



Міністерство освіти і науки України

**ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
імені академіка В. ЛАЗАРЯНА**

Кафедра «Хімія та інженерна екологія»

«До захисту»
Зав. кафедрою
Д.т.н., професор

_____ Ю. В. Зеленько
«__» _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

Галузь знань 10 Природничі науки

Спеціальність 101 Екологія

ОП Екологія

Тема: «Дослідження вмісту важких металів у забрудненому баластному щебені»

Theme: «Investigation of the heavy metal content in the contaminated ballast crushed stone»

Керівник дипломної роботи	д.т.н., професор	_____	Зеленько Ю. В.
Науковий консультант	асистент	_____	Самарська А. В.
Виконавець	студент групи	_____	Дулін М. В.
	ЕО1921		
Student			Dulin Maksym

Дніпро 2020

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна

Факультет «Промислове та цивільне будівництво»
Кафедра «Хімії та інженерної екології»
Спеціальність 101 «Екологія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри,
професор Зеленько Ю.В.

« ____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»
студента групи ЕО1921 Дуліна Максима Віталійовича

-
1. Тема дипломної роботи: «Дослідження вмісту важких металів у забрудненому баластному щебені», затверджена наказом по університету № 177ст від “13” 05 2020 р.
 2. Термін подання студентом закінченої роботи 01.12.2020
 3. Вихідні дані до дипломної роботи: теоретичний та практичний досвід у сфері оцінки забрудненості та методів очищення залізничного баластного шару від різних видів забруднення. Звіти ПАТ «Укрзалізниці», нормативні документи, ДСТУ, постанови ЄС та інші правові акти, в яких регламентуються екологічні вимоги до матеріалів баластного шару та вміст забруднюючих речовин у ньому.
 4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки): обґрунтування актуальності теми, мети, характеристика об'єкта та предмета дослідження, вивчення основних інженерно-технічних характеристик баластного шару. Аналіз наукової інформації щодо методів очищення баластного щебеню та його повторного використання на залізницях або у дорожньому будівництві. Аналіз існуючих методик оцінки рівня забруднення баласту важкими металами. Проведення фізико-хімічного аналізу баластного щебеню, визначення основних компонентів та рідкоземельних металів у складі щебеню. Встановлення основних забруднюючих речовин баласту. Формування висновків та рекомендацій.

5. Перелік демонстраційного матеріалу: мультимедійна презентація у обсязі 15 слайдів, які містять основну інформацію щодо виконання всіх дослідів, мети та основних завдань роботи. Основна увага приділяється отриманим результатам та розробленим рекомендаціям. Підготовлена презентація в повній мірі відображає суть роботи, актуальність поставленої мети та задач дослідження, методологію та постановку експериментів, практичну та наукову новизну отриманих результатів.

6. Розділи та консультанти

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ 1	д.т.н., проф. Зеленько Ю. В.	13.05.2020	13.05.2020
Розділ 2	д.т.н., проф. Зеленько Ю. В.	13.05.2020	13.05.2020
Розділ 3	д.т.н., проф. Зеленько Ю. В.	13.05.2020	13.05.2020
Розділ 4	д.т.н., проф. Зеленько Ю. В.	13.05.2020	13.05.2020
Розділ 5	д.т.н., проф. Зеленько Ю. В.	13.05.2020	13.05.2020
Розділ 6	д.т.н., проф. Зеленько Ю. В.	13.05.2020	13.05.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва розділів дипломної роботи	Термін виконання розділів роботи	Примітка
1.	Аналіз проблеми забруднення баластного шару	13.05.20-23.06.20	
2.	Об'єкт та методи дослідження	24.06.20-31.07.20	
3.	Результати дослідження вмісту важких металів у забрудненому баластному щебені	01.08.20-30.09.20	
4.	Аналіз заходів з попередження забруднення баластного шару	01.10.20-21.10.20	
5.	Розрахунок суми екоподатку за розміщення баластного щебеню та екозбитку	22.10.20-24.11.20	
6.	Оформлення пояснювальної записки	25.11.20-01.12.20	

Дата видачі завдання: 13 травня 2020 р.

Керівник дипломної роботи

Зеленько Ю. В.

Завдання прийняв до виконання

Дулін М. В.

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел. Обсяг роботи – 82 стор., 9 табл., 41 рис., 67 джерело.

Мета дослідження – оцінка вмісту важких металів у забрудненому баластному шарі, визначення потенційного екологічного ризику від забруднення та розробка природоохоронних заходів та рекомендацій на основі отриманих результатів.

Об'єкт дослідження – колійний баластний матеріал та рівень його екологічної безпеки, методи очищення та утилізації відпрацьованого щебеню. Баластний матеріал – подроблений гранітний камінь, вкритий значним шаром пилу.

Предмет дослідження – вміст важких металів: Cd, Pb, As, Cu, Zn, Cr, V, Ti, Ni, Zr, W, Mo, Fe та Mn (мг/кг).

Досліджено основні типи забруднювачів колійного баласту на пасажирській станції з високою інтенсивністю руху. Виявлено значні рівні забруднення залізом, марганцем, хромом, нікелем та міді. Не виявлено кадмію та кобальту. Встановлено високі позитивні кореляції між вмістом чотирьох важких металів. В роботі проаналізовано сучасні методи очищення та утилізації колійного щебеню. Найбільш екологічно виправданий шлях поводження з відпрацьованим баластним матеріалом – його повторне використання в якості наповнювача. Також, дрібну фракцію щебеню можна використовувати для будівництва колійних бетонних бар'єрів, які будуть захищати баластну призму від небажаної рослинності. Даний напрям поводження з відпрацьованим щебенем ще не досліджувався в Україні.

Підраховано екологічний податок за розміщення відпрацьованого баластного щебеню з різним рівнем забруднення та екологічний збиток від засмічення земель уздовж колії відпрацьованим колійним щебенем.

ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ: БАЛАСТНИЙ ШАР, ЩЕБІНЬ, ГРАНІТ, ВАЖКІ МЕТАЛИ, ГЕРБІЦИДИ, ЗАБРУДНЕННЯ, ОЧИЩЕННЯ, КОЛІЙНІ МАШИНИ, ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.

ABSTRACT

The master's thesis includes five sections, conclusions and a list of references. The work consists of 82 pages, 9 tables, 41 figures, 67 sources.

The aim of the study was to assess the content of heavy metals in the contaminated ballast layer, determine the potential environmental risk of pollution and develop environmental measures and recommendations based on the results.

The research object was the track ballast material and the level of its ecological safety, methods of cleaning and utilization of used crushed stone. The investigated ballast material was the crushed granite stone, covered with a significant layer of dust.

The research subject was the content of heavy metals: Cd, Pb, As, Cu, Zn, Cr, V, Ti, Ni, Zr, W, Mo, Fe and Mn (mg/kg).

The main types of track ballast contaminants at a passenger station with high traffic intensity have been studied. Significant levels of contamination with iron, manganese, chromium, nickel and copper were detected. Neither cadmium nor cobalt was detected. High positive correlations were found between the content of four heavy metals. The work analyzed the modern methods of cleaning and utilization of track ballast. The most environmentally justified way to handle the spent ballast material is to reuse it as an aggregate. Also, a small fraction of ballast can be used to build track concrete barriers that will protect the ballast prism from unwanted vegetation. This direction of waste ballast management has not been studied in Ukraine yet.

The ecological tax for the emplacement of the spent ballast with various pollution levels and the ecological damage caused by land littering along a track with the used track stones were calculated.

KEY WORD LIST: BALLAST LAYER, CRUSHED STONE, GRANITE, HEAVY METALS, HERBICIDES, POLLUTION, CLEANING, TRACK MACHINES, RAILWAY TRANSPORT, ENVIRONMENTAL SAFETY.

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Аналіз проблеми забруднення баластного шару	10
1.1 Основні інженерно-технічні характеристики баластного шару.....	10
1.2 Аналіз основних типів забруднювачів баластної призми.....	15
1.3 Аналіз методів очищення баластного шару та матеріалу від забруднень	20
1.3.1 Сухе грохочення.....	22
1.3.2 Промивання.....	22
1.3.2 Гравітаційне збагачення	24
1.3.3 Очищення баластного матеріалу поверхнево активними речовинами (досвід Великобританії).....	25
1.3.4 Очищення баластного матеріалу ЕДТА (досвід Італії).....	28
1.4 Аналіз методів та засобів захисту баластного щебеню від забруднень	32
1.5 Аналіз методів утилізації відпрацьованого залізничного баласту.....	34
1.5.1 Складування у відвалах	34
1.5.2 Залізничний щебінь як наповнювач для бетонів	36
Розділ 2. Об'єкт та методи дослідження.....	37
2.1 Об'єкт дослідження.....	37
2.3 Метод дослідження – рентгенофлуоресцентний аналіз.....	38
2.3.1 Характеристика рентгенівського випромінювання.....	38
2.3.2 Взаємодія рентгенівського випромінювання з речовиною.....	43
2.3.3 Флуоресцентне випромінювання.....	44
Розділ 3. результати дослідження вмісте важких металів у забрудненому баластному щебені	46
3.1 Вміст заліза	47

3.2 Вміст марганцю	48
3.3 Вміст міді	49
3.4 Вміст хрому.....	51
3.5 Вміст нікелю	52
3.5 Вміст цинку.....	52
3.6 Вміст свинцю	53
3.7 Вміст миш'яку	55
3.8 Вміст кадмію.....	56
3.9 Вміст кобальту, вольфраму, олова, паладію, сурми, стронцію та молібдену	56
Розділ 4. Аналіз заходів з попередження забруднення баластного шару	60
4.1 Захист баласту від небажаної рослинності та опалого листя.....	60
4.2 Імобілізація іонів важких металів геоматеріалами, що укладаються під баласт.....	62
4.3 Спеціальні металеві конструкції для захисту баласту та довкілля від забруднень.....	64
Розділ 5. Розрахунок Суми екоподатку за розміщення баластного щебеню та екозбитку.....	66
5.1 Розрахунок суми екологічного податку за розміщення відпрацьованого баластного щебеню	66
5.2 Розрахунок суми екологічного збитку за засмічення земель	69
Висновки	73
Список використаних джерел	75

ВСТУП

Обґрунтування та впровадження природоохоронних заходів на залізничному транспорті вимагає значних та специфічних знань про види та поведінку забруднюючих речовин, а також обсяги їх емісії (наприклад, кількість викидів на 1 км залізничної колії або тон на рік). Викиди від пересувних джерел підрахувати та відстежити значно складніше ніж від стаціонарних, особливо в умовах нестабільного та нерівномірного графіку.

Серед основних небезпечних речовин, що викидаються у довкілля під час експлуатації залізничного транспорту, необхідно виділити важкі метали. До цієї групи забруднювачів належить кадмій, ртуть, свинець (ці метали виділяють у першу чергу через їх високу токсичність та відсутність біологічних функцій у клітинах рослин та тварин), мідь, цинк, нікель, хром, марганець, залізо, кобальт та ін. Перераховані метали утворюються в процесі тертя сталей елементів рухомого складу та рейок. Крім того, значну роль відіграє незадовільний стан вантажних вагонів, через негерметичність та знос яких відбувається висипання сипучих речовин у баластну призму та під дією вітру ці частки поширюються на прилеглі до колії землі.

До цього часу багато чисельні дослідження зосереджувались на забрудненні довкілля внаслідок роботи автотранспорту, але про вплив залізниць на довкілля відомо недостатньо. В загалі, екологічні проблеми залізничного транспорту та його вплив на довкілля мало вивчені та представлені у сучасній науці.

Більшість забруднюючих речовин, що викидається залізничним транспортом, перераховані у директиві Європейського Союзу 2000/60/ЄС, і існують вагомні вказівки на те, що вплив на навколишнє середовище необхідно оцінювати щодо кількох відповідних забруднюючих речовин. Слід передбачити, що речовини, що надходять у залізничний баласт та ґрунт можуть вимиватися у підземні або поверхневі води.

Знаючи джерела викидів та шляхи надходження забруднюючих речовин, можна проаналізувати баланси масових потоків та встановити технічні та експлуатаційні заходи.

Однак знання про викиди від регулярних залізничних перевезень, а також про долю та поведінку речовин у баластному шарі та навколишньому середовищі є незначними. Таким чином, залізничні підприємства або компанії не можуть оцінити екологічну долю цих викидів або визначити чи забезпечуються стандарти якості захисту води та ґрунтів.

Більше того, залізничні підприємства мають проблеми з оцінкою ефективності загальних дренажних систем для речовин, що мігрують із колійних профілів. До цього часу заходи з забезпечення надійної та належної роботи дренажних систем вздовж колії або інфільтрації стоку, невизначені з точки зору безпеки руху. Через відсутність основних даних про викиди та їх долю стає зрозумілим, що оцінка впливу на навколишнє середовище в даний час не може бути повністю встановлена.

Баластна шар – це один із основних та найважливіших елементів верхньої будови колії. Саме баластний шар, з екологічної точки зору, є джерелом вторинного забруднення. В ньому накопичуються як органічні, так і неорганічні речовини, які потім вимиваються у ґрунти, поверхневі та підземні води. Це відбувається в наслідок того, що для будівництва залізничних насипів обираються ґрунти з високою фільтраційною здатністю.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ БАЛАСТНОГО ШАРУ

1.1 Основні інженерно-технічні характеристики баластного шару

Залізнична колія – це складна інженерно-технічна конструкція. Для переважної більшості залізниць у всьому світі характерна верхня будова колії, яка включає рейки, шпали (рідше бруси), скріплення та баластний шар. Така конструкція забезпечує надійну стійкість та стабільність залізничної колії, сприймає та пружно передає (перерозподіляє) значні динамічні навантаження під часу руху вантажних та швидкісних пасажирських потягів на земляне полотно (нижня будова) [1-5]. На рисунку 1.1 представлено схематичне зображення традиційної верхньої будови залізничної колії.

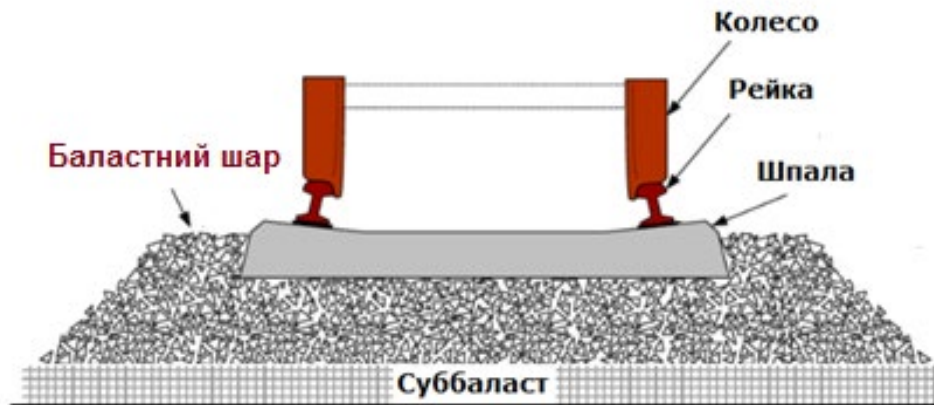


Рисунок 1.1 Класична конструкція верхньої будови залізничної магістралі

Усі елементи залізничної колії типізовані, мають стандартні розміри та характеристики. Товщина баластного шару залежить від категорії колії. Сучасна система ведення колійного господарства заснована на класифікації шляху в залежності від вантажонапруженості лінії та швидкостей руху поїздів – головних факторів, що впливають на перевізний процес й роботу колії під поїздами.

На українських залізницях баласт безпосередньо спирається на площадку земляного полотна. На мостах при влаштуванні проїзної частини без баласту рейки спираються на дерев'яні мостові або залізобетонні плити.

Найбільш поширеним та найкращим баластним матеріалом є щебінь. Щебінь – це подрібнений природний камінь, наприклад граніт або діабаз. Розмір щебених часток коливається від 25 до 60 мм. На перегонах де швидкість руху поїздів складає 100 км/год та більше дозволяється застосовувати тільки щебенивий баласт [6].

Щебінь виготовляється на щебених заводах подрібненням в каменедробильних машинах. Відповідно до діючого стандарту ГОСТ 7392-85 передбачений випуск щебеню двох основних фракцій (табл. 1.1): із розмірами зерен від 25 до 60 мм і від 25 до 50 мм. Крім того, стандартом передбачений випуск щебеню фракції 5-25 мм із мілкою подрібненого матеріалу вивержених та інших осадових порід. Цей мілкий щебінь дозволяється застосовувати для баластування станційних колій (за винятком приймально-відправних), малодіяльних головних колій при вантажонапруженості до 10 млн. ткм/км на рік, а також для будівельних робіт тощо [6].

Таблиця 1.1

Нормативи зернового складу колійного щебеню [6]

Фракції щебеню		Допускається наявність зерен				
Назва	Розмір зерен, мм	більше верхньої межі крупності		менше нижньої межі крупності		
		за розміром, мм	за масою, % від маси щебеню	за розміром, мм	за масою, % від маси щебеню	
					Усього	У тому числі розміром менше 0,14 мм
Нормальна	25-60	До 70	До 5	Менше 25	До 5	До 1,5
	25-50	До 60	До 10	Менше 25	До 5	До 1,5
Мілка	5-25	До 40	До 10	Менше 5	До 5	До 2

Міцність щебеню тривалий час визначалась опором удару при випробуванні його на копрі. За опір 100 одиниць (У 100) прийнятий опір щебеню із діабазу Кирилівського родовища. З 1985 року у відповідності з діючим стандартом (ГОСТ 7392-85) міцність щебеню визначається його

стиранням, тобто втратою маси при випробуванні в поличному барабані типу шарового млина в процентах від початкової маси. За міцністю щебінь ділиться на три градації (табл. 1.2) [6].

Слід відмітити, що при щебені середньої міцності треба в 1,5-2 рази частіше виправляти колію по рівню, ніж при щебені високої міцності, а при щебені слабкої міцності – в 2-3 рази і більше. Тому нині щебінь слабкої міцності заборонено застосовувати для магістральних та інших залізниць.

Розмір щебінок повинен бути по можливості рівномірним. Недопустима наявність окремих крупних щебінок, бо ж шпала може опиратися лише на них, а це призведе до її нестійкого положення; в залізобетонних шпалах через це можуть виникнути тріщини. Щебінки повинні бути багатограними з рівними поверхнями, які не крихкі і не колються. Форма щебінок повинна наближатись до форми кубиків. Кількість пластинчатих і продовгуватих часток, у яких товщина або ширина менше довжини втричі і більше, повинна бути зведена до мінімуму [6].

Таблиця 1.2

Класифікація щебеню за двома критеріями: стирання та ударостійкість [6]

Міцність	На удар		На стирання	
	Марка щебеню	Опір удару, одиниці відносно У100	Марка щебеню	Стирання, % від початкової маси
Висока	У75	75 і більше	І20	До 20
Середня	У50	50-74	І40	До 40
Слабка	У40	40-49	І50	До 50

Функції баластного шару [1-7]:

- 1) забезпечення стійкості рейко-шпальної решітки, при цьому шпали заглиблюються приблизно на 15 см у баластний шар;
- 2) сприймання та перерозподіл динамічних навантажень на якомога більшу поверхню – площадку земляного полотна;
- 3) відведення атмосферних та поверхневих вод від колії;

4) захист колії від підняття капілярних волог з ґрунтів земляного полотна до рейкових опор;

5) амортизація ударів рухомого складу через нерівності колії та поверхні коліс;

6) захист від небажаної рослинності;

7) забезпечення достатнього опору бічним і поздовжнім зсувам шпал під впливом поїзного навантаження;

8) забезпечення можливості виправки положення рейко-шпальної решітки у плані та профілі.

Функції баластного шару формують основні вимоги, що пред'являються до баластних матеріалів [1-7]:

1) матеріал повинен бути міцним та пружним;

2) забезпечувати надійний дренаж (добре пропускати воду), при намоканні не втрачати стійкості, бути гідрофобним (як правило підвищення гідрофобності досягається нанесенням спеціальних речовин);

3) переносити якомога більше циклів «замерзання – відтаювання» без втрати або погіршення своїх властивостей;

4) не розпадатися під впливом механізмів та інструментів;

5) не утворювати пил, роздуватися вітром, розмиватися атмосферними опадами.

Баластовий шар укладається на земляне полотно у вигляді протягнутої баластової призми. Параметрами, які характеризують конструкцію, є: товщина баластового шару під шпалою; ширина плеча (від торця до відкосу); крутизна відкосів призми; кількість колій, для яких баластова призма призначена; а також кількість шарів різномірного баласту (якщо призма не одношарова) [6].

Залежно від роду баласту та експлуатаційних умов застосовується 1-шарова, 2-шарова або 3-шарова баластова призма. Баластова призма повинна облаштовуватись відповідно із затвердженими типовими профілями. Товщина баластового шару і розміри баластової призми на головних коліях

на перегонах, станціях, роз'їздах та обгінних пунктах, а також на станційних коліях різного призначення встановлюються за нормами табл. 1.3 [6].

Таблиця 1.3

Розміри баластної призми на головних, станційних коліях і стрілочних переходах [6]

Категорія колії	Матеріал основного шару	Конструкція баластної призми	Товщина шару баласту, м			Ширина, м	
			щебеневого, $h_{ш}$	Гравійного або гравійно-піщаного, $h_{г}$	піщаної подушки, $h_{п}$	плеча баластної призми, d	узбіччя земляного полотна, n
I-II	щебінь	двошарова	0,40	—	0,20	0,45	0,50
III	щебінь	двошарова	0,35	—	0,20	0,45	0,50
IV	щебінь	двошарова	0,30	—	0,20	0,40	0,50
V	щебінь	двошарова	0,25	—	0,20	0,35	0,50
VI, VII, станційні	щебінь	двошарова	0,25	—	0,20	0,35	0,50
	гравійний, гравійно-піщаний	одношарова	—	0,45	—	0,35	0,50

Одношарова баластова призма влаштовується при гравійному, піщано-гравійному, піщаному і черепашниковому баласті (при щебеновому або азбестовому баласті одношарова призма може влаштовуватись лише при земляному полотні, спорудженому із щільних дренуючих ґрунтів (із галечників, гравійно-піщаного ґрунту, каменю, щебеню та ін.) [6].

У всіх інших випадках (тобто при спорудженні земляного полотна із звичайних ґрунтів) при щебеновому баласті влаштовується двошарова баластова призма. При цьому спочатку на земляне полотно укладається шар піщаної подушки (суббаласт), як правило, товщиною 20 см, а на піщану подушку укладається саме щебеновий баласт. Піщана подушка (суббаласт) влаштовується з метою, по-перше, щоб унеможливити взаємопроникність щебеню в земляне полотно і ґрунту в щебінь, по-друге — для економії щебенового баласту.

В окремих випадках можна влаштовувати тришарову баластову призму, наприклад, якщо при капітальному ремонті або реконструкції колії вважається доцільним укладання азбестового баласту, а раніше рейкошпальна решітка лежала на двошаровому баласті і службові якості щебеневого баласту ще не вичерпані, то азбестовий баласт товщиною, як правило, не менше 20 см (для можливості підбивання виправно-підбивочними машинами) укладається на шар щебеневого баласту і, таким чином, утворюється тришарова баластова призма (при потребі частина щебеневого баласту може видалитись) [6].

Потужність баластового шару визначається його товщиною. Товщину баластового шару завжди вимірюють під шпалою у підрейковому перерізі під тією рейковою ниткою, де вона мінімальна [6].

Товщина баластового шару вважається тим більшою, чим важчі умови експлуатації на ділянці. При чому для залізобетонних шпал товщину баластового шару приймають більшою на 5 см, ніж для дерев'яних, бо ж конструкція колії на залізобетонних шпалах, маючи більшу жорсткість, сприяє більш концентрованій передачі динамічних навантажень на колію, що призводить до збільшення тисків на рейки, шпали й основну площадку земляного полотна [6].

Під баластним щебенем розуміється тверде ломане каміння, що використовується для баластування залізничного шляху, яке відповідає високим будівельно-технічним вимогам. При цьому мова йде про чисте ломане природне каміння з особливими вимогами щодо якості каменю, форми та розмірів (як правило, між 25 та 45 (60) мм). Товщина шару щебеню до нижньої поверхні шпал складає 30 см, відповідно розрахунковій швидкості руху та передбачуваного навантаження на залізничний шлях [8].

1.2 Аналіз основних типів забруднювачів баластної призми

Під час експлуатації залізничної колії баластний шар поступово забруднюється різноманітними хімічними речовинами, механічними

домішками та сміттям. В цьому випадку необхідно розрізняти засмічення та забруднення баласту. Під засміченням розуміється наявність сторонніх предметів гілок, пляшок, обгортки, пакувальних матеріалів та іншого побутового сміття, яке безконтрольно викидається з вагонів пасажирських поїздів та платформ. На сьогодні не існує єдиної думки щодо того, хто повинен нести відповідальність за засмічення баластного шару: адміністрація залізниць чи громадяни, які це зробили. Одні вчені вважають, що таке сміття необхідно класифікувати як побутове, інші як «відходи залізничного транспорту». На кожен кілометр залізничної магістралі викидається близько 12 т побутових відходів [9]. Дана ситуація погіршує технічний стан баластного шару, але очистити колію від побутового сміття простіше, ніж від забруднюючих речовин.

Механічних домішок, які забруднюють баласт [8, 10]:

- дрібна фракція баластного матеріалу (менше 0,1 мм – вугільні, глинисті домішки, фракція від 25 мм до 0,1 мм класифікується як засмічення), що утворилась внаслідок зношення та стирання під дією постійних та значних динамічних навантажень;

- залишки рослин (коріння, відмерлі пагони), опале листя, гілки;

- частинки ґрунту принесеного вітром та частинки матеріалу нижньої будови (як правило, земляного полотна).

Відповідно до стандарту нормується мінімальний відсоток фракцій розміром менше 25 мм – 5%.

Хімічні речовини, які забруднюють баласт:

- металевий пил від стирання гальм, коліс та рейок, як наслідок важкі метали [11-15];

- мастильні матеріали;

- гербіциди [16-24];

- вуглеводні;

- нафта та нафтопродукти;

– полі циклічними ароматичними вуглеводнями (ПАВ) та поліхлорованими біфенілами (ПХБ) [15, 25].

На рисунку 1.2 представлено значне забруднення баластного шару ґрунтовими часками, що сприяє росту та поширенню небажаної рослинності в зоні колії.



Рисунок 1.2 Приклад значного забруднення баластної призми [18]

Необхідність очищення баластної призми обумовлюється її забрудненням, яке є причиною втрати фільтраційної здатності щебеневого шару і загального погіршення стану залізничної колії [10].

Забруднення щебеню відбувається в результаті механічного зносу його зерен під впливом рухомого навантаження та шпалопідбивних механізмів, а також потрапляння зовнішніх засмічень [10].

Розрізняють п'ять основних видів забруднювачів баластного шару [10]:

- 1) продукти дроблення та стирання баластного матеріалу;
- 2) частки сипучих вантажів за рахунок негерметичності вагонів (особливо для перевезення піску, вугілля та залізних руд);

- 3) продукти зносу залізобетонних шпал;
- 4) частинки, що переміщаються вгору з під баластного гранульованого шару;
- 5) частинки, які проникають з земляного полотна.

При цьому найбільш значно баластовий шар забруднюється зовнішніми засміченнями, що і викликає необхідність його передчасної очищення [10].

Відповідно до технічних умов основним критерієм для вибору ділянок, що підлягають середньому (таблиця 1) і планово-попереджувальному ремонтам, є забрудненість щебеню [10].

Таблиця 1.4

Критерії вибору ділянок, що підлягають середньому ремонту шляху [10]

Категорія колії	Основні критерії		Додаткові критерії	
	Забрудненість щебеню, % за масою	Кількість шпал з дефектами, %	Кількість неприродних	
			дерев'яних шпал, %	Скріплень, %
1	30 та більше	3	10	12
2	30 та більше	5	12	15
3	30	7	15	20
4	30	10	20	30
5	Не лімітується. Середній ремонт призначається на розсуд начальника дистанції колії за узгодженням з начальником служби колії			

Забрудненість щебеневого баласту від пропущеного тоннажу визначається за формулою [10]:

$$N = Tk^{\alpha}$$

де N – забрудненість щебеневого баласту частинками, %;

k – статичної коефіцієнт;

T – пропущений тоннаж, млн. T ;

α – показник ступеня.

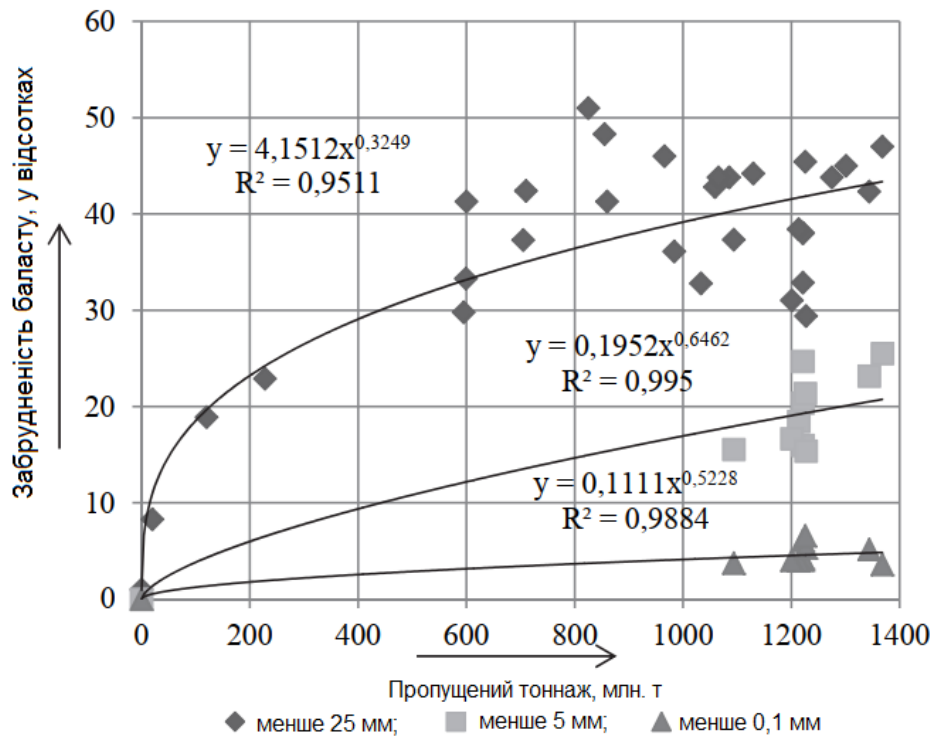


Рисунок 1.3 Залежність забрудненості баласту від обсягів перевезених вантажів [10]

Інтенсивність забруднення баластної призми багато в чому визначається терміном служби конструкції, який вимірюється у роках. Залежність забрудненості щебеневого баласту від терміну служби в роках на Транссибірській магістралі для першого і другого шляхів і на Середнє сибірській магістралі першого шляху зображена на рисунку 1.4.

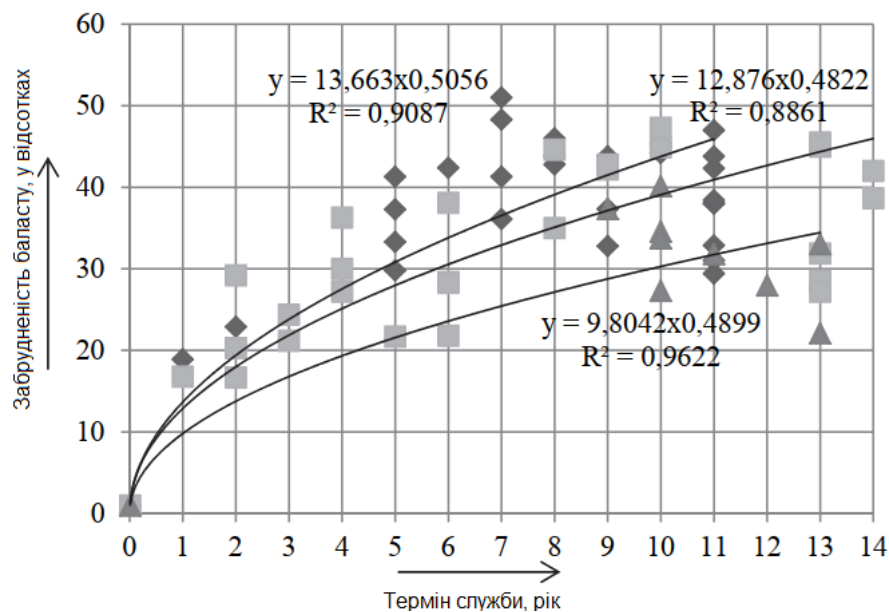


Рисунок 1.4 Залежність забрудненості баласту від терміну служби на ділянках Транссибірської і Середньо сибірської магістралей [10]

Значне збільшення забрудненості щебеню за масою в перший рік експлуатації пояснюється підвищеним зломом зерен щебеню під поїзним навантаженням, а також при виконанні виправних робіт під час проведення капітального ремонту колії. Залежність забрудненості баласту від товщини баластного шару при тоннажі 700 млн. т представлена на рисунку 1.5 [10].

З графіка видно, що зі збільшенням товщини щебеневої баласту відбувається зменшення забрудненості його частинок [10].

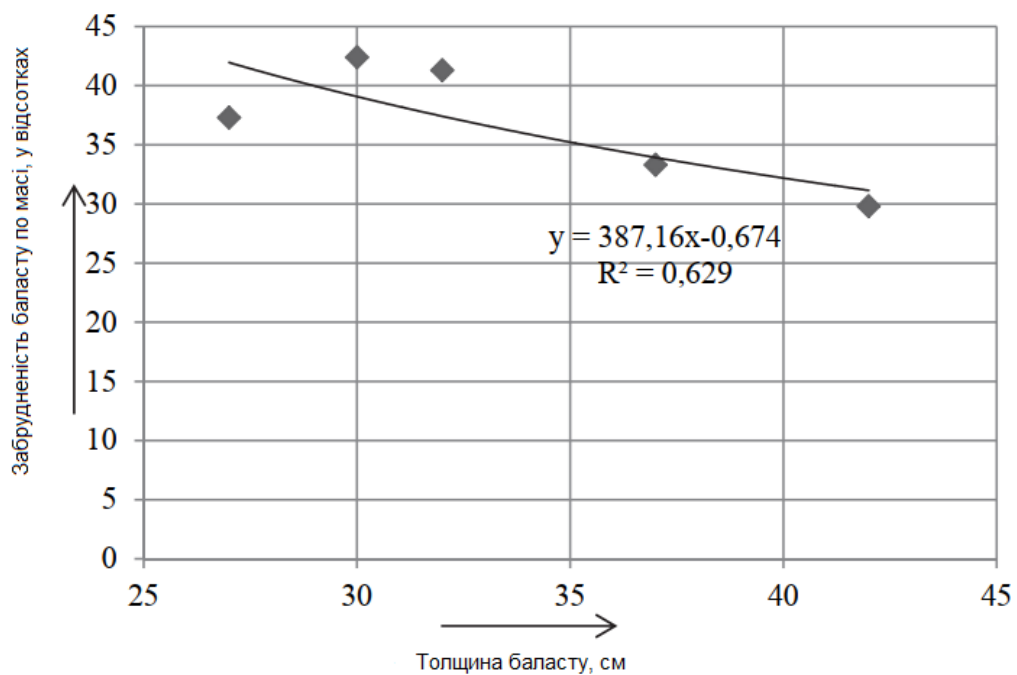


Рисунок 1.5 Вплив товщини баласту на його забруднення для 5-6 річного періоду експлуатації

1.3 Аналіз методів очищення баластного шару та матеріалу від забруднень

Кожні 10 років експлуатації баластного щебеню відбувається його планова заміна. Як правило замінюється від 50 тис. до 700 тис. м³ баластного щебеню при його вартості від 70 до 150 гривень за 1 м³ [8, 26].

Для очищення баластної призми від засмічень та забруднень використовують колійні машини, які працюють без демонтажу залізничної колії. Наприклад, австрійська залізнично-будівельна щебенеочисна машина RM-80. Вона призначена для очищення баласту при всіх видах ремонту колії,

стрілочних переводів, для вирізки баласту при пониженні колії без його очищення з видаленням баласту за межі колії або з завантаженням в рухомий склад, який знаходиться на сусідній колії чи в спеціальний рухомий склад для забруднювачів. Машина призначена для роботи на верхній будові колії з рейками будь якого типу на дерев'яних чи залізобетонних шпалах і брусах. Вартість очищення 1 км залізничної магістралі цією колійною машиною становить 110 тис. грн. (ціна станом на 2016 рік). Для порівняння вартість очищення іншою колійною машиною ЩОМ-6У – 97 тис. грн. [26].

Зовнішній вигляд RM-80 представлено на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 Залізнично-будівельна щебенеочисна машина RM-80

Також, для поверхневого очищення баластного шару застосовують спеціальні вакуумні очисні пристрої (рисунок 1.7), які всмоктують недопалки, листя, пісок, ґрунт, гумус та інше. Цей прийом запобігає поширенню небажаної рослинності, але має низьку надійність та потребує підписання безлічі документів та актів, що дозволяють роботи цих пристроїв на колії [18].



Рисунок 1.7 Робота спеціального вакуумного пристрою на залізничній колії [18]

1.3.1 Сухе грохочення

Це метод очищення баластного матеріалу за допомогою грохотів (спеціальних сит) різного діаметра. При застосуванні даного прийому покращуються механічні властивості баласту, відсіюється фракція розміром 25 мм та менше. Але інші забруднюючі речовини залишаються, таким чином забезпечується низький відсоток очищення [8].

Цей метод лежить в основі роботи щебенеочисних колійних машин.

Переваги: простий, доцільний, невисока вартість (у порівнянні з іншими методами), можна проводити очищення баласту на місці.

Недоліки: недостатнє очищення баласту з екологічної точки зору. На баластному матеріалі залишаються важкі метали, нафтопродукти, мастильні матеріали, гербіциди, патогенні мікроорганізми та ін.

1.3.2 Промивання

Цей метод потребує зняття забрудненого баласту з колії та його транспортування на промивну станцію чи установку. На рисунку 1.8 представлено технологічний процес промивки відпрацьованого щебеню.



Перед промиванням забруднений матеріал очищується від металевих часток за допомогою магнітного сепаратора, потім вилучаються фракції розміром більше 45 мм. І тільки тоді проводиться промивання. Промитий матеріал подається на сортувальний гуркіт, на якому проходять частки розміром 6...45 мм. Із забрудненої води, використаної для промивки, за допомогою гідроциклону вимивається пісок, потім вода додатково очищається методом осадження. Очищену воду знов направляють на промивку баластного матеріалу, чим забезпечується оборот води по замкнутому циклу. Суміш піску з гідроциклону, дрібних часток баластного матеріалу з гуркоту і осадженого з води мула ущільнюється і пресується; при цьому утворюються брикети, які використовують як фільтрувальні [8].

Залишковий вміст забруднюючих речовин у промитому та висушеному колійному баласті не повинен перевищувати встановлені допустимі значення. Наявність та концентрація полі циклічних та мінеральних вуглеводнів є найважливішим параметром забруднення шкідливими речовинами. Як правило, вміст важких металів допускається. У піску залишається найбільший відсоток забруднення. Використання описаної технології дозволяє знизити рівень забруднення у два рази [8].

1.3.2 Гравітаційне збагачення

Ця технологія є досить дорогою, її доцільно застосувати у випадках значного забруднення знятого з колії баластного матеріалу, коли звичайної промивки не достатньо та з екологічної точки зору не дозволяється складування такого баласту у відвалах без попередньої обробки. Гравітаційне збагачення включає декілька стадій та складніше за промивку [8]:

- 1) гравітаційне розділення забруднених дрібних фракцій від незабруднених на грохотах;
- 2) подрібнення крупних часток;
- 3) промивка;
- 4) багатоступінчата сепарація на циклонах;

5) обробка використаної води;

Крім того, застосовуються екстракційні технології для розчинення забруднювачів за допомогою спеціальних хімічних реагентів у рідкому вигляді; одержані при цьому розчини також направляють на станцію обробки стічних вод. Забруднювачі деяких видів можна хімічно розщепляти з утворенням нейтральних продуктів [8].

1.3.3 Очищення баластного матеріалу поверхнево активними речовинами (досвід Великобританії)

У Великобританії відпрацьований баластний матеріал повторно використовується як заповнювач для будівельних матеріалів, з обов'язковою попередньою обробкою та очищенням від органічних (визначається за БСК₅ та гравіметричне визначення загальної кількості нафтопродуктів) та неорганічних забруднювачів [27].

Загальна кількість відпрацьованого залізничного баласту в Англії та Уельсі в 2001 році склала 1,3 млн. т, з яких 1,24 млн. т (95,4 %) використали в якості наповнювача [28].

У дослідженні [27] встановлено, що комерційно доступна суміш поверхнево активних речовин під торговою маркою «Biosolve» (далі – BS), є найбільш економічно вигідним та екологічно безпечним варіантом для очищення відпрацьованого баласту. На рисунку 1.9 представлено зовнішній вигляд зазначеної суміші.



Рисунок 1.9 Суміш поверхнево активних речовин Biosolve

На рисунку 1.10 представлено схему за якою проходило очищення забрудненого баластного матеріалу.

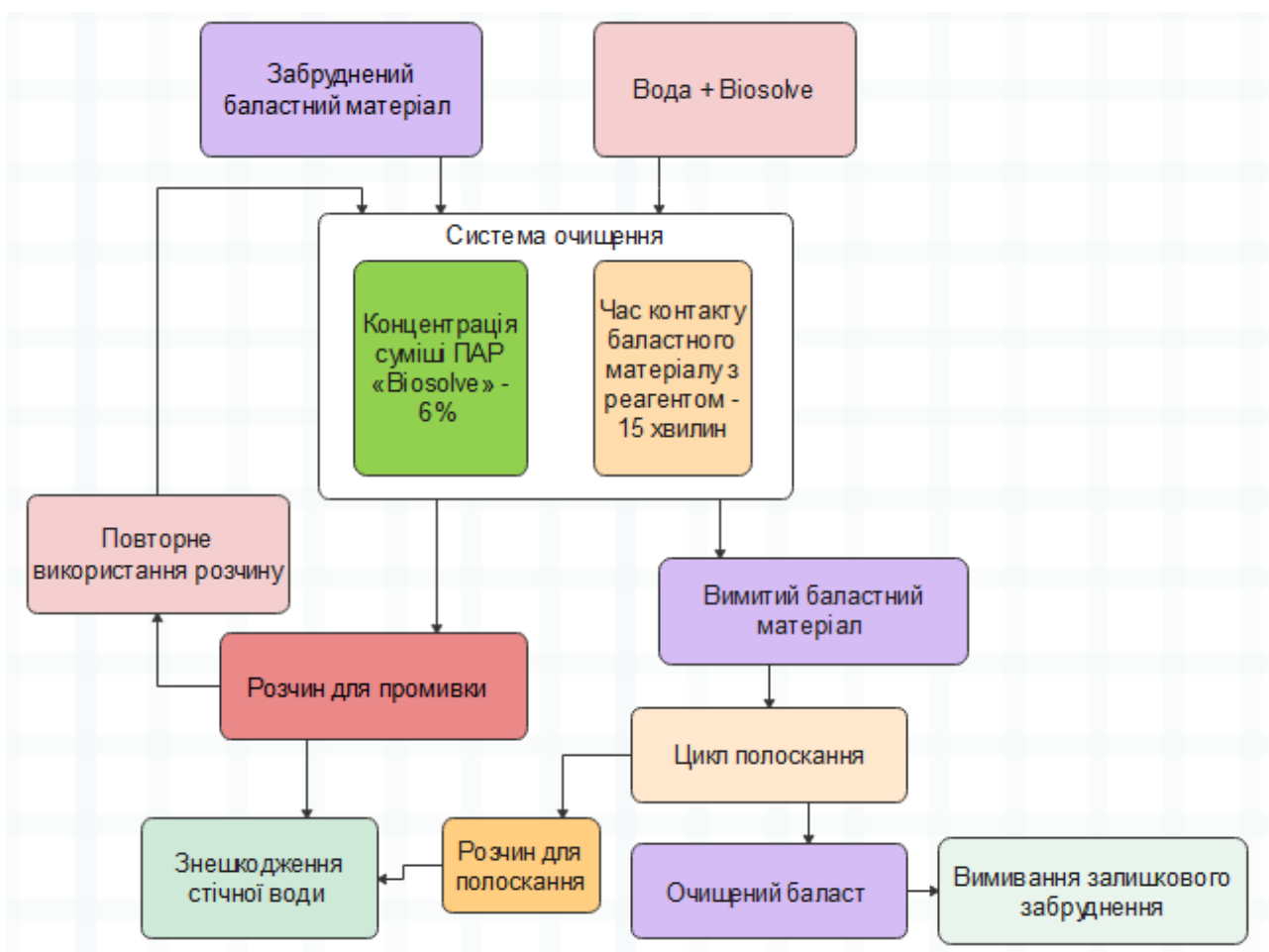


Рисунок 1.10 Схема очищення відпрацьованого баластного матеріалу [27]

Ефективність очищення процесу промивки відпрацьованого баластного матеріалу сумішшю ПАР «BS» оцінювали за допомогою гравіметричної процедури. 200 г баластного матеріалу піддавали трьом послідовним екстракціям у склянках по 500 мл із застосуванням 200 мл етилацетату та перемішували в ультразвуковій ванні протягом 15 хвилин. Екстракти переносили в тефлонові пробірки, центрифугували протягом двох хвилин при швидкості 4500 об/хв, фільтрували під вакуумом через фільтрувальний папір діаметром 150 мм і декантували у 500-мілілітрові колби з круглим дном, попередньо зваживши. Екстракти випарювали майже до суху за допомогою роторного випарника, що працював при температурі 40 °С, і залишались випаровуватися на ніч у витяжній шафі. Колби повторно

зважували, а загальне забруднення нафтопродуктами як речовиною, що екстрагується розчинником (solvent-extractable material – SEM), визначали гравіметричним методом.

У таблиці 1.5 представлено результати загального забруднення зразків баластного матеріалу нафтопродуктами, що екстрагувались етилацетатом (SEM) без промивання та після промивки зразків сумішшю ПАР «BS» з концентрацією 1%, 3 % та 6 %. Час промивання зразків становив 15 хвилин (n = 6).

Таблиця 1.5

Результати загального забруднення зразків баластного матеріалу нафтопродуктами до та після проведення обробки (n = 6) [27]

Система очищення	Концентрація нафтопродуктів, що екстрагувалась етилацетатом (мг/кг)	Ефективність процесу очищення (промивання), у %
До обробки	17510 ± 445	–
Суха система очистки	3470 ± 419	80
1% BS, AstroTurf	2525 ± 345	86
3% BS, AstroTurf	1680 ± 214	91
6% BS, AstroTurf	1245 ± 134	93

Також, забруднення баластного матеріалу органічними речовинами оцінювалось за таким показником як біохімічне споживання кисню за 5 діб (БСК₅), яке вимірювалось спеціальною системою WTW Oxi-Top.

Вміст металів оцінювався у воді після промивання вже очищеного за допомогою суміші ПАР баластного матеріалу (6 % розчин «BS», час промивання 15 хвилин), а також у воді після трьохкратного полоскання свіже очищеного баласту. Результати дослідження представлено у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Вміст металів у воді після промивання очищеного баластного матеріалу [27]

	Концентрація, мг/л							
Метал	Al	Bs	B	Cd	Ca	Cr	Co	Cu
1*	0,2	< 0,02	0,1	< 0,01	7,5	< 0,09	< 0,03	0,1
2**	0,08	< 0,02	0,03	< 0,01	0,26	< 0,09	< 0,03	0,01
Межа виявлення	0,2	0,02	0,02	0,01	0,03	0,09	0,03	0,03
Метал	Fe	Pb	Mg	Mn	Ni	Se	Sn	Zn
1*	0,3	< 0,07	1,4	0,1	0,1	< 0,3	< 0,05	0,1
2**	0,01	< 0,07	0,05	0,01	0,002	< 0,3	< 0,05	0,01
Межа виявлення	0,02	0,07	0,01	0,01	0,02	0,3	0,5	0,01

* вода в якій баластний матеріал промили після стадії очищення з використанням миючого засобу

** вода в якій прополоскали вже очищений баластний матеріал

Як видно з таблиці 1.6 вміст металів у воді після додаткового промивання баластного матеріалу незначний, що свідчить про його ефективне очищення промивною водою з 6% концентрацією ПАР «BS» [27].

1.3.4 Очищення баластного матеріалу ЕДТА (досвід Італії)

Крім ПАР для очищення баластного матеріалу від важких металів застосовують ЕДТА (скорочення від англійської назви) – етилендіамінтетраоцтова кислота [29, 30].

У дослідженні [30] ефективність ЕДТА як екстрагента була перевірена на баласті, забрудненому кадмієм, міддю та цинком, використовуючи лабораторну систему очищення. Зокрема мета експериментів полягала в оптимізації робочих параметрів, що впливають на процес екстракції, таких як кількість хелатуючого агенту, а також час контакту агенту з баластом.

Було проведено дві серії експериментальних випробувань. Перша серія випробувань включала: вилуговування у дистильованій воді та промивання водними розчинами ЕДТА. Досліди проводили на подрібненому природному

камені, який зазвичай використовуються для виготовлення залізничного баласту в Італії, що містять лейцитові тефрити вулканічної природи (тип А).

Тести проводились на чистому (невикористаному) камені і після його штучного забруднення.

Другу серію випробувань провели на баластному камені (метаморфічні зелені гірські породи, тип В), який зазвичай використовується в північній Італії, який також був штучно забруднений.

Усі зразки спочатку подрібнювали для досягнення середнього розміру 3-5 см. Забруднення баласту в обох випадках здійснювалось шляхом змішування 1,3 кг кожного зразка баласту з водний розчин, що містить 357 мг моногідрату CdCl_2 , 536 мг дигідратованого CuCl_2 і 417 мг ZnCl_2 .

Кожен забруднений зразок зберігали в пластиковому контейнері і давали йому висохнути при кімнатній температурі (22 – 24 °C) протягом 90 днів.

Промивний розчин готували розчиненням EDTA-Na_2 у дистильованій воді. На основі попередніх досліджень було перевірено дві різні концентрації EDTA (0,01 та 0,05 М). Співвідношення рідина / тверда речовина прийняте у всіх тестах складало 10:1, щоб забезпечити повне занурення зразка в промивний розчин. «Промивні тести» були виконанні в обертовому баці з ПВХ при швидкості 10 об / хв.

Через вибрані інтервали часу зразки контактного розчину відбирали та аналізували. Вихід металу при екстракції розраховувався на основі концентрації контактного розчину.

Всі тести проводились по три рази; результати були представлені як середні значення та середнє стандартне відхилення.

Концентрації металів у контактному розчині визначалась під час тестів на промивання та вилуговування з використанням атомно-абсорбційного спектрометра Agilent AA DUO 240 Fs, обладнаного графітовою пічкою.

У тестах на вилуговування, проведених на зразках незабруднених каменів типу А і В, спостерігалось лише незначне виділення Cu та Zn (дані не

наведені); кількість екстрагованих металів завжди була в заданих межах згідно італійського екологічного регулювання. Концентрація Cd у фільтраті завжди була нижчою за межу визначення. Крім того, суттєвої різниці в термінах вилуговування металу не спостерігалось до і після промивання ЕДТА [30].

Щоб краще оцінити ефективність ЕДТА при санації баласту, ті самі тести проводили штучно забруднених зразках баласту.

У таблиці 1.7 представлено результати тесту на вилуговування, проведені на штучно забрудненому баласті.

Таблиця 1.7

Результати тесту на вилуговування (штучне забруднення) [30]

Метал	Тип А	Тип В
Cd, мг/кг	550 ± 45	350 ± 30
Cu, мг/кг	550 ± 35	400 ± 25
Zn, мг/кг	310 ± 20	350 ± 40

На рисунках 1.11 та 1.12 показано ефективність вилучення металів в залежності від часу контакту та концентрації ЕДТА. Результати показують, що використання ЕДТА є необхідним для вилучення значної кількості забруднюючих речовин. Зокрема, при обробці зразків типу А, лише із збільшенням концентрації ЕДТА (0,05 М), спостерігалось значне вилучення металу протягом 3 годин після обробки (55% для Cd, 63% для Zn та близько 70% для Cu). І навпаки, для зразків типу В спостерігалась більш низька ефективності обробки із збільшенням концентрації ЕДТА в розчині екстрагента: вихід екстракції для всіх досліджуваних металів завжди був нижче 40% через 3 год обробки. Таку різну поведінку можна пояснити лужним характером каменів типу А, що спричиняє початкову вищу адсорбцію металу на поверхні каменів; в результаті кислого вилучення метали легко вивільнялися з обох зразків каменю [30].

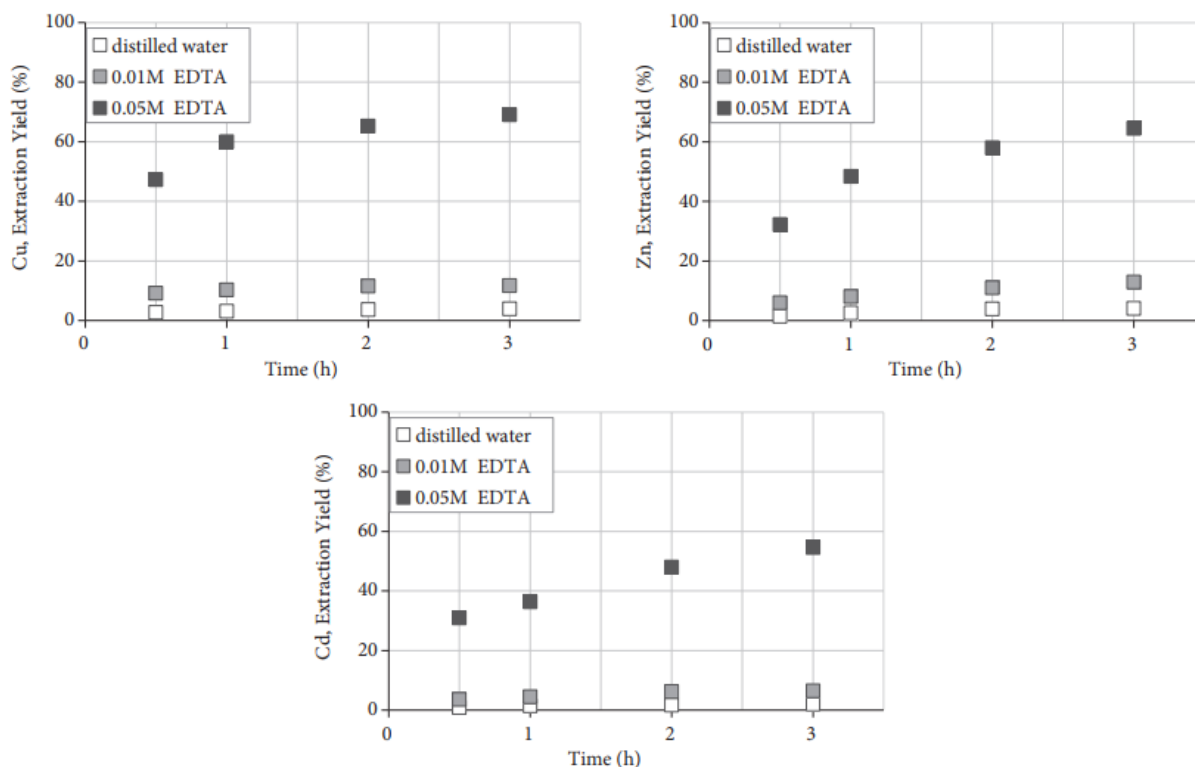


Рисунок 1.11 Вплив тривалості промивання та концентрації екстрагенту на вихід екстракції металу у зразках типу А. (середнє стандартне відхилення становило 4,5%) [30]

У тестах, проведених на зразках типу А, відбулося швидке початкове вилучення з подальшим прогресивним зменшення швидкості мобілізації металу, доки плато майже не було досягнуто через 3 год обробки. Прогресивне збільшення швидкості екстракції спостерігалось в тестах з камінням типу В, що припускає, що подальше повільне витяг можна отримати із збільшенням часу контакту [30].

Що стосується поведінки трьох досліджених металів, у двох зразках було виявлено схожу тенденцію та ефективність вилучення. Концентрації металів, виміряні в розчині після 3 годин перемішування, відповідали різним константам стійкості металу та ЕДТА ($\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Cd}$) для зразків типу А, тоді як для зразка типу В було розраховано дещо вищу екстракцію Zn. Цю поведінку можна пояснити природною присутністю цинку в камені типу В, завдяки чому в сильних кислотних умовах, викликаних ЕДТА, вищий Zn виділяється з матриці.

В результаті мобілізації металу з твердої в рідку фазу слід розглянути обробку екстрагованого розчину для завершення загального процесу відновлення [30].

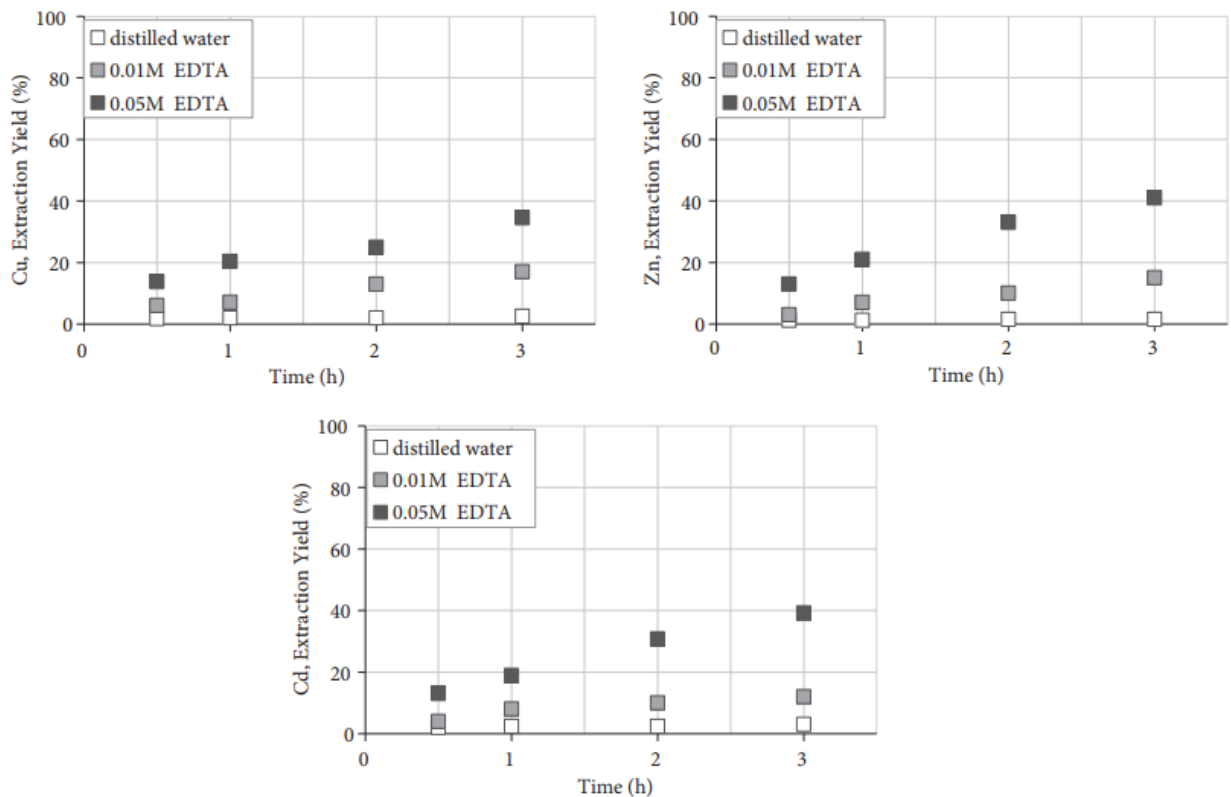


Рисунок 1.12 Вплив тривалості промивання та концентрації екстрагенту на вихід екстракції металу у зразках типу В. (середнє стандартне відхилення становило 5,2%) [30].

1.4 Аналіз методів та засобів захисту баластного щебеню від забруднень

Актуальним напрямком наукових досліджень є розробка методів попередження забруднення баластного щебеню, що дозволить заощадити на проведенні робіт із його заміни або очищення [26, 31]. Основні завдання, які покладаються на попереджувальні методи:

- 1) зменшення налипання забруднювачів на поверхні колійного щебеню;
- 2) збільшення електроопору баластної призми;
- 3) забезпечення безвідмовної роботи рейкових кіл;
- 4) зменшення електричної корозії елементів залізничної інфраструктури;

5) забезпечення надійної роботи залізниці.

Залізничну колію можна розглядати не тільки як силову конструкцію, але й як складне електричне коло, в якому рейкова колія використовується в якості проводу [26].

Забруднена баластна призма характеризується зниженим електричним опором. Це зниження безпосередньо впливає на надійність роботи рейкових кіл систем сигналізації, централізації та блокування (прийняте скорочення СЦБ). Це спричиняє формування сигналів «помилкової зайнятості» ізольованих ділянок, що призводить до того, що необхідно більше часу на виконання технологічних операцій, і також може стати причиною виникнення надзвичайних подій у разі необхідності екстреного гальмування поїздів. Зменшення негативного впливу струмів витоку на подальший розвиток електричної корозії елементів залізничної інфраструктури та покращення надійності експлуатації рейкових кіл потребує підвищення опору ізоляції [26].

Для попередження забруднення щебеневого баласту, забезпечення стабільності електричних характеристик рейок, шпал, баласту та скріплень, і як наслідок надійної експлуатаційної роботи на українських залізницях тестують різні полімерні в'язучі на основі поліуретану, синтетичного латексу, бітумної емульсії, силікону, спиртового розчину каніфолі [26, 31].

Таблиця 1.8

Порівняльна характеристика обробленого та чистого щебеню [26]

Композиція	Питома електрична провідність, См/м Повинна бути менше ніж 0,06 См/м ДСТУ Б В.2.7-204:2009 [32]	Крайовий кут змочування, град
Чистий щебінь (без оброблення)	0,023	23
Щебінь з бітумним покриттям	0,009	94
Щебінь з силіконовим покриттям	0,006	112
Щебінь з каніфольним покриттям	0,003	55

За результатами дослідження можна констатувати наступні позитивні зміни та значні покращення електричних характеристик колійного щебеню:

1) використання каніфольного покриття призводить до значного (найкращого) зниження питомої електричної провідності, що у десять разів менше за максимально дозовану. У порівнянні з провідністю чистого щебеню електрична провідність обробленого знизилась у 7,7 рази.

2) покриття на основі силікону характеризується найкращим гідрофобізуючим ефектом, про що свідчить значення крайового кута змочування – 112 градусів [26].

Виходячи з вище наведених лабораторних дослідів можна зробити висновок, про те, що обробка частинок щебеню вказаними покриттями сприяє зниженню як питомої електричної провідності так і адгезії забруднювачів до щебеню. Тобто, розроблений метод може бути використано для підвищення надійності роботи систем СЦБ, а також термінів служби баластної призми [26, 31].

Але необхідно зазначити, що лакове покриття призвело до збільшення питомої електричної провідності у два рази (щебінь чистий з лаковим покриттям – 0,056 См/м, щебінь забруднений з тим же покриттям – 0,01 См/м) [31].

1.5 Аналіз методів утилізації відпрацьованого залізничного баласту

Існує два основних напрямки поводження з відпрацьованим щебенем: складування у відвалах та повторне використання як баласт або наповнювач будівельних матеріалів.

1.5.1 Складування у відвалах

Знятий колійний щебінь з відносно невисоким рівнем забруднення можна складувати у відвалах для хімічно інертних матеріалів. Колійний щебінь або інший баластний матеріал з високим та дуже високим рівнем забруднення необхідно попередньо очистити або розмістити у спеціальному відвалі згідно з діючим законодавством у сфері поводження з промисловими

відходами. На рисунку 1.13 представлено зовнішній вигляд відвалів забрудненого колійного щебеню відокремленого структурного підрозділу «Трудівський щебеневий завод» державного підприємства «Придніпровська залізниця» [8].



Рисунок 1.13 Забруднений колійний щебінь у відвалах [8]

Необхідно відмітити, що складування у відвалах — це найбільш екологічно небезпечний спосіб поводження з відпрацьованим колійним щебенем. У такий спосіб зберігання неможливо забезпечити надійний захист навколишнього середовища від надходження забруднюючих та небезпечних речовин. Під дією вітру пил з відвалів розноситься на достатні відстані, а під дією атмосферних опадів відбувається вилуговування важких металів, також вимиваються залишки нафтопродуктів. Все це сприяє забрудненню атмосферного повітря, ґрунту та підземних вод, за яке необхідно сплачувати екологічний податок та збиток.

1.5.2 Залізничний щебінь як наповнювач для бетонів

Найкращий спосіб утилізації колійного щебеню – це його повторне використання у будівництві. Як зазначалось вище, у Великобританії так утилізують більше 95 % відпрацьованого баластного матеріалу.

Так, за результатами дослідження [33] встановлено, що дрібні фракції колійного щебеню, розміром від 5 до 25 мм економічно доцільно використовувати як наповнювач для важкого бетону, асфальтобетону, основи дорожнього покриття. Це підтверджено результатами випробування на міцність та морозостійкість. За першим показником щебінь віднесено до марки И40, а за другим – не нижче F50, що повністю дозволяє повторно використати даний досліджений щебінь як крупний заповнювач для бетону. Але обов'язковою умовою використання відпрацьованого щебеню як наповнювача є попереднє очищення від нафтопродуктів, наприклад мазуту або мастильних матеріалів. Для порівняння міцність бетону, який виготовили з очищеного та неочищеного щебеню складала 34,5 Па та 30,8 Па, відповідно. При цьому міцність еталонного бетону – 35,1 Па. Витрата щебеню для приготування 1 м³ бетону – 1150 кг [33].

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження магістерської роботи є колійний щебінь з пасажирської станції. Досліджений щебінь – це подрібнений гранітний камінь. Колір досліджено граніту – світло сірий з рожевими та чорними вкрапленнями. Скоріше за все місце видобутку даного граніту – м. Кривий Ріг.

Граніт – це магматична порода світлого кольору з зернами, достатньо великими, щоб їх було видно неозброєним оком. Він утворюється внаслідок повільної кристалізації магми під поверхнею Землі. Граніт складається в основному з кварцу та польового шпату з незначною кількістю слюди, амфіболів та інших мінералів. Граніт вважається екологічно безпечним матеріалом за умови якщо радіаційне випромінювання від нього незначне. Основні переваги гранітного щебеню: довговічний, міцний, стійкий до стирання, ерозії, вилуговування та вивітрювання.

На рисунку 2.1 представлено відібрані зі станції зразки. Загальна кількість зразків – 24.



Рисунок 2.1 Зразки відібраного з пасажирської станції щебеню

На рисунку 2.2 представлено зовнішній вигляд очищеного та забрудненого щебеню.



Рисунок 2.2 Порівняння зразків очищеного та забрудненого щебеню

Для проведення кількісного аналізу вмісту важких металів було обрано рентгенофлуоресцентний метод, який найкраще підходить для аналізу твердих зразків [34].

2.3 Метод дослідження – рентгенофлуоресцентний аналіз

2.3.1 Характеристика рентгенівського випромінювання

Рентгенівське випромінювання (далі – X-ray) являє собою частину електромагнітного спектра, розташовану між ультрафіолетовим та гамма випромінюванням (рис 2.3). Дифракцію рентгенівських променів речовиною описують, розглядаючи їх як електромагнітні хвилі з довжиною хвилі λ . Процеси поглинання та розсіювання X-ray речовиною пояснюють, представляючи X-ray у вигляді фотонів з певною енергією E . Довжина хвилі та енергія фотонів пов'язані між собою таким співвідношенням [35, 36]:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

де h – постійна Планка ($6.6254 \cdot 10^{-34}$ Дж · с);

ν – частота (Гц);

c – швидкість проходження хвилі в вакуумі ($3.00 \cdot 10^8$ м / с);

λ – довжина хвилі (м);

E – енергія (Дж).

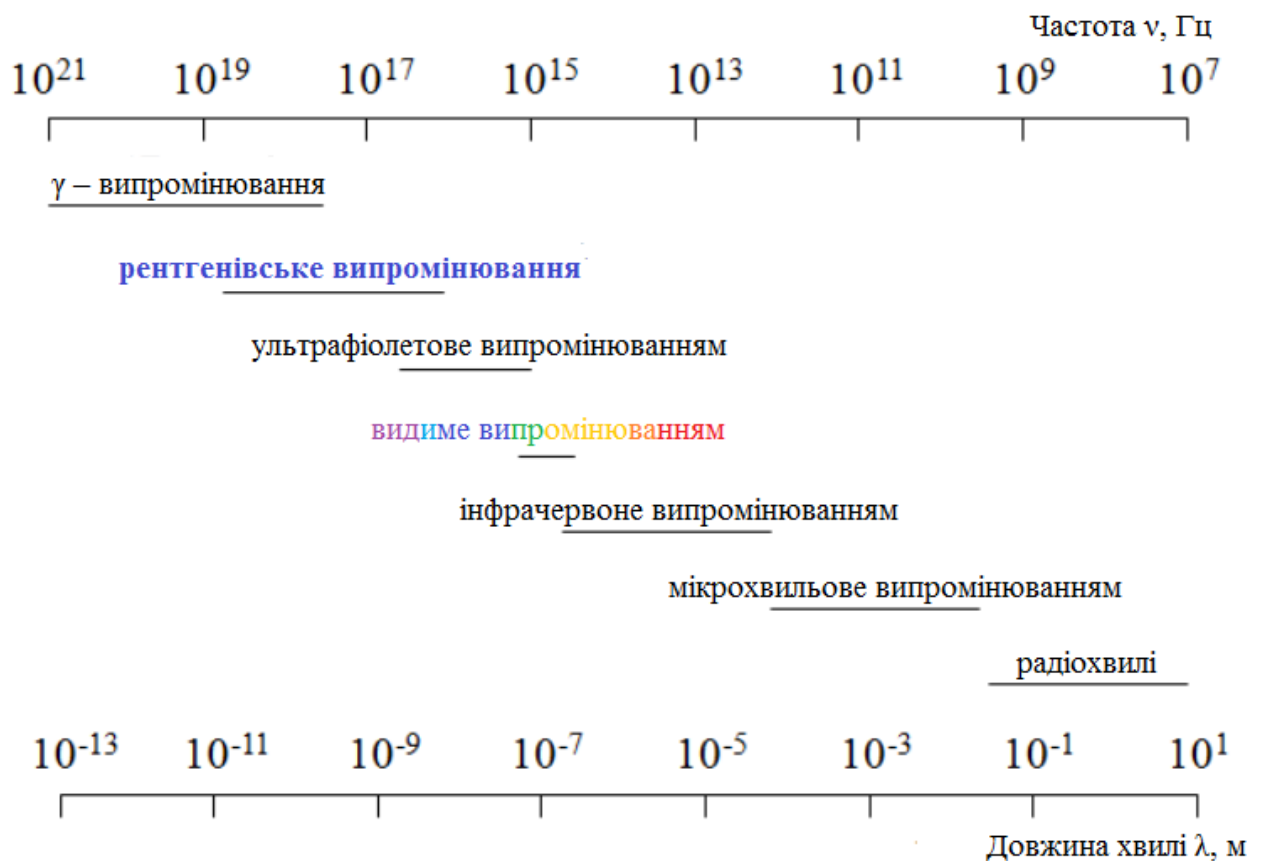


Рисунок 2.3 Області електромагнітного спектра

Залежно від природи виникнення рентгенівських променів розрізняють гальмівне і характеристичне випромінювання. Гальмівне випромінювання з'являється при гальмуванні заряджених частинок високої енергії. Характеристичне випромінювання є результатом високоенергетичних переходів електронів в електронних оболонках атомів [35, 36].

Найбільш поширеним джерелом X-гау в даний час є рентгенівська трубка (рисунок 2.4). Трубка складається з анода (А) та катода (К), які поміщені в металевий або скляний корпус з вікном для виходу X-гау. Працює вона при високому вакуумі від 10^{-3} до 10^{-6} торр. Електроди трубки (анод і катод) підключаються до джерела високої напруги – в кілька тисяч вольт. Під дією такої напруги електрони, випущені розпеченою ниткою катода, прискорюються до великої енергії та потрапляють на анод. При проходженні прискореного електрона через матеріал анода відбувається його гальмування в результаті взаємодії з електричними полями електронів і ядер атомів анода. При кожному зіткненні електрон гальмується, при цьому втрачена кінетична

енергія випускається у вигляді рентгенівського фотона. Тільки за одне зіткнення електрон може втратити будь-яку енергію від нуля до його власної енергії, що призводить до безперервного спектру [36].

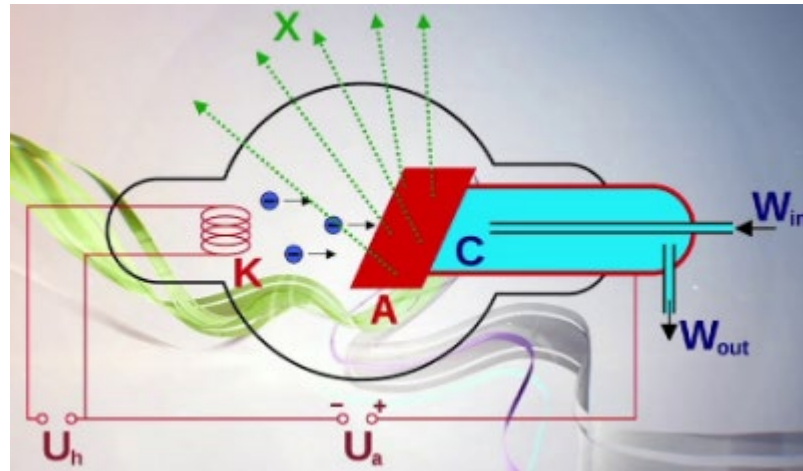


Рисунок 2.4 Схема рентгенівської трубки

Повне гальмування електрона в єдиному елементарному акті відбувається дуже рідко у порівнянні з випадками поступового гальмування у багатьох елементарних актах. Електрони, взаємодіючи з окремими атомами анода, втрачають різну кількість енергії. Внаслідок цього електрони, що потрапили на анод, і рухаються в матеріалі анода мають різну енергією.

Отже, збудження X-ray здійснюється електронами з різною кінетичною енергією і одержувані рентгенівські кванти можуть мати і велику довжину хвилі. Таким чином, з точки зору квантової теорії безперервний спектр X-ray утворюється завдяки випромінюванню безлічі електронів, кожен з яких випромінює один квант X-ray строго певної величини, що відповідає кінетичній енергії, що збереглась до моменту випромінювання [36].

Все рентгенівські трубки працюють за однаковим принципом: прискорення електронів в електричному полі і їх гальмування в потрібному матеріалі анода. При цьому необхідно вакуумувати шлях проходження пучка, щоб уникнути зіткнення з газовими молекулами. Усередині корпусу, тому, створюється вакуум. Вихід рентгенівського випромінювання з корпусу здійснюється через тонке берилієве вікно, проникне для цього випромінювання. Основні відмінності між типами трубок полягають в

полярності анода і катода, а також в розташуванні вихідних вікон. Два найбільш важливих типу – це трубка з бічним вікном і трубка з торцевих вікном.

При опроміненні анода електронами поряд із суцільним X-ray спектром виникає випромінювання, яке специфічно для матеріалу анода. Це випромінювання було названо характеристичним. Відкрили його в 1907 р Баркла і Седлер. Теорія характеристичного випромінювання була створена Косселем в 1916 р на основі теорії атома Бора. Згідно до зазначеної теорії електрони атома знаходяться на К, L, M, N і т.д. оболонках (рис. 2.5) [36].

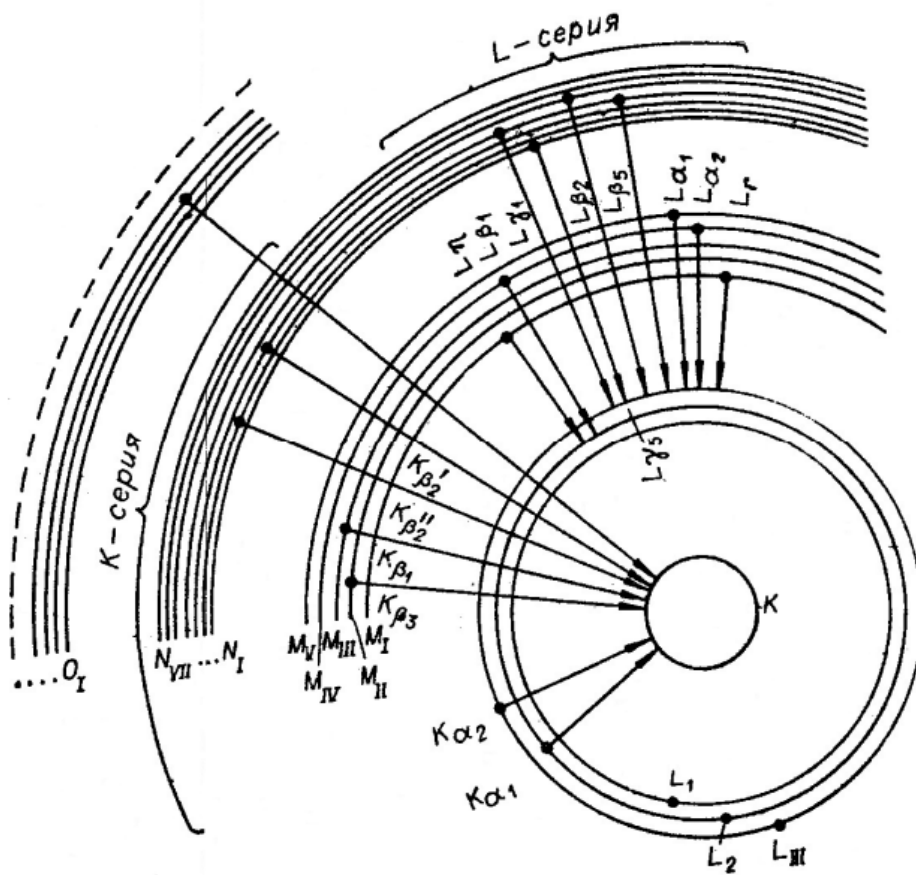


Рисунок 2.5 Схема рівнів енергії атома

Найближча до ядра – К-оболонка, наступні оболонки розташовані далі від ядра. Кожна оболонка може містити всього кілька електронів: К-оболонка – 2 електрони, L – 8, M – 18 і т.д. Якщо в оболонці міститься менша кількість електронів, то кажуть, що вона не заповнена або в оболонці є електронні вакансії – «дірки». Вакантне місце може бути заповнено, якщо один із

зовнішніх електронів перейде на оболонку де є вакансія. При переході, відповідно до теорії атома Бора, випускається квант енергії. Характеристичне X-ray випромінювання по Бору-Коссель, як раз і обумовлено переходами електронів між внутрішніми оболонками атома. Вакансія у внутрішній оболонці може бути створена за рахунок зіткнень електронів, що знаходяться на цій оболонці, з електронами катодного пучка. В результаті відбувається вибивання електрона з будь-якої внутрішньої оболонки, наприклад K або L, а на місце, що звільнилося переходить електрон з зовнішньої оболонки атома.

Перехід електронів з L-оболонки у K-оболонку ($L \rightarrow K$ -перехід) відповідає випромінюванню самої «м'якої», тобто найбільш довгохвильової лінії K_{α} . Перехід $M \rightarrow K$ відповідає випромінюванню більш «жорсткою» лінії K_{β} , далі йде лінія K_{γ} ($N \rightarrow K$ -перехід) і т.д. Всі ці лінії з'являються завдяки тому, що в первісному стані атом мав вакансію в K-оболонці. Прийнято всі лінії (K_{α} , K_{β} , K_{γ} і т.д.) об'єднувати в так звану K-серію. Аналогічно, якщо первісна вакансія утворена в L-оболонці, то переходи електронів з зовнішніх оболонок також дадуть лінії L_{α} ($M \rightarrow L$ -перехід), L_{β} ($N \rightarrow L$ -перехід) і т.д., які утворюють L-серію. У атомів із заповненими M, N, O і т.д. оболонками можлива поява M та N та серій ліній [36].

Таким чином, для виникнення серії X-ray ліній необхідно видалити електрони з відповідної внутрішньої оболонки. Місце, що звільнилося може бути заповнене електронами з будь-якої зовнішньої оболонки, тобто можлива поява будь-якої спектральної лінії серії. Зазвичай у процесах випромінювання X-ray квантів бере участь безліч атомів речовини, так як електрони первинного катодного пучка, взаємодіючи з атомами анода, можуть створити, наприклад, K-вакансії у багатьох атомах одночасно. Деякі з атомів випромінюють одну, інші - іншу лінії K-серії, отже, з'являється вся K-серія ліній [37].

Ясно, що поряд з K-серією випромінюються лінії і більш м'яких серій – L, M і т.д., тому що електрони, що бомбардують анод, можуть створити дірки не тільки в K-оболонці, але і в L, M і т.д. оболонках. Крім того, необхідно

враховувати, що після переходу електронів на К-оболонку з L-оболонки на останній в свою чергу з'являється вакансія, яка може «закриватися» переходом електронів з більш зовнішньої оболонки М або N. Таким чином, в рентгенівському спектрі вся серія ліній виникає одночасно, для цього необхідно, щоб енергія катодного електрона була достатньою для вибивання електрона відповідно з К-, L- або М-оболонок.

Теорія Бора дозволила легко зрозуміти походження характеристичного X-ray випромінювання. У свою чергу, вивчення X-ray спектрів мало велике значення для експериментального підтвердження моделі атома Бора-Резерфорда, а також для подальшого розвитку квантової теорії атома [34-36].

2.3.2 Взаємодія рентгенівського випромінювання з речовиною

При проходженні X-ray випромінювання через зразок (речовину) його інтенсивність уздовж початкового напрямку буде зменшуватися внаслідок дії двох різних по фізичній природі процесів: розсіювання і істинного поглинання. Для першого процесу характерна зміна первісного напрямку руху фотона. Енергія фотона та довжина хвилі X-ray при цьому або зберігаються (випадок когерентного або релєївського розсіювання), або зазнають зміни (некогерентного або комптонівське розсіювання). В процесі істинного поглинання відбувається зникнення фотона, а його енергія повністю витрачається на виривання одного з електронів атома, з яким сталося взаємодія. Механізмом такого поглинання є фотоефект. Імовірність фотоефекту відмінна від нуля в випадках, коли енергія взаємодії фотона достатня, щоб викликати перехід атома з основного стану в будь-який порушену. В результаті поглинання енергія цього фотона (так званого первинного фотона) перетворюється в кінетичну енергію фото- і оже електронів, а також в енергію випромінювання вторинних або флуоресцентних рентгенівських фотонів.

2.3.3 Флуоресцентне випромінювання

При поглинанні фотона первинного випромінювання з атома викидається фотоелектрон і утворюється вакансія в одній з внутрішніх оболонок. Зменшення енергії атома шляхом заповнення цієї вакансії більш віддаленим від ядра електроном можливо переходами двох типів: радіаційним з випусканням фотона характеристичного випромінювання і безрадіаційним з викиданням з атома ще одного електрона. У першому випадку атом випускає флуоресцентне випромінювання, у другому випадку – ні.

Якщо, наприклад, при поглинанні фотона первинного випромінювання утворилася вакансія в L_I -оболонці, то заповнення цієї вакансії електроном з M_{III} -оболонки, тобто перехід $L_I \rightarrow M_{III}$ призводить до випускання лінії $L_{\beta 3}$. Але можливо також заповнення L_I -вакансії електроном з L_{III} -оболонки. Якщо звільненої при цьому енергії достатньо для викидання власного електрона атома з оболонки M_V то такий електрон вилетить, залишивши атом з двома вакансіями: в L_{III} – і M_V -оболонках. Такий перехід атома записують $L_I \rightarrow L_{III}M_V$. Це безрадіаційний перехід, вперше досліджений Оже і часто званий оже-переходом.

Перехід від вимірної інтенсивності аналітичної лінії до вмісту елемента, що визначається – етап, який завершує процес рентгенофлуоресцентного аналізу. Його основне завдання – забезпечення отримання правильного значення концентрації елемента в аналізованому матеріалі. Цю задачу вирішують різними шляхами в залежності від типу і ступеня складності хімічного складу проби, а також вимог, що пред'являються до відтворюваності і правильності результатів аналізу.

Існуючі прийоми вирішення цього завдання класифікують по-різному. У найбільш поширеною класифікацією виділяють дві групи способів аналізу, що розрізняються визначенням відносної інтенсивності аналітичної лінії.

Якщо при знаходженні концентрації елементу інтенсивність його аналітичної лінії порівнюють з інтенсивністю такої ж лінії, зареєстрованої в

певній послідовності або одночасно від незалежного випромінювача, то прийнято вважати, що аналіз виконують способом зовнішнього стандарту. Якщо інтенсивність аналітичної лінії визначається елемента порівнюється з інтенсивністю будь-якої іншої лінії, зареєстрованої в певній послідовності або одночасно від того ж випромінювача, то прийнято вважати, що аналіз виконують способом внутрішнього стандарту. В якості внутрішнього стандарту може бути використаний будь-який сигнал, зареєстрованої від проби і змінюється зі зміною умов аналізу за тим же законом, що і аналітична лінія. Слід зазначити, що в способі зовнішнього стандарту при визначенні концентрації елемента порівнюють інтенсивності аналітичної лінії, зареєстровані від різних зразків, тому цей спосіб має багато прийомів, що дозволяють враховувати відмінність хімічних складів проб і робочих еталонів [36].

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТЕ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ЗАБРУДНЕНОМУ БАЛАСТНОМУ ШЕБЕНІ

Мета магістерської роботи полягала у проведенні детального якісного та кількісного аналізу баластного матеріалу, що досліджується, а саме у визначенні вмісту важких металів у забрудненому колійному щебені з пасажирської станції, де кожного дня зупиняється близько 70 потягів та проходять вантажні.

За результатами дослідження було встановлено, що на станції в якості баласту використовують подрібнене гранітне каміння.

Візуальний огляд показав, що гранітний камінь був вкритий товстим шаром металевого пилу, який досить важко змити водою. До проведення дослідження були висунуті наступні припущення:

- щебінь значно забруднений залізом, оскільки вкритий продуктами його корозії (Fe_2O_3);
- пил, що адсорбується на поверхні колійного щебеню містить такі важкі метали як марганець, хром, нікель, цинк, мідь, свинець та кадмій;
- враховуючи, що на станції постійно зупиняються пасажирські потяги якісний склад забруднень буде відображати якісний склад сталі для виготовлення коліс, рейок і найголовніше гальмівних колодок;
- найбільший вклад у забруднення баласту належить стиранню гальмівних колодок;
- найбільш забрудненим виявиться баластний щебінь з основних колій;
- на основі забруднення баласту можна буде прогнозувати кількісні та якісні зміни хімічного складу ґрунту безпосередньо прилеглого до колії;
- забруднення баласту II колії (запасної) буде дещо відрізнятись від забруднення основних колій, оскільки приміські поїзди можуть простоювати на ній більше ніж півгодини. За цей час частки мастильних матеріалів можуть потрапляти у між рейковий простір.

Із літературних джерел відомо, що основні хімічні з'єднання, що входять до складу граніту це діоксид силіцію (близько 70%) та оксид

алюмінію Al_2O_3 (близько 14%). За результатами дослідження встановлено вміст цих елементів як основних компонентів гранітного каменю. Результати дослідження представлено у вигляді діаграми на рисунку 3.1.

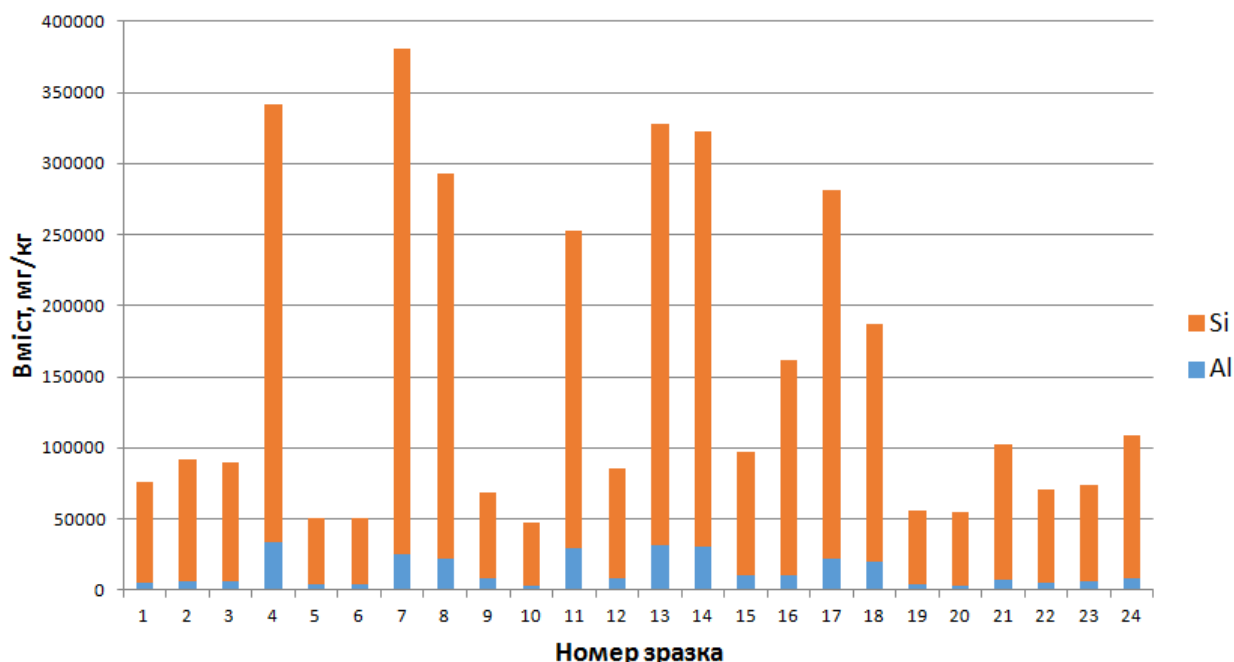


Рисунок 3.1 Вміст силіцію та алюмінію у досліджених зразках, мг/кг

3.1 Вміст заліза

Найбільший інтерес представляють дані щодо вмісту заліза, оскільки за обсягами емісії в результаті процесів стирання цей метал стоїть на першому місці, що підтверджується підрахунками, проведеними Швейцарськими залізницями [12]. Значний вміст заліза виявлено у ґрунтах, рослинах та пилу прилеглих до залізниць територій [11-16, 37-39]. Однак необхідно відмітити, що вплив залізничного транспорту на привнесення заліза у баласт, ґрунт, поверхневі та підземні води досліджується значно рідше, ніж вплив на привнесення інших важких металів. Так як залізо є нетоксичним металом та мікроелементом, який бере участь у багатьох біохімічних реакціях, входить до складу еритроцитів (гемоглобіну) і ядерного апарату всіх клітин. Сьогодні доведено, що залізо забезпечує функціонування більше сотні білків і ферментів у живому організмі. У порівнянні з такими важкими металами як ртуть, кадмій, свинець навіть надмірний вміст заліза не представляє значної

небезпеки для довкілля. Але обов'язково необхідно прийняти до уваги той факт, що наявність оксидів та хелатів заліза у ґрунті сприяє акумуляції інших важких металів. Тому визначення вмісту заліза у забрудненому колійному щебені є дуже доречним і дозволить спрогнозувати вміст інших важких металів. На рисунку 3.2 у вигляді діаграми представлено вміст заліза у зразках. Визначений вміст є аномальним та нехарактерним для граніту. Тобто результати відображають здебільшого не природний вміст, а саме забруднення.

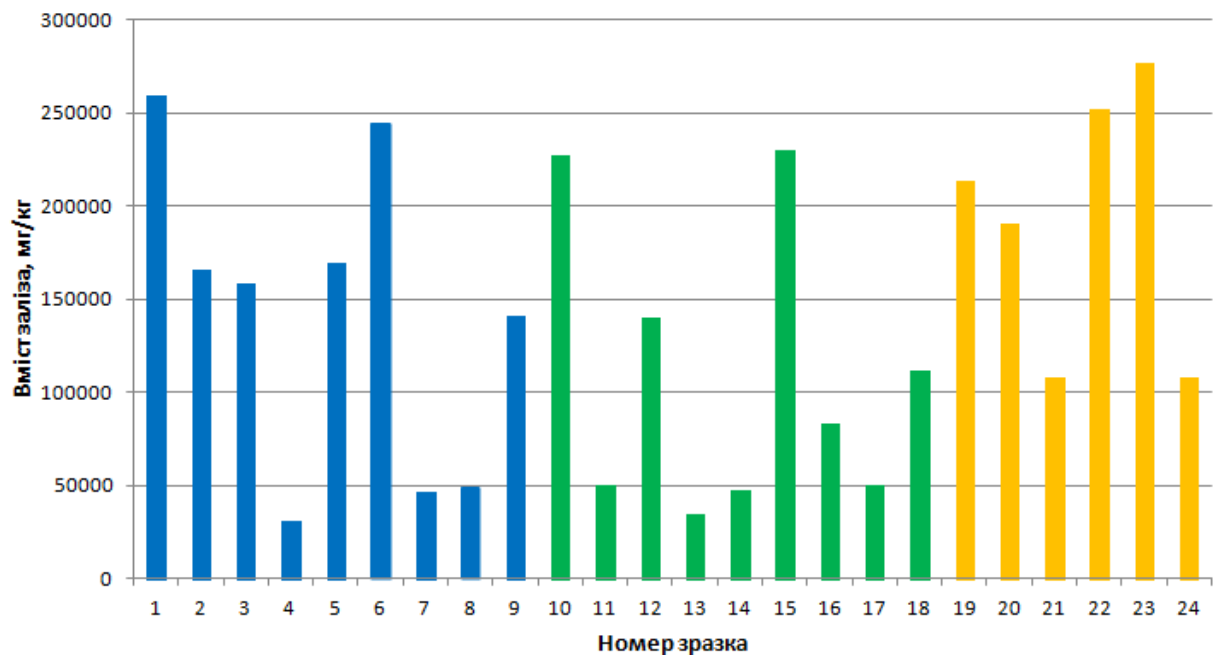


Рисунок 3.2 Вміст заліза у зразках щебеню (синій колір – перша колія, зелений – друга, жовтий – третя)

Залізо – основний компонент будь якої сталі та є основним забруднювачем залізничного баласту. На залізницях емісія Fe – закономірне явище, але мало вивчено, особливо в Україні, де викиди від тертя та зносу металевих елементів не підраховуються та відстежуються.

3.2 Вміст марганцю

Інший відомий компонент будь якої сталі – це марганець, якому також приділяється недостатньо уваги через незначну токсичність. У роботі [11] зафіксована одночасна емісія заліза та марганцю: у пилі, що утворюється під

час проходження вантажних поїздів на Fe та Mn приходить ся 75% масової концентрації, а під час пасажирських – 60%.

На рисунку 3.3 у вигляді діаграми представлено вміст марганцю. Цей метал є другим за обсяги емісії забруднювачем.

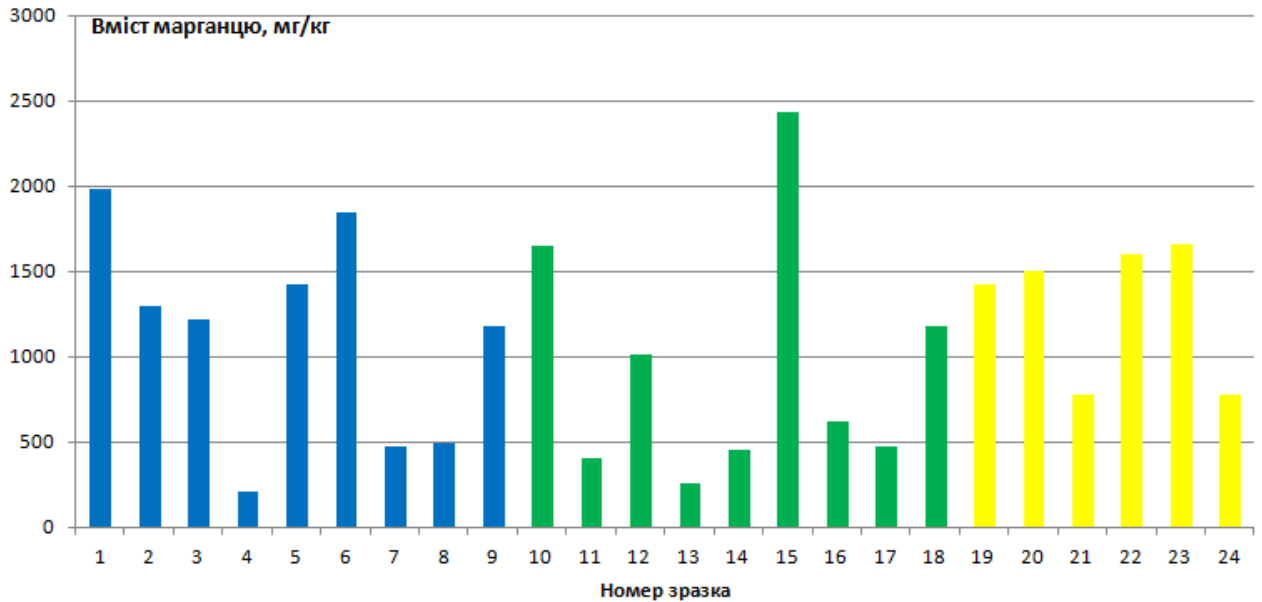


Рисунок 3.3 Вміст марганцю у зразках щебеню (синій колір – перша колія, зелений – друга, жовтий – третя)

3.3 Вміст міді

Трете місце за загальним вмістом у баластному щебені займає мідь. Цей метал є характер для залізниць, які електрифіковані. Джерело емісії цього металу – це стирання контактного проводу, який виготовлено з чистої міді.

Результати дослідження [40] підтвердили, що експлуатація залізниць призводить до максимального забруднення ґрунту на відстані 25 м від колії, що пояснюється висотою джерела її утворення. У дослідженні [41] зазначено, що мідь привноситься також за рахунок міграції з шпал, як залізобетонних, так і дерев'яних.

В магістерському дослідженні виявлено, що високий вміст міді характерний й для баласту. Можна зробити, що деяка частка від стирання мідного кабелю потрапляє у баласт з рахунок повільного осідання. Але більший вклад у забруднення баласту належить процесам тертя та стирання.

На рисунку 3.4 представлено процентний обсяг емісії від зносу різних елементів залізничної інфраструктури на Швейцарських федеральних залізницях. На мідний кабель припадає всього 1 % [12].

На рисунку 3.5 надані результати дослідження по вмісту міді у баластному щебені. Вміст цього металу є значним.

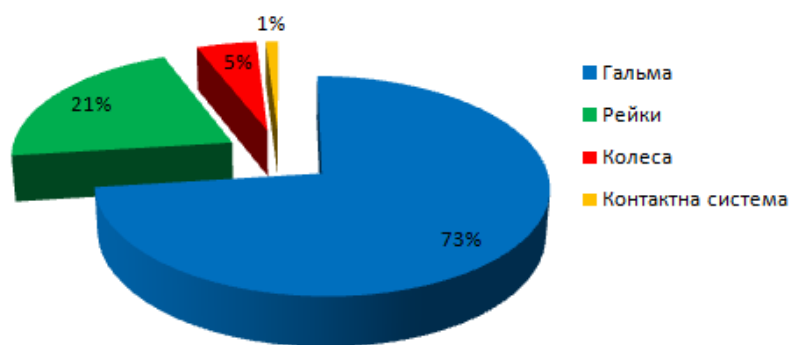


Рисунок 3.4 Процентний обсяг емісії від зносу різних елементів залізничної інфраструктури

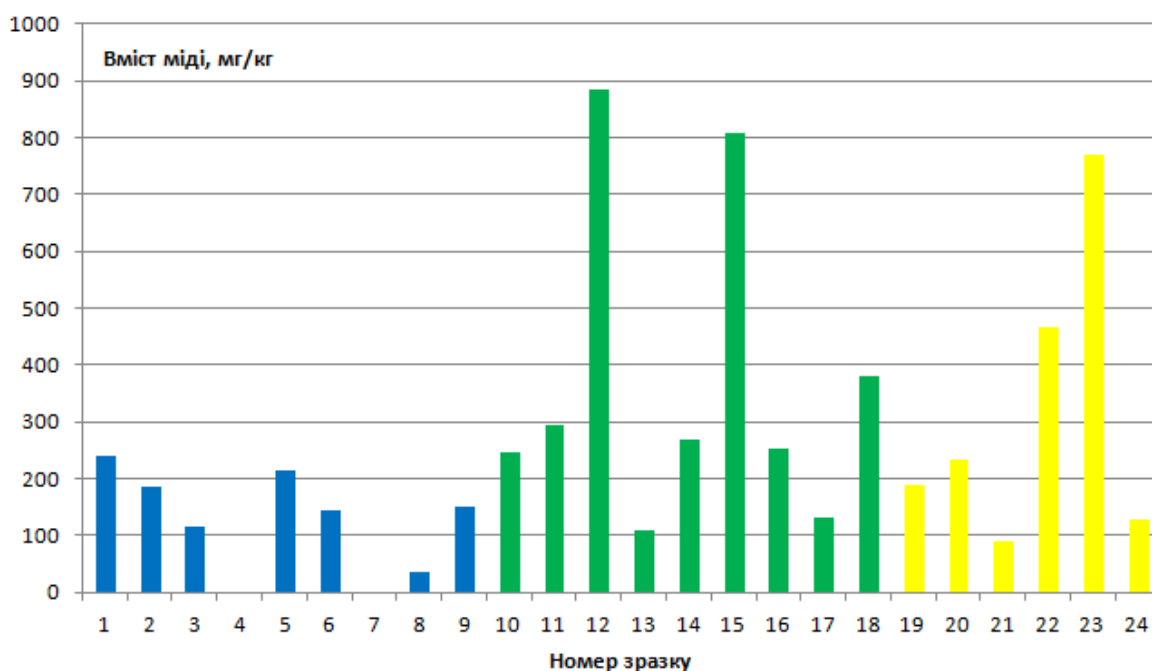


Рисунок 3.5 Вміст міді у зразках щебеню (синій колір – перша колія, зелений – друга, жовтий – третя). У зразках під номером 4 та 7 вміст міді був менше за межу виявлення

Мідь можна визначити як характерний для залізниць важкий метал. Вміст міді позитивно не корелюється з вмістом інших металів, що свідчить

про різні джерела її надходження. Мідь також додається до сталі для покращення її властивостей.

За даними [42] підтверджується вплив залізниць на привнесення Mn та Cu. Вміст міді та цинку негативно корелюється з вмістом ензимів у ґрунті, що негативно позначається на стані ґрунтових екосистем [42].

3.4 Вміст хрому

На четвертому місці за загальним вмістом важких металів розташовується хром. Хром є достатньо токсичним металом, хоча інколи додається до мінеральних добрив як мікроелемент. Також хром – це легуючий метал, який додається для покращення властивостей сталі, а також використовується як антикорозійне покриття. З'єднання шести валентного хрому провокують виникнення раку.

На рисунку 3.6 представлено вміст хрому та марганцю. На представленому графіку добре видно значну позитивну кореляцію між вмістом цих металів.

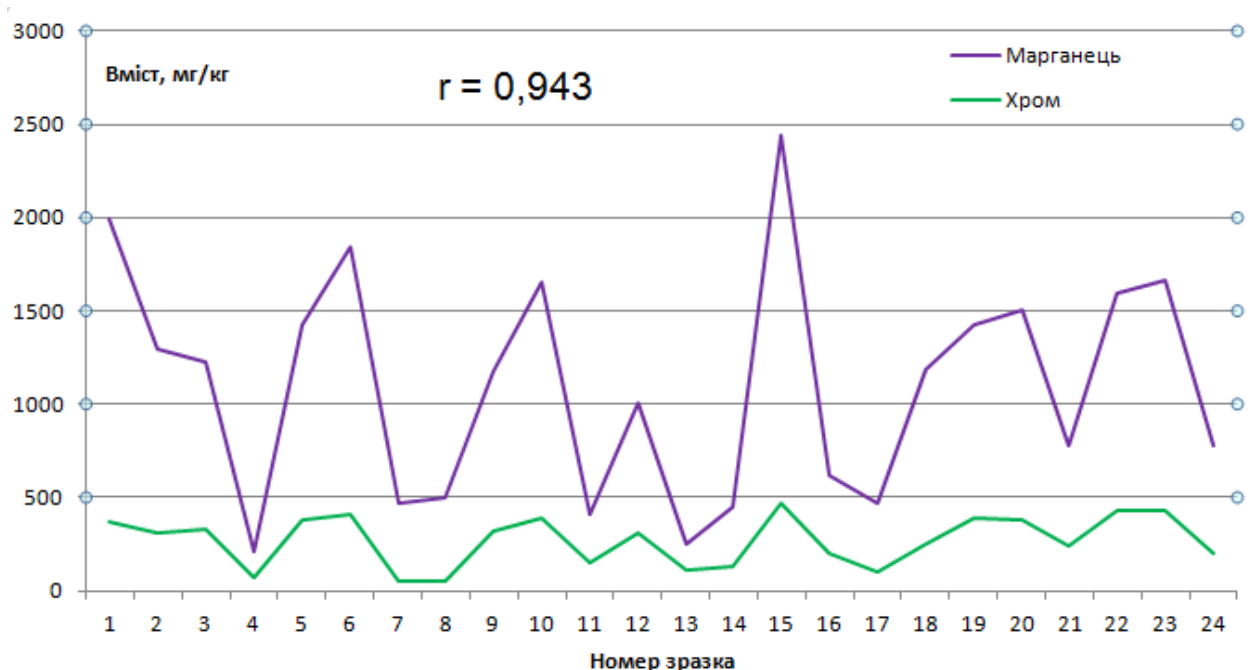


Рисунок 3.6 Вміст марганцю та хрому у зразках ґрунту

Отже, можна стверджувати, що ці метали надходять від одного джерела.

3.5 Вміст нікелю

П'яте місце за загальним вмістом важких металів займає нікель, який як і хром входить до складу сталі. Це класичний легуючий метал.

Як відмічають російські дослідники [43, 44] саме цим металом забруднені ґрунти смуги відводів залізниць.

За результатами дослідження встановлено, що чим більше вміст заліза у зразках, тим більше вміст нікелю, марганцю та хрому.

На рисунку 3.7 представлено вміст нікелю та хрому у досліджених зразках, встановлена значна позитивна кореляція між вмістом металів, що свідчить про однорідність джерело надходження.

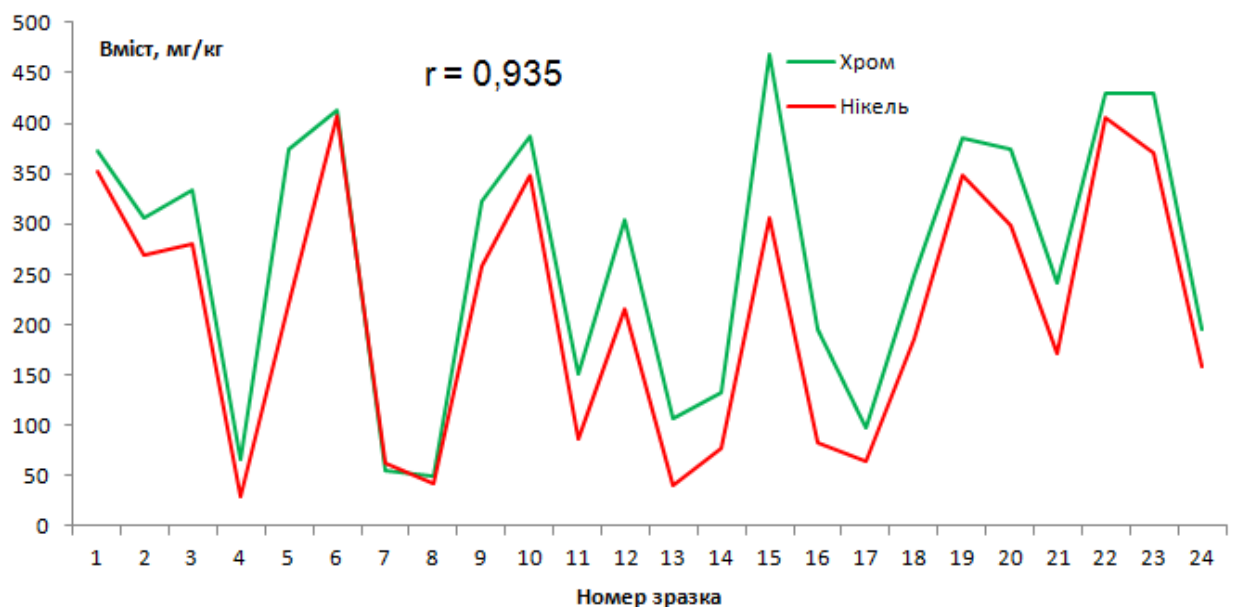


Рисунок 3.7 Вміст хрому та нікелю у зразках щебеню

3.5 Вміст цинку

Цинк багатьма дослідниками відмічається як типовий «залізничний» метал. Одним з ймовірних джерел називаються цинкове гальванічне покриття. Емісія цинку на Швейцарській залізниці складає 2750 г на км та 19,8 т на рік. За їхніми даними цей метал займає 3 позицію за обсягами викидів [12].

За результатами даного дослідження вміст цинку в забрудненому баластному щебені можна визначити як помірний. На рисунку 3.8 представлено вміст цинку у досліджених зразках.

Найбільший вміст цинку виявлено у зразку №15, у концентрації більш ніж 180 мг/кг. Для порівняння концентрація цинку у ґрунтах досліджених Wiłkomirski et al. [15]:

- під’їзний шлях 1264 та 1223 мг/кг;
- зона завантаження 206 та 228 мг/кг;
- платформа 1438 та 897 мг/кг;
- очисний майданчик 357 та 563 мг/кг.

Значний вміст цинку у ґрунтах як наслідок експлуатації залізниць відмічається у роботах [46, 47]

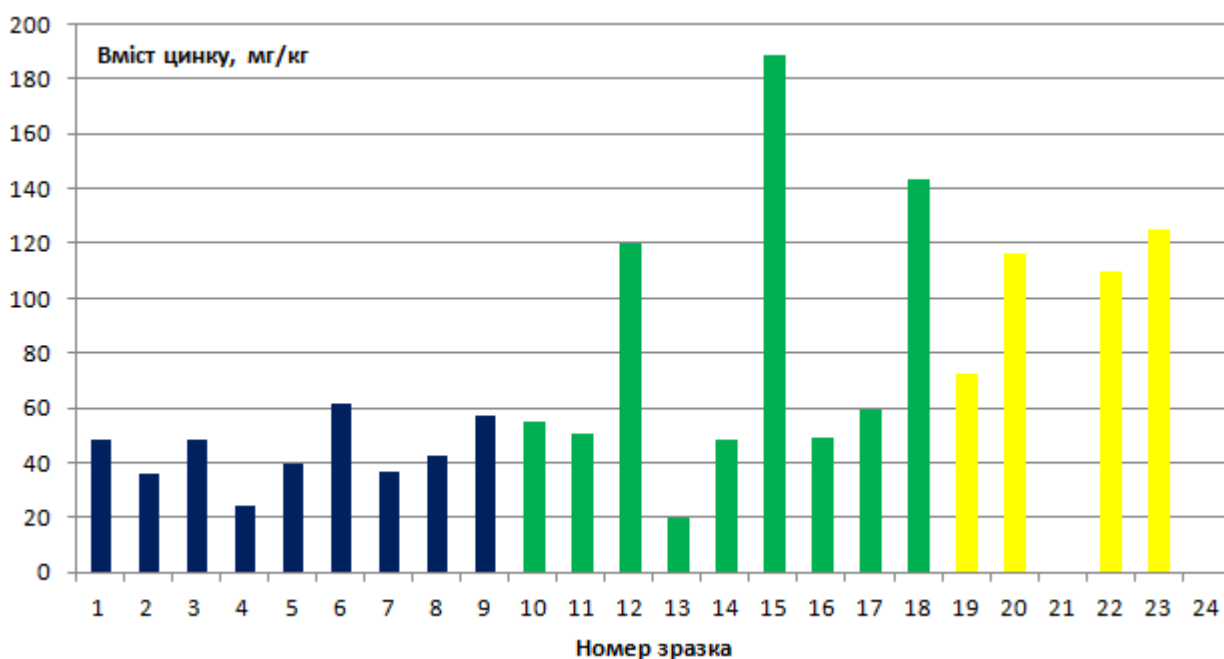


Рисунок 3.8 Вміст цинку зразках щебеню (синій колір – перша колія, зелений – друга, жовтий – третя). У зразках під номером 21 та 24 вміст міді був менше за межу виявлення

3.6 Вміст свинцю

За результатами дослідження встановлено, що вміст свинцю у забрудненому баластному шарі був незначним. Вміст свинцю важливо контролювати оскільки цей метал є достатньо токсичним. Його атомна маса складає 207,19, атомний номер – 82 та щільність – 11,3 г/см³. За цими

ознаками це класичний важкий метал. Але його токсичність визначається ступенем окислення. Незважаючи на те, що на валентній оболонці свинець має чотири електрони, його типовий ступінь окислення становить +2, а не +4, оскільки лише два з чотирьох електронів легко іонізуються. Крім нітратів, хлоратів та хлоридів, більшість неорганічних солей свинцю 2 + мають погану розчинність у воді.

Особливість забруднення ґрунту свинцем полягає в тому, що цей метал переважно накопичується у верхніх шарах, на глибині до 20 см і є немобільним, знаходиться у нерозчинних формах. Тобто підтримує свою концентрацію на певному рівні достатньо довгий час, забруднення свинцем є довготривалим. Без коригувальних заходів високий рівень свинцю у ґрунті ніколи не повернеться до норми. У навколишньому середовищі, як відомо, свинець токсичний для рослин, тварин та мікроорганізмів.

Основним джерелом свинцю вважаються вихлопи двигунів внутрішнього згорання.

Досліджений щебінь був відібраний на станції, що електрифікована. На поверхні щебеню не адсорбувались вихлопи двигунів локомотивів.

На рисунку 3.9 представлено вміст свинцю у досліджених зразках. Цей метал виявлено тільки у зразках з резервної колії.

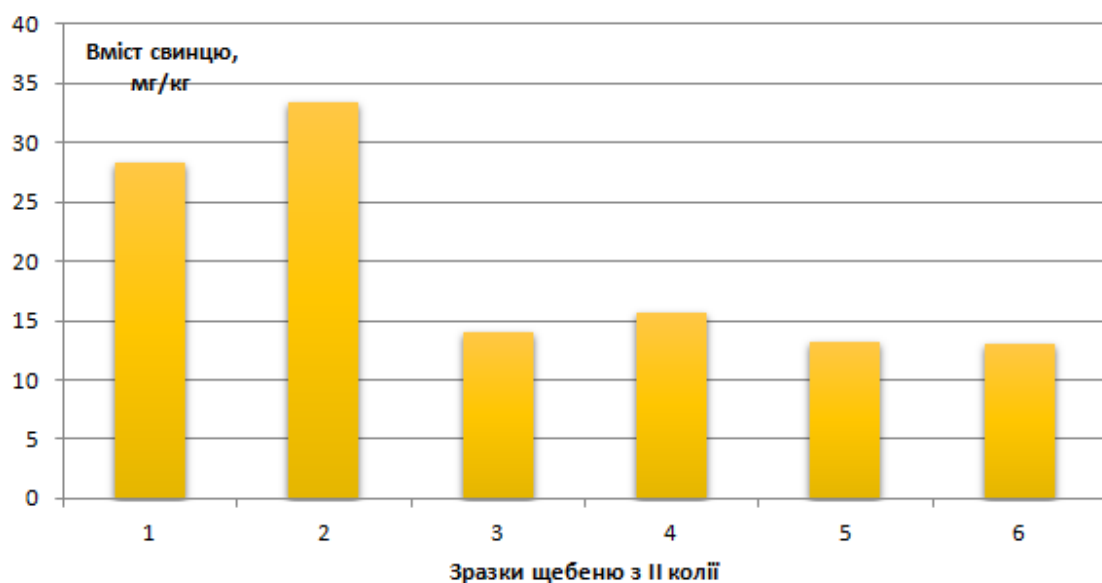


Рисунок 3.9 Вміст свинцю у досліджених зразках

Дане дослідження не підтверджує той факт, що залізничний транспорт сприяє накопичуванню свинцю у баласті і як наслідок у довкіллі. Хоча в деяких роботах Pb (і як правило кадмій) пов'язують з залізничними операціями [45–48]. Найбільший вміст свинцю був визначений у ґрунті запасного шляху – 448 та 494 мг/кг [15]. Це дещо співпадає з даними магістерського дослідження, так як свинець виявлено тільки у зразках з запасного шляху.

3.7 Вміст миш'яку

Миш'як (атомний номер 33) – це сріблясто-сіра крихка тверда речовина з атомною масою 74,9, питомою вагою 5,73, температурою плавлення 817 ° С (при 28 атм), температурою кипіння 613 ° С і тиском пари 1 мм рт. Ст. При 372 ° С. Миш'як – це напівметалевий елемент з хімічним символом «As». Миш'як не має запаху і смаку. Миш'як може вступати в реакцію з іншими елементами з утворенням неорганічних та органічних арсенатів та арсенітів. У навколишньому середовищі миш'як реагує з киснем, хлором та сіркою з утворенням неорганічних сполук миш'яку. Неорганічні сполуки миш'яку в основному використовуються для збереження деревини. Органічні сполуки миш'яку використовують як пестициди, зараз використання сполук As заборонено у всьому світі [49].

Вміст цього металу у ґрунті було досліджено у роботі [50]. Його максимальна концентрація склала 23 мг/кг, а мінімальна – 4 менше мг/кг. Але як відмічають автори такі значення концентрація As є високими у порівнянні з контрольними показниками.

На рисунку 3.10 представлено вміст цього металу у досліджених зразках. Миш'як було виявлено у 67 % відсотках зразків.

Для порівняння ГДК цього напівметалу у ґрунті промислових зон 140 мг/кг, житлових зон – 25 мг/кг (Німеччина). Небезпеку встановлений факт забруднення представляє у разі вимивання водорозчинних з'єднань атмосферними опадами у поверхневі та підземні води.

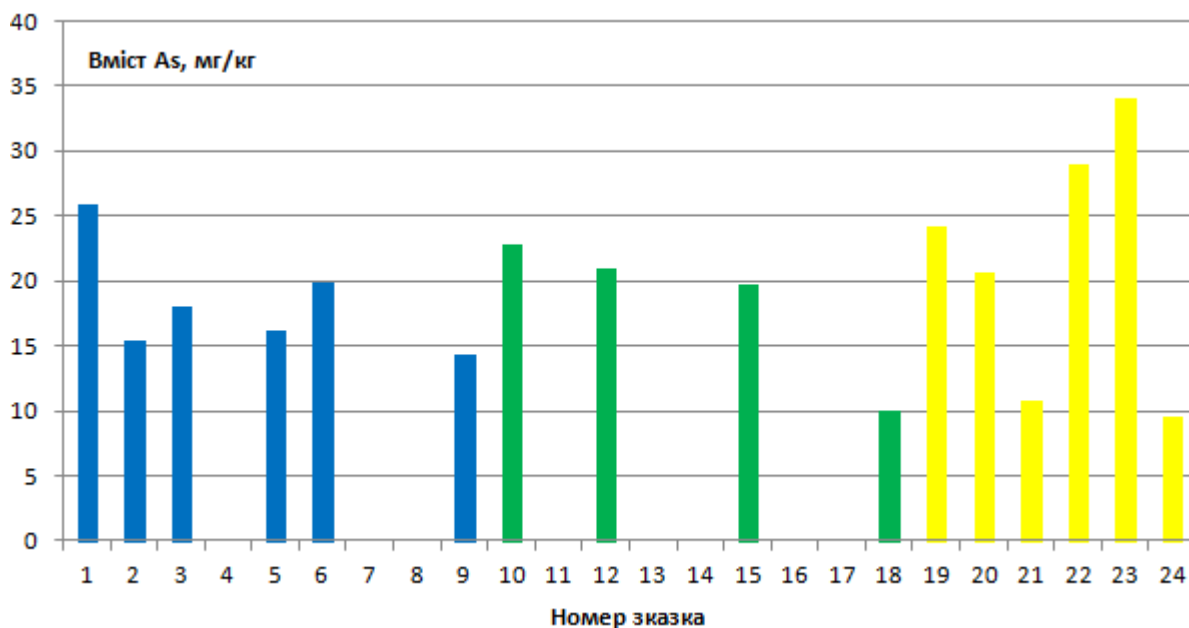


Рисунок 3.10 Вміст миш'яку у досліджених зразках щебеню (синій колір – перша колія, зелений – друга, жовтий – третя). У зразках під номером 4, 7, 8, 11, 13, 14, 16 та 17 вміст As був менше за межу виявлення

Миш'як є токсичним для людини та інших живих організмів. Це високотоксичний елемент, який існує у різних видів, і токсичність миш'яку залежить від його виду, рН, окисно-відновних умов та мікробною активності, що впливає на форму (неорганічну чи органічну) та ступінь окиснення миш'яку. Загальновизнано, що неорганічні види, арсеніт $[\text{As}^{3+}]$ та арсенат $[\text{As}^{5+}]$, є переважними видами у більшості середовищ, хоча органічні також можуть бути присутніми.

3.8 Вміст кадмію

У досліджених зразках не виявлено кадмію, який китайськими вченими визначено як основний забруднювач на залізничному транспорті. Вплив залізниць на привнесення кадмію задокументовано у роботах [45-48, 51, 52]. Ймовірне джерело надходження цього металу – вугільний пил та вихлопи двигунів [40, 53, 54]. Проте за емісією на SBB кадмій посідає останнє місце, всього 0,3 г на км та 0,002 т на рік [12]. Це пояснюється повною електрифікацією.

3.9 Вміст кобальту, вольфраму, олова, паладію, сурми, стронцію та

молібдену

Також не виявлено наступні метали: кобальт, вольфрам, олово, паладій, сурма та молібден. В роботі [55] також не підтверджується вплив залізниць на привнесення молібдену.

Вміст титану, ванадію, цирконію та стронцію представлено на рисунках 3.11-3.14.

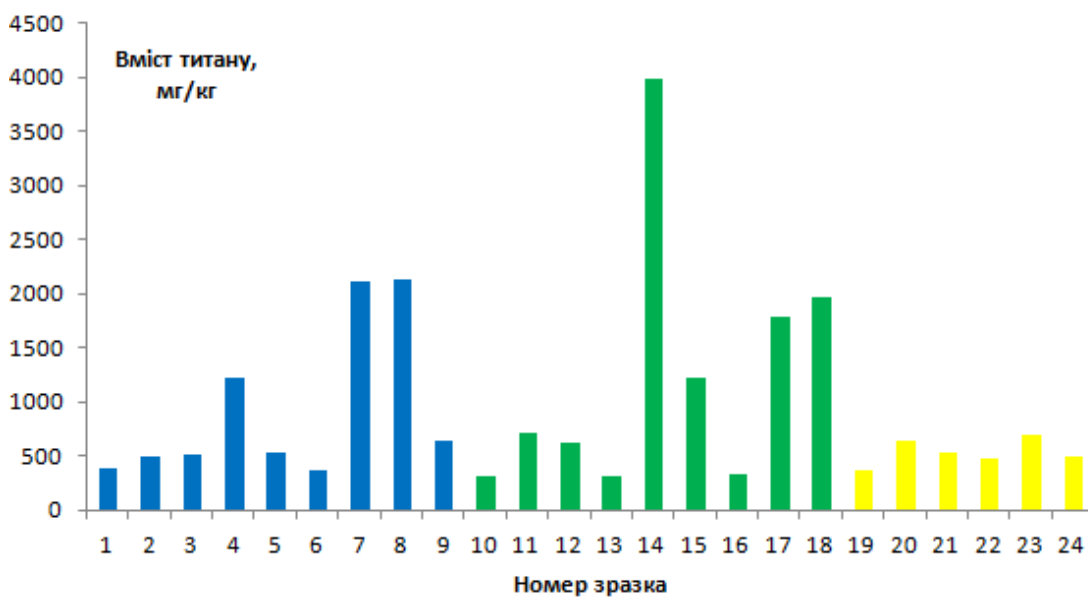


Рисунок 3.11 Вміст титану у досліджених зразках (синій колір – перша колія, зелений – друга, жовтий – третя).

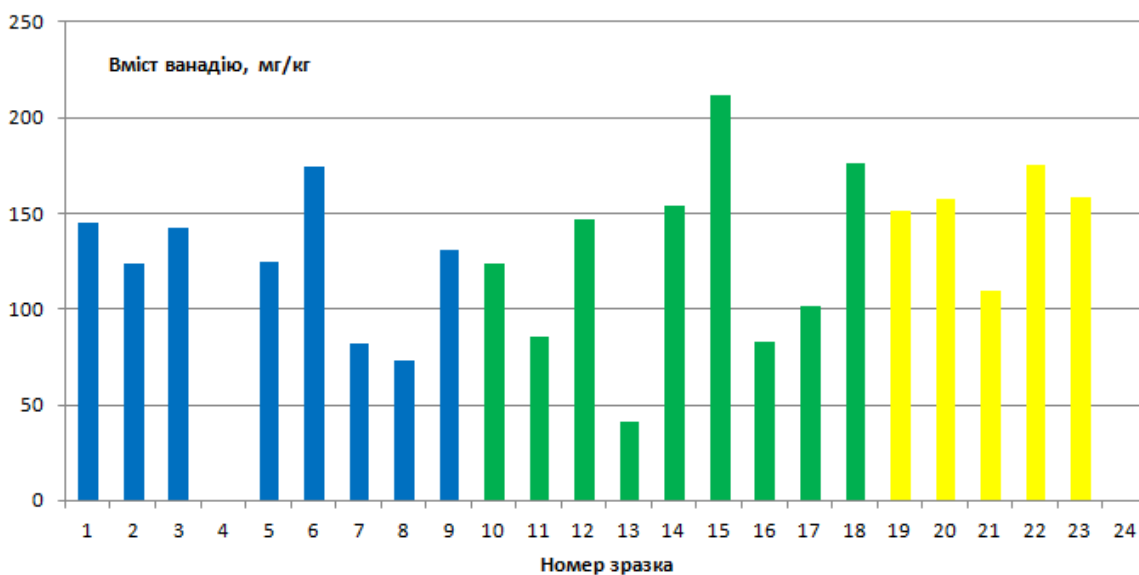


Рисунок 3.12 Вміст ванадію у досліджених зразках (синій колір – перша колія, зелений – друга, жовтий – третя). У зразку під номером 24 вміст ванадію був менше межі виявлення

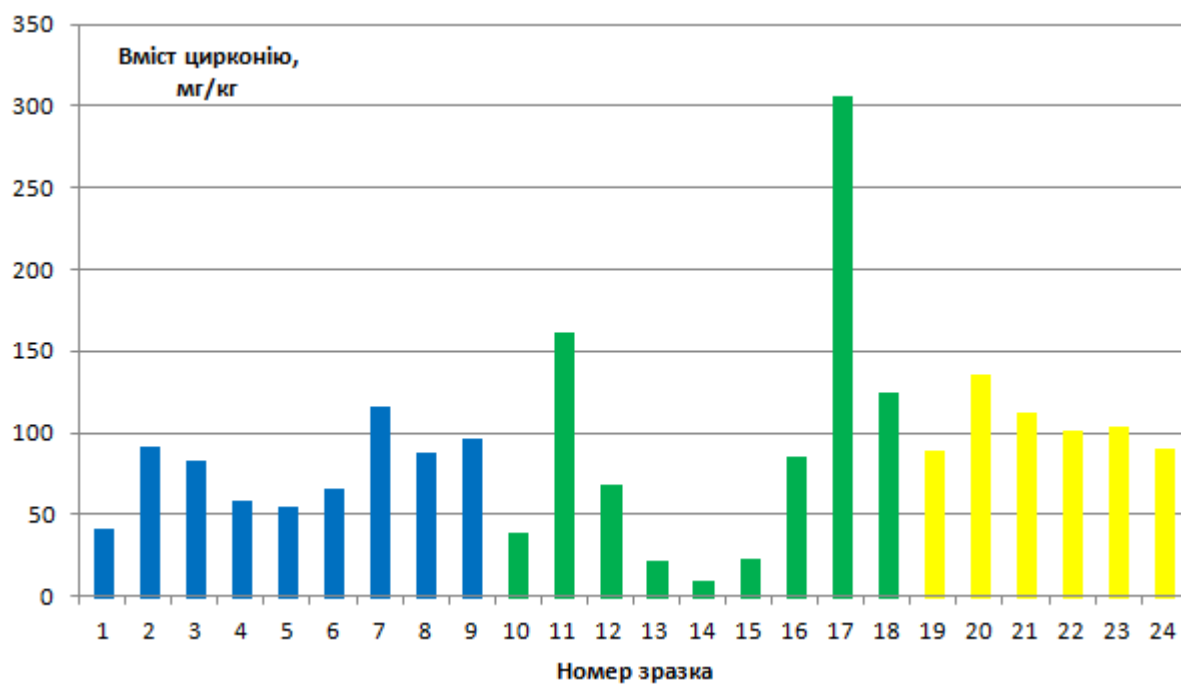


Рисунок 3.13 Вміст цирконію у досліджених зразках (синій колір – перша колія, зелений – друга, жовтий – третя).

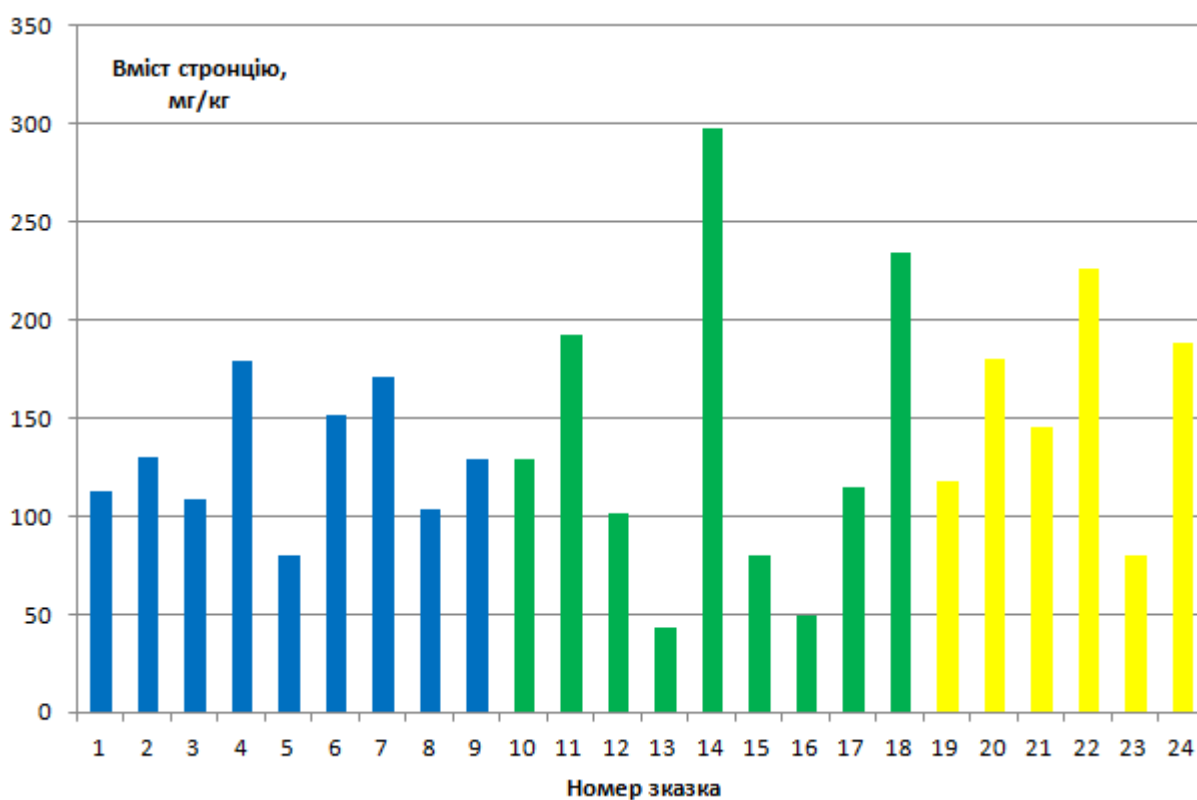


Рисунок 3.14 Вміст стронцію у досліджених зразках (синій колір – перша колія, зелений – друга, жовтий – третя).

За результатами дослідження забруднений баластний шар можна класифікувати як значне джерело важких металів. небезпека забруднення

баластної призми полягає в тому, що під дією атмосферних опадів відбувається вилуговування забруднюючих речовин.

Небезпека встановлено рівня забруднення полягає у подальшій контамінації довкілля, що представлено на рисунку 3.15.

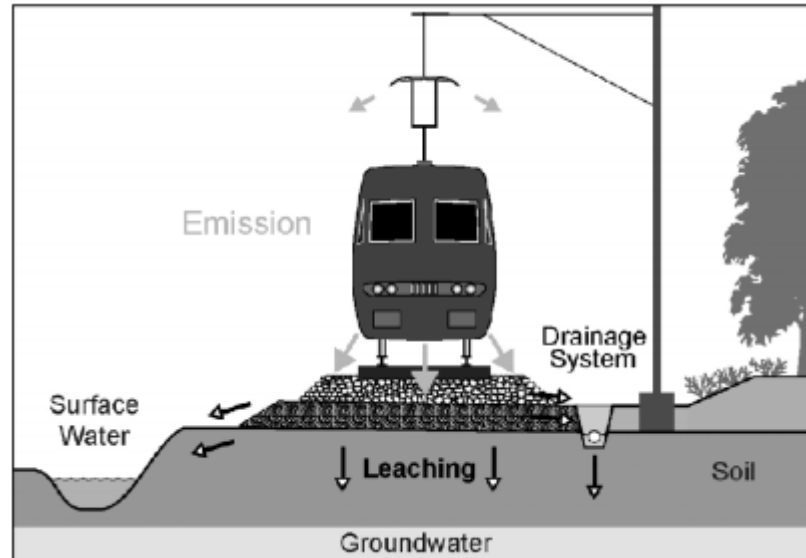


Рисунок 3.15 Забруднення довкілля як наслідок експлуатації залізничного транспорту [12]

Заходи з попередження забруднення довкілля та баласту проаналізовані у розділі 4.

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ЗАХОДІВ З ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ БАЛАСТНОГО ШАРУ

Існує декілька напрямів захисту баласту від забруднення. Перший – мінімізація втрати вантажів через негерметичність вагонів. Цей напрям потребує значних капітальних та поточних вкладень, перегляду термінів експлуатації та ремонту. Другий полягає у попередженні забруднення листям та гілками. Забруднення баласту органічними рештками, які перегнивають в ньому в подальшому стимулює ріст небажаної рослинності, що в свою чергу призводить до значних вкладень у боротьбу та знищення рослинності. На українських залізницях застосовують хімічні, термічні та механічні методи знищення рослинності. Це передбачає додаткові фінансові вкладення для належного утримання залізничної колії.

4.1 Захист баласту від небажаної рослинності та опалого листя

Небезпека рослинності у зоні баласту полягає в тому, що вона утримує воду, а потрапляючи під колеса знижує коефіцієнт зчеплення.

Якщо планується будівництво нової залізничної магістралі необхідно заздалегідь передбачити превентивні заходи для захисту баластної призми від забруднень. А також правильно влаштувати смугу відводу.

Як приклад можна розглянути конструктивні методи захисту баласту від рослинності як фактора, що знижує рівень надійності роботи залізничної інфраструктури та безпеки руху.

Конструктивні методи передбачають наступне [18]:

- укладання шару асфальту в фундамент залізничного полотна;
- будівництво різних типів бар'єрів та узбіч (рисунки 4.2)
- вставка спеціальної тканини або фольги у зоні бровки.

Зазначені заходи є достатньо дорогими, але ефект від їх впровадження довготривалий, на відміну від інших більш бюджетних та екологічно небезпечних методів.



Рисунок 4.1 Узбіччя для захисту баластної призми від рослинності

Механічні методи передбачають своєчасне видалення (вручну або за допомогою спеціальних машин), покіс та обрізку небажаної рослинності.

На рисунку 4.2 представлено схему обрізки високих дерев та кущів, які створюють тінь у зоні баластної призми та листя яких представляє небезпеку для баласту. Також, можливе встановлення захисних заборів, які попереджують накопичення листя у баласті [56].

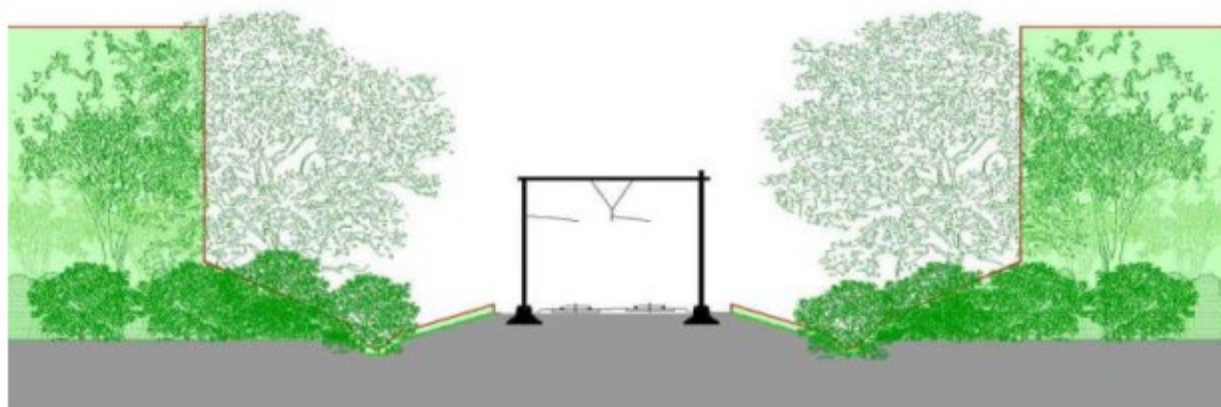


Рисунок 4.2 Схема контролю рослинності для запобігання забруднення баласту [56]

Колії також можна захистити від листя парканами вздовж магістралі. У Нідерландах такі огорожі пофарбовані в яскраво-помаранчевий колір і, таким чином, також служать нагадуванням машиністу про місцевий ризик низької адгезії через подання листя [57].

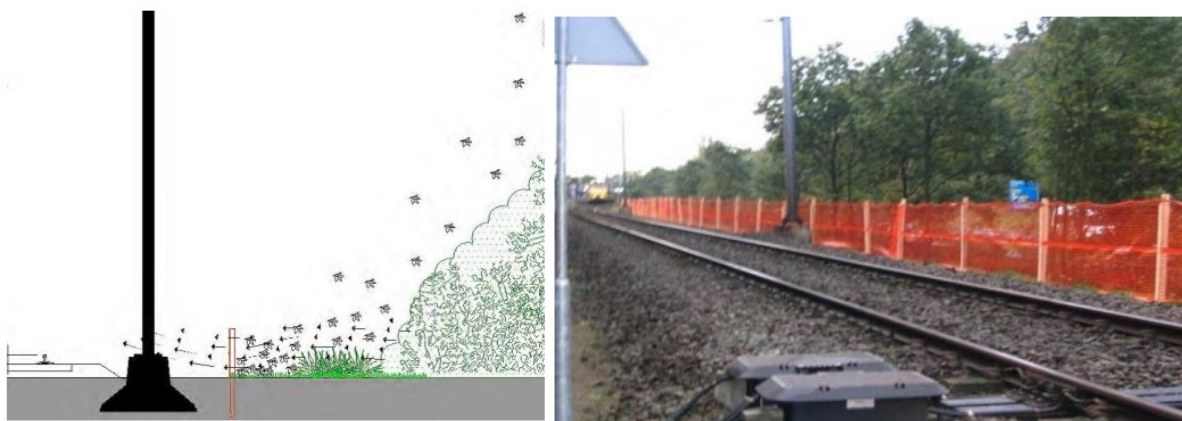


Рисунок 4.3 Спеціальні захисні огорожі, які попереджують забруднення баластної призми опалим листям (колір огорожі попереджує машиністів про ризик низької адгезії через потрапляння мокрого листа на рейки)

4.2 Імобілізація іонів важких металів геоматеріалами, що укладаються під баласт

Зовсім інший підхід, який запобігає міграції важких металів з баластної призми та їх потраплянню у підземні або поверхневі води – це використання спеціального додаткового шару під суббаластом.

Мінеральні геоантидоти (MGa) – це тверді важкорозчинні техногенні, штучні, природні речовини в дисперсійній формі або сполучних системах. Вони мають склад, що відповідає природному складу кори (силікати кальцію і магнію та гідросилікати). Вони можуть знешкоджувати (імобілізувати) забруднювачі, наприклад іони важких металів, утворюючи важкорозчинні речовини. Це спонтанна реакція ($\Delta G^0_{298} < 0$). Було виявлено, що деякі в'язучі системи та готові матеріали, що складаються з силікату кальцію та гідросилікат магнію мають нейтралізуючу здатність проти іонів важких металів [58-61].

Авторами [58] було введено поняття геоекозахисної активності для використання кількісної характеристики геоекозахисних властивостей мінеральних геоантидотів. Геоекопротекторна активність ($A_{\text{геп}}$) – це здатність мінеральних антидотів нейтралізувати забруднювачі незалежно від механізму процесу очищення. Специфічна геоекозахисна активність – це відношення

маси нейтралізованих забруднювачів до одиниці маси мінеральних антидотів. Геоекопротекторна активність розраховується за формулою (4.1):

$$A_{\text{гер}} = \frac{(C_i - C_r)}{m}$$

де $A_{\text{гер}}$ – геоекопротекторна активність мінеральних антидотів, мг/г;

C_i – початкова концентрація іонів важких металів, мг/л;

C_r – залишкова концентрація іонів важких металів, мг/л;

V – об'єм розчину, л;

m – маса мінерального антидоту, г.

Геоекопротекторна активність залежить від різних початкових концентрацій іонів важких металів у розчинах (табл. 4.1). А значення $A_{\text{гер}}$ досліджених матеріалів зростає, коли також збільшується початкова концентрація іонів важких металів. Значення геоекозахисної активності розраховували для фракцій будівельних відходів 0,14-0,315 мм. У той же час розрахунки показали, що ефективність обробки знижується, коли концентрація катіону металу збільшується у вихідному розчині.

Таблиця 4.1

Залежність геоекозахисної активності будівельних відходів від початкової концентрації іонів важких металів у розчинах (частка матеріалів становить 0,14-0,315 мм) [58]

Будівельні відходи	Геоекопротекторна активність, $A_{\text{гер}}$, мг/г, до іонів важких металів			
	Pb (II)	Pb (II)	Cd (II)	Cd (II)
Автоклавний пінобетон	2,48	22,07	1,05	5,95
Силікатна цегла	2,41	10,73	0,99	3,66
Початкова концентрація іонів важких металів, моль/л	10^{-4}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-3}

Технологічне рішення із застосуванням геоекопротекторів під баластним шаром та сполучними системами базується на геомембранній технології, розробленій авторами [62, 63].

Така геоєкозахисна конструкція (рисунок 4.4) забезпечить деконтамінацію баласту важкими металами та іншими забруднювачами, перш ніж вони разом зі стоками потраплять у дренажну систему вздовж дорожнього полотна.

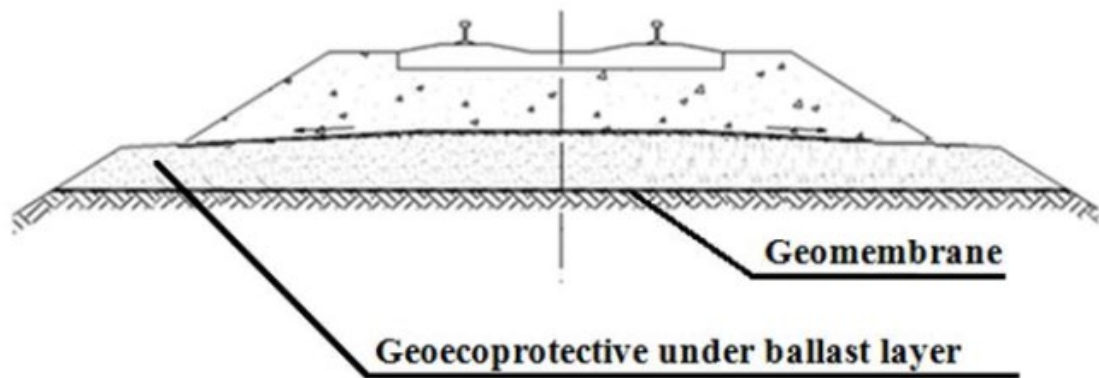


Рисунок 4.4 Залізнична колія з геоєкозахистом під баластним шаром

4.3 Спеціальні металеві конструкції для захисту баласту та довкілля від забруднень

Американська корпорація «Contech» розробила спеціальні модульні системи сталевих піддонів та дренажів під торговою назвою Contech Collector Pans™. Ці спеціальні модульні системи легко можна встановити як на існуючих, так і на нових коліях. Їх основне призначення – уловлювання палива, олив, мастил та інших забруднювачів, що проливаються або протікають у баластну призму.

Дані системи вже встановлені на сотнях об'єктів залізниць і на промислову виробництві. Піддони-колектори запобігають забрудненню рідиною на заправних станціях, коліях, ділянках навантаження і розвантаження цистерн, мийних приміщення – всюди, де масла, хімікати та інші забруднювачі можуть капати з стоячих вагонів автомобілів і потрапляють у каналізацію і водотоки. Колекторні піддони «Contech» виготовляють з оцинкованої та чорної сталі. Вони можуть використовуватись багаторазово. Модульна конструкція дозволяє легко демонтувати та замінювати пошкоджені під час аварії елементи.

На рисунку 4.5 представлено зовнішній вигляд зазначених сталевих конструкцій.



Рисунок 4.5 Сталеві конструкції для попередження забруднення баластної призми та довкілля Contech Collector Pans [64].

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК СУМИ ЕКОПОДАТКУ ЗА РОЗМІЩЕННЯ БАЛАСТНОГО ЩЕБЕНЮ ТА ЕКОЗБИТКУ

5.1 Розрахунок суми екологічного податку за розміщення відпрацьованого баластного щебеню

Для обґрунтування впровадження будь-яких природоохоронних заходів важливо підрахувати суму екологічного податку, який відповідно до законодавства України, обов'язково доведеться сплатити суб'єкту господарювання. В магістерській роботі цим суб'єктом може виступає ДП «Придніпровська залізниця», тому що дослідження проведені на ділянці шляху, яка належить саме цьому державному підприємству. Ставки податку прописані у восьмому розділі Податкового Кодексу України.

На рисунку 5.1 представлено розроблену схему поводження з відпрацьованим баластним матеріалом.



Рисунок 5.1 Два шляхи поводження з забрудненим колійним щебенем

З еколого-економічної точки зору знятий з колії баластний матеріал можна розглядати як відхід i -того класу небезпеки в залежності від рівня та характеру забруднення (визначається за діючими методиками, наприклад Державні санітарні правила «Встановлення класу небезпеки відходів»), так і

цінний вторинний ресурс, який можна повторно використовувати або продати та отримувати додатковий дохід.

Відповідно до діючого законодавства екологічний податок за розміщення відпрацьованого залізничного щебеню розраховується за формулою 5.1. Дана формула є стандартною та застосовується всіма суб'єктами господарювання (Податковий Кодекс України, стаття 249.6.) [65]:

$$\text{Прв} = \sum_{i=1}^{\Pi} (H_{\Pi i} \cdot M_{\Pi i} \cdot K_T \cdot K_o) \quad (5.1)$$

де $H_{\Pi i}$ – ставки податку в поточному році за тонну i -того виду відходів у гривнях з копійками;

$M_{\Pi i}$ – обсяг відходів i -того виду в тоннах [65];

K_T – корегувальний коефіцієнт, який враховує розташування місця розміщення відходів (дорівнює 1 якщо відпрацьований щебінь розміщено за на відстані більш ніж 3 км і від меж населеного пункту та дорівнює 3, якщо в межах населеного пункту або відстань менше 3 км) [65];

K_o – корегувальний коефіцієнт, який дорівнює 3 і застосовується у разі розміщення відходів на звалищах, які не забезпечують повного виключення забруднення атмосферного повітря або водних об'єктів [65].

Отже, розрахуємо суму екологічного податку за розміщення 70 000 м³ колійного щебеню на спеціалізованому полігоні, який забезпечує надійний захист довкілля від забруднення унаслідок впливу кліматичних та погодних умов на стан розміщеного відходу. Для перерахунку об'єму (м³) в тонни приймемо щільність баластного матеріалу, а саме гранітного щебеню рівною 2,7 т/м³ (значення для граніту). За формулою 5.2 розрахуємо масу відпрацьованого гранітного щебеню.

$$m = p \cdot V = 2,7 \cdot 70\,000 = 189\,000 \text{ тонн} \quad (5.2)$$

Якщо за результатами оцінки відпрацьованому баласту буде присвоєно перший клас небезпеки, то доведеться сплати наступну суму:

$P_{pv} = 1405,65 \cdot 189000 \cdot 1 \cdot 1 = 265667850$ грн (за умови забезпечення захисту довкілля)

$P_{pv} = 1405,65 \cdot 189000 \cdot 1 \cdot 3 = 7970035550$ грн (за умови розміщення без належного захисту довкілля).

В даному випадку необхідно розуміти, що ступінь забруднення баластного матеріалу повинна бути надзвичайно високою, наприклад в результаті аварії з небезпечними вантажами. Як правило клас небезпеки відпрацьованого колійного щебеню нижче.

Якщо за результатами оцінки відпрацьованому баласту буде присвоєно другий клас небезпеки, то доведеться сплати наступну суму:

$P_{pv} = 51,2 \cdot 189000 \cdot 1 \cdot 1 = 9676800$ грн (за умови забезпечення захисту довкілля)

$P_{pv} = 51,2 \cdot 189000 \cdot 1 \cdot 3 = 29030400$ грн (за умови розміщення без належного захисту довкілля).

Якщо за результатами оцінки відпрацьованому баласту буде присвоєно третій клас небезпеки, що є більш ймовірно, то доведеться сплати наступну суму:

$P_{pv} = 12,84 \cdot 189000 \cdot 1 \cdot 1 = 242676$ грн (за умови забезпечення захисту довкілля)

$P_{pv} = 12,84 \cdot 189000 \cdot 1 \cdot 3 = 728028$ грн (за умови розміщення без належного захисту довкілля).

Якщо за результатами оцінки відпрацьованому баласту буде присвоєно четвертий клас небезпеки (мало небезпечні відходи), то доведеться сплати наступну суму:

$P_{pv} = 5 \cdot 189000 \cdot 1 \cdot 1 = 94500$ грн (за умови забезпечення захисту довкілля)

$P_{pv} = 5 \cdot 189000 \cdot 1 \cdot 3 = 283500$ грн (за умови розміщення без належного захисту довкілля).

Останній варіант розвитку подій є більш типовим у сфері поводження з відпрацьованим баластним матеріалом.

5.2 Розрахунок суми екологічного збитку за засмічення земель

Розрахунок проводимо відповідно до Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства, затвердженої наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища від 27.10.1997 № 171 (далі – Методика).

При очищенні баластної призми колійною машиною RM-80 видалені дрібні щебеневі фракції та інші забруднювачі можуть відсипатись за межі колії, тобто на узбіччя, що продемонстровано на рисунку 5.2.



Рисунок 5.2 Відсипання відпрацьованого щебеню на узбіччя поблизу колії (протиправні дії за які передбачено стягнення штрафу, екозбитку)

Відповідно до Методики забруднення земель – це накопичення в ґрунтах і ґрунтових водах внаслідок антропогенного впливу пестицидів і агрохімікатів, важких металів, радіонуклідів та інших речовин, вміст яких перевищує природний фон, що призводить до їх кількісних або якісних змін. Землі вважаються засміченими, якщо на відкритому ґрунті наявні сторонні предмети і матеріали, сміття без відповідних дозволів, що призвело або може призвести до забруднення навколишнього природного середовища.

Факти забруднення (засмічення) земель встановлюються уповноваженими особами, які здійснюють державний контроль за додержанням вимог природоохоронного законодавства шляхом оформлення актів перевірок, протоколів про адміністративне правопорушення та інших матеріалів, що підтверджують факт забруднення та засмічення земель. При виявленні засмічення визначаються на місці обсяги засмічення відходами та інші показники, які необхідні для визначення розмірів шкоди. [66].

Розмір шкоди внаслідок засмічення земель визначається за стандартною формулою [66]:

$$P_{\text{ШЗ}} = A \cdot B \cdot \Gamma_{\text{ОЗ}} \cdot \Pi_{\text{ДЗ}} \cdot K_{\text{ЗЗ}} \cdot K_{\text{НВ}} \cdot K_{\text{ЕГ}} [66]$$

$P_{\text{ШЗ}}$ – розмір шкоди від засмічення земель, у гривнях [66];

A – питомі витрати на ліквідацію наслідків засмічення земельної ділянки, значення якого дорівнює 0,5 [66];

B – коефіцієнт перерахунку, що при засміченні земельної ділянки побутовими, промисловими та іншими відходами дорівнює 10, а небезпечними (токсичними) відходами – 100 [66]. Розрахуємо для двох випадків: промислові та небезпечні відходи. Враховуючи той факт, що невідомо чим забруднений баласт.

$\Gamma_{\text{ОЗ}}$ – нормативна грошова оцінка земельної ділянки, що зазнала засмічення, грн./кв.м [66]. На сайті під назвою «Загальнонаціональна (Всеукраїнська) нормативно грошова оцінка земель сільськогосподарського призначення» [67] можна обрати ділянку поблизу колії, що зазнала засмічення та отримати розраховану нормативну грошову оцінку. Для проведення розрахунків був обраний перегін між станціями «платформа 178 км» та «платформа 175 км» (Придніпровська залізниця). Результати підрахунку представлено на рисунку 5.2.

Для проведення розрахунку обираємо категорію «Багаторічні насадження», та розраховуємо вартість 1 м² землі: $206299 / 3,4554 / 10000 = 5,97$ грн/м², приймаємо 6 грн/м².

Область:	Дніпропетровська
ПСГ Зона:	Зона Степу
ПСГ Провінція:	
ПСГ Округ:	Донецько-Дніпровський
ПСГ Район:	Царичанський
Площа:	3.4554 га
Нормативна грошова оцінка:	
Рілля (перелоги):	119 299.03 грн.
Пасовища:	17 497.58 грн.
Сіножаті:	27 546.01 грн.
Багаторічні насадження:	206 933.00 грн.

*Розраховано за даними загальнонаціональної нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення станом на 04.12.2020



Рисунок 5.2 Нормативна грошова оцінка земельної ділянки [67]

Довідку про нормативну грошову оцінку земельної ділянки, що зазнала забруднення, надають територіальні органи спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань земельних ресурсів [66].

$P_{дз}$ – площа засміченої земельної ділянки у квадратних метрах [66].

Площу підрахуємо з урахуванням відомих даних: планово замінюється $70\,000\text{ м}^3$ колійного щебеню. Якщо врахувати, що норма щебеню на 1 км шляху складає 2000 м^3 , то довжина ділянки, де проводиться заміна складає 15 км. Враховуючи, що залізниця це лінійний об'єкт значної протяжності, то довжина засмічення земель буде значною, на відміну від ширини. За ширину відсипаного шару щебеню (засмічення) умовно приймемо 0,5 м. Отже, площа засміченої ділянки становить 17500 м^2 .

$K_{зз}$ – коефіцієнт засмічення земельної ділянки, що характеризує ступінь засмічення її відходами, який визначається за додатком 6 Методики [66];

$K_{зз}$ приймає рівним 4,00, що відповідає об'єму відходів понад 100 м^3 .

$K_{нв}$ – коефіцієнт небезпеки відходів, який визначається за додатком 5 Методики [66];

$K_{\text{НВ}}$ умовно приймаємо рівним 1,5, що відповідає III класу небезпеки (помірно небезпечний), при цьому B приймаємо рівним 10. Хоча в даному випадку клас небезпеки залежить від рівня забруднення. Тому для другого варіанту розрахунку, коли $B = 100$ (небезпечні відходи) $K_{\text{НВ}}$ приймаємо рівним 3, що відповідає I класу небезпеки (надзвичайно небезпечні).

$K_{\text{ЕГ}}$ – коефіцієнт еколого-господарського значення земель визначається за додатком 2 Методики [66].

$K_{\text{ЕГ}}$ приймає рівним , що відповідає категорії земель «Землі промисловості, транспорту, зв'язку, енергетики, оборони та іншого призначення».

Проводимо підрахунок:

Визначено як промислові відходи ($B=10$, $K_{\text{НВ}}=1,5$)

$$P_{\text{ШЗ}} = 0,5 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 17500 \cdot 4 \cdot 1,5 \cdot 1 = 3\,150\,000$$

Визначено як небезпечні відходи ($B=100$, $K_{\text{НВ}}=3$)

$$P_{\text{ШЗ}} = 0,5 \cdot 100 \cdot 6 \cdot 17500 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 1 = 63\,000\,000$$

Відповідно до проведених розрахунків отримано значні суми відшкодування збитків. Перший варіант розвитку подій є більш ймовірних, тому відсіпання відпрацьованого баласту поблизу колії є небезпечним з екологічної точки зору, та потенційно збитковим. Другий варіант є малоімовірним (можливий у випадку масштабних аварій з небезпечними вантажами), але в якості прикладу, дана сума є передумовою дотримання вимог та норм екологічного законодавства.

ВИСНОВКИ

В першому розділі магістерської роботи проаналізовано основні інженерно-технічні функції баластного шару, вимоги, що пред'являються до його експлуатації та матеріалів. Вивчено основні типи забруднювачів баласту: частинки вантажу, продукти зносу та стирання, гербіциди, органічні рештки (рослини, листя, гілки), побутове сміття. Розглянуто методи очищення баластного матеріалу та методи його утилізації. Також, проаналізовано способи попередження забруднення за рахунок нанесення захисних покриттів (силікону, бітуму та ін.), а для вантажних станцій спеціальні металеві конструкції з дренажною системою.

В другому розділі описано об'єкт дослідження, надано схему відбору зразків та опис місця відбору. Метод визначення важких металів у досліджених зразках – рентгенофлуоресцентний. Це сучасний кількісний метод для визначення більш ніж 50 елементів у твердих зразках. Який досить часто застосовується у геології та екології.

В третьому розділі представлено результати дослідження вмісту важких металів у баластному щебені. Визначено вміст: заліза, марганцю, міді, хрому, нікелю, ванадію, цирконію, стронцію, титану, свинцю, миш'яку, силіцію, алюмінію та інших елементів. Встановлено основні забруднювачі характерні для залізничного транспорту (пасажирської станції). Знайдено значні позитивні кореляції між вмістом чотирьох металів.

В четвертому розділі надано рекомендації щодо зменшення рівня забруднення довкілля важкими металами за рахунок використання шару сорбентів під баластною призмою, які будуть поглинати іони важких металів. Це дозволить знизити рівень подальшого забруднення в першу чергу ґрунту і як наслідок підземних та поверхневих вод. Також, надано рекомендації щодо належного улаштування смуги відводу для попередження забруднення баласту листям та гілками, а також захисту від небажаної рослинності.

В п'ятому розділі розраховано суму екологічного податку за розміщення забрудненого баластного матеріалу з урахуванням різного ступеня забруднення та екологічний збиток за засмічення земель баластним щебенем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kumara, J. J., & Hayano, K. (2016). Deformation characteristics of fresh and fouled ballasts subjected to tamping maintenance. *Soils and Foundations*, 56(4), 652–663. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2016.07.006>
2. Zakeri, J.A., & Mosayebi, S.A. (2016). Study of ballast layer stiffness in railway tracks. *Grđevinar*, 68, 311–318. Doi: 10.14256/JCE.1232.2015
3. Lam, H. F. & Wong, M.T. (2011). Railway Ballast Diagnose through Impact Hammer Test. The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. *Procedia Engineering* 14 185–194. Doi:10.1016/j.proeng.2011.07.022
4. Juhaszi, E., & Fischer, S. (2019). Specific evaluation of methodology of railway ballast particles' degradation. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*, 3(81), 96–109. Doi: <https://doi.org/10.15802/stp2019/171778>
5. Sadeghi, J., Motieyan-Najar, M. E., Zakeri, J. A., Yousefi, B., & Mollazadeh, M. (2019). Improvement of railway ballast maintenance approach, incorporating ballast geometry and fouling conditions. *Journal of Applied Geophysics*, 151, 263–273. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.02.020>
6. Даніленко Е.І. Залізнична колія. / Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом рухомим складом / Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах). Київ, Інпрес, 2010. – Том 1 – 528 с.
7. Sysyn, M., Kovalchuk, V., Nabochenko, O., Kovalchuk Yu., & Voznyak, O. (2019). Experimental study of railway track bed pressure distribution under dynamic loading. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 14(4), 504–520. Doi: <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2019-14.455>
8. Пшінько, О. М., Краснюк, А. В., Лисняк В. П., Громова О. В. (2007). Аналіз існуючих способів очищення і утилізації забрудненого баластного щебеню. *Наука та прогрес транспорту. Вісник*

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, 17, 209–213.

9. Казанцев, И. В. (2007). Экологическая оценка влияния железнодорожного транспорта на содержание тяжелых металлов в почвах и растениях полосы отвода. Кандидатская диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Самара, 166 с.

10. Величко, Д. В., Толстикова, Н. А. (2016). Анализ загрязненности щебеночного балласта. Известия Транссиба. Путь и искусственные сооружения, 3(27), 110–117.

11. Bukowiecki, N., Gehrig, R., Hill, M., Lienemann, P., Zwicky, C. N., Buchmann, B., et al. (2007). Iron, manganese and copper emitted by cargo and passenger trains in Zürich (Switzerland): size-segregated mass concentrations in ambient air. *Atmospheric Environment*, 41(4), 878–889. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.07.045>

12. Burkhardt, M., Rossi, L., & Boller, M. (2008). Diffuse release of environmental hazards by railways. *Desalination*, 226(1–3), 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.102>

13. Dzierżanowski, K., & Gawroński, S. W. (2012). Heavy metal concentration in plants growing on the vicinity of railroad tracks: a pilot study. *Challenges of Modern Technology*, 3(1), 42–45.

14. Wan, D., Han, Z., Yang, J., Yang, G., & Liu, X. (2016). Heavy Metal Pollution in Settled Dust Associated with Different Urban Functional Areas in a Heavily Air-Polluted City in North China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(11), 1119. <https://doi.org/10.3390/ijerph13111119>

15. Wiłkomirski, B., Sudnik-Wójcikowska, B., Galera, H., Wierzbicka, M., & Malawska, M. (2011). Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution. *Water Air Soil Pollution*, 218(1–4), 333–345. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0645-0>

16. Cederlund, H. (2006). The microbiology of railway tracks – towards a rational use of herbicides on Swedish railways. Doctoral thesis. ISSN 1652-6880. ISBN 91-576-7093-5.
17. Ramwell, C. T., Heather, A. I. & Shepherd, A. J. (2004). Herbicide loss following application to a railway. *Pest Management Science*, 60(6), 556–564. <https://doi.org/10.1002/ps.850>
18. SBB (2001). Vegetation Control on Railway Tracks and Grounds. Swiss Railroad.
19. Schweinsberg, F., Abke, W., Rieth, K., Rohmann, U., & Zullei-Seibert, N. (1999). Herbicide use on railway tracks for safety reasons in Germany? *Toxicology Letters*, 107(1–3), 201–205. [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(99\)00048-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(99)00048-X)
20. Torstensson, L. (1994). Mobility and transport of diuron in railway embankments. In *Environmental behaviour of pesticides and regulatory aspects. Section V: Outdoor Experiments*. Edited by A. Copin, G. Houins, L. Pussemier & J.F. Salembier. Brussels, 366–371.
21. Torstensson, L. (2001). Use of herbicides on railway tracks in Sweden. *Pesticide Outlook* 12, 16–21. Doi: 10.1039/b1008021
22. Torstensson, L. & Börjesson, E. (2004). Use of imazapyr against *Equisetum arvense* on Swedish railway tracks. *Pest Management Science* 60, 565–569. Doi: <https://doi.org/10.1002/ps.856>
23. Torstensson, L., Börjesson, E. & Stenström, J. (2005). Efficacy and fate of glyphosate on Swedish railway embankments. *Pest Management Science* 61, 881–886. Doi: <https://doi.org/10.1002/ps.1106>
24. Torstensson, L., Cederlund, H., Börjesson, E. & Stenström, J. (2002). Environmental problems with the use of diuron on Swedish railways. *Pesticide Outlook* 13, 108–111. Doi: <https://doi.org/10.1039/B205184M>
25. Wierzbicka, M., Bemowska-Kałabun, O., & Gworek, B. (2015). Multidimensional evaluation of soil pollution from railway tracks. *Ecotoxicology*, 24(4), 805–822. <https://doi.org/10.1007/s10646-015-1426-8>

26. Трикоз Л. В., Романович Є. В., Багіянець І. В. (2016). Розробка методу підвищення надійності баластної призми шляхом збільшення терміну її служби. Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України», №5-6, 116–22.

27. Anderson, P., Cunningham, C.J. and Barry, D.A. (2002) Efficiency and potential environmental impacts of different cleaning agents used on contaminated railway ballast. *Land Contamination and Reclamation*, 10 (2), 71–77.

28. ENDS (2002) Aggregates surveys point to growth in recycling – and underline poor data. *The ENDS Report*, 334, 17.

29. Di Palma, L., & Verdone, N. (2012). Metals extraction from contaminated soils: model validation and parameters estimation. *Chemical Engineering Transactions*, 28, 193–198. doi: 10.3303/CET1228033

30. Di Palma L., & Petrucci, E. (2014). Treatment and recovery of contaminated railway ballast. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 38, 248–255. <https://doi.org/10.3906/muh-1404-9>

31. Трикоз, Л. В., Багіянець І. В. (2015). Дослідження питомої електричної провідності баластного щебеню. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, 155, 179–184.

32. ДСТУ Б В.2.7-204:2009. Будівельні матеріали. Щебінь із природного каменю для баластного шару залізничної колії. Технічні умови. Чинний від 10.09.2010 р, Мінрегіонбуд, Київ, Україна, 15 с.

33. Пшінько, О. М., Краснюк, А. В., Заяць, Ю. Л., Громова, О. В. (2013). Технологія ефективного очищення та шляхи утилізації відпрацьованого баластного щебеню у транспортному будівництві. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 4, 75–81. Doi: <https://doi.org/10.15802/bttrp2013/26647>

34. Oyedotun, T. D. T. (2018). X-ray fluorescence (XRF) in the investigation of the composition of earth materials: a review and an overview. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2(2), 148-154. <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1452459>

35. Черноруков Н. Г., Нипрук О. В. (2012). Теория и практика рентгенофлуоресцентного анализа. Электронное учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 57 с.

36. Соболев, В. И. (2014). Рентгенофлуоресцентный анализ. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Физико-химические методы анализа» для студентов IV курса, обучающихся по направлению 240501 «Химическая технология материалов современной энергетики». Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 18 с.

37. Lorenzo, R., Kaegi, R., Gehrig, R., & Grobéty, B. (2006). Particle emissions of a railway line determined by detailed single particle analysis. *Atmospheric Environment*, 40(40), 7831–7841. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.07.026>

38. Mohsen, M., Ahmed, M. B., & Zhou, J. L. (2018). Particulate matter concentrations and heavy metal contamination levels in the railway transport system of Sydney, Australia. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.02.015>

39. Malawska, M., & Wiołkomirski, B. (2001). An Analysis of Soil and Plant (*Taraxacum Officinale*) Contamination with Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) In the Area of the Railway Junction Łława Główna, Poland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 127, 339–349. <https://doi.org/10.1023/A:1005236016074>

40. Liu, H., Chen, L. P., Ai, Y. W., Yang, X., Yu, Y. H., Zuo, Y. B., & Fu, G. Y. (2009). Heavy metal contamination in soil alongside mountain railway in Sichuan, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152, 25–33. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0293-7>

41. Šeda, M., Šíma, J., Volavka, T., & Vondruška, J. (2017). Contamination of soils with Cu, Na and Hg due to the highway and railway transport. *Eurasian Journal of Soil Science*, 6(1), 59–64. <https://doi.org/10.18393/ejss.284266>

42. Meng, X., Ai, Y., Li, R., & Zhang, W. (2018). Effects of heavy metal pollution on enzyme activities in railway cut slope soils. *Environmental*

Monitoring and Assessment, 190(4), 197. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6567-9>

43. Журавлева, М. А., Зубрев, Н. И., Кокин, С. М. (2014). Загрязнение придорожной зоны тяжелыми металлами. Мир транспорта, 6, 174–178.

44. Журавлева, М. А., Зубрев, Н. И. (2012). Загрязнение полосы отвода железной дороги в юго-восточном округе Москвы. Безопасность жизнедеятельности на транспорте, 4, 80–87.

45. Zhang, H., Wang, Z., Zhang, Y., & Hu, Z. (2012). The effects of the Qinghai–Tibet railway on heavy metals enrichment in soils. Science of the Total Environment, 439, 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.027>

46. Zhang, H., Zhang, Y., Wang, Z., & Ding, M. (2013). Heavy metal enrichment in the soil along the Delhi-Ulan section of the Qinghai-Tibet railway in China. Environmental Monitoring and Assessment, 185, 5435–5447. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2957-6>

47. Chen, Z., Wang, K., Ai, Y. W., Li, W., Gao, H., & Fang, C. (2014). The effects of railway transportation on the enrichment of heavy metals in the artificial soil on railway cut slopes. Environmental Monitoring and Assessment, 186, 1039–1049. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3437-3>

48. Ma, J. H., Chu, C. J., Li, J., & Song, B. (2009). Heavy Metal Pollution in Soils on Railroad Side of Zhengzhou-Putian Section of Longxi-Haizhou Railroad, China. Pedosphere, 19(1), 121–128. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(08\)60091-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(08)60091-0)

49. Defarge, N., Spiroux de Vendômois, J., & Séralin, G. E. (2018). Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. Toxicology Reports, 5, 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.12.025>

50. Wiłkomirski, B., Suska-Malawska, M., Sudnik-Wójcikowska, B., & Staszewski, T. (2013). The selected trace elements in soil of railway stations in north-eastern Poland. Rocznik Świętokrzyski. Ser. B – Nauki Przyr., 34, 171–180.

51. Gil, K., & Im, J. (2015) Analysis of non-point source characteristics of heavy metals and oil and grease at railway bridge area with various land uses. *Desalination and Water Treatment*, 54(13), 3721–3727. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.923198>

52. Im, J., & Gil, J. (2016) Characteristics of non-point source pollutants on a railway bridges, *Desalination and Water Treatment*, 57(2), 684–693, 10.1080/19443994.2014.997989

53. Mazur, Z., Radziemska, M., Maczuga, O., & Makuch, A. (2013). Heavy metal concentrations in soil and moss (*Pleurozium schreberi*) near railroad lines in Olsztyn (Poland). *Fresenius Environmental Bulletin*, 22(4), 955–961.

54. Clapp, E., McGrath, M. M., Manhas, S., Maher, J., Oxman, G., & Gredler, A. (2013). The Human Health Effects of Rail Transport of Coal Through Multnomah County, Oregon. A Health Analysis and Recommendations for Further Action. *Health Assessment and Evaluation*, 23 p.

55. Malawska, M., & Wiłkomirski, B. (2000). Soil and plant contamination with heavy metals in the area of the old railway junction Tarnowskie Góry and near two main railway routes. *Rocz Panstw Zakl Hig*, 51(3), 259–267

56. Bridges, J. & Jackson, T. 2013, «Managing the GB Rail Network During Autumn», Presentation at Low Adhesion Workshop, DTU. 16/4/13

57. Rijnaard, A. 2013b, «Low adhesion management in the Netherlands», Presentation at Low Adhesion Workshop, DTU.

58. Sakharov, A. S., Petriaev A. V., & Kozlov, I. S. (2019). New Construction Solutions for Geoenvironment Protection of Transport Infrastructure. *OP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 272 022220 doi:10.1088/1755-1315/272/2/022220

59. Svatovskaya L B, Shershneva M V and Bobrovnik AB 2017 Geocoprotective Properties of Binders for Transport Systems *Procedia Engineering* v 189 (Amsterdam: Elsevier) pp 440–445

60. Svatovskaya L B, Kabanov A A and Sychov M M 2017 The Improvement of Foam Concrete Geocoprotective Properties in Transport

61. Malchevskaya K, Sakharova A and Kabanov A 2017 Soil Reinforcement and Detoxication by Means of Mineral Binder Systems *Procedia Engineering* v 189 (Amsterdam: Elsevier) pp 582–586.

62. Petriaev A V 2015 Thawing railroad bed and methods of its reinforcing *Proceedings of the 14th Int. Conf. of Int. Association for Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics (Kyoto)* (London: Taylor & Francis Group) p 265

63. Sakharova A, Baidarashvili M and Petriaev A 2017 Transportation Structures And Constructions with Geocoprotective Properties *Procedia Engineering* v 189 (Amsterdam: Elsevier) pp 569–575.

64. Contech Engineered Solutions. (2015). *Railways Solutions*. 12 p.

65. Податковий Кодекс України, розділ VIII, стаття 249.6.

66. Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства

67. Нормативна грошова оцінка землі. Інтернет ресурс, режим доступу: <https://ngo.land.gov.ua/>