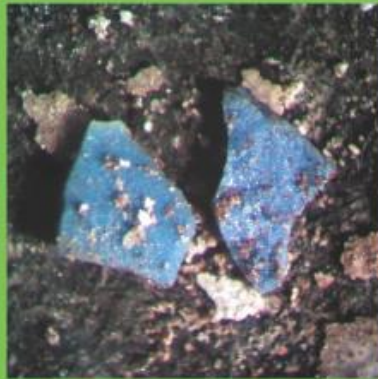
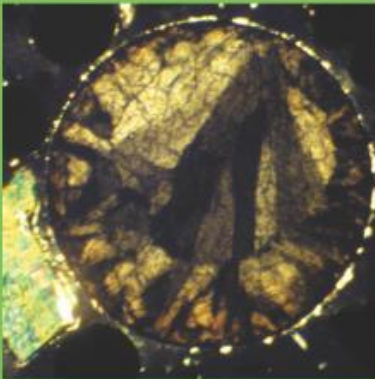
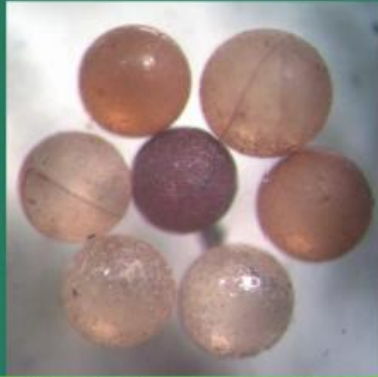
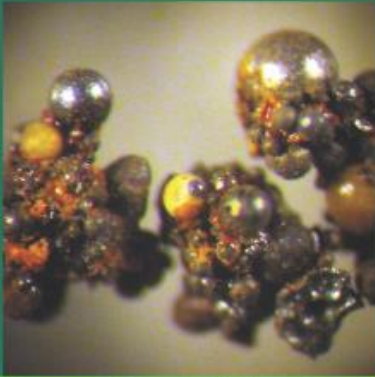


Національна академія наук України
Інститут телекомунікацій
і глобального інформаційного простору

КРИТЕРІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ І ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ ТА МІНЕРАЛОГІЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ КРИВБАСУ



**Національна академія наук України
Інститут телекомунікацій і
глобального інформаційного простору**

**С.О. Довгий, В.В. Іванченко, М.М. Коржнев,
М.М. Курило, О.М. Трофимчук, Є.О. Яковлєв**

**КРИТЕРІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ І ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ
ОЦІНКИ ТА МІНЕРАЛОГІЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧО-
МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ КРИВБАСУ**

Київ
НікаЦентр
2013

УДК 55; 504; 574
ББК 20.1+26.3
К82

Автори: С.О.Довгий (вступ, розд. 1.1, висновки); В.В. Іванченко (розд. 3.1, 3.2, 3.3, висновки); М.М. Коржнев (вступ, розд. 1.1, 1.2.2, 2.1, 4.2, 4.3, 4.4, висновки); М.М. Курило (розд. 2.1, 2.2, 4.1, висновки); О.М. Трофимчук (вступ, розд. 1.1, висновки); Є.О. Яковлев (розд. 1.1, 1.2.1, 1.2.3, 1.2.4, висновки)

Рецензенти:

Д-р геол. наук, професор, член-кор. НАН України О.М. Пономаренко
Д-р геол.-мін. наук, професор В.І. Павлишин

Науковий редактор: д-р геол.-мін. наук, професор М.М. Коржнев

*Рекомендовано до друку вченою радою Інституту телекомунікацій
і глобального інформаційного простору НАН України
(протокол № 4 від 20 березня 2013 року)*

**Критерії екологічної і геолого-економічної оцінки та
К82 мінералогія відходів гірничо-металургійного комплексу
Кривбасу** / [С.О.Довгий, В.В.Іванченко, М.М.Коржнев та ін.]; НАН
України, Інститут телекомунікацій і глобал. інформ. простору – К.:
Ніка-Центр, 2013. – 228 с.

ISBN 978-966-521-011-6

Абсолютна більшість відходів на території України – це відходи гірничодобувної і переробної галузей промисловості. З техногенних родовищ (як оцінених, так і потенційних) переважна кількість утворена у гірничо-металургійному комплексі. У роботі надана характеристика впливу відходів на довкілля, методологічні підходи щодо їх геолого-економічної оцінки, досліджені їх мінеральний склад та технологічні можливості збагачення.

**УДК 55; 504; 574
ББК 20.1+26.3**

© С.О. Довгий, В.В. Іванченко, М.М. Коржнев,
М.М. Курило, О.М. Трофимчук, Є.О. Яковлев,
2013

© Інститут телекомунікацій і глобального
ІSN 978-966-521-011-6 інформаційного простору НАН України, 2013

*Пам'яті колеги, ентузіаста
екологічної геології і дослідника
Криворізького басейну
Ігоря Миколайовича Малахова
присвячується*

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

ВВП - внутрішній валовий продукт
ВМ - важкі метали
ДКЗ - Державна комісія України по запасах корисних копалин
ДНУ ВМГОР НАН України - Державна наукова установа
Відділення морської геології та осадового рудоутворення НАН України
ГДР - гірничодобувні регіони
ГДК - гранично допустимі концентрації
ГЗК - гірничозбагачувальний комбінат
ГЕО - геолого-економічна оцінка
ГЕО-1 - детальна геолого-економічна оцінка
ГЕО-2 - попередня геолого-економічна оцінка
ГЕО-3 - початкова геолого-економічна оцінка
ГІС - геоінформаційні системи
ГЗК - гірничо-збагачувальний комбінат
ГРЕ - геологорозвідувальна експедиція
ГРР - геологорозвідувальні роботи
ГПК - гранично припустима концентрація
ГС - геологічне середовище
ДЗЗ - дистанційне зондування Землі
ДНВП «Геоінформ» - Державне науково-виробниче підприємство
"Державний інформаційний геологічний фонд України"
ДСТУ - Державний стандарт України
ІнГЗК - Інгuleцький гірничо-збагачувальний комбінат
Мінприроди - Міністерство екології та природних ресурсів України
МС - мінеральна сировина
МСБ - мінерально-сировинна база
МСК - мінерально-сировинний комплекс
НАН України - Національна академія наук України
НПП - небезпечні геологічні процеси
НКГЗК - Новокриворізький гірничо-збагачувальний комбінат
НПС - навколишнє природне середовище
ПАТ АМКР - публічне акціонерне товариство АрселорМіттал Кривий Ріг
ПВ - підземне вилуговування
ПГЗК - Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат
ПівдГЗК - Південний гірничо-збагачувальний комбінат

ПівнГЗК - Північний гірничо-збагачувальний комбінат
ПМА - промислово-міська агломерація
ПРН - природні радіонукліди
ПТГС - природно-техногенні геосистеми
ПХЗ - Придніпровський хімічний завод
РАВ - радіоактивні відходи
РВПС НАН України - Рада по вивченню продуктивних сил України
НАН України
РН - радіонукліди
СДП - соледобувне підприємство
СхідГЗК - Східний гірничозбагачувальний комбінат
СхідДРГП - Східне державне регіональне геологічне підприємство
ТЕД - техніко-економічна доповідь
ТЕМ - техніко-економічне міркування
ТЕО - техніко-економічне обґрунтування
ТУ - технічні умови
УкрДІМР - Український державний інститут мінеральних ресурсів
ЦГЗК - Центральний гірничо-збагачувальний комбінат ЧДГП -
чистий дисконтований грошовий потік
ШЗ - шлак збагачений

Зміст

	Стор.
ВСТУП	5
Глава 1. ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ І ПЕРЕРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН В УКРАЇНІ	7
1.1. Вплив на навколишнє природне середовище відходів гірничодобувної і переробної промисловості	7
1.2. Приклади впливу на довкілля відходів видобутку і переробки окремих видів корисних копалин	11
1.2.1. Відходи вугільної промисловості	11
1.2.2. Відходи гірничо-металургійного комплексу Кривбасу	18
1.2.3. Відходи видобутку і збагачення урану	23
1.2.4. Відходи видобутку солей у Карпатському регіоні ..	29
Глава 2. ГЕОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТА КРИТЕРІЇ ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ СУПУТНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН І ВІДХОДІВ ПРИ ВИДОБУТКУ І ПЕРЕРОБЦІ ЗАЛІЗНИХ РУД КРИВБАСУ	40
2.1. Методичні підходи щодо до оцінки відходів гірничодобувного і переробного комплексів	40
2.2. Геологічні передумови та геолого-економічні критерії промислової цінності супутніх корисних копалин і відходів збагачення при розробці залізородних родовищ Кривбасу ..	50
Глава 3. МІНЕРАЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ЗБАГАЧЕННЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ	83
3.1. Мінерали відходів металургійного комплексу	83
3.1.1. Морфологія мінеральних індивідів і агрегатів у складі промислових відходів	86
3.1.2. Описова мінералогія промислових відходів	111
3.2. Мінералогічні фактори впливу металургійних відходів на екологічний стан навколишнього середовища	166
3.3. Технологічні можливості отримання рудних концентрацій з відходів	172
Глава 4. СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ ПОЗБАВЛЕННЯ ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ І ПЕРЕРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН В УКРАЇНІ	180

4.1. Комплексне освоєння надр як засіб зменшення накопичення відходів	180
4.2. Шляхи позбавлення від відходів, накопичених у минулі історичні періоди	186
4.3. Головна причина накопичення відходів в Україні	187
4.4. Механізм переходу сировинне орієнтованої на не сировинне орієнтовану економіку	190
ВИСНОВКИ	201
ЛІТЕРАТУРА	205
ДОДАТКИ	215

ВСТУП

Проблема позбавлення від відходів гірничодобувного і переробного комплексу в Україні є досі не вирішеною. Тільки твердих відходів в державі накопичено біля 30 млрд т, переважна частина яких це відходи, що накопичились протягом великого історичного періоду розробки родовищ мінеральної сировини. За даними ДНВП «Геоінформ» на території України нараховується близько 20 техногенних родовищ і понад 600 потенційних родовищ, що виникли внаслідок виробничої діяльності підприємств гірничодобувної та переробної галузей, переважна кількість яких (більше 500) утворена в металургійному комплексі [68].

Об'єктом даного дослідження є відходи видобутку, збагачення та переробки мінеральної сировини оцінені як такі, що мають промислове значення (тобто техногенні родовища), так і ті, що вивчені недостатньо для оцінки їх промислового значення.

Кількість відходів, що утворюються при видобутку і переробці мінеральної сировини величезна [87]. У 2000 р. у світі було видобуто 900 млн тонн металу, після яких залишилися 6 млрд тонн порожньої породи. Ці цифри не включають знятий ґрунт. Більшість відходів утворюються при видобутку залізної руди, міді і золота. На кожную видобуту тонну міді доводиться 110 тонн порожньої породи і ще 200 тонн знятого ґрунту. Для золота пропорція ще гірше – на кожную тонну золота доводиться 300 тис. тонн відходів.

Наслідки гірничорудної діяльності, навіть після закриття гірничодобувного підприємства, можуть проявлятися десятки і сотні років і негативно впливати на екологічні умови територій, стан біоценозів та здоров'я населення.

Умови життя в країнах, залежних від гірничорудної промисловості, останні десятиліття рік від року неухильно погіршуються. У країнах, що розвиваються, тобто експортерах природних корисних копалин, доля населення, що живе на менш ніж 1 долар в день, виросла з 61% в 1981-1983 рр. до 82% в 1997-1999 рр. Економічна залежність від розробки родовищ мінеральної сировини уповільнила і навіть понизила економічне зростання в країнах, що розвиваються. Цей феномен економісти охрестили «ресурсним прокляттям». Гарвардські економісти Джеффри Сэчс (Jeffrey Sachs) і Ендрю Уарнер (Andrew Warner), які досліджували

95 країн, що розвиваються ще у 90-х роках минулого століття дійшли висновку, що чим вище коефіцієнт ресурсозалежності (відношення експорту природних ресурсів до ВВП), тим нижче рівень росту ВВП на душу населення. Така зворотна залежність між природним багатством і економічним достатком справедлива навіть для багатих видобувних країн.

У сучасний період у нашій державі здійснюється розробка корисних копалин приблизно на 5 тис. родовищ. Але застосування застарілих методів видобутку мінеральної сировини приводить до того, що в надрах Землі залишається 50% солей, 40% кам'яного вугілля, 25% руд металів. Дві третини одержаних корисних копалин потрапляють у відвали та підсипання [92]. На сучасному етапі щорічно у країні утворюється близько 1 млрд. тонн твердих відходів виробництва та споживання. Тільки десята частина із них застосовується як вторинні матеріальні ресурси, а решта попадає в сховища, шламонакопичувачі, терикони. Основними джерелами утворення твердих відходів в Україні залишаються підприємства гірничорудного, хімічного, металургійного, машинобудівного, паливно-енергетичного та будівельного комплексів

Враховуючи наведене вище, постають питання як економіці України позбавитись залежності від видобутку мінеральної сировини і що робити з величезною кількістю відходів, накопичених за тривалий період роботи гірничодобувної і переробної промисловості. З одного боку ці відходи є суттєвим фактором, що негативно впливає на умови життєдіяльності і здоров'я населення країни, а з іншого – їх використання є реальною альтернативою розробці природних родовищ корисних копалин, головні види яких вже значною мірою фізично і економічно виснажені у країні.

Глава 1.

ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ І ПЕРЕРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН В УКРАЇНІ

Експлуатація родовищ корисних копалин практично не можлива без негативного впливу на довкілля. Передусім тому, що відбувається вилучення природних ресурсів з біосфери і залучення їх у економічну систему. В тій чи іншій мірі зміни відбуваються в усіх його складових: геологічному і водному середовищах, атмосферному повітрі, тваринному і рослинному світі. Відбувається системне втручання, коли загрози, які виникають в одному середовищі реалізуються в іншому.

Успадкований з часів СРСР спосіб видобутку вугільної, залізорудної та іншої мінеральної сировини з повним обваленням розкривних порід в еколого-геологічному відношенні збільшує ентропію надр і кількість зруйнованих рівноважних природних зв'язків у геологічному середовищі, що погіршує безпеку життєдіяльності населення у гірничодобувних регіонах.

1.1. Вплив на навколишнє природне середовище відходів гірничодобувної і переробної промисловості

У наведеній нижче схемі наслідків, екологічних ризиків та економічних збитків гірничодобувної діяльності (рис. 1.1), що була складена нами раніше, права частина пов'язана саме з відходами. Головним їх впливом на довкілля є його забруднення.

Для поховання відходів використовуються гірські виробки шахт і копалень, спеціально створені (штучні) порожнини, гідрогеологічні структури (поглинаючі водоносні горизонти), в які через свердловини завглибшки 300 - 3000 м нагнітаються рідкі відходи і так далі. У поглинаючі горизонти видаляють стічні води нафтопереробної промисловості, рідкі відходи підвищеної токсичності, розсоли демінералізаційних установок, засолені стічні води, а також радіоактивні відходи [9]. При цьому виникає проблема надійності поховання відходів, яка ускладнюється виділенням теплоти при зберіганні відходів, і неможливістю прямого спостереження за станом сховища.

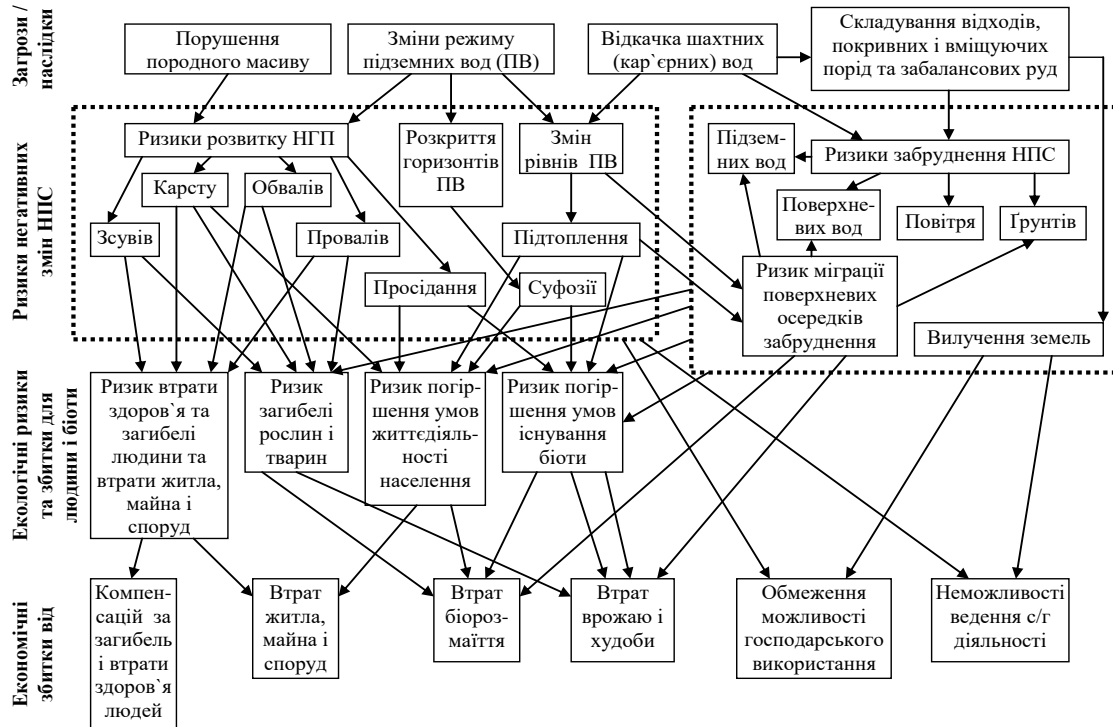


Рис. 1.1. Загальні наслідки, екологічні ризики та економічні збитки гірничодобувної діяльності [24].

Одним з основних способів захоронення великотоннажних твердих відходів гірничодобувної і переробної галузей є їх складування в поверхневих сховищах. Складовані у поверхневих сховищах відходи, як правило не відносять до категорії токсичних, але у разі неправильного їх зберігання та при наявності недоліків в конструкції можуть привести до значного забруднення ґрунту та водоймищ.

Основними типами поверхневих сховищ являється шламонакопичувачі та шламосховища [92].

Шламонакопичувачі – це відкриті земельні ємності, які розташовані поза територією заводів і призначені для накопичення проектної кількості шламів. Вони бувають в залежності від місця утворення балково-ярового та насипного типів. Шлам подається трубопровідним транспортом або підвозяться автомашинами. Після заповнення шламонакопичувача його консервують шляхом засипання піском (товщина шару 0,6 м) та ґрунтом (товщина шару 0,5) та можуть передаватися для використання у сільському господарстві.

Шламосховища – це відкриті земельні ємності, які розташовані поза територією підприємств і призначені для накопичення шламів, які подаються трубопровідним транспортом. За конструкцією вони бувають насипного типу. Їх розмішують на спеціально спланованих майданчиках і огорожують валами трапецієподібної форми. Їх висота залежить від виду, властивостей та кількості осаду. Найчастіше вали роблять із ґрунту, взятого із чаші шламосховища, що дозволяє збільшити його об'єм. Кожне шламосховище повинно мати дренажні пристрої, що збільшують міцність греблі та покращують процес зневоднення шламів. Він дозволяє також відводити забруднені стоки з сховища для знешкодження або повторного використання.

Повітря і поверхневі води є головними системами міграції забруднення. Депонентами забруднення являються складові геологічного середовища: ґрунти, ґрунтові води (і загалом підземні води), гірські породи, які самі стають джерелами вторинного забруднення. Це обумовлює небезпеку для живих організмів тому, що геологічне середовище є геохімічною основою життя.

Прісні підземні води зони активного водообміну є головним джерелом захищених питно-господарських водних ресурсів. Хімічні

елементи ґрунтів і порід спочатку засвоюються рослинами і тваринами, а потім через трофічні ланцюжки потрапляють до організму людини. Першим геохімічним бар'єром є ґрунти. Вони акумулюють більшість газопилових забруднень повітря, яке в подальшому може мігрувати з поверхневими і ґрунтовими водами.

Відходи, формування яких пов'язано з видобутком, збагаченням, хіміко-металургійною переробкою і накопиченням у місцях довгострокового зберігання (терикони, шламо- і хвостосховища, ставки-відстійники) формують складні природно-техногенні геосистеми (ПТГС) «об'єкт складування відходів видобутку і переробки МС – навколишнє середовище» (рис. 1.2), які суттєво погіршують безпеку життєдіяльності у більшості гірничодобувних районів. У розрахунку на душу населення в Україні утворюється відходів 13-16 т/рік, а в країнах ЄС 5,8-6,2 т/рік.

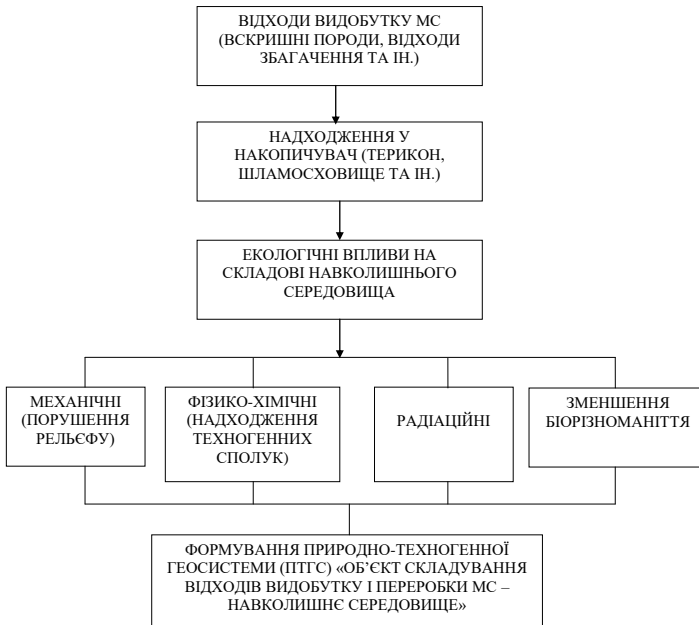


Рис. 1.2. Типова схема екологічного впливу відходів видобутку мінеральної сировини

Переважне утворення відходів видобутку і переробки МС відбувається у ГВР з підвищеною щільністю населення, що суттєво збільшує їх просторово-часовий вплив на довкілля та безпеку життєдіяльності населення. Значною мірою це пов'язано з незворотними змінами геологічного середовища (ГС) та рівноваги взаємодії з біосферою, поверхневою і підземною гідросферою, приземною атмосферою, а також надходженням у навколишнє середовище техногенних сполук та енергії. У складі ПТГС «гірничо-видобувне підприємство – навколишнє середовища» місця складування відходів МС є її відкритим елементом довгострокової дії на довкілля, що обумовлює необхідність їх переробки та екологічної рекультивації зон впливу.

1.2. Приклади впливу на довкілля відходів видобутку і переробки окремих видів корисних копалин

Аномальна кількість відходів мінерального походження на території України пов'язана з видобутком вугілля, руд чорних металів, будівельних матеріалів, урановміщуючих руд, хімічної сировини (солей, флюсових матеріалів та ін.).

1.2.1. Відходи вугільної промисловості

В процесі гірничих робіт з видобутку вугілля утворюється величезна кількість відходів, або відповідно до прийнятої термінології - продуктів, що попутно добуваються (супутніх). До них відносяться, наприклад, метан, шахтні води, порожня порода, а також теплота гірського масиву.

За даними Держкомстату України у вуглевидобувних районах (Донбас, Західний Донбас, Львівсько-Волинський басейн, Дніпробас) діє до 260 вугільних шахт і 10 розрізів, які на кожні 1000 т. вугілля видають від 450 до 1500 т. породи та в середньому 8-10 м³ води/1 тону вугілля.

Загальна площа землі, яка зайнята проммайданчиками вуглевидобувних і вуглепереробних підприємств сягає 250 тис. га. За різними оцінками у складі відходів вугільних шахт щорічно формується до 700 млн. м³ шахтних і кар'єрних вод, від 4,5 до 5,5 млрд. м³ метану, 55-60 млн. м³ порід.

Найбільш масштабний вплив відходів вугільної промисловості відбувається в Донбасі, де вугілля видобувається вже понад 200 років, а протягом цього часу знаходилось в експлуатації більше 1000 шахт. В цілому площа впливу вуглевидобутку на екологічний стан ГС сягає 15000 км², в тому числі порушення рівноважного стану надр дорівнює 6000 км². Зараз у Українській частині Донбасу розташовано 1185 відвалів порід шахт та центральних збагачувальних фабрик, із них до 400 діючі, з яких 185 є горящими, а із 800 недіючих 210 також є горящими. В цілому горящими є до 400 відвалів (33%), які найбільш активно забруднюють приземний шар атмосфери, ґрунти, поверхневі водні об'єкти та ґрунтові води. Значною мірою це обумовлено підвищеною розчинністю та міграційною здатністю продуктів горіння та розподілу вугленосних порід (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Область	Терикони та відвали						
	всього	в тому числі				площа, зайнята відвалами, км ²	об'єм порід у відвалах, млн. м ³
		діючі		недіючі			
		всього	в т.ч. горять	всього	в т.ч. горять		
Дніпропетровська	13	13	-	-	-	1,9	0,95
Донецька	606	208	119	397	92	44,2	452,15
Луганська	566	159	67	407	119	25,8	581,4
Всього по Донбасу	1185	381	186	804	211	71,971,9	1044,5

Так, при висоті терикону $H=60\text{м}$, середній швидкості вітру $V_{\text{в}}=5\text{м/сек}$ та осідання пилових часток $V_{\text{ос}}=0,03\text{ м/сек}$ потенційна відстань сейсмогеохімічного впливу терикону $X_{\text{тер}}$ може сягати:

$$X_{\text{тер}}=(H/V_{\text{ос}})V_{\text{в}}=(60/0,03)5\approx 10000\text{м}=10\text{ км.}$$

За оцінками підрозділів Мінприроди, відвали, що горять, щорічно викидають в атмосферу більше 500 тис.т шкідливих газоподібних речовин. В результаті горіння териконів в атмосферу потрапляють окисли сірки, вуглеводу, азоту, пилові частки. Про значний просторовий атмогеохімічний вплив териконів може свідчити наступний оціночний розрахунок. Середня площа пилостворюючого терикону S за вищенаведеними оцінками складає $S=72\cdot 10^6:1185=6,1\cdot 10^4\text{м}^2$.

При відстані атмогеохімічного переносу продуктів горіння терикону $X_{\text{тер}}=10$ км площа його потенційного екогеохімічного впливу $S_{\text{атм}}$ дорівнює $S_{\text{атм}}=3,14 \cdot 10^2 \approx 300$ км², яка майже на 3 порядки перевищує площу терикону. В умовах суцільної розробки вугільних родовищ і значної щільності териконів вони здатні формувати територіальні регіональні і поля хімічного забруднення приземної атмосфери та прилеглих ландшафтів.

Еколого-геохімічний вплив відвалів та териконів вуглеви-добувних шахт та перероблюючи підприємств підсилюється місто утворюючою функцією більшості шахт та кар'єрів (табл. 1.2).

Таблиця 1.2.

Промспорудження у захисних зонах вуглепородних відвалів та териконів

Показники	Одиниці виміру	Область			Всього
		Донецька	Луганська	Дніпропетровська	
Кількість промспоруджень в захисних зонах відвалів:					
100-метрова зона	шт.	665	148	-	813
200-метрова зона	шт.	801	407	-	1208
Житлові будинки:					
100-метрова зона	шт.	262	237	-	499
200-метрова зона	шт.	1245	506	-	1751
Кількість проживаючих у зонах:					
людей		5903	5114	-	11017
сімей		1988	1558	-	3546

В залежності від технології формування тіла відвалу розрізняються наступні типи:

- конічні (терикони);
- хребтові (лінійні);
- плоскі.

У відвали може відбуватися накопичення породних мас одного чи групи зближених підприємств.

Важливим екологічним показником териконів є температурний режим, завдяки якому вони поділяються на такі, що горять, і на такі, що не горять.

За існуючими емпіричними критеріями вуглепородний відвал вважається таким, що горить, якщо він має хоча б одне джерело горіння (незалежно від розміру) із температурою порід на глибині до 2,5 м більше 80°C . Цей температурний поріг визначає активний процес газових викидів з тіла відвалу, які погіршують екологічний стан біорізноманіття, приземного повітря, поверхневих водних об'єктів і ґрунтових вод. Середній термін горіння відвалів сягає 9-15 років після завершення експлуатації, але їх значна кількість у вуглевидобувних регіонах Донбасу створює небезпечний рівень довгострокового забруднення приземної атмосфери.

Загальноприйнятим критерієм забруднення приземного повітря є гранично припустима концентрація (ГПК) у ньому забруднюючих речовин. Згідно існуючих санітарно-гігієнічних вимог розрахункова концентрація багатокомпонентного забруднення повітря базується на не перевищенні ГПК кожного забруднювача, а також їх відносної суми:

$$(C_1/\text{ГПК}_1)+(C_2/\text{ГПК}_2)+\dots+(C_i/\text{ГПК}_i)<1,$$

де C_1, C_2, \dots, C_i – концентрація небезпечних сполук і хімічних елементів у приземному повітрі зони впливу вуглепородного відвалу; $\text{ГПК}_1, \text{ГПК}_2, \dots, \text{ГПК}_i$ – гранично припустимі концентрації небезпечних речовин у приземному повітрі.

Додатковим активним чинником екологічного впливу вуглепородних відвалів є міграція токсичних сполук і хімічних елементів з атмосферою водою, яка насичує поверхневий шар відвальних порід. За даними досліджень підрозділів Держгеолслужби Мінприроди та НАН України в фільтраційних водах вуглепородних відвалів переважають сполуки марганцю, берилію, міді, цинку, свинцю, нікелю, кобальту. В цілому фільтраційні води є головним фактором регіональних змін гідрогеохімічних параметрів ґрунтового водоносного горизонту і погіршення якості і екобезпеки підземного стоку у поверхневі водні об'єкти.

В цілому за індустріальний період на вугільних підприємствах накопичено до 1,6 млрд. тон порід з щорічним надходженням 60 млн.

т безпосередньо відвалами (до 1200 об'єктів) без 200-метрової зони санохорони зайнято 72 км² (72 млн. м²), під шламонакопичувачі відведено до 41 км² (4100 га або 41 млн. м²).

До об'єктів екологічного впливу відходів вугільної промисловості слід також віднести водно-екологічне навантаження на довкілля вуглевидобувних районів чисельних фільтруючих ставків-накопичувачів. Кількість даних об'єктів наприкінці 80-х років в Мінвуглепромі України складала 1470, загальна площа їх водного дзеркала дорівнювала $S=95 \text{ км}^2$ (до 9500 га), а обсяг накопичених стоків сягав $V=273 \text{ млн. м}^3$.

Із вищенаведеного можна зробити висновок, що середня висота водного шару у цих спорудах дорівнювала

$$H_{\text{сер1}}=V/S=273 \cdot 10^6 / 95 \cdot 10^6 = 3 \text{ м.}$$

За даними обліку водних об'єктів (2005 р) як потенційних забруднювачів навколишнього середовища у Донбасі функціонує 386 об'єктів, гідрогеофільтраційне надходження яких на верхню зону ГС і місцеві водні об'єкти значно збільшилось в останні 15-20 років.

За даними таблиці 1.3 середня висота стовпа води, яка визначає інтенсивність інфільтрації техногенних вод у породи зони аерації та ґрунтовий водоносний горизонт дорівнює

$$H_{\text{сер2}} \approx 272 \cdot 10^6 / 31,2 \cdot 10^6 \approx 8,7 \text{ м.}$$

Із результатів порівняння величин середніх значень величина напору у технологічних водоймах вугільних об'єктів $H_{\text{сер}}$ можна бачити їх 3-кратне збільшення. При цьому загальний обсяг постійних стоків сягає $V=4,1 \cdot 10^6 \cdot 365 \approx 1,5 \text{ млрд. м}^3/\text{рік}$, що майже вдвічі перевищило шахтний водо приплив. Вищезазначена структура водного балансу технологічних водоймищ вуглевидобувних підприємств пов'язана із високою водоемністю галузі та недосконалою технологією вуглевидобутку (висока зольність первинної вугільної маси).

Детальні дослідження атмогеохімічних параметрів місць складування відходів вугільних шахт і збагачувальних фабрик які були виконані СхідДРГП Держгеолслужби у Алмазно-Марівському та Лисичанському геолого-промислових районах засвідчили наявність радіоекологічного впливу на довкілля на 5 шахтах. Надходження природних радіонуклідів (ПРН) у приземну атмосферу, донні відклади поверхневих водоймищ та ґрунти прилеглих територій пов'язано з вилученням із породних відвалів мінералів

урану та радію, які переважно сорбуються органо-мінеральними сполуками вугільних пластів.

Таблиця 1.3.

Об'єкти – потенційні забруднювачі навколишнього середовища
Донбасу

№	Об'єкт-потенційний забруднювач навколишнього середовища	Кількість об'єктів	Сумарні значення		Об'єм постійних стоків, тис. м ³ /добу
			площа, тис. м ²	об'єм, тис. м ³	
1	Хвостосховища центральних збагачувальних фабрик	106	11207,3	123268,0	605,0
2	Шламонакопичувачі золовідвали	14	3008,0	84378,0	1640,2
3	Накопичувачі промстоків	28	4708,5	40380,0	241,0
4	Ставки-накопичувачі шахтних вод	22	3290,0	1254,5	200,3
5	Ставки-відстійники, ставки-освітлювачі шахтних вод	216	8986,2	22430,5	1413,3
Разом		386	31200,0	271720,0	4099,8

Розвиток процесу реструктуризації вугільної галузі і зростання кількості нерентабельних шахт і кар'єрів, які ліквідуються, вимагають випереджаючого виконання рекультивації місць складування відходів вуглевидобутку з метою попередження міграції токсичних сполук, хімічних елементів та довго існуючих радіонуклідів на складові навколишнього середовища (приземну атмосферу, ґрунти та ін.).

При розгляді проблеми запобігання накопичення відходів при вуглевидобутку частіше за все згадується концепція комплексного використання мінеральних ресурсів, яка передбачає утилізацію продуктів вуглевидобутку, що видобуваються попутно [11]. Усі корисні елементи повинні освоюватися сукупно шляхом селективної, роздільної добути, відправки споживачеві або ж тимчасового складування в спеціальні відвали. Ця концепція включає як завдання

вилучення усіх компонентів (рідкісних і розсіяних елементів, солей, окремих гранулометричних фракцій, залишкових полімінеральних продуктів і так далі), так і використання самої агрегатно-мінеральної основи корисних копалини, відходів виробництва, тобто перетворення їх на корисну продукцію. При цьому важливе місце відводиться використанню відходів.

Наприклад, якщо раніше при коксуванні вугілля єдиним продуктом був кокс, то на сучасних коксохімічних підприємствах крім коксу одержують ароматичні вуглеводні, аміак, водень, метали та інші органічні речовини [92]. Їх кількість становить понад 300 видів органічних сполук. Значне зменшення кількості відходів в даному виробництві знизило антропогенне навантаження на навколишнє природне середовище.

У вуглевидобувних регіонах накопичена величезна кількість відходів вугільною, гірничодобувною, металургійною, хімічною промисловістю, електроенергетики, виробництва будматеріалів, які зосереджені у відвалах, териконах, хвостосховищах, шламозбірниках і відстійниках шахтних вод [74]. У багатьох випадках ці відходи представляють собою потенційні техногенні родовища різноманітних корисних копалини, які після геологічного вивчення можуть бути залучені до промислового використання. Утилізація промислових відходів дозволить з одного боку отримати відносно дешеву мінеральну сировину, з іншої — ліквідувати (мінімізувати) джерела забруднення довкілля.

Промислове значення має отримання з техногенних родовищ енергетичного вугілля, що коксується, деяких рідкісних металів, фосфорної, цементної і будівельної сировини.

Витрати на освоєння техногенних родовищ корисних копалини значно нижче, ніж ті, що потрібні для видобутку природної сировини. Одним з першочергових заходів є створення реєстру техногенних родовищ і накопичень у вуглевидобувних регіонах з визначенням об'єктів першочергового використання, а також створенням банку цих технологій переробки промислових відходів.

1.2.2. Відходи гірничо-металургійного комплексу Кривбасу

У сучасний період відходи гірничо-металургійного комплексу набувають все більшої уваги дослідників в Україні. З останніх досліджень можна, наприклад, відмітити роботи Інституту геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України [20, 91 та ін.], у яких дана їх загальна характеристика і проведено вивчення хімічного складу та проблем і перспектив використання відходів. Ми не будемо зупинятися на цих питаннях, а звернемо увагу на екологічні проблеми їх накопичення. Відходи гірничо-металургійного комплексу ми розглянемо на прикладі Криворізького залізорудного басейна – головного регіону видобутку і переробки залізних руд в Україні.

Попередній кількісний аналіз екологічних наслідків експлуатації залізорудних родовищ Кривбасу, зроблений різними дослідниками, дає кількісні показники, що характеризують масштаби й інтенсивність розвитку техногенних геологічних процесів у басейні [24]:

- Річний обсяг вилученої з надр і переміщеної на поверхні гірської маси у середині 1980-х років досяг 160–170 млн. м³/рік (410–480 млн. т).
- Кількість сирової залізної руди, що добували у той час, становив 150–180 млн. т/рік.
- У відвалах Кривбасу накопичено близько 6 млрд. т розкритих порід кайнозою, сланцевих різностей та окиснених кварцитів I і II залізистих горизонтів.
- На поверхню із шахт і кар'єрів відпомповують до 30 млн м³/рік солоних вод (суміші з водоносних горизонтів неогену, протерозою та кристалічного масиву).
- У шламосховищах накопичено 2,3–2,6 млрд. т дрібнодисперсних, абразивних шламів. Швидкість їх нагромадження – 50–70 млн. т/рік.

У сучасний період основні гірничо-збагачувальні комбінати (ГЗК) Кривбасу щорічно утворюють мільйони і десятки мільйонів тонн відходів видобутку і збагачення залізних руд (рис. 1.3).

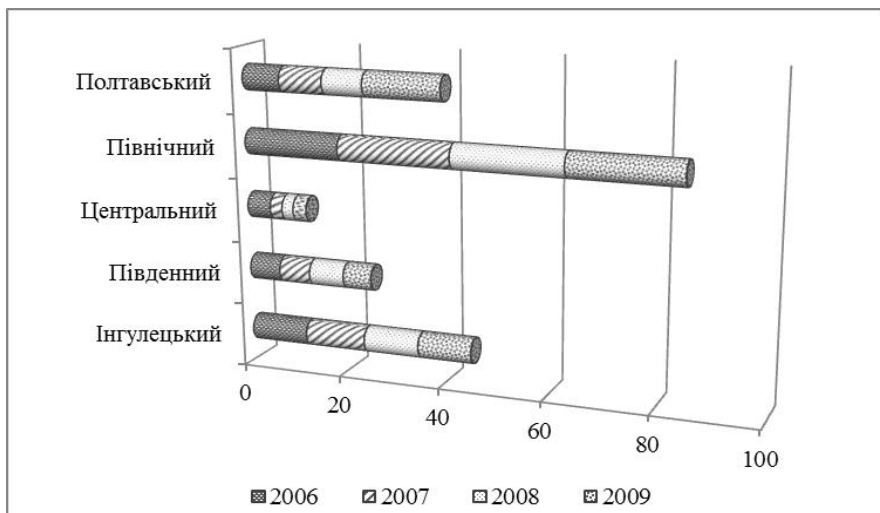


Рис. 1.3. Обсяги накопичення відходів на основних ГЗК Кривбасу у млн. т. за 2006 – 2009 роки, побудовано за [91]

За підрахунками [20] на ГЗК України у складі відходів збагачення накопичено близько 440 млн. т. заліза.

У результаті розробки родовищ копалин у сферу людської діяльності були залучені різноманітні хімічних сполуки та елементи, виникли різні побічні явища, утворилися специфічні техногенні геологічні об'єкти – кар'єри, відвали, шламосховища, зони зсуву й провалля, депресійні воронки, порожнечі у надрах та інші неприродні аномалії геологічного середовища, які мають розміри від сотень метрів до кількох кілометрів (табл. 1.4).

Гірничі роботи істотно змінили природний рельєф. Ланцюг кар'єрів і відвалів простягається з півночі на південь більш ніж на 140 км, облямовує залізородне родовище. У межах Криворізького басейну знаходиться 9 діючих кар'єрів, що розробляють родовища залістистих кварцитів. Площа, одного кар'єру становить 2–8, у середньому – 4 км². Глибина більшості з них уже перевищує 300 м. Глибина кар'єру № 1 Новокриворізького гірничозбагачувального комбінату (НКГЗК) на час його закриття упритул підійшла до позначки 400 м. Проектна глибина деяких із них 550–700 м.

Таблиця 1.4.

Параметри техногенних об'єктів Кривбасу [24]
(стан на 2009 рік)

Техногенні об'єкти	Довжина – ширина, км (середня)	Висота/глибина* м	Загальна площа, км ²	Об'єм, млрд. м ³	Маса, млрд. т
Кар'єри	1,2 – 7,5	До 400	49 – 53	4,5 – 5,0	-
Відвали	4,5 x 1,2	До 90	64 – 72	8,5 – 9,0	17,0 – 20,0
Шламосховища	3,2 x 2,0	До 70	85 – 90	4,4 – 5,0	3,5 – 4,2**
Зони обвалення та зсуву	0,5 – 4,3	1300	24 – 29	16 – 18,5	42 – 52
Підтоплення		0,5- 1,8	≈140 160	85-130	
Депресійна лійка		До 1500	65 – 70		

* Висота чи глибина показані від рівня поверхні ** маса шлаків.

Крім того, між кар'єрами-гігантами розташовані відпрацьовані кар'єри, де раніше добували багаті руди. Розміри їх значно менші. Площа таких кар'єрів здебільшого становить від 0,1 до 0,6 км², глибина – до 100 м. Іноді кар'єри у зв'язку з мокрою консервацією розташованих поблизу шахт на 0,2–0,3 об'єму заповнені водою, а частина їх, у межах міста, засипана. У засипаних кар'єрах, гірнична маса, яка складається зі слабкодиференційованої суміші залістистих кварцитів, сланців, окиснених кварцитів, вапняків, глин, піску й суглинків, заміщує верхню частину Криворізької серії кристалічних порід, покритих осадовим чохлам.

Поруч із кар'єрами розташовані відвали. Вони складені суглинками, глинами, вапняками, кварцитами, сумішшю руд та порід кори вивітрювання, різновидами окиснених бідних руд, сланцями, роговиками, амфіболітами, мігматитами. Висота відвалів 40 – 90 м, довжина – 1,0–3,5 км і навіть більше. Площа, яку займали відвали у 2003 р., перевищувала 70 км². У межах Криворізького басейну розташовано близько 25 згаданих об'єктів.

Як і в засипаних кар'єрах, у відвалах гірські породи розміщуються в іншому сусідстві, ніж у надрах. Найчастіше, ті з них, що у

природному стані залягали на глибині кілька сотень метрів, у відвалах безпосередньо контактують з атмосферою промислового регіону, що містить значну кількість оксидів азоту, сірки, вуглецю. На схилах відвалів і бортах кар'єрів розвиваються процеси винесення порід, зсуви, осипання, водяна та вітрова ерозія. Різниця висот відвал-кар'єр сягає 460–490 м.

Сукупність зрушень поверхні, зсуви, провальні поля на певній ділянці гірничого відводу рудників запропоновано дослідниками виділити в особливу геоморфологічну систему з такою назвою, як *провальна зона*. На сучасному етапі понад половини провальних площ і зон зрушення засипані відвалами. Проте переміщення гірничих порід продовжується і під відвалами.

Шламосховища є неодмінним елементом техногенного ландшафту регіону, де відбувається збагачення бідних руд, шламосховища У Кривбасі розташовано 6 шламосховищ гірничозбагачувальних комбінатів (табл. 1.5). Більшість із них приурочені до балок (Петрикова, Лозоватка, Грушовата). Окремо розташовано шламосховище шахти “Гігант”. Воно займає заплаву і річище р. Саксагань поблизу ст. Мудрьона у центрі міста. Сумарний об'єм цих антропогенних об'єктів – 1,7–2,2 км³. У них накопичено, за різними оцінками, 3,0–3,5 млрд. т відходів збагачення. Шлами складаються на 80–90% з піску. Решта – глина.

Шламосховища, крім складування відходів збагачення магнетитових кварцитів, виконують функцію ставків-накопичувачів мінералізованих шахтних і кар'єрних вод. Загальне дзеркало води у шламосховищах 22–40 км²; об'єм змінюється від 150 до 200 млн. м³. Коливання дзеркала та об'єму води у шламосховищах пов'язане насамперед з тим, що внаслідок дисбалансу використання та накопичення вод у зимово-осінній період воду з шламосховищ скидають у річки Саксагань та Інгулець. Вода, яку акумулюють шламосховища, після додавання господарчо-побутових та вод з кар'єрів, містить в середньому 5–8 г/дм³ мінеральної солі. Частина поверхні шламосховища, вивільнена від води, стає активним джерелом пилових викидів. З 10 000 м² сухої поверхні у повітря протягом доби потрапляє від 2 до 5 т залізо-кременистих часток пилу розміром від кількох до 10–20 мікрометрів, якщо швидкість вітру становить 5–6 м/с. Існують дуже успішні приклади садіння очерету на шламосховищах. Ці роботи, безумовно, сприяють зниженню

кількості пилу в повітрі й дають змогу повернути частину земель у народногосподарський оборот.

Таблиця 1.5.

Характеристики найбільших шламосховищ [111]

Власник	Початок експлуатації	Висота дамби, м	Дзеркало води, м	Площа, км ²	Мінералізація г/дм ³
ВАТ ПівнГЗК	1964	145	139	19,0	7,62
ВАТ ЦГЗК	1961	126	118	18,2	4,5
Об'єднане: ВАТ ПГЗК + „Міттал Стіл”	1964	132	129	12,0	16,5
„Миролобівське” „Міттал Стіл”	1976	142	132	5,2	16,3
ВАТ ІнГЗК	1965	120	116	7,4	4,8-5,5

Великий обсяг твердих відходів у Кривбасі утворюється і на підприємствах чорної металургії. Так, при виплавленні однієї тонни сталі утворюється 650-700 кг твердих відходів-шлаків, шлаків та відходів металу [91]. Шлаки та шлами можуть використовуватися у будівельній індустрії для виробництва будівельних матеріалів, а відходи металу направляються на повторну переплавку.

На металургійному комбінаті з повним циклом утворюються наступні види залізовмісних відходів [20]: пил і шлами (у випадку мокрого газоочищення); прокатна окалина; шлак. Майже на всіх металургійних комбінатах накопичуються в одних шламонакопичувачах. Найбільш збагачена залізом прокатна окалина. Шлак – штучний силікатний матеріал, побічний продукт виплавки чавуну та сталі. За даними державної статистики, на металургійних підприємствах України станом на кінець 2007 року накопичено 77,102 млн. т доменних і 117,726 млн. т сталеплавильних шлаків.

Вплив металургійного виробництва на умови життєдіяльності населення, стан здоров'я людей і біогеоценозів на території Кривого Рогу негативний. Різнокольорові дими металургійних комбінатів та пил забруднюють повітря і приводять до формування кислотних дощів. Шламонакопичувачі і місця складування шлаків часто служать джерелами забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод.

1.2.3. Відходи видобутку і збагачення урану

Екологічною особливістю уранових руд України є те, що внаслідок низької концентрації в них урану у процесі переробки вилучається до 15% загальної активності, а після розпаду короткоіснуючих радіонуклідів (РН) у радіоактивних відходах (РАВ) практично на історичний період (сотні мільйонів років) залишається 70% первинної активності.

Узагальнена схема формування РАВ на підприємствах видобутку і переробки урановміщуючої мінеральної сировини МС виглядає наступним чином (рис 1.4).

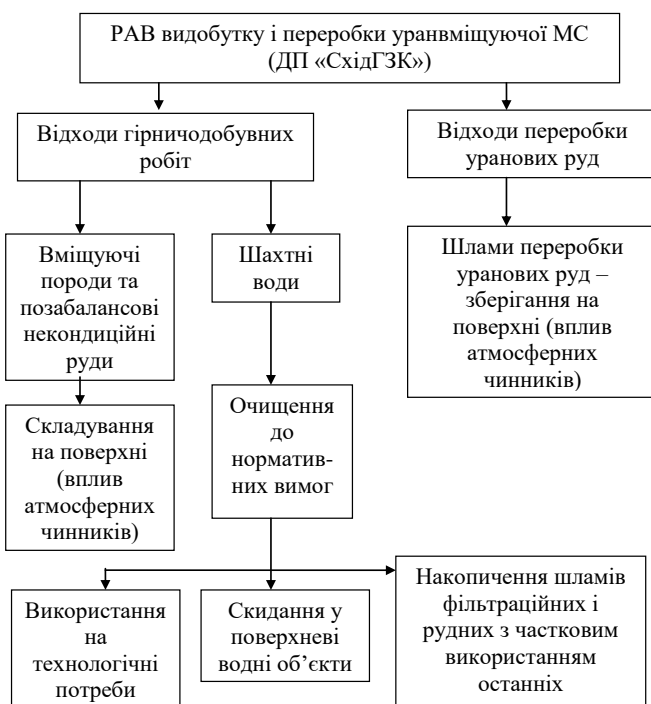


Рис 1.4. Схема утворення відходів видобутку і переробки уранових руд

Аналіз екологічної ізольованості природно-техногенної геосистеми (ПТГС) «місце складування відходів видобутку і переробки

уранових руд – навколишнє середовище» свідчить про його достатню відкритість дії атмосферних факторів (опади, рух приземного повітря та ін.), поверхневого стоку та процесів інфільтрації. На даний час екзогеохімічні зміни відходів видобутку і переробки уранової МС досліджено недостатньо, але їх недосконалість і недостатня гідро ізолюваність формує певну радіоекологічну небезпеку, в першу чергу внаслідок зростання забрудненості ПРН ґрунтів та поверхневих і підземних водних об'єктів.

На сучасному етапі функціонування уранової промисловості України на її території розміщені гірничо-видобувні і рудопереробні підприємства Східного гірничозбагачувального комбінату (СхідГЗК, м. Жовті Води), а також ВО «Придніпровський хімічний завод» (ПХЗ, Дніпродзержинськ), який перероблював уранові руди у період до 1995 р.

Балансові і радіоекологічні характеристики накопичених РАВ на підприємствах видобутку і переробки уранових руд на території України наведені у табл. 1.6.

В цілому аналіз загального екологічного стану відроблених родовищ урану (м. Жовті Води, шахта Нова, ділянки підземного вилуговування – ПВ) та тих, що знаходяться в експлуатації (шахта Інгульська, рудник Смолінський) свідчить про наявність низки проблем, пов'язаних з необхідністю підвищення комплексності радіоекологічного моніторингу та рекультивації ділянок забруднення природними радіонуклідами (ПРН) (урану, радію, радону і ін.), в першу чергу у місцях довго часового накопичення РАВ.

На сучасному етапі комплекс радіоекологічного моніторингу державного підприємства «Східний гірничо-збагачувальний комбінат (ДП Схід ГЗК) включає більше 300 пунктів спостережень, в тому числі до 230 спостережних свердловин на ґрунтовий та артезіанські горизонти підземних вод як головного агента прискореної площинної міграції природних радіонуклідів (ПРН). За виконаними оцінками, щільність пунктів спостереження та їх комплексність (ґрунти, породи зони ненасиченої фільтрації, підземні води, рослинність) забезпечують достатньо вірогідний характер отримання радіоекологічних (екологічних) параметрів впливу на довкілля та безпеку життєдіяльності ПРН, пов'язаних з місцями накопичення РАВ.

Таблиця 1.6.

Радіоактивні відходи видобутку і переробки уранових руд

№	Місце складування РАВ	Об'єм накопичених відходів, млн. м ³	Загальна активність, тис. Кі	Загальна площа відвалів і шламо-хвостосховищ, га
1	Східний ГЗК пусті породи, забалансові руди	4,0 >35,0	1,9 до 76	більше 200
2	ВО «ПХЗ» хвостосховища гідрометалургійної переробки	>28,5	74,3	до 270
Всього		до 68.0	до 152.2	до 470

Ділянки уранових родовищ, вироблених методом підземного вилуговування (ПВ) згідно даних моніторингу знаходяться в відносно сталих радіогідроекологічних умовах (Девладівське, Братське родовища) з дуже уповільненим зміщенням залишків технологічних розчинів в умовах потоку підземних вод на окремих майданчиках (долі метра – перші метри/рік).

Головними факторами надійної гідрогеофільтраційної ізолюваності ділянок ПВ та низького ризику їх можливого радіоекологічного впливу на прилеглі території є наступні:

- незначна глибина залягання рудних тіл, що виключає формування значних напорів підземних вод;
- розповсюдження у покрівлі і підшві рудних залежів витриманих слабопроникних (глинистих) шарів, які мають також підвищену сорбційно-утримуючу здатність до технологічних розчинів ПВ;
- підвищена пористість і проникність рудовміщуючих тіл, в зв'язку з чим має місце обмежений вплив хімічних та гідродинамічних чинників ПВ на екрануючі слабопрониклі шари в процесі розробки та консервації родовищ;
- високий рівень вилучення урану з рудного тіла, що в подальшому обмежує формування забруднюючих речовин;
- уповільнений (наближений до застійного) режим природного водообміну водоносних горизонтів урановміщуючої товщі

порід, при якому має місце високий рівень рівноваги в системі “мінеральний скелет порід – підземні порові води” і обмежена гідрогеоміграція природних і залишків техногенних забруднюючих сполук.

Отримані дані моніторингу ділянок уранових родовищ, відроблених методом ПВ, дозволяють зробити висновок про доцільність проведення сучасних геолого-економічних оцінок можливості видобутку урану за цією технологією на аналогічних родовищах (до 12 об’єктів), враховуючи високий рівень екологічної ізоляції РАВ та значну дешевизну кінцевого продукту.

Тривала експлуатація підприємств уранової галузі України привела до появи більшого об’єму низькорадіоактивних відходів у вигляді відвалів (порожніх порід і забалансових руд) радіометричних збагачувальних фабрик, шахт, хвостосховищ гідрометалургійної переробки уранових руд загальною активністю $7,1 \cdot 10^{18}$ Бк [1] та площі РАВ.

У табл. 1.7 представлений об’єм радіоактивних відходів, накопичених ДП «СхідГЗК» з початку виробництва до 01.01.2008 р, у табл. 1.8 – об’єм радіоактивних відходів, накопичений колишнім Придніпровським хімічним заводом (м. Дніпродзержинськ), де переробка уранових руд припинена в 1996 році, а рекультиваційні заходи до цих пір не завершені (законсервовано менше 30% майданчиків і хвостосховищ).

Відходи підприємств уранової галузі України приводять до відчуження значних площ сільськогосподарських угідь і до забруднення прилеглих до сховищ територій.

Основними недоліками існуючої схеми поводження з радіоактивними відходами уранової галузі України є:

1. Високий питомий об’єм утворення відходів (на 1 т товарної руди утворюється 1,4-1,5 т відходів, а в об’ємному вигляді з 1 м³ здобутої руди утворюється 2,2-2,3 м³ відходів).
2. Практично повна відсутність утилізації відходів.
3. Значне техногенне навантаження на навколишнє середовище за рахунок пилення відвалів при тривалому їх зберіганні, а також при транспортуванні уранових руд.
4. Забруднення поверхневих і підземних вод за рахунок атмосферних опадів, які фільтрують через відвали.
5. Фільтрація забруднених вод гребель з чаші хвостосховища в

навколишнє середовище, зокрема у водоносні горизонти, які живлять річки.

6. Недостатнє держбюджетне фінансування рекультиваційних заходів.

Таблиця 1.7.

Радіоактивні відходи, що накопичені ДП «СхідГЗК» на 1.01.2008 р.

Ділянка зберігання	Площа, п · 10 ³ м ²	Об'єм РАВ, п · 10 ³ м ³	Маса РАВ, п · 10 ³ т	Актив- ність, Бк
Гірські відвали урановидобувних підприємств (шахт Смолінська та Інгульська)	181,4	Забалансові руди, хвости РЗФ у складі гірських відвалів	11770	9,4 · 10 ¹³
Хвостосховища ГМЗ (заповнені та діючі)	2859	57,600	57750	7,1 · 10 ¹⁵
Всього	3040,4		62520	7,1 · 10 ¹⁵
Ділянки підземного вилуговування (Девладовське та Братське родовища)	2250	11,235	–	1,8- 1,9·10 ¹¹
Законсервоване хвостосховище «КБЖ»	142,6	8,4	2900	1,6 · 10 ¹²

Тільки у останні декілька років почата переробка відвалів за допомогою спеціальних розроблених прецизійних сепараторів, внаслідок чого вибірково виділяється урановий концентрат і будівельний матеріал (шебінь). Дослідно-промислове відпрацювання технології виконується на 2 шахті Смолінська ДП «СхідГЗК». Спосіб вторинного використання відвалів урановидобувних шахт дозволяє додатково отримувати понад 50 т уранового продукту в рік. Відповідно собівартість цього урану в 2 рази нижча, ніж при здобичі в шахті.

Крім місць складування радіоактивних відходів, які обумовлені видобутком і переробкою уранових руд, на території України існують 6 міжобласних спец комбінатів (МСК) «Радон» (Київський, Харківський, Дніпропетровський, Одеський, Львівський та Донець-

кий), що створені для збору та захоронення РАВ, формування яких не пов'язано зі сферою ядерної енергетики.

Таблиця 1.8.

Радіоактивні відходи, що накопичені виробництвом урану на ПХЗ
(м. Дніпродзержинськ)

Хвостосховища	Консервація	Кількість РАВ	Об'єм РАВ	Площа сховища РАВ, м ²	Потужність дози випромінювання	Потужність дози на межі СЗЗ	Активність
№ 5	Не закінчена	0,7 млн. т	0,35 млн. м ³	60 тис. м ²	2500 мкР/год	30 мкР/год	4900 Ки
«Центральний яр»	Не закінчена	0,2 млн. т	0,1 млн. м ³	24 тис. м ²	4400 мкР/год	30 мкР/год	2800 Ки
«Південно-східне»	Не закінчена	0,3 млн. т	0,15 млн. м ³	18 тис. м ²	2300 мкР/год	30 мкР/год	1800 Ки
«Д»	Не закінчена	12 млн. т	5,84 млн. м ³	0,73 тис. м ²	1300 мкР/год	30 мкР/год	17000 Ки
«Лантанова фракція»	Законсервовано	6,6 тис. т	3,3 тис. м ³	0,6 тис. м ²	3000 мкР/год	30 мкР/год	3600 Ки
«Доменна піч № 6»	Законсервовано	0,04 млн. т	0,02 млн. м ³	160 тис. м ²	2700 мкР/год	25 мкР/год	9000 Ки
«База С»	Не законсервовано	0,3 млн. т	0,15 млн. м ³	250 тис. м ²	4700 мкР/год	30 мкР/год	12000 Ки
«С» 1 секція	Не закінчена	15,4 млн. т	8,5 млн. м ³	160 тис. м ²	1600 мкР/год	20 мкР/год	18500 Ки
«С» 2 секція	Не закінчена	7,4 млн. т	3,7 млн. м ³	390 тис. м ²	500 мкР/год	20 мкР/год	8000 Ки

Вищезазначені підприємства створені в 1960-1962 рр. і мають спеціально обладнані сховища для високоактивних відходів (ВАВ), твердих радіоактивних (ТРВ), біологічних радіоактивних (БРВ) та рідких радіоактивних (РРВ).

З великого комплексу забруднюючих речовин в зоні впливу ПЗРВ виділяється тритій, що має аномально високі міграційні здатності, з можливістю входження в молекули води, гідромінеральні та білкові сполуки. Дані моніторингу та спеціальних досліджень підрозділів

НАНУ (Інститут геохімії навколишнього середовища та Інститут телекомунікації та глобального інформаційного простору), спеціалізованого державного підприємства “Радон”, Держгеолслужби за зонами тритієвого забруднення в процесі радіаційних аварій на Київському (1990-1997 рр.) та Харківському (1996-1997 рр.) МСК засвідчили необхідність вдосконалення систем моніторингу та виконання заходів з підвищення сорбційно-захисної здатності споруд з радіоактивними відходами.

До локальних (азональних) техногенних об’єктів підвищеного радіоекологічного ризику внаслідок формування некерованих РАВ, можна віднести ділянки підземних ядерних вибухів на території України – в гірничому просторі шахти «Юний комунар» (Юнком) у центральному вуглепромисловому районі Донецької області (1979р.) та на Хрестищевському газоконденсатному родовищі в Харківській області (1976р.). Цільові системи моніторингу в зонах потенційного впливу підземних ядерних вибухів відсутні, що виключає можливість вірогідних прогнозів їх радіоекологічного впливу.

1.2.4. Відходи видобутку солей у Карпатському регіоні

На сучасному етапі розробки корисних копалин та реструктуризації розвинутих ГВР України найбільш руйнівню на довкілля впливають зміни геологічного середовища (ГС) розробка родовищ калійних (Калуське, Стебніківське) та кам’яних (Солотвинське) солей.

Специфікою техногенних змін ГС цих родовищ є розвиток карстових процесів та деформацій денної поверхні внаслідок утворення значних обсягів порожнин у гірському масиві, порушення рівноваги солевміщуючих порід, що призводить до руйнації міжкамерних циліків, стелин камер і, як наслідок, до утворення зсувів земної поверхні, провальних і карстових воронок, забруднення підземних вод та поверхневих водних об’єктів.

В останнє десятиріччя запобігання негативного впливу об’єктів накопичення і переробки відходів солевидобувних підприємств (СВП) Карпатського регіону стає важливою складовою стратегії екологічної безпеки в Україні, зважаючи на високий ризик

трансграничних надзвичайних ситуацій водно-екологічного походження у басейнах рік Дністер та Тиса.

У розсолах, які формуються на усіх досліджуваних об'єктах і потрапляють в поверхневий і підземний стік, завжди кількісно переважає іон хлору. Абсолютна величина вмісту даного елемента в розсолах сягає 170-180 г/дм³. Хлор в екзогенних умовах являється надзвичайно рухомим (мобільним) елементом внаслідок високої розчинності хлоридів лужних металів - найбільш поширених сполук хлору. Бар'єрів, на яких би міг затримуватися хлор в таких умовах, практично не існує. Тому формування хлоридів та їх міграція у поверхневі та підземні водні об'єкти є головним фактором СВП Карпатського регіону.

Аналіз складових частин соляних компонентів з різних об'єктів, що мають відношення до солевидобувних і солепереробних дільниць (відвалів, хвостосховищ, акумулюючих ємностей, шламонакопичувачів, затоплених виробіток) свідчить, що у водне середовище можуть потрапляти ті ж самі компоненти, які є у всіх природних водах та формують їх макрокомпонентний склад і тип, але концентрації, в яких вони потрапляють, є достатньо високими, і тип природних вод при цьому значно змінюється.

Відходи Калуського солевидобувного підприємства. Існуюча система розробки і переробки покладів калійно-магнієвих солей передбачає наявність ряду штучно створених об'єктів, які суттєво порушують природний вигляд ландшафту та впливають на зміну динамічного і хімічного режиму ґрунтових вод не лише в межах їх розташування, але і на значній віддалі в напрямку природного стоку поверхневих та підземних вод.

Найвідчутніший вплив від розробки та переробки солей має найбільш мобільний елемент геологічного середовища – гідросфера, що включає ріки та гравійно-гальковий горизонт, які в Прикарпатті є джерелом питної води. Ці джерела майже не захищені від попадання небезпечних речовин і піддаються швидкому впливу забруднюючих об'єктів, до яких відносяться шахти, кар'єри, відвали розкритих порід, хвостосховища, акумулюючі ємності.

Надзвичайно велика кількість солей у докілья попадає із Домбровського кар'єру (гірничий простір 50,1м³), який є особливо небезпечним об'єктом щодо впливу на збільшення засолення підземних і поверхневих вод. Об'єм пустот у кар'єрі складає 52 млн.

м³, а в південній його частині вже знаходиться 5,5 млн. м³ розсолу із мінералізацією 360 г/л. Кожен рік кількість розсолів, яка утворюється за рахунок атмосферних опадів і прибуває у котлован кар'єру, збільшується на 1,2 млн. м³. На ділянці між кар'єром і рікою Сівкою утворився карст, що свідчить про активність руху води від ріки в кар'єр, відбувається розширення шляхів її міграції. Тому не виключений прорив вод ріки в кар'єр. Спостереження показують, що розхід води ріки в районі кар'єру під час сильних дощів досягає 1 млн. м³/годину. З метою запобігання екологічної катастрофи, яка може статися у разі прориву вод ріки в кар'єр, необхідно негайно провести роботи щодо стабілізації карсту, який розвивається між кар'єром та рікою Сівкою, шляхом його тампонування через свердловини. Також необхідно розробити і впровадити технологію з утилізації розсолів з одержанням низькоконцентрованих добрив та технічної солі. Об'єм розсолів на всіх об'єктах вже сьогодні досягає 28,8 млн. м³.

Крім зупинки кар'єру, де калійні солі вперше у світі добувались відкритим способом, відбулася ліквідація рудника «Калуш» розсолами, що почали себе проявляти виходом на поверхню через провали земної поверхні, забруднюючи р. Сівку і водоносний горизонт. Криниці стали не придатними для користування через засолення вод. У потоках та річках появились розсоли. За результатами міжнародних досліджень, у районі протікає найчистіша ріка Європи – Лімниця, де розташовані міські водозабори і куди можливе надходження розсолів, як із рудників, так і з хвостосховищ. Крім того, р. Сівка та р. Лімниця є притоками р. Дністер і забруднення останньої може спричинити екологічну катастрофу міжнародного масштабу.

Аналіз діяльності виробництва, створеного на базі запасів солей Калуш-Голинського родовища, засвідчив, що зараз існує дві групи завдань, які на даний час не знайшли оптимального вирішення: одна з них пов'язана із плануванням та організацією гірничих робіт, інша – з повнотою переробки мінеральної сировини.

Надзвичайно гострою є проблема вдосконалення існуючих або створення принципово нових технологій з метою максимально можливої повної переробки і зведення до мінімуму кількості відходів виробництва.

Продуктивні соляні породи характеризуються постійною присутністю від 25 до 35 % галіту, 45- 65 % калійних і магнієвих мінералів і від 10 до 20% нерозчинного залишку представленого переважно глинистою фракцією теригенних мінералів. При досконалій технології переробки саме остання складова руди - нерозчинний залишок і повинна б становити відходи виробництва, тобто ступінь використання руд в ідеалі повинен сягати 80%. Але у дійсності з видобутої тони руди використовувалося 15 – 20%, максимально – 25%. Решта ж мінеральної сировини через недосконалість технології потрапляла у відходи, які складувалися в екологічно недосконалі хвостосховища, що розширювало територію техногенних змін навколишнього природного середовища.

На солевідвалах завдяки кліматичному фактору одержали широкий розвиток карстові процеси, коли кількість атмосферних опадів істотно переважає над випаровуванням. При обстеженні відвалів виявлено велику кількість депресивних форм порушення цілісності поверхні відвалів, які об'єднані в групу карстових утворень. Розміри карсту змінюються від 1 м до 10 м в діаметрі. Видима глибина провалів досягає 15-20 м. На дні карсту породи є більш ущільненими ніж у приповерхневій частині, що свідчить про те, що у нижній частині карсту вода не затримується, а дренається по інших карстових каналах у підніжжя солевідвалу. Загальна площа солевідвалів досягає 50 га. Під дією атмосферних опадів соляні породи розчиняються, утворюючи розсоли, обсяг утворення яких в рік досягає 1 млн. м³.

При обстеженні хвостосховища № 1, яке рекультивоване, на його поверхні виявлено велику кількість негативних депресивних форм як заболочених так і у вигляді карстових лійок. Це свідчить про те, що перед рекультивацією хвостосховищ необхідно їх перекривати фільтраційними екранами із матеріалів з мінімальною проникністю. Крім того, поверхня хвостосховища повинна бути спланована таким чином, щоб вода максимально швидко сходила і організовано відводилась з об'єкту. Тому доцільно зробити підвищення по центру зі схилами до країв хвостосховища.

Карстування порід Домбровського кар'єру, солевідвалів та хвостосховищ приводить до того, що під час цього процесу утворюється велика кількість розсолів, які, попадаючи у місцеві

поверхневі і підземні об'єкти, інтенсивно їх забруднюють. Надзвичайно велика кількість солей у доквілля попадає із частково затопленого Домбровського кар'єру

У результаті складування розкритих порід при розробці Домбровського кар'єру і проходці підземних гірничих виробок на шахтах утворились *солевідвали* висотою понад 50 метрів, які в межах Калуш - Голинського родовища займають площу близько сотні гектарів і є зонами додаткового гідрохімічного забруднення ландшафтів і підземного стоку.

У відвали складувалися різні типи порід з неоднаковою кількістю водорозчинних солей, кількість яких становила від 10 до 80%. Крім цього, сюди ж вивозилася значна кількість промислового сміття. Від початку складування і до теперішнього часу ці відклади активно розмиваються атмосферними опадами, в результаті чого створюються ареали засолення, які можна спостерігати як на поверхні прилягаючої території, так і фіксувати у спостережних свердловинах, що перетинають водоносний горизонт. На даний час відвали частково рекультивовані шляхом відсипки шару ґрунту, що, однак, не дало позитивних результатів. Цей захід треба вважати скоріше косметичним, бо в такому вигляді, як його здійснено в існуючих кліматичних умовах підвищених опадів та інфільтраційного живлення, не можливо чекати кардинально позитивних наслідків.

Надзвичайно потужним джерелом засолення водоносного горизонту, поверхневих водотоків та прилягаючої земної поверхні є також *хвостосховища*. В складі калійно-магнієвого виробництва, яке розвивалось на базі Калуш-Голинського родовища, існує три хвостосховища, і кожне з них знаходиться в різному стані. Перше заповнене до проектного рівня і на даний час є частково рекультивованим. Друге хвостосховище також заповнене, але ще не рекультивоване. Спорудження третього розпочато, однак через відсутність фінансування припинене. Протягом тривалого часу існує гостра потреба у великій кількості вільних об'ємів для втримання висококонцентрованих розсолів. Однак навіть наявність таких резервуарів не може вважатись кардинальним вирішенням цієї гострої проблеми, оскільки втримувати їх впродовж тривалого часу неможливо та небезпечно.

Зараз хвостосховища об'єктивно не можуть виконувати свою функцію надійного збереження заскладованих там відкладів, бо до недавнього часу тут не здійснювалося належних робіт щодо підтримання даного об'єкту у задовільному стані. Відбувається розмивання бортів дамб обваловування та промивання товщі відкладів атмосферними опадами. Інфільтрація розсолів із формуванням ареалів засолення ґрунтових вод розпочалася одразу після спорудження першого хвостосховища та початку складування тут відходів переробки і триває майже 40 років.

Ще одним суттєвим джерелом забруднення природних вод є розсоли, що містяться у ліквідованих рудниках відпрацьованих шахтних полів рудника „Калуш”.

Заповнення відпрацьованих шахтних виробок водою чи розсолом не є оптимальним способом їх надійної ліквідації, особливо у випадках, коли вже існують, або можливе виникнення каналів сполучення з водоносним горизонтом. Закладку порожнин необхідно здійснювати із максимально можливою кількістю твердого матеріалу і збереженням геомеханічної рівноваги породо-сольового масиву.

Складування розкривних порід з Домбровського кар'єру розпочато у 1967 р, спочатку у відвал №1. Відклади, які складувалися у відвалі, представлені породами гіпсо-глинистої шапки, соленосною брекчією, некондиційними рудами, суглинками і гравійно-гальковими відкладами. Крім суто розкривних порід сюди одночасно вивозилось багато будівельних і промислових відходів, зокрема електроліт з магнієвого заводу, а також побутове сміття. В середині 1979 р. складування у відвал №1 (площа 50 га) було припинено, оскільки в експлуатацію було здано основу під солевідвал №4 (повна площа до 100га).

Ефективного екранування основи солевідвалів не здійснювалося, що значно збільшило їх екологічну небезпеку, приймаючи до уваги високу розчинність, рухомість та токсичність солевих відходів.

Дослідженнями встановлено, що розсоли в солевідвалах утворюються трьома шляхами:

1. За рахунок розчинення легкорозчинних соленосних порід відвалу атмосферними опадами. Кількість розсолів залежить від інтенсивності випадання осадків і площі складування. Найбільш інтенсивно винесення солей відбувається зі свіжовідсипаних відвалів. За рахунок розчинення солевідвалу атмосферними

опадками утворюється близько 200 тис. м³ розсолів з мінералізацією 127 – 370 г/л;

2. В результаті змін температури і вологості повітря у солевідвалах відбувається конденсація атмосферної вологи, яка насичується легкорозчинними солями. Волога конденсується на поверхні солевідвалу у різноманітних тріщинах і пустотах;
3. Частина розсолів утворюється під дією сил гравітації і ваги вищезалігаючих шарів. Результати експериментальних досліджень засвідчили, що кількість відтиснутих розсолів становить 0,001 м³ з 1 м³ породи.

Шламонакопичувач знаходиться в експлуатації з 1974 р. з метою утримання слабомінералізованих вод хвостосховища №1 і наповненням на 01.01.2007 в обсязі до 1,3 млн. м³ при проектному 0,91 млн. м³, тобто при гідротехнічному перевантаженні майже у 1,5 рази. За даними Держуправління екобезпеки в окремих зонах дамби шламонакопичувача спостерігаються витoki розсолів (мінералізація до 41 г/дм³) з дебітом 4-20 м³/год. у напрямку старого русла р. Кропивник.

На нашу думку, це може свідчити також про можливість надмірного водонасичення тіла дамби шлаконакопичувача та зниження його інженерно-сейсмогеологічної стійкості в цілому в умовах додаткового впливу карстово-суфозійних розуцільнень та деформації верхньої зони геологічного середовища.

Соціально-економічну та техногенно-екологічну ситуацію у Калуській промислово-міській агломерації з урахуванням просторово-часової динаміки розвитку головних небезпечних природних і техногенних процесів (карстово-суфозійних з осіданням денної поверхні, забруднення підземних і поверхневих вод, деформацій гідротехнічних, будівельних споруд та ін.), можна визначити як катастрофічну. В цілому в межах Калуської промислово-міської агломерації та складування небезпечних відходів видобутку та переробки калійних солей відбуваються незворотні процеси порушення стійкості геологічного середовища та перетворення кризової еколого-техногенної ситуації у катастрофічну національного, а з часом, транскордонного рівня. Крім того, в умовах суцільної ураженості території Калуської промислово-міської агломерації карстово-суфозійними процесами та прискорення руйнівних деформацій поверхні, заходи з ліквідації екологічних

наслідків діяльності солевидобувного гірничо-хімічного комплексу на тлі прогресуючих незворотних порушень рівноваги геологічного середовища є недостатніми. Для стабілізації і покращання інженерно-геомеханічної стійкості верхньої зони порід. Орієнтовні оцінки свідчать, що навіть, за умови повної гідрогеофільтраційної ізоляції порушеного солепородного масиву час стабілізації системи «гідрогеофільтраційний процес підземних вод – рівноважне вилуговування солей – осідання гірничих виробок та денної поверхні» займе десятки років. Важкопрогнозований характер розвитку при цьому карстово-суфозійного процесу здатний значно погіршити безпеку життєдіяльності в межах Калуської ПМА та прилеглих територій у транскордонному басейні р. Дністер.

Проаналізувавши основні фактори негативного впливу на ГС при розробці та переробці соляних родовищ Прикарпаття, можна зробити такі висновки:

1. Розвиток карстово-суфозійного порушення рівноваги геологічного середовища в межах Калуського промислового району, де проходила розробка Калуш-Голинського калійного родовища, є фактором формування довгострокової водно-екологічної надзвичайної ситуації транскордонного рівня.

2. Розробка солей шахтним способом без закладки відробленого простору та їх сучасний некеруємий стан призводить як до подальших осідань земної поверхні, заболочення прилеглої місцевості та зростання ризику деформацій житлових і промислових будівель, так і загрози прояву синергетичних порушень ГС. Наслідком цього можуть бути ланцюжкові аномальні активізації просторових зрушень солепородного масиву під час повеневих, сейсмодеформаційних та гідрогеомеханічних процесів.

3. Ліквідація рудника “Калуш” розсолами тимчасово припинила інтенсивні осідання земної поверхні, але з часом відбулось витіснення розсолів у надсолбовий водоносний горизонт та р. Сівку.

Відходи Стебницького солевидобувного підприємства. Стебницьке ДГХП “Полімінерал” сформовано на базі однойменного калійного родовища в 1946 році. Родовище відроблялось двома підземними рудниками загальною потужністю 4 млн. т в рік. Видобуток руди, згідно з початковими проектами, здійснювався без закладки відпрацьованих порожнин, внаслідок чого утворилося близько 33 млн. м³ пустот, що призвело до довгострокового

небезпечного просідання земної поверхні і утворення провалів. Рішення про обов'язковість закладки було прийняте міжвідомчою комісією тільки в 1978 році. Збудований на підприємстві закладувальний комплекс загальною потужністю 300 тис. м³ в рік дозволив провести закладку 1,8 млн. м³ шахтних пустот (5,5% загального обсягу гірничих виробок). Закладка здійснювалася переважно породою від проходки і внаслідок її невисокої міцності не мала достатньої ефективності щодо стабілізації породного масиву.

Тампонажно-закладальні роботи було припинено в 1993 році. За орієнтовними оцінками загальний об'єм підземних карстових порожнин становить 440 тис м³ (1,3% від об'єму гірничого простору). В останні роки за умов збільшення опадів, висоти та частоти повеней і паводків відбувається активізація поверхневого карсту .в тому числі в межах 3-го поясу зони санохорони (ЗСО) курорту Трускавець.

У зоні впливу підроблених територій розташовані житлові будинки м. Стебник, с. Станія, районний водогін, залізнична станція, шосейні магістралі, каналізаційний колектор, високовольтні лінії.

Кількість відходів виробництва калійних солей на Стебницькому СВП складає 25,5 млн. тон (з них 4,2 млн. т рідка фаза). Накопичення високомінералізованих шахтних вод здійснюється в хвостосховищі № 2.

Невиконання в період консервації гірничих підземних виробок достатнього об'єму закладочних та протифільтраційних робіт призвело до збільшення притоку вод в шахту і, відповідно, до зростання скиду у хвостосховище. У 1999 році приток становив 796 куб м в добу, максимально сягаючи 1365 куб м в добу. У лютому 2000 року, у зв'язку із проривом поверхневих вод, через карстову лійку середньодобовий притік становив 947 куб м в добу, у березні - 1027 куб м в добу. За час закриття СВП періодично відмічалися перевищення проектних відміток рідини в хвостосховищі.

Скид розсолів з хвостосховища проводиться у р.р. Тисмениця-Бистриця-Дністер, забруднюючи їх солями. Щорічно, за існуючими орієнтовними даними, скидається до 80 тис м³, що в перерахунку на солеміст становить майже 8 тис. тон.

Для забезпечення перекачування розсолів із хвостосховища до полігону закачування у с. Кавсько збудовано магістральний

розсоліпровід довжиною 28 км. Трубопровід прокладений під землею і опресований тиском 25 атм. По трубопроводу розсоли можуть подаватися в поглинаючу свердловину, але в даний час нагнітальний комплекс не задіяний.

Рідка та тверда фракція розсолів становить значну екологічну небезпеку для всього Дрогобицького регіону та транскордонного басейну р. Дністер. Додатковим фактором екологічної небезпеки відходів та ГС Стебницького СВП може бути підвищена сейсмічність Карпатського регіону, наявність активних тектонічних порушень та здатність до розвитку техногенних землетрусів.

Шахтні поля Солотвинського солеруднику (Закарпатська область) розвинуті в межах зони виходу сольового штоку під пісчано-гравійно-глиністі відклади другої тераси р. Тиси. Формування сольового штоку пов'язано з тектонічним порушенням вміщуючих порід, що при незначних розмірах соляного тіла (приблизно у зоні виходу 0,2x1,8 км) обумовлює його літологічну неоднорідність, наявність ділянок розущільнення та аргіліто-пісковікових включень, які є підґрунтям для активізації геофільтраційного руху розсолів та техногенних вод з ризиком техногенної активізації галогенного (сольового) карсту.

Техногенна активізація карсту у покрівельній частині сольового штоку і у солепородному масиві після затоплення гірничих виробок СВП є головним фактором ускладнення гірничо-геологічних і еколого-геологічних умов Солотвинського солеруднику, а також утворення великих об'ємів мінералізованих вод як екологічно небезпечних відходів виробництва.

Гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови вскриття, розробки і консервації (ліквідації) гірничих виробок солевидобувних шахт Солотвинського солеруднику, за отриманими оцінками, є дуже складними внаслідок дії наступних чинників:

- значної еродованості поверхні соляного штоку і пов'язана з цим невитриманість глинистого прошарку («поллагу»), а також втрата гідроізоляваності соляного тіла від потоку прісних ґрунтових вод;
- підвищеної швидкості руху ґрунтових вод покривних порід в зв'язку зі значним нахилом поверхні (до 5°-10° і більше), яружно-балковим розчленуванням та збільшеними опадами

(середньо-багаторічна норма біля 0,85 м/рік; можливі підвищення до 1,0-1,2 м/рік з катастрофічними зливами);

- наявності пісковіково-аргілітових прошарків у соляному масиві, які послаблюють його стійкість відносно техногенного зволоження та водонасичення, прискорюючи фільтрацію вод на поверхні контактів з проявом процесів суфозії та пучення (розшарування); за попередніми оцінками в межах водозбору депресійної лійки гірничих виробок та карстових провалів Солотвинського СВП (12 км²) може утворюватися до 6-8 млн м³/рік стічних солоних вод, які негативно впливають на водно-екологічні параметри стоку транскордонної ріки Тиса.

Глава 2.

ГЕОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТА КРИТЕРІЇ ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОЦІНКИ СУПУТНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН І ВІДХОДІВ ПРИ ВИДОБУТКУ І ПЕРЕРОБЦІ ЗАЛІЗНИХ РУД КРИБАСУ

2.1. Загальні методичні підходи щодо до оцінки відходів гірничодобувного і переробного комплексів

Доцільність проведення комплексної і систематизованої геолого-економічної оцінки відходів гірничовидобувної промисловості є беззаперечною, оскільки ця процедура забезпечує виконання основних напрямів державної політики, які задекларовані у «Законі про відходи», а саме: 1) «забезпечення комплексного використання матеріально-сировинних ресурсів; 2) здійснення комплексу науково-технічних та маркетингових досліджень для виявлення і визначення ресурсної цінності відходів з метою їх ефективного використання; 3) обов'язковий облік відходів на основі їх класифікації та паспортизації».

За останні десятиліття було проведено багато досліджень у даній сфері, які стосувались нормативно-правового регулювання поводження із промисловими відходами гірничодобувної галузі; технологій утилізації та видалення відходів, і власне оцінки цих об'єктів як техногенних родовищ (або потенційних родовищ). Зокрема, з останнього питання багато розробок було проведено РВПС НАН України, основною з яких була «Методичні рекомендації щодо комплексного вивчення промислових відходів як техногенних родовищ корисних копалин» [66], де висвітлено основи класифікації техногенних об'єктів накопичення відходів, порядку проведення оцінювальних робіт та загальні підходи економічної оцінки промислових відходів. В даних роботах методичні рекомендації базуються на нормативних документах, які регламентують проведення геологорозвідувальних робіт в загальних випадках. Для техногенних родовищ (або потенційних об'єктів) етапність і зміст оцінювальних робіт узгоджуються з стадійністю проведення геологічного, техніко-економічного вивчення родовищ корисних копалин.

На наш погляд в сучасних дослідженнях сформувались два відокремлених підходи до геолого-економічної оцінки відходів, утворених при видобуванні і переробці корисних копалин. Перший розглядає ці об'єкти з комерційної точки зору і найбільше враховує економічний ефект від утилізації та видалення відходів. Другий підхід направлений на оцінку відходів як об'єктів фіскальної політики з боку держави і базується на визначенні екологічних і економічних збитків пов'язаних із утворенням і зберіганням відходів.

Геолого-економічна (комерційна) оцінка є за змістом вартісною оцінкою відходів, яка проводиться із визначенням різниці між доходом від реалізації промислової продукції, яка може вироблятися при переробці і утилізації відходів, і витратами, які необхідні для здійснення цих процесів. Для цього використовують як абсолютні показники дисконтованих прибутків (із врахуванням фактору часу), так і відносні (показники рентабельності, питомої прибутковості тощо).

Визначення прогнозних показників прибутковості проводять або прямим розрахунком, або за співвідношенням об'єкту з аналогами із використанням екстраполяції даних в залежності від стадії вивчення звалища відходів – прогнозно-оцінювальні, пошуково-оцінювальні та розвідувальні роботи за схемою, запропонованою в роботі [66].

З боку держави проведення геолого-економічної оцінки техногенних родовищ (або звалищ відходів як потенційних родовищ) необхідна для:

- обґрунтування розрахунків та прийняття управлінських рішень щодо раціонального (оптимального) оподаткування у сфері поводження з відходами;
- оцінки збитків при зберіганні, утилізації, видаленні та захороненні відходів, їх наслідків та ефективності природоохоронних заходів у цій сфері;
- кількісного та якісного визначення величини сировинних ресурсів, які можуть бути зосереджені у відходах.

Проведення геолого-економічної оцінки з боку другого підходу спрямоване на визначення екологічних збитків від виробництва та зберігання відходів, переведення їх в економічні показники і використання результатів оцінки при формуванні нормативно-правового регулювання сфери поводження з відходами.

Накопичення відходів, які створюються при видобутку і переробці мінеральної сировини створює як позитивні так і негативні ефекти (рис. 2.1). Останніх на сучасному етапі розвитку технологій видобутку і збагачення корисних копалин набагато більше.



Рис. 2.1. Позитивні та негативні ефекти від накопичення та використання відходів гірничої та переробної галузей

До позитивного ефекту відноситься можливість їх економічного використання для рекультивації територій, як вторинної сировини для промисловості, як техногенних родовищ (будматеріалів,

металевих і неметалевих корисних копалин, тощо), для вилучення окремих елементів із рідких відходів і фільтратів та ін. Негативні ефекти від накопичення відходів загально відомі. Вони визначають екологічні збитки в місцях накопичення відходів і навколо них, які можна економічно оцінити. Критерії такої оцінки узагальнені на рис. 2.2.

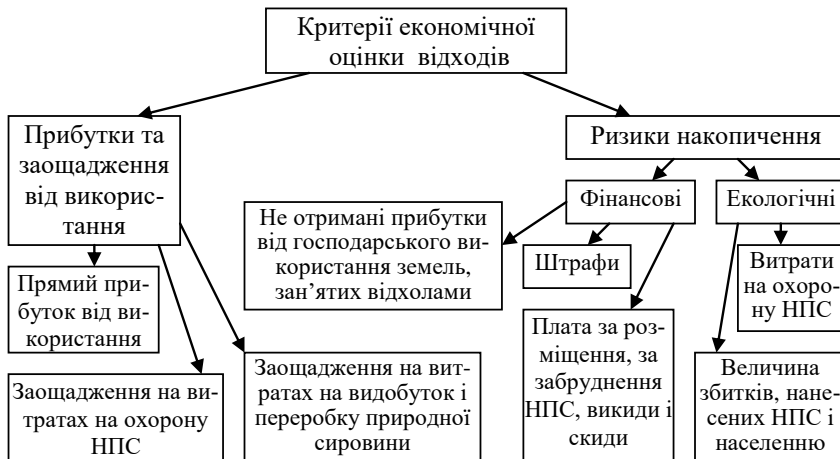


Рис. 2.2. Критерії економічної оцінки відходів

На нашу думку визначені підходи до економічної оцінки відходів промисловості не можуть розвиватись відокремлено, а повинні спрямовуватись на комплексне дослідження потенційних техногенних родовищ, методично доповнюватись один одним і мати на меті максимально об'єктивну оцінку відходів з економічної, екологічної, технологічної точки зору. Ці підходи взаємопов'язані: комерційна оцінка відходів промисловості не може обмежуватись лише визначенням економічного ефекту від їх утилізації, оскільки право власності на відходи передбачає також і обов'язок щодо «відшкодування заподіяної відходами шкоди здоров'ю людей, майну фізичних або юридичних осіб та навколишньому природному середовищу» [30].

Досить логічним є використання результатів геолого-економічної оцінки відходів і при визначенні обов'язкових платежів у сфері поводження з відходами. Зараз встановлення нормативів плати та

розміру платежів за розміщення відходів проводиться із диференціацією платежів залежно від рівня небезпеки відходів та цінності території. Це стосується загальних випадків. Для об'єктів, затверджених як техногенні родовища (або є перспективними ними стати), доцільним було б врахування можливого економічного ефекту від їх утилізації за наступним принципом: для об'єктів із вищою рентабельністю переробки й утилізації відходів та ліквідністю сировини, яка може вилучатись, плата за їх зберігання відходів може бути більша ніж для менш рентабельних об'єктів. Це можливо здійснювати за допомогою введення додаткового коефіцієнту до нормативів збору, який справляється за розміщення відходів, поряд з вже існуючими коефіцієнтами (місця та зони розміщення відходів у навколишньому природному середовищі та ін.). Крім цього, групування техногенних родовищ за результатами економічної оцінки дозволить диференціювати кредитні, податкові та ін. пільги, які відповідно до законодавства можуть надаватись суб'єктам підприємницької діяльності, які утилізують, зменшують обсяги утворення відходів. Це буде інструментом фіскальної політики у сфері поводження з відходами, який зробить їх накопичення і зберігання понад встановлені норми не вигідним.

Економічний ефект може оцінюватись як сума економічних ефектів від використання відходів гірничодобувної і переробної галузей в промисловості як сировини та попередження економічних збитків від вилучення земель і забруднення територій. При комплексному підході до геолого-економічної оцінки промислових відходів як техногенних родовищ буде визначатись за загальною формулою:

$$B_{\text{вдох}} = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot Z_i \cdot K_{\text{техн}} - Z_i) - \sum_{i=1}^n U_i$$

C_i – ціна i -го компоненту, який можливо вилучати при утилізації відходів;

Z_i - запаси (ресурси) i -го компоненту;

$K_{\text{техн}}$ – коефіцієнт, який характеризує технологію переробки відходів і ступінь вилучення цінних компонентів;

n – кількість корисних компонентів, які можливо вилучати при утилізації відходів;

Z_i – розрахункові витрати (експлуатаційні), які пов’язані з переробкою відходів, при чому $Z_i \rightarrow Z_{\text{інт}} + Z_{\text{екс}}$;

U_i – інвестиції, необхідні для підготовки об’єкту до освоєння.

За системою галузевої геологічної інформації (ДНВП «Геоінформ») серед техногенних утворень обліковуються техногенні родовища, запаси корисних копалин яких затверджені Державною комісією України по запасах корисних копалин, потенційні техногенні родовища корисних копалин, для яких у деяких випадках виконана початкова геолого-економічна оцінка або підраховані ресурси категорій не нижче P_2 . Досліджуватись може і решта техногенних об’єктів, які класифікуються як техногенні утворень або "звалищ" [68]. В таких випадках при проведенні оцінки відходів на початкових етапах вивчення доцільним є введення додаткового коефіцієнту $K_{\text{дост}}$, який відображає достовірність даних в залежності від ступеня вивченості об’єкту. Тоді формула розрахунку приймає вигляд:

$$B_{\text{відх}} = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot 3_i \cdot K_{\text{дост}} \cdot K_{\text{техн}} - Z_i) - \sum_{i=1}^n U_i$$

Найбільш повно співвідношення всіх прямих і непрямих заощаджень і збитків при переробці і утилізації відходів (освоєнні техногенних родовищ) проявляється у випадку, коли виробник (власник) відходів та підприємство, яке займається їх переробкою, є одним суб’єктом підприємницької діяльності. При цьому складова Z_i враховує всі обов’язкові платежі у сфері поводження з відходами, а також пільги і компенсації для суб’єктів, які займаються їх переробкою та утилізацією. При комплексному підході до ГЕО техногенних родовищ Z_i буде містити складові $Z_{\text{інт}}$ – внутрішні витрати та $Z_{\text{екс}}$ – екстернальні (зовнішні) витрати суб’єкта виробника (власника) відходів. Саме на визначення екстернальних витрат і переведення їх в складову внутрішніх спрямовується політика держави при управлінні відходами. $Z_{\text{інт}}$ має економічний вираз у платі за зберігання відходів, за окремі види забруднення навколишнього середовища та ін.. Визначення складової $Z_{\text{екс}}$ є досить складним методологічним питанням, оскільки повинно в економічному вигляді відображати всі види негативного впливу на навколишнє середовище і людину при виробництві, зберіганні

відходів. При їх утилізації заощадження підприємств будуть формуватись в першу чергу за рахунок складових $Z_{\text{інт}}$ та $Z_{\text{екс}}$, які відповідно будуть зменшуватись. Складова U_i включає інвестиції на освоєння, витрати на комплексне вивчення відходів в якості техногенних родовищ, а також витрати на охорону навколишнього середовища. Останні у випадку переробки і утилізації відходів зменшуються за рахунок заощаджень на рекультивації земель, відновленні ландшафтів та ін. Таким чином, у випадках, коли ГЕО проводиться для підприємства, яке одночасно є виробником відходів і суб'єктом, що займається їх переробкою та утилізацією, формула розрахунку вартості може бути скоригована за рахунок наступних заощаджень:

- 1) заощадження на орендній платі за землю, оскільки об'єкти поводження з відходами локалізовані на землях сільськогосподарського або ін. призначення;
- 2) економія коштів при рекультивації земель, яку необхідно здійснювати після закінчення терміну можливого зберігання відходів;
- 3) податкові пільги, компенсації, дотації передбачені законодавством для суб'єктів, які здійснюють утилізацію відходів.

У другій половині минулого століття робилися спроби оцінити запаси корисних компонентів у відвалах, які сформувались при розробці родовищ металевих корисних копалин. Звичайно в такі відвали потраплять вміщуючи породи, що за вмістом корисних компонентів можуть наближатися до некондиційних руд. Просторових закономірностей розподілу таких компонентів у відвалах виявлено не було, так як процес складування у відвали проходить хаотично. Хоча існування таких закономірностей складає основу більшості методик оцінки запасів родовищ первинної мінеральної сировини. Виникати ці закономірності можуть у відходах переробки корисних копалин – шламо- і хвостосховищах, заповнення яких здійснюється шляхом перекачування пульпи через трубопровід. У таких місцях може здійснюватись осадова диференціація теригенного матеріалу пульпи. Без сумнівів, що просторові закономірності розподілу матеріалу шламо- і хвостосховищ, а також техногенних осадків ставків-відстійників треба ретельно вивчати, щоби розробити методики їх геолого-економічної оцінки та експлуатації як техногенних родовищ.

Досить детально підходи до проведення пошуково-оцінювальних і розвідувальних робіт на техногенних родовищах висвітлені у відповідних методичних рекомендаціях [66]. Авторами рекомендацій розроблена ґрунтова класифікація відходів промисловості за характером переробки мінеральної сировини, за агрегатним станом відходів, за умовами їх складування, ступенем однорідності, характером концентрації корисних копалин та іншими ознаками. Подано загальну послідовність і методику вивчення відходів у залежності від стадії геолого-економічного вивчення, хоча вона не диференційована за виділеними групами відходів, які приведені в класифікації.

Запропонуємо загальні підходи до геолого-економічної оцінки найбільш поширених видів накопичення відходів гірничодобувної і переробної промисловості: відвал (терикон), шламо- та хвостосховище, ставок-відстійник.

У відвалі (або териконі), як зазначалося вище, немає закономірностей розподілу корисних компонентів. Тому витратити кошти на пошуки таких закономірностей не варто, а починати треба зі збору показників геолого-економічної оцінки: визначення загального об'єму і маси відвалу, середнього вмісту і запасів корисних компонентів в цілому по відвалу, фізичних властивостей порід відвалу, площі земель, яку він займає, тощо. На цьому етапі економічної оцінки зручно застосовувати методи дистанційного зондування Землі (ДДЗ) та робити це за допомогою геоінформаційних систем (ГІС). Далі, на основі отриманих показників робиться висновок про можливість використання порід відвалу як певного виду будівельної сировини чи сировини для отримання рудних (нерудних) концентратів та визначається технологія переробки (бажано комплексна) цієї сировини і експлуатації самого відвалу.

До геолого-економічної оцінки *шламо- та хвостосховищ* як техногенних родовищ слід включати етап розвідки з бурінням свердловин, геологічним картуванням і опробуванням як їх поверхні, так й свердловин, зі складанням просторових моделей. У випадку знаходження просторових закономірностей розподілу корисних компонентів (наприклад, складання хвостосховища із лінзоподібних тіл з концентрацією корисних компонентів у периферійних частинах лінз) визначається що може вважатися у цьому конкретному випадку

мінеральною сировиною та обирається економічно раціональна схема її видобутку і збагачення.

У *ставках-відстійниках* треба періодично опробувати донні осадки на предмет їх оцінки як мінеральної сировини. У випадку концентрації в них металів чи корисних компонентів слід оцінювати технологічні можливості їх видобутку й збагачення.

Вирішення проблеми твердих відходів при видобутку та переробці корисних копалин може рухатися наступними шляхами: 1 – введенням безвідходних та маловідходних технологій видобутку і переробки корисних копалин, що дозволить зупинити накопичення відходів; 2 – створенням технологій комплексної переробки вже накопичених відходів; 3 – створенням нових будівельних матеріалів; 4 – створенням нормативно-правових основ та сприятливих фінансово-економічних умов переробки відходів.

Безвідходні та маловідходні технології видобутку і переробки частіше застосовуються для комплексних корисних копалин та коли видобуток ведеться відносно екологічно чистим способом (наприклад, проходка підземних виробок з закладкою виробленого простору чи захоронення супутніх пластових вод нафтових та газових родовищ у горизонти, із яких вони видобуті).

Створення технологій комплексної переробки вже накопичених відходів може мати подвійну вигоду. По-перше, воно може приводити до зменшення відходів вторинної переробки відходів, а по-друге – може зробити рентабельним вилучення корисних компонентів із відходів. Наприклад, ви маєте тверді відходи розробки родовища магнетитових кварцитів. При їх послідовному дробленні зі зменшенням розміру фракції і відтягуванні магнітних уламків магнітом при кожному циклі дроблення ви можете отримати з одного боку щєбінь різних фракцій, а з іншого кондиційну залізну руду.

Створення нових будівельних матеріалів, особливо на основі тих відходів, які накопичені у великій кількості, дозволить переробляти ті відходи, традиційні будівельні матеріали з яких не витримують за своїми властивостями конкуренції з матеріалами із природної сировини, що видобувається для цих цілей.

Створення нормативно-правових основ та сприятливих фінансово-економічних умов є необхідною умовою початку масштабної переробки відходів гірничовидобувної і переробної

промисловості. За Кодексом України про надра усі родовища корисних копалин, у тому числі техногенні, з запасами, оціненими як промислові, становлять Державний фонд родовищ корисних копалин, який є частиною Державного фонду надр. З іншого боку, вважається, що відходи, які містять корисні компоненти, з точки зору технології є невід'ємною частиною виробничого процесу і при цьому логічно належать власнику виробництва. Тобто, відходи є власністю підприємств, що їх утворили чи отримали шляхом передачі на баланс від інших. Відомі випадки, коли полігони металургійних відходів визнаються місцевими органами влади як техногенні родовища з метою стабілізації екологічної ситуації в регіоні, а права його освоєння передаються суб'єктам підприємницької діяльності, які не були причетні до утворення відходів і відповідно полігону їх зберігання. Виникає правовий конфлікт, оскільки металургійні підприємства мають відповідні документи про права власності на відходи, висновки екологічної експертизи про стабільну ситуацію на об'єкті і володіють актами на землю, де розміщений полігон. Таким шляхом підприємства-виробники відходів втрачають будь-які економічні стимули щодо раціонального поводження з відходами та комплексної переробки сировини. Відповідно існують правові бар'єри для початку переробки і утилізації відходів. Можливим вирішенням проблеми є розробка окремих правових підходів до техногенних родовищ, які виникли в результаті накопичення розкритих порід родовищ корисних копалин, та тих, що утворились внаслідок первинної та вторинної переробки мінеральної сировини.

Створення фінансово-економічних передумов, сприятливі для переробки відходів, включають механізми значного підвищення плати за землі для їх розміщення, зниження ставок ресурсної плати за їх використання до мінімально можливої, підвищення ресурсної плати за експлуатацію родовищ будівельного каміння, тощо.

Викладений вище матеріал дозволяє зробити такі висновки:

1. Проблема переробки та утилізації відходів гірничодобувного і переробного комплексу в Україні ще знаходиться на початковій стадії вирішення. Незважаючи на окремі ґрунтовні розробки у цьому напрямку, в державі не створені дієві механізми для цього на нормативно-правовому і фінансово-економічному рівні.

2. На геолого-економічну оцінку промислових відходів гірничодобувної і переробної галузей як техногенних родовищ не

можна автоматично переносити методику геолого-економічної оцінки природних родовищ надр.

3. Економічний ефект при комплексному підході до геолого-економічної оцінки техногенних родовищ може оцінюватись як сума економічних ефектів від використання відходів гірничодобувної і переробної галузей промисловості як сировини та попередження економічних збитків від вилучення земель і забруднення територій.

4. Можливим і методично правильним шляхом вирішення проблеми з технологічної, фінансово-економічної та юридично-правової точок зору є розробка окремих правових підходів до техногенних родовищ, які виникли в результаті накопичення розкритих порід родовищ корисних копалин, та тих, що утворились внаслідок первинної та вторинної переробки мінеральної сировини.

5. Подальше вирішення проблеми твердих відходів при видобутку та переробці корисних копалин полягає у створенні безвідходних та маловідходних технологій видобутку, технологій комплексної переробки вже накопичених відходів, нових будівельних матеріалів, нормативно-правових та сприятливих фінансово-економічних умов утилізації відходів.

2.2. Геологічні передумови та геолого-економічні критерії промислової цінності супутніх корисних копалин і відходів збагачення при розробці залізорудних родовищ Кривбасу

Гірничодобувний регіон Кривбасу є територією з надзвичайною концентрацією підприємств гірничо-металургійного комплексу і відповідним техногенним навантаженням (табл.). Геологічні передумови розвитку цієї території зумовили величезні масштаби комплексного освоєння надр, в першу чергу родовищ корисних копалин, рудних і нерудних. Оскільки металічні корисні копалини відрізняються від більшості нерудних (особливо будівельних матеріалів) більшою ліквідністю і вартістю одиниці видобутої сировини, головним корисним компонентом на родовищах є метал. Комплексність освоєння об'єктів використання надр Кривбасу пов'язана в першу чергу з некондиційними рудами, вміщуючими і розкритими породами залізорудних родовищ та супутньо-залежними корисними копалинами.

Таблиця 2.1.

Техногенне навантаження гірничодобувних регіонів

Адміністративна область	Індустріальний регіон	Видобуток	
		тис.т/км ²	тис.т/людину
Донецька	Донбас, Південь України	318,2	1,53
Луганська	Донбас	61,3	0,57
Дніпропетровська	Придніпров'я, Кривбас, Західний Донбас	232,7	1,91
Запорізька	Придніпров'я	5,6	0,07
Львівська	Прикарпаття, Львівсько-Волинський басейн	140,8	1,13
Волинська	Львівсько-Волинський басейн	5,3	0,1
Івано-Франківська	Прикарпаття	15,8	0,16

Залізорудні родовища Кривбасу в більшій кількості знаходяться на *етані інтенсивного використання надр*. Переважна більшість родовищ вже розвідана, а тому відношення прогнозних ресурсів до розвіданих знижується стрімкими темпами, хоча ця величина ще досить істотна, бо надра не повністю освоєнні і розвідка та дорозвідка ще продовжується. Завдяки інтенсивній експлуатації розвіданих запасів, віддача капіталовкладень досягає найвищих показників, і така тенденція спостерігається майже протягом усього етапу, та наприкінці періоду, у зв'язку з поступовим виснаженням ресурсів, почнеться відносно зниження надходжень. Високі темпи та обсяги видобутку призводять до порушення цілісності екосистем надр, стійкість геологічного середовища зазнає значного навантаження і тому стрімко зростуть витрати на охорону довкілля та екологічну реабілітацію територій. В порівнянні з попереднім етапом геологічного вивчення зростає, хоч і не значно, ступінь залучення вторинних ресурсів і заміників сировини.

Родовища Кривбасу експлуатуються з середини минулого століття і в сучасний етап продовжується значне накопичення

відходів гірничо-металургійного комплексу, яке призводить до появи нових об'єктів геолого-економічної оцінки – техногенних родовищ. Техногенні родовища корисних копалин - це місця, де накопичилися відходи видобутку, збагачення та переробки мінеральної сировини, запаси яких оцінені і мають промислове значення. Такі родовища можуть виникнути також внаслідок втрат при зберіганні, транспортуванні та використанні продуктів переробки мінеральної сировини [46, 83].

Промислова цінність родовища будь-якої корисної копалини в кінцевому рахунку визначається прибутком, який можна отримати від видобутку і продажу мінеральної сировини. Вирішуючи питання про доцільність отримання ліцензії на право освоєння родовища підприємець (інвестор) має розрахувати всі витрати, пов'язані з виробництвом продукції, і порівняти їх з доходами, які можна буде отримати від її реалізації. При цьому треба зважити на те, що деякі найважливіші вихідні дані для розрахунків (запаси, вміст цінних компонентів тощо) являють собою отримані під час розвідки родовища приблизні оцінки невідомих дійсних величин. Ще більш невизначеним є питання, яке виникає при отриманні ліцензії на право пошуків в межах деякої площі, де родовище ще треба виявити. Тому першорядне значення має аналіз впливу на економіку освоєння родовища його природних характеристик, можливих помилок їх оцінки і вплив помилок на економічні показники. Зважаючи на те, що гірниче виробництво є технологічно консервативним, головний прибуток від діяльності підприємства формується за рахунок об'єктивних природних факторів, які визначаються гірничо-геологічними і географо-економічними умовами родовищ (гірничої ренти).

Головними факторами промислової цінності родовищ взагалі і техногенних об'єктів зокрема, є:

1. Запаси (ресурси) родовища.
2. Якість корисної копалини, яка утворює родовище.
3. Гірничотехнічні умови експлуатації.
4. Технологічні властивості сировини.
5. Географо-економічні умови експлуатації родовища.
6. Екологічні умови експлуатації родовища.

Залізисті кварцити в наш час являються основними джерелами залізородної сировини в Україні, що отримується шляхом їх

збагачення в залізорудний концентрат. Але всі вище перелічені чинники промислової цінності природних родовищ і техногенних об'єктів, які утворились в результаті розробки перших, не залишились незмінними протягом всього тривалого часу їх експлуатації.

Геолого-економічна оцінка вітчизняних родовищ залізистих кварцитів має свої особливості пов'язані не лише із вихідною геологічною та техніко-економічною інформацією, а також із методичними підходами до оцінки родовищ, які розробляються (причому досить тривалий період):

- гірничі підприємства постійно трансформуються в просторі, що потребує об'єктивного поточного моніторингу стану виробничих фондів;
- умови експлуатації гірничого, транспортного обладнання та устаткування залежать від складності геологічної будови і особливостей окремих ділянок, флангів родовища (шахти, кар'єру), що ускладнює застосування усереднених значень експлуатаційних витрат і капіталовкладень;
- для ГЗК характерні значні показники фондомісткості, при цьому основну частину виробничих фондів складають гірничі виробки, будівлі, споруди, які втрачають свою вартість при вичерпанні запасів корисних копалин;
- виробничі фонди експлуатуються в специфічних гірничо-геологічних, гірничо-технічних умовах, які погіршуються із відпрацюванням родовища.
- ГЕО родовищ виконується по відношенню до кінцевої товарної продукції ГЗК, яка фактично змінюється в залежності від кон'юнктурних умов ринку залізорудної сировини;
- Розробка одним гірничо-збагачувальним комбінатом декількох родовищ, що ускладнює відокремлення фактичних даних по окремому родовищу при загальній звітності підприємства;
- Тривалий термін відпрацювання родовищ залізистих кварцитів, що проявляється у погіршенні природних умов експлуатації і значних показниках зношення основних фондів підприємств. Це зумовлює необхідність масштабних капіталовкладень для забезпечення прийнятних показників рентабельності виробництва.

Відповідно до названих причин розглядати питання комплексного освоєння природних і техногенних родовищ Кривбасу необхідно з врахуванням часових періодів їх експлуатації. На початку розробки названих об'єктів планувалась масштабна реалізація заходів комплексного освоєння, яка передбачала максимальне використання ресурсів надр і мінімізацію відходів. Протягом розробки родовищ, особливо в сучасних період, істотно змінились не лише гірничо-геологічні і техніко-технологічні передумови відпрацювання родовищ, але економічні фактори. Тому в наступних розділах роботи проаналізовано стан комплексного освоєння природних і техногенних об'єктів Кривбасу на початку їх відпрацювання та в сучасних період. Геолого-економічні передумови комплексного освоєння природних і техногенних об'єктів Кривбасу на початку їх відпрацювання проаналізовано за даними роботи [4], сучасні особливості освоєння техногенних родовищ Кривбасу охарактеризовано за авторськими даними.

Геолого-економічні передумови комплексного освоєння природних і техногенних об'єктів Кривбасу на початку їх відпрацювання. Всі родовища Кривбасу містять комплексні залізні руди (залізисті кварцити) з великою кількістю якісних різновидів і технологічних типів, що відрізняються між собою вмістом та збагачуваністю. У вміщуючих докембрійських кристалічних породах на всіх родовищах міститься велика група супутніх нерудних корисних копалин, що є вихідною сировиною для виробництва різноманітних будівельних, вогнетривких та дорожніх матеріалів. Розкриті осадові породи кайнозою також містять значний набір супутніх корисних копалин, серед яких промисловий інтерес представляють четвертинні лесовидні суглинки, червоно-бурі і зеленувато-сірі пластичні глини, вапняки (Інгулецьке родовище), піски та інші. В шламосховищах всіх залізородних ГЗКів накопичені в великих кількостях шламові відходи збагачення залізистих кварцитів, що представляють великий практичний інтерес для виробництва крупнозернистих будівельних (бетонних) і дорожніх пісків. Родовища всіх залізородних ГЗКів вміщують великі запаси вказаних різноманітних рудних і супутніх нерудних корисних копалин, що знаходяться в сприятливих гірничо-геологічних умовах для найбільш повного комплексного використання.

Основними сприятливими геолого-економічними умовами раціонального комплексного використання ресурсів родовищ, що розробляються є великі розвідані та потенційні запаси, а також досить висока якість всіх різновидів і типів неокислених (магнетитових) та окислених (мартит- гематитових) залізистих кварцитів, а також супутніх видобувних корисних копалин; сприятливі гірничо- геологічні та гідрогеологічні умови залягання всіх вказаних корисних копалин для ведення селективної відкритої комплексної розробки; наявність крупних гірничо-збагачувальних підприємств з механізованими на сучасному рівні кар'єрами, потужними технічно оснащеними найновішим обладнанням автоматизованими дробарними, збагачувальними, агломераційними фабриками і фабриками окомкування з розвиненим внутрішньо-заводським транспортом, потужним енергосиловим господарством та рядом допоміжних ремонтно-механічних, ливарних та інших підприємств. В попередні періоди вважалося, що майже на всіх ГЗК низька рентабельність виробництва може бути значно підвищена за рахунок комплексного використання наявних крупних резервів мінерально-сировинних ресурсів. По даним техніко-економічних розробок, проектним і фактичним даним комплексне використання мінерально-сировинних ресурсів забезпечувало найбільш раціональне використання надр та земельних ділянок; використання для забезпечення зростаючого попиту господарства великих обсягів супутніх видів нерудної сировини; високий рівень концентрації і комбінування виробництва за рахунок створення спільного чи сполученого підприємств для переробки супутніх корисних копалин та відходів збагачення в єдиній технологічній лінії; значне підвищення валової продукції (на 20 – 50 %, нерідко на 100% і більше) та номенклатури товарної (в кілька разів) на діючих гірничих підприємствах без суттєвого розширення виробничих площ; високу ефективність капітальних вкладень в розширення гірничих підприємств із значними питомими капітальними затратами на супутню продукцію (в 2 - 2,5 раза меншими, ніж на відповідних одно продуктових спеціалізованих підприємствах); істотне зниження вартості додаткової і супутньої товарної продукції (в 1,5 – 2 рази, нерідко в 3-4 рази) та різке підвищення продуктивності праці (в 2-4 рази) порівняно з спеціалізованими одно продуктовими підприємствами; значене зменшення фондоемності і збільшення

фондовіддачі гірничих підприємств; зменшення витрат на складування шламових відходів збагачення та витрат на утримання відвального господарства; суттєве зменшення площ, що відводяться під шламосховища та відвали, а також при цьому більш раціональне використання земельних ділянок; зниження транспортних витрат за рахунок перевезення підприємств, що використовують привозну сировину, на місцеві його види, що використовуються при комплексній розробці родовища [54].

Комплексне використання мінеральних ресурсів покращувало якісні техніко-економічні показники роботи гірничодобувних підприємств. Значне збільшення об'єму виробництва та номенклатури товарної продукції на них забезпечувалось в основному за рахунок кращого використання наявних основних виробничих фондів та лише деякого поповнення активної їх частини, головним чином для доведення супутніх продуктів до товарної форми, при мінімальних додаткових затратах живої праці. Все це сильно підвищувало фондовіддачу гірничої промисловості, що в наш час має найбільшу фондоемність.

Комплексне використання мінеральних ресурсів на працюючих гірничих підприємствах було важливим джерелом розширення мінерально-сировинної бази, перш за все промисловості будівельних матеріалів при мінімальних додаткових капіталовкладеннях. При цьому досягалась більш ефективна структура капіталовкладень, оскільки збільшення виробничої потужності шляхом реконструкції і розширення діючих підприємств більш рентабельно, ніж будівництво нових. Підготовка ж нових мінерально-сировинних баз представляє собою досить складний та тривалий процес, що потребує значних затрат праці і матеріальних засобів. Тільки на розвілку одного середнього за розмірами родовища, проектування та будівництво на ньому гірничодобувного підприємства необхідно не менше 6-7 років. Незважаючи на вказані досить сприятливі геолого-економічні умови та високу народногосподарську ефективність, фактичний стан комплексного використання супутньо видобувних рудних та нерудних корисних копалин на залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатах *не відповідав запланованим масштабам.*

Про реальну комплексність у всьому різноманітті можна зробити висновок з приведеної нижче геолого-економічної характеристики кожного родовища, що розробляється, тобто умов залягання,

якісного складу та технологічних властивостей, областей промислового використання та запасів основних рудних і супутніх нерудних корисних копалин. Загальна її характеристика та мінеральні ресурси для комплексного використання наведені в зведених таблицях запасів основних типів залізистих кварцитів та супутніх нерудних корисних копалин по всіх родовищах (табл. 2.2, 2.3).

Ресурси залізистих кварцитів представлені двома основними групами. Першу групу складають не окислені магнетитові, силікат-магнетитові, кумінгтоніт-магнетитові, магнетит-силікат-карбонатні джеспіліти та джемпері, що збагачуються широко відомим електромагнітним способом. Друга група складається з окислених мартитових, мартит-гематитових, магнетито-мартитових, місцями лімонізованих джеспілітів.

Ресурси супутніх нерудних корисних копалин досить різноманітні, в їх складі налічується більше 10 видів сировини: сланців і безрудних кварцитів; некондиційних залізистих кварцитів (Fем менше 10%); гранітів, мігматитів та гнейсів; амфіболітів; талькових сланців; суглинків лесовидних; червоно-бурих глин; вапняків; спонділітових мергелів глин та ін.. Найбільшу групу становлять нерудні будівельні матеріали, придатні для виготовлення будівельного та дорожнього щебеню, що об'єднують в своєму складі сланці та безрудні кварцити, некондиційні залізисті кварцити, амфіболіти, граніти, мігматити та гнейси. Сланці безрудних кварцитах розвинені майже на всіх родовищах. Загальні запаси в проєктних контурах кар'єрів становлять 3396, млн.м³, і прогнозні – 1745,5 млн. м³. На всіх родовищах якість сланців та безрудних кварцитів детально вивчено. На Аннівському та Первомайському родовищах Північного ГЗК ці породи, особливо по світі K13 (загальні запаси 224,9 млн.м³), мають знижену міцність, що забезпечує отримання щебеню марок 400 – 600, не вище 800, при недостатній морозостійкості. Досить високу якість мають сланці на родовищах Південного ГЗК, ЦГЗК (марка щебеню:1000 – 1200; Мрз – 200-300; і -1; У – 75), а на родовищі Велика Глеєватка вони по горизонту К₂^{3-4с} керамзитові.

Таблиця 2.2.

Запаси супутніх нерудних корисних копалин на родовищах
ГЗК на період 1980-1990 рр. [54]

Назва комбінату	Основні супутні нерудні компоненти	Запаси в проектних контурах крає рів, млн.м ³		
		Балансові	Прогнозні	Загальні
Південний	Сланці та безрудні кварцити	-	C ₁ – 196,4 (K ₂ ^{1-3c} , K ₂ ^{6c})	448,4
	Лесовидні суглинки	-	17	17
	Червоно-бурі глини	-	10	10
Новокриво-різький	Сланці та безрудні кварцити	-	725	943,5
	Лесовидні суглинки	-	27,5	27,5
	Червоно-бурі глини	-	20	20
	Сіро-зелені пластинчасті бентонітоподібні глини	-	8	8
Центральний	Сланці і безрудні кварцити	-	158,5	388,9
	В т.ч.:			
	Керамзитові сланці	-	-	51,4
	В.Глеєватки некондиційні залізисті кварцити (Fe _m <10%)	-	-	255,6
	Мігматити та гнейси	-	50	290,2
	Лесовидні суглинки	-	69	87,3
	Червоно-бурі глини	-	8	23,5
Полтавський	Сланці і безрудні кварцити	-	210	720,7
	Плагіограніти та мігматити	A+B+C ₁ - 124,8	-	339,7
	Амфіболіти	249	-	260,2
	Лесовидні суглинки	-	25 (Лавриківське род.)	25
	Спондилові мергельні глини	-	15 (Лавриківське род.)	15

Інгулецький	Сланці і безрудні кварцити	-	-	53,2
	Граніти і мігматити	$C_1 - 74,1$	-	74,1
	Амфіболіти	-	-	3 (8,6 млн.т)
	Талькові сланці	-	-	15,5 (34,8 млн.т)
	Лесовидні суглинки	-	-	8
	Вапняки	-	-	16 (39 млн.т)
	Бурі залізняки (із розкривних порід)	-	-	1,1 млн.т
Північний	Сланці і безрудні кварцити	-	400 (в т.ч. 120 по K_3^1)	841,6
	Некондиційні залізисті кварцити ($Fe_M < 10\%$)	-	170 ($K_2^{7ж}$)	370,5
	Амфіболіти	-	-	66,8
	Лесовидні суглинки	-	180	180
	Червоно-бурі глини	-	90	90
Всього	Сланці та безрудні кварцити	-	1745,5	3396,3
	В т.ч.: Керамзитові сланці	-	-	51,4
	Некондиційні залізисті кварцити ($Fe_M < 10\%$)	-	170 ($K_2^{7ж}$)	626,1
	Граніти, мігматити, гнейси	198,9	50	704
	Амфіболіти	249	-	330
	Талькові сланці	-	-	15,5
	Суглинки лесовидні	-	318,5	344,8
	Червоно-бурі глини	-	128	143,58
	Сіро-зелені пластичні бентонітові глини неогенові	-	8	8
	Вапняки неогенові	-	-	16
	Спондилові мергельні глини	-	15	15
	Бурі залізняки (із розкривних порід)	-	-	1,1 млн.т

Некондиційні залізісті кварцити, що обліковувались як щебенева сировина, зазвичай відноситься до горизонту $K_2^{7ж}$ Первомайського родовища та родовища ділянка №6, де їх загальні запаси склали 626,1 млн.м³ (прогнози 170 млн.м³). Амфіболіти, граніти, мігматити і гнейси вивчені найкраще, вони вважались традиційною сировиною для отримання високоякісного щебеню. Але амфіболіти Анновського родовища ПівнГЗК мають понижені показники міцності та морозостійкості, частина проб (5 із 20) виявились не морозостійкими. Всі ці масивно-кристалічні породи розвинені на родовищах Полтавського, Північного, Центрального та Інгулецького ГЗК, де їх загальні запаси становлять 1034 млн.м³, в тому числі балансові – 447,9 млн.м³, авторські – 536,1 млн.м³ і прогнози – 50 млн.м³. Амфіболіти Полтавського та Інгулецького ГЗК за складом та властивостям можуть бути також використані в якості петрургічної сировини (для кам'яного литва). Загальні запаси всіх вміщуючих та бічних скельних порід становить – 5056,4 млн.м³, в тому числі балансові – 447,9 млн.м³, авторські – 2643 та прогнози – 1965,5 млн.м³.

Унікальними по значенню вважалась розвинені на Інгулецькому родовищі талькові сланці, що представляють собою цінну сировину для виробництва дустів, ситалів і в'яжучих. На всіх родовищах широко розповсюджені покриви четвертинних лесовидних суглинків та червоно-бурих глин, що представляють собою цінні породи для рекультивациі порушених земель. Вони можуть бути також використані в якості традиційного в Україні цегляно-черепичної сировини на місцевих заводах. На окремих родовищах розвинені інші цінні корисні копалини: сіро-зелені пластичні бентонітоподібні глини (8 млн.м³ на Валявкінському родовищі), неогенові вапняки, придатні для виробництва вапна та в якості аглофлюсів (16 млн.м³ в межах Інгулецького родовища), спонділітові мергельні глини в якості цементної сировини (15 млн.м³ на Лавриківському родовищі). Наведені дані свідчили про наявність на кожному залізрудному комбінаті величезних ресурсів досить різноманітних рудних та нерудних корисних копалин, комплексне використання котрих, навіть в радянські періоди знаходилось в незадовільному стані (табл. 2.3, 2.4).

Таблиця 2.3.

Показники комплексного освоєння залізорудних родовищ Кривбасу в період 1980-1990рр. [54]

Назва комбінату	Всього гірничої маси т/м ³	Всього зал. кварцитів т/м ³ тис.т	Виробничої сирової руди тис/т	Окислених кварцитів		Неокислених мало рудних кварцитів		Вміщуючі скальні породи (сланці, б/р кварцити)		Розкриті пухкі породи, тис.м ³	Виготовлено				Шламових відходів збаг., тис.т
				Всього, тис.т	В т.ч. за складовано, тис.т	Всього, тис.т	В т.ч. використаної на щебінь, тис.т	Всього тис.м ³ тис.т	В т.ч. на щебінь тис.м ³ тис.т		Залізрудного концентрату товарного, т	Агломерати, тис.т	Залізрудних окатишів, тис.т	Щебінь, тис.м ³	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Південний	20193 100%	<u>15218</u> 51215 75,2%	33872 66,2%	17343 33,8%	17343	-	-	4377 14006 21,8%	234 750	598 3%	10757	8320,5	-	321,6 (в т.ч. 78,9 товарн)	18410
Новокриворізький	25075,2 100%	<u>14919</u> 50557,5 59,5%	30547 60,4%	12906,5 25,5%	12906,5	7104 14,1%	1580	<u>5162,9</u> - 20,5%	-	4993,3 20%	4508,1	9767,8	-	347 (в т.ч. 46,8 товарн)	18072

Продовження таблиці 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Центральний	17247 100%	<u>6892</u> 22654 39,9%	18572 (в т.ч. окис- лені 8777) 82%	2319 (малорудні і важко- збагач.) 10,2%	284 (важко- збагач)	1760 7,8%	-	<u>8673</u> - 50,3%	<u>277</u> 886	1682 9,8%	870	-	5167	486 (в т.ч. 223 на з-ді «Укрміж- колхоз- строй»)	13320
Полтавський	25098 100%	<u>14347</u> 46500 57 %	31534 (в т.ч. К ³ ₂₃ – 10252,8) 67,7%	-	-	14965,5 (К ³ ₂₃ – некон- диційні, К ³ ₂₂ – важко- збагач) 32,3%	5440 (в т.ч. 3000 на підси- пку авто- доріг з/д)	<u>5288</u> - 21,1%	-	5463 21,9 %	4856,3	-	7215,1	606,3 (в т.ч. 200 на з-ді «Між- колхоз- строй»)	17854
Інгулецький	18262 100%	<u>14049</u> 46097 76,95%	33770 73,3 %	10227 22,7%	2890	2100 4,6%	1000	<u>2384</u> - 13,05%	-	1820 10%	13351	-	-	524 (в т.ч. 209,5 на з-ді Дніпро- дорбуд- матеріали	22790

Продовження таблиці 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Північний	41341 100%	<u>20745</u> 68826 49,9%	41448 60,3%	23284 33%	-	4094 6,7%	1608 (в т.ч. 725 окисле- них)	<u>9457</u> - 23%	-	11139 27,1%	3495	-	12280	409,3	25242
Всього		<u>86170</u> 285846,5 58 %	189743,6 66,3%	66079,5 22,8%	33423,5	30023,5 10,9%	9628	<u>35341,9</u> - 24,2%	<u>511</u> 1636	25704,3 17,8%	37837,4	1806 8,3	24662, 1	2694,2 (в т.ч. 632,5 вигот. іншими підпр.	115688

Таблиця 2.4.

Стан техногенного навантаження при освоєнні залізрудних родовищ Кривбасу
в період 1980-1990рр. [54]

Назва комбінату	Кількість відвалів і коротка характеристика	Площа відвалів, га	Всього гірничої маси, тис.м ³	Окислених кварцитів, тис.т		Некондиційних малорудних кварцитів, тис.т	Вмісних скельних порід (сланці, б/р кварцити), тис.м ³	Розкритих пухких порід, тис.м ³	Кількість шламосховищ (ШлСх) і коротка характеристика	Площі, га	Кількість шламових відходів, тис.т
				Всього, тис.т	В тому числі за складовано, тис.т						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Південний	Три крупні відвали (Лівобережне, Правобережне, Шимановське) висотою 20,50, 70 і 100м, з/д і автомобільний вивіз	903	261251 100%	358512	245294 (крім того 49802 тис.т списано як розубожені)	38311	94356 36,51%	42878 19,48%	Чотири ШлСх (в тому числі 1 разом з НКГЗК) балки та балки-рівнини типу з греблями і дамбами	1229	352459

Продовження таблиці 2.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Новокриворізький	5 крупних відвали висотою 20-50 м з/д та автовивіз	1190,7	266499 100%	123908	123908 (в т.ч. 46842 тис.т списано як розубожені)	115520	61310 23%	129308 48,5%	3 ШлСх (в т.ч. разом з ПівдГЗК) балково-рівнинного типу з греблями та дамбами	816	215353 виготовлено к/з піски 5690,7 тис.м ³ у 1967 - 1980pp
Центральний	20 в основному дрібних відвалів 7-60 м, з/д та автовивіз	916,43	269004 100%	157873 малорудні та важкозбагачувані	19396 важкозбаг. (K ₂ ^{5ж})	50467	145549 54,1%	58349 21,7%	ШлСх на балці Лозаватка з дамбою та греблями	1263	256500
Полтавський	11 в основному дрібних висотою 20-37 м, з/д та автовивіз і один крупний гідророзкриву	513,7	181690 100%	Окислені 9240, неокислені кондиційні K ₂ ³ – 38231	9240 38231	98647 (K ₂ ³ +K ₂ ³) ₂	44790 24,6%	91570 50,4%	ШлСх на заболоченій місцевості піскової тераси Дніпра з невисокою дамбою		

Продовження таблиці 2.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Інгулецький	6 відвалів висотою 25-40 м з/д і автовивіз	357,6	114335 100%	141435	72950 (крім того вкладено в дамбу ХвСх 48349 тис.т	13223 (в т.ч. 8223 заскладовано)	21932 19,2%	45570 39,8%	ШлСх балково-рівнинного типу з обмежувальними дамбами	422	261730
Північний	10 відвалів Первомайського кар'єру і 2 крупних Анновського кар'єру з/д та автовивіз. Висота 20-55м	976,5	430759 100%	271188	69204 (списані з балансу)	32500 (в т.ч. 20071 заскладовано)	158408 36,4%	181906 42,2%	ШлСх на правобережній заплаві р. Саксагань	1750	280252
Всього		4857,63	1523538 100%	1062156	539992	348698 (28294 заскладовано)	524345 34,4%	549581 36,1%	-	6882	1485387
В т.ч. по Кривбасу		4344,23	1341848 100%	1052916	530752	250051 (28294 заскладовано)	479555 35,7%	458011 34,1%	-	5480	1366294

Супутньо видобувні на залізорудних ГЗК в великих кількостях нерудні корисні копалини в радянський період практично не використовуються, лише за рідкими винятками, і скидалися в змішані відвали. Серед них найбільшу групу представляють нерудні будівельні матеріали з вміщуючих та бічних скельних порід. До їх складу входили сланці та безрудні кварцити, некондиційні залізісті кварцити, амфіболіти, граніти, мігматити, гнейси. У порівнянні з гранітами сланці, безрудні та некондиційні залізісті кварцити мають дещо підвищену густину ($2,76 - 3,12 \text{ г/см}^3$) та об'ємну масу ($2,59 - 3,03 \text{ г/см}^3$). Об'ємна маса щебеню змінюється в межах $1450 - 1690 \text{ кг/м}^3$ для фракції 5-20 мм та $1400 - 1600 \text{ кг/м}^3$ – для фракції 20-40 мм. Для них властиве також деяке підвищення пустотності (45-55%) та водопоглинання (0,9 % проти 0,7% у гранітного щебеню). Для них помічена підвищена лещадність (15 – 30%), що може бути знижена багатостадійним дробленням. При вивітрюванні породи стають тріщинуваті та менш міцними, як наслідок дають щебінь понижених марок за жхатністю до дроблення(600-800/1000) та морозостійкості (50-100).

Треба відзначити, що нерудна сировина вивчалась відповідно до діючих на той час стандартів, які змінювались до цього часу декілька разів. Так згідно з чинними нормативними вимогами та стандартами того часу щебінь вміщуючих скальних порід вважався придатний для виготовлення армованого та неармованого бетону, облаштування баластного шару внутрішньо – заводських залізничних шляхів, будівництва автомобільних доріг, штучних насипів під фундамент та для зворотних засипок. При цьому бетон, виготовлений на щебені із кварцитів і будівельних пісків із шламових відходів збагачення, має міцність на 9 % більше і витрату цементу на 5% нижче в порівнянні з бетоном на гранітному щебені. Вміщуючі скальні породи із кар'єрів ГЗК можуть перероблятися в будівельний щебінь по технологічним схемам, що використовують типові проекти підприємств нерудних будівельних матеріалів. Технологія виробництва щебеню із даних порід передбачала використання серійного промислового обладнання. Цінною вторинною сировиною для промислового використання вважалися шламові відходи збагачення, що являли собою штучний кварцево-залізістий пісок, що утворюється в результаті дроблення, подрібнення та магнітного збагачення залізістих кварцитів. За

складом та фізико-механічними властивостями вони придатні для широкого використання в шляхобудівництві та промисловості будівельних матеріалів.

Рекомендована радянськими фахівцями номенклатура готової продукції для залізородних комбінатів включала:

- залізородний концентрат, агломерат, окатиші із не окислених (магнетитових), окислених (гематитових), мало рудних не окислених (магнетит-силікатних та кумінгтоніт-магнетитових) і не окислених кварцитів, а також шламових відходів збагачення;
- фракціонований будівельний та дорожний щебінь із вміщуючи (безрудних, некондиційних кварцитів та сланців) та бокових (гранітів, мігматитів, гнейсів та амфіболітів) скельних порід;
- фракціонований будівельний та дорожний щебінь із крупнозернистих відходів сухої магнітної сепарації
- фракціоновані крупнозернисті (фракції крупніше 0,14 – 0,15 мм) будівельні (бетонні) та дорожні піски із шламових відходів збагачення;
- фракціоновані тонкозернисті (фракції менше 0,14 – 0,15 мм) будівельні (бетонні) та дорожні піски із шламових відходів збагачення;
- фракціоновані крупнозернисті будівельні (бетонні) та дорожні піски із відходів сухої магнітної сепарації;
- Залізобетонні, силікат-бетонні, шлако-силікат-бетонні будівельні блоки та дорожні плити із щебення та будівельного піску, що випускається комбінатом
- камене лиття, деталі та шламопроводи із нього на базі амфіболітів (ПГЗК, ІнГЗК, ПівдГЗК);
- ситали та дебалі із них на базі талькових сланців (ІнГЗК);
- інсектиди (дусти) на базі талькових сланців (ІнГЗК);
- керамзит (сланцепорит) на базі сланців (ЦГЗК);
- порт ланд-цемент на базі мергельних спонділітових глин та крейди (ПГЗК);
- металургійні доломіти (ЦГЗК), аглофлюси, (ІнГЗК) та бентонітові глини (НКГЗК);
- суглинки та червоно-бурі глини із розпушених розкривних порід кайнозою в якості цегляно-черепичної сировини та для рекультивації порушених земель.

Сучасні особливості комплексного освоєння залізородних і техногенних родовищ Кривбасу. Як визначено в попередньому розділі найбільш поширеними супутніми корисними копалинами залізородних родовищ Кривбасу, які при відпрацюванні складаються у відвали, утворюючи в сучасний або майбутній період техногенні родовища, є нерудна сировина для промисловості будівельних матеріалів. І в сучасний період комплексне використання надр розглядається як важливий напрямок ефективного ведення гірничодобувного бізнесу, але динамічність гірничо-технічних і економічних факторів може спричинити втрату промислової цінності таких об'єктів використання надр.

Першим прикладом розглянемо результати сучасної геолого-економічної оцінки відвалів скельних порід розкриття одного з залізородних родовищ, яка передбачалась для використання в якості щєбеневої сировини. Загальновідомо, що виробництво щєбеню супроводжується утворенням значної кількості побічного продукту, так званого відсіву. В залежності від родовища, якості корисної копалини і технології її видобутку та переробки, зокрема фракційності щєбеню, вихід відсіву може становити до 40 відсотків від маси сировини. Тому відсів 0:5 у будь-якому випадку і в значних кількостях утворюється на будь-якому підприємстві, що виробляє щєбінь. На нього йдуть відповідні витрати — від видобутку гірничої маси, транспортування, переробки і до, нарешті, складування, що вимагає дедалі більших затрат і площ. Подекуди ця проблема вже є стримуючим фактором виробництва власне щєбеню. Відсів може бути чудовим наповнювачем асфальтобетону. Але сьогодні ринку такої значної кількості відсіву для виробництва асфальтобетону не потрібно [unigran].

Доцільність виробництва щєбеневої сировини визначається наступними факторами: наявністю виробничих потужностей, потребами в данному виді сировини, можливістю транспортування, собівартістю виробництва і в решті решт вартістю самих запасів. Важливим критерієм промислової цінності супутніх і спільнозалегаючих корисних копалин Кривбасу є показники якості мінеральної сировини, які оцінювались в багатьох випадках ще за радянських часів. З того часу відбулись певні зміни в чинних ДСТУ та ТУ підприємств, які спричинили втрату вартості частини запасів супутніх корисних копалин через невідповідність технічним

вимогам. Це досить чітко ілюструється в порівнянні обсягів видобутку супутніх розкривних скельних порід на залізорудних родовищах і обсягів випуску товарного щебеню (табл. 2.5).

Таблиця 2.5.

Виробництво щебеню на ГЗК Кривбасу зі скельних порід розкриття рудних покладів

Рік	Виробництво щебеню, тис. м ³		
	Усього	У тому числі товарного	%
1989	2754,2	833,6 (або 30,3%)	100
2006	1185,8	52,6 (або 4,4%)	43

Крім цього видобування названих корисних копалин, виробництво продукції, яку неможливо реалізувати призводить до масштабного селективного складування сировини, відвалоутвоєння та відчуження значних площ родючих земель.

Таким чином, зміна зовнішніх економічних та гірничотехнічних умов розробки залізорудних родовищ спричиняє необхідність і доцільність проведення геолого-економічної переоцінки супутніх і спільнозалегаючих корисних копалин відповідно до сучасних вимог ринку і раціонального природокористування.

Геолого-економічна оцінка скельних порід розкриття Петрівського родовища. Петрівське залізорудне родовище розташоване в 1-2 км на південний захід від районного центру селища Петрове Кіровоградської області та в 30 км на північний захід від Центрального гірничо-збагачувального комбінату, сировинною базою якого воно є. У 1987-1991 роках Криворізькою ГРЕ була виконана детальна розвідка пухких і скельних розкривних порід родовища, якими встановлено, що породи скельного розкриття (мігматити біотит-плагіоклазові кіровоградського комплексу, гнейси плагіоклаз-біотитові родіонівської світи і гнейси плагіоклаз-амфібол-біотитові зеленоріченської світи) придатні для виробництва щебеню. За сумарною питомою активністю радіонуклідів чисті (без пегматитових дайок) мігматити південно-західної частини родовища були віднесені до першого класу гірських порід. Гнейси зеленоріченської світи можуть бути віднесені до другого класу

будівельних матеріалів, а гнейси родіонівської світи – до третього і четвертого класу. Після проведення переоцінки родовища в 1990-2000-х роках до балансових запасів зі всього комплексу кристалічних порід віднесені тільки мігматити. В останнє п'ятиріччя була проведена переоцінка запасів скельного розкриття Петрівського родовища (в тому числі і за складованих), яка дозволяє визначити промислову цінність супутніх корисних копалин даної ділянки надр.

Для визначення найбільш ефективного варіанту освоєння родовища використані порівняльні методи оцінки із використанням декількох варіантів розробки, які відрізнялись наступними умовами

1. Варіант, який передбачав розробку основної і супутньої корисної копалини із запланованим будівництвом комплексу із виробництва щебеню;
2. Варіант розробки родовища в умовах складування розкритих порід;
3. Варіант, який розглядав розробку виключно основної корисної копалини.

Перелічені варіанти мали однакові вихідні дані щодо запасів корисними копалинами і були відмінними у вихідних даних щодо техніко-економічних рішень їх освоєння.

Порівняння техніко-економічних розрахунків варіантів розробки Петрівського родовища з проектом будівництва щебеневого комплексу та без нього свідчать про недоцільність освоєння скельних розкритих порід родовища. Вартість запасів щебеневої сировини (мігматитів) має від'ємні вартісні показники і суттєво погіршують ефективність розробки родовища.

Головними факторами які впливають на промислове значення подібних супутніх або спільнозалягаючих корисних копалин є наступні:

1. Кон'юнктура ринку даної мінеральної сировини, зокрема, наявність попиту на продукцію даної якості;
2. Врахування екологічних наслідків не тільки у галузі використання надр, але й землекористування і інших складових довкілля.
3. Економічна ефективність розробки основної корисної копалини
4. Наявність технічних і технологічних рішень для ефективного освоєння корисної копалини

5. Вартість супутньої корисної копалини, яка визначається співставленням доходної і витратної частин її освоєння.

В даному випадку аналіз сировинної бази та ринку щебеневої сировини регіону (Дніпропетровської та Кіровоградської областей) довів, що запаси на території України є досить великими і значна їх частка припадає на Дніпропетровську та Кіровоградську області, оскільки в якості сировини використовують перш за все архейські і протерозойські інтрузивні, ультраметаморфічні, метаморфічні породи Українського щита – гранітоїди різного складу, сієніти, габро, лабрадорити, мігматити, гнейси, кристалічні сланці, амфіболіти, кварцити і пісковики. При цьому забезпеченість діючих підприємств розвіданими запасами знаходиться у межах 30 і більше років.

До найбільших підприємств Дніпропетровської області належать:

- Новопавлівське родовище (граніт) ВАТ "Новопавлівський гранкар'єр";
- Любимівське родовище Промислово-будівельна компанія «Придніпровський завод» ВАТ Любимівський кар'єр;
- Мишурино-Ризький кар'єр (граніт, габбро-анортозит).
- До найбільших підприємств Кіровоградської області належать:
- Власівське родовище(граніт) ЗАТ "Світловодське кар'єро-управління"
- Гайворонське родовище (мігматит) Держкорпорація «Укравтодор» ВАТ"Гайворонський кар'єр "
- Бантишівське родовище ВАТ «Новоукраїнський гранкар'єр»

Показники виробничої потужності та забезпеченості запасами названих об'єктів наведені на рис. 2.3 (при цьому показник забезпеченості запасами в 30 років означає зафіксовані значення «більше 30 років», оскільки в більшості випадків підприємства мають можливість значного приросту запасів промислових категорій).



Рис. 2.3. Показники виробничої потужності та забезпеченості запасами найбільших виробників щебеневої продукції Кіровоградської та Дніпропетровської областей (за даними ДНВП Геоінформ).

У 2009 році в регіоні підтверджуються очікувані прогнози щодо скорочення випуску щебеневої сировини. Як видно з наведених розрахунків діючі видобувні підприємства при існуючій сировинній базі мають на наступні десятиріччя практично невичерпні можливості для розвитку. У наступні роки, навіть десятиріччя, вплив на темпи зростання будуть мати чинники далекі від проблем наявності та обсягів сировинної бази. Забезпеченість запасами у роках набагато вища термінів, необхідних для економічних розрахунків доцільності та обсягів інвестицій у діючі підприємства з метою зростання обсягів їх виробництва.

Набагато більший вплив на розвиток ринку щебеневої сировини відіграють транспортні фактори. Даний вид корисних копалин за економічними класифікаціями належить до групи сировини зі значним розповсюдженням, дуже транспортмісткими, малотранспорتابельними. Тому доцільним є ґрунтовний аналіз впливу транспортних тарифів при ціноутворенні на щебеневу продукцію.

У той же час, аналіз ринку основних фондів (капіталів) показує, що створення виробничих потужностей в обсягах 500 тис. м³ на рік потребує чималих інвестицій 2,3-3,0 млн USD або 11,6- 15,2 млн грн з нечітко ясними перспективами збуту продукції.

Оцінка обсягів інвестицій у будівництво комплексу з виробництва щебеню засвідчила значні обсяги капіталовкладень при освоєнні скельних порід розкриву, які визначаються за наступними напрямками їх реалізації: 1) створення відвалів будівельної сировини; 2) кошти на відшкодування втрат сільськогосподарського виробництва при відчуженні землі; 3) інвестиції у будівництво комплексу з виробництва щебеню.

В результаті оцінки втрат сільськогосподарського виробництва при відчуженні земельних ділянок необхідних для створення відвалів будівельної сировини визначені необхідні площі (140 га) відчуження, оскільки у районі роботи кар'єру землі несільськогосподарського призначення відсутні. У зв'язку з відсутністю потужностей для переробки всього обсягу мігматитів на підприємстві необхідна організація складування щебеневої сировини. Необхідні для відведення землі є високопродуктивними чорноземами для сільськогосподарського виробництва. Відповідно до «Порядку визначення втрат сільськогосподарського і лісогосподарського виробництва, які підлягають відшкодуванню», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 1997 р. № 1279 норматив втрат сільсько-господарчого виробництва складає в регіоні – 82 тис. грн за 1 га. Втрати сільськогосподарського виробництва, спричинені вилученням сільськогосподарських угідь (ріллі, багаторічні насадження, сіножаті, пасовища) для використання їх у цілях, не пов'язаних із веденням сільського господарства, визначаються на основі нормативів цих втрат по областях, за формулою:

$$P_e = P_0 \times H_e \times B_0 / B_o \times K_{инт},$$

де P_e - розмір втрат сільськогосподарського виробництва, тис. грн;

P_0 - площа ділянки сільськогосподарських угідь, га;

H_e - норматив втрат сільськогосподарського виробництва, тис. грн;

B_0 - бал бонітету ділянки сільськогосподарських угідь, що вилучається;

B_o - бал бонітету сільськогосподарських угідь області;

K_{int} - коефіцієнт інтенсивності використання сільського сподарських угідь (відношення показника диференціального доходу оцінки ріллі землеоцінного району, в якому відводиться земельна ділянка, до аналогічного показника в цілому по області).

Приймаючи, що в оцінюваному районі показники врожайності, та інтенсивності використання аналогічні середнім по області, втрати сільськогосподарського виробництва від відчуження земель складуть 11460 тис. грн.

Оцінка капіталовкладень для створення і освоєння відвалів будівельної сировини включала наступні складові: проектування відвалів будівельної сировини, складання ОВНС, Державна та громадська екологічна експертиза, інвестиції у будівництво відвалів, інвестиції у закупівлю машин та механізмів, інвестиції для організації складування мігматитів, інвестиції у будівництво комплексу з виробництва щебеню.

Собівартість видобутку та транспортування розкритих і закладованих порід включала: орендну плату за землю при будівництві комплексу з виробництва щебеню та складування залишків мігматитів, власне витрати на видобуток і транспортування, обов'язкові платежі та податки, амортизаційні відрахування та ін.. Загалом показники повної собівартості виробництва при реалізації проекту будівництва щебеневого комплексу та складування мігматитів при розробці Петрівського родовища зростають за наступними статтями:

- Річні експлуатаційні витрати виробництва щебілки;
- Амортизаційні відрахування - в середньому на 2,6 млн грн./рік;
- Орендна плата за землю - 103,8 тис. грн./рік.

Дохід від реалізації товарної продукції визначався на основі оптових цін на щебенева сировину, які діють в поточному періоді. Оскільки за радіаційно-гігієнічними властивостями щебінь і відсів з мігматитів можуть використовуватися тільки в промисловому і дорожньому будівництві, аналіз проводився базуючись на можливості реалізації даної сировини.

Результати техніко-економічні розрахунків доцільності освоєння скельних розкритих порід Петрівського родовища (в тому числі за закладованих) та будівництва щебеневого комплексу наведені на рис. 2.4

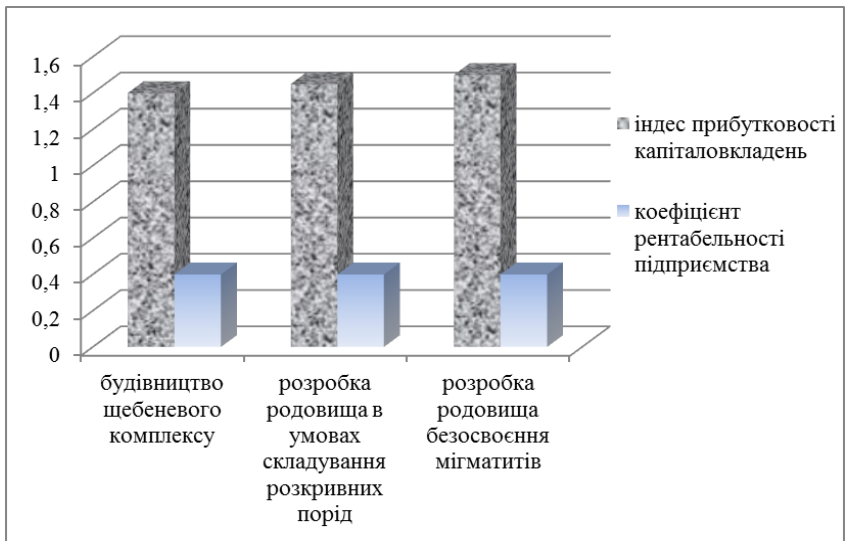


Рис. 2.4. Порівняння рентабельності варіантів розробки родовища та розкритих порід

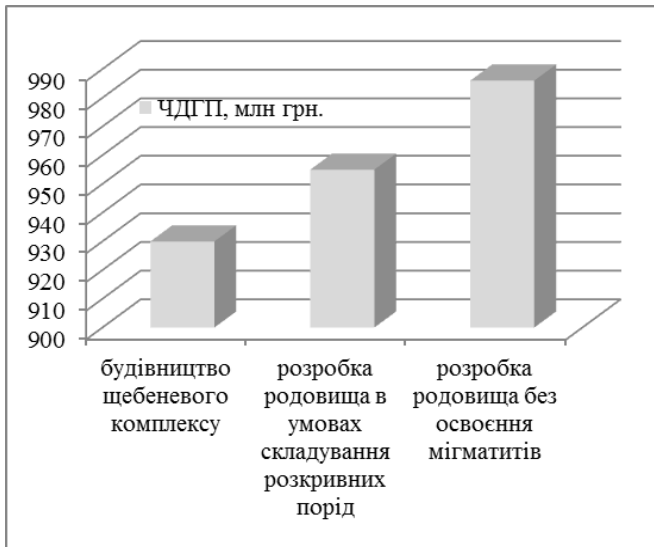


Рис. 2.5. Порівняння вартості запасів основної корисної копалини за варіантами освоєння родовища



Рис. 2.6. Порівняння капіталовкладень за варіантами освоєння родовища

Порівняння техніко-економічних розрахунків варіантів розробки Петрівського родовища з проектом будівництва щебеневого комплексу та без нього свідчать про недоцільність освоєння скельних розкривних порід Петрівського родовища. Як впливає з рис. 2.2 - 2.4 спостерігається значне зростання витратної частини – капіталовкладень, сумарних експлуатаційних витрат, повної собівартості за весь термін освоєння. Відповідно це призводить до погіршення доходної частини розрахунків (рис. 2.5). Виходячи з вище наведених розрахунків вартість запасів щебеневої сировини (мігматитів) має від’ємні вартісні показники (ЧДГП).

Оцінка вартості запасів основної корисної копалини родовища в умовах складування щебеневої сировини або її переробка на товарну продукцію дала змогу зробити наступні висновки:

1. Діючі підприємства в Кіровоградській та Дніпропетровській областях з виробництва щебеню при існуючій сировинній базі мають на наступні десятиріччя практично значні сировинні можливості для зростання.

2. Частка використання скельних розкривних порід гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу для виробництва щебеню мізерна і складає по окремих ГЗК від 0,1% до 2%. Майже вся вироблена щебінка використовується для власних потреб. Практично

сировинна база значна, але відсутній ринок збуту. З початку 2009 року підприємства регіону скоротили виробництво щебеню на 63,5% порівняно з аналогічним періодом минулого року.

3. Постійне зростання транспортних тарифів та цін суттєво зменшує темпи зростання ринків збуту щебеневої продукції, зменшує привабливість інвестицій у розширення діючого виробництва щебеню та унеможливорює створення нових виробництв щебеню.

4. Порівняння техніко-економічних розрахунків варіантів розробки Петрівського родовища з проектом будівництва щебеневого комплексу та без нього свідчать про недоцільність освоєння скельних розкривних порід Петрівського родовища. Виходячи з вище наведених розрахунків вартість запасів щебеневої сировини (мігматитів) має від'ємні вартісні показники (ЧДГП);

5. Окреме складування видобутих запасів мігматитів потребує:

- відчуження 140 га орних приватних земель, що практично є неможливим;
- додаткових інвестицій в розробку основної корисної копалини Петрівського родовища.

6. Складування видобутих запасів мігматитів призведе до:

- безповоротної втрати 140 га особливо цінних орних земель. Втрати сільськогосподарського виробництва внаслідок відчуження земель складуть понад 14 млн грн;
- зменшення вартості запасів основної корисної копалини – залізистих кварцитів;
- загальні втрати природокористування за діючими нормативними актами складуть понад 69 млн грн.

У зв'язку з відсутністю ринку збуту і збитковості окремого складування названої сировини її було рекомендовано списати з Державного балансу.

Це один з прикладів втрати промислового значення супутніх і спільнозалягаючих корисних копалин на залізорудних родовищах, які в даний час, як правило, складаються в окремих відвалах, створюючи додаткові негативні впливи на компоненти довкілля.

Геолого-економічна оцінка запасів гематит-кварцових шлаків техногенного родовища «Валявкінське хвостосховище». Валявкінське хвостосховище розташоване у м. Кривий Ріг Дніпропетровської області. Хвостосховище №2 (у подальшому

Валявкінське хвостосховище) було побудоване у зв'язку з заповненням хвостосховища №1, що розташовувалось у відпрацьованому кар'єрі №5 колишнього рудника ім. Ілліча, де в середині 20 століття здійснювався видобуток багатї гематитової руди. До теперішнього часу лежалі хвости хвостосховища №1 практично відпрацьовані. У період роботи ЦОФ здійснювалась екскавація хвостів нижнього накопичувача для шихтовки руди підземного видобутку перед збагаченням. Експлуатація Валявкінського хвостосховища почалась у серпні 1988 р. Скид відходів гематитової руди здійснювався з ЦОФ шахти «Північна» ім. В.А.Валявко самопливом через хвостопровод. Хвостозлив знаходився у північній частині хвостосховища. У південній частині розташовувався пруд освітленої води. Для її зворотнього закачування на ЦОФ був облаштований водозбірник і насосна станція. При будівництві Валявкінського хвостосховища були виконані всі необхідні природоохоронні вимоги, передбачені проектом. У теперішній час споруди і корпус збагачувальної фабрики порушені.

Спеціалізовані роботи з оцінки запасів і якості лежалих хвостів як залізорудної сировини, на об'єкті не проводились. Перші відомості про мінеральний і хімічний склад лежалих хвостів отримані УкрГІМР у 1995-1996 рр при оцінці золотоносності відходів збагачення залізних руд Кривбасу. У валовій технологічній пробі, що відібрана з лежалих хвостів Валявкінського хвостосховища, в його північній частині, був встановлений високий вміст заліза, зв'язаного майже повністю з гематитом. На лабораторних пробах були отримані позитивні результати зі збагачення гематит-кварцевих хвостів; при вмісті у вихідному $Fe_{\text{заг}}$ від 29 до 55% були отримані концентрати (вміст $Fe_{\text{заг}}$ 67,5%) при вилученні 60% і виході 35-45%. Це стало приводом для початку детального і технологічного вивчення лежалих хвостів Валявкінського хвостосховища.

Позитивними факторами, які визначили промислову цінність об'єкту на той час були: високорозвинута транспортна і енергетична інфраструктура, наявність висококваліфікованої робочої сили, забезпеченість енергетичними і водними ресурсами, а також близькість споживачів залізного концентрату.

Лежалі хвости Валявкінського сховища є гематит-кварцевим алевритами, темно-коричневого кольору з шаруватістю за рахунок прошарків з різним вмістом гематиту. Гранулометричний склад.

Відкладення, що складають хвостосховище, за гранулометричним складом відносяться до дрібноалевритових і глинистих порід.

Для технологічного переділу руд важливим критерієм цінності є розподіл заліза за гранулометричними класами. Оскільки відкладення є техногенними утвореннями і при їх осадженні в сховище відбувались процеси, обумовлені гідравлічною крупністю залізистих мінералів, то простежити і виявити чітку тенденцію розподілу заліза за класами крупності дуже складно. Хвости розподіляються на три класи крупності, що поєднують найменші гранулометричні класи. Клас більше 0,16 мм включає в основному зростки кварцу і гематиту, що заважає вилученню гематиту гравітаційними методами і збіднює гематитовий концентрат. Вміст класу $0,16 \pm \text{мм}$ не витримано за простяганням родовища і зменшується з північного сходу на південній захід.

Необхідність проведення геолого-економічної оцінки техногенного родовища «Валявкинське хвостосховище» обумовлено значною зміною фінансово-господарських умов діяльності надрокористувача та зміною нормативно-правової бази, на якій базується техніко-економічна частина останньої ГЕО. Результати проведеної роботи також дозволили визначити вплив динамічних факторів (кон'юнктури внутрішніх і зовнішніх ринків залізорудної сировини) та умов експлуатації родовища (гірничо-геологічних, зміною якісних і кількісних характеристик запасів) на економічну ефективність розробки родовища.

Промислового значення запаси даного родовища набули в 2006 році і розрахунок техніко-економічних показників того часу базувався на цінах і умовах визначеного періоду. Протягом останніх років значно змінились економічні передумови роботи гірничодобувних підприємств залізорудної галузі. За період 2007-2010 рр. на вітчизняних ГЗК було зафіксовано збільшення собівартості виробництва на 15-20 % щороку, при цьому ціни реалізації залізорудного концентрату зазнавали значних коливань не тільки в бік зростання.

Для вирішення проблеми подальшого освоєння гематит-кварцових шламів техногенного родовища (включення їх до складу продуктивної товщі родовища або визначення їх такими, що не мають промислового значення) проведені варіативні техніко-економічні розрахунки. ГЕО базується на проведених раніше

роботах з детального вивчення мінерального і хімічного складу, структурних і текстурних особливостей, збагачуваності корисної копалини, в результаті яких були визначені оптимальні технології видобутку і збагачення.

При попередньому затвердженні запасів як основна була прийнята гравітаційна схема збагачення шламів, при якій досягається отримання залізородного концентрату із вмістом заліза загального 65%. Показники виходу концентрату прийняті на рівні 22%. Також розглядалась можливість збагачення шламів за схемою з магнітною сепарацією, яка дозволила отримати кращі показники виходу концентрату і вилучення заліза в концентрат. Проте застосування такої схеми збагачення призводило б до зменшення вмісту корисного компоненту в концентраті до 63,8% заліза загального. Такі показники якості товарної продукції на даний час не є конкурентоспроможними і не мають попиту як на зовнішньому, так і на внутрішньому ринках. Економічні втрати у зв'язку з зменшенням вмісту заліза в концентраті та відсутність серійного обладнання для організації магнітної (поліградієнтної) схеми збагачення роблять її застосування збитковим.

За результатами техніко-економічних розрахунків промислове освоєння запасів гематит-кварцових шламів техногенного родовище «Валявкинське хвостосховище» характеризується відемними значеннями вартості запасів, майже нульовими значеннями рентабельності. Крім того визначений термін окупності капіталовкладень більше 10 років в декілька разів перевищує термін відпрацювання запасів, який складає 3,5 роки. Такі негативні результати спричинені наступними факторами:

- в першу чергу з технологічними показниками збагачення і виходу концентрату, які забезпечують невеликий обсяг товарної продукції (концентрату) та її невисоку якість порівняно з вимогами ринку;
- технічними рішенням щодо подальшого освоєння, яке пов'язано з значними витратами на розширення землевідводу, проектування, землеустрій нових хвостів, які утворюються після переробки запасів;
- економічними чинниками, які проявлені в значних коливаннях цін на залізородну продукцію протягом останнього десятиріччя, при чому як в бік зростання, так і стрімкого падіння.

Викладене вище дозволяє зробити наступні висновки:

1. Наведені характеристики Комплексності освоєння залізородних родовищ Кривбасу свідчать про великі можливості комплексного освоєння надр, які базуються на найбільш повному і раціональному використанні наявних ресурсів в межах певної ділянки надр. В першу чергу це стосується супутнього видобуття нерудної сировини (будівельних матеріалів) та розробки відходів гірничо-збагачувального виробництва.

2. Доцільність і раціональність певних видів комплексного освоєння надр (родовищ або техногенних об'єктів) визначається за результатами геолого-економічної оцінки або техніко-економічного обґрунтування таких напрямків, які проводять із врахуванням раціонального використання інших видів природного середовища.

3. Комплексне використання мінеральних ресурсів на початкових етапах (в 1970-80-х рр.) покращувало техніко-економічні показники роботи гірничодобувних підприємств, в основному за рахунок збільшення об'єму виробництва та номенклатури товарної продукції.

4. В умовах сучасних ринкових умов господарювання промислове значення об'єктів користування надрами, в тому числі і техногенних родовищ, визначається не тільки якісними і кількісними, але й вартісними характеристиками запасів корисних копалин. Промислове значення техногенних об'єктів повинно визначатись з врахуванням всіх геологічних, гірничотехнічних, технологічних і екологічних критеріїв і із врахуванням раціонального використання інших видів природного середовища.

5. Вартість запасів природних і техногенних родовищ, відходів гірничо-збагачувальних підприємств залежить від:

- a. кон'юнктури ринку даної мінеральної сировини, зокрема, наявність попиту на продукцію даної якості;
- b. екологічних наслідків не тільки у галузі використання надр, але й земель і інших складових довікілля.
- c. економічної ефективності розробки основної корисної копалини родовища (основного виробництва гірничого підприємства);
- d. наявності технічних і технологічних рішень для ефективного освоєння сировини.

Глава 3.

МІНЕРАЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ЗБАГАЧЕННЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

Мінералогія порід і залізних руд Кривбасу добре вивчена та висвітлена в численних публікаціях [2, 28, 56, 58, 62, 65, 77 і ін.]. Мінерали у відходах видобутку і збагачення руд ті ж самі, що у породах і рудах у їх природному заляганні, тільки більше змінені процесами вивітрювання. В меншій мірі досліджена мінералогія залізовмісних відходів металургійного комплексу. Тому їх збагачення та повторне використання досі не стало ні комплексним, ні ефективним. Наведений у розділі матеріал є скромною спробою автора виправити становище, звернувши увагу технологів на визначальне значення для переробної індустрії саме мінерального складу руд.

3.1. Мінерали відходів металургійного комплексу

У складі головних відходів металургійних підприємств Кривбасу встановлено біля 70 мінеральних видів (табл. 3.1) [36, 38].

Таблиця 3.1

Мінерали *, визначені у складі металургійних відходів
Криворізького металургійного комбінату

Клас	Мінерал, формула, сингонія	Пил і шлами	Шлаки
1	2	3	4
прості речо- вини	залізо металеве, α -Fe, куб.	рідкісний	головний
	графіт, C, гексагон.	головний	рідкісний
	золото, Au, куб.	рідкісний**	рідкісний
окиси і гідроокиси	вюстит, FeO, куб.	головний	головний
	магнетит, Fe_3O_4 , куб.	головний	головний
	магнезіоферит, $MgFe_2O_4$, куб.	рідкісний	н/в
	франклініт, $ZnFe_2O_4$, куб.	рідкісний	н/в

1	2	3	4
окиси і гідроокиси	гематит, Fe_2O_3 , тригон.	головний	головний
	дисперсний гематит, Fe_2O_3 , тригон	рідкісний	рідкісний
	магеміт, Fe_2O_3 , куб.	головний	другорядний
	гетит, $\text{FeO}(\text{OH})$, ромб.	головний	другорядний
	дисперсний гетит, $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$	другорядний	другорядний
	лепідокрокит, $\text{FeO}(\text{OH})$, ромб.	рідкісний	рідкісний
	цинкіт, ZnO , гексагон.	рідкісний	н/в
	герциніт, FeAl_2O_4 , куб.	другорядний	головний
	шпінель, MgAl_2O_4 , куб.	рідкісний	другорядний
	браунмілерит, $\text{Ca}_2\text{FeAlO}_5$, ромб.	другорядний	другорядний
	сребродольскіт, $\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_5$, ромб.	рідкісний	рідкісний
	однокальцієвий ферит***, CaFe_2O_4 , ромб.	другорядний	головний
	напівкальцієвий ферит*** CaFe_4O_7	другорядний	головний
	кварц, SiO_2 , тригон.	другорядний	другорядний
	α -тридиміт, SiO_2 , ромб.	другорядний	головний
	β -тридиміт, SiO_2 , гексагон.	другорядний	головний
	α -кристобаліт, SiO_2 , тетрагон.	другорядний	головний
	β -кристобаліт, SiO_2 , куб.	другорядний	головний
	халцедон, SiO_2 , тригон.	рідкісний	рідкісний
	опал, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	рідкісний	рідкісний
	периклаз, MgO , куб.	н/в	рідкісний
	вапно, CaO , куб.	н/в	рідкісний
портландит, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, тригон.	рідкісний	рідкісний	
силікати	олівін, $(\text{Fe}, \text{Mg})_2[\text{SiO}_4]$, ромб.	рідкісний	другорядний
	анортит, $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, трикл.	рідкісний	н/в
	ортоклаз, $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, монокл.	рідкісний	н/в
	ларніт, $\beta\text{-Ca}_2[\text{SiO}_4]$, монокл.	рідкісний	другорядний
	мервініт, $\text{Ca}_3\text{Mg}[\text{SiO}_4]_3$, монокл.	рідкісний	другорядний
	хатрюрит, Ca_3SiO_5 , тригон.	н/в	другорядний
	бредігіт, $\alpha\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$, ромб.	н/в	другорядний
	діопсид, $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, монокл.	рідкісний	другорядний
	геденбергіт, $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, монокл.	рідкісний	рідкісний
	актиноліт, $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$, монокл.	рідкісний	рідкісний
	куммінгтоніт, $(\text{Mg}, \text{Fe})_7[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$, монокл.	рідкісний	рідкісний

1	2	3	4
силікати	турмалін, тригон., (Na,Ca)Mg ₃ [Al ₆ B ₃ Si ₆ O ₂₇](OH) ₄ .	рідкісний	рідкісний
	біотит, K(Mg,Fe) ₃ [AlSi ₃]O ₁₀ (OH) ₂ , монокл.	рідкісний	рідкісний
	серпентин, Mg ₆ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₈ , тригон.	рідкісний	рідкісний
	епідот, (Ca,Ce) ₂ (Al,Fe) ₃ [SiO ₄] [Si ₂ O ₇], монокл.	н/в	рідкісний
	хлорит (шамозіт), монокл. Fe ₄ (Fe,Al) ₂ (Si,Al) ₂ Si ₂ O ₁₀ (OH) ₈ .	н/в	н/в
	каолініт, Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ , монокл.	рідкісний	рідкісний
	монтморилоніт, трикл., (Ca,Na)(Mg,Fe) ₂ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₂ ·nH ₂ O	рідкісний	рідкісний
	монтичеліт, MgCa[SiO ₄], ромб.	н/в	рідкісний
	кірштейніт, FeCa[SiO ₄], ромб.	н/в	рідкісний
	муліт, Al ₂ SiO ₅ , ромб.	н/в	рідкісний
карбонати	кальцит, CaCO ₃ , тригон.	другорядний	другорядний
	арагоніт, CaCO ₃ , ромб.	рідкісний	рідкісний
	сидерит, FeCO ₃ , тригон.	другорядний	рідкісний
	доломіт, CaMg[CO ₃] ₂ , тригон.	рідкісний	рідкісний
	церусіт, PbCO ₃ , ромб.	рідкісний	н/в
	смітсоніт, ZnCO ₃ , тригон.	рідкісний	н/в
	магнезит, MgCO ₃ , тригон.	н/в	другорядний
сульфати	ангідрит, CaSO ₄ , ромб.	рідкісний	н/в
	гіпс, Ca[SO ₄]·nH ₂ O, моноклін.	рідкісний	рідкісний
	язозіт, KFe ₃ [SO ₄] ₂ (OH) ₆ , тригон.	рідкісний	рідкісний
галогеніди	галіт, NaCl, куб.	рідкісний	н/в
	сильвін, KCl, куб.	рідкісний	н/в
карбіди	когеніт, Fe ₃ C, ромб	рідкісний	другорядний
сульфіди	пірит, FeS ₂ , куб.	н/в	рідкісний
	піротин, Fe _{0,95} S, моноклін.	н/в	рідкісний
	халькопірит, CuFeS ₂ , тетрагон.	н/в	рідкісний
	ольдгаміт, CaS, куб.	н/в	рідкісний
фосфати	оксіяпатит, Ca ₅ [PO ₄] ₃ (Cl,F,OH), гексагон.	н/в	рідкісний

* - головні – з вмістом >10%; другорядні з вмістом від 10% до 1%; рідкісні з вмістом <1%; н.в. - не встановлені;

** - за даними мінераграфічних спостережень та спектроскопометричного аналізу;

*** - кристалічні фази штучного походження.

За кількістю мінеральних видів у складі металургійного пилу і шламів найбільш поширені оксиди і гідроксиди. Самородні елементи і карбіди зустрічаються в шламах і шлаках; карбонати, сульфати та галогеніди – в шламах; сульфіді і фосфати встановлені лише в шлаках. За відносним вмістом у даних продуктах, аналогічно природним утворенням, мінерали поділяються на три групи: головні, другорядні і рідкісні (акцесорні) (див. табл. 3.1).

Походження мінералів у відходах підприємств різне. Частина з них потрапила до відходів з жаростійкої футеровки металургійних агрегатів та флюсів [7, 22, 36]. Це високотемпературні тугоплавкі мінерали, віднесені до групи реліктових. Головна маса мінералів металургійних шламів і шлаків утворилася при охолодженні і кристалізації металургійних розплавів та газів. Нарешті, протягом часу накопичення і зберігання відходів утворилася асоціація гіпергенних мінералів. Різні за генезисом мінерали повністю формують технологічні властивості промислових відходів як комплексної сировини природно-техногенного походження. Її мінеральний склад визначає також масштаби розповсюдження шлаку, шламів, пилу у навколишньому середовищі і вплив на стан довкілля. Тому мінералогічні дослідження промислових відходів набувають в сучасних умовах важливого наукового і прикладного значення [27, 70, 86, 103, 97].

3.1.1. Морфологія мінеральних індивідів і агрегатів у складі промислових відходів

Морфологія і внутрішня будова індивідів і агрегатів є важливими інформативними параметрами мінералів. В них знайшли відображення найголовніші етапи онтогенії: зародження, ріст і знищення (перетворення) мінералів в умовах постійної зміни стану мінералоутворюючого середовища [19, 73]. Слід визнати недостатній рівень дослідження онтогенії мінералів, що знаходяться у відходах металургійного виробництва.

Індивіди.

Ідіоморфні кристали характерні для багатьох мінеральних складових промислових відходів: тридиміту, шпінелі, магнетиту, силікатів кальцію і інших мінералів. Вони кристалізуються на ранній стадії охолодження металургійного розплаву і газів. При зберіганні

відходів у відвалах і шламосховищах природні і техногенні мінерали заміщуються асоціацією гіпергенних мінералів, серед яких також зустрічаються ідіоморфні кристали.

Високотемпературний тридиміт в шлаках металургійного виробництва має вигляд дрібних ідіоморфних включень в кристалах магнетиту. Іноді він утворює зростки з діопсидом. Анатомія індивідів тридиміту ускладнена клиноподібними двійниками (рис. 3.1а). Кальцієві силікати утворюють різноманітні за формою ідіоморфні кристали: видовжені, таблитчасті, дископодібні, коротко стовбчасті, ізометричні (рис. 3.1б). Ідіоморфізм тридиміту і силікату кальцію свідчить про ранню кристалізацію їх по відношенню до рудних мінералів шлаку.

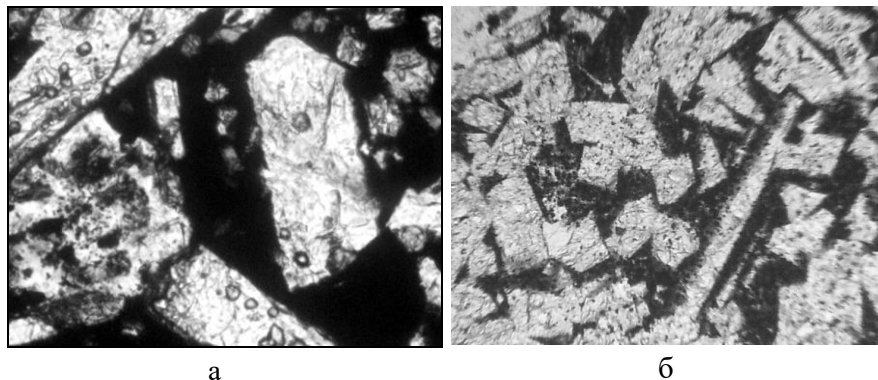


Рис. 3.1. Ідіоморфні кристали з шлаку мартенівського цеху: а - високотемпературний тридиміт (біле) у вигляді включень в масі магнетиту (чорне). Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення $140\times$. б - силікат кальцію (біле) в залізо-силікатному склі (чорне). Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення $100\times$.

У відходах агломераційного і доменного виробництва можна спостерігати ідіоморфні октаедричні кристали магнетиту зі складу залізорудної сировини (рис. 3.2 а). Вони потрапили до металургійних агрегатів, але не були переплавлені, зберегли свій первинний вигляд і знову потрапили до навколишнього середовища. Такі приклади свідчать про недосконалість діючих технологій та нераціональне використання природних ресурсів, значний відсоток яких передбачено відноситься до втрат металургійного виробництва.

Велика кількість ідіоморфних кристалів складають надзвичайно дрібнозернистий пил сталеплавильних агрегатів: мартенівських печей та конверторів. У складі даних відходів діагностовано магнетит, франклініт, цинкіт, графіт та інші мінерали (рис. 3.2 б). Масове утворення дрібних «мікронних» кристалічних індивідів, в асоціації з кульками охолодженого розплаву свідчить про кристалізацію безпосередньо з металургійного газу, до складу якого входять кисень, продукти згорання коксу, а також пари металів: Fe, Mn, Zn тощо. Температура процесу сягає 1750-2000 °С, а динамічний стан мінералоутворюючого середовища відповідає умовам вихрового потоку [67, 114].

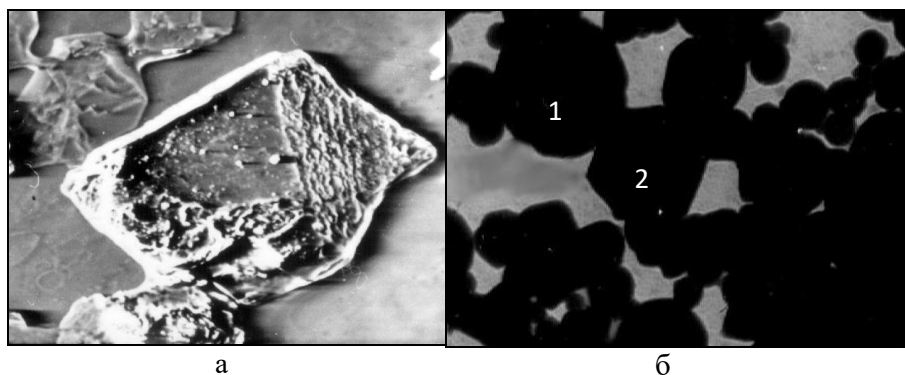


Рис. 3.2. Ідіоморфні кристали у складі металургійних відходів: а - октаедр магнетиту зі скульптурами росту на гранях {111}. Шлам мокрої газоочистки агломераційного цеху. Растровий електронний мікроскоп, збільшення 340^х. б – Морфологія частинок в шламах газоочистки мартенівського цеху. Помітні кулясті та полігональні виділення магнетиту, магнезіофериту і франклініту (1), а також цинкіту (2). Електронна мікроскопія. Репліка з вилученням, збільшення 22000^х.

Поряд з добре огранованими індивідами до металургійних відходів потрапляють також *ідіоморфні монокристалічні кулі*. Серед них домінують силікати та окиси (рис. 3.3а, 3.3б), рідше зустрічаються мінерали з інших класів. Частина округлих виділень регенерована кіркою магнетиту та інших мінералів (рис. 3.3в) [41].

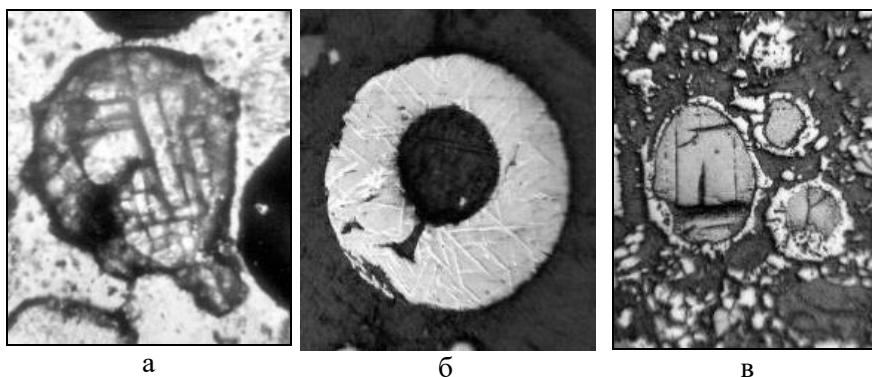


Рис. 3.3. Кулясті монокристали: а - діопсиду, утвореного внаслідок розкристалізації краплі відповідного за складом силікатного розплаву. В його центрі помітні тріщинки спайності під кутом 87° . Чорне – кулясті зерна рудних мінералів. Шлам акумулюючої ємності. Прозорий шліф, збільшення 390^{\times} . б - Мартитизований магнетит з газовою порожниною в центральній частині кулястого зерна. Шлак мартенівського цеху. Полірований шліф, збільшення 160^{\times} . в - Наростання магнетиту (світло-сіре) на поверхні кулястих (внаслідок часткового розплавлення) зерен периклазу (сіре) в силікатній масі (темно-сіре) шлаку. Полірований шліф, збільшення 90^{\times} .

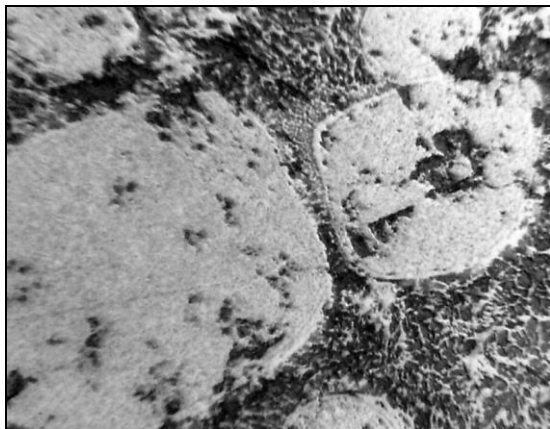
Формуванню кулястих утворень передувала ліквідація металургійного розплаву на металеву й силікатну складові. Значна частина металевих крапель залишилась у складі рідкого шлаку. В результаті їх охолодження і кристалізації виникли кристали і агрегати рудних мінералів, що успадковують зовнішню форму куль. Трапляються індивіди з однією чи кількома газовими порожнинами. Вони можуть свідчити на користь мінералоутворення в достатньо динамічних умовах виплавки металу. Відокремлення рідкого шлаку захоплюються потужним пило-газовим потоком, охолоджуються в газоочисних апаратах і транспортуються в шламосховища. При їх охолодженні теж утворюються кулясті індивіди (см. рис. 3.3б).

Округлі та яйцеподібні індивіди периклазу та інших жаростійких мінералів, утворилися внаслідок руйнування і часткового оплавлення часточок жаростійкої футеровки доменних та сталеплавильних печей, зруйнованої під час металургійної плавки.

Ріст мінералів шлаку супроводжується утворенням зональних індивідів. Так, внутрішня будова кристалів магнетиту неоднорідна,

характеризується великою кількістю порот і включень частково розкристалізованого (девітрифікованого) скла. Периферійна малопотужна зона, навпаки, має вигляд щільної кірки, сформованої в умовах регенерації раніше частково розплавлених зерен. На кінцевих етапах кристалізації розплаву виникли видовжені мікроліти і розгалужені сітчасті агрегати рудних мінералів. Присутність їх свідчить про швидке підвищення в'язкості середовища, обумовлене переходом шлаку до твердого стану після розвантаження його у відвал (рис. 3.4). Заокруглені форми граней, ребер і вершин свідчать про часткове розплавлення кристалів, яке періодично змінювало процес росту. Виникнення мережі дрібних ксеноморфних кристалів заважає виділенню рудних мінералів із зростків. Тому частина оксидів заліза втрачається у відходах збагачення металургійного шламу і шламу.

Рис. 3.4. Дві генерації магнетиту (світло-сіре) у складі металургійного шлаку: 1) - ідіоморфні кристали; 2) - мікроліти у силікатному склі (чорне). Полірований шліф, збільшення 340^x.



Умови швидкого охолодження металургійного розплаву сприятливі для утворення скелетних кристалів [19, 56, 73]. В кислих та в'язких мартенівських шлаках скелетні кристали найчастіше асоціюють з металургійним склом (рис. 3.5). В основних, збагачених флюсуєчим вапном, доменних і конвертерних шлаках, а також в умовах агломераційного виробництва скелетні кристали виникають у повністю розкристалізованій масі феритів кальцію. Скелетний ріст відносно крупних кристалів герциніту приводить до утворення футляроподібних індивідів. Пустоти в них виповнюються склом або дрібнозернистим агрегатом мінералів шлаку. Спостерігаються кілька

генерацій скелетних кристалів, що свідчить про неодноразове різке зниження температури під час їх утворення.

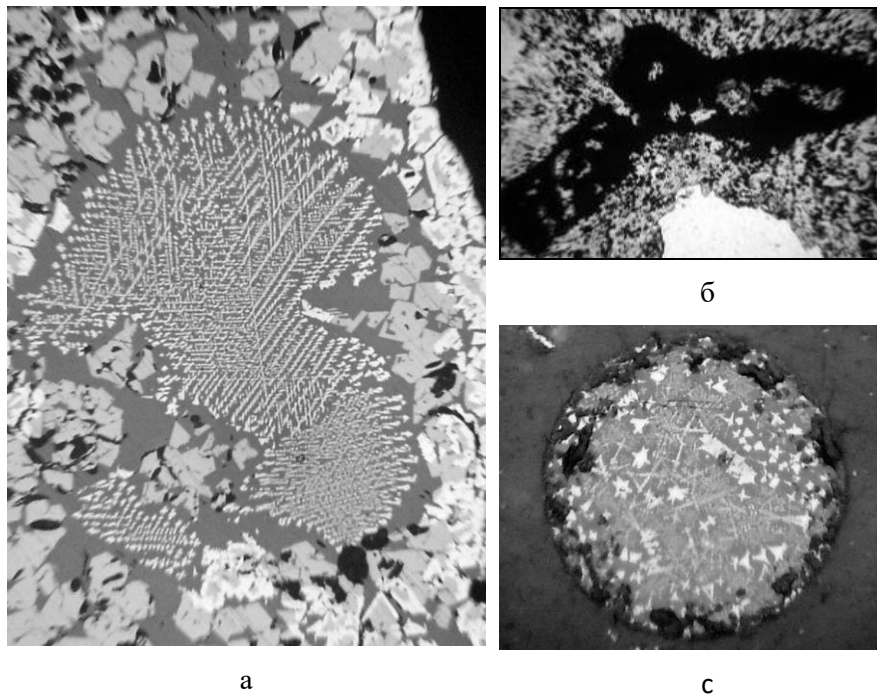


Рис. 3.5. Скелетні кристали рудних мінералів у складі металургійних шламів і шлаків: а - магнетит (сіре) у вигляді ідіоморфних октаедричних і скелетних кристалів, частково заміщених з периферії гематитом (світло-сіре). Основна маса шлаку представлена силікатним склом (темно-сіре). Полірований шліф, збільшення 90^{\times} . б - Футляроподібні кристали герциніту (чорне) у зростках з силікатами кальцію (світло-сіре). Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення 30^{\times} . в - Куляста часточка силікатного скла (темно-сіре) зі скелетними кристалами і мікролитами мвртитизованого магнетиту (світло-сіре). Металургійний шлам. Полірований шліф, збільшення 200^{\times} .

З металургійним склом асоціюють також розщеплені кристали кальцієвих силікатів, феритів кальцію тощо (рис. 3.6). На ранніх етапах росту вони утворюють звичайні кристали, але зі збільшенням градієнту падіння температури розщеплюються в ділянках вершин з утворенням великої кількості «незалежних» мікрочастин. Швидко

оохолодження мінералоутворюючого середовища привело до появи в зонах активного росту вершинних форм кальцієвого силікату пилоподібних мікрористалів рудного мінералу. Можливо вони і слугували безпосередньою причиною і «ініціатором» розщеплення.

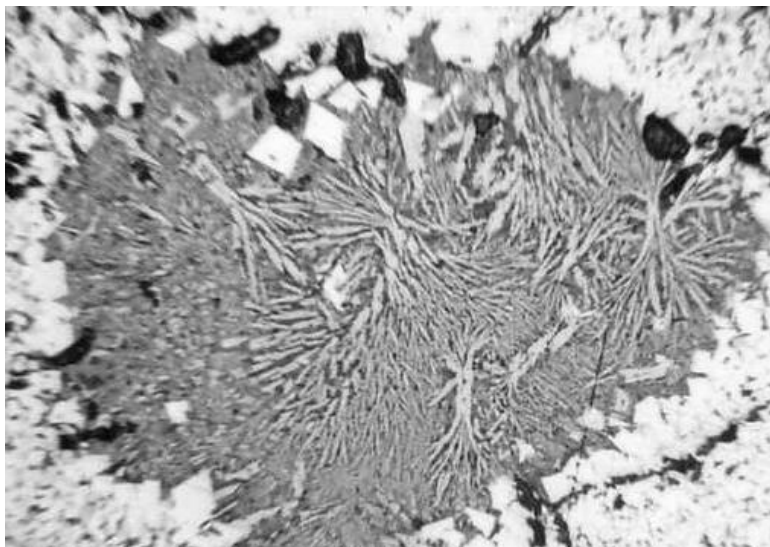


Рис. 3.6. Розщеплені кристали силікатів кальцію (світло-сіре) у склі (темно-сіре). Біле – гематит і магнетит. Відходи виробництва офлюсованого залізородного агломерату. Полірований шліф, збільшення $120\times$.

Анатомія мінеральних індивідів у складі промислових відходів досить складна. Для них характерні різноманітні вклучення, зональність, сектори росту, двійники, дефекти структури і інші неоднорідності. Вклучення в силікатах представлені в основному, дрібними кристалами рудних мінералів, які кристалізувались раніше, або одночасно з кристалом-хазяїном (рис. 3.7). З технологічної точки зору, вони погіршують збагачуваність відходів, збільшуючи втрати заліза у хвостах збагачення і вміст нерудних мінералів у залізородному концентраті.

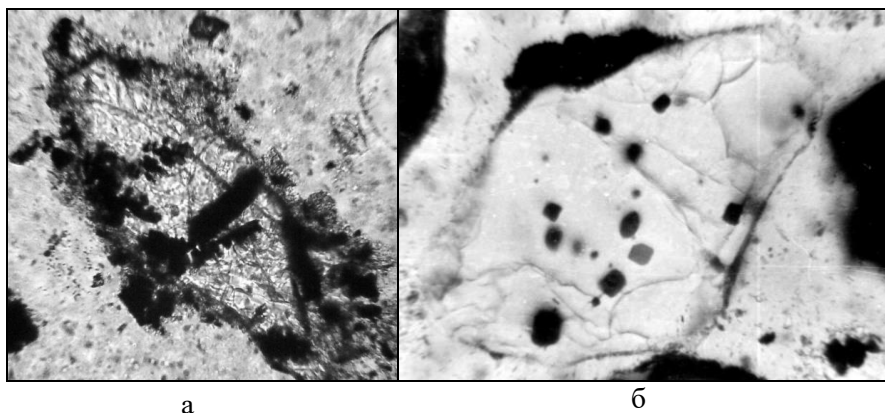


Рис. 3.7. Включення та проростання мінералів: а – ромбічний кристал олівіну з включеннями, наростаннями та проростаннями рудних мінералів. Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення 100^{\times} . б - Реліктове зерно природного кварцу (світло-сіре) з агломераційної руди з численними включеннями ідіоморфних кристалів магнетиту (чорне) та гідрогематиту (сіре). Шлам агломераційного цеху. Прозорий шліф, збільшення 120^{\times} .

Зональна будова характерна для більшості мінералів промислових відходів. Вона проявляється у наявності зон різного складу і властивостей в межах одного мінерального індивіду і відображає зміну хімічного складу мінералоутворюючого середовищ. Від центральних ділянок кристалів до периферії поступово зменшується мікротвердість магнетиту. Вивчення відбивної здатності індивідів магнетиту теж свідчить про їх зональну будову. У центральних ділянках кристалів вона зменшується до 14-16 і наближається до значень відбивної здатності герциніту, з яким магнетит має поступові переходи. На периферії відбивна здатність рудного зерна збільшується до 24-26, у зв'язку з розвитком гіпергенного мартиту. В інших ділянках R знаходиться на звичайному для магнетиту рівні 19-21 [94].

Зональність індивідів герциніту і феритів кальцію проявляється у нерівномірному забарвленні їх іонами-хромофорами Fe^{3+} . Герциніт має найбільш густе забарвлення у периферійних зонах кристалів, а ферити кальції – у центральних.

Двійники характерні для багатьох мінералів і їх штучних аналогів. Проте закони двійникування у них різні. Полісинтетичні

двійники поширені в кристалах силікатів кальцію. Ширина двійникових індивідів зростає при збільшенні співвідношення Ca/Si у складі мінералу. Прості двійники мервиніту іноді мають форму «хвоста ластівки». Двійники допомагають діагностувати окремі мінерали металургійних відходів. Так, характерною ознакою кристалів високотемпературного тридиміту є дрібні клиноподібні двійники, помітні навіть при одному ніколі (див. рис. 3.1а). В інших мінералах вони не зустрічаються.

При достатньо великому збільшенні мікроскопу вузькі двійникові смуги спостерігаються в кристалах напівкальцієвого фериту (додатки, рис. 3), тоді як у схожого браунмілериту вони відсутні. Прості двійники проявляються у видовжених кристалах напівкальцієвого фериту, діопсиду, кристобаліту та інших мінералів.

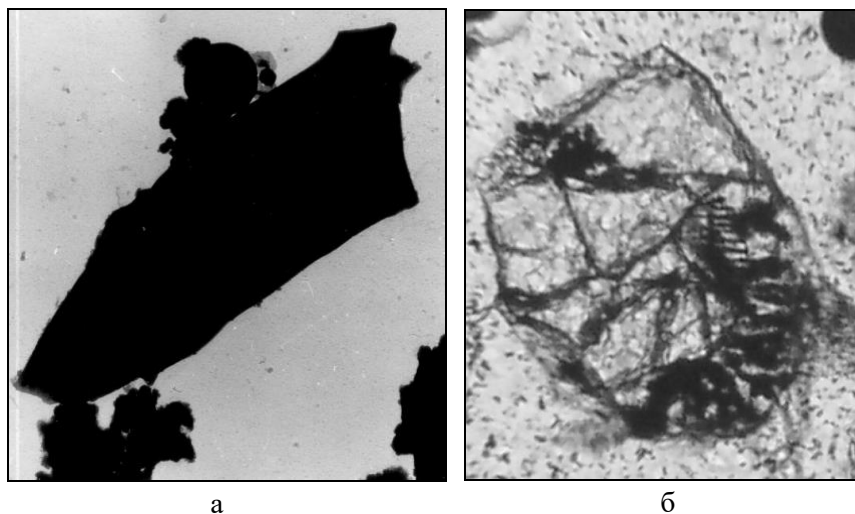


Рис. 3.8. Часткове руйнування індивідів кристобаліту: а - кутастий уламок зі сферичними агрегатами магнетиту та тонкими лускуватими кристалами графіту на його поверхні. Електронний мікроскоп. Репліка з вилучення, збільшення 15000^{\times} . б - Розтрісканий кристал тридиміту. По тріщинках у ньому розвиваються вторинні включення оксидів і гідрооксидів заліза і марганцю у вигляді плівок, дендритів і скелетних кристалів. Прозорий шліф. Ніколі паралельні, збільшення 90^{\times} .

Поряд з ідіоморфними кристалами у відходах металургійних підприємств знаходяться неправильної форми ксеноморфні зерна.

Прикладом їх можуть слугувати розтріскані кристали і уламки кристалів кварцу, тридиміту, кристобаліту (див. рис. 3.8). Рушійною силою дезінтеграції в даному випадку виступили поліморфні перетворення мінералів кремнезему. Вони здійснюються під час зниження температури середовища і супроводжуються збільшенням об'єму до 20% [88, 98]. Внаслідок цього індивіди розтріскуються і інтенсивно заміщуються гіпергенними мінералами.

Агрегати.

На стадії кристалізації металургійного розплаву, в газопиловому потоці, під час зберігання у відвалі чи шламосховищі виникають різноманітні мінеральні агрегати. Вивчення їх дозволяє пізнати умови утворення і зміни, прогнозувати збагачуваність і вплив на навколишнє середовище продуктів техногенезу. У складі металургійних відходів найбільш поширені кулясті, зернисті і натічні агрегати, графічні і гломерокристалічні зростки, дендрити, жеоди, кірки, щітки тощо.

Кулясті агрегати техногенного походження у відходах металургійного виробництва мають розмір від 1-2 мкм до 6-7 см, домінують частки менше 1 мм. Найдрібніші з них характерні для пилу і шлаків мартенівських і конвертерних печей (додатки, рис. 4 а), а найбільші за розміром округлі утворення (глиняні «котуни») виявлені у техногенно-осадових покладах шламосховищ (додатки, рис. 4 б).

Зустрічаються округлі агрегати різноманітної форми: кулі, краплі, глобули, яйцеподібні або сплюснені жовна. За внутрішньою будовою розрізняються щільні однорідні, зональні, радіально-променисті, плутано-волокнисті, порожнисті (з одним або кількома газовими пухирцями). Агрегати складені багатьма техногенними і природними мінералами. Серед них встановлені: металічне залізо, графіт, вюстит, магнетит, гематит, ферити кальцію, гетит, олівін, діопсид, мінерали групи кварцу, глинисті мінерали, силікати кальцію, шпінель, а також силікатне і залізо-силікатне скло. Переважають полімінеральні часточки. Більшість з наведених мінералів зароджуються самовільно з розплаву.

Формуванню кулястих утворень передувала ліквідація металургійного розплаву на металеву і силікатну рідину. Завдяки їй у складі шлаку утворилися кулясті відокремлення заліза, а до металу потрапляють відповідної форми силікатні частки (рис. 3.9).

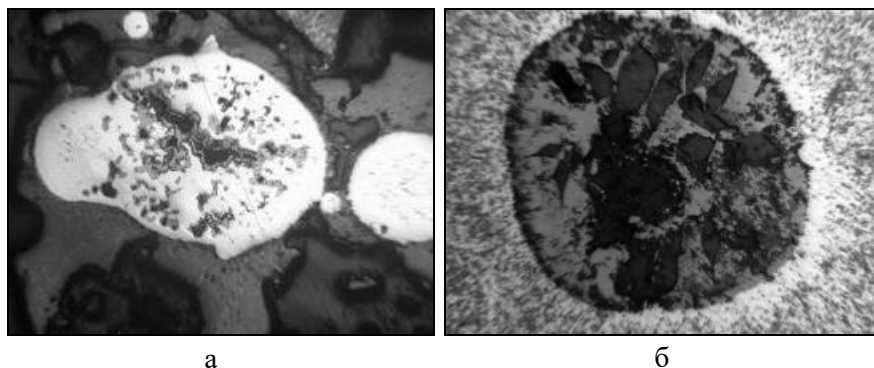


Рис. 3.9. Кулясті агрегати у складі металургійного шлаку: а - глобули металевго заліза (біле) з шлаку мартенівського цеху. У центрі – інкрустована вюститом (сіре) газова порожнина. Полірований шліф, збільшення 55^{\times} . б - Кулясте включення фаяліту (темно-сіре) і вюститу (сіре) в зерні металу. Там же. Полірований шліф, збільшення 460^{\times} .

Кулясті зернисті (однорідні) і зональні виділення характерні для металевго заліза, когеніту і оксидів заліза, що утворились внаслідок ліквіації рідкого шлаку (рис. 3.10, 3.11). Спочатку вони склалися з металевго заліза і когеніту, потім були окислені до вюститу, магнетиту і маггеміту. Різна ступінь насиченості розплаву киснем приводить до утворення кулястих зерен металевго, магнетитового, гематитового, або вюститового складу. Зі збагаченого кальцієм офлюсованого рідкого шлаку кристалізуються кулі, утворені видовженими кристалами фериту кальцію (рис. 3.10в).

Магнетит також утворюється при високотемпературному окисненні заліза і успадковує від нього кулясту форму. Перехідною фазою між металевим залізом і магнетитом є вюстит. Тому виділення заліза у складі металургійних шлаків мають зональну будову. В центральній частині знаходиться металеве залізо. Наступна зона складається з вюститу, а у периферійних ділянках знаходимо магнетит (рис. 3.11б)

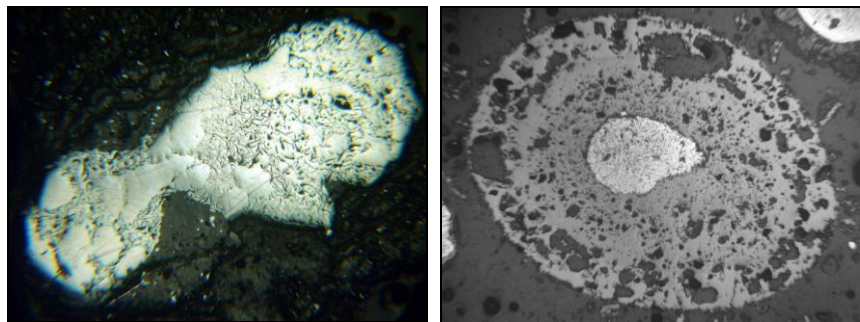


а

б

в

Рис. 3.10. Кулясті агрегати мінералів заліза у складі металургійних шламів: а - металевого заліза (біле) в асоціації з кристалами вюститу (сіре). Полірований шліф, збільшення 200^{\times} . б - Куляста пориста часточка вюститу. Полірований шліф. Збільшення 200^{\times} . в - Округлі агрегати тичкуватих кристалів фериту кальцію (сірі видовжені кристали в центрі), металевого заліза (біле), магнетиту, гематиту та гідроокисів заліза (сіре різних відтінків). Полірований шліф, збільшення 260^{\times} .



а

б

Рис. 3.11. Кулястий однорідний (а) і зональний (б) агрегати металевого заліза (біле), магнетиту і вюститу (сіре). Полірований шліф, збільшення: а - 80^{\times} ; б - 250^{\times} .

Різновидом такого способу зародження є охолодження і кристалізація краплин розплаву, захоплених пило-газовим потоком у газоочисній системі металургійних установок. Найчастіше в таких умовах кристалізуються порожнисті кулі магнетиту, вюститу, гематиту. Вони утворюються на поверхні одної або кількох газових

куль, успадковуючи їх форму. Мінерали у складі сфери формують зернистий агрегат, Рідше куля складаються з монокристалу (див. рис. 3.3б). В даних умовах утворюються також щільні і порожнисті скляні кулі (рис. 3.12).

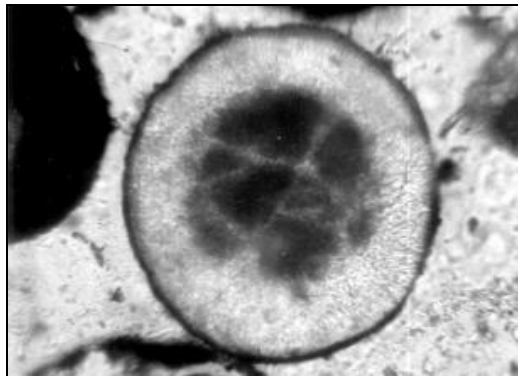


Рис. 3.12. Кулясте зерно залізо-силікатного скла з рудними пилоподібними включеннями, які виникли в гіпергенних умовах у результаті виділення «надлишкового» заліза. Металургійний шлак. Прозорий шліф, збільшення 180^x.

Внутрішня будова куль однорідна, зональна, радіально-промениста. Зональні частки мають полімінеральний склад. Кількість зон невелика (2-3) і відповідає числу мінеральних фаз у складі агрегату. Деякі з них утворились внаслідок наростання рудних мінералів на поверхні частково обплавлених зерен периклазу, шпінелі і інших тугоплавких мінералів (див. рис. 3.3в), які потрапляють у рідкий шлак внаслідок повільного руйнування жаростійкої футеровки металургійних печей [59]. Куляста форма реліктових виділень, ймовірно, утворилась внаслідок розплавлення, або розчинення, яке насамперед проявляється на вершинах, ребрах і кутастих виступах індивідів [73]. Інші кулясті частки є наслідком послідовної кристалізації з розплаву (від периферії до центру): заліза, вюститу, фериту кальцію (рис. 3.13).

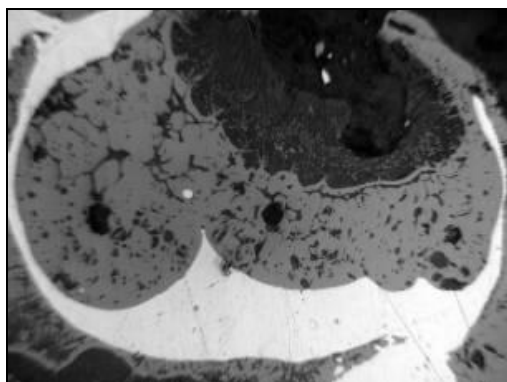


Рис. 3.13. Зональна куляста частка шлаку, яка складається з металу (біле), вюститу (сіре), скла з дендритами фериту кальцію (темно-сіре). Чорне – газові порожнини. Полірований шліф. Збільшення 160^X.

Кулясті агрегати у вигляді *сферолітів* характерні для графіту, що кристалізується безпосередньо над дзеркалом розплавленого металу. Центрами його росту іноді слугують активні точки на вершинах голчастих індивідів силікату (рис. 3.14а), частки металевих заліза і інших мінералів. При охолодженні крапель рідкого шлаку зародки дендритних кристалів виникають на їх поверхні і ростуть у напрямку від її поверхні до центру, утворюючи сферолітоподібні агрегати (рис. 3.14б). В гіпергенних умовах шламосховищ виникають радіально-променисті агрегати видовжених кристалів гетиту (рис. 3.14 в), гіпсу, карбонатів. Вони свідчать про наявність постседиментаційних діагенетичних перетворень техногенно-осадового покладу, в результаті яких змінюється первинний гранулометричний і мінеральний склад металургійних шлаків, а також їх технологічні властивості.

Крім щільних куль в металургійних відходах присутні порожнисті різновиди (рис. 3.15). У великій кількості вони зустрічаються у складі пилу і шлаків. Мінеральна тверда речовина таких агрегатів зосереджена в тонкій кірці, що, власне, і утворює кулю. Товщина кірки різна. Під нею, в центральних ділянках кулі знаходяться одна або кілька газових порожнин, які свідчать про активну роль металургійних газів в процесі кристалізації краплин розплаву у вигляді ідеальної кулі.

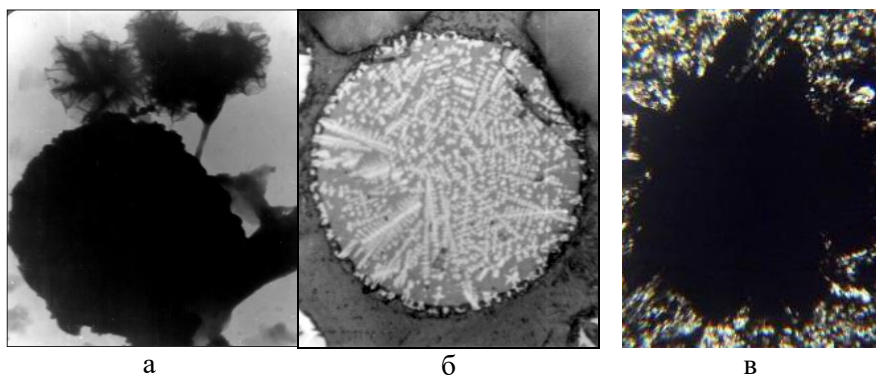


Рис. 3.14. Кулясті агрегати радіально-променевої будови (сфероліти): а - кулясте виділення магнетиту (чорне) і сфероліти графіту (темно-сіре) у складі пилу доменної печі. Електронна мікроскопія. Репліка з вилученням, збільшення 75000^{\times} . б - Сферолітоподібна частка силікатного скла (темно-сіре) з дендритами вюститу (світло-сіре). Металургійний шлак. Полірований шліф, збільшення 300^{\times} . в - Гетитовий сфероліт у дрібнозернистій масі металургійного шлаку. Прозорий шліф, збільшення 120^{\times} .

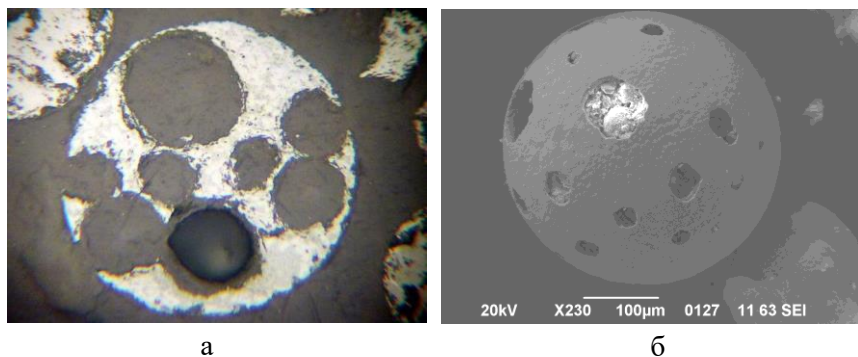


Рис. 3.15. Кулясті порожнисті частки шламу: а – мартитова куляста часточка шламу з великою кількістю порожнин від металургійних газів. Полірований шліф, збільшення 125^{\times} . б – Порожниста рудна куля частково інкрустована карбонатами. Растрова електронна мікроскопія. Шлам акумулюючої ємності.

В результаті різноманітних технологічних і природних процесів кулясті мінеральні утворення розплавляються, перекристалізуються, розтріскуються і подрібнюються до повної дезінтеграції і знищення. При спіканні залізородного агломерату під впливом температури і

водяного пару кулясті зерна шламового магнетиту поступово перекристалізуються в ідіоморфні кристали (рис. 3.16), котрі зберігають головні особливості округлих часток: розміри, зональність, включення і ін.

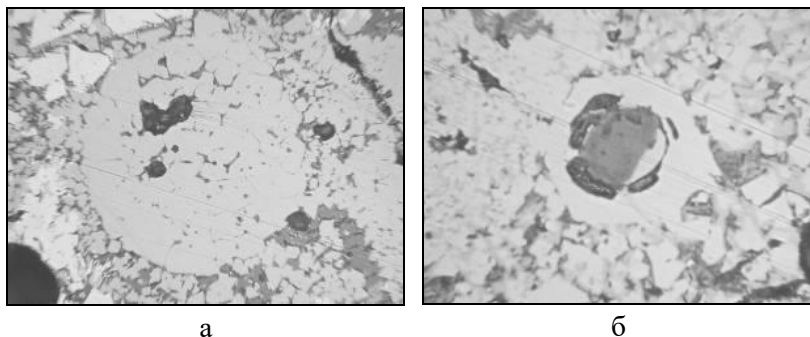


Рис. 3.16. Перекристалізація кулястих зерен магнетиту (а) в ідіоморфний монокристал (б) під час спікання шламу в залізорудний агломерат. Полірований шліф, збільшення 250^{\times} (а), 225^{\times} (б).

Розтріскування і подрібнення кулястих агрегатів техногенного походження (особливо зональних і пустотілих) має місце при транспортуванні і перевантаженні шлаків, пилу і шламів. Уламки їх спостерігаються у всіх відмінах відходів металургійного виробництва (рис. 3.17).

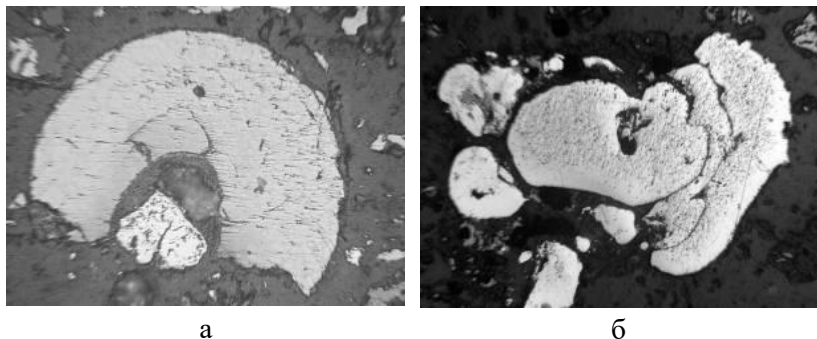


Рис. 3.17. Уламки кулястих агрегатів: а - магнетиту (світло-сіре). Пил агломераційної фабрики. Біле – уламкова металева частка. Полірований шліф, збільшення 130^{\times} . б - результат гіпергенної дезінтеграції зональної частки заліза. Сталеплавильний шлак. Полірований шліф, збільшення 140^{\times} .

Наявність округлих зерен позначається на якісних характеристиках і технологічних властивостях вторинної залізорудної сировини, що підлягає збагаченню і згрудкуванню. Глиняні котуни, сфероліти і конкреції гетиту і карбонатів суттєво змінюють первинний гранулометричний склад шламу. Куляста форма зерен мінімізує площу контакту рудних і нерудних мінералів і, таким чином, полегшує вилучення металевих виділень з шлаків. З іншого боку, наявність округлих зерен значно погіршує процес згрудкування сировини, внаслідок низької здатності куль до формування спільних з іншими зернами гранул агломераційної шихти перед спіканням агломерату.

Щільні і пористі рудні частки суттєво відрізняються за густиною і іншими властивостями, навіть якщо вони складаються з одного мінералу. Це приводить до втрати рудних зерен з великою кількістю газових порожнеч у хвостах гравітаційного збагачення шламу. Кулі нерудних мінералів і скла, покриті кіркою заліза і його оксидів, навпаки, набувають магнітних властивостей і підвищеної питомої ваги. Внаслідок цього вони при збагаченні потрапляють до рудного концентрату. На поверхні кулястих часток утворюються тонкі плівки розчинних у шламовій воді мінералів, збагачених сіркою, лугами і іншими шкідливими елементами, що негативно впливають на якість вторинної залізорудної сировини.

Негативний вплив зазначених особливостей складу, морфології і внутрішньої будови може бути зменшений шляхом додаткового подрібнення і руйнування округлих мінеральних зерен, не зважаючи на значну дисперсність частини металургійних продуктів.

Отже, мінеральні частки кулястої форми зустрічаються в різних продуктах металургійного виробництва. Вони кристалізуються в широкому температурному діапазоні в умовах рідкого силікатного і металевого розплаву, в газовому потоці, в шламонакопичувачах і відвалах металургійних шлаків. У складі часток виявлено велику кількість мінералів, у вигляді індивідів і різноманітних агрегатів складної внутрішньої будови. Особливості утворення, росту і зміни округлих індивідів і агрегатів кулястої форми слід враховувати при розробці технологічної схеми переробки і збагачення вторинної залізорудної сировини [70, 71].

Зернисті агрегати дуже поширені у відходах металургійного виробництва. Щільні зернисті, прихованокристалічні агрегати

представлені реліктовими зернами гематитових кварцитів і руд, частками сталеплавильного та доменного шлаків, офлюсованого залізородного агломерату, зернами коксу з зольними включеннями кварцу, аргілітів тощо (рис. 3.18, 3.19).

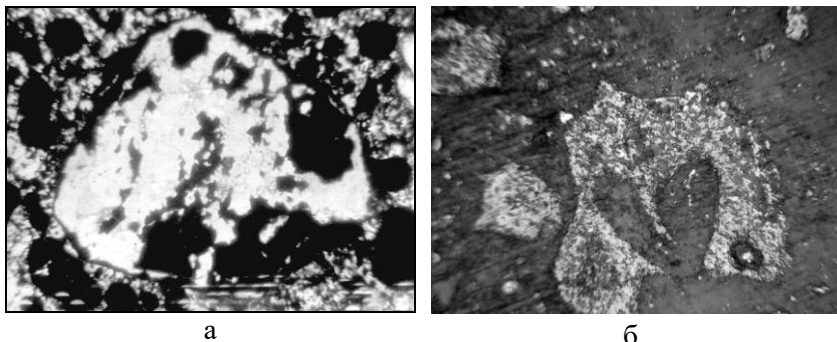


Рис. 3.18. Полімінеральні зернисті агрегатами, успадковані металургійними відходами зі складу вихідної залізородної сировини: а – реліктова частка гематитового кварциту у шламах металургійного виробництва. Прозорий шліф. Ніколі схрещені, збільшення 170^{\times} ; б – частка коксу із зольними включеннями (темно-сіре) і порожнинами. Шлам акумулюючої ємності. Полірований шліф, збільшення 100^{\times} .

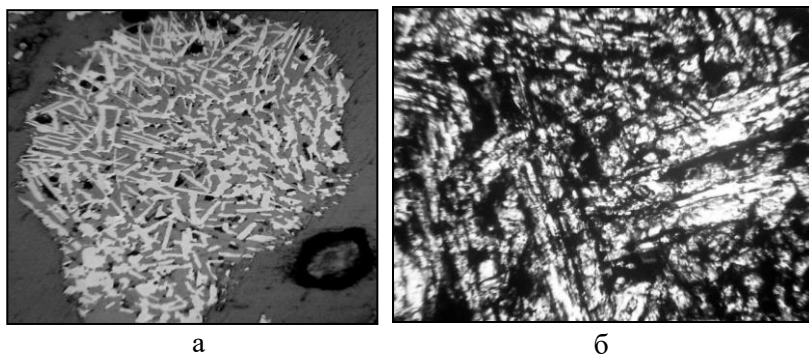


Рис. 3.19. Різновиди зернистих агрегатів у складі сталеплавильного шлаку, обумовлені зростанням кристалів: а – гематиту (світло-сіре) і металургійного скла (темно-сіре). Полірований шліф, збільшення 260^{\times} ; б – магнетиту (чорне) і силікатів кальцію (біле). Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення 270^{\times} .

В пористих металургійних шлаках магнетит утворює *жеодоподібні агрегати* навколо газових порожнин. Від жеод і мигдалин вони відрізняються високотемпературними умовами кристалізації та ростом кристалів не в пустоті, а в об'ємі розплаву, що її оточує. Крім того, деякі «жеоди» мають зовнішню форму багатогранного кристалу який намагається створити зростаючий магнетит. Велика кількість центрів росту магнетиту виникає на поверхні розподілу рідкого шлаку і пухирців металургійних газів, достатньо насичених киснем і пиловими частками (рис. 3.20). Останні збільшують концентрацію кристалічних зародків, які утворюють агрегати, схожі на природні інкрустації пустот у корі вивітрювання і вулканічних породах. Тому кристали магнетиту зародилися спочатку на поверхні газових порожнин, і лише потім – в об'ємі рідкого шлаку, де утворили мережу більш дрібних індивідів.

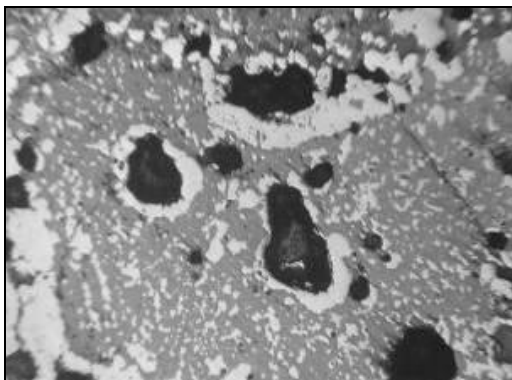


Рис. 3.20. Кристалізація магнетиту (світло-сіре) на поверхні газових пухирців з утворенням жеодо подібних агрегатів. Шлак мартенівського цеху. Полірований шліф, збільшення 200^x.

Натічні агрегати найчастіше складаються з кальциту, опалу, халцедону та гідроксидів заліза. Внутрішня будова їх зональна. Вона свідчить про кристалізацію гіпергенних мінералів з розчину поверхневих вод і одночасне заміщення первинних мінералів. У розвитку вторинних мінералів чітко простежується геохімічна успадкованість: кристобаліт заміщується каолінітом, металеве залізо – гідроксидами заліза (рис. 3.21а), а силікати кальцію – кальцитом. Натічні агрегати гетиту утворюються внаслідок гіпергенного окислення металевого заліза (рис. 3.21б), вюстити, магнетиту і інших мінералів в умовах вивітрювання металургійних відходів під впливом атмосферних агентів.

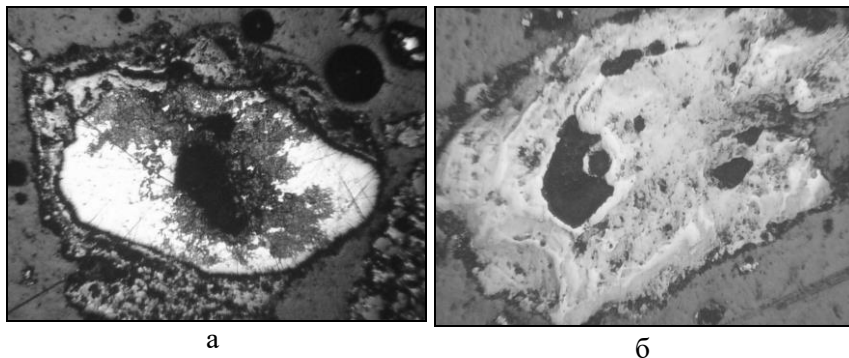


Рис. 3.21. Зональні натічний агрегат гідроокисів заліза (сіре різних відтінків), що утворилися на поверхні зерна металевого заліза (біле) як результат його окислення. а – Початковий етап заміщення. Полірований шліф, збільшення 160^{\times} . б - Зональний натічний агрегат гідроокисів заліза у складі сталеплавильного шлаку. Полірований шліф, збільшення 70^{\times} .

Пухкі землисті та пилоподібні агрегати гіпергенних силікатів, гідроокисів заліза, карбонатів, сульфатів тощо осаджувалися на поверхні зерен шламу з завису у технічній воді (рис. 3.22а). Вивітрювання металургійних шлаків приводить до утворення на поверхні збагачених вапном шматків пухких гіпергенних карбонатів, портландиту тощо (рис. 3.22б). При технологічних процесах знешламлення відходів пилоподібні часточки відокремлюються від мінеральної основи. Під час пересихання водяного плеса шламонакопичувачів або обвітрювання шлакових відвалів пилинки здіймаються у повітря у пилові хмари, здатні забруднити повітряний басейн і значні території промислових міст та навколишнього природного середовища.

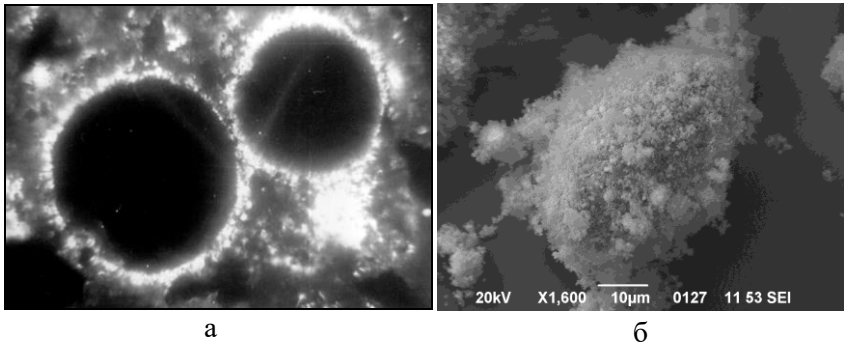


Рис. 3.22. Пухкі землисті та пилоподібні агрегати на поверхні мінеральних зерен шламу: а – пухка сульфатно-карбонатна плівка (біле) на поверхні рудних часток шламу (чорне). Прозорий шліф. Ніколи схрещені. Шлам акумулюючої ємності. Збільшення 180^x; б – пухкі пилоподібні агрегати гіпергенних мінералів на поверхні часточок шлаку. Растрова електронна мікроскопія.

Кристалізація у вигляді *щіток і кірок* встановлена для високотемпературних мінералів шлаку. Кірка магнетиту наростає на поверхні кристалів і розтрісканих зерен кристобаліту і тридиміту. Рудні мінерали наростають на ідіоморфних видовжених індивідах силікатів, використовуючи їх у якості субстрату. В умовах гравітаційної диференціації рідкого шлаку дрібні кристали магнетиту переміщуються вниз і осідають на поверхні більших за розміром індивідів силікатів. Тому сектори росту певних граней нерудних мінералів виявилися збагаченими магнетитом (додатки, рис. 5а). Щітки і кірки з'являються під час тривалого зберігання відходів у відвалах, шламосховищах тощо (додатки, рис. 5б).

Утворення кірок на поверхні шламових часточок набуває найбільших масштабів при зневодненні та повному висиханні техногенних водойм. В даному випадку практично всі зерна, незалежно від їх мінерального складу, вкриваються плівкою розчинних мінералів. За хімічним і мінеральним складом поширені дві групи мінеральних новоутворень: соляні (з карбонатами, галогенідами, сульфатами тощо (додатки, рис. 6а) та залізисті, складені гідроокисами заліза, головним чином гетитом та лепідокрокітом (додатки, рис. 6б). В технологічному плані це явище приводить до зростання розмірів зерен пилу і шламу, часто у кілька

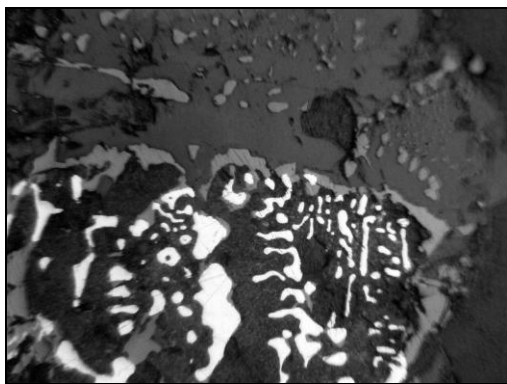
разів, утворення зростків та нівелювання градієнту фізичних властивостей рудних і нерудних мінеральних зерен. Все це значно ускладнює збагачення, переробку та використання металургійних відходів.

Вицвіти розчинних мінералів (сульфатів, карбонатів, галоїдів) пов'язані з розчиненими у шламовій воді солями. Найчастіше явище спостерігається на урізі води в прибережних ділянках шламосховищ і інших техногенних водойм (див. додатки, рис. 2), адже технічна вода практично завжди високо мінералізована. Вони утворюються внаслідок випаровування води і періодичного висихання покладу шламу. Після злив вицвіти зникають внаслідок змивання розчинних мінералів дощовою водою. Розчинені солі знову повертаються до водойми. В періоди року з невеликою кількістю опадів соляні новоутворення розпушуються і розносяться вітром у навколишнє середовище, забруднюючи його лугами, поверхнево активними речовинами і іншими шкідливими сполуками.

Структури розпаду характерні для рудних мінералів шлаку: металевого заліза, вюститу і магнетиту. Вони проявляються у вигляді закономірних вrostків металевого заліза і магнетиту неправильної форми в окремих ділянках вюститових кристалів (рис. 3.23). Завдяки значному ущільненню структури новоутворених мінералів, розпад вюститу супроводжується утворенням пустот. За даними [6] розпад вюститу відбувається за схемою:



Рис. 3.23. Закономірні вrostки магнетиту (сіре) і металевого заліза (біле) в кристали вюститу (темно-сіре). Чорне – пустоти. Полірований шліф, збільшення $220\times$.



Гломерокристалічні зростки мінеральних індивідів зустрічаються в багатьох різновидах металургійних відходів, але найбільш характерні для доменних і сталеплавильних шлаків (рис. 3.24). Характер розподілу індивідів магнетиту свідчить про утворення достатньо великої кількості зародків в об'ємі рідкого шлаку. В динамічних умовах металургійного процесу вони рухалися, утворюючи скупчення – злипання окремих кристалів. Гломерокристалічні зростки свідчать, що кристали рудних мінералів утворилися на стадії високих температур і низької в'язкості рідкого шлаку, які забезпечили можливість вільного переміщення мінеральних індивідів в об'ємі металургійного агрегату (доменної чи мартенівської печі, конвертора тощо).

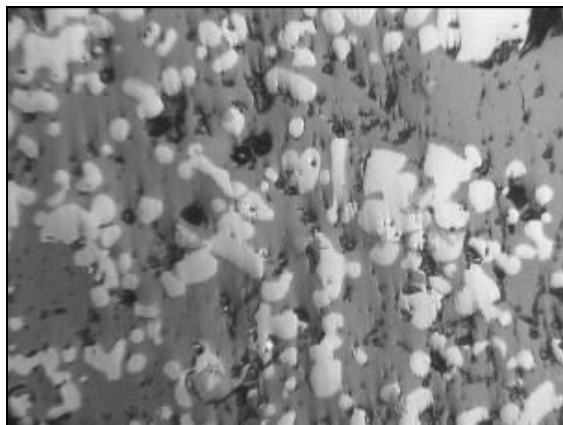


Рис. 3.24. Ізометричні зерна і гломерокристалічні зростки магнетиту (світло-сіре) у силікатному склі (сіре). Шлак конвертерного цеху. Полірований шліф, збільшення 200^x.

Дендрити є досить характерним типом агрегатів для металургійних відходів. Їх складають різні мінерали: герциніт, магнетит (рис. 3.25а), ферити кальцію (рис. 3.25б), гематит, ферити та силікати кальцію (рис. 3.25в). Їх поява свідчить про кристалізацію мінералів в умовах швидкого охолодження мінералоутворюючого середовища [19, 73]. Специфіка наведених прикладів полягає у тому, що вони утворилися в умовах охолодження рідкого шлаку при досить високих температурах, орієнтовно 1750-1500°C.

Дендрити суттєво ускладнюють поверхню зростків рудних мінералів з силікатами, змінюють технологічні властивості шлаків та погіршують ефективність їх збагачення.

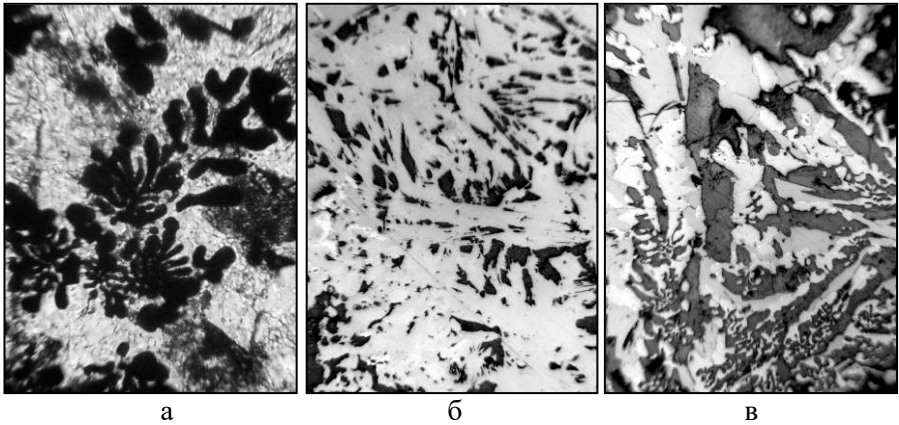


Рис. 3.25. Дендрити у складі металургійного шлаку: а – герцинит-магнетитові (чорне). Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення 380^{\times} ; б – феритів кальцію (сіре). Полірований шліф, збільшення 500^{\times} ; в – гематиту (біле), фериту кальцію (світло-сіре) та силікатів кальцію (всі у формі дендритів). Полірований шліф, збільшення 440^{\times} .

Зміна і заміщення високотемпературних мінералів парагенезисом низькотемпературних гіпергенних мінералів обумовлює утворення численних *псевдоморфоз*. В умовах шлакових відвалів магнетит частково, а потім повністю заміщується гематитом і гідроксидами заліза (рис.3.26).

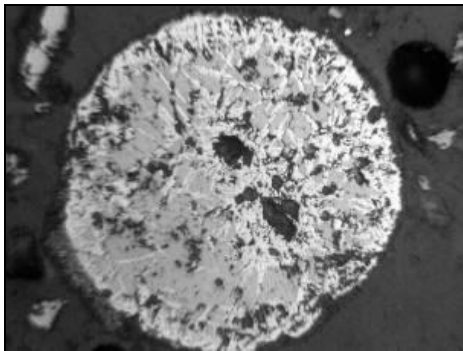


Рис. 3.26. Кулястий агрегат складений мартитизованим магнетитом. Полірований шліф, збільшення 180^{\times} .

У процесі гіпергенного заміщення заліза виникає гетит. До складу металургійного заліза, завдяки високому парціальному тиску парів вуглецю, часто входить когеніт (цементит). Він, як більш стійкий до

агентів вивітрювання мінерал, при окисненні металевого заліза залишається у складі гетитових псевдоморфоз по округлих виділеннях заліза (рис. 3.27).

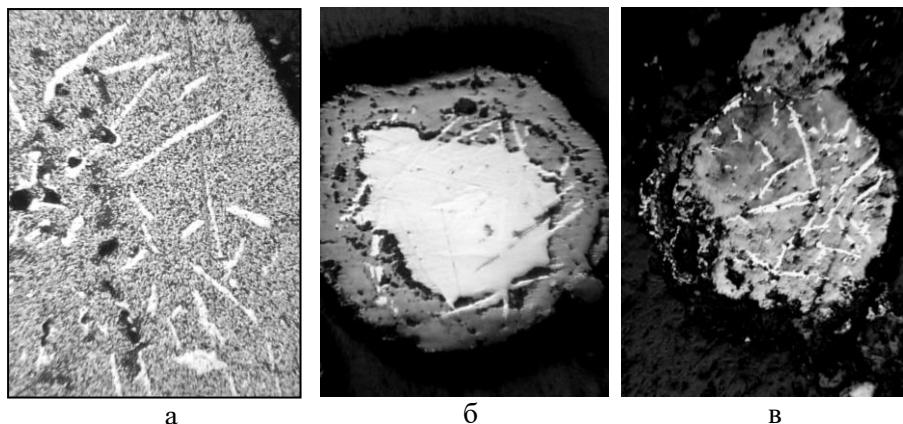


Рис. 3.27. Стадії заміщення металевого заліза з включеннями когеніту гіпергенним гетитом: а – незмінене залізо (сіре в результаті травлення розбавленою HNO_3) з включеннями видовжених кристалів когеніту (біле); б – металеве зерно з включеннями когеніту (біле), в периферійних ділянках зерна частково заміщене гетитом (сіре); в – гетитова псевдоморфоза по кулястій частці металевого заліза з реліктовими кристалами когеніту. Полірований шліф, збільшення: а – 475^{\times} ; б – 380^{\times} ; в – 350^{\times} .

Параморфози.

Мікроскопічними і рентгеноструктурними дослідженнями у складі шлаку встановлено велику кількість поліморфних модифікацій певного хімічного складу. Так, Fe_2O_3 кристалізується у вигляді гематиту і маггеміту, Ca_2SiO_4 – у вигляді α , β , і γ поліморфних модифікацій. Проте найбільшу кількість поліморфних модифікацій має група мінералів SiO_2 . Вона включає як високотемпературний кристобаліт з жаростійкої футеровки мартенівських печей і конвертерів, так власне металургійні мінерали: тридиміт і кварц. Численні поліморфні модифікації послідовно утворюються у об'ємі мінеральних індивідів внаслідок охолодження шлаку. Характерною особливістю проявів поліморфізму є збереження кристаломорфології попереднього мінералу наступним. Такі взаємовідношення можна класифікувати

як утворення параморфоз. В окремих мінеральних індивідах у поляризованому світлі спостерігається до 2-3 ділянок різної структури (рис. 3.28).

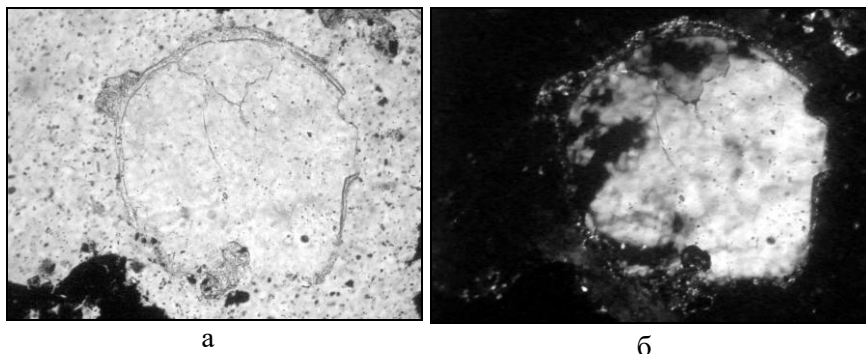


Рис. 3.28. Параморфоза мінералів кремнезему: реліктові ділянки кубічного кристобаліту (чорне в межах зерна при двох ніколях), частково заміщеного тетрагональним кристобалітом (перехідна сіра фаза), кварц (біле), що розвивається по тетрагональному кристобаліту; кірка на поверхні зерна - гіпергенний халцедон. Прозорий шліф; а – ніколі паралельні; б – ніколі схрещені, збільшення 180^x.

Морфологічні особливості мінеральних компонентів металургійних відходів мають важливе генетичне, екологічне та технологічне навантаження. Вони свідчать, що значний відсоток у їх складі мають залишки сировинних матеріалів, продуктів виплавки чавуну і сталі, що є наслідком використання застарілих технологій збагачення, агломерації та металургійної переробки залізних руд. У шламосховищах переважають змішані відходи різних виробничих цехів металургійного комбінату, що суттєво відрізняються за технологічними властивостями. Дана обставина ускладнює їх утилізацію, сприяє надмірному накопиченню відходів і пов'язаних з ними екологічних проблем. Розробка сучасних ефективних технологій збагачення і переробки відходів повинна базуватися на глибокому вивченні і врахуванні мінерального складу та морфологічних особливостей мінеральних компонентів техногенної сировини.

Нижче наведена характеристика окремих мінералів, з яких складаються відходи металургійного виробництва.

3.1.2. Описова мінералогія промислових відходів

Мінерали заліза – одні з найбільш чисельних у складі металургійних відходів. До них відносяться: металеве залізо, когеніт, вюстит, магнетит, гематит, маггеміт, група феритів кальцію, гетит, лепідокрокіт, сидерит. Залізо міститься також у силікатах і металургійному склі, деяких сульфідах і сульфатах. Загальний вміст заліза у металургійних відходах настільки значний, що, за даним показником вони не відрізняються від природних руд, як бідних (залізистих кварцитів), так і багатих («синька», «краска» і ін.) (табл. 3.2). Все ж за гранулометричним, хімічним та мінеральним складом, рівно як і за технологічними властивостями техногенні руди докорінно відрізняються від природних. Дана обставина вимагає індивідуального підходу у вирішенні питань збагачення, переробки і утилізації металургійного пилу, шламі і шлаків.

Таблиця 3.2.

Загальний вміст і фазовий склад заліза в шламах Криворізького металургійного комбінату [35]

Типи шламу	Цех	Fe _{заг.}	FeO	Fe ₂ O ₃
Поточні	агломераційний	55,50-60,10	17,90-18,51	58,83-66,07
	доменний №1	29,72	7,22	34,46
	мартенівський	58,24-58,37	5,56-12,69	69,52-77,21
	киснево-конвертерний	43,78	11,33	49,95
Заскладовані	акумулюючі ємність шламового цеху	43,76	11,38	49,13

Металеве залізо, α -Fe.

Клас самородних металів, синонім: ферит.

Хімізм. За даними мікрозондового аналізу металеве залізо з сталеплавильних шлаків Криворізького металургійного комбінату містить від 84 до 95 мас % Fe, невелику кількість Si і S, а також домішки Mn, Ca, Mg, P, Al, K, Ti, Cr (рис. 3.29). Вміст Si (6,7 мас. %)

і S (0,69 мас. %) пояснюється присутністю силікатних і сульфідних мікрровключень.

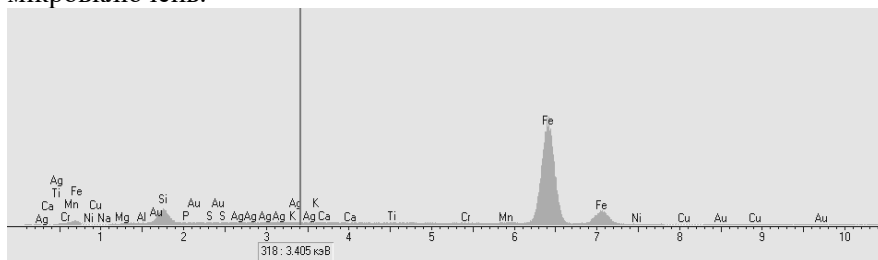


Рис. 3.29. Результати визначення хімічного складу металевого заліза мікрозондовим аналізом.

З наведених даних видно, що металеве залізо в шлаках Криворізького залізорудного комбінату представляє собою штучний сплав кількох металів. Його кристалохімічна формула:



За складом домішкових хімічних елементів металургійне залізо суттєво відрізняється як від телуричного (в базальтах чи ультраосновних породах), так і від метеоритного заліза [55].

Сингонія кубічна, Кристалічна структура представляє собою центрований куб (тип металічного танталу) з $a_0=2,8607$. Головні рефлекси заліза з сталеплавильних шлаків Криворізького комбінату на рентгенограмах: 0,1168; 0,2022; 0,2026; 0,1170; 0,1430 нм. На кривих диференційного термічного аналізу шлаку металеве залізо характеризується ендотермічними ефектами в області температур 210-240°C (початок окислення) і 900°C, пов'язаний з поліморфним перетворенням α - Fe у парамагнітне γ - Fe [97].

Властивості. Колір заліза стально-сірий, блиск металічний, риса стально-сіра, блискуча. Відбивна здатність (R) висока: 58 (червоне світло), 59 (жовтогаряче), 64 (зелене). Спайність ясна по кубу. Сильно виражені магнітні властивості і пластичність. Об'ємне магнітне сприйняття 28000 СГСМ. Точка Кюрі 770°C. Твердість 4-5, мікротвердість 60-70 (тут і далі наведені значення мікротвердості H , КГС/мм² по Віккерсу). Включення когеніту підвищують мікротвердість заліза до 160-202. Густина 7-7,8 г/см³. Розчиняється в HNO₃, HCl, FeCl₃ (чорніє, повільно «кипить»). Після травлення розбавленою азотною кислотою з'являються так звані

відманитедтові фігури. На повітрі легко переходить в лімоніт [8, 13, 55, 88].

Між складом та властивостями металургійного заліза існує тісний зв'язок. Чисте залізо пластичне, має низьку твердість, легко деформується під навантаженням, окислюється і тому обмежено використовується в промисловості. Незначна домішка вуглецю, нікелю, мангану та інших елементів суттєво змінює властивості заліза. Вміст домішок у вуглецевій сталі звичайно складає 1-2%, легованій сталі – 3-10%. Існують сотні марок сталі від звичайних вуглецевих до високоякісних нержавіючих, кожна з яких має унікальний набір властивостей [120, 122]. Внаслідок цього за кольором, мікротвердістю, магнітними та іншими властивостями, навіть в одній пробі металургійного шлаку, пилу чи шламу можна виділити декілька різновидів металевого заліза. Його варіативність відображає мінливий склад сировини, індивідуальні особливості металургійних агрегатів, а головне – марки чавуну та сталі, що виплавлялися в різний час різними агрегатами.

Морфологія індивідів і агрегатів. Мікроскопічними дослідженнями у складі металургійних відходів встановлено велику кількість морфологічних відмін заліза: ідіоморфні кубічні і скелетні кристали, округлі, каплеподібні зерна, дендрити, зернисті і суцільні агрегати, частки неправильної форми, графічні зростки тощо. Ідіоморфні кристали металевого заліза кубічного та октаедричного габітусу зустрічаються надзвичайно рідко (рис. 3.30). Вони характерні для кислих (в'язких) шлаків, виплавлених в невеликих за об'ємом електropечках. В таких умовах ріст порфірових кристалів металевого заліза домінує над ліквідаційними процесами розділення рідкого шлаку на рудну і силікатну складові, що приводять до формування кулястих виділень металевого заліза.

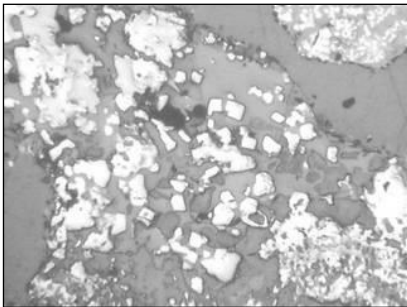
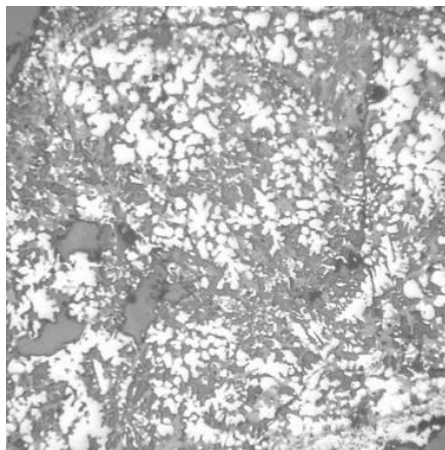


Рис. 3.30. Кристали металевого заліза кубічного і октаедричного габітусу в шлаках електроплавильних печей в асоціації з вюститом (світло-сіре), металургійним склом (сіре) і силікатами (темно-сіре). Полірований шліф, збільшення 150^x.

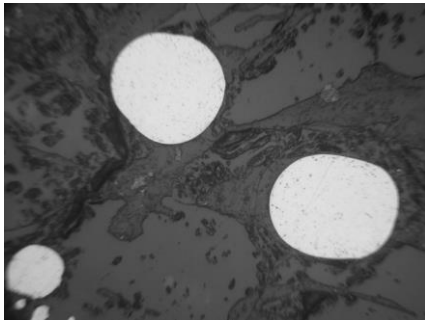
Мало поширені також скелетні кристали та дендрити металевого заліза (рис. 3.31). Вони асоціюють виключно з силікатним склом, в якому нерідко зустрічаються пустоти від металургійних газів. Утворенню даних форм, ймовірно, сприяло швидке охолодження шлаку. Велика площа контакту розгалужених агрегатів і кристалів заліза з силікатним склом суттєво ускладнює наступну сепарацію шлаку, сприяє збільшенню втрат металу в хвостах збагачення шлаків.

Рис. 3.31. Скелетні кристали і дендрити металевого заліза (білі) у металургійному склі (сіре) з пустотами від металургійних газів. Полірований шліф, збільшення $100\times$.

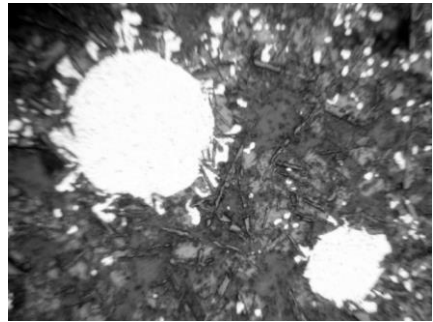


Для більш рідких основних шлаків характерні кулясті, крапле-подібні виділення заліза, розміром 3-5 мм, домінують 0,1-1,0 мм (див. рис. 3.9 - 3.11; 3.32 - 3.34). З ними асоціюють силікати кальцію, мінерали кремнезему, оксиди заліза, особливо вюстит, та металургійне скло. З технологічної точки зору, куляста форма заліза є найбільш сприятливою для збагачення шлаку і вилучення корольків металу. Більші за розміром металеві частки (скрап) мають дуже складні обриси з численними виступами та пустотами. На поверхні куль утворюються присипки і наростання силікатів, оксидів та більш дрібних виділень заліза (рис. 3.32б).

Поширені також кутасті, лінзоподібні, неправильної форми виділення металевого заліза (див. рис. 3.13; 3.19; 3.33 - 3.35).



а



б

Рис. 3.32. Кулясті виділення металевого заліза (біле) у складі: а – ферованадієвого шлаку в масі металургійного скла; б – в шлаках електросталеплавильних печей з присипкою та наростаннями силікатів, оксидів і металевого заліза на поверхні. Полірований шліф, збільшення 100^{\times} (а) та 55^{\times} (б).

Присутні як мономінеральні власне металеві часточки, так і зростки з іншими мінералами шлаків і шламів.

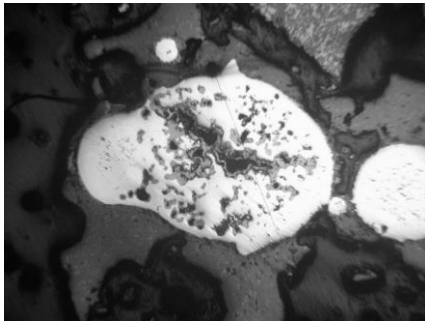


Рис. 3.33. Кулясті і лінзоподібні виділення металевого заліза (біле) у складі металургійного шлаку. Полірований шліф, збільшення 75^{\times} .

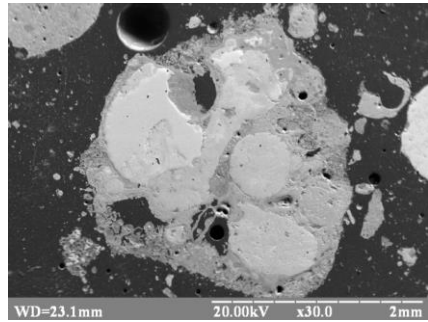
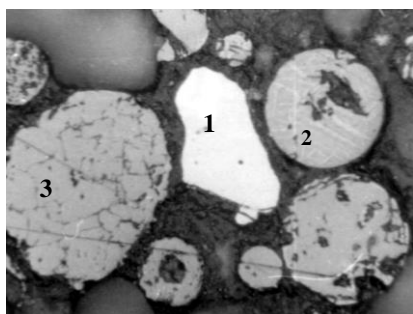
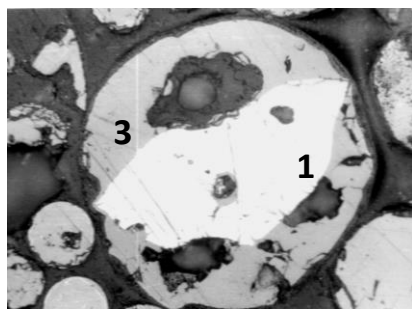


Рис. 3.34. Зображення часточки металургійного шлаку з металевим залізом (біле) і гідрооксидами заліза (сіре) у відбитих електронах. Растрова електронна мікроскопія.



а



б

Рис. 3.35. Кутасті виділення металевго заліза (1) у складі металургійного шламу: а – в оточені кулястих часточок магнетиту (2) і вюститу (3); б – в центрі кулястого зерна вюститу. Полірований шліф, збільшення: а – 250^{\times} , б – 190^{\times} .

В шламах газоочисних споруд з вмістом твердих часток 3-5 г/л дрібні частки металевго заліза і магнетиту, внаслідок магнітних властивостей, флокулюються в грудочки, ланцюжки. При висиханні шламів такі скупчення зберігаються протягом багатьох років існування покладу, чітко виявляються при дослідженні під оптичним та електронним мікроскопами (рис. 3.36). З часом вони заміщуються агрегатом гетиту та лепідокрокіту (рис. 3.37), що розростається і суттєво змінює первинний гранулометричний склад металургійного шламу.

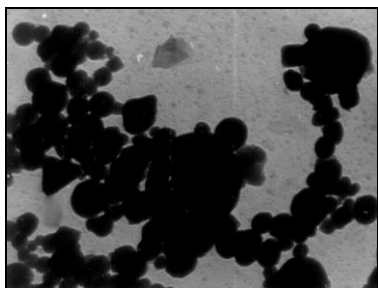


Рис. 3.36. Магнітні флокули і ланцюжки металевго заліза і магнетиту в шламах киснево-конвертерного цеху. Електронна мікроскопія, репліка з вилученням, збільшення 22000^{\times} .

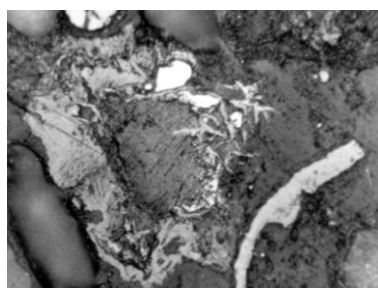


Рис. 3.37. Релікти металевго заліза (біле) в масі вторинних гідроокисів заліза (сіре): пластинок, лусок і розгалужених агрегатів лепідокрокіту та суцільних мас, натічних форм і пористих агрегатів лімоніту. Полірований шліф, збільшення 220^{\times} .

Для внутрішньої будови виділень металевго заліза характерна неоднорідність. Вона проявляється у наявності великої кількості включень, зональності, наявності меж, які відділяють окремі індивіди у складі агрегату (рис. 3.38) та інших дефектів. В агрегатах металевго заліза зустрічаються включення когеніту. Його видовжені таблички і пластини, хаотично розташовані у об'ємі металу, проявляються у протравлених полірованих шліфах (див. рис. 3.27). Спостерігаються також включення вюститу, магнетиту, полімінеральні краплини розкристалізованого шлаку (див. рис. 3.9, 3.10).

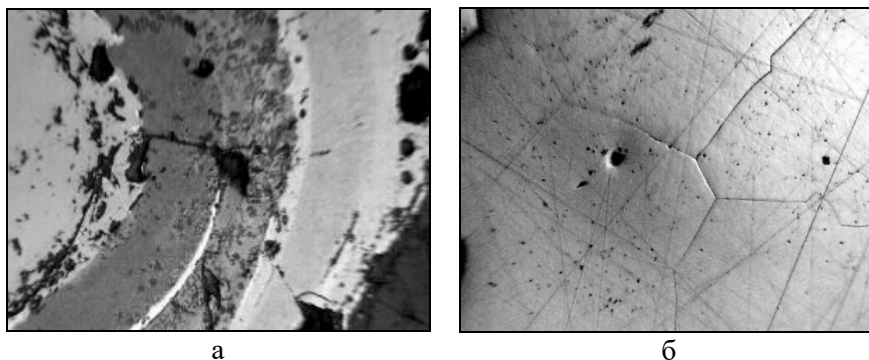
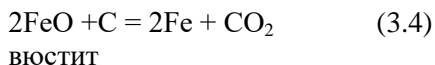
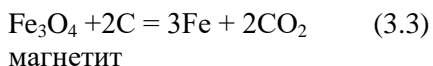
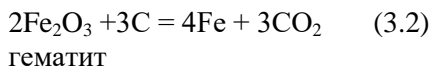


Рис. 3.38. Внутрішня будова корольків металевго заліза (біле): а – концентрично-зональний агрегат металевго заліза (біле), вюститу (сіре), магнетиту (світло-сіре) і гідроокисів заліза (темно-сіре); б - гранулярний агрегат металевго заліза – результат перекристалізації з утворенням однорідних ділянок полігональної форми. Полірований шліф, збільшення: а - 80^x, б - 320^x.

Концентрично-зональні корольки складаються як з чистого металевго заліза, так і зростків його з оксидами, силікатами і склом. В полімінеральних зональних зростках залізо займає центральні ділянки або перешаровується з магнетитом і вюститом у вигляді тонких концентричних прошарків. Зональна будова агрегатів свідчить про наростання окисів на поверхні виділень металу з одночасним заміщенням на глибину (див. рис. 3.38). Периферійні зони складаються з магнетиту, гематиту, феритів кальцію, силікатів і скла. В цілому, від центру сфер до їх периферії збільшується ступінь окислення заліза і присутність кремнезему. Межі окремих індивідів

металевого заліза вигнуті, порожнисті. Пустоти збільшують контакт металу з повітрям, прискорюють процеси окислення і утворення тонких розгалужених проростань вюститу (див. рис. 3.9а). Окремі агрегати мають гранулярну внутрішню будову, яка свідчить про високу ступінь перекристалізації зернистого агрегату з утворенням однорідних ділянок полігональної форми (див. рис. 3.38б).

Утворення і поширення. Природне залізо зустрічається в метеоритах і як акцесорний мінерал ультраосновних і основних порід. В доменних, мартенівських печах і кисневих конвертерах металеве залізо утворюється в умовах високотемпературного відновлення мінералів залізорудної сировини за реакціями (3.2-3.4), [66, 114]:



Крім того, на певних етапах охолодження розкристалізованого шлаку металеве залізо виникає у вигляді графічних структур як продукт розпаду вюститу (див. рис. 3.23). Його супроводжують аналогічні за формою вrostки магнетиту і вюстит з пустотами, що супроводжують новоутворення більш щільних кристалічних ґраток.

Дані про вміст металевого заліза в шлаках на металургійних підприємствах значно відрізняються. У великій кількості металеве залізо входить до складу сталеплавильних (мартенівських і конвертерних та електросталеплавильних) шлаків – біля 10-15 %. Доменні шлаки менш залізисті – до 4-6 %. Металургійні шлами містять до 55-60% заліза, але лише близько 1% його знаходиться у вигляді дрібних крапель металу [36, 72, 89, 106, 120]. До складу металургійного пилу металеве залізо часто потрапляє разом з графітом і коксом. Проте на стадії транспортування і осадження зволоженого пилу (шламу) внаслідок седиментаційної диференціації більш важкі кулясті частки заліза та легкі луски графіту з коксовим пилом розділяються і осаджуються в різних ділянках шламосховищ.

Парагенезис, асоціації. Для заліза з металургійних відходів дуже характерні голчасті включення когеніту (Fe_3C) і парагенезис з

вюститом, магнетитом, піротином, шпінеллю, олівіном, металургійним склом. Найчастіше металеве залізо зростається з когенітом (відновлювальні умови) і вюститом (початок окислення).

Зміни. Заміщення металевого заліза розпочинається вже на ранніх стадіях охолодження розплаву внаслідок насичення його киснем. Високотемпературне окислення приводить до утворення ланцюжка мінералів: металеве залізо – вюстит – магнетит – маггеміт + гематит. Щільна кірка новоутворених мінералів зупиняє проникнення кисню в центральні ділянки гранули і окислення уповільнюється. В умовах охолодженого шлакового відвалу, внаслідок дії атмосферних агентів залишкове металеве залізо та безводні оксиди активно заміщуються лімонітом з утворенням пористих натічних агрегатів концентрично-зональної будови, або пухких землистих грудкуватих агрегатів з реліктовими ділянками металу (рис. 3.39). Корольки легованого заліза (нержавіючої сталі) більш стійкі до окислення і зберігаються у відвалах протягом тривалого часу без помітних змін. Зауважимо, що шлаки спецсталей містять немагнітне крихке металеве залізо і звичайними магнітними методами збагачуватися не можуть.

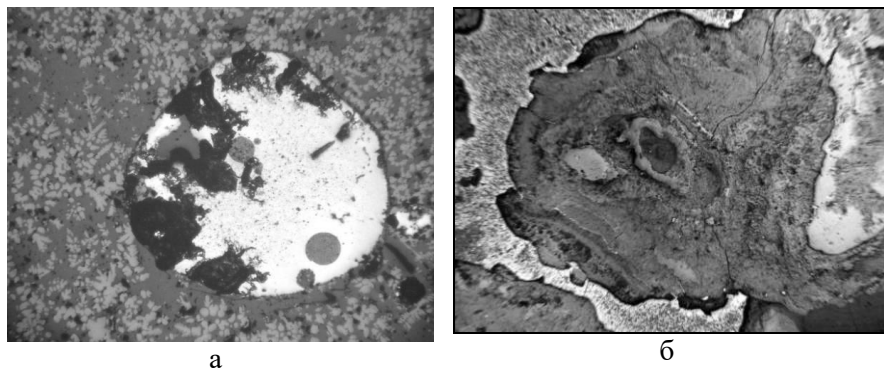


Рис. 3.39. Заміщення металевого заліза (біле) гетитом (сіре) в шлаках мартенівського цеху: а – у периферійних ділянках металевого зерна (сірі кулясті вклучення в металі - вюстит) заміщення супроводжується виносом (розчиненням) продуктів вивітрювання; б – в центральній частині металевого зерна з утворенням концентрично-зональних натічних агрегатів. Полірований шліф, збільшення: а - $80\times$, б - $90\times$.

При механічних деформаціях пластичні виділення металевого заліза сплющуються, закругляються і формують частинки концентрично зональної будови (див. рис. 3.176). Корольки легovanого заліза в дробарках чи галтовочних барабанах (використовуються шлакопереробними підприємствами для очищення металу від часток шлаку), навпаки, розтріскуються, подрібнюються і втрачаються в тонкозернистих відходах шлаку.

Значення. Металеве залізо видобувають з шлаків для повторного використання в металургії. Лише в Російській федерації з шлаку вилучають до 1 млн. т чистого металу щороку [118]. Для вилучення і повторного використання «втраченого» у відходах заліза особливо важливе значення має визначення складу та фізичних властивостей металевих корольків. В різних за походженням шлаках технологічні властивості металевого заліза, немов у різних мінералів, докорінно відрізняються. Це обумовлює необхідність використання різних технологічних схем і установок для ефективної переробки відходів різних металургійних комбінатів.

Наведені дані свідчать про значну варіативність складу, властивостей і морфологічних ознак металевого заліза у відходах металургійних комбінатів. Вони помітно впливають на ефективність збагачення і використання вторинної залізородної сировини.

Когеніт (Fe,Ni,Co)₃C, синтетична фаза – **цементит**. Карбід заліза ромбічної сингонії.

Хімізм (%): Fe—91; Ni—1,8; Co—0,2; C—6,0—6,5.

Габітус видовжено-пластинчастий, стовбчастий. Спайність за трьома пінакоїдами. Колір олов'яно-білий до бронзового. Блиск металічний. Твердість 5,5-6, густина 7,2-7,68. Крихкий. Дуже магнітний. Стійкий при температурах нижче 910°C. плавиться при 1535°C [119].

Під мікроскопом спостерігається у вигляді видовжених тонких зігнутих волокон, табличок, зерен неправильної форми (рис. 3.40). Має незначне подвійне відбиття. Відбиття (R) вище, ніж у металевого заліза. В крупних зернах спостерігаються двійники.

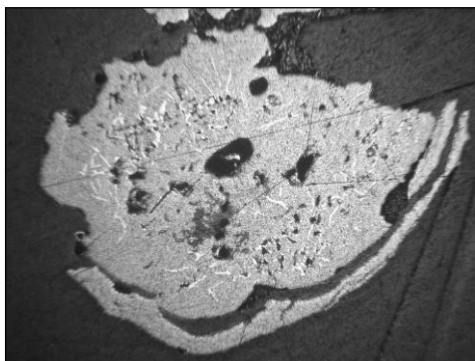
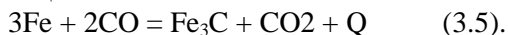


Рис. 3.40. Голчасті включення когеніту (біле), у виділеннях металевого заліза (сіре внаслідок травлення розбавленою азотною кислотою). Сталеплавильний шлак. Полірований шліф, збільшення $80\times$.

Утворення і поширення. В шахті доменної печі при температурі вище $400-500^{\circ}\text{C}$ одночасно з відновлення заліза відбувається насичення його вуглецем за рахунок окису вуглецю за ендотермічною реакцією:



При підвищенні температури карбід заліза добре розчиняється у металі і поступово утворюється сплав заліза з вуглецем. При зниженні температури твердого розчину до 910°C з нього виділяється когеніт у вигляді тонкої сітки мікровключень [8, 117].

Як і металеве залізо, за походженням когеніт може бути акцесорним в основних і ультраосновних магматичних породах, метеоритним та металургійним. У складі металургійних відходів діагностується під мікроскопом у складі металевих корольків в сталеплавильних шлаках, менше в шлаках доменних і, дуже рідко, в шламах.

Парагенезис, асоціації. В метеоритах зустрічається з залізом, графітом, піротином, троїлітом, магнетитом, вюститом, ільменітом, самородною міддю. Іноді спостерігаються структури розпаду на графіт і залізо [88]. У складі сталеплавильного шлаку когеніт є постійним супутником металевого заліза. Вони утворюють тісні зростання в яких когеніт знаходиться у вигляді дрібних видовжених включень у корольках металу. В асоціації з залізом, або самостійно, когеніт зустрічається також в кулястих утвореннях гетиту (див. рис 3.27).

Зміни. В процесі гіпергенного заміщення заліза гетитом, когеніт, як більш стійкий до агентів вивітрювання мінерал, залишається у складі гетитових псевдоморфоз по округлим виділенням заліза.

Значення. Когеніт – рідкісний мінерал, самостійного значення не має.

Вюстит $Fe_{0,947}O$.

Природний аналог вюститу **іюцит** – рідкісний мінерал.

Монооксид заліза кубічної сингонії з характерною некомплектністю гранецентрованої кристалічної ґратки типу NaCl. Головні рефлекси вюститу на рентгенограмах сталеплавильного шлаку (нм): 0,2153; 0,2486; 0,1523; 0,1293 [88]. З оксидами мангану, кальцію і магнію утворює безперервний ряд твердих розчинів і поступово стає оптично прозорим.

Морфологія індивідів і агрегатів, властивості. Вюстит утворює індивіди неправильної форми, рідше ізометричні, таблитчасті або видовжені кристали у зростках з металевим залізом, магнетитом, силікатами і склом. У відмінах шлаку, які містять скло, вюстит кристалізується у вигляді ізометричних кристалів на поверхні виділень металевого заліза. Утворює також кулясті форми, особливо в присутності металургійного скла (див. рис. 3.10б, 3.14б) та у вигляді включень в корольках металу (див. рис. 3.39а).

Колір мінералу чорний. Мікротвердість 430-550, густина 5,5-5,87. Магнітні властивості відсутні. Вюстит - слабо пластичний мінерал, витягується вздовж напрямку прокатки (деформації) металу (рис. 3.41). Температура плавлення змінюється від 1370 до 1425°C. Вона значно нижча ніж у металевого заліза, з яким вюстит найчастіше зустрічається. Плавиться інконгруентно з утворенням рідкої фази і твердого заліза [100]. Травиться насиченим спиртовим розчином $SnCl_2$.

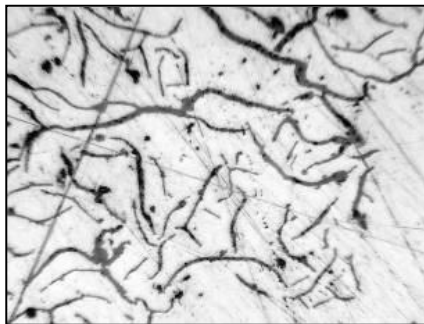
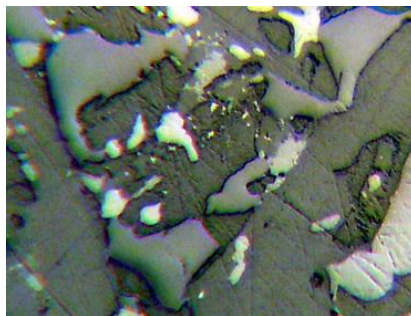


Рис. 3.41. Розріз королька металевого заліза (біле) з видовженими пластично деформованими включеннями вюститу (сіре). Полірований шліф, збільшення 420^{\times} .

Під мікроскопом оптично ізотропний сірий (на відміну від кремового магнетиту). Відбивна здатність помітно нижче, а здатність до полірування - вище ніж у магнетиту (рис. 3.42).

Рис. 3.42. Парагенезис вюстит (сіре) з силікатами (темно-сіре), магнетитом (світло-сіре) і металевим залізом (біле) у складі металургійного шлаку. Полірований шліф, збільшення: а – $110\times$; б – $140\times$.



Утворення і поширення. Вюстит - дуже поширений мінерал металургійних шлаків, пилу і шламів, завжди супроводжує металеве залізо і магнетит як перехідна фаза між ними (див. рис. 3.38а). Вюстит є найбільш високотемпературним оксидом заліза. Утворення мінералу співпадає з початковим етапом високотемпературного окислення шлаку. При повільному охолодженні рідкого шлаку вюстит кристалізується з розплаву після металевого заліза, тримітиту і силікату кальцію (див. рис. 3.42). В металі вюстит накопичується в місцях його окислення: на поверхні корольків і в дефектних ділянках, плівках, кірках тощо (див. рис. 3.10а). Метал заміщується спочатку вюститом, а потім магнетитом. В таких полімінеральних зональних частках вюстит займає перехідне положення між металевим залізом і магнетитом. Особливо велика кількість вюститу утворюється в окаліні при гарячій прокатці металу в інтервалі температур $700\text{--}900^\circ\text{C}$ [100].

Парагенезис, асоціації. В залізних метеоритах вюстит асоціює з трюїлітом [116]. За даними [4] в основних мартенівських шлаках вюстит представлений марганцевистою різновидністю і асоціює з ларнітом, монтичелітом, периклазом, шпінеллю, феритами, алюмосилікатами і алюмоферитами кальцію.

Зміни. Вода і повітря при нагріванні окислюють вюстит до гематиту, водень, вуглець і окис вуглецю в аналогічних умовах відновлюють його до металевого заліза. З кислотами вюстит взаємодіє з утворенням відповідних солей. Спільне плавлення з

мінералами кремнезему приводить до утворення силікатів. Нижче температури 570°C вюстит повільно розпадається на металеве залізо і магнетит (см. рис. 3.23) [59, 104]. Інших вторинних змін вюститу в екзогенних умовах, наприклад заміщення мартитом, не відмічено.

Значення. Техногенна руда на залізо. Видобувається і використовується, головним чином, завдяки тісному зростанню з металевим залізом та магнетитом. Як немагнітний мінерал, в значних обсягах втрачається у відходах магнітного збагачення сталеплавильного шлаку.

Магнетит $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$.

Окис-закис заліза кубічної сингонії.

Хімізм (%): FeO – 31,03%; Fe_2O_3 – 68,97%. Співвідношення $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ менше одиниці і залежить від температури і Eh мінералоутворюючого середовища. Реальний склад магнетиту ніколи не відповідає теоретичному. По-перше, при збільшенні відносного вмісту Fe_2O_3 відбувається поступовий перехід до окисленого магнетиту, який називається *оксимагнетитом* (кубічна фаза Fe_2O_3); по-друге, в ньому постійно присутні ізоморфні домішки: закисне залізо заміщується Mn (*манганомангнетит*), Pb (*плюмбомангнетит*), Mg і Ni. Окисне залізо заміщується Ti (*титаномангнетит*) Al, Mn, Cr. Залізо-титанова шпінель з Норвегії названа *ульвошпінеллю*. З оксидами мангану і магнію магнетит утворює безперервний ряд твердих розчинів і поступово стає оптично прозорим.

За характером розподілу двовалентних і тривалентних атомів в тетраедричних і октаедричних порожнинах *кристалічної структури*, магнетит відноситься до типу оберненої шпінелі.

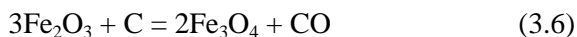
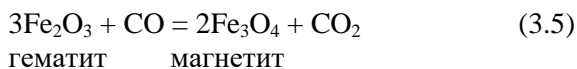
Властивості, морфологія індивідів і агрегатів. Колір залізорний, іноді на гранях синюватий. Блиск металічний до тусклого (в дрібнозернистих і приховано-кристалічних агрегатах). Крихкий. Спайність відсутня, помітна окремість за октаедром. Злам нерівний. Мікротвердість 468-789, збільшується з ростом вмісту Mg. Характерні лінії інфрачервоного спектру: 450, 715, 1080 cm^{-1} . Головні лінії на дифрактограмі 2,541; 1,612; 1,479; 1,091. Феромагнетик (за іншими даними ферімагнетик). Точка Кюрі 578°C. Деякі зразки полярно магнітні. Легко розчиняється у соляній кислоті. Температура плавлення 1583-1597°C (плавиться з розкладанням). Температура кипіння 2623°C (розкладається).

У складі металургійних відходів зустрічаються відокремлені (розкриті) кристали і зерна магнетиту, а також численні зростки його з металевим залізом, вюститом, гематитом, гетитом та іншими мінералами та металургійним склом. Як зазначалось вище, металургійний магнетит утворює ізометричні кулясті зерна, дрібнозернисті суцільні маси, дрібну вкрапленість. Кристали октаедричного, рідше ромбоедричного габітусу, з характерною комбінаційною штриховкою паралельно довгій діагоналі на гранях. Формуються таблитчасті та, значно рідше, видовжені кристали, сфероліти, ооліти, дендрити, кулясті (щільні і порожнисті), ниркоподібні, волокнисті та пилоподібні агрегати тощо. Утворює периферійні ділянки магнетит-шпінелевих зростків, псевдоморфно заміщує частки прокатної окалини. В зернах шламу і шлаку поширені скелетні кристали магнетиту. Вони представляють собою найпізніші генерації мінералу [39]. Пустоти в кулястих виділеннях магнетиту заповнюються пилоподібними гідроокисами заліза – «залізною сметаною».. Часто помітна орієнтована решітка вузьких пластин гематиту, ільменіту, рутилу. Різні за походженням магнетити відрізняються характером структур розпаду твердих розчинів і за складом [13, 55, 88].

Під мікроскопом. В полірованих шліфах світло сірий, кремовий. Іноді помітні двійники; часто зональний. Відбивна здатність низька – 21%, змінюється внаслідок вмісту вюститової, шпінелевої і магнезитової компоненти. Одночасно змінюються спектри оптичного відбиття і інші фізичні властивості мінералу [75].

Утворення і поширення. Магнетит дуже поширений, але недостатньо вивчений мінерал металургійних продуктів. Частково він успадковується зі складу залізних руд і магнетитового концентрату, що не переплавились внаслідок недосконалої технології металургійної переробки вихідної сировини. Як природний, так і техногенний, утворений при охолодженні шлаку і металургійних газів, магнетит виділяється серед перших мінералів у вигляді ідіоморфних кристалів октаедричного габітусу. Більшість його кристалів зароджуються самовільно у масі розплавленого шлаку. Ріст супроводжується частковим розплавленням індивідів і утворенням гіпідіоморфних зональних кристалів з заокругленими вершинними формами.

Природний магнетит утворюється у відновлюваному середовищі [2, 56]. В продуктах металургійного виробництва його поява фіксує перехід від відновлювального стану (парагенезис з графітом, металевим залізом, вюститом) до окислювального (зростки з гематитом, присутність гідроокисів заліза). При підвищеному вмісті палива (коксу) в агломераті (відновлювальні умови) переходить у вюстит, а при охолодженні сталі нижче 570°C утворюється за рахунок розкладення вюститу. У послідовності оксидів заліза магнетит займає перехідне положення. Він утворюється за рахунок відновлення окису заліза вуглецем або іншими відновлювачами:



У якості вторинного продукту, техногенний магнетит утворюється на контакті металу і вогнетривкої футеровки. Значна кількість магнетиту накопичується у прокатній окалині, що виникає на поверхні металу під час його гарячої прокатки [59].

Найчастіше магнетит заміщує вюстит, рідше - металеве залізо. В шламах агломераційної фабрики і доменного цеху спостерігається заміщення магнетитом гематиту при його відновленні. В результаті вивітрювання металургійних силікатів (фаяліту, діопсиду, деяких амфіболів), а також металургійного залізосилікатного скла утворюється пилоподібний магнетит.

Парагенезис, асоціації. Металургійний магнетит часто містить у твердому розчині помітні кількості герциніту. За даними [8], при температурі більше 870°C до 35% його складу становить герциніт. В шламах і шлаках Криворізького меткомбінату магнетит утворює комплексні кристали з поступовим переходом від герциніту в центральних ділянках до магнетиту в периферійних. Спостерігаються і зворотний перехід магнетиту в герциніт [34].

Зміни. При нагріванні до 220°C в окислювальному середовищі переходить у маггеміт, а потім в гематит. В умовах металургійних відвалів і шламонакопичувачів магнетит активно заміщується гематитом (топохімічно). При цьому утворюється мережа субмікроскопічних закономірно орієнтованих пластин мартиту.

Мартитизація розвивається у периферійних ділянках зерен, а дрібні магнетитові часточки перетворюються у мартит повністю. Відомі заміщення магнетиту з утворенням піритових і кальцитових псевдоморфоз. Розповсюдження металургійних відходів у навколишньому геологічному середовищі підвищує ступінь мартитизації магнетиту. Починається гідратація заліза з утворенням гетиту, лепідокрокіту, гідрогетиту тощо. Все ж характерні морфологічні особливості техногенного магнетиту дозволяють визначати його присутність у складі донних річкових відкладів, еолових накопичень і інших природних утворень. В цілому, магнетит досить стійкий до агентів вивітрювання. Постійний мінерал в розсипах (чорні піски чорноморського узбережжя і інших місць). Він є головним компонентів так званих «чорних шліхів» золотоносних розсипів [62].

Типоморфізм. В металургійних шламах, особливо мартенівських і конвертерних, поширені кулясті виділення магнетиту розміром 10-30 мкм, або їх зростки – до 250 мкм (рис. 3.43,а). У складі пилу мультициклонів агломераційного цеху домінує мікрористалічний магнетит октаедричного габітусу. Шлами доменних цехів містять магнетит у вигляді кутастих уламків, куль і зернистих агрегатів розміром до 1 мм. В шламах конвертерного цеха магнетит містить значну домішку вюститової компоненти, від якої відрізняється вищими значеннями відбивної здатності і характерними формами заміщення гематитом. В шламах прокатного цеху спостерігаються псевдоморфози магнетиту по прокатній окалині. Магнетит з замасленою прокатної окалини вирізняється серед інших різновидів надзвичайно високим рівнем пористості (дефектності) (рис. 3.43,б). Це обумовлено інтенсивним динамічним впливом на метал при його проходженні через прокатний стан та наступною релаксацією і відривом часток з поверхні заготовки. Високо дефектні металеві зерна в умовах підвищених температур швидко окислюються до магнетиту і гетиту. Пористі частки магнетиту здатні сорбувати і протягом 20-30 років утримувати технічні мастила і інші нафтопродукти. Це перешкоджає утилізації замасленої прокатної окалини у металургійному виробництві. У складі агломерату магнетит зустрічається у вигляді скелетних скринькоподібних кристалів [5] (рис. 3.43, в). В металургійних шлаках утворює кулясті псевдоморфози по металевому залізу, скелетні кристали, нарости і

дендрити на поверхні високотемпературних мінералів жаростійкої футеровки металургійних агрегатів.

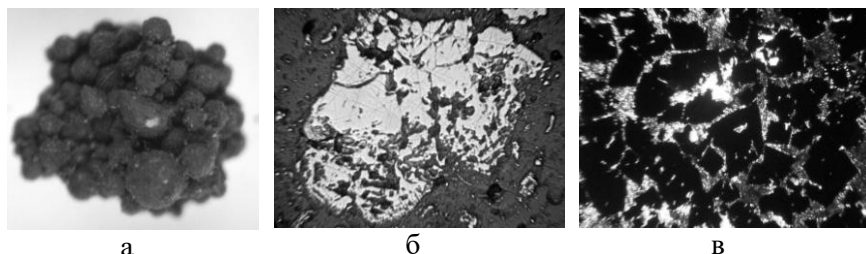


Рис. 3.43. Магнетит у складі відходів металургійного виробництва: а - кулясті виділення в металургійних шлаках. Бінокуляр, збільшення 300^{\times} ; б - дефектне зерно замасленої прокатної окалини. Полірований шліф, збільшення 75^{\times} ; в - сринькоподібні скелетні кристали магнетиту (чорне) з відходів агломераційного цеху. Прозорий шліф. Ніколі паралельні, збільшення 120^{\times} .

Значення. Один з головних мінералів заліза у складі металургійних відходів. Вторинна (техногенна) залізородна сировина.

Таким чином, техногенний магнетит кристалізується у широкому діапазоні температур з розплаву та металургійних газів, в результаті зміни складу твердого розчину, розпаду і окислення залізовмісних мінералів. Для нього характерна варіативність складу, фізичних і технологічних властивостей, морфології і анатомії індивідів і агрегатів, різноманітні перетворення. Вивчення магнетиту має важливе значення для скорочення втрат заліза і створенню ефективної технології переробки і збагачення промислових залізовмісних відходів: пилу, шлаку, шламів і іншої техногенної сировини.

Гематит Fe_2O_3 .

Окис заліза тригональної сингонії.

Хім. (мас. %): Fe – 69,9%, O – 30,1%. Домішки: Ti, Al, Mn, Cr, Na, Ca, V. Утворює тверді розчини з оксидами хрому і алюмінію. Хімічний склад гематиту з металургійних шламів, визначений мікрозондовим аналізом, відрізняється від стехіометричного незначною домішкою кальцію (%): Fe – 69,51; O – 29,73; Ca – 0,76.

Кристалічна *структура* характеризується гексагональною упаковкою, утвореною іонами кисню, розміщеними перпендикулярно вісі третього порядку. Катіони Fe^{3+} займають 2/3

октаедричних пустот, знаходяться у вершинах правильних гексаєдрів [55].

В металургійних відходах присутні наступні морфо-генетичні різновиди гематиту: залізна слюдка – первинний за походженням пластинчастий гематит, *гідрогематит (турьїт)* – частково гідратований гематит. Багато природного і техногенного *мартиту*, що представляє собою гематитову псевдоморфозу по магнетиту.

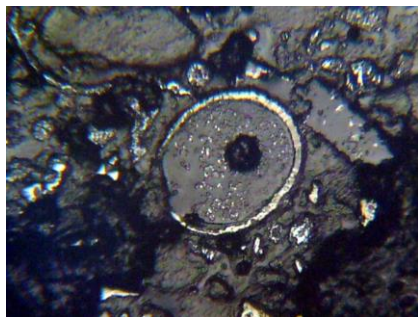
Макроскопічно. Колір металургійного гематиту змінюється від синьо-чорного до яскраво-червоного. Риса вишнево-червона. У дисперсному стані забарвлює металургійні шлами в бурувато-червоний колір (додатки, рис. 7). Тв. 5,5-6,5, мікротвердість 686-1275; густина 5,0-5,24 г/см³. Крихкий. Злом нерівний. Має слабо виражені магнітні і напівпровідникові властивості. Температура плавлення 1350-1565°C. З водою не взаємодіє. Сухий водень при 400°C відновлює гематит до металевого заліза. В тих же умовах вологий водень взаємодіє з утворенням магнетиту.

Залізна слюдка утворює таблитчасті, пластинчасті, дископодібні, порошковаті виділення, зернисті, землисті агрегати, зростання з магнетитом, сидеритом, гідроксидами заліза та іншими мінералами. Характерні гломерокристалічні зростки залісної слюдки, відомі за назвою «залізних троянд». Часто зустрічається в щільних приховано кристалічних, землистих та лускуватих агрегатах. Входить до складу полімінеральних (з гетитом, лепідокрокитом, карбонатами) концентрично зональних, ниркоподібних натічних агрегатів, щіток, кірок тощо. Металургійний гематит утворює епітаксialьні зростання з магнетитом і шпінеллю. Головними формами являються ромбодри і пінакоїди. Характерні полісинтетичні двійники і штриховка на гранях. Природно-техногенний мартит успадковує всі характерні морфологічні різновиди магнетиту: скелетні кристали, сферичні агрегати тощо (рис. 3.44-3.47).

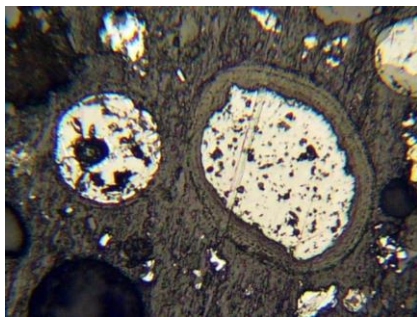
У технологічному сенсі сплющена форма кристалів обумовлює інтенсивне виділення (видування) гематиту з металургійних агрегатів до системи газоочистки та уповільнене осадження його у шламонакопичувачах. За рахунок невисокої седиментаційної густини, аналогічно лускуватим індивідам графіту лускуватий гематит відокремлюється від магнетиту і мартиту і осаджується разом дрібнозернистим пилоподібним кварцом, карбонатами, каолінітом (рис. 3.48). Жителі Кривого Рогу і інших металургійних

міст спостерігають над корпусами мартенівських цехів появу червоних хмар саме завдяки вмісту в них дисперсного гематиту.

Під мікроскопом непрозорий до напівпрозорого (у тонких прозорих шліфах просвічується червоним у крайових ділянках зерен). Має слабкий плеохроїзм від жовто-червоного до бурочервоного та червоно-бурі внутрішні рефлексії. У полірованих шліфах світло-сірий з блакитним відтінком. Відбивна здатність 25. Спайність відсутня, окрімості співпадає з напрямком двійникування.



а

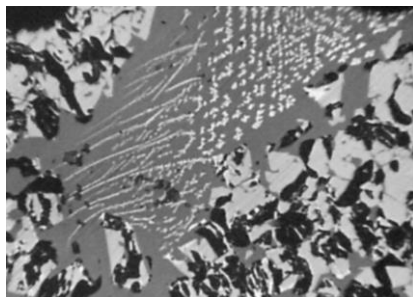


б

Рис. 3.44. Кіркі і щітки на часточках шламів: а - куляста частка металургійного скла в мартитовій «сорочці». Шлам акумулюючої ємності. Полірований шліф, збільшення 100^{\times} ; б - Мартитові часточки шламу з кіркою карбонатів. Полірований шліф, збільшення 160^{\times} .



а



б

Рис. 3.45. Мартит у продуктах металургійного виробництва: а - мартитизація скелетних кристалів магнетиту; а - шлак доменної печі. Полірований шліф, збільшення 140^{\times} ; б - Заміщення гематитом (світло-сіре) скелетних кристалів магнетиту (сіре) в масі силкатного скла (темно-сіре) залізорудного агломерату. Внаслідок високотемпературної пластичної деформації скла деякі видовжені скелети магнетиту зазнали деформації. Полірований шліф, збільшення 120^{\times} .

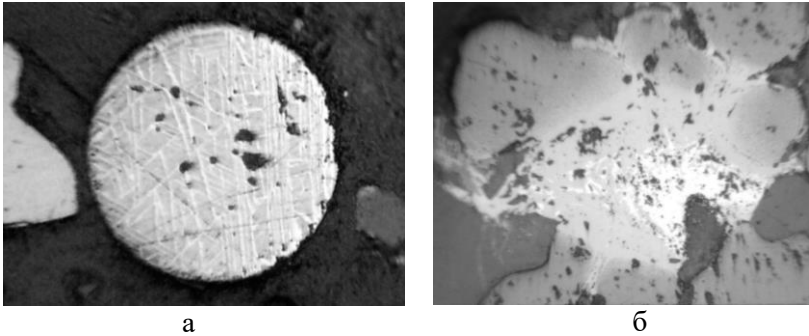


Рис. 3.46. Мартитизація (світло-сіре) по октаедричній окремості кулястого магнетитової (сіре) частки в шламах акумулюючої ємності Криворізького металургійного комбінату. Полірований шліф, збільшення 170^{\times} (а). Розвиток вторинного гематиту (світло-сіре) в центральних ділянках шпінель (темно-сіре) - магнетитових (сіре) зростків. Шлак мартенівського цеху. Там же. Полірований шліф, збільшення 210^{\times} .

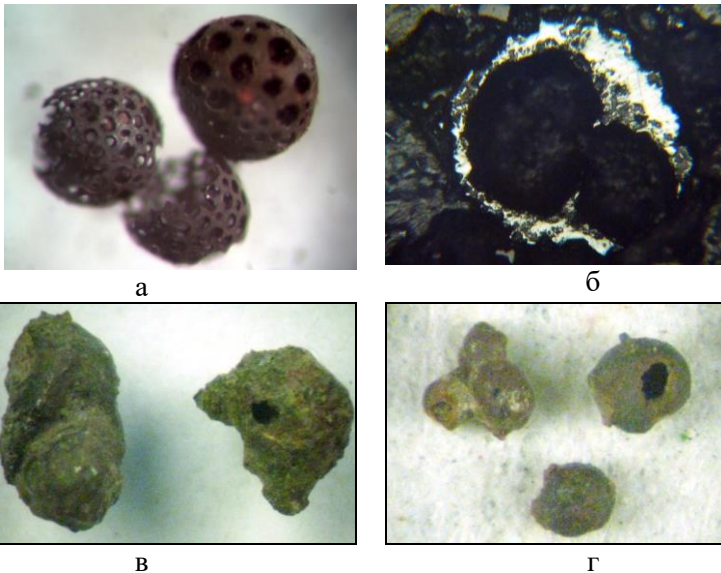


Рис. 3.47. Кулясті порожнисті виділення мартиту з металургійних шламів Криворізького комбінату: а – зовнішній вигляд під бінокуляром, збільшення 80^{\times} ; б – у поперечному розрізі. Полірований шліф, збільшення 120^{\times} ; в, г – в донному осаді р. Інгулець. Бінокуляр, збільшення: в – 120^{\times} , г – 70^{\times} .

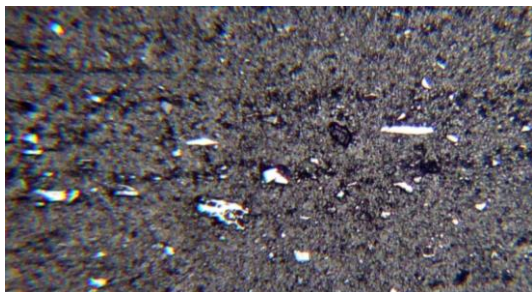


Рис. 3.48. Луски залізної слюдки (світло-сіре) розташовані паралельно мікроверствам покладу доменного шламу. Орієнтований полірований шліф, збільшення 250^X.

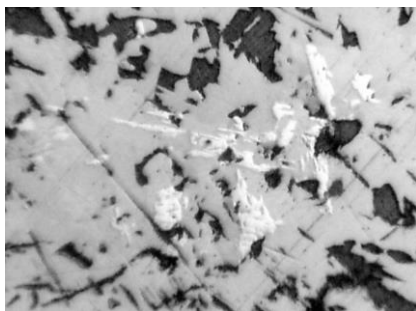
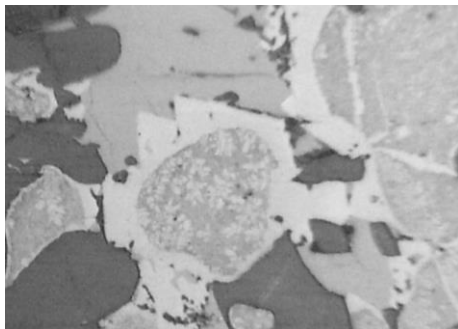
Діагностика. У складі металургійних відходів гематит присутній постійно. В інфрачервоних спектрах йому відповідають лінії поглинання 452; 525; 870 cm^{-1} . Головні лінії на рентгенограмах 2,69; 2,51; 1,83Å. Для нього характерні насичені рубіново-червоні внутрішні рефлекси. Від схожого однокальцієвого фериту гематит відрізняється вищим заломленням і густішим забарвленням; герциніт оптично ізотропний.

Утворення і поширення. Гематит є самим низькотемпературним оксидом заліза. Утворюється в області температур нижче 500°C в результаті безпосереднього окислення металевого заліза, вюститу і магнетиту виключно в окислювальному середовищі і є його мінералогічним індикатором. У вигляді тонкої кірки присутній на поверхні часточок прокатної окалини на контакт з вюститом і магнетитом. Гематит відноситься до найбільш розповсюджених мінералів у відходах металургійних комбінатів. В доменних і сталеплавильних шламах гематит значно перевершує за розміром виділення магнетиту, будучи при цьому і більш поширеним мінералом. У грубозернистих фракціях шламів (розмір часток більш 0,1 мм) найбільш часто зустрічається мартит. У більш тонких класах, особливо у фракції з крупністю часток менш 10 мкм майже всі частки гематиту представлені добре утвореними субмікроскопічними виділеннями залізної слюдки. Залізна слюдка кристалізується з металургійних газів при зростанні парціального тиску кисню. При цьому субстратом для його наростань часто слугують раніше виділені з розплаву і металургійних газів мінерали відновного і відновно-окисного середовища: графіт, силікати, магнетит та інші. Так виникають широко представлені в металургійних шламах і пилу полімінеральні зростки з гематитом на завершальних стадіях кристалізації [70]. Металургійні шлаки містять менше гематиту, і

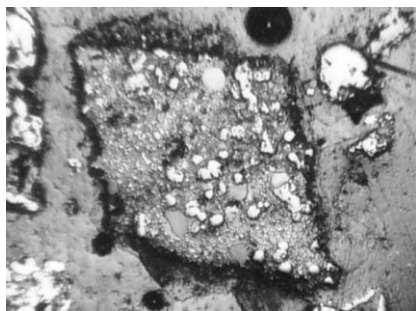
представлений він головно мартитом. Залізна слюдка в них зустрічається рідко, у вигляді дрібних ідіоморфних кристалів ромбодричного габітусу, відокремлених, або у вигляді коронарних наростів на індивідах магнетиту (рис. 3.49).

В сталеплавильних шлаках Криворізького меткомбінату виявлено заміщення вторинним гематитом раніше утвореного фериту кальцію, сидериту (рис. 3.50).

Рис. 3.49. Кристалізація ромбодрів гематиту (світло-сіре) з розплаву на поверхні зерен магнетиту (сіре) і заміщення їх центральних ділянок мікродендритами мартиту. Темно-сіре – тридиміт. Сталеплавильний шлак. Полірований шліф, збільшення $240\times$.



а



б

Рис. 3.50. Новоутворення гематиту (світло-сіре) при заміщенні: а - кристалів фериту кальцію (темно-сіре). Чорне – силікати кальцію. Полірований шліф, збільшення $90\times$; б - зерна сидериту. Шлам доменного цеху. Полірований шліф, збільшення $230\times$.

Значна частина гематиту надходить до металургійних відходів з агломераційною рудою, що має, переважно, залізнослюдко-мартитовий склад (так звана «синька», «краска» тощо) та іншою залізородною сировиною.

Парагенезис, асоціації. Гематит зустрічається разом з магнетитом, феритами і силікатами кальцію, маггемітом, кварцом, тридимітом, гетитом, лепідокрокітом, металургійним склом. У складі прокатної окалини від центру часточок до периферії утворюється послідовність оксидів: FeO (вюстит) $\rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ (магнетит) $\rightarrow \alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$, (гематит) $\rightarrow \gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$ (маггеміт) [81].

Зміни. У верхній частині доменної печі гематит відновлюється і переходить в магнетит при нагріванні без доступу кисню до 678°C , з якого при 800°C утворюється вюстит. Опалювання, витримка і охолодження в пересиченій CO_2 атмосфері надає можливість магнітної сепарації бідних гематитових руд. З вуглецем при $773-873^\circ\text{C}$ взаємодіє з утворенням магнетиту, а потім вюститу і CO_2 . Часто гематит утворюється як продукт екзогенних перетворень інших мінералів, але і він, у свою чергу, може переходити у магнетит (*мушкетовіт*), сидерит, пірит, гетит (рис. 3.51.) тощо. В обводнених умовах системи газоочистки і шламосховищ металургійних комбінатів гематит гідратується, розпушується і переходить у гідрогематит, а потім у гідроксиди заліза - гетит, гідрогетит, лепідокрокіт, тощо. Разом з іншими компонентами шламів металургійний гематит мігрує у навколишнє середовище, де діагностується за характерною формою, анатомією агрегатів і техногенними парагенезисами (див. рис. 3.47).

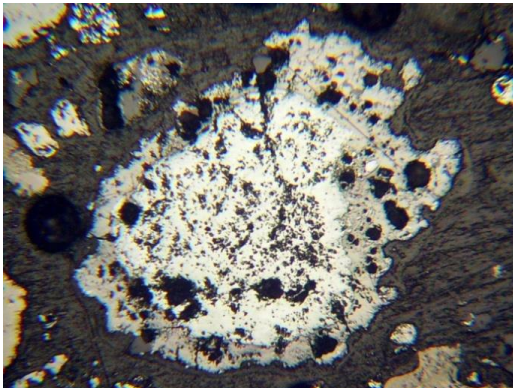


Рис. 3.51. Гіпергенне заміщення мартитової часточки гетитом (сіре). Шлам агломераційного цеху. Полірований шліф, збільшення $160\times$.

Типоморфізм. Природний (реліктовий) мартит у вигляді ксеноморфних зерен і псевдоморфоз по октаедричним кристалам магнетиту входить до складу не переплавлених часток

агломераційної руди. На відміну від нього, мартит по магнетиту металургійного походження успадковує від нього куляску форму.

Значення. З загальним вмістом заліза 70% гематит є важливою сировиною для підприємств чорної металургії. Проте відсутність чітко виражених магнітних властивостей приводить до накопичення гематиту у хвостах збагачення металургійних шлаків і шламів, навіть після кількох циклів сепарації. Використовується для підвищення питомої ваги бурових і цементних розчинів. З доісторичних часів слугує природним фарбником.

Таким чином, у складі досліджених металургійних відходів гематит представлений залізною слюдкою з ознаками високотемпературної кристалізації в середовищі металургійних газів та мартитом, утвореним в екзогенних умовах накопичення і зберігання металургійних відходів: шлакових відвалах і шламосховищах.

Маггеміт $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

Вищий окис заліза, названий за комбінацією слів «магнетит» і «гематит». Магнітна модифікація Fe_2O_3 .

Хім. (з Бразилії), (%): SiO_2 -0,3; TiO_2 - 13,0; MnO_2 - 0,9; Al_2O_3 - 1,8; Fe_2O_3 - 74,6; MgO 8,4.

Синг. Кубічна (за іншими даними тетрагональна). Маггеміт має дефектну шпінелеву кристалічну структуру магнетитового типу. Діморфний з гематитом.

Макроскопічно. Тв. 5-6, густина 4,7-4,9 г/см³. Мікротвердість 920. Колір червоно-коричневий («цегляний») (додатки, рис. 8), риса коричнева. Не прозорий. Крихкий. Злом нерівний. Сильно магнітний (ферромагнетик).

Під мікроскопом у полірованих шліфах білий з синім відтінком. R: (400) 31,5; (420) 30,2; (440) 25,8; (460) 27,6; (480) 26,6; (500) 26,0; (520) 25,5; (540) 24,8; (560) 24,0; (580) 23,2; (600) 22,4; (620) 22,0; (640) 21,6; (660) 21,2; (680) 20,8; (700) 20,4 [125].

Діагностика. Від магнетиту відрізняється значно вищим R - 23-24, від гематиту - «квадратним» перетином кристалів в шліфах і магнітними властивостями. Рентгенографічно визначається за рефlekсами 2,5177 (100); 2,53 (35); 1,4758 (34); 1,6073 (24); 2,0886 (16); 1,7045; (10); 1,0872 (7) [121].

Утворення і поширення. В природних умовах виникає в латеритних корах вивітрювання за рахунок заміщення магнетиту,

лепідокрокіту і інших мінералів заліза. В шлаках іноді зустрічається первинний маггеміт у вигляді ідіоморфних порфірових кристалів у металургійному склі. В техніці широко використовується маггеміт, синтезований з гідроксидів заліза при 800-1000°C. Він не втрачає магнітних властивостей при повторному нагріванні. На думку А.М.Портнова, саме завдяки маггеміту маємо червонувате забарвлення поверхні Марсу [82]. Маггеміт постійно присутній у металургійних відходах. Він встановлений мікроскопічним і рентгеноструктурним методами аналізу в шламах мокрої газоочистки мартенівського і агломераційного цехів та в акумулюючій ємності, а також у складі відвальних сталеплавильних шлаків [38].

Парагенезис, асоціація: магнетит, ільменіт, анатаз, рутил, гематит, гетит, лепідокрокіт, марказит, металургійне скло.

Зміни. В природних умовах нестійкий. Легко перетворюється у гематит.

Типоморфізм. Типоморфними ознаками маггеміту у складі пилу і шлаків металургійного виробництва є ідіоморфні скелетні кристали, часто з вгнутими гранями (додатки, рис. 8а).

Значення. Індикатор окислювального середовища і гіпергенних змін.

Маггеміт є одним з поширених, але недостатньо досліджених мінералів техногенезу, який суттєво впливає на технологічні властивості і ефективність збагачення металургійних шлаків, пилу.

Гетит - α -FeO(OH) і лепідокрокіт - γ -FeO(OH).

Утворюють парагенезис гіпергенних мінералів, охарактеризованих далі як «гідроксида заліза».

Хім. (мас. %): Fe₂O₃ – 89,86; H₂O – 10,14. Домішки Mn (до 5) та ін. [55].

Макроскопічно. Між собою вказані мінерали відрізняються за формою індивідів - гетит утворює голчасті, лепідокрокіт - пластинчасті кристали (див. рис. 3.37). Для обох мінералів характерні суцільні дрібнокристалічні до прихованокристалічних та натічні агрегати - часто пухкі, пористі, шлакоподібні.

Під мікроскопом спостерігаються дрібні конкреції, жовна, ооліти, в яких у якості зародків росту використовувалися частинки інших мінералів металургійних шлаків і пилу: графіту, силікатного скла,

тощо. У картах та інших гідротехнічних об'єктах шламового цеху практично всі частки шламів покриті тонкою плівкою, іноді кіркою гідроксидів заліза. Те ж відноситься до внутрішньої поверхні порожнин у сфероїдальних частках шламів, тріщин та пор у грудкуватих полімінеральних агрегатах [36].

Утворення і поширення. У вихідних безводних шлаках і пилу металургійних агрегатів гідроксида заліза, як правило, відсутні. Незначна за вмістом частина полімінеральних (гідрогематит-лепідокрокіт-гетитових, з домішкою каолініту) агрегатів представлена грудочкам вихідної «краскової» руди. У невеликій кількості вони потрапляють до шламонакопичувачів разом з іншими дрібнозернистими відходами агломераційного і доменного процесів (додатки, рис. 9а). У великих обсягах гетит і лепідокрокіт утворюються в обводнених шламах газоочисток та лежалих шлаках внаслідок окислення залізозмісних мінералів, в першу чергу металевого заліза (див. рис. 3.39, додатки, рис. 9б-9г). Зміни розпочинаються з поверхні корольків. Потім вони повністю заміщуються гідроксидами заліза (див. рис. 3.27, 3.51). Іноді в них зберігаються голки більш стійкого до дії гіпергенних агентів когеніту [96]. Вивітрювання і окислення докорінно змінюють склад і будову шлакового покладу. Він перетворюється у тонку мережу лепідокрокіт-гетитових прожилків та грудочок з реліктами силікатних складових шлаку.

У відкладах шламонакопичувачів гетит і лепідокрокіт осаджуються з шламової води на поверхню дрібних мінеральних часточок, цементують їх, створюючи відносно крупнозернисті агрегати. Завдяки їм відбувається загальне нерівномірне збільшення розміру шламових зерен (додатки, рис. 10), змінюється технологічні властивості шламу.

Парагенезис, асоціації. У складі металургійних відходів гетит і лепідокрокіт найчастіше супроводжують первинні мінерали заліза, а з вторинних - карбонати.

Зміни. В умовах шламонакопичувачів і шлакових відвалів гідрооксида заліза є найбільш стійкими мінералами. Їх кількість постійно збільшується.

Типоморфізм. Металургійні шлаки містять головно вторинний гетит і лепідокрокіт, котрі псевдоморфно заміщують первинні (металургійні) мінерали заліза (див. рис. 3.21) [97]; шлами

відстійників і карт, додатково, ще й хемогенний осад гідроокисів заліза з технічної води газоочисних споруд у вигляді плівок і кірок на поверхні часток, незалежно від їх мінерального складу (додатки, рис. 10а,б) [70].

Значення. Гетит і лепідокрокіт у промислових відходах є одними з головних рудних мінералів. Вони суттєво відрізняються від первинних мінералів заліза за фізичними і технологічними властивостями. Це потрібно враховувати при збагаченні і повторному використанні металургійних відходів.

Ферити кальцію.

Групу феритів кальцію представляють кілька складних оксидів з перемінним співвідношенням іонів двовалентного кальцію та тривалентного заліза.

Різновиди. Результати кристалооптичних, рентгеноструктурних і мікрозондових досліджень свідчать про присутність в металургійних шлаках і шламах наступних феритів кальцію: *браунмілериту, однокальцієвого, напівкальцієвого та складного фериту* (табл. 3.3.) [97, 102]. З них лише браунмілерит зустрічається у природних умовах.

Таблиця 3.3.

Мінеральні види металургійного походження, віднесені до групи феритів кальцію

Мінерал	Формула	Головні рефлекси, нм
Браунмілерит	$\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_5$	0,267; 0,271; 0,278; 0,194
Однокальцієвий ферит*	CaFe_2O_4	0,266; 0,252; 0,150; 0,1828
Напівкальцієвий ферит*	CaFe_4O_7	0,260; 0,276; 0,300; 0,289
Складний ферит*	$\text{Ca}_4\text{Fe}_9\text{O}_{17}$	0,281; 0,56; 0,299; 0,229; 0,254; 0,184

*Фази штучного походження, діагностовані за ASTM [115].

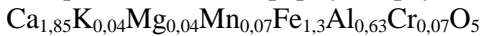
Хімічний склад феритів кальцію нестабільний, і залежить від складу середовища мінералоутворення. Вміст головних і домішкових хімічних елементів браунмілериту зі сталеплавильних шлаків Криворізького меткомбінату наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4.

Хімічний склад браунмілериту за даними мікрозондового аналізу,
мас. %

CaO	FeO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	Sc	S	Pb
43,5	28,3	1,26	1,41	21,83	2,31	0,25	0,76	0,34	0,9	0,2	0,4

Кристалохімічна формула браунмілериту:



Деякі фізичні і оптичні властивості металургійних феритів кальцію, за даними [95], наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5.

Фізичні властивості феритів кальцію з шлаках Криворізького
металургійного комбінату

Мінерал, сингонія	Відбивна здатність, R %	Мікротвер- дість, Н, МПа	Колір в прозорих шліфах	Форма кристалів
браунмілерит, ромбічна	14,3 – 18	7565	жовто- коричневий	коротко- стовбчасті
однокальцієвий ферит, ромбічна	19 – 20	6566	буровато- червоний	видовжені
напівкальцієвий ферит, гекса- гональна	19 – 21	–	темно- червоний до чорного	голчасті

Під мікроскопом ферити кальцію утворюють видовжені тичкуваті індивіди, голки, рідше призматичні кристали і волокнисті агрегати (додатки, рис. 11а). Поширені також скелетні кристали і дендрити (додатки, рис. 11б). Інколи вони утворюють густу мережу мікропрожилків в тріщинах в міжзерновому просторі шлакоутворюючих силікатів. Зустрічаються сферичні агрегати тичкуватих кристалів. По відношенню до силікатів кальцію ферити кальцію ксеноморфні, а у зростках з магнетитом і гематитом, як правило ідіоморфні (додатки, рис. 11).

Внаслідок варіації хімічного складу, мінерали вказаної групи характеризуються значною мінливістю оптичних властивостей, в першу чергу, забарвлення. Вони напівпрозорі до майже непрозорих. У браунмілериту колір жовто-бурий, у однокальцієвого фериту - коричнево-червоний і темно-червоний до чорного у напівкальцієвого фериту. У цій послідовності поступово зростає величина двозаломлення (N_g-N_p) від 0,090 до 0,120, а в полірованих шліфах - відбивна здатність (R) мінералів від 17 до 21. Інтерференційне забарвлення при двох ніколях не спостерігається завдяки насиченому власному кольору цих мінералів. Буро-жовті ферити кальцію розвиваються в ділянках шлаку, збагачених силкатами кальцію, тоді як темно-червоні тяжіють до відмін шлаків, багатих на корольки металу і оксиди заліза. Відмічені різновиди характеризуються поступовими переходами. Навколо газових порожнин у складі шлаку утворюються зональні полімінеральні агрегати з послідовною зміною зон розвитку променистих кристалів напівкальцієвого фериту, табличок силкату кальцію, короткопризматичних індивідів браунмілериту і (у середині порожнин) натічних агрегатів гіпергенного халцедону (додатки, рис. 12).

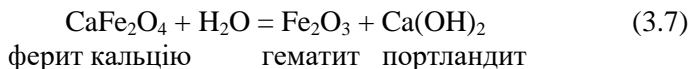
У вивітрених шлаках з тонкими прожилками халцедону, карбонатів і інших вторинних мінералів ферити кальцію набувають каламутно-сірого забарвлення. Це явище пов'язане з заміщенням їх гіпергенним лимонітом.

Утворення і поширення. Ферити кальцію досить поширені в сталеплавильних і доменних шлаках, вогнетривах мартенівських печей і конверторів. У відходах Криворізького металургійного комбінату вони розподілені дуже нерівномірно. В об'ємі шлакового покладу вміст феритів кальцію може змінюватися від 7,0 до 74,0 об'ємних %. В шламах дана група мінералів зустрічається дещо рідше. Тут вони знаходяться в розкристалізованих краплинах шлаку (додатки, рис. 13). Ферити кальцію кристалізуються з розплаву при порівняно невисокій температурі 1050-1200°C, а також з металургійного скла при 1150°C [88].

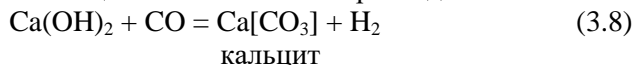
Парагенезис, асоціації. Для феритів кальцію з співвідношенням $CaO < Fe_2O_3$ характерна асоціація з металевим залізом та його оксидами, а $CaO > Fe_2O_3$ - з силкатами кальцію. Всі ферити кальцію обмежено зустрічаються з мінералами групи кварцу.

Зміни. При виплавці чавуну і сталі ферити кальцію плавляться

при 1216°C інконгруентно з розкладанням на магнетит і рідину, що містить оксид кальцію [6]. В гіпергенних умовах шлакових відвалів та шламонакопичувачів ферити кальцію заміщуються гематитом, гетитом,. Процес супроводжується вивільненням кальцію і утворенням портландиту, наступна взаємодія якого з вуглекислим газом повітря приводить до кристалізації кальциту за формулами:



ферит кальцію гематит портландит



кальцит

Типоморфізм. Для доменних шламів характерні тичкуваті видовжені індивіди, скелетні кристали і дендрити феритів кальцію, тоді як у шламах газоочистки киснево-конвертерного цеху ферити кальцію утворюють поодинокі тичкуваті і голчасті включення в кристалах вюститу.

Значення. Дані про використання феритів кальцію у якості джерел заліза в літературі майже відсутні. Цьому сприяє виняткова рідкість феритів кальцію в природі. Значно частіше їх знаходять у складі металургійних агломератів і шлаків, проте в останніх більшої вагомості набувають металеве залізо і його оксиди: вюстит, магнетит, маггеміт і гематит. Загальний вміст заліза у феритах кальцію незначний і складає 26,78 – 41,08 мас. % [88]. А ще вони практично не магнітні і не концентруються відповідними технологіями. Слід, проте, врахувати наявність у їх складі кальцію та відносно невисоку температуру плавлення. Це дозволяє використовувати їх для виробництва самоплавкого (без добавки вапна) офлюсованого залізорудного агломерату. Тому вилучення даних мінералів в процесі переробки металургійних відходів може істотно збільшити видобування заліза, при скороченні витрат палива і флюсів та зниженні собівартості металургійного виробництва.

Графіт – С.

У відходах підприємств чорної металургії після металевого заліза графіт є найпоширенішим мінералом класу самородних елементів.

Хім. За складом графіт рідко відповідає хімічній формулі. Звичайно він містить до 10-20% SiO₂, Al₂O₃, FeO, MgO, а також H₂O, бітуми та гази (до 20%) [55]. За даними мікрозондового аналізу

графіт з шламів Криворізького металургійного комбінату (рис. 3.52 а), окрім вуглецю містить домішки заліза і кальцію, %: С – 90,48; О – 8,86; Са – 0,21; Fe – 0,45 [70].

Кристалічна структура графіту характеризується щільним розташуванням атомів вуглецю в паралельних шарах з відстанню між ними 1,42 Å. Шари атомів віддалені один від одного на відстань 3,39 Å і зв'язок з ними ослаблений. На рентгенограмах металургійного шламу графіту відповідає рефлекс (нм) 0,335 (100).

Різновиди. В промисловості графіт поділяють на три категорії: 1) явно *кристалічний*, 2) приховано кристалічний (*графітум*), 3) аморфний (*шунгіт*). Металургійні відходи містять у собі всі різновиди графіту.

Макроскопічно графіт залізо-чорний до сталю-сірого з інтенсивним блиском. За цими ознаками у складі металургійного пилу схожий на лускуваті виділення гематиту, але на відміну від нього еластичний і має дуже низьку твердість. В шламах кристали та агрегати графіту більші за розміром, ніж виділення інших мінералів. Кристалічний графіт зустрічається у вигляді лусок, добре утворених гексагональних пластинок і табличок, часто розщеплених в периферійних ділянках, а також тонко лускуватих агрегатів (рис. 3.52а). Графітит кристалізується у вигляді радіально-променистих сферолітоподібних та концентрично-зональних агрегатів (рис. 3.52 б), утворює ниркоподібні нарости на поверхні пластинок кристалічного графіту і виділень металевого заліза, вюститу, магнетиту, голчастих кристалів силікатів та інших мінералів. Для шунгіту характерні дрібні пилоподібні часточки, коломорфні та землісті агрегати, мікротришні півки і кірки на поверхні виділень інших мінералів, помітні лише при великому збільшенні (рис. 3.53).

Під мікроскопом графіт анізотропний. Відбивна здатність $R=23\%$, часто нижче, оскільки мінерал важко піддається поліруванню. Характерна складна внутрішня будова індивідів і агрегатів: просте та полісинтетичне двійникування кристалів, наявність дислокацій і інших дефектів структури, кулясті, пластинчасті та ксеноморфні включення металевого заліза тощо. В місцях виходу дислокацій, мікротришин, та на ребрах віцинальних граней кристалів, нарастають дрібні індивіди та мікросфероліти графіту більш пізніх генерацій. Спайність дуже досконала. Мінерал досить пластичний.

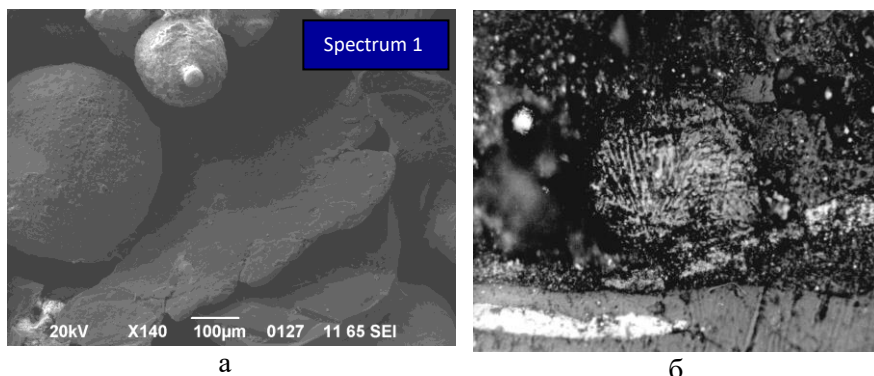


Рис. 3.52. Дві морфологічні відміни металургійного графіту: а - пластинчасті кристали графіту з кулястими виділеннями гідроксидів заліза. Растрова електронна мікроскопія. Шлам акумулюючої ємності; б - радіально-променистий мікроагрегат графітиту (сіре) в асоціації з лінзоподібним виділенням металевого заліза (біле) та вюститу (темно-сіре). Полірований шліф. Шлам мартенівського цеху, збільшення 220^x.



Рис. 3.53. Мікрокристалічна кірка шунгїту на поверхні кулястих агрегатів магнетиту. Пил мартенівського цеху. Електронна мікроскопія. Репліка з вилученням, збільшення 15000^x.

Утворення і поширення. Графіт – високотемпературний мінерал. У металургійному процесі він утворюється завдяки розпаду газоподібних сполук, піролізу і згоранню антрациту і коксу, при виділенні розчиненого в рідкому металі вуглецю, механічній обробці вуглецевмісних металів тощо. Присутній у всіх різновидах і гранулометричних класах металургійних шламів. Значно рідше зустрічається в шлаках. Особливо велика кількість графіту виділяється під час виливу рідкого чавуну. Головним джерелом

вуглецю в продуктах металургійних процесів є кокс [59].

Парагенезис, асоціації. З іншими мінералами графіт звичайно не утворює зростків. Виключення складають дрібні кулясті включення металевого заліза, рідше вюститу і магнетиту, захоплені пакетами і блоками графіту на стадії його росту.

Зміни. Завдяки особливостям кристалічної структури (див. вище), в металургійних шламах кристали графіту легко розщеплюються на тоненькі лусочки, згинаються, але не ламаються (рис. 3.54). На повітрі графіт швидко окислюється. З розчинами кислот не реагує, в обводнених умовах шламосховищ стійкий. З багатьма металами утворює карбіди, наприклад когеніт Fe_3C . Плавиться при температурі більше $3500C^{\circ}$.

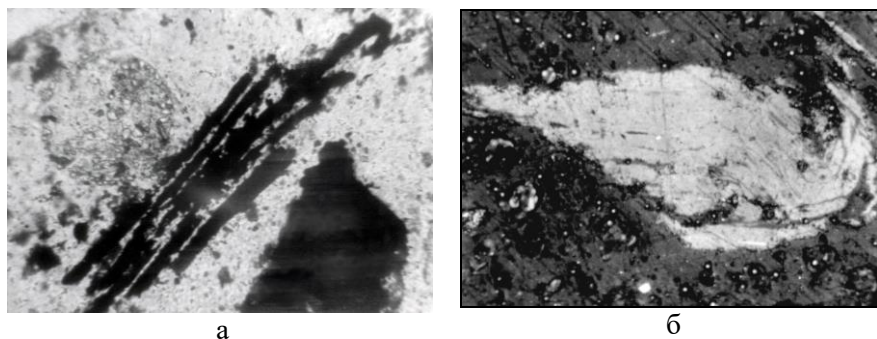


Рис. 3.54. Характерні вторинні зміни металургійного графіту: а – розщеплений вздовж дуже досконалої спайності кристал графіту в шламах акумулюючої ємності. Прозорий шліф. Ніколі паралельні, збільшення 130^{\times} ; б – деформований лускуватий кристал графіту. Пил мартенівського цеху. Полірований шліф, збільшення 180^{\times} .

Значення. Графіт є цінним компонентом металургійних відходів. Завдяки жаростійким властивостям і електропровідності з нього виготовляють електроди для електроплавильних печей та вогнетриви для металургійних агрегатів. Проте використовується металургійний графіт не повністю, оскільки включення оксидів заліза істотно змінюють фізичні (включно технологічні) властивості мінералу. Він набуває абразивності і стає магнітним, підвищується щільність мінералу. Тому для очищення графіту варто застосовувати тонке подрібнення і наступне збагачення з використанням комбінованих методів сепарації.

Група силікатів кальцію.

Силікати кальцію у складі металургійних шлаків і шлаків є найбільш чисельною, проте недостатньо вивченою групою мінералів.

Різновиди. Поєднання сучасних і традиційних методів мінералогічних досліджень дозволило визначити у складі групи біля десяти мінеральних видів. Більшість з них зустрічається у природі, головним чином в продуктах метаморфізму мармурів (*ларніт, кірштейніт, мервініт*). Інші мінерали охарактеризовані О.Н. Вінчелом, Г. Штрюбелем, В.І. Міхеєвим в продуктах агломераційного, цементного і металургійного виробництва (α - Ca_2SiO_4 , *шаноніт* γ - Ca_2SiO_4 , *силікоалюмінат кальцію* $\text{CaMn}[\text{AlSiO}_4]_4$), тобто являються штучними фазами (табл. 3.6, 3.7) [8, 80, 110].

Зважаючи на схожість морфологічних ознак і оптичних властивостей мінералів вказаної групи, їх систематика в даному обзорі базується на результатах рентгеноструктурного і мікрозондового аналізів (табл. 3.6, 3.7; рис. 3.55).

Таблиця 3.6.

Силікати кальцію, виявлені в металургійних шлаках і шламах Криворізького металургійного комбінату рентгеноструктурним аналізом («Механобрчормет», аналітик С.В.Дмаховська)

Мінерал	Головні рефлекси, нм
ларніт β - Ca_2SiO_4	0,2795; 0,744; 0,2608; 0,2188
шаноніт γ - Ca_2SiO_4 *	0,277; 0,269; 0,219; 0,1985; 0,203; 0,1632; 0,161; 0,170
хатрюрит Ca_3SiO_5	0,2787; 0,2649; 0,307; 0,2840; 0,1789; 0,1513
α - Ca_2SiO_4	0,276; 0,269; 0,237; 0,220; 0,177
кірштейніт CaFeSiO_4	0,2957; 0,2687; 0,2612; 0,1835; 0,3672
Силікоалюмінат кальцію $\text{CaMn}[\text{AlSiO}_4]_4$ *	0,969; 0,556; 0,254; 0,385; 0,344

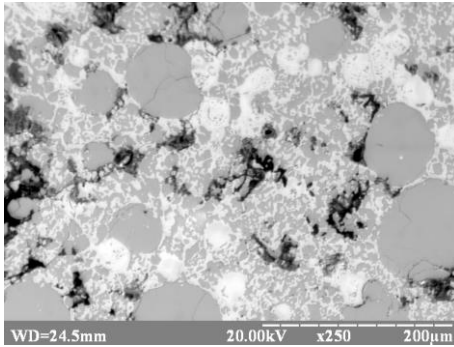
*Фази штучного походження, діагностовані за ASTM [115].

Хімічний склад силікатів кальцію в шлаках за даними мікрозондового аналізу наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7.

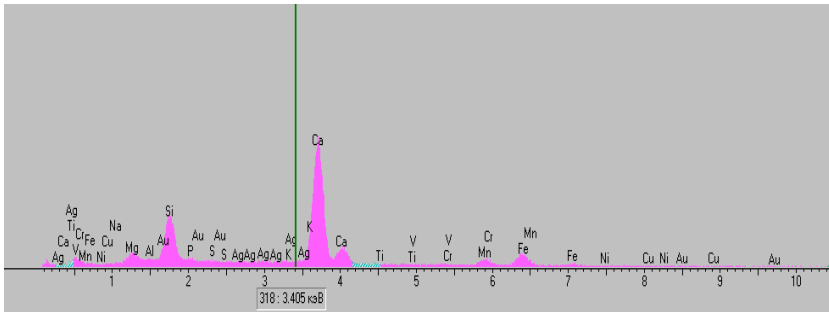
Хімічний склад силікатів кальцію за даними мікрозондового аналізу, мас. % , за [38]

CaO	SiO ₂	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Sc	S	Co
Мервініт Ca ₃ Mg(SiO ₄) ₂												
51,23	36,42	2,88	0,90	2,83	0,67	-	0,05	0,47	2,59	-	1,24	-
Ларніт β-Ca ₂ SiO ₄												
64,1	31,37	0,43	0,37	0,78	0,80	-	0,05	1,23	0,45	-	0,48	-
Хатрюрит Ca ₃ SiO ₅												
65,71	23,4	1,01	0,46	1,17	1,46	0,47	-	0,92	0,64	4,01	0,50	0,24
Силікоалюмінат кальцію CaMn[AlSiO ₄] ₄												
10,57	54,01	2,33	5,05	23,43	0,72	0,27	0,74	-	1,78	-	1,60	-



а

Рис. 3.55. Хатрюрит: а – зображення у відбитих електронах (сіре, видовжені кристали) в асоціації з мінералами SiO₂ (сіре ізометричні кристали) та магнетитом (світло-сіре). Сталеплавильний шлак. Растрова електронна мікроскопія; б – результати визначення хімічного складу хатрюриту мікрозондовим аналізом



б

Розраховані кристалохімічні формули досліджених силікатів кальцію наступні:

- мервініт $\text{Ca}_{3,66}\text{Mg}_{0,17}\text{Mn}_{0,07}\text{Fe}_{0,05}\text{K}_{0,04}\text{Na}_{0,004}[\text{Si}_{0,86}\text{Al}_{0,08}\text{P}_{0,06}\text{O}_4]_2$;
- ларніт $\text{Ca}_{1,898}\text{Mg}_{0,02}\text{Mn}_{0,01}\text{Fe}_{0,03}\text{K}_{0,04}\text{Na}_{0,002}[\text{Si}_{0,88}\text{Al}_{0,06}\text{P}_{0,06}\text{O}_4]$;
- хатрюрит
 $\text{Ca}_{2,82}\text{Mg}_{0,04}\text{Mn}_{0,02}\text{Fe}_{0,07}\text{K}_{0,05}\text{Co}_{0,011}[\text{Si}_{0,73}\text{Al}_{0,04}\text{Sc}_{0,18}\text{P}_{0,02}\text{Cr}_{0,02}\text{O}_4]$;
- силікоалюмінат кальцію*
 $\text{Ca}_{1,1}\text{Mg}_{0,17}\text{Mn}_{0,62}\text{Fe}_{0,06}\text{Na}_{0,05}[\text{Si}_{1,3}\text{Al}_{0,64}\text{P}_{0,05}\text{O}_4]$.

Наведені дані свідчать, що за вмістом окису кальцію і кремнезему техногенні силікати кальцію майже не відрізняються від природних аналогів і близькі до теоретичних формул [79]. Проте, мервініт металургійного походження значно бідніший магнієм і, навпаки, збагачений сіркою, фосфором та алюмінієм. За складом елементів-домішок досліджені кристали ларніту близькі до природних зразків [123]. Але в них міститься значно більше марганцю і заліза, що відображає специфіку хімічного складу рідкого металургійного шлаку і умов його кристалізації.

Визначені домішкові хімічні елементи ізоморфно заміщують головні мінералоутворюючі елементи – кальцій, кремній, магній, або можуть бути представленими у вигляді субмікроскопічних включень окремих «мінералів-в'язнів». Приклад ізовалентного ізоморфізму наведений на рис. 3.56. Він показує, що значна частина іонів Ca^{+2} в кристалічній ґратці силікатів кальцію заміщена іонами Mn^{+2} .

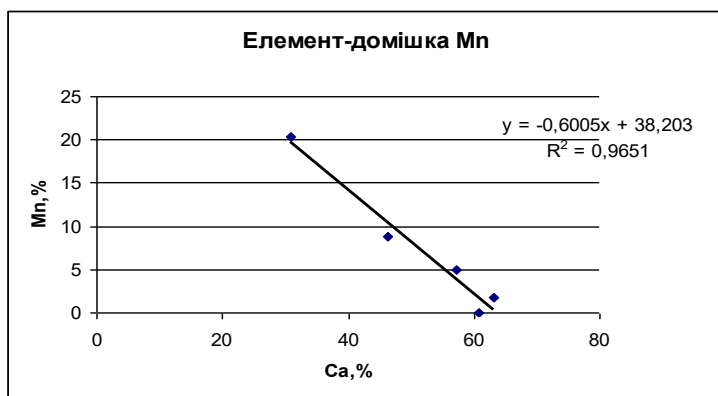


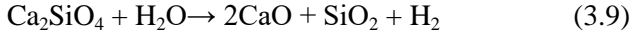
Рис. 3.56. Лінійна від'ємна залежність між вмістом кальцію і мангану в кристалічній ґратці силікатів кальцію.

Під мікроскопом силікати кальцію утворюють різноманітні за формою кристали: видовжені, таблитчасті, дископодібні, короткостовбчасті, ізометричні (рис. 3.57). Колір мінералів від сірого до зеленувато-сірого, фіолетового і навіть темного жовтогарячого. Колір інтерференції – від сірого першого порядку до жовто-зеленого третього порядку. Поширені прості (у видовжених кристалах) і полісинтетичні (у таблитчастих і ізометричних кристалах) двійники (рис. 3.58а). Ширина двійникових індивідів зростає при збільшенні співвідношення Ca/Si у складі мінералу. Прості двійники мервініту іноді мають форму «хвоста ластівки».

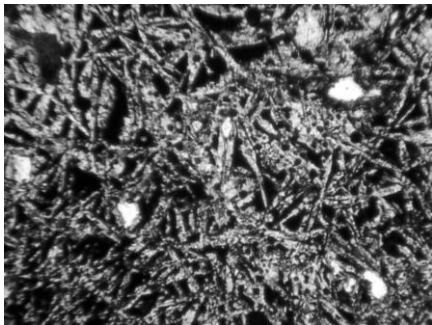
Поширення і утворення. Група силікатів кальцію дуже поширена в продуктах металургійного, цементного, вогнетривкого виробництва. Головним чинником утворення силікатів кальцію в металургійному процесі є введення до складу шихти флюсів: вапна і вапняків. Після розплавлення сировинних матеріалів кальцій і магній утворюють з кремнеземом, алюмінієм, лугами і іншими баластними та шкідливими для металургійного виробництва хімічними елементами кристалічні сполуки (кальцієві силікати та інші мінерали) і, тим самим, сприяють виведенню їх з розплавленого металу до більш легкого шлаку. Кристалізуються кальцієві силікати з розплавленого шлаку, рідше – при девітрифікації металургійного скла (рис. 3.57в, додатки, рис. 14а,б).

Парагенезис, асоціації. Дані мінерали кристалізуються в широкому інтервалі температур і утворюють зростки з різноманітними мінералами шлаку. Наприклад, магнетит, як правило, кристалізується пізніше силікатів кальцію і виповнює простір між їх кристалами (рис. 3.57а). Частина силікатів кальцію мають з магнетитом індукційні поверхні спільного росту. Іноді магнетит захоплюється індивідами силікатів кальцію з утворенням поїккілітових кристалів (рис. 3.58). З феритами кальцію силікати кальцію, як правило формують зернисті агрегати і субпаралельні зростки, з високотемпературними мінералами - зональні агрегати, склад яких змінюється від центру до периферії наступним чином: зона а) - шпінель, герцинит, муліт, тридиміт, кристобаліт; зона б) - вюстит, магнетит; зона в) - ларніт, шаноніт, хатрюрит. В таких ділянках шлак набуває зональної орбікулярної текстури. Безпосередній контакт силікатів кальцію з мулітом завжди корозійний.

Зміни. Більшість техногенних силікатів кальцію дисоціюють у воді з утворенням гелю SiO_2 і розчину CaO за схемою (3.9):



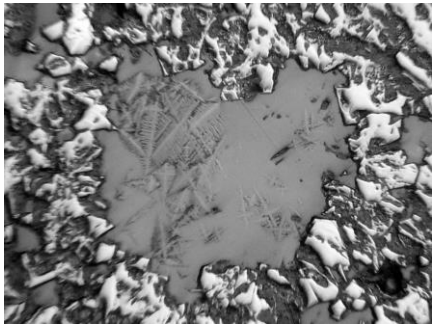
CaO розчиняється у воді, а SiO_2 утворює гель, який при зневодненні перетворюється в опал [58]. Взаємодія розчинів вапна і вуглекислого газу приводить до появи у складі шлаку карбонату. Цим пояснюється заміщення силікатів кальцію гіпергенним кальцитом і утворення опалу і халцедону в газових порожнинах і тріщинках вивіреного шлаку.



а

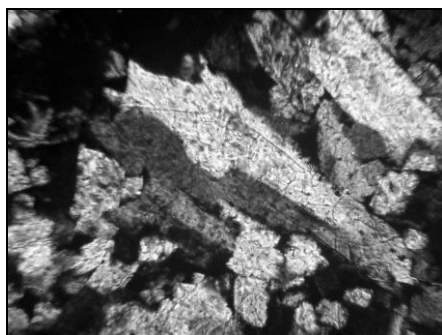


б

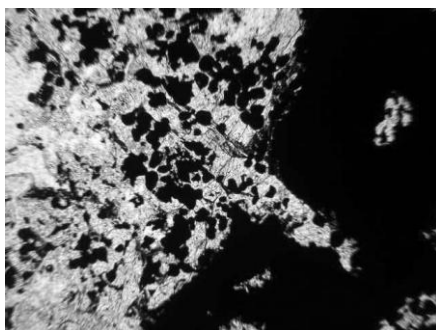


в

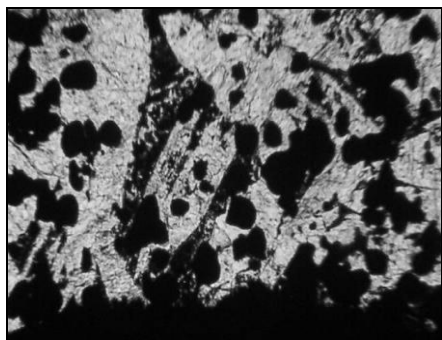
Рис. 3.57. Кальцієві силікати (біле, світло-сіре): а - у складі мартенівських шлаків з магнетитом (чорне). Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення 60^{\times} ; б - в шлаках конверторного цеху. Прозорий шліф, збільшення 75^{\times} ; в - скелетні кристали у складі девітрифікованого скла з відходів агломераційної фабрики. Полірований шліф, збільшення 240^{\times} .



а



б



в

Рис. 3.58. Внутрішня будова індивідів кальцієвого силікату: а - прості двійники мервініту. Прозорий шліф, ніколи схрещені, збільшення $180\times$; б, в – включення магнетиту (чорне). Прозорий шліф, ніколи паралельні, збільшення $110\times$.

Значення. Ненасичені кремнеземом кальцієві силікати можуть в певній мірі, використовуватися у металургійному виробництві як флюси. Проте головна маса мінералів даної групи пасивні по відношенню до кремнезему та алюмінію, а в розплавленому вигляді ще й депонують їх до залізорудної сировини. Тому в металургійному процесі силікати кальцію скоріше є шкідливими, ніж корисними (флюсоутворюючими). Більш доцільно використовувати їх у виробництві будівельних матеріалів, де важливу роль відіграє розчинність та цементуючі властивості силікатів кальцію [95].

Мінерали кремнезему.

Мінерали кремнезему, а також силікатне скло, дуже поширені в продуктах металургійного виробництва. Вміст їх збільшується у відходах: металургійному пилу, шламах і шлаках. Загальна кількість природних і техногенних мінеральних видів з формулою SiO_2 в даних матеріалах може наблизитися до десяти. Характерною рисою

мінералів кремнезему є численні поліморфні перетворення, які здійснюються у широкому інтервалі температур, в умовах варіації хімічного складу і агрегатного стану мінералоутворюючого середовища. Результати досліджень свідчать про присутність у вивчених шлаках і шламах кількох поліморфних модифікацій кристобаліту, тридиміту, кварцу, а також халцедону, опалу, силікатного, залізолікатного і алюмосилікатного скла (табл. 3.8). Головні рефлекси мінералів SiO_2 на рентгенограмах металургійного шлаку наведені на рис. 3.59 і 3.60.

Таблиця 3.8.

Кристалізація і поліморфні перетворення мінералів групи SiO_2 в залежності від температури, швидкості охолодження і агрегатного стану мінералоутворюючого середовища, за даними [88], з доповненнями

Температура, °C	Умови кристалізації розплаву		Поліморфні перетворення
	швидке охолодження	повільне охолодження	
1735-1710	Силікатне, залізо- силікатне, алюмосилікатне скло	α -кристобаліт	
1470		γ -тридиміт	
870		β -кварц	
573			β -кварц \rightarrow α -кварц
275-200			α -кристобаліт \rightarrow β -кристобаліт
163			β -кристобаліт \rightarrow α -тридиміт
120			α -тридиміт \rightarrow β -тридиміт
водні розчини			
0-100	опал, халцедон, низькотемпературні поліморфні модифікації тридиміту і кристобаліту		

Кристобаліт представляє собою одну з найбільш високотемпературних модифікацій кремнезему, стійку в інтервалі температур 1715-1470°C. При охолодженні нижче вказаної температури він довгий час існує як метастабільна фаза [88]. У

відходах підприємств чорної металургії кристобаліт утворює дві поліморфні модифікації: ранню кубічну і пізню тетрагональну. Тетрагональна модифікація успадковує кубо-октаєдричний габітус кристалів високотемпературного кристобаліту. Для неї характерні прості і полісинтетичні двійники, іноді секторальні кристали. Двійникові шви рівні чіткі або злегка розмиті. В рідкий шлак мінерал потрапляє переважно з динасової вогнетривкої футеровки металургійних агрегатів і утворює в ньому поодинокі порфірові фенокристали. На їх поверхні майже завжди кристалізується щільна кірка скелетних кристалів магнетиту або плівка гідроокисів заліза (рис. 3.61). Тому при збагаченні шлаку залізо-віюстит-магнетитовий концентрат забруднюється кремнеземом.

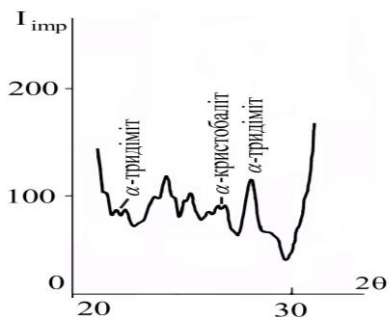


Рис. 3.59. Рефлекси кристобаліту і тридіміту на рентгенівській дифрактограмі сталеплавильного шлаку Криворізького металургійного комбінату.

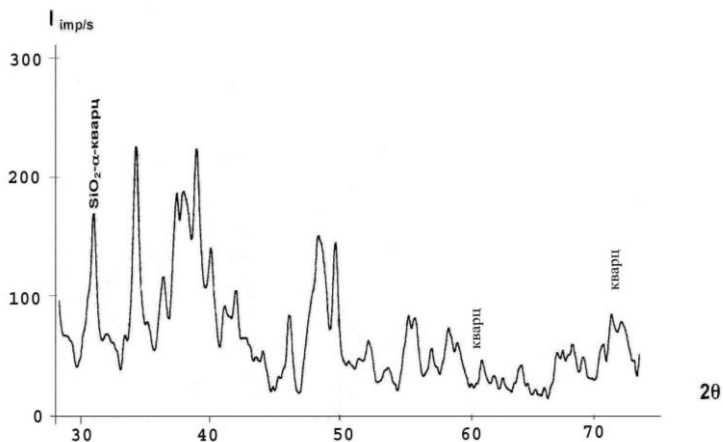


Рис. 3.60. Рефлекси кварцу на рентгенівській дифрактограмі сталеплавильного шлаку Криворізького металургійного комбінату.

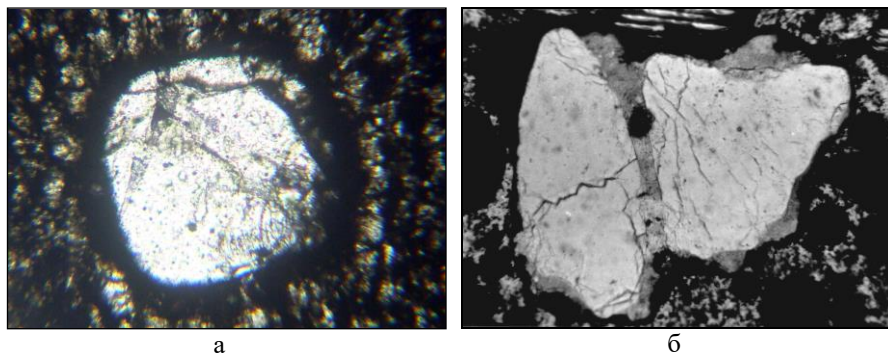


Рис. 3.61. Кристали і зерна кристобаліту: а - кубо-октаедричний порфіровий кристал кристобаліту (біле) в «сорочці» з магнетиту (чорне) і кальцієвого силікату (світло-сіре). Металургійний шлак. Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення 165^{\times} ; б - ідіоморфний призматично-діпірамідальний кристал та ксеноморфне зерно кристобаліту (світло-сіре), зцементовані приховано кристалічним агрегатом карбонату, опалу та силікатного скла (сіре), пізніше покриті кіркою оксидів та гідроксидів заліза (чорне). Прозорий шліф. Ніколі паралельні. Шлак мартенівського цеху. Збільшення 240^{\times} .

Тридиміт у вивчених шлаках зустрічається у вигляді високотемпературної гексагональної модифікації. Габітус діпірамідально-призматичний. Домінують дрібні ідіоморфні поїккілітові включення в кристалах магнетиту (рис. 3.62.), іноді зустрічається у зростках з діопсидом. Видовження кристалів (-), двозаломлення 0,002-0,004. Дуже характерні полісинтетичні і клиноподібні двійники. При великому збільшенні мікроскопу вони помітні навіть при одному ніколі і створюють мозаїчний малюнок внутрішньої будови ідіоморфних тридимітових кристалів. Головні лінії тридиміту зі сталеплавильних шлаків Криворізького металургійного комбінату (нм): 0,439; 0,412; 0,373; 0,249; 0,169 (див. рис. 3.59). На відміну від кристобаліту, тридиміт кристалізується безпосередньо з рідкого шлаку на ранній стадії його охолодження.

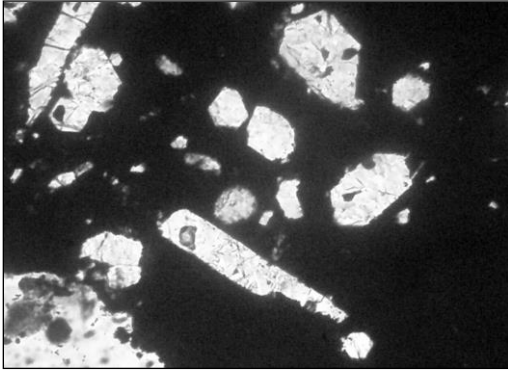
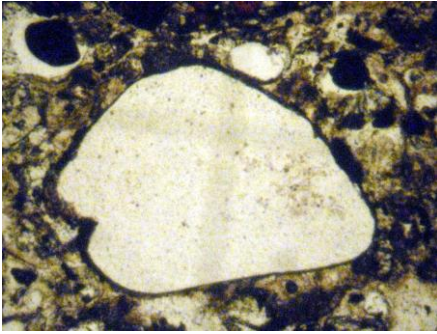


Рис. 3.62. Ідіоморфні гексагональні кристали високо-температурного тридіміту (біле) у вигляді включень в зерні магнетиту (чорне). Шлак мартенівського цеху. Полірований шліф. Ніколі паралельні, збільшення 190^X.

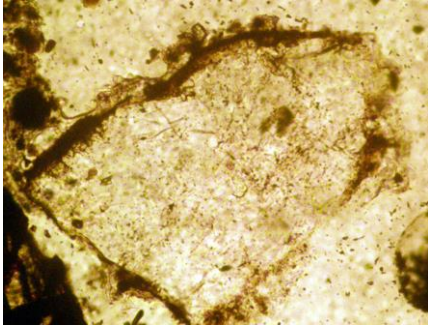
Кварц металургійного походження утворює поодинокі кристали, зернисті агрегати і суцільні маси. Кристали ізометричного вигляду (рис. 3.63а), або видовжені діпірімідално-призматичного габітусу. Характерні округлі, частково оплавлені тріщинуваті індивіди. В зональних виділеннях центральна частина складена кварцом, а периферійна облямівка – склом. Від тридіміту і кристобаліту кварц металургійного походження відрізняється значно вищим дво-заломленням; від природного кварцу у складі залізорудної сировини – за морфологічними ознаками кристалів і стійким парагенезисом з високотемпературними поліморфними модифікаціями SiO₂.

Головні лінії кварцу на рентгенівській дифрактограмі (нм): 0,334; 0,1813; 0,1539; 0,1372 (див. рис. 3.60). На кривих диференційного термічного аналізу кварц має ендотермічний максимум в області температур 510-530°C.

У шлаках металургійного виробництва кварц утворюється, головним чином, за рахунок ланцюга поліморфних перетворень: кристобаліт – тридіміт – β-кварц – α-кварц. Цьому сприяє присутність у відвалах атмосферної вологи. В сухих умовах тридіміт і кристобаліт зберігаються довго і не переходять у кварц [38]. Крім металургійного кварцу у відходах металургійного комбінату знаходиться в значній кількості реліктовий, головню матаморфогенний кварц, що потрапляє з сировинними матеріалами: агломераційною рудою, залізорудним концентратом, флюсами тощо (рис. 3.63 б,в).

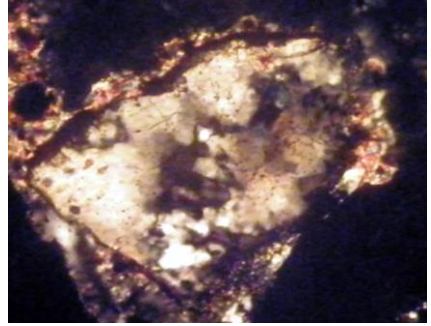


а



б

Рис. 3.63. Кварц металургійних відходів: а – ідіоморфний частково кристал металургійного походження в шлаках акумулюючої ємності. Прозорий шліф. Ніколи паралельні, збільшення 140^{\times} ; б – реліктове зерно матаморфогенного походження. Там же. Прозорий шліф. Ніколи паралельні, збільшення 80^{\times} ; в – ніколи схрещені.



в

Металургійне скло утворює головну аморфну масу металургійних відходів. Воно однорідне не забарвлене або сіре, зеленувато-сіре, буре, іноді чорне. Містить мікроліти і порфірові кристали кальцієвого силікату, магнетиту, корольки металічного заліза і інші мінеральні компоненти. У складі металургійного пилу і шламу домінують кулясті виділення аморфного скла, утвореного з крапель шлаку (додатки, рис. 15 а,б). Хімічний склад техногенного скла мінливий. Крім силікатних і залізо-силікатних різновидів, мікрозондовим аналізом встановлено також алюмосилікатне скло (додатки, рис. 15 в). Воно утворюється внаслідок добавки металічного алюмінію під час виплавки сталі для виведення залишків кремнезему з розплаву металу в шлак.

Хімічний склад алюмосилікатного скла за даними мікрозондового аналізу (наступний, (%): Si - 54.99; Al - 29.77; K - 3.56; Ca - 2.09; Ti - 2.42; Mg - 1.31 Na - 0.96; Fe - 0.12.

Внаслідок гіпергенних змін скло заміщується дрібнозернистим агрегатом карбонату, гідроокисів заліза і марганцю, гідрослюдами, епідотом, каолінітом тощо.

Одними з найпізніших мінеральних утворень у складі шлаку є *опал* і продукти його зневоднення: *халцедон*, а також низькотемпературні поліморфні модифікації кристобаліту і тридиміту. Разом з іншими екзогенними мінералами вони виповнюють газові порожнини і тріщинки розтріскування шлаку (додатки, рис. 16) [98].

Протягом часу зберігання шлаку у відвалі мінерали кремнезему зазнають послідовних поліморфних перетворень. Завдяки неповній інверсії в одному індивіді може одночасно існувати кілька поліморфних модифікацій, які утворюють ділянки концентрично-зональної будови. Поліморфні перетворення супроводжуються збільшенням об'єму індивідів [31, 59], внаслідок чого шлакоутворюючі мінерали кремнезему тріщинуваті. Це сприяє подрібненню шлаку, маршалітизації металургійного кварцу, перетворенню його у опал і халцедон. Поліморфно перетворені кристали SiO_2 розтріскуються навіть у розплаві. На поверхні уламків кристалізується магнетит з утворенням ідіоморфних октаедричних індивідів [38].

Більшість мінералів кремнезему гетерогенні. Кристобаліт потрапляє до шлаку внаслідок руйнування динасової вогнетривкої футеровки металургійних агрегатів і кристалізується з розплавів і розчинів. Тридиміт і кварц утворюються в результаті поліморфних перетворень кристобаліту і безпосередньої кристалізації в об'ємі рідкого шлаку. Опал і халцедон є кінцевими продуктами гіпергенних змін високотемпературних мінералів кремнезему, а також утворюються з гелю внаслідок розчинення кальцієвого силікату.

Наведені дані свідчать про присутність у металургійних шлаках і шламах значної кількості мінеральних видів і поліморфних модифікацій кремнезему, які відрізняються між собою за генезисом, гранулометриєю, морфологією і анатомією кристалів, фізичними і технологічними властивостями. Використання відходів в агломераційній шихті дає початок новому небажаному циклу перетворень мінералів групи кварцу. Тому виведення мінералів кремнезему зі складу вторинної залізорудної сировини на ранніх стадіях її підготовки до металургійного переділу є важливим технологічним, екологічним та економічним завданням. Разом з тим,

сконцентровані в одному продукті мінерали SiO_2 ефективно використовуються у виробництві будівельних матеріалів.

Шпінель - MgAl_2O_4 і герциніт - FeAl_2O_4 .

Шлами і шлаки підприємств чорної металургії містять безперервний ізоморфний ряд від MgAl_2O_4 - власне шпінелі до FeAl_2O_4 - герциніту. Шпінель, герциніт і охарактеризований вище магнетит являються ізоструктурними мінералами. Переходи між окремими мінеральними видами цієї групи (наприклад, від чистої шпінелі через герциніт до магнетиту) спостерігаються навіть у межах однієї шламової часточки (додатки, рис. 17а).

Під мікроскопом спостерігаються відносно великі за розміром порфірові ізометричні зерна, зростки, рідше скелетні кристали. На пізніх етапах кристалізації, в умовах швидкого охолодження розплаву в основній масі шлаку виникають дрібні мікроліти, кристали неправильної форми, скелетні кристали і розгалужені дендрити шпінелі у зростках з іншими мінералами і склом. Часто шпінель знаходиться у центральних ділянках магнетитових зерен. Шпінель зустрічається у вигляді октаедричних кристалів і їхніх зростків. У мартенівському шламі формує щільні тонкозернисті агрегати, окремі індивіди розміром до 1 мм. Часто зустрічаються дендрити, зональні та скелетні кристали (додатки, рис. 17б,в). У доменних шламах виділення шпінелі більш дрібні (до 0,1 мм), представлені ізометричними кристалами і сферичними агрегатами.

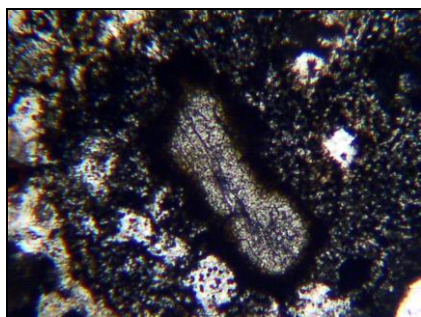
Колір шпінелі і її різновидів криваво-червоний з фіолетовим чи жовтогарячим відтінком, жовтий, синій, темно-зелений, іноді майже чорний. У металургійних шламах домінує герциніт у вигляді яскраво забарвлених вишнево-червоних кристалів і їхніх фрагментів (додатки, рис. 17г). У доменних шламах цей мінерал має буро-червоний колір. В косому освітленні він виглядає помаранчево-бурим. Рожеве і червоне забарвлення шпінелі за даними О.М. Платонова пов'язане з наявністю центрів забарвлення іонів Cr^{3+} , які ізоморфно заміщують Al^{3+} в октаедричних позиціях структури шпінелі. Фіолетовий колір шпінель зумовлений іонами Fe^{2+} . Суттєвий вплив на забарвлення шпінелі і мінералів даної групи мають також іони Fe^{3+} , які ізоморфно заміщують іони Al^{3+} [78]. Отже, зміна забарвлення зональних індивідів від незабарвлених в центральній частині до жовто-бурих, червоних, чорних на периферії відображає збільшення вмісту іонів заліза в результаті хімічної

взаємодії в системі рідкий шлак – реліктові зерна вогнетривів. Оскільки мінералоутворююче середовище суттєво збагачене залізом, то його іони спочатку заміщують алюміній ($Al^{3+} \rightarrow Fe^{3+}$), а потім і магній ($Mg^{2+} \rightarrow Fe^{2+}$) в структурі шпінелі. Тому забарвлення зональних індивідів відображає зміну їх хімічного складу від шпінелі через герциніт (магнезіоферит) до магнетиту.

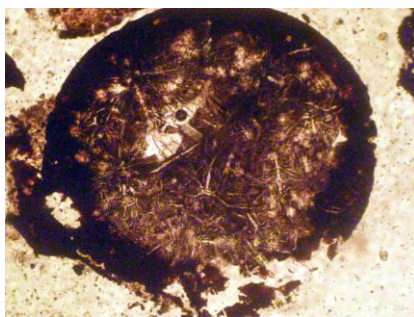
Утворення і поширення. Шпінель і герциніт в металургійних продуктах гетерогенні. Кристали і гломерокристалічні зростки шпінелі розміром до 1 мм потрапляють до шлаку з вогнетривів і являються реліктовими компонентами шлаку (рис. 3.64а). На значні обсяги попадання периклазу і шпінелі з магнезитової футеровки до рідкого сталеплавильного шлаку вказано в роботі [53]. Кількість периклазу у складі шлаку під час плавки поступово зростає. У рідкому розплаві він не плавиться і не розчиняється, а утворює тверді частинки. Деякі з них мають шпінелеві облямівки, які під час плавки поступово розширюються до повного заміщення периклазу герцинітом. В свою чергу у збагаченому залізом розплаві герциніт заміщується магнетитом.

Крім того, шпінель і герциніт кристалізуються безпосередньо з розплаву, утворюючи дрібні ксеноморфні кристали, дендрити, скелетні кристали і зростки з силікатами і феритами кальцію, магнетитом і іншими мінералами шлаку. Найбільш інтенсивно вони утворюються в кінці плавки, після добавки в розплав металевго алюмінію в якості розкислювача [67].

Парагенезис, асоціації. У шламах шпінеліди асоціюють з кристобалітом, кальцієвими силікатами, металевим залізом, вюститом, магнетитом, феритами кальцію і металургійним склом (рис. 3.64б). Структурні взаємовідношення шпінелі з іншими мінералами шлаку складні. Перехід до магнетиту чіткий, або поступовий. Фізичні властивості шпінелі в напрямку від центру до периферії зональних кристалів закономірно змінюються, наближаючись до властивостей магнетиту. Мікротвердість H зменшується від 7560 до 5690 МПа, а відбивна здатність R зростає від 14 до 19 [97].



а



б

Рис. 3.64. Шпінель і герциніт: а – реліктове зерно шпінелі (сіре) з вогнетриву в щільній кірці магнетиту (чорне). Сталеплавильний шлак. Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення 170^{\times} ; б – шламова часточка у вигляді кулі. Її центральні ділянки складаються з частково розкристалізованого скла, забарвленого в бурий колір вторинними гідроксидами заліза. Облямівка кулі представлена суцільною кіркою оксидів заліза з включеннями дрібних ізометричних кристалів шпінелі та герциніту. Прозорий шліф. Ніколі паралельні, збільшення 170^{\times} .

Значення. У складі залізорудної сировини шпінель є небажаним компонентом. Вона підвищує знос агломераційного і доменного устаткування, зменшує основність шихти, збільшує витрати коксу. Разом з тим, виділена зі шламів шпінель може бути використана для виробництва абразивів, вогнетривких і інших цінних матеріалів.

Цинкіт – ZnO .

Цинкіт у невеликих кількостях присутній практично у всіх різновидах металургійних шламів. Утворює суцільні, зернисті агрегати, дуже дрібні (до декількох мікронів) ксеноморфні зерна. У шламах газоочисток мартенівського цеху спостерігаються гексагональні таблитчасті кристали цинкіту (рис. 3.65) [38].

Внутрішня будова кристалів цинкіту зі шламів агломераційного цеху зональна. В доменних і сталеплавильних шламах цинкіт визначається петрографічними методами за яскравим жовтогарячим кольором і сильною люмінесценцією в ультрафіолетових променях. У найбільш тонкозернистому матеріалі мартенівських шламів зі вмістом Zn 1-1,5 мас. % з використанням електронного мікроскопу встановлені гексагональні пластинчасті кристали цинкіту розміром близько 1 мкм і менше в асоціації з магнетитом і франклінітом (рис.

3.65). У доменних шламах цинкіт зустрічається в зростках із залізною слюдкою, графітом і силікатами.

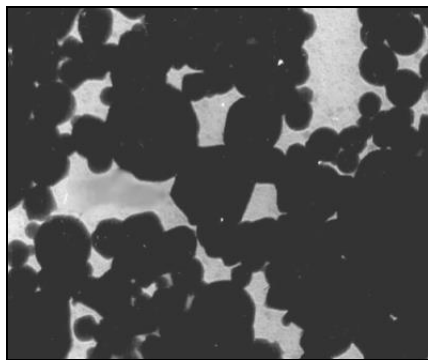


Рис. 3.65. Гексагональні пластинчасті кристали цинкіту (в центрі) в асоціації з кристалами і агрегатами оксидів заліза. Шлам газоочистки мартенівського цеху. Електронний мікроскоп. Репліка з вилученням, збільшення 22000^x.

Цинкіт у помітних кількостях утворюється в доменних і сталеплавильних печах. Цинк, відновлюваний у нижніх зонах металургійних агрегатів, у пароподібному вигляді піднімається у верхні зони печі. На цьому шляху він конденсується у вигляді оксиду і частково осаджується на шихтових матеріалах, частково виноситься пилом разом з іншими цинкутримуючими мінералами - франклінітом $(\text{Zn}, \text{Mn})\text{Fe}_2\text{O}_4$, смітсонітом $\text{Zn}(\text{CO}_3)$ тощо [3].

Мінерали цинку дуже шкідливі у сировинних матеріалах підприємств чорної металургії. Вони накопичуються у складі пилу і шламів доменних і сталеплавильних агрегатів і повинні вилучатися з них перед повторним використанням в аглодоменному виробництві.

Група карбонатів

Карбонати у металургійних відходах представлені групою техногенних і природних мінералів. До них відносяться арагоніт, кальцит, доломіт, сидерит, смітсоніт. Домінують карбонати кальцію і заліза. Кількість карбонатів визначається кількістю флюсів, використовуваних у металургійному виробництві. У шламах киснево-конвертерного цеху вона вище, ніж в аналогічних продуктах мартенівського та інших цехів.

Хім. Карбонати дуже схильні до утворення ізоморфних сумішей. Це особливо стосується іонів Ca^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} та Fe^{2+} , які часто заміщують один одного. Хімічний склад природного кальциту: CaO -56%, CO_2 -44% [55]. Кальцит у металургійних шламах за даними мікрозондового аналізу містить у невеликих кількостях домішки

заліза, магнію та марганцю. Хімічний склад природного сидериту [55]: FeO-62,1%, CO₂-37,9%, часто присутні домішки MnCO₃, CaCO₃ і MgCO₃. Сидерит у складі металургійних відходів також характеризується наявністю цих домішок.

Кристалохімічні формули деяких карбонатів зі складу шламів Криворізького металургійного комбінату, розраховані за даними мікрозондового аналізу кальциту: (Ca_{0,96}Fe_{0,04})[CO₃], (Ca_{0,96}Fe_{0,02}Mg_{0,02})[CO₃]; сидериту: (Ca_{0,04}Fe_{0,79}Mg_{0,15}Mn_{0,02})[CO₃] [70]. Основні рефлекси кальциту на рентгенограммах (нм.): 0,303; 0,209; 0,228.

Карбонати утворюють грудочки, тонкозернисті щільні або пухкі скупчення, щітки і кірки, зональні мікроконкреції і сфероліти (додатки, рис. 18, 19). Домінують пелітоморфні і кристалічно-зернисті різновиди, які за морфологічними і генетичними ознаками відповідають найбільш поширеним агрегатам кальциту в осадових породах [62].

Окремі зерна карбонатів *під мікроскопом* виявляють складну внутрішню будову. Серед них зустрічаються добре утворені ромбодричні кристали секторальної внутрішньої будови, скелетні індивіди. Часто карбонати цементують виділення інших, раніше утворених мінералів, у першу чергу, мінералів кремнезему. Частина карбонатного матеріалу знаходиться у вигляді суспензій та розчинів, з яких на поверхні різних за складом шламових і шлакових зерен осаджуються тонкі плівки, скоринки і щітки. У їх складі беруть участь різноманітні за морфологією, та по-різному орієнтовані індивіди, іноді скелетні кристали тощо (рис. 3.66). За даними В.І. Павлишина, «зародження мінералів на нейтральному субстраті, тобто в умовах відсутності активної взаємодії між ним і зародком, спричинює випадкове розташування індивідів на субстраті» [73]. З іншого боку, карбонатні частки також часто покриваються плівкою гідроксидів заліза (рис. 3.67). Виключення представляють зруйновані мінеральні зерна та виколки за ромбодричною спайністю кальциту та інших карбонатів (рис. 3.68). Виділення карбонатів присутні у всіх гранулометричних класах металургійних шламів. Грудкуваті агрегати і сфероліти досягають розміру більше 1 мм. Разом з гідроксидами заліза вони утворюють цемент твердого осаду шламових карт і відстійників, істотно змінюючи його гранулометричну характеристику (збільшуючи вміст грубозернистих

класів). Разом з тим мала твердість спричиняє подрібнення карбонатів і сприяє накопиченню їх і в найбільш тонких гранулометричних класах шламів, у віддалених від зливних труб ділянках шламонакопичувачів. Субмікроскопічні частки карбонатного складу разом з іншими "мікронниками" формують на поверхні більш великих виділень плівку, здатну сорбувати цинк, луги та інші мікроелементи.

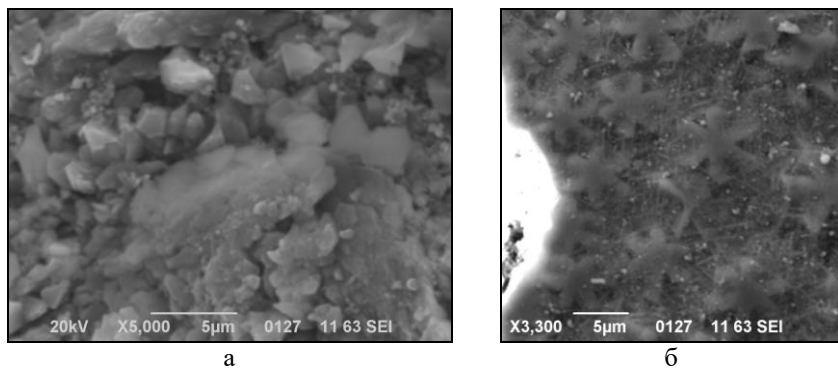


Рис. 3.66. Кристали карбонатів в металургійних шламах: а – мікрозернистий агрегат кальциту, утворений на поверхні частки шламу; б - плівка скелетних шестипроменевих кристалів сидериту на поверхні рудної частинки шламу. Шлам акумулюючої ємності. Растрова електронна мікроскопія.

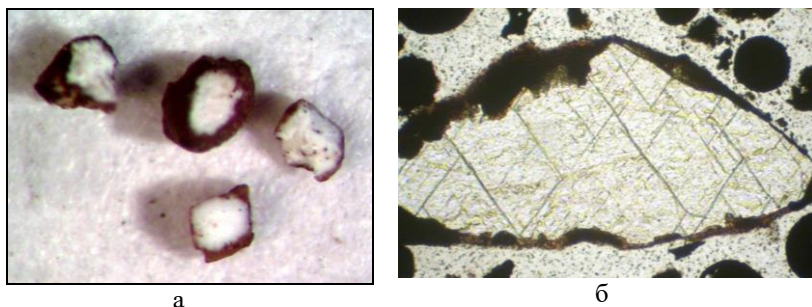


Рис. 3.67. Кірка вторинних гідроокисів заліза, осаджена з шламової води на поверхні кальциту (а) і сидериту (б) у шламосховищі Криворізького меткомбінату. а – бінокуляр, збільшення 20^х; б - прозорий шліф. Ніколі паралельні, збільшення 80^х.

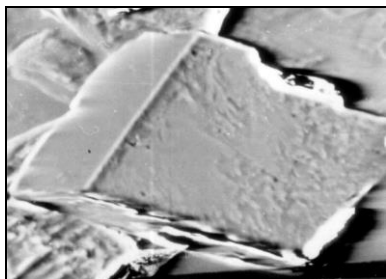


Рис. 3.68. Виколка за ромбо-едричною спайністю карбонату, що виникла при руйнуванні більш крупного зерна. Шлам агломератційної фабрики. Растровий електронний мікроскоп. Збільшення $180\times$.

Виділення карбонатів безбарвні чи молочно-білі, жовті, жовтогарячі, бурі. Плівки гідроксидів заліза на поверхні і по тріщинах часток карбонатів додають їм червоне, буре забарвлення. До цього призводить також заміщення сидериту гідроксидами заліза.

Утворення і поширення. Ромбічний арагоніт - $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ - кристалізується при температурі до 90°C з технологічної води, що циркулює в системі шламового господарства металургійного комбінату. При 100°C він переходить у тригональний кальцит - $\text{Ca}[\text{CO}_3]$. Кальцит також потрапляє до відходів з флюсових вапняків. Доломіт - $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$, магнезит - $\text{Mg}[\text{CO}_3]$, сидерит - $\text{Fe}[\text{CO}_3]$, родохрозит - $\text{Mn}[\text{CO}_3]$, смітсоніт - $\text{Zn}[\text{CO}_3]$, як і кальцит, утворюються в результаті взаємодії розчинів і газів з сировинними матеріалами. Завис карбонату (карбонатний мул) у шламовій воді виникає в результаті взаємодії вуглекислоти з гідратованим вапном. При висиханні шламової води (штучного розчину багатьох хімічних сполук) виникають кірки, нальоти та вицвіти гідрокарбонатів кальцію, магнію, натрію та інших хімічних елементів.

Зміни. Карбонати легко розчиняються навіть слабкими розчинами кислот. Тому значна їх кількість розчинена в технічній воді. При зміні температури розчинів у твердий осад шламів періодично надходить додаткова кількість карбонатів.

За своїм значенням карбонати металургійних відходів не поступаються залишковим королькам металевого заліза. При використанні шламів і шлаків у металургійному виробництві вони відіграють роль флюсів, а у будівництві – чудового цементуючого матеріалу. В даний час, за відсутності ефективної технології збагачення і переробки вторинної металургійної сировини, карбонати разом з іншими мінералами накопичуються у відходах збагачення і, фактично, втрачаються.

Інші мінерали

Інші мінерали значно менше поширені і їх вплив на властивості, технологію переробки і використання металургійних відходів незначний. Виключення можуть скласти мінерали кольорових металів, виявлені в шламах металургійних комбінатів [101], та самородні золото, срібло, платиноїди, встановлені автором у складі пилу, шламів, шлаків та агломерату Криворізького металургійного комбінату. Їх незначний вміст може компенсуватися високою ринковою ціною. Вказані мінерали постійно визначаються у складі залізорудної сировини, що потрапляє на підприємства чорної металургії [58]. Утворення і наступне охолодження штучного розплаву супроводжується процесами диференціації у відновлювальному середовищі з виділенням металевого заліза. Залишковий матеріал у вигляді шлаку, пилу, шламів і інших металургійних продуктів має вищу концентрацію цінних мінералів у порівнянні з вихідною залізорудною сировиною. Отже, дослідження розподілу і визначення термодинамічно і геохімічно сприятливих ділянок їх накопичення у металургійному процесі може мати важливе практичне значення.

Уламки гірських порід, руд, енергоносіїв і техногенних матеріалів. До складу металургійних відходів у помітній кількості входять частки вихідної залізорудної і енергетичної сировини, флюсів та інших полімінеральних агрегатів. Зустрічаються вони, переважно, в крупних фракціях пилу і шламів і майже відсутні в шлаках. У більшості випадків ці частки мають реліктове походження, тобто їхнім джерелом є сировинні матеріали. В шламах агломераційної фабрики часто зустрічаються зерна некондиційного агломерату (додатки, рис. 20а), гематитових руд, залізистих кварцитів, магнетитового концентрату, частки гетиту, кварцу з включеннями оксидів і гідроксидів заліза, вапняків тощо. Суглинки та інший будівельний матеріал з огорожувальних дамб потрапляє до шламонакопичувачів (додатки, рис. 20б). В металургійних шлаках зберігаються від плавлення і асиміляції уламки жаростійкої футеровки та окремі кристали муліту, корунду, андалузиту, кристобаліту і інших тугоплавких мінералів (додатки, рис. 20в).

Одним головних компонентів металургійного пилу і шламів є подрібнений кокс. Він утворює кутасті пористі частки неправильної форми з реліктовою органогенною структурою (додатки, рис. 20г). В

об'ємі шламосховищ коксовий дріб'язок розподіляється дуже нерівномірно, тяжіє до найбільш легкої фракції шламів. На максимальній відстані від місць вилування шламів до накопичувачів його вміст зростає до 50-70 об'ємних %.

Мікрозондовими дослідженнями коксових часточок встановлена постійна присутність, мас. %: Mg – 0,32; Al – 2,86; Si – 1,79; Zn – 1,13; Fe – 0,90; S – 0,26; та Ca – 0,44. Серед хімічних елементів-домішок звертає увагу наявність шкідливих для металургійного виробництва цинку та сірки. За літературними даними головним джерелом надходження цинку до шламу з металоломом та сульфідів у вихідній залізородній сировині [3]. Дослідження автора свідчать про додаткове джерело надходження даних елементів у складі енергетичного коксу, що потрібно враховувати при повторній утилізації шламів.

Присутність часток залізородної сировини, коксового дріб'язку та інших цінних компонентів підвищує рентабельність повторного використання металургійних відходів. Так, збільшення частки шламів в агломераційній шихті майже вдвічі скорочує використання коксу в агломераційному виробництві - з 4,0 до 2,5 мас. % [5].

3.2. Мінералогічні фактори впливу металургійних відходів на екологічний стан навколишнього середовища

Основою народногосподарського комплексу Криворізького регіону є залізородна промисловість, яка базується на одному з найбільших у світі родовищ. До складу промислового комплексу входять гірничовидобувна та металургійна галузі, а також супутні їм та допоміжні підприємства. Під впливом їх діяльності екологічна ситуація в районі стрімко і подекуди незворотно погіршується [10, 11, 21, 25]. Значний негативний вплив на навколишнє середовище має відчуження родючих земель під металургійні відвали, шламові карти, ємності та відстійники.

Відсутність технологій комплексної переробки вторинної металургійної сировини збільшує об'єми накопичених відходів. Висота найновіших антропогенних форм рельєфу – відвалів у середньому становить 60-70 м, але не рідкість вже й стометрові відмітки, при довжині у 3-4 км і ширині 1,5-2 км. Понад 1/3 території підприємств чорної металургії використовується під відвали,

шламо,- і хвостосховища, охолоджувальні водойми [43, 57]. Глибини промислових ємностей, що акумулюють металургійні шлами становлять від кількох метрів до кількох десятків метрів. А загальні обсяги шламових накопичень тільки на Криворізькому комбінаті сягають 10 млн. т.

Круті схили, уступи, відсутність рекультивациї приводять до куріння відвалів під час їх накопичення, зберігання і переробки. Домені шлаки збагачені марганцем і кремнієм. Сталеплавильні шлаки містять підвищені концентрації хрому, марганцю, нікелю, цинку і кобальту, які не тільки вище фонових, але й часто перевищують ГДК для ґрунтів [18], (табл. 3.9).

Таблиця 3.9.

Витяг з Кадастру техногенних об'єктів південної промислової зони Криворізького басейну, за [64]

Підприємство	Джерело утворення відходів	Сировина і відходи її переробки	Вміст ВМ у відходах, мг/кг	Складування і переробка відходів	Шляхи проникнення ВМ в геологічне середовище
ПАТ „АрселорМіттал Кривий Ріг”	мартенівські печі, конвертори	чавун і флюсова сировина: шлак сталеплавильного виробництва	Cr ⁺³ -1000-4000, Mn-5000-7500, Co- 50-100	зберігання в шлакових відвалах	пилові виноси з відвалів, вимивання атмосферними опадами, інфільтрація в водоносні горизонти
		флюсовий шлак	Cr -70-150, Mn-1000-2000	повернення у виробництво	
	агломераційна фабрика	пил сировинних матеріалів	Zn-100-150, Ni-50-70, Cr-30-50, Mn-500-1200	повернення у виробництво	пилоутворення, вимивання опадами, механічне перенесення

Під час зберігання металургійних відходів важкі метали (ВМ) та хімічні сполуки зі складу шламів і шлаків потрапляють у середовище існування людини (воду, ґрунти, повітря) у кількостях, які набагато перевищують фонові рівні, а часто і гранично допустимі концентрації.

В порівнянні з відвалами розкривних гірських порід та хвостосховищами гірничозбагачувальних комбінатів, шлакові відвали та шламосховища являються більш потужними джерелами надходження шкідливих елементів до повітряного потоку, ґрунтів, поверхневих і підземних вод. Дана обставина обумовлена впливом техногенних і техногенно-природних факторів на розповсюдження металургійних компонентів у навколишньому середовищі.

Т.І. Долгова встановила, що ґрунти навколо Кривого Рогу забруднені важкими металами. Розподіл їх вмісту підкоряється переважаючим напрямкам вітрів, враховуючи їх сезонність. Найвищу концентрацію важких металів виявлено на території західних і південних околиць міста, особливо в районі 2-3 км від їх меж, що цілком відповідає тій відстані, на яку розповсюджується хмара пилу з шлакових відвалів. Повітря у Кривому Розі, у порівнянні з фоновими концентраціями, збагачене оксидами кремнію та заліза (90% всіх пилових часток), а також містить підвищені концентрації оксиду вуглецю, сірки, азоту [26].

Для кожної частини геологічного середовища визначилися ряди хімічних елементів, вміст яких перевищує ГДК. Для ґрунтів — це свинець (I клас токсичності), цинк (I клас токсичності), хром (II клас токсичності), манган (III клас токсичності); для донних відкладів — свинець, цинк, хром, молібден, манган та срібло; для поверхневих вод — бром (II клас токсичності), стронцій, манган, залізо (III клас токсичності); для четвертинного водоносного горизонту — бром, стронцій, манган та залізо (III клас токсичності), а для неогенового — це бром, літій (II клас токсичності), стронцій, манган, залізо (III) та алюміній [17].

Найбільш забрудненою є територія південного промислового вузла, що включає ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», Гірничо-цементний комбінат, Коксохімічний завод, Північний гірничозбагачувальний комбінат. У розрізі ґрунту глибина забруднення перевищує 1,0 м, а максимум забруднення знаходиться у межах 10-15 см від поверхні. Аналіз стану забруднення ґрунтів,

проведених у роботі [64] засвідчує існування аномалій свинцю, цинку, хрому і інших важких металів. Відзначається, що високе забруднення ґрунтів ВМ, в основному, пов'язане з діяльністю Криворізького металургійного комбінату, де в технологічному процесі використовуються хром, нікель, кобальт, цинк та ін. Вивчення відходів металургійного виробництва показало, що вони є джерелом постачання токсичних хімічних елементів у ґрунти, донні відклади, а подекуди в поверхневі і ґрунтові води. Однак, ВМ в воді більш інертні і швидше випадають у донні відклади не утворюючи водних сполук. Тому вони зустрічаються набагато в менших концентраціях в воді, ніж у ґрунтах.

Дослідження значимості і механізму впливу мінерального складу металургійних відходів на масштаби забруднення екосистеми міста і прилеглих територій, показали, що більшість мінералів, утворених в результаті охолодження і кристалізації рідкого розплаву, в умовах навколишнього геологічного середовища є дуже нестійкими сполуками [70, 97]. В результаті дії атмосферної вологи, кисню і вуглекислоти первинні високотемпературні мінерали і скло перетворюються в оксиди і гідроксиди заліза, карбонати, гідрокарбонати, глинисті мінерали, опал і халцедон. Корольки металу, вюстит, магнетит і гематит внаслідок дії атмосферних агентів поступово заміщуються пухкою землистою масою гідрогематиту, лепідокрокіту, гетиту (рис. 3.69а). Силікати і окиси магнію, кальцію, а також металургійне скло заміщуються гіпергенними мінералами, гідратуються, розчиняються. При взаємодії розчинів з вуглекислим газом повітря утворюються вторинні карбонати. Мінерали групи SiO_2 (кварц, тридиміт, кристобаліт) подрібнюються внаслідок поліморфних перетворень і перепаду температури заміщаються опалом і халцедоном і маршалітизуються (рис. 3.69б).

Новоутворені мінерали несуть ознаки кристалізації в умовах кори вивітрювання. Гіпергенний гематит утворюється за рахунок магнетиту і феритів кальцію. Він формує поверхневі кірки, заміщує магнетит по тріщинках і окремої. Значна частина магнетиту у складі відходів повністю мартитизована. У скупченнях видовжених кристалів фериту кальцію виявлені мікроскопічні агрегати лускуватих виділень вторинного гематиту. Гетит і лепідокрокіт утворюються внаслідок окислення і гідратації металевого заліза. В

агрегатах гетиту деякий час зберігаються голки когеніту, більш стійкого до дії гіпергенних агентів, ніж металеве залізо, з яким він утворює високотемпературний парагенезис.

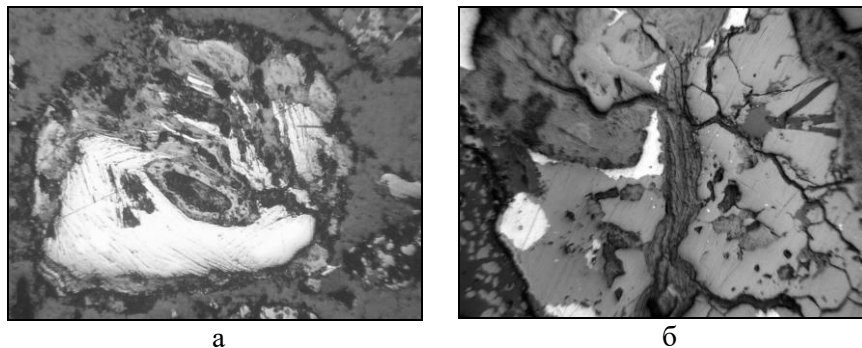


Рис. 3.69. Зміни мінералів металургійного походження під впливом природних факторів: а - заміщення деформованого королька металеве заліза (біле) гідроксидами заліза (сіре різних відтінків) у вигляді землистого агрегату і натічних форм. Сталеплавильний шлак. Полірований шліф, збільшення 170^{\times} ; б - розтріскане зерно кварцу (сіре) і металеве залізо (біле) у складі гіпергенно зміненого сталеплавильного шлаку. Полірований шліф, збільшення 140^{\times} .

Гіпергенне заміщення фериту кальцію гематитом супроводжується вивільненням кальцію і утворенням гідратованого вапна (портландиту), взаємодія якого з вуглекислим газом приводить до кристалізації кальциту. Ларніт розчиняється у дощовій воді з утворенням гелю SiO_2 і розчину CaO . Зневоднення гелю приводить до утворення опалу, а в результаті взаємодії розчину вапна і вуглекислого газу кристалізується кальцит [59].

Фаяліт, діопсид і інші силікати, силікатне і залізо-силікатне металургійне скло також нестійкі в умовах шлакових відвалів. В продуктах їх вивітрювання встановлені каолінит, монтморилоніт, оксиди і гідроксиди заліза і марганцю, кальцит, серпентин. Проявність даних мінералів свідчать мінералого-петрографічні дослідження прозорих шліфів, а також результати рентгеноструктурного і диференційного термічного аналізів.

Портландит, карбонати і каолінит утворюють пухку пилоподібну масу, здатну в сухому стані переноситися з шлакових відвалів повітрям, а у вологому, у вигляді суспензій, – водними потоками.

Карбонати легко розчиняються навіть слабкими розчинами кислот і мігрують до поверхневих і ґрунтових вод. При висиханні розчинів на поверхні шлакових часток виникають кірки, плівки і вицвіти гідрокарбонатів, портландиту, глинистих і інших вторинних мінералів. Це значно збільшує вміст дисперсних компонентів і приводить до забруднення атмосфери шлаковим і шламовим пилом.

Мікрозондові дослідження шлакоутворюючих мінералів, у тому числі розчинних і нестійких, показали постійну присутність у їх складі ВМ і інших хімічних елементів. Технічна і шламова вода, атмосферні опади і інша волога, активно взаємодіють з металургійними відходами. Тому при тривалому зберіганні шлаків і шламів вказані мінерали дисоціюють, забруднюючи ґрунтові і річкові води продуктами розчинення, у тому числі ВМ.

Отже, під час зберігання шлаків і шламів їх *мінеральні компоненти відіграють роль потужного джерела постачання різноманітних хімічних елементів у навколишнє середовище*. На відстані до 4 км від шлакових відвалів в ґрунтах і ґрунтових водах спостерігається суттєве накопичення заліза, марганцю, хрому, нікелю, кобальту і інших металів. За межами вказаної території їх вміст зменшується і відповідає фоновому (до речі досить високому) рівню для Криворізького басейну.

Мікроскопічні дослідження свідчать, що опал і халцедон утворюють щільні плівки білого і блакитно-білого кольору на поверхні, в газових пустотах і тріщинах шламових і шлакових часточок. Гіпергенне збагачення мінералами кремнезему через деякий час приводить до вторинної цементації шлаків. Подібні зміни агрегатного стану супроводжують також розвиток вторинних гідроксидів заліза, марганцю, кальцію. Внаслідок захисної дії щільних плівок і кірок новоутворених мінералів шкідливий вплив металургійних відходів на сучасне геологічне середовище зменшується, за умови відсутності подальшого техногенного втручання у вигляді відкритих гірничих робіт, подрібнення, транспортування, навантаження і розвантаження тощо.

Традиційна схема переробки шлакових відвалів та шламонакопичувачів створює умови для постійного (на протязі десятків років) перебування відходів у технологічному виробництві. Це приводить до руйнування захисних кірок на мінеральних зернах і збільшує обсяги міграції хімічних і мінеральних компонентів до

складу ґрунтових і річкових вод, у повітряний басейн і ґрунт. Тому мінерали металургійних відходів продовжують забруднювати ґрунти, поверхневі та ґрунтові води хромом, манганом, цинком, свинцем, сріблом і іншими ВМ. Розсіюючись у сучасному геологічному середовищі, металургійний шлак і шлам, разом з продуктами їх гіпергенезу змішуються з природною мінеральною речовиною. Тому визначення їх у складі річкових, озерних осадків, ґрунтів має важливе наукове і практичне значення.

Фактор пост техногенних природних процесів вивітрювання і екзогенного мінералоутворення є вирішальним в забрудненні навколишнього геологічного середовища промисловими відходами. Його роль полягає у корінній зміні властивостей металургійної сировини в результаті перетворення первинних високотемпературних безводних парагенезисів в асоціацію низькотемпературних водовмісних мінералів. Процеси пост техногенного природного мінералоутворення спрямовані на відновлення рівноваги в системі відвал (шламонакопичувач) - навколишнє середовище. Вони зменшують негативний вплив відходів металургійного виробництва на екологічний стан густо заселеного регіону.

Практичним кроком до збереження довкілля є рекомендація підприємствам, які переробляють вторинну металургійну сировину відмовитись від існуючої надзвичайно шкідливої практики циклічного (багаторазового) залучення відходів у переробку. Кожен цикл збагачення шлаку порушує створену рівновагу і відновлює активне забруднення екосистеми. *Більш ефективною і екологічно безпечною є одноразова переробка відходів, з максимальним вилученням залізовмісних мінералів і повним використанням відходів збагачення у будівельній і інших галузях народного господарства.* Детальніше це питання розглянуто у наступному розділі і публікаціях автора [36, 38].

3.3. Технологічні можливості отримання рудних концентратів з відходів

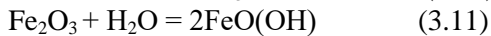
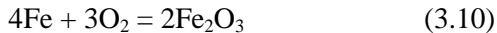
Проблема повторного використання металургійних відходів існує на всіх без винятку металургійних комбінатах. Розглянемо її на прикладі утилізації шлаків сталеплавильного виробництва (конвертерних і мартенівських).

Загальний вміст заліза у складі сталеплавильного шлаку змінюється від 19,30 до 30,23 мас. % (в середньому 28,0 мас. %). Залізо присутнє у вигляді металу, оксидів, гідроксидів та більш рідких карбонатів заліза, феритів кальцію і інших мінеральних фаз. В даний час для повторного використання відходів металургійного виробництва виконується магнітне збагачення сталеплавильних шлаків мобільними та стаціонарними установками. Магнітна сепарація мартенівського і конверторного шлаків (рис. 3.70а, 3.70б) здійснюється з вилученням металевого заліза (скрапу), що використовується в сталеплавильному і доменному виробництві (рис. 3.70в) [12, 14]. Оксиди і гідроксиди заліза з менш вираженими, ніж у металевого заліза магнітними властивостями, разом з карбонатами, кварцом та іншими нерудними мінералами потрапляють до відходів збагачення і знову повертаються до відвалу.

Продукт збагачення шлаку з розміром часток менше 20 мм і вмістом заліза 32,0-40,0 мас. % («шлак збагачений») використовують у виробництві залізородного агломерату у кількості 35–45 кг/т агломерату (рис. 3.70г). Перевищення цього рівня погіршує міцність агломерату. Він розсипається і перетворюється на пухкий матеріал, не придатний для використання в металургії. Це відбувається внаслідок надмірного надходження нерудних мінералів до складу агломераційної шихти у складі шлаку збагаченого (ШЗ) та недооцінки впливу мінералогії шлаків (позитивного і негативного) на ефективність їх збагачення і переробки. Малі обсяги споживання ШЗ сприяють неповному вилученню мінералів заліза і поверненню їх у відвал. Вміст заліза у відходах збагачення складає до 26,0 %. Внаслідок цього знижується рентабельність шлакопереробки, збільшуються обсяги шлакових відвалів.

Розглянемо детальніше мінералогічні фактори, що визначають технологічні властивості металургійного шлаку як комплексної мінеральної сировини. Шлакоутворюючі мінерали мають значні варіації складу, фізичних і технологічних властивостей. При збагаченні і використанні шлаку в агломераційному виробництві вони по-різному грудкуються і спікаються в агломерат. Пластичність металевого заліза і вюститу ускладнює подрібнення шлаку, а крихке скло навпаки, в процесі підготовки шлаку до збагачення подрібнюється занадто інтенсивно. Під час подрібнення шлаку корольки металевого заліза однорідної будови сплющуються, а зерна

з включеннями оксидів заліза руйнуються. Тому значна частина ШЗ, що надходить на агломераційну фабрику, не відповідає оптимальним для агломерації розмірам часточок (0,8–6 мм). Виробництво ШЗ пов'язане з численними перевантаженнями, обробкою в барабані, просіюванням матеріалу через грохоти і іншими операціями, в ході яких частки шлаку набувають округлої форми. Для якісного згрудкування шихти і спікання агломерату, навпаки, сприятливою є неправильна, скалкувата форма мінеральних зерен [6]. Корольки металевого заліза, що потрапляють на агломерацію, завдяки округлій формі не насичуються перед агломерацією коксом. Відсутність безпосереднього контакту з часточками палива приводить до того, що метал не спікається з іншими компонентами агломераційної шихти і потрапляє до відходів агломерації. При цьому залізо окислюється до вюститу, магнетиту, а потім і гідроксидів заліза:



Отже, енергія згорання палива при агломерації витрачається не на *відновлення оксидів*, а на *окислення корольків металу*. Це приводить до не виправданої перевитрати енергоносіїв і зниження рентабельності виробництва агломерату і чавуну. Реакції окислення та гідратації, що відбуваються в навколишньому середовищі, приводять до повного заміщення металевого заліза оксидами і гідроксидами. Це, у свою чергу, збільшує втрати металу у хвостах збагачення шлаку.

Важливими складовими сталеплавильного шлаку являються не магнітні та слабомагнітні мінерали: вюстит, гематит, ферити кальцію, гідроксиди заліза. Проте технологія магнітного збагачення, що використовується при переробці шлаків розрахована на вилучення лише найбільш магнітного матеріалу – корольків металевого заліза. Це приводить до втрат інших залізовмісних мінералів в немагнітних продуктах. До хвостів збагачення потрапляє навіть метал, оскільки значна його частина знаходиться у зростках з немагнітним вюститом та слабомагнітними гідроксидами, а також силікатами і склом. Частина оксидів заліза міститься у вигляді включень в кристалах гіпергенних карбонатів і також потрапляє до відвалу. Концентрично-зональні зростки і графічні проростання

магнетиту, вюститу і заліза, при магнітному збагаченні шлаку потрапляють до скрапу, а тісні зростання рудних мінералів з силікатами і склом - до немагнітного продукту (хвостів) збагачення. За існуючою технологією, до відходів збагачення направляються ідіоморфні кристали магнетиту, кірки навколо газових пустот, магнетитові і гематит-мартитові кулясті агрегати тощо.

Серед оксидів у складі металургійного шлаку особливе значення мають ферити кальцію. Крім заліза, вони містять також від 15,0 до 41,26 % (в середньому 27,42 %) СаО. Тому дані мінерали повинні використовуватися як залізofлюс у чорній металургії. Невисока температура плавлення феритів кальцію (1200-1400°C) сприяє спіканню агломераційної шихти, при помірній питомій витраті коксу. За вмістом заліза ці мінерали бідніші ніж металеве залізо, вюстит, магнетит, маггеміт і гематит. Проте, з урахуванням флюсуючого значення кальцію і низької температури плавлення, шлакоутворюючі ферити кальцію є цінною сировиною для виробництва офлюсованого залізорудного агломерату.

Підкреслимо, що оксиди заліза штучного і природного походження мають схожу морфологію. На відміну від корольків заліза, вони кристалізуються у вигляді полігональних зерен складної форми, скелетних кристалів, дендритів і інших агрегатів. Це сприяє згрудкуванню їх з мінеральними складовими агломераційної шихти і виробництву високоякісного агломерату.

Шпінель у складі ШЗ потрапляє до шихти агломераційної фабрики, де вона є небажаною домішкою, оскільки її абразивність і тугоплавкість підвищують знос обладнання і споживання коксу. Наявність зростків шпінелі з магнетитом і іншими мінералами погіршує збагачуваність шлаку, сприяє збільшенню втрат заліза у відходах. Залишкові включення шпінелі у металі підвищують крихкість і збільшують дефектність сталевих виробів. Разом з тим, виділений зі шлаку шпінелевий концентрат може бути використаний для виробництва абразивів, вогнетривів і інших цінних матеріалів.

На якість залізорудного агломерату негативно впливають і інші нерудні мінерали: кварц, силікати, а також металургійне скло, що вносять до агломерату баластну домішку кремнезему. Крім того, силікати кальцію під час поліморфних перетворень збільшуються в об'ємі на 20 %, що спричиняє розвиток мікротріщин і погіршує міцність виробленого агломерату [5]. Дані фактори збільшують

кількість відходів агломераційного виробництва і приводять до надмірних витрат коксу. Тому вказані мінерали повинні вилучатися з залізородної сировини та утилізуватися за межами металургійного виробництва.

Як показали численні дослідження залізородної сировини, ефективність її збагачення і переробки в значній мірі визначаються розмірами, анатомією, морфологією мінеральних індивідів і агрегатів, технологічними властивостями рудних і нерудних мінералів [63, 77]. Особливо це стосується сталеплавильного шлаку – важливого різновиду техногенних руд заліза. Склад, текстурно-структурні ознаки і властивості корисних копалин, у тому числі технологічні, формуються в єдиній геолого-техногенній системі в різних енергетичних полях на макро-, мікро- і нано рівнях. Ці параметри визначають збагачуваність корисних копалин з урахуванням мінералого-геохімічної і екологічної спеціалізації, відображають кругообіг мінеральної речовини в природі і технології [76].

Результати мінералогічних досліджень дозволяють запропонувати новітні методи виробництва залізородної сировини з сталеплавильного шлаку. В першу чергу для цього слід використати оксиди і гідроксиди заліза: вюстит, магнетит, гематит, гетит, ферити кальцію. Вони традиційно надходять на агломерацію з природною сировиною (магнетитовим концентратом, агломераційною рудою) та утворюються під час спікання агломерату. Тому додаткове надходження їх як компонентів сталеплавильного шлаку не приводить до будь-яких змін у діючій технології агломераційного виробництва чи погіршення якості виробленого агломерату [38]. Залишки металу у вигляді корольків доцільно використати не в агломераційному процесі, а безпосередньо у виробництві сталі, замінивши ними частину металолому. Силікатну складову шлаків доцільно взагалі вивести з металургійного процесу і використати у виробництві будівельних матеріалів.

Селективну утилізацію складових компонентів металургійного шлаку найбільш ефективно реалізує технологія збагачення, що розроблена Ю.Д. Чугуновим (ДНУ ВМГОР НАН України) з співавторами. Вона базується на глибокому розумінні і використанні індивідуальних властивостей кожного з рудних і нерудних мінералів: твердості, пластичності, питомої ваги, морфології

індивідів, характеру їх зростків, агрегатного стану, ступеню вторинних змін тощо. Шлак чи руда в запропонованому технологічному циклі проходить всебічну підготовку, магнітне та гравітаційне збагачення у повітряному потоці. Відповідність економічним, технологічним, екологічним та санітарним вимогам забезпечується глибоким очищенням повітря від часточок пилу та селективним вилученням мінеральних компонентів шлаку, як рудних, так і нерудних [38, 90, 107, 108,].

За даною технологією переробки металургійного шлаку отримують три продукти:

1. Металевий, вихід його складає 10-12 %. Загальний вміст заліза 96-98 мас. %. Мінеральний склад: металеве залізо з продуктами його окислення, незначний домішок карбонатів, силікатів і скла. Після брикетування даний продукт може використовуватися безпосередньо у сталеплавильному виробництві. Металевий продукт, отриманий з фракції 0-20 мм шлаку містить велику кількість кулястих корольків, розміром від 0 до 3-5 мм. (рис. 3.70ж). Простим розсіюванням їх можна виділити з металевого продукту і використовувати для абразивної обробки (очищення) поверхні металевих виробів і конструкцій. Найбільш дрібні міцні та цінні металеві кулі отримані за даною технологією з графітового пилу мартенівського цеху (рис. 3.70з).

2. Офлюсований залізооксидний, з виходом 18-25 %. Загальний вміст заліза – 48-50 мас. %, основність (важливе для металургійного виробництва відношення $\text{CaO}+\text{MgO}/\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$) становить 1,2-1,6. Мінеральний склад: вюстит, магнетит, гематит, ферити кальцію, гетит, портландит, карбонати кальцію й заліза. Форма зерен кутаста. Використовується як залізо-флюс у виробництві офлюсованого залізорудного агломерату (рис. 3.70е).

3. Силікатний Вихід – 62-72 %. Загальний вміст заліза – 6-8 мас. %. Мінеральний склад: силікати кальцію, магнію, заліза, портландит, шпінель, скло, мінерали групи кварцу. Напрямок використання – виробництво будівельних матеріалів.

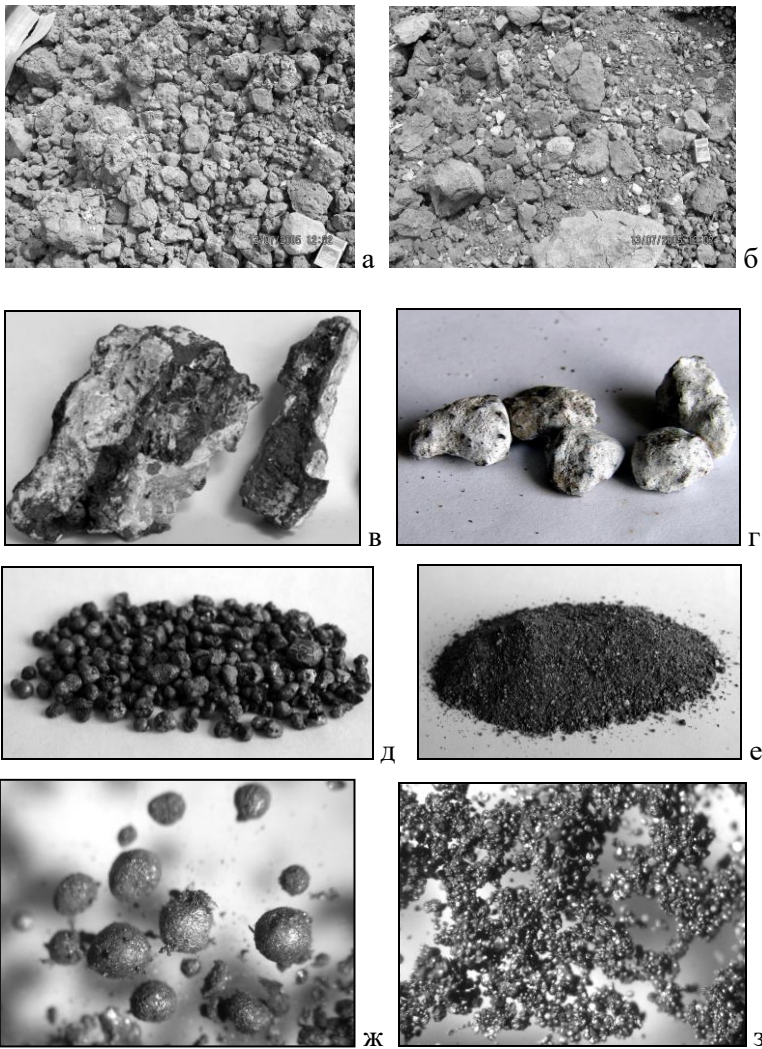


Рис. 3.71. Шлак мартенівського (а) і конверторного (б) виробництва ПАО АМКР та продукти його збагачення: в – скрап, клас 20-40 мм; г- «шлак збагачений», клас 10-20 мм; д - металевий продукт, клас 3-5 мм; е – офлюсований залізооксидний продукт, клас 0-1 мм; ж - металеві кулі, вилучені з шлаку для абразивної обробки (очищення) поверхні металевих виробів і конструкцій, клас 0,1-1 мм, бінокуляр; з – металеві кулі, вилучені з графітового пилу мартенівського цеху. Бінокуляр, збільшення 40^x.

Дослідне спікання агломерату з використанням у шихті офлюсованого залізооксидного продукту збагачення засвідчило, що даний матеріал значно перевищує за якісними показниками ШЗ, який і до теперішнього часу використовують у металургії. Його споживання перевищує досягнутий нині рівень використання шлаку у кілька разів. Параметри виготовленого агломерату при цьому не погіршуються, а деякі з них навіть покращуються. Важливою перевагою є високий вміст у ньому одночасно мінералів заліза і кальцію. Введення до агломераційної шихти залізооксидного продукту дозволяє суттєво скоротити витрати агломераційної руди, магнетитового концентрату, вапняку та коксу [38, 97].

Мінералого-технологічне вивчення шлаку та дослідні випробування продуктів його переробки у виробництві офлюсованого залізородного агломерату доводять, що існуючу технологію збагачення металургійного шлаку слід докорінно змінити. Це приведе до зростання обсягів його використання у металургійному виробництві з існуючого рівня 10–12% до 40–50%. Крім того, силікатний продукт, який залишається після вилучення з шлаку мінералів заліза, може бути використаний як сировина для виготовлення сучасних і високоліквідних будівельних матеріалів. Впровадження даної технології у виробництво приведе до повної ліквідації шлакових відвалів металургійних підприємств.

Глава 4. СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ ПОЗБАВЛЕННЯ ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ І ПЕРЕРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН В УКРАЇНІ

4.1. Комплексне освоєння надр як засіб зменшення накопичення відходів

Значне скорочення темпів накопичення відходів можна досягти при запровадженні комплексного освоєння родовищ корисних копалин.

Сучасні теоретичні засади комплексного освоєння надр базуються на найбільш повному і раціональному використанні наявних ресурсів в межах певної ділянки надр. За визначенням М.І. Агошкова в перелік ресурсів надр доцільно включати ресурси, які за своїм речовинним складом, місцем розташування і можливостями використання поділяються на групи [16]:

I. Родовища твердих, рідких і газоподібних корисних копалин.

II. Відвали видобутих забалансових корисних викопних гірських порід, розкриття і від проходження підземних виробок, що містять корисні компоненти.

III. Відходи переробки збагачувального і металургійного виробництва (відвали хвостів збагачувальних фабрик, металургійних шлаків, промивних установок на розсипних родовищах), стічні води збагачувального і металургійного виробництва, що містять корисні компоненти.

IV. Глибинні джерела прісних, мінеральних і термальних вод.

V. Внутрішнє (глибинне) тепло надр Землі.

VI. Природні і техногенні порожнини в земних надрах (печери, гірничі виробки, придатні для розміщення промислово-господарських і лікувальних об'єктів, поховання відходів промислового виробництва і для інших цілей).

Перші три групи разом складають мінеральні ресурси надр: перша група — природні ресурси, друга і третя — відходи їх видобутку і переробки. Значні за запасами скупчення останніх, зокрема відвали, що являють промисловий інтерес, іноді називають техногенними родовищами.

За найбільш традиційним визначенням під комплексним освоєнням надр розуміють найбільш повне і економічно вигідне освоєння всіх видів ресурсів надр із використанням комплексів ефективних гірничих технологій. За визначенням переліком зрозуміло, що одна ділянка надр може містити декілька видів ресурсів, при чому деякі з них дійсно можливо комплексно освоювати, а деякі види користування надрами є технічно неможливо поєднати. Крім цього, видобування і переробка окремих видів корисних копалин може унеможливити використання інших корисних копалин (компонентів) або взагалі суперечити іншим раціональним видам природокористування, наприклад, землекористування. З врахуванням таких зауважень можна рекомендувати наступне визначення: *комплексне освоєння надр – найбільш повне використання ресурсів надр, які у визначеному поєднанні мають промислове значення та характеризуються раціональністю використання інших компонентів природного середовища.*

В практичних підходах комплексність освоєння передбачає комплексування способів розробки та комплексність переробки ресурсів. Найбільш досконало ці підходи розроблені для мінеральних ресурсів, тобто родовищ корисних копалин. Комплексним використанням родовищ корисних копалин називають видобуток усіх корисних копалин родовища і вилучення наявних корисних компонентів та їх промислове використання, а також використання відходів, що утворюються у процесі видобутку і переробки мінеральної сировини [83];

З великої кількості гірничих технологій, які застосовуються при експлуатації родовищ, великі перспективи мають наступні види комплексного відпрацювання:

- Комбінована відкрито-підземна розробка, яка дозволяє забезпечувати значні масштаби відпрацювання при зниженні собівартості видобутку, які є недосяжними для традиційного послідовного видобутку відкритим і підземним способом;
- Комплексна підземна і відкрита розробки із звичайними гірничими технологіями для основної частини родовища і дорозробка малопотужних і за балансових частин, ціликів, втрачених руд шляхом хімічного і хіміко-бактеріологічного вилуговування;

- Комплексна підземна розробка родовищ системами з обваленням або закладкою з наступним ви пуском частини гірничої маси і за балансових руд або збагаченої частини заклад очного матеріалу;
- Комплексна розробка вугільних пластів з використанням звичайної технології і підземної газифікації на пластах малої потужності і низької якості;
- Розробка геотехнологічними методами в поєднанні із звичайними технологіями на родовищах або відвалах;
- Відпрацювання відкритим способом залишкових запасів, які утворились при підземному видобуванні (за умови їх значної кількості);
- Комплексна дорозробка шахтним способом значних запасів нафти, які обліковуються як втрачені при свердловинному видобуванні;
- Поєднання технологій із застосуванням гідро механізованих комплексів і драг при розробці розсипних родовищ та ін..

Головним критерієм ефективності комплексного освоєння надр є досягнення певних оптимальних економічних показників не лише для сучасного періоду, але й для майбутніх поколінь, що визначено вичерпністю і невідновністю ресурсів надр. Найбільш часто для оцінки комплексності використання пропонують наступні показники: коефіцієнт вилучення корисної копалини з надр, втрати корисної копалини при видобуванні, вилучення корисних компонентів при збагаченні, вихід товарної продукції при розробці родовищ та ін. Показники повної наскрізної втрати корисних копалин складаються з втрат при видобуванні корисної копалини (10-30%); втрат первинної переробки (збагачення) – 20-40%, втрат хіміко-металургійного переділу – 10-15%. Особливо значними є втрати при первинній переробці багатокомпонентних руд. Саме тому проблема комплексного освоєння надр переважно розуміється як проблема комплексної переробки твердих корисних копалин, при цьому в гірничо-металургійному виробництві ця частина складає завершальні стадії освоєння.

Розробки родовищ корисних копалин в Україні у сучасний період характеризується:

1. Значними втратами корисних копалин при видобуванні та збіднення руд.

2. Експлуатацією родовищ без одночасної рекультивації і відтворення ландшафтів.
3. Масштабним відвалоутворенням.
4. Порушенням земельних ресурсів та геологічного середовища.
5. Застарілими технічними фондами підприємств.

Для окремих видів корисних копалин (металічних, неметалічних, паливно-енергетичних, техногенних) характерні свої особливості комплексного освоєння, переробки і можливостей вторинного використання.

При розробці родовищ металічних корисних копалин (самородних елементів, оксидів, сульфідів, сульфосолей та ін.) використовуються корисні властивості окремих компонентів, а неметалічних (силикатів, фосфатів, карбонатів, сульфатів, солей кисневих кислот, галоїдів та ін.) – частише за все, корисні властивості всієї гірничої маси.

Головні позитивні ефекти комплексного освоєння металічних корисних копалин:

- Залучення в експлуатацію «бідних» та некондиційних руд. Поява нових геолого-промислових типів родовищ.
- Зменшення попиту на метали внаслідок науково-технічного прогресу.\використання вторинної сировини.
- Зниження сумарної металоємності конструкцій та збільшення терміну їх експлуатації.
- Застосування заміників.
- Розробка техногенних родовищ.
- Використання вторинної сировини.

Економія енергії при вторинній переробці металів складає для: алюмінію – 95 %, міді – 83 %, свинцю – 64 %, цинку – 60 %, , чорних металів – 74 %.

Співвідношення використання певинного и вторинного виробництва складає для: алюмінію – 10-15 %, міді – 25-30 %, свинцю – 60-100 %, інших кольорових металів – 40-50 %, чорних металів – 35 %.

Вцілому, експлуатація родовищ металічних корисних копалин забезпечує: при комплексному вдобуванні – зменшення втрат запасів, покращення показників вилучення корисного компонента, використання супутних корисних копалин, закладку виробленого простору, зменшення техногенного навантаження на довкілля; при

комплексної переробці – повноту переробки сировини, зменшення мінімальних промислових вмістів корисних компонентів, зростання виробничих потужностей, зменшення техногенного навантаження на довкілля.

Для неметалічних корисних копалин зазвичай відсутня взагалі первинна переробка або притаманна спрощена первинна переробка/збагачення сировини, така як механічна (подріблення, розпилювання, помел), хімічна (отримання сірчаної кислоти з пириту, плавикової кислоти з флюориту), термічна (отримання цементного клінкеру, випалювання зв'язуючих матеріалів). Оцінка та освоєння родовищ такої сировини часто пов'язане з проблемами: значної мінливості фізико-хімічних та технологічних властивостей сировини, складністю її сортифікації за переліком показників, проблемами багатоцільового використання, селективного видобутку, невизначеності економічного ефекту та екологічних наслідків. Головними факторами комплексного освоєння неметалічних корисних копалин є: залучення до експлуатації нетрадиційних видів родовищ, використання вторинної сировини, застосування заміників, розробка техногенних родовищ.

У зв'язку з повним використанням корисних компонентів родовищ найбільш актуальними є питання нормативного і методичного забезпечення цього процесу. Відповідно до ст. 24 гл. 3 Кодексу України про надра «користувачі надр мають право здійснювати на наданій їм ділянці надр геологічне вивчення, комплексну розробку родовищ корисних копалин» і в той же час зобов'язані «забезпечувати повноту геологічного вивчення, раціональне, комплексне використання та охорону надр... приводити земельні ділянки, порушені при користуванні надрами, в стан, придатний для подальшого їх використання у суспільному виробництві» [46]. Такі вимоги повністю узгоджуються з поданим вище авторським терміном комплексного освоєння надр. Для забезпечення раціонального використання мінеральних ресурсів використовують розподіл корисних копалин на основні, супутні та спільнозалегаючі [83] :

- основні корисні копалини і компоненти - корисні копалини і компоненти, що визначають промислове значення родовища, напрям його промислового використання і назву;

- супутні корисні копалини і компоненти - корисні копалини і компоненти, видобуток яких здійснюється разом з основними корисними копалинами, а вилучення і промислове використання технологічно можливі та економічно доцільні у процесі переробки основної мінеральної сировини;
- спільнозалягаючі корисні копалини - корисні копалини, що утворюють в розкривних і вмисних породах самостійні поклади, селективний видобуток і вилучення яких технологічно можливі та економічно доцільні у процесі видобутку основних корисних копалин;

В сучасний період зростають якісні і кількісні показники вилучення корисних компонентів з родовищ та відходів гірничого виробництва. Зростає кількість металів, яка може супутньо вилучатись, особливо рідкісних і рідкісноземельних. В окремих випадках вартість супутньої товарної продукції перевищує 50%. Є відомості, що на певних об'єктах із супутнім вилученням металів капіталовкладення в освоєння родовищ окупаються в 2 рази швидше, ніж на підприємствах, де вони є основним товарним продуктом.

Комплексна переробка мінеральної сировини базується на генетичних ознаках родовищ корисних копалин, які завжди містять не один, а декілька корисних компонентів, але не завжди в кількостях і умовах, які забезпечують економічну ефективність вилучення. Комплексна переробка – це розділення корисних копалин на кінцеві продукти з вилученням всіх цінних компонентів, які містяться в вихідній сировині. Виділяють чотири рівні комплексної переробки твердих корисних копалин і сировини з них:

- Виділення при збагаченні одного концентрату, який містить один або декілька цінних компонентів;
- Додаткове виділення при збагаченні окремих концентратів, які не є основними для даного виробництва;
- Виділення супутніх елементів, які не створюють самостійних мінералів (рідкісних і розсіяних елементів), з концентратів збагачення хіміко-металургійними методами;
- Використання відходів збагачення і металургії для отримання дорогоцінних матеріалів і іншої супутньої продукції (щебеню, піску, гравію з хвостів збагачувальних фабрик та ін.).

Доцільність і раціональність певних видів комплексного освоєння надр (родовищ або техногенних об'єктів) визначається за

результатами геолого-економічної оцінки або техніко-економічного обґрунтування таких напрямків, які проводять із врахуванням раціонального використання інших видів природного середовища. В подальших розділах визначені головні особливості та можливості комплексного освоєння об'єктів на прикладі родовищ та підприємств Кривбасу, а також наведено результати геолого-економічної оцінки природних та техногенних родовищ металічних і неметалічних корисних копалин.

4.2. Шляхи позбавлення від відходів, накопичених у минулі історичні періоди

Накопичення відходів гірничого виробництва – одна з головних екологічних проблем розвинутих гірничодобувних регіонів. Тільки у незначній мірі вона може вирішуватися заборонаю проведення підземних гірничих робіт без закладки виробленого простору чи іншими засобами зменшення накопичення відходів. Накопичені у попереднє століття відходи займають значні площі, що раніше були придатні для сільгоспвиробництва чи інших видів діяльності. У результаті ми маємо неотримання прибутків від невикористання земель, додаткові навантаження на породний масив і постійні великі за площею джерела забруднення довкілля.

Боротися з відходами гірничого виробництва можна двома шляхами: 1 – зменшувати їх кількість і вивільняти зайняті площі земель за рахунок використання відходів; 2 – пристосовувати площі, що зайняті відходами, для різних видів господарської діяльності (будівництва, створення лісонасаджень і рекреаційних зон, відведення дачних ділянок та іншого) шляхом їх рекультивації.

Ми вважаємо, якщо відходи гірничої промисловості – відвали не використовуються або їх площа цілеспрямоване не пристосована для інших видів діяльності, то державі треба брати податок за невикористання вилучених земель (подібний до «антиренти» О.Л. Кашенко) [44].

Для початку треба скласти реєстр всіх відвалів з визначенням їх параметрів і характеристик. Потім розбити на групи за їх токсичністю та можливим цільовим призначенням і, виходячи з цього, вже скласти плани їх використання. Але, до тієї пори, що відвал існує і займає якусь площу, державою повинна братися плата

за невикористання вилучених земель. Вона має бути суттєвою й адекватною ренті у випадку використання цих земель у сільськогосподарському виробництві. Тільки при такому підході можна створити реальні стимули для зменшення кількості відходів у нашій країні, яка, враховуючи відходи інших галузей виробництва і побутові, поступово перетворюється на смітник.

Тільки економічними механізмами зменшення відходів, спрямованих на діючі підприємства проблему відходів не вирішити. Екологічну реабілітація територій, постраждалих у минулому, і позбавлення від відходів, накопичених у попередні історичні періоди, має фінансувати держава. Головним джерелом цього фінансування може стати фінансові ресурси, сконцентровані за рахунок введення плати за так званий асиміляційний потенціал.

4.3. Головна причина накопичення відходів в Україні

Ще десятиріччя тому вашингтонський експерт-аналітик Паял Сампат навів доводи того, що для людства настав час якщо не зовсім відмовитись від видобутку і переробки корисних копалин, то кардинально їх зменшити і віддати перевагу використанню вторинної сировини [87]. Стисло ці доводи зводилися до наступного.

Робота в гірничодобувній промисловості є найнебезпечнішою з усіх: в середньому щодня на роботі гине 40 шахтарів, а ще більше їх число отримує каліцтва. Якщо підрахувати витрати на видобуток корисних копалин, їх збагачення і очищення, відкриється непривабливий баланс: гірська промисловість споживає майже 10% світової енергії, в деяких країнах на її частку доводиться практично половина усіх токсичних викидів, вона представляє загрозу для майже 40% світових незайманих лісових масивів. При цьому доля гірничодобувної галузі на ринку робочих місць і у валовій світовому ВВП мала.

Добувна промисловість надає і малу долю робочих місць. Видобуток негорючих корисних копалин забезпечує роботою всього 5 млн чоловік, тобто менше 0,2% усіх робітників (збагачення і очищення мінеральної сировини дає роботу ще 8 млн чоловік). У багатьох частинах світу потреба в таких професіях знижується. В 25 ключових гірничодобувних країнах світу 32% шахтарів втратили роботу за 1995-2000 рр.

Найбільше споживання енергії і збиток докільню пов'язані з видобутком корисних копалин, тобто з процесами видобутку, очищення і виплавки металів. Вторинне використання мінеральної сировини, яка вже була добута, перероблена і багаторазово побувала в обороті в економіці, виключило б якщо не весь збиток, то велику його частину. Наприклад, отримання енергоємних алюмінію, сталі, міді виключно шляхом переробки металобрухту могло б на 70% понизити споживання енергії, використовуваної щорічно на їх виробництво. Істотна доля енергії, що використовується для видобутку і очищення мінеральної сировини, це енергія викопного палива – нафти і вугілля. При їх спалюванні утворюється вуглець, який чинить вплив на глобальні зміни клімату.

Виробництво цементу з вапняку щорічно додає ще 5% викидів вуглецю в атмосферу. При виплавці алюмінію утворюється близько 2 тонн діоксиду вуглецю на кожну зроблену тонну первинного алюмінію і ще 3 тонни фторвуглеводнів – надзвичайно рідкісних газів, які не виділяються при інших промислових процесах. Ці гази є парниковими: 1 їх тонна викликає такий же парниковий ефект як 6500-9200 тонн вуглецю.

Використана мідь або алюміній можуть перетворитися знову на ту ж кількість металу з дуже невеликим додаванням нового металу. Алюмінієві банки з-під напоїв можуть бути переплавлені і знову перетворені на пивні банки буквально через тиждень після того, як їх викинули в сміттєвий бак. Якби 7 млн тонн банок, викинутих американцями в 1990-2000 рр., було перероблено, з них можна було б побудувати 316000 Боїнгів-737, що майже в 25 разів перевищує світовий повітряний комерційний флот.

З точки зору споживання енергії, шкідливих викидів і завдання шкоди здоров'ю отримання матеріалів з вторинної сировини чинить істотно меншу дію, чим аналогічне виробництво з викопної сировини, але не усуває його повністю. При раціональному використанні матеріалів ремонт, повторне використання і переробка стають обов'язковими умовами. Розуміючи це, голландський уряд заборонив використання алюмінієвих банок на користь скляних пляшок багаторазового використання - майже 100% пляшок використовується повторно.

У деяких країнах субсидії, виплачені при розробці родовищ, істотно знижують витрати на виробництво металів з руди, що робить

неконкурентоспроможним рециклінг. Навіть якщо ми зможемо перебудувати нашу економіку так, щоб велика частина наших ресурсів поступала з вторинних джерел, якісь видобуток первинної мінеральної сировини, так або інакше, залишиться.

З доводами П.Сампата важко не погодитись, можна тільки до них додати ще декілька. По перше, не завжди і не повному обсязі враховуються збитки при штатній роботі гірничої промисловості, а також від надзвичайних ситуацій і катастроф при видобутку корисних копалин, що ставить під сумнів економічну ефективність цієї промисловості. Ці збитки бувають величезні. Наприклад, від катастрофи при видобутку нафти у Мексиканській затоці у 2010 році вони оцінюються приблизно у \$ 20 млрд. По друге, абсолютно більша частина прибутків від гірничої промисловості у сировинних країнах ідуть на збагачення власників гірничих компаній, осідає в офшорних зонах і у незначній мірі впливає на поліпшення умов життєдіяльності населення, яке поступово втрачає найбільш цінний ресурс – природне середовище свого існування.

Якщо брати Україну, то доцільність масштабної роботи гірничої і переробної галузей теж викликає великий сумнів. Країні для потреб населення вистачає власного видобутку вуглеводнів, але їх ми імпортуємо за великими цінами, щоб забезпечити роботу гірничо-металургійної галузі і хімічної промисловості, продукція яких йде на експорт, а більша частина прибутків від нього осідає на рахунках власників компаній в офшорних зонах. Дефіцит в енергоресурсах намагаються компенсувати інтенсифікацією роботи вугільної галузі, яка нерентабельна, потребує величезних дотацій, а спалювання вугілля є одним із головних факторів забруднення довкілля. Внаслідок цього економіка України залишається сировинною і суттєво залежить від двох зовнішніх факторів: імпорту вуглеводневої сировини і експорту продуктів переробки залізних руд і прокату чорних металів [51]. За підрахунками фахівців протягом більше століття українська мінеральна сировина споживалась за ціною, як мінімум, на 20 – 25% меншою за її вартості з урахуванням екологічних витрат, що обумовило різке погіршення стану довкілля і екологічних умов життєдіяльності населення у промислових регіонах. Країна завалена відходами видобутку і переробки корисних копалин, більшу частину яких складають відходи гірничо-металургійного комплексу. Намагання покращити екологічну

ситуацію у гірничодобувних регіонах [84] залишалось на папері, на реалізацію відповідної програми у держави не вистачило коштів у бюджеті.

З сказаного вище можна зробити висновок, що *основним у позбавленні України від відходів є усунення головної причини їх утворення – масштабної роботи гірничодобувної і переробної галузей виробництва*, що означає перехід сировинне орієнтованої економіки країни на не сировинне орієнтовану економіку.

4.4. Механізм переходу сировинне орієнтованої на не сировинне орієнтовану економіку

Структура економіки України, як й будь якої сировинної держави, переобтяжена важкими галузями виробництва і є дуже інертною. Тому швидкий перехід до не сировинне орієнтованої економіки неможливий. Ми пропонуємо рухатися поступово шляхом збільшення жорсткості екологічних стандартів з паралельним збільшенням плати за асиміляційний потенціал території.

Асиміляційний потенціал території. Антропогенний вплив на геологічне середовище може бути спрямованим на різні його складові: масив гірських порід, ґрунти, підземні води, газову складову, фізичні поля літосфери. Найбільш актуальним для сучасного періоду розвитку України є врахування асиміляційних властивостей перших трьох складових.

Вплив діяльності підприємства на довкілля до певної межі може ним поглинатися і не наносити йому екологічного збитку. При перевищенні цієї межі, що отримала назву асиміляційного потенціалу території, їй вже наноситься екологічний збиток, який можна виразити у грошах (економічний збиток). Асиміляційний потенціал – здатність навколишнього природного середовища зменшувати екологічний вплив природних і техногенних чинників (рис. 4.1). Загальний об'єм асиміляційного потенціалу території складається із здатності атмосфери, гідросфери і верхньої частини літосфери (геологічного середовища) витримувати до певної межі як природний, так і антропогенний чи техногенний вплив. Асиміляційний потенціал різних територій України є різним у залежності від їх геологічної будови і фізико-географічних умов, що характеризують уразливість біоценозів, умови життєдіяльності населення в їх межах

та їх інженерний захист. У кінцевому рахунку наявність таких властивостей навколишнього природного середовища підвищує безпеку життєдіяльності населення і дозволяє підприємствам економити на природоохоронних витратах. Для геологічного середовища до складових цього потенціалу, насамперед, входять: 1 – здатність геологічного середовища розсіювати, знешкоджувати або поглинати забруднення, 2 – захищеність від забруднення горизонтів підземних вод, 3 – здатність протидіяти розвитку небезпечних геологічних процесів; 4 - здатність породного масиву витримувати навантаження без його порушення.

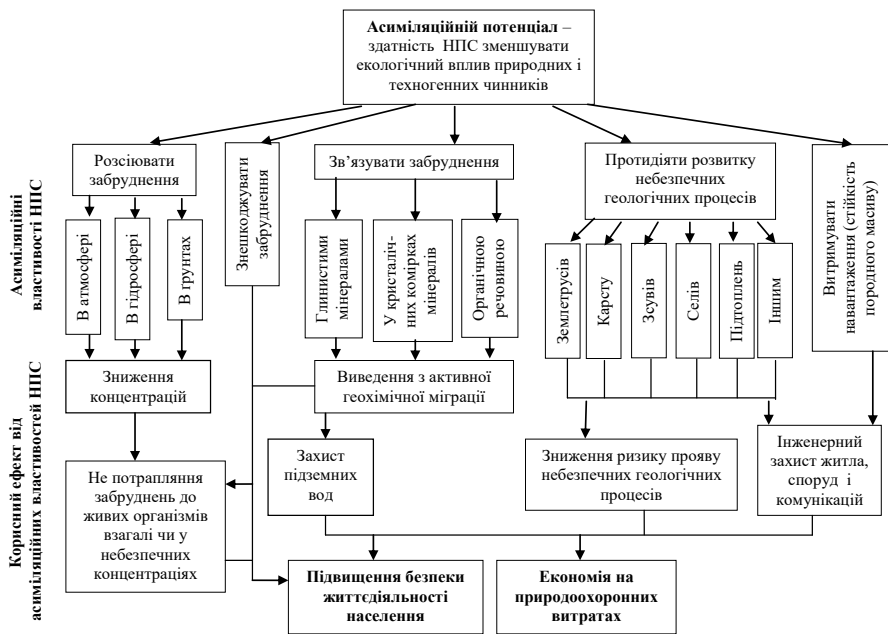


Рис. 4.1. Асиміляційний потенціал навколишнього природного середовища (НПС) і його вплив на екологічні та економічні показники

Розсіяння забруднення в природних умовах в атмосфері (або гідросфері) пов'язане з його розбавленням чистим повітрям (чистою водою) і зменшенням концентрацій забруднюючих речовин до

значень ГДК. Внаслідок цього забруднення потрапляють до людини і живих організмів у кількостях, що не впливають на їх розвиток і стан здоров'я. У геологічному середовищі формуються так звані ореоли розсіяння навколо місць зосередження забруднень – техногенних аномалій. У цьому випадку розсіяння протікає з різною швидкістю у залежності від геологічної будови території та складу і властивостей ґрунтів, але досить повільно, порівняно з атмосферою і поверхневою гідросферою, і контролюється процесами геохімічної міграції у літосфері. У науковій літературі відомо таке поняття як індекс самоочищення території [113]. При статистичній обробці даних по областях України виявляється, що з ним корелюються хвороби органів травлення у населення [24]. На думку авторів, це можна пояснити тим, що самоочищення ґрунтів (в тому числі й від мінеральних добрив і пестицидів) йде за рахунок їх промивання атмосферними і ґрунтовими водами, які внаслідок цього забруднюються, що в свою чергу спричиняє забруднення джерел питного водопостачання і, як наслідок, інфекційні захворювання та хвороби органів травлення.

У окремих випадках у навколишньому природному середовищі спостерігається *знешкодження забруднень* за рахунок їх хімічної взаємодії з природними реагентами (мінералами гірських порід, органічної речовиною, водою, газами) і розкладення мікроорганізмами. Все залежить від стійкості конкретного з'єднання-забруднювача в умовах природного середовища.

Поглинання чи зв'язування забруднень пов'язане з їх переходом у певних природних умовах в нерухому форму, яка уповільнює і може припиняти їх геохімічну міграцію, що заважає їх потраплянню спочатку через ґрунти до автотрофних, а потім через трофічні ланцюжки до гетеротрофних живих організмів. Таке потрапляння можливо з пилом до органів дихання чи зі звисами твердих частинок у питній воді. Здатність ґрунтів і кір вивітрювання гірських порід зв'язувати забруднення є суттєвим фактором, який перешкоджає його територіальному поширенню, що є, безумовно, позитивною властивістю геологічного середовища у випадку розвитку надзвичайних екологічних ситуацій і катастроф. Наприклад, значна частина радіоактивного цезію у Чорнобильській зоні втратила можливість територіального розсіяння з поверхневими і ґрунтовими водами за рахунок того, що він був зв'язаний у кристалічних

комірках глинистих мінералів і польових шпатів при ізоморфному заміщенні калію. З іншого боку, ґрунти і гірські породи, у яких зв'язані забруднення (особливо радіоактивних елементів), самі можуть бути джерелами небезпеки, що обумовлює необхідність введення певних обмежень у їх господарському використанні.

Здатність зв'язувати чи затримувати забруднення водотривами – горизонтами порід, які у багатьох випадках складені глинистими мінералами, багато у чому обумовлює захист від забруднення підземних вод.

Здатність геологічного середовища протидіяти розвитку небезпечних геологічних процесів (НПС) обумовлена географічним положенням місцевості, ступенем розчленованості рельєфу, захищеністю схилів, геологічним розрізом, складом порід, зволоженістю і стійкістю породного масиву та багатьма іншими причинами. Разом зі здатністю породного масиву витримувати статичні і динамічні навантаження вони визначають інженерно-геологічні умови територій і дозволяють економити на витратах на будівництво і інженерний захист. Ці властивості НПС багато у чому визначають безпеку життєдіяльності населення

Найбільші порушення породного масиву відбувається при видобутку корисних копалин як при їх відкритій, так і підземній розробці. Якщо у першому випадку може йти мова про порушення стійкості породного масиву навколо кар'єрів і, частіше за все, зводиться до проблеми обвалів і зсувів порід у бортах кар'єрів, то в другому – до просідань, провалів, зсувів та інших геодинамічних порушень безпосередньо над підземними гірничими виробками, які часто об'єднуються у шахтні поля.

Відпрацьовані кар'єри піддаються рекультивациі шляхом їх засипки нетоксичними відходами гірничого виробництва чи створення на їх місці водойм і рекреаційних зон. Проблема – що робити з шахтними полями, ще далека від вирішення. Ці території практично неможливо пристосувати до життєдіяльності населення чи будь-якої господарської діяльності. У другій половині минулого століття у Кривбасі цю проблему, навіть, намагались вирішити шляхом обрушення відпрацьованих шахтних полів підземними ядерними вибухами.

При розробці твердих корисних копалин підземним способом (будь то шахтний спосіб чи підземне вилуговання) у породному

масиві на певній глибині формуються порожнини, які, якщо їх не закладати, досить часто починають «рухатися» вверх – кривля порожнини поступово руйнується, а вивільни породи накопичуються на її дніщі. При такому «русі» вверх порожнина досягає певного глибинного рівня, коли не витримує вже породний масив над нею. Він розбивається двома системами тріщин – радіальною і концентричною. Починається його просідання, яке може привести до формування провалу з розвитком обвалів і зсувів у його бортах.

Але, до певної межі – певного об'єму порожнини (чи групи порожнин), їх згаданих вище «руху» вверх і наступних геодинамічних порушень породного масиву не трапляється. Він витримує таке техногенне навантаження. Цю межу можна назвати межею стійкості породного масиву. До досягнення цієї межі можна економити на закладці виробленого простору, просто її не проводити.

Коли критичний об'єм підземних порожнин (гірничих виробок) перевищений, починається розвиток геодинамічних порушень поверхні геологічного середовища.

Щоб використати наведені закономірності у практичному регулюванні гірничої діяльності з метою запобігання її негативного впливу на навколишнє природне середовище, треба:

1. Проводити оцінку території гірничої діяльності, що планується чи проводиться, за величиною критично припустимого об'єму порожнин у породному масиві, яка фактично буде характеризувати його асиміляційний потенціал.

3. Заборонити проведення підземних гірничих робіт без закладки виробленого простору при перевищенні цього потенціалу.

4. Ввести плату гірничим підприємствам, пропорційну асиміляційному потенціалу породного масиву.

Зрозуміло, що оцінка території гірничої діяльності за величиною критичної стійкості породного масиву в гірничодобувних регіонах і районах крім критично припустимого об'єму порожнин має враховувати також ступень його природного (тріщинуватість, карстоутворення та ін.) або техногенного порушення внаслідок ведення гірничих робіт.

Захищеність горизонтів підземних вод є важливою складовою асиміляційного потенціалу геологічного середовища. В Україні ця

наукова проблема досить змістовно охарактеризована у дослідженнях В.М. Шестопалова, М.С. Огняника, В.І. Лялька, та інших.

Загальну захищеність підземних вод виражають відносною величиною, зворотною інфільтраційному живленню (бали, ймовірний час досягнення забруднень до рівня водоносного горизонту та ін.). У одній з наших попередніх робіт В.О. Сляднєвим наданий огляд методичних підходів до її визначення та запропонована власна концепція оцінки уразливості підземних вод з застосуванням ГІС - технологій для умов Донецько-Макіївського і Центрального районів Донбасу [23].

Якщо розмірковувати про врахування захищеності підземних вод у економічному механізмі використання надр, то, у залежності від її ступеню, як за складову асиміляційного потенціалу геологічного середовища, треба брати плату. Гірничодобувні компанії, фактично, економлять на витратах по захисту горизонтів цих вод.

Таким чином, асиміляційний потенціал геологічного середовища обов'язково треба враховувати при удосконаленні економічного механізму використання надр. Для цього потрібні:

1. Розробка і затвердження методики оцінки асиміляційного потенціалу геологічного середовища;
2. Проведення за такою методикою робіт з оцінки цього потенціалу на територіях використання надр;
3. Розробка методики визначення диференційованого платежу за використання асиміляційного потенціалу геологічного середовища з врахуванням його складових – стійкості породного масиву, здатності зв'язувати (чи розсіювати) забруднення, захищеності горизонтів підземних вод та ін..

Треба провести районування територій країни за цим показником, попередньо надав йому чітке визначення, і ввести для підприємств диференційовану плату за його використання.

Використання асиміляційного потенціалу у переході до не сировинне спрямованої економіки визначається можливістю його прив'язки до екологічних стандартів. В основі виникнення більшості екологічних проблем України, пов'язаних з втратою асиміляційних властивостей геологічного середовища, являються техногенні зміни головних груп факторів: інженерно-геологічних (геодинамічних), гідрогеологічних, геохімічних. Дія цих факторів дуже часто взаємопов'язана, а розвиток екологічно небезпечних ситуацій і

катастроф може бути спровокованим природними явищами (землетруси, підвищення кількості опадів та ін.) чи певними діями людини (вирубка лісів, вилучення корисних копалин, закриття шахт та ін.). Основний вклад у зниження асиміляційних властивостей геологічного середовища припадає на видобуток і переробку мінеральної сировини.

З точки зору економіки, асиміляційний потенціал виступає як обмежений ресурс, використання якого зменшує витрати (на будівництво, інженерний захист, екологічну реабілітацію територій та ін.). За криву попиту на нього на наведених нижче графіках (рис. 4.2) можна прийняти криву витрат на природоохоронні заходи по запобіганню екологічного збитку території. Тривале інтенсивне використання надр у попередні часи практично без врахування екологічних витрат і мінімальною реабілітацією територій забезпечувало прибутковість гірничої і переробної галузей України (рис. 4.2А). Така ситуація зберігається й у сучасній період.

Встановлювати екологічні стандарти на рівні асиміляційного потенціалу території відразу не можливо. Це може зробити нерентабельними навіть високотехнологічні виробництва і приведе до уповільнення економічного зростання держави. Особливо це вплине на гірничодобувну і переробну галузі, робота яких відразу стає нерентабельною. Для збереження довкілля такий крок беззаперечно є добрим, а для економіки країни означає її повний крах. Ця ситуація відображена на рис. 4.2Г. При ній підприємство здійснює всі можливі природоохоронні заходи, компенсує екологічний вплив його діяльності, проводить екологічну реабілітацію території і майже у повному обсязі відновлює її асиміляційний потенціал. Таке можливо для багатих країн, які пріоритетом розвитку ставлять підвищення якості навколишнього природного середовища і хочуть позбавитись від екологічно небезпечних виробництв. Як кінцева мета розвитку це підходить і для України.

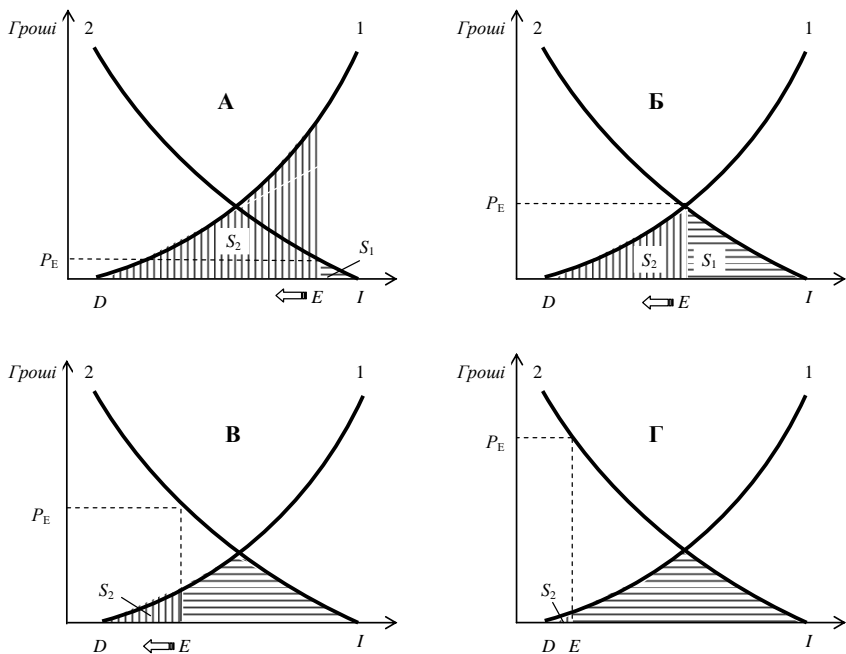


Рис. 4.2. Регулювання економіки шляхом встановлення екологічних стандартів різної жорсткості та плати за асиміляційний потенціал

1 — екологічний збиток території при використанні надр підприємством; 2 — витрати підприємства на природоохоронні заходи по запобіганню екологічного збитку території; D — загальний об'єм асиміляційного потенціалу території; I — екологічний збиток території внаслідок діяльності підприємства без природоохоронних витрат; E — екологічний стандарт; S_1 — витрати підприємства на заходи для досягнення екологічного стандарту; S_2 — витрати на екологічну реабілітацію території, що бере на себе держава; P_E — плата за асиміляційний потенціал території.

Ми пропонуємо рухатися поступово шляхом збільшення жорсткості екологічних стандартів за аналогією з запропонованою у свій час схемою регулювання викидів у повітря [15], розповсюдив її на загальний екологічний збиток, що наноситься підприємством території. Оптимальним з точки зору мінімізації витрат є варіант встановлення екологічних стандартів на рівні, що відповідає точці

перетинанню кривих екологічних витрат підприємства і екологічного збитку, що нанесеній цим підприємством території (рис. 4.2Б). Це може бути метою першого етапу переходу до не сировинної економіки. При цьому екологічні витрати підприємства досить значні, а компенсацію решти екологічного збитку бере на себе держава. Недоліком встановлення таких екологічних стандартів є дефіцит грошей у держави на екологічні витрати в умовах перманентної економічної кризи у сучасний період, внаслідок чого передбачені компенсації можуть бути відкладені у часі. Але з чогось треба починати перехід на не сировинну (чи мало сировинну) економіку, а такий варіант як раз підходить.

У подальшому перехід на не сировинну економіку може бути вже пов'язаний зі збільшенням жорсткості екологічних стандартів і їх наближенням до точки, що відповідає асиміляційному потенціалу території. При цьому екологічні стандарти стають більш жорсткими, а плата за асиміляційний потенціал поступово збільшується паралельно зі зростанням екологічних витрат підприємства, відкриваючи державі все нові можливості втілення у життя екологічних проектів.

Введення і поступове збільшення плати за використання асиміляційного потенціалу НПС дозволить сконцентрувати ресурси на екологічну реабілітацію територій, що постраждали у минулому за весь історичний період їх використання. Одним із суттєвих наслідків тривалого використання надр є накопичення величезних мас відходів.

Відповідно до великих циклів змін економіки М. Кондратьєва (45-60 років), світова економіка у 2008 році ввійшла до фази спаду (рис. 4.3). Дна падіння вона має досягти десь у 2020-2025 році, а потім почнеться фаза підйому. Але, довготривале падіння економіки буде проходити через падіння і підвищення попиту на продукцію з відповідним завантаженням виробничих потужностей (цикли К. Жюгляра – 7-11 років) та періоди інфраструктурних змін і технічного переоснащення виробництва за рахунок інновацій (цикли С. Кузнеця – 15-25 років). Збільшення плати за використання асиміляційного потенціалу треба приурочити до фаз поживлення економіки у ці середньострокові цикли змін економіки.

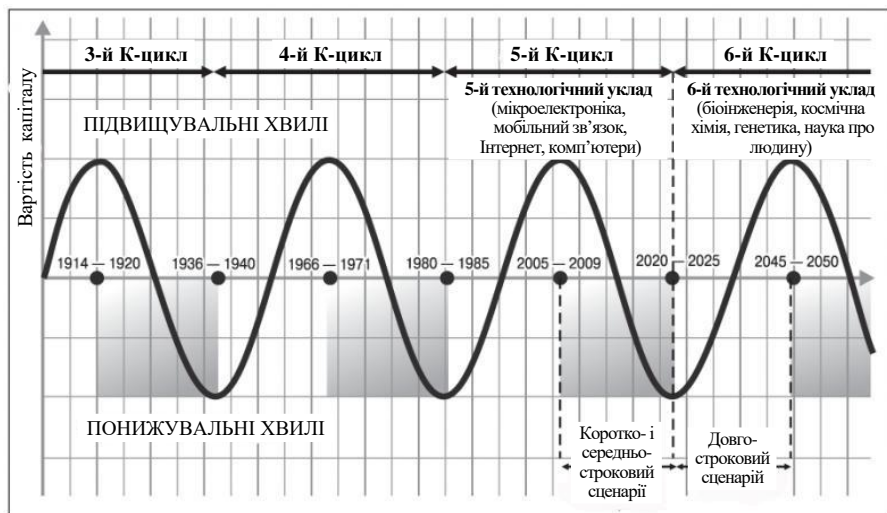


Рис. 4.3. Довгострокова циклічність змін світової економіки (цикли М. Кондратьєва) за [42]

Таким чином, миттєвий перехід країни на не сировинний шлях розвитку, особливо при її сучасному економічному стані, є неможливим. Цей перехід може статися тільки за певний досить значний період при його чітко розробленій стратегії. В основу такої стратегії може бути покладено введення і поступове збільшення, паралельне зі збільшенням жорсткості екологічних стандартів, плати за так званий асиміляційний потенціал – здатність навколишнього природного середовища зменшувати екологічний вплив, використання якого як природного обмеженого ресурсу дозволяє підвищувати безпеку життєдіяльності населення і економити на природоохоронних витратах.

Збільшення плати за використання асиміляційного потенціалу слід приурочити до фаз поживлення економіки у середньострокові цикли змін економіки, що входять до складу довгострокових циклів М. Кондратьєва, відповідно до яких світова економіка знаходиться у фазі падіння, з якого вона почне виходити через 7-12 років завдяки проривам у технологічній сфері та інфраструктурним змінам. Мабуть відбудуться і корінні зміни у суспільній свідомості по відношенню до використання природних ресурсів і збереження навколишнього природного середовища.

Збільшення плати за асиміляційний потенціал територій, пропорційне поступовому посиленню екологічних стандартів, може привести до декількох позитивних моментів: 1 - дозволить підприємствам поступово адаптуватися до нових екологічних вимог і стимулювати їх модернізацію; 2 - закрити екологічно шкідливі виробництва; 3 - акумулювати державі фінансові ресурси для реабілітації територій, постраждалих при використанні надр у попередні періоди.

Запропонований механізм переходу до не сировинно орієнтованої економіки може бути поступовим, інноваційним, не гальмувати зростання економіки та забезпечити країні фінансові можливості для покращення якості довкілля і ліквідації екологічних наслідків тривалого використання надр.

ВИСНОВКИ

Переважне утворення відходів видобутку і переробки мінеральної сировини відбувається у гірничодобувних регіонах з підвищеною щільністю населення, що суттєво збільшує їх просторово-часовий вплив на довкілля та безпеку життєдіяльності населення. Значною мірою це пов'язано з незворотними змінами геологічного середовища та рівноваги взаємодії з біосферою, поверхневою і підземною гідросферою, приземною атмосферою, а також надходженням у навколишнє середовище техногенних сполук та енергії. У складі природно-техногенних геологічних систем «гірничовидобувне підприємство – навколишнє середовища» місця складування відходів мінеральної сировини є її відкритим елементом довгострокової дії на довкілля, що обумовлює необхідність їх переробки та екологічної рекультивациі зон впливу.

У вуглевидобувних регіонах накопичена величезна кількість відходів вугільною, гірничодобувною, металургійною, хімічною промисловості, електроенергетики, виробництва будматеріалів, які зосереджені у відвалах, териконах, хвостосховищах, шламозбірниках і відстійниках шахтних вод [74]. У багатьох випадках ці відходи представляють собою потенційні техногенні родовища різномунітних корисних копалини. Утилізація промислових відходів дозволить з одного боку отримати відносно дешеву мінеральну сировину, з іншої — ліквідувати (мінімізувати) джерела забруднення довкілля.

Негативний вплив металургійного виробництва на умови життєдіяльності населення, стан здоров'я людей і біогеоценозів на території Кривого Рогу. Різнокольорові дими металургійних комбінатів та пил забруднюють повітря і приводять до формування кислотних дощів. Шламонакопичувачі і місця складування шлаків часто служать джерелами забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод.

Тривала експлуатація підприємств уранової галузі України привела до появи більшого об'єму низькорадіоактивних відходів у вигляді відвалів (порожніх порід і забалансових руд) радіометричних збагачувальних фабрик, шахт, хвостосховищ гідрометалургійної переробки уранових руд загальною активністю $7,1 \cdot 10^{18}$ Бк. Відходи підприємств уранової галузі приводять до відчуження значних площ

сільськогосподарських угідь і до забруднення прилеглих до сховищ територій.

На сучасному етапі розробки корисних копалин та реструктуризації розвинутих гірничодобувних регіонів України найбільш руйнівню на довкілля впливають зміни геологічного середовища (ГС) розробка родовищ калійних (Калуське, Стебніківське) та кам'яних (Солотвинське) солей. Специфікою техногенних змін ГС цих родовищ є розвиток карстових процесів та деформацій денної поверхні внаслідок утворення значних обсягів порожнин у гірському масиві, порушення рівноваги солевміщуючих порід, що призводить до руйнації міжкамерних циліків, стелин камер і, як наслідок, до утворення зсувів земної поверхні, провальних і карстових воронок, забруднення підземних вод та поверхневих водних об'єктів.

Проблема переробки та утилізації відходів гірничодобувного і переробного комплексу в Україні ще знаходиться на початковій стадії вирішення. Незважаючи на окремі ґрунтовні розробки у цьому напрямку, в державі не створені дієві механізми для цього на нормативно-правовому і фінансово-економічному рівні.

На геолого-економічну оцінку промислових відходів гірничодобувної і переробної галузей як техногенних родовищ не можна автоматично переносити методика геолого-економічної оцінки природних родовищ надр. Економічний ефект при комплексному підході до геолого-економічної оцінки техногенних родовищ може оцінюватись як сума економічних ефектів від використання відходів гірничодобувної і переробної галузей промисловості як сировини та попередження економічних збитків від вилучення земель і забруднення територій.

Можливим і методично правильним шляхом вирішення проблеми з технологічної, фінансово-економічної та юридично-правової точок зору є розробка окремих правових підходів до техногенних родовищ, які виникли в результаті накопичення розкритих порід родовищ корисних копалин, та тих, що утворились внаслідок первинної та вторинної переробки мінеральної сировини.

Подальше вирішення проблеми твердих відходів при видобутку та переробці корисних копалин полягає у створенні безвідходних та маловідходних технологій видобутку, технологій комплексної переробки вже накопичених відходів, нових будівельних матеріалів,

нормативно-правових та сприятливих фінансово-економічних умов утилізації відходів.

Характеристики освоєння залізорудних родовищ Кривбасу свідчать про великі можливості комплексного освоєння надр, які базуються на найбільш повному і раціональному використанні наявних ресурсів в межах певної ділянки надр. В першу чергу це стосується супутнього використання нерудної сировини (будівельних матеріалів) та розробки відходів гірничо-збагачувального виробництва. Доцільність і раціональність певних видів комплексного освоєння надр (родовищ або техногенних об'єктів) визначається за результатами геолого-економічної оцінки або техніко-економічного обґрунтування таких напрямків, які проводять із врахуванням раціонального використання інших видів природного середовища. Комплексне використання мінеральних ресурсів на початкових етапах (в 1970-80-х рр.) покращувало техніко-економічні показники роботи гірничодобувних підприємств, в основному за рахунок збільшення об'єму виробництва та номенклатури товарної продукції.

В сучасних ринкових умовах господарювання промислове значення об'єктів користування надрами, в тому числі і техногенних родовищ, визначається не тільки якісними і кількісними, але й вартісними характеристиками запасів корисних копалин. Промислове значення техногенних об'єктів повинно визначатись з врахуванням всіх геологічних, гірничотехнічних, технологічних і екологічних критеріїв і із врахуванням раціонального використання інших видів природного середовища.

Вартість запасів природних і техногенних родовищ, відходів гірничо-збагачувальних підприємств залежить від:

- кон'юнктури ринку даної мінеральної сировини, зокрема, наявність попиту на продукцію даної якості;
- екологічних наслідків не тільки у галузі використання надр, але й землекористування і інших складових довілля;
- економічної ефективності розробки основної корисної копалини родовища (основного виробництва гірничого підприємства);
- наявності технічних і технологічних рішень для ефективного освоєння сировини.

Різні за генезисом мінерали повністю формують технологічні властивості промислових відходів як комплексної сировини

природно-техногенного походження. Її мінеральний склад визначає також поширення шлаку, шлаків, пилу у навколишньому середовищі і вплив на стан довкілля. Тому мінералогічні дослідження промислових відходів набуває в сучасних умовах важливого наукового і прикладного значення. Розробка сучасних ефективних технологій збагачення і переробки відходів повинна базуватися на глибокому вивченні і врахуванні мінерального складу та морфологічних особливостей мінеральних компонентів техногенної сировини.

Основним у позбавленні України від відходів є усунення головної причини їх утворення – масштабної роботи гірничодобувної і переробної галузей виробництва, що означає перехід сировинне орієнтованої економіки країни на не сировинне орієнтовану економіку. Хоча треба відмітити, що значне скорочення темпів накопичення відходів можна досягти при запровадженні комплексного освоєння родовищ корисних копалин.

В сучасний період зростають якісні і кількісні показники вилучення корисних компонентів з родовищ та відходів гірничого виробництва. Зростає кількість металів, яка може супутньо вилучатись, особливо рідкісних і рідкісноземельних. В окремих випадках вартість супутньої товарної продукції перевищує 50%. Є відомості, що на певних об'єктах із супутнім вилученням металів капіталовкладення в освоєння родовищ окупаються в 2 рази швидше, ніж на підприємствах, де вони є основним товарним продуктом. Комплексна переробка мінеральної сировини базується на генетичних ознаках родовищ корисних копалин, які завжди містять не один, а декілька корисних компонентів, але не завжди в кількостях і умовах, які забезпечують економічну ефективність вилучення.

Тільки економічними механізмами зменшення відходів, спрямованих на діючі підприємства проблему відходів не вирішити. Екологічну реабілітація територій, постраждалих у минулому, і позбавлення від відходів, накопичених у попередні історичні періоди, має фінансувати держава. Головним джерелом цього фінансування може стати фінансові ресурси, сконцентровані за рахунок ресурсних і екологічних платежів, адекватних екологічним збиткам, накопиченим за весь історичний період використання надр.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Базилевич С.В.* Агломерация / *С.В. Базилевич, Е. Ф. Вегман.* – М. : Металлургия, 1967. – 368 с.
2. *Белевцев Я.Н.* Генетическая классификация железных руд Кривого Рога / *Я.Н. Белевцев* // Минералогический сборник Львовского у-та. – 1952, №6.-С. 125-130.
3. *Бялый Л.Я.* Количество цинка, циркулирующего в доменной печи / *Л.Я. Бялый, Е.И. Райх, К.К. Шкодин* // Сталь. – 1988, №11. – С. 53-57.
4. *Васютинский Н.А.* Metallургические шлаки. Киев, «Техника». 1990. - 175 с.
5. *Вегман Е.Ф.* Процесс агломерации / *Вегман Е.Ф.* – М., «Металлургиздат».- 1963, 151 с.
6. *Вегман Е.Ф.* Кинетика в твердофазных и ферритно-силикатных смесях эвтектического состава / *Е.Ф. Вегман, А.Р. Жак, Х.А. Ранаивусон* // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 1993. – № 5. – С. 3–6.
7. Взаимодействие огнеупоров с металлами и шлаками [темат. сб. науч. тр.] / [Отв. ред. *В.С. Турчанинов*]. – Л.: 1980. – 74 с.
8. *Винчелл А.Н., Винчелл Г.В.* Оптические свойства искусственных минералов. – М: «Мир», 1967. – 526 с.
9. Воздействие горного производства на недра / <http://rs.donntu.edu.ua/2010/feht/loskutova/library/teza7.htm>
10. *Гайдидей С.И.* Экологическая ситуация в Днепропетровской области. Проблемы и решения / *С.И. Гайдидей* // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 5. – С. 105–108.
11. *Геберт В.* Комплексные решения по экологии улучшают работу и повышают доходность предприятия / *В. Геберт, П. Л. Штегер, Л. П. Голд* // Сталь. – 1999. – № 9. – С. 74–82.
12. *Гиндис Я. П.* Технология переработки шлаков / *Я. П. Гиндис.* – М., 1991. – 278 с.
13. *Годовиков А.А.* Минералогия. М., «Недра», 1975. - 520 с.
14. *Голов Г. В.* Технология извлечения металла из отвальных шлаков / *Г.В. Голов* // Сталь. – 2001. – № 10. – С. 83–85.
15. *Голуб А.А.* Экономика природных ресурсов / *А.А. Голуб, Е.Б. Струкова.* – М.: Аспект Пресс, 1998. - 319 с.
16. Горная энциклопедия: В 5 т./ Гл. ред. *Е. А. Козловский.* — М.: Сов. энцикл., 1984—1991.
17. ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством.
18. ГОСТ 17.4.1.02-83. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.

19. Григорьев Д. П. Онтогенез минералов / Д. П. Григорьев, А. Г. Жабин. – М.: Наука, 1975. – 337 с.
20. Губіна В.Г. Залізвмісні відходи України: стан та перспективи використання //В.Г. Губіна, Б.О. Горлицький. – К.: Логос, 2010. – 127 с.
21. Данилов Е.В. Современная технология утилизации сталеплавильных шлаков / Е.В. Данилов. // *Металлургия*. – 2003. – № 6. – С. 38–39.
22. Демиденко А. М. Высокоогнеупорные композиционные покрытия / А. М. Демиденко. – М. : *Металлургия*, 1978. – 42 с.
23. Довгий С.О. Реструктуризація Мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення / С.О. Довгий, В.М. Шестопалов, М.М. Коржнев та ін. – К.: Наукова думка, 2008. – 347 с.
24. Довгий С.О. Екологічні ризики, збитки та раціональні межі використання надр в Україні. – С.О. Довгий, М.М. Коржнев, М.М. Курило та ін. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 316 с.
25. Довгопол В.И. Использование шлаков чёрной металлургии / В.И. Довгопол. – М. : *Металлургия*, 1969. – 216 с.
26. Долгова Т.И. Деградация почвенных систем под воздействием пыления, инициируемого предприятиями горнодобывающего комплекса / Т.И. Долгова // *Разработка рудных месторождений*. – 2003. – Вып. 82. – С. 150–159.
27. Долгоруков Ю.А. Повышение эффективности использования железосодержащих отходов / Ю.А. Долгоруков, Г.М. Комягин, А.З. Крижевский, В.И. Ростовский // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1986. - №2. – С. 3-4.
28. Евтехова А.В. Топоминералогия залежи бедных гематитовых руд Ингулецкого месторождения (Кривбасс). 1. Вертикальная минералогическая зональность / А.В. Евтехова, В.Д. Евтехов, С.В. Карпенко // *Геолого-мінералогічний вісник*. - № 2 (26).- 2011, с. 37-48.
29. Електронний ресурс / <http://www.unigran.ua/>
30. Закон України «Про відходи»// *Відомості Верховної Ради (ВВР)*.- N 36-37.- 1998.- ст.242.
31. Залкинд И.Я. Огнеупоры и шлаки в металлургии / И.Я. Залкинд, Ю.В. Троянкин. – М. : *Металлургиздат*, 1963.– 288 с.
32. Затеєва С.Н. Кристаллохимия индекс-минералов метакarbonатных пирогенных пород ларнит-мервинит-спурритовой субфации / Затеєва С.Н. // *Федоровская сессия. Сборник тезисов*. – 2008. - С. 182-184. <http://www.minsoc.ru/2008-2-54-0/>.
33. Іванченко В.В. Актуальні напрямки мінералогічних досліджень металургійних відходів і продуктів їхньої агломерації. Тези доповідей наукової конференції, присвяченої 65-річчю геологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка «Стан і

- перспективи сучасної геологічної освіти та науки». Львів, 13-15 жовтня 2010 р. С. 83-84.
34. *Иванченко* Минералы железа в металлургических шламах КГГМК «Криворожсталь» / *В.В. Иванченко, В.Д. Евтехов, Л.Н. Ковальчук и др.* // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. Вип. 2. 2003 р. с. 72 – 77.
 35. *Иванченко В.В., Нестеренко Т.П.* Мінеральні парагенезиси і геохімія шламів Криворізького металургійного комбінату / *В.В. Иванченко, Т.П. Нестеренко* // Записки Українського мінералогічного товариства. 2011, том 8. С. 105-108.
 36. *Иванченко В.В.* Минеральный состав и агломерация железосодержащих металлургических шламов / *В.В. Иванченко, М.И. Котляр, В.И. Шахова, Т.П. Нестеренко, С.Н. Тырышкина.* – Кривой Рог : Изд. центр КТУ, 2007. – 142 с.
 37. *Иванченко В.В.* Структурні взаємовідношення мінералів заліза як фактор збагачення сталеплавильних шлаків / *В.В. Иванченко, С.М. Тиришкіна* // Наук. праці Донець. нац. ун-ту. Сер. гірничо-геол. – 2007. – Вип. 6 (125). – С. 170–174.
 38. *Иванченко В.В.* Сталеплавильний шлак в сучасному геологічному середовищі / *В.В. Иванченко, С.М. Тиришкіна, П.І. Оторвін* // Видавництво НАН України. Серія: «Геологічне середовище антропогенної екосистеми», Київ: 2011 – 147 с.
 39. *Иванченко В.В.* Особенности состава шлаков кислородно-конвертерного цеха КГГМК «Миттал Стіл Кривой Рог» и перспективы получения из них железорудного концентрата / *В.В. Иванченко, Ю.Д. Чугунов.* – В сб. Проблемы развития Криворожского железорудного бассейна.- Кривой Рог, 2002. – С. 56.
 40. *Иванченко В.В.* Минеральные разновидности зерен в шламах металлургических предприятий (на примере ОАО «КГМК «Миттал Стіл Кривой Рог») / *В.В. Иванченко, В.А. Шеремет, А.В. Кекух и др.* // Теория и практика металлургии. № 3-4, 2004 г., С. 39-44.
 41. *Иванченко В.В.* Минералы железа в металлургических шламах ОАО «КГМК «Миттал Стіл Кривой Рог» / *В.В. Иванченко, В.А. Шеремет, А.В. Кекух, Л.Г. Максименко, Г.И. Орел, П.И. Оторвин, М.И. Котляр, В.М. Корякин, О.Г. Кубанов* // Металлургическая и горнорудная промышленность. №3. 2004. – С. 22-26.
 42. *Иринин М.Е.* Общая характеристика и природа мировых экономических кризисов / *М.Е. Иринин* // <http://www.coolreferat.com/>
 43. Использование металлургических шлаков и железосодержащих отходов в чёрной металлургии ПНР: [Обзор]. – М.: Черметинформация, 1989. – 8 с.

44. *Кашенко О.Л.* Фінанси природокористування. – Суми, «Університетська книга», 1999. – 420 с.
45. *Кіншова Г.Л.* Здобуття цементу з відходів гірничодобувної промисловості. Реферат за темою випускної роботи / <http://masters.donntu.edu.ua/2011/feht/kinshova/diss...>
46. Кодекс України про надра // Відомості Верховної Ради України від 06.09.1994 — 1994 р., № 36.
47. *Комаров М.А.* Горно-промышленные отходы – дополнительный источник минерального сырья / *М.А. Комаров, В.А. Алискеров, В.И. Кусевич, В.Л. Заверткин* (ВИЭМС) // <http://www.vipstd.ru/gim/content/view/407/279/>
48. *Коржнев М.М.* Концептуальні основи поліпшення стану довкілля гірничовидобувних регіонів України / *М.М. Коржнев, В.С. Міщенко, В.М. Шестопалов, Є.О. Яковлев.* – Київ: РВПС України. – 2000. – 75 с.
49. *Коржнев М.М.* Чинники впливу антропогенних змін геологічного середовища України на біорізноманіття і людину / *М.М. Коржнев, Ю.Р. Шеляг-Сосонко, Є.О. Яковлев* // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, № 1, 2003. - с.59-69.
50. *Коржнев М.М.* Геолого-економічна оцінка відходів, утворених при видобутку та переробці корисних копалин / *М.М. Коржнев, М.М. Курило* // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, № 4, 2008. – С. 24-29.
51. *Коржнев М.М.* Розвиток України в умовах глобалізації та скорочення природно-ресурсного потенціалу / *М.М. Коржнев, Ю.Р. Шеляг-Сосонко, М.М. Курило та ін..* – К.: «Логос». – 2009. – 195с.
52. *Коржнев М.М.* Техногенні зміни геологічного середовища та порушення природного геохімічного балансу у гірничодобувних регіонах на прикладі Кривбасу / *М.М. Коржнев, І.М. Малахов* // Вісник КНУ. Геологія. – вип. 53, 2011. – С. 54-57.
53. *Кривандин В.А.* Metallургические печи / *В.А. Кривандин, Б.Л. Марков.* – М. : Metallургия, 1967. – 672 с.
54. *Куделя А.Д.* Комплексное использование минеральных ресурсов железорудных горно-обогатительных комбинатов УССР. – К.: Наукова думка. – 1984. – 496 с.
55. *Лазаренко Е.К.* Курс минералогии. М., «Высшая школа», 1971. – 608 с.
56. *Лазаренко Е.К.* Минералогия Криворожского бассейна / *Е.К. Лазаренко, Ю.Г. Гершойг, Н.И. Бучинская и др.* – Киев, «Наукова Думка», 1977, 543 с.
57. *Лапкина Ю.В.* Комплексная переработка и полное использование шлаков черной металлургии и перевод металлургических предприятий на работу без шлаковых отвалов / *Ю.В. Лапкина, А.А. Грабеклис, С.И. Сучильников* // Всесоюз. совещ.: тезисы докл. – М., 1971. – С. 49–55.

58. *Легедза В.Я.* Золотоносность окисленных железистых кварцитов Валявкинского месторождения / *Легедза В.Я., Федорова И.А., Ковальчук Л.Н.* // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины.– 1998.– № 3, т. 4.– С. 200-203.
59. *Литвинова Т.И.* Петрография неметаллических включений / *Т.И. Литвинова, В.П. Пирожкова, А.К. Петров.* – М.: «Металлургия», 1972. – 184 с.
60. *Лобановский Л.С.* Магнитные свойства сверхстехиометрического CaFe_2O_4 , синтезированного термобарическим методом / *Лобановский Л.С., Труханов С.В.* // Кристаллография, 2011, т. 56, №3, с. 516-520.
61. *Мальшева Т.Я.* Петрография железорудного агломерата // М.; Наука. 1969. – 199 с.
62. *Матковський О.* Основи мінералогії України : підручник / *О. Матковський, В. Павлишин, Є. Сливко.* - Львів: ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2009. - 856 с.
63. *Матковський О.І.* Прикладна мінералогія / *О.І. Матковський, Б.І. Пирогов.* – Львів: Видав. центр Львів. ун-ту, 2002. - 286 с.
64. *Маяков І.Д.* Екологічна оцінка стану геологічного середовища / *І.Д. Маяков* // Нетрадиційні екологічні проблеми Кривбасу : [за ред. *І.М. Малахова*]. – Кривий Ріг, 2001. – 60 с.
65. Минеральні ресурси України і світу на 01.01.2012 г. // ДНВП Геоінформ України. – 2012. – 263 с.
66. *Мищенко В.С.* Методичні рекомендації щодо комплексного вивчення промислових відходів як техногенних родовищ корисних копалин / *В.С.Мищенко, Г.П.Виговська, М.І.Лебідь, К.О.Суходольський та ін.* – К.:РВПС НАН України.– 2000.– 49 с.
67. *Мовчан В.П.* Основи металургії / *Мовчан В.П., Бережний М.М.* – Дніпропетровськ: “Пороги”, 2001 – 335 с.
68. *Назаренко М.Д.* База даних техногенних об'єктів державного кадастру родовищ та проявів корисних копалин як система управління відходами / *Назаренко М.Д.* // <http://www.waste.com.ua/cooperation/2005/theses/nazarenko.html>
69. *Нестеренко Т.* Природа ритмічної шаруватості дисперсних відкладів техногенної сировини / *Т. Нестеренко* // Мінералогічний збірник. — 2008. — №58 (Вип.1-2). — С. 119-124.
70. *Нестеренко Т.П.* Технологічна мінералогія шламів Криворізького металургійного комбінату. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук. Київ, 2012, - 20 с.
71. *Нестеренко Т.* Онтогенія кулястих індивідів і агрегатів техногенного походження / *Т. Нестеренко, В. Іванченко, С. Тиришкіна* // Мінералогічний збірник, 2007, № 57. Вип. 1. С. 76-80.
72. *Остапенко П.Е.* Безотходная технология переработки руд черных

- металлов / П.Е. Остапенко, Н.Ф. Мясников. – М.; Недра, 1988. – 271 с.
73. Павлишин В. І. Генезис мінералів / В. І. Павлишин, О. І. Матковський, С. О. Довгий. – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2003. – 672 с.
 74. Панов Б. С. Минерально-сырьевые ресурсы в стратегии развития Донецкой области на период до 2020 года / Панов Б. С., Жикаляк Н. В., Стрекозов С. Н., Тетянчук П. С. // *Металл и литьё Украины*, — № 7-8, 2002. — С. 19-23.
 75. Пермяков А.А. Изменение прочностных свойств основных минералов частично металлизированного агломерата / А.А. Пермяков, В.А. Долинский, М.И. Карпенко. // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2001, №10. – С. 3-5.
 76. Пирогов Б. И. Эволюция технологических свойств минералов / Б.И. Пирогов // *Геол.-мінерал. вісн.* – 2008, № 1 (19). – С. 5–18.
 77. Пирогов Б.И. Технологическая минералогия железных руд / Б.И. Пирогов, Г.С. Поротов, И.В. Холошин, В.Н. Тарасенко. – Ленинград: Наука, 1988. – 302 с.
 78. Платонов А.Н. Природа окраски самоцветов / А.Н. Платонов, М.Н. Таран, В.С. Балицкий. – М. : Недра, 1984. – 196 с.
 79. Поваренных А.С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов / А.С. Поваренных. – Киев: Наук. думка, 1966. – 548 с.
 80. Поволоцкий Д.Я., Гудим Ю.А., Якунин А.И. // *Производство электростали*. – 1980, №8. – С. 50–53.,
 81. Покачалов В.В. Фазовый состав окалины и дефекты, возникающие при волочении проволоки. / <http://www.markmet.ru/s>
 82. Портнов А.М. Стабильный маггемит в коре выветривания Якутии / А.М. Портнов, В.В. Коровушкин, Н.Ю. Якубовская // *Докл. АН СССР*. 1987. Т. 295. № 1. С. 196–199.
 83. Постанова КМУ «Про затвердження Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр» // *Офіційний вісник України* — 1997 р., № 19, с. 104.
 84. Постанова Кабінету Міністрів України від 31.08.99 р. №1606 «Про концепція поліпшення екологічного становища гірничодобувних регіонів України».
 85. Постанова «Про затвердження Порядку встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору» // <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws>.
 86. Ревнивцев В. И. Роль технологической минералогии в развитии сырьевой базы страны и основные задачи её формирования как нового научного направления / В. И. Ревнивцев // *Роль технологической минералогии в развитии сырьевой базы СССР*. – М., 1983. – С. 4–20.

87. *Сампат П.* Пора перестать зависеть от добычи природных ископаемых / *Сампат П.* / Россия в окружающем мире. Аналитический ежегодник МНЭПУ, 2003 // <http://www.eco-mnepu.narod.ru/book/2003-7.htm>
88. *Самсонов Г. В.* Физико-химические свойства окислов : [справочник] / *Г. В. Самсонов, А. Л. Борисова, Т. Г. Жидкова и др.* – М.: Металлургия, 1978. – 472 с.
89. Состояние и перспективные направления переработки металлургических шлаков: Обзор // Информсталь: международная система научно-технической информации по чёрной металлургии. – 1988. – Вып. 20. – С. 24–33.
90. *Сущенко Ю.С.* Пристрій для збагачення мінеральної сировини розсіпних та техногенних родовищ / *Ю.С. Сущенко, Ю.Д. Чугунов, В.П. Тюгачев* /. Патент України на корисну модель №28605, заявка № 200710619 від 25.09. 2007 р.
91. *Тарасова Т.* Промислові відходи України. Проблеми та шляхи їх вирішення / *Тарасова Т., Губіна В., Квашук Л., Горлицький Б., Єременко М.* – К.: Логос, 2011. – 199 с.
92. Тверді відходи / Промислова екологія (04.12.2011) // eco.com.ua
93. Техногенные месторождения // <http://www.gravicon.com.ua/ru/>
94. *Тиришкіна С.М.* Морфологічні і генетичні різновиди магнетиту зі сталеплавильного шлаку комбінату “Міттал Стіл Кривий Ріг” / *С.М. Тиришкіна* // Геол.-мінерал. вісн. – 2006. – № 2 (16). – С. 81–85.
95. *Тиришкіна С.М.* Вплив кальцієвих силікатів на технологічні властивості і збагачення сталеплавильного шлаку / *С.М. Тиришкіна* // Наук. праці Донець. нац. ун-ту. Сер. гірничо-геол. – 2008. – Вип. 8 (136). – С. 212–215.
96. *Тиришкіна С.* Особливості гіпергенного мінералоутворення у шлакових відвалах / *С. Тиришкіна* // Мінерал. зб. – 2008. – № 58, вип. 1–2. – С. 125–128.
97. *Тиришкіна С.М.* Мінералогія сталеплавильних шлаків металургійного комбінату «Арселорміттал Кривий Ріг». / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук. – Львів: 2010, – 20 с.
98. *Тиришкіна С.М.* Мінерали групи кварцу в сталеплавильних шлаках Криворізького металургійного комбінату / *С.М. Тиришкіна, В.В. Іванченко* // Геол.-мінерал. вісн. – 2008. – № 1 (19). – С. 70–76.
99. *Тиришкіна С.* Деякі особливості онтогенії техногенного магнетиту / *С. Тиришкіна, В. Іванченко, Т. Нестеренко* // Мінерал. зб. – 2007. – № 57, вип. 1. – С. 81–86.
100. Толковый металлургический словарь [под ред. *В.И. Куманина*] / М.: «Русский язык», 1989. – 447 с.
101. *Троянский А.А.* Технология рециклинга пылевыноса сталеплавильных

- агрегатов с извлечением цветных металлов / *А.А. Троянский, Г.С. Клягин, В.И. Ростовский* // *Сталь*. – 2002, № 8. – С. 119-122.
102. *Тырышкина С.Н.* Практическое значение и некоторые особенности шлакообразующих ферритов кальция / *С.Н. Тырышкина, В.В. Иванченко* // *Наук. вісн. НГУ*. – 2007. – № 9. – С. 50–53.
103. *Тырышкина С.Н.* Минералогическое обоснование повышения эффективности использования сталеплавильных шлаков / *С.Н. Тырышкина, В.В. Иванченко, М.И. Котляр, Л.Н. Ковальчук* // *Геол.-мінерал. вісн.* – 2005. – № 2. – С. 113–117.
104. *Ульянов В.П.* Переработка некондиционных железосодержащих пылей и шламов металлургических переделов / *В.П. Ульянов, В.И. Булавин, В.Я. Дмитриев, А.В. Смотров* // *Сталь*. – 2002. - № 12. С. 69-75.
105. *Чвилёва Т.Н.* Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете / *Т.Н. Чвилёва, М.С. Безсмертная, Э.М. Спиридонов и др.* – М.: Недра, 1988.—504с.
106. *Черепанов К.А.* Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии / *К.А. Черепанов, Г.И. Черныш, В.М. Динельт, Ю.И. Сухарев*. – М. : Металлургия, 1994. – 224 с.
107. *Чугунов Ю.Д.* Пилоосаджувальна камера / *Ю.Д. Чугунов, А.Г. Павлушин* / Патент України на винахід №97725, заявка № 201009864 від 09.08. 2010 р.
108. *Чугунов Ю.Д.* Магнітний сепаратор. Патент № 73154 на корисну модель / *Ю.Д. Чугунов, В.В. Иванченко* / Бюл. № 17. 2012 р.
109. *Шаинян К.* Вызывая меланхолию / *К. Шаинян* // *Вокруг Света*, №7 (2862), июль 2012 // <http://www.vokrugsveta.ru/>
110. *Шальбина В. Д.* Химический анализ металлургических флюсов / *В.Д. Шальбина и др.* – М.: Металлургия, 1973. – 173 с.
111. *Шестопалов В.М.* Екогеологія України / *В.М. Шестопалов, М.М.Коржнев, С.А.Вишва та ін.* – К: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». – 2011. – 671 с.
112. *Шишко Д.Ю.* Проблемы экологии и ресурсосбережения металлургического производства Донбасса и Криворожья / *Д.Ю. Шишко*// <http://www.masters.donntu.edu.ua/2007/fgtu/shishko/library>
113. *Шостак Л.Б.* Регулирование экономического роста в условиях природно-ресурсных ограничений. – Киев: СОПС Украины. – 1998. – 320 с.
114. *Явойский В.И.* Теория процессов производства стали / *В.И. Явойский*. – М.: Металлургия, 1967. – 790 с.
115. ASTM: Diffraction Date Cards and Alphabetical and Grouped Numerical Index of X-ray Diffraction Date. – Philadelphia, 1966–1967.
116. geo.web.ru/db/msg.html?uri=part02.html&mid=1176400 // Электронный ресурс

117. <http://alhimikov.net/elektronbuch/tchugun.html> // Электронный ресурс
118. http://emchezgia.ru/ekologiya/13.3_Utilizatsiya_domennykh_shlakov.php
// Электронный ресурс
119. <http://enc-dic.com/geology/Kogenit-6458.html> // Электронный ресурс
120. <http://steeltimes.ru/books/theory/tomp/17/17.php> // Электронный ресурс
121. <http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/> // Электронный ресурс
122. <http://wvmdtaskforce.com/proceedings/98/98zie/98zie.htm> // Электронный ресурс
123. *Martinez-Friasa J., Benitob R., Wilsonc G.* Analysis and chemical composition of larnite-rich ultrarefractory materials / *J. Martinez-Friasa, R. Benitob, G. Wilsonc* // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2004. – Vol. 147, Is. 2. – P. 204–210.
124. *Sampat P.* Scrapper Mining Dependence, Worldwatch Institute, 2003.
125. www.mindat.org, ww.webmineral.com // Электронный ресурс
126. zakon.rada.gov.ua/laws/ // Электронный ресурс.

Додатки



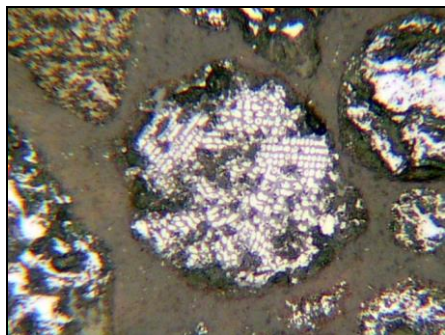
Рис. 1. Лівобережні відвали у Кривбасі. Фрагмент південно-західної кінцевої частини.



Рис. 2. Соляні відклади (білі) в прибережних ділянках акумулюючої ємності ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (фото Т.П. Нестеренко).



Рис. 3. Полісинтетичні двійники в кристалі фериту кальцію (сіре). Видовжене перпендикулярно площині двійникування фериту кальцію жовте включення у центрі фото – золото. Полірований шліф, ніколі схрещені, збільшення 280^{\times} .

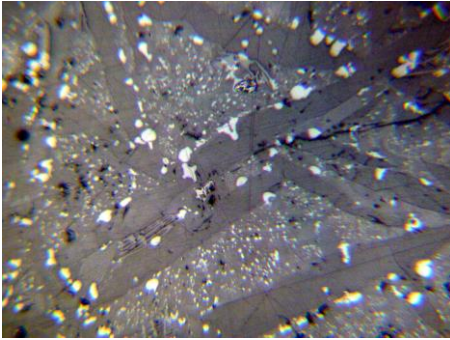


а

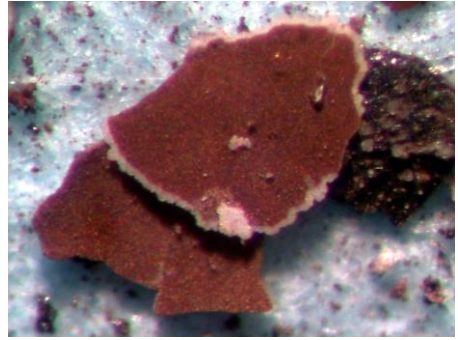


б

Рис. 4. Кулясті мінеральні агрегати у відходах металургійного виробництва: а - кулясте зерно шламу, сформоване металургійним склом і скелетними кристалами магнетиту. Полірований шліф, збільшення 70^{\times} ; б - округлі глиняні котуни, що потрапили до шламу внаслідок розмиву дамби шламосховища. Без збільшення.

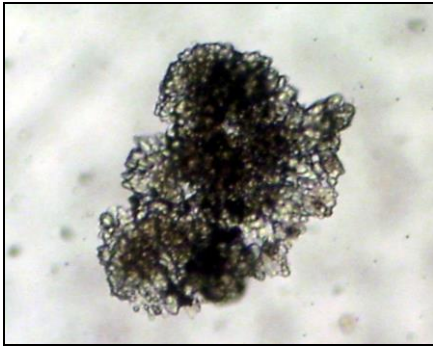


а

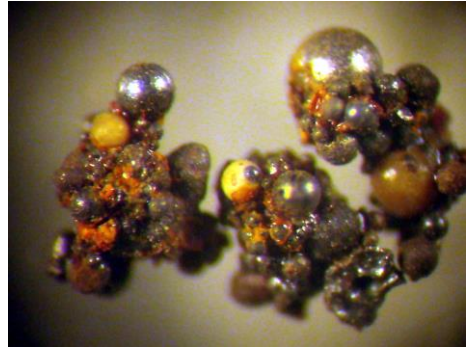


б

Рис. 5. Мінеральні агрегати у вигляді присипок і кірок: а - наростання магнетиту (світло-сіре) на видовжених кристалах силікату кальцію (сіре) з наступним спільним ростом двох мінералів. Металургійний шлак. Полірований шліф, збільшення 220^{\times} ; б – кірки кальциту і гідроокисів заліза на поверхні шламових часточок. Бінокуляр, збільшення 20^{\times} (фото Т.П. Нестеренко).



а

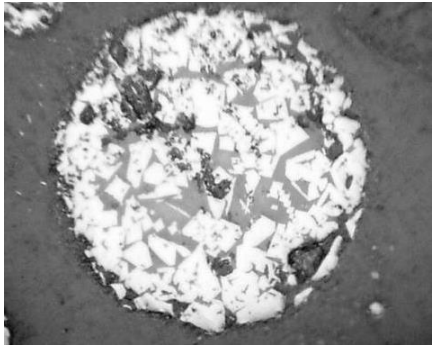


б

Рис. 6. Щітки і кірки на поверхні часточок металургійного шламу: кальцитова. Імерсія, збільшення 30^{\times} ; б – гетит-гідрогетитова. Бінокуляр, збільшення 80^{\times} (фото Т.П. Нестеренко).



Рис. 7. Забарвлений дисперсним гематитом верстуватий шлам мартенівського цеху. Біле – кварц, карбонати і металургійне скло. Без збільшення.



а



б

Рис. 8. Маггеміт у відходах металургійного виробництва: а – первинний у вигляді ідіоморфних скелетних білих у відбитому світлі кристалів в кулястому зерні з металургійним скло. Акумуляюча емність. Полірований шліф, збільшення $150\times$; б – у складі перевідкладеного гіпергенно зміненого тонкозернистого магнітного (!) шламу цегельно-бурого кольору, з лімонітом. Без збільшення.

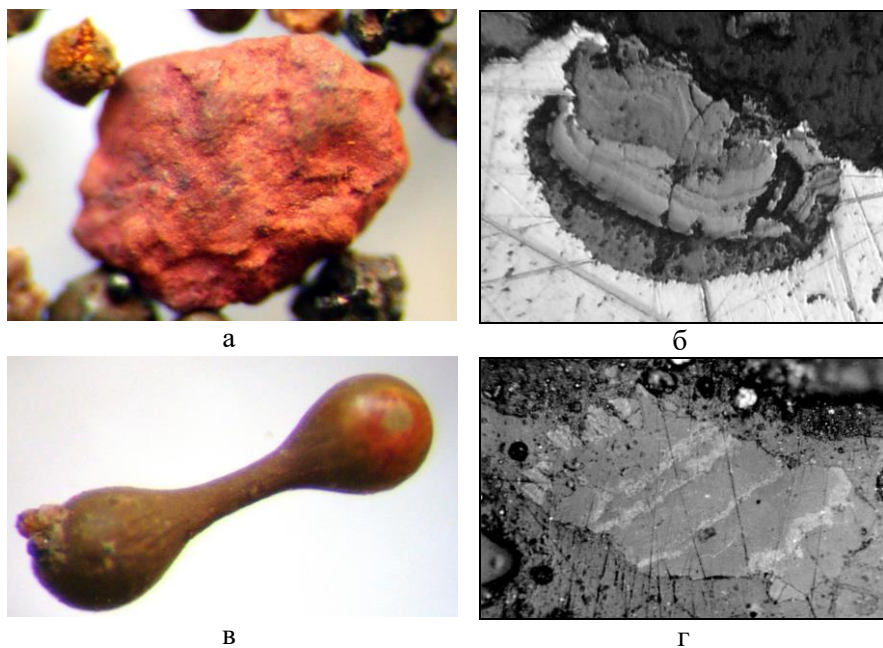
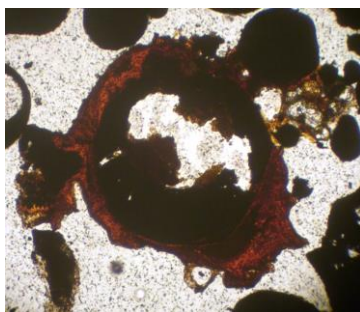


Рис. 9. Морфогенетичні відміни гідроксидів заліза в шлаках і шлаках Криворізького металургійного комбінату: а - реліктова частка гідрогематит-гематитової руди («краски») у складі шлаків агломераційної фабрики. Бінокуляр, збільшення 30^{\times} . б - натічні форми гематиту (сіре різних відтінків), який кородує поверхню королька металевого заліза (біле). Відвал сталеплавильного шлаку. Полірований шліф, збільшення 370^{\times} ; в - гантелеподібна частинка магнетит-гематитового складу, частково заміщена гіпергенними гідроокисами заліза. Шлам мартенівського цеху. Бінокуляр, збільшення 50^{\times} . Фото Н.П. Нестеренко. г - зерно сидериту (сіре) з виділеннями субмікроскопічних кристалів вторинного лепідокрокіту (світло-сіре). Полірований шліф. Шлам мартенівського цеху, збільшення 120^{\times} .



а

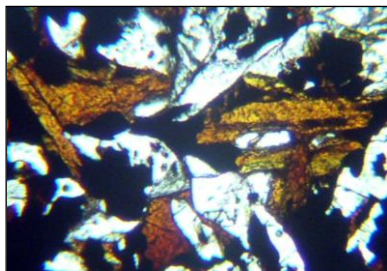


б

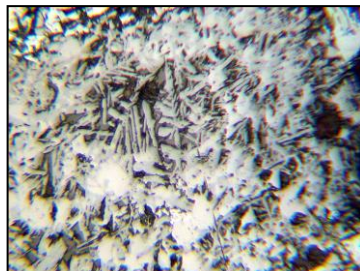


в

Рис. 10. Натічні агрегати гіпергенних гідроксидів заліза у складі металургійних шламів: а - у вигляді цементу магнетит-гематитових куль. Бінокуляр, збільшення 30^{\times} ; б - плівка на поверхні кулястих часток. Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення 145^{\times} ; в - кірка гідроокисів заліза в тонкошаруватих відмінах шламу. Бінокуляр, збільшення 30^{\times} .



а



б

Рис. 11. Ферити кальцію у складі металургійних відходів: а - видовжені кристали браунмілериту і однокальцієвого фериту (буро-жовте) в асоціації з оксидами заліза (чорне) і силкатами кальцію (біле) у складі шлаку конвертерного цеху. Прозорий шліф, ніколі \parallel , збільшення 190^{\times} ; б - скелетні кристали феритів кальцію (сіре), що розвиваються по мартиту (світло-сіре) у відходах агломераційної фабрики. Полірований шліф, збільшення 120^{\times} .

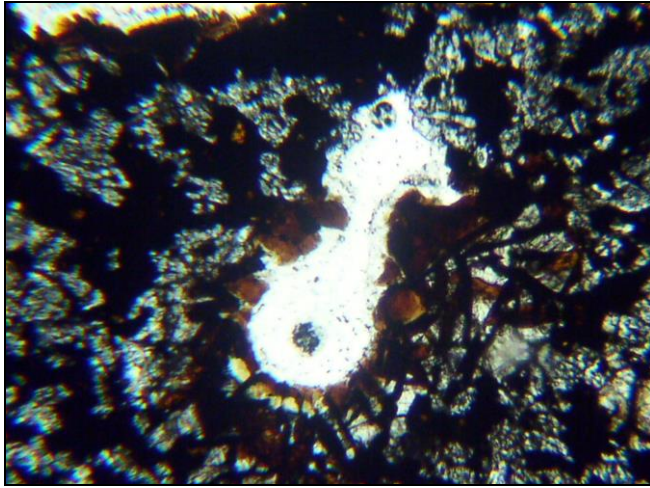
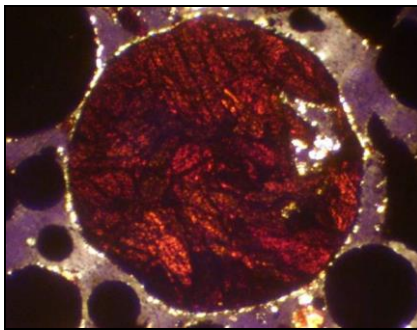


Рис. 12. Газова порожнина у складі сталеплавильного шлаку, інкрустована послідовно від центру: халцедоном (біле), двокальцієвим феритом (буре), силікатом кальцію (світло-сіре) та напівкальцієвим феритом (чорні голчасті кристали). Прозорий шліф, ніколі \parallel , збільшення 110^{\times} .



а



б

Рис. 13. Ферити кальцію в металургійних шламах: а — кулясте зерно феритів кальцію (буро-червоне) в оболонці карбонатів (біле). Прозорий шліф. Ніколі зхрещені, збільшення 200^{\times} ; б – видовжені тичкуваті кристали феритів кальцію у складі кулястої частки шламу. Полірований шліф. Там же, збільшення 150^{\times} .

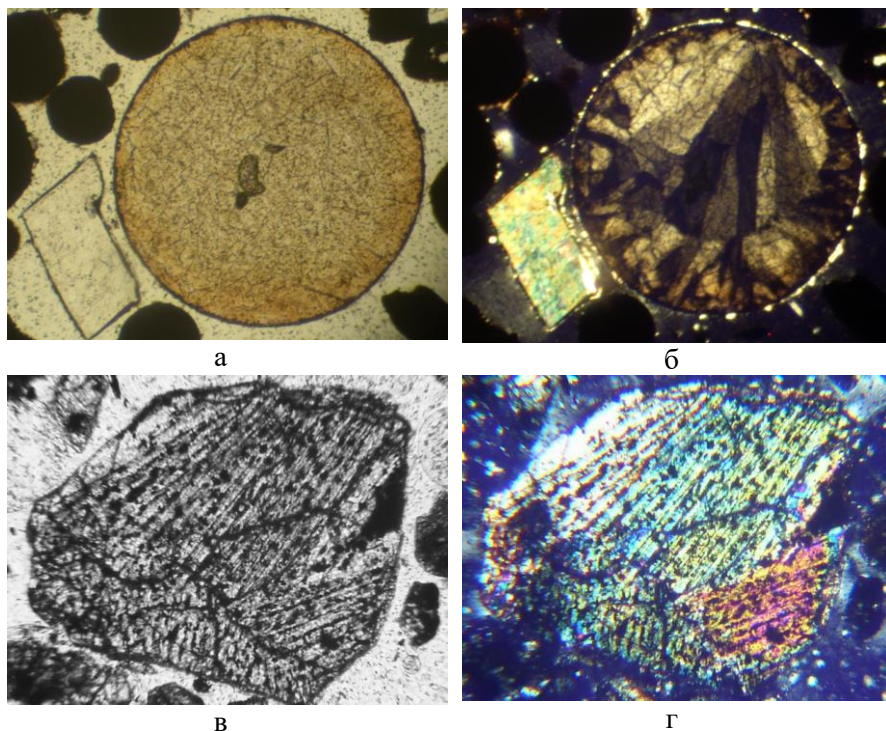
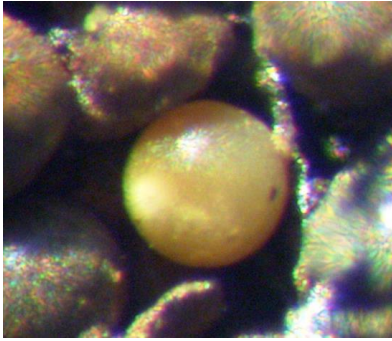


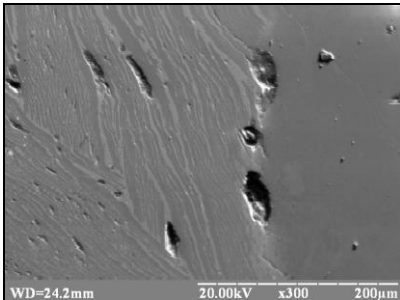
Рис. 14. Кальцієві силікати у поляризованому світлі: а, б – куля, утворена внаслідок розкристалізації металургійного скла з ромбоєдричною часточкою кальциту. Шалам мартенівського цеху, збільшення 90^{\times} ; в, г – гломерокристалічний зросток кальцієвого силікату з пойкилітовими включеннями магнетиту. Сталеплавильний шлак, збільшення 120^{\times} ; а, в – ніколі паралельні; б, г – схрещені.



а



б



в

Рис. 15. Металургійне скло: а, б - з шлаків. Бінокуляр, збільшення 110^{\times} . (фото Т.П. Нестеренко); в - з сталеплавильного шлаку (сіре), місцями збагачене мікролітами оксидів заліза (світло-сіре). Чорне - пустоти від металургійних газів. Електронна мікроскопія.

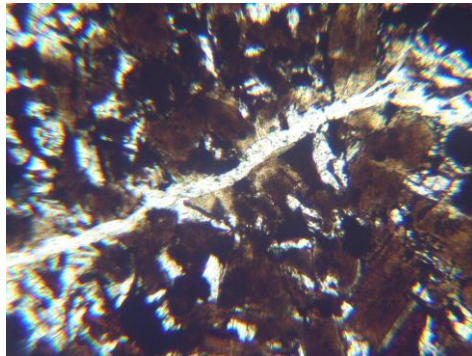


Рис. 16. Халцедоновий прожилок в шлаках конверторного цеху, утворених головно феритами кальцію (фемічна складова) і кальцієвими силікатами (салічна). Прозорий шліф. Ніколи паралельні, збільшення 150^{\times} .

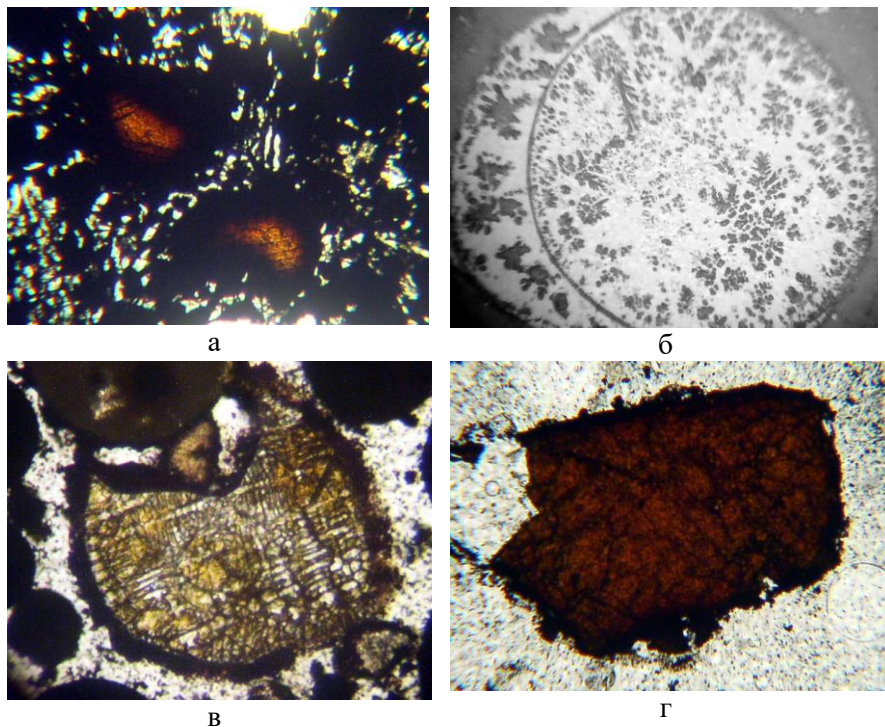
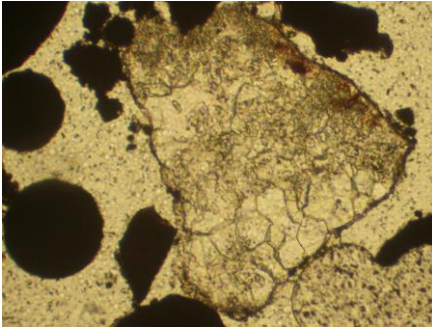
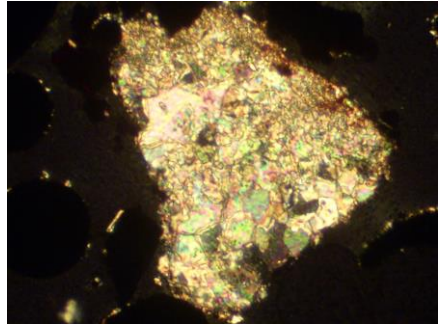


Рис. 17. Індивіди і агрегати шпінелі та герциніту у відходах металургійного виробництва: а - релікти шпінелі (жовто-червоне) у центральних ділянках магнетитових кристалів (чорне). Біле – силікат кальцію. Сталеплавильний шлак. Прозорий шліф. Ніколі паралельні, збільшення 150^{\times} ; б - дендрити шпінелі (темно-сіре) в кулястому зерні магнетиту (світло-сіре). Шлам акумулюючої ємності. Полірований шліф, збільшення 300^{\times} ; в - округла частка перекристалізованого залізо-силікатного скла з утворенням скелетних кристалів шпінелі (біле і жовто-сіре), покрита пухкою плівкою гідроксидів заліза (темно-сіре до чорного). Шлам акумулюючої ємності. Полірований шліф, збільшення 150^{\times} ; г – порфіровий кристал герциніту у магнетитовій «сорочці». Металургійний шлак. Прозорий шліф, збільшення 90^{\times} .

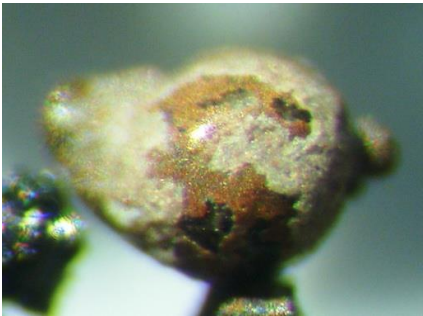


а

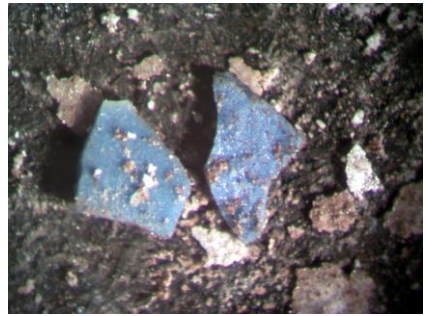


б

Рис. 18. Уламкове зерно різнозернистого частково перекристалізованого вапняку у шламi акумулюючої ємності. Прозорий шліф. Ніколі паралельні (а) і схрещені (б), збільшення 100^{\times} .

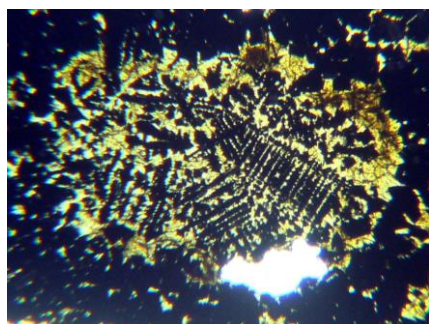


а



б

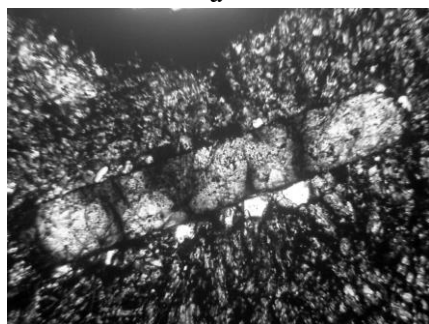
Рис. 19. Гіпергенні кірки гетиту (жовто-коричневе) і кальциту (біле, блакитне), що утворюються на поверхні часточок шламу. Акумулююча ємність. Бінокуляр, збільшення 80^{\times} .



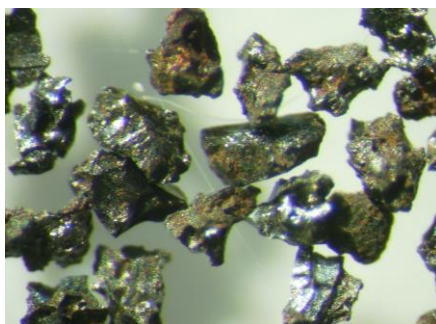
а



б



в



г

Рис. 20. Уламкові зерна гірських порід, енергоносіїв і техногенних матеріалів: а –агломерату з шламу агломераційної фабрики. Чорне – рудні мінерали, блідо-жовте – двокальцієвий ферит. Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення 90^{\times} ; б – кутасті шматочки суглинків у металургійному шламі карти №4. Без збільшення; в – реліктове зерно мулітового вогнетриву. Сталеплавильний шлак. Прозорий шліф, збільшення 130^{\times} ; г – уламки енергетичного коксу в легкій фракції шламу акумулюючої ємності. Біноккуляр, збільшення 80^{\times} .

Наукове видання

ДОВГИЙ Станіслав Олексійович
ІВАНЧЕНКО Владислав Вікторович
КОРЖНЕВ Михайло Миколайович
КУРИЛО Марія Михайлівна
ТРОФИМЧУК Олександр Миколайович
ЯКОВЛЄВ Євген Олександрович

**КРИТЕРІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ І ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ
ОЦІНКИ ТА МІНЕРАЛОГІЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧО-
МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ КРИВБАСУ**

Оригінал-макет авторський

Подписано до друку 9.09.2013. Формат 60×84/16. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 13,25. Наклад 300 пр. Зам. № 54.

ТОВ НВП «Ніка-Центр», 01135, а/с 192
т./ф. (044) 39-011-39; e-mail: psyhea@i.com.ua, psyhea9@gmail.com
www.nica-centre.kiev.ua

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК №1399 від 18.06.2003

Відруковано у ТОВ «Зеніт»,
21100, м. Вінниця, вул. 1 Травня, буд. 30а.
Свідоцтво № 34213919 від 15.08.2005.