

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ, МІНЕРАЛОГІЇ ТА РУДОУТВОРЕННЯ
ІМ. М.П. СЕМЕНЕНКА

На правах рукопису

ЯЗВИНСЬКА Мирослава Вікторівна

УДК [550.4:504]:553.494 (477.42)

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ОЦІНКА ОБ'ЄКТІВ ДОВКІЛЛЯ
ТЕРИТОРІЙ ІРШАНСЬКОГО ТА СТРЕМИГОРОДСЬКОГО
РОДОВИЩ ТИТАНУ ВОЛИНСЬКОГО БЛОКУ
УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

спеціальність 04.00.02 – геохімія

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Науковий керівник:
Крюченко Наталія Олегівна
доктор геологічних наук
старший науковий співробітник

Київ – 2016

ЗМІСТ

	Стр.
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 СТАН ПРОБЛЕМИ.....	10
1.1. Історія досліджень.....	11
1.2. Характеристика титану як хімічного елементу.....	16
1.3. Розподіл титану в об'єктах довкілля.....	17
1.4. Розподіл титану у гідросфері.....	29
1.5. Розподіл титану у рослинності.....	30
1.6. Техногеохімія титану.....	31
1.7. Еколого-геохімічний аспект видобутку титану.....	34
1.8. Підсумки.....	37
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
2.1. Польові дослідження.....	39
2.2. Аналітичні дослідження.....	41
2.3. Обробка та інтерпретація аналітичних даних.....	43
2.4. Розрахункові геохімічні критерії.....	43
2.5. Підсумки.....	44
РОЗДІЛ 3 ГЕОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ЛАНДШАФТНО- ГЕОХІМІЧНІ УМОВИ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	46
3.1. Геологічна будова району досліджень.....	46
3.2. Технологія видобутку титану.....	57
3.2.1. Іршинська група родовищ.....	57
3.2.2. Стремигородське родовище.....	60
3.3. Гідрогеологічні умови.....	62
3.4. Ландшафтно-геохімічні умови	67
3.5. Підсумки.....	72

РОЗДІЛ 4	ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ОЦІНКА ПОВЕРХНЕВИХ	
	ВІДКЛАДІВ ТА РОСЛИННОСТІ	74
4.1.	Еколого-геохімічна оцінка поверхневих відкладів.....	74
4.1.1.	Вплив органічної речовини на розподіл важких металів в грунтах	75
4.1.2.	Комплексна оцінка стану поверхневих відкладів Іршан- ської групи та Стремигородського родовищ титану.....	77
4.1.3.	Кількісні критерії визначення стану території.....	88
4.1.4.	Моніторингові дослідження стану поверхневих відкладів	91
4.1.5.	Просторовий розподіл елементів	107
4.2	Форми знаходження металів у грунтах різних функціо- нальних зон.....	107
4.3.	Біогеохімічні дослідження.....	112
4.4.	Моніторингові дослідження щодо вмісту елементів у золі рослинності.....	116
4.5.	Підсумки.....	119
РОЗДІЛ 5	ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ОЦІНКА СТАНУ ГІДРО- СФЕРИ	123
5.1.	Порівняльна характеристика основних водоносних горизонтів	123
5.2.	Поверхневі води	124
5.3.	Донні відклади	128
5.4.	Підземні води	131
5.5.	Підсумки.....	135
	ВИСНОВКИ.....	138
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	140

ВСТУП

Актуальність теми. Інтенсивний розвиток промислового виробництва у XX–XXI ст. призвів до значного погіршення стану навколишнього природного середовища. З'явилися техногенно навантажені території (ТНТ), що характеризуються високим природно-ресурсним потенціалом і у межах яких ведеться активна промислова та господарська діяльність. У зв'язку з цим, першочерговим завданням охорони довкілля є комплексна оцінка окремих ТНТ з метою визначення можливого розвитку пріоритетних напрямків природоохоронної діяльності і одночасної розробки профілактичних або реабілітаційних заходів. Це стосується і територій, обраних для досліджень: Стремигородського родовища титану (що законсервоване і може слугувати джерелом природного надходження хімічних елементів у об'єкти довкілля) та Іршанської групи родовищ титану (що активно розробляються з 1950-х років, забруднення території відбувається внаслідок тривалого техногенного впливу, далі – Іршанське родовище). Порівняльна еколого-геохімічна оцінка об'єктів навколишнього середовища (поверхневі відклади, природні води, рослинність), де забруднення території має природний або техногенний характер, – одна з актуальних проблем геоекології.

Еколого-геохімічна оцінка окремих ділянок Іршанського та Стремигородського родовищ титану стане основою для визначення можливості використання цих територій у якості сільськогосподарських, селітебних та рекреаційних, а також для проведення моніторингу об'єктів навколишнього середовища.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відділі пошукової та екологічної геохімії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України (далі – ІГМР НАН України). Обраний напрям досліджень узгоджений з

проектами багаторічних програм НАН України за 2001–2016 рр.: «Теоретичні основи геохімічних методів пошуків родовищ рідкісних металів в докембрії УЩ» (ДР № 0102U002371), «Вивчення природного й техногенного аномального та фонового вмісту рухомих форм токсичних елементів у різних еколого-геохімічних ландшафтах України» (ДР № 0199U19213), «Геохімічні основи розбраковки техногенних і природних аномалій» (ДР № 0199U19213), «Геохімічні критерії виділення зон екологічного ризику території України» (ДР № 0112U002432).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є еколого-геохімічна оцінка об'єктів довкілля територій Іршанського та Стремигородського родовищ титану Волинського блоку Українського щита.

Для досягнення цієї мети поставлено завдання:

- визначити статистичні параметри фонових, середніх та аномальних концентрацій титану та інших хімічних елементів у складових довкілля (поверхневих та донних відкладах, природних водах, рослинності);
- встановити геохімічні асоціації природного та техногенного походження в об'єктах довкілля;
- розрахувати кількісні еколого-геохімічні показники ступеня забруднення об'єктів довкілля територій Іршанського та Стремигородського родовищ титану;
- встановити найбільш інформативні рослини-індикатори забруднення ґрунтів досліджуваних територій;
- надати комплексну еколого-геохімічну оцінку територій Іршанського та Стремигородського родовищ титану.

Об'єкт дослідження – поверхневі і донні відклади, природні води, рослинність територій Іршанського та Стремигородського родовищ титану.

Предмет дослідження – геохімічні особливості розподілу титану та інших хімічних елементів в об'єктах довкілля (поверхневі і донні відклади,

природні води, рослинність) територій Іршанського та Стремигородського родовищ титану.

Методи дослідження. Для визначення вмісту хімічних елементів в об'єктах довкілля застосовано комплекс аналітичних методів: атомно-абсорбційний, емісійний спектральний, потенціометричний та мас-спектрометричний аналіз з індуктивно зв'язаною плазмою (*ICP-MS*) на приладі *Element-2* в Центрі колективного користування приладами ІГМР НАН України.

Обробку та інтерпретацію одержаних аналітичних даних здійснено за допомогою програм – *Microsoft Excel*, *AdobePhotoshop*, *Statistica 6*; для візуалізації результатів, зокрема, побудови картосхем застосовано геоінформаційні системи (ГІС): *MapInfo Professional* та *Golden Software Surfer*.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше за допомогою комплексу сучасних аналітичних методів визначено закономірності розподілу хімічних елементів в об'єктах довкілля (поверхневі відклади, рослинність, природні води) Іршанського та Стремигородського титанових родовищ.

2. Виявлено геохімічні асоціації природного та техногенного походження в об'єктах довкілля дослідженої території та оцінено рівень їх екологічної небезпеки.

3. Вперше визначено вміст рухомих форм хімічних елементів I та II класів небезпеки (Zn, Cu, Pb, Ni) у поверхневих відкладах різних функціональних зон (лісовий ґрунт, сільськогосподарські угіддя, рекультивовані землі, «хвости» збагачення). Встановлено, що у межах техногенної функціональної зони («хвости» збагачення) вміст рухомих форм металів мінімальний і становить, %: Zn – 2; Cu – 2; Pb – 6; Ni – 4.

4. Встановлено особливості накопичення важких металів у наземних частинах різних видів рослин (листя берези, глиця сосни, мох)

досліджуваних територій. Найбільш інформативними щодо забруднення ґрунтів Mn є листя берези та глиця сосни, а щодо Pb, Cu – мох.

5. Вперше здійснено комплексну еколого-геохімічну оцінку забруднення об'єктів довкілля (поверхневі відклади, рослинність, природні води) на території Іршанського та Стремигородського родовищ титану і зон їхнього впливу. Це дозволило зробити висновки, що розробка титанових родовищ не створює еколого-геохімічної небезпеки для цих територій.

Практичне значення одержаних результатів. На основі отриманих результатів можна достовірно визначити сучасний еколого-геохімічний стан об'єктів довкілля (поверхневі відклади, рослинність, природні води) у зоні впливу Іршанського та Стремигородського титанових родовищ, оцінити рівень небезпеки для довкілля, виділити райони з напруженою екологічною ситуацією. Результати біогеохімічних досліджень різних видів рослин (найбільш поширених на досліджуваній території – берези, сосни та моху) можуть бути використані в якості індикатора забруднення поверхневих відкладів (ґрунтів).

Отримані дані стануть основою подальшого геохімічного моніторингу об'єктів довкілля та можуть бути використані екологічними і природоохоронними організаціями для збереження навколишнього середовища.

Особистий внесок здобувача. Робота виконана автором самостійно. Особисто відібрано та проаналізовано проби об'єктів довкілля (поверхневі і донні відклади, природні води, рослинність), здійснено опрацювання літературних джерел, систематизацію та інтерпретацію отриманих даних, побудову графічних матеріалів.

Дисертантом систематизовано результати аналізів 900 проб корінних порід (600 – габро та 300 – гранітів), 500 – поверхневих відкладів, 100 – донних відкладів, 225 – природних вод (110 поверхневих, 50 свердловин, 65 колодязів) та 50 рослинності.

Автором виконано статистичну обробку одержаної інформації, візуалізацію та інтерпретацію результатів досліджень, розраховано кількісні показники для оцінювання еколого-геохімічного стану територій досліджень. Встановлено просторові закономірності розподілу титану та інших хімічних елементів у поверхневих і донних відкладах, природних водах, рослинності на територіях Іршанського та Стремигородського родовищ титану.

Основні результати досліджень та висновки опубліковані у фахових виданнях та оприлюднені на наукових конференціях. Особистий внесок здобувача в публікаціях, виконаних у співавторстві, полягає у: відборі первинного матеріалу, проведенні аналітичних досліджень, встановленні статистичних параметрів, обробці отриманих аналітичних даних, розрахунках геохімічних параметрів, інтерпретації результатів досліджень.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації було обговорено під час роботи наукових та науково-практичних міжнародних конференцій: Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми пошукової та екологічної геохімії» (Київ, 2014); конференція молодих вчених ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України (Київ 2013); IV Міжнародна молодіжна наукова конференція «Довкілля – XXI» (Дніпропетровськ, 2008); «Проблемы экологической геохимии в XX веке» (дер. Домжерицы, Республика Беларусь, Березинский биосферный заповедник, 2008); «Розробка систем програмного забезпечення: виклики часу та роль в інформаційному суспільстві» (Київ, 2005); друга Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів» (Дніпропетровськ, 2003); конференції молодих вчених ІГН НАН України (Київ, 2003).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 18 наукових праць: у 13-ти наукових фахових виданнях України, у тому числі у одному науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних

наукометричних баз; 1 – у інших публікаціях за темою дисертації, і у 4 матеріалах та тезах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація загальним обсягом 158 сторінок, складається зі вступу, 5 розділів, висновків та списку використаних джерел зі 173 найменувань, містить 42 рисунки та 36 таблиць.

Автор глибоко вдячний за увагу, наукові консультації, слушні поради та допомогу науковому керівнику – доктору геологічних наук Н.О. Крюченко, а також члену-кореспонденту НАН України, доктору геолого-мінералогічних наук, професору Е.Я. Жовинському.

Щира подяка також колективу лабораторії відділу пошукової та екологічної геохімії ІГМР НАН України, та всім, хто долучився до виконання цієї роботи, зокрема, канд. геол. наук А.І. Радченко та співробітникам Житомирської геологічної експедиції ПДРГП «Північгеологія» за всебічне сприяння під час виконання роботи; особливо я вдячна моєму татові В.І. Язвінському – геологу експедиції.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ

Необхідність еколого-геохімічної оцінки об'єктів довкілля територій Іршанського та Стремигородського родовищ титану постала внаслідок того, що до теперішнього часу широкому загалу відома лише їх оцінка в плані порушень ландшафтної цілісності – зсуву ґрунтів, занедбання сільськогосподарських угідь, вирубка лісів тощо [51, 146]. Без оцінки еколого-геохімічної ситуації, яка є індикатором стану навколишнього середовища, неможливо визначити пріоритети подальшого використання території.

У своїй роботі я розглядаю еколого-геохімічні аспекти стану поверхневих і донних відкладів, природних вод, рослинності території, що дозволить проводити еколого-геохімічний моніторинг досліджуваних територій Іршанського та Стремигородського родовищ титану.

Стосовно Іршанського родовища титану – його розробка відбувалася протягом 30 років, що призвело до формування техногенно зміненого рельєфу. Під кар'єри, хвостосховища збагачувальних фабрик, комплекс допоміжного та супутнього виробництва відчужено великі території сільськогосподарських угідь, вирубано лісові насадження. Внаслідок розробки відкритим способом спричинено зміну ландшафтних умов території: рельєфу, структури ґрунтових та ґрунтоутворювальних відкладів, зниження рівня водоносних горизонтів на територіях, що підлягають осушенню та ін. [151–156].

Стремигородське магматичне родовище оцінене лише шляхом буріння свердловин і відбору керну, тому змін у ландшафтній будові території не зафіксовано. Комплексна еколого-геохімічна оцінка об'єктів довкілля визначить ступінь небезпеки розробки родовищ.

1.1. Історія досліджень

Територія досліджень розташована у межах Волинського блоку Українського щита (УЩ). Рудопрояви відносяться до середньо-верхньо-протерозойського етапу розвитку блоку, коли головну роль відіграли процеси активізації платформених областей [10, 12, 57]. Широка різноманітність геологічних умов формування блоку визначила його металогенічну спеціалізацію – провідне значення належить Ti, V, Ta, Nb, F; а також п'єзокварцу [58, 83, 84, 118]; у підвищеній концентрації виявлено рідкоземельні елементи Sn, Zr, Hf, Y, Rb, Cs, Ta, Sc, Ga, In, W, Mo, Ni, Cu, P, Fe, Al та інші елементи, що дало початок подальшим дослідженням.

На наявність розсипищ ільменіту в Україні вперше звернули увагу тільки в 20–30 рр. XX ст. До 1941 р. існували лише деякі фрагментарні відомості про наявність розсипищ ільменіту в алювіальних відкладах. Лише після Великої Вітчизняної війни почалися планомірні та систематичні роботи з їх вивчення [6, 45, 77, 79, 113, 132, 148–150].

Серед досліджень, які стосувалися вивчення розподілу ільменіту, необхідно відзначити результати робіт, присвячені: вивченню рідкісних елементів Українського щита – Б.Ф. Міцкевич, М.О. Беспалько, О.І. Єгоров [90, 91]; встановленню речовинного складу руд апатит-ільменітових родовищ Коростенського плутону – В.П. Проскурін, С.В. Металіді, О.Б. Фомін [10, 104, 120], габро-норитів України – Д.П. Сердюченко [131]; вивченню мінералогії титано-цирконієвих розсипів України – С.М. Цимбал, Ю.О. Полканов [113, 144] та ін.

Для визначення сучасного стану району досліджень стосовно металогенії було проведено літо- та гідрогеохімічні роботи багатьох науковців, які можна розділити на різні етапи. Перший етап (1945–1975 рр.) – роботи, які присвячено загальним питанням розподілу елементів у породах та водах. Оскільки саме зони тектонічних порушень є найбільш перспективними для пошуків корисних копалин, роботи А.А. Макавєєва

[79], Ю.Ю. Юрка [148–150], В.І. Лучицького [77], В.І. Барташевського [6] присвячено будові північної частини УЩ.

Обґрунтування металоносності осадово-вулканогенних утворень, у тому числі Волинського блоку, узагальнено у книзі «Геология осадочно-вулканогенных формаций Украинского щита» (М.П. Семененко та ін., 1967); гібридні утворення порід, їх склад та особливості висвітлені у роботах А.Я. Хатунцевої (1967). Особливо слід відзначити монографію «Рифейский вулканизм и металлоносность западной части щита» (М.П. Семененко та ін., 1968), де представлено результати мінералого-геохімічних досліджень платформних формацій, активізованих зон і осадового чохла.

У цей період вперше широкому загалу представлені роботи з вивчення геохімічних і петрохімічних характеристик гранітоїдів, комплексів габро-монацит-гранітного, діорит-гранітного і лужного рядів. Також опубліковано роботи стосовно геохімічних особливостей процесів седиментації, осадового рудовідкладення і гіпергенезу, що має велике значення під час аналізу розміщення родовищ корисних копалин: Л.Ф. Борисенко [10], М.Г. Дядченко, М.Ф. Веклич [17, 38, 106], А.Я. Хатунцева [33], С.М. Цимбал та ін. [13, 34, 54, 81, 85, 144], Б.Ф. Міцкевич та ін. [92–95], Є.Ф. Шнюков, Ю.Б. Басс та ін. У монографії «Коры выветривания на территории УССР» (1971) В.Ю. Кондрачуком та ін. вперше подано результати досліджень щодо перспективності рудопроявів у корах вивітрювання. Це слугувало основою для встановлення закономірностей формування і розміщення розсипищ мінералів Ti, Zr, рідкісноземельних елементів, олова та інших металів.

Однією з перших робіт щодо четвертинних відкладів України можна вважати роботу П.К. Заморій «Корисні копалини четвертинних відкладів УРСР» у 1946 р. [45]. Геологію Коростенського плутону, геохімічні особливості порід (лабрадорити, габро-норити, габро-монцоніти, граніти, біотитові граніти, граніти рапаківі та ін.) висвітлено у роботах В.С. Соболева [132], О.О. Полканова [144] (1947–1948 рр.). Завдяки цьому

багато вчених почали дослідження зі встановлення титаноносних ділянок [123, 124, 141].

Починаючи з 1950 рр. проводиться вивчення мінерального складу порід – Ю.Ю. Юрк [148, 149], Д.П. Сердюченко [131], що дозволило виявити ільменіт у алювіальних відкладах та габро-норитах.

Вивчення процесів, що відбуваються в ноосфері, призвело до введення в науку поняття техногенезу, як процесу зміни екосистем під дією виробничої діяльності людини, і області його прояву – техносфери [8, 19]. У ширшому плані, сукупність різних видів впливу людини на природу стала розглядатися як антропогенний вплив. Важливе досягнення в його вивченні належить німецькому вченому Ю. Лібіху. Він сформулював закон мінімуму, який визначає необхідність повернення мікроелементів у ґрунт, внаслідок зменшення концентрації яких нижче від порогових значень відбувається порушення біохімічних реакцій і в результаті різко знижується врожайність.

Також у 40–50-ті роки ХХ ст. Б.Б. Полиновим та О.І. Перельманом [110, 111] був створений новий науковий напрям – геохімія ландшафтів. Це стало основою для розвитку екології ґрунтів, геоекологічної зйомки, моніторингу навколишнього середовища.

1960–1980-ті рр. було розпочато систематичні екологічні дослідження і створення природоохоронного напрямку в екології. З цього ж часу все більш виразно проявляються ознаки глобальної екологічної кризи, як стану порушення стійкості біосфери, що призводить до швидких спрямованих змін характеристик довкілля [167, 172]. Цей період ознаменувався швидким поширенням екологічних знань у найрізноманітніших областях людської діяльності (екологія гірського виробництва, інженерна екологія, гідроекологія, радіаційна безпека, екологія людини та ін.). Важливим фактором їхнього розвитку стало використання досягнень фундаментальних наук для вивчення процесів порушення екологічної

рівноваги в різних середовищах, впливу на людину не тільки хімічного, а й фізичного забруднення.

Одним із перших, хто виділив новий титаноносний район в Україні, (ільменітоносні породи габро-лабрадоритового складу) був Гурвич С.І. (1961 р.) [32, 33]. Ним встановлено, що у ільменіті цього району відсутні домішки хрому, що дає змогу використовувати його для виробництва пігментного двоокису титану (1962–1965 рр.). В цей же період дослідниками отримано нові дані про геологічну будову північно-західної частини Коростенського плутону, зокрема встановлено, що граніти є продуктом кристалізації кислої магми, вмісні породи якої багаті на кремнезем та калій (В.Т. Ключков, Б.Ф. Міцкевич [54, 90]).

Ще у 1966 р. М.В. Векличем, Г.П. Волобуєвою, Ю.А. Кошиком [21, 106] було розглянуто питання особливостей утворення розсипищ дотретинного віку. Джерела ільменіту у титано-цирконових пісках було описано Л.І. Морозовою (1967) [96]. Мінералогією піщано-цирконових розсипищ займались С.М. Цимбал, Ю.О. Полканов (1975) [144]. Стремигородське родовище одним з перших досліджено О.М. Донським [37] під час дослідження його на вміст апатитових порід (1965 р.). Рудними троктолітами Коростенського плутону, їх геологічною позицією та геохімічними властивостями також займались В.П. Проскурін, А.Б. Фомін, С.В. Металіді (1977) [104].

У 1980–1990 рр. внаслідок детальних досліджень у області петрології Коростенського плутону – В.П. Бухарєв, І.Л. Личак (1983) [12, 76], магматизму та рудоутворенню в докембрії УЩ, що призводив до утворення корисних копалин – М.П. Щербак (1985) [105, 136], М.М. Костенко, М.С. Супруненко, Б.Л. Висоцький (1988) [62], К.Є. Єсипчук, І.Б. Щербаков, Л.С. Галецький (1990) [78] та ін. виявлено багаті титанові руди в габро-анортозитових масивах УЩ (В.С. Тарасенко [10, 137–139], Є.О. Куліш, 1990–1991 [71]).

У 1990–2000 рр. було довивчено петрологію лужних порід (С.Г. Кривдик, В.І. Ткачук [65], 1990). Узагальненням досліджень щодо вивчення рудоносності гранітоїдних порід став довідник «Гранитоиды УЩ. Петрохимия. Геохимия. Рудоносность» (К.Є. Єсипчук, В.І. Орса, І.Б. Щербаков [31], 1993), продовженням досліджень на північній частині УЩ тантало-ніобієвої мінералізації Пержанського рудного вузла займалися К.М. Бучинська, С.Н. Нечаєв [14]). Узагальнену інформацію про титан навів Я.Т. Білоус у монографії «Титан. Геолого-экономический обзор» (1998) [7]. У цей же рік виходять роботи Л.В. Бочай, Д.С. Гурського, Г.С. Веселовського та ін., 1998 [30], що висвітлюють головні геолого-промислові типи титанових і цирконієвих розсипних родовищ України та умови їх утворення.

Починаючи з 2000 р., унаслідок стрімкого розвитку геохімічної науки, крім питань стратиграфії, магматизму та петрології докембрію, вчені почали цікавитися питаннями геохімії важких металів у ґрунтах [15, 16, 41–44, 72, 73, 78, 112, 129, 135, 151–163] внаслідок співставлення первинних та вторинних ореолів. Завдяки використанню різних аналітичних методів у геохімії (атомна абсорбція, *ICP-MS* та ін.) з'явилася можливість визначати місцезнаходження корисних копалин за вторинними сольовими ореолами. Тут можна назвати роботи «Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины» (Е.Я. Жовинський, І.В. Кураєва, 2002 [43]), «Научные основы технологии гидромеханизации открытой разработки титан-циркониевых россыпей» (Є.В. Семененко, 2011 [130]). Починаючи з 2000 р. стан розробки ільменітових родовищ набуває підвищеного інтересу. Вивченням особливостей речовинного складу ільменітових родовищ різних типів займаються С.Г. Кривдік, О.В. Дубина, Г.В. Гуравський, 2008–2011 [66, 67]). 2005 р. вийшла у світ книга «Металічні і неметалічні корисні копалини України» (Д.С. Гурський, К.Є. Єсипчук, В.І. Калінін та ін. [83]), в якій зосереджено матеріали з розміщення корисних копалин, в тому числі ільменіту, їх геологічних позицій та геохімічних особливостей.

Глобальними питаннями щодо стратегії розвитку мінерально-сировинної бази титану України займаються такі вчені, як Л.С. Галецький та О.О. Ремезова [24–26]. На основі уявлень про розшарованість титаноносних інтрузій габро визначені закономірності утворення збагачених на титан різновидів габроїдів. За результатами геохімічних досліджень прогнозується багате титанове зруденіння на більш глибоких горизонтах з супутньою мінералізацією P, V, Sc.

Внаслідок попередніх досліджень виявлено ряд родовищ ільменіту, що утворює Волинський титаноносний район [137–139]. Встановлено, що титан концентрується в ендегенних (магматогенних) та екзогенних родовищах [107]. На даний час розробляються лише розсипні родовища. Серед корисних копалин району досліджень, які протягом останніх 60 років активно видобуваються відкритим способом, крім титанових родовищ, також поширені торф, будівельне каміння (бут та щебінь), граніти, гранодіорити, мігматити, пісковики кварцитовидні, декоративно-облицювальне каміння (граніти, лабрадорити, габро, кварцові порфіри та діабazi).

Отже, гірничо-геологічна галузь опинилася на передньому краї «екологізації» виробництва внаслідок її масштабного техногенного впливу на природу. В результаті активного використання природоохоронного законодавства в даний час на заході вже є ряд прикладів повного відновлення навколишнього середовища на площах відпрацьованих родовищ [40].

1.2. Характеристика титану як хімічного елементу

Титан належить до літофільних елементів – він не утворює природних сульфідів та арсенідів, а також солей слабких кислот, оскільки сам є слабкою основою. Для гідротермальних утворень титан малоімовірний, у вигляді летких галоїдних та сірчаних утворень (типу TiCl_4) встановлений до $5,52 \text{ мг/дм}^3$ у природних конденсатах вулканічних газів [46].

Атом титану має п'ять стабільних ізотопів [46]: ^{48}Ti (73,95 %), ^{46}Ti (7,95 %), ^{47}Ti (7,75 %), ^{49}Ti (5,51 %), ^{50}Ti (5,34 %); радіонуклід ^{45}Ti має період напіврозпаду 3 год., ^{44}Ti – 47 років, незначне поширення і не нормується, хоча є радіотоксичним.

Важливим є те, що титан є металом великої міцності і одночасно високотемпературної пластичності, він нечутливий до агресивних хімічних середовищ, магнітних і електричних полів. Зважаючи на те, що в періодичній системі Д.І. Менделєєва він межує з Sc, V, Fe, Al, P, Nb, Y, Si, Zr, ці елементи визначають його поведінку, а він, в свою чергу, геохімію рідкісних металів. Він є елементом постійної валентності, найбільш поширеним іоном в земній корі є Ti^{4+} [46].

1.3. Розподіл титану в об'єктах довкілля

Земна кора. Загалом за поширенням у земній корі титану належить дев'яте місце серед хімічних елементів, одразу після породотвірних елементів.

Кількість титану, що знаходиться на нашій планеті, щонайменш вдвічі перевищує загальну кількість вуглецю, вчетверо – сірки і значно перевищує кількість хлору, фтору, фосфору та марганцю. Кларк титану для земної кори визначали багато дослідників, які отримали для нього значення біля 0,6 % [46]. Середній вміст титану у земній корі складає, за А.П. Виноградовим, 0,45 %. Вміст титану у мінералах і породах в різних сферах Землі змінюється закономірно. Найвища його концентрація в океанічній корі (900 мг/кг), а найнижча – в континентальній (300 мг/кг).

Породи. Основні породи, в яких різко зменшується кількість темно-колірних мінералів – силікатів і алюмосилікатів заліза і магнію, але з'являються кальцієві плагіоклази типу лабрадора, бітовніта, андезину, найбільш багаті титаном [84]. У середньому вони містять, %: TiO_2 0,5–1,5, в тому числі глибинні основні породи типу габро, габро-норитів та ін. – 0,97, їх жильні і пластові відщеплення – діабазы – 1,45, базальти, що

вилилися – 2,19. До основних порід приурочені головні титанові родовища, в яких вміст діоксиду титану досягає 7–30 %. Саме родовища з габброїдних порід експлуатуються людиною [83].

Середні породи типу діоритів і сієнітів, складені плагіоклазами, польовим шпатом з невеликою (до 30 %) кількістю темноколірних і до 5 % кварцу, відрізняються невисокими вмістом титану. Як правило, в них діоксиду титану в середньому 0,67 % в сієнітах і 0,84 % в діоритах. У аналогів сієнітів, що вилилися – трахіїтів – середній вміст діоксиду титану знижується до 0,38 %, а в андезиту (еффузивного аналогу діоритів) він становить 0,77 %.

Ультраосновні породи – магматичні дуніти, перідотити і ін. містять титану в середньому всього 0,02 % [84]. Власних титанових мінералів у них не виявлено. В жильних відщепленнях ультраосновних порід – пікрітах, діаллагітах, еклогітах – вміст діоксиду титану підвищується до 0,5–1,5 %. Тут виявляються власні титанові мінерали, і в основному магній-залізисті ільменіти. З усіх ультраосновних порід кімберліти найбільш високотитанисті: вони містять в середньому 1,5 % TiO_2 . У нефелінових сієнітах – породах, як правило, збагачених оксидами і силікатами титану (мінералами типу ільменіту, перовскіту, сфену), титану більше, в середньому близько 1 %. Приблизно стільки ж титану в ультраосновних лужних породах.

В найбільш розповсюджених магматичних глибинних породах – гранітах – середній вміст титану становить 0,39 %, але в залежності від типу гранітів коливається від 0,11 до 0,57 %. В жильних гранітоїдних породах (аплітах та ін.) і в гранітних ефузивних породах, що вилилися (ліпаритах) титана стає менше – в середньому 0,3–0,33 %. Отже, до гірських порід, що збагачені титаном, належать пегматити, сієніти та лужні породи [46, 61, 145].

А.А. Маракушев та ін. [за 46] наводять середній вміст TiO_2 в ультра-базитах, %: дуніт 0,16; верліт 0,22; лерцоліт 0,26; гарцбургіт 0,21;

кортландит 0,55; піроксеніт 0,92; вебстерит 0,54; клінопіроксеніт 0,22; бронзитіт 0,16; олівініт 0,58; якупирангіт 0,92. Вміст Ti поступово знижується у ряду, %: середні породи (діорити 0,6; андезити $0,5 \pm 0,09$) – кислі (гранодіорити $0,38 \pm 0,02$; граніти платформні 0,2; геосинклінальні 0,15; кислі вулканіти $0,2 \pm 0,03$) – лужні породи (сієніти $0,41 \pm 0,05$; трахіти $0,4 \pm 0,07$; нефелінові сієніти $0,3 \pm 0,04$; фоноліти $0,24 \pm 0,04$).

У глинах різних типів вміст титану коливається в порівняно невеликих межах, а в середньому, за даними Ф. Кларка, 0,65 % [за 46]. Існує багато аналізів глин різного мінерального складу та походження, в яких титану більш 1 %, наприклад в глинах, складених каолинитом, монотермітом, гідрослюдою, від 0,8 до 2,9 %. А ось монтморилонітові і бейделлітові глини несуть всього десяті частки (максимум до 0,7 %) діоксиду титану. Особливо багаті ним глини кір вивітрювання порід основного складу. У них, як правило, більше 1 % діоксиду титану, а в деяких масивах 5–10 %. Ці глини можуть розглядатися як титанові родовища. Різні за віком глини різняться за змістом діоксиду титану, іноді досить істотно. Найбільш давні глини докембрію і кембрію містять, %: 0,84–0,88 діоксиду титану, в глинистих відкладах палеозою – до 0,8, а в наймолодших, мезозойських і кайнозойських глинах вміст у середньому становить відповідно 0,75 і 0,62 [85].

В піщаних осадових породах (пісковики, піски) кількість титану змінюється. За даними Ф. Кларка, в середньому в пісковиках 0,25 %, за оцінками радянського вченого М.С. Швецова – 0,41 % [за 111]. В пісках різного походження вмісту діоксиду титану коливаються в дуже широких межах – від сотих до перших десятих часток %, в середньому 0,2 %. Уздовж давніх, похованих долин річок і терас виявлено чимало відкладів пісків континентального типу, де від 1 до 10 % TiO_2 і більше. Тут він пов'язаний в основному з ільменітом. Піски з таким високим вмістом TiO_2 складають власне титанові родовища і відпрацьовуються промисловістю.

Середній кларк титану в карбонатних породах становить всього лише 0,12 %.

На території досліджень корінні породи представлені габро-анортозитами, габро-лабрадоритами і гранітами [9, 12, 66, 141]. Середній вміст титану у корінних породах представлений у таблиці (табл. 1.1). Вміст титану збільшується від біотитових гранітів (2000 мг/кг) до габро-анортозитів (12000 мг/кг). В корінних породах за хімічним складом відмічається така сама закономірність – збільшення вмісту TiO_2 від біотитових гранітів (4300 мг/кг) до габро-анортозитів і габро-норитів (980 і 2150 мг/кг відповідно).

Мінерали титану. У природних умовах Ті перебуває переважно у стійкому чотиривалентному стані, що відповідно визначає підвищену стійкість його кисневих сполук. Присутність TiO^{3+} відмічена у силікатних мінералах (піроксенах, амфіболах, біотиті), ільменіті та у рідкісному мінералі – армоколіті. Оміліт – власний мінерал тривалентного титану, також фіксується дуже рідко. Вільний титан у природі не існує [46, 67].

В ендегенних процесах титан утворює власні мінерали та домішок в породоутворювальних оксидах і оксосолях, а в екзогенних процесах зустрічається головним чином у вигляді власних мінералів [68]. Загальна кількість титанових мінералів перевищила 150, з них 72 – силікати, 55 – оксиди, в тому числі 21 – титанати. Найчастіше зустрічається ільменіт, не менш типовим є рутил, анатаз, брукіт, сфен, ільменорутит, перовскіт, лопарит та ульвошпінелі. Основні типи мінералів титану представлені у таблиці (табл. 1.2). Основним продуктом окиснення ільменіту є лейкоксен. У ільменіті, який найбільш поширений на території досліджень, вміст TiO_2 – 52,6 % [68, 83].

Таблица 1.1

Розподіл елементів у різних типах порід досліджуваного району, %

Типи порід	Ti	P	Pb	V	Cr	Co	Ni	Ba	Zr	Cu	Zn	Sc	Nb	Mo
Основні породи														
Габро	<u>1937</u> 90–1500	<u>489</u> 30–1500	<u>0,9</u> 0,12–3	<u>12,7</u> 0,2–50	<u>9,8</u> <u>0,4–70</u>	<u>4,3</u> 0,4–20	<u>3,9</u> 0,3–150	<u>71,6</u> 0,12–500	<u>18</u> 0,7–70	<u>3,1</u> 0,9–9	<u>15</u> 4–120	<u>3,1</u> 0,9–9	<u>1,4</u> 0,2–4	<u>0,23</u> 0,1–0,7
Габро лейкократове	<u>1725</u> 120–5000	<u>421</u> 10–1200	<u>0,6</u> 0,1–2	<u>13,9</u> 1,2–50	<u>8</u> 0,3–50	<u>4,5</u> 0,4–12	<u>1,9</u> 0,1–15	53,8 7–200	<u>16,1</u> 1,2–50	<u>3,9</u> 0,5–15	<u>12</u> 2–50	<u>2,3</u> 0,4–5	<u>1,35</u> 0,7–4	<u>0,19</u> 0,08–0,5
Габро олівін-піроксенове	<u>2322</u> 300–5000	<u>492</u> 40–1200	<u>0,53</u> 0,1–3	<u>14</u> 3–50	<u>10</u> 0,3–70	<u>5,4</u> 0,9–12	<u>3</u> 0,25–30	53,8 9–150	<u>16</u> 1,5–50	<u>4,5</u> 0,9–20	<u>18,6</u> 2–120	<u>2,5</u> 0,7–5	<u>1,6</u> 0,9–5	<u>0,17</u> 0,09–0,4
Габро порфіровидне	<u>1736</u> 1200–3000	<u>107</u> 70–150	<u>0,55</u> 0,3–0,7	<u>11,7</u> 9–15	<u>14,9</u> 3–20	<u>10</u> 7–15	<u>2,4</u> 1,5–3	46,4 40–50	<u>22,7</u> 15–30	<u>3,4</u> 2–4	<u>15</u> 12–20	<u>1,4</u> 0,9–2	<u>1,7</u> 1,2–3	<u>0,14</u> 0,1–0,2
Габро меланократове	<u>2258</u> 1200–5000	<u>488</u> 120–1200	<u>0,31</u> 0,15–1200	<u>25,8</u> 5–50	<u>6,3</u> 1,2–12	<u>7,4</u> 3,2–15	<u>4</u> 0,8–9	29,6 12–70	<u>10,1</u> 3,2–30	<u>8,1</u> 3,2–15	<u>20</u> 8–70	<u>3,4</u> 1,5–15	<u>1,3</u> 0,9–2	<u>0,1</u> 0,08–0,2
Габро-анортозит	<u>720</u> 80–5000	<u>204</u> 30–1200	<u>0,6</u> 0,1–3	<u>6,8</u> 0,9–30	<u>22,8</u> 0,4–90	<u>2,7</u> 0,4–15	<u>2,2</u> 0,3–20	44,6 5–300	<u>11</u> 0,5–63	<u>3</u> 0,7–70	<u>7,5</u> 0,5–70	<u>2,6</u> 0,4–150	<u>1,2</u> 0,9–3	<u>0,24</u> 0,09–1,5
Габро-перидотит	<u>2881</u> 400–5000	<u>736</u> 70–1200	<u>0,32</u> 0,1–0,7	<u>20</u> 1,5–40	<u>4,5</u> 0,3–63	<u>7,9</u> 2–20	<u>2,5</u> 0,2–12	29 5–70	<u>9</u> 0,5–20	<u>9,4</u> 1,5–50	<u>32,4</u> 7–120	<u>2,8</u> 0,4–5	<u>1,2</u> 0,9–1,5	<u>0,13</u> 0,08–0,2
Габро пегматоїдне	<u>1452</u> 80–4000	<u>340</u> 90–1200	<u>0,7</u> 0,3–1,5	<u>12,1</u> 1,5–32	<u>3,8</u> 0,32–40	<u>4,2</u> 0,1–9	<u>1,8</u> 0,3–9	57 30–100	<u>17,7</u> 1,5–40	<u>2,8</u> 1,2–6,3	<u>10,9</u> 5–15	<u>2,5</u> 0,9–4	<u>1,2</u> 0,9–2	<u>0,16</u> 0,08–0,32
Габро-сієніт	<u>1200</u>	<u>212,7</u> 70–400	<u>1,8</u> 1,5–3	<u>3,4</u> 0,9–12	<u>7,1</u> 0,7–30	<u>2,2</u> 0,4–4	<u>1,03</u> 0,3–3	90 70–120	<u>47,6</u> 4–120	<u>1,5</u> 0,5–2	<u>14</u> 9–20	<u>2,3</u> 0,9–3	<u>2,3</u> 0,9–3	<u>0,3</u> 0,2–0,4
Габро-монзоніт	<u>1670</u> 400–4000	<u>372</u> 120–700	<u>1,3</u> 0,9–2	<u>9</u> 0,7–12	<u>2,8</u> 0,5–20	<u>2,2</u> 0,7–5	<u>0,64</u> 0,2–1,5	77 70–120	<u>40</u> 20–70	<u>2,5</u> 1,5–3	<u>14,1</u> 7–20	<u>4,3</u> 3–15	<u>1,8</u> 1,2–3	<u>0,18</u> 0,12–0,3
Габро піроксенове	Не визн.	268 30–1200	0,9 0,2–3	10,1 0,4–30	14,7 0,5–50	3,5 0,3–9	3,9 0,3–20	145 30–500	15,3 0,7–50	4 1,2–15	15,3 5–40	2,3 0,5–5	1,9 0,9–5	0,23 0,1–0,5
Кислі породи														
Граніти	<u>349</u> 50–1500	<u>73,5</u> 30–500	<u>2,2</u> 0,4–50	<u>4,1</u> 0,3–30	<u>44,1</u> 0,9–90	<u>1,2</u> 0,3–70	<u>3,7</u> 0,5–15	68,3 5–300	<u>38,7</u> 4–150	<u>1,9</u> 0,5–9	<u>6,6</u> 2–20	<u>1,1</u> 0,4–20	<u>2,14</u> 0,7–9	<u>0,3</u> 0,1–0,7
Граніти рогово-обманкові біотитові	<u>113</u> 70–150	<u>50</u> 40–70	<u>2,2</u> 1,5–3	<u>1,4</u> 0,9–2	<u>60</u> 40–70	<u>0,3</u>	<u>3</u> 2–5	30 20–50	<u>37,3</u> 12–70	<u>1</u> 0,9–1,2	<u>3</u>	<u>0,45</u> 0,4–0,5	<u>1,4</u> 1,2–1,5	<u>0,2</u>
Граносієніти	<u>200</u>	<u>95</u> 40–150	<u>3</u> 2–4	<u>1,2</u> 0,4–2	<u>31</u> 12–50	<u>0,75</u> 0,3–1,2	<u>2,5</u> 0,9–4	<u>120</u> 50–70	<u>60</u> 1,2–1,5	<u>1,4</u> 7–9	<u>8</u> 0,5–1,5	<u>1</u> 2–3	<u>2,5</u> 0,3–0,4	<u>0,35</u> 0,3–0,4

Примітка. У числівнику наведено середній вміст, у знаменнику – межі коливань значень. «—» – немає значень (за даними ПДГРП «Північгеологія»)

Таблиця 1.2

Титанвмісні мінерали [46]

Назва мінералу	Хімічна формула	Вміст TiO_2 , %
Ільменіт	FeTiO_3	52,66
Рутил	TiO_2	–
Титаномагнетит	$\text{FeTiO}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$	–
Лейкоксен	$\text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	97,6
Сфен (титанит)	CaTiSiO_5	30,72
Перовскіт	CaTiO_3	57,75
Ульвошпинель	$[\text{TiO}_4]^{4-}$	–

Примітка. «–» вміст TiO_2 не визначено.

Середній вміст головних елементів-домішок у ільменіті та інших титанових мінералах у породах розсипних родовищ наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

**Середній вміст елементів-домішок у мінералах титану
розсипних родовищ, ($\text{п} \cdot 10^{-3}$ мг/кг) [46, 144]**

Мінерал	TiO_2	Ta_2O_5	Nb_2O_5	Sc_2O_5	TR_2O_3	Y_2O_3	V_2O_5	ZrO_2
Рутил	980	0,4	3,7	0,023	–	2,9	2,9	5
Ільменіт	650	0,2	1	0,048	0,01	1,3	1,3	2
Лейкоксен	580–660	0,05–0,07	0,7	0,02	0,36–0,56	0,3	0,3	0,2
Сфен	380	0,26	3,2	–	5	2	2	1,5

Примітка. «–» – вміст не визначено

Осадкові відклади. В умовах гіпергенезу титан малорухливий [20]. У поверхневих умовах земної кори він у вигляді стійких мінеральних різновидів переміщується механічно – водними потоками, частково вітром, однак не у вигляді розчинів. У пісках рутил та ільменіт залишаються практично незмінними. У глинах ці мінерали присутні у вигляді пелітових часток [46].

Сучасні та поховані титанові кори вивітрювання утворюються на габро-анортозитах (Волинський масив) і метаморфічних породах (УЩ, Казахстан). Під час виносу лужних елементів та утворенні глинистих мінералів групи каолініту у корі вивітрювання відбувається накопичення більш стійких акцесорних мінералів, у тому числі ільменіту та рутилу. При цьому зерна рудних мінералів зберігають первинну форму кристалів, вони не обкатані. Потужність кір вивітрювання сягає декількох десятків метрів,

завдяки чому відбувається концентрація ільменіту. Його вміст може сягати декількох сотень, рутилу – декількох десятків кілограмів на кубічний метр [11, 46].

Відомо, що найменший вміст титану є типовим для сильногумусованих ґрунтів, збіднені ним і лесовидні, болотні і вапнякові ґрунти [46]. Середній вміст титану у різних типах ґрунтів такий, %: у чорноземах – 0,47, підзолисті та піщані ґрунти – 0,6, суглинисті і глинисті – 1,5. Найменший вміст титану характерний для легких органічних ґрунтів (0,14 %), а також степових і напівпустельних ґрунтів – 0,19–0,21 % [46]. Тобто, можна зробити висновок, що мінімальну кількість титану містять легкі органічні ґрунти, далі йдуть збагачені органічною речовиною (чорноземи), максимальний вміст титану сорбують глинисті ґрунти. Різниця між вмістом елемента у легких органічних ґрунтах та глинистих ґрунтах складає 10 разів.

Родовища титану. Істотні запаси та ресурси титану присутні у 48 країнах і складають у перерахунку на TiO_2 1230 млн т (табл. 1.4) [83].

Таблиця 1.4

Світові запаси титанових мінералів на кінець 2006 р. (за оцінкою Геологічної служби США, млн тонн, за вмістом TiO_2) [30, 83]

Тип сировини і країна	Ільменіт		Рутил	
	Запаси	База запасів	Запаси	База запасів
Всього	603–673	1200–1315	49,7–52,7	100,4–103,4
КНР	200	350	н/д	н/д
Австралія	130–200	160–250	19,0–22,0	31,0–34,0
ПАР	63	220	8,3	24,0
Індія	85	210	7,4	20,0
Норвегія	37	60	н/д	н/д
США	6	59	0,4	1,8
Канада	31	36	н/д	н/д
Мозамбік	16	21	0,48	0,57
Україна	5,9	13	2,5	2,5
Бразилія	12	12	3,5	3,5
В'єтнам	5,2	7,5	0,4	1,8
С'єра-Леоне	н/д	н/д	2,5	3,6

Примітка. Н/д – не досліджувалось

Розсипні родовища є провідним промисловим типом, в них знаходиться 52 % запасів (табл. 1.5). Основне значення мають прибережні

морські комплексні ільменіт-рутил-цирконові розсипи – вони мають великі розміри (довжина – кілька десятків кілометрів, ширина – до кілометра). Промисловий вміст ільменіту і рутилу – від десятків до сотень кілограмів на кубічний метр. Ці розсипи розвинені в Західній Австралії, Індії, Шрі-Ланці та ін. Континентальні розсипи мають менші розміри [83].

Таблиця 1.5

Генетичні типи промислових родовищ титану СНД [83]

Група родовищ	Тип родовищ	Головні та супутні промислові компоненти	Вміст у руді TiO_2 , % ваг.	Родовища
Магматичні	Ільменіт-титаномагнетитові, ільменіт-апатитові у габро-норитах, габро-анортозитах, троктолітах	Fe, Ti, V, Sc, інколи P	7–13	Стремигородське (Україна), Великий Сейм (Амурська обл., РФ)
	Ільменіт-титаномагнетитові в габро	–	12–18 у суцільних рудах	Копанське, Медведівське (Урал)
	Лопаритові в луавритах, фойяїтах, уртітах	TR, Nb, Ta, Ti	1–3	Ловозерський масив (Кольський півострів)
Кори вивітрювання	З ільменітом, апатитом	Ti, V, Sc, P	3–20	Торчинське (Україна)
Розсипища	Алювіальні, алювіально-дельювіальні ільменіту	Ti, V, Sc	0,5–20	Іршинське, Лемнинське (Україна)
	Прибережно-морські ільменіту, лейкоксену і рутилу давні	Ti, Zr, TR, Sc, Nb, Ga	0,5–35	Малишевське (Україна); Туганське, Тулунське, Лукоянівське (РФ)
Метаморфізовані	Піщаники з лейкоксом та ільменітом, ділянками нафтоносні	Ti, Nb, Zr, V	8–10	Ярегське (Тиман)
	Ільменіт-магнетитові у габро-амфіболітах	Ti, Fe, V, Sc, Co	У середньому 12,2	Кусинське (Урал)

Примітка. «—» вміст не визначено

Одним з найбільш незвичайних родовищ є Ярегське (Півдний Тиман), яке містить 49 % російських запасів титану. Це поховане прибережно-морське розсипище девонського віку. Рудний мінерал – лейкоксен. Вміст TiO_2 в рудному тілі – від 8 до 20 %. Освоєння родовища ускладнене тим, що піски насичені важкою нафтою, яка також має промислове значення [99].

Магматичні родовища представлені пізньомагматичними рудами ільменіт-магнетитового, ільменіт-гематитового і ільменіт-рутилового

складу. Рудні тіла в габро-анортозитових масивах мають розміри в плані від 50×100 м до 1 км^2 , потужність їх сягає 90 м. Багаті руди складені, %: ільменітом (75) і гематитом (25), вміст TiO_2 сягає 32–36 %. У магматичних родовищах міститься більше 32 % запасів титану. Прикладом таких родовищ є Лак-Тіо (Канада) [83].

Родовища вивітрювання утворюються на габро-анортозитових масивах і метаморфічних породах. Найбільші і найбагатші родовища анатаз-перовскит-рутилових руд приурочені до кір вивітрювання карбонатитових масивів. У цих родовищах міститься майже 16 % запасів титану. Одне з найбільших – родовище анатаза тапір (Бразилія) – володіє запасами в 600 млн т TiO_2 [169].

Найбільш багатими за змістом діоксиду титану є рутилові концентрати (93–96 %), ільменіти містять 44–70 % діоксиду титану, а концентрати з лейкоксенових руд містять до 90 % TiO_2 . Всього в світі виявлено понад 300 родовищ титанових мінералів, в т. ч. 70 магматичних (69 % світових запасів), 10 – в корі вивітрювання (близько 10 % запасів) і понад 230 розсипних (20 %). Світові запаси титану містяться, %: в ільменіті (понад 82), анатазі (менше 12) і рутилі (6). Розсипища отримали найбільше промислове значення і є найбільш залученими в комерційну експлуатацію джерелами рутилової сировини і приблизно половину ільменітової. На даний час в світі експлуатуються два корінних родовища ільменіту в Канаді і Норвегії з вмістом діоксиду титану відповідно 26 і 18 % [98]. 96 % обсягів виробництва ільменітового концентрату зосереджено в 10 країнах, 3 з яких забезпечили близько 70% світового виробництва: це Австралія (45%), Норвегія (13%) і Україна (12%). Виробництво рутилового концентрату відбувається в шести країнах, близько 90 % його вироблено в трьох з них: Австралії (44 %), ПАР (30 %) і Україні (15 %) [98].

За рівнем споживання титанової сировини можна судити про розвиток країни в цілому, її положення у світовій економіці. Головні його

споживачі (у млн. т) : США – 1,23; Японія – 0,33; Німеччина – 0,32; Велика Британія – 0,29; Франція – 0,21 [83, 98].

В Україні основні ресурси титану зосереджені в корінних родовищах, хоча нині видобуток титану в Україні ведеться лише з розсипних покладів. Варто підкреслити, що в запасах і видобутку титану в Україні превалює ільменіт, запаси і видобуток рутилу дуже обмежені. Корінні і розсипні руди титану завжди тією чи іншою мірою комплексні, містять підвищені кількості заліза, цирконію, фосфору, ванадію, скандію й ін. Зокрема, з розвіданих розсипищ 11 є титан-цирконієвими [48, 78, 83].

В ільменітах України вміст TiO_2 такий: у «свіжому», незмінену ільменіті з корінних руд і руд із залишкових (каолінових) родовищ TiO_2 не більше 50 % і він якісний для сірчаноокислотної переробки на пігментний двооксид титану. Ільменіти з більшості наявних розсипищ «низькоякісні», тому що за рахунок їхньої лейкоксенізації (окиснення) вміст TiO_2 зростає до 60 і більше % [83, 89]. В Україні для одержання металічного титану (губки) використовується переважно сильно змінений ільменіт з TiO_2 64–68 % із прибережно-морських розсипищ Верхньодніпровського району.

На УЩ, в його чохлах і на схилах масштабні запаси і ресурси TiO_2 зосереджені в різних комплексних (ільменіт, рутил та ін.) розсипищах, так само як і в комплексних рудах (ільменіт, титаномagnetит та ін.) Стремигородського і йому подібних корінних родовищ, у районах габро-гранітних Коростенського і Корсунь-Новомиргородського плутонів, а також у розвинених по них корах вивітрювання [27, 83]. У північно-західній частині УЩ родовища корінних титан-фосфатних руд пов'язані з Коростенським габро-анортозит-рапаківігранітним плутоном і його обрамленням. Фосфор-титанова спеціалізація є характерною для всіх основних порід Коростенського плутону, що взагалі властиво докембрійським інтрузіям такого петрохімічного і формаційного типу. В утворенні промислових родовищ (корінних, елювіальних і алювіальних) беруть участь базити переважно двох великих масивів: Володарсько-Волинського

і Чоповицького. За їхніми межами зустрічаються лише рудопрояви і невеликі родовища таких руд [66].

Підвищені концентрації ільменіту, титаномагнетиту й апатиту є характерними для всіх тіл габроїдів. Але в породах крайової фації й у ряді малих інтрузій такі концентрації недостатньо високі. Вони утворюють бідні забалансові руди в корінному заляганні – надійне першоджерело для формування промислових родовищ у зоні гіпергенезу (елювіальних і розсипних). Промислові корінні родовища апатит-ільменітових руд приурочені лише до малих інтрузій. Умовно всі відомі до цього часу родовища діляться на дві групи за формою рудоносних малих інтрузій: 1 – лополіто- чи лаколітоподібні з більш меланократовими і більш багатими рудами в їх центральних частинах (Стремигородське, Федорівське, Кропивнянське); 2 – розшаровані моноклінально-пластоподібні, в яких меланократові рудні шари чергуються з прошарками більш лейкократових, бідних руд і безрудних порід (Видиборське, Паромівське, Юрівське і, можливо, слабо вивчене Меленівське родовища) [83].

Рудні тіла великі і середні за розмірами, штокоподібні, пластові, лінзоподібні. Це поклади ільменітових, апатит-ільменітових і апатит-ільменіт-титаномагнетитових комплексних руд. Переважають бідні і середньовкраплені руди з TiO_2 – 5–10 %, P_2O_5 – 1,5–5,0 %. Є і багаті густовкраплені (TiO_2 до 20 %), і суцільні (TiO_2 до 35 %) ільменітові руди. Передбачаються промислові поклади багатих руд типу нельсонітів [83].

Виділено чотири головні мінеральні типи руд (Тарасенко, 1990 [137]):

1. Апатит-титаномагнетит-ільменітові руди; за вмістом рудних мінералів, %: руди бідні (5–10) і середньовкраплені (10–20); густовкраплені (20–40) руди трапляються рідко у вигляді дрібних лінз і шлірів. Зустрічаються й у промислових, і в бідних родовищах, характерних для крайової фації.

2. Апатит-ільменітові і ільменітові руди, найбільш характерні для корінних руд типу малих інтрузій.

3. Апатит-ільменіт-титаномagnetит-ульвошпінелеві руди; їх встановлено в Кропивнянському родовищі. Руди містять, %: TiO_2 – 8–10; P_2O_5 – 2–4; титаномagnetит і ульвошпінель збагачені V_2O_5 – 0,41. Ільменіт з корінних родовищ містить, %: TiO_2 – 45–50; FeO – 40–42; P_2O_5 – 0,11–0,15; Cr_2O_3 – 0,05–0,06. Апатит містить 37–39 % P_2O_5 .

За масштабами ресурсів і запасів серед родовищ є унікальні, великі, середні і дрібні. Родовища компактні за розмірами із сприятливими для відкритої розробки гірничотехнічними і гідрогеологічними умовами.

Характерною рисою розсипищ північного сходу України є низький вміст хрому в ільменіті ($\text{Cr}_2\text{O}_3 \leq 0,05$ %), що забезпечує використання його концентратів для виробництва пігментного двооксиду титану. Разом з тим ільменіти алювіальних і елювіальних розсипищ Коростенського рудного району (Злобицьке, Валки-Гацківське, Правобережне, Краснорічанське й інші родовища) несуть V_2O_5 – 0,23 %, Sc – 0,01 %, що успадковано від корінних джерел. Ільменіти розсипів Іршанської групи родовищ містять (г/т): Sc – 88,8–91,7; V – 453,6–485,5; Ce – 74,6–98,4; Nb – 194,6–196,0; Ta – 13,7–14,4; Hf – 12,4–15,1; Th – 4,7–4,8; в ільменітах Торчинського родовища (г/т): Sc – 74; V – 1800; Nb – 220; Ta – 8,7; Zr – 455; Hf – 15; Co – 88 [7, 27]. Розсипища цього району формують родовища Лемненське, Червонорічанське, Шершнівське, Злобицьке, Межиріцьке й ін. При розробці цих розсипищ добувають ільменітовий концентрат [83].

До найголовніших заходів щодо зміцнення й освоєння титаново-рудної бази України належать такі [24–26]:

1. Першочерговим завданням є будівництво першої черги Стремигородського ГЗК'у великої потужності з видобутку і збагачення корінних апатит-ільменітових руд, насамперед, на базі запасів більш дрібних, ніж Стремигородське, родовищ цього регіону, більш легко освоюваних і з рудами такого ж складу, як і Стремигородське (Федорівське, Видиборзьке тощо).

2. До і після введення в експлуатацію Стремигородського ГЗК на повну потужність – підтримка потужності діючих збагачувальних фабрик Іршанського ГЗК переробкою рудоносних пісків інших кращих розсипних родовищ цього району.

3. Науково-дослідні роботи з розробки технологій збагачення ільменітовмісних каолінових руд залишкових родовищ.

4. Прогноз виявлення більш багатих родовищ корінних апатит-ільменітових і рутилових руд і пошуки їх у процесі геологознімальних і пошукових робіт на інші види корисних копалин.

Україна володіє унікальною сировинною базою комплексних титанових руд у корінних, залишкових і розсипних родовищах, що крім титану несуть значні кількості апатиту, ванадію, скандію й інших корисних компонентів. Відкриті родовища територіально зближені і розташовані в районах з розвиненими промисловою інфраструктурою і транспортом. Це дозволяє істотно розширити вже наявні виробничі потужності з видобутку титану і створити в Україні потужний титановий гірничодобувний і переробний комплекс [82, 102]. Реалізація цього дозволить цілком забезпечити свої національні потреби у титані, фосфорі, ванадії, скандії й інших цінних компонентах, а також здійснювати істотні експортні постачання в інші країни [24, 34].

1.4. Розподіл титану у гідросфері

Вміст титану у природних водах дуже відмінний: у морських – $1 \cdot 10^{-7} \%$, у поверхневих – $1 \cdot 10^{-4} \%$. Так, річкові води містять титану $0,003 \text{ мг/дм}^3$, ґрунтові – 112 мг/дм^3 [46]. С.Р. Крайновим проведено дослідження вмісту титану у поверхневих і алювіальних водах, ґрунтово-тріщинних, тріщинно-жильних та у водах глибоких гірничих виробок. Він дійшов висновку, що у тріщильно-жильних і водах глибоких гірничих виробок його вміст максимальний – більше 1270 мг/дм^3 [64].

Для встановлення міграційної здатності титану в різних типах вод Б.Ф. Міцкевичем розраховано коефіцієнт водної міграції титану (K_{Ti}) (рис. 1.1) [94, 95].

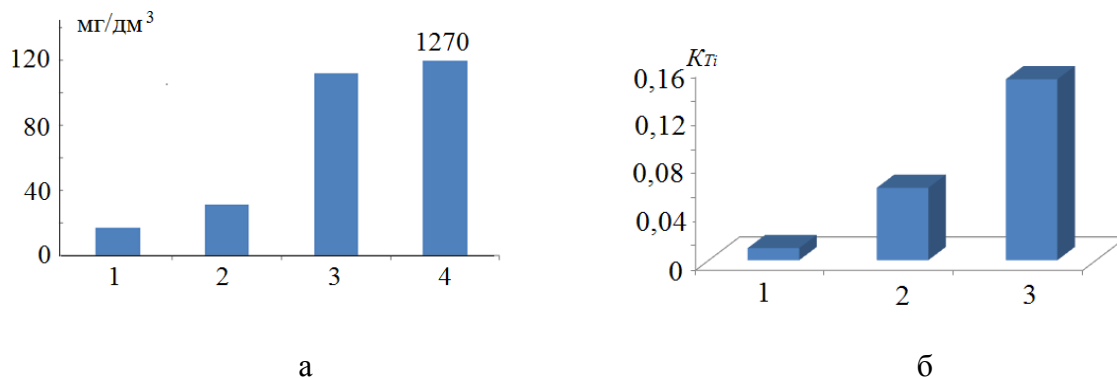


Рис. 1.1. Вміст титану та коефіцієнт водної міграції титану у різних типах вод: (а) – 1 – тріщинно-жильні, 2 – поверхневі та алювіальні, 3 – ґрунтово-тріщинні, 4 – води глибоких гірничих виробок; б – (K_{Ti}) (за даними Б.Ф. Міцкевича, 1965): 1 – води четвертинних відкладів, 2 – поверхневі води, 3 – тріщинні води кристалічного фундаменту

Ним показано, що у поверхневих водах K_{Ti} становить 0,02, а у тріщинних – 0,16, тобто у 8 разів більше.

1.5. Розподіл титану у рослинності

Житомирське Полісся лежить в межах Західно-української геоботанічної підпровінції, представлене в основному сосновими лісами і високотравною луково-болотною рослинністю [100, 121]. Розповсюджена у межах району лісова рослинність – це змішані дубово-соснові (*Quercus-Pinetea*) ліси чорницеві, орлякові, конвалієві за участю сосново-дубових (*Pino-Quercetea*) та соснових лісів (*Pineta sylvestris*) [100]. Подекуди розвинуті агрофітоценози на місці цих лісів та дубових ацидофільних лісів. По долинах річок локалізуються дубові (*Quercus robur*) ліси ацидофільні в комплексі з дубово-сосновими (*Quercus-Pinetea*) крушиново- та ліщиново-волосистоосокові, орлякові і квасеницеві. За типологією ліси свіжі та вологі, дубово-соснові субори, місцями бори та вологі грабово-соснові судіброви. Незначну площу займають вторинні березові ліси, що

формуються на місці вирубок сосняків. Особливістю даної території є досить розвинена заболоченість, болота представлені різними типами на різних елементах рельєфу: фрагментарно на вододілах трапляються оліготрофні болота, на вододілах та других терасах річок зустрічаються мезотрофні болота, вздовж річок на великих площах поширені евтрофні болота.

Титан постійно присутній в тканинах рослин і тварин [55]. У наземних рослинах його концентрація біля 10^{-4} , у морських – від $1,2 \cdot 10^{-3}$ до $8 \cdot 10^{-2}$ %. Рівень вмісту титану у рослинах змінюється в межах 0,15–80 мг/кг сухої маси. Відомо, що в деяких бур'янах, особливо у хвощі та кропиві, накопичується значно більше титану, а в діатомових водоростях його вміст складає від 15 до 1500 мг/кг.

Рекордсменами за вмістом титану є такі продукти харчування: кладофора (кущисті яскраво-зелені водорості, які часто зустрічаються як в морях, так і в прісних водоймах); яйця; молоко і вершкове масло, м'ясо тварин; наземні частини трав'янистих рослин, насіння соняшника [50].

1.6. Техногеохімія титану

У світовій літературі практично немає досліджень щодо техногеохімії титану [46], він майже не вивчений з екологічної точки зору. Донедавна більшість дослідників відносили його до групи металів незначного промислового використання. Його технофільність (за О.І. Перельманом [110], відношення маси щорічного видобутку або виробництва елемента (в тонах) до його кларку в літосфері) становила $2 \cdot 10^7$, але може сягнути 10^8 , що відповідатиме його виробництву у десятки мільйонів тон. В техногенезі титан особливо типовий для твердих відходів металургії (і викидах у атмосферу), енергетики, а також для титано-магнієвих та інших підприємств [46, 99]. Модуль техногенного тиску титану середній ($T_d=10-20$), наближений до такого для мангану. Показник техногенного використання $T_x=10^8$, літотоксичність його низька ($T_l=1$).

ГДК TiO_2 у повітрі робочої зони – 10 мг/м^3 , однак таке значення досягається зрідка. Для атмосферного повітря ГДК не визначена. У повітрі міст концентрація Ті зазвичай не перевищує $0,1\text{--}0,3 \text{ мкг/м}^3$, приміський фон – $0,08 \text{ мкг/м}^3$, в сільській місцевості вона нижче, а в промислових районах дещо вище [46].

В промисловості особливо значний об'єм титану використовується на підприємствах чорної металургії, виробництві вогнетривких матеріалів, каталізаторів тощо. Крім того, титан використовують у лакофарбовому, емалевому, хімічному, текстильному, шкіряному, скляному, пластмасовому, паперовому, гумово-технічному, фармацевтичному та інших видах виробництва. Оскільки титан віднесений до елементів, які не беруть участі в техногенезі, його поведінка у технічних відходах з екологічної точки зору не вивчалась. Однак техногенна міграція його на теперішній час досить інтенсивна. У викидах при спалюванні вугілля кількість титану в 1970-х рр. складала 3,2 млн т/рік. На сьогодні масштаби техногенної міграції титану збільшились, зола деяких ТЕЦ та шлаки низки металургійних підприємств містять до 10 % TiO_2 [109].

Титан у організмі. Наземні представники флори отримують титан з ґрунту. Травоядні тварини отримують титан з рослин, хижі і падальщики – з тіл тварин, що поїдаються [50]. Незважаючи на високу поширеність титану, в організмі людини він присутній в мікроскопічних кількостях. Вчені встановили, що титан абсолютно необхідний для утворення еритроцитів в кістковому мозку, він бере участь в процесах синтезу гемоглобіну, впливає на функціонування імунної системи, регулює рівень холестерину і карбаміду (сечовини) в крові. Титан бере участь у багатьох метаболічних реакціях [46, 173].

В організмі людини титан поширений нерівномірно. Найбільша його концентрація спостерігається в головному мозку, особливо в зоровому і слуховому центрах, а також в легенях. Встановлено також, що досить багато титану міститься в жіночому молоці. Підраховано, що в середньому

на добу в організм людини потрапляє 0,85 мг титану, в основному з водопровідною водою і продуктами харчування. Деяка частина потрапляє через легені з повітрям. Однак сполуки титану настільки хімічно міцні, що організм засвоює лише 1–3 % титану, що потрапляє в нього. В середньому, в організмі дорослої людини міститься близько 20 мг титану. Однак, у сучасних реаліях в людський організм потрапляє в основному не той титан, який включений в обмінні процеси живих організмів. На сьогодні сполуки цього хімічного елемента широко використовуються у виробництві різних харчових барвників, соусів, приправ, пакувального матеріалу, а також при обробці м'яса птиці. Оксид титану має маркування E171, і використовується в якості освітлювача у виробництві цукерок, кондитерських виробів (наприклад, зефіру), жувальної гумки та ін. [166].

Застосування титану. Наразі у світі відбувається інтенсивне зростання темпів титанової промисловості [168]. У четвертому кварталі 2012 р. ціни на ільменітовий концентрат на світовому ринку, за даними геологічної служби США, становили 250–350 американських доларів за тону, рутил – 2500–2800 за тону [168]. Одночасно відбувається зростання цін на металевий титан та інші продукти титанової галузі. Згідно з оцінками ІК «Ренесанс Капітал» за останні 10 років ціна титану зросла з 15 до 45 доларів за 1 кг, а 2015 р. вона становила 53 долара. Збільшується також попит на діоксид титану, що зростає на 3–4,3 % щорічно. В найближчі декілька років його дефіцит на світовому ринку залишиться, і пропозиція сировини складатиме 6,9 млн т, а попит – 7,6 млн т. За даними геологічної служби США (U.S. Geological Survey), у 2012 р. у світі було вироблено 7,0 млн т титанових концентратів, у тому числі в Україні – 300 тис. т, а у 2014 – 6,56 та 120 млн т відповідно [169].

Основні переваги титану перед іншими конструкційними металами – поєднання легкості, міцності і корозійної стійкості. Титанові сплави як за абсолютною, так і питомою міцністю (тобто, віднесеною до щільності) перевершують більшість сплавів на основі інших металів (наприклад,

заліза або нікелю) за температури від -250°C до 550°C , а за корозійністю їх можна порівняти з благородними металами [46]. Однак титан як самостійний конструкційний матеріал почав застосовуватися тільки у 50-х роках ХХ ст., що пов'язане з великими технічними труднощами його вилучення з руд та переробкою. Основна частина титану використовується на потреби авіаційної та ракетної техніки і морського кораблебудування. Сплави заліза з титаном, відомі як «феротитан» (20–50 % Ti), у металургії якісних сталей і спеціальних сплавів слугують легувальною домішкою та окиснювачем.

Технічний титан йде на виготовлення ємностей, хімічних реакторів, трубопроводів, арматури, насосів та інших виробів для роботи в агресивних середовищах, наприклад, у хімічному машинобудуванні. Використання титану має великий техніко-економічний ефект не тільки завдяки підвищенню терміну використання обладнання, але й для можливості інтенсифікації процесів (наприклад, у гідрометалургії нікелю). Біологічна нешкідливість титану дозволяє йому бути чудовим матеріалом для харчової промисловості та відновлюваної хірургії. В умовах глибокого холоду міцність та пластичність титану підвищується і це дає можливість використовувати його у якості конструкційного матеріалу для криогенної техніки [46].

1.7. Еколого-геохімічний аспект видобутку титану

При розгляді систем гірничодобувного класу відзначається значне перетворення приповерхневої частини літосфери. Відомо, що в процесі видобувних робіт відбувається потужне виснаження природних ресурсів (в т. ч. невідновних), пригнічення або повне знищення ґрунтового покриву, порушення природного залягання земель, порушення гідрогеологічного режиму підземних і поверхневих вод, втрата лісових масивів, забруднення атмосфери [9, 130, 146, 152].

В рамках еколого-геологічних систем гірничодобувного класу фіксуються такі перетворення приповерхневої частини літосфери [133, 147]: еколого-ресурсні: проявляються в порушенні цілісності надр, вилучення корисних копалин, відпрацювання гірничого відводу, вилучення вмісних і розкривних порід, переміщенні ґрунтів, порушенні гідрологічного і гідрогеологічного режимів, пригніченні підземних вод, спровокованим осушенням родовища, утворенні депресійних лійок; еколого-геохімічні: формуються внаслідок запилення і загазування навколишнього середовища в результаті ведення буропідливних робіт, виймально-навантажувальних операцій, транспортування викопної сировини, відвалоутворення, формування хвосто- і шламосховищ, переробки корисних копалин, захоронення відходів виробництва, скидання дренажних і стічних вод у водні басейни, використання водозабору для побутових і технічних потреб підприємств (скидання промислових стоків переробних виробництв, проммайданчиків тощо). Спостерігаються в зміні якісного складу поверхневих і підземних вод, атмосфери, ґрунтів і ґрунтів зони аерації, погіршенні якості ґрунтів, скорочення продуктивних площ, зміні біологічного режиму. Комплекс даних перетворень формує зони еколого-геохімічних аномалій [117, 125].

Під час виробництва пігментного двоокису титану утворюються токсичні відходи – сірчаний ангідрид, що у контакті з водою утворює відповідно сірчану кислоту і залізний купорос. При цьому до 30 % сировини потрапляє у відвали. Згідно з проведеними раніше дослідженнями, залізний купорос може використовуватися для виробництва залізохромових каталізаторів, задовольняючи потреби України, що складають 800 т на рік [119]. Також можливе виділення з відходів титану та заліза.

Але при розробці титанових родовищ відкритим способом екологічні ризики, пов'язані з геохімічною складовою, мінімальні, що доводить пропоноване автором дослідження. Наразі унаслідок недостатньої обізнаності населення щодо екологічної ситуації у регіонах, де добуваються

титанові руди, зростають протестні настрої [48, 26]. Однак, як показують дослідження, перш за все необхідно проводити екологічну експертизу проектів, для якої існують методики оцінки екологічних ризиків. Раніше вони були апробовані на прикладі Малишевського родовища та низки інших об'єктів.

2001 р. внаслідок побудови комплексної геологічної карти аркуша М-35–ХІІ (Коростень) [57] було проведено вивчення екологічного стану досліджуваної території (рис. 1.2).

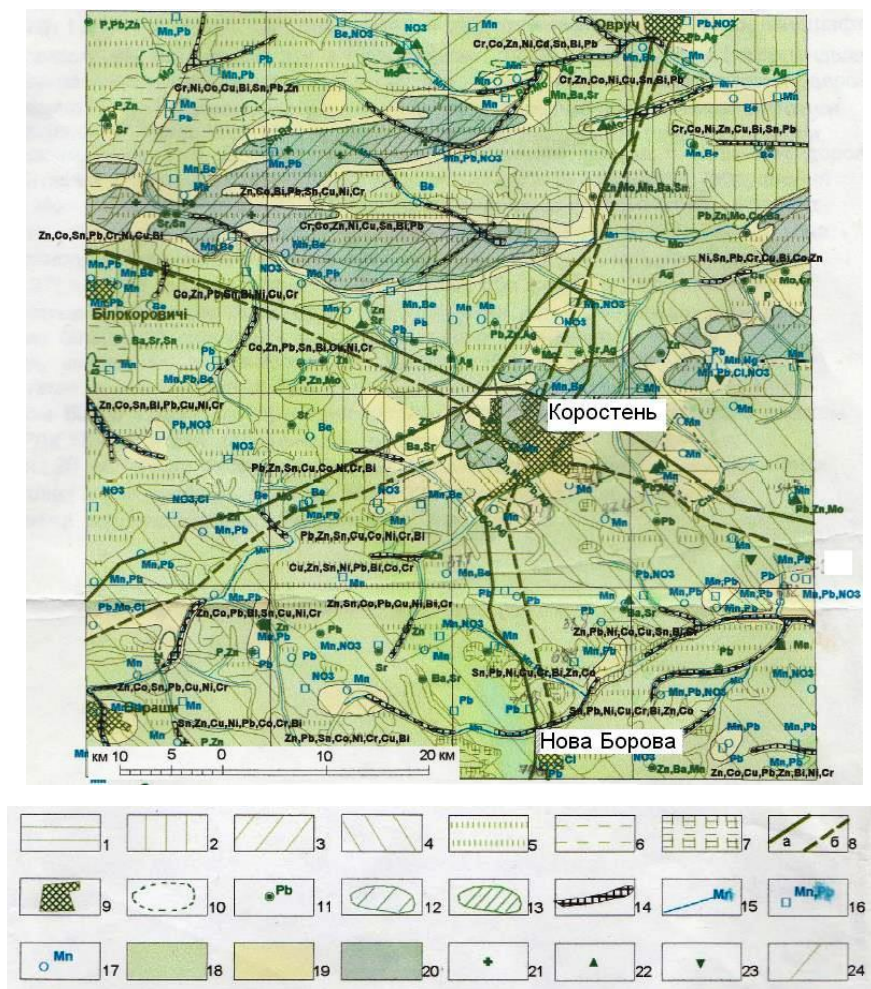


Рис. 1.2. Схематична карта екологічного стану геологічного середовища: 1 – елювіально-аккумулятивний рід ландшафту з підзолистими ґрунтами (агроландшафт); 2 – елювіально-аккумулятивний рід ландшафту з дерново-підзолистими ґрунтами (агроландшафт); 3 – елювіальний рід ландшафту з опідзоленими ґрунтами (агроландшафт); 4 – супераквальний рід ландшафту з підзолистими глеюватими ґрунтами (агроландшафт); 5 – супераквальний рід ландшафту з підзолистими глеюватими ґрунтами (лісогосподарський ландшафт); 6 – субаквальний рід ландшафту з торф'яно-перегнійними ґрунтами

(лісогосподарський ландшафт); 7 – гірничо-промислові ландшафти (кар'єри, відвали, рекультивовані землі); 8 – дорожні ландшафти (а – шосейні дороги, б – залізничні дороги); 9 – селективний ландшафт (міські та сільські агломерації); 10 – площинні забруднення ґрунтів (Мо – елемент-забруднювач); 11 – локальне забруднення ґрунтів (Рb – елемент-забруднювач); 12 – поля зі щільністю забруднення цезієм-137 ($>15 \text{ Ki/км}^2$ – III зона гарантованого добровільного відселення); 13 – поля зі щільністю забруднення цезієм-137 ($>5\text{--}15 \text{ Ki/км}^2$ – II зона безумовного (обов'язкового) відселення); 14 – водотоки з сумарним показником забруднення донних відкладів важкими металами більше 10 одиниць і характеристиках елементарного складу в порядку зменшення концентрації елементів; 15 – забруднення ділянок рік елементами з вмістом більше ГДК; 16 – забруднення вод у колодязях елементами з вмістом більше ГДК; 17 – забруднення вод у свердловинах елементами з вмістом більше ГДК; 18 – категорія забруднення – слабка; 19 – категорія забруднення – середня; 20 – категорія забруднення – сильна; 21 – місця поховання радіоактивних матеріалів (ґрунт, шифер, асфальт та ін.); 22 – колгоспні двори; 23 – ферми; 24 – границі розповсюдження елементарних ландшафтів [57]

В результаті робіт встановлено, що за ступенем геохімічного забруднення ґрунтів вся територія робіт відноситься в основному до сприятливої, за виключенням міста Коростень та деяких сіл, де категорія забруднення середня [57].

За 15 років після проведення екологічних робіт продовжувалася розробка титанових родовищ, тому визначення еколого-геохімічного стану території на сьогодні є вкрай актуальною.

Таким чином, серед завдань нового етапу розвитку мінерально-сировинної бази титану України є необхідність попередньої еколого-геохімічної експертизи майбутніх проектів та оцінки екологічних ризиків запущених проектів з метою запобігання спекуляцій з приводу порушення навколишнього природного середовища [26].

1.8. Підсумки

У розділі проаналізовано історію дослідження титану, надано інформацію про його розподіл у об'єктах довкілля, техногеохімію, розглянуто еколого-геохімічний аспект видобутку елемента.

На наявність розсипів титану в Україні вперше звернули увагу в 20-тих рр. XX ст., але систематичні роботи почалися лише після 1945 р. Так, дослідження В.С. Соболева і О.О. Полканова (1947–1948 рр.) присвячено питанням петрології Коростенського плутону; розподіл акцесорних цирконів, флюориту та апатиту в гранітах Коростенського плутону розглянуто в роботах Б.Ф. Міцкевича (1963 р.); подальші дослідження щодо речовинного складу руд апатит-ільменітових родовищ, розглянуто в роботах багатьох дослідників – В.П. Проскуріна, С.В. Металіди, О.Б. Фоміна, С.М. Цимбала, Ю.О. Полканова, В.П. Бухарева, І.Л. Личака, С.Н. Нечаєва та ін. Починаючи з 2000 р. внаслідок стрімкого розвитку геохімічної науки та застосування сучасних методів аналізу (*ICP-MS* та ін.) дало змогу вивчити мікроелементний склад родовищ титану – С.Г. Кривдік, О.В. Дубіна, Г.В. Гуравський та ін. На сьогодні питаннями щодо стратегії розвитку мінерально-сировинної бази титану присвячені роботи Л.С. Галецького.

У розділі надано геохімічну характеристику титану як хімічного елементу, викладено інформацію про розподіл його в об'єктах довкілля (поверхневих відкладах, природних водах і рослинності). Зазначено, що в умовах гіпергенезу титан малорухливий. Але в той же час, відбувається його інтенсивна техногенна міграція (зола деяких ТЕЦ та шлаки низки металургійних підприємств містять до 10 % TiO_2). У зв'язку з інтенсивним розвитком титанової промисловості на перший план виходить питання еколого-геохімічної оцінки стану навколишнього середовища, через те, що, наприклад, під час виробництва пігментного двоокису титану утворюються токсичні відходи. Вивчення еколого-геохімічної ситуації в цьому аспекті на відпрацьованому Іршанському ільменітовому родовищі та Стремигородському апатит-ільменітовому корінному родовищі не здійснювалось, тому актуальним і необхідним є проведення таких робіт з метою створення засад екологічної експертизи майбутніх проектів розвитку мінерально-сировинної бази титану України.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Автором застосовано комплексний підхід щодо еколого-геохімічної оцінки об'єктів довкілля Іршанського та Стремигородського родовищ титану. Об'єктами досліджень слугували поверхневі і донні відклади, природні води, рослини. Проаналізовано близько 900 проб корінних порід (майже 600 – габро та понад 300 – гранітів), 500 – поверхневих відкладів, 100 – донних відкладів, 225 – природних вод (110 поверхневих, 50 свердловин, 65 колодязів) та 50 рослинності.

2.1. Польові дослідження

Для виявлення зон еколого-геохімічного ризику, вивчення умов їх утворення використано літохімічні, гідрохімічні та біогеохімічні методи опробування [49]. Досліджувана територія диференційована нами на функціональні зони з урахуванням природних і ландшафтних особливостей. При цьому за основу був узятий принцип достатньої однорідності з точки зору їх належності до вихідних ландшафтів і однотипністю їх функціонального використання.

Поверхневі відклади. Відбір проб ґрунтів здійснювався шляхом літохімічного опробування за методом «конверту» з об'єднанням п'яти точкових проб в одну, загальною вагою 0,5 кг, глибина відбору площадних проб складала 0–5–15 см в залежності від типу ґрунту та індикаторного горизонту, крім того в деяких точках виконано відбір проб за вертикальним профілем ґрунту до глибини 50 см. Камеральні роботи підготовки проб поверхневих відкладів для аналізу склалися з очищення від коріння та відходів. Відібрані проби висушувались до повітряно-сухого стану, розминались та просіювались на капроновому ситі з

розміром отворів 1–1,25 мм. Далі просіяні проби квартувались та розділялась на лабораторні наважки і дублікати [87, 88].

Дослідження рослинності. На досліджуваній території було відібрано зразки листя берези, глици сосни та моху. Критеріями вибору згаданих фітооб'єктів для геохімічного опробування була їх повсюдна присутність на території. Проби рослин відбиралися також методом конверту зі стороною квадрату 5 м. Відібрані проби висушувались до повітряно–сухого стану та спопелялись у муфельних печах в фарфорових тиглях при вільному доступі кисню і температурі 400 °С. Отриманий попіл дотирався у фарфоровій ступці та пересипався в паперові пакети, які здавались в лабораторію для аналітичних досліджень [56, 80].

Поверхневі води. Об'єктами дослідження слугували поверхневі води рр. Ірши та Ужа, води колодязів 32 населених пунктів, які знаходяться поблизу Іршанського та Стремигородського родовищ титану, води свердловин. Відбір проб проводився за загальною методикою [86, 126]. Проби поверхневих вод відбирались безпосередньо із водостоків на максимальній відстані від берега. Вода відбиралась в спеціально підготовлену (чисту) скляну тару. Перед набиранням води, тару ополіскували водою, що відбиралася. Для спеціалізованих аналізів відібрані проби води консервувалась хімічними реактивами відповідно лабораторних вимог. Після необхідного маркування відібрані проби направлялись в лабораторію для аналітичних досліджень.

Донні відклади. Проби донних відкладів відібрано у місцях зі сповільненим водотоком р. Ірша та її притоків (мулистий матеріал) з глибини 0,1 м, вага проби складала 0,5 кг. Відібрані проби висушували, розминали та просіювали на ситі з розміром отворів 2 мм, після чого квартували та розділяли на лабораторні наважки [70, 170].

2.2. Аналітичні дослідження

Для визначення вмісту хімічних елементів у підземних водах було застосовано комплекс аналітичних методів: хімічний, атомно-абсорбційний [1, 101], емісійний спектральний, потенціометричний, та методом мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-MS) на приладі *Element-2* в Центрі колективного користування приладами ІГМР НАН України та у спектральній лабораторії Житомирської експедиції ПДРГП «Північгеологія».

Власними зусиллями виконано такі види робіт: визначення схеми опробування, первинна обробка та підготовка проб до спектрального, атомно-абсорбційного та потенціометричного визначення, проведення потенціометричного вимірювання, аналіз та обробка результатів статистичними та математичними методами, опрацювання та інтерпретація результатів.

Аналіз поверхневих відкладів (ґрунтів). Валовий вміст хімічних елементів у поверхневих відкладах визначали за стандартною методикою [87, 88], рухомі форми визначено з використанням 0,1 н розчину соляної кислоти (HCl) як екстрагента [70]. Розведена соляна кислота застосовується для вилучення елементів, що входять до складу аморфних сполук і характеризують весь потенційний запас елемента у ґрунті, що найбільш актуально для ґрунтів, які підлягають активному техногенному впливу. Тому на основі порівняння властивостей найбільш уживаних екстрагентів і особливостей досліджуваних об'єктів аналітична підготовка до вимірювання вмісту рухомих форм металів у ґрунті здійснювалась так: наважка проби масою 3–5 г струшувалась з екстрагентом у відношенні 1 : 10 на механічному струшувачі протягом часу t . Оптимальний час струшування визначено експериментально – він становить близько 10 хвилин, більш тривала взаємодія може привести до розчинення мінеральної фази проби. Розчин фільтрували через білий фільтр, відкидаючи перші порції. У фільтраті визначали вміст рухомих форм

досліджуваних елементів. Метали (Zn, Cu, Pb, Ni, Co) визначалися на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115-М1 (чутливість методу, мг/дм³: для нікелю і кобальту – 0,1, для міді і цинку – 0,05). Контрольні виміри проводилися за допомогою методу *ICP-MS*.

Важливим елементом обробки літогеохімічної інформації при виконанні еколого-геохімічних досліджень є достовірне визначення фонових концентрацій хімічних елементів у ґрунтах і донних відкладах. Вибір еталонного фонового вмісту здійснювався із вибірок на ділянці, значно віддаленій від джерел забруднення і практично не підданій антропогенному впливу. Така ділянка обрана в межах Поліського заповідника, де ґрунти мають такий же тип і ландшафтно-геохімічні умови як і досліджені, але практично не забруднені важкими металами.

Проведено визначення водневого показника рН, окисно-відновного потенціалу Eh у водних витяжках з усіх проб ґрунтів потенціометричним методом у лабораторії відділу пошукової та екологічної геохімії ІГМР НАН України. Для цього попередньо розчиняли наважку ґрунту 3 г в 30 см³ дистильованої води, перемішували протягом 10 хвилин та відфільтровували. Для встановлення адекватності методів аналізу проводили численні контрольні визначення елементів.

Крім того, зроблено 18000 спектральних аналізів на 20 елементів у корінних породах – Ti, P, Pb, V, Cr, Co, Ni, Ba, Zr, Cu, Zn, Sc, Nb, Mo, Sn, Y, La, Ce, Mo, отриманих у спектральній лабораторії Житомирської експедиції ПДРГП «Північгеологія». Для характеристики хімічного складу корінних порід використано результати хімічного аналізу 100 проб на вміст SiO₂, Al₂O₅, Fe₂O₃, FeO, TiO₂, P₂O₅, CaO, MgO, MnO, K₂O, Na₂O.

Аналіз поверхневих вод проведений лабораторією Житомирської експедиції ПДРГП «Північгеологія» за стандартними методиками.

Аналіз рослинності. Відібрані проби висушувалися, розтирались та проводилась пробопідготовка, яка є загальною для поверхневих відкладів та рослинності.

2.3. Обробка та інтерпретація аналітичних даних

При опрацюванні аналітичних результатів досліджень для визначення статистичних характеристик автором використовувалась програма *Excel*, *Statistica*. Картографування даних виконувалось за допомогою геоінформаційних систем – *MapInfo Professional* та програми *Surfer*. Як допоміжні, використовувались програми обробки графіки – *AdobePhotoshop*.

2.4. Розрахункові геохімічні критерії

Для оцінки еколого-геохімічного стану територій було обрано та розраховано геохімічні критерії для ґрунтового, водного середовищ і рослинності [87, 110, 122]:

– *коефіцієнт концентрації* (K_c) – один із головних показників оцінки геохімічної та еколого-геохімічної інформації, який розраховувався за формулою C_i/C_ϕ , де C_i – концентрація i -го елемента в пробі (мг/кг), а C_ϕ – фонові концентрації цього елемента;

– *коефіцієнт небезпеки* (K_H) – відношення фактичного вмісту елемента до ГДК: $K_H = C_i/\text{ГДК}$, де C_i – концентрація « i »-го елемента в пробі (мг/кг), ГДК – встановлена величина нормативу для ґрунтів.

– *кларк концентрації* (KK) – відношення фонового вмісту мікроелемента до його кларка. Специфічні ознаки геохімії ландшафтів оцінюють за елементами істотної концентрації з $KK > 1,5$ та істотного розсіювання з $KK < 1,5$.

Для визначення комплексного впливу хімічних елементів на стан довкілля використовується *сумарний показник забруднення* (Z_C). Він застосовується для визначення забруднення ґрунтів техногенних ландшафтів токсичними елементами 1–3 класів небезпеки, і розраховується як адитивна сума перевищень коефіцієнтів концентрацій над фоновим рівнем, за формулою: $Z_C = (\sum C_i/C_\phi) - (n-1)$, де C_i – вміст небезпечного (токсичного) елемента в досліджуваному компоненті техногенного

ландшафту; C_ϕ – фоновий вміст цього ж елемента в компоненті природного ландшафту; n – кількість елементів зі значеннями $C_i/C_\phi > 2$. Рівні небезпечності забруднення ґрунту за Z_C поділяються на: допустимий – <16 ; помірно небезпечний – $16-32$; небезпечний – $32-128$; дуже небезпечний – >128 .

– *Індекс забрудненості вод (ІЗВ)* – середня частка перевищення ГДК по строго лімітованому числу індивідуальних інгредієнтів. Розраховується за формулою:

$$ІЗВ = \frac{\sum_{i=1}^n C_i / ГДК_i}{n}$$

де C_i – концентрація компонента, n – число показників, які використовуються для розрахунку індексу; $ГДК_i$ – встановлена величина нормативу для відповідного типу водного об'єкта.

Для розрахунку геохімічних критеріїв використано значення вмісту хімічних елементів в умовно чистих природних ландшафтах [43], далі – фоновий вміст: дерново-середньопідзолистий піщаний ґрунт, мг/кг : Zn – 23, Cu – 12, Ni – 9, Co – 8, Cr^{3+} – 18, V – 20, Pb – 2, Mo – 1; дерново-середньопідзолиста глейовий глинисто-піщаний: Zn – 27, Cu – 17, Ni – 18, Co – 6,2, Cr – 20, V – 18, Pb – 5, Mo – 0,8. Кількість проб у вибірці (n) за кожним типом функціональної зони складала 40–90.

При дослідженні рослинності було використано такий показник, як *коефіцієнт біологічного поглинання (A_x)*. Інтенсивність поглинання характеризується відношенням кількості елемента в золі рослин до його кількості в ґрунті або гірській породі. $A_x = l_x/n_x$, де l_x – вміст елемента в золі рослин, n_x – в ґрунті, на якому виростає ця рослина.

2.5. Підсумки

У розділі подано характеристику виконаних польових літо-, біо-, гідрохімічних робіт, які здійснені автором, та обґрунтовано методи досліджень. Особисто автором виконано такі види робіт: визначення схеми опробування, опробування території, первинна обробка та підготовка проб

до спектрального, атомно-абсорбційного та потенціометричного аналізів, виконання потенціометричного вимірювання, аналіз та обробка результатів статистичними методами, опрацювання та інтерпретація результатів.

Вміст титану та інших хімічних елементів в об'єктах довкілля визначено за допомогою комплексу аналітичних методів: атомно-абсорбційного, емісійного спектрального, потенціометричного та методу мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (*ICP-MS*) на приладі *Element-2* у Центрі колективного користування приладами ІГМР НАН України. Аналізи виконано у стандартизованих лабораторіях ІГМР НАН України та лабораторії Житомирської експедиції ПДРГП «Північгеологія».

Для отримання геохімічних критеріїв та встановлення ступеня екологічної небезпеки територій автором розраховано й застосовано показники – коефіцієнт концентрації (K_c), кларк концентрації (KK), коефіцієнт небезпеки (K_n), сумарний показник забруднення (Z_c), індекс забрудненості вод (IZB), коефіцієнт біологічного поглинання (A_x).

Обробку та інтерпретацію одержаних аналітичних даних здійснено за допомогою пакетів програм – *Microsoft Excel*, *Adobe Photoshop*, *Statistica 6*. Для візуалізації результатів, зокрема, побудови картосхем застосовувались геоінформаційні системи (ГІС): *MapInfo Professional* та *Golden Software Surfer*.

У північно-західній частині УЩ родовища корінних титан-фосфатних руд пов'язані з Коростенським габро-анортозит-рапаківігранітним плутоном і його обрамленням [57]. Фосфор-титанова спеціалізація є характерною для всіх основних порід Коростенського плутону (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Характеристика родовищ Коростенського плутону УЩ [83]

Родовище	Геоструктурне положення	Вмісні породи	Морфологія рудних тіл	Рудні мінерали	Супутні нтр. комп., %
Магматичні в базит-ультрабазитових комплексах докембрійських щитів і їх складчастих обрамлень					
Стремигородське	Коростенський плутон УЩ	Габро-анортозити	Рудні поклади різної форми, у тому числі штокоподібні	Ільменіт, апатит	V ₂ O ₅
Гіпергенні (залишкові) кори вивітрювання					
Іршанська група	Коростенський плутон УЩ	Первинні каоліни, жорства корінних порід	Пластові лінзовидні і неправильної форми поклади	Ільменіт	Апатит
Розсипні, алювіальні давні заховорені					
Іршанська група	Осадочний чохол УЩ	Алювіальні і алювіально-делювіальні відклади (піски), первинні та перевідкладені каолінові кори вивітрювання	Пластові і лінзовидні поклади	Ільменіт	Апатит

В утворенні промислових родовищ (корінних, елювіальних і алювіальних) беруть участь базити переважно двох великих масивів: Володарсько-Волинського і Чоповицького. За їхніми межами трапляються лише рудопрояви і невеликі родовища таких руд [83]. Підвищеними концентраціями ільменіту, титаномagnetиту й апатиту характеризуються всі тіла габроїдів. Але в породах крайової фації й у ряді малих інтрузій такі концентрації недостатньо високі. Вони утворюють бідні забалансові руди в корінному заляганні – надійне першоджерело для формування промислових родовищ у зоні гіпергенезу (елювіальних і розсипних).

Промислові корінні родовища апатит-ільменітових руд приурочені лише до малих інтрузій.

Розповсюдженими породами є габро, габро-анортозити, габро-норити, анортозити, перидотити та піроксеніти, які розглядаються як титаноносні у межах Стремигородського родовища [25, 83]. Анортозити характеризуються підвищеним вмістом алюмінію, кальцію, натрію, зниженим – заліза, магнію та титану. Група габро-норитових порід характеризується підвищеним вмістом титану та заліза з великим перевищенням Fe над Fe_2O_3 . Якщо прослідкувати зміни в складі основних порід від анортозитів до габро-норитів, можна встановити закономірне зменшення вмісту алюмінію, кальцію та натрію та одночасне зростання – заліза, титану, калію та фосфору. Ультраосновні породи Коростенського плутону істотно відрізняються тим, що в їх складі менше SiO_2 та MgO і значно більше оксидів Fe та Ti. Мінеральний склад ультраосновних порід досить одноманітний. Головні мінерали – піроксени, олівіни; другорядні – плагіоклаз, біотит, калієвий польовий шпат, апатит; вторинні – серпентини, тремоліти, хлорити, карбонати.

Рудні мінерали представлені титаномagnetитом, ільменітом, магнетитом, піритом, іноді піротином та халькопіритом. Ільменіт – головний рудний мінерал основних порід, що визначає металогенічну спеціалізацію габро-анортозитових масивів, на його частку припадає близько 97–98 % TiO_2 . Він зустрічається у вигляді дрібної нерівномірно розповсюдженої сингенетичної вкрапленості [52, 58, 59]. Ці ільменіти містять незначну домішку хрому, оксиду ванадію (0,25 %), оксиду фосфору (до 0,065 %) [21]. Проаналізувавши хімічний склад кристалічних порід території досліджень, відмічаємо, що основні породи (габро-анортозити та габро-норити) містять TiO_2 у 4 рази більше, ніж інтрузивні породи (табл. 3.2). Максимальний вміст TiO_2 спостерігається у габро-анортозитах (3,11 %), а мінімальний – у аплітоїдних гранітах (до 0,32 %). Разом з максимальним вмістом TiO_2 відмічається підвищений вміст Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO, P_2O_5 , CuO, MgO.

Таблиця 3.2

Хімічний склад кристалічних порід Коростенського плутону, %

Порода, коростенський комплекс	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O
Інтрузивні породи											
Граніти рапаківі	70,42 (68,13– 72,96)	13,39 (12,8– 13,7)	1,72 (1,04– 3,76)	3,38 (2,62– 3,82)	0,52 (0,48– 0,76)	1,23 (0,11– 0,43)	0,37 (0,88– 1,62)	0,06 (0,3– 0,43)	0,23 (0,04–0,08)	5,12 (4,55– 5,39)	3,19 (2,89– 3,44)
Граніти біотитові	72,26	13,28	1,22	2,56	0,43	1,28	0,5	0,04	0,13	4,29	2,95
Граніти аплітоїдні	74,91 (74,05– 75,76)	12,56 (12,43– 12,72)	1,08 (0,91– 1,24)	1,69 (1,39– 1,98)	0,26 (0,19– 0,32)	0,3 (0,04– 0,55)	0,74 (0,69– 0,78)	0,19 (0,18– 0,2)	0,045 (0,04–0,05)	4,97 (4,78–5,15)	2,85 (2,74– 2,95)
Граніти контаміновані	63,71	13,77	2,27	5,77	0,93	0,28	3,54	1,55	0,09	3,12	3,55
Основні породи											
Габро-анортозити	54,22 (52,65– 55,79)	22,21 (20,28– 24,14)	1,48 (0,71– 2,25)	3,64 (2,58– 4,7)	0,98 (0,39– 1,56)	0,16 (0,07– 0,24)	5,78 (3,96– 7,6)	1,94 (1,11– 2,76)	0,06 (0,04–0,07)	1,47 (1,16–1,77)	3,77 (3,61– 3,93)
Габро-норити	51,85 (50,33– 53,37)	15,06 (14,22– 15,87)	3,74 (3,43– 4,05)	8,7 (6,24– 11,17)	2,15 (1,18– 3,11)	0,58 (0,4–0,76)	6,66 (6,44– 6,88)	5,21 (4,21– 6,21)	0,1 (0,09–0,11)	1,78 (1,45–2,1)	2,88 (2,76– 2,99)
Гібридні породи											
Габро-сієніти	61,35	17,2	1,46	5,74	1,03	0,24	2,98	0,26	0,11	5,32	4,0
Граносієніти	64,63	15,18	2,23	4,31	0,7	0,14	1,37	0,36	0,07	5,67	4,23
Середній вміст в породах УЩ											
Основні породи	53,04	18,63	2,61	6,17	1,56	0,37	6,22	3,57	0,08	1,62	3,32
Інтрузивні породи	71,16	13,26	1,48	3,03	0,46	0,19	1,34	0,47	0,05	4,76	3,1
Гібридні породи	63,0	16,19	1,85	5,03	0,87	0,19	2,18	0,31	0,09	5,5	4,12

Примітка. У таблиці наведено середнє значення та в дужках межі коливань значень (за даними ПДРГП «Північгеологія»)

Гібридні породи, такі як габро-сієніти і граносієніти, мають проміжний вміст TiO_2 (0,76–1,03 %) [57].

Досліджувану територію дуже добре вивчено шляхом глибинного випробування гірських порід. Загальна схема вивченості представлена нижче (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Схема відбору фактичного матеріалу на ділянці робіт за весь період вивченості [57]

Для аналізу розподілу титану за глибиною різних типів порід обрано свердловини №№ 1159, 1113, 1157, 1106 (рис. 3.3).

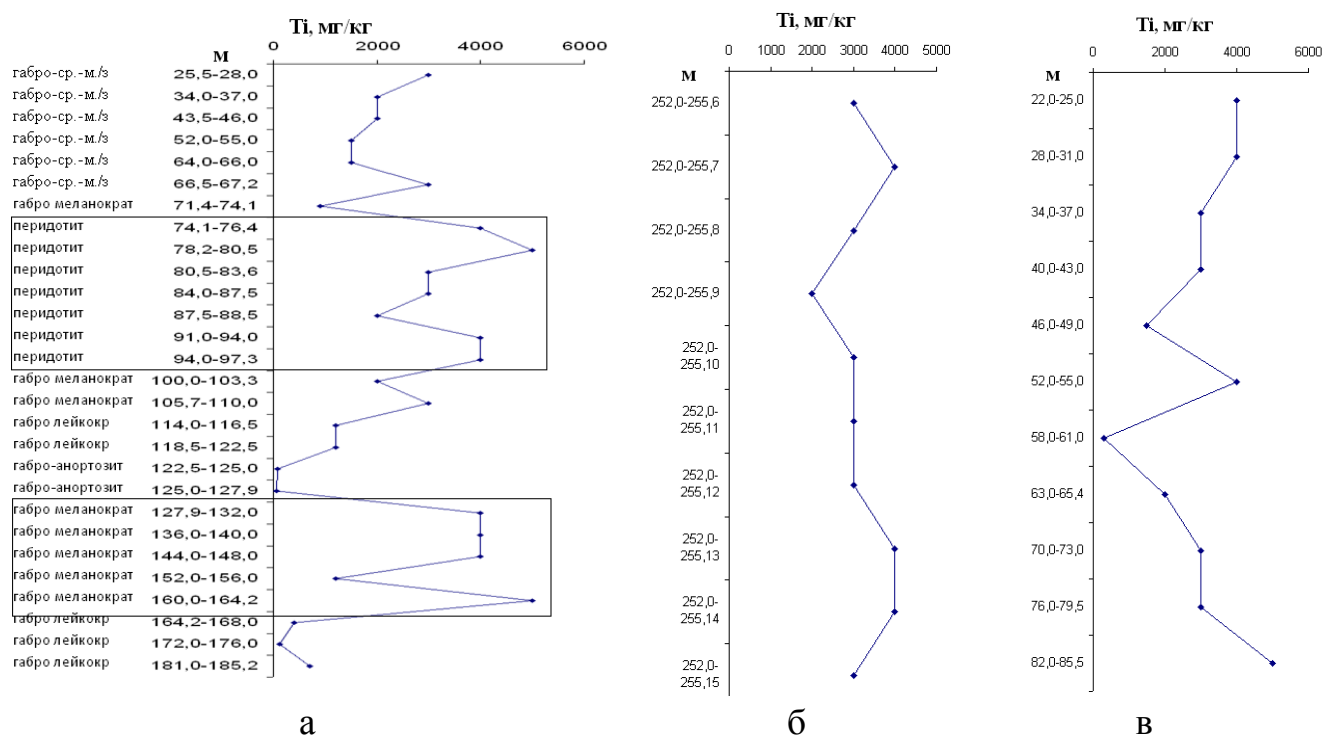
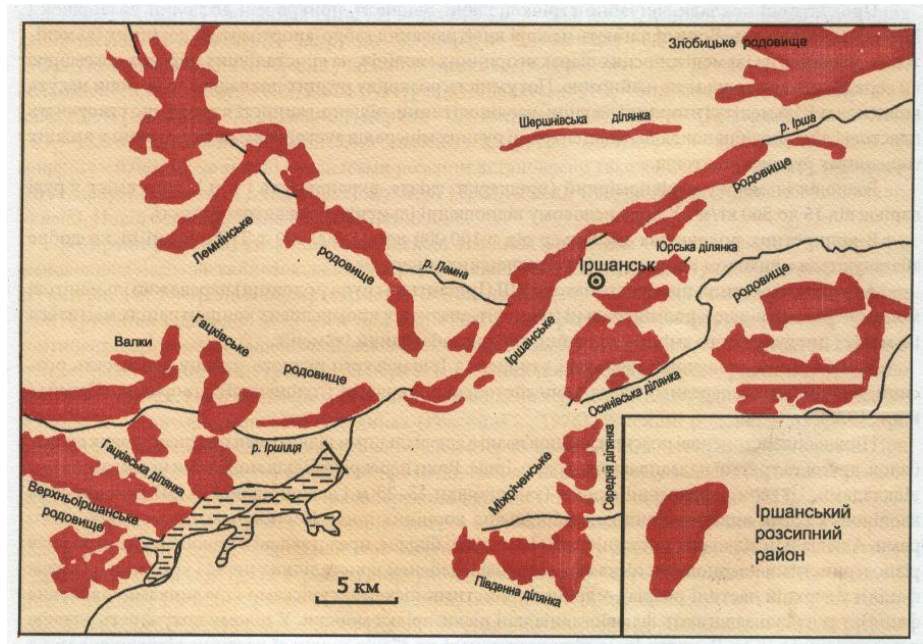


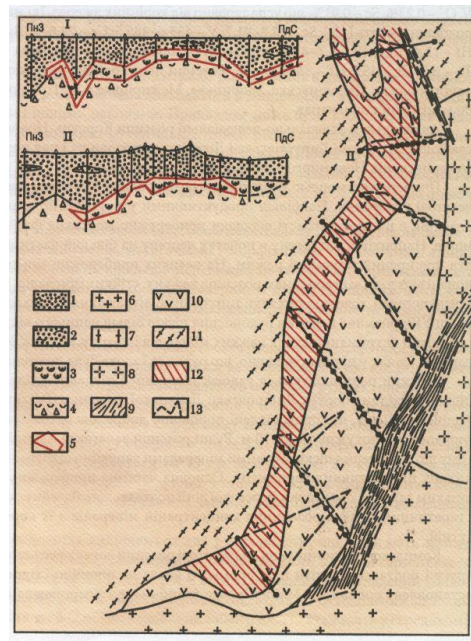
Рис. 3.3. Графіки вертикального розподілу титану у перидотитових породах: а – у свердловині 1159 (25,5–185,2 м), б – св. 1113 (255–266 м), в – св. 1157 (22–86 м)

За результатами аналізу розподілу титану встановлено, що у перидотитах (глибина 74,1–97,3 м) і меланократових габро (глибина 127,9–164,2 м) вміст елементу максимальний і становить 4000–5000 мг/кг (при середньому – 2000 мг/кг). Зважаючи на те, що перидотити широко представлені на території досліджень, проаналізовано вміст Ті у породі на глибині (255–266 м) та дещо вище (22–86 м) (рис. 3.3). Св. 1113 є глибинною, у перидотитових породах. Середній вміст Ті складає 3500 мг/кг. Стосовно невеликих глибин (св. 1157), середній вміст Ті – 2000 мг/кг, при цьому збільшується на глибину, де становить біля 5000 мг/кг.

Іршанська група розсипних родовищ титану. Алювіальні розсипища північного заходу УЩ (Іршанська група родовищ) переважно ільменітові мономінеральні, рідше – двомінеральні (ільменіт, апатит). У промислових концентраціях міститься ільменіт і продукти його змінення – зазвичай лейкоксенований ільменіт (рис. 3.4) [83].



а



б

Рис. 3.4. Схема розташування розсипних родовищ і ділянок Іршанського рудно-розсипного району (Патик-Кара та ін., 1997). На врізці – положення Іршанських розсипів відносно корінних апатит-ільменітових родовищ [83] (а) та принципові розрізи і план викопного ільменітового розсипища в перевідкладеній корі вивітрювання в контурі Іршанського родовища (Розсипні..., 1976) (б): 1 – породи розкриву – четвертинні піски і суглинки; 2 – вторинний каолін; 3 – первинний каолін; 4 – вивітрені жорстка і щебінь основних порід; 5 – контур рудного пласта; 6–11 – породи плоти; 6 – 8 – коростенські біотитові граніти (6 – дрібно- і середньозернисті; 7 – грубозернисті пегматоїдні; 8 – гнейсовидні, місцями розсланцьовані, катаклазовані і альбітизовані); 9 – сланці актиноліт-хлоритові; 10 – габромонзоніти, габронорити, габролабрадорит, габро масивні; 11 – мігматити житомирських гранітів; 12 – рудна зона; 13 – штрих-лінійні графіки над лініями профілів свердловин – вміст ільменіту в умовних одиницях [83]

В алювіальних розсипищах «свіжий» ільменіт був лише в двох відпрацьованих родовищах Волинського району. У всіх інших алювіальних розсипищах ільменіт змінений, лейкоксенізований і для прямої переробки в пігментний двооксид за сірчаноокисотною технологією не придатний, тому його спочатку переробляють на губчастий титан, а останній – на TiO_2 . Цей процес дорогий і енергоємний [83]. У розсипищах відпрацьовують лише алювіальні поклади з незначним «причерпуванням» елювіальних (залишкових) утворень, тобто каолінів з ільменітом. Переважна маса запасів елювіальних (залишкових) розсипищ залишається поки в надрах. Схема розташування розсипних родовищ і ділянок Іршанського рудно-розсипного району представлена на рисунку (рис. 3.4) [83].

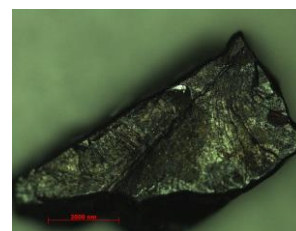
На базі розвіданих розсипних родовищ працюють два комбінати – Іршанський гірничозбагачувальний (Іршанський ГЗК) і Вільногірський гірничо-металургійний (ВГМК), що забезпечують Україну титановою сировиною (ільменітовими і, частково, рутиловими концентратами) [69]. Іршанський ГЗК (рис. 3.5 а) задовольняє потреби Сумського виробничого об'єднання (ВО) «Хімпром» і Кримського ВО «Титан» у титановій сировині (рис. 3.5 б) для виробництва білих пігментів. Комбінат є єдиним у колишньому СРСР постачальником концентратів для хімічної промисловості [87].



а



б



в

Рис. 3.5. Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат (ІГЗК) (а), збагачений ним ільменітовий концентрат (б) та ільменіт (в)

У віковому відношенні алювіальні утворення Іршанського рудоносного району – це нижньо-, середньо-, верхньоплейстоценові і сучасні (голоценові) утворення [144]. Нижньоплейстоценові розсипища пов'язані з алювіальними відкладами постнеогенових долин, балок, другої та третьої надзаплавних терас р. Ірша. Вони перекриті більш молодими четвертинними відкладами (завглибшки 15–25 м і завширшки 1–2 км), які розвинені на каолінових корах вивітрювання докембрійських корінних порід. Алювіальні відклади потужністю 5–10 м представлені в нижній частині розрізу різнозернистими кварцовими пісками з галькою і щебенем кристалічних порід і кременів (руслова фація); у верхній частині розрізу – дрібнозернистими пісками, супісками і суглинками (заплавна фація); у покрівлі залягають флювіогляціальні піски, зрідка морени. Розсипища ільменіту приурочені до пісків нижньої частини відкладів – від знаків до $70\text{--}100\text{ кг/м}^3$ вмісту ільменіту в окремих пробах [83].

Середньоплейстоценові розсипища залягають у дрібно-і середньозернистих, рідше – у різнозернистих кварцових пісках, у похованих долинах постльодовикових потоків. Ці відклади – це морени, воднольодовикові піски й озерно-льодовикові суглинки і супіски. Розсипища приурочені переважно до підморенних водно-льодовикових пісків і локалізуються переважно на межирічних площах і на третій терасі р. Ірша. Розсипища містять ільменіту $10\text{--}60\text{ кг/м}^3$ при потужності від 0,5 до 15 м [57].

Верхньоплейстоценові розсипища приурочені до відкладів першої надзаплавної тераси р. Ірша і її притоків. Відклади представлені різнозернистими пісками з галькою кристалічних порід і кременів, а у верхній частині – дрібно- і середньозернисті піски з лінзами і прошарками суглинків і супісків, потужність товщі відкладів – 2–15 м. Розсипища звичайно пов'язані з різнозернистими пісками нижньої частини розрізу (руслова фація) і першої надзаплавної тераси р. Ірша і її притоків. Потужність розсипищ – до 10 м, вміст ільменіту – від 30 до 150 кг/м^3 [58].

Голоценові (сучасні) відклади являють собою заплавний алювій, делювіальні, елювіальні й еолові утворення. Заплавний алювій потужністю 3–20 м переважно залягає на первинних каолінах чи на невивітрілих кристалічних породах у чітко виражених ерозійних жолобах. У розрізі цих відкладів беруть участь однаково як грубозернисті піски з галькою, так і дрібно-середньозернисті піски. Супіски та суглинки з прошарками дрібно-середньозернистих пісків залягають у покрівлі верхньої частини розрізу цих заплав [57].

Сучасні розсипища локалізуються в долинах рр. Ірша, Тростяниця, Лемня, Уж й ін., де встановлено низку розсипищ істотного промислового значення. Найбільш вивчене розсипище локалізується в долині середньої течії р. Ірша в ерозійному жолобі, що прорізає габро-анортозитові породи і кори вивітрювання. Розсипище розміщується в алювії нижньої частини розрізу заплавних відкладів (руслова фація). Воно представлене крупно- і середньозернистими пісками, у базальних частинах часто гравелитистими, з галькою, щебенем і дрібними валунами різних порід. У поперечних розрізах – це шар або лінза потужністю 0,5–10 м; у плані – стрічкоподібний поклад струменистої будови (ширина струменів 100–1300 м, потужність – 0,5–10 м). Кількість ільменіту дуже мінлива у вертикальному і горизонтальному напрямку, а також по площі розсипища (до 200 кг/м³). Найбільш збагачені ільменітом (до 500 кг/м³) крупнозернисто-гравійні піски руслової фації, що виповнюють глибоко врізані частини долини. Загальна кількість ільменіту в розсипищі у певних рамках корелюється з його вмістом у підстиляючих корах вивітрювання і в кристалічних породах. Розсипище перекривається переважно пісками, що перешаровуються суглинками і супісками з дуже малим вмістом ільменіту (до 3–5 кг/м³) [106].

Давні поховані розсипища характеризуються високим ступенем лейкоксенізації ільменіту (25–70 %), у четвертинних розсипах він лейкоксенізований слабкіше (5–50 %). У сучасних розсипищах ільменіт

практично свіжий. Ступінь лейкоксенізації ільменітів залежить від вмісту в них TiO_2 ,%: корінних родовищ – 44,0–52,7; корах вивітрювання – 50–53, у розсипищах – 54–62 [57, 83].

Стремигородське магматичне родовище є типовим прикладом корінного магматичного родовища (рис. 3.6), яке детально розвідане у 1981 р. [87]. Родовище локалізується в малій інтрузії рудних габроїдів серед габро-анортозитів Чоповицького масиву, яка є штокоподібною своєрідної форми і контролюється зоною великого (міжрегіонального) Центрального розлому. Анортозити, що вміщують рудні тіла, у зонах контактів зазнали істотних структурних, мінералогічних і хімічних змін [83].

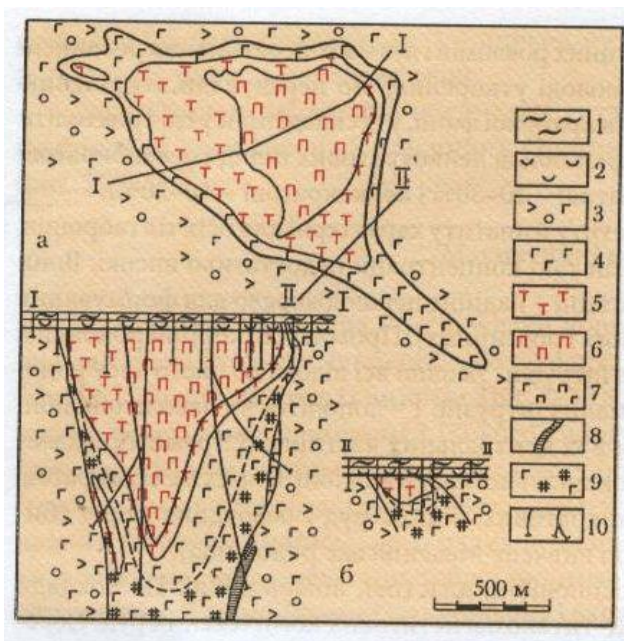


Рис. 3.6. Схематична геологічна карта і розрізи Стремигородського родовища (за Тарасенком, 1990): 1 – породи осадового чохла; 2 – кора вивітрювання; 3 – габро-анортозити; 4 – габро; 5 – рудоносні троктоліти; 6 – рудоносні плагіоклазові перидотити і меланократові троктоліти; 7 – габро-пегматити; 8 – олівінові габро-пегматити; 9 – габро-монцоніти і кварцові андезиніти; 10 – бурові свердловини [83]

У межах родовища виділяються три групи порід: лейкократові, мезократові і меланократові, що одночасно є природними різновидами апатит-ільменітових руд. У цілому інтрузив характеризується добре вираженою об'ємно-зональною будовою: від периферії до центру і з глибини до поверхні збільшується меланократовість порід (лейкократові

габроїди послідовно змінюються мезократовими і меланократовими). У цьому ж напрямку зростає вміст рудних мінералів [57].

У плані рудне тіло має форму неправильного овалу, у розрізі його форма воронкоподібна, контакти з вмисними габро-анортозитами різкі, падіння круте, будова тіла концентрично-зональна (див. рис. 3.9). Меланократові породи (плагіоклазові перидотити, троктоліти) приурочені до центральної частини тіла, поступово замінюючись до периферії лейкократовими троктолітами, олівін-піроксеновими габро, габро-монцонітами, монцонітам і габро-пігматитами. Стремигородське родовище характеризується комплексним апатит-ільменітовим зруденінням з підвищеним вмістом ванадію, скандію, фтору та ін. Ільменіт і апатит – головні компоненти; ванадій, скандій і фтор можуть вилучатися попутно [83].

Промислове зруденіння виявлено до глибини 1200 м. Найбагатші апатит-ільменітові руди центральної частини родовища містять, %: TiO_2 6,9–8,17 і P_2O_5 2,8–4,9, розташовані ближче до периферії габроїди – відповідно TiO_2 3,36–5,9 і P_2O_5 0,65–1,5, а андезити і габро-монцоніти периферичної зони – не більше TiO_2 1,0 і P_2O_5 0,5. Мінеральний і хімічний склад порід наведено у табл. 3.3 [83].

За вмістом хімічних компонентів породи можна поставити у ряд: перидотити – троктоліти – габро.

3.2. Технологія видобутку титану

3.2.1. Іршинська група родовищ. ІГЗК виробляє концентрат ільменіту, що видобувається відкритим способом на Іршинській групі родовищ титанових руд і збагачується на виробничих потужностях Іршанського ГЗК. Видобуток ільменіту комбінатом здійснюється на шести діючих кар'єрах потужністю 60–70 тис. тон ільменітового концентрату кожен сумарним випуском 360–420 тис. тон на рік [58, 83]. Мінеральний і хімічний склад (%) основних типів рудоносних порід Стремигородського родовища наведено у таблиці (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

**Мінеральний і хімічний склад (%) основних типів рудоносних порід
Стремигородського родовища [83]**

Мінерали і хімічні компоненти	Породи		
	Габро	Троктоліти	Перидотити
Плагіоклаз (№ 40–55)	60,6–64,4	37,1–46,0	25,5–31,6
Піроксени (саліт і авгіт)	0,6–3,2	0,4–1,4	од. зн. – 0,7
Олівін (Fa35–45 s Fa50–58)	3,3–8,4	17,5–22,7	20,1–26,4
Ільменіт	4,95–11,4	11,6–12,6	11,6–15,1
Титаномагнетит	0,4–0,85	1,2–1,9	0,55–3,87
Апатит	1,1–3,0	4,5–6,0	8,1–10,1
Амфібол, тальк, хлорит	15,1–19,8	17,9–21,7	16,8–21,7
TiO ₂	3,36–5,99	6,8–7,2	6,9–8,17
P ₂ O ₅	0,65–1,5	2,8–3,1	3,58–3,5
FeO	8,97–12,3	14,0–16,47	15,0–21,82
Fe ₂ O ₃	2,82–4,35	5,27–5,86	4,56–6,31
MgO	3,38–6,02	7,37–8,17	6,87–9,01

Примітка. Од. зн. – одиничні значення

На Іршанському родовищі ільменіт видобувався відкритим способом з наступним його збагаченням на Іршанському ГЗК. Технологія видобутку екскаваторно-гідравлічна, наступна: територія природного ландшафту (рис. 3.7 а) очищалася від лісу (рис. 3.7 б), далі викопувався кар'єр глибиною до 20 м, а крокувальний екскаватор розрихляв глинисті продуктивні відклади (рис. 3.7 в, г). Після чого кар'єр наповнювали водою для проведення дражних збагачувальних робіт (рис. 3.7 д), потім рудні піски конвеєрним способом відправляли на дозбагачення до центральної фабрики, а потім на ІГЗК, де отримували маркований ільменітовий концентрат з вмістом ільменіту 96,5–97,0 %. У результаті після цього природний ландшафт перетворювався на техногенний (рис. 3.7 е). Після проведення робіт з видобутку ільменіту землі рекультивували і висаджували молодий сосняк.



Рис. 3.7. Технологія видобутку рудоносних пісків Іршанського родовища (1950 рр.)

Сучасний видобуток ільменіту відбувається способом гідромоніторного розмиву з подаванням за допомогою труб на збагачувальну фабрику (рис. 3.8). Для інтенсифікації розмиву порід проводиться розрихлення породи екскаваторами (див. рис.3.8 а), далі порода екскаваторами та бульдозерами подається в навали (див. рис.3.8 б), які змиваються великим напором води в зумпф (див. рис.3.8 в) і подаються до збагачувальної фабрики (див. рис.3.8 г). Після збагачення (див. рис.3.8 д) порода транспортується до ІГЗК (див. рис.3.8 е).



а



б



в



г



д



е

Рис. 3.8. Фото сучасного видобутку ільменіту: а – розрихлення породи екскаваторами; б – порода складається в навали; в – змивання породи великим напором води; г – збагачувальна фабрика; д – збагачена руда; е – транспортування руди до комбінату (фото люб'язно надано співробітниками відділу корисних копалин ІГН НАН України під керівництвом Л.С. Галецького)

3.2.2. Стремигородське родовище. Враховуючи значні глибини, до яких виявлене зруденіння, розробляти це родовище доцільно комплексним відкрито-підземним способом до глибини 1200 м (рис. 3.9) [26]: верхню частину родовища відкривають спіральною внутрішньою

траншеєю шляхом відкритих робіт до глибини 380 м (–190 м), підкар’єрну частину до глибини 935 м (–745 м) вертикальними стовбурами: рудопідйомним і допоміжним дренажно-вентиляційним (рис. 3.9) [25].

Прогнозовані водопритоки у кар’єр глибиною 250 м за рахунок дренажу підземних вод складають 13,2 тис. м³/добу. При виробці розкривних порід вони складуть 2,5–3,1 тис. м³/добу. Середня потужність розкриву 32,2 м, потужність шару 12,4 м (для запасів у корі вивітрювання). Нижче залягають корінні породи. Площа тіла 101 км² [26]. Відкриті роботи вестимуть кар’єром глибиною 380 м, розробляючи найбільш потужну частину родовища. Підземні роботи між відмітками 380 до 935 м (–190 — –745 м) здійснюватимуть поверхово-камерною системою розробки і проводитимуть одночасно з роботою кар’єру.

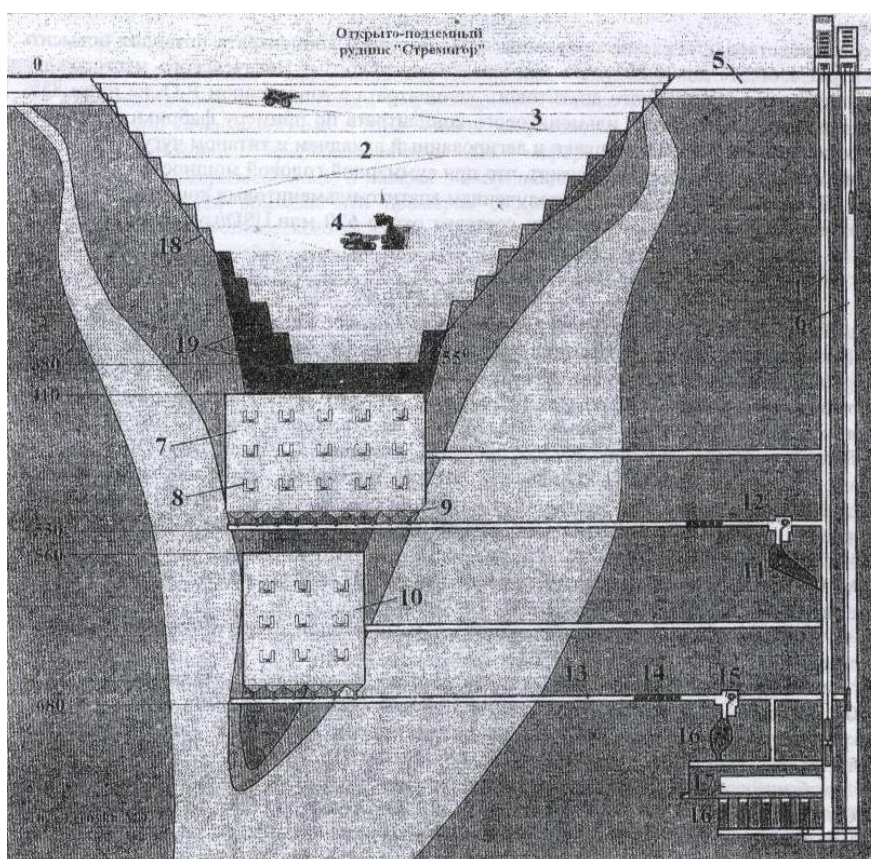


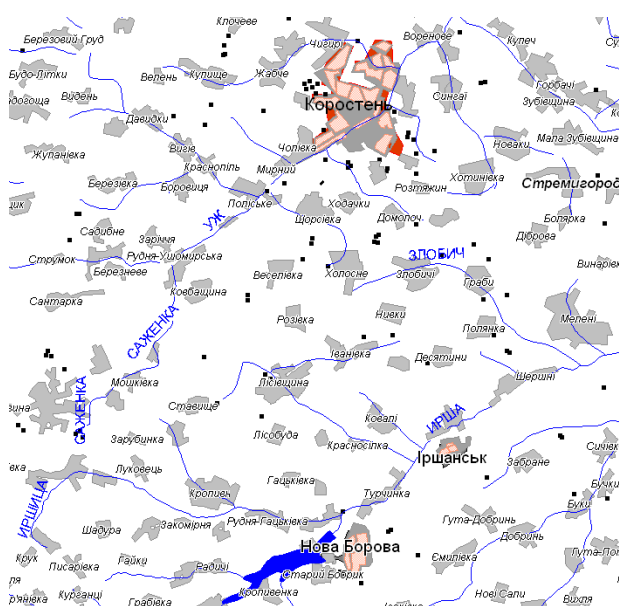
Рис. 3.9. Рекомендований варіант одночасної відкритої та підземної розробки Стремигородського родовища з використанням у підземних роботах поверхово-камерної системи розробки: 1 – рудопідйомний стовбур; 2 – кар’єр; 3 – спіральний автомобільний з’їзд; 4 – відпрацювання кар’єру за схемою: екскаватор – самосвал; 5 – наноси і кора вивітрювання; 6 – допоміжний стовбур для доставляння людей,

габаритного обладнання і вентиляції; 7 – підземні камери, що відпрацьовуються на відмітках 410–530 м; 8 – вертикальні концентровані заряди; 9 – горизонт випуску відбитої руди; 10 – поверхово-камерна система розробки між відмітками 560–680 м з висотою камери 120 м; 11 – підземний накопичувальний бункер для роздробленої руди з наступною загрузкою її у шахтні скіпи; 12 – дробарка першого підземного поверху; 13 – транспортний квершлаг; 14 – шахтні вагонетки; 15 – дробарка другого підземного поверху; 16 – накопичувальні бункери; 17 – сортувальна; 18 – генеральний кут укошу неробочого борту кар'єру -55° ; 19 – прибортові і підкар'єрні запаси руди, що відпрацьовуються відкрито-підземним способом після завершення відкритих робіт [25]

Економічні розрахунки доводять, що за сумарної річної потужності ГЗКу «Стремигор» 20 млн тон (кар'єр – 12 млн тон, шахта – 8 млн тон) будуть отримані апатито-ільменітові концентрати об'ємом 3 млн тон. Прогнозований прибуток від реалізації продукції становитиме біля 630 млн доларів США на рік (ціни 2013 р.) [26], тобто це перспективне родовище, розробка якого буде вестися поверхневим і підземним шляхом [26].

3.3. Гідрогеологічні умови

Поверхневі води району досліджень представлені водними артеріями рр. Уж та Ірша, які відносяться до водного басейну р. Дніпро (рис. 3.10). Загальною особливістю рік даної території є те, що вони в межах рівнини меандрують та мають частково заболочені долини з пологими схилами [28, 57, 97].



р. Уж



р. Ірша

Рис. 3.10. Схема річних систем рр. Уж та Ірша

Уж – річка довжиною 256 км, яка бере початок в Житомирській області біля с. Сорочень і прямує на північ Київської області, де впадає в Київське водосховище. Є правою притокою р. Прип'ять, підживлюється підземними та дощовими водами. Всі води річки знаходяться в зоні радіаційного зараження, яке перевищує верхню межу, в результаті Чорнобильської техногенної катастрофи.

Р. Ірша протікає в субмеридіональному напрямку з південного заходу на північний схід [97]. Протяжність р. Ірша становить 136 км. Вона є лівою притокою р. Тетерів. Вважається, що має таку назву через специфічний відтінок води, який має рудий колір. Пов'язана ця особливість з перебуванням в річці покладів ільменіту. Води цієї ріки використовуються для роботи по виділенню ільменітового концентрату ІГЗК.

Усі осадові та кристалічні породи району значною мірою обводнені, що зумовлено надмірністю атмосферних опадів (650 мм за рік), низькою їх випаровуваністю, перевагою інфільтрації атмосферних опадів над поверхневим стоком, відсутністю витриманих та потужних водоупорів.

Підземні води району досліджень поділяють на три групи (Л.Г. Руденко, 1958; К.М. Варава, 1959), що приурочені до різних зон: 1 – до тріщинуватої зони кристалічних порід; 2 – до зони продуктів руйнування кристалічних порід (кори вивітрювання); 3 – до континентальних відкладів мезо-кайнозойського віку.

У межах досліджуваної території виділено 8 основних водоносних горизонтів (табл. 3.4). Головним джерелом водопостачання в районі досліджень є підземні води, пов'язані з тріщинуватою зоною кристалічних порід докембрію. Тріщинуваті води утворюють загальний водоносний комплекс та формують єдину гідравлічно зв'язану систему. Живлення водоносних горизонтів відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, розвантаження – у річкових долинах [57, 140].

За лужно-кислотними властивостями підземні верхньочетвертинні та поверхневі води району характеризуються як слабкокислі, що зумовлено

не стільки нестачею вільного кисню, скільки збагаченням вод органічною речовиною, що відіграє роль відновника. Слабковідновними є підземні води тріщинуватої зони кристалічних порід, що зумовлене довготривалим контактом з кристалічними породами, вони мають більш лужні властивості (рН 7–8). За відношенням окисного заліза до закисного, вони окислювально-відновні. Показник рН рр. Ірша та Уж знаходиться в межах 5–6; в болотних водах, де на величину рН впливає наявність легкодисоційованих органічних кислот, рН знижується до 4,0 [97]. Йонний склад та мікрокомпоненти підземних вод в продуктах руйнування кристалічних порід і порових розчинах каолінів наведено у табл. 3.5. Порові розчини характеризуються сульфатно-карбонатним натрієво-кальцієвим складом з комплексом супутніх компонентів – Si, Al, Fe, Mn та ін. А підземні води – гідрокарбонатно-хлоридним кальцієво-магнієвим з переважанням Si, Al, Ba, Fe та ін. Мінералізація вод – до 0,1 г/дм³.

Другий за значенням для водопостачання комплекс пов'язаний з верхньокрейдовими різнозернистими пісками й пісковиками. Водовмісними відкладами є туронські піски, кавернозні кременисті пісковики (найпродуктивніші) з розвинутими в них кремінними жовнами та сеноманські кварцові й кварц-глауконітові піски. Загальна потужність відкладів становить від 0,5 до 25,0 м. Залягають вони, переважно, на докембрійських кристалічних породах та їх корі вивітрювання, рідше – на юрських та нижньокрейдових утвореннях. Перекриті відкладами палеогенової, неогенової й четвертинної систем. Найчастіше ці води напірні, живлення водоносного комплексу відбувається за рахунок переливу з вищих й нижчих горизонтів і бічного припливу.

Протягом 1995–2014 рр. було проведено моніторинг вмісту гідрокарбонатів, сульфатів, хлоридів, міді, мангану, цинку, хрому та заліза у водах рр. Уж та Ірша (табл. 3.6). Матеріали за 1995–2006 рр. взято з роботи Набиванця Б.Й. (2007) [97], 2014 – власні дані автора.

Таблиця 3.4

Характеристика основних водоносних горизонтів досліджуваної території [57]

Водоносний горизонт (відклади)	Водовмісні відклади	Глибина, м	Хімічний склад	pH	Мінералізація, г/см ³	Сухий залишок, г/дм ³	Жорсткість, мг·екв
Сучасні озерно-болотяні	Торфи, торфяники; мулові супіски, суглинки	0-0,5–1,5	Гідрокарбонатно-хлоридні натрієво-кальцієві, гідрокарбонатні кальцієво-магнієві	–	–	–	
Сучасні алювіальні	Докембрійські кристалічні породи, кора вивітрювання, утворення верхньо- і нижньокрейдові	2,5–3,0	Гідрокарбонатно-кальцієві, кальцієво-магнієві, кальцієво-натрієво-магнієві	6,3–8,4	0,1–0,5	–	1,2–2,6–8
Верхньочетвертинні	Піски різнозернисті	0,5–2,5	Гідрокарбонатні	5,6–8,5	–	до 0,6	0,02–12,7
Середньочетвертинні водно- і озерно-льодовикові	Піски різнозернисті	0,3–5,5	Гідрокарбонатні, гідрокарбонатно-хлоридні, хлоридно-гідрокарбонатні	5,6–6,9	0,5–1,0	–	0,3–10,0
Новопетрівської світи	Каоліністі піски та пісковики	0–27,0	Гідрокарбонатні, хлоридно-гідрокарбонатні, хлоридно-гідрокарбонатно-сульфатні	6,3–7,5	0,1–0,5	–	0,3–6,3
Верхньокрейдові	Піски різнозернисті, пісковики	0,4–9,8	Гідрокарбонатний кальцієвий	4,0–7,6	–	0,2–0,3	0,56–2,67
Нижньокрейдові	Різнозернисті піски з прошарками суглинків	5,0–12,0	Гідрокарбонатно-кальцієві, кальцієво-магнієві	6,2–7,0	до 0,4	–	2,21–4,5
Тріщинуватої зони докембрійських кристалічних порід, їх кори вивітрювання	Уламкова кора вивітрювання	–	Гідрокарбонатно-кальцієві, кальцієво-магнієві, кальцієво-натрієві	7,0–8,0	–	0,4	0,7–11,6

Примітка. «—» немає даних

Таблиця 3.5

Йонний склад та мікрокомпоненти підземних вод в продуктах руйнування кристалічних порід і порових розчинах каолінів [5]

Район щита	Усереднена формула йонного складу		Виявлені мікрокомпоненти	
	Порового розчину	Підземних вод	Порових розчинів	Підземних вод
Полісся	$M_{0.3-0.6} \frac{SO_4^{47-75}}{Na^{37-85}} \frac{HCO_3^{13-43}}{Ca^{9-42}} \frac{Cl^{15-13}}{Mg^{6-17}}$	$M_{0.1-0.6} \frac{HCO_3^{57-87}}{Ca^{43-68}} \frac{Cl^{25-34}}{Mg^{15-35}} \frac{SO_4^{7-17}}{Na^{10-45}}$	Si, Al, Fe, Mn, Cu, Ti, Cr, Ag, Ni, Pb, V	Si, Al, Sr, Ba, Fe, Mn, Ti, Ni, Cr, Cu, V, Ag, Pb

Таблиця 3.6

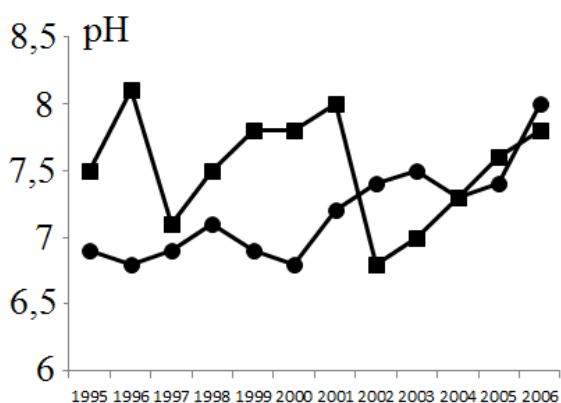
Моніторинг хімічного складу вод рр. Ірша та Уж (1995–2006 рр.) [97]

Компонент (показники)	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
р. Ірша												
рН	7,5	8,1	7,1	7,5	7,8	7,8	8,0	6,8	7,0	7,3	7,6	7,8
Гідрокарбонати, мг/дм ³	222	160	184	112	152	98	117	141	100	185	166	189
Сульфати, мг/дм ³	30	66	48	36	20	16	24	50	26	27	26	36
Хлориди, мг/дм ³	42	37	30	34	31	30	26	33	28	24	23	24
Сu, мкг/дм ³	4	4	4,5	2,6	2,3	0,9	3,6	1,4	0,2	1,8	2,1	3,0
Mn, мкг/дм ³	–	–	293	81	36	60	116	224	111	117	104	126
Zn, мкг/дм ³	–	–	22	27	28	43	54	29	10	34	10	19
Cr, мкг/дм ³	6	9	3	0	5	8	7	7	6	7	9	8
Fe, мг/дм ³	–	–	0,22	0,10	0,15	0,13	0,16	0,12	0,35	0,23	0,24	0,27
р. Уж												
рН	6,9	6,8	6,9	7,1	6,9	6,8	7,2	7,4	7,5	7,3	7,4	8,0
Гідрокарбонати, мг/дм ³	154	107	142	87	87	82	87	70	81	134	104	141
Сульфати, мг/дм ³	19	38	40	27	10	15	19	36	47	43	37	40
Хлориди, мг/дм ³	30	43	29	24	32	28	25	34	34	30	23	25
Сu, мкг/дм ³	–	–	–	4,4	–	–	–	–	–	–	6,4	–
Mn, мкг/дм ³	–	–	–	33	–	–	–	–	–	–	–	–
Zn, мкг/дм ³	–	–	–	11	–	–	–	–	–	–	–	–
Cr, мкг/дм ³	8	15	10	6	6	8	6	4	5	7	10	8
Fe, мг/дм ³	–	–	–	0,09	–	–	–	–	–	–	0,21	–

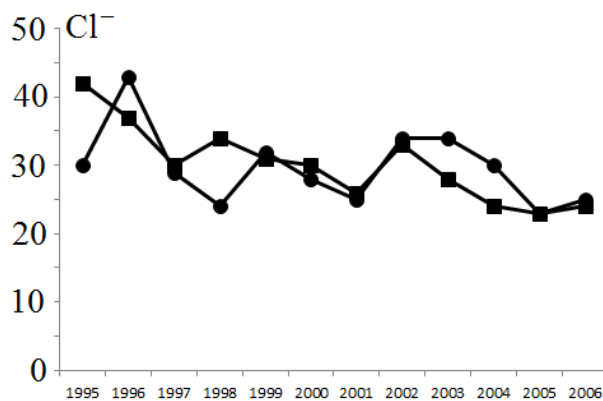
Примітка. «–» – немає даних

Сульфати і хлориди – елементи вод, що фіксують забруднення в результаті техногенної діяльності, а рН фіксує ступінь зміни стану вод. Тому за цими показниками побудовано графіки (рис. 3.11).

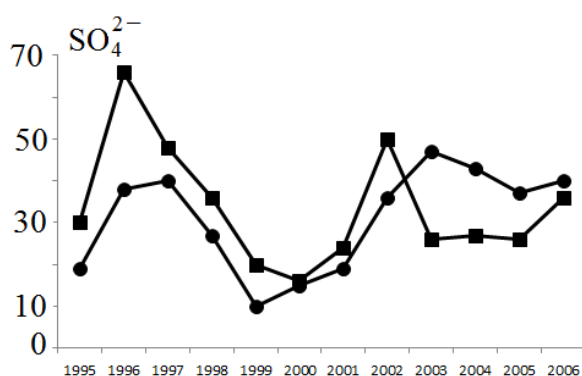
За 10 років за значенням рН води р. Уж суттєво змінилися – з 6,9 до 8, а рН води р. Ірша не змінився з роками і становить 7,5–8. Вміст хлоридів у р. Уж поступово зменшився з роками – з 42 до 24 мг/дм³; вміст сульфатів значно різниться з роками, але у 2003–2006 рр. його вміст у водах приблизно однаковий – біля 40 мг/дм³.



а



б



в

Рис. 3.11. Графіки зміни показників: а – pH, б – Cl⁻, в – SO₄²⁻ з роками

У 2014 р. автором на різних ділянках рр. Ірша та Уж проведено визначення вищезгаданих показників. За середнім значенням pH становить 7,5, вміст хлоридів – 22 мг/дм³, сульфатів – 24 мг/дм³. Це свідчить про відсутність явних джерел забруднення (стічних вод тощо).

3.4. Ландшафтно-геохімічні умови

Ландшафти території відносяться до зони мішаних лісів. Це лісисто-болотні ландшафти низинних рівнин Житомирського Полісся та агроландшафти на їх місці – Н⁺, Н⁺–Fe²⁺ – кислого та кисло-глеєвого класу [74, 103] (рис. 3.12). За умовами ландшафтно-геохімічного районування територія характеризується аквальними, супераквальними, субаквальними ландшаф-

тами, розташованими на площах з близьким заляганням кристалічних порід, що перекриваються водно-льодовиковими піщаними відкладами.



Рис. 3.12. Регіональні геохімічні ландшафти України та їх головні типоморфні макроелементи: УЩ – Український щит; Д – Донецький кряж; ВП – Волино-Подільська плита; ВА – схил Воронезької антеклизі; К – Карпати; КА – Причорноморсько-Кримська низовина і гірський Крим [27]

За техногенною складовою на даній території виділено такі типи ландшафтів: техногенні – агрогенний і гірничо-промисловий (ландшафти власне сільських та міських агломерацій у даній роботі нами не розглядатимуться) і природні – лісовий та лучний (рис. 3.13).

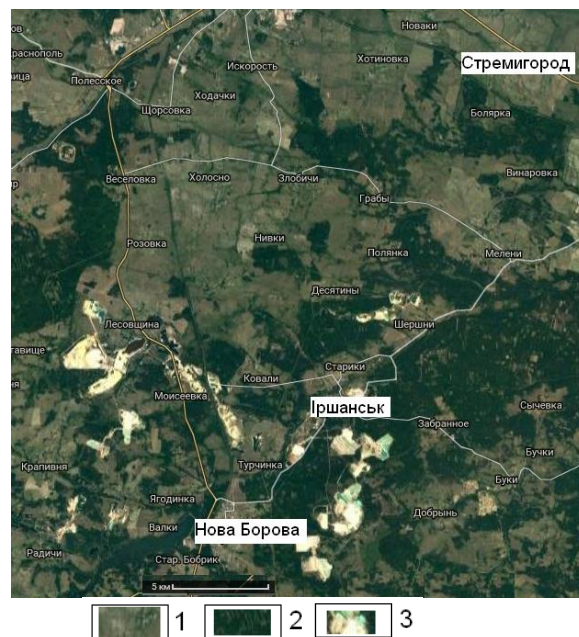


Рис. 3.13. Схема знаходження різних типів ландшафтів: 1 – агрогенний, 2 – лісовий, 3 – гірничо-промисловий

Ґрунти представлені дерново-підзолистими різновидами, переважно оглеєними, болотними, в т. ч. торф'яними [36, 51, 100, 114]. Родючість цих ґрунтів низька, вміст гумусу – 100–150 т/га (вміст гумусу в орному шарі ґрунтів глибиною до 30 см – до 1,0 %). Запаси гумусу в ґрунтах території досліджень – до 50 т/га, запаси гумусу в гумусовому профілі ґрунтів – 100–200 т/га. Забезпечення сільськогосподарських культур поживними речовинами в орному шарі ґрунту недостатнє (середній вміст рухомих сполук фосфору P_2O_5 – до 5,0 мг/100 г ґрунту, калію K_2O – до 4,0). Середній валовий вміст мікроелементів у ґрунтах становить, мг/кг: Cu – 6–12; Zn – 41–60; Co – 5–15; Mo – 2–3; Cr – 30–50; Mn – 400–900; Pb – 11,1–13; Ni – до 15.

Ґрунтовий покрив району за Н.Б. Вернандер (1951), утворений в основному дерново-підзолистими ґрунтами, різними за ступенем підзолистості, глинистості і механічним складом. В північній частині району це піщані дерново-слабопідзолисті ґрунти, які мають явно виражений кислий характер, в південній – дерново-середньопідзолисті. В межах заболочених ділянок поширені болотяні і торфові ґрунти.

Розподіл ґрунтів на досліджуваній території [51] має такий характер: на північному заході вони представлені дерново-слабо- та середньопідзолистими глинисто-піщаними ґрунтами на воднольодовикових відкладах і морені. Центральну частину території вкривають дерново-середньо- та сильнопідзолисті глеюваті та глейові супіщані та суглинкові на воднольодовикових відкладах; на південному сході – це дерново-прихованопідзолисті та слабопідзолисті глеюваті піщані, супіщані та глинисто-піщані ґрунти на воднольодовикових відкладах. Незначну площу на південному сході займають лучні, торфово-болотні, дернові супіщані та суглинкові в комплексі з основними типами ґрунти. Автором побудована загальна схема розповсюдження ґрунтів (рис. 3.14).

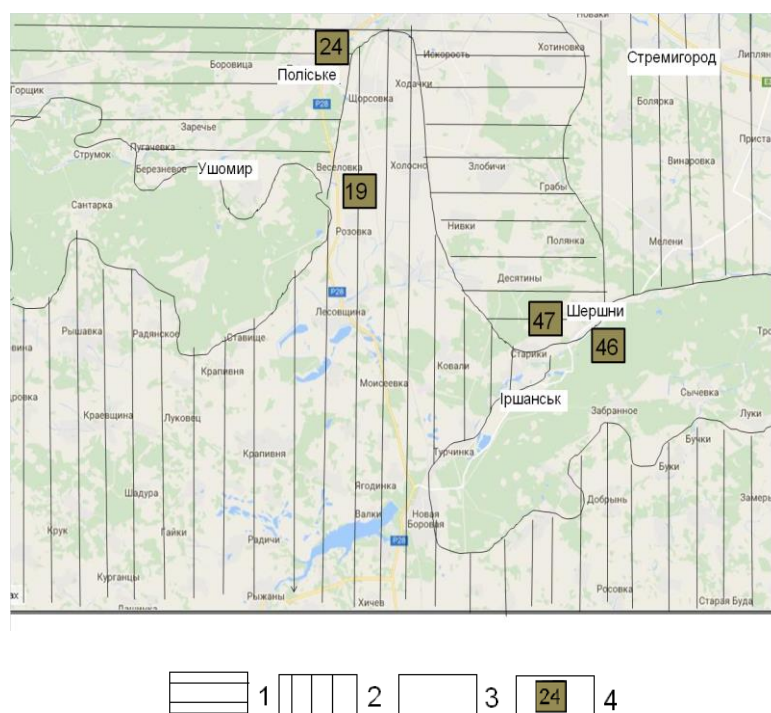


Рис. 3.14. Схема розташування різних типів ґрунтів та місця відбору проб за глибиною ґрунтового розрізу. Типи ґрунту: 1 – дерново-слабо- і середньопідзолисті піщані і глинисто-піщані, 2 – дерново-слабо- і середньопідзолисті глеюваті супіщані і суглинкові, 3 – лісові дерново-підзолисті супіщані і суглинкові; 4 – місця відбору проб

Ґрунти проби 24 розташовані в межах заплавних відкладів, корінні породи – граніти, вміст елементів наступний, мг/кг: Ti – 7000, Mn – 860, Pb – 53, Zn – 250. Вміст свинцю у вертикальному профілю ґрунтів (30–50 см) однаковий і складає 10 мг/кг, цинку – дещо підвищується на глибині 40–45 см (80 мг/кг), вміст марганцю підвищується ближче до поверхні, а титану, навпаки, знижується (рис. 3.15 а). Ґрунти проби 19 представлені глеюватими різновидами дерново-підзолистих ґрунтів, корінні породи – габро-анортозити, вміст елементів такий, мг/кг: Ti – 13500, Mn – 3500, Pb – 5, Zn – 350. У вертикальному профілі ґрунтів Mn, Pb і Zn розподіляються подібно – на глибині 5–10 см їх вміст мінімальний, а ближче до поверхні вони концентруються, щодо Ti – його вимивання відбувається на глибині 10–15 см (див. рис. 3.15 б). Ґрунти проби 47 – піщані і глинисто-піщані, корінні породи – габро-анортозити, вміст елементів наступний, мг/кг: Ti – 12000, Mn – 900, Pb – 7, Zn – 20. Вміст у вертикальному профілі ґрунтів на глибині 5–30 см однаковий (див. рис. 3.15 в). Ґрунти проби 46 – лісові

дерново-підзолисті, корінні породи – габро-анортозити, вміст елементів наступний, мг/кг: Ti – 12000, Mn – 1500, Pb – 12, Zn – 90. У вертикальному розрізі ґрунтів лише вміст марганцю збільшується на глибину 15–20 см (див. рис. 3.15 г).

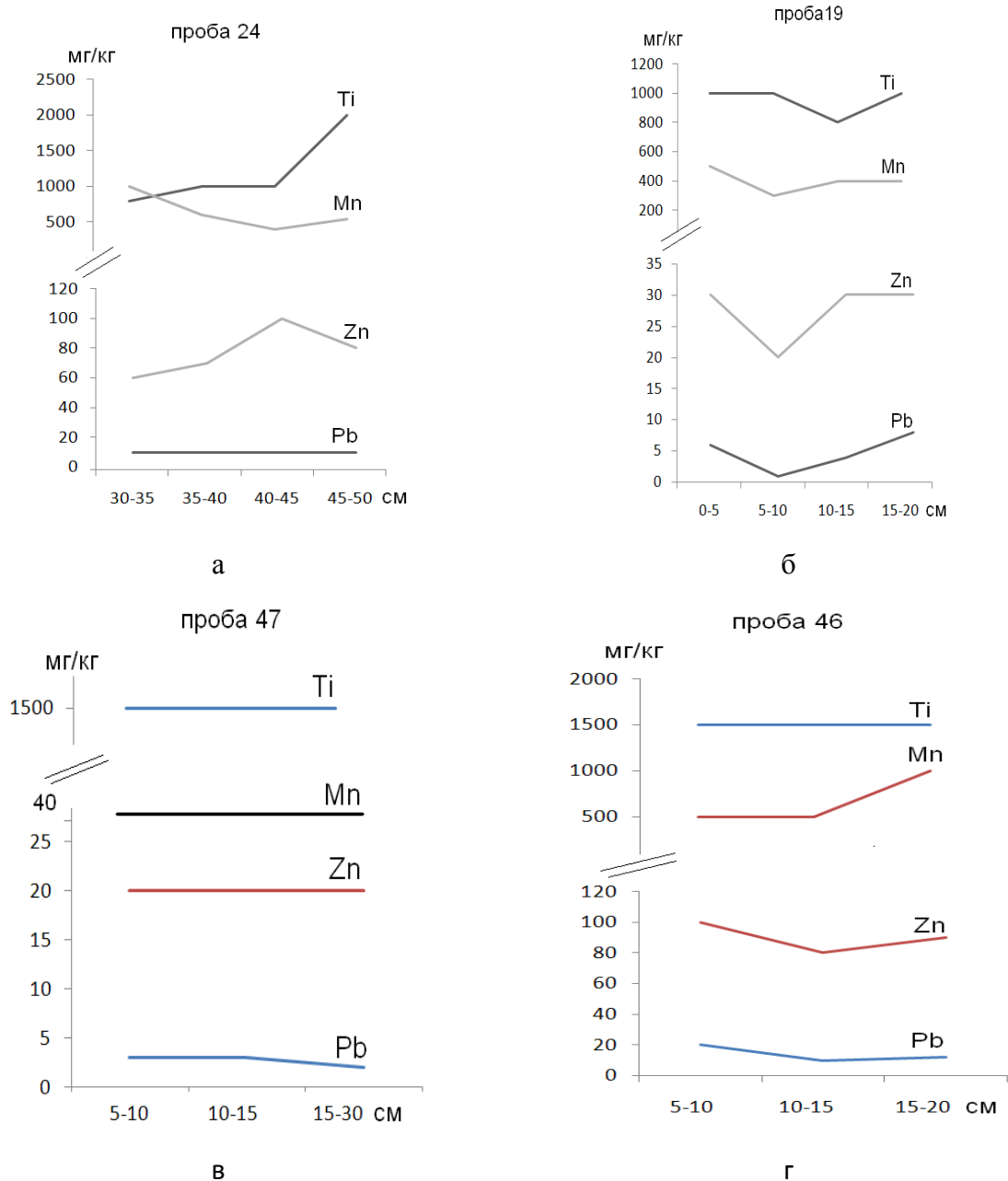


Рис. 3.15. Графіки розподілу вмісту Ti, Mn, Pb та Zn у вертикальному ґрунтовому профілі. Різновиди дерново-підзолистих ґрунтів: а – торф'яно-перегнійні, б – глеюваті, в – піщані і глинисто-піщані, г – лісові

За отриманими в результаті власних досліджень даними охарактеризовано вертикальний розподіл Ti, Mn, Pb, Zn у ґрунтовому профілі у різновидах дерново-підзолистих ґрунтів та встановлено, що вміст Mn, Pb у верхньому шарі (5–10 см) дерново-слабо- і середньопідзолистих піщаних та глинисто-піщаних ґрунтів над гранітами (150, 10 мг/кг відповідно) у три рази вище, ніж над габро-анортозитами (40, 3 мг/кг відповідно). Для Ti та Zn навпаки: Ti над гранітами (мг/кг) – 300, габро-анортозитами – 1500; для Zn – над гранітами 60, над габро-анортозитами – 20.

3.5. Підсумки

У розділі на підставі широкого огляду літературних та фондових джерел описано геологічні, гідрогеологічні та ландшафтно-геохімічні особливості територій Іршанського та Стремигородського титанових родовищ.

Територія досліджень знаходиться в межах Волинського блоку Українського щита (Коростенський плутон), фундамент якого складений габро, габро-анортозитами, габро-норитами, анортозитами та піроксенітами, які є титановими породами. Рудні мінерали представлені титаномагнетитом, ільменітом, магнетитом, піритом. Ільменіт – головний рудний мінерал основних порід, що визначає металогенічну спеціалізацію габро-анортозитових масивів Коростенського плутону. Стремигородське родовище пов'язане з малою інтрузією габроїдів і є магматогенним апатит-ільменітовим. У його будові беруть участь габро-анортозити та габро-норити зі значним вмістом TiO_2 . Відносно Іршанської групи родовищ титану – склад алювіальних розсипищ (нижньо-, середньо-, верхньоплейстоценові і голоценові утворення) переважно ільменітовий мономінеральний.

Описано технологію видобутку ільменіту Іршанської групи родовищ (відкритий спосіб) та Стремигородського корінного родовища (рекомендований варіант одночасної відкритої та підземної розробки).

Гідрогеологічні умови. У межах досліджуваної території виділено 8 основних водоносних горизонтів, переважно гідрокарбонатно-кальцієвого складу (рН 5,6–8,5). Поверхневі води району досліджень представлені водними артеріями рр. Уж та Ірша, що належать до басейну р. Дніпро. В роботі наведено результати моніторингових досліджень вмісту рН, Cl^- , SO_4^{2-} (1995–2014 рр.) та визначено, що рН вод становить 7–8, тому вони відносяться до нейтральних – слабколужних, вміст хлоридів і сульфатів становить 30–45 мг/дм³ та 10–65 мг/дм³ відповідно. Повільне зменшення їх вмісту з часом свідчить про відсутність явних джерел забруднення (стічних вод тощо).

Ландшафтно-геохімічні умови. Ландшафти територій являють собою лісисто-болотні різновиди Житомирського Полісся. Автором побудовано схему розповсюдження ґрунтів, де узагальнено три основних типи: 1 – лісові дерново-підзолисті супіщані і суглинкові; 2 – дерново-слабо- і середньопідзолисті піщані і глинисто-піщані; 3 – дерново-слабо- і середньопідзолисті глеюваті супіщані і суглинкові. За отриманими в результаті власних досліджень даними охарактеризовано вертикальний розподіл Ti, Mn, Pb, Zn у ґрунтовому профілі над різними корінними породами (габро-анортозитами та гранітами рапаківі). Встановлено, що вміст Mn, Pb у верхньому шарі (5–10 см) дерново-слабо- і середньопідзолистих піщаних і глинисто-піщаних ґрунтів на гранітах (150, 10 мг/кг відповідно) у три рази вище, ніж на габро-анортозитах (40, 3 мг/кг відповідно). Для Ti та Zn навпаки: Ti на гранітах (мг/кг) – 300, габро-анортозитах – 1500; для Zn на гранітах – 60, габро-анортозитах – 20.

РОЗДІЛ 4

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ОЦІНКА ПОВЕРХНЕВИХ ВІДКЛАДІВ ТА РОСЛИННОСТІ

У ході еколого-геохімічної оцінки поверхневих відкладів виконується порівняння вмісту забруднювальних елементів у досліджуваних ґрунтах з їх фоновим вмістом, з одного боку, та гранично допустимою концентрацією (ГДК), з іншого. ГДК хімічних елементів у ґрунтах – це концентрація, яка за довготривалого впливу на ґрунти і рослини не викликає патологічних змін та не призводить до накопичення елементів у рослинах, не становить небезпеки для здоров'я та життя людини. Оскільки концентрація забруднювальних речовин залежить від ґрунтових умов, то уніфіковані норми ГДК встановлено лише для небагатьох елементів, за якими контролюється якість ґрунтів. Класи небезпеки хімічних елементів у ґрунтах такі: 1 – As, Cd, Hg, Pb, Zn, F, Se; 2 – B, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr; 3 – Ba, V, W, Mn, Sr. Саме ці елементи і буде включено у розрахунки (коефіцієнт концентрації відносно ГДК – K_n) з метою оцінки еколого-гігієнічного стану ґрунтів [22, 23].

Для еколого-геохімічної оцінки стану ґрунтів використовують фоновий вміст, який дає можливість визначати зміни стану екосистеми з часом. Для розрахунку використано такі показники: коефіцієнт концентрації відносно фонового вмісту (K_C), що характеризує інтенсивність аномалій; сумарний показник забруднення (Z_C), що характеризує ефект впливу групи елементів, вміст яких перевищує фоновий у два рази.

4.1. Еколого-геохімічна оцінка поверхневих відкладів

Поверхневі відклади представлені дерново-підзолистими ґрунтами з різним складом суглинкового та супіщаного матеріалу та ступенем оглеєння [51]. Район підлягає техногенному навантаженню через наявність

двох чинників – природного та техногенного [29, 134, 152]. Природний чинник – це наявність ільменитових родовищ, техногенний (природно-техногенний) пов'язаний з видобутком, транспортуванням та переробкою корисних копалин. На території ведеться не тільки розробка титанових родовищ, але й видобуток торфу, облицювального каміння; крім того ведеться сільськогосподарська діяльність, розміщено велика кількість міських та сільських агломерацій.

Розробка родовищ та рекультивація земель спричиняють підвищене надходження елементів на поверхню ґрунту переважно у вигляді пилу. Цей пил, залишаючись у приповерхневому шарі ґрунтів, та накопичуючись на поверхні рослин, формує поля аномального вмісту більшості мікроелементів [152, 153].

4.1.1. Вплив органічної речовини на розподіл важких металів у ґрунтах. Органічна речовина відіграє дуже важливу роль у ґрунтах. Вона характеризує такі фізико-хімічні властивості ґрунтів як сорбційна ємність, буферність ґрунтів, комплексоутворення та йонний обмін важких металів (ВМ) [16, 40, 43, 151]. Основною складовою органічної речовини є гумусові кислоти, що являють собою гумінові, фульво- і оксикарбонові кислоти. Взаємодіючи з ВМ, гумусові кислоти утворюють комплексні сполуки або прості солі (гумати і фульвати) в результаті адсорбції на поверхні, йонного обміну, хелатоутворення або реакцій коагуляції. Ці кислоти подібні, але розрізняються за кількістю функціональних груп і, відповідно, за здатністю до комплексоутворення. В умовах Полісся превалює фульвова кислота, яка має виняткові властивості природної сполуки, яка утворюється в процесі розщеплення гумінових речовин ґрунтовими організмами. Вона відіграє ключову біологічну роль, переносячи мікроелементи і поживні речовини з ґрунту у рослину, взаємодіє з мінералами, внаслідок чого стає можливим комплексоутворення. Розчинені мінеральні речовини стають легкодоступними для засвоєння кореневою системою рослин.

На території досліджень розповсюджені такі типи ґрунтів: дерново-слабопідзолисті супіщані і суглинкові; дерново-середньопідзолисті супіщані і суглинкові; дерново-слабопідзолисті глеюваті супіщані і суглинкові; дерново-середньопідзолисті глейові супіщані і суглинкові (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Розташування супіщаних і суглинкових ґрунтів на території: 1 – техногенні ґрунти міських агломерацій; 2 – дерново-слабопідзолисті; 3 – дерново-середньопідзолисті; 4 – дерново-слабопідзолисті глеюваті; 5 – дерново-середньопідзолисті глейові

Фізико-хімічна характеристика основних типів ґрунтів території досліджень (Коростенський полігон) та Поліського заповідника наведена у таблиці (табл. 4.1).

Ґрунти Поліського заповідника порівняно з Коростенським полігоном характеризуються підвищеним вмістом органічної речовини. На території досліджень максимальний вміст гумусу (3,62 %) було визначено в дерново-середньопідзолистих глейових супіщаних і суглинкових ґрунтах, найменший (0,9 %) – в дерново-слабопідзолистих супіщаних і суглинкових ґрунтах на воднольодовикових відкладах, що прошаровуються мореною [161].

Таблиця 4.1

Порівняльна характеристика фізико-хімічних параметрів ґрунтів [161]

Тип ґрунту	Полігон	рН	C _{орг} , %	H ⁰	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Σ катіонів
				мг*екв/100 г					
дерново-слабопідзолисті супіщані і суглинкові	2	6,2	1,29	4,45	2,3	0,7	0,4	0,04	7,85
	1	6,78	0,9	6,14	0,8	0,18	0,05	0,18	7,28
дерново-середньопідзолисті глейові супіщані і суглинкові	2	6,3	4,4	14,3	3,4	1,7	0,6	0,1	20,1
	1	6,5	3,62	15,36	2,95	0,74	0,09	0,13	19,27

Примітка. 1 – Коростенський полігон, 2 – Поліський заповідник

Наступним етапом було визначення кількості металів (Cu, Zn, Co, Ni), пов'язаних з органічною фракцією ґрунтів (проводився за методикою постадійних витяжок за методикою Є.В. Аринушкіної [4]). Результати досліджень представлено на діаграмі (рис. 4.2) [151].

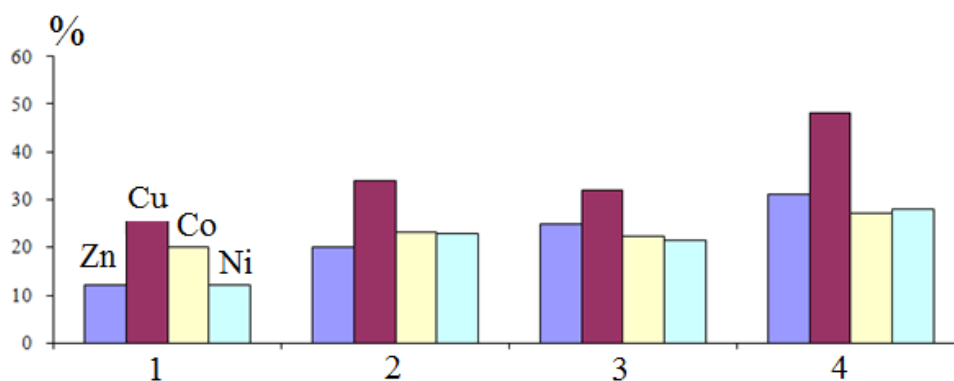


Рис. 4.2. Діаграма відсоткового вмісту Cu, Zn, Co, Ni, пов'язаних із органічною складовою в ґрунтах. 1 – дерново-слабопідзолисті на воднольодовикових відкладах, що прошаровуються мореною; 2 – дерново-середньопідзолисті; 3 – дерново-слабопідзолисті глеюваті; 4 – дерново-слабопідзолисті глейові

У органічній складовій дерново-слабопідзолистих глейових ґрунтів вміст вивчаємих металів найбільший, найменший (приблизно у два рази) – в дерново-слабопідзолистих ґрунтах на воднольодовикових відкладах.

4.1.2. Комплексна оцінка стану поверхневих відкладів Іршанської групи та Стремигородського родовищ титану. Стремигородське родовище є комплексним (розсипним та корінним), розробка родовища не ведеться. Тому територія не підлягала довготривалому техногенному впливу внаслідок розробки.

Розробка Іршанського родовища ільменіту відбувалася біля 30 років, що призвело до формування техногенно зміненого рельєфу. Під кар'єри, хвостосховища збагачувальних фабрик, комплекс допоміжного та супутнього виробництва відчужено великі території сільськогосподарських угідь, вирублено лісові насадження. Внаслідок розробки родовища відкритим способом істотно змінились ландшафтні умови території. Відбулися зміни рельєфу; порушення структури ґрунтових та ґрунтоутворювальних відкладів; зниження рівня водоносних горизонтів на територіях, що підлягають осушенню та ін. [163]. Після розробки родовища проводяться рекультиваційні роботи, при цьому оцінюється лише ландшафтна цілісність без оцінки еколого-геохімічної ситуації, яка є індикатором стану навколишнього середовища.

За узагальненими даними автором побудовано схему розташування функціональних зон [69]. Досліджено такі території: західна частина – Верхньоіршинське родовище, Валки-Гацківське і Лемненське (відпрацьовуються), східна частина – Іршанське родовище (відпрацьоване) (рис. 4.3).

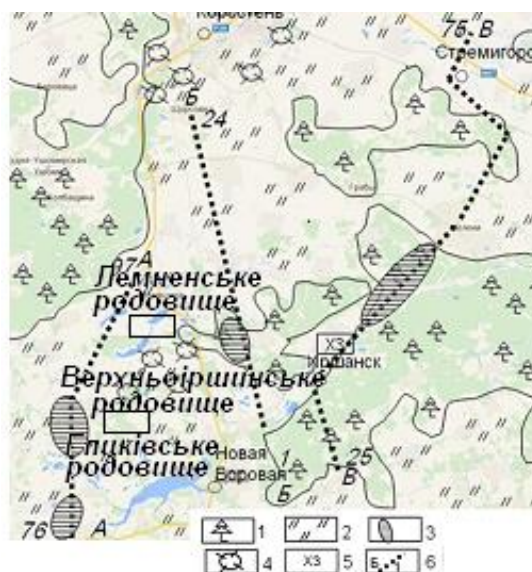


Рис. 4.3. Схема розташування функціональних зон територій Іршанського та Стремигородського родовищ ільменіту: 1 – ліси (переважно хвойні); 2 – сільськогосподарські угіддя; 3 – рекультивовані землі; 4 – кар'єри; 5 – хвости збагачення; 6 – літохімічні профіля [69]

Природними функціональними зонами є хвойні та змішані ліси, заплавні відклади, а також сільськогосподарські угіддя, техногенними – кар’єри, зовнішні відвали, хвостосховище, ставки-відстійники та рекультивовані землі [142, 152, 155, 171]. Найбільші за розміром (десятки квадратних кілометрів) є техногенні форми рельєфу кар’єрного походження (рекультивовані землі, відвали), пов’язані переважно з видобутком ільменіту.

Вертикальний ґрунтовий розріз поверхневих відкладів різних функціональних зон наведено на рисунку (рис. 4.4).

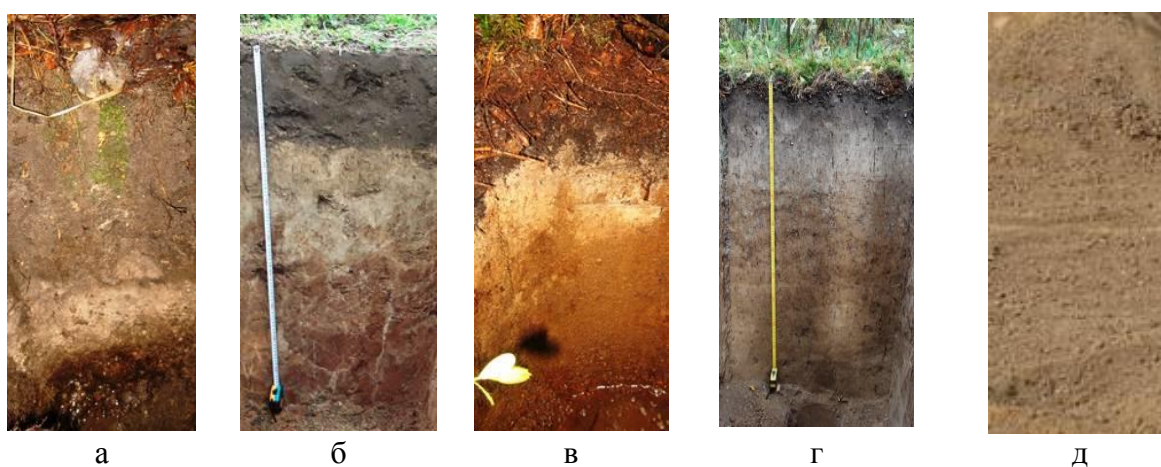


Рис. 4.4. Вертикальний ґрунтовий розріз поверхневих відкладів: а – сільськогосподарські угіддя, б – лісові угіддя, в – заплавні відклади, г – рекультивовані землі (під лісовими угіддями), д – «хвости» збагачення

Сільськогосподарські угіддя – зазвичай слабogleюваті варіанти дерново-підзолистих заболочених ґрунтів, часто залучених під рілля, продуктивність сільськогосподарських культур помітно знижена, ґрунти потребують агро меліоративних заходів (див. рис. 4.4 а).

У лісових угіддях на відкладах трапляються опідзолені ґрунти, які невеликими ділянками залягають серед звичайних дерново-підзолистих (див. рис. 4.4 б) [18, 51, 53]. Під сірим гумусовим горизонтом залягає углисто-чорний гумусовий горизонт приблизно такої ж (25 см) потужності, під яким знаходиться середньоглибокий (приблизно 12 см) виражений підзолистий горизонт білястого кольору. Через збіднення ґрунтоутворювальної породи і лісового опаду зольних елементів у ґрунтах

дуже слабким є процес гумусонакопичення і інтенсивним процес елювіювання, що призводить до різкої диференціації ґрунтового профілю.

Для дослідження також було обрано заплавні відклади – це алювіальні ґрунти, що формуються в умовах регулярного відкладення на поверхні заплави шарів свіжого річкового алювію різного гранулометричного складу (див. рис. 4.4 в). Торф'яно-болотні ґрунти, що формуються в заплавах річок, характеризуються різною мірою замуленням торфу, нерідко в ньому простежуються прошарки суглинку, піску [51].

Рекультивовані землі – порушені землі, на яких проведено роботи з відновлення їхньої природної та господарської цінності. З метою відновлення продуктивності висаджений сосновий молодняк (див. рис. 4.4 г) [133].

«Хвости» збагачення – відходи збагачення, які містять пусту породу (див. рис. 4.4 д). Вони являють собою пульпу з тонкозмелених частинок, які складують у хвостосховищах [133]. Для цього в місцях пониження рельєфу будують дамбу і в ємність, утворену нею, зливають хвости по трубопроводах. Осушені хвости можуть бути використані в якості будівельного матеріалу.

Крім того, на досліджуваній території розташовано урбанізовані ділянки – населені пункти.

Загальна площа досліджуваної ділянки – 90 км². Площі, які зайняті лісами та сільськогосподарськими угіддями на ділянці досліджень приблизно однакові – близько 30 км². Характерною особливістю цієї території є вихід корінних порід (габро та гранітів) до поверхні. Родовища знаходяться у зоні мішаних лісів, проби лісового ґрунту відібрано на площі 23 км², також опробувано занедбані сільськогосподарські угіддя загальною площею 12 км², площа відібраних проб на заплавних та понижених територіях складає 25 км². Базові точки опробування знаходяться на відстані 500 м одна від одної. При опробуванні поверхневих відкладів поблизу кар'єрів чи «хвостів» збагачення крок відбору становив 25 м.

Детально досліджено ґрунти за трьома профілями загальною довжиною 92 км (рис. 4.5). Профіль А – А знаходиться також на рівнинній місцевості, яка характеризується чергуванням полів і лісів. Довжина профілю – 20 км, відібрано 21 пробу ґрунту кроком 500 м і 100 проб кроком 25 м у місцях відпрацьованих кар'єрів (див. рис. 4.5 а). Початок профілю – це рекультивовані землі від відпрацьованого Верхньоіршинського родовища площею 6 км², далі по профілю наступна ділянка рекультивації – наслідок розробки Гацківської ділянки Верхньоіршинської групи родовищ площею 10 км². У центральній частині досліджуваної ділянки досліджені відвали драги площею 5 км².

Профіль Б – Б пройдено на рівнинній місцевості, яка межує з зоною відчуження залізниці в середній частині ділянки. Його довжина складає 54 км (проби 1–24) (див. рис. 4.5 б): проба 2 – рекультивовані відвали драги; 3, 5, 12, 13 – ґрунт стариці р. Ірша; 19 – заплава р. Холосна; 24 – заплава р. Уж; 7 – заплава р. Лемня; проби 6, 11, 14–18, 20–23 – сільськогосподарські угіддя; 8 – лісові угіддя (рис. 4.5 б). У західному напрямку від профілю знаходиться ІГЗК.

Стремигородське родовище титану розташоване в північно-східній частині території дослідження і опробувано профілем В – В. На початку профіля, у східній частині ділянки, гірничо-промислові ландшафти представлені рекультивованими землями на місцях колишніх гірничих виробок, тому вивчено поверхневі відклади на території «хвостів» збагачення (відвалів) Іршанського родовища площею 1,5 км² та рекультивованих земель площею 8,5 км². Профіль займає східну частину території досліджень, його довжина складає 72 км (проби 25–75) (див. рис. 4.5 в): проба 33 – «хвости» збагачення; 34–45 – рекультивовані землі Іршанського ГЗК; 25–32, 46–48, 56–75 – лісові угіддя. Оскільки тільки одна проба (33) була відібрана у «хвостах» збагачення, було пройдено окремий профіль на цій ділянці кроком 25 м. Профіль перетинає заплави р. Злобич, притоку р. Ірша (рис. 4.5 в).

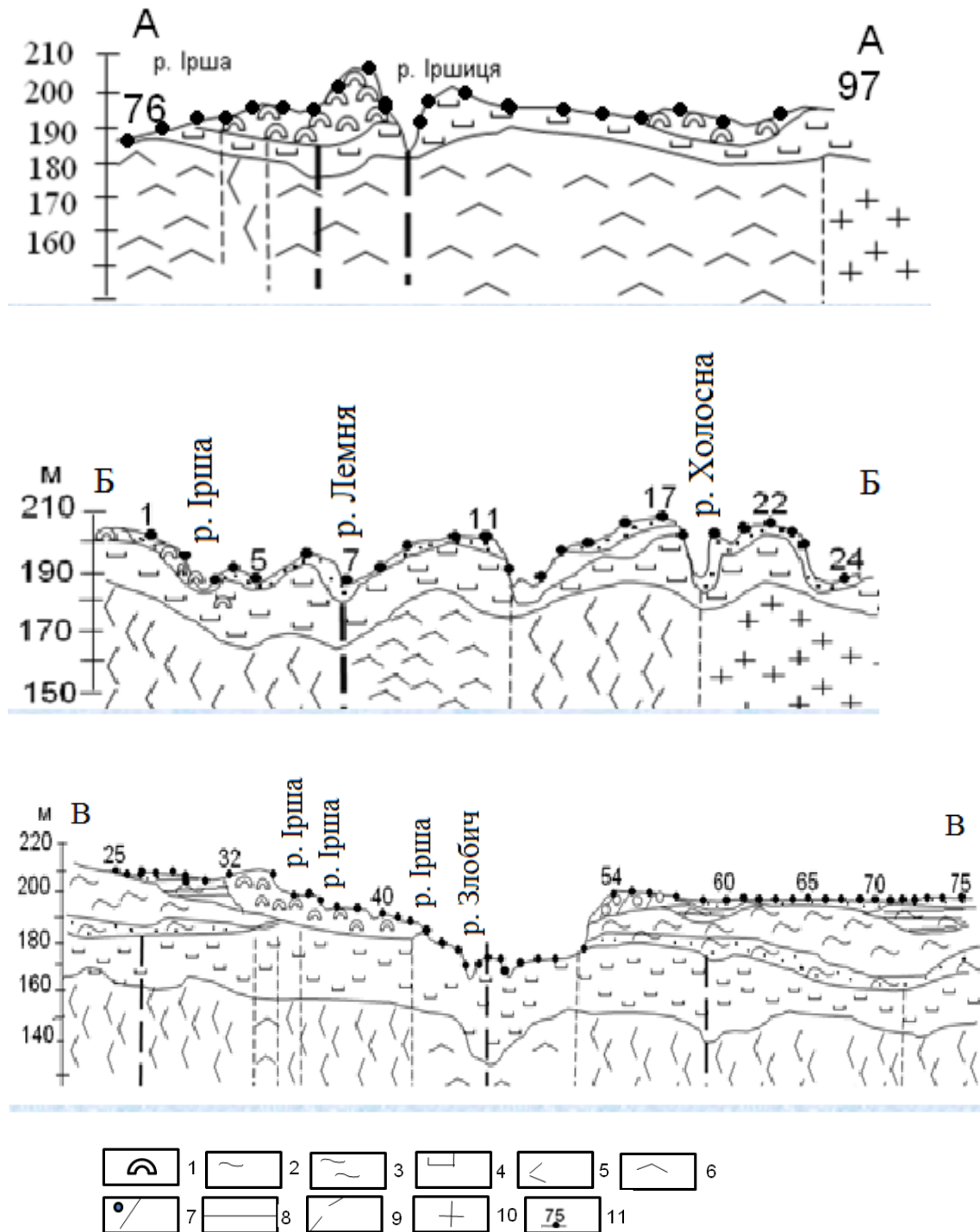


Рис. 4.5. Схема відбору проб поверхневих відкладів за профілями: 1– техногенні ґрунти і хвостосховища Іршанського гірничо-збагачувального комбінату; 2 – моренні відклади; 3 – піски кварцові світло-сірі каоліністі; 4 – кора вивітрювання; 5 – габро-анортозити; 6 – габро, габро-норити; 7 – глини строкатобарвисті, в підшві піскуваті; 8 – товща червоно-бурих глин; 9 – тектонічні порушення (а – встановлені; б – припущені); 10 – граніти рапаківіподібні рогово-обманково-біотитові; 11– місця відбору геохімічних проб

Середній вміст хімічних елементів за функціональними зонами у різних профілях наведено у табл. 4.2. Рекультивовані землі збіднені (порівняно з іншими функціональними зонами) хімічними елементами, заплавні відклади, навпаки, збагачені, що пояснюється хемосорбцією на глинистих частинках. У ґрунтах лісових угідь виявлено позитивний кореляційний зв'язок ($> 0,8$) між Ti, V, Zr, Nb.

Таблиця 4.2

Середній вміст хімічних елементів за функціональними зонами у різних профілях, мг/кг

Клас небезпеки	Елемент	А – А		Б – Б			В – В		
		Ліс	РЗ	С/г	Ліс	ЗВ	Ліс	РЗ	ХЗ
1	Pb	3	1	5	2	9	4	2	8
1	Zn	30	10	40	15	60	30	5	60
2	Ni	10	1,5	20	2,1	50	30	10	200
2	Co	7	1	8	4	18	6	2	19
2	Cr	30	5	40	8	90	20	6	70
2	Mo	1	0,1	1,5	0,7	4	2	0,6	10
2	Cu	30	5	40	8	45	25	3	100
3	V	15	3	80	25	120	20	2	50
3	Mn	250	100	20	180	100	300	200	600
3	Ba	100	10	100	70	140	100	40	200
–	Ti	1000	600	1000	500	5000	1000	800	12000

Примітка. Ліс – лісові угіддя, С/г – сільськогосподарські угіддя, РЗ – рекультивовані землі, ЗВ – заплавні відклади, ХЗ – «хвости» збагачення

Для виключення впливу тектонічних порушень [108] на вміст металів (Cu, Zn, Pb) у ґрунтах було проаналізовано їх розподіл над профілем А – А (рис. 4.6). Кореляційних залежностей досліджуваних елементів не виявлено, тобто зв'язок не явний, тому можна робити висновки про аномальний вміст, не враховуючи тектонічну складову.

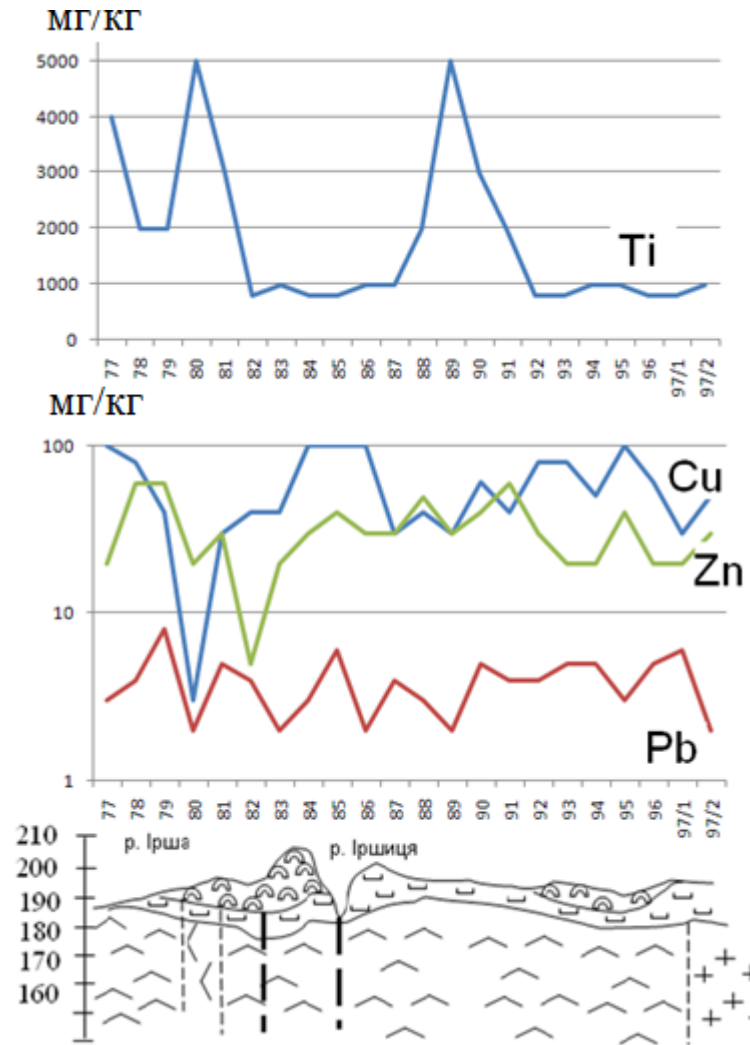


Рис. 4.6. Графіки розподілу Ti, Cu, Zn, Pb у ґрунтах над профілем А – А

Для аналізу стану ґрунтів, визначенню елементів виносу й елементів накопичення, побудовано геохімічні формули відносно кларкового вмісту у ґрунтах (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Геохімічні формули (відносно кларку) елементів у ґрунтах для різних функціональних зон

Ґрунти функціональних зон	Формула
«Хвости» збагачення (поверхневі відклади)	$\frac{Yb, Y, Nb}{Ti, Zr, Cu, Zn}$ Mn, Ni, Co, V, Cr, Pb, Sc, P
Рекультивовані землі	$\frac{Zr, P}{Yb, Y, Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mo, Nb, Cu, Pb, Zn, Sc}$
Заплавні відклади, лісові і сільськогосподарські угіддя	$\frac{Mo, Zr, Cu, P}{Mn, Ni, Co, Ti, V, Cr, Nb, Pb, Zn, Sc, Y, Yb}$

Примітка. У чисельнику – елементи, що концентруються, у знаменнику – що виносяться

Наприклад, у «хвостах» збагачення концентруються Ti, Cu, Zn, а в інших функціональних зонах ці елементи «виносяться».

Розподіл хімічних елементів за вертикальним профілем. З метою виявлення розподілу елементів за ґрунтовим профілем було відібрано проби на різних ділянках території досліджень – Іршанському, Стремигородському родовищах та «умовно безрудній» ділянці (рис. 4.7).

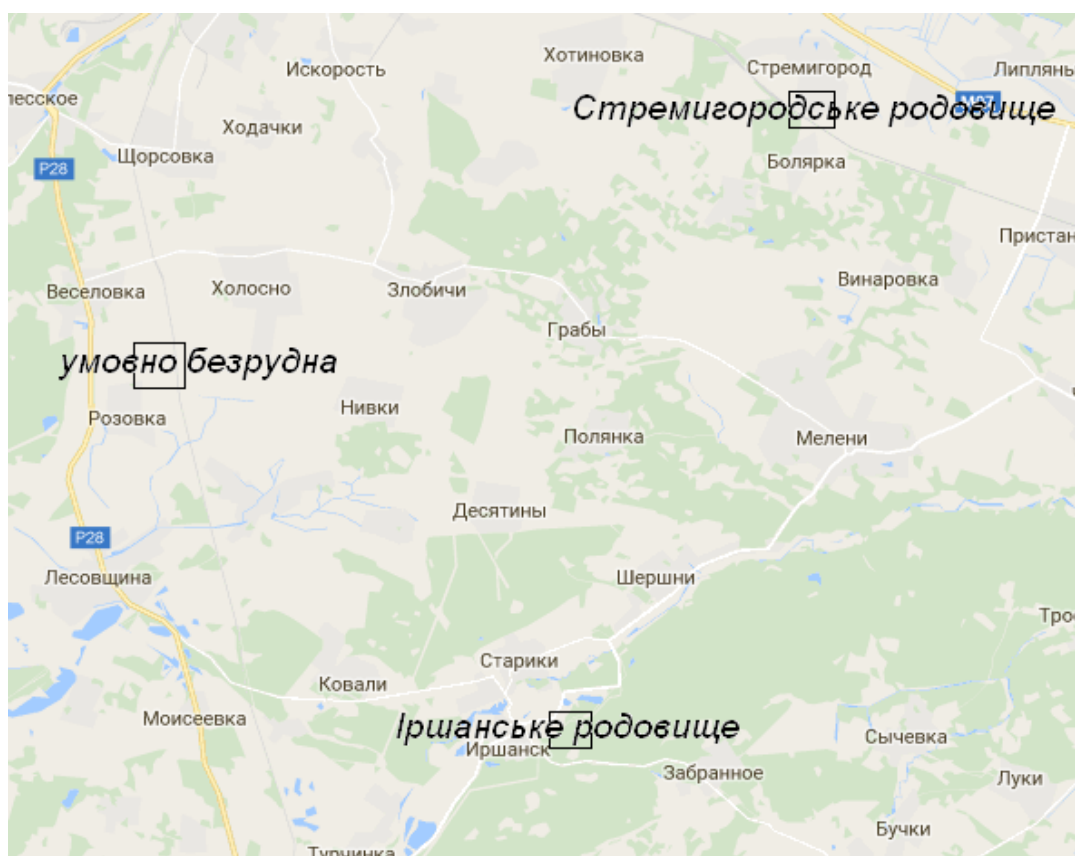


Рис. 4.7. Схема розташування ділянок відбору проб для аналізу вертикального розподілу хімічних елементів у ґрунтовому профілі та ґрунотвірних породах

Середній вміст хімічних елементів у вертикальних розрізах ґрунтоутворювальних порід і ґрунтів Іршанського, Стремигородського родовищ титану і «умовно безрудної» ділянки наведено у табл. 4.4 [156, 160].

Таблиця 4.4

**Середній вміст хімічних елементів у вертикальних розрізах ґрунтоутворювальних порід і ґрунтів
Іршанського, Стремигородського родовищ титану і «умовно безрудної» ділянки, мг/кг [156, 160]**

Елемент	«Умовно безрудна» ділянка					Іршанське родовище					Стремигородське родовище									
	1 (0–10 см)	1 (10–15 см)	КВГА 1	КВГА 2	габро-анортозит	1	КВГА 1	Каолін первинний	КВГА 2	габро-анортозит	2 (0–10 см)	2 (10–15 см)	2 (15–20 см)	суглинок	Глина строкато- барвіста	пісок	Каолін вторинний	Каолін первинний	КВГА	габро-анортозит
Ni	14	12	35	33,3	35	27,5	17,8	24,4	41,2	50	15	16	14	40	57	40	6,3	50	42,5	30
Co	9	8	55	83,3	105	3,1	28,8	41	60,8	50	6	8	10	23	24	3	3,8	80	120	20
Ti	1000	800	2750	9667	13500	3800	2550	4400	6367	12000	1500	1000	500	6000	7500	30000	2475	2500	3000	12000
V	10	20	113	233	300	37,6	33,8	11,5	146,7	200	15	15	5	160	150	90	16	105	135	120
Cr	25	20	4,8	30	17,5	24,4	21,8	84	63,3	40	10	20	40	90	100	35	21	80	90	70
Zr	350	550	120	217	300	389	142,5	142	216,7	300	400	400	150	350	375	900	52,5	105	120	150
Nb	5,5	18	8,8	8,4	11	7,3	11,3	10,8	13	15	10	10	6	20	30	50	8	8,5	9	12
Cu	30	15	53	43	23	12,8	21,8	34	57,5	40	35	30	30	35	70	40	6,8	25	25	20
Pb	2	8	4,3	4,3	5	1,8	5	4,6	5,5	12	4	4	1	17,5	20	20	2,9	2,3	3,5	7
Zn	35	30	128	130	150	40	52,5	86	171,7	90	20	30	60	60	56	70	26	95	120	20
Y	15	25	25	21,7	25	13	16,3	15,4	16,2	30	30	20	10	25	26	20	12	20	16	15
Yb	2	3,5	2,3	2,5	2	1,5	1,9	1,9	2,0	3	3	3	1	3	3	2	1,2	2,5	1,8	1,5
P	1250	900	2625	3000	10500	2300	650	1280	1950	2000	2000	1500	100	900	600	400	475	300	500	300
Sc	3	3	14	22	14	3,7	12	11,8	20,7	12	3	3	3	8,5	14	15	7,3	8	11	10
Mn	450	500	800	3167	3500	230,8	280	560	1916, 7	1500	300	300	200	600	733	40	66,3	450	800	900

Примітка. 1 (0–10 см) – ґрунтово-рослинний шар дерново-слабо- і середньопідзолистих супіщаних і глинисто-піщаних ґрунтів на флювіогляціальних відкладах, інтервал; 2 – ґрунтово-рослинний шар дерново-середньо- і сильно підзолистих глеуватих супіщаних і суглинкових ґрунтів на флювіогляціальних відкладах; КВГА1 – кора вивітрювання габро-анортозиту (зона часткової каолінізації); КВГА2 – кора вивітрювання габро-анортозиту (зона дезінтеграції)

Для аналізу розподілу за вертикальним профілем обрано елементи Zn, Cu, які у багатьох випадках визначають техногенний вплив (рис. 4.8).

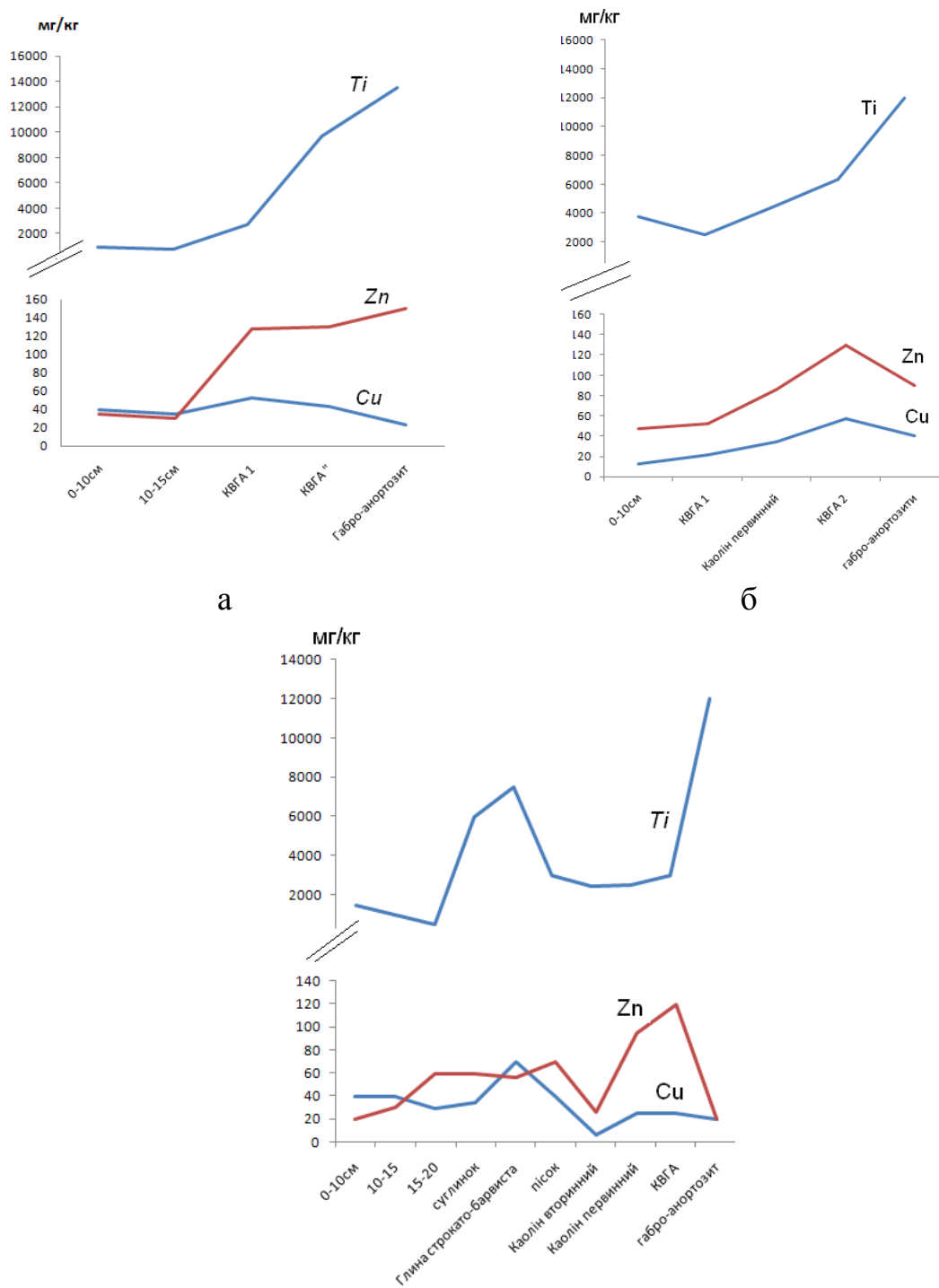


Рис. 4.8. Графіки розподілу Cu, Zn, Ti у ґрунті та ґрунтоутвірних породах: а – «умовно безрудної» ділянки, б – Іршанського родовища, в – Стремигородського родовища

ГДК Cu у піщаних ґрунтах – 33 мг/кг, у суглинистих – 55 мг/кг [22, 23]. Підвищений вміст Cu у верхньому гумусовому горизонті пояснюється тим, що рухомість елемента у кислих ґрунтах вища, ніж у нейтральних або лужних. Zn характеризується максимальною рухомістю у нейтральних ґрунтах. Оскільки рН ґрунтів складає 5–6,8, більшою рухомістю характеризується Cu. Характерною рисою розподілу Cu за ґрунтовым профілем є її акумуляція у верхніх гумусових акумулятивних горизонтах, що є результатом комплексної дії природних (біологічна акумуляція) і техногенних (привнесення в якості забруднювача) факторів. Для ґрунтів супіщаного гранулометричного складу характерним є підвищення вмісту Cu в напрямку до материнської породи, що зумовлено міцним її зв'язуванням у цих ґрунтах органічною речовиною. Тобто, визначальними факторами, що сприяють акумуляції міді в ґрунті, є вміст органічної речовини і гранулометричний склад [46].

Вміст Ti максимальний у габро-анортозитах, у ґрунтах його вміст зменшується у 10 і більше разів.

Території, які зазнали впливу техногенезу, характеризуються особливим типом розподілу важких металів (ВМ), який полягає у накопиченні мікроелементів у верхньому шарі ґрунту і різкому зниженні їх вмісту в ґрунтоутворювальних породах. Тут має місце механізм накопичення хімічних елементів на геохімічних бар'єрах. Накопичення токсичних хімічних елементів може мати згубні наслідки для навколишнього середовища і людини. [40].

4.1.3. Кількісні критерії визначення стану території. Цей підхід базується на прямій кількісній оцінці еколого-геохімічного стану ґрунтів та на концепції ГДК, фонового вмісту окремих забрудників (токсикантів) та їх суми.

За результатами попередніх досліджень визначено максимально аномальний та середній (медіанний) вміст хімічних елементів у ґрунтах досліджуваних функціональних зон [69] (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

**Вміст хімічних елементів у поверхневих відкладах
різних функціональних зон, мг/кг**

Клас небезпеки	Хімічний елемент	XЗ	PЗ	ЗВ	С/г	Ліс	ГДК
1	Zn	90/30	30/20	45/30	25/15	30/15	55
1	Pb	3/2	2/1	6/4	5/1	8/1	32
2	Cu	100/20	30/2	80/30	70/25	60/14	33
2	Ni	9/5	2/1,5	45/18	50/10	40/10	20
2	Co	5/3	3/2	8/4	7/4	8/4	20
2	Cr	10/7	5/2	20/15	20/7	30/7	100
2	Mo	1/0,8	0,9/0,8	2/1,5	2/1	2/0,7	10
3	V	100/30	10/5	20/17	10/8	10/8	150
3	Ba	100/50	60/40	150/100	200/50	200/60	200
3	Mn	250/200	200/150	425/350	400/380	300/180	1500
–	Ti	12000/1000	2000/1000	1250/800	1000/800	1000/600	–

Примітка. XЗ – «хвости» збагачення, PЗ – рекультивовані землі, ЗВ – заплавні відклади, С/г – сільськогосподарські угіддя, Ліс – лісові угіддя (переважно соснові), ГДК – гранично допустима концентрація елементу у ґрунтах, «–» – немає даних (Ti не нормується за ГДК і не відноситься до елементів класу небезпеки). Значення вмісту: чисельник – максимальне, знаменник – медіанне

Визначено, що максимальний вміст Cu, Zn – у «хвостах» збагачення вище за ГДК, але для інших функціональних зон перевищення характерне лише для Cu (заплавні відклади, сільськогосподарські та лісові угіддя). Вміст Pb не вищий за фоновий (рис. 4.9).

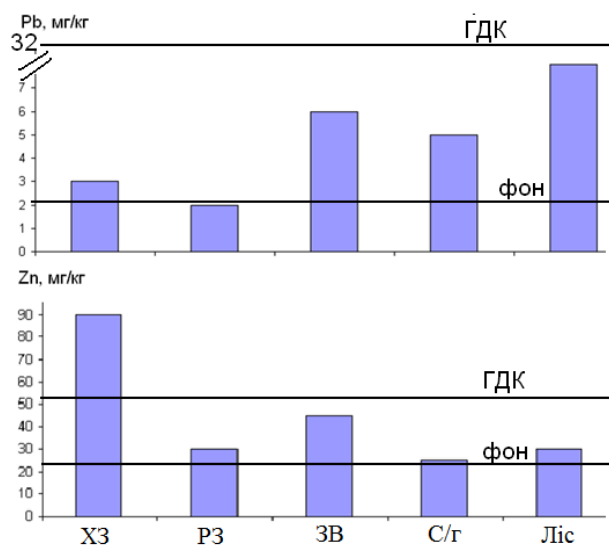


Рис. 4.9. Діаграми вмісту Pb та Zn у ґрунтах різних функціональних зон Іршанської групи родовищ

Для розподілу Ti у ґрунтах різних функціональних зон можна побудувати такий ряд у порядку зменшення вмісту: «хвости» збагачення – рекультивовані землі – заплавні відклади – сільськогосподарські угіддя.

Наступний критерій, що визначає ступінь еколого-геохімічного стану ґрунтів – коефіцієнт концентрації (K_c), який являє собою відношення вмісту елементу на досліджуваній ділянці до його фонового вмісту. Геохімічна характеристика поверхневих відкладів різних функціональних зон дала змогу побудувати асоційовані ранжовані ряди хімічних елементів (за максимальним вмістом) за K_c (табл. 4.6). За умови поліелементного забруднення оцінка ступеня небезпеки забруднення ґрунту можлива за найбільш токсичними елементами з максимальним їх вмістом у ґрунті [116].

Таблиця 4.6

Геохімічні ряди за концентрацією (відносно фонового) хімічних елементів в поверхневих відкладах різних функціональних зон [69]

Функціональна зона	Геохімічні ряди
Хвости збагачення	$Ti_{20} - Cu_8 - V_5 - Zn_4 - Ba_2$
Рекультивовані землі	$Ti_3 - Cu_2$
Заплавні відклади	$Cu_7 - Ni_5 - (Ba, Pb)_3$
Сільськогосподарські угіддя	$Cu_6 - Ni_5 - Ba_4 - (Pb, Mo)_2$
Лісові масиви	$Cu_5 - (Ba, Ni, Pb)_4 - Mo_2$

За середнім значенням ці ряди мають такий вигляд: «хвости» збагачення – $(Ti, V)_{1,7} - Cu_{1,2} - Zn_{1,1} - (Mo, Ba)_1$; заплавні відклади – $(Mo, Ba)_2 - Cu_{1,8} - Ti_{1,3} - Zn_{1,1} - (V, Ni, Pb, Cr, Mn)_1$; сільськогосподарські угіддя – $Cu_{1,5} - (Mo, Ti)_{1,3} - (Ba, Mn)_1$; лісові масиви – $Ba_{1,2} - (Cu, Mo, Ti)_1$; рекультивовані землі – $Ti_{1,7} - (Mo, Ba)_1$.

Визначено, що в зоні розробки родовища основним елементом-забруднювачем є Cu. Рекультивовані землі є найбільш «чистими» щодо забруднення хімічними елементами.

На сьогодні єдиним еколого-геохімічним критерієм визначення комплексного забруднення хімічними елементами є сумарний показник

забруднення (Z_c), який розраховано для поверхневих відкладів різних функціональних зон (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

**Сумарний показник забруднення Z_c поверхневих відкладів
різних функціональних зон**

Назва площі	Сумарний показник забруднення (Z_c)			
	< 2	2–5	5–10	10–15
«Хвости» збагачення				+
Рекультивовані землі	+			
Пойменні відклади			+	
Ліс			+	
Сільськогосподарські угіддя				+

Встановлено, що цей показник для більшості функціональних зон знаходиться в межах 15–16, тобто це допустиме забруднення, і лише «хвости» збагачення характеризуються показником 16–17 (межа помірно небезпечного забруднення).

4.1.4. Моніторингові дослідження стану поверхневих відкладів. Особливу увагу було приділено рекультивованим землям. Якість рекультивованих земель залежить від якості показників їх складових елементів [153]. Якщо рекультивовані землі задовольняють всім вимогам нормативно-технічної документації, то вони вважаються придатними для експлуатації та можуть бути передані для освоєння землекористувачам. Кожна окрема невідповідність рекультивованих земель вимогам вважається дефектом. Дефекти можна поділити на явні і приховані, переборні і непереборні, малозначні, значні і критичні. Після кар'єру проводиться нівелювання відвалів і покриття площ родючим шаром. Рекультивація – високовартісний захід: шар гумусового горизонту потужністю 20 см, який треба перемістити, важить близько 3000 т/га [60]. Проте цей шлях економічно виправданий, тому що витрати окупаються вартістю сільськогосподарської продукції протягом 5–6 років і

рекультивовані землі дають врожаї, які не поступаються врожаям культур на сусідніх непорушених угіддях. Вищезазначена територія знаходиться в межах техногенного навантаження внаслідок розробки кар'єрів.

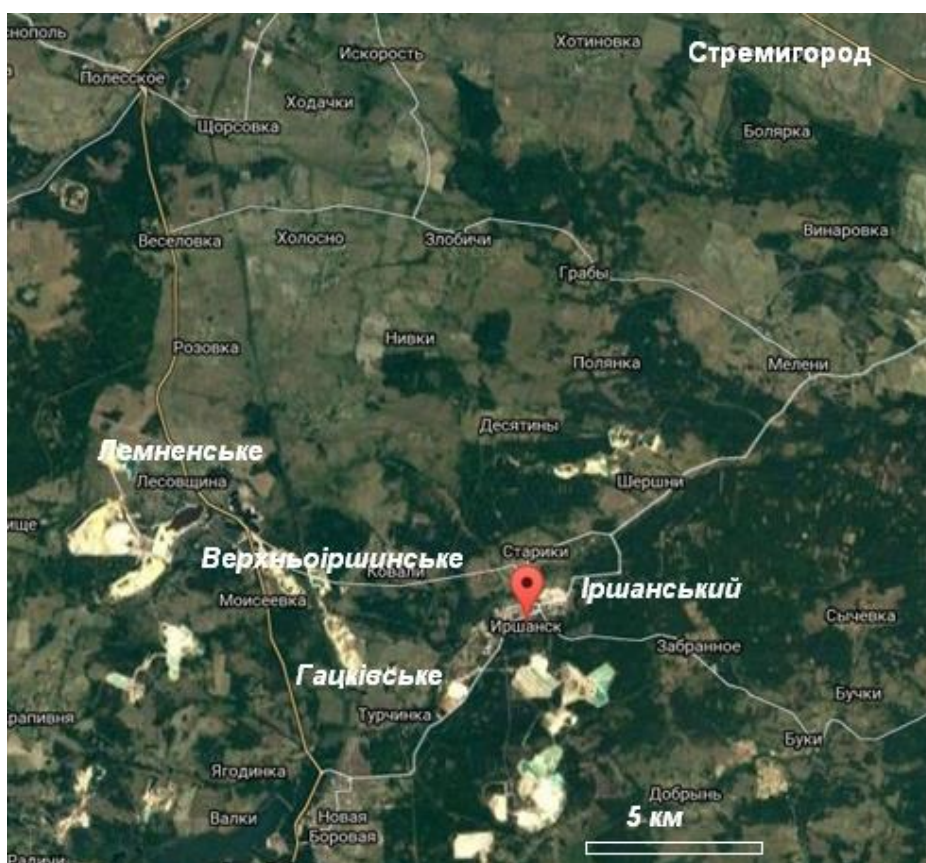
Для визначення ступеню забруднення ґрунтів було обрано Гацківський, Верхньоіршинський, Лемненський кар'єри (Верхньоіршинська група родовищ, 1990–2000-ті рр. розробки) (рис. 4.10) та територія Стремигородського родовища (схеми кар'єрів наведено з супутникової карти).

Для поверхневих відкладів, що знаходяться у межах впливу кар'єрів (лісові та сільськогосподарські угіддя) було розраховано статистичні показники щодо вмісту хімічних елементів та коефіцієнти – K_C , K_K , K_H , Z_C (табл. 4.8).

Щодо K_H , який використовується у практиці геохімічних досліджень, то він є неуніверсальним, оскільки базується на значеннях ГДК. Розвиток патологічних відхилень можливий як за умови надлишку, так і за дефіциту елементів. За теорією порогових концентрацій В.В. Ковальського, дія хімічних елементів на організм визначається інтервалом концентрацій, за яких можлива нормальна реакція обмінних процесів. Тому визначення еколого-геохімічного стану об'єктів довкілля більш досконале за фоновими значеннями (K_C).

Як показали результати аналізу, вміст Ва, Ni, Cu перевищено за фоновими значеннями у 2–3 рази у ґрунтах лісових угідь, а Мо і також Ва, Ni – у 2–6 разів у ґрунтах сільськогосподарських угідь.

Надано еколого-геохімічну оцінку рекультивованих земель (табл. 4.9). Вміст Cr та Mn найнижчий в рекультивованих землях і найвищий – у сільськогосподарських; вміст Ti дещо вищий від фонового у рекультивованих землях.

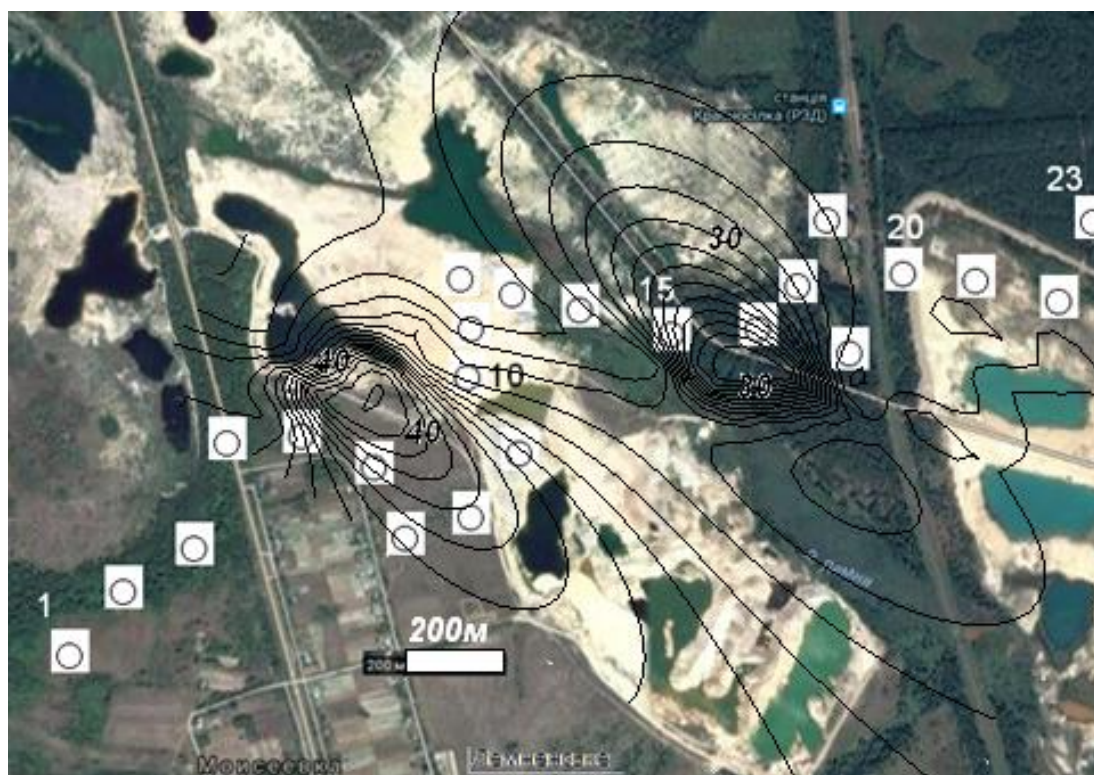


а



б

Рис. 4.10. Схеми розташування досліджуваних кар'єрів на території Іршанської групи родовищ (а) та відбір літохімічних проб у межах: б – Гацківського кар'єру. Ізолініями зображено вміст Si , що перевищує ГДК



В



Г

Продовження рис. 4.10. Схеми розташування досліджуваних кар'єрів на території Іршанської групи родовищ та відбір літохімічних пробу межах: в – Лемненського, г – Верхньоіршинського. Ізолініями зображено вміст Si , що перевищує ГДК

Таблиця 4.8

**Еколого-гігієнічно-геохімічні показники поверхневих відкладів
функціональних зон Верхньoirшинської групи родовищ**

Клас небезпеки	Хімічний елемент	Min, мг/кг	Max, мг/кг	Med, мг/кг	K_C	K_K	K_H	Z_C
Ліс								
1	Pb	2	6	4	0,29	0,24	0,13	6,61
1	Zn	5	50	20	0,87	0,51	0,36	
2	Ni	7	60	17	2,78	0,36	1,25	
2	Co	5	10	9,5	0,79	0,5	0,48	
2	Cr	6	100	15,5	0,86	0,17	0,16	
2	Mo	0,9	2	1	1	0,67	0,1	
2	Cu	13	100	40	3,33	0,73	1,21	
3	Mn	100	300	150	0,38	0,21	0,1	
3	V	5	10	8	0,4	0,05	0,05	
3	Ba	50	200	125	2,5	0,23	0,63	
–	Ti	800	1500	900	1,5	–	–	
Сільськогосподарські угіддя								
1	Pb	3	6	5	0,36	0,29	0,16	15,23
1	Zn	15	40	20	0,87	0,51	0,36	
2	Ni	15	60	20	5,56	0,71	2,5	
2	Co	5	8	6	0,5	0,32	0,3	
2	Cr	10	30	20	1,11	0,22	0,2	
2	Mo	1	10	2	2	1,33	0,2	
2	Cu	60	100	30	6,67	1,45	2,42	
3	Mn	200	500	400	1	0,57	0,27	
3	V	5	20	10	0,5	0,07	0,07	
3	Ba	50	300	100	4	0,36	1	
–	Ti	700	1000	800	1,33	–	–	

Ті у складі титанвмісних мінералів присутній у ґрунті практично в незмінному вигляді [46]. Під час хімічного вивітрювання мінералів Ті вивільнюється у вигляді двоокису в колоїдній формі. У результаті осадової диференціації кристалічні зерна стійких титанвмісних мінералів концентруються в пісках, а колоїдний двоокис титану – в глинистому матеріалі.

Таблиця 4.9

**Еколого-гігієнічно-геохімічні показники поверхневих відкладів
рекультивованих земель Верхньoirшинської групи родовищ
(1990-2000-ті рр. розробки)**

Клас небезпеки	Хімічний елемент	Min, мг/кг	Max, мг/кг	Med, мг/кг	K_C	K_K	K_H	Z_C
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гацківське родовище								
1	Pb	2	5	4	0,29	0,24	0,13	9,66

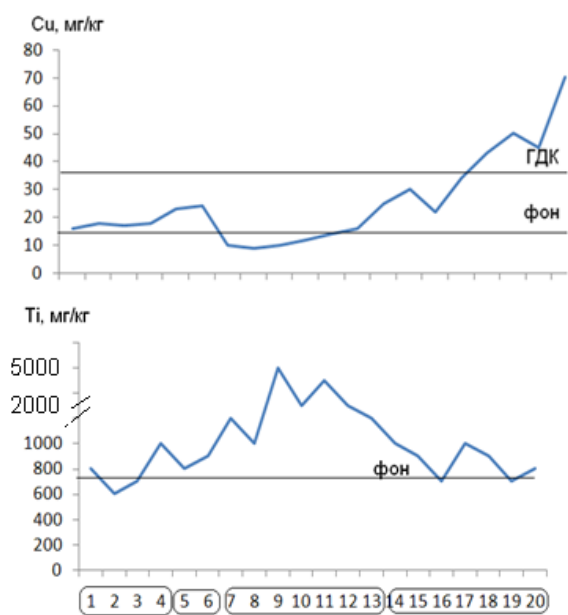
Закінчення табл. 4.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Zn	30	60	40	1,74	1,03	0,73	
2	Ni	20	50	30	3,33	0,43	1,5	
2	Co	2	6	5	0,42	0,26	0,25	
2	Cr	10	60	20	1,11	0,22	0,2	
2	Mo	2	5	3	3	2	0,3	
2	Cu	30	60	40	3,33	0,73	1,21	
3	Mn	300	500	400	1	0,57	0,27	
3	V	20	50	40	2	0,27	0,27	
3	Ba	90	200	100	2	0,18	0,5	
–	Ti	2000	5000	3000	5	–	–	
Лемненське родовище								
1	Pb	2	6	3	0,21	0,82	0,09	14,66
1	Zn	25	50	30	1,3	0,59	0,55	
2	Ni	20	80	30	3,33	0,13	1,5	
2	Co	4	50	8	0,67	0,63	0,4	
2	Cr	10	100	15	0,83	0,2	0,15	
2	Mo	1	6	2	2	0,67	0,2	
2	Cu	12	100	50	8,33	0,22	3,03	
3	Mn	100	400	300	0,75	0,57	0,2	
3	V	3	40	10	0,5	0,13	0,07	
3	Ba	40	300	200	4	0,09	1	
–	Ti	800	2000	1000	1,67	–	–	
Верхньоіршинське родовище								
1	Pb	2	8	4	0,29	0,24	0,13	6,66
1	Zn	20	60	30	1,3	0,77	0,55	
2	Ni	25	50	30	3,33	0,43	1,5	
2	Co	8	5	6	0,5	0,32	0,3	
2	Cr	10	100	30	1,67	0,33	0,3	
2	Mo	0,6	2	1	1	0,67	0,1	
2	Cu	3	100	40	3,33	0,73	1,21	
3	Mn	200	600	300	0,75	0,43	0,2	
3	V	20	40	30	1,5	0,2	0,2	
3	Ba	40	200	100	2	0,18	0,5	
–	Ti	2000	5000	3000	5	–	–	

Cu в ґрунтах є відносно малорухливим елементом, сумарний вміст в ґрунтових профілях варіює незначно [46, 50]. Найбільшого поширення мають прості і складні сульфіди (первинні мінерали). Вони досить легко розчиняються при вивітрюванні і вивільняють іони Cu. Крім того, катіони Cu мають різноманітні властивості і схильні до хімічної взаємодії з органічними і мінеральними речовинами. Вони легко осідають із різними аніонами: сульфідом, карбонатом, гідроксидом. Типовою рисою розподілу Cu в ґрунтовому профілі є її акумуляція у верхніх шарах, що відображається у її біоаккумуляції і обумовлюється впливом антропогенних чинників. Ключова форма знаходження міді в ґрунті – комплекси з

органічними сполуками. Гумінові речовини утворюють з міддю розчинні і нерозчинні сполуки.

Зважаючи на те, що Cu та Ti є елементами, вміст яких підвищений, було побудовано просторову карту-схему та графіки їх розподілу у ґрунтах за функціональними зонами (рис. 4.11).

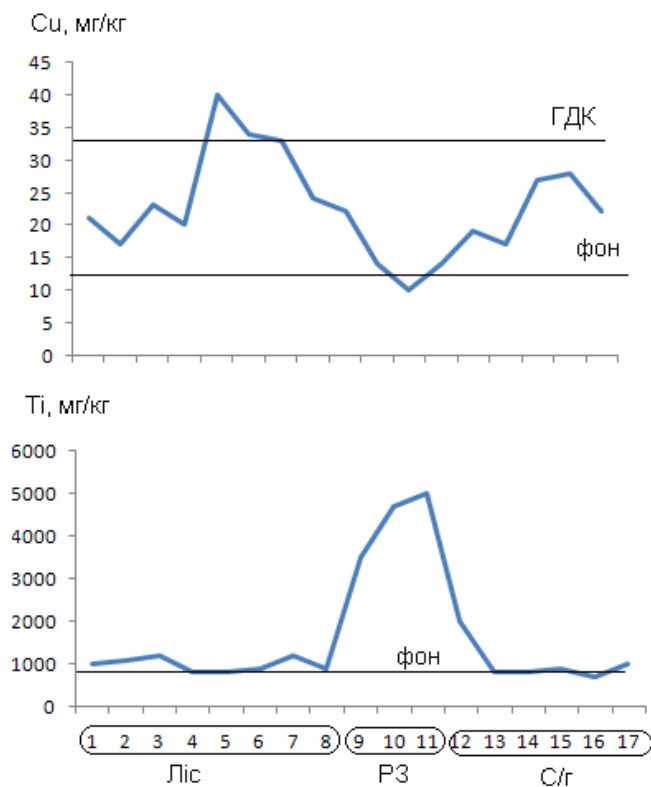


а



б

Рис. 4.11. Графіки розподілу Cu та Ti у поверхневих відкладах функціональних зон поблизу кар'єрів: а – Гацківського, б – Лемненського, в – Верхньоіршинського



В

Продовження рис. 4.11. Графіки розподілу Cu та Ti у поверхневих відкладах функціональних зон поблизу Верхньоіршинського кар'єру (в)

Гацківський кар'єр. Площа рекультивованих земель – 600×600 м (0,36 км²), відібрано проби поверхневих відкладів за профілем (проби 1–20). Проби 1–4 – лісові; 5–6, 15–20 – сільськогосподарські угіддя; 7–14 – рекультивовані землі. Проби відібрано кроком у 25 м (див. рис. 4.10, б). На рисунку наведено аномалію Cu (40–60 мг/кг) на території рекультивованих земель 20×200 м (0,004 км², тобто, менше 1 % площі) у східній частині, на границі з сільськогосподарськими угіддями.

Лемненський кар'єр. Площа рекультивованих земель Лемненської ділянки 1400×1000 м вздовж яких пройдено профіль та відібрано проби на 23 точках (див. рис. 4.10 в). Аномальний вміст Cu фіксується на 2 ділянках: північно-східній – 30–40 мг/кг (площа 100×200 м) та південно-західній – 45 мг/кг (площа 70×50 м). Тобто, перше аномальне поле складає 1,6 % від площі, а друге – 0,3 %.

Верхньоіршинський кар'єр. Площа рекультивованих земель Верхньоіршинського родовища – 1400×500 м, відібрано 17 проб: 1–8 – лісові угіддя; 9–12 – рекультивовані землі; 13–17 – сільськогосподарські угіддя (рис. 4.10, г). Ділянки з аномальним вмістом Cu (40–60 мг/кг) знаходяться на границі з сільськогосподарськими угіддями та складають 2 % площі.

Побудувавши графіки розподілу обраних елементів, дійшли висновку, що у рекультивованих землях вміст Cu найнижчий, а у поверхневих відкладах лісових та сільськогосподарських угідь перевищує фоновий у 2 і більше разів. Розподіл Ti, навпаки, у рекультивованих землях його вміст вищий за фоновий у 5 разів, а у поверхневих відкладах лісових та сільськогосподарських угідь – на межі фонового.

Стремигородське родовище. На сьогодні родовище не розробляється, однак реалізація проекту видобутку родовища передбачає створення ГЗК з відповідною інфраструктурою. Буде зведений безпосередньо сам ГЗК, кар'єр, хвостосховище, два відвали порожніх порід, залізнична станція, пожежне депо, ремонтно-складське господарство, адміністративно-побутові об'єкти, об'єкти водопостачання, водовідведення, електропостачання та інші інженерні мережі [25]. Також передбачено переселення села Діброва і часткове переселення села Болярка. Місце розташування майбутньої території розробки представлено на рисунку (рис. 4.12), це план земельної ділянки загальною площею 2300 га. Розробка родовища спричинить порушення водоносних горизонтів, що викличе утворення депресивної воронки зі зникненням води у колодязях.

На даний час земля обробляється аграрними підприємствами – культивується льон та соняшник, а лісові угіддя представлені широколистяними лісами (див. рис. 4.12).

Відібрано 30 проб поверхневих відкладів з території лісових угідь поблизу с. Дуброва. Результати аналітичних досліджень представлено у таблиці (табл. 4.10). Перевищення фонових значень у два і більше разів зафіксовано для Ni та Cu.

Аналогічні дослідження проведено на «умовно безрудній» ділянці (на якій немає родовища та не проводиться розробка), що пролягає вздовж залізниці сполученням Нова Борова – Коростень. Ця ділянка зазнає незначного техногенного впливу.



а



б



в

Рис. 4.12. Місце розташування різних функціональних зон території Стремигородського родовища титану (запланованого до розробки) [25] (а) та загальний вигляд території розташування функціональних зон Стремигородського родовища: б – с. Діброва (поле льону), в – лісові угіддя

Таблиця 4.10

**Еколого-гігієнічно-геохімічні показники поверхневих відкладів
лісових угідь Стремигородського родовища**

Клас небезпеки	Хімічний елемент	Min, мг/кг	Max, мг/кг	Med, мг/кг	K_C	K_K	K_H	Z_C
1	Pb	1	40	4,5	0,32	0,26	0,14	8,47
1	Zn	8	70	25	1,09	0,64	0,45	
2	Ni	2	50	12	3,89	0,5	1,75	
2	Co	2	10	7	0,58	0,37	0,35	
2	Cr	8	200	30	1,67	0,33	0,3	
2	Mo	0,1	3	1	1	0,67	0,1	
2	Cu	2	130	17	4,58	1	1,67	
3	Mn	50	1000	300	0,75	0,43	0,2	
3	V	2	100	35	0,75	0,1	0,1	
3	Ba	30	300	100	2	0,18	0,5	
–	Ti	500	2000	1000	1,67			

Відібрано 24 проби через 1 км та узагальнено інформацію щодо геохімічного складу поверхневих відкладів лісових та сільськогосподарських угідь, заплавних відкладів (рр. Ірша, Лемня та Холосна). Ділянку досліджень представлено на рисунку (рис. 4.13).

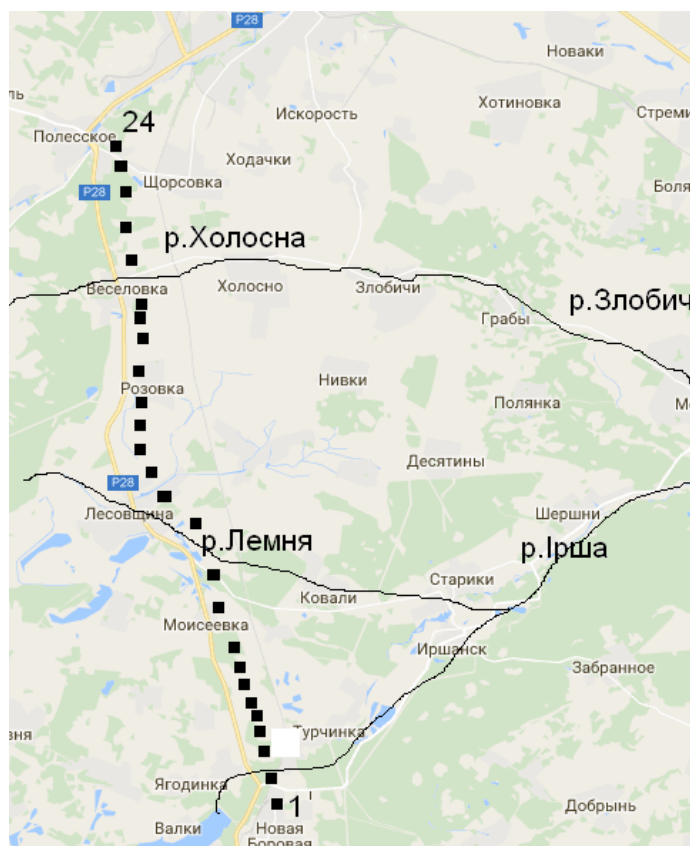


Рис. 4.13. Територія «умовно безрудної» ділянки поблизу Верхньоіршинської групи родовищ титану

Результати аналітичних досліджень та розрахунків геохімічних коефіцієнтів представлено у таблиці (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Еколого-гігієнічно-геохімічні показники поверхневих відкладів функціональних зон «умовно безрудної» ділянки

Клас небезпеки	Хімічний елемент	Min, мг/кг	Max, мг/кг	Med, мг/кг	K_C	K_K	K_H	Z_C
Ліс								
1	Pb	1	6	2	0,14	0,12	0,06	9
1	Zn	15	50	30	1,3	0,77	0,55	
2	Ni	3	40	20	2,22	0,29	1	
2	Co	1	30	7	0,58	0,37	0,35	
2	Cr	5	150	50	2,78	0,56	0,5	
2	Mo	0,1	15	1	1	0,67	0,1	
2	Cu	5	60	19	5	1,09	1,82	
3	Mn	200	600	300	0,75	0,43	0,2	
3	V	10	30	15	0,75	0,1	0,1	
3	Ba	50	200	70	2	0,18	0,5	
–	Ti	600	1500	1000	1,67			
Сільськогосподарські угіддя								
1	Pb	1	6	2,5	0,18	0,15	0,08	7,58
1	Zn	20	90	40	1,74	1,03	0,73	
2	Ni	1	40	12	2,5	0,32	1,13	
2	Co	1	6	2,5	0,21	0,13	0,13	
2	Cr	10	100	45	2,5	0,5	0,45	
2	Mo	0,1	5	1	1	0,67	0,1	
2	Cu	5	80	30	4,58	1	1,67	
3	Mn	100	800	300	0,75	0,43	0,2	
3	V	10	50	15	0,75	0,1	0,1	
3	Ba	20	150	60	1,2	0,11	0,3	
–	Ti	800	2500	1250	2,08			
Заплавні відклади								
1	Pb	1	10	4,5	0,32	0,26	0,14	9,67
1	Zn	25	80	30	1,3	0,77	0,55	
2	Ni	12	50	18	3,89	0,5	1,75	
2	Co	6	10	8	0,67	0,42	0,4	
2	Cr	20	100	50	2,78	0,56	0,5	
2	Mo	1	5	1,5	1	0,67	0,1	
2	Cu	17	100	22	5	1,09	1,82	
3	Mn	100	1000	350	0,88	0,5	0,23	
3	V	2	20	12,5	0,63	0,08	0,08	
3	Ba	20	300	75	1,5	0,14	0,38	
–	Ti	800	1100	1000	1,67			

У поверхневих відкладах всіх функціональних зон «умовно безрудної» ділянки вміст Ni, Cr, Cu перевищує фоновий вміст у 2–3 рази.

Z_C поверхневих відкладів відноситься до допустимого рівня, вміст інших елементів – в межах фонового.

Іршанське родовище. Розробка родовища відбувалася у 1970-ті роки, тому ми мали змогу проаналізувати зміну стану ґрунтів після рекультивації території через 40 років. Родовища розроблялися вздовж р. Ірша дражним методом, відбір проб проводився на рекультивованих землях після розробки, відібрано біля 30 проб. Крім того, відібрано проби у «хвостах» збагачення ільменіту ІГЗК (рис. 4.14).

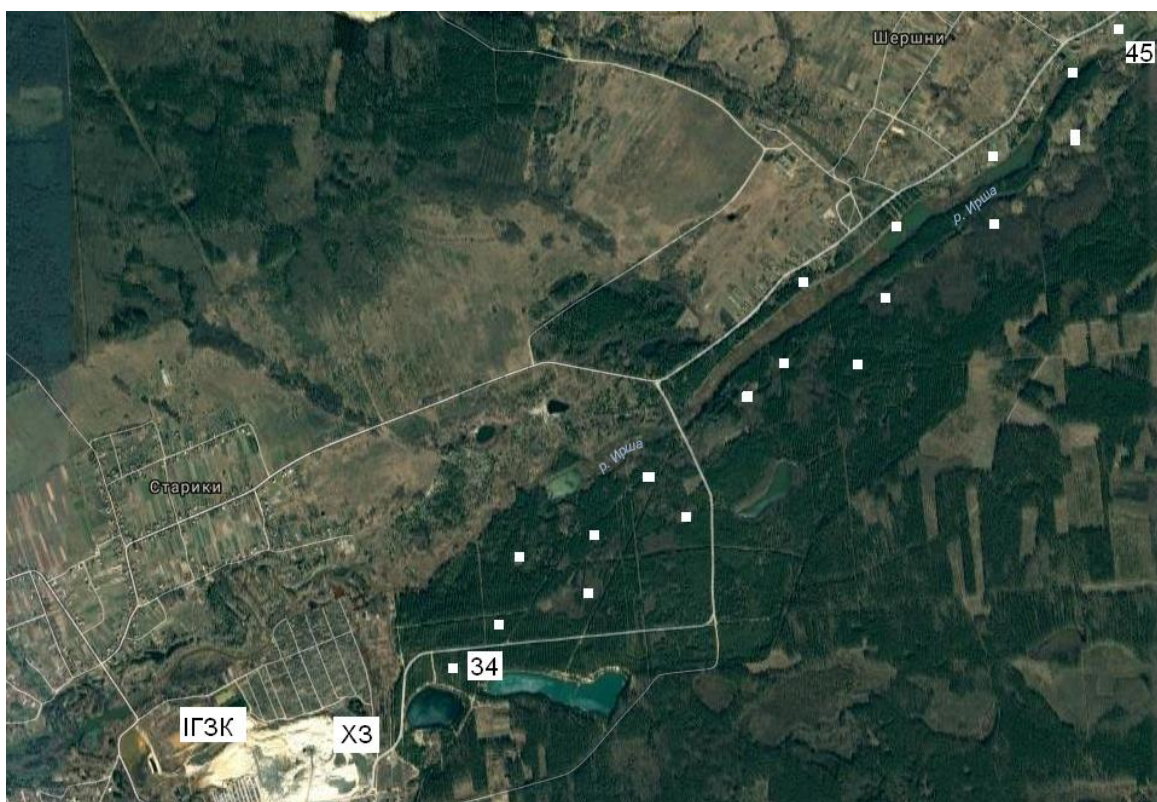


Рис. 4.14. Відбір проб поверхневих відкладів на території розробки (1970-ті рр.) Іршанського титанового родовища. ІГЗК – Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат, ХЗ – «хвости» збагачення, 34-45 – літогеохімічне опробування

Еколого-геохімічні та еколого-гігієнічні показники поверхневих відкладів Іршанського родовища наведено у таблиці (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

Еколого-геохімічні та еколого-гігієнічні показники поверхневих відкладів Іршанського родовища (1970-ті рр. розробки)

Клас небезпеки	Хімічний елемент	Min, мг/кг	Max, мг/кг	Med, мг/кг	K _C	K _K	K _H	СПЗ
Рекультивовані землі								
1	Zn	10	100	35	1,52	0,9	0,64	–
1	Pb	1	3	2	0,14	0,12	0,06	
2	Ni	0,9	20	1,5	0,17	0,02	0,08	
2	Co	0,1	10	0,1	0,01	0,01	0,01	
2	Cr	1	200	4,5	0,25	0,05	0,05	
2	Mo	0,1	5	0,8	0,8	0,53	0,08	
2	Cu	1	100	5	0,42	0,09	0,15	
3	Mn	50	1000	175	0,44	0,25	0,12	
3	V	5	150	12,5	0,63	0,08	0,08	
3	Ba	10	150	55	1,1	0,1	0,28	
–	Ti	1200	10000	2000	3,33	–	–	
Ліс								
1	Pb	1	20	7	0,5	0,41	0,22	6,9
1	Zn	5	100	25	1,09	0,64	0,45	
2	Ni	2	40	15	1,67	0,21	0,75	
2	Co	3	20	6	0,5	0,32	0,3	
2	Cr	3	100	10	0,56	0,11	0,1	
2	Mo	0,1	2	1	1	0,67	0,1	
2	Cu	3	60	40	3,33	0,73	1,21	
3	Mn	40	800	150	0,38	0,21	0,1	
3	V	8	50	10	0,5	0,07	0,07	
3	Ba	50	200	175	3,5	0,32	0,88	
–	Ti	800	1500	1000	1,67	–	–	
Заплавні відклади								
1	Pb	6	1	2	0,14	0,12	0,06	11,58
1	Zn	40	90	55	2,39	1,41	1	
2	Ni	2	60	13	1,44	0,19	0,65	
2	Co	0,1	10	4,5	0,38	0,24	0,23	
2	Cr	10	80	50	2,78	0,56	0,5	
2	Mo	0,1	2	1	1	0,67	0,1	
2	Cu	5	80	70	5,83	1,27	2,12	
3	Mn	150	350	250	0,63	0,36	0,17	
3	V	6	40	10	0,5	0,07	0,07	
3	Ba	50	150	125	2,5	0,23	0,63	
–	Ti	600	2000	1250	2,08	–	–	
Сільськогосподарські угіддя								
1	Pb	10	7	8	0,57	0,47	0,25	8,5
1	Zn	6	30	18	0,78	0,46	0,33	
2	Ni	6	30	18	2	0,26	0,9	
2	Co	6	9	8	0,67	0,42	0,4	
2	Cr	5	40	22,5	1,25	0,25	0,23	
2	Mo	1	3	1,5	1,5	1	0,15	
2	Cu	18	50	26	2,5	0,55	0,91	
3	Mn	200	300	250	0,63	0,36	0,17	
3	V	10	20	15	0,75	0,1	0,1	
3	Ba	80	200	120	6	0,55	1,5	
–	Ti	900	1200	1000	1,67	–	–	

Примітка. «–» – не визначено.

Моніторингові дослідження (1970 р., 1990–2000 рр.) стану поверхневих відкладів різних ділянок розробки титанових родовищ (Іршанське, Верхньоіршинська група родовищ, Стремигородське родовище, «умовно чиста» ділянка) дали змогу надати геохімічну характеристику у вигляді асоційованого ранжованого ряду (згідно K_C) та розрахувати Z_C (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

**Еколого-геохімічні показники стану поверхневих відкладів
різних ділянок розробки титанових родовищ**

Назва родовища	Функціональні зони	Геохімічні ряди	Z_C
1970 роки розробки			
Іршанське	РЗ	Ti_3	-
	Ліс	$(Ba, Cu)_3$	6,9
	ЗВ	$Cu_6 - (Ba, Cr)_3 - (Zn, Ti)_2$	12
	С/Г	$Ba_6 - Cu_3$	9
1990–2000 роки розробки (Верхньоіршинська група родовищ)			
Лемненське	РЗ	$Cu_8 - Ba_4 - Ni_3 - Mo_2$	14,7
Верхньоіршинське	РЗ	$(Cu, Ni)_3 - Ba_2$	6,7
Гацківське	РЗ	$Ti_5 - (Cu, Mo, Ni)_3 - (Ba, V)_2$	9,7
—	Ліс	$(Cu, Ni, Ba)_3$	6,6
—	С/Г	$Cu_7 - Ni_6 - Ba_4$	15,2
2000 рр. (Стремигородське родовище)			
Стремигородське	Ліс	$Cu_5 - Ni_4 - Ba_2$	8,5
«Умовно чиста» ділянка			
«Умовно чиста» ділянка	Ліс	$Cu_5 - Cr_3 - (Ba, Ni)_2$	9
	С/Г	$Cu_5 - (Cr, Ni)_3$	7,6
	ЗВ	$Cu_5 - Ni_4 - Cr_3$	9,7

Примітка. Назва функціональних зон відповідно до табл. 1, «—» – функціональні зони Верхньоіршинської групи родовищ

Відповідно до значень K_C рекультивовані землі Іршанського родовища не забруднені елементами I–III класу небезпеки. Рекультивовані землі Лемненського родовища мають найбільший вміст Cu (K_C 8), а Верхньоіршинського і Гацківського K_C Cu становить 3. «Умовно безрудна» ділянка та ділянка Стремигородського родовища K_C Cu мають 5. K_C Cu у ґрунтах «умовно безрудної» ділянки і Стремигородського родовища однаковий, що означає відсутність впливу наявності родовища на розподіл елементу у ґрунтах. Ґрунти Верхньоіршанського і Гацківського родовищ мають підвищену піщану складову у ґрунтах (дерново-слабопідзолисті супіщані), це й визначає кількість елементу у верхньому шарі ґрунту (0–10 см).

Встановлено, що основними елементами-забруднювачами є Ва, Cu, Ni та Мо. Для наочності побудовано графіки розподілу Z_C за впливом розробки кар'єрів 1970-х та 1990-х років на ґрунти різних функціональних зон. За Z_C стан ґрунтів лісової зони не змінився, а щодо рекультивованих земель та сільськогосподарських угідь – показники збільшилися (рис. 4.15 а).

Щодо Z_C рекультивованих земель Лемненського, Верхньоіршинського та Гацківського родовищ, що розроблялися у 1990–2000 роки, на сьогоднішній день найбільш безпечний стан Верхньоіршинського родовища (див. рис. 4.15 б).

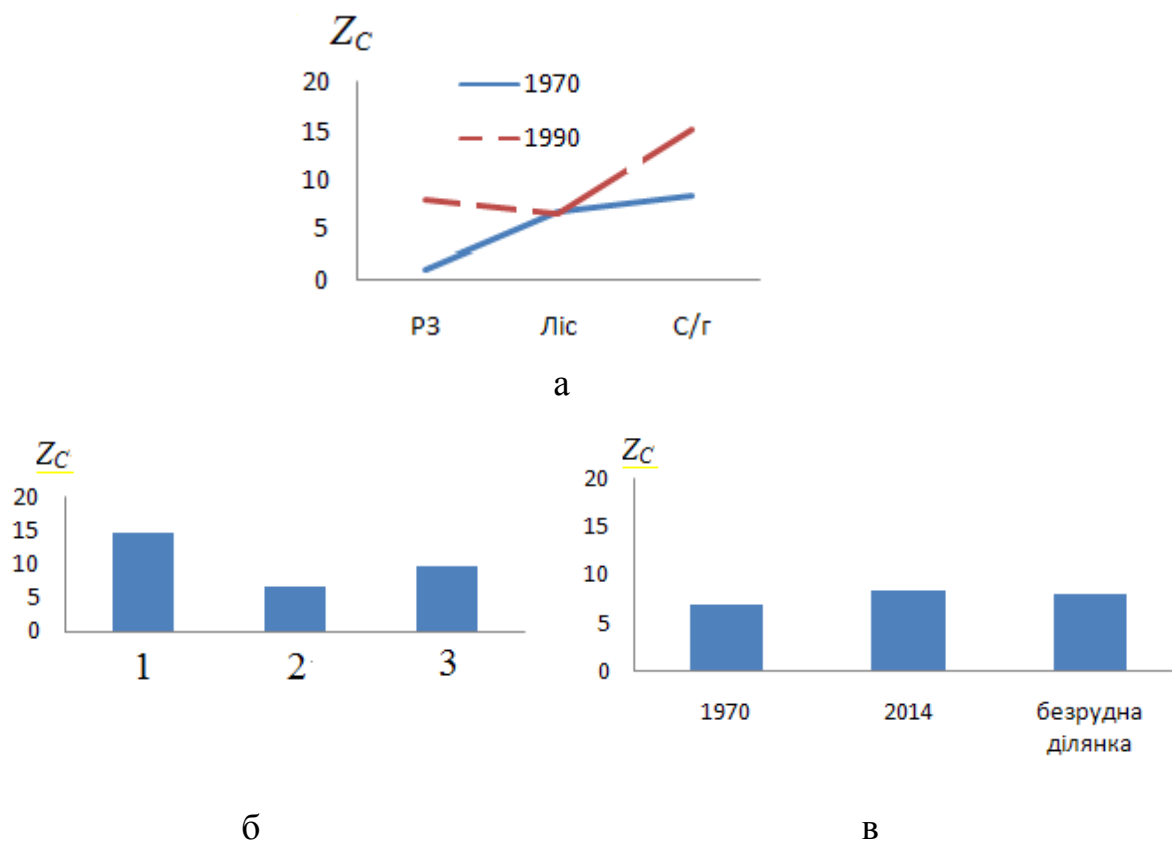


Рис. 4.15. Значення Z_C поверхневих відкладів різних функціональних зон: а – рекультивованих земель (РЗ), сільськогосподарських угідь (С/г) та лісових масивів (Ліс); б: 1 – Лемненського, 2 – Верхньоіршинської групи родовищ, 3 – Гацківського, що розроблялися у 1990–2000 роки; в – Стремигородського родовища у порівнянні з «умовно безрудною» ділянкою

Як бачимо, за Z_C стан ґрунтів безпечний, порівняно з 1970 роками забруднення не збільшилося, і ґрунти мають допустиме забруднення. На

території Стремигородського родовища Z_C не перевищує 10. Моніторингові дослідження дозволили визначити, що за 30 років еколого-геохімічний стан поверхневих відкладів функціональних зон у межах впливу титанових родовищ має незначні зміни і знаходиться в межах допустимого рівня.

4.1.5. Просторовий розподіл елементів. Як було зазначено вище, основний елемент-забруднювач досліджуваної території – Cu, було побудовано карти розподілу по площі Ti та Cu дл всієї території. Ділянки з аномальним вмістом Ti співпадають із рекультивованими землями вивчених родовищ, а розподіл Cu нерівномірний. Джерелом забруднення ґрунтів міддю можуть бути як добрива, так і тверді побутові відходи, тому було проведено порівняння місць аномальних полів Cu з розташуванням побутових відходів (рис. 4.16).

Аномальний вміст Cu у рекультивованих землях спостерігається на межі з сільськогосподарськими угіддями, тому використання добрив із вмістом Cu на досліджуваній території має бути максимально обмеженим.

4.2. Форми знаходження металів у ґрунтах різних функціональних зон

Найбільш активними компонентами харчування живих організмів і агентами забруднення є рухомі сполуки, тобто той запас хімічних елементів, який здатний переходити з твердих фаз у ґрунтові розчини. Оскільки досліджувана територія відноситься до титанової металогенічної провінції, наведено дані щодо його рухомості.

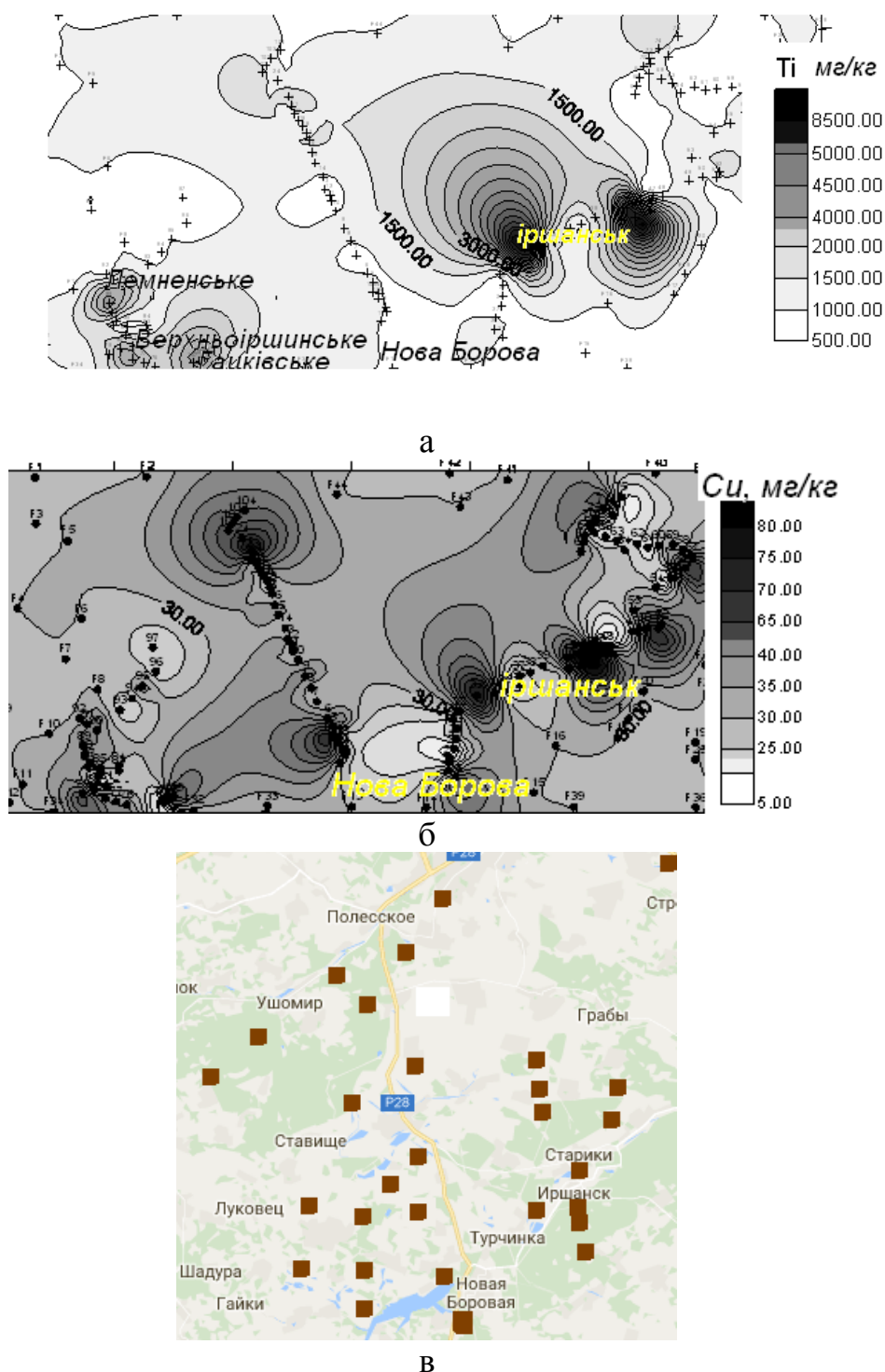


Рис. 4.16. Схема просторового розподілу Ti (а) та Cu (б) у поверхневих відкладах ділянки досліджень та (в) місця розташування твердих побутових відходів зі вмістом до 1 тис. т (за даними Атласу небезпечних об'єктів України, 2014)

Ti знаходиться у ґрунті у вигляді твердих мінералів – кінцевих продуктів вивітрювання основних порід, титанату заліза і в розсіяному вигляді – в алюмосилікатах. Значна частина його знаходиться у невивітрених частинках глин. Невелика частина титану в ґрунті представлена

колоїдною формою – гідратом TiO_2 , який утворюється в процесі руйнування титанвмісних мінералів. Цей елемент може перебувати в ґрунтах у формі $\text{Ti}(\text{HPO}_4)_2$, що є новоутворенням. Через нездатність Ti утворювати легкорозчинні сполуки в умовах біосфери кількість його в ґрунтовому розчині дуже мала – $7 \cdot 10^{-6} \%$, незважаючи на високий вміст у ґрунтах. Тобто, Ti не становить небезпеки для рослин внаслідок дуже слабкої рухомості [46].

Найбільш сильну небезпеку становлять ВМ. При забрудненні ВМ змінюється не тільки їх валовий вміст у ґрунтах, але і характеристики їх рухомості, а саме – швидкість переходу до ґрунтового розчину або входження до малорозчинних сполук. Тому вивчення закономірностей поведінки ВМ у ґрунті та виявлення факторів, що впливають на ці процеси, має важливе екологічне значення [162]. За матеріалами досліджень валових і рухомих форм металів у ґрунтах різних функціональних зон було визначено середній їх вміст (табл. 4.14).

Таблиця 4.14

Середній валовий вміст та вміст рухомих форм хімічних елементів у ґрунтах різних функціональних зон, мг/кг

Хімічний елемент	Ліс		«Хвости» збагачення		Рекультивовані землі		Сільськогосподарські угіддя	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Zn	25	4	60	1,5	23	2	40	5
Cu	28	4	100	2	25	5	60	6
Pb	5	0,8	20	0,8	4	0,3	10	0,8
Ni	5	1,2	15	0,9	5	0,9	4	1,3

Примітка. 1 – валовий вміст, 2 – вміст рухомих форм

Zn, Pb є елементами I класу небезпеки, Mn Ni – II класу, це становить найбільшу небезпеку при надходженні до рослин. Метали знаходяться у ґрунтовому розчині у різних формах. За біохімічними властивостями і функціями Cu схожа з залізом і здатна як утворювати стабільні комплекси, так і змінювати валентність з двох- до одновалентної. Одновалентна Cu нестабільна, на відміну від двовалентної. Питання про те, в якій формі –

Cu (I) або Cu (II) – мідь поглинається рослинами, в даний час залишається відкритим. До 99 % Cu в рослинах присутня у вигляді комплексних форм, а концентрація вільних одно- і двовалентних іонів гранично низька. Cu характеризується більшою спорідненістю до амінокислот, ніж до органічних кислот [42].

Цинк поглинається рослиною в формі Zn^{2+} або $Zn(OH)_2$ за високих значень рН. Унаслідок низької концентрації Zn в ґрунтовому розчині поглинання відбувається переважно через метаболічно контрольований прямий кореневий контакт. Швидкість поглинання Zn сильно коливається в залежності від виду рослин і умов середовища росту. Велике значення має склад живильного розчину, особливо присутність Ca. При оптимальному рівні вмісту Zn в ґрунті цей елемент може переміщатися з коренів і накопичуватися в верхніх частинах рослин [2, 43].

Біологічна роль Ni полягає у тому, що він відноситься до числа мікроелементів, необхідних для нормального розвитку живих організмів. Однак про його роль у живих організмах відомо небагато. Відомо, що нікель бере участь у ферментативних реакціях у тваринах і рослинах. Ni надходить у рослини у вигляді іона Ni^{2+} , але може знаходитися у вигляді Ni^+ і Ni^{3+} [3, 50].

Pb сорбується у обмінній або необмінній формі осадами гідроксидів Fe і Mn, глинистими мінералами і органічною речовиною ґрунту. Він здатний до вимивання, знаходиться у ґрунтовому розчині у вигляді вільних іонів, комплексів і хелатів [46].

Для цих металів розраховано відсоток надходження рухомих форм, що доступний для рослин (рис. 4.17).

У «хвостах» збагачення встановлено максимальний валовий вміст металів, а вміст рухомих форм мінімальний. Це пов'язано з наявністю глинистих частинок, які слугують сорбційним бар'єром для металів.

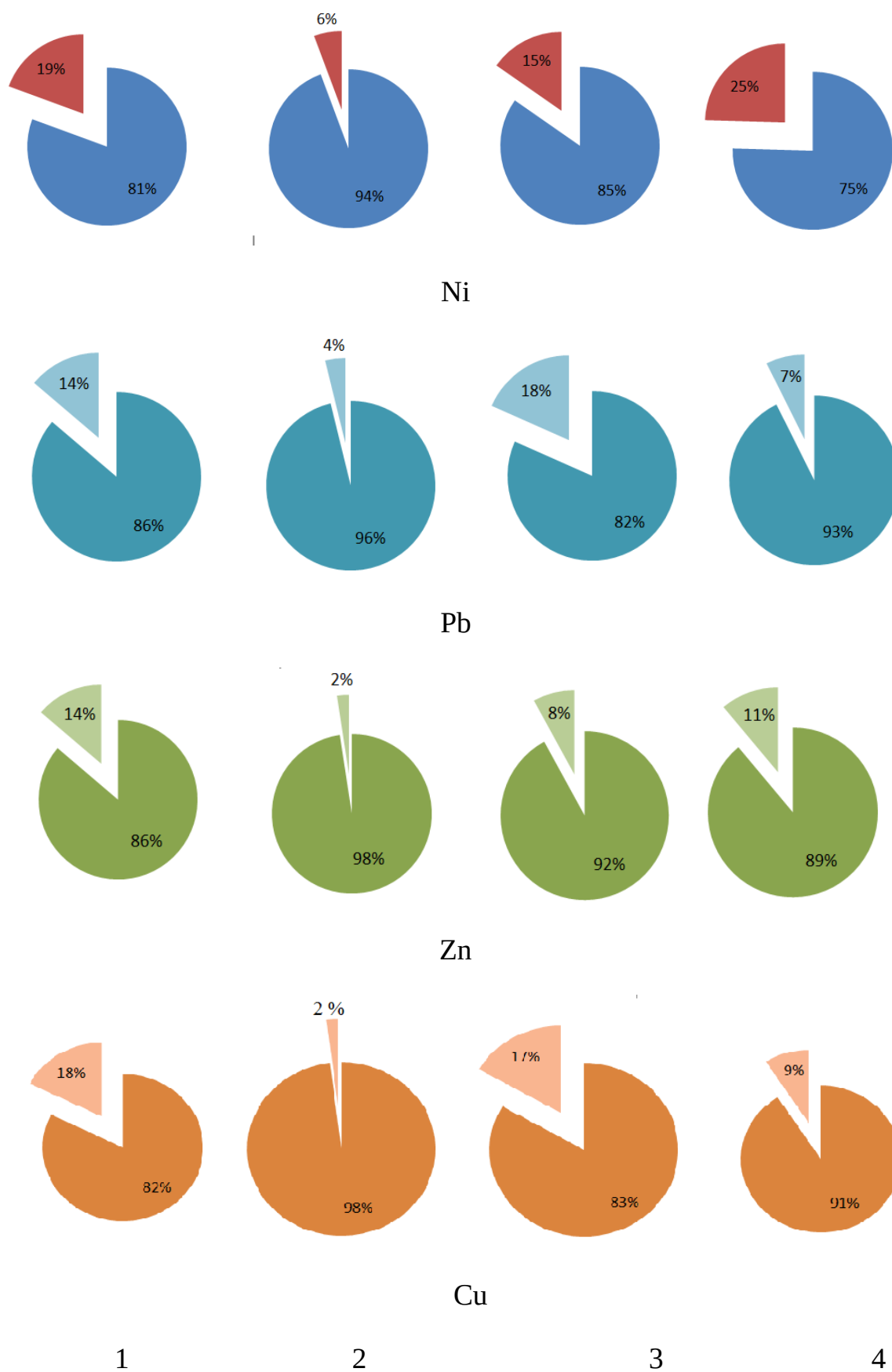


Рис. 4.17. Діаграми частки рухомих форм металів у поверхневих відкладах функціональних зон: 1 – лісові угіддя, 2 – «хвости» збагачення, 3 – рекультивовані землі, 4 – сільськогосподарські угіддя

Щодо рекультивованих і лісових земель, вміст валових і рухомих форм майже однаковий, у лісових ґрунтах дещо підвищений вміст рухомих форм, що пов'язане з більшим вмістом органічної речовини. Отже, визначивши частку рухомих форм від валового вмісту елементу у ґрунтах, можна скласти ряди для кожного досліджуваного металу (від максимального до мінімального): Zn: лісовий ґрунт – сільськогосподарські угіддя – рекультивовані землі – «хвости» збагачення; Cu: лісовий ґрунт – рекультивовані землі – сільськогосподарські угіддя – «хвости» збагачення; Pb: рекультивовані землі – лісовий ґрунт – сільськогосподарські угіддя – «хвости» збагачення; Ni: сільськогосподарські угіддя – лісовий ґрунт – рекультивовані землі – «хвости» збагачення.

У техногенно забруднених ґрунтах спостерігається висока концентрація ВМ, пов'язаних з фракцією легкообмінних іонів та підвищений вміст волорозчинних форм. У ґрунтах, які зазнають меншого техногенного впливу, вміст рухомих форм зменшується, відмічається збільшення більш стійких форм [43].

4.3. Біогеохімічні дослідження

У житті рослин та тварин ґрунти відіграють дуже важливу роль як ключовий ланцюг у колообігу хімічних елементів у біосфері [47]. Для формування елементного хімічного складу ґрунтоутворювальних порід і ґрунтів, ґрунтово-геохімічної та біогеохімічної оцінки території необхідне дослідження впливу геологічних процесів як факторів ґрунтоутворення на вміст хімічних елементів у ґрунтах та визначення вкладу в нього літогенної основи ґрунтів і біогенної акумуляції елементів [56, 75, 143].

За геоботанічним районуванням досліджувана територія відноситься до Лісової геоботанічної зони, а саме Східнолісової (сарматської) провінції хвойно-широколистяних та широколистяних лісів, поліської підпровінції хвойно-широколистяних лісів та складає центральнопільський округ

грабово-дубових, дубових, дубово-соснових лісів, заплавних луків та евтрофних боліт [100].

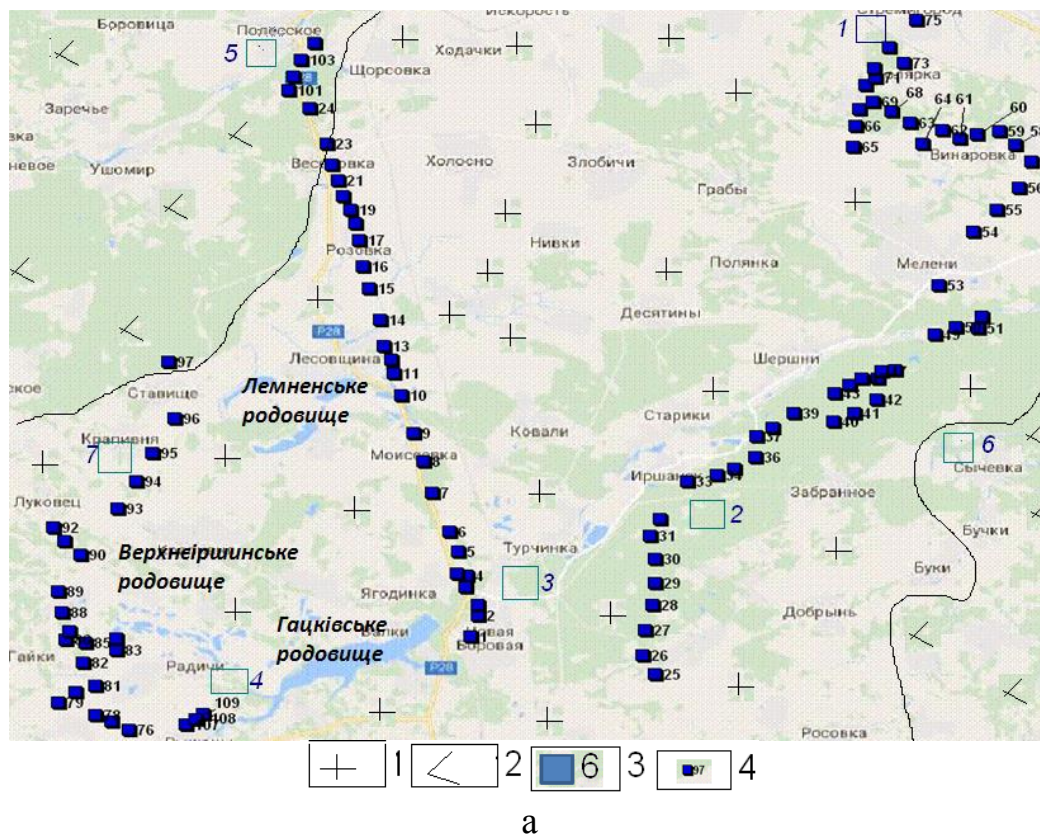
Об'єктами досліджень слугували різні частини широко розповсюджених рослин – листя берези, глиця сосни та мох (рис. 4.18).

Для порівняння поглинання хімічних елементів рослинністю було обрано 7 ділянок, корінними породами для яких є габро-анортозити та граніти (див. рис. 4.18). Ділянка 1 розташована у межах Стремигородського родовища, 2 – Іршанського, 4 – Верхньоіршинської групи родовищ, 5, 6 – над гранітами, 3, 7 – над габро-анортозитами.

Головним джерелом надходження елементів у рослини є ґрунти [2]. Геохімічні асоціації хімічних елементів у рослинах визначаються переважно індивідуальною здатністю рослин до вибіркового поглинання елементів із ґрунту. Ступінь накопичення елементів у рослинах визначається за коефіцієнтом біологічного поглинання A_x , який розраховується як відношення вмісту елемента у золі рослини до вмісту його у ґрунті [110].

Зважаючи на те, що територія є титаноносною, розглянемо функції Ti у рослинах. Головним фактором, що визначає кількість Ti в ґрунті, є вміст його у материнській породі. Ti є постійним компонентом рослин і виконує в них важливі фізіолого-біохімічні функції. Під впливом цього елемента прискорюються процеси фотовідновлення [46]. З урожаєм сільськогосподарських культур щорічно з полів відчужується 75–2700 г/га Ti . Внесені на полях мінеральні добрива, підвищуючи інтенсивність біологічного кругообігу речовин, підсилюють процес руйнування ґрунтоутворювальних порід і як наслідок підвищують титановий статус ґрунту.

За результатами аналітичних досліджень було визначено середній вміст хімічних елементів у рослині та ґрунті та розраховано коефіцієнт біологічного поглинання [154]. В таблиці представлено коефіцієнти накопичення (поглинання) (A_x) хімічних елементів у рослинах на різних типах ґрунотвірних порід (табл. 4.15).



б



в



г

Рис. 4.18. Схема відбору проб рослинності (а): 1 – габро-анортозити, 2 – граніти, 3 – ділянки відбору проб рослинності та ґрунтових відкладів під ними, 4 – опорні профіля відбору проб поверхневих відкладів та загальний вигляд обраних рослин: б – береза, в – сосна, г – мох

Таблиця 4.15

Коефіцієнти накопичення (поглинання) хімічних елементів у рослинах на різних типах ґрунотвірних порід

Елемент	Листя берези		Глистя сосни		Мох	
	A_{x1}	A_{x2}	A_{x1}	A_{x2}	A_{x1}	A_{x2}
Mn	30,0	30	25,0	25,0	4,5	5,0
Ni	2,5	1,7	1,0	1,7	3,1	10,0
Co	1,0	1,5	0,5	1,0	2,0	5,0
Ti	0,08	0,03	0,24	0,02	0,72	0,83
V	0,5	0,25	0,5	0,3	2,5	5,0
Cr	0,04	0,08	0,05	0,07	0,2	1,33
Mo	1,5	1,0	1,0	3,75	0,5	5,0
Zr	1,79	2,0	1,8	2,25	3,2	10
Nb	0,13	0,2	1,5	0,2	0,33	0,8
Cu	5,0	3,75	40,0	5,0	8,13	25,0
Pb	2,5	1,7	20,0	3,33	9,17	33,3
Bi	5,0	5,0	3,5	4,38	2,5	2,5
Zn	5,45	5,0	200	3,75	3,64	1,67
Ba	3,33	0,8	400	0,25	1,67	1,0
Li	0,33	1,0	30,0	1,0	0,83	2,0
P	4,0	12,5	4000	12,5	1,5	5,0

Примітка. Коефіцієнт накопичення хімічних елементів рослинами (A_{x1} – ґрунти над габро-анортозитами, A_{x2} – наа гранітами)

За результатами аналізів побудовано геохімічні ряди поглинання хімічних елементів рослинністю (від максимального до мінімального) (табл. 4.16).

Таблиця 4.16

Геохімічні ряди накопичення (поглинання) A_x хімічних елементів рослинністю з ґрунту на різних типах корінних порід

Фітооб'єкт	Габро-анортозит	Граніт
Листя берези	$Mn_{30} - Zn_{5,5} - (Bi, Cu)_5 - P_4 - Ba_{3,3} - (Ni, Pb)_{2,5}$	$Mn_{30} - P_{12} - (Bi, Zn)_5 - Cu_{3,8} - Zr_2 - Ni_{1,7} - Co_{1,5}$
Глистя сосни	$Mn_{25} - Cu_5 - Bi_{4,4} - Zn_{3,6} - Pb_{3,3} - P_2 - Zr_{1,8}$	$Mn_{25} - P_{12,5} - Cu_5 - Bi_{4,4} - Mo_{3,8} - Zn_{3,6} - Pb_{3,3} - Zr_{2,3} - Ni_{1,7}$
Мох	$Pb_{9,2} - Mn_{4,5} - Zn_{3,6} - Zr_{3,6} - Ni_{3,1} - (V, Bi)_{2,5} - Co_2 - Ba_{1,7} - P_{1,5}$	$Pb_{33} - Cu_{25} - (Ni, Zr)_{10} - (Mn, Co, V, Mo, P)_5 - Bi_{2,5} - Li_2 - Zn_{1,7}$

Листя берези та глистя сосни (незалежно від типу ґрунтоутворювальної породи) найбільш інтенсивно накопичують Mn, а мох – Pb, Cu (у 6 разів більше, ніж інші рослини). Нижче наведено діаграми, на яких

представлено значення A_x Cu, Zn, Mn, Bi, Pb на різних типах ґрунотвірних порід (рис. 4.19).

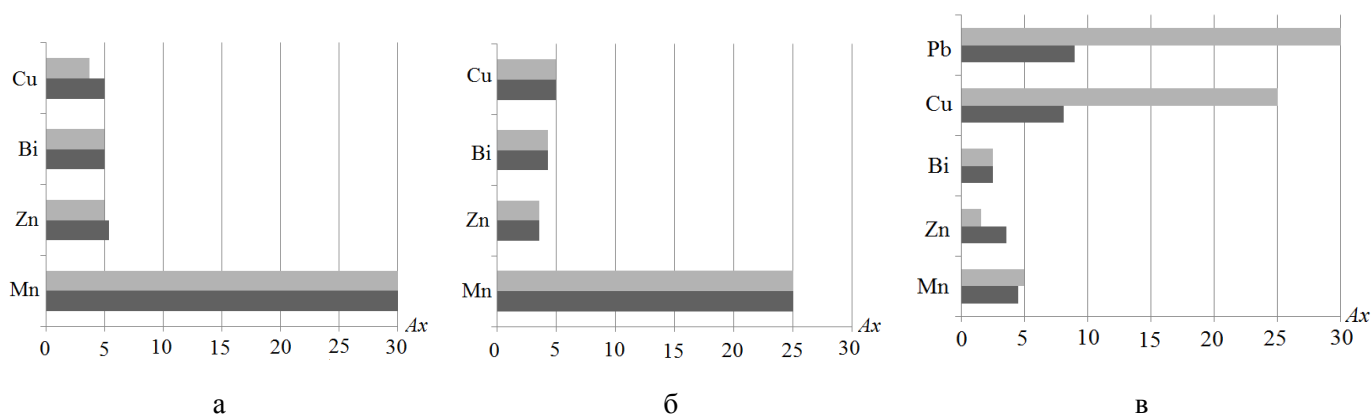


Рис. 4.19. Діаграми A_x хімічних елементів рослинністю: а – листя берези, б – глиця сосни, в – мох. Сірим кольором позначено вміст у ґрунтах над гранітом, чорним – над габро-анортозитом

Порівнюючи результати розрахунків A_x можна стверджувати, що саме мох накопичує найбільшу кількість Pb, Cu з ґрунтів, для яких ґрунтоутворювальними породами є граніти. Зважаючи на те, що ділянки родовищ знаходяться на територіях, де ґрунотвірними породами є габро-анортозити, ці елементи накопичуються у 5–6 разів менше.

Щодо титану, то він є інертним елементом – вміст у листі берези і глиці сосни не залежить від вмісту у ґрунті (немає кореляційної залежності), в той же час мох має негативну залежність (рис. 4.20).

В цілому, за біогеохімічними показниками забруднення території внаслідок видобутку Ті не встановлено.

4.4. Моніторингові дослідження вмісту елементів у золі рослинності

Проби листя берези, хвої сосни і моху відбиралися з 5–7 фітооб'єктів у травні – червні. Зольність деревної рослинності та моху досліджуваного району складає, %: листя берези – 5,13 (1,2–9,4); глиця сосни – 6,5 (5,2–8,0); мох – 2,6 (1,7–3,0).

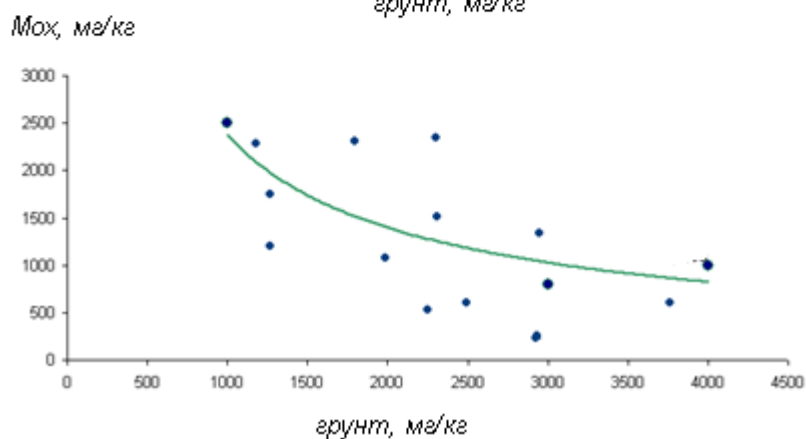
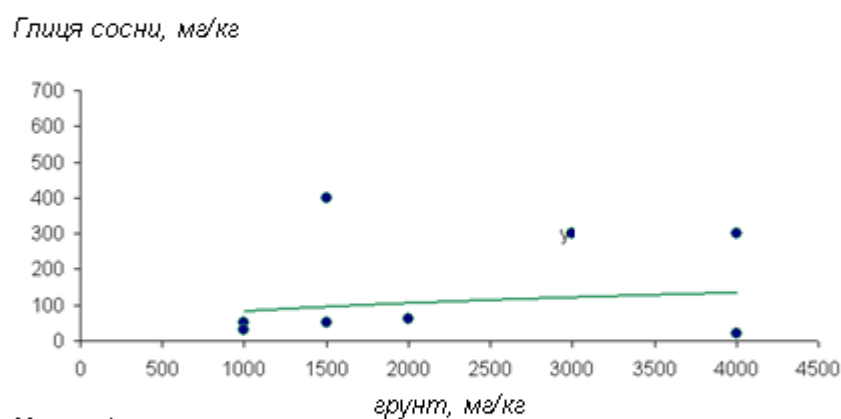
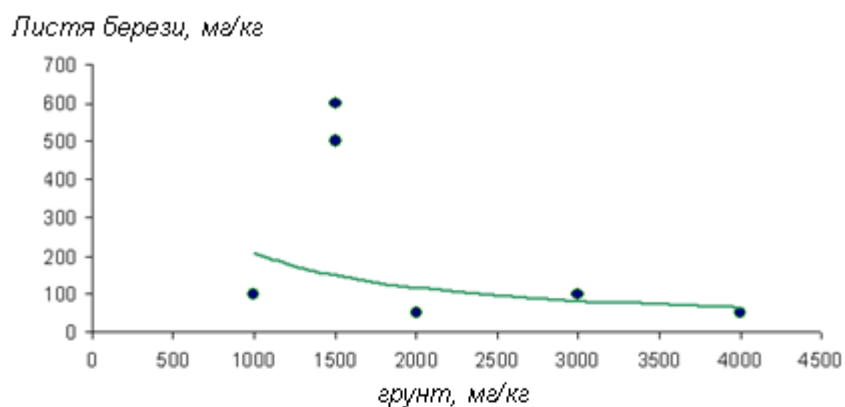


Рис. 4.20. Графіки залежності вмісту Ті у різних типах рослин від вмісту у ґрунті

Порівнювалися результати досліджень Б.Ф. Міцкевича (1970) і автора (2004) на території Іршинського родовища титану (див. рис. 4.18 а, ділянка відбору – 2). Результати аналітичних досліджень наведено у таблиці [154] (табл. 4.17).

Таблиця 4.17

Середній вміст металів у золі рослин досліджуваного району, $n \times 10^{-5}\%$

Види рослин	Джерело інформації	Mn	Ni	Co	Ti	V	Cr	Cu	Pb	Zn	Ba
Береза, листя	1	1500	5	5	50	1,0	4,4	10	10	100	50
	2	7875	18	3	194	15,1	39	42,5	16,3	850	185,0
Сосна, глиця	1	1000	5	1	50	5	5	10	10	50	–
	2	5556	12	1,5	179	8	49	43,3	24,4	657	322
Мох	2	933	3,7	6	143,3	50	37	110	103	167	667

1 – дані Б. Ф. Міцкевича , 1970 р. [95], 2 – дані автора, 2004 р.

Встановлено, що за 30 років істотно збільшився вміст всіх досліджуваних елементів (за виключенням Co): листя берези: Mn, Zn, Ba, V, Cr – у 6–10 разів, Cu, Pb, Ba, Ni, Ti – у 3–4 рази; глиця сосни: Mn, Cr, Cu, Zn – у 5–10 разів, Ti, Cu, Pb – у 2–4 рази. Можливості порівняти вміст хімічних елементів у моші не було, оскільки у 1970 р. дослідження цього фітооб'єкту не проводили. Однак він накопичує інтенсивно наступні елементи: Cu, Zn, Ba. Оскільки листя берези та глиця сосни максимально накопичили Mn, Zn, Pb, Cu, наведемо діаграми їх вмісту (рис. 4.21).

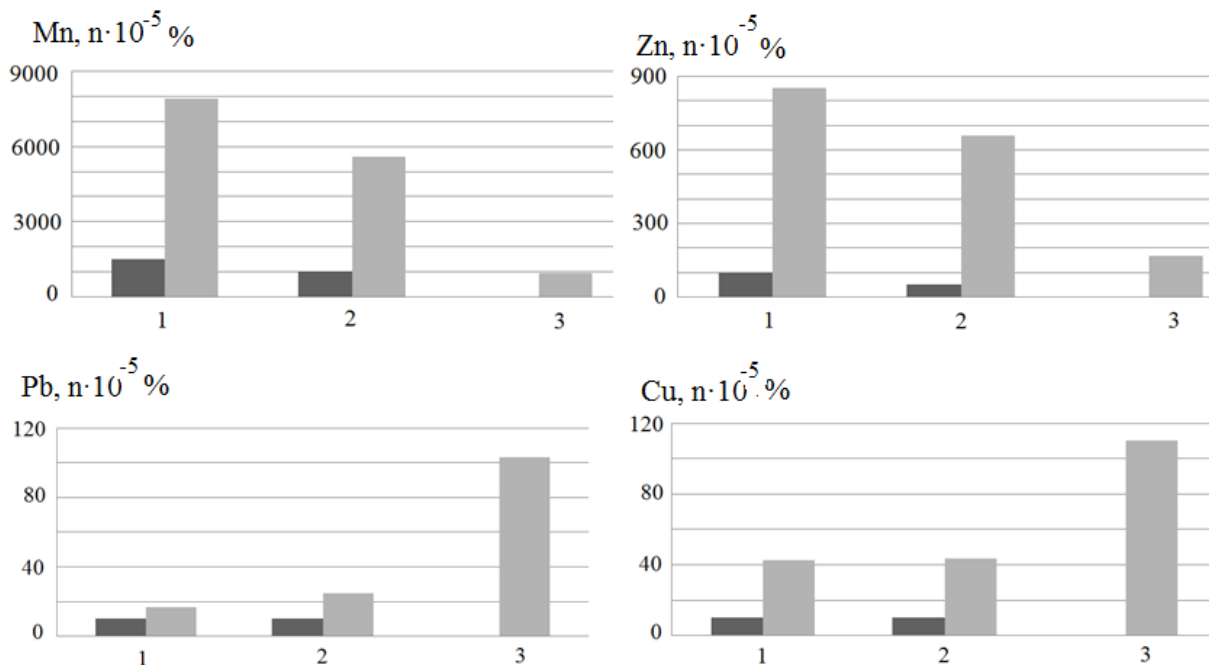


Рис. 4.21. Вміст металів у золі рослинності у 1970 та 2004 рр. (позначено чорним та сірим кольорами відповідно): 1 – листя берези, 2 – глиця сосни, 3 – мох

Дещо гірше накопичення елементів глицею сосни порівняно з березою обумовлене тим, що надходження елементів відбувається переважно з пилом, який осідає на більшій площі листка берези, внаслідок чого береза має більшу можливість поглинання.

Вочевидь, інтенсивний видобуток гірських порід та рудних компонентів з них у 1970–1990-ті роки призвів до ослаблення механізмів самоочищення ландшафту і збільшення водорозчинних форм металів. Шляхом біогеохімічних досліджень було встановлено, що листя берези є найкращим індикатором техногенного навантаження на територію досліджень.

У досліджуваних фітооб'єктах спостерігається антагонізм вмісту Cu та Zn , оскільки механізм поглинання цих елементів однаковий, кожен з них внаслідок взаємної конкуренції може інгібувати поглинання іншого кореневою системою [50].

4.5. Підсумки

У розділі на основі результатів, отриманих автором, проаналізовано особливості розподілу титану та інших хімічних елементів у об'єктах довкілля. Проаналізовано вплив органічної речовини на розподіл важких металів. Найбільший вміст органічної речовини (3,62 %) було зафіксовано в дерново-середньопідзолистих глейових супіщаних і суглинкових ґрунтах. Відповідно, найменший (0,9 %) – у дерново-слабопідзолистих супіщаних і суглинкових ґрунтах на воднольодовикових відкладах, перешарованих моренними відкладами.

Основну увагу приділено розподілу титану та інших хімічних елементів у поверхневих відкладах Іршанського та Стремигородського родовищ. Виконано геохімічне опробування лісових та занедбаних сільськогосподарських угідь, територій рекультивації, заплавних і понижених ділянок та «хвостів» збагачення за опорними профілями загальною довжиною 90 км. Автором визначено статистичні характеристики вмісту

титану та інших хімічних елементів (мінімальний, максимальний та середній), побудовано графіки їх розподілу за опорними профілями, встановлено геохімічні асоціації, розраховано показники еколого-геохімічного забруднення у різних функціональних зонах.

Геохімічна характеристика поверхневих відкладів різних функціональних зон дала змогу побудувати асоційовані ранжовані ряди хімічних елементів (за максимальним вмістом) згідно K_C : «хвости» збагачення – $Ti_{20}-Cu_8-V_5-Zn_4-Ba_2$; заплавні відклади – $Cu_7-Ni_5-(Ba, Pb)_3$; сільськогосподарські угіддя – $Cu_6-Ni_5-Ba_4-(Pb, Mo)_2$; лісові масиви – $Cu_5-(Ba, Ni, Pb)_4-Mo_2$; рекультивовані землі – Ti_3-Cu_2 . За середнім значенням ці ряди мають такий вигляд: «хвости» збагачення – $(Ti, V)_{1,7}-Cu_{1,2}-Zn_{1,1}-(Mo, Ba)_1$; заплавні відклади – $(Mo, Ba)_2-Cu_{1,8}-Ti_{1,3}-Zn_{1,1}-(V, Ni, Pb, Cr, Mn)_1$; сільськогосподарські угіддя – $Cu_{1,5}-(Mo, Ti)_{1,3}-(Ba, Mn)_1$; лісові масиви – $Ba_{1,2}-(Cu, Mo, Ti)_1$; рекультивовані землі – $Ti_{1,7}-(Mo, Ba)_1$.

Встановлено, що найбільшу небезпеку становить підвищений вміст Cu, який фіксується на всіх площах (окрім рекультивованих земель). За розрахованим значенням сумарного забруднення (Z_C) поверхневі відклади всіх функціональних зон віднесені до допустимого рівня (15–16), за винятком «хвостів» збагачення, де рівень помірно небезпечний (16–17).

Моніторингові дослідження (1970 р., 1990–2000 рр.) стану поверхневих відкладів різних ділянок розробки титанових родовищ (Іршанське, Верхньоіршинська група родовищ, Стремигородське родовище, «умовно чиста» ділянка) дали змогу надати геохімічну характеристику у вигляді асоційованого ранжованого ряду хімічних елементів (згідно K_C) та розрахувати Z_C . Встановлено підвищений вміст Cu, Ni, Cr, Ba, але за значенням Z_C рівень забруднення є допустимим (<16). За результатами моніторингових досліджень визначено, що за 30 років еколого-геохімічний стан поверхневих відкладів функціональних зон має незначні зміни і знаходиться в межах допустимого рівня.

Важливим показником, що визначає надходження елементу із ґрунту до рослини, є рухомі форми хімічних елементів. Автором було визначено рухомі форми важких металів I та II класів небезпеки (Ni, Pb, Zn, Cu) для поверхневих відкладів різних функціональних зон. Встановлено, що у межах техногенної функціональної зони («хвості» збагачення) частка вмісту рухомих форм металів відносно валового мінімальна і становить, %: Zn – 2; Cu – 2; Pb – 6; Ni – 4, тоді як у межах рекультивованих земель ця частка становить, %: Zn – 8; Cu – 17; Pb – 18; Ni – 15. Це пов'язано з тим, що «хвості» збагачення характеризуються підвищеним вмістом тонкодисперсних частинок, які слугують сорбційним бар'єром для металів. Отже, за зменшенням частки вмісту рухомих форм хімічних елементів можна скласти ряди для кожного досліджуваного металу: Zn: лісовий ґрунт – сільськогосподарські угіддя – рекультивовані землі – «хвості» збагачення; Cu: лісовий ґрунт – рекультивовані землі – сільськогосподарські угіддя – «хвості» збагачення; Pb: рекультивовані землі – лісовий ґрунт – сільськогосподарські угіддя – «хвості» збагачення; Ni: сільськогосподарські угіддя – лісовий ґрунт – рекультивовані землі – «хвості» збагачення.

Для визначення еколого-геохімічного стану території досліджень ефективним є аналіз рослинності. Автором проаналізовано середній вміст хімічних елементів у золі наземної частини рослин – листі берези, глиці сосни та моху та розраховано коефіцієнти біологічного поглинання. Оскільки ділянки відбору рослинності знаходились над різними корінними породами (гранітами та габро-анортозитами), визначено їх різницю за біологічним накопиченням хімічних елементів. Встановлено, що листя берези та глиця сосни найбільш інтенсивно накопичують Mn, а мох – Pb, Cu (у 6 разів більше, ніж інші рослини). Ti є інертним елементом – вміст у листі берези і глиці сосни не залежить від вмісту у ґрунті (немає кореляційного зв'язку), для моху визначено негативну залежність.

Здійснено моніторингові дослідження вмісту хімічних елементів у золі рослинності (листя берези та глиця сосни) у 1970 (Б.Ф. Міцкевич та ін.) та 2004 (авторські) роках. Встановлено, що за 30 років вміст марганцю і цинку збільшився у 8 разів у листі берези та майже у 6 разів у глиці сосни, а вміст свинцю та міді з роками змінився незначно (у 1,5–2 рази). Необхідно зазначити, що поглинання рослинністю важких металів залежить від хімічного складу ґрунтів, та, особливо, типу і складу органічних речовин.

РОЗДІЛ 5

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ОЦІНКА СТАНУ ГІДРОСФЕРИ

Еколого-геохімічний аналіз водного середовища є дуже важливою складовою характеристики всієї території досліджень. Вивчення еколого-геохімічного стану гідросфери території досліджень є необхідним компонентом в загальній еколого-геохімічній оцінці території, оскільки вона недостатньо геохімічно вивчена, про що свідчить обмежена кількість узагальнювальних робіт.

Вихідними матеріалами для роботи стали в нагоді дані, отримані автором під час гідрогеохімічних досліджень на Іршанському та Стремигородському родовищах.

5.1. Порівняльна характеристика основних водоносних горизонтів

Вміст елементів у водах основних водоносних горизонтів району наведений у таблиці [154] (табл. 5.1). Спостерігається поступове зменшення вмісту мікроелементів у такому порядку: середньочетвертинний водоносний горизонт – поверхневі води – води тріщинуватої зони докембрійських кристалічних порід та їх кори вивітрювання. Виключення складають Mn і Zn, вміст яких у водах тріщинуватої кори вивітрювання максимальний.

Чутливим індикатором техногенного впливу на водні джерела є донні відклади поверхневих водойм. Спостерігається значне накопичення більшості елементів у донних відкладах поверхневих вод за винятком Ni, Co, Zn, Ba. Останні у кислих поверхневих водах утворюють легкорухомі комплексні сполуки, тобто мають підвищену міграційну здатність [63, 164].

Таблиця 5.1

**Вміст металів у водах основних водоносних горизонтів
району досліджень, мкг/дм³ [57, 95, 154]**

Водний об'єкт	Водовмісні відклади	Mn	Ni	Co	Ti	V	Cr	Mo	Cu	Pb	Zn	Ba
1	–	418	241	50	180	2,7	265	2,1	19	3,7	40	233
2	Піски різнозернисті	214	40	70	198	2,6	75	2,5	21	2	55	263
3	Уламкова кора вивітрювання	225	31	–	120	1,3	31	1,8	20	3	70	173
4	Мулові супіски і суглинки	591	23	8	7917	31	483	3	27	8	60	213

Примітка. 1 – поверхневі води, 2 – середньочетвертинний водоносний горизонт, 3 – водоносний горизонт тріщинуватої зони докембрійських кристалічних порід та їх кори вивітрювання 4 – у воді донних відкладів поверхневих водойм

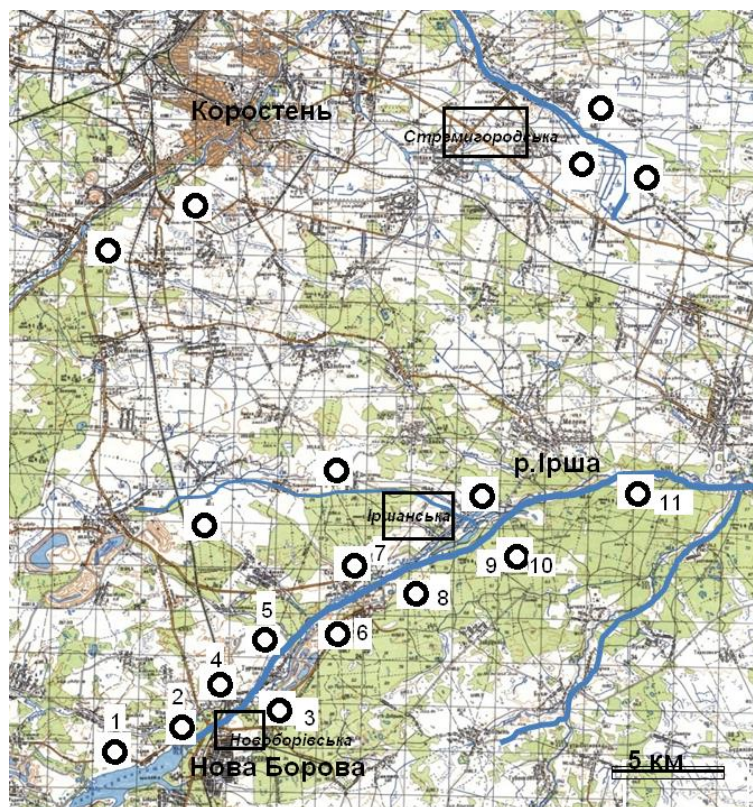
За коефіцієнтами водної міграції (K_X) у поверхневих водах, водах четвертинних відкладів та тріщинуватих водах кори вивітрювання досліджувані елементи умовно можна поділити на три групи [154]: I (K_X до 0,1): Ti, V, Zr, Pb, P; II (K_X до 1,0): Mn, Cr, Cu, Zn, Yb, Nb, Ba; III (K_X до 2,0): Co, Mo, Y, Li, Sr.

5.2. Поверхневі води

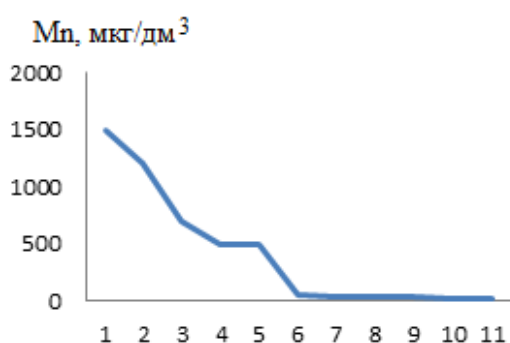
Повноцінна оцінка еколого-геохімічного стану поверхневого водного об'єкта включає дослідження як поверхневих вод, так і донних відкладів. Це й визначило мету і структуру досліджень.

Поверхневі води району досліджень представлені водними артеріями рр. Уж та Ірша, які відносяться до водного басейну р. Дніпро. Основною для наших досліджень є р. Ірша. Саме на ній проводяться роботи з виділення ільменітового концентрату Іршинським ГЗК. Вона протікає в субмеридіональному напрямку з південного заходу на північний схід [95].

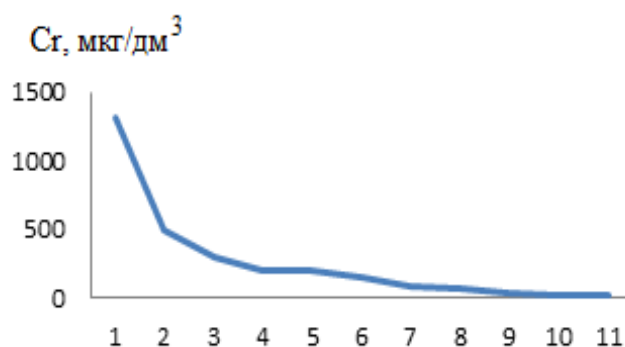
На досліджуваній ділянці проведено аналіз поверхневих вод на зазначених річках, всього відібрано проби з 18 ділянок (всього 90 проб) (рис. 5.1).



а



б



в

Рис. 5.1. Схема розташування ділянок відбору проб поверхневих вод (а) та графіки розподілу вмісту Mn (б), Cr (в) за течією р. Ірша. Вісь абсцис – номери проб відповідно до рис. 5.1. а

За результатами аналітичних досліджень визначено статистичні характеристики вмісту хімічних елементів у поверхневих водах (табл. 5.2).

На місці витоку р. Ірша з однойменного водосховища води найбільш забруднені Mn та Cr, у нижній течії – води чисті (див. рис. 5.1). Це ймовірно пояснюється колишньою розробкою алювіальних титанових родовищ (Гацьківське родовище, що відпрацьовується) і розташуванням каменеобробних підприємств. Найбільшим з яких є ПП «Контакт Граніт».

Таблиця 5.2

**Статистичні характеристики вмісту хімічних елементів
у поверхневих водах, мкг/дм³**

Показник	Mn	Ni	Co	Ti	V	Cr	Mo	Zr	Nb	Cu	Pb	Zn
Середнє	50	70	70	200	2	150	1,5	40	0,5	15	3	40
Мінімальне	15	7	70	70	0	20	1,2	9	0,2	7	2	2
Максимальне	1500	1500	70	300	9	1320	5	200	9	40	9	90
ГДК	100	100	100	100	–	50	70	–	10	1000	300	5000

Під час виконання еколого-геохімічних оцінок потрібно охарактеризувати якість водного середовища. В даний час оцінка якості вод ускладнена, оскільки вона ґрунтується на порівнянні середніх концентрацій, що спостерігаються в пунктах контролю, з нормативами ГДК для кожного компонента [35]. Особливі складнощі виникають при необхідності відобразити тенденцію зміни якості водного об'єкта за тривалий період. У зв'язку з цим використовується комплексна оцінка якості вод за абіотичними критеріями. Одним із найбільш вдалих підходів у цьому напрямку є метод, за якого в якості критеріїв використовуються індекси забруднення вод (*ІЗВ*) [122]. *ІЗВ* характеризує середній вміст основних забруднювальних речовин, що містяться у водних об'єктах, по відношенню до ГДК. Розрахунок *ІЗВ* виконується за формулою: $ІЗВ = C_1/ГДК_1 + C_2/ГДК_2 + C_n/ГДК_n$, де C_1, C_2, C_n – середньорічні концентрації забруднювальних речовин. $ГДК_1, ГДК_2, ГДК_n$ – гранично допустимі концентрації речовин відповідних компонентів. На основі значення *ІЗВ* можливо оцінити якість води у тому чи іншому об'єкті (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Критерії забруднення вод за індексом забруднення вод (*ІЗВ*)

Клас якості	Опис	Величина <i>ІЗВ</i>
1	дуже чиста	<0,2
2	чистий	0,2–1,0
3	помірно забруднена	1,0–2,0
4	забруднена	2,0–4,0
5	брудна	4,0–6,0
6	дуже брудна	6,0–10,0
7	надзвичайно брудна	> 10

Для визначення ступеня забрудненості вод в районі Іршанського та Стремигородського родовищ було розраховано індекс забрудненості (*IЗВ*) та коефіцієнт небезпеки *K_H* (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Індекс забрудненості (*IЗВ*) поверхневих вод та геохімічні ряди елементів-забруднювачів

Назва ділянки	Коефіцієнт небезпеки (<i>K_H</i>)	Індекс забрудненості (<i>IЗВ</i>)	Клас якості
Стремигородська	–	0,23	чисті
Іршанська	$\text{Cr}_7 - \text{Ti}_2 - (\text{Ni}, \text{Co})_1$	0,78	чисті
Новоборівська	$\text{Cr}_{26} - (\text{Mn}, \text{Ni})_{15} - \text{Ti}_3 - \text{Nb}_1$	6,8	надзвичайно забруднені

За результатами аналізу поверхневі води Стремигородської ділянки «чисті» (*IЗВ* 0,23), вміст елементів не перевищує ГДК; поверхневі води Іршанської ділянки також «чисті» (*IЗВ* 0,78), вміст Cr та Ti перевищує ГДК у 2–3 рази; «забруднені» води зафіксовано на Новоборівській ділянці (*IЗВ* 6,8), де вміст Cr, Mn та Ni перевищує ГДК у 15–20 разів.

Це пов'язано з тим, що забруднення накопичується на ділянці надходження поверхневих вод у водосховище, де змінюється морфологія русла річки і, відповідно, швидкість течії. Крім того, це може бути наслідком діяльності багатьох підприємств із видобутку каменю. Щодо елементів, які перевищують значення ГДК, то ймовірні джерела їх надходження наступні: видобуток каменю, стічні води та внесення добрив. Тому у випадку Mn – це хімія і засоби для каменю – мийні засоби і інструменти для очищення, полірування, склеювання і захисту граніту і габро. Головна форма міграції сполук Mn в поверхневих водах – суспензії, склад яких визначається в свою чергу складом порід, що дрениують ці води [126, 127]. Mn поки що не входить до елементів техногенного забруднення [46]. Однак важливим фактором є мала здатність Mn^{2+} до комплексоутворення. Максимальний вміст (1500 мкг/л) Mn у воді ріки є результатом зливних вод під час хімічної обробки облицювального

каміння, оскільки у розчинній формі знаходиться до 80 %. Вміст Mn у габро-анортозитах і гранітах відрізняється незначно, становить 0,05-0,1 %.

На Новоборівській ділянці у водах також зафіксовано аномальний вміст Ni (1500 мкг/л). Найбільш токсичними є розчинні хлориди і сульфати Ni, які також використовуються у засобах для обробки каменю.

У випадку Cr – це «хромова суміш» – суміш насиченого розчину біхромату калію та концентрованої сірчаної кислоти, яка застосовується для змиття забруднень і просочення виробів з деревини та каменю, що збільшує стійкість деревини до дії грибків, комах, полум'я [127, 128]. Геохімічний цикл відрізняється для Cr^{3+} і Cr^{6+} . Стійкіший катіон Cr^{3+} є типовим для ендегенних розсіпних родовищ, рухоміший Cr^{6+} утворюється у біосфері і техногенезі. Вміст Cr у породах габро-анортозиту підвищений (500 г/т) відносно гранітів (20 г/т), тому у процесі каменеобробки цей елемент також потрапляє у води і мігрує у вигляді суспензії [46].

Співвідношення вмісту розчиненого і зваженого Ti у водних об'єктах залежить від вмісту завислих речовин і їхньої природи. Виявлення розчиненого Ti в аніонній фракції свідчить про його перебування або в складі комплексів з гумусовими речовинами, або ж у вигляді колоїдних частинок (наночастинок) TiO_2 , покритих гумусними речовинами. У нейтральній фракції він може існувати у вигляді гідратованого оксиду $\text{TiO}(\text{OH})_2$ як однієї з форм його міграції в природних поверхневих водах [46].

5.3. Донні відклади

Небезпека забруднення водойми важкими металами визначається тим, що вони не піддаються процесам розкладання у водних екосистемах і фактично тільки перерозподіляються між окремими компонентами: розчиняються у воді, сорбуються і акумулюються гідробіонтами і донними відкладами. Для оцінки екологічного стану водойми велике значення має вивчення міграції ВМ у системі «вода – донні відклади», оскільки отримані

дані дозволять за необхідності вибрати раціональну схему рекреації водойми [164].

Джерелом забруднення природного середовища та селітебних територій сполуками ВМ є промислові підприємства, в технологічних циклах яких вони [165]. Донні відклади водойм цих територій відіграють значну роль у формуванні гідрохімічного режиму річок, відіграючи роль або акумуляторів забруднювальних речовин, або їх джерел. Тому, простеживши динаміку накопичення забруднювальних речовин, можна зробити висновки про наявність, або відсутність джерела забруднення. Донні відклади – це складна багатокомпонентна система, яка в залежності від внутрішньо-водоємних процесів, сорбційних властивостей самих відкладів, ландшафтних особливостей водозборів, а також властивостей речовин, що надходять у річки, може бути накопичувачем хімічних речовин (зокрема, важких металів) і джерелом вторинного забруднення водного об'єкта.

Складність оцінки ступеня небезпеки забруднення донних відкладів важкими металами визначається відсутністю в Україні нормативних документів щодо концентрації токсичних елементів у донних відкладах. Тому за основу оцінки прийнято коефіцієнт небезпеки та коефіцієнт накопичення елементів донними відкладами [115]. Склад донних відкладів – 10 % органічної речовини і 25 % глинистих часток. Наразі немає критеріїв щодо ГДК донних відкладів, тому це значення зазвичай порівнюють з даними для ґрунтів.

На території досліджень було відібрано зразки вод за течією річок Уж, Ірша та Кам'янка. Для досліджень автором було виділено ділянки – Стремигородська (р. Кам'янка), Іршанська та Новоборівська (р. Ірша). Проаналізовано середній вміст хімічних елементів у донних відкладах (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Статистичні показники вмісту хімічних елементів у донних відкладах, мг/кг

Показник	Mn	Ni	Co	Ti	Cr	Mo	Cu	Pb	Bi	Zn	Sc	Ba
Середнє	500	20	5	5000	500	3	17,5	7	1	45	5,5	150
Мінімальне	90	12	3	3000	200	3	9	4	1	20	4	120
Максимальне	1500	40	20	30000	700	4	120	15	1,2	150	30	500

Для визначення еколого-геохімічного стану донних відкладів розраховано коефіцієнт небезпеки (K_H) (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

**Коефіцієнт небезпеки (K_H) донних відкладів ділянок
Стремигородська (р. Кам'янка), Іршанська та Новоборівська (р. Ірша)**

Назва ділянки	Коефіцієнт небезпеки (K_H)
Стремигородська	Cr_2
Іршанська	$Cr_5 - Ni_1$
Новоборівська	$Cr_7 - Cu_{3,6} - Zn_{2,7} - Ba_{2,5} - Ni_2 - (Mn, Co, V)_1$

За наведеними даними вміст хрому найвищий у донних відкладах на Новоборівській та Іршанській ділянках (K_H 7 та 5 відповідно). Підвищений вміст Cr у донних відкладах має те саме походження, що і у водах (див. підрозділ 5.2). Для аналізу потрапляння Cr у донні відклади із роздрібнених порід треба відмітити, що при довготривалому окисненні він може виноситися у вигляді аніону CrO_4^{2-} , який слабо сорбується глинами ті гідроксидами. Cr^{3+} осаджується при pH 5,5. Саме таке значення pH (5,2–6,7) властиве донним відкладам.

За результатами дослідження забруднення донних відкладів було розраховано їхній ступінь небезпеки. Для аналізу було обрано донні відклади рік басейну р. Ірша, що знаходиться на території досліджень. Було обрано методологічний підхід, що полягає у порівняльній оцінці забруднення донних відкладів за допомогою визначення показника накопичення металів із водних розчинів.

Напрямок розвитку токсичних процесів у водоймах визначається коефіцієнтами донної і біологічної акумуляції. Зростання даних коефіцієнтів свідчить про прогресивне забруднення водойм, зменшення – про зниження рівня забруднення та активізацію процесів детоксикації та самоочищення водойм. Шляхом розрахунку коефіцієнту накопичення (відношення хімічних елементів в донних відкладах до їх вмісту у поверхневих водах) встановлено, що Ti, Mn і Cr накопичуються у донних відкладах (рис. 5.2).

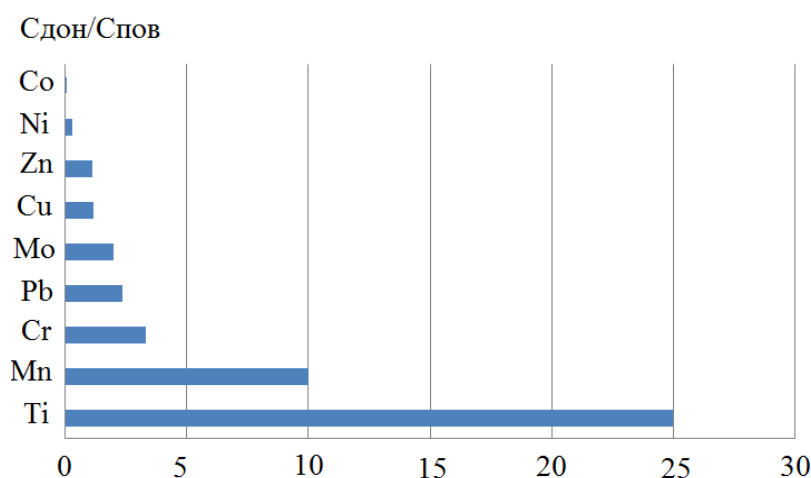


Рис. 5.2. Накопичення хімічних елементів донними відкладами

Причиною накопичення металів може бути також використання хімічних реагентів з вмістом Cr та Mn під час обробки облицювального каменю, що може спричиняти вторинне забруднення поверхневих вод.

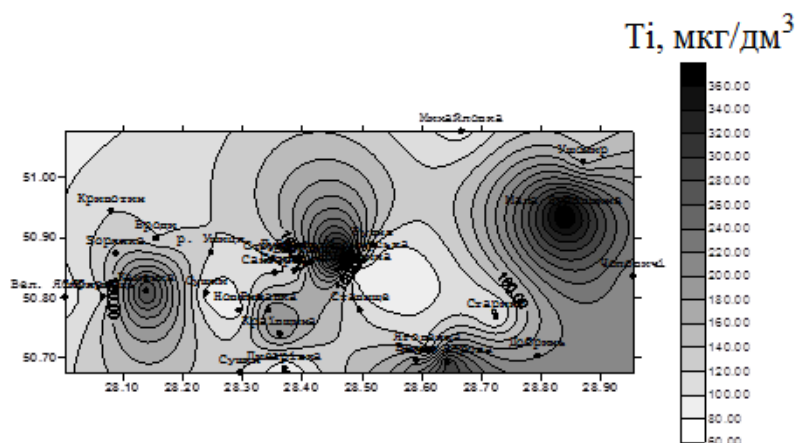
5.4. Підземні води

У цьому підрозділі охарактеризовані води колодязів – безнапірні підземні води першого від поверхні водоносного горизонту (грунтові води). Ці води знаходяться на глибині 2–9 м, за хімічним складом вони гідрокарбонатні, рН 5,6–8,5 [57]. Проби підземних вод було відібрано у колодязях 32 населених пунктів. Результати статистичної обробки даних представлено в таблиці (табл. 5.7).

Показник	Pb	V	Cr	Co	Ni	Li	Zr	Cu	Zn	Sr	Ti	Mn
мінімальне	1,2	1,2	7	3	3	12	9	12	30	90	70	10
середнє	1,8	1,5	30	3	30	30	15	20	70	300	120	250
максимальне	7	7	150	15	150	70	50	120	200	500	400	1500
ГДК	40	100	50	100	100	30	5000	1000	1000	7000	100	100

Побудовано схему просторового розподілу Cr та Ti, таким чином візуалізовано розподіл вмісту елементів у водах (рис. 5.3).





Продовження рис. 5.3. Просторовий розподіл Cr, Mn та Ti у підземних водах

Для трьох елементів, що перевищують ГДК (Cr, Mn і Ti) побудовано діаграми їх вмісту у водах колодязів різних населених пунктів. Спостерігається відсутність кореляційних зв'язків між цими елементами попри одночасне їх підвищення у ґрунтових водах. Наприклад, у с. Великий Яблунець спостерігається перевищення значення ГДК Mn, тоді як вміст Cr та Ti нижчий за ГДК (рис. 5.4).

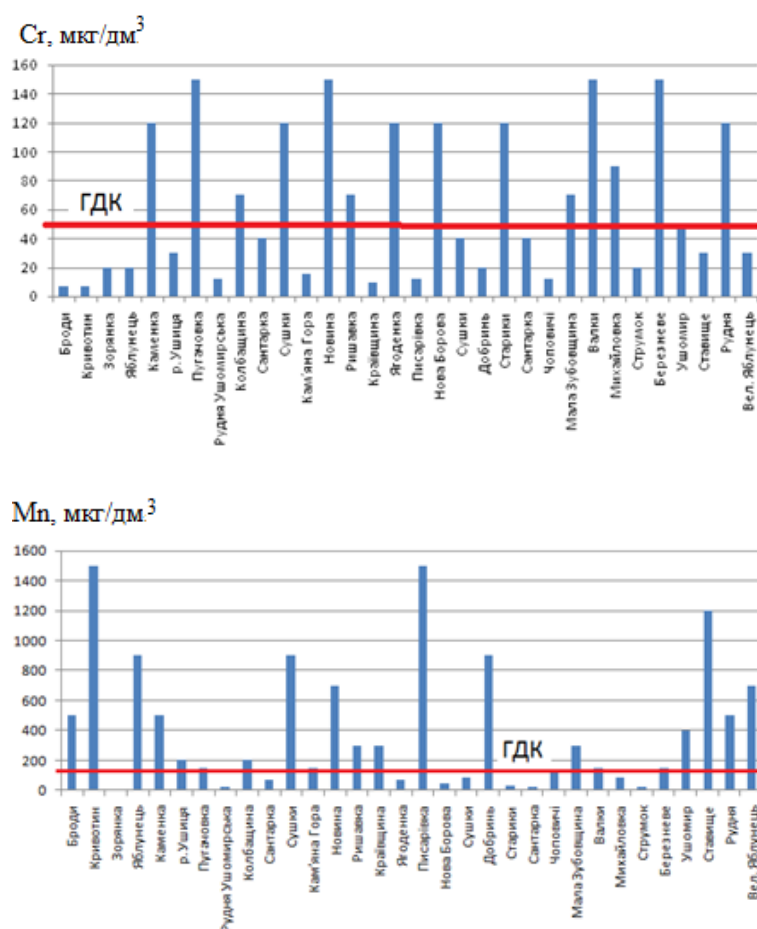
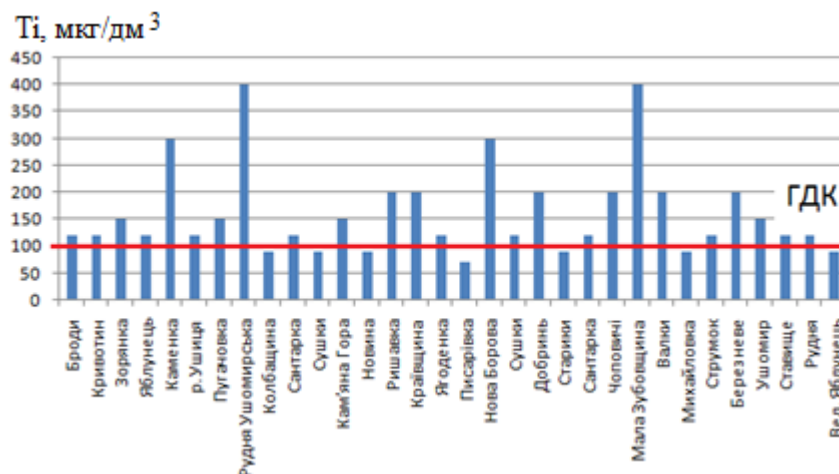


Рис. 5.4. Діаграми вмісту Cr, Mn та Ti у підземних водах



Продовження рис. 5.4. Діаграми вмісту Cr, Mn та Ti у підземних водах

У кожному населеному пункті обрано 5–7 колодязів, визначено вміст хімічних елементів та побудовано геохімічні ряди за коефіцієнтом небезпеки ($K_H = C_i / \text{ГДК}$) та коефіцієнтом аномальності ($K_C = C_i / C_{\phi}$). Зважаючи на різний мікроелементний склад вод у населених пунктах ці коефіцієнти розраховано за окремими пунктами, де виявлено найбільш забруднені води (20 % від досліджуваних). Розрахунки наведено у таблиці (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

**Геохімічні ряди елементів у підземних водах з криниць
та показник *ІЗВ***

№	Населений пункт	K_H	K_C	<i>ІЗВ</i>	Клас вод
1	2	3	4	5	6
1	Броди	$\text{Mn}_5 - \text{Ti}_{1,2} - \text{Li}_1$	$\text{Mn}_{50} - (\text{Li}, \text{Ni})_{20} - \text{Ti}_8 - \text{Cu}_{7,5} - (\text{Co}, \text{Zn})_4 - (\text{Cr}, \text{Mo})_{1,2}$	0,71	чисті
2	Кривотин	$\text{Mn}_{15} - \text{Ti}_{1,2} - \text{Li}_1$	$\text{Mn}_{150} - \text{Li}_{20} - \text{Ni}_{15} - \text{Ti}_8 - \text{Cu}_{7,5} - \text{Zn}_{6,7} - \text{Co}_{2,3} - \text{Mo}_{1,2} - \text{Cr}_{1,2} - \text{Nb}_{0,9}$	1,63	помірно забруднені
3	Зорянка	$\text{Ti}_{1,5} - \text{Li}_{1,3}$	$\text{Ni}_{30} - \text{Li}_{27} - \text{Cu}_{20} - \text{Ti}_{10} - \text{Cr}_{3,3} - \text{Zn}_{1,3} - (\text{Co}, \text{Mn})_1 - \text{Mo}_{0,9}$	0,35	чисті
4	Яблунець	$\text{Mn}_9 - \text{Ti}_{1,2} - \text{Li}_1$	$\text{Mn}_{90} - \text{Li}_{20} - \text{Ni}_{15} - \text{Cu}_{10} - \text{Ti}_8 - \text{Cr}_{3,3} - \text{Zn}_{2,3} - \text{Mo}_{1,2} - \text{Co}_1$	1,09	помірно забруднені
5	Каменка	$\text{Mn}_5 - \text{Ti}_3 - \text{Cr} (2,4) - \text{Li} (1,3)$	$\text{Mn}_{50} - \text{Ni}_{40} - \text{Li}_{27} - (\text{Cr}, \text{Ti}, \text{Cu})_{20} - \text{Zn}_{2,3} - \text{Mo}_2$	1,12	помірно забруднені
6	р. Ушиця	–	$(\text{Mn}, \text{Li}, \text{Ni})_{20} - \text{Cu}_{10} - \text{Ti}_8 - \text{Cr}_5 - \text{Mo}_{1,5} - \text{Zn}_{1,3}$	0,01	чисті

Закінчення табл. 5.8

1	2	3	4	5	6
7	Пугачовка	$\text{Cr}_3 - \text{Li}_{1,7} - (\text{Ti}, \text{Mn}, \text{Ni})_{1,5}$	$\text{Ni}_{150} - \text{Cu}_{60} - \text{Li}_{33} - \text{Cr}_{25} - \text{Mn}_{15} - \text{Ti}_{10} - \text{Zn}_1 - \text{Mo}_{0,9}$	0,86	чисті
8	Рудня Ушомирська	Ti_4	$\text{Ti}_{27} - \text{Cu}_{10} - \text{Li}_8 - \text{Ni}_3 - (\text{Cr}, \text{Mn}, \text{Mo})_2$	0,45	чисті
9	Колбашина	$\text{Mn}_2 - \text{Cr}_{1,4} - \text{Li}_1 - \text{Ti}_{0,9}$	$\text{Ni}_{50} - (\text{Li}, \text{Cu}, \text{Mn})_{20} - \text{Cr}_{12} - \text{Ti}_6 - \text{Mo}_{0,9}$	0,54	чисті
10	Сантарка	$\text{Ti}_{1,2} - \text{Cr}_{0,8} - \text{Mn}_{0,7} - \text{Li}_{0,5}$	$\text{Ni}_{15} - (\text{Li}, \text{Cu})_{10} - \text{Ti}_8 - \text{Mn}_7 - \text{Cr}_{6,7} - \text{Zn}_{1,3} - \text{Mo}_{0,9}$	0,32	чисті
11	Сушки	$\text{Ti}_{1,2} - \text{Mn}_{0,9}$	$(\text{Cu}, \text{Ni})_{20} - \text{Li}_{10} - \text{Mn}_9 - \text{Ti}_8 - \text{Cr}_{6,7} - \text{Mo}_{0,9}$	0,33	чисті
12	Кам'яна Гора	$(\text{Mn}, \text{Ti})_{1,5} - \text{Li}_1$	$\text{Li}_{20} - \text{Mn}_{15} - \text{Ni}_{12} - (\text{Ti}, \text{Cu})_{10} - \text{Cr}_{2,5} - \text{Mo}_{1,2}$	0,41	чисті
13	Новина	$\text{Mn}_3 - \text{Cr}_3 - \text{Li}_{1,3} - \text{Ni}_{1,2} - \text{Ti}_{0,9}$	$\text{Ni}_{120} - \text{Mn}_{70} - \text{Li}_{27} - \text{Cr}_{25} - \text{Cu}_{15} - \text{Ti}_6 - \text{Zn}_{2,3} - \text{Mo}_{0,7}$	1,24	помірно забруднені
14	Ришавка	$\text{Mn}_3 - \text{Ti}_2 - \text{Cr}_{1,4}$	$\text{Ni}_{40} - \text{Mn}_{30} - \text{Li}_{27} - \text{Cu}_{20} - \text{Ti}_{13} - \text{Cr}_{12} - \text{Mo}_{1,2}$	0,75	чисті
15	Краївщина	$\text{Mn}_3 - \text{Ti}_2 - \text{Li}_{1,7}$	$\text{Li}_{33} - \text{Mn}_{30} - \text{Ni}_{15} - \text{Ti}_{13} - \text{Cu}_{10} - \text{Mo}_4 - \text{Zn}_{2,3} - \text{Cr}_{1,5}$	0,66	чисті
16	Ягоденка	$\text{Cr}_3 - \text{Ti}_2 - \text{Mn}_{1,5}$	$\text{Ni}_{50} - \text{Cr}_{25} - \text{Mn}_{15} - \text{Ti}_{13} - \text{Li}_{10} - \text{Cu}_{4,5} - \text{Mo}_{1,5} - \text{Zn}_{1,3}$	0,69	помірно забруднені
17	Писарівка	$\text{Mn}_{15} - \text{Li}_{2,3} - \text{Ti}_{0,7}$	$\text{Mn}_{150} - \text{Li}_{47} - \text{Ni}_{30} - \text{Cu}_{25} - \text{Zn}_7 - \text{Ti}_5 - \text{Cr}_2 - \text{Mo}_{0,9}$	1,72	помірно забруднені
18	Нова Борова	$\text{Ti}_3 - \text{Cr}_{2,4} - \text{Li}_1 - \text{Nb}_{0,9}$	$\text{Ni}_{50} - (\text{Ti}, \text{Cr})_{20} - \text{Li}_8 - \text{Cu}_6 - \text{Mn}_5 - \text{Mo}_2 - \text{Nb}_{0,9}$	0,73	чисті
19	Сушки	$\text{Mn}_9 - \text{Cr}_{2,4} - \text{Li}_{2,3} - (\text{Ni}, \text{Ti})_{0,9}$	$(\text{Mn}, \text{Ni})_{90} - \text{Li}_{47} - \text{Cu}_{45} - \text{Cr}_{20} - \text{Ti}_6 - \text{Mo}_{1,2}$	1,43	помірно забруднені
20	Добринь	$\text{Mn}_9 - \text{Ti}_2$	$\text{Mn}_{90} - \text{Ni}_{30} - \text{Co}_{23} - \text{Ti}_{13} - \text{Li}_{10} - \text{Cu}_{4,5} - \text{Cr}_{3,3} - \text{Mo}_{0,9}$	1,12	помірно забруднені
21	Старики	$\text{Cr}_{2,4} - \text{Li}_{1,3} - \text{Ti}_{0,9}$	$\text{Ni}_{40} - \text{Cr}_{20} - \text{Li}_{13} - \text{Cu}_{7,5} - \text{Ti}_6 - \text{Mo}_4 - \text{Mn}_3 - \text{Zn}_1$	0,52	чисті
22	Сантарка	$\text{Ti}_{1,2} - \text{Cr}_{0,8}$	$\text{Ni}_{30} - \text{Cu}_{15} - \text{Li}_{10} - \text{Ti}_8 - \text{Cr}_{6,7} - \text{Mn}_2 - \text{Zn}_{1,3} - \text{Mo}_{0,9}$	0,29	чисті
23	Чоповичі	$\text{Ti}_2 - \text{Mn}_{1,2} - \text{Li}_1$	$\text{Li}_{20} - \text{Cu}_{15} - \text{Ti}_{13} - (\text{Mn}, \text{Ni})_{12} - \text{Zn}_{10} - \text{Mo}_4 - \text{Cr}_2 - \text{Nb}_{1,1}$	0,47	чисті
24	Мала Зубовщина	$\text{Ti}_4 - \text{Mn}_3 - \text{Cr}_{1,4} - \text{Li}_{1,3}$	$\text{Ni}_{40} - \text{Mn}_{30} - (\text{Ti}, \text{Li})_{26,7} - \text{Cr}_{11,7} - \text{Cu}_{7,5} - \text{Mo}_4 - \text{Zn}_3$	0,95	чисті
25	Валки	$\text{Cr}_3 - \text{Ti}_2 - \text{Mn}_{1,5} - (\text{Ni}, \text{Li})_{0,7}$	$\text{Ni}_{70} - \text{Li}_{47} - \text{Cr}_{25} - \text{Mn}_{15} - \text{Ti}_{13} - \text{Cu}_{10} - \text{Mo}_{1,5}$	0,73	чисті
26	Михайловка	$\text{Cr}_{2,4} - \text{Ti}_{1,2} - \text{Li}_1 - \text{Mn}_{0,7}$	$\text{Ni}_{30} - (\text{Cr}, \text{Li})_{20} - \text{Cu}_{10} - \text{Ti}_8 - \text{Mn}_7 - \text{Mo}_{0,9}$	0,53	чисті
27	Струмок	$\text{Mn}_9 - \text{Ni}_{1,5} - \text{Li}_{1,3} - \text{Ti}_{0,9}$	$\text{Ni}_{50} - (\text{Li}, \text{Cu}, \text{Mn})_{20} - \text{Cr}_{11,7} - \text{Ti}_6 - \text{Mo}_{0,9}$	1,05	помірно забруднені
28	Березневе	$\text{Mn}_4 - \text{Ti}_{1,5} - \text{Cr}_1$	$\text{Mn}_{40} - \text{Cu}_{15} - \text{Ni}_{12} - \text{Ti}_{10} - \text{Cr}_{8,3} - \text{Li}_{3,3} - \text{Mo}_{1,3} - \text{Zn}_1 - \text{Nb}_{0,9}$	0,46	чисті
29	Ушомир	$\text{Li}_{2,3} - \text{Ti}_{1,2}$	$\text{Ni}_{70} - (\text{Cu}, \text{Li})_{20} - \text{Ti}_8 - \text{Mo}_5 - \text{Cr}_{3,3} - \text{Mn}_2$	0,65	чисті
30	Ставище	$\text{Mn}_{12} - \text{Ti}_{1,2}$	$\text{Mn}_{120} - \text{Ni}_{40} - \text{Li}_{20} - \text{Cu}_{10} - \text{Ti}_8 - \text{Cr}_{3,3} - \text{Zn}_{2,3} - \text{Mo}_{1,2} - \text{Co}_1$	1,37	помірно забруднені
31	Рудня	$\text{Mn}_5 - \text{Cr}_{2,4} - (\text{Ti}, \text{Ni})_{1,2}$	$\text{Ni}_{120} - \text{Mn}_{50} - \text{Cu}_{35} - \text{Cr}_{20} - \text{Li}_{13} - \text{Ti}_8 - \text{Zn}_{2,3} - \text{Mo}_{0,9}$	0,97	чисті
32	Великий Яблунець	$\text{Mn}_7 - \text{Li}_{1,7} - \text{Ti}_{0,9}$	$\text{Mn}_{70} - \text{Li}_{33} - \text{Ni}_{30} - \text{Cu}_{15} - \text{Ti}_6 - (\text{Cr}, \text{Co})_5 - \text{Zn}_1 - \text{Mo}_{0,9}$	0,97	чисті

Встановлено, що основними елементами-забруднювачами вод є Cr, Mn і Ti; за значеннями *ІЗВ* у зоні впливу Іршанського родовища води є помірно забрудненими (с. Добринь). У зоні впливу Стремигородського родовища води чисті (сс. Чоповичі, Мала Зубівщина). Основне надходження Cr та Mn в підземні води пов'язано, ймовірно, з технологічними процесами малих підприємств з обробки облицювального каміння.

5.5. Підсумки

У розділі проаналізовано стан поверхневих та підземних вод та надано їх оцінку за еколого-геохімічними показниками. Природні води – це транспортувальне середовище, головними джерелами забруднення якого є стічні води промислових підприємств, очисних споруд та каналізаційних стоків. На території досліджень було відібрано зразки вод за течією річок Уж, Ірша та Кам'янка. Для досліджень автором було виділено ділянки – Стремигородська (р. Кам'янка), Іршанська та Новоборівська (р. Ірша). За результатами досліджень розраховано індекс забрудненості вод (*ІЗВ*), який визначає перевищення вмісту хімічних елементів I–III класів небезпеки (Ti, Mn, Ni, Cr, Cu, Pb, Zn), за ГДК. За цим показником поверхневі води на території Стремигородської ділянки «чисті» (*ІЗВ* 0,23), вміст елементів не перевищує ГДК; поверхневі води Іршанської ділянки також «чисті» (*ІЗВ* 0,78), лише вміст Cr та Ti перевищує ГДК у 2–3 рази; «забруднені» води зафіксовано на Новоборівській ділянці (*ІЗВ* 6,8), де вміст Cr, Mn та Ni перевищує ГДК у 15–20 разів. Це пов'язано з тим, що забруднення накопичується на ділянці надходження поверхневих вод у водосховище, де змінюється морфологія русла річки і, відповідно, швидкість течії, що призводить до накопичення елементів.

Донні відклади водойм відіграють значну роль у формуванні гідрохімічного режиму річок як акумулятор або джерело забруднювальних речовин. Простеживши динаміку накопичення забруднювальних речовин

можна зробити висновки про наявність або відсутність джерел забруднення. За результатами дослідження забруднення донних відкладів було розраховано їхній ступінь небезпеки. Для аналізу було обрано донні відклади рік басейну р. Ірша, що знаходиться на території досліджень. Шляхом розрахунку коефіцієнту накопичення (відношення хімічних елементів у донних відкладах до їх вмісту у поверхневих водах) встановлено, що Ti, Mn і Cr накопичуються у донних відкладах. Це може бути причиною вторинного забруднення поверхневих вод.

Наступним кроком досліджень було визначення еколого-геохімічних показників забруднення підземних вод шляхом опробування води з колодязів. Водовмісними горизонтами є верхньочетвертинні та середньочетвертинні відклади, які представлені різнозернистими пісками, на глибині 2–9 м. Води за хімічним складом гідрокарбонатні, рН 5,6–8,5.

Дослідження проведено у 32 населених пунктах, де у водах криниць визначено вміст хімічних елементів, побудовано геохімічні ряди та розраховано *ІЗВ*. Встановлено, що основними елементами-забруднювачами вод є Cr, Mn і Ti; за значеннями *ІЗВ* у зоні впливу Іршанського родовища води є помірно забрудненими (с. Добринь). У зоні впливу Стремигородського родовища води чисті (сс. Чоповичі, Мала Зубівщина). Основне надходження Cr та Mn в підземні води пов'язано, ймовірно, з технологічними процесами малих підприємств з обробки облицювального каміння, а також надходженням їх з порід, які вони дренують.

ВИСНОВКИ

1. Розрахунок сумарного забруднення (Z_C) поверхневих відкладів функціональних зон Іршанського та Стремигородського родовищ титану («хвости» збагачення; заплавні відклади; сільськогосподарські угіддя; лісові масиви; рекультивовані землі) дав змогу віднести їх до допустимого рівня (15–16), за винятком «хвостів» збагачення, де рівень помірно небезпечний (16–17).

2. Аналіз розподілу хімічних елементів у поверхневих відкладах функціональних зон дозволив побудувати асоційовані ранжовані ряди (за максимальним вмістом) згідно K_C : «хвости» збагачення – $Ti_{20} - Cu_8 - V_5 - Zn_4 - Ba_2$; заплавні відклади – $Cu_7 - Ni_5 - (Ba, Pb)_3$; сільськогосподарські угіддя – $Cu_6 - Ni_5 - Ba_4 - (Pb, Mo)_2$; лісові угіддя – $Cu_5 - (Ba, Ni, Pb)_4 - Mo_2$; рекультивовані землі – $Ti_3 - Cu_2$. Визначено, що найбільшу небезпеку становить підвищений вміст Cu, який фіксується на всіх площах (окрім рекультивованих земель).

3. Визначення вмісту рухомих форм важких металів I та II класів небезпеки (Ni, Pb, Zn, Cu) у поверхневих відкладах функціональних зон дало змогу встановити, що у межах техногенної функціональної зони («хвости» збагачення) частка рухомих форм металів відносно валового вмісту є мінімальною, %: Zn – 2; Cu – 2; Pb – 6; Ni – 4, а у межах рекультивованих земель вона дорівнює, %: Zn – 8; Cu – 17; Pb – 18; Ni – 15. Це пов'язано з тим, що «хвости» збагачення характеризуються підвищеним вмістом тонкодисперсних частинок, які слугують сорбційним бар'єром металів.

4. Вперше проведено моніторингові дослідження (1970, 1990–2000 рр.) для оцінки стану поверхневих відкладів розробки титанових родовищ (Іршанське, Верхньоіршинська група родовищ), Стремигородського родовища та «умовно чистої» ділянки. Встановлено, що за 30 років

еколого-геохімічний стан поверхневих відкладів функціональних зон має незначні зміни. У поверхневих відкладах встановлено підвищений вміст Cu, Ni, Cr, Ba.

5. Вивчення хімічного складу поверхневих вод річок Ірша та Кам'янка за індексом забрудненості вод (*ІЗВ*) дало підставу віднести поверхневі води р. Кам'янка до «чистих» (*ІЗВ* 0,23), вміст елементів не перевищує ГДК; поверхневі води р. Ірша також «чисті» (*ІЗВ* 0,78), лише вміст Cr та Ti перевищує ГДК у 2–3 рази; «забруднені» води з вмістом Cr, Mn та Ni, що перевищує ГДК у 15–20 разів, зафіксовано на ділянці р. Ірша (*ІЗВ* 6,8), де вона впадає у Новоборівське водосховище. Це пов'язано зі зміною морфології русла річки і, відповідно, швидкості течії, що призводить до накопичення хімічних елементів.

6. За результатами аналізу вмісту хімічних елементів у донних відкладах рік басейну р. Ірша та розрахунку коефіцієнта накопичення (відношення хімічних елементів у донних відкладах до їхнього вмісту у поверхневих водах) визначено елементи, що накопичуються: Ti, Mn і Cr.

7. Біогеохімічні дослідження наземних частин рослин – листя берези, глициї сосни та моху дозволили встановити, що листя берези та глициї сосни найбільш інтенсивно накопичують Mn, а мох поглинає Pb, Cu (у 6 разів більше, ніж інші рослини). За результатами моніторингових досліджень вмісту елементів у золі рослинності у 1970 та 2004 роках (листя берези та глициї сосни) встановлено, що за 30 років вміст марганцю і цинку збільшився у 8 разів для листя берези та майже у 6 разів для глициї сосни, тоді як вміст свинцю та міді з роками змінився незначно (у 1,5–2 рази).

8. Вперше на основі комплексних геохімічних досліджень об'єктів довкілля Іршанського та Стремигородського родовищ титану (поверхневі і донні відклади, природні води, рослинність) встановлено, що їх території мають допустимий та помірно небезпечний рівень забруднення, і зроблено висновки, що розробка родовищ титану такого типу не створює еколого-геохімічної небезпеки для об'єктів довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алемасова А.С. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия : учеб. пособ. / А.С. Алемасова, А.Н. Рокун, И.А. Шевчук. – Донецк, 2003. – 327 с.
2. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 142 с.
3. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия : [учебник] / А.В. Алексеенко. – М. : Логос, 2000. – 627 с.
4. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – М. : Из-во Моск. ун-та, 1970. – 487 с.
5. Бабинец А.Е. Естественные ресурсы подземных вод зоны интенсивного водообмена Украины / А.Е. Бабинец, Г.А. Белявский. – К. : Наук. думка, 1973. – 110 с.
6. Барташевский В.И. Проявление тектонических процессов в Волынском массиве рапакиви, их роль в образовании щелочных пород / В.И. Барташевский // VI науч. сесс. КГУ. Тезисы докл. геол. – К. : Изд-во КГУ, 1948. – С. 10–11.
7. Белоус Я.Т. Титан (геолого-экономический обзор) / Я.Т. Белоус. – К. : Геоинформ, 1998. – 48 с.
8. Бент О.И. Воздействие техногенной среды на здоровье населения в Украине (геохимический аспект) / О.И. Бент, В.П. Иванчиков // Минер. журн. – 1999. – Т. 21, № 1. – С. 66–71.
9. Беус А.А. Геохимия литосферы / Беус А.А. – М. : Недра, 1981. – 296 с.
10. Борисенко Л.Ф. Рудоносные габброиды Коростенского plutона / Борисенко Л.Ф., Тарасенко В.С., Проскурин Г.П. // Геол. рудн. месторожд. – 1980. – № 6. – С. 27–36.

11. Бурмин Ю.А. Геохимия рудоносных кор выветривания / Бурмин Ю.А. – М. : Недра, 1987. – 288 с.
12. Бухарев В.П. Анортозит-рапакивигранитная формация Украинского щита / Бухарев В.П. // Геол. журн. – 1983. – Т. 43, № 4. – С. 30–40.
13. Бухарев В.П. Некоторые особенности геологического строения юго-западной части Коростенского плутона / В.П. Бухарев // Петрология и формационное деление докембрия Русской платформы : тез. докл. – К. : Наук. думка, 1966. – С. 59–62.
14. Бучинская К.М. Тантало-ниобиевая минерализация пержанского рудного узла / К.М. Бучинская, С.В. Нечаев // Минерал. журн. – 1994. – № 1. – С. 15–29.
15. Важкі метали в ґрунтах Поліського заповідника / Жовинський Е.Я., Самчук А.І., Манічев В.Й., Петриченко Г.В. // Мінерал. журн. – 2004. – Т. 26, № 2. – С. 47–53.
16. Важкі метали у ґрунтах заповідних зон України : [Текст] / Е.Я. Жовинський, І.В. Кураєва, А.І. Самчук та ін. – К. : Логос, 2005. – 104 с.
17. Веклич М.Ф. Палеогеоморфологія області Українського щита (мезозой і кайнозой) / М.Ф. Веклич. – К. : Наук. думка, 1966. – 120 с.
18. Веклич М.Ф. Палеоэтапность и стратотипы почвенных формаций верхнего кайнозоя / М.Ф. Веклич. – К. : Наук. думка, 1982. – 208 с.
19. Вернадський В.І. Хімічне строєння біосфери Землі і її оточення / В.І. Вернадський. – М. : Наука, 1987. – 338 с.
20. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: АН СССР, 1957. – 237 с.
21. Волобуєва Г.П. Некоторые черты минералогии гранитных пегматитов северного участка юго-западной части Коростенского плутона / Г.П. Волобуєва // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1966. – № 11. – С. 58–66.

22. Вступ до медичної геології [Текст]. – Т. 2 / за ред. Г.І. Рудька, О.М. Адаменка. – К. : Академпрес, 2010. – 447 с.
23. Временные методические рекомендации по проведению геолого-экологических исследований при геологоразведочных работах (для условий Украины) / Д.Ф. Володин, В.А. Яковлев, В.И. Почтаренко [и др.]. – К. : ГПП Геопрогноз, 1990. – 60 с.
24. Галецкий Л.С. Новый этап в развитии минерально-сырьевой базы титановой промышленности Украины / Л.С. Галецкий, Е.А. Ремезова // Сборник трудов Междунар. конф. «Ti–2013 в СНГ» (Донецк, 26–29 мая 2013 г.). – К., 2013. – С. 7–11.
25. Галецкий Л.С. Рациональный способ отработки уникального Стремигородского апатит-ильменитового месторождения в Житомирской области Украины / Галецкий Л.С., Черных А.Д., Ремезова Е.А. // Сборник трудов Междунар. конф. «Ti–2013 в СНГ» (Донецк, 26–29 мая 2013 г.). – К., 2013. – С. 77–82.
26. Галецький Л.С. Стратегія розвитку мінерально-сировинної бази титану України / Л.С. Галецький, О.О. Ремезова // Геол. журн. – 2011. – № 3. – С. 66–72.
27. Геологія і корисні копалини України : атлас. Масштаб 1 : 5 000 000 [гол. ред. Л.С. Галецький] ; Інститут геологічних наук НАН України [та ін.]. – К. : Такі справи, 2001. – 168 с.
28. Гідрохімічний довідник. Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу / В.І. Осадчий, Б.Й. Набиванець, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець. – К. : Ніка-Центр, 2008. – 656 с.
29. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М.А. Глазовская. – М. : Высшая школа, 1988. – 328 с.
30. Головні геолого-промислові типи титанових і цирконієвих розсипних родовищ України та умови їх утворення / Бочай Л.В., Гурський Д.С., Веселовський Г.С. та ін. // Мінеральні ресурси України. – 1998. – № 3. – С. 10–13.

31. Гранитоиды Украинского щита. Петрохимия, геохимия, рудоносность : справочник / К.Е. Есипчук, В.И. Орса, И.Б. Щербаков и др. – К. : Наук. думка, 1993. – 232 с.

32. Гурвич С.И. Новый титаноносный район на Украине / Гурвич С.И. // Изв. вузов. – Геология и разведка. – 1961. – № 3. – С. 58–60.

33. Гурвич С.И. Основные закономерности размещения редко-металльных и титановых россыпей северной окраины Украинского кристаллического щита / С.И. Гурвич, А.П. Ромоданова, А.Я. Хатунцева // Закономерности размещения полезных ископаемых. – Т. IV Россыпи. – АН СССР. Гос. Науч.-тех. изд-во лит-ры по гор. делу. – 1960. – С. 107–111.

34. Гурьянова Т.П. Перспективы переработки титансодержащего сырья новых месторождений Украины : доклад на VI Международной конференции «Ti-2013 в СНГ» / Гурьянова Т.П., Парфенюк И.Г., Золотарев А.Е., Рябчикова Н.Ф., Колобов Г.А., Криворучко В.В. – 2008. – 7 с.

35. Державні санітарні норми та правила. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10. – [Чинний від 2010-01-07]. – К. : Міністерство охорони здоров'я України, 2010. – 49 с.

36. Долін В.В. Геохімічні чинники біогенної міграції елементів в лучних біогеоценозах Українського Полісся / В.В. Долін // Збір. наук. пр. Ін-ту геохімії навколишнього середовища. – К, 2001. – Вип. 3/4. – С. 181–192.

37. Донської О.М. Про апатитові породи північно-західної частини Українського щита / О.М. Донської // Геол. журн. – Т. 25, вип. 3. – 1965. – С. 86–89.

38. Дядченко М.Г. О результатах изучения минералогического состава четвертичных отложений Украинской ССР и связанных с ними полезных ископаемых / М.Г. Дядченко // Материалы Всес. совещ. по изуч. четвертич. периода. – Т. 2. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – С. 170–178.

39. Егорова Т.М. Геохимия элювиальных ландшафтов Лесостепной зоны Украинского щита : автореф. дис... специальность 04.00.02 – геохимия / Т.М. Егорова. – К., 1990. – 17 с.
40. Еколого-геохімічні дослідження об'єктів довкілля України / за ред. Е.Я. Жовинського, І.В. Кураєвої. – К. : Альфа-реклама, 2012. – 156 с.
41. Жовинский Э.Я. Основы поисковой и экологической геохимии / Э.Я. Жовинский, Н.О. Крюченко // Минерал. журн. – 2014. – Т. 36, № 3. – С. 7–11.
42. Жовинский Э.Я. Подвижные формы химических элементов и их значение при геохимических поисках / Э.Я. Жовинский, Н.О. Крюченко // Минерал. журн. – 2006. – Т. 28, № 2. – С. 88–93.
43. Жовинский Э.Я. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева. – К. : Наук. думка, 2002. – 213 с.
44. Жук О.А. Вплив Київського мегаполіса на міграцію важких металів у ґрунтах прилеглих рекреаційних зон / Жук О.А., Язвинська М.В., Радченко А.І. // Мінерал. журн. – 2007. – Т. 29, №. 4. – С. 75–81.
45. Заморій П.К. Корисні копалини четвертинних відкладів УРСР / П.К. Заморій // Наук. зап. КДУ. – 5, вип. 2. – К., 1946. – С. 177–200.
46. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов : в 6-ти кн. – Кн. 4 / В.В. Иванов. – М. : Экология, 1996. – 407 с.
47. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе «почва – растения» / В.Б. Ильин. – Новосибирск : Наука, 1991. – 151 с.
48. Информационно-прогнозные структурно-литологические цифровые модели титан-циркониевых россыпных месторождений / Хрущов Д.П., Лобасов А.П., Ремезова Е.А. и др. // Сборник трудов Междунар. конф. «Ті – 2013 в СНГ» (Донецк, 26–29 мая 2013 г.). – К., 2013. – С. 83–91.
49. Использование геохимических методов при изучении загрязнения окружающей среды: сб. науч. статей / ред. Л.Н. Овчинников. – М. : ИМГРЭ, 1984. – 78 с.

50. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 385 с.
51. Карта ґрунтів Української РСР. М-б 1 : 200000 / за ред. М.К. Крупського, 1968.
52. Кашкаров И.Ф. Совершенствование технологии обогащения ильменитовых руд аллювиальных и остаточных россыпных месторождений (Иршинская группа) / Кашкаров И.Ф. ; Ин-т минерал. ресурсов, Мингео УССР. – Симферополь, 1973.
53. Клос В.Р. Регіональні геохімічні дослідження ґрунтів України в рамках міжнародного проекту з геохімічного картування сільсько-господарських та пасовищних земель Європи (GEMAS) / В.Р. Клос, М. Бірке, Е.Я. Жовинський, Г.О. Акінфієв, Ю.А. Амашукелі // Пошукова та екологічна геохімія. – 2012. – № 1(12). – С. 51–66.
54. Клочков В.Т. Новые данные о геологическом строении юго-западной части Коростенского плутона / Клочков В.Т., Приказчиков Л.А. – Тр. ВНИИП, 1962. – Т. 7. – С. 121–127.
55. Ковалевский Л.А. Биогеохимия растений / Л.А. Ковалевский. – Новосибирск : Наука, 1991. – 294 с.
56. Ковальський В.В. Геохимическая среда, микроэлементы, реакции организмов / В.В. Ковальський // Проблемы геохимической экологии. Труды биогеохимической лаборатории. – Т. XXII. – М. : Наука, 1991. – 184 с.
57. Комплексна геологічна карта аркуша М–35–ХІІ (Коростень). М-б 1 : 200 000 : Пояснювальна записка. – К., 1992. – 185 с.
58. Комплексна металогенічна карта України. М-б 1 : 500 000 : пояснювальна записка / УкрДГРІ ; Державна геологічна служба Мінекоресурсів України. – К., 2002. – 336 с.
59. Кононов Ю.В. Металлоносность габброидных пород Украинского щита / Ю.В. Кононов. – К. : Наук. думка, 1985. – 156 с.

60. Концептуальні основи поліпшення стану довкілля гірничовидобувних регіонів України / Коржнев М.М., Міщенко В.С., Шестопалов В.М., Яковлев Є.О. – К. : РВПС України, 2000. – 75 с.
61. Костенко М.М. Деякі проблемні питання будови, стратиграфії і магматизму докембрію Північно-західного району Українського щита / М.М. Костенко // Геологія і магматизм докембрію Українського щита. – К., 2000. – С. 42–44.
62. Костенко Н.М. Нижнепротерозойская кора выветривания северо-западной части Украинского щита / Костенко Н.М., Супруненко Н.С., Высоцкий Б.Л. // Геол. журн. – 1988. – № 2. – С. 42–48.
63. Крайнов С.Р. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения / С.Р. Крайнов, В.М. Швец. – М. : Недра 1987. – 237 с.
64. Крайнов С.Р. Гидрогеохимия / С.Р. Крайнов, В.М. Швец. – М. : Недра, 1992. – 463 с.
65. Кривдик С.Г. Петрология щелочных пород Украинского щита / С.Г. Кривдик, В.И. Ткачук. – К. : Наук. думка, 1990. – 408 с.
66. Кривдік С.Г. Деякі мінералогічні та петрологічні особливості рудоносних (фосфор, титан) габроїдів анортозит-рапаківігранітних плутонів Українського щита / Кривдік С.Г., Дубина О.В., Гуравський Т.В. // Мінерал. журн. – 2008. – Т. 30, № 4. – С. 41–57.
67. Кривдік С.Г. Хімізм піроксенів з рудоносних основних та ультраосновних порід Українського щита / Кривдік С.Г., Гуравський Т.В., Дубина О.В. // Геол. журн. – 2009. – № 3. – С. 51–59.
68. Критерии прогнозирования месторождений Украинского щита и его обрамления / отв. ред. Н.П. Семененко. – К. : Наук. думка, 1975. – 560 с.
69. Крюченко Н.О. Еколого-геохімічна оцінка поверхневих відкладів території Іршанського родовища ільменіту / Н.О. Крюченко,

М.В. Язвинська, Е.Я. Жовинський // Scientific Journal «ScienceRise». – 2015. – №3/1 (8). – С. 25–28.

70. Кузнецов В.А. Метод постадийных вытяжек при геохимических исследованиях / Кузнецов В.А., Шимко Г.А. – Минск : Наука и техника, 1990. – 65 с.

71. Кулиш Е.А. Минеральные типы фосфатно-титановых руд в габбро-анортозитовых массивах Украинского щита / Кулиш Е.А., Тарасенко В.С. // Геол. рудных месторожд. – 1991. – № 3. – С. 87–93.

72. Кураева И.В. Микроэлементы в почвах сельхозагломераций Украины / И.В. Кураева // Минерал. журн. – 1997. – Т. 12, № 4. – С. 40–48.

73. Кураева И.В. Современное состояние и основные проблемы экологической геохимии в Украине / И.В. Кураева // Минерал. журн. – 2014. – Т. 36, № 3. – С. 12–20.

74. Ландшафтно-геохімічна карта України. Масштаб 1 : 50000 / за ред. А.І. Зарицького, 1999.

75. Либберт Э. Физиология растений / Э. Либберт. – М. : Мир, 1976. – 285 с.

76. Лычак И.Л. Петрология Коростенского плутона / И.Л. Лычак. – К. : Наук. думка, 1983. – 248 с.

77. Лучитський В.І. Магматичний габро-гранітний комплекс північної та середньої частини УКМ. / В.І. Лучитський // Укр. кристал. масив, ІГН АН УРСР. – К. : Вид-во АН УРСР, 1947. – С. 222–235.

78. Магматизм и рудообразование в докембрии Украинского щита / К.Е. Есипчук, И.Б. Щербаков, Л.С. Галецкий и др. // Геол. журн. – 1990. – № 2. – С. 57–68.

79. Макавеев А.А. Тектоника и геологическая история северной части Украинского кристаллического массива и Полесского вала / А.А. Макавеев // Советская геология. – 1946. – № 12. – С. 14–25.

80. Малюга Д.П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. Принципы и практика поисков / Д.П. Малюга. – М. : АН СССР, 1963. – 264 с.

81. Машкара И.И. Создание сырьевой базы титановой промышленности на Украине / И.И. Машкара, Н.Г. Вадимов // Геол. журн. – 1968. – Т. 28, вып. 2. – С. 56–57.

82. Мельников Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам [Текст] : 4-е изд., перераб. и доп. / Н.В. Мельников. – М. : Недра, 1982. – 414 с.

83. Металічні і неметалічні корисні копалини України. – Т. 1: Металічні корисні копалини / Д.С. Гурський, К.Ю. Єсипчук, В.І. Калінін та ін. ; Державна геологічна служба України. – К. – Львів : Центр Європи, 2005. – 785 с.

84. Металлогеническая специализация магматических комплексов и эпохи рудообразования Украинского щита / Гурский Д.С., Войнаровский А.С., Колосовская В.А и др. // Минерал. журн. – 2000, № 2/3. – С. 5–11.

85. Метаморфизованные и слабометаморфизованные докембрийские коры выветривания и продукты их переотложения в составе Украинского щита / Виноградов Г.Г., Гершойг Ю.Г., Дранник А.С. и др. // Тез. докл. IX Всесоюз. литол. совещ. – К. : Наук. думка, 1971. – С. 64–71.

86. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами / [Ю.Е. Сает, Л.Н. Алексинская, Е.П. Янин]. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 73 с.

87. Методичні рекомендації. Еколого-геохімічна оцінка забруднення ґрунтів, донних відкладів, ґрунтових вод / [Є.О. Яковлев, І.В. Мельнік, А.І. Дубицький]. – К. : ДГП Геоінформ, 1998. – 34 с.

88. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почв химическими веществами / [В.М. Перельгин,

Н.И. Тонкопий, А.Ф. Перцовская, Б.А. Ревич, Ю.Е. Саєт, Р.С. Смирнова]. – М. : Минздрав СССР, 1987. – 52 с.

89. Митрохина Т.В. Титаноносные интрузии субщелочных габброидов Волынского мегаблока Украинского щита / Т.В. Митрохина, А.В. Митрохин // Сбор. науч. тр. Международного (страны СНГ) совещания «Щелочной магматизм Земли и его рудоносность» (Донецк, 10–16 сент. 2007). – К., 2007. – С. 182–185.

90. Мицкевич Б.Ф. Распределение акцессорных цирконов, флюорита и апатита в гранитах Коростенского плутона / Б.Ф. Мицкевич // Теоретические генетические вопросы минералогии и геохимии. – К. : Изд-во АН УССР, 1963. – С. 117–121.

91. Мицкевич Б.Ф. Редкие элементы Украинского щита / Б.Ф. Мицкевич, Н.А. Беспалько, О.И. Егоров и др. – К. : Наук. думка, 1980. – 254 с.

92. Міцкевич Б.Ф. Геохімічні ландшафти Українського щита / Б.Ф. Міцкевич. – К. : Наук. думка, 1971. – 174 с.

93. Міцкевич Б.Ф. Геохімічні методи розшуків та умови їх застосування на Україні і в Молдавії / Б.Ф. Міцкевич. – К. : Наук. думка, 1965. – 128 с.

94. Міцкевич Б.Ф. Досвід ландшафтно-геохімічних досліджень в північно-західній частині УЩ / Б.Ф. Міцкевич, М.М. Комський, О.К. Курилік // ДАН УРСР. – 1966. – Сер. Б, № 7. – С. 926–930.

95. Міцкевич Б.Ф. Принципи проведення геохімічних розшуків за вторинними ореолами і потоками розсіювання в умовах Українського щита : звіт за темою / Б.Ф. Міцкевич ; Ін-т геохімії і фізики мінералів АН УРСР. – К., 1970. – 333 с.

96. Морозова Л.И. Об источниках ильменита в титано-циркониевых песках Украины / Л.И. Морозова // ДАН СССР. – 1967. – 173, № 4. – С. 898–900.

97. Набиванець Б.Й. Аналітична хімія поверхневих вод / Б.Й. Набиванець, В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, [та ін.]. – К. : Наук. думка, 2007. – 455 с.

98. На мировом рынке титана за последние два месяца цены колебались разнонаправленно (обзор) : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kt.kz/?lang=rus&uin=1133167963&chapter=1153569997>.

99. Наркелюн Л.Ф. Комплексное использование минерального сырья и горнотехнологических отходов / Наркелюн Л.Ф. – Чита, 1996. – 366 с.

100. Національний атлас України. – К. : ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.

101. Обухов А.И. Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях / А.И. Обухов, И.О. Плеханова. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 183 с.

102. Олейник Т.А. Развитие технологий добычи, обогащения и переработки титанового сырья в мире и Украине : доклад на Междунар. конф. «Рудная база титана СНГ – 2009» / Олейник Т.А., Гурьянова Т.П., Колобов В.Г., Гамалинский А.И., Гамалинский И.А. – М., 2009. – 7 с.

103. Орлов О.О. Біогеохімія цезію-137 у лісоболотних екосистемах Українського Полісся / Орлов О.О., Долін В.В. ; Ін-т геохімії навколишнього середовища НАН України та МНС України. – К. : Наук. думка, 2010. – 200 с.

104. О рудных троктолитах Коростенского плутона (УЩ) / Проскурин В.П., Проскурина В.Ф., Фомин А.Б., Металиди С.В. // Докл. АН УССР. – 1977. – Сер. Б., № 12. – С. 1080–1083.

105. Основные этапы вулканической деятельности на территории Украины / Щербак Н.П. и др. // Изотопное датирование процессов вулканизма и осадкообразования. – М., 1985. – С. 94–109.

106. Особенности образования россыпей дотретичного возраста на территории Украинской ССР / Веклич М.Ф., Дядченко М.Г. и др. //

Закономерности размещения полезных ископаемых. – Т. IV: Россыпи. – АН СССР. Гос. науч.-тех. изд-во лит-ры по гор. делу. – 1960. – С. 99–106.

107. Особливості речовинного складу Носачівського апатит-ільменітового родовища (Корсунь-Новомиргородський плутон, Український щит) / Кривдік С.Г., Гуравський Т.В., Дубина О.В. та ін. // Мінерал. журн. – 2009. – Т. 31, № 3. – С. 55–78.

108. Палиенко В.П. Новейшая геодинамика и ее отражение в рельефе Украины / Палиенко В.П. ; Ин-т географии НАН Украины. – К. : Наук. думка, 1992. – 116 с.

109. Пампушко А.Н. Расширение сырьевой базы предприятий титановой промышленности на основе комплексных технологий обогащения железотитановых руд и переработки титансодержащих концентратов / А.Н. Пампушко, В.В. Тэлин, Т.П. Гурьянова // Сборник трудов Междунар. конф. «Ті – 2013 в СНГ» (Донецк, 26–29 мая 2013 г.). – К., 2013. – С. 65–73.

110. Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М. : Высшая школа, 1979. – 422 с.

111. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М. : Высшая школа, 1975. – 340 с.

112. Подвижные формы тяжелых металлов в почвах Киевского Полесья / А.И. Самчук, Б.Ф. Мицкевич, Ю.Я. Сущик, И.Ф. Шраменко // Геол. журн. – 1993. – № 1. – 144 с.

113. Полканов А.А. Плутон габбро-лабрадоритов Волыни УССР / А.А. Полканов. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1948. – С. 5–78.

114. Полупан М. І. Класифікація ґрунтів України / М. І. Полупан, В. Б. Соловей, В. А. Величко. – К. : Аграрна наука, 2005. – 300 с.

115. Предельно-допустимые концентрации веществ в водных объектах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mosecom.ru/water/pdk/>

116. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. гигиеническая оценка качества

почвы населенных мест. Hygienic evaluation of soil in residential areas : методические указания МУ 2.1.7.730-99 : Методика : [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dioxin.ru/doc/mu2.1.5.7.730-99.htm>

117. Принципи систематизації природно-техногенних ландшафтів та оцінки їх здатності до самоочищення / Долін В.В., Сущік Ю.А., Шраменко І.Ф., Єгорова Т.М. // Геохімія та екологія. – 2001. – Вип. 3/4. – С. 25–36.

118. Проблемы металлогении Украины / отв. ред. Я.Н. Белевцев. – К. : Наук. думка, 1964. – 256 с.

119. Проблемы утилизации твердых промышленных отходов / Гармаш Б.К., Ворожбян М.И., Михайлова Е.А., Маркова Н.Б. http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/kgm_tna/2010_91/staty_91/360-364.pdf

120. Проскурин В.П. Геологическая структура и вещественный состав руд апатит-ильменитовых месторождений Чеповицкого массива Коростенского плутона : автореф. канд. дис. / В.П. Проскурин. – 1984. – 25 с.

121. Радіобіологічні ефекти хронічного опромінення рослин у зоні впливу Чорнобильської катастрофи / за ред. Д.М. Гродзинського ; Ін-т гідробіології НАН України. – К. : Наук. думка, 2008. – 373 с.

122. Расчет индекса загрязнения вод : [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.publicecology.ru/publojs-658-1.html>

123. Расширение сырьевой базы предприятий титановой промышленности на основе комплексных технологий обогащения железотитановых руд и переработки титансодержащих концентратов : сбор. трудов Междунар. конф. «Тi – 2013 в СНГ» (Украина, г. Донецк, 26–29 мая 2013 г.) / Пампушко А.Н., Тэлин В.В., Гурьянова Т.П. и др. – К., 2013. – С. 65–73

124. Ратехин Е.А. О ходе изменения ильменитов в гипергенных условиях / Е.А. Ратехин // Минералог. сб. Львов. ун-та, 1966. – № 20, вып. 1. – С. 53–57.

125. Рациональное природопользование в горной промышленности / Арский Ю.М., Архипов Н.А. и др. ; под общей ред. проф. В.А. Харченко. – М : Изд-во МГГУ, 1995. – 444 с.
126. Резников А.А. Методы анализа природных вод / А.А. Резников, Е.П. Муликовская, И.Ю.Соколов. – М. : Недра, 1970. – 488 с.
127. Сает Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А.Ревич, Е.П. Янин [и др.]. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
128. Сайт Союза заводов тяжелого машиностроения : [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sztm.dn.ua/news_read-327.html
129. Самчук А.И. Тяжелые металлы в почвах Украинского Полесья / А.И. Самчук, В.В. Долин // Мінерал. журн. – 1999. – Т. 21, № 5/6. – С. 40–47.
130. Семененко Е.В. Научные основы технологии гидромеханизации открытой разработки титан-цирконовых россыпей / Е.В. Семененко. – К. : Наук. думка, 2011. – 232 с.
131. Сердюченко Д.П. Ильменит и магнетит в габбро-норитах Украины / Д.П. Сердюченко // Минер. сб. Львов. геол. об-ва. – Львов : Изд-во Львов. геол. об-ва, 1950. – № 4. – С. 321.
132. Соболев В.С. Петрология восточной части сложного Коростенского плутона / В.С. Соболев // Уч. зап. ЛГУ. – Львов, 1947. – Т. 6, вып. 5, сер. геол. – С. 7–133.
133. Соколов С.Л. Тип функционального использования территории – главный критерий оценки ее экологического состояния / С.Л. Соколов, С.Б. Самаев, И.А. Морозова, Н.Н. Москаленко // Прикладная геохимия. Экологическая геохимия. – М. : ИМГРЭ, 2001. – Вып. 2. – С. 111–132.
134. Сорокіна Л.Ю. Концептуальні засади дослідження ландшафтів, що перебувають під впливом техногенних об'єктів / Л.Ю. Сорокіна // Укр. геогр. журн. – 2009. – № 1. – С. 3–8.

135. Стеценко Д.О. Аналіз балансового розподілу важких металів у компонентах лісової екосистеми / Д.О. Стеценко, В.М. Смирнов, В.В. Долін // Збір. наук. пр. Ін-ту геохімії навколишнього середовища. – 2007. – Вип. 15. – С. 109–114.
136. Стратиграфические разрезы докембрия Украинского щита / Н.П. Щербак, К.Е. Есипчук, Б.З. Березин и др. – К. : Наук. думка, 1985. – 168 с.
137. Тарасенко В.С. Богатые титановые руды в габбро-анортозитовых массивах Украинского щита / В.С. Тарасенко // Изв. АН СССР. – 1990. – Сер. геол., №. 8. – С. 35–44.
138. Тарасенко В.С. Минерально-сырьевая база титановых руд Украины / В.С. Тарасенко // Гео. журн. – 1992. – №. 5. – С. 92–103.
139. Тарасенко В.С. Условия образования титановых руд в габброидах Чеповичского массива (Коростенский плутон) / В.С. Тарасенко, С.В. Металиди // Геол. журн. – 1998. – № 3. – С. 16–26.
140. Техногенні радіонукліди у прісноводних екосистемах / за ред. В.Д. Романенка. – К. : Наук. думка, 2010. – 262 с.
141. Толстой М.И. Основные закономерности распределения химических элементов в гранитоидах формации рапакиви Украинского и Балтийского щитов и особенности условий их образования / М.И. Толстой, Н.В. Костенко, Ю.Л. Гасанов // Геол. журн. – 2011. – № 1. – С. 59–65.
142. Трефилова Н.Я. Геохимическая специализация территорий различного хозяйственного использования / Н.Я. Трефилова // Прикладная геохимия. Геохимическое картирование. – М. : ИМГРЭ, 2000. – Вып. 1. – С. 135–143.
143. Физиология растительных организмов и роль металлов / ред. Н.М. Чернавская. – М. : Изд-во МГУ, 1988. – 157 с.
144. Цымбал С.Н. Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины / С.Н. Цымбал, Ю.А. Полканов. – К. : Наук. думка, 1975. – 348 с.

145. Шумлянський Л.В. Ізотопний вік, геохімічні та мінералогічні особливості пегматитів в анортозитах Володарськ-Волинського масиву, Коростенський плутон / Л.В. Шумлянський, В.М. Загнітко // Мінерал. журн. – 2011. – Т. 33, № 1. – С. 15–29.
146. Экологическая геология Украины : справочное пособие. – К. : Наук. думка, 1993. – 408 с.
147. Экология и охрана природы при открытых горных работах / Томаков П.И. и др. – М. : Изд-во МГГУ, 1994. – 418 с.
148. Юрк Ю.Ю. Контактні взаємовідношення коростенського граніту з Житомирським на Волині (Контактные взаимоотношения коростенского гранита с житомирским на Волыни) / Ю.Ю. Юрк // Геол. журн. АН УРСР. – 1946. – Т. 9, вип. 3. – С. 25–42.
149. Юрк Ю.Ю. О метасоматическом замещении ильменита рутилом и гематитом / Юрк Ю.Ю. // Минер. сб. Львов. геол. об-ва. – Львов, 1950. – № 4. – С. 121–124.
150. Юрк Ю.Ю. Об источниках рутила в аллювиальных отложениях / Ю.Ю. Юрк, С.М. Рябоконь // Доклады АН СССР. – Т. 35, вып. 3. – 1950. – С. 595–598.
151. Язвинська М.В. Вплив органічної речовини на розподважких металів в ґрунтах півночі Житомирського Полісся / М.В. Язвинська // Пошук. та екологіч. геохімія. – К, 2003. – № 2/3. – С. 85–87.
152. Язвинська М.В. Важкі метали в ґрунтах техногенних ландшафтів Житомирського Полісся / М.В. Язвинська, О.А. Жук ; відп. ред. П.Ф. Гожик // Сучасні проблеми геологічної науки : зб. наук. пр. ІГН НАН України. – К., 2003. – 352 с.
153. Язвинська М.В. Вертикальний розподіл металів у ґрунтах району розробки титан-цирконієвих розсипищ / М.В. Язвинська // Пошук. та екологіч. геохімія. – К., 2006. – № 5. – С. 41–42.

154. Язвинська М.В. Вміст металів у компонентах ландшафтів Південного (Житомирського) Полісся / М.В. Язвинська // Пошук. та екологіч. геохімія. – К., 2008. – № 1(8). – С. 26–31.
155. Язвинська М.В. Геохімічні аспекти рекультивації (на прикладі розробки титанових родовищ Житомирського Полісся) / М.В. Язвинська // Пошук. та екологіч. геохімія. – К., 2010. – № 1(10). – С. 105–109.
156. Язвинська М.В. Геохімія окремих елементів як екологічна складова розробки титанового родовища у Житомирському Поліссі / М.В. Язвинська // Актуальні проблеми пошукової та екологічної геохімії : тези доп. Міжнар. наук. конф. – К., 2014. – С. 103–108.
157. Язвинська М.В. До питання вивчення забруднення ґрунтів / Жук О.А., Радченко А.І., Приходько М.В., Язвинська М.В. // Мінеральні ресурси України. – К., 2006. – № 1. – С. 44–46.
158. Язвинська М.В. Екологічний моніторинг заповідних ділянок степової зони України / М.В. Язвинська, О.А. Жук // Пошук. та екологіч. геохімія. – К., 2009. – № 1(8). – С. 56–68.
159. Язвинська М.В. Моніторинг стану ґрунтів степової ландшафтно-геохімічної зони України / М.В. Язвинська, О.А. Жук, К.Е. Дмитренко // Пошук. та екологіч. геохімія. – 2007. – № 1(6). – С. 46–49.
160. Язвинська М.В. Особливості вертикального розподілу хімічних елементів у ґрунтах Житомирського Полісся / М.В. Язвинська // Геохімія та рудоутворення. – К., 2012. – С. 164–169.
161. Язвинська М.В. Оцінка ступеню забруднення ґрунтів на території розробки титанових родовищ / М.В. Язвинська // Зб. наук. пр. Ін-ту геохімії навколишнього середовища НАН України (Геохімія та екологія). – 2004. – Вип. 9. – С. 123–127.
162. Язвинська М.В. Рухомі форми важких металів у ґрунтах Житомирського Полісся (Коростенський район) / М.В. Язвинська // Пошукова та екологічна геохімія. – 2004. – № 4. – С. 44–47.

163. Язвинська М.В. Стан та задачі досліджень геохімічних ландшафтів території розробки титанових родовищ Житомирського Полісся / М.В. Язвинська // Пошук. та екологіч. геохімія. – К., 2011. – № 1(11). – С. 35–41.

164. Янин Е.П. Техногенные илы – потенциальный источник вторичного загрязнения речных систем / Е.П. Янин, Н.И. Разенкова, М.Г. Журавлева // Геоэкологические исследования и охрана недр. – М. : Геоинформмарк, 1992. – Вып. 1. – С. 43–52.

165. Ярощук М.А. Промотходы: вещественный состав, влияние на окружающую среду и возможности утилизации / М.А. Ярощук, А.А. Юшин, Т.М. Бастрыгина // Геохімія та екологія. – 2001. – вип. 3/4. – С. 213–225.

166. Albanese S. Sources of anthropogenic contaminants in the urban environment: Chapter 8 / S. Albanese & N. Breward; editors C.C. Johnson, A. Demetriades, J. Locutura & R.T. Ottesen // Mapping the chemical environment of urban areas. – Chichester, U.K. : Wiley-Blackwell, John Wiley & Sons Ltd, 2011. – P. 116–127.

167. Bowen H.J.M. Environmental Chemistry of the Elements / H.J.M. Bowen. – London etc. : Academic Press, 1979. – 333 p.

168. De Vos W. Geochemical Atlas of Europe / W. De Vos, T. Tarvainen, R. Salmi-nen [etc.] ; editors T. Tarvainen // Interpretation of geochemical maps, Additional Tables, Figures, Maps and related publications. – Finland : Geological Survey of Finland, Espoo, 2006. – Part 2. – 692 p.

169. Titanium in the fourth quarter 2012 : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity-/titanium/mis-2012q4-titan.pdf>

170. Klos V. Geochemical Characteristics of Ukrainian Soil Using Landscape-Geochemical Regionalisation Based on the GEMAS Data / V. Klos, M. Birke, G. Akinfiiev, Y. Amashukeli // Chemistry of Europe's Agricultural Soils. – Hannover, 2014. – Part B. – P. 253–270.

171. Rossiter D.G. Classification of urban and industrial soils in the World Reference Base for Soil Resources / D.G. Rossiter // Journal of Soils and Sediments. – 2007. – №7(2). – P. 96–100.

172. Turekian K.K. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust / Turekian K.K., Wedepohl K.H. // Bull. Geol. Soc. Am. – V. 72. – 1961. – 175 p.

173. Yyengar G.V. The Elemental Composition of Human Tissues and Body Fluids / Yyengar G.V., Kollmer W.E., Bawen H.J.M. – Weinheim – N. Y., 1978. – 151 p.