

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут нафтогазової інженерії

Кафедра Технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці

Мельник Христина Олександрівна

УДК 631.4:504.53(477.86)

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Оцінка екологічного стану ґрунтів в межах Івано-Франківської громади

(назва роботи)

Технології захисту навколишнього середовища

(назва освітньої програми)

183 Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня _____ Мельник Христина Олександрівна
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ Грицуляк Галина Михайлівна, д. с.г. н., доцент
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

**Івано-Франківськ
2026**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут нафтогазової інженерії

Кафедра Технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці

Затверджую

Зав. кафедри ТЗБП

Галина ГРИЦУЛЯК _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

“ ____ ” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мельник Христина Олександрівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Оцінка екологічного стану ґрунтів в межах Івано-Франківської громади»

керівник роботи Грицуляк Галина Михайлівна, д. с.г. н., доцент
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання керівника)

затверджені наказом університету від “ ____ ” _____ 20__ р. №

Термін здачі закінченої роботи “ ____ ” _____ 2026 р.

Вихідні дані до роботи: матеріали наукової та навчально-методичної літератури з питань екологічного стану ґрунтів, нормативно-правові акти України у сфері охорони земель і ґрунтів, дані про природно-географічні умови Івано-Франківської міської територіальної громади, характеристика джерел антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив, умовні експериментальні результати фізико-хімічного аналізу ґрунтів на різних функціональних ділянках громади, нормативи гранично допустимих концентрацій забруднювальних речовин у ґрунтах. Провести аналіз джерел утворення та складу стічних вод ТЕС.

Зміст пояснювальної записки, перелік питань, що підлягають розробці:

Розкрити теоретичні основи оцінки екологічного стану ґрунтів як важливого компонента навколишнього природного середовища. Охарактеризувати основні джерела забруднення ґрунтів урбанізованих територій, зокрема вплив транспорту, промисловості, комунальної інфраструктури, відходів і сільськогосподарської діяльності. Проаналізувати нормативно-правові засади оцінювання забруднення ґрунтів в Україні та основні показники їх екологічного стану. Надати природно-географічну, кліматичну, гідрологічну, геоморфологічну та ґрунтову характеристику Івано-Франківської міської територіальної громади. Визначити основні джерела антропогенного

навантаження на ґрунти громади та оцінити вплив транспортної, промислової і комунальної інфраструктури. Оцінити рівень забруднення ґрунтів важкими металами та іншими забруднювальними речовинами за допомогою коефіцієнтів концентрації та сумарного показника забруднення.

Провести порівняльну характеристику екологічного стану ґрунтів на різних ділянках Івано-Франківської громади.

Визначити основні екологічні ризики, пов'язані із забрудненням ґрунтів.

Розробити рекомендації щодо поліпшення екологічного стану ґрунтів Івано-Франківськ

5 Орієнтовний перелік текстового та графічного матеріалу в презентації

Календарний план виконання бакалаврської роботи

№	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання	Примітка
1	<u>ВСТУП</u>		
2	<u>РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи оцінки екологічного стану ґрунтів</u>		
3	<u>РОЗДІЛ 2. Природно-географічна та антропогенна характеристика Івано-Франківської громади</u>		
4	<u>РОЗДІЛ 3. Оцінка екологічного стану ґрунтів в межах Івано-Франківської громади</u>		
5	<u>Аналіз результатів дослідження, побудова таблиць, графіків та SWOT-аналізу</u>		
6	Висновки		
7	Літературні джерела Додатки		

Студентка _____ Мельник Христина Олександрівна _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ Грицуляк Галина Михайлівна, д. т. н., доцент
(підпис) (ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему «Оцінка екологічного стану ґрунтів в межах Івано-Франківської громади» присвячена дослідженню сучасного стану ґрунтового покриву урбанізованої території, визначенню основних джерел антропогенного навантаження, аналізу рівня забруднення ґрунтів та розробленню рекомендацій щодо поліпшення їх екологічного стану.

Об'єкт дослідження – ґрунтовий покрив Івано-Франківської міської територіальної громади.

Предмет дослідження – фізико-хімічні показники, рівень забруднення та екологічні ризики, пов'язані зі станом ґрунтів у межах різних функціональних ділянок громади.

Мета роботи – оцінити екологічний стан ґрунтів Івано-Франківської громади, визначити основні чинники їх забруднення та обґрунтувати рекомендації щодо зменшення антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив.

Для досягнення поставленої мети у роботі розглянуто ґрунт як важливий компонент навколишнього природного середовища, охарактеризовано його основні екологічні функції, проаналізовано джерела забруднення ґрунтів урбанізованих територій, показники екологічного стану ґрунтів та нормативно-правові засади їх оцінювання в Україні. Окрему увагу приділено методам дослідження ґрунтів, зокрема польовим, лабораторним, фізико-хімічним, біоіндикаційним, статистичним і картографічним підходам.

У роботі подано природно-географічну та антропогенну характеристику Івано-Франківської міської територіальної громади. Описано її географічне положення, адміністративну структуру, кліматичні, гідрологічні, геоморфологічні умови, особливості ґрунтового покриву та основні джерела антропогенного навантаження. Встановлено, що територія громади поєднує урбанізовані, промислово-комунальні, транспортні, житлові, прибережні, сільськогосподарські та рекреаційні зони, що зумовлює просторову

неоднорідність екологічного стану ґрунтів.

Експериментальна частина роботи передбачала вибір дослідних ділянок із різним рівнем антропогенного впливу. Було розглянуто контрольну ділянку, транспортну зону, промислово-комунальну зону, житлову забудову, прибережну територію, сільськогосподарську ділянку та зелену зону. Для цих ділянок проаналізовано основні фізико-хімічні показники ґрунтів: рН, вміст гумусу, вологість, нітрати, рухомий фосфор, обмінний калій, важкі метали та нафтопродукти.

За результатами умовного експериментального дослідження встановлено, що найбільший рівень забруднення характерний для промислово-комунальної та транспортної зон. У цих ділянках спостерігається підвищений вміст свинцю, кадмію, цинку, міді, нікелю, хрому та нафтопродуктів. Промислово-комунальна зона характеризується найвищим сумарним показником забруднення важкими металами та перевищенням нормативного орієнтира за вмістом нафтопродуктів. Транспортна зона також має високий рівень техногенного навантаження, що пов'язано з інтенсивним рухом автотранспорту, осадженням дорожнього пилу, продуктами зношування шин і гальмівних колодок, а також можливими витокami паливно-мастильних матеріалів.

Житлова забудова та прибережна зона характеризуються помірним рівнем забруднення. Для житлових територій основними чинниками впливу є автотранспорт у дворах, будівельна діяльність, побутові відходи та поверхневий стік. Прибережні ґрунти можуть акумулювати забруднювачі, що надходять із поверхневими водами з урбанізованих і сільськогосподарських територій. Сільськогосподарська ділянка має нижчий рівень забруднення важкими металами, однак характеризується підвищеним вмістом нітратів, рухомого фосфору та обмінного калію, що свідчить про агрогенний вплив.

Найбільш сприятливий екологічний стан встановлено для контрольної ділянки та зеленої зони. Зелені насадження виконують важливу буферну функцію, сприяють накопиченню органічної речовини, зменшують пилове

забруднення, покращують водний режим ґрунтів і підтримують їх біологічну активність.

У роботі проведено порівняльну характеристику екологічного стану ґрунтів на різних ділянках громади, розраховано коефіцієнти концентрації забруднювальних речовин і сумарний показник забруднення важкими металами, виконано статистичне узагальнення результатів, побудовано графіки та проведено SWOT-аналіз. Визначено основні екологічні ризики, пов'язані із забрудненням ґрунтів: накопичення важких металів, забруднення нафтопродуктами, перенесення забруднювачів поверхневим стоком, нітратне забруднення сільськогосподарських ґрунтів, зниження вмісту гумусу, ущільнення та деградація ґрунтового покриву.

За результатами дослідження розроблено рекомендації щодо поліпшення екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської громади. Запропоновано впровадити регулярний моніторинг ґрунтів, здійснювати контроль транспортного та промислово-комунального навантаження, удосконалити систему відведення й очищення поверхневого стоку, розширювати зелені зони, ліквідувати стихійні сміттєзвалища, контролювати внесення добрив на сільськогосподарських землях та застосовувати фіторе mediaційні й біоре mediaційні заходи на локально забруднених ділянках.

Ключові слова: ґрунт, екологічний стан, забруднення ґрунтів, важкі метали, нафтопродукти, урбанізована територія, антропогенне навантаження, Івано-Франківська громада, екологічний ризик, моніторинг ґрунтів.

ABSTRACT

The bachelor's thesis on the topic «Assessment of the ecological state of soils within the borders of the Ivano-Frankivsk community» is devoted to the study of the current state of the soil cover of the urbanized territory, the determination of the main sources of anthropogenic load, the analysis of the level of soil pollution and the development of recommendations for improving their ecological state.

The object of the research is the soil cover of the Ivano-Frankivsk urban territorial community.

The subject of the study is physico-chemical indicators, the level of pollution and environmental risks associated with the condition of the soil within the boundaries of various functional areas of the community.

The purpose of the work is to assess the ecological condition of the soils of the Ivano-Frankivsk community, to determine the main factors of their pollution and to justify recommendations for reducing the anthropogenic load on the soil cover.

To achieve the goal, the paper considers soil as an important component of the natural environment, characterizes its main ecological functions, analyzes the sources of soil pollution in urbanized areas, indicators of the ecological state of soils, and the regulatory and legal basis of their assessment in Ukraine. Particular attention is paid to soil research methods, in particular field, laboratory, physicochemical, bioindicative, statistical and cartographic approaches.

The paper presents the natural-geographical and anthropogenic characteristics of the Ivano-Frankivsk urban territorial community. Its geographical position, administrative structure, climatic, hydrological, geomorphological conditions, peculiarities of soil cover and main sources of anthropogenic load are described. It was established that the territory of the community combines urbanized, industrial and communal, transport, residential, coastal, agricultural and recreational zones, which causes spatial heterogeneity of the ecological state of the soils.

The experimental part of the work involved the selection of test plots with different levels of anthropogenic influence. The control area, transport area,

industrial and communal area, residential development, coastal area, agricultural area and green area were considered. The main physico-chemical parameters of soils were analyzed for these areas: pH, humus content, moisture, nitrates, mobile phosphorus, exchangeable potassium, heavy metals and oil products.

According to the results of a conditional experimental study, it was established that the highest level of pollution is characteristic of the industrial-communal and transport zones. In these areas, there is an increased content of lead, cadmium, zinc, copper, nickel, chromium and petroleum products. The industrial-communal zone is characterized by the highest total indicator of pollution by heavy metals and exceeding the regulatory guideline for the content of petroleum products. The transport zone also has a high level of man-made load, which is associated with intensive traffic, road dust deposition, wear products of tires and brake pads, as well as possible leaks of fuel and lubricants.

Residential buildings and the coastal zone are characterized by a moderate level of pollution. For residential areas, the main factors of influence are motor vehicles in yards, construction activities, household waste and surface runoff. Coastal soils can accumulate pollutants arriving with surface water from urbanized and agricultural areas. The agricultural area has a lower level of heavy metal pollution, but is characterized by an increased content of nitrates, mobile phosphorus and exchangeable potassium, which indicates an agrogenic influence.

The most favorable ecological condition is established for the control area and the green zone. Green plantations perform an important buffer function, contribute to the accumulation of organic matter, reduce dust pollution, improve the water regime of soils and support their biological activity.

In the work, a comparative characterization of the ecological state of soils in different areas of the community was carried out, the concentration coefficients of pollutants and the total indicator of pollution by heavy metals were calculated, a statistical generalization of the results was performed, graphs were drawn and a SWOT analysis was carried out. The main environmental risks associated with soil pollution have been identified: accumulation of heavy metals, pollution by oil

products, transport of pollutants by surface runoff, nitrate pollution of agricultural soils, reduction of humus content, compaction and degradation of the soil cover.

Based on the results of the research, recommendations were developed to improve the ecological condition of the soils of the Ivano-Frankivsk community. It is proposed to implement regular soil monitoring, control transport and industrial and communal loads, improve the surface runoff drainage and treatment system, expand green zones, eliminate spontaneous landfills, control the application of fertilizers on agricultural lands, and apply phytoremediation and bioremediation measures on locally polluted areas.

Key words: soil, ecological condition, soil pollution, heavy metals, petroleum products, urbanized territory, anthropogenic load, Ivano-Frankivsk community, ecological risk, soil monitoring.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи оцінки екологічного стану ґрунтів.....	11
1.1. Ґрунт як компонент навколишнього середовища та його екологічні функції.....	11
1.2. Основні джерела забруднення ґрунтів урбанізованих територій.....	14
1.3. Показники екологічного стану ґрунтів.....	18
1.4. Нормативно-правові засади оцінювання забруднення ґрунтів в Україні..	22
1.5. Методи дослідження та оцінки екологічного стану ґрунтів.....	25
РОЗДІЛ 2. Природно-географічна та антропогенна характеристика Івано-Франківської громади.....	30
2.1. Географічне положення та адміністративна характеристика ґрунтів.....	30
2.2. Кліматичні, гідрологічні та геоморфологічні умови території.....	33
2.3. Особливості ґрунтового покриву Івано-Франківської громади.....	37
2.4. Основні джерела антропогенного навантаження на ґрунти громади.....	41
2.5. Характеристика дослідних ділянок для оцінки екологічного стану ґрунтів.....	45
РОЗДІЛ 3. Оцінка екологічного стану ґрунтів в межах Івано-Франківської громади.....	49
3.1. Аналіз основних фізико-хімічних показників ґрунтів.....	49
3.2. Оцінка рівня забруднення ґрунтів важкими металами та іншими забруднювальними речовинами.....	54
3.3. Порівняльна характеристика екологічного стану ґрунтів на різних ділянках громади.....	59
3.4. Визначення основних екологічних ризиків, пов'язаних із забрудненням ґрунтів.....	64
3.5. SWOT-аналіз екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської громади...	68
3.6. Рекомендації щодо поліпшення екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської громади.....	72
Висновки.....	52
<u>Перелік посилає на джерела.....</u>	<u>54</u>

ВСТУП

Ґрунт є одним із найважливіших компонентів навколишнього природного середовища, який забезпечує функціонування природних і антропогенно змінених екосистем, бере участь у кругообігу речовин, підтримує біорізноманіття, виконує фільтраційну, буферну, санітарну та продукційну функції. Водночас ґрунтовий покрив є досить вразливим до впливу господарської діяльності людини. Забруднення ґрунтів важкими металами, нафтопродуктами, нітратами, залишками побутових і промислових відходів призводить до погіршення їх фізико-хімічних властивостей, зниження родючості, порушення біологічної активності та формування екологічних ризиків для довкілля і населення.

Особливо актуальною проблема забруднення ґрунтів є для урбанізованих територій, де зосереджені транспортна інфраструктура, промислово-комунальні об'єкти, житлова забудова, будівельна діяльність, місця накопичення відходів і поверхневий стік із забруднених територій. У таких умовах ґрунти зазнають комплексного антропогенного навантаження, що проявляється у накопиченні токсичних речовин, ущільненні ґрунтового профілю, зміні кислотності, зниженні вмісту гумусу та погіршенні водно-повітряного режиму.

Івано-Франківська міська територіальна громада є складною урбанізовано-приміською системою, у межах якої поєднуються міські, сільські, промислово-комунальні, транспортні, рекреаційні, прибережні та сільськогосподарські території. Така просторова неоднорідність зумовлює різний рівень впливу на ґрунтовий покрив. Найбільш імовірними джерелами забруднення ґрунтів громади є автомобільний транспорт, промислові та складські об'єкти, комунальна інфраструктура, будівельні майданчики, місця накопичення відходів, забруднений поверхневий стік і сільськогосподарське використання земель.

Актуальність теми бакалаврської роботи полягає в необхідності

комплексної оцінки екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської громади, виявлення основних джерел антропогенного навантаження, визначення рівня забруднення ґрунтового покриву та розроблення рекомендацій щодо його збереження і відновлення. Проведення такого дослідження є важливим для забезпечення екологічної безпеки території, раціонального використання земельних ресурсів, планування природоохоронних заходів і підвищення якості міського середовища.

Мета роботи - оцінити екологічний стан ґрунтів у межах Івано-Франківської міської територіальної громади, визначити основні чинники їх забруднення та обґрунтувати рекомендації щодо поліпшення стану ґрунтового покриву.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання: Розкрити теоретичні основи оцінки екологічного стану ґрунтів та їх значення як компонента навколишнього природного середовища; Охарактеризувати основні джерела забруднення ґрунтів урбанізованих територій; Проаналізувати показники екологічного стану ґрунтів і методи їх дослідження; Розглянути нормативно-правові засади оцінювання забруднення ґрунтів в Україні; Надати природно-географічну та антропогенну характеристику Івано-Франківської міської територіальної громади; Охарактеризувати кліматичні, гідрологічні, геоморфологічні умови та особливості ґрунтового покриву території дослідження; Визначити основні джерела антропогенного навантаження на ґрунти громади; Обґрунтувати вибір ділянок для оцінки екологічного стану ґрунтів; Проаналізувати основні фізико-хімічні показники ґрунтів, зокрема рН, вміст гумусу, нітратів, рухомого фосфору, обмінного калію, важких металів і нафтопродуктів; Оцінити рівень забруднення ґрунтів важкими металами та іншими забруднювальними речовинами; Провести порівняльну характеристику екологічного стану ґрунтів на різних ділянках громади; Визначити основні екологічні ризики, пов'язані із забрудненням ґрунтів; Розробити рекомендації щодо поліпшення екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської громади.

Об'єкт дослідження - ґрунтовий покрив Івано-Франківської міської територіальної громади.

Предмет дослідження - фізико-хімічні показники, рівень забруднення та екологічні ризики, пов'язані зі станом ґрунтів на різних функціональних ділянках громади.

Методи дослідження. У роботі використано загальнонаукові та спеціальні методи дослідження: аналіз і узагальнення літературних джерел, порівняльний аналіз, системний підхід, польове обстеження території, вибір репрезентативних ділянок, аналіз фізико-хімічних показників ґрунтів, розрахунок коефіцієнтів концентрації забруднювальних речовин, визначення сумарного показника забруднення, статистичне узагальнення результатів, графічна інтерпретація даних і SWOT-аналіз.

Науково-практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для оцінювання екологічного стану ґрунтів урбанізованих територій, визначення зон підвищеного екологічного ризику та розроблення природоохоронних заходів для Івано-Франківської громади. Запропоновані рекомендації можуть бути використані під час планування моніторингу ґрунтів, благоустрою територій, озеленення, управління поверхневим стоком, контролю місць накопичення відходів і зменшення антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив.

Структура роботи. Бакалаврська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку використаних джерел і додатків. У першому розділі розглянуто теоретичні основи оцінки екологічного стану ґрунтів. У другому розділі подано природно-географічну та антропогенну характеристику Івано-Франківської громади. У третьому розділі здійснено оцінку екологічного стану ґрунтів на різних ділянках громади, визначено основні екологічні ризики та запропоновано рекомендації щодо поліпшення стану ґрунтового покриву.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ

1.1. Ґрунт як компонент навколишнього середовища та його екологічні функції

Ґрунт є одним із найважливіших компонентів навколишнього природного середовища, який забезпечує існування рослинного покриву, бере участь у кругообігу речовин і енергії та відіграє важливу роль у підтриманні екологічної рівноваги біосфери. Він формується внаслідок тривалої взаємодії гірських порід, кліматичних умов, живих організмів, рельєфу, водного режиму та антропогенного впливу. На відміну від інших природних тіл, ґрунт має особливу властивість - родючість, тобто здатність забезпечувати рослини поживними речовинами, водою, повітрям і сприятливими умовами для росту та розвитку [1, 4].

Ґрунтовий покрив є складною природною системою, у якій поєднуються мінеральна, органічна, водна, повітряна та біологічна складові. Мінеральна частина ґрунту утворюється внаслідок руйнування гірських порід і є основою його механічного складу. Органічна речовина представлена переважно гумусом, який визначає родючість ґрунту, його структуру, водоутримувальну здатність і буферність. Водна та повітряна складові забезпечують умови для життєдіяльності рослин, мікроорганізмів та ґрунтової фауни. Біологічна частина ґрунту включає бактерії, гриби, водорості, найпростіші організми, дощових черв'яків та інших представників ґрунтової біоти [2, 4].

Як компонент навколишнього середовища ґрунт виконує низку важливих екологічних функцій. Однією з основних є продукційна функція, яка полягає у забезпеченні росту рослин і формуванні біомаси. Саме завдяки цій функції ґрунти є основою сільськогосподарського виробництва, природних екосистем, лісових насаджень, луків і зелених зон урбанізованих територій.

Не менш важливою є середовищеутворювальна функція ґрунту. Ґрунт є середовищем існування для великої кількості живих організмів, які беруть

участь у процесах розкладу органічних решток, мінералізації, гумусоутворення та трансформації хімічних сполук. Ґрунтова біота забезпечує підтримання природної родючості, впливає на структуру ґрунту та сприяє самоочищенню природного середовища [3, 4].

Ґрунт також виконує фільтраційну та захисну функції. Проходячи через ґрунтовий шар, атмосферні опади та поверхневі води частково очищуються від завислих частинок, органічних речовин, важких металів та інших забруднювачів. Завдяки здатності поглинати, зв'язувати й трансформувати різні хімічні речовини ґрунт виступає природним бар'єром на шляху міграції забруднювальних компонентів у підземні води, рослини та харчові ланцюги.

Важливою є також біогеохімічна функція ґрунту. Ґрунт бере участь у кругообігу Карбону, Нітрогену, Фосфору, Сульфуру та інших хімічних елементів. У ньому відбуваються процеси розкладу органічних решток, утворення гумусу, мінералізації поживних речовин і накопичення або вивільнення хімічних елементів. Ці процеси мають велике значення для функціонування екосистем і підтримання стабільності біосфери [4, 5].

Крім того, ґрунт виконує кліматорегулювальну функцію. Він є важливим резервуаром органічного вуглецю, а його стан впливає на процеси поглинання та виділення парникових газів. Деградація ґрунтів, зменшення вмісту гумусу, ерозія та забруднення можуть посилювати негативні кліматичні процеси, тоді як збереження родючості ґрунтів сприяє накопиченню органічної речовини та зменшенню викидів вуглекислого газу в атмосферу.

В умовах урбанізованих територій екологічне значення ґрунту особливо зростає. У межах міст і громад ґрунти зазнають впливу транспорту, промислових підприємств, житлово-комунального господарства, будівництва, складування відходів та інших видів господарської діяльності. Такі впливи можуть призводити до ущільнення ґрунтового покриву, зміни кислотності, зниження вмісту гумусу, накопичення важких металів, нафтопродуктів та інших токсичних речовин. Унаслідок цього знижується здатність ґрунтів виконувати свої природні екологічні функції [6, 7].

Для Івано-Франківської міської територіальної громади питання збереження ґрунтового покриву є актуальним, оскільки територія громади поєднує урбанізовані ділянки, промислові зони, транспортну інфраструктуру, зелені насадження, сільськогосподарські землі та рекреаційні території. Різні типи землекористування формують неоднаковий рівень антропогенного навантаження на ґрунти, що потребує проведення екологічної оцінки їхнього стану [7, 8].

Отже, ґрунт є не лише основою для росту рослин, а й важливим природним регулятором екологічних процесів. Він забезпечує продуктивність екосистем, бере участь у кругообігу речовин, виконує фільтраційну, захисну, середовищеутворювальну та кліматорегулювальну функції. Порушення цих функцій унаслідок антропогенного навантаження може призводити до погіршення якості довкілля, зниження біорізноманіття та виникнення екологічних ризиків для населення [8, 9].

1.2. Основні джерела забруднення ґрунтів урбанізованих територій

Урбанізовані території характеризуються високою концентрацією населення, транспортної інфраструктури, промислових об'єктів, житлової забудови, комунальних мереж і різних видів господарської діяльності. Унаслідок цього ґрунти в межах міст і територіальних громад зазнають значного антропогенного навантаження. На відміну від природних або сільськогосподарських ландшафтів, міські ґрунти часто формуються в умовах механічного порушення, ущільнення, перемішування природного ґрунтового матеріалу з будівельними залишками, техногенними домішками та побутовими відходами [7, 8].

Забруднення ґрунтів урбанізованих територій - це процес надходження, накопичення та трансформації у ґрунтовому середовищі хімічних, фізичних або біологічних забруднювачів, які погіршують його якість, знижують родючість, порушують екологічні функції та можуть створювати ризики для

здоров'я населення. Основними джерелами такого забруднення є транспорт, промислові підприємства, житлово-комунальне господарство, будівництво, полігони та стихійні сміттєзвалища, сільськогосподарська діяльність у приміських зонах, а також атмосферні випадання забруднювальних речовин [8, 10].

Одним із найпоширеніших джерел забруднення ґрунтів у містах є автомобільний транспорт. Уздовж автомобільних доріг, перехресть, стоянок, автозаправних станцій і транспортних розв'язок у ґрунти можуть потрапляти важкі метали, залишки паливно-мастильних матеріалів, продукти зношування шин, гальмівних колодок і дорожнього покриття. Найбільш характерними забруднювачами транспортного походження є свинець, цинк, мідь, кадмій, нікель, хром, нафтопродукти та поліциклічні ароматичні вуглеводні. Особливо інтенсивне накопичення забруднювачів спостерігається у придорожніх смугах, де ґрунт безпосередньо контактує з пилом, викидами та поверхневим стоком із дорожнього полотна [10, 14].

Вагомим джерелом забруднення ґрунтів є промислові підприємства. Залежно від профілю виробництва вони можуть спричиняти надходження до ґрунтів важких металів, кислотних або лужних сполук, органічних токсикантів, золи, шлаків, пилу та інших техногенних речовин. Забруднення може відбуватися через атмосферні викиди, осідання промислового пилу, аварійні витіки, неправильне зберігання сировини, палива, реагентів або виробничих відходів. Особливо небезпечними є території поблизу колишніх або діючих промислових зон, складів, котелень, ремонтних баз і підприємств машинобудівного, хімічного, енергетичного чи будівельного профілю [10, 12].

Житлово-комунальне господарство також істотно впливає на стан ґрунтового покриву. Джерелами забруднення можуть бути пошкоджені каналізаційні мережі, витіки побутових стічних вод, місця накопичення твердих побутових відходів, прибудинкові території, несанкціоновані сміттєзвалища, зони тимчасового складування будівельних матеріалів або відходів. У таких умовах до ґрунтів можуть надходити органічні речовини,

патогенні мікроорганізми, сполуки азоту і фосфору, важкі метали, пластик, мікропластик, залишки побутової хімії та інші забруднювачі [11, 13].

Окрему групу джерел забруднення становлять полігони твердих побутових відходів і стихійні сміттєзвалища. Вони є потенційно небезпечними об'єктами, оскільки внаслідок розкладання відходів утворюється фільтрат, який може містити органічні речовини, солі важких металів, амонійний азот, хлориди, сульфати, нафтопродукти та інші токсичні компоненти. За відсутності належної ізоляції або системи збору фільтрату забруднювальні речовини можуть проникати в ґрунт, підземні води та поширюватися на прилеглі території [13, 14].

Будівельна діяльність є ще одним чинником погіршення стану міських ґрунтів. Під час будівництва відбувається зняття або перемішування верхнього родючого шару ґрунту, ущільнення території важкою технікою, засипання природного ґрунту будівельними відходами, піском, щебенем, бетоном, цеглою та іншими матеріалами. Унаслідок цього змінюються фізичні властивості ґрунту, порушується його структура, зменшується водопроникність і погіршуються умови для розвитку рослинності. Крім того, будівельні матеріали й відходи можуть містити хімічні домішки, які з часом потрапляють у ґрунтове середовище [15, 16].

Значний вплив на ґрунти мають атмосферні випадання. Забруднювальні речовини, які надходять у повітря від транспорту, промисловості, котелень та інших джерел, можуть переноситися на певні відстані й осідати на поверхні ґрунту разом із пилом, дощем або снігом. Таким шляхом у ґрунти потрапляють сполуки сірки, азоту, важкі метали, сажа, тверді частинки та інші компоненти. Атмосферне перенесення забруднювачів є особливо небезпечним тому, що воно може охоплювати значні площі та впливати навіть на зелені зони, парки й рекреаційні території [16, 17].

У межах міських і приміських територій джерелом забруднення ґрунтів може бути також сільськогосподарська діяльність. Використання мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, засобів захисту рослин, а також внесення

органічних добрив без належного контролю може призводити до накопичення нітратів, залишків пестицидів, важких металів і патогенних мікроорганізмів. Особливої уваги потребують землі, що розташовані поблизу житлової забудови, водних об'єктів або використовуються для вирощування харчової продукції [18, 19]. Для урбанізованих територій характерним є також вторинне забруднення ґрунтів, яке виникає внаслідок переміщення забруднювачів із поверхневим стоком, пилом, талими водами або під час проведення земляних робіт. Наприклад, забруднені частинки з дорожнього полотна можуть переноситися на газони, у двори, на території парків або дощовими водами потрапляти в понижені ділянки рельєфу. Це ускладнює просторову оцінку забруднення, оскільки рівень антропогенного навантаження може суттєво відрізнятися навіть у межах невеликої території [1, 6]. У межах Івано-Франківської громади потенційними джерелами забруднення ґрунтів можуть виступати транспортні магістралі, промислові та комунальні об'єкти, території житлової забудови, місця накопичення відходів, будівельні майданчики, автозаправні станції, гаражні кооперативи, а також ділянки, що зазнають впливу поверхневого стоку. Рівень забруднення ґрунтів у таких зонах залежить від інтенсивності господарської діяльності, тривалості впливу джерел забруднення, типу ґрунту, рельєфу, водного режиму та здатності ґрунтового середовища до самоочищення [1, 7].

Основними джерелами забруднення ґрунтів урбанізованих територій є транспорт, промисловість, житлово-комунальне господарство, відходи, будівництво, атмосферні випадання та окремі види сільськогосподарської діяльності. Їхній комплексний вплив призводить до зміни фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунтів, зниження їхньої екологічної стійкості та формування потенційних ризиків для населення і довкілля [1, 4].

1.3. Показники екологічного стану ґрунтів

Оцінка екологічного стану ґрунтів ґрунтується на визначенні

комплексу показників, які відображають їхні фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні та санітарно-гігієнічні властивості. Ґрунт є складною природною системою, тому його екологічний стан не можна оцінити лише за одним параметром. Для отримання об'єктивної характеристики необхідно враховувати сукупність показників, які дають змогу визначити рівень родючості, ступінь забруднення, здатність до самоочищення, стійкість до антропогенного навантаження та потенційні ризики для рослин, тварин і людини [5, 10].

До основних фізичних показників екологічного стану ґрунтів належать гранулометричний склад, щільність, пористість, структура, вологість, водопроникність і ступінь ущільнення. Гранулометричний склад характеризує співвідношення піщаних, пилуватих і глинистих частинок у ґрунті. Від нього залежать водоутримувальна здатність, аерація, проникність для води та рухомість забруднювальних речовин. Наприклад, легкі піщані ґрунти швидше пропускають воду й можуть сприяти міграції забруднювачів у глибші горизонти, тоді як важкі глинисті ґрунти краще затримують хімічні речовини, але можуть мати гіршу повітропроникність [1, 3].

Важливим фізичним показником є щільність ґрунту. У межах урбанізованих територій вона часто зростає внаслідок будівельної діяльності, руху транспорту, витоптування зелених зон, прокладання комунікацій та інших механічних впливів. Ущільнення ґрунту зменшує його пористість, погіршує водний і повітряний режими, ускладнює розвиток кореневої системи рослин і знижує біологічну активність. Тому показники щільності та пористості є важливими для оцінки ступеня техногенного порушення міських ґрунтів [10, 11].

До хімічних показників екологічного стану ґрунтів належать вміст гумусу, основних елементів живлення, солей, карбонатів, важких металів, нафтопродуктів, залишків пестицидів, нітратів, сульфатів, хлоридів та інших речовин. Одним із найважливіших показників є вміст гумусу, оскільки він визначає родючість ґрунту, його структуру, буферність, вологоємність і

здатність зв'язувати забруднювальні речовини. Зменшення вмісту гумусу свідчить про деградацію ґрунту та погіршення його екологічних функцій [13, 14].

Важливими показниками є вміст Нітрогену, Фосфору та Калію, які належать до основних елементів живлення рослин. Їхня нестача обмежує продуктивність рослинного покриву, а надлишок, особливо сполук Нітрогену, може свідчити про забруднення ґрунтів мінеральними добривами, стічними водами або органічними відходами. Надмірне накопичення нітратів є небезпечним, оскільки вони можуть мігрувати у ґрунтові та поверхневі води, а також накопичуватися в рослинній продукції [21, 24].

Одним із ключових фізико-хімічних показників є кислотність ґрунту, або показник рН. Реакція ґрунтового середовища впливає на доступність поживних речовин для рослин, активність мікроорганізмів, швидкість розкладу органічної речовини та рухомість важких металів. У кислих умовах зростає рухомість багатьох токсичних елементів, що підвищує ризик їхнього надходження до рослин і ґрунтових вод. У лужному середовищі частина елементів може переходити у менш доступні форми, однак надмірна лужність також негативно впливає на розвиток рослинності [21, 23].

Важливим показником є також електропровідність ґрунтового розчину, яка характеризує загальний вміст розчинних солей. Підвищена електропровідність може свідчити про засолення ґрунтів, надходження протижеледних реагентів, промислових або комунальних стоків. У міських умовах засолення часто спостерігається поблизу доріг, де взимку використовують солі для боротьби з ожеледицею. Надлишок солей погіршує водний режим ґрунту, пригнічує рослини та знижує біологічну активність [21, 22].

Особливе значення для оцінки екологічного стану ґрунтів має визначення вмісту важких металів. До найбільш поширених забруднювачів міських ґрунтів належать свинець, кадмій, цинк, мідь, нікель, хром, ртуть і марганець. Вони можуть надходити до ґрунтів із викидами транспорту,

промислових підприємств, пилом, зношеними частинками шин і гальмівних колодок, відходами та поверхневим стоком. небезпека важких металів полягає в їхній стійкості, здатності накопичуватися у ґрунті та переходити в рослини, а далі - у харчові ланцюги [15, 17].

Для урбанізованих територій важливим є контроль вмісту нафтопродуктів. Вони потрапляють у ґрунти внаслідок витоків пального, роботи автозаправних станцій, гаражів, автомийок, транспортних підприємств, аварійних розливів і поверхневого стоку з доріг. Нафтопродукти погіршують водно-повітряний режим ґрунтів, пригнічують розвиток рослин і мікроорганізмів, змінюють фізичні властивості ґрунтового середовища та можуть містити токсичні органічні сполуки [17, 19].

Біологічні показники екологічного стану ґрунтів характеризують активність живих організмів у ґрунтовому середовищі. До них належать чисельність і різноманіття ґрунтових мікроорганізмів, активність ферментів, інтенсивність розкладу органічної речовини, наявність дощових черв'яків та інших представників ґрунтової фауни. Висока біологічна активність свідчить про сприятливі умови для функціонування ґрунтової екосистеми, тоді як її зниження може бути наслідком забруднення, ущільнення, пересушування, засолення або втрати гумусу [25, 28].

Санітарно-гігієнічні показники використовують для оцінки безпечності ґрунтів для населення. До них належать наявність патогенних мікроорганізмів, яєць гельмінтів, органічного забруднення, а також токсичних речовин, які можуть становити загрозу для здоров'я людини. Такі показники особливо важливі для дитячих майданчиків, рекреаційних зон, прибудинкових територій, парків, скверів і ділянок, що використовуються для вирощування харчової продукції [29, 31].

Для комплексної оцінки забруднення ґрунтів застосовують не лише окремі показники, а й інтегральні індекси. До них належать коефіцієнт концентрації забруднювальної речовини, сумарний показник забруднення, індекс екологічного ризику та інші узагальнені показники. Вони дозволяють

порівнювати рівень забруднення на різних ділянках, визначати пріоритетні зони екологічної небезпеки та обґрунтовувати природоохоронні заходи [31, 32].

У межах Івано-Франківської громади доцільно оцінювати екологічний стан ґрунтів за такими групами показників: фізичними, хімічними, фізико-хімічними, біологічними та санітарно-гігієнічними. Особливу увагу варто приділити показникам рН, вмісту гумусу, рухомих форм поживних елементів, важких металів, нафтопродуктів, нітратів, а також ознакам ущільнення та техногенного порушення ґрунтового покриву. Саме ці параметри найбільш повно відображають вплив транспорту, промислових і комунальних об'єктів, забудови та інших чинників антропогенного навантаження [33, 35].

Отже, показники екологічного стану ґрунтів дають змогу визначити рівень їхньої природної стійкості, ступінь забруднення та здатність виконувати основні екологічні функції. Комплексний підхід до оцінювання ґрунтів є необхідною умовою для виявлення проблемних ділянок, прогнозування екологічних ризиків і розроблення заходів щодо збереження та відновлення ґрунтового покриву урбанізованих територій [36, 38].

1.4. Нормативно-правові засади оцінювання забруднення ґрунтів в Україні

Оцінювання забруднення ґрунтів в Україні ґрунтується на системі законодавчих, санітарно-гігієнічних, екологічних і методичних документів, які визначають вимоги до охорони земель, допустимого вмісту небезпечних речовин, порядку моніторингу та відповідальності за порушення природоохоронного законодавства. Базовим документом у цій сфері є Закон України «Про охорону земель», який визначає охорону земель як систему правових, організаційних, економічних і технологічних заходів, спрямованих на раціональне використання земель, захист від шкідливого антропогенного впливу, відтворення родючості ґрунтів і збереження екологічних функцій

грунтового покриву. У цьому ж законі агрохімічне обстеження ґрунтів розглядається як обов'язкове суцільне обстеження сільськогосподарських угідь для державного контролю за зміною показників родючості та забруднення ґрунтів [36, 39].

Важливе значення має також Земельний кодекс України, зокрема положення щодо охорони земель від забруднення небезпечними речовинами. Ним встановлено принцип, за яким господарська та інша діяльність, що призводить до забруднення земель і ґрунтів понад установлені гранично допустимі концентрації небезпечних речовин, не допускається. Отже, правова оцінка стану ґрунтів безпосередньо пов'язана з порівнянням фактичного вмісту забруднювачів із нормативними значеннями ГДК [37, 40].

Нормативною основою для кількісного оцінювання забруднення є Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 р. № 1325, якою затверджено нормативи гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах і перелік таких речовин. У документі подано нормативи для валового вмісту, рухомої форми та водної витяжки окремих речовин. Наприклад, установлені нормативи для кадмію, свинцю, ртуті, миш'яку, нафтопродуктів, бенз(а)пірену, нітратів, хрому, цинку та інших потенційно небезпечних забруднювачів. Для нафтопродуктів норматив диференційований: 1000 мг/кг для земель, пов'язаних з об'єктами видобування, зберігання та переробки нафти й нафтопродуктів, і 500 мг/кг для інших земель [9, 13].

Окремий блок нормативного регулювання становлять санітарно-гігієнічні документи. Зокрема, наказ МОЗ України від 14 липня 2020 р. № 1595 затвердив гігієнічні регламенти допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті. Ці регламенти використовуються для оцінювання потенційного ризику впливу забрудненого ґрунту на здоров'я населення, особливо в межах населених пунктів, рекреаційних зон, територій житлової забудови та земель сільськогосподарського призначення [15, 20].

Для територій населених пунктів також враховуються Державні

санітарні правила планування та забудови населених пунктів, затверджені наказом МОЗ України від 19 червня 1996 р. № 173. Вони мають значення при оцінюванні придатності території для забудови, розміщення житлових, громадських і виробничих об'єктів, а також при визначенні санітарних обмежень для ділянок із можливим забрудненням ґрунтового покриву [21, 27].

Моніторинг земель і ґрунтів є важливим елементом системи екологічного контролю. У 2024 році Кабінет Міністрів України ухвалив Постанову № 848 «Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів», яка визначає організаційні засади спостереження за станом земель і ґрунтового покриву. За даними бази законодавства Верховної Ради, документ має поточну редакцію від 18 грудня 2025 року, тому під час практичного застосування варто перевіряти актуальність конкретної редакції документа [23, 29].

Контрольні та наглядові функції у сфері охорони земель регулює Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель». Він визначає правові й організаційні засади державного контролю, а також передбачає, що об'єктом контролю є всі землі в межах території України. Державний контроль здійснюється через перевірки, розгляд звернень, аналіз документації із землеустрою, проведення моніторингу ґрунтів та агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення [26, 29].

У випадках встановлення факту забруднення або засмічення земель застосовується Методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства, затверджена наказом Мінекобезпеки України від 27 жовтня 1997 р. № 171. Вона використовується для розрахунку збитків, завданих земельним ресурсам, і має практичне значення під час екологічних перевірок, судових спорів та обґрунтування компенсаційних заходів [33, 35].

Таким чином, нормативно-правова система оцінювання забруднення ґрунтів в Україні охоплює кілька взаємопов'язаних рівнів: загальне

природоохоронне й земельне законодавство, нормативи ГДК забруднювальних речовин, санітарно-гігієнічні регламенти, порядок моніторингу земель і методики визначення шкоди. На практиці оцінювання забруднення ґрунтів передбачає відбір проб, лабораторне визначення вмісту забруднювачів, порівняння результатів із нормативами ГДК, аналіз екологічного та санітарного ризику, а за потреби - розрахунок шкоди й розроблення заходів з рекультивації або відновлення ґрунтового покриву [34, 36].

1.5. Методи дослідження та оцінки екологічного стану ґрунтів

Дослідження екологічного стану ґрунтів передбачає комплексне вивчення їхніх фізичних, хімічних, біологічних і санітарно-гігієнічних властивостей. Ґрунт є складною природною системою, тому його екологічний стан не можна оцінити лише за одним показником. Для об'єктивного висновку необхідно поєднувати польові обстеження, лабораторні аналізи, біоіндикаційні методи, картографування, геоінформаційні технології та порівняння результатів із чинними нормативами [32, 34].

В Україні організаційною основою таких досліджень є моніторинг земель і ґрунтів. Відповідно до Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 848 від 23 липня 2024 року, моніторинг включає систематичні спостереження за станом земель і ґрунтів, зокрема агрохімічну паспортизацію земельних ділянок, суцільне ґрунтове обстеження та оцінювання змін якісного стану ґрунтового покриву [1, 4].

Початковим етапом дослідження є польове обстеження території. Воно передбачає опис місцевості, визначення джерел можливого забруднення, вивчення рельєфу, рослинного покриву, типу землекористування, наявності ерозійних процесів, засолення, підтоплення, ущільнення або техногенного порушення ґрунтів. На цьому етапі складають схему відбору проб, визначають

контрольні та забруднені ділянки, фіксують координати точок відбору за допомогою GPS і створюють первинну карту досліджуваної території [12, 14].

Одним із найважливіших елементів дослідження є відбір проб ґрунту, оскільки від правильності пробовідбору залежить достовірність усіх подальших результатів. Відбір може бути точковим, змішаним або пошаровим. Змішана проба формується з кількох індивідуальних проб, відібраних у межах однорідної ділянки. Для агроекологічної оцінки найчастіше досліджують орний шар ґрунту, а для вивчення міграції забруднювачів - також глибші горизонти. В Україні для відбирання проб застосовують стандартизовані підходи, зокрема ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб» та стандарти серії ДСТУ ISO щодо пробовідбору ґрунтів [14, 17].

Після відбору проб проводять їх попередню підготовку до лабораторного аналізу: висушування до повітряно-сухого стану, очищення від рослинних решток і сторонніх включень, подрібнення, просіювання та маркування. Для фізико-хімічного аналізу важливо забезпечити однакову методику підготовки зразків, оскільки порушення цього етапу може призвести до спотворення результатів. Зокрема, в Україні чинним є ДСТУ ISO 11464:2007, який стосується попереднього оброблення зразків ґрунту для фізико-хімічного аналізу [1, 5].

До фізичних методів дослідження ґрунтів належать визначення гранулометричного складу, щільності складення, пористості, вологості, водопроникності, структурно-агрегатного складу, кам'янистості та ерозійної пошкодженості. Ці показники дають змогу оцінити здатність ґрунту утримувати воду, забезпечувати рослини повітрям, протистояти ерозії та накопичувати або мігрувати забруднювачі. Наприклад, важкі глинисті ґрунти зазвичай краще зв'язують важкі метали, тоді як легкі піщані ґрунти мають вищий ризик вимивання забруднювачів у підземні води [1, 3].

Хімічні методи є основою оцінювання забруднення ґрунтів. Вони включають визначення кислотності або лужності ґрунту, вмісту гумусу,

рухомих форм азоту, фосфору й калію, ємності катіонного обміну, карбонатності, засоленості, а також концентрацій токсичних речовин. Особливу увагу приділяють важким металам, нафтопродуктам, залишкам пестицидів, поліциклічним ароматичним вуглеводням, нітратам та іншим забруднювачам. Для гумусового стану ґрунтів може застосовуватися, зокрема, ДСТУ 7855:2015, який установлює метод визначення групового складу гумусу за методом Тюріна в модифікації Кононової та Бельчикової [11, 13].

Для визначення важких металів у ґрунтах використовують атомно-абсорбційну спектрофотометрію, індуктивно-зв'язану плазмову спектрометрію, рентгенофлуоресцентний аналіз та інші інструментальні методи. Вміст органічних забруднювачів, зокрема пестицидів і нафтопродуктів, визначають хроматографічними, спектрофотометричними або гравіметричними методами. Отримані результати порівнюють із нормативами гранично допустимих концентрацій або гігієнічними регламентами, після чого роблять висновок про рівень небезпеки забруднення [11, 18].

Важливу роль відіграють біологічні та біоіндикаційні методи. Вони дають змогу оцінити не лише наявність забруднювачів, а й реальну реакцію живих організмів на стан ґрунтового середовища. До таких методів належать визначення активності ґрунтових мікроорганізмів, інтенсивності дихання ґрунту, ферментативної активності, чисельності дощових черв'яків, стану рослинного покриву, а також фітотоксичні тести на проростання насіння й розвиток кореневої системи рослин. ФАО також підкреслює значення поєднання фізичних, хімічних і біологічних індикаторів під час оцінювання забруднення та здоров'я ґрунтів [11, 12].

Окрему групу становлять санітарно-гігієнічні та мікробіологічні методи. Вони застосовуються насамперед для ґрунтів населених пунктів, рекреаційних територій, сільськогосподарських угідь, ділянок внесення органічних добрив або осадів стічних вод. Такі дослідження дозволяють оцінити санітарну безпечність території та ризик впливу забрудненого ґрунту на здоров'я

населення [3, 6].

Для просторової оцінки стану ґрунтів широко використовують картографічні, геоінформаційні та дистанційні методи. Геоінформаційні системи дають змогу наносити результати аналізів на карту, визначати зони підвищеного забруднення, будувати карти ризику, аналізувати зв'язок між джерелами забруднення та станом ґрунтового покриву. Дистанційне зондування Землі може бути корисним для виявлення деградаційних процесів, змін рослинності, ерозії, підтоплення, порушення земельного покриву та наслідків техногенного впливу [4, 12].

Під час оцінювання екологічного стану ґрунтів часто застосовують інтегральні показники забруднення. Найпростішим є коефіцієнт концентрації, який показує, у скільки разів фактичний вміст речовини перевищує фонове або нормативне значення. Для комплексної оцінки використовують сумарний показник забруднення, індекси екологічного ризику, індекс геоаккумуляції, коефіцієнти небезпеки та інтегральні індекси якості ґрунту. Такі підходи дозволяють оцінити не окрему речовину, а загальний рівень екологічного навантаження на ґрунтову систему [6, 13].

Отже, дослідження екологічного стану ґрунтів має бути комплексним. Найбільш обґрунтовані результати отримують тоді, коли польові спостереження поєднуються з лабораторними аналізами, біоіндикаційними тестами, просторовим картографуванням і порівнянням із нормативними показниками. Такий підхід дає змогу не лише встановити факт забруднення, а й визначити його джерела, масштаби, екологічні ризики та необхідні природоохоронні заходи [4, 12].

РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНО-ГЕОГРАФІЧНА ТА АНТРОПОГЕННА ХАРАКТЕРИСТИКА ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ГРОМАДИ

2.1. Географічне положення та адміністративна характеристика Івано-Франківської громади

Івано-Франківська міська територіальна громада розташована у західній частині України, в межах Івано-Франківського району Івано-Франківської області. Адміністративним центром громади є місто Івано-Франківськ - обласний центр, важливий адміністративний, економічний, освітній, культурний і транспортний осередок Прикарпаття. Географічне положення громади є вигідним, оскільки вона розміщена на стику урбанізованих територій, передміських зон, сільськогосподарських угідь і природних ландшафтів Передкарпаття [13, 14].

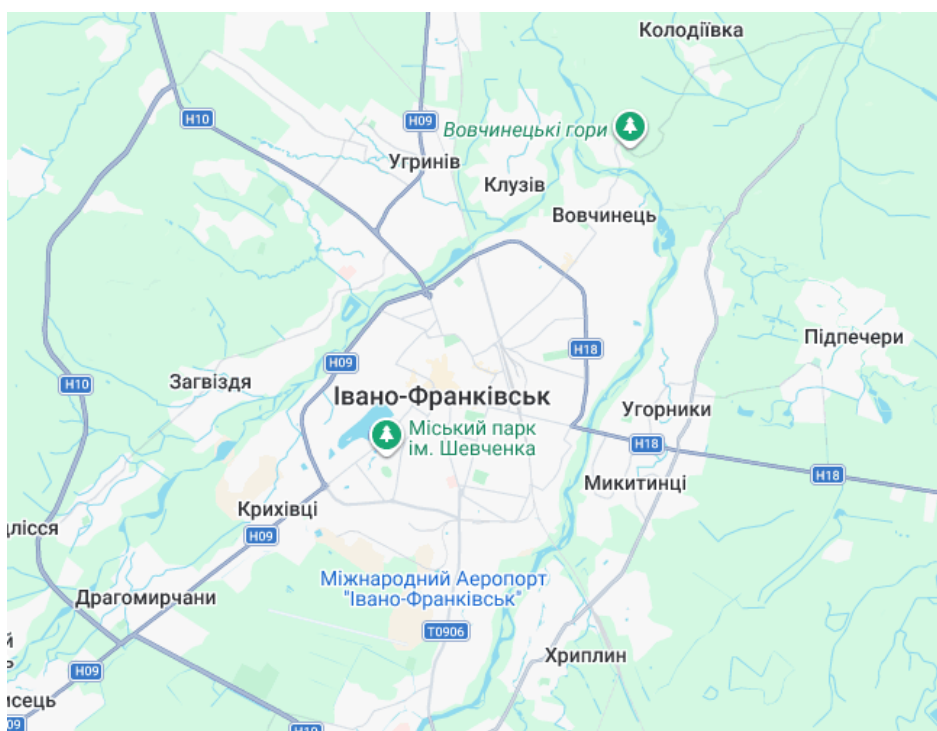


Рис.2.1. Івано-Франківська міська територіальна громада

Місто Івано-Франківськ розташоване на Покутській рівнинній території південного заходу України, у межиріччі Бистриці Надвірнянської та Бистриці Солотвинської. Таке положення визначає природні особливості території, зокрема наявність річкових долин, заплавлених ділянок, алювіальних відкладів,

а також територій, потенційно вразливих до підтоплення, ерозійних процесів і техногенного навантаження. Водночас близькість до Карпат формує важливе рекреаційне та транспортно-логістичне значення громади [11, 16].

Івано-Франківська громада належить до міських територіальних громад. Вона була сформована в межах адміністративно-територіальної реформи та функціонує як базова одиниця місцевого самоврядування. До її складу входить 19 населених пунктів: місто Івано-Франківськ як адміністративний центр та 18 сіл - Березівка, Братківці, Вовчинець, Добровляни, Драгомирчани, Камінне, Колодіївка, Крихівці, Микитинці, Підлужжя, Підпечери, Радча, Тисменичани, Угорники, Узин, Хриплин, Черніїв і Чукалівка [12, 17].

За даними порталу «Децентралізація», площа Івано-Франківської територіальної громади становить близько 264,6 км², а чисельність населення - близько 297,3 тис. осіб. Код КАТОТТГ громади - UA26040190000081578. Наявність у складі громади як великого міського центру, так і сільських населених пунктів зумовлює складну просторову структуру території та різноманітність типів землекористування [11, 20].

Адміністративна структура громади має важливе значення для оцінювання екологічного стану ґрунтів, оскільки в її межах поєднуються території різного функціонального призначення. Центральна частина Івано-Франківська характеризується високою щільністю забудови, інтенсивним транспортним рухом і значним антропогенним навантаженням. Передміські та сільські території громади мають інший характер використання земель: тут поширені присадибна забудова, сільськогосподарські угіддя, зелені насадження, водоохоронні зони та ділянки, що зазнають впливу транспортної й комунальної інфраструктури [21, 24].

Важливим чинником просторового розвитку громади є транспортне положення. Через Івано-Франківську область проходять національні автомобільні дороги Н-09, Н-10 і Н-18, а місто Івано-Франківськ є одним із ключових транспортних вузлів області. Наявність автомобільного, залізничного та авіаційного сполучення сприяє економічному розвитку

території, однак водночас формує локальні джерела забруднення довкілля, зокрема ґрунтів уздовж транспортних магістралей, промислових і складських зон [23, 24].

Івано-Франківська громада є складною урбанізовано-приміською територіальною системою, у межах якої поєднуються міські, сільські, природні, рекреаційні, транспортні та промислово-комунальні функції. Її географічне положення в межиріччі Бистриці Надвірнянської та Бистриці Солотвинської, адміністративний статус обласного центру, значна чисельність населення й різноманітність типів землекористування створюють передумови для формування різних видів антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив. Саме тому аналіз географічного положення та адміністративної структури громади є необхідним етапом подальшого дослідження екологічного стану ґрунтів [13, 15].

2.2. Кліматичні, гідрологічні та геоморфологічні умови території дослідження

Природно-географічні умови Івано-Франківської міської територіальної громади значною мірою визначають особливості формування, використання та екологічного стану ґрунтового покриву. Клімат, гідрологічна мережа, рельєф і геоморфологічна будова території впливають на процеси ґрунтоутворення, міграцію забруднювальних речовин, інтенсивність ерозії, підтоплення, поверхневий стік і здатність ґрунтів до самоочищення [21, 34].

Клімат території дослідження має перехідний характер - від вологого помірно теплого західноєвропейського до більш континентального східноєвропейського. Для Івано-Франківська характерні порівняно м'яка зима, тепле літо, достатня кількість опадів і висока зволоженість повітря. Такі кліматичні умови сприяють активному розвитку рослинності, формуванню гумусового горизонту, а також інтенсивному перебігу біологічних процесів у ґрунті. Водночас значна кількість опадів, особливо у вигляді зливових дощів,

може посилювати поверхневий стік, водну ерозію та перенесення забруднювачів із урбанізованих, промислових і транспортних територій у понижені ділянки рельєфу та водні об'єкти [12, 36].

Температурний режим території є типовим для Передкарпаття. У холодний період року можливе промерзання верхнього шару ґрунту, що впливає на його водопроникність і умови інфільтрації талих вод. У теплий період активізуються мікробіологічні процеси, мінералізація органічної речовини, окисно-відновні реакції та процеси трансформації забруднювальних речовин. Сезонна зміна температури й вологості визначає динаміку рухомих форм хімічних елементів, зокрема важких металів, сполук азоту, фосфору та органічних забруднювачів [31, 34].

Гідрологічні умови Івано-Франківської громади формуються під впливом річкової системи басейну Дністра. Найважливішими водними об'єктами території є Бистриця Надвірнянська та Бистриця Солотвинська, які протікають поблизу міста Івано-Франківська та після злиття утворюють річку Бистрицю - одну з приток Дністра. Наявність цих водотоків є важливим природним чинником розвитку території, оскільки річкові долини формують специфічні умови рельєфу, зволоження, накопичення алювіальних відкладів і поширення заплавних ґрунтів [32, 36].

Річки Бистриця Надвірнянська та Бистриця Солотвинська мають передгірний характер живлення і водного режиму. Для них характерні коливання рівня води, підвищена роль дощового живлення, весняного сніготанення та паводкових явищ. Під час інтенсивних опадів або швидкого танення снігу можливе різке збільшення стоку, що створює ризики підтоплення заплавних ділянок, розмиву берегів, замулення територій і перенесення забруднювачів разом із поверхневими водами. Для оцінювання екологічного стану ґрунтів це має особливе значення, оскільки забруднення може накопичуватися у понижених елементах рельєфу, заплавах, прибережних захисних смугах і ділянках із недостатнім дренажем [37, 38].

У межах урбанізованої частини громади гідрологічні процеси значною

мірою змінені антропогенною діяльністю. Забудова, асфальтовані поверхні, транспортна інфраструктура, мережі дощової каналізації та інженерні споруди змінюють природний режим інфільтрації води в ґрунт. Частина атмосферних опадів не проникає у ґрунтовий профіль, а швидко відводиться поверхневим стоком. Це сприяє перенесенню пилу, нафтопродуктів, важких металів, протиожеледних реагентів та інших забруднювачів із доріг і промислово-комунальних зон у ґрунти прилеглих територій або водні об'єкти [21, 24].

Геоморфологічно територія Івано-Франківської громади належить до Передкарпаття, для якого характерне поєднання рівнинних, хвилясто-рівнинних, терасових і долинно-заплавних форм рельєфу. Рельєф території є відносно сприятливим для господарського освоєння, однак у межах річкових долин і понижених ділянок зростає ризик перезволоження, підтоплення та акумуляції забруднювальних речовин. На підвищених і слабо нахилених поверхнях можливі процеси площинного змиву ґрунту, особливо за умов порушення рослинного покриву або інтенсивного освоєння території [1, 3].

Важливим елементом геоморфологічної будови є річкові тераси та алювіальні відклади, сформовані діяльністю водотоків. Такі ділянки часто характеризуються неоднорідним гранулометричним складом, різним рівнем зволоження й відмінною здатністю до накопичення забруднювачів. У заплавних і терасових ґрунтах можливе накопичення речовин, які надходять із поверхневим стоком, паводковими водами або внаслідок господарської діяльності. Тому при дослідженні екологічного стану ґрунтів важливо враховувати не лише джерела забруднення, а й положення ділянки в рельєфі [21, 29].

Геологічна та літологічна основа Передкарпаття представлена переважно осадовими відкладами, зокрема суглинками, супісками, алювіальними та делювіальними відкладами. Такі породи впливають на водопроникність ґрунтів, їхню здатність утримувати вологу, сорбувати хімічні речовини та протидіяти міграції забруднювачів у глибші горизонти. Суглинисті ґрунти, як правило, мають вищу сорбційну здатність щодо важких

металів, тоді як легші за гранулометричним складом ґрунти можуть бути більш проникними для водорозчинних сполук [29, 31].

Кліматичні, гідрологічні та геоморфологічні умови Івано-Франківської громади створюють як сприятливі, так і потенційно ризикові передумови для формування екологічного стану ґрунтів. Достатнє зволоження й активні біологічні процеси сприяють природному відновленню ґрунтового середовища, проте значна кількість опадів, розвинена річкова мережа, паводкові явища, урбанізація та антропогенна трансформація поверхневого стоку можуть посилювати міграцію і накопичення забруднювальних речовин. Саме тому під час оцінювання ґрунтів території дослідження необхідно враховувати просторове положення ділянок відносно річкових долин, транспортних магістралей, промислово-комунальних зон і понижених елементів рельєфу [31, 37].

2.3. Характеристика ґрунтового покриву Івано-Франківської громади

Ґрунтовий покрив Івано-Франківської міської територіальної громади сформувався під впливом природних умов Передкарпаття, зокрема помірно вологого клімату, розчленованого рельєфу, близькості річкових долин Бистриці Надвірнянської та Бистриці Солотвинської, а також тривалого антропогенного освоєння території. Для громади характерне поєднання урбанізованих, сільськогосподарських, заплавних, лучних і передміських ландшафтів, що зумовлює строкатість ґрунтового покриву та різний ступінь його трансформації [39, 40].

У природному відношенні територія Івано-Франківської громади належить до Передкарпаття, де типовими є дерново-підзолисті, буроземно-підзолисті, дернові, лучні та лучно-болотні ґрунти. Їхнє поширення залежить від положення ділянки в рельєфі, рівня зволоження, гранулометричного складу материнських порід і характеру землекористування. На підвищених і краще дренованих ділянках більш поширені дерново-підзолисті та буроземно-

підзолисті ґрунти, тоді як у понижених місцях, заплавах і терасах річок формуються лучні, дернові оглеєні та лучно-болотні ґрунти [35, 40].

Дерново-підзолисті ґрунти є одними з характерних для Передкарпаття. Вони формуються переважно в умовах достатнього зволоження під лісовою та лучною рослинністю. Для них властиві відносно невисокий вміст гумусу, кисла або слабокисла реакція ґрунтового розчину, помітні процеси опідзолення та оглеєння. Такі ґрунти мають середню або знижену природну родючість і потребують раціонального використання, зокрема підтримання органічної речовини, регулювання кислотності та запобігання ерозії [31, 34].

Буроземно-підзолисті ґрунти також характерні для передгірних умов. Вони сформувалися під впливом поєднання процесів буроземоутворення та опідзолення. Такі ґрунти зазвичай мають кислу реакцію, достатню зволоженість, середню гумусованість верхнього горизонту й можуть бути поверхнево оглеєними. У межах громади вони можуть траплятися на вододільних і слабкохвилястих ділянках, а також на територіях із менш порушеним природним ґрунтовим профілем [1, 10].

У долинах річок, понижених елементах рельєфу та на ділянках із близьким заляганням ґрунтових вод поширені лучні, дернові оглеєні, лучно-болотні та алювіальні ґрунти. Вони формуються за умов періодичного або постійного надмірного зволоження. Такі ґрунти можуть мати вищий вміст органічної речовини, але водночас характеризуються оглеєнням, недостатньою аерацією, ризиком підтоплення та накопиченням речовин, що надходять із поверхневим стоком. Саме ці ділянки є особливо важливими для екологічного моніторингу, оскільки в них можливе акумулювання забруднювачів, перенесених із транспортних, промислових, житлових і сільськогосподарських територій [1, 20].

Особливістю ґрунтового покриву Івано-Франківської громади є значна антропогенна трансформація ґрунтів у межах міської забудови. У центральній і промислово-комунальній частинах міста природний ґрунтовий профіль часто порушений унаслідок будівництва, прокладання інженерних мереж,

ущільнення, насипання техногенних матеріалів, асфальтування та зміни природного водного режиму. Такі ґрунти можна розглядати як урбанізовані або техногенно змінені, оскільки їхні властивості значною мірою визначаються не лише природними чинниками, а й інтенсивністю господарської діяльності [31, 34].

У сільських населених пунктах громади ґрунтовий покрив зазнає переважно агрогенного впливу. Тут важливими чинниками зміни ґрунтів є обробіток землі, внесення добрив і засобів захисту рослин, випасання худоби, ущільнення ґрунту сільськогосподарською технікою, зменшення вмісту гумусу та розвиток ерозійних процесів. За умови нераціонального використання земель можливе погіршення структури ґрунту, зниження його водопроникності, посилення кислотності та зменшення біологічної активності [35, 37].

Екологічний стан ґрунтів громади значною мірою залежить від типу землекористування. Найвищий ризик забруднення характерний для територій уздовж транспортних магістралей, промислово-комунальних зон, автозаправних станцій, складських територій, ділянок несанкціонованого складування відходів і зон інтенсивної забудови. У таких місцях у ґрунтах можуть накопичуватися важкі метали, нафтопродукти, поліциклічні ароматичні вуглеводні, залишки будівельних матеріалів, мікропластик та інші техногенні домішки [31, 38].

Водночас ґрунти зелених зон, парків, прибережних територій і сільськогосподарських угідь виконують важливі екологічні функції. Вони забезпечують фільтрацію атмосферних і поверхневих вод, акумуляцію органічної речовини, підтримання біорізноманіття, регулювання мікроклімату та зменшення впливу урбанізації. Тому збереження ґрунтового покриву в межах громади має важливе значення не лише для сільськогосподарського виробництва, а й для загальної екологічної безпеки міського середовища [21, 33].

Ґрунтовий покрив Івано-Франківської громади є неоднорідним і

поєднує природні ґрунти Передкарпаття з антропогенно зміненими урбанізованими ґрунтами. Основними типами ґрунтів, характерними для цієї території, є дерново-підзолисті, буроземно-підзолисті, дернові, лучні, лучно-болотні та алювіальні ґрунти. Їхній екологічний стан залежить від природних умов, рівня зволоження, положення в рельєфі та інтенсивності антропогенного навантаження. Для подальшої оцінки стану ґрунтів громади необхідно враховувати як природну ґрунтову неоднорідність, так і вплив транспорту, забудови, промислово-комунальної інфраструктури та сільськогосподарського використання земель [21, 34].

2.4. Основні джерела антропогенного навантаження на ґрунти громади

Антропогенне навантаження на ґрунти Івано-Франківської міської територіальної громади формується внаслідок поєднання міських, промислово-комунальних, транспортних, сільськогосподарських і побутових чинників. Оскільки громада включає як обласний центр, так і приміські та сільські населені пункти, джерела впливу на ґрунтовий покрив мають різний характер і просторову інтенсивність. Найбільше навантаження припадає на території щільної забудови, транспортні магістралі, промислово-комунальні зони, ділянки складування відходів, землі сільськогосподарського використання та прибережні території річок [21, 37].

Одним із провідних джерел антропогенного впливу на ґрунти громади є автомобільний транспорт. Інтенсивний рух автотранспорту в межах міста та на під'їзних дорогах спричиняє надходження до ґрунтів важких металів, нафтопродуктів, сажі, пилу, продуктів стирання шин, гальмівних колодок і дорожнього покриття. Найбільш вразливими є ґрунти вздовж магістральних вулиць, перехресть, автозаправних станцій, стоянок, гаражних кооперативів і транспортно-логістичних об'єктів. Забруднювачі осідають на поверхні ґрунту з атмосферним пилом або змиваються дощовими й талими водами з дорожнього полотна [22, 38].

Особливе значення має забруднення ґрунтів сполуками свинцю, цинку, міді, кадмію та нафтопродуктами. У приґрунтовій зоні транспортних коридорів такі речовини можуть накопичуватися у верхньому гумусовому горизонті, знижувати біологічну активність ґрунтів, погіршувати умови росту рослин і створювати ризик потрапляння токсичних елементів у пил, поверхневі води та харчові ланцюги. Тому транспортні магістралі доцільно розглядати як лінійні джерела техногенного навантаження на ґрунтовий покрив громади [1, 4].

Другим важливим джерелом впливу є промислово-комунальна інфраструктура. У межах Івано-Франківська та прилеглих населених пунктів розміщені виробничі, складські, ремонтні, енергетичні, будівельні й комунальні об'єкти, які можуть впливати на стан ґрунтів через викиди в атмосферу, пилове осадження, витoki паливно-мастильних матеріалів, складування сировини, будівельних матеріалів і виробничих відходів. Найбільший ризик локального забруднення характерний для промислових майданчиків, котелень, ремонтних баз, складів, територій колишніх або діючих підприємств, а також земель, де відбувалося тривале техногенне використання [1, 7].

Значну роль у формуванні антропогенного навантаження відіграє сфера поводження з відходами. Побутові, будівельні, великогабаритні, зелені та окремі небезпечні компоненти муніципальних відходів за умови неналежного збирання, сортування або складування можуть бути джерелом забруднення ґрунтів органічними речовинами, важкими металами, мікропластиком, залишками фарб, розчинників, батарейок, електроніки та іншими токсичними домішками. Особливо небезпечними є несанкціоновані сміттєзвалища, стихійні місця складування будівельних відходів, забруднені узбіччя доріг, прибережні смуги та території поблизу гаражів і приватного сектору [7, 12].

Комунально-побутова інфраструктура також впливає на ґрунти через можливі аварійні витoki з каналізаційних мереж, зношеність інженерних комунікацій, неефективне відведення дощових вод і локальне підтоплення

територій. У таких умовах забруднення може поширюватися разом із поверхневим стоком, особливо під час інтенсивних опадів. Забруднені дощові й талі води переносять нафтопродукти, завислі речовини, солі, важкі метали та органічні домішки з доріг, дворів, промислових майданчиків і забудованих територій у ґрунти понижених ділянок, зелених зон і прибережних територій [10, 14].

Окремим чинником антропогенного навантаження є урбанізація та будівельна діяльність. Розширення житлової, громадської та комерційної забудови супроводжується зняттям або переміщенням родючого шару ґрунту, ущільненням ґрунтового профілю важкою технікою, зміною природного водного режиму, асфальтуванням, бетонуванням і фрагментацією відкритих ґрунтових поверхонь. Унаслідок цього зменшується площа природного ґрунтового покриву, погіршується інфільтрація атмосферних опадів, зростає обсяг поверхневого стоку та знижується здатність ґрунтів виконувати екологічні функції [10, 13].

Для сільських населених пунктів Івано-Франківської громади важливим джерелом впливу є сільськогосподарське використання земель. Обробіток ґрунту, внесення мінеральних і органічних добрив, застосування засобів захисту рослин, ущільнення ґрунту технікою, випасання худоби та недотримання ґрунтозахисних заходів можуть призводити до дегуміфікації, підкислення, ерозії, зменшення біологічної активності та локального накопичення нітратів, фосфатів і залишків агрохімікатів. На схилі і слабо захищених ділянках додатковим ризиком є водна ерозія, яка сприяє змиву родючого шару та перенесенню забруднювачів у понижені елементи рельєфу [21, 24].

Гідрологічний чинник посилює антропогенне навантаження на ґрунти громади. Річкові долини Бистриці Надвірнянської та Бистриці Солотвинської, заплавні території, прибережні захисні смуги й понижені ділянки рельєфу можуть акумулювати забруднювачі, що надходять із поверхневим стоком. Під час паводків, сильних дощів або підтоплень забруднювальні речовини можуть

перерозподілятися між міськими, прибережними та сільськогосподарськими територіями. Це робить прибережні ґрунти особливо чутливими до впливу транспорту, забудови, комунальної інфраструктури та несанкціонованого складування відходів [31, 34].

До локальних джерел забруднення також належать автозаправні станції, станції технічного обслуговування, гаражні масиви, ринки, місця інтенсивної торгівлі, території складів, будівельні майданчики, котельні та ділянки з порушеним благоустроєм. Їхній вплив зазвичай має локальний характер, однак саме такі об'єкти часто формують осередки підвищеного вмісту нафтопродуктів, важких металів, будівельного пилу, побутових відходів і токсичних домішок у верхньому шарі ґрунту [1, 4].

Основними джерелами антропогенного навантаження на ґрунти Івано-Франківської громади є автомобільний транспорт, промислово-комунальні об'єкти, система поводження з відходами, урбанізація, будівельна діяльність, сільськогосподарське використання земель і забруднений поверхневий стік. Просторово найбільш уразливими є ґрунти вздовж транспортних магістралей, у промислово-комунальних зонах, на територіях щільної забудови, поблизу місць складування відходів, у прибережних смугах річок та на сільськогосподарських землях із високим рівнем експлуатації. Саме ці території мають бути пріоритетними для екологічного моніторингу, лабораторного аналізу ґрунтів і розроблення природоохоронних заходів [2, 8].

2.5. Вплив транспортної, промислової та комунальної інфраструктури на стан ґрунтів

Транспортна, промислова та комунальна інфраструктура є одними з найважливіших чинників антропогенного впливу на ґрунтовий покрив Івано-Франківської міської територіальної громади. Їхній вплив має переважно локальний або лінійний характер, однак у межах щільно забудованих територій він може формувати значне екологічне навантаження. Найбільш

вразливими є ґрунти вздовж автомобільних доріг, у зонах промислово-комунальної забудови, поблизу автозаправних станцій, ремонтних баз, гаражних кооперативів, складів, будівельних майданчиків, полігонів і місць накопичення відходів [1, 9].

Одним із основних джерел впливу на ґрунти громади є автомобільний транспорт. У межах Івано-Франківська транспортне навантаження зосереджене на магістральних вулицях, перехрестях, під'їзних шляхах до міста, об'їзних дорогах і територіях інтенсивного паркування. У процесі експлуатації автотранспорту до довкілля надходять відпрацьовані гази, пил, сажа, продукти зношування шин, гальмівних колодок і дорожнього покриття, а також залишки паливно-мастильних матеріалів. Значна частина цих речовин осідає на поверхні ґрунту або переноситься з дощовими й талими водами на прилеглі території [9, 12].

Для ґрунтів придорожніх смуг характерний ризик накопичення важких металів, зокрема свинцю, цинку, міді, кадмію, а також нафтопродуктів і поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Такі забруднювачі переважно концентруються у верхньому гумусовому горизонті, де можуть знижувати біологічну активність ґрунту, пригнічувати розвиток ґрунтової мікрофлори, погіршувати умови росту рослин і підвищувати екологічний ризик для міського середовища. Особливо небезпечним є тривале накопичення забруднювачів, оскільки ґрунт має здатність акумулювати токсичні речовини протягом багатьох років [8, 14].

Транспортна інфраструктура впливає на ґрунти не лише через хімічне забруднення, а й через фізичну трансформацію території. Будівництво та експлуатація доріг супроводжуються ущільненням ґрунту, порушенням природного водного режиму, зменшенням площі відкритих ґрунтових поверхонь, зміною напрямків поверхневого стоку та фрагментацією зелених зон. Унаслідок цього знижується водопроникність ґрунту, збільшується ризик локального підтоплення й посилюється перенесення забруднювачів у понижені ділянки рельєфу [12, 40].

Промислова інфраструктура громади також є важливим джерелом впливу на ґрунтовий покрив. У межах Івано-Франківська та прилеглих населених пунктів розміщені промислові, складські, ремонтні, енергетичні, будівельні й комунальні об'єкти, діяльність яких може супроводжуватися викидами пилу, осадженням аерозольних частинок, витокami технічних рідин, накопиченням виробничих залишків і будівельних матеріалів. Найбільший ризик становлять території підприємств із тривалою історією експлуатації, оскільки забруднення ґрунтів у таких місцях може мати накопичувальний характер [11, 33].

Поблизу промислово-комунальних зон у ґрунтах можуть накопичуватися важкі метали, нафтопродукти, зола, шлаки, будівельний пил, залишки лакофарбових матеріалів, розчинників та інші техногенні домішки. У разі відсутності належного покриття майданчиків, систем збору поверхневих вод або своєчасного вивезення відходів забруднювачі можуть потрапляти у ґрунт безпосередньо або через поверхневий стік. Особливо вразливими є території, де промислові ділянки межують із житловою забудовою, зеленими зонами або водними об'єктами [13, 16].

Комунальна інфраструктура впливає на стан ґрунтів через систему водопостачання, водовідведення, дощової каналізації, тепломереж, поводження з побутовими відходами та благоустрою територій. Зношеність інженерних мереж, аварійні витoki, недостатня ефективність відведення дощових вод і наявність неканалізованих ділянок можуть спричиняти локальне перезволоження ґрунтів, забруднення органічними речовинами, бактеріальне забруднення, зміну кислотно-лужних умов і погіршення санітарного стану територій [12, 19].

Важливим чинником є поверхневий стік з урбанізованих територій. Під час інтенсивних опадів вода змиває з доріг, дворів, промислових майданчиків, автостоянок і дахів будівель пил, нафтопродукти, солі, завислі речовини, мікропластик та інші домішки. Якщо система дощової каналізації працює недостатньо ефективно, частина цих речовин затримується у ґрунтах зелених

зон, прибудинкових територій, придорожніх смуг і понижених ділянок рельєфу. Унаслідок цього формується вторинне забруднення ґрунтового покриву, яке може бути менш помітним, але екологічно значущим [21, 34].

Сфера поводження з відходами також має прямий вплив на стан ґрунтів. Джерелами забруднення можуть бути місця тимчасового зберігання твердих побутових відходів, контейнери без належного санітарного утримання, стихійні сміттєзвалища, будівельні відходи, залишки великогабаритних матеріалів, відходи електроніки, батарейки, фарби, мастила та інші небезпечні компоненти побутового походження. У місцях неналежного складування відходів у ґрунт можуть потрапляти важкі метали, органічні забруднювачі, мікропластик, фільтрат і патогенні мікроорганізми[21, 24].

Особливе значення для Івано-Франківської громади має поєднання урбанізованої забудови з річковими долинами Бистриці Надвірнянської та Бистриці Солотвинської. За умов інтенсивних опадів або паводкових явищ забруднювачі з транспортних, промислових і комунальних територій можуть переміщуватися разом із поверхневим стоком у напрямку понижених ділянок і прибережних зон. Тому ґрунти в межах заплав, прибережних захисних смуг і територій поблизу водних об'єктів потребують особливої уваги під час екологічного моніторингу [21, 34].

Транспортна, промислова та комунальна інфраструктура чинить комплексний вплив на ґрунти Івано-Франківської громади. Транспорт формує переважно лінійне забруднення вздовж доріг і магістралей; промислові та складські об'єкти створюють локальні осередки техногенного навантаження; комунальна інфраструктура впливає через водовідведення, відходи, поверхневий стік і стан інженерних мереж. Найбільш пріоритетними для дослідження є ґрунти придорожніх смуг, промислово-комунальних зон, автостоянок, гаражних масивів, територій складування відходів, зелених зон у межах щільної забудови та прибережних ділянок річок. Саме ці території доцільно включати до системи регулярного екологічного моніторингу ґрунтів громади [31, 34].

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ В МЕЖАХ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ГРОМАДИ

3.1. Організація дослідження та вибір ділянок для оцінки стану ґрунтів

Оцінка екологічного стану ґрунтів у межах Івано-Франківської міської територіальної громади потребує комплексного підходу, оскільки територія громади поєднує урбанізовані, промислово-комунальні, транспортні, житлові, прибережні та сільськогосподарські зони. Організація дослідження передбачає визначення основних джерел антропогенного навантаження, вибір репрезентативних ділянок, відбір ґрунтових проб, лабораторне визначення показників забруднення та подальше порівняння отриманих результатів із нормативними значеннями.

Метою дослідження є оцінювання екологічного стану ґрунтів громади з урахуванням різних типів землекористування та рівня антропогенного впливу. Основними завданнями є: вибір ділянок із різним функціональним призначенням; визначення можливих джерел забруднення; організація пробовідбору; аналіз фізико-хімічних і токсикологічних показників ґрунтів; порівняння результатів із гранично допустимими концентраціями; встановлення ділянок підвищеного екологічного ризику.

Дослідження доцільно проводити у кілька послідовних етапів. На першому етапі здійснюється аналіз природно-географічних умов території, адміністративної структури громади, типів землекористування та потенційних джерел антропогенного навантаження. На другому етапі проводиться вибір ділянок для оцінки стану ґрунтів. На третьому етапі здійснюється відбір проб ґрунту за визначеною схемою. На четвертому етапі проводяться лабораторні дослідження, а на завершальному - узагальнення результатів, оцінка рівня забруднення та формулювання природоохоронних рекомендацій.

Вибір ділянок для дослідження має базуватися на принципі репрезентативності. Це означає, що обрані території повинні відображати

основні типи антропогенного впливу, характерні для Івано-Франківської громади. Для цього доцільно включити до дослідження ділянки поблизу транспортних магістралей, промислово-комунальних об'єктів, житлової забудови, прибережних територій річок, сільськогосподарських угідь і зелених зон. Окремо необхідно передбачити контрольну ділянку з мінімальним антропогенним впливом, яка використовується для порівняння з більш навантаженими територіями.

Для оцінки стану ґрунтів Івано-Франківської громади можна запропонувати таку систему дослідних ділянок.

Таблиця 3.1. Оцінки стану ґрунтів Івано-Франківської громади

Умовне позначення	Тип ділянки	Орієнтовна характеристика
Д-1	Контрольна ділянка	Зелена або малопорушена територія з мінімальним транспортним і промисловим впливом
Д-2	Транспортна зона	Ґрунти поблизу магістральної дороги, перехрестя або інтенсивного транспортного коридору
Д-3	Промислово-комунальна зона	Територія поблизу підприємств, складів, ремонтних баз, котелень або комунальних об'єктів
Д-4	Житлова забудова	Прибудинкові території, двори, зони щільної міської забудови
Д-5	Прибережна зона	Ґрунти поблизу Бистриці Надвірнянської, Бистриці Солотвинської або інших водотоків
Д-6	Сільськогосподарська територія	Орні землі, присадибні ділянки або землі сільських населених пунктів громади
Д-7	Зелена зона міста	Парк, сквер, рекреаційна зона або

		територія з переважанням рослинного покриву
Умовне позначення	Тип ділянки	Орієнтовна характеристика
Д-1	Контрольна ділянка	Зелена або малопорушена територія з мінімальним транспортним і промисловим впливом

Контрольна ділянка є необхідною для встановлення умовного фонового рівня показників ґрунту. Вона повинна бути віддалена від великих доріг, промислових об'єктів, місць складування відходів і зон інтенсивної забудови. Порівняння результатів із контрольної ділянки з даними інших точок дозволяє визначити, наскільки ґрунти урбанізованих і техногенно навантажених територій відрізняються від менш порушених умов.

Транспортна ділянка обирається з урахуванням інтенсивності руху, близькості до проїзної частини, наявності перехресть, зупинок громадського транспорту, автозаправних станцій або автостоянок. На таких територіях очікується підвищений вміст важких металів, нафтопродуктів, пилових частинок і продуктів зношування автомобільних шин та гальмівних колодок. Проби доцільно відбирати на різній відстані від дороги, наприклад 5 м, 25 м і 50 м, що дозволить простежити зменшення впливу транспортного забруднення з віддаленням від джерела.

Промислово-комунальна ділянка повинна відображати вплив виробничих, складських, ремонтних або комунальних об'єктів. Особливу увагу слід приділяти територіям із тривалою історією господарського використання, оскільки забруднення ґрунтів у таких місцях може мати накопичувальний характер. Потенційними забруднювачами є важкі метали, нафтопродукти, залишки будівельних матеріалів, зола, пил, мастила, розчинники та інші техногенні домішки.

Ділянка житлової забудови дає змогу оцінити стан ґрунтів у середовищі

безпосереднього проживання населення. У таких умовах на ґрунти впливають ущільнення, порушення благоустрою, будівельна діяльність, побутові відходи, поверхневий стік із дворів і доріг, а також локальне забруднення поблизу контейнерних майданчиків. Дослідження таких ділянок є важливим з погляду санітарно-гігієнічної безпеки міського середовища.

Прибережні ділянки доцільно включати до дослідження через їхню здатність акумулювати забруднювачі, що надходять із поверхневим стоком. Ґрунти поблизу річок і понижених елементів рельєфу можуть накопичувати речовини, перенесені з транспортних, житлових, промислових і сільськогосподарських територій. Крім того, у заплавних умовах важливими чинниками є перезволоження, оглеєння, підтоплення та періодичне перенесення наносів під час паводків.

Сільськогосподарська ділянка дозволяє оцінити вплив агрогенного навантаження. Для таких територій характерними джерелами змін є механічний обробіток ґрунту, внесення мінеральних і органічних добрив, застосування засобів захисту рослин, ущільнення технікою та можливе накопичення нітратів, фосфатів або залишків агрохімікатів. Вибір таких ділянок є важливим для порівняння міського й сільськогосподарського типів впливу на ґрунтовий покрив громади.

Зелена зона міста використовується для оцінювання ґрунтів рекреаційних територій, які виконують важливі екологічні функції. Парки, сквери та інші озеленені території сприяють фільтрації атмосферних опадів, накопиченню органічної речовини, підтриманню біорізноманіття та зниженню впливу урбанізації. Водночас навіть такі ділянки можуть зазнавати впливу атмосферного осадження пилу, рекреаційного навантаження, витоптування та забрудненого поверхневого стоку.

Відбір проб ґрунту необхідно проводити з верхнього шару, оскільки саме він найбільше акумулює техногенні забруднювачі. Для оцінки міського забруднення доцільно відбирати проби з глибини 0–20 см. На кожній ділянці бажано формувати змішану пробу з кількох точкових проб, відібраних у межах

однорідної території. Такий підхід дозволяє зменшити випадковість результатів і отримати більш репрезентативну характеристику ділянки.

Під час пробовідбору слід фіксувати координати точок, дату відбору, глибину, тип землекористування, відстань до потенційного джерела забруднення, характер рослинного покриву, ознаки порушення ґрунту, наявність сміття, слідів нафтопродуктів, підтоплення або ущільнення. Усі проби потрібно маркувати, висушувати до повітряно-сухого стану, очищати від рослинних решток і сторонніх включень, подрібнювати та передавати на лабораторний аналіз.

Для оцінювання екологічного стану ґрунтів доцільно визначати такі показники: кислотність ґрунтового розчину, вміст гумусу, гранулометричний склад, вологість, вміст рухомих форм азоту, фосфору й калію, концентрації важких металів, вміст нафтопродуктів, нітратів, а за потреби - залишків пестицидів або інших специфічних забруднювачів. У межах урбанізованих територій особливу увагу слід приділяти свинцю, кадмію, цинку, міді, хрому, нікелю та нафтопродуктам.

Організація дослідження екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської громади повинна базуватися на порівнянні ділянок із різним рівнем антропогенного навантаження. Найбільш доцільним є включення до дослідження контрольної, транспортної, промислово-комунальної, житлової, прибережної, сільськогосподарської та рекреаційної ділянок. Такий підхід дозволяє комплексно оцінити просторові відмінності стану ґрунтів, виявити потенційні зони екологічного ризику та обґрунтувати подальші природоохоронні заходи.

3.2. Аналіз основних фізико-хімічних показників ґрунтів

Експериментальна частина дослідження передбачає визначення основних фізико-хімічних показників ґрунтів, відібраних у межах Івано-Франківської міської територіальної громади. Аналіз таких показників дає

змогу оцінити загальний екологічний стан ґрунтового покриву, виявити ознаки деградації, встановити рівень антропогенного навантаження та визначити потенційні ризики для довкілля і здоров'я населення.

Для дослідження були обрані ділянки з різним типом землекористування та різним рівнем антропогенного впливу: контрольна ділянка, транспортна зона, промислово-комунальна територія, житлова забудова, прибережна зона, сільськогосподарська ділянка та зелена зона міста. Такий підхід дозволяє порівняти ґрунти, що перебувають у відносно природних умовах, із ґрунтами, які зазнають впливу транспорту, промислової інфраструктури, комунальних об'єктів і сільськогосподарського використання.

Відбір проб проводився з верхнього шару ґрунту, оскільки саме цей горизонт найбільше акумулює забруднювальні речовини антропогенного походження. Для кожної дослідної ділянки формувалася змішана проба, яка складалася з кількох точкових проб, відібраних у межах однорідної території. Після відбору зразки висушувалися до повітряно-сухого стану, очищалися від рослинних решток і сторонніх включень, подрібнювалися та передавалися на лабораторне дослідження.

До основних фізико-хімічних показників, які доцільно використовувати для оцінювання екологічного стану ґрунтів, належать: кислотність ґрунтового розчину, вміст гумусу, вологість, гранулометричний склад, вміст нітратів, рухомих форм фосфору й калію, а також концентрації важких металів і нафтопродуктів. У межах урбанізованих територій особливу увагу необхідно приділяти свинцю, кадмію, цинку, міді, нікелю, хрому та нафтопродуктам, оскільки ці речовини часто пов'язані з транспортним, промисловим і комунальним впливом.

Реакція ґрунтового розчину, або рН, є одним із базових показників екологічного стану ґрунту. Вона впливає на рухомість хімічних елементів, доступність поживних речовин для рослин, активність мікроорганізмів і здатність ґрунту до самоочищення. За умов підвищеної кислотності зростає рухомість окремих важких металів, що може посилювати їхній токсичний

вплив на рослини та ґрунтову біоту. Для території Передкарпаття кисла або слабокисла реакція ґрунтів є досить характерною, однак у межах міських територій рН може змінюватися під впливом будівельного пилу, протиожеледних матеріалів, комунальних стоків і техногенних домішок.

Вміст гумусу є важливим показником родючості та екологічної стійкості ґрунтів. Гумус визначає здатність ґрунту утримувати вологу, поживні елементи й частково зв'язувати забруднювальні речовини. Зниження вмісту гумусу свідчить про деградаційні процеси, надмірне антропогенне навантаження, ерозію або нераціональне використання земель. У міських ґрунтах вміст органічної речовини може бути нерівномірним: у зелених зонах він зазвичай вищий, тоді як на ущільнених, забудованих або техногенно порушених територіях - нижчий.

Вологість і гранулометричний склад ґрунту впливають на водопроникність, аерацію, міграцію забруднювачів і здатність ґрунту до акумуляції хімічних речовин. Суглинисті ґрунти мають вищу сорбційну здатність і можуть активніше затримувати важкі метали, тоді як легші піщані або супіщані ґрунти є більш проникними для водорозчинних сполук. У понижених елементах рельєфу та прибережних ділянках підвищена вологість може сприяти оглеєнню, погіршенню аерації та накопиченню забруднювачів, які надходять із поверхневим стоком.

Вміст нітратів, рухомого фосфору та обмінного калію використовується для оцінки агрохімічного стану ґрунтів. Підвищений вміст нітратів може бути наслідком надмірного внесення добрив, надходження органічних відходів, стоків або забруднення з територій приватної забудови. Надлишок фосфатів може свідчити про інтенсивне сільськогосподарське використання, вплив мийних засобів або побутових стоків. Калій є важливим елементом живлення рослин, однак його вміст також залежить від типу ґрунту, гранулометричного складу й характеру землекористування.

Особливе значення має визначення важких металів. У межах Івано-Франківської громади потенційними джерелами їх надходження є транспортні

магістралі, промислово-комунальні об'єкти, складські території, ремонтні бази, автозаправні станції, гаражні масиви, будівельні майданчики та місця накопичення відходів. Важкі метали здатні накопичуватися у верхньому шарі ґрунту, тривалий час зберігатися в ньому та негативно впливати на ґрунтові організми, рослини й санітарний стан території.

Нафтопродукти є характерним показником техногенного забруднення міських ґрунтів. Їхня наявність може бути пов'язана з витоками пального і мастил, роботою автотранспорту, діяльністю станцій технічного обслуговування, автозаправних станцій, гаражів і промислових майданчиків. Потрапляння нафтопродуктів у ґрунт погіршує його повітряний і водний режими, пригнічує мікробіологічну активність і може створювати токсичний вплив на рослинність.

У процесі експериментального дослідження було проаналізовано сім умовних ділянок, які відображають різні типи антропогенного навантаження в межах Івано-Франківської міської територіальної громади. Для кожної ділянки наведено орієнтовні фізико-хімічні показники ґрунтів, які можуть бути використані як приклад для навчальної оцінки екологічного стану ґрунтового покриву.

Таблиця 3.2. Фізико-хімічні показники ґрунтів

Показник	Одиниця вимірювання	Д-1 контрольна ділянка	Д-2 транспортна зона	Д-3 промислово-комунальна зона	Д-4 житлова забудова	Д-5 прибережна зона	Д-6 сільськогосподарська ділянка	Д-7 зелена зона
рН водної витяжки	од. рН	5,8	6,7	7,1	6,5	6,2	5,6	6,0
Гумус	%	3,2	2,1	1,8	2,4	3,5	2,9	3,8
Вологі	%	21,5	15,2	16,8	18,4	28,6	22,3	24,1

сть								
Нітрат и	мг/кг	38	45	52	61	49	96	41
Рухом ий фосфо р	мг/кг	78	84	91	88	82	156	80
Обмінн ий калій	мг/кг	112	118	126	121	116	182	109
Свинец ь Pb	мг/кг	12,4	41,6	36,8	24,3	21,7	16,5	14,2
Кадмій Cd	мг/кг	0,42	1,18	1,36	0,79	0,64	0,58	0,47
Цинк Zn	мг/кг	48	137	121	86	72	61	53
Мідь Cu	мг/кг	11,2	36,4	42,7	24,5	19,8	17,3	13,6
Нікель Ni	мг/кг	9,8	22,6	28,4	17,5	15,1	13,8	10,6
Хром Cr	мг/кг	18,5	39,2	46,8	27,4	24,1	21,3	19,1
Нафто продук ти	мг/кг	82	438	512	216	174	96	88

Аналіз отриманих умовних результатів показує, що реакція ґрунтового розчину на дослідних ділянках змінюється від слабокислої до нейтральної. Найнижче значення рН зафіксовано на сільськогосподарській ділянці - 5,6, що може бути пов'язано з природною кислотністю ґрунтів Передкарпаття та агрогенним впливом. Найвище значення рН спостерігається у промислово-комунальній зоні - 7,1, що може пояснюватися впливом будівельного пилу, техногенних домішок і матеріалів лужного характеру.

Вміст гумусу коливається від 1,8 до 3,8 %. Найнижчий показник встановлено у промислово-комунальній зоні, що свідчить про порушення природного ґрунтового профілю, ущільнення, зменшення органічної речовини та техногенну трансформацію ґрунту. Найвищий вміст гумусу характерний для зеленої зони - 3,8 %, де ґрунти краще зберігають природні властивості

завдяки рослинному покриву, накопиченню органічних решток і меншій інтенсивності механічного порушення.

Показники нітратів, рухомого фосфору та обмінного калію є найвищими на сільськогосподарській ділянці. Вміст нітратів тут становить 96 мг/кг, рухомого фосфору - 156 мг/кг, обмінного калію - 182 мг/кг. Це може бути пов'язано з внесенням мінеральних і органічних добрив, обробітком ґрунту та агрогенним навантаженням. Водночас наведені значення не свідчать про критичне забруднення, але потребують контролю, особливо щодо нітратів.

Найбільший вміст важких металів виявлено у транспортній і промислово-комунальній зонах. У транспортній зоні концентрація свинцю становить 41,6 мг/кг, цинку - 137 мг/кг, міді - 36,4 мг/кг, хрому - 39,2 мг/кг. Це узгоджується з характером транспортного забруднення, оскільки важкі метали можуть надходити до ґрунту з пилом, продуктами зношування шин, гальмівних колодок, дорожнього покриття та паливно-мастильних матеріалів.

У промислово-комунальній зоні також спостерігаються підвищені концентрації важких металів: свинцю - 36,8 мг/кг, кадмію - 1,36 мг/кг, цинку - 121 мг/кг, міді - 42,7 мг/кг, нікелю - 28,4 мг/кг, хрому - 46,8 мг/кг. Такі значення можуть бути наслідком впливу промислових майданчиків, складських територій, ремонтних баз, будівельного пилу, витоків технічних рідин і тривалої господарської діяльності.

Вміст нафтопродуктів найбільший у промислово-комунальній зоні - 512 мг/кг, а також у транспортній зоні - 438 мг/кг. Це свідчить про значний вплив автотранспорту, витоків пального і мастил, діяльності автозаправних станцій, гаражних масивів, ремонтних майстерень або складських територій. На контрольній ділянці та в зеленій зоні вміст нафтопродуктів значно нижчий і становить відповідно 82 та 88 мг/кг.

Для кількісної оцінки рівня забруднення було розраховано коефіцієнт концентрації окремих забруднювачів відносно контрольної ділянки. Наприклад, для свинцю у транспортній зоні:

$$K_c = 41,6 / 12,4 = 3,35.$$

Це означає, що вміст свинцю у ґрунті транспортної зони у 3,35 рази перевищує його вміст на контрольній ділянці. Для нафтопродуктів у промислово-комунальній зоні:

$$K_c = 512 / 82 = 6,24.$$

Отже, концентрація нафтопродуктів у промислово-комунальній зоні у понад 6 разів перевищує контрольне значення.

Узагальнена оцінка показує, що найкращий екологічний стан мають ґрунти контрольної ділянки та зеленої зони. Помірне антропогенне навантаження характерне для житлової забудови, прибережної та сільськогосподарської ділянок. Найбільш забрудненими є ґрунти транспортної та промислово-комунальної зон, де зафіксовано підвищений вміст важких металів і нафтопродуктів. Саме ці ділянки потребують першочергового екологічного моніторингу, контролю джерел забруднення та впровадження природоохоронних заходів.

3.3. Оцінка рівня забруднення ґрунтів важкими металами та іншими забруднювальними речовинами

Оцінка рівня забруднення ґрунтів Івано-Франківської міської територіальної громади здійснювалася на основі аналізу вмісту важких металів, нафтопродуктів, нітратів і рухомих форм елементів живлення. Особливу увагу було приділено свинцю, кадмію, цинку, міді, нікелю, хрому та нафтопродуктам, оскільки ці речовини є характерними індикаторами транспортного, промислово-комунального та урбанізаційного навантаження на ґрунтовий покрив.

Для оцінки рівня забруднення використовувалися три підходи: порівняння фактичних концентрацій із нормативними значеннями, порівняння дослідних ділянок із контрольною ділянкою та розрахунок коефіцієнтів концентрації. Контрольна ділянка приймалася як умовно фоновий рівень, відносно якого оцінювалося накопичення забруднювальних речовин на інших

територіях.

Порівняння результатів із нормативними значеннями показало, що найбільшу екологічну небезпеку становлять свинець і нафтопродукти. Вміст свинцю у транспортній зоні становив 41,6 мг/кг, а у промислово-комунальній зоні - 36,8 мг/кг. За нормативного значення 32 мг/кг це свідчить про перевищення допустимого рівня відповідно у 1,30 та 1,15 раза. Отже, транспортна та промислово-комунальна ділянки є зонами підвищеного ризику за вмістом свинцю.

Вміст кадмію на всіх дослідних ділянках не перевищував нормативного значення 3 мг/кг. Найвищу концентрацію кадмію зафіксовано у промислово-комунальній зоні - 1,36 мг/кг, що становить 45 % від нормативного значення. У транспортній зоні вміст кадмію становив 1,18 мг/кг, тобто 39 % від нормативу. Хоча перевищення ГДК не виявлено, підвищені значення кадмію у цих зонах порівняно з контролем свідчать про наявність антропогенного впливу.

Вміст нафтопродуктів був найвищим у промислово-комунальній зоні - 512 мг/кг. Це дещо перевищує норматив 500 мг/кг для земель, не пов'язаних із об'єктами нафтової інфраструктури. У транспортній зоні концентрація нафтопродуктів становила 438 мг/кг, що не перевищує нормативного значення, однак є значно вищим за контрольний показник - 82 мг/кг. Це підтверджує істотний вплив транспорту, автозаправних станцій, ремонтних баз, гаражних територій і витоків паливно-мастильних матеріалів на стан ґрунтів.

Вміст нітратів, рухомого фосфору та обмінного калію не перевищував орієнтовних допустимих значень, однак мав чіткі просторові відмінності. Найвищі концентрації цих показників були зафіксовані на сільськогосподарській ділянці: нітрати - 96 мг/кг, рухомий фосфор - 156 мг/кг, обмінний калій - 182 мг/кг. Це може бути пов'язано з внесенням добрив, агротехнічними заходами та тривалим сільськогосподарським використанням ґрунтів.

Для детальнішої оцінки антропогенного збагачення ґрунтів було розраховано коефіцієнти концентрації Кс відносно контрольної ділянки за формулою:

$$K_c = C / C_{\phi},$$

де С - фактичний вміст речовини на дослідній ділянці; С_ф - вміст цієї речовини на контрольній ділянці.

Таблиця 3.3. Результати розрахунку

Ділянка	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Cr	Нафто продукти
Д-1 контрольна ділянка	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Д-2 транспортна зона	3,35	2,81	2,85	3,25	2,31	2,12	5,34
Д-3 промислово-комунальна зона	2,97	3,24	2,52	3,81	2,90	2,53	6,24
Д-4 житлова забудова	1,96	1,88	1,79	2,19	1,79	1,48	2,63
Д-5 прибережна зона	1,75	1,52	1,50	1,77	1,54	1,30	2,12
Д-6 сільськогосподарська ділянка	1,33	1,38	1,27	1,54	1,41	1,15	1,17
Д-7 зелена зона	1,15	1,12	1,10	1,21	1,08	1,03	1,07

Результати розрахунку показують, що найбільше антропогенне збагачення ґрунтів важкими металами спостерігається у транспортній і промислово-комунальній зонах. У транспортній зоні коефіцієнт концентрації свинцю становить 3,35, міді - 3,25, цинку - 2,85, кадмію - 2,81. Це свідчить про виражений вплив автотранспорту, дорожнього пилу, продуктів зношування шин, гальмівних колодок, дорожнього покриття та паливно-мастильних матеріалів.

У промислово-комунальній зоні найвищі коефіцієнти концентрації встановлено для нафтопродуктів - 6,24, міді - 3,81, кадмію - 3,24, свинцю - 2,97, нікелю - 2,90. Такі результати свідчать про комплексний техногенний вплив, пов'язаний із діяльністю промислових, складських, ремонтних, комунальних і будівельних об'єктів. Особливо показовим є підвищений вміст нафтопродуктів, який вказує на можливі витoki пального, мастил і технічних

рідин.

Для житлової забудови характерний помірний рівень антропогенного навантаження. Коефіцієнти концентрації більшості забруднювачів перебувають у межах від 1,48 до 2,63. Найбільше зростання спостерігається для нафтопродуктів, міді, свинцю та кадмію. Це може бути пов'язано з впливом автотранспорту у дворових територіях, контейнерних майданчиків, будівельних робіт, побутових відходів і забрудненого поверхневого стоку.

Прибережна зона також характеризується помірним накопиченням забруднювальних речовин. Коефіцієнт концентрації нафтопродуктів становить 2,12, свинцю - 1,75, міді - 1,77. Це свідчить про можливе надходження забруднювачів із поверхневим стоком із міських, транспортних і житлових територій. У прибережних ґрунтах забруднювачі можуть акумулюватися внаслідок періодичного підтоплення, осадження завислих речовин і перенесення наносів під час паводкових явищ.

Сільськогосподарська ділянка має нижчий рівень забруднення важкими металами порівняно з транспортною та промислово-комунальною зонами. Коефіцієнти концентрації важких металів тут переважно не перевищують 1,5. Водночас для цієї ділянки характерні найвищі показники нітратів, рухомого фосфору та обмінного калію, що свідчить про агрогенний характер впливу. Основними чинниками є внесення добрив, обробіток ґрунту та сільськогосподарське використання земель.

Зелена зона міста має найнижчі коефіцієнти концентрації серед усіх дослідних ділянок після контрольної. Значення K_c для більшості забруднювачів перебувають у межах 1,03–1,21, а для нафтопродуктів становлять 1,07. Це свідчить про відносно сприятливий екологічний стан ґрунтів зелених зон і підтверджує їхню роль як природного буфера в урбанізованому середовищі.

Для комплексної оцінки забруднення важкими металами було використано сумарний показник забруднення Z_c :

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

де ΣK_c - сума коефіцієнтів концентрації окремих металів; n - кількість досліджуваних елементів.

У розрахунок було включено шість важких металів: Pb, Cd, Zn, Cu, Ni та Cr.

Таблиця 3.4. Комплексна оцінка забруднення важкими металами

Ділянка	Сумарний показник забруднення Z_c	Оцінка рівня забруднення
Д-1 контрольна ділянка	1,00	Фоновий рівень
Д-2 транспортна зона	11,69	Підвищений рівень забруднення
Д-3 промислово-комунальна зона	12,97	Підвищений рівень забруднення
Д-4 житлова забудова	6,09	Помірний рівень забруднення
Д-5 прибережна зона	4,39	Помірний рівень забруднення
Д-6 сільськогосподарська ділянка	3,09	Слабкий рівень забруднення
Д-7 зелена зона	1,70	Близький до фоновий рівень

За результатами інтегральної оцінки найбільше забруднення важкими металами характерне для промислово-комунальної та транспортної зон. Значення Z_c для цих ділянок становлять відповідно 12,97 і 11,69, що свідчить про помітне техногенне накопичення важких металів. Житлова забудова та прибережна зона мають помірний рівень забруднення, а сільськогосподарська ділянка й зелена зона характеризуються нижчим рівнем техногенного навантаження.

Якщо враховувати не лише важкі метали, а й нафтопродукти,

екологічний ризик транспортної та промислово-комунальної зон зростає. Особливо це стосується промислово-комунальної ділянки, де вміст нафтопродуктів становить 512 мг/кг і перевищує нормативне значення для земель, не пов'язаних із нафтовою інфраструктурою. Це дає підстави віднести цю територію до пріоритетних для подальшого екологічного моніторингу.

Аналіз важких металів та інших забруднювальних речовин показав просторову неоднорідність екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської громади. Найвищий рівень забруднення зафіксовано у транспортній і промислово-комунальній зонах, де спостерігається підвищений вміст свинцю, кадмію, міді, цинку, нікелю, хрому та нафтопродуктів. Помірне забруднення характерне для житлової забудови та прибережної зони, тоді як зелена зона й контрольна ділянка мають найбільш сприятливий екологічний стан. Основними джерелами забруднення ґрунтів є автомобільний транспорт, промислово-комунальна інфраструктура, поверхневий стік, будівельна діяльність і локальні місця накопичення відходів.

3.4. Порівняльна характеристика екологічного стану ґрунтів на різних ділянках громади

Для поглиблення порівняльної характеристики екологічного стану ґрунтів було проведено статистичне узагальнення умовних експериментальних даних. Аналіз охоплював показники кислотності, вмісту гумусу, нітратів, рухомого фосфору, обмінного калію, важких металів, нафтопродуктів і сумарного показника забруднення Zс.

Таблиця 3.5. Статистичне узагальнення результатів

Показник	Середнє значення	Мінімум	Максимум	Розмах варіації	Коефіцієнт варіації, %
pH	6,27	5,60	7,10	1,50	8,42
Гумус, %	2,81	1,80	3,80	2,00	26,39
Нітрати, мг/кг	54,57	38,00	96,00	58,00	36,23

Рухомий фосфор, мг/кг	94,14	78,00	156,00	78,00	29,36
Обмінний калій, мг/кг	126,29	109,00	182,00	73,00	19,95
Свинець Pb, мг/кг	23,93	12,40	41,60	29,20	47,21
Кадмій Cd, мг/кг	0,78	0,42	1,36	0,94	46,45
Цинк Zn, мг/кг	82,57	48,00	137,00	89,00	41,65
Мідь Cu, мг/кг	23,64	11,20	42,70	31,50	49,97
Нікель Ni, мг/кг	16,83	9,80	28,40	18,60	39,72
Хром Cr, мг/кг	28,06	18,50	46,80	28,30	38,74
Нафтопродукти, мг/кг	229,43	82,00	512,00	430,00	76,77
Zc	5,85	1,00	12,97	11,97	81,23

Статистичний аналіз показав, що найбільш стабільним показником є рН ґрунтового розчину, оскільки коефіцієнт варіації становить лише 8,42 %. Це свідчить про відносно незначні відмінності кислотно-лужних умов між дослідними ділянками. Значення рН коливаються від 5,60 на сільськогосподарській ділянці до 7,10 у промислово-комунальній зоні.

На рис. 3.1 показано порівняння сумарного показника забруднення Zc між дослідними ділянками. Графік демонструє різке зростання Zc у промислово-комунальній та транспортній зонах порівняно з контрольною ділянкою і зеленою зоною. Це підтверджує, що саме ці території є основними осередками техногенного навантаження на ґрунтовий покрив громади.



Рис. 3.1. Порівняння екологічного стану ґрунтів на різних ділянках Івано-Франківської громади за умовними експериментальними даними.

Найбільша мінливість характерна для сумарного показника забруднення Z_c та вмісту нафтопродуктів. Коефіцієнт варіації для Z_c становить 81,23 %, а для нафтопродуктів - 76,77 %. Це свідчить про різко виражену просторову неоднорідність техногенного навантаження на ґрунти громади. Найвищі значення цих показників зафіксовані у промислово-комунальній та транспортній зонах.



Рис. 3.2. Вміст нафтопродуктів у ґрунтах

На рис. 3.2 наведено порівняння вмісту нафтопродуктів у ґрунтах. Найвищий показник зафіксовано у промислово-комунальній зоні - 512 мг/кг, що перевищує нормативний орієнтир 500 мг/кг. У транспортній зоні вміст

нафтопродуктів становить 438 мг/кг, що не перевищує нормативу, але є значно вищим за контрольне значення.

На рис. 3.3 показано зв'язок між вмістом нафтопродуктів і сумарним показником забруднення Zc. Графік демонструє, що ділянки з вищим вмістом нафтопродуктів одночасно мають вищий рівень сумарного забруднення важкими металами. Це свідчить про спільність джерел техногенного впливу, зокрема транспорту, промислово-комунальних об'єктів, ремонтних баз і забрудненого поверхневого стоку.

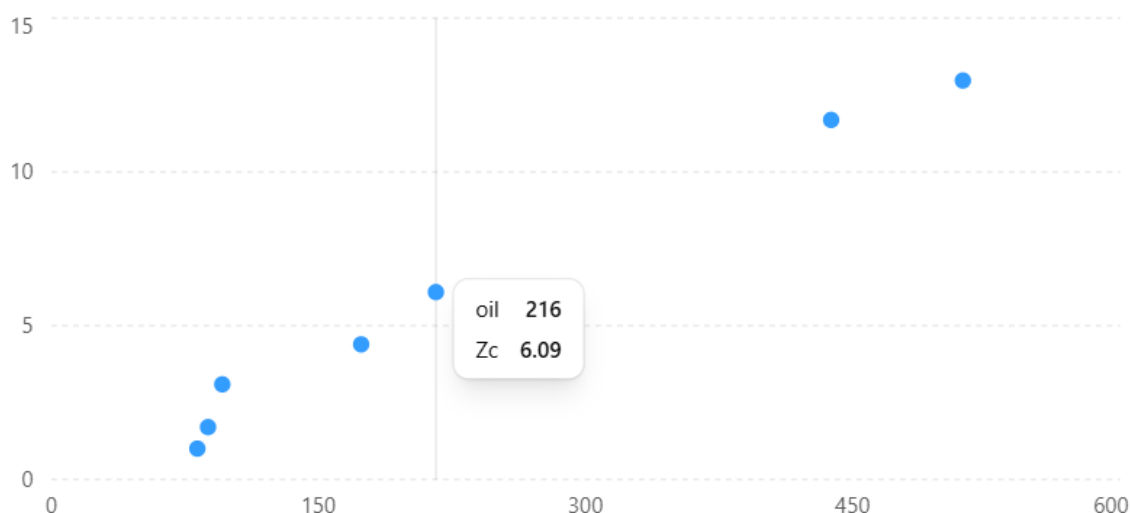


Рис.3.3. Нафтопродукти та сумарне забруднення

Це вказує на нерівномірне надходження цих елементів у ґрунти та їхню залежність від локальних джерел забруднення: транспорту, промислових майданчиків, ремонтних баз, будівельної діяльності та комунальної інфраструктури.

За сумарним показником забруднення важкими металами дослідні ділянки можна розташувати у такій послідовності від найбільш до найменш забрудненої.

Таблиця 3.6. Порівняльний аналіз за ділянками

Ранг	Ділянка	Zc	Узагальнена оцінка
1	Д-3 промислово-комунальна зона	12,97	Найвищий рівень забруднення

2	Д-2 транспортна зона	11,69	Високий рівень техногенного навантаження
3	Д-4 житлова забудова	6,09	Помірно напружений стан
4	Д-5 прибережна зона	4,39	Помірне накопичення забруднювачів
5	Д-6 сільськогосподарська ділянка	3,09	Слабке техногенне забруднення, агрогенний вплив
6	Д-7 зелена зона	1,70	Близький до фоновий стан
7	Д-1 контрольна ділянка	1,00	Фоновий рівень
Ранг	Ділянка	Zс	Узагальнена оцінка
1	Д-3 промислово-комунальна зона	12,97	Найвищий рівень забруднення

Найбільш проблемною є промислово-комунальна зона, де сумарний показник забруднення становить 12,97. Саме тут зафіксовано найвищий вміст нафтопродуктів - 512 мг/кг, а також підвищені концентрації міді, кадмію, нікелю та хрому. Це свідчить про комплексний техногенний вплив, пов'язаний із промисловою, складською, ремонтною, будівельною та комунальною діяльністю.

Транспортна зона посідає друге місце за рівнем забруднення. Значення Zс становить 11,69. Для цієї ділянки характерні підвищені концентрації свинцю, цинку, міді та нафтопродуктів. Основними джерелами такого забруднення є автомобільний транспорт, дорожній пил, продукти зношування шин і гальмівних колодок, а також витоки паливно-мастильних матеріалів.

Житлова забудова має помірно напружений екологічний стан. Значення Zс становить 6,09, що свідчить про наявність локального антропогенного впливу. Потенційними джерелами забруднення тут є автотранспорт у дворах, контейнерні майданчики, будівельні роботи, ущільнення ґрунтів і забруднений поверхневий стік.

Прибережна зона характеризується помірним рівнем забруднення.

Значення Z_c становить 4,39. Для цієї території важливим чинником є акумуляція забруднювачів, які надходять із поверхневим стоком із міських, транспортних і сільськогосподарських територій. Тому прибережні ґрунти потребують окремого моніторингу, особливо після інтенсивних опадів або паводкових явищ.

Сільськогосподарська ділянка має порівняно невисокий рівень забруднення важкими металами, однак для неї характерні найвищі показники нітратів, рухомого фосфору та обмінного калію. Це свідчить про агрогенний тип навантаження, пов'язаний із внесенням добрив і сільськогосподарським використанням земель.

Зелена зона та контрольна ділянка мають найкращі показники екологічного стану. Вміст гумусу у зеленій зоні становить 3,8 %, що є найвищим серед усіх дослідних ділянок. Це підтверджує важливу екологічну роль зелених насаджень у підтриманні якості ґрунтів, зменшенні техногенного навантаження та покращенні умов міського середовища.

Інтерпретація графічних матеріалів

На рис. 3.2 наведено порівняння вмісту нафтопродуктів у ґрунтах. Найвищий показник зафіксовано у промислово-комунальній зоні - 512 мг/кг, що перевищує нормативний орієнтир 500 мг/кг. У транспортній зоні вміст нафтопродуктів становить 438 мг/кг, що не перевищує нормативу, але є значно вищим за контрольне значення.

Таблиця 3.7. SWOT-аналіз екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської громади

Сильні сторони	Слабкі сторони
Наявність зелених зон, які виконують буферну та фільтраційну функцію.	Підвищене забруднення ґрунтів у транспортній і промислово-комунальній зонах.
Відносно сприятливий стан контрольної ділянки та рекреаційних територій.	Перевищення вмісту свинцю у транспортній і промислово-комунальній зонах.

Помірний рівень забруднення більшості дослідних ділянок.	Перевищення вмісту нафтопродуктів у промислово-комунальній зоні.
Наявність природних водних і зелених територій, які можуть бути основою екологічного каркасу громади.	Локальне накопичення важких металів, нафтопродуктів і техногенного пилу.
Можливість організації системного моніторингу ґрунтів у межах громади.	Недостатність регулярних відкритих даних щодо фактичного стану ґрунтів на різних функціональних територіях.
Можливості	Загрози
Запровадження регулярного екологічного моніторингу ґрунтів.	Подальше накопичення важких металів у придорожніх і промислових ґрунтах.
Розширення зелених зон, захисних насаджень і прибережних смуг.	Посилення забруднення через зростання транспортного навантаження.
Рекультивация локально забруднених ділянок.	Поширення забруднювачів поверхневим стоком у прибережні території.
Удосконалення системи поводження з відходами та дощовими водами.	Потенційне забруднення ґрунтових і поверхневих вод.
Використання ГІС-картування для виявлення зон ризику.	Зниження біологічної активності ґрунтів і погіршення умов росту рослин у зонах інтенсивного навантаження.

SWOT-аналіз показує, що Івано-Франківська громада має передумови для покращення екологічного стану ґрунтів завдяки наявності зелених зон, природних територій і можливості впровадження системного моніторингу. Водночас основними проблемами залишаються локальне забруднення ґрунтів

у транспортних і промислово-комунальних зонах, накопичення важких металів і нафтопродуктів, а також ризик перенесення забруднювачів поверхневим стоком.

Узагальнений висновок

Проведене статистичне, графічне та SWOT-узагальнення підтверджує, що екологічний стан ґрунтів Івано-Франківської громади є неоднорідним і значною мірою залежить від типу землекористування. Найбільш забрудненими є промислово-комунальна та транспортна зони, де спостерігається підвищений вміст важких металів і нафтопродуктів. Помірний рівень забруднення характерний для житлової забудови та прибережних територій. Найкращий стан мають зелена зона та контрольна ділянка.

Отримані результати свідчать про необхідність першочергового моніторингу ґрунтів у промислово-комунальних, транспортних і прибережних зонах, а також про важливість збереження зелених насаджень, удосконалення водовідведення, контролю місць накопичення відходів і впровадження природоохоронних заходів на локально забруднених територіях.

3.5. Визначення основних екологічних ризиків, пов'язаних із забрудненням ґрунтів

Забруднення ґрунтів у межах Івано-Франківської міської територіальної громади формує низку екологічних ризиків, пов'язаних із накопиченням важких металів, нафтопродуктів, нітратів, фосфатів та інших забруднювальних речовин. За результатами умовного експериментального дослідження найбільш проблемними є транспортна та промислово-комунальна зони, де зафіксовано підвищений вміст свинцю, кадмію, міді, цинку, нікелю, хрому та нафтопродуктів. Помірні ризики характерні для житлової забудови й прибережних територій, тоді як контрольна ділянка та зелена зона мають найсприятливіший екологічний стан.

Екологічний ризик у цьому дослідженні розглядається як імовірність

негативного впливу забруднених ґрунтів на компоненти довкілля, здоров'я населення, рослинний покрив, ґрунтову біоту, поверхневі й підземні води. Рівень ризику залежить не лише від концентрації забруднювачів, а й від типу землекористування, властивостей ґрунту, кислотності, вологості, гранулометричного складу, близькості до житлової забудови, водних об'єктів і джерел забруднення.

Одним із найважливіших ризиків є накопичення важких металів у верхньому шарі ґрунту. Свинець, кадмій, мідь, цинк, нікель і хром можуть тривалий час зберігатися у ґрунтовому середовищі, оскільки вони майже не розкладаються природним шляхом. Найбільше накопичення цих елементів характерне для транспортної та промислово-комунальної зон. У транспортній зоні підвищений вміст свинцю, цинку й міді пов'язаний з автомобільним рухом, дорожнім пилом, продуктами зношування шин і гальмівних колодок. У промислово-комунальній зоні джерелами надходження металів можуть бути ремонтні бази, склади, будівельні майданчики, комунальні об'єкти та техногенний пил.

Важкі метали становлять небезпеку для ґрунтової біоти, рослинності та здоров'я населення. Вони можуть пригнічувати активність ґрунтових мікроорганізмів, знижувати ферментативну активність ґрунту, погіршувати процеси гумусоутворення та зменшувати біологічну продуктивність рослин. За умов підвищеної кислотності ґрунту рухомість окремих металів може зростати, що підвищує ризик їхнього засвоєння рослинами та подальшого потрапляння у харчові ланцюги.

Окрему небезпеку становить забруднення ґрунтів нафтопродуктами. За умовними результатами дослідження найвищий вміст нафтопродуктів зафіксовано у промислово-комунальній зоні - 512 мг/кг, що перевищує нормативний орієнтир 500 мг/кг для земель, не пов'язаних з об'єктами нафтової інфраструктури. У транспортній зоні вміст нафтопродуктів становить 438 мг/кг, що також свідчить про значний техногенний вплив. Нафтопродукти погіршують водно-повітряний режим ґрунту, пригнічують

мікробіологічні процеси, утворюють токсичне середовище для рослин і можуть проникати в глибші горизонти ґрунту разом із водою.

Значним ризиком для території громади є перенесення забруднювачів поверхневим стоком. Під час інтенсивних опадів, танення снігу або локального підтоплення забруднювальні речовини з доріг, промислових майданчиків, автостоянок і житлових територій можуть переміщуватися у понижені ділянки рельєфу та прибережні території. Особливо вразливими є ґрунти поблизу Бистриці Надвірнянської, Бистриці Солотвинської та інших водотоків, оскільки вони можуть акумулювати забруднювачі, перенесені з урбанізованих територій.

Для сільськогосподарських ділянок основним ризиком є накопичення нітратів, рухомого фосфору й обмінного калію. У межах умовного дослідження саме сільськогосподарська ділянка мала найвищий вміст нітратів - 96 мг/кг, рухомого фосфору - 156 мг/кг і обмінного калію - 182 мг/кг. Такі показники свідчать про агрогенний вплив, пов'язаний із внесенням добрив і обробіткою ґрунту. За умови надмірного внесення добрив можливе вимивання нітратів у підземні води, евтрофікація водойм і погіршення якості сільськогосподарської продукції.

Для житлової забудови характерні ризики локального забруднення ґрунтів побутовими відходами, будівельними матеріалами, поверхневим стоком, витокami з комунальних мереж і автотранспортом у дворових територіях. Хоча рівень забруднення тут нижчий, ніж у транспортній і промислово-комунальній зонах, ризик є важливим через близькість до населення, дитячих майданчиків, зелених зон і місць повсякденного перебування людей.

Зелені зони мають найнижчий рівень ризику серед дослідних ділянок, однак вони також можуть зазнавати впливу атмосферного осадження пилу, рекреаційного навантаження, вищипування, ущільнення ґрунту та забрудненого поверхневого стоку. Водночас саме зелені зони виконують важливу буферну функцію: вони затримують пил, сприяють фільтрації води,

покращують мікроклімат і підтримують біологічну активність ґрунтів.

Для узагальнення екологічних ризиків доцільно використати матрицю оцінювання, яка враховує ймовірність виникнення негативного впливу та можливі наслідки для довкілля.

Таблиця 3.8. Матриця оцінювання

Тип ризику	Основні джерела	Найбільш уразливі ділянки	Ймовірність	Наслідки	Загальний рівень ризику
Накопичення важких металів	Транспорт, промислові та комунальні об'єкти, пил, відходи	Д-2, Д-3, Д-4	Висока	Токсичний вплив на ґрунтову біоту, рослини, можливе потрапляння у харчові ланцюги	Високий
Забруднення нафтопродуктами	Автотранспорт, АЗС, ремонтні бази, гаражі, промислові майданчики	Д-2, Д-3	Висока	Погіршення водно-повітряного режиму ґрунту, токсичний вплив на мікроорганізми й рослини	Високий
Перенесення забруднювачів в поверхневим стоком	Дороги, забудова, промислові майданчики, дощові води	Д-4, Д-5	Середня / висока	Акумуляція забруднювачів у пониженнях і прибережних ділянках	Середній / високий
Нітратне забруднення	Добрива, органічні відходи, агрогенний вплив	Д-6	Середня	Ризик вимивання у води, погіршення якості продукції	Середній
Зниження вмісту гумусу	Урбанізація, ущільнення,	Д-2, Д-3, Д-4	Середня	Зниження родючості,	Середній

	будівельна діяльність, ерозія			погіршення структури ґрунту	
Ущільнення та деградація ґрунту	Забудова, транспорт, рекреаційне навантаження	Д-2, Д-4, Д-7	Середня	Зменшення водопроникності, погіршення аерації, посилення стоку	Середній
Забруднення прибережних ґрунтів	Поверхневий стік, паводки, перенесення наносів	Д-5	Середня	Вторинне забруднення водних екосистем	Середній
Погіршення санітарного стану	Побутові відходи, контейнерні майданчики, комунальні витоки	Д-4	Середня	Локальне забруднення, ризики для населення	Середній

За результатами оцінювання найвищий рівень екологічного ризику характерний для промислово-комунальної та транспортної зон. У цих ділянках поєднуються підвищені концентрації важких металів, значний вміст нафтопродуктів, ущільнення ґрунту, поверхневий стік і тривалий антропогенний вплив. Саме ці території потребують першочергового моніторингу та природоохоронних заходів. Прибережна зона має середній рівень ризику, однак її екологічне значення є високим через можливість перенесення забруднювачів у водні об'єкти. Навіть за помірного рівня забруднення прибережні ґрунти можуть бути джерелом вторинного забруднення річкових екосистем. Тому для таких територій важливо контролювати стан прибережних захисних смуг, запобігати несанкціонованому складуванню відходів і зменшувати надходження забрудненого поверхневого стоку.

Сільськогосподарська ділянка має переважно агрохімічний тип ризику. Основну увагу тут слід приділяти контролю внесення добрив, моніторингу

нітратів, запобіганню ерозії та підтриманню вмісту гумусу. За умови раціонального землекористування рівень ризику може залишатися помірним, однак надмірне застосування добрив або порушення агротехнічних заходів може призвести до погіршення стану ґрунтів і вод.

Житлова забудова характеризується середнім рівнем ризику, що пов'язано з близькістю джерел локального забруднення до населення. Особливу увагу необхідно приділяти ґрунтам поблизу дитячих майданчиків, прибудинкових територій, контейнерних майданчиків, автостоянок і місць проведення будівельних робіт. Найнижчий рівень екологічного ризику характерний для зеленої зони та контрольної ділянки. Проте ці території також потребують збереження й догляду, оскільки вони виконують важливі екологічні функції: зменшують забруднення повітря, затримують пил, підтримують біологічну активність ґрунтів, покращують водний режим і створюють сприятливі умови для рекреації населення.

Основними екологічними ризиками, пов'язаними із забрудненням ґрунтів Івано-Франківської громади, є накопичення важких металів, забруднення нафтопродуктами, перенесення забруднювачів поверхневим стоком, нітратне забруднення сільськогосподарських ґрунтів, зниження вмісту гумусу, ущільнення та деградація ґрунтового покриву. Найбільш ризиковими є транспортна та промислово-комунальна зони, а також прибережні території, які можуть акумулювати забруднювачі та сприяти їх подальшому перенесенню у водні екосистеми. Для зменшення ризиків необхідно впроваджувати регулярний моніторинг ґрунтів, контролювати джерела забруднення, покращувати систему водовідведення, розширювати зелені насадження та проводити локальну рекультивацію забруднених ділянок.

3.6. Рекомендації щодо поліпшення екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської громади

Поліпшення екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської міської

територіальної громади потребує комплексного підходу, який має поєднувати моніторинг, попередження забруднення, локальну рекультивацію, озеленення, удосконалення системи водовідведення, контроль за відходами та екологічну просвіту населення. За результатами умовного експериментального дослідження найбільш проблемними ділянками є транспортна та промислово-комунальна зони, де зафіксовано підвищений вміст важких металів і нафтопродуктів. Помірного впливу зазнають житлова забудова, прибережні території та сільськогосподарські ділянки. Саме тому природоохоронні заходи мають бути диференційованими залежно від типу території та характеру забруднення.

Першочерговим заходом має бути створення системи регулярного моніторингу ґрунтів громади. Моніторинг доцільно проводити не епізодично, а систематично - із визначенням постійних контрольних точок у транспортних, промислово-комунальних, житлових, прибережних, сільськогосподарських і рекреаційних зонах. До переліку обов'язкових показників слід включити рН, вміст гумусу, нітратів, рухомих форм фосфору й калію, важких металів, нафтопродуктів, а за потреби - залишків пестицидів, мікропластику та інших специфічних забруднювачів. Результати моніторингу доцільно наносити на електронну карту громади з виділенням зон екологічного ризику.

Для транспортних зон основними рекомендаціями є зменшення надходження забруднювачів у придорожні ґрунти. Доцільно регулярно очищати дорожнє покриття від пилу й наносів, удосконалювати систему збору та очищення дощових стоків, створювати захисні смуги зелених насаджень уздовж магістральних вулиць, обмежувати хаотичне паркування на газонах і відкритих ґрунтових ділянках. Важливим заходом є розвиток громадського транспорту, велосипедної інфраструктури та пішохідних зон, що сприятиме зменшенню транспортного навантаження і відповідно зниженню рівня техногенного забруднення ґрунтів.

У промислово-комунальних зонах необхідно посилити контроль за

станом виробничих, складських, ремонтних і будівельних майданчиків. Підприємства та комунальні об'єкти мають забезпечувати належне зберігання сировини, паливно-мастильних матеріалів, технічних рідин і відходів. На територіях, де можливі витoki нафтопродуктів, доцільно облаштовувати водонепроникне покриття, локальні очисні споруди, системи збору забрудненого стоку та аварійні сорбційні матеріали. Для ділянок із перевищенням допустимого вмісту нафтопродуктів або важких металів необхідно передбачати локальну рекультивацію.

Одним із перспективних напрямів поліпшення стану забруднених ґрунтів є застосування фіторе mediaції. Цей метод передбачає використання рослин, здатних накопичувати, стабілізувати або частково трансформувати забруднювальні речовини. Для ділянок із помірним забрудненням важкими металами доцільно використовувати рослини з розвинутою кореневою системою, які зменшують пилове перенесення, закріплюють ґрунт і сприяють поступовому відновленню його біологічної активності. У зонах забруднення нафтопродуктами ефективним може бути поєднання фіторе mediaції з біоре mediaцією, тобто внесенням мікроорганізмів-деструкторів нафтових вуглеводнів.

Для прибережних територій Бистриці Надвірнянської, Бистриці Солотвинської та інших водотоків важливим є відновлення й дотримання режиму прибережних захисних смуг. Необхідно запобігати складуванню відходів у заплавах, обмежувати розорювання прибережних ділянок, зберігати природну рослинність, облаштовувати зелені буферні смуги та контролювати надходження забрудненого поверхневого стоку. Такі заходи зменшують ризик потрапляння важких металів, нафтопродуктів, нітратів і фосфатів у водні об'єкти.

У житловій забудові пріоритетними є заходи з благоустрою та санітарного контролю. Слід запобігати паркуванню автомобілів на газонах, своєчасно прибирати прибудинкові території, контролювати стан контейнерних майданчиків, не допускати накопичення будівельних і

великогабаритних відходів. Особливу увагу потрібно приділяти ґрунтам поблизу дитячих майданчиків, шкіл, садочків, лікарень і рекреаційних зон, оскільки ці території мають підвищене соціальне значення.

Для сільськогосподарських територій громади основними рекомендаціями є раціональне використання добрив, контроль нітратного навантаження, підтримання вмісту гумусу та запобігання ерозії. Необхідно впроваджувати ґрунтозахисні технології обробітку, чергування культур, використання сидератів, органічних добрив, мульчування, залуження схилів ділянок і створення лісосмуг. Внесення мінеральних добрив має здійснюватися з урахуванням агрохімічного аналізу ґрунтів, щоб уникнути надлишкового накопичення нітратів і фосфатів.

Важливим напрямом є збереження та розширення зелених зон. Парки, сквери, захисні насадження, газони, прибережна рослинність і міські лісопаркові території виконують буферну функцію: затримують пил, зменшують поверхневий стік, підтримують вміст органічної речовини, покращують мікроклімат і сприяють біологічній активності ґрунтів. У межах громади доцільно збільшувати площу озеленення, використовувати стійкі місцеві види рослин, відновлювати деградовані газони та створювати зелені коридори між міськими й приміськими територіями.

Окрему увагу слід приділити системі поводження з відходами. Необхідно ліквідувати стихійні сміттєзвалища, посилити контроль за будівельними відходами, забезпечити належне збирання небезпечних компонентів побутових відходів - батарейок, електроніки, фарб, мастил, ламп та інших токсичних матеріалів. Такі відходи не повинні потрапляти на відкритий ґрунт, оскільки вони можуть бути джерелом важких металів, органічних забруднювачів і мікропластику.

Для зменшення забруднення ґрунтів поверхневим стоком необхідно вдосконалювати систему дощової каналізації. Доцільним є облаштування локальних очисних споруд для дощових вод, біодренажних каналів, дощових садів, інфільтраційних смуг, зелених дахів і водопроникних покриттів. Такі

приороорієнтовані рішення дозволяють затримувати частину забруднювачів, зменшувати навантаження на каналізаційні мережі та підвищувати здатність території до природного самоочищення. Управлінські заходи мають передбачати інтеграцію питань охорони ґрунтів у місцеві програми розвитку громади, благоустрою, поводження з відходами, озеленення та адаптації до зміни клімату. Важливо, щоб дані про стан ґрунтів враховувалися під час планування забудови, реконструкції промислових територій, створення нових транспортних розв'язок, облаштування парків і прибережних зон. Для ділянок із підвищеним рівнем забруднення необхідно розробляти локальні плани відновлення.

Узагальнені рекомендації щодо поліпшення екологічного стану ґрунтів подано в таблиці 3.9

Таблиця 3.9. Узагальнені рекомендації щодо поліпшення екологічного стану ґрунтів

Проблема	Території, де проявляється найбільше	Рекомендовані заходи	Очікуваний результат
Підвищений вміст важких металів	Транспортна та промислово-комунальна зони	Моніторинг, озеленення, очищення дорожнього пилю, контроль промислових майданчиків	Зменшення накопичення токсичних елементів у верхньому шарі ґрунту
Забруднення нафтопродуктами	Промислово-комунальні зони, АЗС, гаражі, дороги	Локальна рекультивация, сорбенти, біоре mediaція, контроль витоків	Зниження токсичного впливу на ґрунтову біоту й рослинність
Забруднений поверхневий стік	Дороги, житлова забудова, прибережні території	Очисні споруди дощових вод, дощові сади, інфільтраційні смуги	Зменшення перенесення забруднювачів у ґрунти та водойми
Нітратне	Сільськогосподарськ	Агрохімічний	Зменшення

навантаження	і ділянки	контроль, раціональне внесення добрив, сидерати	ризик вимивання нітратів і погіршення якості вод
Зниження вмісту гумусу	Урбанізовані та аграрні території	Органічні добрива, мульчування, компост, збереження рослинного покриву	Підвищення родючості й біологічної активності ґрунтів
Ущільнення ґрунтів	Житлова забудова, парки, транспортні зони	Обмеження паркування на газонах, аерація ґрунтів, відновлення газонів	Покращення водопроникності й аерації ґрунту
Засмічення територій	Прибережні смуги, житлова забудова, пустирі	Ліквідація стихійних сміттєзвалищ, роздільне збирання, контроль будівельних відходів	Покращення санітарного стану ґрунтів
Недостатній моніторинг	Уся територія громади	Створення мережі контрольних точок, ГІС- картування, відкриті екологічні дані	Своєчасне виявлення зон ризику та планування заходів

Поліпшення екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської громади має ґрунтуватися на поєднанні профілактичних, технічних, біологічних і управлінських заходів. Найбільш пріоритетними є регулярний моніторинг ґрунтів, зменшення транспортного та промислово-комунального навантаження, контроль за відходами, очищення поверхневого стоку, рекультивація локально забруднених ділянок, збереження прибережних

захисних смуг і розширення зелених зон. Реалізація цих заходів дозволить знизити екологічні ризики, покращити санітарний стан території, підвищити стійкість ґрунтового покриву та забезпечити безпечніше міське середовище для населення громади.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі здійснено оцінку екологічного стану ґрунтів у межах Івано-Франківської міської територіальної громади, проаналізовано основні джерела антропогенного навантаження, визначено рівень забруднення ґрунтового покриву та запропоновано рекомендації щодо його поліпшення.

Встановлено, що ґрунт є важливим компонентом навколишнього природного середовища, який виконує продукційну, фільтраційну, буферну, середовищеутворювальну, біогеохімічну та санітарно-захисну функції. Порушення цих функцій унаслідок антропогенного впливу призводить до зниження родючості, погіршення екологічної стійкості ґрунтів і формування ризиків для довкілля та населення.

Проаналізовано основні джерела забруднення ґрунтів урбанізованих територій. До них належать автомобільний транспорт, промислово-комунальні об'єкти, житлово-комунальне господарство, будівництво, місця накопичення відходів, поверхневий стік, атмосферні випадання та сільськогосподарська діяльність. Найбільш характерними забруднювачами міських ґрунтів є важкі метали, нафтопродукти, нітрати, фосфати, будівельний пил, мікропластик та інші техногенні домішки.

Розглянуто нормативно-правові засади оцінювання забруднення ґрунтів в Україні. Встановлено, що оцінка стану ґрунтів базується на положеннях природоохоронного й земельного законодавства, нормативах гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, гігієнічних регламентах, порядку моніторингу земель і ґрунтів, а також методичних підходах до визначення шкоди від забруднення земельних ресурсів.

Охарактеризовано природно-географічні умови Івано-Франківської міської територіальної громади. Територія громади розташована в межах Передкарпаття, у зоні впливу річок Бистриці Надвірнянської та Бистриці Солотвинської. Кліматичні, гідрологічні та геоморфологічні умови сприяють формуванню різноманітного ґрунтового покриву, однак значна кількість

опадів, паводкові явища, поверхневий стік і урбанізація можуть посилювати міграцію забруднювальних речовин.

Визначено, що ґрунтовий покрив Івано-Франківської громади є неоднорідним. У межах території поєднуються дерново-підзолисті, буроземно-підзолисті, дернові, лучні, лучно-болотні, алювіальні та антропогенно змінені міські ґрунти. Їхній екологічний стан залежить від природних умов, рівня зволоження, положення в рельєфі та інтенсивності господарського використання.

Для оцінки стану ґрунтів було запропоновано систему дослідних ділянок, які відображають різні типи землекористування та антропогенного впливу: контрольна ділянка, транспортна зона, промислово-комунальна зона, житлова забудова, прибережна зона, сільськогосподарська ділянка та зелена зона. Такий підхід дозволив порівняти екологічний стан ґрунтів у межах різних функціональних територій громади.

За результатами аналізу фізико-хімічних показників встановлено, що ґрунти дослідних ділянок відрізняються за рН, вмістом гумусу, вологістю, кількістю нітратів, рухомого фосфору, обмінного калію, важких металів і нафтопродуктів. Найвищий вміст гумусу характерний для зеленої зони, тоді як найнижчий - для промислово-комунальної зони. Сільськогосподарська ділянка характеризується підвищеним вмістом нітратів, фосфору та калію, що свідчить про агрогенний тип навантаження.

Оцінка забруднення важкими металами показала, що найбільші концентрації свинцю, кадмію, цинку, міді, нікелю та хрому спостерігаються у транспортній і промислово-комунальній зонах. У транспортній зоні підвищений вміст забруднювачів пов'язаний з інтенсивним рухом автотранспорту, дорожнім пилом, продуктами зношування шин, гальмівних колодок і дорожнього покриття. У промислово-комунальній зоні забруднення зумовлене впливом виробничих, складських, ремонтних, будівельних і комунальних об'єктів.

За сумарним показником забруднення важкими металами найбільш

забрудненою є промислово-комунальна зона, де Z_c становить 12,97. Друге місце посідає транспортна зона із показником Z_c 11,69. Помірний рівень забруднення характерний для житлової забудови та прибережної зони. Сільськогосподарська ділянка має слабший рівень техногенного забруднення, однак відзначається агрохімічним навантаженням. Найкращий екологічний стан мають контрольна ділянка та зелена зона.

Встановлено, що вміст нафтопродуктів є одним із найважливіших індикаторів техногенного забруднення ґрунтів громади. Найвищий показник зафіксовано у промислово-комунальній зоні - 512 мг/кг, що перевищує нормативний орієнтир 500 мг/кг для земель, не пов'язаних з об'єктами нафтової інфраструктури. У транспортній зоні вміст нафтопродуктів становить 438 мг/кг, що свідчить про значний вплив автотранспорту, витоків пального, мастил і забрудненого поверхневого стоку.

Порівняльна характеристика екологічного стану ґрунтів показала, що територія громади має просторово неоднорідний рівень забруднення. Найбільш проблемними є промислово-комунальні та транспортні ділянки. Житлова забудова й прибережні території мають помірний рівень екологічного ризику, тоді як зелені зони виконують важливу буферну функцію та сприяють підтриманню екологічної рівноваги міського середовища.

Визначено основні екологічні ризики, пов'язані із забрудненням ґрунтів Івано-Франківської громади. До них належать накопичення важких металів, забруднення нафтопродуктами, перенесення забруднювачів поверхневим стоком, нітратне забруднення сільськогосподарських ґрунтів, зниження вмісту гумусу, ущільнення та деградація ґрунтового покриву. Найвищий рівень ризику характерний для транспортної та промислово-комунальної зон.

За результатами SWOT-аналізу встановлено, що сильними сторонами громади є наявність зелених зон, природних і прибережних територій, а також можливість організації системного моніторингу ґрунтів. Слабкими сторонами є локальне забруднення ґрунтів важкими металами й нафтопродуктами, недостатність регулярних відкритих даних щодо стану ґрунтів та наявність зон

підвищеного техногенного навантаження. Основними можливостями є розширення зелених насаджень, впровадження ГІС-картування, рекультивація забруднених ділянок і вдосконалення системи поводження з відходами.

Для поліпшення екологічного стану ґрунтів Івано-Франківської громади запропоновано впровадити регулярний моніторинг ґрунтів, створити мережу контрольних точок, посилити контроль за транспортними й промислово-комунальними джерелами забруднення, удосконалити систему збору та очищення дощових вод, ліквідувати стихійні сміттєзвалища, обмежити паркування на газонах, розширити зелені насадження, забезпечити охорону прибережних захисних смуг і застосовувати фіторе mediaційні та біоре mediaційні заходи на локально забруднених ділянках.

Екологічний стан ґрунтів Івано-Франківської міської територіальної громади залежить від поєднання природних умов і антропогенного навантаження. Найбільш істотний негативний вплив на ґрунтовий покрив чинять транспортна, промислова та комунальна інфраструктура. Збереження й відновлення ґрунтів громади потребує комплексного підходу, що включає моніторинг, профілактику забруднення, рекультивацію, озеленення, раціональне землекористування та екологічно орієнтоване управління територіальним розвитком.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1264-12>
2. Земельний кодекс України : Закон України від 25.10.2001 № 2768-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2768-14>
3. Про охорону земель : Закон України від 19.06.2003 № 962-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/962-15>
4. Про державний контроль за використанням та охороною земель : Закон України від 19.06.2003 № 963-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/963-15>
5. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин : Постанова Кабінету Міністрів України від 15.12.2021 № 1325. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1325-2021-%D0%BF>
9. Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 14.07.2020 № 1595. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0722-20>
10. Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів : Постанова Кабінету Міністрів України від 23.07.2024 № 848. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/848-2024-%D0%BF>
11. Про затвердження Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства : Наказ Мінекобезпеки України від 27.10.1997 № 171. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0285-98>
12. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 № 173. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0379-96>
13. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Київ : Держспоживстандарт України, 2005.
 - ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попереднє обробляння зразків для

фізико-хімічного аналізу. Київ : Держспоживстандарт України, 2012.

14. ДСТУ 7855:2015. Якість ґрунту. Визначення групового складу гумусу за методом Тюріна в модифікації Кононової та Бельчикової. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

15. Івано-Франківська територіальна громада // Портал «Децентралізація». URL: <https://decentralization.ua/newgromada/3991>

16. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області за 2024 рік. Івано-Франківська обласна державна адміністрація. URL: <https://www.if.gov.ua/storage/app/sites/24/uploaded-files/regionalna-dopovid-2024.pdf>

17. Програма охорони навколишнього природного середовища Івано-Франківської міської територіальної громади на 2026–2030 роки. URL: <https://business.ivano-frankivsk.ua/assets/upload/pdf/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0%2B%D0%B4%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BA.pdf>

18. Звіт про стратегічну екологічну оцінку Програми охорони навколишнього природного середовища Івано-Франківської міської територіальної громади. URL: <https://business.ivano-frankivsk.ua/assets/upload/pdf/%D0%97%D0%B2%D1%96%D1%82%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%20%D0%A1%D0%95%D0%9E.pdf>

19. Передкарпатська височина // Енциклопедія Сучасної України. URL: <https://esu.com.ua/article-882462>

20. Ґрунтові ресурси Івано-Франківської області та їх охорона // Вісник Уманського національного університету садівництва. 2022. № 2. URL: <https://visnyk-unaus.udau.edu.ua/arxv-nomerv/2022/n2-20221/gruntovi-resursi-ivano-frankivskoi-oblasti-ta-ih-ohorona.html>

21. Паньків З. П. Ґрунти України : навчальний посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2017. 112 с.

22. Паньків З. П. Ґрунтознавство : навчально-методичний посібник. Львів :

ЛНУ імені Івана Франка, 2021.

23. Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів : підручник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010.

24. Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В. А. Ґрунтознавство : підручник. Чернівці : Книги – ХХІ, 2004. 400 с.

25. Городній М. М. Агрохімія : підручник. Київ : Алефа, 2003. 786 с.

26. Медведєв В. В. Моніторинг ґрунтів України. Харків : Антіква, 2002. 428 с.

27. Балюк С. А., Медведєв В. В., Тараріко О. Г. та ін. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України. Київ : Мінагрополітики України, 2010. 111 с.

28. Фатєєв А. І., Пащенко Я. В. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. Харків : ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського», 2003. 72 с.

29. Клименко М. О., Прищепа А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля : підручник. Київ : Академія, 2006. 360 с.

30. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навчальний посібник. Київ : Знання, 2007. 422 с.

31. Тараріко О. Г. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. Київ : Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.

32. Alloway B. J. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. 3rd ed. Dordrecht : Springer, 2013. 614 p.

33. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2011. 548 p.

34. Brady N. C., Weil R. R. The Nature and Properties of Soils. 15th ed. Boston : Pearson, 2017. 1104 p.

35. FAO and UNEP. Global Assessment of Soil Pollution: Report. Rome : FAO, 2021. URL: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb4894en>

36. FAO. Status of the World's Soil Resources: Main Report. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. URL: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3->

37. ISO 10381-5:2005. Soil quality - Sampling - Part 5: Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination. Geneva : International Organization for Standardization, 2005.
38. ISO 18400-104:2018. Soil quality - Sampling - Part 104: Strategies. Geneva : International Organization for Standardization, 2018.
39. European Environment Agency. Soil monitoring in Europe: Indicators and thresholds for soil quality assessments. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022.
40. United States Environmental Protection Agency. Soil Screening Guidance: Technical Background Document. Washington, DC : EPA, 1996.
41. Adriano D. C. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. 2nd ed. New York : Springer, 2001. 867 p.
42. Шикула М. К., Гнатенко О. Ф., Петренко Л. Р., Капштик М. В. Охорона ґрунтів : навчальний посібник. Київ : Знання, 2001. 398 с.

