2,7	13,6	1,6	0,1	1,8
2026	1181,2	1014,8	20,2	2,7	13,6	1,6	0,1	1,8
2027	1187,1	1019,9	20,3	2,7	13,7	1,7	0,1	1,8
2028	1193,1	1025,0	20,4	2,7	13,8	1,7	0,1	1,8
2029	1199,0	1030,1	20,5	2,7	13,9	1,7	0,1	1,8
2030	1205,0	1035,2	20,6	2,7	13,9	1,7	0,1	1,8
2031	1211,1	1040,4	20,7	2,7	14,0	1,7	0,1	1,8
2032	1217,1	1045,6	20,8	2,7	14,1	1,7	0,1	1,9
2033	1223,2	1050,8	20,9	2,8	14,1	1,7	0,1	1,9
2034	1229,3	1056,1	21,0	2,8	14,2	1,7	0,1	1,9
2035	1235,5	1061,4	21,1	2,8	14,3	1,7	0,1	1,9

Таблиця 2.15

Молярна маса хімічних елементів для компонентів відходів, що розкладаються швидко

Рік	Атомна маса				
	C	H	O	N	S
	12,01	1,01	16	14,01	32,06
2023	17178,2	26799,2	10521,6	714,1	38,8
2024	17350,4	27067,9	10627,1	721,3	39,1
2025	17437,1	27203,2	10680,3	724,9	39,3
2026	17524,3	27339,2	10733,7	728,5	39,5
2027	17611,9	27475,9	10787,3	732,1	39,7
2028	17700,0	27613,3	10841,3	735,8	39,9
2029	17788,5	27751,4	10895,5	739,5	40,1
2030	17877,4	27890,1	10950,0	743,2	40,3
2031	17966,8	28029,6	11004,7	746,9	40,5
2032	18056,6	28169,7	11059,7	750,6	40,7
2033	18146,9	28310,6	11115,0	754,4	40,9
2034	18237,7	28452,1	11170,6	758,2	41,2
2035	18328,9	28594,4	11226,5	762,0	41,4

Таблиця 2.16

Числові коефіцієнти a, b, c, d для компонентів відходів, що розкладаються швидко

Рік	Значення коефіцієнтів			
	a	b	c	d
2023	24	38	15	1
2024	24	38	15	1
2025	24	38	15	1
2026	24	38	15	1
2027	24	38	15	1
2028	24	38	15	1
2029	24	38	15	1
2030	24	38	15	1
2031	24	38	15	1
2032	24	38	15	1
2033	24	38	15	1
2034	24	38	15	1
2035	24	38	15	1

Таблиця 2.17

Молярна маса хімічних елементів для компонентів відходів, що розкладаються повільно

Рік	Атомна маса				
	С	Н	О	N	S
	12,01	1,01	16	14,01	32,06
2023	1645,0	2585,8	836,1	115,0	2,84
2024	1661,5	2611,7	844,5	116,1	2,87
2025	1669,8	2624,8	848,7	116,7	2,88
2026	1678,1	2637,9	852,9	117,3	2,89
2027	1686,5	2651,1	857,2	117,9	2,91
2028	1694,9	2664,4	861,5	118,5	2,92
2029	1703,4	2677,7	865,8	119,1	2,94
2030	1711,9	2691,1	870,1	119,7	2,95
2031	1720,5	2704,5	874,5	120,3	2,97
2032	1729,1	2718,1	878,8	120,9	2,98
2033	1737,7	2731,6	883,2	121,5	3,00
2034	1746,4	2745,3	887,6	122,1	3,01
2035	1755,2	2759,0	892,1	122,7	3,03

Таблиця 2.18

Числові коефіцієнти a, b, c, d для компонентів відходів, що розкладаються повільно

Рік	Значення коефіцієнтів			
	a	b	c	d
2023	14	22	7	1
2024	14	22	7	1
2025	14	22	7	1
2026	14	22	7	1
2027	14	22	7	1
2028	14	22	7	1
2029	14	22	7	1
2030	14	22	7	1
2031	14	22	7	1
2032	14	22	7	1
2033	14	22	7	1
2034	14	22	7	1
2035	14	22	7	1

Звідси:

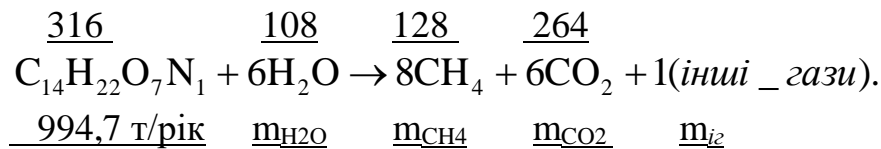
$$m_{H_2O} = \frac{108 \cdot 2488,8}{580} = 463,4 \text{ т/рік};$$

$$m_{CH_4} = \frac{192 \cdot 2488,8}{580} = 823,9 \text{ т/рік};$$

$$m_{CO_2} = \frac{440 \cdot 2488,8}{580} = 1888,1 \text{ т/рік};$$

$$m_{\text{інші_гази}} = (2488,8 + 463,4) - (823,9 + 1888,1) = 240,2 \text{ т/рік}.$$

Для органіки, що розкладається повільно:



Звідси:

$$m_{H_2O} = \frac{108 \cdot 994,7}{316} = 340 \text{ т/рік};$$

$$m_{CH_4} = \frac{128 \cdot 994,7}{316} = 402,9 \text{ т/рік};$$

$$m_{CO_2} = \frac{264 \cdot 994,7}{316} = 831,0 \text{ т/рік};$$

$$m_{\text{інші_гази}} = (994,7 + 340) - (402,9 + 831,0) = 100,8 \text{ т/рік}.$$

На основі отриманих результатів та даних про співвідношення інших газів (див.табл. 2.6), розрахували масові (секундні) та валові викиди забруднюючих речовин, що виділяються з тіла полігону внаслідок анаеробного розкладу органіки (табл. 2.19).

Отримані значення викидів забруднюючих речовин є максимальними, оскільки при розрахунку взято до уваги оптимальні умови перебігу реакції деструкції органічного вмісту ТПВ. Фактичні значення є меншими, оскільки не весь органічний вміст відходів розкладається.

Таблиця 2.19

Викиди забруднювальних речовин, що надходять в атмосферу внаслідок анаеробного розкладу органіки

Рік	Маса відходів, що розкладаються, т/рік			Діоксид карбону		Метан		Толуол		Аміак		Ксилол		Вуглецю оксид		Діоксид азоту		Формальдегід		Етилбензол		Діоксид сірки		Сірководень	
	швидко	повільно	усього	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с
2023	5921,1	1157,9	7079,0	2719,1	86,2	1226,8	38,9	104,6	3,3	77,1	2,44	64,1	2,03	36,5	1,16	16,1	0,51	13,9	0,44	13,8	0,44	10,1	0,32	3,8	0,12
2024	5980,5	1169,5	7150,0	2746,4	87,1	1239,1	39,3	105,6	3,4	77,9	2,47	64,7	2,05	36,9	1,17	16,3	0,52	14,0	0,45	13,9	0,44	10,2	0,32	3,8	0,12
2025	6010,4	1175,4	7185,7	2760,1	87,5	1245,3	39,5	106,2	3,4	78,3	2,48	65,1	2,06	37,1	1,17	16,3	0,52	14,1	0,45	14,0	0,44	10,3	0,33	3,9	0,12
2026	6040,4	1181,2	7221,6	2773,9	88,0	1251,5	39,7	106,7	3,4	78,7	2,49	65,4	2,07	37,2	1,18	16,4	0,52	14,2	0,45	14,1	0,45	10,3	0,33	3,9	0,12
2027	6070,6	1187,1	7257,8	2787,8	88,4	1257,8	39,9	107,2	3,4	79,0	2,51	65,7	2,08	37,4	1,19	16,5	0,52	14,3	0,45	14,1	0,45	10,4	0,33	3,9	0,12
2028	6101,0	1193,1	7294,0	2801,7	88,8	1264,1	40,1	107,8	3,4	79,4	2,52	66,0	2,09	37,6	1,19	16,6	0,53	14,3	0,45	14,2	0,45	10,4	0,33	3,9	0,12
2029	6131,5	1199,0	7330,5	2815,7	89,3	1270,4	40,3	108,3	3,4	79,8	2,53	66,4	2,10	37,8	1,20	16,7	0,53	14,4	0,46	14,3	0,45	10,5	0,33	3,9	0,12
2030	6162,1	1205,0	7367,2	2829,8	89,7	1276,7	40,5	108,9	3,5	80,2	2,54	66,7	2,12	38,0	1,20	16,8	0,53	14,5	0,46	14,4	0,46	10,5	0,33	4,0	0,13
2031	6192,9	1211,1	7404,0	2843,9	90,2	1283,1	40,7	109,4	3,5	80,6	2,56	67,0	2,13	38,2	1,21	16,8	0,53	14,5	0,46	14,4	0,46	10,6	0,33	4,0	0,13
2032	6223,9	1217,1	7441,0	2858,2	90,6	1289,5	40,9	109,9	3,5	81,0	2,57	67,4	2,14	38,4	1,22	16,9	0,54	14,6	0,46	14,5	0,46	10,6	0,34	4,0	0,13
2033	6255,0	1223,2	7478,2	2872,4	91,1	1296,0	41,1	110,5	3,5	81,4	2,58	67,7	2,15	38,6	1,22	17,0	0,54	14,7	0,47	14,6	0,46	10,7	0,34	4,0	0,13
2034	6286,3	1229,3	7515,6	2886,8	91,5	1302,5	41,3	111,1	3,5	81,9	2,60	68,1	2,16	38,8	1,23	17,1	0,54	14,8	0,47	14,7	0,46	10,7	0,34	4,0	0,13
2035	6317,7	1235,5	7553,2	2901,2	92,0	1309,0	41,5	111,6	3,5	82,3	2,61	68,4	2,17	38,9	1,23	17,2	0,54	14,8	0,47	14,7	0,47	10,8	0,34	4,1	0,13

Бачимо, що крім основних забруднюючих речовин двоокису вуглецю та метану, що є парниковими газами, з тіла полігону в атмосферу надходить багато органічних сполук (толуол, аміак, ксилол, оксид вуглецю, двооксид азоту, формальдегід, етилбензол, ангідрид сірчистий та сірководень), більшість з яких є токсичними для живих організмів (аміак, формальдегід, толуол, ксилол, етилбензол), деякі (аміак, сірководень) є причиною неприємного запаху.

Враховую тенденцію до збільшення кількості відходів з роками, а отже і збільшення маси органіки у ній, кількість речовин, що будуть надходити в атмосферне повітря зростатимуть з 2024 до 2035 року, в середньому, на 7 відсотків.

З метою оцінки рівнів і масштабів впливу на атмосферне повітря на основі розрахованих масових викидів забруднюючих речовин на останній рік прогнозування (2035 рік) виконано розрахунки розсіювання викидів забруднюючих речовин від полігону ТПВ, за допомогою програми ЕОЛ-2000 (h) v.4.0. В основі цієї програми лежить «Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі забруднюючих речовин, що містяться у викидах об'єктів господарювання» (ОНД-86) [17]. У використаній розрахунковій моделі, полігон розглядали як площинне джерело викидів. Доцільність проведення розрахунку розсіювання для кожної речовини проводили відповідно до вимог пункту 5.21 ОНД-86 (табл. 2.20).

Таблиця 2.20

Доцільність проведення розрахунку розсіювання

Речовина	г/с	Ф	ГДК	М/ГДК	Доцільність
Діоксид вуглецю	86,2221	0,1	8000	0,01	-
Метан	38,90157	0,1	7000	0,01	-
Толуол	3,316844	0,1	50	0,07	-
Аміак	2,444825	0,1	20	0,12	+
Ксилол	2,032598	0,1	50	0,04	-
Вуглецю оксид	1,157407	0,1	20	0,06	-
Діоксид азоту	0,510528	0,1	2	0,26	+
Формальдегід	0,440766	0,1	0,5	0,88	+
Етилбензол	0,437595	0,1	50	0,01	-
Діоксид сірки	0,320269	0,1	10	0,03	-
Сірководень	0,120497	0,1	10	0,01	-

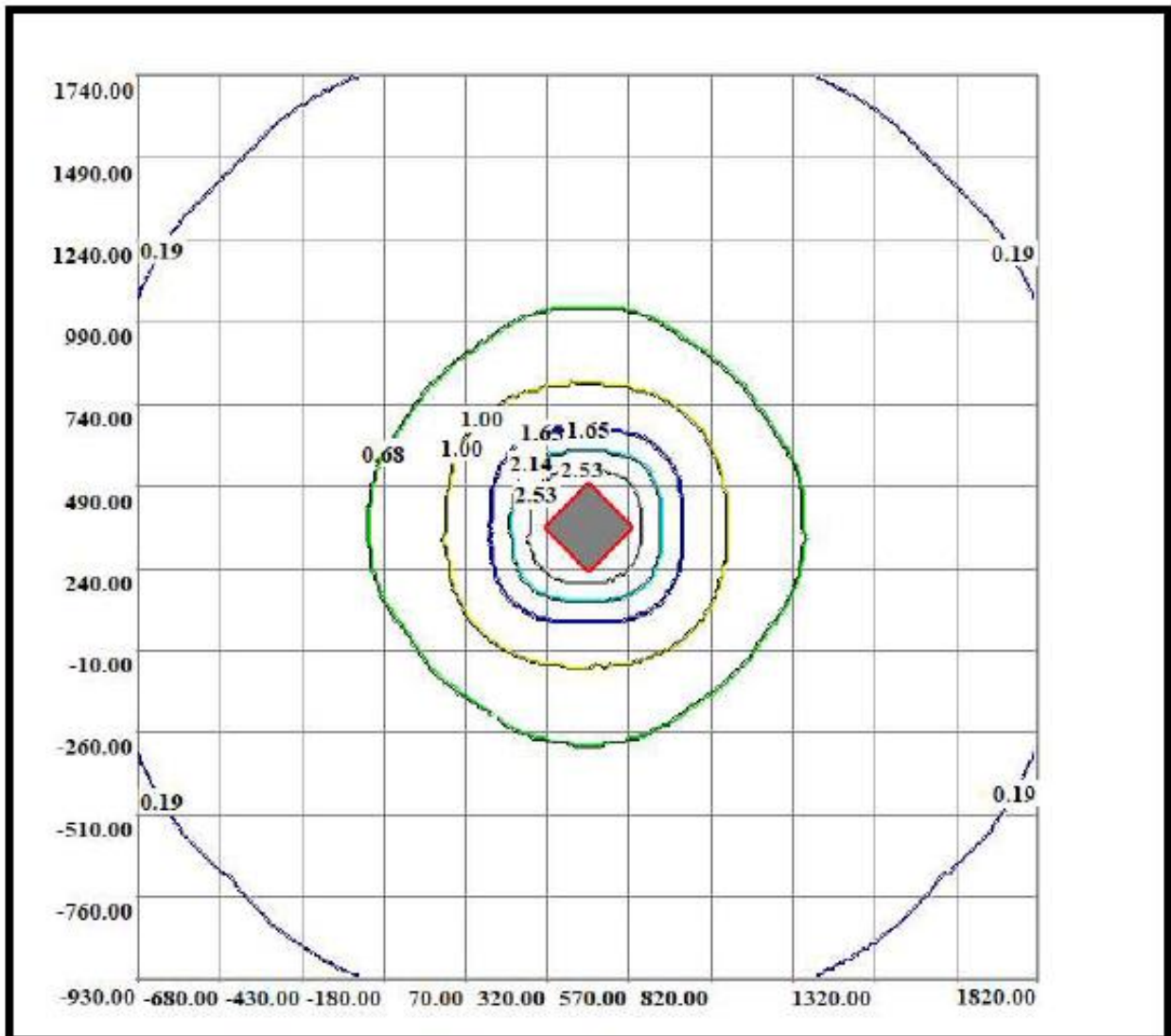


Рис. 2.5. Карта-схема приземних концентрацій азоту діоксиду (у частках ГДК)

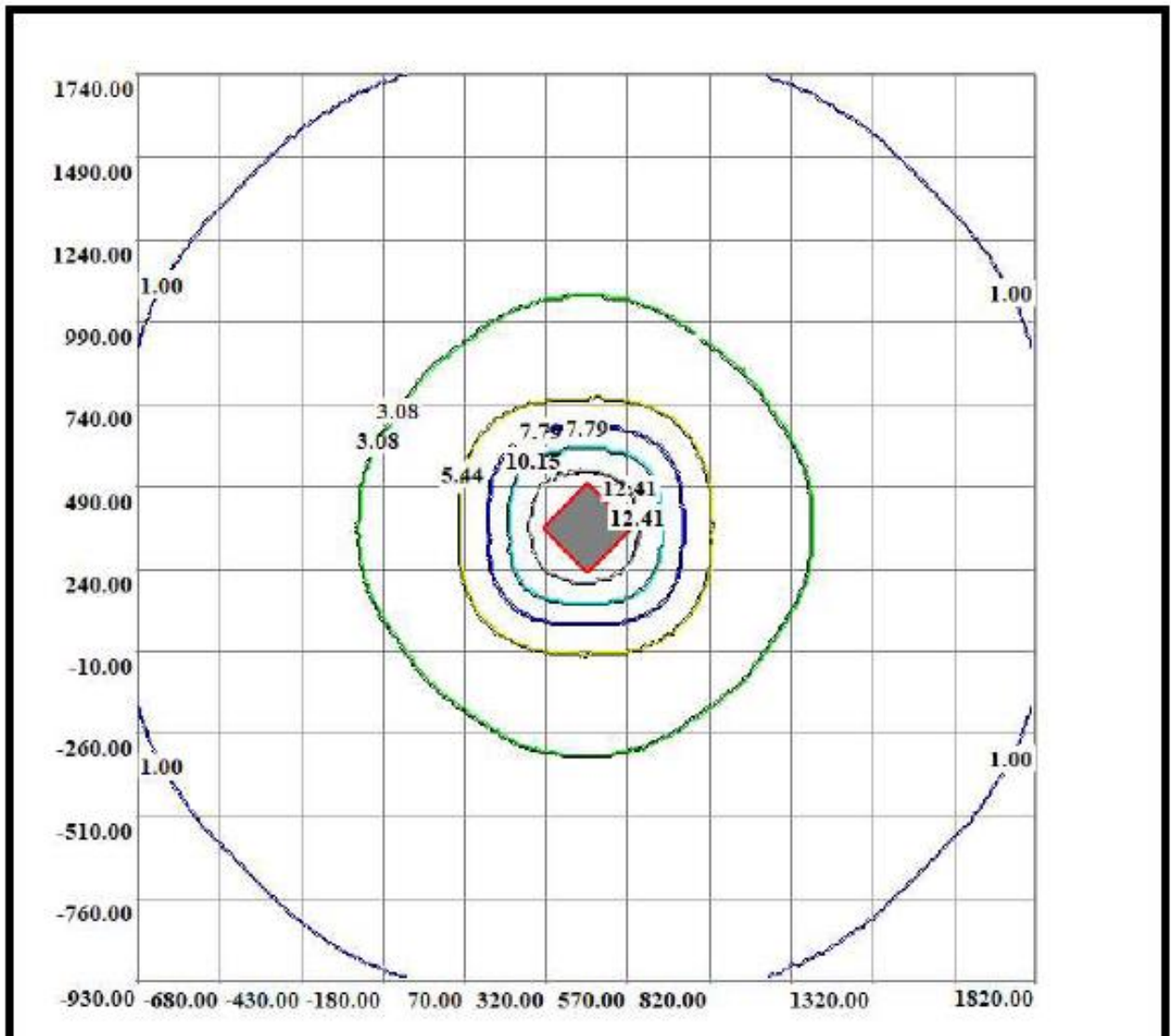


Рис. 2.6. Карта-схема приземних концентрацій аміаку (у частках ГДК)

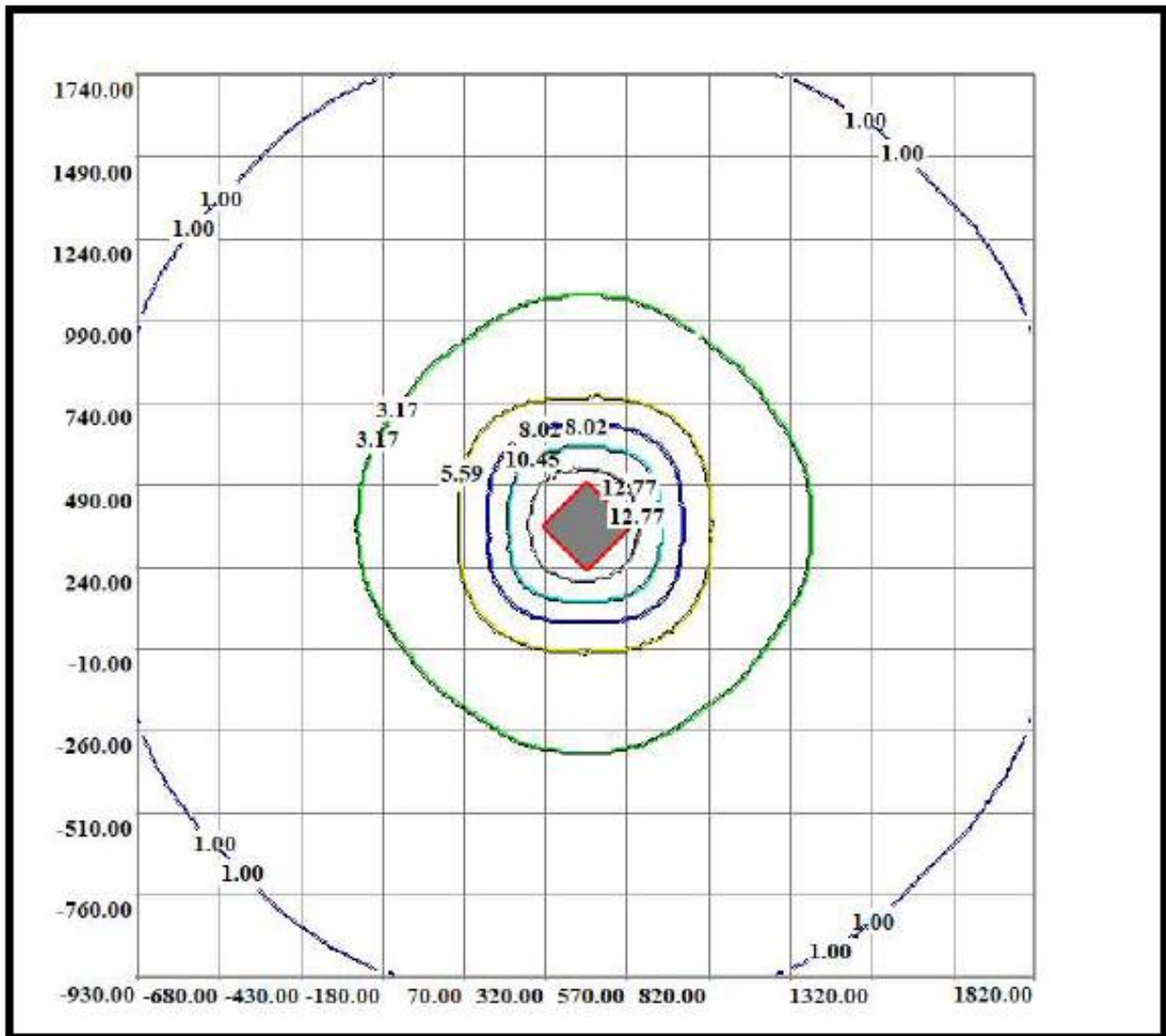


Рис. 2.7. Карта-схема приземних концентрацій формальдегіду (у частках ГДК)

Результати розрахунків наведені у Додатку В та на рисунках 2.5 – 2.7.

Бачимо, що концентрація діоксиду азоту на межі нормативної СЗЗ (500 м) не перевищує ГДК (0,68 ГДК), отже нормативна СЗЗ є ефективною для розсіювання викидів діоксиду азоту.

Натомість, концентрації аміаку і формальдегіду на межі нормативної СЗЗ становлять 3,08 ГДК і 3,17 ГДК, тобто більш ніж у 3 рази перевищують граничнодопустиму концентрацію, що свідчить про неефективність СЗЗ для розсіювання цих речовин.

2.4.2. Оцінка ймовірного впливу полігону ТПВ у випадку надзвичайних ситуацій

Однією з найпоширеніших надзвичайних ситуацій на полігонах ТПВ є самозаймання твердих побутових відходів. Самозаймання є наслідком анаеробного розкладу органіки в тілі полігону, яке супроводжується підвищенням температури до 40-70 °С і утворенням метану (горючого, вибухонебезпечного газу). Пожежі на полігонах (сміттєзвалищах) належать до найбільш складних і тривалих, бо їх гасіння вимагає залучення значних ресурсів, зусиль, засобів і часу. Спрогнозувати та попередити пожежу на полігоні майже неможливо через нерівномірне скупчення відходів з різною теплоємністю.

З метою оцінки впливу полігону ТПВ на атмосферне повітря у випадку надзвичайних ситуацій на основі даних про морфологічний склад відходів (Додаток Б) та даних про питомі показники викидів забруднюючих речовин при згоранні твердих побутових відходів (Додаток А, табл. А.6), виконано розрахунки масових викидів забруднюючих речовин, що виділятимуться в атмосферне повітря у випадку самозаймання відходів.

Для розрахунків ймовірну площу загорання приймали, з врахуванням найгірших відомих умов (відповідно до повідомлень про самозагорання на полігонах за останні 5 років максимальна площа загорання на полігоні

становила 6 % від його площі – м.Житомир, 2025 рік), а ймовірну глибину загорання – 2,5 м (як глибину аеробної та перехідної зони тіла полігону).

Результати розрахунків занесли у таблиці 2.21 і 2.22.

Таблиця 2.21

Маса відходів, яка ймовірно може згоріти у випадку самозаймання полігону ТПВ

Рік	Площа полігону, га	Площа загорання (6 %), га	Об'єм відходів, що згорають, м ³	Маса відходів що згорає, т
2023	0,26	0,016	394,7	85,26
2024	0,53	0,032	793,4	171,38
2025	0,80	0,048	1194,1	257,93
2026	1,06	0,064	1596,8	344,91
2027	1,33	0,080	2001,5	432,33
2028	1,61	0,096	2408,3	520,18
2029	1,88	0,113	2817,0	608,48
2030	2,15	0,129	3227,8	697,21
2031	2,43	0,146	3640,7	786,39
2032	2,70	0,162	4055,6	876,01
2033	2,98	0,179	4472,6	966,09
2034	3,26	0,196	4891,7	1056,61
2035	3,54	0,213	5312,9	1147,59

Очевидно, що з роками, зі збільшенням площі полігону, збільшуватиметься площа можливого самозаймання і, як наслідок, маса речовин, що надходитимуть в атмосферне повітря.

Серед продуктів згорання твердих побутових відходів основними є: сажа (від 1,56 т до 21,0 т за одну пожежу), хлористий водень (від 0,196 до 2,64 т за одну пожежу), оксиди нітрогену (від 0,153 до 2,1 т за одну пожежу), а також диоксид сульфуру (від 0,145 до 1,95 т за одну пожежу). В значно менших кількостях в атмосферу надходить оксиду карбону, оксиду діазоту та сполук свинцю. Викиди інших речовин є порівняно незначними, проте багато з них є токсичними для людського організму (плюмбум, кадмій, ртуть, діоксини, поліхлоровані біофеніли, поліароматичні вуглеводні).

Таблиця 2.22

Викиди забруднюючих речовин, що будуть надходити в атмосферу у випадку самозаймання полігону ТПВ, т

Речовина	Роки												
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Діоксид сульфуру	0,145	0,291	0,438	0,586	0,735	0,884	1,034	1,185	1,337	1,489	1,642	1,796	1,951
Оксиди нітрогену	0,153	0,308	0,464	0,621	0,778	0,936	1,095	1,255	1,416	1,577	1,739	1,902	2,066
НМЛОС	0,002	0,003	0,005	0,007	0,009	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,019	0,021	0,023
Оксид карбону	0,060	0,120	0,181	0,241	0,303	0,364	0,426	0,488	0,550	0,613	0,676	0,740	0,803
Оксид діазоту	0,009	0,017	0,026	0,034	0,043	0,052	0,061	0,070	0,079	0,088	0,097	0,106	0,115
Хлористий водень	0,196	0,394	0,593	0,793	0,994	1,196	1,399	1,604	1,809	2,015	2,222	2,430	2,639
Суспендовані частинки недиференційовані за складом	1,560	3,136	4,720	6,312	7,912	9,519	11,135	12,759	14,391	16,031	17,679	19,336	21,001
Плюмбум	0,009	0,018	0,027	0,036	0,045	0,054	0,063	0,073	0,082	0,091	0,100	0,110	0,119
Кадмій	0,0003	0,0006	0,0009	0,0012	0,0015	0,0018	0,0021	0,0024	0,0027	0,003	0,0033	0,0036	0,00390
Ртуть	0,0002	0,0005	0,0007	0,001	0,0012	0,0015	0,0017	0,002	0,0022	0,0025	0,0027	0,003	0,00321
Діоксини	$4,4 \cdot 10^{-5}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	0,00013	0,00018	0,00022	0,00027	0,00031	0,00036	0,0004	0,00045	0,00049	0,00054	0,00059
Поліхлоровані біофеніли	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$9,9 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$6,1 \cdot 10^{-6}$	$6,7 \cdot 10^{-6}$
Поліароматичні вуглеводні													
Флуарантен	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$8,8 \cdot 10^{-5}$	0,0001	0,00011	0,00013	0,00014	0,00015	0,00017
Бенз(а)антрацен	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$
Бенз(вк)флуарантен	$6,0 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-7}$	$6,1 \cdot 10^{-7}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$	$7,4 \cdot 10^{-7}$	$8,03 \cdot 10^{-7}$
Дибенз(ah)антрацен	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$6,0 \cdot 10^{-7}$	$9,0 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$4,010^{-6}$

З метою оцінки рівнів і масштабів впливу самозагорання полігону ТПВ провели розрахунки розсіювання викидів забруднюючих речовин від полігону ТПВ під час пожежі, за допомогою програми ЕОЛ-2000 (h) v.4.0. У використаній розрахунковій моделі, площу загорання розглядали як площинне джерело викидів площею 0,016 га (85 тон відходів). Доцільність проведення розрахунку розсіювання для кожної речовини проводили відповідно до вимог пункту 5.21 ОНД-86. Результати розрахунків наведені на рис. 2.8 – 2.15.

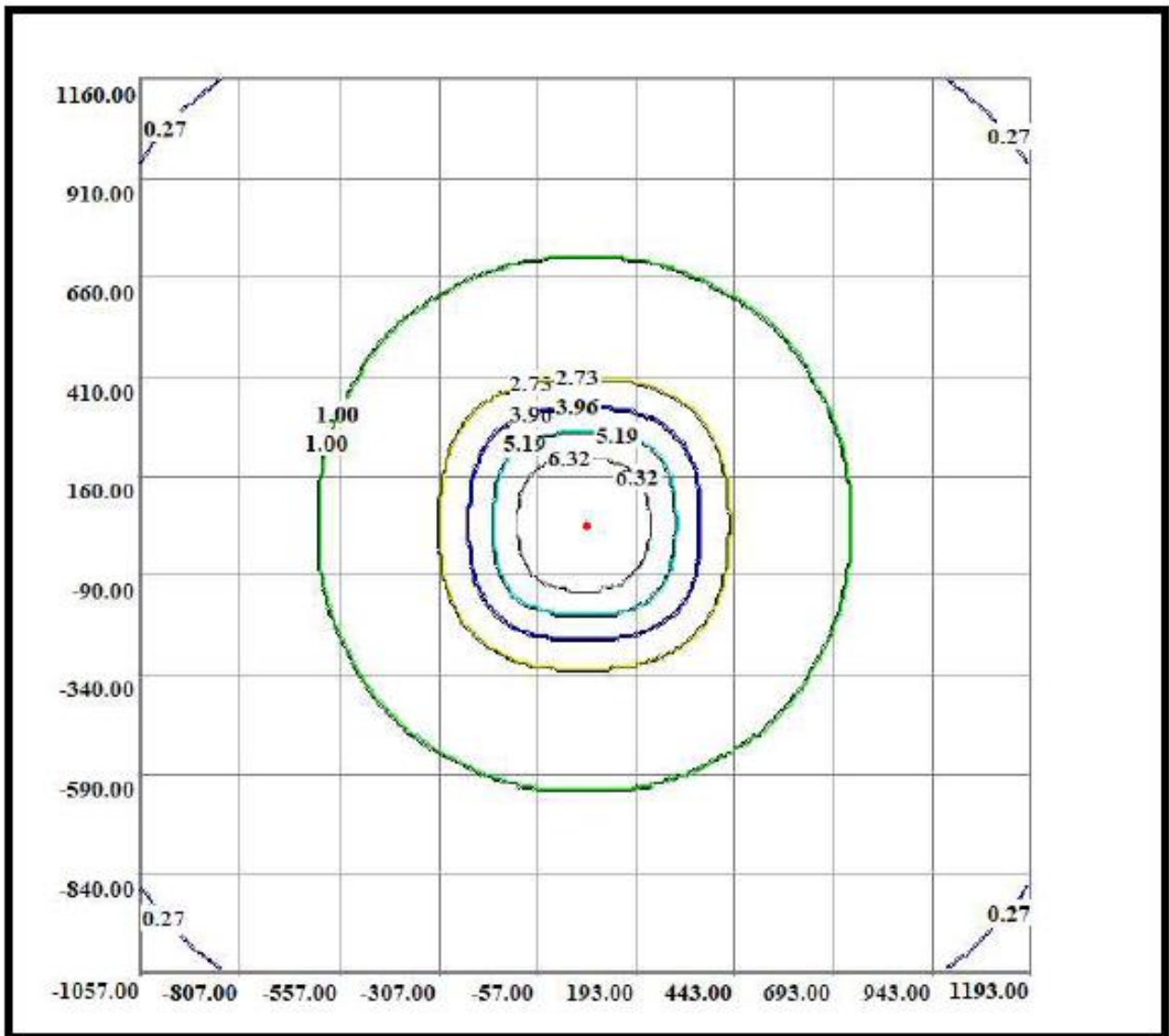


Рис. 2.8. Карта-схема приземних концентрацій кадмію під час самозаймання полігону (у частках ГДК)

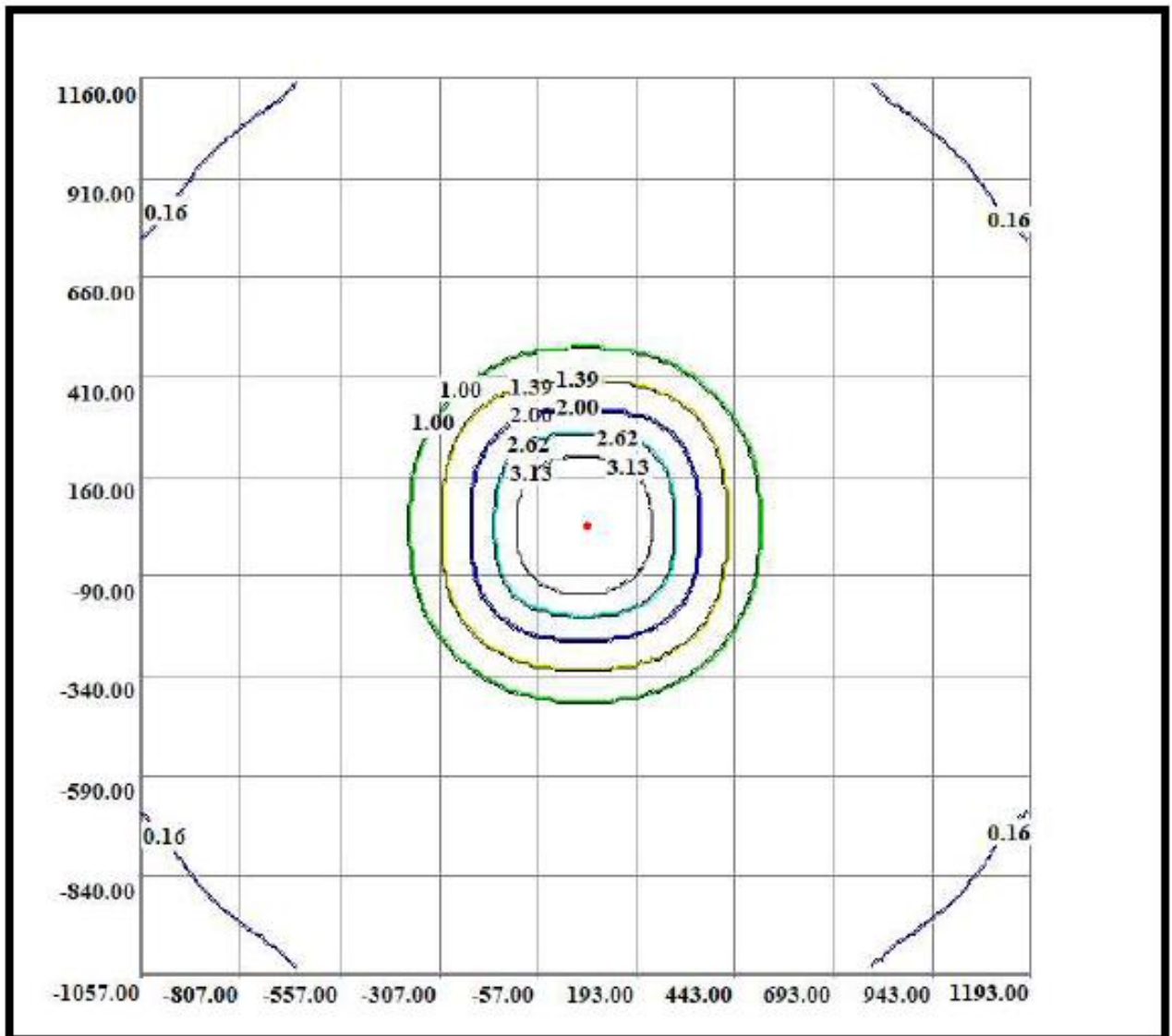


Рис. 2.9. Карта-схема приземних концентрацій ртуті під час самозаймання полігону (у частках ГДК)

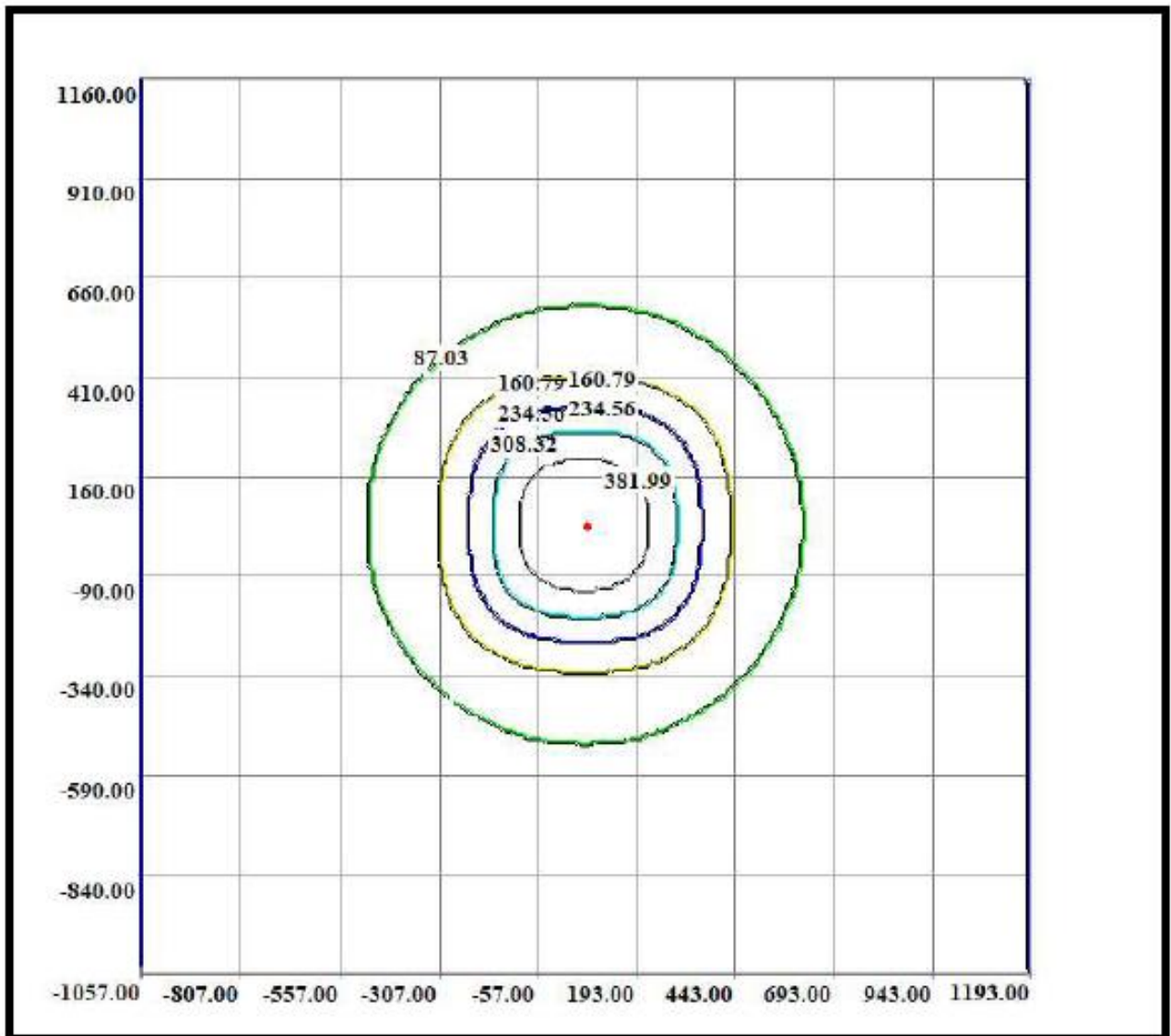


Рис. 2.10. Карта-схема приземних концентрацій свинцю під час самозаймання полігону (у частках ГДК)

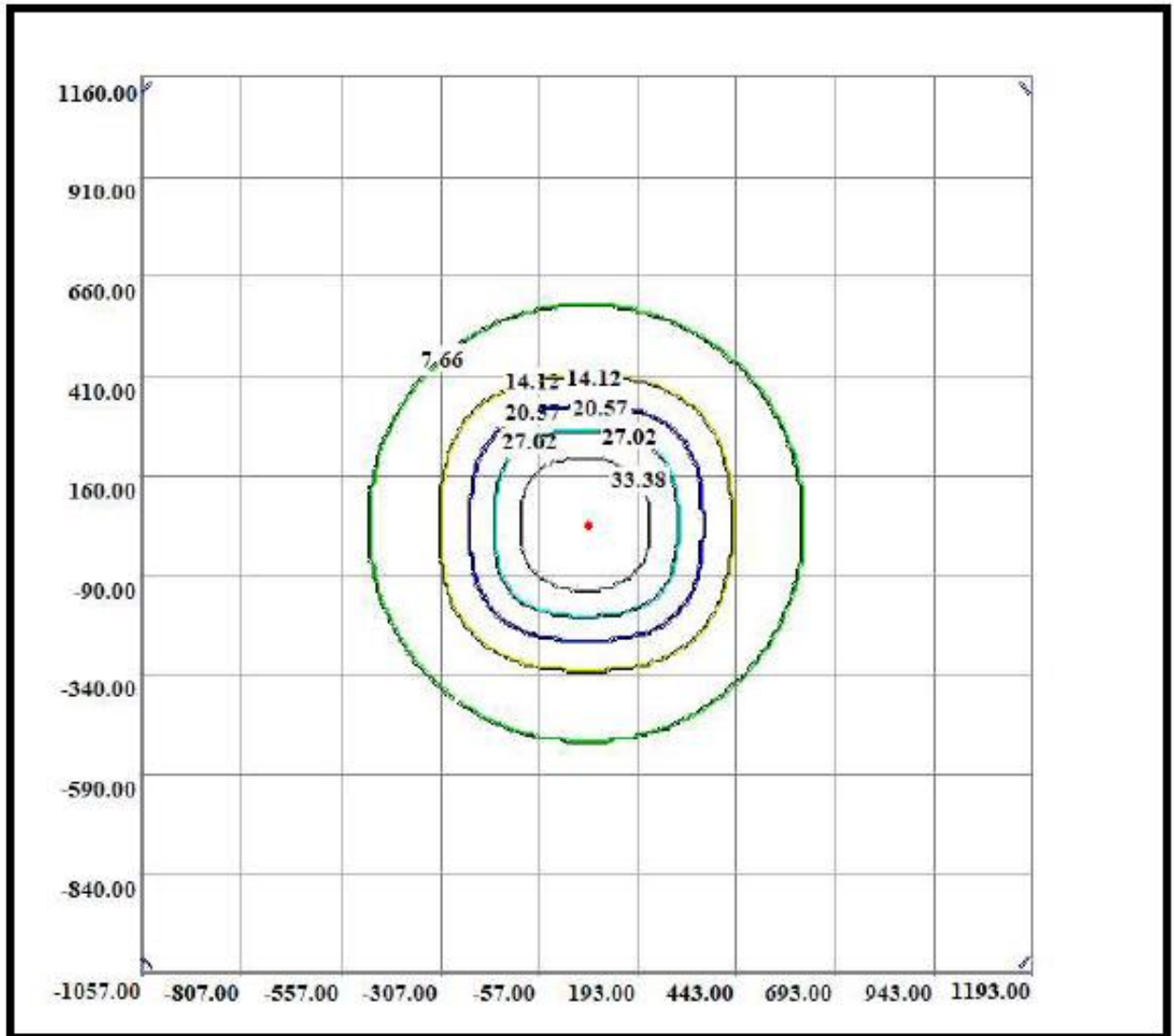


Рис. 2.11. Карта-схема приземних концентрацій діоксиду азоту під час самозаймання полігону (у частках ГДК)

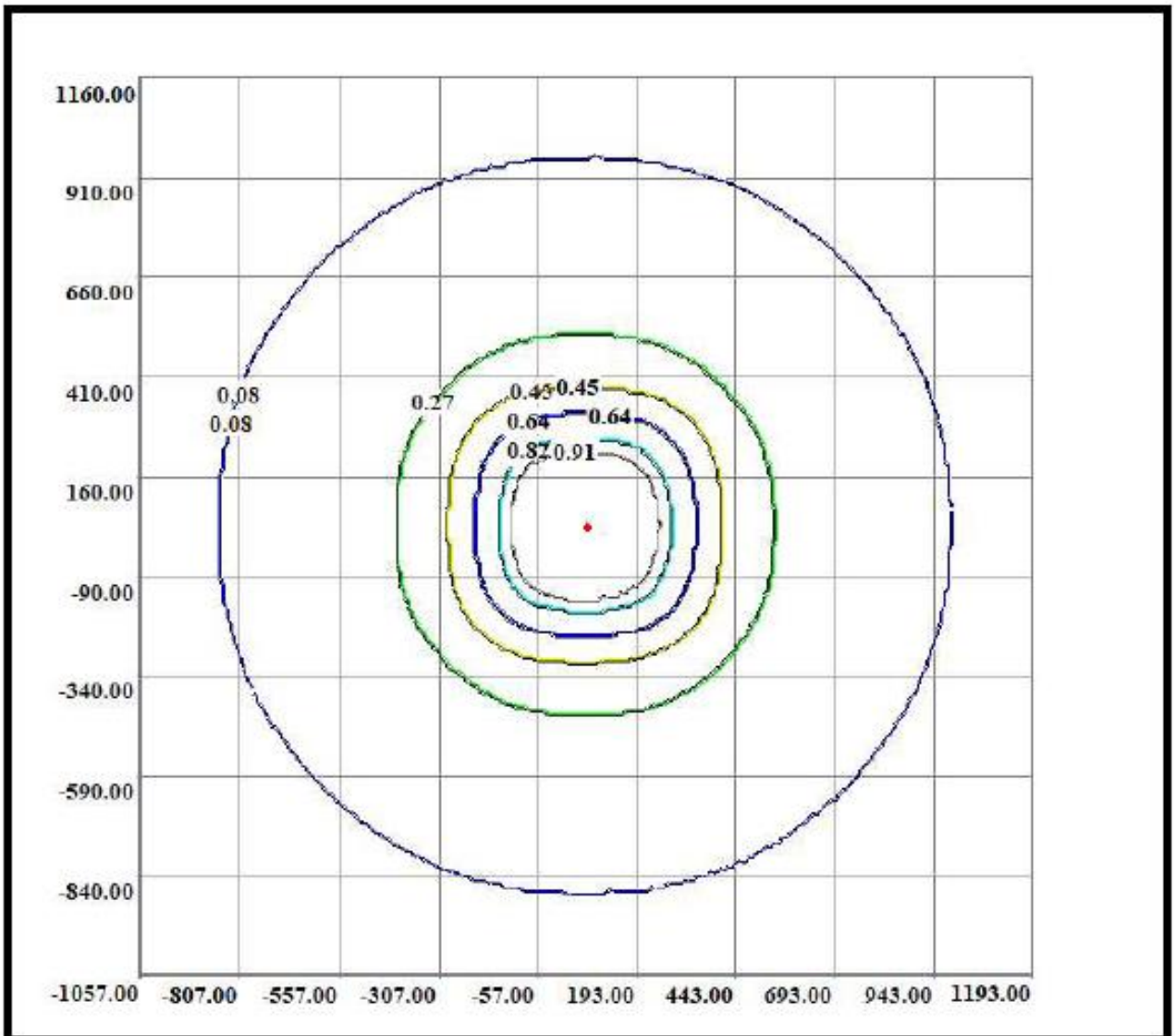


Рис. 2.12. Карта-схема приземних концентрацій оксиду азоту під час самозаймання полігону (у частках ГДК)

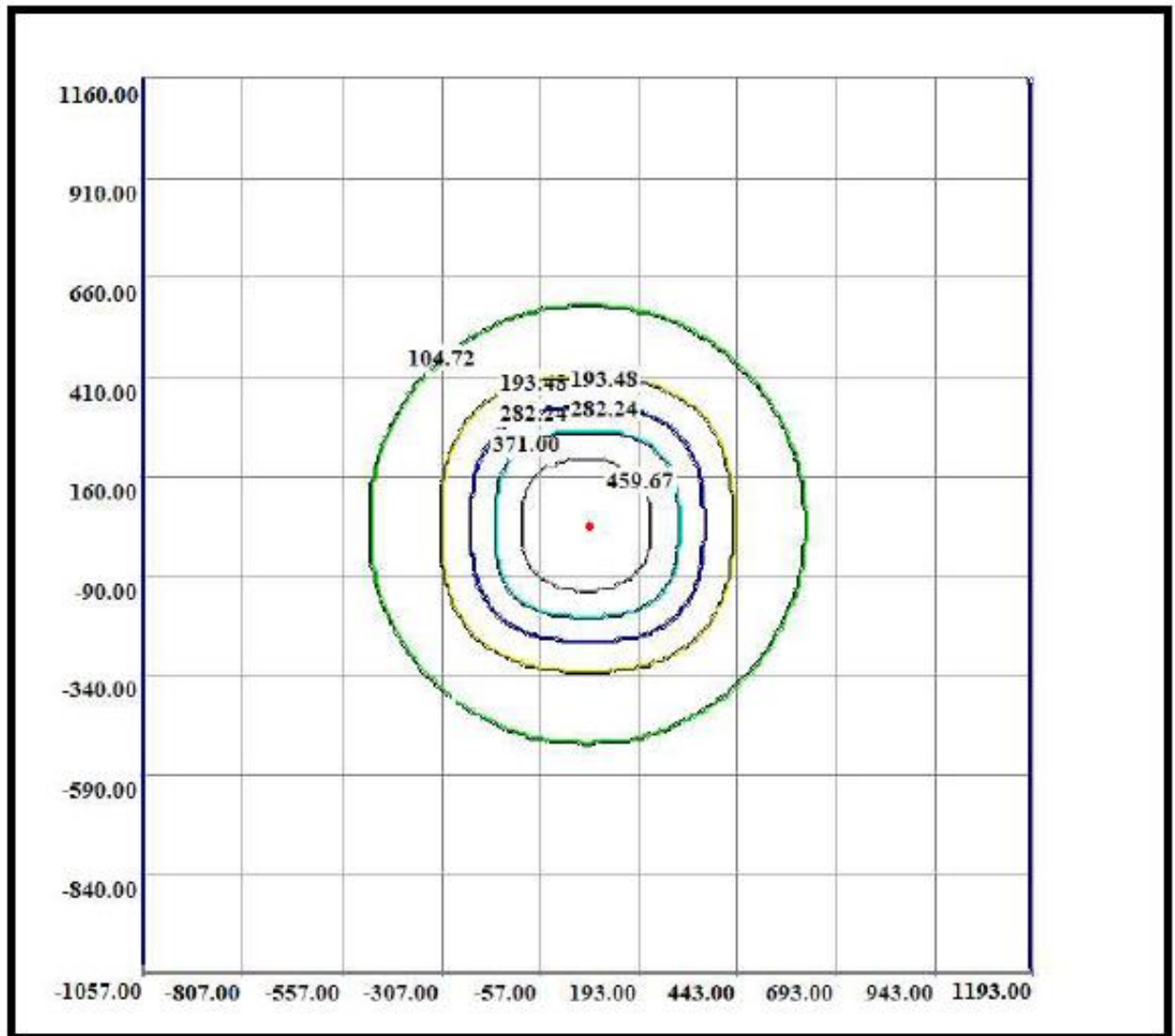


Рис. 2.13. Карта-схема приземних концентрацій сажі під час самозаймання полігону (у частках ГДК)

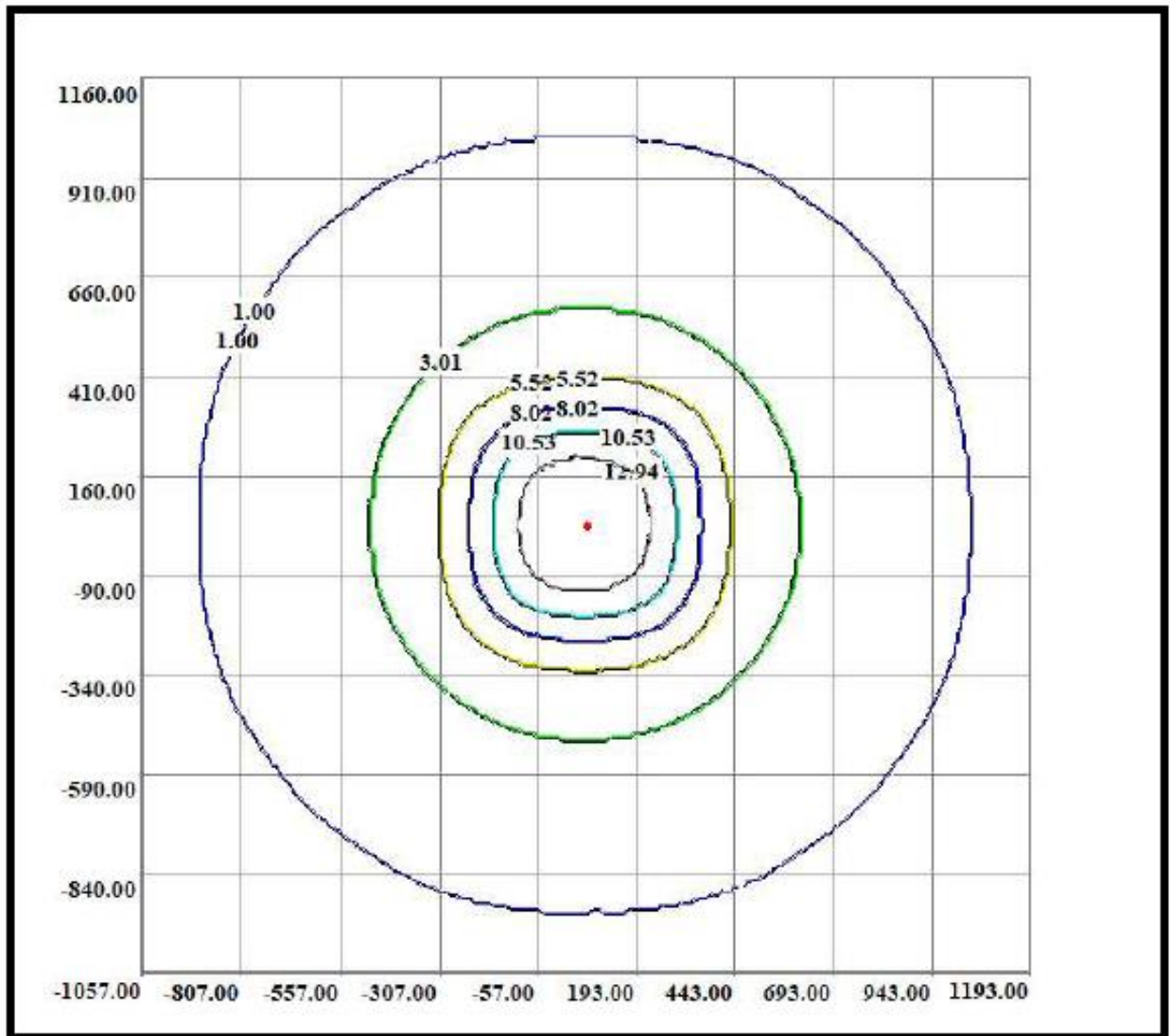


Рис. 2.14. Карта-схема приземних концентрацій диоксиду сульфуру під час самозаймання полігону (у частках ГДК)

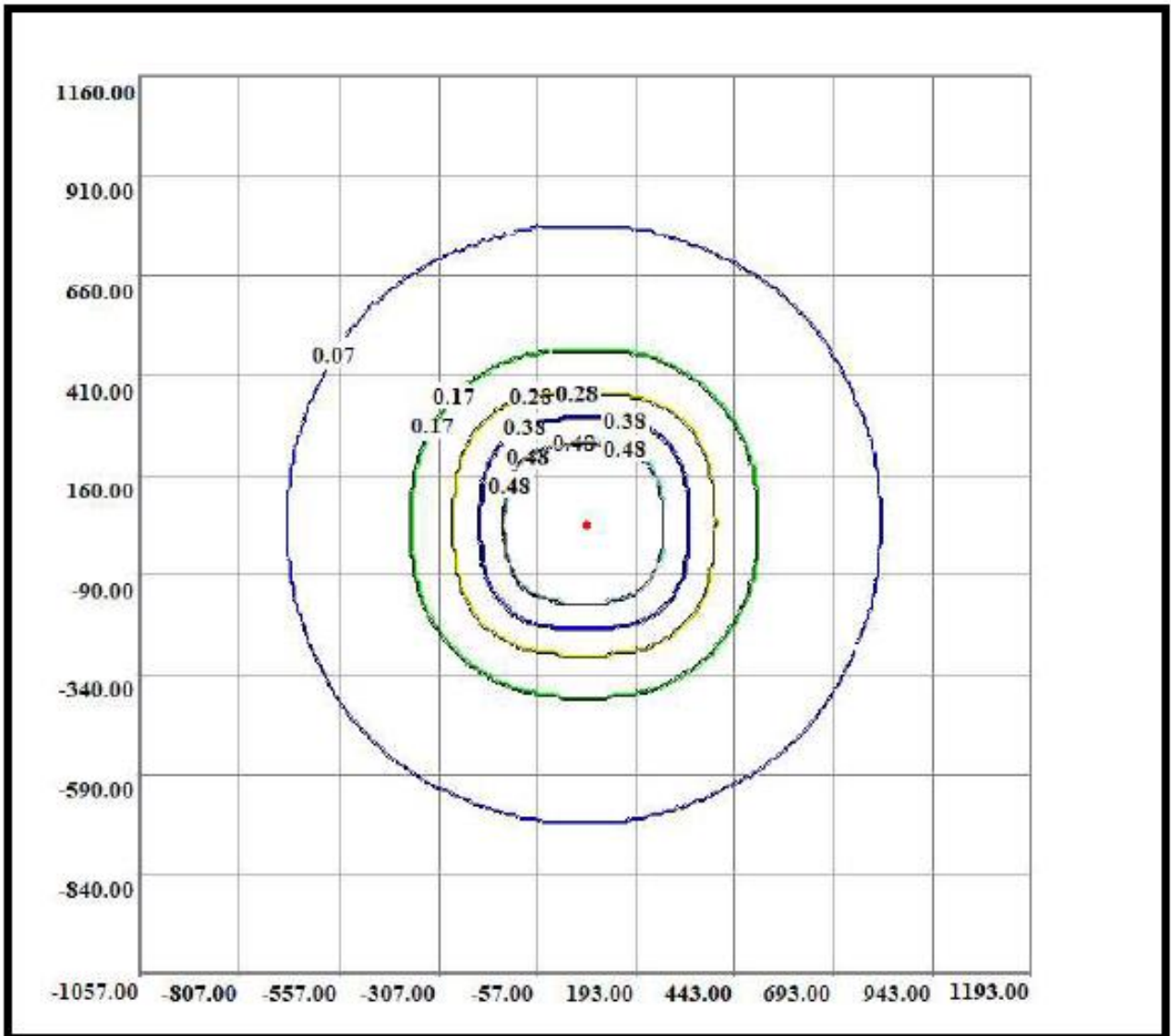


Рис. 2.15. Карта-схема приземних концентрацій оксиду вуглецю під час самозаймання полігону (у частках ГДК)

Бачимо, що під час самозаймання полігону викиди монооксиду карбону, монооксиду нітрогену, кадмію і ртуті повністю розсіюються в межах санітарнозахисної зони, їх концентрація становить 0,17 ГДК, 0,27 ГДК, 1,0 ГДК та 1,0 ГДК відповідно. Концентрації діоксиду сульфуру та діоксиду нітрогену у декілька разів (у 3 і 7,7 разів) перевищують гранично-допустимі. концентрація сажі на СЗЗ більш ніж у 100 разів перевищує норму, а найбільш загрозливим є високий вміст свинцю - 87 ГДК.

РОЗДІЛ 3

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ У М. БОРИСЛАВ

Як і більшість міст України, місто Борислав зіткнулося з однією з найбільш поширених екологічних проблем - проблемою утилізації твердих побутових відходів. Як показали проведені прогностичні розрахунки (розділ 2) без впровадження ефективної системи поводження з твердими побутовими відходами екологічні показники впливу (викиди забруднюючих речовин, об'єми фільтрату, площі вилучених з користування земель для облаштування полігону ТПВ) щорічно зростатимуть.

Ще донедавна основною схемою видалення твердих побутових відходів з території міста та прилеглих сіл залишалася система збирання та захоронення відходів на міському сміттєзвалищі. Проте, з огляду на розвиток законодавства України у сфері управління відходами (прийнято Національну стратегію управління відходами до 2030 року, Національний план управління відходами до 2030 року, закон України «Про управління відходами») у місті поступово впроваджується роздільне збирання відходів.

Так, на сьогодні на території м. Борислава встановлено 136 контейнерних майданчиків для роздільного сортування твердих побутових відходів, а саме: паперу та картону (на 1540 м³/рік); пластмаси та ПЕТ пляшок (на 2100 м³/рік); скла (на 1848 м³/рік) [3, 20].

Також, за ініціативи «Центру екології, туризму та сталого розвитку» спільно з управлінням ЖКГЕ Бориславської міської ради у рамках проекту «ULEAD з Європою» запроваджується реалізація проекту зі створення заводу з компостування органічних та зелених відходів.

Проектом передбачено створення замкнутої структури оброблення біовідходів, яка включає увесь цикл від збирання, транспортування до оброблення біовідходів. Впровадження програми відбуватиметься поступово

протягом 12 років і розраховане на кінцеву потужність 5 тис.т/рік (обсяг харчових відходів - 3245,9 т/рік, обсяг зелених відходів (гілки, скошена трава, листя тощо) – 1813 т/рік) [20].

Найімовірніше система управління відходами у Бориславській МТГ, з роками буде вдосконалюватися, і роздільному збиранню підлягатиме більшість компонентів відходів.

Для оцінки екологічного ефекту від сортування відходів на джерелі утворення нами проведено прогнозні розрахунки зміни маси відходів, площі полігону, кількості фільтрату та біогазу, за умови відсортовування: харчових відходів, пластмас та ПЕТ тари, паперу та картону, деревини та садово-паркових відходів, скла та металу.

Оскільки перехід до такої системи поводження з відходами, як правило відбувається поступово, то прогнозні розрахунки робили на період 12 років (за аналогією до проекту з відсортовування органічних та зелених відходів), припускаючи, що кількість відсортованого компоненту зростатиме щороку на $100 \% / 12 \text{ років} = 8,33 \%$.

Розрахунок загальної маси відходів внаслідок поступового (з 2024 до 2035 року) впровадження системи сортування твердих побутових відходів проводили за методикою викладеною у Додатку А, припускаючи, що відсортовуватимуться харчові відходи, пластмаси та ПЕТ тара, папір та картон, деревина та садово-паркові відходи, скло та метал.

Результати розрахунків подані у табл. 3.1 та на рис. 3.1.

Очевидно, що маса компонентів, які будуть відсортовуватися (харчові відходи, пластмаси та ПЕТ тара, папір та картон, деревина та садово-паркові відходи, скло та метал) помітно зменшуватиметься з роками, проте, одночасно маса інших компонентів, які не підлягають відсортуванню (шкіра, гума, текстиль, вуличний відсів та інші відходи), навпаки - збільшуватиметься.

Таблиця 3.1

Зменшення маси компонентів ТПВ за умови впровадження системи сортування

Рік	Маса відходів без сортування, т/рік	Маса відходів внаслідок сортування, т/рік	Зміна маси кожного компонента внаслідок сортування, т/рік										
			Харчові відходи	Вуличний відсів	Пласт-маси, ПЕТ	Папір, картон	Текстиль	Деревина	Садово-паркові	Скло	Метал чорний	Шкіра, гума	Інші відходи
2023	13158	13158,0	3815,8	1973,7	2671,1	921,1	447,4	789,5	1184,2	526,3	197,4	236,8	394,7
2024	13290	12439,7	3533,0	1993,5	2473,1	852,8	451,9	731,0	1096,5	487,3	182,7	239,2	398,7
2025	13356	11647,4	3228,0	2003,5	2259,6	779,2	454,1	667,9	1001,8	445,2	167,0	240,4	400,7
2026	13423	10846,9	2919,9	2013,5	2043,9	704,8	456,4	604,1	906,2	402,7	151,0	241,6	402,7
2027	13490	10038,1	2608,6	2023,5	1826,0	629,7	458,7	539,7	809,6	359,8	134,9	242,8	404,7
2028	13558	9221,0	2294,2	2033,7	1605,9	553,8	461,0	474,7	712,0	316,4	118,7	244,0	406,7
2029	13625	8395,4	1976,5	2043,8	1383,5	477,1	463,3	408,9	613,4	272,6	102,2	245,3	408,8
2030	13694	7561,3	1655,6	2054,0	1158,9	399,6	465,6	342,5	513,8	228,4	85,6	246,5	410,8
2031	13762	6718,7	1331,4	2064,3	932,0	321,4	467,9	275,5	413,2	183,6	68,9	247,7	412,9
2032	13831	5867,5	1003,9	2074,6	702,8	242,3	470,3	207,7	311,6	138,5	51,9	249,0	414,9
2033	13900	5007,6	673,2	2085,0	471,2	162,5	472,6	139,3	208,9	92,9	34,8	250,2	417,0
2034	13970	4138,9	339,1	2095,4	237,4	81,8	475,0	70,2	105,2	46,8	17,5	251,5	419,1
2035	14039	3261,5	1,6	2105,9	1,1	0,4	477,3	0,3	0,5	0,2	0,1	252,7	421,2

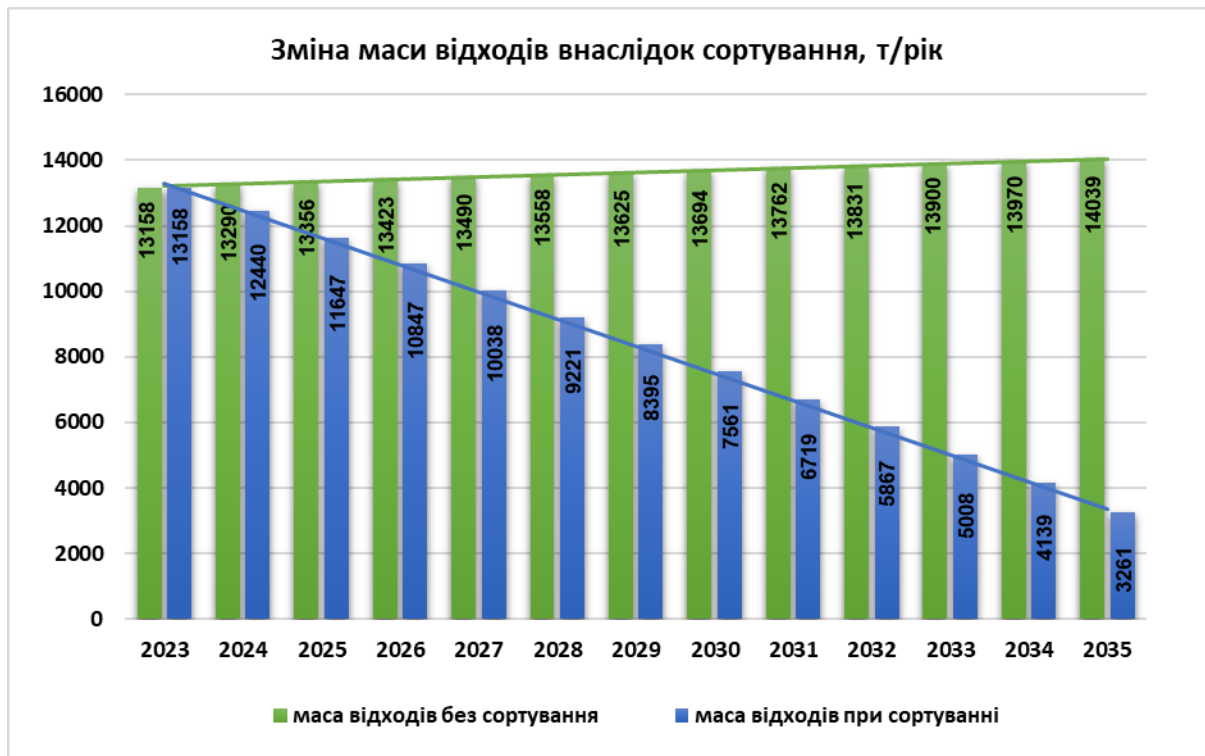


Рис. 3.1. Зміна загальної маси відходів внаслідок поступового впровадження системи роздільного збирання харчових відходів, пластмас та ПЕТ тари, паперу та картону, деревини та садово-паркових відходів, скла та металу

Таблиця 3.2

Зменшення об'єму та площі полігону ТПВ при сортуванні

Рік	Без сортування		Внаслідок сортування	
	маса відходів, т/рік	площа полігону, га	маса відходів, т/рік	площа полігону, га
2023	13158	0,3	13158	0,3
2024	13290	0,5	12440	0,5
2025	13356	0,8	11647	0,7
2026	13423	1,1	10847	1,0
2027	13490	1,3	10038	1,2
2028	13558	1,6	9221	1,3
2029	13625	1,9	8395	1,5
2030	13694	2,2	7561	1,7
2031	13762	2,4	6719	1,8
2032	13831	2,7	5867	1,9
2033	13900	3,0	5008	2,0
2034	13970	3,3	4139	2,1
2035	14039	3,5	3261	2,2

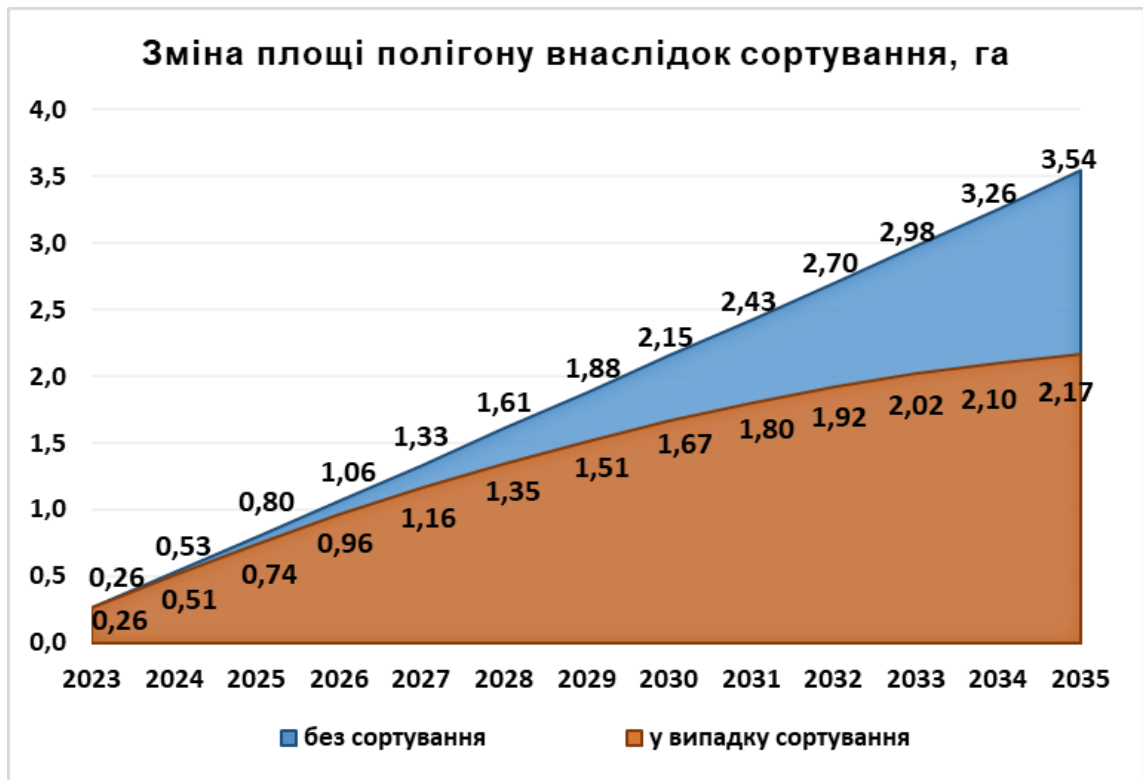


Рис. 3.2. Зміна загальної маси відходів внаслідок поступового впровадження системи роздільного збирання харчових відходів, пластмас та ПЕТ тари, паперу та картону, деревини та садово-паркових відходів, скла та металу



Рис.3.3. Зміна загальної маси відходів внаслідок поступового впровадження системи роздільного збирання харчових відходів, пластмас та ПЕТ тари, паперу та картону, деревини та садово-паркових відходів, скла та металу

Таблиця 3.3

Зменшення викидів забруднювальних речовин, що надходять в атмосферу внаслідок анаеробного розкладу органіки

Рік	Маса відходів, що розкладаються, т/рік			Діоксид карбону		Метан		Толуол		Аміак		Ксилол		Вуглецю оксид		Діоксид азоту		Формальдегід		Етилбензол		Діоксид сірки		Сірководень	
	швидко	повільно	усього	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с	т/рік	г/с
2023	5921,1	1157,9	7079,0	2719,1	86,2	1226,8	38,9	104,6	3,3	77,1	2,44	64,1	2,03	36,5	1,16	16,1	0,51	13,9	0,44	13,8	0,44	10,1	0,32	3,8	0,12
2024	5482,3	1129,7	6612,0	2539,7	80,5	1145,9	36,3	97,7	3,1	72,0	2,28	59,9	1,90	34,1	1,08	15,0	0,48	13,0	0,41	12,9	0,41	9,4	0,30	3,5	0,11
2025	5009,0	1095,3	6104,3	2344,7	74,4	1057,9	33,5	90,2	2,9	66,5	2,11	55,3	1,75	31,5	1,00	13,9	0,44	12,0	0,38	11,9	0,38	8,7	0,28	3,3	0,10
2026	4530,9	1060,5	5591,4	2147,7	68,1	969,0	30,7	82,6	2,6	60,9	1,93	50,6	1,61	28,8	0,91	12,7	0,40	11,0	0,35	10,9	0,35	8,0	0,25	3,0	0,10
2027	4047,9	1025,3	5073,2	1948,7	61,8	879,2	27,9	75,0	2,4	55,3	1,75	45,9	1,46	26,2	0,83	11,5	0,37	10,0	0,32	9,9	0,31	7,2	0,23	2,7	0,09
2028	3559,9	989,8	4549,7	1747,6	55,4	788,5	25,0	67,2	2,1	49,6	1,57	41,2	1,31	23,5	0,74	10,3	0,33	8,9	0,28	8,9	0,28	6,5	0,21	2,4	0,08
2029	3067,0	953,9	4020,9	1544,4	49,0	696,8	22,1	59,4	1,9	43,8	1,39	36,4	1,15	20,7	0,66	9,1	0,29	7,9	0,25	7,8	0,25	5,7	0,18	2,2	0,07
2030	2569,0	917,6	3486,6	1339,2	42,5	604,2	19,2	51,5	1,6	38,0	1,20	31,6	1,00	18,0	0,57	7,9	0,25	6,8	0,22	6,8	0,22	5,0	0,16	1,9	0,06
2031	2066,0	880,9	2946,9	1131,9	35,9	510,7	16,2	43,5	1,4	32,1	1,02	26,7	0,85	15,2	0,48	6,7	0,21	5,8	0,18	5,7	0,18	4,2	0,13	1,6	0,05
2032	1557,8	843,8	2401,7	922,5	29,3	416,2	13,2	35,5	1,1	26,2	0,83	21,7	0,69	12,4	0,39	5,5	0,17	4,7	0,15	4,7	0,15	3,4	0,11	1,3	0,04
2033	1044,6	806,4	1851,0	711,0	22,5	320,8	10,2	27,3	0,9	20,2	0,64	16,8	0,53	9,5	0,30	4,2	0,13	3,6	0,12	3,6	0,11	2,6	0,08	1,0	0,03
2034	526,2	768,5	1294,7	497,3	15,8	224,4	7,1	19,1	0,6	14,1	0,45	11,7	0,37	6,7	0,21	2,9	0,09	2,5	0,08	2,5	0,08	1,8	0,06	0,7	0,02
2035	2,5	730,3	732,8	281,5	8,9	127,0	4,0	10,8	0,3	8,0	0,25	6,6	0,21	3,8	0,12	1,7	0,05	1,4	0,05	1,4	0,05	1,0	0,03	0,4	0,01

Запропонована оптимізація системи управління твердими побутовими відходами у загальному підсумку дасть можливість зменшити сумарну кількість відходів у 4,3 рази (рис.3.1), зменшити площу полігону в 1,6 рази (табл.3.2, рис 3.2), зменшити кількість фільтрату у 2,5 рази (табл.3.3, рис.3.3), зменшити виділення забруднюючих речовин, у тому числі парникових газів у 8-10 разів, (табл.3.4) і, як наслідок, знизити приземні концентрації забруднюючих речовин (аміаку та формальдегіду) на межі санітарно-захисної зони полігону до нормативних значень. Також зменшення кількості органічних відходів та легкозаймистих речовин (папір, пластик) дозволить суттєво зменшити ймовірність випадків самозаймання відходів на полігоні.

ВИСНОВКИ

У роботі на основі аналізу обсягів накопичення твердих побутових відходів та динаміки чисельності населення у Бориславській МТГ виконано оцінку впливу місць складування відходів на довкілля. Запропоновано шляхи оптимізації системи управління твердими побутовими відходами у м. Борислав та спрогнозовано її результати: зміни маси твердих побутових відходів, місткості та площі полігону для їх захоронення, об'єму фільтрату, масових викидів забруднюючих речовин.

Головні висновки полягають у тому, що:

- збільшення обсягів твердих побутових відходів, що утворюватимуться на території Бориславської МТГ зумовить вилучення з постійного користування додаткових земельних площ для їх складування, а відповідно погіршення екологічної ситуації внаслідок утворення більшої кількості фільтрату, надходження забруднюючих речовин внаслідок розкладання органіки;
- поступове впровадження системи роздільного збирання, дасть можливість у 4,3 рази зменшити кількість відходів, які підлягатимуть захороненню, і, як наслідок, зменшить негативні впливи полігону на компоненти довкілля;
- відсортовування органічних та легкозаймистих відходів суттєво зменшить ймовірність самозаймання на полігонах
- запропонована система сортування повністю не усуває потреби відведення земель для захоронення відходів, тому потребує вдосконалення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баженов В.А. Ісаєнко В.М. , Саталкін Ю.М. та ін. Інженерна екологія. Київ: Книжкове видавництво НАУ, 2006. 492 с.
2. Березовська Ю., Гамоля Н. Цивілізація сміття // Контракти, 2005. №33. С.18-24.
3. Бориславська міська рада. Офіційний сайт. URL: <https://boryslavrada.gov.ua/post/2023/101771>
4. Бучинська А., Гвоздевич О., Кульчицька-Жигайло Л. та ін. Полігони твердих побутових відходів: дегазація і рекультивація: посібник. Львів: Тріада-плюс, 2008. 100 с.
5. Гелетуха Г., Копейкін К. Біогаз зі звалищ. Перспективи використання в Україні // Зелена енергетика, 2002. №1. С.13-16.
6. Державна Програма поводження з твердими побутовими відходами: Постанова Кабінету Міністрів України від 04.03.04. № 265. URL: https://ips.ligazakon.net/document/КР040265?ed=2004_03_04
7. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Затверджено наказом МОЗУ від 19.06.96 №173. Київ: Світ, 1996. 25 с.
8. Державна служба статистики України. Головне управління статистики у Львівській області. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.lv.ukrstat.gov.ua/ukr/si/st_inf.php
9. ДБН В 2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування». URL: <https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/DBN-V.2.4-2-2005.pdf>
10. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Том – III. Донецьк: Український науковий центр технічної екології, 2004. 118 с.
11. Зигун А.Ю. Формування загальноміської системи з видалення твердих побутових відходів (на прикладі міста Полтава): автореф. дис. ... канд.

- техн. наук: 05.23.20. Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Полтава, 2012. - 20 с.
12. Звіт про проведення екологічного аудиту території розміщення Бориславського полігону твердих побутових відходів. Львів: ТОВ «Еко центр проект», 2022. 35 с.
13. Інтегроване управління та поводження з твердими побутовими відходами у Вінницькій області. Монографія / Під ред. В. Г. Петрука. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2007. 160 с.
14. Екологія міста / За ред. Ф.В. Стольберга. Київ: Лібра, 2000. 464 с.
15. Клименко М. О. та ін. Управління та поводження з відходами: практикум. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. 179 с.
16. Національна стратегія поводження з твердими побутовими відходами в Україні до 2030 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
17. «Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі забруднюючих речовин, що містяться у викидах об'єктів господарювання». – Л.: Гідрометеоіздат, 1986 р. URL: <https://sfund.kyiv.ua/down/ond86.pdf>
18. Панківський Ю.І., Ошуркевич-Панківська О.Є. Управління та поводження з відходами: Методичні вказівки до виконання курсової роботи. – Львів: НЛТУ України, 2019 р. – 36 с.
19. Програма поводження з твердими побутовими відходами у м. Львові на 2014-2018 роки. Затверджена ухвалою сесії Львівської міської ради від 18.12.2014 р., № 41324. URL: <https://city-adm.lviv.ua/public-information/waste-management>
20. Програма поводження з побутовими відходами у м.Бориславі на 2020-2025 роки. Затверджено рішенням міської ради від 26.08. 2020 року №2563. URL: <https://boryslavrada.gov.ua/post/documents/123-prv-2020-pro>

pohodzhennia-prohramy-povodzhennia-z-pobutovymy-vidkhodamy-u-m-boryslavi-na-2-na-2020-2025-roky

21. Пухнюк О. Ю. Утворення біогазу на полігонах твердих побутових відходів України та оцінка потенціалу його енергетичного використання: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08.. Нац. акад. наук України, Ін-т техн. теплофізики. К., 2013. 26 с.
22. Радовенчик В.М., Гомеля М.Д. Тверді відходи: збір, переробка, складування: навчальний посібник. Київ: Кондор, 2010. 552 с.
23. Рекомендації з удосконалення експлуатації діючих полігонів та звалищ твердих побутових відходів. Наказ №5 від 10.01.2006 року Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства. Київ, 2006. 18 с.
24. Сафранов Т. А. та ін.. Управління та поводження з муніципальними відходами: практикум. Одеса: ТЕС, 2014. 198 с.
25. Студінський В.А. Управління твердими побутовими відходами в містах України Київ: КІМО, 2006. 151 с.
26. Хархаліс Б.І. Курсове та дипломне проектування в екології: навчальний посібник. Львів: РВВ НЛТУ України, 2005. 173 с.
27. Шаблій О.І., Муха Б.П., Гурин А.В., Зінкевич М.В. Географія: Львівська область. URL: https://geoknigi.com/book_view.php?id=26
28. Donald B. Aulenbach, Robert M. Ryan Management of Radioactive Wastes. – LIWT, 1999. – 90 p.
29. Georg Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel Vigil Integrated Solid Waste Management. – Irwin/McGraw-Hill Inc., 1993. – 978 p.
30. Lawrence K. Wang, Mu Hao Sung Wang, Ping Wang Management of Hazardous Substances at Industrial Sites. – LIWT, 1999. – 114 p.
31. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. Technical guidance to prepare national emission inventories. URL: [file:///C:/Users/T440/Downloads/EMEP%20EEA%20air%20pollutant%20emission%20inventory%20guidebook%202016%20Introduction%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/T440/Downloads/EMEP%20EEA%20air%20pollutant%20emission%20inventory%20guidebook%202016%20Introduction%20(1).pdf)

Додатки

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РОЗРАХУНКІВ

Визначення обсягів накопичення твердих побутових відходів. Норми накопичення, як і склад ТПВ, залежать від рівня впорядкованості житлового фонду, типу забудови (багато- чи одноповерхові будівлі), виду палива для місцевого опалення, а також від розвитку громадського харчування, культури торгівлі, добробуту населення і ін. Ступінь впливу кожного з цих чинників на величину норми накопичення відходів різна. Устаткування будівель центральним опалюванням, газо- і електроплитами збільшило об'єм накопичення на 20-25 % і зменшує середню щільність за рахунок збільшення вмісту паперу. За наявності в житлових будинках сміттєпроводів норма накопичення збільшується на 20-25 %. Це пов'язане із сприятливими умовами для швидкого видалення відходів у будь-який час доби і виключення неорганізованого скидання кімнатного сміття і харчових відходів в каналізацію [14,18].

Для техніко-економічних розрахунків і проектування споруд для санітарного очищення або складування використовують прогнозовані на проектний період норми накопичення. Для більшості міст України і світу загалом характерне неухильне зростання норм накопичення ТПВ. За об'ємом норми накопичення зростають щорічно на 3-5 %, за масою - на 0,3-0,5 %.

Прогнозування накопичення ТПВ визначають згідно математичної залежності:

$$M_{np} = M_{cep} (1 + 0,005)^t \quad (A.1)$$

де

$M_{сер}$ - початкова середньорічна маса відходів, кг/рік ($M_{сер} = m \cdot 365 \cdot N$, де m – маса відходів на 1 людину за 1 добу, кг/добу; N – кількість жителів населеного пункту);

0,005 - коефіцієнт річного приросту накопичення відходів у вагових одиницях;

t - період прогнозування, років.

Розрахунок середньої вологості твердих побутових відходів.

Характеристика властивостей твердих побутових відходів необхідна для вибору ефективних способів їх збору, видалення, знезараження і використання, проектування споруд для санітарної очистки та їх техніко-економічної оцінки.

Показники вологості враховують при визначенні кількості та типу збірників та транспортних засобів, їх герметичності та характеру антикорозійних покриттів, при виборі технологічних схем переробки сміття. Вологість ТПВ залежить від співвідношення їх основних компонентів – паперу та харчових відходів, їх вологості, а також від умов короткотривалого їх зберігання у місцях збору. Середня вологість побутових відходів коливається в межах 30-58 %, досягаючи максимуму восени. Середні значення вологості окремих компонентів відходів подані в таблиці А.1.

Таблиця А.1.

Вологість твердих побутових відходів за морфологічним складом [18]

Компонент	Вологість, %
Харчові відходи	70
Папір	6
Картон	5
Пластик ¹	0
Текстиль	10
Гума	0
Шкіра	20
Садово-паркові відходи	59-60
Деревина	20

Знаючи вологість кожного компонента нескладно визначити середню загальну вологість відходів, %:

$$W = \sum_{i=1}^n \left(\frac{m_i}{M} \cdot W_i \right), \quad (\text{A.2})$$

де

m_i – маса компоненту відходів, кг;

M – загальна маса відходів, кг;

W_i – вологість компонента відходів, %.

Розрахунок вмісту основних хімічних елементів у твердих побутових відходах. Характеристика відходів за хімічним складом дозволяє визначити відсотковий вміст Карбону, Оксисену, Нітрогену та інших хімічних елементів.

Загалом, матеріали органічного походження у відходах можна поділити на два класи: 1) матеріали, що швидко розкладаються (від трьох місяців до п'яти років); 2) матеріали, що розкладаються повільно (аж до 50-ти років і більше). Морфологічний склад таких матеріалів представлений у таблиці А.2.

Під час розрахунку хімічного складу відходів за відомим морфологічним складом припускаємо, що 60 % садово-паркових відходів розкладаються швидко.

Для розрахунку маси компоненту відходів у сухому стані можна скористатися такою формулою:

$$m_{\text{иссу}} = m_i - \frac{m_i \cdot W_i}{100}. \quad (\text{A.3})$$

Таблиця А.2.

Матеріали зі складу ТПВ, що розкладаються швидко і повільно [18, 29]

Компонент органічних відходів	Розкладається швидко	Розкладається повільно
Харчові відходи	√	
Газетний папір	√	
Офісний папір	√	
Картон	√	
Пластик ¹		
Текстиль		√
Гума		√
Шкіра		√
Садово-паркові відходи	√ ²	√ ³
Деревина		√
Інші матеріали		√

Примітки:

¹Загалом пластик вважають таким, що не піддається біологічній деструкції;

²Листя, трава (60% садово-паркових відходів);

³Деревна частка садово-паркових відходів.

Середній хімічний склад кожного компонента побутових відходів, що піддаються біодеструкції поданий у таблиці А.3.

Таблиця А.3

Середній хімічний склад компонентів побутових відходів [18,29]

Компонент	Склад, %					
	С	Н	О	N	S	Зола
Органічні речовини, що швидко розпадається						
Харчові відходи	48,0	6,3	37,7	2,5	0,3	5,2
Папір	43,5	6,0	44,0	0,31	0,19	6,0
Картон	44,0	5,9	44,6	0,4	0,2	4,9
Садово-паркові відходи	47,7	6,0	38,0	3,5	0,3	4,5
Органічні речовини, що розпадаються повільно						
Текстиль	55,0	6,66	31,1	4,44	-	2,77
Гума	78,0	10,0	-	2,0	-	10,0
Шкіра	60,0	7,5	12,5	10,0	-	10,0
Садово-паркові відходи	47,7	6,0	38,0	3,4	0,4	4,4
Деревина	49,31	6,25	43,1	-	-	1,25

Вміст основних хімічних елементів у кожному з компонентів твердих побутових відходів розраховуємо з допомогою формули:

$$m_{ix} = m_{иссу} \frac{m_{ix\%}}{100}, \quad (\text{A.4})$$

де

$x = \text{C, H, O, N, S, зола};$

$m_{ix\%}$ - відсотковий вміст хімічного елементу в компоненті відходів.

Розрахунок місткості полігону твердих побутових відходів. Проектна місткість полігону ТПВ розраховується для обґрунтування розмірів ділянки складування ТПВ. Розмір земельної ділянки, що відводиться під складування ТПВ, визначається в залежності від: строку експлуатації полігону ТПВ; чисельності населення району, що обслуговується, з урахуванням перспективи його зростання (зменшення); норми накопичення ТПВ та їх щільності; обсягу всіх інших відходів, що складуються з ТПВ (вуличний змет, будівельні відходи, деякі промислові відходи, які дозволено складувати разом з ТПВ та інші); геометричної форми ділянки та допустимої висоти складування відходів; метода, який приймається для ущільнення відходів при складуванні; напрямку подальшого використання земельної ділянки після закриття та рекультивації полігону ТПВ [9].

Місткість (об'єм) полігону розраховують за формулою [9]:

$$E_n = (V_1 + V_2)(N_1 + N_2) \frac{Tk_2}{4k_1}, \text{ м}^3 \quad (\text{A.5})$$

де

V_1 і V_2 - річні норми накопичення ТПВ за об'ємом на перший і останній роки експлуатації полігону, $\text{м}^3/(\text{осіб} \cdot \text{рік});$

N_1 і N_2 - кількість населення, що обслуговується полігоном на перший і останній рік експлуатації, осіб;

T - розрахунковий термін експлуатації полігону, роки;

k_1 - коефіцієнт, що враховує ущільнення ТПВ в процесі експлуатації полігону за весь термін T (приймається 0,45);

k_2 - коефіцієнт, що враховує об'єм зовнішніх ізолюючих шарів ґрунту (проміжний і остаточний) (приймається 1,15).

Об'єм річного накопичення відходів розраховуємо, приймаючи середню густину відходів 210 кг/м³ [20]:

$$V = \frac{M}{\rho} \quad (\text{A.6})$$

Дані для визначення орієнтовної площі складування приведені у таблиці А.4.

Таблиця А.4.

Орієнтовна площа ділянки складування ТПВ
на період 15 років, га [9]

Середня чисельність району обслуговування, тис. осіб	Висота полігону, м					
	12	20	25	35	45	60
50	6,5	4,5-5,5	-	-	-	-
100	12,5	8,5	6,5-7,5	-	-	-
250	31	21	16	11,5-13,5	-	-
500	61	41	31	23	16,5-20	-
760	91	61	46	34	26	-
1000	121	81	61	45	35	27-31

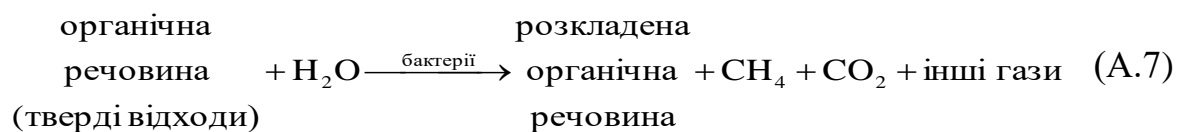
Примітка: Для попередніх розрахунків розмір ділянки приймається 0,02-0,05 га на кожні 1000т/рік ТПВ, що складуються.

Розрахунок викидів забруднюючих речовин внаслідок анаеробного розкладу органіки в тілі полігону на основі хімічного складу відходів. Тверді побутові відходи, що складуються на міських звалищах, на 55-80 % складаються з органічних фракцій і являють собою потенційне джерело енергії. Середній склад газу, що виділяється при анаеробному розкладі

органіки, наступний: метан - 40-60 %, вуглекислий газ - 30-45 %, азот та водень - 1-2 %, сірководень - 1-2 % та невелика кількість інших сполук.

Процес розкладу ТПВ залежить від складу відходів та умов їх захоронення. Він триває протягом десятків років. Найбільша кількість метану на полігоні твердих побутових відходів накопичується у перший рік після завершення експлуатації полігону [29].

Узагальнене рівняння хімічної реакції з анаеробної деструкції твердих відходів можна записати у вигляді:



Крім основних компонентів біогазу метану та діоксиду карбону у ньому в незначних кількостях містяться інші гази: толуол, аміак, ксилол, вуглецю оксид, азоту діоксид, формальдегід, етилбензол, діоксид сульфуру (сірки), сірководень. Співвідношення їх вмісту у біогазі, а також густини цих газів приймали згідно з «EMEP/EEA AIR POLLUTANT EMISSION INVENTORY GUIDEBOOK-2016» [31] (табл. А.5)

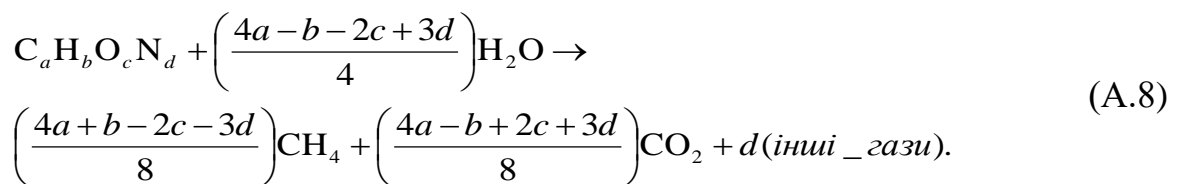
Таблиця А.5

Співвідношення вмісту компонентів біогазу та їх густина

№ п/п	Склад біогазу	Вміст у % φ_i	Щільність газу, кг/м ³ ρ_i
1	Метан CH_4	52,915	0,717
2	Вуглецю діоксид CO_2	44,736	1,977
3	Толуол C_7H_8	0,723	0,867
4	Аміак NH_3	0,533	0,771
5	Ксилол C_8H_{10}	0,443	0,869
6	Вуглецю оксид CO	0,252	1,25
7	Азоту діоксид NO_x	0,111	1,49
8	Формальдегід CH_2O	0,096	0,815
9	Етилбензол C_8H_{10}	0,095	0,867
10	Діоксид сірки (ангідрид сірчаний) SO_2	0,07	2,93
11	Сірководень H_2S	0,026	1,54

Існує багато факторів, що впливають на процеси утворення біогазу на звалищах, першочергова увага приділяється тим, що забезпечують життєдіяльність та активність метанових бактерій, а саме: відсутність кисню; кислотність середовища - рН у межах 6 - 8; оптимальна вологість 50-60 %; відсутність токсичних речовин; наявність поживних речовин (вуглецю та азоту у певних пропорціях); оптимальна температура 30-40°C.

Масові викиди газів, що виділяються внаслідок анаеробної деструкції можна оцінити різними методами. Наприклад, органічну компоненту ТПВ (за виключенням пластику) представити узагальненою формулою $C_aH_bO_cN_d$, тоді сумарну масу газів можна обчислити, використовуючи рівняння (А.8), припустивши повну конверсію органіки в CO_2 і CH_4 [18, 29].



Загалом, матеріали органічного походження у відходах можна поділити на два класи: 1) матеріали, що швидко розкладаються (від трьох місяців до п'яти років); 2) матеріали, що розкладаються повільно (аж до 50-ти років і більше). Морфологічний склад таких матеріалів представлений у таблиці А.2.

Використовуючи результати розрахунку хімічного складу побутових відходів можемо визначити кількість полігонного газу, що виділятиметься під час біодеструкції органічних відходів.

Розрахуємо молярну масу хімічних елементів для компонентів відходів, що розкладаються швидко і повільно, нехтуючи золою за формулою:

$$M_x = \frac{m_x}{m_{ax}}, \quad (\text{A.9})$$

де

m_x – маса хімічного елемента у відходах, кг;

m_{ax} – атомна маса хімічного елемента.

Визначити приблизну хімічну формулу органічних відходів без Сульфуру можна, розрахувавши коефіцієнти a , b , c , d , що визначають співвідношення хімічних елементів у рівнянні А.8. Так як, маса Нітрогену у відходах найнижча, то у молярному співвідношенні його вміст приймаємо $d = 1$. Тоді кількість решти елементів розраховуємо так:

$$a = \frac{M_C}{M_N}; \quad b = \frac{M_H}{M_N}; \quad c = \frac{M_O}{M_N}. \quad (\text{A.10})$$

На основі отриманих даних можемо записати хімічні формули для органіки, що розкладається швидко і повільно використовуючи узагальнене рівняння А.8.

Обчислити кількість газів, що виділятимуться при розкладі органіки, що розкладається швидко і повільно можна за рівняннями реакцій і даними про масу відходів у сухому стані за формулою:

$$m_{\text{газу}} = \frac{M_{\text{газу}} \cdot m_{\text{сух}}}{M_{\text{відходів}}}, \quad (\text{A.11})$$

Отримані значення об'ємів полігонного газу є максимальними, оскільки при розрахунку взято до уваги оптимальні умови перебігу реакції деструкції органічного вмісту ТПВ. Фактичні значення є меншими, оскільки не весь органічний вміст відходів розкладається. Наприклад, папір у пластикових мішках, хоч і піддається біодеструкції, але за таких умов не розкладатиметься. Органічні матеріали, що не мають достатньо вологи для підтримання біологічної активності не піддаються конверсії.

Розрахунок викидів забруднюючих речовин, що виділятимуться в атмосферне повітря під час самозаймання відходів.

Розрахунок масових викидів проводили на основі питомих показників викидів забруднюючих речовин при згоранні твердих побутових відходів згідно з [10] (табл. А.6).

Таблиця А.6

Питомі викиди забруднюючих речовин при горінні ТПВ

Речовина	Одиниці вимірювання	Значення
Діоксид сульфуру	кг/т	1,7
Оксиди нітрогену	кг/т	1,8
НМЛОС	кг/т	0,02
Оксид карбону	кг/т	0,7
Оксид діазоту	кг/т	0,1
Хлористий водень	кг/т	2,3
Суспендовані частинки недиференційовані за складом	кг/т	18,3
Плюмбум	г/т	104
Кадмій	г/т	3,4
Ртуть	г/т	2,8
Діоксини	мг/т	512
Поліхлоровані біофеніли	мг/т	5,8
Поліароматичні вуглеводні		
Флуарантен	мг/т	145
Бенз(а)антрацен	мг/т	4,2
Бенз(вк)флуарантен	мг/т	0,7
Дибенз(ah)антрацен	мг/т	3,5

Розрахунок кількості фільтрату, що утворюється на полігоні твердих побутових відходів. Основним чинником забруднення підземних вод на об'єктах поводження з ТПВ є фільтрат. Поверхневий стік з території об'єктів поводження з ТПВ може формуватися під впливом комплексу природних факторів, насамперед, атмосферних опадів, випаровування, фільтрації, а також поливання території об'єкту.

Середньорічний об'єм фільтрату (m^3), що утворюється на полігоні ТПВ, можна визначити за формулою [9]:

$$W_{\phi} = (W_o + W_{\text{вв}}) - (W_e + W_{y2}) \quad (\text{A.14})$$

де

W_o - об'єм атмосферних опадів, м³;

$W_{\text{вв}}$ - об'єм вологи, яка надходить на полігон з відходами, м³;

W_e - об'єм вологи, що випаровується з поверхні полігону, м³;

W_{y2} - об'єм вологи, що йде на утворення біогазу, м³.

Об'єм атмосферних опадів (дощових та снігових вод) за рік вираховуємо з середньої річної кількості опадів h_o (визначаємо за даними найближчої до вашого населеного пункту метеостанції) та площі полігону:

$$W_o = S_{\text{полігону}} \cdot h_o, \quad (\text{A.15})$$

де

$S_{\text{полігону}}$ - знаходимо за даними таблиці А.4.

Об'єм вологи, що випаровується з поверхні полігону, знаходимо виходячи з значення коефіцієнта зволоження для території [9].

Коефіцієнт зволоження за Н. М. Івановим:

$$K_{\text{зв}} = P/f, \quad (\text{A.16})$$

де

P - кількість опадів (мм);

f - випаровуваність за цей же період, максимально можливе випаровування за даних температурних умов, не обмежене запасами вологи, зазвичай з поверхні водойм (%).

Розрахувати випаровуваність можна за формулою Н. М. Іванова:

$$E = 0,018 \cdot (t + 25)^2 \cdot (100 - R), \quad (\text{A.17})$$

де

t - середня температура за період (°C/рік);

R - середня відносна вологість (%).

За класифікацією Н. М. Іванова, $K_{зв}$ вказує на природні зони: напівпустелі - 0,5; сухий степ - 0,5-0,8; степ - 0,8-1; лісостеп - 1-1,2; лісова зона - понад 1,3.

Об'єм води, яка надходить на полігон з відходами, приймаємо, ґрунтуючись на середній вологості відходів, які вивозяться на полігон (див. рівняння).

Об'єм води, що йде на утворення біогазу, розраховуємо з рівняння хімічних реакцій утворення біогазу (рівняння А.8).

$$V_{води} = \frac{M_{води} \cdot m_{сухихвідходів}}{M_{відходів}} \cdot \rho_{води} \quad (A.16)$$

Середній морфологічний склад твердих побутових відходів [19]

Найменування компонентів ТПВ	Частка, %
Харчові відходи	29
Вуличний відсів	15
Пластмаси, ПЕТ	20,3
Папір, картон	7
Текстиль	3,4
Дерево	6
Садово-паркові	9
Скло	4
Метал чорний	1,5
Шкіра, гума	1,8
Інші відходи	3
	100

Дані про середній морфологічний склад відходів для розрахунків прийнято згідно стратегії поводження з відходами у Львівській області, та Програмою поводження з твердими побутовими відходами у м. Львові на 2014-2018 роки [19].