

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ
ТЕРИТОРІЙ ПОСТ-МАЙНІНГУ В УКРАЇНІ
НА ПРИКЛАДІ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ
ТА ЙОГО ОТОЧЕННЯ**

**STUDY OF THE ECOLOGICAL CONDITION
OF POST-MINING TERRITORIES IN UKRAINE
ON THE EXAMPLE OF THE KRYVYI RIH BASIN
AND ITS SURROUNDINGS**

**Institute of Telecommunications and Global Information Space
of the National Academy of Sciences of Ukraine
Center for Problems of Marine Geology, Geoecology
and Sedimentary Ore Formation
of the National Academy of Sciences of Ukraine**

**STUDY OF THE ECOLOGICAL CONDITION
OF POST-MINING TERRITORIES IN UKRAINE
ON THE EXAMPLE OF THE KRYVVI RIH BASIN
AND ITS SURROUNDINGS**

Kyiv
Nika-Center
2021

**Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного
простору НАН України**

**Центр проблем морської геології, геоекології
та осадового рудоутворення НАН України**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ
ТЕРИТОРІЙ ПОСТ-МАЙНІНГУ В УКРАЇНІ
НА ПРИКЛАДІ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ
ТА ЙОГО ОТОЧЕННЯ**

Київ
Ніка-Центр
2021

УДК 55; 504; 574

Д70

Автори:

С.О. Довгий, В.В. Іванченко, М.М. Коржнев, О.М. Трофимчук,
Є.О. Яковлев, Т.М. Альохіна, Є.С. Анпілова, М.В. Беліцька,
Л.М. Ковальчук, М.М. Курило, С.К. Кошарна, В.В. Стеценко,
В.О. Стрельцов, Л.В. Берьозкіна, С.Т. Зайцева, А.І. Стеценко,
А.В. Іванченко, Т.М. Ільченко, М.М. Шаєнко

Рецензенти:

Д-р геол. наук, професор В.І. Павлишин
Д-р геол. наук, ст. наук. співр В.В. Покалюк

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 № 11 від 30 грудня 2020 року)*

Дослідження екологічного стану територій пост-майнінгу в Д70 Україні на прикладі Криворізького басейну та його оточення / [С.О. Довгий, В.В. Іванченко, М.М. Коржнев (наук. ред.), О.М.Трофимчук, Є.О. Яковлев та ін.] / НАН України ; Інститут телекомунікацій і глобал. інформ. простору ; Центр проблем морської геології, геоєкології та осадового рудоутворення. – Київ : Ніка-Центр, 2021. – 196 с.

ISBN 978-966-521-763-3

У монографії розглянуті результати гідрохімічних, літологічних і мінералогічних досліджень як складових екологічного вивчення територій пост-майнінгу на прикладі Кривбасу. Наведені результати вивчення поверхневих водойм і водоносних горизонтів, донних осадків водосховищ і річок, відходів збагачення залізних руд, шлаків чорної металургії. Намічені технологічні рішення і організаційні засади досягнення задовільного стану довкілля.

УДК 55; 504; 574

© С. С. О. Довгий, В. В. Іванченко, М. М. Коржнев,
О. М. Трофимчук, Є. О. Яковлев, Т. М. Альохіна,
Є. С. Анпілова, М. В. Беліцька, Л. М. Ковальчук, М. М. Курило,
С. К. Кошарна, В. В. Стеценко, В. О. Стрельцов,
Л. В. Берьозкіна, С. Т. Зайцева, А. І. Стеценко, А. В. Іванченко,
Т. М. Ільченко, М. М. Шаєнко, 2021.

© Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ, 2021

© Центр проблем морської геології, геоєкології та осадового рудоутворення НАНУ, 2021

ISBN 978-966-521-761-3

Study of the ecological condition of post-mining territories in Ukraine on the example of Kryvyi Rih basin and its surroundings / S.O. Dovgyi, V.V. Ivanchenko, M.N. Korzhnev (scientific editor), O.M. Trofymchuk, Ye.O. Yakovliev, T.M. Alekhina, Ye.S. Anpilova, M.V. Belitska, L.M. Kovalchuk, M.M. Kurylo, S.K. Kosharna, V.V. Stetsenko, V.O. Streltsov, L.V. Berozkina, S.T. Zaitseva, A.I. Stetsenko, A.V. Ivanchenko, T.M. Ilchenko, M.M. Shaienko / National Academy of Sciences of Ukraine ; Institute of Telecommunications and Global Information Space ; Center for Problems of Marine Geology, Geoecology and Sedimentary Ore Formation. – Kyiv : Nika-Center, 2021. – 196 pp.

ISBN 978-966-521-763-3

The monograph considers the results of hydrochemical, lithological and mineralogical research as components of ecological study of post-mining areas on the example of Kryvyi Rih region. The results of studying surface water bodies and aquifers, bottom sediments of reservoirs and rivers, wastes of iron ore beneficiation, slags of ferrous metallurgy are given. Technological solutions and organizational principles of achieving a satisfactory state of the environment are outlined.

© S.O. Dovgyi, V.V. Ivanchenko, M.N. Korzhnev, O.M. Trofymchuk, Ye.O. Yakovliev, T.M. Alekhina, Ye.S. Anpilova, M.V. Belitska, L.M. Kovalchuk, M.M. Kurylo, S.K. Kosharna, V.V. Stetsenko, V.O. Streltsov, L.V. Berozkina, S.T. Zaitseva, A.I. Stetsenko, A.V. Ivanchenko, T.M. Ilchenko, M.M. Shaienko, 2021

© Institute of Telecommunications and Global information space of NASU, 2021

© Center for Problems of Marine Geology, Geoecology and Sedimentary Ore Formation of NASU, 2021

Зміст

	Стор.
ВСТУП (С.О. Довгий, О.М. Трофимчук, М.М. Коржнев)	8
Глава 1. КРИВОРІЗЬКИЙ ЗАЛІЗОРУДНИЙ БАСЕЙН ЯК ТЕРИТОРІЯ ПОСТ-МАЙНІНГУ	10
1.1. Підходи до планування розвитку Кривбасу (М.М. Коржнев, М.М. Курило, С.К. Кошарна)	10
1.2. Регіональні техногенні зміни еколого-геодинамічних умов розробки родовищ Кривбасу (О.М. Трофимчук, Є.О. Яковлев)	23
1.3. Гідрохімічна характеристика поверхневих водних об'єктів Криворізького басейну за умов техногенезу (Т.М. Альохіна)	31
1.4. Аналіз гідрохімічного стану водоносних горизонтів в межах територій гірничих відводів видобувних підприємств (В.В. Стеценко)	60
1.5. Загальна характеристика типових техногенних змін взаємодії поверхневого і підземного стоку в гірничодобувних районах (О.М. Трофимчук, Є.О. Яковлев, Є.С. Аннілова)	68
Глава 2. МІНЕРАЛОГІЯ ТЕХНОГЕНЕЗУ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ ТА ЙОГО ОТОЧЕННЯ	79
2.1. Еколого-літологічні зміни поверхневих водойм Криворізького басейну під впливом техногенних чинників (Т.М. Альохіна, В.В. Іванченко, М.В. Беліцька, А.В. Стеценко, С.Т. Зайцева, Т.М. Ільченко)	80
2.2. Літологічні новоутворення на техногенних об'єктах ГЗК (А.І. Стеценко)	93
2.3. Природна і техногенна мінеральна сировина у донному осаді річок Криворізького залізорудного басейну (В.В. Іванченко)	102
2.4. Тонкодисперсні металургійні відходи в осадах штучних водотоків Криворіжжя (В.В. Іванченко, М.М. Шаєнко)	118
2.5. Морфоседиментаційна диференціація речовини в межах водойм Криворізького басейну (В.В. Іванченко)	122
2.6. Традиційні рішення і сучасні тенденції мінералогічного аналізу донного осаду сучасних гідросистем (В.В. Іванченко, Л.М. Ковальчук, Л.В. Берьозкина)	140
Глава 3. ОЦІНКА ЯКОСТІ РУД І ВИТРАТ НА МОНІТОРИНГ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ДОСЯГНЕННЯ ЗАДОВІЛЬНОГО СТАНУ ДОВКІЛЛЯ У КРИВБАСІ	147
3.1. Прогноз щодо витрат на екологічний моніторинг типових об'єктів (С.К. Кошарна)	147
3.2. Вплив процесів натрієвого метасоматозу на якість руд (В.О. Стрельцов)	154
3.3. Технологічні рішення досягнення задовільного стану довкілля (В.В. Іванченко, А.В. Іванченко)	162
ВИСНОВКИ (В.В. Іванченко, М.М. Коржнев, С.О. Яковлев)	178
ЛІТЕРАТУРА	184

Content

	P.
INTRODUCTION (<i>S.O. Dovgyi, O.M. Trofymchuk, M.N. Korzhnev</i>)	8
Chapter 1. KRYVYI RIH IRON BASIN AS A TERRITORY OF POST-MINING	10
1.1. Approaches to planning the development of Kryvbas (<i>M.N. Korzhnev, M.M. Kurylo, S.K. Kosharna</i>)	10
1.2. Regional technogenic changes of ecological and geodynamic conditions of development of Kryvbas deposits (<i>O.M. Trofymchuk, Ye.O. Yakovliev</i>)	23
1.3. Hydrochemical characteristics of surface water bodies of the Kryvyi Rih basin under the conditions of technogenesis (<i>T.M. Alyokhina</i>)	31
1.4. Analysis of the hydrochemical state of aquifers within the territories of mining enterprises (<i>V.V. Stetsenko</i>)	60
1.5. General characteristics of typical technogenic changes in the interaction of surface and groundwater runoff in mining areas (<i>O.M. Trofymchuk, Ye.O. Yakovliev, Ye. S. Anpilova</i>)	68
Chapter 2. MINERALOGY OF TECHNOGENESIS OF THE KRYVYI RIH BASIN AND ITS SURROUNDINGS	79
2.1. Ecological and lithological changes of surface reservoirs of the Kryvyi Rih basin under the influence of technogenic factors (<i>T.M. Alekhina, V.V. Ivanchenko, M.V. Belitska, A.I. Stetsenko, S.T. Zaitseva, T.M. Ilchenko</i>)	80
2.2. Lithological neoplasms at man-made GOK objects (<i>A.I. Stetsenko</i>)	93
2.3. Natural and man-made mineral raw materials in the bottom sediment of the rivers of the Kryvyi Rih iron ore basin (<i>V.V. Ivanchenko</i>)	102
2.4. Fine metallurgical wastes in the sediments of artificial watercourses of Kryvyi Rih (<i>V.V. Ivanchenko, M.M. Shaienko</i>)	118
2.5. Morphosedimentation differentiation of matter within the reservoirs of the Kryvyi Rih basin (<i>V.V. Ivanchenko</i>)	122
2.6. Traditional solutions and modern tendencies of mineralogical analysis of bottom sediment of modern hydraulic systems (<i>V.V. Ivanchenko, L.M. Kovalchuk, L.V. Berozkina</i>)	140
Chapter 3. QUALITY ASSESSMENT OF ORE AND EXPENDITURE ON MONITORING AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR ACHIEVING A SATISFACTORY STATE OF THE ENVIRONMENT IN KRIVBAS	147
3.1. Forecast on the costs of environmental monitoring of typical objects (<i>S.K. Kosharna</i>)	147
3.2. Influence of processes of sodium metasomatism on quality of iron ores (<i>V.O. Streltsov</i>)	154
3.3. Technological solutions to achieve a satisfactory state of the environment (<i>V.V. Ivanchenko, A.V. Ivanchenko</i>)	162
CONCLUSIONS (<i>V.V. Ivanchenko, M.N. Korzhnev, Ye.O. Yakovliev</i>)	178
LITERATURE	185

ВСТУП

Перспективи розвитку України як сировинної держави обмежені в силу довготривалого видобутку і використання мінеральної сировини та початку фізичного і економічного виснаження деяких головних видів корисних копалин, що наполегливо доводилось у попередніх роботах авторів [20, 27, 51, та ін.]. Виробництво продуктів чорної металургії і хімічної промисловості, що давали основні валютні надходження від експорту до державного бюджету, все більше потребували імпортних поставок енергетичної сировини, а залежність країни від зовнішніх ринків цих продуктів й імпорту вуглеводнів були факторами нестабільності й уразливості її економіки. Хоча в останнім часом у експорті все більше переважають продукти сільгоспвиробництва, мінерально-сировинний комплекс (МСК) в структурі промисловості все ще грає велику роль. Існують серйозні екологічні і соціальні проблеми, пов'язані з ним, без вирішення яких взагалі не можна говорити про наближення держави до умов сталого розвитку. У сучасний період це ускладнюється пандемією COVID-19 з наступною кризою світової економіки, що за наслідками може перевищити світову економічну кризу 30-их років минулого століття «Велику депресію». Критичної межі досягають кліматичні зміни, які, крім природних чинників, спровоковані й негативним впливом на довкілля діяльності людини, насамперед видобутком і переробкою мінеральної сировини та використанням викопного палива. Людство швидко наближується до світової екологічної кризи з апокаліптичним сценарієм.

Головними проблемами зовсім не такого далекого майбутнього «обіцяють» бути саме екологічні проблеми на територіях пост-майнінгу. Якщо навіть діяльність МСК країни буде зовсім припинена, порушені території видобутку і переробки мінеральної сировини не відновляться самі по себе. Таке природне відновлення ландшафтів (з відновленням стійкості породного масиву, режиму підземних і поверхневих вод, родючості ґрунтів, рослинного покриву, біорозмаїття, розсіянням природним шляхом забруднень) потребує десятки, сотні, а може і тисячі років.

Стає зрозумілим для багатьох держав, економіка яких пов'язана з видобутком корисних копалин, що проблеми навколишнього середовища на територіях пост-майнінгу (гірничодобувних регіонів і

районів на завершальних стадіях їх розвитку) критично погіршують умови життєдіяльності населення і не сприяють зростанню країни. В Україні ці проблеми досягли критичної межі, а планування сталого розвитку колишніх і нині діючих гірничодобувних районів стає актуальним завданням.

Корінна перебудова держави неможлива без зрозумілої загальної стратегії її розвитку, яка у сучасний період політичної турбулентності досі не розроблена, зміни структури економіки і продуманої стратегії усіх складових її розвитку – економічної, екологічної і соціально-політичної, спрямованих на задоволення потреб людини і суспільства, та постійного відстеження і корегування цього процесу [28]. Затягування з вирішенням ресурсних і екологічних проблем, пов'язаних з МСК, після подолання пандемії в умовах економічної кризи, буде значно гальмувати розвиток країни. Щоб зрозуміти як його оптимізувати, треба постійно проводити моніторинг, моделювання і прогнозування ситуації у ньому на різночасову перспективу.

Мінералогічні і літологічні дослідження, як складова екологічного вивчення територій пост-майнінгу, грають важливу роль у розумінні місць розташування джерел забруднень, їх міграції, поглинання середовищами, що їх депонують, та виникнення внаслідок цього ризиків для життєдіяльності на таких територіях.

Глава 1.

КРИВОРІЗЬКИЙ ЗАЛІЗОРУДНИЙ БАСЕЙН ЯК ТЕРИТОРІЯ ПОСТ-МАЙНІНГУ

Останнім часом з'явилися роботи, в тому числі за участю авторів, які розглядають Кривбас як територію пост-майнінгу [27, 55, 85]. Наведений у даній главі матеріал фактично представляє дайджест цих робіт з деякими змінами, скороченнями чи доповненнями.

1.1. Підходи до планування розвитку Кривбасу

Досвід вивчення пост-майнінгових територій. З врахуванням ідей сталого розвитку ще у 1998 році в Україні були запропоновані загальні рекомендації для використання ресурсів надр, які не містять диференціації за видами користування надрами або регіональними критеріями [70]:

- формування завершених багатогалузевих комплексів на базі поглибленої переробки сировини, використання у виробництві замкнених технологічних циклів і рециклів для заміни первинних сировинних матеріалів вторинними;
- упровадження маловідходних ресурсозберігаючих технологій у промисловості, зменшення енерго- й матеріаломісткості економіки;
- утворення з окремих видів великотоннажних відходів техногенних родовищ вторинної мінеральної сировини та їх першочергове використання;
- довгострокове прогнозування стану МСБ за якістю та кількістю окремих видів корисних копалин і створення кадастрів природних ресурсів, пошук нових родовищ мінеральної сировини на принципах еколого-економічної доцільності їх освоєння.

У десяту річницю саміту в Ріо-де-Жанейро наприкінці 1998 року дев'ять найкрупніших гірничодобувних компаній запропонували нову ініціативу, спрямовану на досягнення серйозних змін у підходах галузі до сучасних її проблем [129]. Через Всесвітню раду підприємців зі сталого розвитку (WBCSD) травні 1999 року вони доручили Міжнародному інституту навколишнього середовища і розвитку (ПІЕД) провести оглядове дослідження з метою визначити, глобальну проблему, яку має гірничодобувний сектор у контексті

сталого розвитку, і вивчити його роль у переході до нього. Команда дослідників ПЕД розглянула існуючі ініціативи і матеріали та проконсультувалась з більш ніж 150 приватними особами й організаціями, щоб зрозуміти їх погляди на те, як можна поліпшити вклад мінерально-сировинного сектору в сталий розвиток і розробити більш детальну основу для цього процесу. ПЕД оприлюднив свої результати у жовтні 1999 року, дав рекомендації по змісту і об'єму процесу, який став відомий як проект MMSD (гірнича промисловість, мінеральна сировина і сталий розвиток).

В Україні у 2000 році була виконана програма ООН «Сприяння сталому розвитку в Україні». Результати, отримані в рамках цієї програми і раніше при підготовці Відділенням наук про Землю Національної академії наук постанови уряду від 31.08.99 №1606 «Про концепцію поліпшення екологічного становища гірничодобувних регіонів України». Потім на її основі підготовлена відповідна державна програма, яка, нажаль, не була повністю реалізована внаслідок великих об'ємів коштів, необхідних для її фінансування.

Програми сталого розвитку гірничодобувної промисловості намагаються розробляти як окремі країни, так і сумісно сусідні країни, економіка яких у значному степені пов'язана з мінерально-сировинним комплексом. Можна навести багато прикладів [108, 111, 113, 123, 125, та ін.]. Ці програми можуть бути спрямовані чи на вирішення конкретної проблеми, чи на поліпшення загальних умов життєдіяльності місцевого населення. Наприклад, внаслідок проведення гірничих робіт на концесії Decazeville-Firmi (Аверон, Франція) склалася ситуація, пов'язана з потенціальним впливом и визначенням найбільш небезпечного рівня кар'єрного озера в Grande Découverte, якій впливав на якість води горизонту питного водопостачання [112]. Після декількох досліджень в області гідрогеології, інженерної геології та геомеханіки у період з 2001 по 2004 рік були отримані результати, які дозволив вирішити цю проблему. Виявилось, що необхідно було встановити моніторингові пристрої для того, щоб слідкувати за процесом хімічної стратифікації в озері та розраховувати і регулювати його небезпечний рівень.

Закриття закинутих шахт та їх відновлення - величезна міжнародна проблема, пов'язана з гірничодобувним сектором, за яку держава часто вимушена брати відповідальність на себе. Наприклад,

у Португалії у 2010 році уряд надав державному підприємству EDM (Empresa de Desenvolvimento Mineiro) концесію на розробку і сприяння відновленню навколишнього середовища та соціально-економічному поліпшенню районів, пошкоджених в результаті видобутку корисних копалин [131]. Основна діяльність цього підприємства полягає в тому, що воно підтримує навколишнє середовище як в контексті активних гірничих розробок, так і у відношенні закинутих деградованих районів видобутку. Держава ставила перед EDM задачу провести до кінця 2013 року відновлення навколишнього середовища приблизно на 100 гірничодобувних територіях із загальних 175, які були перераховані і ранжирувані для цілей перекваліфікації. Таким чином, EDM була ініціатором створення фундаментальної державної служби, націленої на охорону здоров'я і безпеки населення, підвищення якості навколишнього середовища і соціального благополуччя.

Іншим прикладом може бути Німеччина. До кінця 1950-х років німецька вугледобувна промисловість отримала 150 мільйонів тонн кам'яного вугілля з 170 шахт з 600 000 працівниками. У той час 70% потреб у енергетиці ФРН були покриті за рахунок власного вугілля. В подальшому внаслідок просування нафти, а потім природного газу на світовий енергетичний ринок, і зростанням світової торгівлі, у країні була прийнята стратегія довгострокової реструктуризації вугільної галузі. Видобуток вугілля у Німеччині у сучасний період кардинально обмежений, і вона переходить до епохи так званого пост-майнінгу [124]. У рамках стратегії зараз відбувається розвиток економічних, соціальних та соціальних аспектів цього переходу. У багатьох країнах (у числі й у Німеччині) потрібні кваліфіковані експерти і спеціалісти з пост-майнінгу. Необхідно, щоб їх співробітництво було націлене на поступовий непереборний підйом управління якістю довкілля, оснований на принципі «планування-перевірка-реалізація». Ще на початку 2000-х років у Чехії були розроблені загальні, екологічні та ландшафтно-архітектурні принципи рекультиватії ландшафтів у пост-майнінговий період [133]. Останнім часом у Польщі були проаналізовані основні зміни в природних ландшафтах в результаті експлуатації бурого вугілля (лігніту) [114]. Сучасний підхід до природного середовища і його захисту характеризується багатогранною інтеграцією у цій проблемі соціальних, економічних та політичних аспектів людського

існування. У даному випадку об'єкт управління складається з пост-майнінгових районів. У процесах їх рекультивації та освоєння формуються нові елементи природної системи, які також вимагають системного підходу до управління, зокрема, управління пост-майнінговими ландшафтами.

Австралія, наприклад, бореться з безліччю екологічних проблем, пов'язаних з реабілітацією ландшафтів, особливо з провалами старих уранових шахт [110]. Як і раніше, потрібні додаткові сотні мільйонів доларів на реабілітаційну роботу через десятиліття після їх закриття. Крім того у Австралії є чотири уранові шахти, які все ще виробляють «жовтий кек», близько 30 діючих залізних рудників, 40 робочих мідних шахт, 40 золотих копалень, 10 свинцево-цинкових шахт, близько восьми нікелевих шахт і 100 шахт з видобутку вугілля. Діяльність гірничодобувних компаній порушує ландшафти і часто суттєво змінює екосистеми. У Австралії існує і досить успішно діє державна програма екологічної реабілітації і сталого розвитку пост-майнінгових територій [127, 128]

Будь-які перетворення у гірничодобувних регіонах на засадах сталого розвитку треба починати з питання, який регіон, що несе певне функціональне навантаження в економіці країни, ми маємо отримати в кінцевому рахунку. Наведемо приклад спроби вирішення цього питання у вугледобувному регіоні Шендонг на півночі Китаю, для якого розроблено загальна послідовність дій, що плануються [111].

В гірничодобувному регіоні Шендонг розглядається можливість використання трьох режимів рекультивації земель: 1 - екологічна модель сільського господарства у різних модифікаціях; 2 - модель шахтного парку з органічним поєднанням типового екологічного ландшафту, історико-культурного, рекреаційного та інших ландшафтів; 3 - модель «земельної ділянки» з використанням твердих відходів видобутку з метою створення будівельних майданчиків, що може збільшити площу для планування і будівництва індустріального парку, видобутку корисних копалин, градобудівництва і нових сільськогосподарських земель. В шахтному районі Шендонг більш важливою є реалізація останньої моделі у цілях сприяння трансформації розвитку соціальної економіки на засадах сталого розвитку.

Економічні, екологічні та соціальні умови кожного гірничодобувного регіону України індивідуальні в залежності від виду мінеральної сировини, типу місцевості, її геології, клімату та багато чого іншого. Тому індивідуальними, з врахуванням специфіки регіонів, мають бути програми їх екологічної реабілітації та подальшого розвитку.

Екологічні ризики та збитки у Криворізькому басейні. З останніх наукових праць, що розглядають Кривбас як типову територію пост-майнінгу, треба відмітити роботу Г.І. Рудька і Є.О. Яковлева [85]. За їх даними: загальна площа Криворізької природно-техногенної геосистеми у межах зони відчуження становить 700 км² за сумарної площі гірничих відводів 350 км²; в межах Кривбасу діють п'ять ГЗК, на яких видобуток залізних руд здійснюють на десяти кар'єрах та на 23 (орієнтовно з допоміжними) шахтах обсягом до 83 млн т/рік; загальна площа кар'єрів перевищує 42 км², їхній об'єм сягає 6,6 млрд м³ (6,6 км³) з глибинами 300–400 м; у межах басейну сформувалися 44 породні відвали загальною площею 69 км² і об'ємом понад 1,7 млрд м³; десять діючих шламосховищ мають сумарну площу поверхні 71 км² (у них заскладовано 1,6 млрд м³ відходів збагачування залізних руд).

В тій чи іншій мірі при гірничодобувній діяльності зміні відбуваються в усіх його складових: геологічному і водному середовищах, атмосферному повітрі, тваринному і рослинному світах. Відбувається системне втручання, коли загрози (небезпека), яка виникає в одному середовищі реалізується в іншому. Яскравим прикладом цього може бути взаємопов'язаний характер екологічних загроз, виникнення ризиків та збитків при їх реалізації у Криворізькому залізорудному басейні України [52]. Насамперед, до переліку критеріїв, які впливають на специфіку оцінки ризиків у Кривбасі, можна віднести атиповість ландшафту, що виражена у формах техногенного рельєфу і створює умови для активізації екзогенних геологічних процесів. Кар'єри та зони обвалення і зсуву можна віднести до денудаційних, а відвали та шламосховища - до акумулятивних форм рельєфу. Процеси денудації надр (розвиток кар'єрів і зон обвалення), супроводжуються створенням акумулятивних, техногенних форм рельєфу - відвалів і шламосховищ. Чинники впливу видобутку і переробки залізних руд на довкілля та техногенні зміни геологічного середовища Кривбасу

можна знайти у багаточисленних працях, у тому числі і цитованих у цій роботі. Не будимо зупинятись на них детально, а більше приділимо увагу аспектам, що визначають добробут і безпеку життєдіяльності населення та забезпечують розвиток регіону.

Моніторинг у контексті забезпечення розвитку Кривбасу. Будь-яке підприємство (гірничодобувне чи переробне) визначається конкретними екологічними показниками впливу його діяльності на навколишнє середовище, більшість з яких легко вивести на рівень державної статистичної звітності. Такі показники можна згрупувати за наступними основними чинниками впливу [20, 26]:

Порушення породного масиву внаслідок ведення гірничих робіт: об'єм виробленого простору, зокрема із закладкою, м³; загальна площа просідань поверхні, км²; амплітуда просідань, м; площі підроблення річок, водосховищ, населених пунктів, км²; площа, уражена зсувами, км²; площа, уражена карстом, км².

Накопичення відходів гірничодобувного і збагачувального комплексу: загальна кількість накопичених відходів, зокрема токсичних, тис. т; кількість відходів, тис. т/рік; кількість використаних відходів, тис. т/рік; кількість накопичених відходів, тис. т/рік.

Вилучення земель: загальна кількість, зокрема сільськогосподарського призначення, км²; під промислові споруди (промислові майданчики, хвостосховища, пруди-відстійники тощо), км²; під розміщення відходів і некондиційних корисних копалин (складування вмісних і розкритих порід, некондиційних руд тощо), км².

Порушення гідрогеологічного режиму: площа депресійних воронок, км²; амплітуда воронок, м; площа підтоплених територій, км².

Забруднення ґрунтів, вод, повітря: площі земель, на яких перевищені ГДК по групах забруднювачів, км²; кількість скидів промислових (шахтних, пластових тощо) вод у водне середовище, м³; мінералізація вод, г/л; кількість викидів забруднювальних речовин у повітря та їх склад.

Наведено дуже приблизний перелік екологічних показників, пов'язаний з діяльністю підприємств мінерально-сировинного комплексу, які треба вивести на рівень державної статистики. Цей перелік потребує ретельного опрацювання для реального відображення впливу підприємства на довкілля, екологічних

ризиків, що виникають на території його впливу, та економічних збитків. Останнє стосується не лише прямих збитків й тих, що виникають внаслідок не отримання прибутків від використання території для іншої діяльності (наприклад, сільськогосподарської чи туризму).

Якщо говорити про систему моніторингу геологічного середовища (ГС), то мова може йти про створення так званої постійно діючої прогностичної моделі Кривбасу, в основу якої мають бути покладені налагоджені системи моніторингу різних його складових і яка оперативно буде попереджати про найбільш ймовірні ризики його катастрофічних змін. Слід пам'ятати, що нерівномірність розміщення спостережних точок в межах регіону суттєво зменшує можливості одержання достовірних відомостей щодо стану якості ГС та попередження виникнення надзвичайних ситуацій чи своєчасну ліквідацію наслідків впливу гірничодобувних та переробних підприємств. Така прогностична модель має діяти в режимі реального часу і організована на основі географічної інформаційної системи (ГІС).

Враховуючи факт реалізації більшої частини екологічно спрямованих заходів на досліджуваних родовищах паралельно до гірничодобувних робіт, фінальні суми компенсаційної діяльності по завершенню, консервації чи ліквідації родовищ можуть бути змінені в бік зменшення.

Робота із зазначеними сумами має кілька шляхів. Перший передбачає їх накопичення під час експлуатації родовища за рахунок прибутків від продажу сировини. Даний процес супроводжується відкриттям спеціального рахунку підприємства, із заборонаю витрачання накопичених засобів до початку ліквідації родовища. Накопичена сума має бути дисконтована на увесь період розробки родовища і відповідати реальним майбутнім витратам на екологічну реабілітацію території.

Проте, за результатами статистичного аналізу даних досліджених криворізьких родовищ та прогнозування екологічних витрат, що матимуть місце по завершенню їх видобувної активності можливо зробити висновок, щодо доцільності проведення на гірничодобувних об'єктах активних робіт паралельної спрямованості відносно видобутку корисної копалини та рекультивативної діяльності. Даний підхід дає можливість суттєво зменшувати об'єми капіталовкладень

у постліквідаційний період родовищ, коли видобуток уже припинено, але є необхідність нівелювання усіх завданих навколишньому середовищу збитків. Так, за умови реалізації 65-70% робіт, вартість яких фіксується у кошторисі екологічних витрат на родовищі, по завершенню гірничодобувної активності необхідні об'єми капіталовкладень будуть суттєво нижчі тих, що матимуть місце на родовищах, де активне інвестування у екологічну складову мало місце в основному на етапі виснаження надр.

Окрім того, проведення означених робіт з початку першої третини етапу інтенсивного використання надр, так чи інакше, сприяє сповільненню ускладнення гірничотехнічних умов, які формально виражаються у змінах не лише глибини відпрацювання родовищ, але і фізико-механічних властивостей самого масиву.

Можна узяти за основу до використання, наприклад, алгоритм дій, що мав місце на словацьких сидеритових родовищах, для прогнозування попутних та постліквідаційних екологічних заходів та витрат на українських залізрудних родовищах, що знаходяться на стадії інтенсивного використання та виснаження, як це було зроблено у роботі [57].

На стадії пост-майнінгу (етапах інтенсивного використання і виснаження родовищ), немаловажливим фактором є пристосування нормативно-правової бази діяльності підприємств гірничо-металургійного комплексу до нових умов. З одного боку, зміни у цій базі мають забезпечувати вірну геолого-економічну оцінку родовищ з максимальним врахуванням технічних і технологічних факторів їх експлуатації, геолого-екологічних ризиків, планування поточних екологічних витрат та передбачення наслідків їх розробки і відповідних компенсаційних витрат. З іншого боку, вони мають спонукати до накопичення фінансових ресурсів на ліквідацію родовищ і екологічну реабілітацію територій. Тобто, метою цих змін має бути, по можливості, максимальна мінімізація впливу діяльності підприємства на довкілля під час його роботи і створення комфортних умов для життя людини й існування флори і фауни в природно-техногенному середовищі після його ліквідації. З цієї причини, пошук шляхів забезпечення користувачів надр найбільш якісною сировиною, а навколишнє середовище якомога меншими впливами від гірничодобувної діяльності є дуже актуальним, особливо в умовах таких гірничих районів, як Кривий Ріг.

Напрями забезпечення сталого розвитку Кривбасу та підходи до екологічної реабілітації його території. В регіональних аспектах мінерально-сировинна база (МСБ) країни має відповідати не лише загальнодержавним напрямам, а також забезпечувати збалансовану структуру і раціональність використання надр в межах окремих областей, районів. Важливим напрямком з точки зору раціонального використання надр є комплексне освоєння родовищ. Висновки щодо комплексного освоєння залізородних родовищ Кривбасу зводяться до наступного [80]:

1. Характеристики 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 використання нерудної сировини (будівельних матеріалів) та розробки відходів гірничо-збагачувального виробництва.

2. Доцільність і раціональність певних видів комплексного освоєння надр визначається за результатами геолого-економічної оцінки, яку 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 відносин 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 екологічних, гірничотехнічних, технологічних і екологічних критеріїв та раціонального використання інших складових природного середовища, в тому числі:

– вартості запасів природних і техногенних родовищ, що залежить від кон'юнктури ринку даної мінеральної сировини, зокрема, наявності попиту на продукцію даної якості;

- екологічних наслідків використання не тільки надр, але й земель та інших складових довкілля;
- економічної ефективності розробки основної корисної копалини родовища (основного виробництва гірничого підприємства);
- наявності технічних і технологічних рішень для ефективного освоєння сировини.

Велике значення у забезпеченні розвитку залізородних регіонів мають рециклінг сировини і переробка відходів. Сталь переробляється на 100%, що означає, що її можна повторно переробляти в один і той же матеріал з такою ж якістю знову і знову. Розрахунки показують, що при її рециклінгу йде значна економія енергії та сировини (більше 1400 кг залізної руди, 740 кг коксівного вугілля та 120 кг вапняку зберігаються для кожної тони сталевого лому, перетвореного в нову сталь) [129]. Прогнозувалося, що світовий ринок металобрухту до 2020 року досягне 793 млн. т внаслідок зростання попиту на сталь та більш широкого використання електродугових печей у виробництві сталі. У Кривому Розі вченими успішно розроблена і реалізується інноваційна технологія безвідходної переробки техногенної сировини (окаліни прокатних металургійних станів, металургійних шлаків, шламів збагачення руд та будь-яких відходів і річкового осаду, що містять рудні мінерали), яка базується на досягненнях фізики твердого тіла і наномінералогії. Процеси реалізуються в вихровому повітряно-мінеральному потоці і супроводжуються глибокою трансформацією морфології і властивостей мінеральних часток сировини, що переробляється [26, 27]. На виході отримуються рудні концентрати і нерудні продукти широкого використання.

Перспективним напрямком, що забезпечує безвідходне виробництво продукції є порошкова металургія, яка охоплює виробництво металевих порошків, а також виробів з них, або їхніх сумішей з неметалевими порошками [81]. Серед наявних різноманітних способів обробки металів вона займає своє особливе місце, тому що дозволяє не тільки робити вироби різних форм і призначень, але і створювати принципово нові матеріали, одержати які іншими шляхом украї важко або взагалі неможливо. Порошкова металургія успішно конкурує з литтям, обробкою тиском, різанням та іншими методами, доповнюючи або замінюючи їх. Вона застосовується у металообробці на заміну технологій обробки

різанням з досягненням значного зниження (у 3-5 разів) показників витрат металів, собівартості виробів і підвищення у 1,5-2 рази продуктивності праці. Завдяки структурним особливостям продукти порошкової металургії більш терmostійкі, краще переносять дію циклічних коливань температури і напруги, а також ядерного опромінювання, що дуже важливе для матеріалів нової техніки. Але в Україні поки що слабо розвиваються недоменні способи виробництва чорних металів, які є екологічно чистими, а саме електрометалургія і порошкова металургія. У безпосередній близькості до Криворізького басейну у Правобережному районі зроблена прогнозна оцінка запасів и ресурсів магнетитових залізистих кварцитів, придатних для порошкової металургії [78]. Справа тільки в організації і поширенні виробництв, що її застосовують.

На етапі інтенсивного використання і виснаження родовищ, на якому знаходиться Кривбас, важливим є пристосування нормативно-правової бази діяльності підприємств гірничо-металургійного комплексу до нових умов. З одного боку зміни у цій базі мають забезпечувати вірну геолого-економічну оцінку родовищ з максимальним врахуванням технічних і технологічних факторів їх експлуатації і геолого-екологічних ризиків, плануванням поточних екологічних витрат та передбаченням наслідків їх розробки і відповідних компенсаційних витрат. З іншого боку такі зміни мають бути спрямовані на накопичення фінансових ресурсів на ліквідацію родовищ і екологічну реабілітацію територій.

Усі технологічні інноваційні рішення так чи інакше впливають на соціально-політичний складову сталого розвитку регіону, що відображаються у комплексі соціальних проблем. Кількість робочих місць на підприємствах та її зміни з введенням нових технологій чи у разі закриття нерентабельних підприємств, заробітна плата та соціальний захист працівників, створення нових робочих місць та працевлаштування звільнених працівників, травматизм та загибель шахтарів тощо мають передбачатися і бути відображені у цифрах державної статистики. Особливо це важливо для розробки масштабної довгострокової програми реструктуризації залізорудної промисловості Кривбасу.

Довготривала експлуатація родовищ і переробки залізних руд басейну мають катастрофічний вплив на навколишнє природне

середовище і викликає критичні порушення породного масиву, порушення режиму та забруднення поверхневих і підземних вод, забруднення повітря і ґрунтів. Повністю компенсувати екологічний і економічний збитки у Кривбасі неможливо не лише тому, що на практиці неможливо відновити на території використання надр біоценози, які тут були до розробки родовищ. Також неможливо відновити рельєф, геохімічні і гідрологічні умови і багато іншого. Крім того, при спробі приведення території до початкового стану витрати на їх екологічну реабілітацію зростають настільки, що втрачаються економічні стимули роботи гірничодобувних і переробних підприємств. Стає очевидним, що треба по можливості максимально мінімізувати вплив на довкілля діяльності підприємств під час їх роботи і створити комфортні умови для життя людини і існування флори і фауни в природно-техногенному середовищі після їх ліквідації [26].

І.М. Малахов [65] у свій час звернув увагу на можливість використання одного інструменту для ринкового управління процесами техногенезу в геологічному середовищі, який дозволить не тільки залучити додаткові фінансові ресурси на екологічну реабілітацію територій, а і поступово позбавитись від відходів гірничо-металургійного комплексу і повернути заняті ними землі у господарське використання. Мета платежу за використання ресурсу, згідно з І.М. Малаховим, має бути протилежною до тієї, яка існує в природній системі. У природній системі підприємство платить за використання ресурсу. У техногенній екосистемі платити треба навпаки за невикористання техногенних ресурсів – штучних елементів рельєфу, створених в результаті гірничодобувної діяльності. Методику такої плати треба розробити, а саму плату ввести.

Необхідне наукове обґрунтування і введення у нормативно правову базу проведення гірничих робіт плату за асиміляційний потенціал територій використання надр, яка вже існує у деяких країнах. Накопичення екологічного збитку території починається ще на етапі її геологічного вивчення і триває під час усього періоду експлуатації родовища. Частина цього збитку гаситься (компенсується) за рахунок асиміляційного потенціалу території, а частина за рахунок поточних витрат на екологічну реабілітацію, передбачених розділом проекту робіт «Оцінка впливу на довкілля».

У разі введення плати за асиміляційний потенціал, вона повинна концентруватися на екологічних статтях державного бюджету і витратитися у вигляді дотацій на екологічну реабілітацію територій.

Фінансові ресурси на екологічну реабілітацію, супроводжуючу ліквідацію родовища реально можна зібрати тільки під час його експлуатації за рахунок прибутків від продажу сировини. Для цього доцільно відкрити спеціальний рахунок підприємства. Сума накопичених на цьому рахунку коштів має бути дисконтована на увесь період розробки родовища і відповідати реальним майбутнім витратам на екологічну реабілітацію території із створенням комфортних умов для життя людини та існування флори і фауни. Для цього і потрібна геолого-економічна оцінка майбутнього екологічного збитку, накопиченого на етапах геологічного вивчення і експлуатації родовища. Така оцінка повинна проводитися на усіх етапах геолого-економічної оцінки (ГЕО), а розрахунок відрхувань на вищезгаданий спеціальний рахунок – при детальній ГЕО перед початком будівництва гірничодобувного підприємства, коли визначаються показники економічної ефективності і доцільності його проектування і будівництва. Потім сума цих відрхувань буде уточнюватися і коригуватися на етапах інтенсивної експлуатації і виснаження родовища [57].

Крім того, серед основних напрямів покращення екологічної ситуації у районах діяльності підприємств гірничо-металургійного комплексу треба відмітити економічну доцільність поступового зміщенні акцентів металургійних комбінатів з використання продуктів переробки залізних руд на металобрухт, а переробних підприємств – на переробку відходів.

Вивчення розподілу важких металів на техногенних об'єктах гірничозбагачувальних комбінатів Кривого Рогу підтвердило висновок інших дослідників про те, що основним джерелом надходження важких металів (ВМ) у ґрунти у Кривому Розі є шлаки і дими металургійних підприємств [26]. Таким джерелом не можуть бути шлами переробних підприємств внаслідок низького вмісту елементів-домішок в породах залістисте-кремєневих формацій. Практичним кроком до зменшення забруднення територій видобутку і переробки залізних руд важкими металами є рекомендація підприємствам, які переробляють вторинну металургійну сировину, відмовитись від існуючої надзвичайно шкідливої

практики циклічного (багаторазового) її залучення у переробку. Більш ефективною і екологічно безпечною є одноразова переробка такої сировини з максимальним вилученням залізовмісних мінералів і повним використанням відходів збагачення у будівельній і інших галузях народного господарства [27].

Крім зазначеного вище, у Кривому Розі необхідно активно запроваджувати різноманітні екологічні програми від державного до місцевого рівня з чітким розподілом фінансування заходів, спрямованих на охорону та відновлення окремих складових геологічного середовища [57]. Процеси децентралізації зі зростанням наповнення місцевих бюджетів сприяють цьому. Будь-які програми екологічної реабілітації повинні спиратися на постійно діючу прогнозу модель геологічного середовища Кривбасу, в основу якої мають бути покладені налагоджені системи моніторингу різних його складових (гідрогеологічного, інженерно-геологічного, сейсмічного, забруднення ґрунтів і поверхневих водоем, та інші). При створенні й функціонуванні такої моделі фінансові ресурси будуть розподілятися більш раціонально на попередження і вирішення конкретних екологічних проблем, які можуть виникати у випадку реалізації розрахованих у такій моделі найбільших екологічних ризиків.

Таким чином, Криворізький залізорудний басейн є типовою пост-майнінговою територією, яка добре вивчена в геологічному, ресурсному, економічному і екологічному відношенні. Треба скласти стратегію і чітку програму її подальшого сталого (збалансованого) розвитку з врахуванням досвіду інших країн.

1.2. Регіональні техногенні зміни еколого-геодинамічних умов розробки родовищ Кривбасу

У межах Кривбасу сформувалася регіональна природно-техногенна геосистема (далі – ПТГС) “гірничодобувний комплекс – довкілля” з переважаючим незворотним змінам життєзабезпечуючих складників навколишнього природного середовища: геохімічних ландшафтів, геологічного середовища, поверхневої гідросфери та біосфери [15, 84, 97, 98, 102].

Недосконалий гідрогеофільтраційний захист більшості гідротехнічних споруд, великі фільтраційні втрати з них та інженерних мереж промислових і житлових комплексів в умовах погіршення природного дренажу призвели до активного розвитку техногенного підтоплення, площа якого сягає 500 км² або 70 % загальної площі ПТГС Кривбасу [8, 15, 84, 104].

Дослідження інженерно-геологічних умов Кривбасу, які провело Міністерство екології та природних ресурсів України, Інститут геологічних наук України, ДКЗ України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Український державний геологорозвідувальний інститут та ін., засвідчили розвиток у верхньому шарі водоненасичених порід (зона аерації) процесу гіперфільтрації, під час якого надходження техногенних вод перевищує фільтраційну здатність підстильних порід, що спричинило формування техногенного водоносного горизонту як гідрофізичного підгрунтя регіонального підтоплення промислово-міського комплексу Кривбасу. Водночас дренальний вплив шахт завглибшки до 1 200–1 500 м зумовив формування в тріщинуватій зоні рудно-кристалічних порід регіональної депресійної лійки, відносна рівновага рівнів якої в межах локальних субдепресій переважно забезпечується ненасиченою фільтрацією вод з техногенного водоносного горизонту (так званий режим «дощування»). У геопросторовому плані депресійна лійка охоплює зони активного, сповільненого та утрудненого водообміну (відповідно – ЗАВ, ЗСВ та ЗУВ), що призводить до значних варіацій мінералізації шахтних і кар’єрних вод, ускладнює умови їхнього накопичення, поводження та водовідводу, а також умови розкриття і розробки рудних тіл. За весь період індустріального розвитку Кривбасу в зоні впливу його ПТГС сформувалася депресійна лійка завдовжки понад 80 км та завширшки 6–7 км із середньою глибиною до 600 м, у межах гідрогеофільтраційної системи якої об’єм умовно осушених порід сягає 190 км³ [8, 25, 104].

Загальна величина водовідводу за умов регіонального впливу вищезазначеної гідрогеофільтраційної системи (за орієнтовними оцінками) становить 36–40 млн м³/рік.

Аналіз структури водного балансу Криворізької ПТГС (на початок 2010-х років) дав змогу встановити такі величини джерел формування загального водоприпливу в гірничі виробки:

- дренування ємнісних запасів (порово-тріщинний складник) підземних вод під час розкриття гірничими виробками “свіжих ” ділянок рудно-кристалічного породного масиву – до 0,2 м³/сек (орієнтовно 13 %);
- подавання води з поверхні для пилопридушення – до 0,25 м³/сек (18–20 %);
- техногенна інфільтрація з хвостосховищ – 0,35 м³/сек (до 30 %);
- техногенна інфільтрація з міських територій – до 0,23 м³/сек (18%);
- техногенна інфільтрація з проммайданчиків – 0,11 м³/сек (8,2 %);
- інфільтрація з річкової мережі (у дренувальному контурі депресійної лійки) – 0,03 м³/сек (до 2 %);
- природна інфільтрація атмосферних опадів (у дренувальному контурі депресійної лійки) – до 0,05 м³/сек (до 3,5 %).

Аналіз вищенаведених даних щодо структури формування балансу водоприпливів у гірничі виробки свідчить, що до 80 % їхнього загального обсягу формується завдяки техногенним джерелам, що потребує вдосконалення оцінок інженерно-гідрогеологічних умов розкриття і розробки рудних родовищ, а також схем підрахунку запасів. Крім того, витoki з них забезпечують розвиток комплексу небезпечних гідрогеофільтраційних, гідрогеодинамічних та гідрогеохімічних процесів:

- формування ділянок стійкого підтоплення й затоплення земель;
- зменшення міцнісної здатності покривних осадових порід та ускладнення інженерно-геологічних умов експлуатації житлових і промислових будівель;
- активізація зсувних, осідальних, карстово-суфозійних та інших небезпечних екзогенних геологічних процесів;
- зменшення стійкості бортів кар’єрів, укосів дамб і підроблених ділянок породного масиву;
- розвиток ділянок електрохімічної корозії залізобетонних і металевих підземних конструкцій з наступним скороченням термінів безпечної експлуатації;
- техногенне зростання (до 1–3 балів) сейсмічних струшувань природного й техногенного походження.

Головні чинники техногенних змін екологічного стану геологічного середовища в процесі розробки родовищ. Одним з провідних чинників екологічного впливу ПТГС Кривбасу є

формування чималих обсягів мінералізованих вод техногенного походження з наступним виитоком великої кількості розчинних солей за межі басейну. Головним джерелом сольової міграції є поверхневий і підземний стік р. Інгулець, яка є регіональною дренаю Кривбасу.

Результати аналізу величин мінералізації основних джерел формування водопріпливів у гірничі виробки шахт дають змогу дійти висновку, що здебільшого вона не перевищує 2,5–3,0 г/дм³; тільки для порово-тріщинних джерел сягає 135–145 г/дм³ і більше та для інфільтраційних витоків перевищує 20–25 г/дм³. Упродовж багатьох десятиліть загальне солевинесення з поверхневим і підземним стоком за межі ПТГС Кривбасу становило 0,036 т/сек \approx 1,1 млн т/рік. Переважне надходження сольового стоку Кривбасу в басейн р. Інгулець супроводжується аномальним забрудненням річкового стоку, а також засоленням великих площ земельних угідь (десятки тисяч гектарів Інгулецької системи, прилеглих територій Дніпропетровської, Херсонської та Миколаївської областей.

Отже, екологічні межі ПТГС Кривбасу за умов суттєвого скорочення асиміляційного потенціалу геологічного середовища (далі – АПГС) регіону потребують сучасного уточнення на основі врахування незворотності техногенних змін більшості екологічних параметрів верхньої зони літосфери, яка є підґрунтям рівноважного функціонування й розвитку біосфери, гідросфери та приземної атмосфери [8, 25, 84].

Провідним чинником зменшення геомеханічної стійкості рудно-породного масиву та зростання техногенної тріщинуватості й проникності покривних і кристалічних порід є буровибухова технологія гірничодобувних робіт (далі – ГДР). За орієнтовними даними на Кривбасі щорічно відбувається до 200 масових вибухів (40–80 т і більше вибухової речовини – ВР), а загальне використання ВР сягає 80–90 тис. т/рік за видобутку до 90 млн т/рік рудопородної маси (далі – РПМ). Таким чином, середнє питоме використання ВР сягає 0,9 кг/1 т РПМ. За нормативними даними середня енерговидатність вибухового перетворення 1кг ВР тринітролоуолового складу сягає: $q = 3,1 \text{ кДж/кг} = 3,1 \cdot 10^8 \text{ ерг/кг}$. Отже, щорічне промислове використання на Кривбасі ВР у кількості $P_t = 90 \cdot 10^3 \text{ т} (90 \cdot 10^6 \text{ кг})$ еквівалентне виділенню сейсмічної енергії E_s в кількості:

$$E_s = P_T \times q = 90 \cdot 106 \text{ кг} \times 3,1 \cdot 108 \text{ ерг/кг} = 0,28 \cdot 1017 \text{ ерг.}$$

За даними “Сводной таблицы примерных соотношений между магнитудой, энергией и эпицентральной сотрясаемостью” [104] локальне вибухове енерговиділення в скельному породному масиві в кількості 1017–1019 ерг еквівалентне сейсмічному струшуванню силою до 4-ох балів за шкалою МСК–64. За індустріальний період розвитку ПТГС Кривбасу (із середини ХІХ ст.) з рудопородних геологічних структур Кривбасу було вилучено до 6 млрд т мінеральної сировини, тобто створено загальний об’єм гірничих виробок $V_{ГВ} \approx 2$ млрд м³. Таким чином, середня товщина умовного шару вилучення порід (так званого «дефіциту маси») Δ у межах гірничого відводу Кривбасу загальною площею $S = 358$ км² становить:

$$\Delta = V_{ГВ} / S = 2 \cdot 109 \text{ м}^3 / 358 \cdot 106 \text{ м}^2 \approx 5,6 \text{ м.}$$

Для порівняння можна навести подібну оцінку цієї характеристики щодо ПТГС Донбасу в разі загального вилучення порід $V_{ГВ} = 10$ млрд м³ на загальній площі гірничого відводу $S = 6,0$ тис. км². За таких умов середнє вилучення порід становитиме:

$$\Delta = V_{ГВ} / S = 10 \cdot 109 \text{ м}^3 / 6000 \cdot 106 = 1,7 \text{ м.}$$

Треба врахувати, що в геологічному розрізі Кривбасу переважають міцні рудокристалічні породи, які не здатні до пластичних деформацій за істотного «дефіциту маси» з одночасним регіональним розвитком техногенної тріщинуватості, тектонічних порушень та техногенного водоносного горизонту в покривних крихких породах (табл. 1.1, 1.2). У цих умовах, як свідчить сучасний досвід гірничодобувних робіт, періодичне виконання масових вибухів та інтенсивне струшування верхньої зони породного масиву формує високі ризики провальних деформацій поверхні в межах зон впливу площ сучасних і торішніх гірничих робіт [8, 25, 43, 92].

Крім того, наявність у верхній зоні геологічного розрізу техногенного водоносного горизонту й ділянок контакту поверхні ґрунтових вод з фундаментами будівель сприяє суттєвому підвищенню їхніх струшувань і ризику руйнівних деформацій. Показовим у плані подальшого техногенного ускладнення інженерно-сейсмогеологічних умов уже освоєних і нових родовищ Кривбасу можна вважати катастрофічне обвалення під час вибухових робіт породного масиву на шахті «Орджонікідзе» 2010 року загальною площею 0,16 км² (160 тис. м²) та завглибшки 40–45 м (загальний об’єм провалля до 7 млн м³).

Таблиця 1.1.

Узагальнені еколого-геологічні дані про джерела формування та мінералізацію складників водоприпливів у гірничі виробки шахт і кар'єри Кривбасу

№ з/п	Головні джерела формування водоприпливів	Величина Водоприпливу, м ³ /сек (%)	Мінералізація вод джерел водоприпливу, г/дм ³	Потенційний еколого-геологічний вплив
1	Відпрацювання ємнісних (статичних) запасів	0,23 (16,5)	40–145	Осушення породного масиву
2	Виробничо-технологічне подавання води у виробки	0,29 (21,0)	1,0–2,0	Зниження мінералізації шахтних вод
3	Інфільтрація з хвостосховищ	0,41 (32,0)	4,5–21,5	Активізація підтоплення земель, забруднення стоку поверхневих і ґрунтових вод
4	Інфільтрація з ділянок міської забудови	0,25–16,5	До 2–3	Активізація підтоплення, зниження міцності підгрунтя, розвиток корозії, зниження сейсмостійкості
5	Інфільтрація з ділянок зниження сейсмостійкості промислової забудови	0,5 (10,6)	До 2–5	
6	Інфільтрація з річок	0,03 (2,0)	До 2–5	Зниження мінералізації шахтних вод, стабілізація природного гідрогеохімічного фону
7	Природна інфільтрація атмосферних опадів	0,051 (4,0)	До 1,5–2,5 Mcp = 20–25	
Усього		≈ 1,4	Загальне солевинесення до 1,1млн т/рік	

Таблиця 1.2.

Узагальнені дані щодо техногенно-геологічної структури розробки залізородних родовищ Кривбасу

№ з/п	Гірничо-збагачувальні комбінати	Кар'єри		Відвали		Шламосховища	
		Площа км ²	Об'єм км ³	Площа км ²	Об'єм км ³	Площа км ²	Об'єм км ³
1	Інгулецький	3,2	0,6	2,7	0,13	4,22	0,27
2	Південний	5,0	1,5	9,1	0,27	12,20	0,40
3	Новокриворізький	10,0	1,3	12,0	0,30	8,20	0,25
4	Центральний	3,9	1,7	9,2	0,30	12,70	0,30
5	Північний	9,4	2,2	9,8	0,45	17,70	0,30
Усього по Кривбасу (осушено до 50 км³ породного масиву, зони обвалення – до 17 км²)		31,5	7,3	42,8	1,45	55,02	1,52

Виконані дослідження дають змогу зробити висновок, що великий гірничодобувний комплекс Кривбасу в просторовочасовому плані є складною ПТГС з переважно незворотним використанням мінерально-сировинних ресурсів, коли порушується рівноважна взаємодія системи «літосфера – біосфера» і відбувається забруднення всіх життєзабезпечувальних складників навколишнього природного середовища (грунтів, гідросфери, приземної атмосфери тощо) здебільшого з перевищенням гранично допустимої концентрації (ГДК).

За умов зупинення видобутку мінеральної сировини здатність до відновлення екологічних параметрів у межах зони ековпливу ГДР мають приземна атмосфера та поверхнева гідросфера внаслідок підвищеної величини масо-енергообміну. Відновлювальна здатність підземної гідросфери з малими швидкостями водообміну є незначною (у 1000 разів меншою), а в літосфері її майже немає.

У цих умовах збільшення руйнувань рівноваги між літосферою й біосферою з різними рівнями їхньої відновлювальної здатності в складі ПТГС можна розглянути за такою схемою впливу техногенних навантажень «комплекс гірничодобувних робіт –

відновлювальна реакція біосфери». Для спрощення оцінок приймають схему монотонного (лінійного) зростання техногенних порушень згодом за залежністю:

$$P = qt, \quad (1.1)$$

де q – щорічний приріст техногенних порушень геологічного середовища (верхньої зони надр), t – час функціонування ПТГС.

Одночасно враховують, що процес гірничодобувних робіт супроводжується зменшенням екоресурсу біосфери від початкового R_0 зі швидкістю α до поточного:

$$R_t = R_0 - \alpha t. \quad (1.2)$$

З екологічних положень відомо, що коли

$$R_t = R_0 - \alpha t = [P = qt], \quad (1.3)$$

то в подібному еколого-ресурсному балансі є можливим перехід ПТГС у нерівноважний еколого-техногенний стан.

З огляду на те, що згідно із залежністю (1.3) нерівноважний стан ПТГС формується за умов такого еколого-ресурсного балансу $R_0 - \alpha t = qt$, то умовний час t^* цього еколого-техногенного стану дорівнюватиме:

$$t^* = R_0 / (\alpha + q) \quad (1.4).$$

Зважаючи, що для умов будь-якого ГДР $q > \alpha$, можна дійти висновку, що порушення в процесі гірничодобувних робіт мінерально-породного балансу будь-якої геологічної структури дуже швидко призводить майже до незворотних змін екологічного стану ГС і пов'язаної з нею біосистеми.

Додатково можна зазначити, що мінімальні порушення екологічних параметрів довкілля в зоні впливу ГДР можливі тільки в разі максимального збереження масо-енергообміну літосфери, насамперед гідрогеомеханічної рівноваги рудо-породної товщі. Сьогодні більшість розвинутих ГДР України за умов чималих накопичень «дефіциту маси» внаслідок розробки з вилученням великих обсягів мінеральної сировини та цілковитим обваленням покривних порід у разі скорочення виробництва втрачають рівновагу ПТГС і формують комплекс негативних змін довкілля з неабияким погіршенням безпеки життєдіяльності.

До принципово нових чинників техногенних змін екологічних параметрів геологічного середовища Кривбасу треба зарахувати просторово-часовий розвиток в останні десятиріччя інженерно-сейсмогеологічних процесів, зумовлених комплексною дією природної і техногенної сейсмічності.

1.3. Гідрохімічна характеристика водних об'єктів Кривбасу в умовах техногенезу

Загальна характеристика гідросистеми Криворіжжя. Процеси трансформації навколишнього середовища у гірничо-видобувних регіонах обумовлюють незворотність переходу від природних екосистем до техногенних внаслідок довготривалих великомасштабних розробок рудних родовищ. При цьому трансформації зазнає не одна складова природного середовища. Зміни, одночасно чи поступово, охоплюють всі компоненти довкілля: біоту, гідросферу, атмосферу, літосферу. Виникає нова техногенна екосистема із своїми рівнями організації, яка суттєво відрізняється від природної просторово-біотичним континуумом.

На території Кривбасу виділяється чотири райони, в яких здійснюється активний видобуток залізної руди та локалізовані великі видобувні та переробні потужності. Специфічним для України, взагалі, та Криворіжжя, зокрема, є значне домінування відходів, що утворюються при розробці родовищ корисних копалин (до 75 % загального обсягу) та збагаченні (13 –14%) [47, 56, 59, 65, 79]. Існуючі технології збагачення залізних руд передбачають складування відходів виробництва («хвостів») у спеціальних резервуарах – хвостосховищах, у які вони подаються у вигляді водяної пульпи. Сьогодні у хвостосховищах Криворіжжя акумульовано понад 2,0 млрд. м³ відходів збагачення руди. В зазначених техногенних морфоструктурах відбувається специфічне мінералоутворення, пов'язане з технологічними розчинами. Там, де технологічні розчини не піддаються промисловій переробці, вони активно виносяться в поверхневі води [41].

Гідрологічна мережа Криворіжжя представлена *річкою Інгулець* та його притокою – р. Саксагань, а також великими балками й водотоками, які є результатом історії розвитку території, а також сучасних фізико-географічних процесів [12]. У басейні р. Інгулець у районах, в яких діють гірничо-збагачувальні комбінати, відбуваються корінні зміни усіх елементів ландшафту, що спричиняє розвиток специфічних геохімічних процесів, що впливають на хімічний склад води водних об'єктів природного і техногенного походження.

Річка Інгулець, середня течія якої проходить територією Криворіжжя, має довжину 549 км, площу водозабору 14870 км².

Ухил русла ріки біля м. Кривий Ріг – 0,28 м/км, швидкість течії – 0,2 – 0,8 м/с, ширина – від 25 до 30 м. Середня витрата води становить 7,8 – 9,3 м³/с, а під час танення снігів вона збільшується до 400 м³/с і більше. У результаті будівництва систем водосховищ (Іскрівського, Карачунівського) і каналів, по яких надходить вода з р. Дніпро, гідрологічний режим Інгульця значно змінився. Коефіцієнт зарегульованості стоку становить 0,65 – 0,70 при цьому витрати води в руслі зменшилися, повинь слабо виражена. Зменшенню стоку й витрат води сприяє відбір її для сільськогосподарського й промислового водопостачання.

Джерелом живлення р. Інгулець, в основному, є снігові (талі) і дощові води, частка яких досягає 77% річного стоку; величина споруд знаходиться на рівні 6%. Підйом рівнів у річці зазвичай починається в кінці лютого або на початку березня. Спад триває до середини квітня; максимальна висота весняної повені змінюється від 1,5 до 5,5 – 6,0 м. Зараз щорічний середній обсяг стоку Інгульця у верхів'ях (в передмістях Кривого Рогу до впадіння в нього Саксагані) складає приблизно 0,24 км³. Причому, значною мірою, це вже не власне інгулецька вода, а вода з р. Дніпро, що подається каналом Дніпро – Інгулець з Кременчуцького водосховища.

Головною притокою р. Інгулець є р. Саксагань, що впадає в нього в межах міста Кривого Рогу. Саксагань має довжину 144 км, площа басейну становить 2 025 км². Річка має 28 приток загальною довжиною 88 км. Саксагань є типовою степовою маловодною річкою із широкою плоскою правобережною долиною і високим правим схилом. Долина р. Саксагань у межах міста переважно трапецієподібна, заплава відкрита, лучна, суха. Ширина заплави 100 – 200 м. Річище нерозгалужене, переважна ширина його (за винятком ділянок водосховищ Кресівського і Макортівського) становить 20 – 40 м. Швидкість течії незначна 0,13 – 0,4 м/с. Природний режим річки сильно змінений регулюючим впливом дамб, скиданням шахтних та інших промислових вод, а також відбором води на технічні потреби. Найбільші витрати води Саксагані досягають 240 м³/с. Стік ріки зарегульований Макортівським і Кресівським водосховищами, розташованими відповідно вище і нижче району Північного гірничо-збагачувального комбінату.

Гідролого-гідрохімічна характеристика балок Криворіжжя та їх антропогенна трансформація. Зазвичай балкам не приділяють значної уваги в контексті формування гідрологічної мережі, проте вони є основою площинного водозбору, особливо, у степових регіонах. Балки, що є результатом впливу ерозії ґрунту текучою водою, є досить поширеною формою рельєфу степових ландшафтів. Територія Криворіжжя розчленована великою кількістю балок, багато з яких на сьогоднішній день трансформовані розташованими в них шламосховищами, відстійниками, відвалами пустих порід, ставками-накопичувачами техногенних вод тощо.

Головними процесами, що обумовлюють рельєфоутворення в регіоні, є площинний змив, меншою мірою – яружна ерозія і струменево-борозневий розмив. Вододіли річок Криворіжжя приурочені до гранітоїдних куполів та антиклінальних валів складчастої основи. До злиття Інгульця та Саксагані вододіли вузькі, добре дреновані. Інгулецько-Саксаганський вододіл вузький, відносно слабо дренований. Балки центральної частини Криворіжжя плоскі, днища іноді заболочені, в них переважають процеси акумуляції. Трапляються трапецієподібні балки – слабо випуклі, мають задерновані схили крутизною $6 - 12^\circ$, у їх нижніх частинах є вкладені тераси. Вершини балок конусоподібні. У середній частині балок виклинюються невеликі водотоки. Довжина найбільш крупних балок складає 10 – 15 км.

На території Кривого Рогу знаходиться 36 балок із розгалуженнями у басейні Інгульця та 33 (за іншими даними 20 та 40 балок) – у басейні Саксагані [41]. Глибина їх урізу подекуди досягає 20 – 30 м.

Основна частина балок басейну Саксагані – 67,5% – правобережні та 32,5% лівобережні. Слід зазначити, що більшість балок сильно порушені (аж до повного знищення), особливо правобережні балки, через те, що вже більше 100 років знаходяться в смузі гірничих робіт та інтенсивного будівництва [14, 72].

Нижче коротко схарактеризовано низку балок басейну ріки Саксагань, тобто північної частини Криворіжжя, в районі, який підпадає під вплив Північного гірничо-збагачувального комбінату (рис.1.1).



Рис. 1.1. Балки басейну ріки Саксагань, що підпадають під вплив Північного гірничо-збагачувального комбінату.

Дном балок часто протікають струмки, що формуються переважно за рахунок виходів по схилах балок підземних вод, дренажу та скидам (іноді аварійним) технічних вод. На найнижчих відмітках балок струмки формують невеличкі ставки. Площа ставків загалом невелика – від 1 до 50 га, глибина змінюється від 4 до 2 м. Слід зазначити, що серед досліджуваних ставків немає водойм зі стабільно прісною водою. Серед аніонів на перші місця виходять сульфати і хлориди, а серед катіонів – магній і натрій. Вода надмірно жорстка.

Балка Північна Червона – правобережна балка ріки Саксагань загальною довжиною 24 км. Має два рівновеликих відроги, довжиною до 5-7 км. Верхній відріг брав початок біля знесеного Першотравневим відвалом с. Вільна Долина. Обидва

відроги розташовані з лівій стороні балки. Водозбірна площа всієї системи 78 км². Поверхня рельєфу спокійна. У верхів'ях ерозійної діяльності не помічено. По мірі зниження контури балки стають більш різкими, є днище, тальвег стає розширеним, звужуючись поступово у напрямі до середньої частини балки. На дні балки протікає короткий струмок води, днище заболочене. На схилах збереглися слабо змінені степові рослинні угруповання, що стало причиною створення заказника з відповідною назвою. На схилах є штучні протиерозійні лісонасадження. Ліві відроги балки сильно змінені відвалами Північного ГЗК, на лівому борту головної балки є невеликий старий залізорудний кар'єр. Нижня частина балки – широке корито з меандруючим водотоком.

Балка Грядкувата впадає в річку Саксагань в районі Першотравневого рудоуправління Північного ГЗК. Довжина балки 6,5 км. Представлена однією магістраллю, відрогів немає, є кілька лівих улоговин і лощин. Площа водозбору 14 км². Максимальною висотою є курган могила Рядова (150,3 м). На відстані близько 3 км від початку балка має тимчасовий водотік, незначні проміїни тальвегу на порівняно невисоких задернованих схилах від 2 до 3 м висотою. Далі, нижче балкою, відзначається постійний водотік по заболоченому днищу з характерною болотною рослинністю. Вода у водотоці балки Грядкувата сульфатно-гідрокарбонатно-хлоридна магнієво-кальцієва-натрієва, характеризується помірною мінералізацією – 1,7 г/дм³, жорсткість становить 20 ммоль/дм³. Гирло балки утворює невеликий віялоподібний конус виносу, на якому побудовано кілька хат с. Веселі Терни. Ще нижче балка губиться зовсім. Зараз балка частково зруйнована, на правому схилі дореволюційними і радянськими гірничо-добувними роботами, а з 1960-х рр. і відвалами Першотравневого кар'єру Північного ГЗК, проваллям Першотравневого РУ, різною забудівлею, звалищами сміття. На правому схилі – суглинистому вирівняному відвалі відновлюється ділянка природного ризотравно-типчаково-ковилового степу.

Мікрорайон Кривого Рогу Даманський та Криворізький ботанічний сад знаходяться вище лівого схилу *балки Приворотна* у середній її частині. Довжина балки 5,2 км по головному тальвегу, з 3-ма лівими боковими притоками, за рахунок яких довжина балки збільшується до 6,9 км, площа водозбору 15,6 км². Балка

починається двома невеликими похилими улоговинами. У верхній частині глибиною до 9 м, схили нахилені під кутом 16°, ширина балки 20-22 м. Водотік в руслі слабо виражений. Вода у балці сульфатно-хлоридна кальцієво-магнієво-натрієва із мінералізацією на рівні 2,0 г/дм³ та жорсткістю до 25 ммоль/дм³. У нижній частині балка сильно розширюється, місцями сягаючи 50-55 м, схили стають вищими - до 12 м, при крутизні 20-25°. В середній частині правий схил балки має горбистий характер і складений пісками. Ближче до гирла русло балки розширюється до 75-80 м і ділиться на ряд крутих промоїн. Дебіт балки на рівні 1 л/с. Балка зберіглася добре, лише місцями забудована, є лісонасадження, три короткі ліві відгалуження увійшли до складу Криворізького ботанічного саду, в межах яких охороняється степова рослинність.

Балка Петрикова. Велика балка, деревоподібної форми, за розмірами і будовою схожа на балку Північну Червону. В балці споруджене хвостосховище Північного ГЗК. Від балки залишився лише невеликий нижній відрізок довжиною 2,5 км, а також вершинні лощини. З хвостосховища дренують, а подекуди скидаються технологічні води, тому вода у балці солоня із мінералізацією 6,9 г/дм³ та жорсткістю 48 ммоль/дм³ хлоридно-сульфатного класу групи натрію-магнію-кальцію. В р. Саксагань балка впадає напроти с. Сергіївка.

Вище за течією річки Саксагань розташована балка Мотіна, гідрохімічна інформація про яку дозволяє простежити закономірності зміни мінералізації води у часі. Так, на прикладі ставка в балці Мотіна наведено існуючий тренд змін мінералізації (рис.1.2). Ставок відносно віддалений від хвостосховища Північного ГЗК та від населених пунктів. Техногенне навантаження на нього значно менше, ніж на інші балки та ставки території Криворіжжя.

Гідрохімічні спостереження тут проводилися досить тривалий час: з 1978 р. по 2018 р., що дає можливість оцінити зміни величини мінералізації води у ставку найбільш повно. Початкова мінералізація на 1978 р. складала 1,1 г/дм³, надалі спостерігається її збільшення до 1,7 г/дм³ (у 1986 р.), а потім суттєве зменшення до 1,1-1,2 г/дм³ (у 1987 – 1988 рр.). Постійні коливання величини мінералізації продовжуються протягом всього часу спостережень, але амплітуда коливань з часом зменшується при постійному зростанні абсолютних величин мінералізації. Станом на 2010 р.

мінералізація води у ставку досягає $2,2 \text{ г/дм}^3$, а у 2018 році вона становила вже $3,8 \text{ г/дм}^3$.

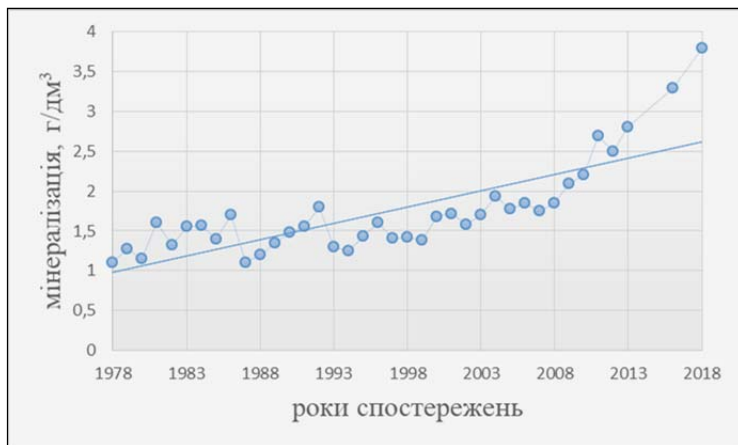


Рис. 1.2. Зміна рівня мінералізації води у ставку балки Мотіна (район ПівнГЗК), протягом 1978 – 2018 рр., г/дм^3 .

Балки центрального району міста приурочені до басейну р. Інгулець. І як у випадку із балками, що впадають у Саксагань зазнали значної трансформації внаслідок гірничо-видобувних робіт.

Хвостосховище Центрального ГЗК створене у верхів'ї і середній частині балок *Велика та Мала Лозуватка* (рис. 1.3), які впадають в Карачуновське водосховище. Балка Велика Лозуватка мала довжину $10,7 \text{ км}$. Водозбірна площа – 19 км^2 . Балка мала тимчасовий водотік з низкою невеликих ставків у верхів'ї. Балка Мала Лозуватка мала довжину $4,6 \text{ км}$. Водозбірна площа – 5 км^2 . Балка мала тимчасовий водотік. В балці Велика Лозуватка створено низку ставків. Ставок №1, має розміри $100 \times 70 \text{ м}$, розташований безпосередньо під відвалом Центрального ГЗК.

На лівому березі розташована дренажна насосна станція (ДНС) №8, в яку скидається фільтраційна вода з горизонтальної дрени вздовж відвалу та водознижуючих свердловин № 25-34. Дана система перехоплює та повертає у хвостосховище в середньому 125 тис. м^3 води ($14 \text{ м}^3/\text{год.}$). Хімічний склад вод ставків значно відрізняється від природних. Так, вода ставка № 1 – сульфатна

кальцієво-натрієво-магнієва з мінералізацією до $6,5 \text{ г/дм}^3$ та загальною жорсткістю – $66,5 \text{ ммоль/дм}^3$. У воді відзначається підвищений вміст фтору, бору, броду та заліза. Вміст заліза становить у середньому $8,8 \text{ мг/дм}^3$ (29 ГДК).

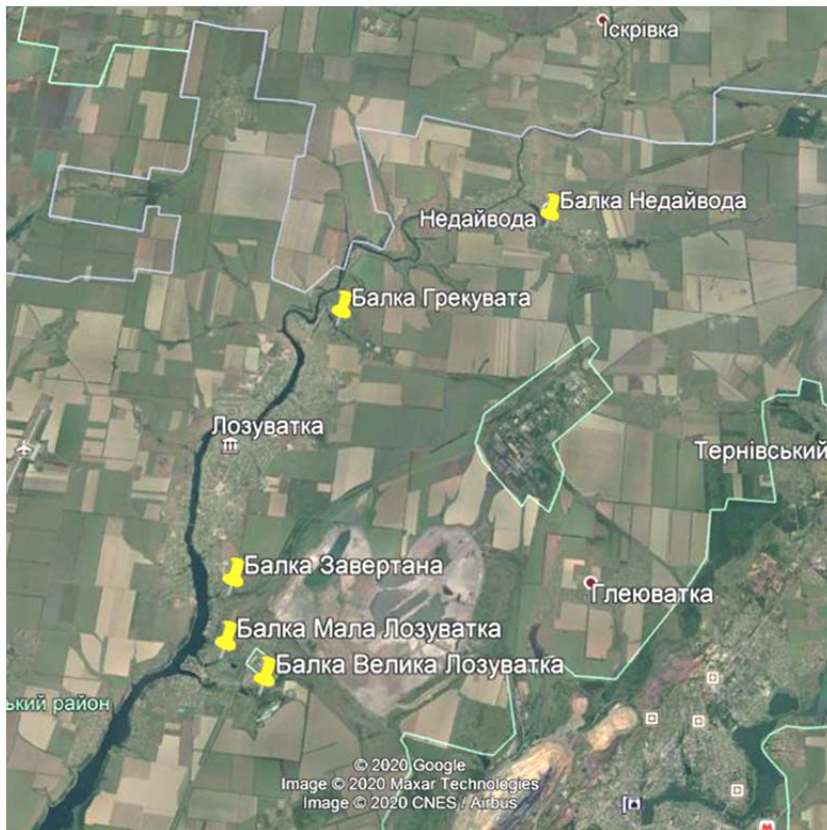


Рис. 1.3. Балки басейну ріки Інгулець, що підпадають під вплив Центрального гірничо-збагачувального комбінату.

Ставок № 2, розміром $400 \times 70 \text{ м}$, розташований поряд зі ставком №1 у балці Велика Лозуватка та відділений від нього земляною дамбою шириною до 10 м . За хімічним складом води цього ставка сульфатні кальцієво-натрієво-магнієві з мінералізацією до $6,4 \text{ г/дм}^3$ та загальною жорсткістю до 62 ммоль/дм^3 . Серед елементів II - III

класу небезпеки спостерігається підвищений вміст бору та бром. Вміст заліза незначний – до $0,4 \text{ мг/дм}^3$ (1,3 ГДК).

Балка Велика Лозуватка впадає в річку Інгулець утворюючи невелику затоку. За хімічним складом води цієї затоки (точка відбору 3) хлоридно-гідрокарбонатно-сульфатні кальцієво-магнієво-натрієві з мінералізацією до $1,1 \text{ г/дм}^3$. Загальна жорсткість – 9 ммоль/дм^3 .

На правому схилі балки Мала Лозуватка розташована дренажно-насосна станція ЦГЗК №2, яка перехоплює фільтраційні води хвостосховища. При впадінні балки в річку Інгулець була відібрана проба води із затоки. За хімічним складом води хлоридно-гідрокарбонатно-сульфатні магнієво-кальцієво-натрієві з мінералізацією до $1,0 \text{ г/дм}^3$. Загальна жорсткість – 9 ммоль/дм^3 . Серед елементів II - III класу небезпеки спостерігається підвищений вміст бром, який складає $1,01 \text{ мг/дм}^3$ (5 ГДК).

Балка Завертана знаходиться вище балки Мала Лозуватка та тягнеться вдовж західного борту хвостосховища Центрального ГЗК і впадає в р. Інгулець. Балка Завертана мала довжину 3 км, її водозбірна площа – 5 км^2 . Балка не мала постійного водотоку. Між днищем балки та західним бортом хвостосховища розташована дрена №1, фільтраційні води скидаються в ДНС №5. В 2015 році було перехоплено $356,3 \text{ тис. м}^3$ ($40,6 \text{ м}^3/\text{год.}$). На лівому схилі б. Завертана розташована ДНС №1А, яка перекачує дренажні води балки. У тальвезі балки Завертана відсутній постійний поверхневий водоток. Днище поросло очеретом. Вода тимчасового водотоку за хімічним складом сульфатна магнієво-кальцієво-натрієва з мінералізацією до $6,0 \text{ г/дм}^3$. Загальна жорсткість – 55 ммоль/дм^3 . В воді відзначається підвищений вміст бром – $2,77 \text{ мг/дм}^3$ (14 ГДК).

Балка Грекувата розташована на півночі хвостосховища Центрального ГЗК, на відстані 4,2 км від його північного борту. Балка Грекувата мала довжину 5,5 км. Водозбірна площа – 5 км^2 . Балка не має постійного водотіку. В балці створено ряд ставків, з яких було взято проби води. За хімічним складом їх води належать до хлоридно-гідрокарбонатно-сульфатних магнієво-кальцієво-натрієвих з мінералізацією до $1,5 \text{ г/дм}^3$ та загальною жорсткістю 13 ммоль/дм^3 . У воді відзначається підвищений вміст бром та

заліза. Вміст бромю складає $1,01 \text{ мг/дм}^3$ (5 ГДК), вміст заліза становить $1,0 \text{ мг/дм}^3$ (3 ГДК).

Нижче руслом балки Грекувата знаходиться ставок. За хімічним складом вода належить до хлоридно-сульфатної магнієво-кальцієво-натрієвої з мінералізацією до $4,3 \text{ г/дм}^3$ та загальною жорсткістю $35,5 \text{ ммоль/дм}^3$. Серед небезпечних домішок було відзначено підвищений вміст мангану і бромю. Вміст бромю складає $2,27 \text{ мг/дм}^3$ (11,35 ГДК), вміст мангану становить $0,23 \text{ мг/дм}^3$ (2,3 ГДК).

В районі впадіння балки Грекувата в р. Інгулець розташований ставок. Вода сульфатна кальцієво-магнієво-натрієві з мінералізацією до $4,0 \text{ г/дм}^3$ та жорсткістю до 38 ммоль/дм^3 . Серед елементів II - III класу небезпеки відзначено підвищений вміст бромю на рівні $2,02 \text{ мг/дм}^3$ (10,1 ГДК).

Вода у річці Інгулець нижче впадіння б. Грекувата у порівнянні із іншими пробами відносно не солоня – мінералізація становить $1,1 \text{ г/дм}^3$, загальна жорсткість – $9,5 \text{ ммоль/дм}^3$, за типом вода хлоридно-гідрокарбонатно-сульфатна кальцієво-магнієво-натрієва.

Ще одна балка, яка розташована в зоні впливу хвостосховища Центрального ГЗК – *балка Недайвода*. Вона мала довжину $10,5 \text{ км}$ та водозбірну площу – 33 км^2 . У балка відзначається тимчасовий водотік з низкою невеликих ставків у верхів'ї. Води ставків у балці Недайвода (проби №8, 9, 10) за хімічним складом хлоридно-сульфатні кальцієво-магнієво-натрієві з мінералізацією від $1,6$ до $3,7 \text{ г/дм}^3$ та загальною жорсткістю від 15 до 33 ммоль/дм^3 (див. рис. 4). Серед елементів II - III класу небезпеки спостерігається підвищений вміст мангану, бромю та заліза.

Проба води № 16 відібрана із хвостосховища ПАТ «ЦГЗК». За хімічним складом вода даної проби хлоридно-сульфатна кальцієво-магнієво-натрієві з мінералізацією $3,9 \text{ г/дм}^3$ та загальною жорсткістю – $36,5 \text{ ммоль/дм}^3$. У пробі визначено підвищений вміст заліза і бромю.

Гідрохімічні особливості річок Криворіжжя.

Річка Саксагань – найбільша ліва притока р. Інгулець, бере початок в місці виходу ґрунтових вод на захід від с. Адалимівка Криничанського району Дніпропетровської області на висоті 150 м над рівнем моря (БС). Довжина Саксагані – 144 км , площа басейну – 2025 км^2 . Басейн ріки нагадує витягнутій, майже рівнобедрений

трикутник, вершина якого знаходиться у гирлі річки, а основа біля витoku. Саксагань є типовою степовою маловодною річкою із широкою плоскою правобережною долиною і високим правим схилом. Природний режим річки сильно змінений регулюючим впливом дамб, скиданням шахтних і промислових вод, а також відбором води на технічні потреби.

Річкова мережа басейну р. Саксагань помірно розвинута і складається з 10 річок довжиною понад 10 км кожна. Основні притоки – р. Лозоватка та р. Демурина. Природних озер в басейні нема, але штучні водосховища і ставки мають площу водної поверхні 24 км², в тому числі Кресівське водосховище, площею 5 км² і Макортівське – 12 км² [16, 31].

У місцях, де річка заважала видобутку корисних копалин, її русло штучно відвели. Зараз на місці природного річища на палях збудували жилі будинки. У районі гірничих відводів р. Саксагань спрямована в підземні тунелі – канал № 1 та № 2. Підземне русло перетворило річку на низку окремих замулених ставків [71].

Русло р. Саксагань не розгалужене, у місцях, де річка огинає кристалічні породи, утворилась велика кількість закрутів, найбільшими з яких є Кресівський, Октябрьський, Шмаківський і Мудрений. У середній течії русло має вигляд чергування плес з мілководними ділянками і поросле водною рослинністю. Найбільшу ширину – 600 м річка має у верхньому б'єфі Кресівського водосховища біля (район Кривого Рогу – Соколівка), тут же і найбільша глибина.

Річка має переважно снігове живлення; дощові і ґрунтові води відіграють другорядну роль. Швидкість течії незначна; максимальна – 0,4 м/с спостерігається в нижній течії. У верхній і нижній течії річка Саксагань перегороджена греблями. Дно переважно нерівне, на плесах мулисте, грузьке, на перекатах – піщано-мулисте або кам'янисте [16, 73].

Найбільші витрати води Саксагані досягають 240 м³/с. Стік ріки зрегульований Макортівським і Кресівським водосховищами, розташованими відповідно вище і нижче району Північного ГЗК.

З 1934 р. на локальних ділянках почали зменшуватися площі басейну р. Ингулець та Саксагань внаслідок формування зон обвалів над підземними вирубками [71].

Водні ресурси річки Саксагань є важливим джерелом для забезпечення сталого розвитку підприємств різних галузей промисловості (особливо – гірничо-видобувної), комунального та

сільського господарства на території Криворізького залізрудного басейну та за його межами. Майже по всій довжині річка знаходиться під сильним антропогенним пресингом, проте найбільше в районі міста Кривий Ріг, де сконцентрована велика кількість промислових підприємств. Інтенсивне промислове освоєння Кривбасу, багаторічна розробка залізрудних родовищ, значне зростання водокористування і водовідведення, великі обсяги гідротехнічного, промислового та міського будівництва, зміни природних річкових річищ (заведення їх у підземні канали), створення каскадів водосховищ – все це призвело до змін природного складу вод р. Саксагань.

Ретроспективний аналіз гідрохімічних даних р. Саксагань у межах Кривого Рогу показує [101], що станом на 1978 р. загальний вміст солей у воді р. Саксагань змінювався від 1,1 г/дм³ до 1,6 г/дм³, а тип вод визначався як хлоридний групи натрію (СІ ІІ^{Na}).

Безумовно, близькість виробничих потужностей у вигляді кар'єрів та хвостосховища Північного гірничо-збагачувального комбінату впливала на стан вод річки Саксагань, проте до початку скидів зворотних та високо мінералізованих шахтних вод у 1999 році стан річки визначався як задовільний. Відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України № 1346-р від 08.12.1999 р., у якому було дозволено скид зворотних, високо мінералізованих шахтних вод у річки Інгулець і Саксагань, до останньої щорічно надходило до 18,4 млн.м³ забруднених вод.

Гідрохімічні спостереження, що здійснювалися за 6-ма точками (рис. 1.4) з 1990 р. дозволяють стверджувати, що тип вод р. Саксагань поступово змінювався, проте до 2006 р. визначався як гідрокарбонатно-хлоридно-сульфатний кальцієво-магнієво-натрієвий. Вміст гідрокарбонатного іону постійно знижувався і у 2007 р. тип води змінився на хлоридно-сульфатний тип при тому ж катіонному складі. Найменше значення мінералізації (за останні роки спостережень) спостерігалось у 1990 р. – 1,5 г/дм³, найбільше – у 2015 р. – 4,0 г/дм³. На рис. 1.5 показано лінію тренду, що підкреслює тенденцію збільшення величини мінералізації у часі. Така ж тенденція спостерігається у зміні твердості води. Разом із тим, стабілізації гідрохімічних процесів не прослідковується.



Рис. 1.4. Супутникове фото р. Саксагань та точок гідрохімічного спостереження.

Найбільші зміни складу поверхневих вод р. Саксагань відбувалися під час скиду високо мінералізованих вод з хвостосховища Північного ГЗК. При цьому вміст сухого залишку в річковій воді збільшувався іноді до 7,9 г/л, концентрація хлоридів – до 4,0 г/л, сульфатів – до 2,75 г/л. На період скидів мінералізованих вод з хвостосховища у р. Саксагань, для розведення забруднюючих речовин до встановлених норм якості річкової води, здійснювалися попуски води з Макортівського водосховища, що розташовано вище району дослідження. Обсяг води, який у вигляді попусків надходив з Макортівського водосховища, частково дозволяв хімічному складу води р. Саксагань повертатися в стан близький до початкового. Але необхідно враховувати, що даний початковий стан не був гідрохімічним фоном, оскільки мінералізація у 1998 р. становила 2,6 г/дм³, тип – СІ Ша^{Na}, що вже свідчить про порушення гідрохімічного режиму річки.

З 2006 року підприємство Північний ГЗК призупинило скиди високо мінералізованих шатних вод до р. Саксагань. Проте гідрохімічний стан ріки за період з 2006 року не тільки не

покрашився, але й продовжує погіршуватися (рис.1.5). Гідрохімічна ситуація станом на 2019 р. наступна: загальний вміст солей у воді р. Саксагань становить біля 4,0 г/дм³; загальна жорсткість біля 34 мг-екв/дм³; вміст хлоридів біля 1 г/дм³; сульфатів біля 1,5 г/дм³. По всьому профілю переважають сульфат-іони та натрій. Вода має високу твердість, проте, окиснюваність в останні 5 років відчутно знизилась [5].



Рис. 1.5. Зміна загальної мінералізації води р. Саксагань (усереднені дані району досліджень), протягом 1987 – 2019 рр., г/дм³.

З початку 90-х років загальний вміст солей у воді р. Саксагань збільшився в середньому у 2,6 рази. Гірничо-видобувна діяльність Північного ГЗК (як і інших ГЗК Кривбасу) призводить до порушення та забруднення водоносних горизонтів четвертинних та неогенових відкладів. Протягом останніх років спостерігається тенденція збільшення засолення підземних вод у зоні впливу Північного ГЗК. Підвищення рівнів забруднених підземних вод поширюється за межі промислових територій та спричиняє засолення ґрунтів навколишніх територій. Високо мінералізовані води постійно стікають по балках до р. Саксагань та дренують із ємностей хвостосховища, оскільки останнє не має гідроізоляційного шару.

Аналіз наведених вище даних дозволяє дійти висновку, що гідрохімічний режим р. Саксагань на ділянці, що досліджувалася, повністю залежав від регламенту скидів високо мінералізованих вод

та від режиму промивок. Проте, навіть після припинення скидів ситуація не змінилася, що детермінує необхідність постійного моніторингу гідрохімічного стану вод у р. Саксагань та розробки заходів, які б сприяли стабілізації показників якості води.

Річка Інгулець – головна водна артерія Криворіжжя, перетинає м. Кривий Ріг майже повздовжно; ріка є найбільшою правою притокою Дніпра, витік її знаходиться у балці біля с. Топило Знам'янського району Кіровоградської області, на висоті 180 м над рівнем моря; протікає Інгулець територією Кіровоградської, Дніпропетровської, Херсонської і Миколаївської областей. Інгулець впадає в р. Дніпро з правого берега на 46 км вище гирла Дніпра, поблизу с. Садове Херсонської області, на висоті 1,6 м над рівнем моря. При впадінні річка утворює лиман довжиною 5 – 7 км. Загальна довжина річки 549 км (560 км за сучасними вимірами), площа басейну 14460 км². Загальний перепад річища складає 205 м. Середній нахил русла – 0,39 ‰, максимальний спостерігається у верхній течії і досягає 5,0 ‰, у нижній течії (нижче міста Снігурівка) нахил не перевищує 0,06 ‰. Русло ріки звивисте, нерозгалужене, у середній течії шириною 20-40 м, іноді до 70 м, порожисте. Звивистість ріки помірна – коефіцієнт звивистості в середньому складає 1,53. Природний середньорічний стік р. Інгулець складає 220-260 млн. м³ [12].

У середній течії р. Інгулець перетинає Український кристалічний щит, часто в річищі ріки відслонюються кристалічні породи (граніти, гнейси, кварцити), а також вапняки, у вигляді невеличких порогів, крутих скелястих берегів.

Долина ріки трапецієвидна, шириною 1,0-4,5 км, здебільшого правостороння (праві схили більш круті, ніж ліві). Схили долини висотою 20-50 м помірно круті, а в місцях виходу кристалічних порід – круті, іноді урвисті. Глибина ерозійного врізу долини складає 60-80 м. На півночі, район с. Іскрівка і с. Недайвода, ріка прорізає кристалічні породи, де має скелясті береги й вузьке річище. На ділянках розширення долини русло ріки утворює чисельні крупні меандри. Середня ширина долини в межах Кривого Рогу 1,0-1,5 км, водозахисна зона майже відсутня, велика розораність берегової смуги, видозмінені надзаплавні тераси. Нижче міста долина розширюється до 2,5-4,5 км. Різниця висот “вододіл-річкова долина” складає 60-85 м.

Гідросистема р. Інгулець підпадає під значний техногенний пресинг, в першу чергу, масштабних робіт у галузях гірничо-видобувної та металургійної промисловості. Інші види діяльності:

комунальна, метало-переробна, будівельна, харчова, за масштабами впливу не є відповідними впливу гірничо-видобувної галузі.

Аналіз гідрохімічних показників: вмісту головних іонів та мінералізації води р. Інгулець в районі розташування м. Кривий Ріг представлені у даній роботі охоплюють період з 1990 по 2018 рр. Річку Інгулець в межах м. Кривий Ріг, умовно, можна поділити на дві частини: «верхню» – територія якої прилягає до Центрального ГЗК, вище Карачунівського водосховища та «нижню» – територія, що прилягає до металургійного комбінату ПАТ «АкселорМіттал Кривий Ріг», Південного та Інгулецького гірничо-збагачувальних комбінатів. Такий поділ відповідає гідрохімічному типу води, а саме: у «верхній» частині переважаючим є сульфатний клас групи натрію ($S II^{Na}$) або сульфатний клас групи магнію ($S II^{Mg}$), у «нижній» – хлоридний клас групи натрію ($Cl II^{Na}$) [2]. Наявність такого явища в межах відносно невеликої ділянки ріки (< 100 км) найвірогідніше пов'язаний із тим, що у «верхню» частину р. Інгулець в Карачунівське водосховище каналом Дніпро – Інгулець надходить вода з р. Дніпро через Олександрійське та Іскрівське водосховища, обумовлюючи таким чином гідрохімічний профіль «верхньої» ділянки, у «нижню» ділянку річища надходить вода з р. Саксагань – притоки Інгульця, Кресівського водосховища та каналу Дніпро – Кривий Ріг. Крім цього, на «нижній» ділянці ріки Інгулець відбуваються скиди високо мінералізованих вод зі ставка-накопичувача балки Свистуново.

Зміни мінералізації води у часі на «верхній» ділянці р. Інгулець (зона впливу Центрального ГЗК) свідчать про помірне її підвищення – від $0,9 \text{ г/дм}^3$ у 1990 році до $1,4 \text{ г/дм}^3$ у 2014 році, та $2,0 \text{ г/дм}^3$ у 2018 році (рис. 1.6). Як і у випадку із р. Саксагань, спостерігається повільне, але стійке зростання мінералізації. Зміни відбуваються не тільки у загальній мінералізації, за час спостережень змінився вміст та співвідношення головних іонів. Серед аніонів переважає сульфат-іон, його відсотковий вміст зростає, але незначно – на 3-5%. Катіонний склад змінюється більш суттєво: у 1990 р. переважаючим був іон кальцію, починаючи з 1995 р. домінуючим катіоном став іон магнію. Відповідно, збільшилася загальна жорсткість води з 4 ммоль/дм^3 до 11 ммоль/дм^3 . При цьому, відсотковий вміст іону натрію теж зростає. Поряд зі зміною катіонного складу змінився індекс вод з $S II^{Ca}$ (1990 р.) на $S II^{Mg}$ та $S II^{Na}$ (2009, 2018 рр.).

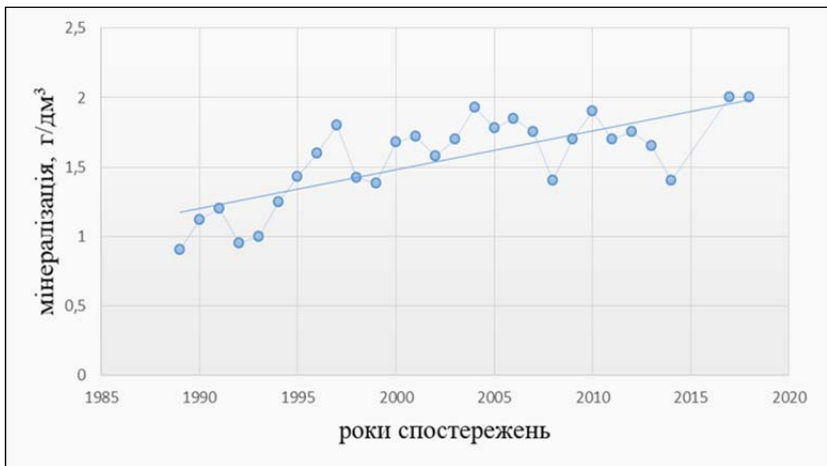


Рис. 1.6. Зміна загальної мінералізації води р. Інгулець (усереднені дані «верхньої» частини району досліджень), протягом 1989 – 2018 рр., г/дм³.

Таким чином треба зазначити, що величина мінералізації води у р. Інгулець у північній «верхній» частині має тенденцію до збільшення у часі. Вміст головних іонів змінюється за катіонним складом, переважаючим стає іон магнію, відповідно, збільшується загальна жорсткість. За аніонним складом спостерігається відносна стабільність: вода сульфатно-хлоридно-гідрокарбонатна.

Середні значення водневого показника (рН) у воді р. Інгулець складають 7,7 – 7,8. На «верхній» ділянці проявляються закономірні зміни водневого показника у часі аналогічні змінам мінералізації. Так, після досягнення максимального значення 8,6 у 1993 р. величина рН знизилась до 6,8 у 2014 р, але потім стабілізувалася на рівні 7,7. Згодом режим коливань величини рН у річковій воді став більш сталим і змінювався у невеликих межах – від 8,1 (1997 р.) до 6,85 (2007 р.). На північній відмітці Карачунівського водосховища, коливання величини водневого показника невеликі: від 8,55 (2001 р.) до 7,1 (2003 р.). Але необхідно відзначити, що такі зміни за короткий час пов'язані швидше за все з техногенним впливом.

У поверхневих водах річок, зазвичай, містяться органічні речовини усіх груп (вуглеводні, білки, ліпіди) та класів (карбонові кислоти, альдегіди, аміни, естери). Головною характеристикою

розчиненої органічної речовини є величина її загальної кількості. Найбільш точною характеристикою загального вмісту органічної речовини є вміст органічного вуглецю (C_{org}). Органічна речовина приймає участь у біо- та гідрохімічних процесах. Вона відіграє значну роль в утворенні органічних міграційних форм елементів. Багато хімічних елементів вступають у хімічну взаємодію з органічною речовиною, у більшості випадків з гумусовою речовиною, та утворюють міцні комплексні, елемент-органічні сполуки [62].

Значним джерелом органічної речовини у поверхневих водах у наш час є різноманітні антропогенні чинники, як то: діяльність агропромислового комплексу, комунального господарства, рекреаційна активність. Так, території, якими протікає річка Інгулець у своєму верхів'ї є розвинутими у сільськогосподарському плані районами. Навіть протікаючи територією м. Кривий Ріг р. Інгулець межує із полями. Розповсюджене недотримання вимог Водного Кодексу України, щодо меж водозахисних смуг призводить до того, що відбуваються регулярні змиви з полів ґрунту. Останній містить у собі різноманітні хімічні сполуки: добрива (сполуки нітрогену та фосфору), гербіциди, пестициди, інсектициди та інші речовини, що використовуються під час вирощування сільськогосподарських культур. Не можна не згадати тваринництво. Так, з розташованих на невеликій відстані від річки птахо- та свиноферм за умов недотримання утилізації фекальних відходів можуть потрапляти значні обсяги органічних забруднюючих речовин. І навіть після припинення їх діяльності, певний час в річку можуть надходити шкідливі домішки. Так, неподалік с. Зелене – правий берег р. Інгулець (район Південного ГЗК), авторами спостерігались стоки старих, зруйнованих свиноферм, з яких до річки надходив фенол (який використовувався з метою дезінфекції).

Комунальна діяльність міста з чисельністю населення біля 700 тис. мешканців безумовно чине вплив на гідросистему р. Інгулець. Багаточисельні очисні споруди, старі комунікації, які постійно руйнуються, система комплексу водозабезпечення міста та інше обумовлюють надходження до річки як неорганічних так і органічних поллютантів.

Рекреаційне навантаження на гідросистему р. Інгулець можна вважати мінімальним. Проте, не можна не зауважити значну

засміченість прибережної смуги. Значні обсяги побутового та будівельного сміття не тільки не прикрашають берегові ландшафти, але й привносять в річку певні, іноді дуже небезпечні речовини.

Величина, що характеризує вміст у воді органічних і мінеральних речовин, що окиснюються за певних умов, називається окиснюваністю. Окиснюваність виражається в міліграмах кисню, який витрачається на окиснювання органічних речовин, що містяться в 1 дм³ води.

При хімічних аналізах проб води з водних об'єктів на території Кривбасу визначалася перманганатна окиснюваність (ПО). На «верхній» північній ділянці р. Інгулець середньорічні показники окиснюваності води змінюються від 5,02 мгО/дм³ до 12,02 мгО/дм³, що відповідає малій та середній окиснюваності. Максимальне значення ПО було відзначено в верхів'ї Карачунівського водосховища на р. Інгулець – 56,8 мгО/дм³.

Біогенні речовини: азот (у вигляді аміаку, амонію, нітриту, нітрату й азоту органічних сполук); фосфор (у вигляді фосфатів і органічних сполук), кремній (у вигляді ортосилікатів), залізо (II і III). Ці елементи необхідні для живлення й розвитку живих організмів. Однак, деякі із сполук за високих концентрацій мають токсичну дію, наприклад, неорганічні сполуки азоту, особливо амонійний азот.

На «верхній» ділянці р. Інгулець, вище за течією від Карачунівського водосховища, в період з 2008 по 2018 рр. відзначався підвищений вміст нітрат-іону – 71,2 мг/дм³ (в середньому). Вміст амонійного іону та нітрит-іону найбільший у частині Інгульця, що максимально межує із Центральним ГЗК, що дозволяє визначити основною причиною такого збільшення – вплив гірничо-збагачувального комбінату. Вміст заліза (II) та заліза (III) невеликий: у середньому 0,04 мг/дм³ та 0,4 мг/дм³ відповідно. Невеликі значення вмісту заліза (II) та заліза (III) обумовлені тим, що залізо знаходиться у зв'язаному стані, тобто входить у склад мінералів (магнетиту, гематиту, сидериту та ін.), сполук, що мають низькі значення добутків розчинності, а тому домінують у різних формах у донному осаді.

Кисень (O₂) знаходиться у природній воді у вигляді розчинених молекул. Кисень є потужним окиснювачем, тому відіграє особливу роль у формуванні хімічного складу природних вод. Кисень

надходить у воду в результаті процесів фотосинтезу та з атмосфери. Концентрація розчиненого кисню в природних водах коливається в межах від 0 до 14 мг/дм³. Як сильний окиснювач кисень відіграє важливу санітарно-гігієнічну роль, бо сприяє швидкій мінералізації органічних залишків.

Деякі узагальнення стосовно вмісту кисню у воді р. Інгулець можна зробити на підставі досліджень, наведених у роботі [58]. Зміни кисневого режиму у воді Карачунівського водосховища свідчать, що починаючи з 2000 р. вміст розчиненого кисню у воді знижується і у середньому є меншим, ніж за період 1966 – 1982 рр. Води Карачунівського водосховища на р. Інгулець в певні періоди можуть бути віднесені до чистих (II клас) та помірно забруднених (III клас). Середньо-багаторічні показники вмісту розчиненого кисню у воді р. Інгулець («верхня частина») становить 6,5 мг/дм³, що дозволяє оцінити води як помірно забруднені.

«Нижня частина» ділянки р. Інгулець (зона впливу ПівдГЗК та ІнГЗК) розташована у південній частині Кривого Рогу (рис.1.7, 1.8). На даному відтинку річища спостерігається більш активна зміна рівня мінералізації та вмісту головних іонів у часі. Так, станом на 1990 р. тип води у р. Інгулець в районі с. Новоселівка був сульфатний групи натрію (S II^{Na}) з мінералізацією 2,1 г/дм³, а вже у 2001 р. тип води у даному районі остаточно переходить до хлоридного групи натрію (Cl III^{Na}) з мінералізацією 2,3 г/дм³. У той же час вище за течією, в районі розташування залізничного мосту середнє значення мінералізації складає 2,4 г/дм³, тип вод – хлоридний групи натрію (Cl II^{Na}) у 1990 р. та Cl III^{Na} у 2002 р.

За час спостережень вміст головних іонів майже не змінюється, на 2 – 3% збільшується вміст сульфатного іону при такому ж зменшенні вмісту хлор-іону. За катіонним складом переважаючим є іон натрію, але спостерігається його невелике зниження при збільшенні вмісту іону магнію.

При цьому, відповідно, збільшується загальна жорсткість з 17 до 19 ммоль/дм³. Узагальнюючи гідрохімічну інформацію на цій території, приходимо до висновку, що режим мінералізації та головних іонів у річковій воді набуває характерних рис усталеності та свідчить про значні відміни у хімічному складі води у верхній та нижній частинах р. Інгулець.



Рис. 1.7. Річка Інгулець в межах м. Кривий Ріг в районі впливу Південного гірничо-збагачувального комбінату.

У найпівденнішому районі м. Кривий Ріг, в районі впливу ПРАТ «ІнГЗК», спостерігаються характерні зміни мінералізації та головних іонів у воді р. Інгулець у часі. Станом на 1990 р. біля мосту в районі с. Матрьонівка, визначено тип води хлоридний групи натрію ($Cl III Na^{Na}$) з мінералізацією 2,3 г/дм³, що пов'язано із скидами високо мінералізованих вод із ставка-накопичувача у балці Свистуново.

У цей же час нижче за течією, тип води змінюється на $Cl II Na^{Na}$ майже за такої ж мінералізації, а в районі селища Андріївна – тип

води змінюється на сульфатний групи натрію ($S \text{ II } ^{Na}$) за мінералізації $1,4 \text{ г/дм}^3$, жорсткість вниз за течією зменшується з 16 до 12 ммоль/дм^3 . Станом на 2010 р. мінералізація води вздовж всього відрізка сягала $3,1 - 3,4 \text{ г/дм}^3$. Проте, в останні роки трохи зменшилась до $2,3-2,8 \text{ г/дм}^3$.

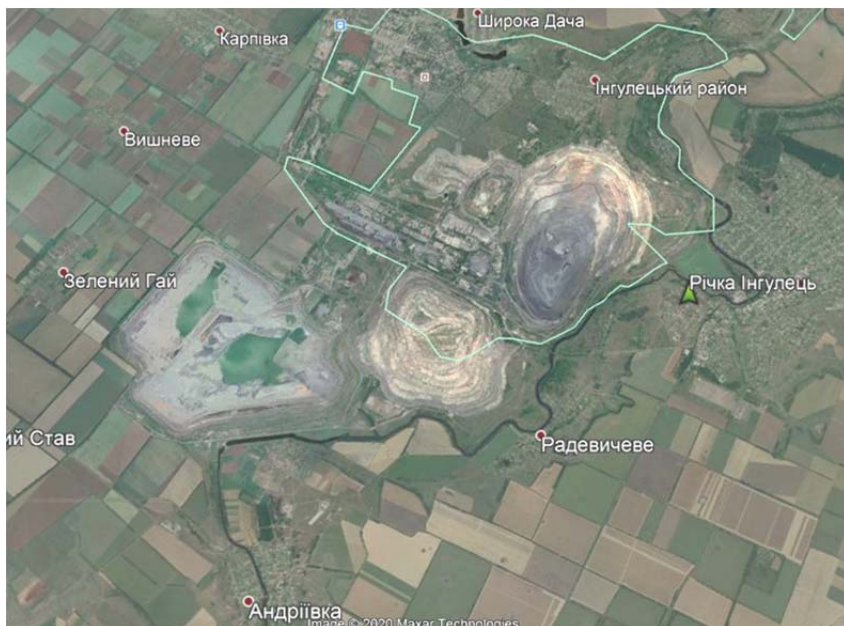


Рис.1.8. Річка Інгулець в районі впливу Інгулецького ГЗК, найпівденніша частина м. Кривий Ріг.

Характерним є графік (рис. 1.9), на якому показано зміни мінералізації води у р. Інгулець в районі с. Андріївка (південна околиця м. Кривий Ріг). На рисунку 1.9 лінія тренду вказує на тенденцію до збільшення мінералізації води Інгульця у часі. Звертає увагу значна амплітуда коливань мінералізації води. Найбільш вірогідно вона пов'язана із скидами високо мінералізованих вод до р. Інгулець та подальшої промивки річища. Різні об'єми промивної дніпровської води у різні роки обумовлюють строкатий характер мінералізації. З часом зменшується амплітуда коливань мінералізації води, що може вказувати на стабілізацію гідрохімічного режиму р. Інгулець.

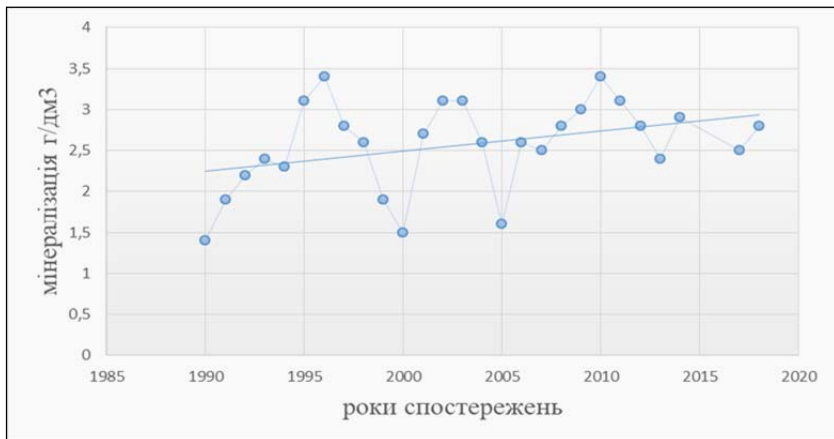


Рис. 1.9. Зміна рівня мінералізації води р. Інгулець у «нижній частині», (район с. Андріївка) у зоні впливу ІнГЗК, протягом 1990 – 2018 рр.

У складі головних іонів відзначено помітні зміни, а саме, у складі аніонів. Якщо вміст гідрокарбонатного іону практично не змінювався з 1991 по 2009 рр., то вміст хлор-іону збільшується настільки, що він стає провідним.

При цьому, вміст сульфат-іону зменшується і він стає другорядним. Такі зміни вказують на поширення гідрохімічної аномалії за течією, що утворилася внаслідок скидів високо мінералізованих вод зі ставка-накопичувача балки Свистуново. Відсотковий вміст катіонів практично не змінюється, провідним за час спостережень залишається іон натрію. За постійного збільшення мінералізації, збільшується і загальна жорсткість від 12 ммоль/дм³ до 21 ммоль/дм³.

Таким чином можна зазначити, що вміст головних іонів та величина мінералізації у воді водних об'єктів Кривбасу обумовлена скидами високомінералізованих вод техногенних об'єктів. Багаторічні спостереження свідчать про постійне і невинне зростання рівня мінералізації води з часом; величина рН у воді більшості водних об'єктів з часом знижується, амплітуда її коливання зменшується, що свідчить про наближення гідрохімічного режиму до стаціонарного. Вміст органічної речовини

у річці Інгулець з часом збільшується. Коливання рівня мінералізації води та тренд до її збільшення у гідроекосистемі р. Інгулець обумовлює зниження буферних властивостей екосистеми, що в свою чергу призводить до зниження біорізноманіття.

Загальна гідрохімічна характеристика техногенних водних об'єктів Криворіжжя. Серед факторів, які визначають формування хімічного складу природних вод виділяють наступні: фізико-географічні (рельєф, клімат, вивітрювання, ґрунтовий покрив); геологічні (склад гірських порід, гідрогеологічні умови); фізико-хімічні (кислотно-лужні й окисно-відновні умови, змішування вод і катіонний обмін); біологічні (життєдіяльність живих організмів); техногенні та антропогенні (усі фактори пов'язані з діяльністю людини).

Гірничо-видобувний комплекс Кривбасу відіграє значущу роль у формуванні хімічного складу природних вод регіону. У результаті комплексного впливу названих факторів у Кривбасі сформувалася специфічна гідрохімічна ситуація.

Технологія збагачення залізних руд передбачає будівництво та експлуатацію специфічних гідротехнічних об'єктів, а саме: хвостосховищ з аварійними ємностями, дренажних споруд навколо хвостосховищ та у дамбі, ставків оборотного водопостачання, ставків-накопичувачів шахтних вод та інше.

Загальна технологічна схема збагачення магнетитових кварцитів включає: дробіння в 3 – 4 стадії, 3 стадії подрібнювання й 4 – 5 стадій магнітної сепарації. Відходи збагачення (пульпа) складаються у хвостосховищах. Крім основного призначення – складування відходів видобутку і збагачення залізної руди, хвостосховища виконують важливу водорегулюючу функцію, оскільки є найважливішою складовою ланкою системи оборотного водопостачання комбінатів [99]. Завдяки функціонуванню хвостосховищ в систему водопостачання комбінатів залучаються практично всі кар'єрні і шахтні води, поверхневий стік із промислових ділянок збагачувальних фабрик, промислові стічні води котельні, а також значна частина господарсько-побутових стічних вод після їхнього доочищення. Це дозволяє суттєво знизити обсяг стічних вод, призначених до скидання у річки Інгулець та Саксагань [82].

Хвостосховища зазвичай облаштовують у зниженнях рельєфу – ущелинах, розпадках, улоговинах, на відстані декількох кілометрів

від збагачувальних фабрик. Хвостосховища відгороджуються з початку будівництва греблями, а потім добудовуються дамби, що наминаються із хвостів і додатково зміцнюються.

Хвостосховища можуть бути трьох типів у залежності від способу облаштування:

- наливні, у яких зводиться первинна дамба невеликої висоти з місцевого ґрунту для організації наміву, а потім нарощується до проектної висоти шляхом зведення вторинних дамб обвалування;

- наливні, у яких дамби, що огороджують хвостосховища, зводяться на всю проектну висоту. До структури наливних хвостосховищ входять греблі, огороджувальні дамби, водоприймальні і водоскидні споруди, відстійна водойма, природоохоронні споруди та ін.;

- хвостосховища, у яких відсутні огороджувальні дамби.

Наливні хвостосховища з нарощуванням дамб з самих хвостів, що складуються, зараз є найбільш поширеними та економічно доцільними. Можливість одночасного нарощування дамби з експлуатацією самого хвостосховища забезпечується за технологією «картового наміву». Особливістю таких робіт є те, що вони проводяться на окремих ділянках (картах), розмірами 200 × 200 м з огороженням дамбами обвалування.

Всі хвостосховища Кривбасу відносяться до комбінованих рівнинно-балкових. За способом спорудження вони спочатку мали характерні риси хвостосховищ гребельного типу, але останнім часом у зв'язку з переповненням і нарощуванням дамб мають ознаки хвостосховищ поступової надбудови. Всі хвостосховища мають перший клас капітальності, тобто відносяться до особливо відповідальних гідротехнічних споруд [29, 74]. У хвостосховищі відбувається поступове осідання твердої фази хвостів, іноді за допомогою реагентів, що додаються спеціально – коагулянтів і флокулянтів. Відстояна вода накопичується у водоймах, очищується й скидається в місцеві водні об'єкти або повертається на збагачувальну фабрику для технологічних потреб.

Оскільки хвостосховища є невід'ємною частиною збагачення бідних залізних руд, то практично усі гірничо-збагачувальні комбінати проводять спостереження за станом хвостосховищ та допоміжних споруд, розробляють проекти збільшення ємностей вже діючих хвостосховищ.

Водосховище **Північного ГЗК**, що почало експлуатуватися з 1964 року, має площу 1410 га (з них на саме хвостосховище

припадає близько 857,0 га, водойма оборотної води займає близько 553,0 га) та об'єм 626,86 млн. м³. Об'єм шламів у водосховищі перевищує 592,39 млн. м³.

Основна гребля хвостосховища ПівнГЗК розташована на відстані 2,5 км від гирла балки Петрикова, що впадає в р. Саксагань. Також, в балці Петрикова на зовнішньому контурі правобережної огорожувальної дамби хвостосховища було створено дві аварійні ємності: перша – в західній частині, друга – в північній частині хвостосховища. Довжина хвостосховища 17,3 км (хвостосховище – 11,0 км, водойма оборотної води – 6,3 км). Замикає контур хвостосховища розмежувальна гребля довжиною 1,2 км, що відокремлює водойму зворотного водопостачання від самого хвостосховища. Контроль за хімічним складом води у хвостосховищі та інших технологічних водоймах здійснюється екологічними службами гірничо-збагачувального комбінату.

Мінеральний склад шламів, що складовані у хвостосховищі становить: магнетит – 11,7%; гематит – 4,32 %; кварц – 47,34%; карбонати – 3,70%; слюди і хлорит – 6,52%; амфібол і піроксен – 18,96%; інші – 3,88%. Вміст пиловидних глинистих часток – 3,08 % [66].

До хвостосховища, крім надходження шламової пульпи, здійснюється скид кар'єрних вод, мінералізованих шахтних вод, господарчо-побутових умовно очищених стоків, стоків очисних споруд ПівнГЗК. Крім названих вод до шламосховища потрапляють атмосферні опади і поверхневі фільтраційні води із побудованих навколо дренажних споруд [61].

Середні показники хімічного складу води у хвостосховищі Північного ГЗК та у техногенних водних об'єктах промислового комплексу Північного ГЗК у надані у таблиці 1.3.

Хвостосховище **Центрального ГЗК** створене у верхів'ї і середній частинах балок Велика та Мала Лозуватка, які впадають в Карачунівське водосховище. Хвостосховище експлуатується з 1961 року, займає площу 1705,8 га. Позначки греблі знаходяться на рівні 126-131 м, дзеркала води – 121,3 м.

Таблиця 1.3.

Середні показники хімічного складу води техногенних водних об'єктів промислового комплексу Північного ГЗК (усередненні дані за 2014-2018 рр.)

№	Назва об'єкта	Концентрація мг/дм ³									
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ +Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Мінералізація			
1.	Хвостосховище	344,7	415,9	5329,9	5981,0	1063,0	177,0	13311,2			
2.	Кар'єр Першотравневий	170,2	126,3	861,1	913,5	1125,3	460,7	3655,10			
3.	Кар'єр Ганнівський	212,4	160,2	597,6	683,1	990,0	635,7	3277,40			
4.	Аварійна ємність 1	416,7	689,78	3879,20	7065,76	1678,16	129,97	13844,36			
5.	Аварійна ємність 2	416,7	670,48	3938,20	7041,50	1712,66	102,51	14606,23			
6.	Лівобережний канал	301,53	407,67	1798,40	3487,40	1541,90	173,28	8018,00			
7.	Правобережний канал	142,83	237,54	1022,35	1964,29	673,05	253,82	4420,90			
8.	Дрена 1	566,52	724,46	2734,36	5848,83	1573,61	363,65	11853,02			
9.	Дрена 2	196,26	327,50	2180,93	1299,98	747,22	225,75	4977,64			

Мінералізація води у хвостосховищі протягом останніх років коливалася від 3,9 г/дм³ до 4,3 г/дм³. За хімічним складом зазначена вода є хлоридно-сульфатна кальцієво-магнієво-натрієва із загальною жорсткістю 36,5 ммоль/дм³. У воді хвостосховищі ЦГЗК визначається підвищений вміст заліза – 0,32 мг/дм³ (1,1 ГДК) і броду – 2,52 мг/дм³ (12,6 ГДК).

Хвостосховище **Інгулецького ГЗК**, на відміну від усіх інших хвостосховищ Кривбасу, не належить до комбінованого рівнинно-балкового. Хвостосховище Інгулецького ГЗК – рівнинного типу. Розрахункова ємність хвостосховища ІнГЗК (за проектом ГИ «УкрНИИВодоканалпроект» 2011 р.) збільшилася від позначки 141,40 до позначки 147,00 м і складає 15,89 млн. м³. Позначка гребню мулистої насипної греблі ставка оборотного водозабезпечення зберігається на рівні біля 98,00 м.

Схема збагачення залізистих кварцитів на ІнГЗК передбачає декілька технологічних етапів, а саме: дроблення в 3 – 4 стадії, 3 стадії подрібнювання, 4 – 5 стадій магнітної сепарації та флотаційну доводку. Останній етап збагачення – обернена катіонна флотація є унікальним для криворізьких ГЗК методом, що дозволяє доводити концентрат із бідних руд до 67,0 та більше відсотків заліза. Але при цьому використовуються високо токсичні сполуки – флотореагенти, які за хімічною природою є аліфатичними амінами.

Основні характеристики хвостосховищ 1 та 2-черг станом на 01.01.2019 становлять: корисний об'єм (хвости + вода) 501,38 млн. м³ для 1- черги та 509,06 млн. м³ для 2-ї черги; площа хвостосховища – 318,91 га для 1- черги та 203,16 га для 2-ї черги; площа дзеркала води – 196,00 га для 1- черги та 90,00 га для 2-ї черги.

Скид кар'єрних вод за 2018 рік – 5,95 млн. м³ (10,10 млн. м³ за проектом). Зниження об'єму кар'єрних вод обумовлено виключенням з балансу вод, що використовуються у гірничих виробітках (гідрознепилювання, гідрозмив та інше).

У порівнянні із іншими хвостосховищами Кривбасу води хвостосховища ІнГЗК найменш засолені, належать до хлоридно-сульфатних магнієво-натрієвих. Аналіз поточної ситуації хімічного складу вод хвостосховища ІнГЗК (дані 2018-2019 рр.) свідчить про відносно стабільні хімічні умови (табл. 1.4). Загальна мінералізація визначена за сухим залишком коливається в межах 4 г/дм³ та

формується переважно за рахунок натрієвих, калієвих та магнієвих солей – сульфатів (до 1,5 г/дм³) та хлоридів (до 1,2 г/дм³). Жорсткість води значно перевищує нормативні величини, проте є нижчою ніж у водосховищах інших ГЗК та низці затоплених кар'єрів. Вміст сполук нітрогену нижчий від гранично допустимих. Проте, варто зазначити високий вміст органічних сполук (який можна оцінити за показником ХСК). Крім того, у воді хвостосховища періодично визначається изодецилоксипропиламин у концентраціях на рівні 0,03 мг/ дм³ та вище – флотореагент, який використовується для флотаційної доводки концентрату. Дана речовина належить до аліфатичних амінів – токсичних сполук (ксенобіотиків) із довготривалим періодом біодеструкції, надходження яких до природних гідроекосистем негативно позначається на усіх компонентах екосистеми.

Таблиця 1.4.

Показники хімічного складу води хвостосховища ІнГЗК за 2018-2019 рр.

Показники, М±m								
Cl ⁻ мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ мг/дм ³	Нітриди мг/дм ³	Нітрати мг/дм ³	Залізо загальне мг/дм ³	Сухий залишок мг/дм ³	Жорст- кість, мг-екв/л	ХСК, мг О/дм ³	БСК, мг О/дм ³
1125,5	1336,7	0,93	39,9	0,24	4088	28,29	51,7	27,7
±	±	±	±	±	±	±	±	±
113,7	241,6	0,68	12,2	0,27	372	2,69	16,3	29,5

Таким чином, масштабні техногенні перетворення геологічної системи басейну річки Інгулець призвели до трансформації природного стану її гідроекосистеми. Відчутно змінився гідрологічний режим та гідрохімічний склад вод Інгульця; змінився склад седименту, шляхи та форми його транспортування. Внаслідок зміни гідродинамічної активності та замулення річкової мережі, забруднення вод суттєво погіршився стан Карачунівського водосховища – джерела питного водопостачання м. Кривий Ріг та Криворізького району.

Територія басейну р. Інгулець характеризується трансформованим режимом підземних вод, які формуються під впливом як техногенних, так і природних чинників. Динаміка змін хімічного

складу води у р. Інгулець свідчать про невинне зростання рівня мінералізації води. Води Інгульця вище та нижче Карачунівського водосховища мають різні гідрохімічні типи, що пов'язано як з антропогенною складовою (підпитка водою із різних джерел), так і з техногенною. Стабільно високою є жорсткість води. З високою вірогідністю можна зазначити, що вміст головних іонів, величина мінералізації, жорсткість води у водних об'єктах Кривбасу значною мірою обумовлені техногенним впливом.

1.4. Аналіз гідрохімічного стану водоносних горизонтів в межах території гірничих відводів видобувних підприємств

Гідрогеологічні умови формування підземних вод в межах територій гірничих відводів видобувних підприємств Криворізького басейну обумовлені геолого-тектонічною будовою, фаціально-літологічним складом геологічних формацій, геоморфологічними, кліматичними і техногенними чинниками. Згідно з описом геологічних утворень на площі виділяється два структурних поверхні: нижній (докембрійський) – інтенсивно складчастий комплекс кристалічного фундаменту і верхній (мезо-кайнозойський) – платформний полого-залягаючий чохол. Виділені структурні утворення різняться геологічним розрізом, потужністю порід осадової товщі, наявністю куполоподібних і розломних структур, діабазових утворень, що ускладнюють гідрогеологічні умови робіт.

У межах Українського щита першорядне значення для водопостачання має водоносний горизонт тріщинуватих кристалічних порід. Велику роль для водозабезпечення населення сільської місцевості, на всій території відіграють води перших від поверхні водоносних горизонтів незважаючи на те, що вони характеризуються строкатим хімічним складом і, дуже часто, високою мінералізацією.

Найбільш детально вивчені гідрогеологічні умови території Криворізького залізрудного басейну і прилеглих до нього районів. Гідрогеологічні умови вивчалися на всіх стадіях розвідки родовищ Кривбасу і вивчені до глибин 700 – 2000 м.

Поодинокими геолого-розвідувальними свердловинами були розкриті обводнені зони тріщинуватих порід і тектонічних порушень на глибинах 150 - 200 м, та 250 - 300 м, що дозволяє

зробити висновки про залягання водоносних горизонтів кристалічних порід.

Основними одиницями гідрогеологічного розчленування є водоносні, слабо водоносні, водоносні локального поширення, водотривкі горизонти, товщі порід.

Водоносні і водотривкі товщі порід виділені за величиною проникності (за значенням коефіцієнту фільтрації K_f):

- водоносні (проникні) – коефіцієнт фільтрації більше 1 м/добу;
- слабо-водоносні (слабко-проникні) – $K_f = 1-0,01$ м/добу;
- водотривкі – $K_f = 0,001$ м/добу і менше.

За характером водоносності порід у просторі :

- водоносні (слабко-водоносні) по всій площі свого поширення;
- водоносні на окремих ділянках (локального поширення).

Водоносний (слабко-водоносний) горизонт – витримана обводнена товща порід з єдиною вільною або п'єзометричною поверхнею. Водотривкі породи – регіонально витримані у товщі відносно водонепроникних порід, які відокремлюють водоносні горизонти один від одного.

Згідно з гідрогеологічним заляганням, умовами залягання, ступеню збагачення водою, хімічному складу в досліджуваному районі виділяються наступні водоносні і водотривкі горизонти:

- водоносний горизонт в алювіальних нерозчленованих відкладах заплав річок та надзаплавних терас еоплейстоцену – неоплейстоцену – голоцену (aE-H);
- слабо водоносний горизонт в алювіально – делювіальних відкладах днищ балок верхнього неоплейстоцену – голоцену ($adP_{111} - H$);
- водоносний горизонт в елювіальних, елювіально-делювіальних, еолових та еолово-делювіальних нерозчленованих відкладах вододільних плато та схилів балок неоплейстоцену (e, ed, v, vd P_{1-111});
- водотривка товща строкатих глин верхнього міоцену, червоно-бурих глин пліоцену, еоплейстоценових і ніжньо-еоплейстоценових елювіальних та еолово-делювіальних відкладів ($N_{1sg} + e, vd E-P_1$);
- водоносний комплекс у відкладах міоцену (N_1);
- водотривка товща відкладів міоцену (N_1);

- водоносний горизонт у відкладах київського і обухівського регіоюрусів середнього-верхнього еоцену і межгірського регіоюрусу нижнього олігоцену (P_2kv+P_3mz);
- водотривка товща відкладів середньо-верхнього еоцену (товща вуглистих глин і бучакської серії) (P_2^{2-3});
- водоносний горизонт у відкладах бучацького регіоюрусу середнього еоцену ($P_2b\check{c}$);
- водоносний горизонт у тріщинуватій зоні кристалічних порід і корі їх вивітрювання ($AR - PR_2$).

Великий вплив на формування режиму підземних вод здійснюють гідротехнічні споруди (водосховища, хвостосховища), що штучно створені у природних балках.

Для досліджуваного району Криворізького залізорудного басейну суттєві порушення у розвитку природних умов зумовлені тривалим цілеспрямованим антропогенним впливом на один з основних компонентів ландшафту, яким є природні води. Господарська діяльність тут пов'язана як із сільським господарством, так і з розробкою корисних копалин відкритим способом, із промисловістю, будівництвом і благоустроєм міст, а також з іншими видами діяльності людини. Інтенсивність господарської діяльності безперервно зростає і протягом останніх десятиліть та нині досягла максимальних величин [71].

Гідрохімічні показники підземних вод мають строкатий характер особливо в районах впливу хвостосховищ підприємств Кривбасу, а саме Північного, Центрального, Південного гірничозбагачувальних комбінатів та "АрселорМіттал Кривий Ріг".

Рівень загальної мінералізації має значні коливання, проте води горизонту четвертинних відкладів у середньому більш засолені ніж води інших горизонтів. Мінімальне значення мінералізації у останні роки зафіксовано на рівні 0,4-06 г/ дм³, а максимальні відмічаються у свердловинах що розташовані на території, які прилягають до хвостосховищ ГЗК та становлять від 15,6 г/ дм³ до 22,44 г/дм³. Середній рівень загальної мінералізації на ділянках поруч із хвостосховищами у становить 6,34±1,25 г/ дм³. Високий рівень стандартного відхилення свідчить про значний розмах варіації даного показника.

Динаміка рівня засоленості підземних вод хоча і носить помірно строкатий характер, загалом має тенденцію до збільшення. Підземні

води розкриті свердловинами на промислових майданчиках гірничозбагачувальних комбінатів, в районі відвалів та поблизу хвостосховищ зазвичай більш засолені, ніж в районі житлових масивів та у заплаві річки Саксагань. Проте, на технологічних ділянках динаміка зростання загальної мінералізації більш помірна, ніж у заплаві р. Саксагань. Так, в межах впливу Північного ГЗК, у 2015 році рівень мінералізації підземних вод алювіальних відкладень на ділянці заплави Саксагані коливався від 0,8 до 8,7 г/дм³; у 2016 році – від 0,8 до 6,6 г/дм³; у 2017 – 0,4-12,6 г/дм³; у 2018 році – 0,7-9,5 г/дм³; та у 2019 – 0,76-12,3 г/дм³. Ці дані свідчать про поступове, але невпинне засолення підземних горизонтів, що розгружуються по балках поблизу річки та призводять до зростання рівня мінералізації ґрунтових вод, що в свою чергу призводить до засолення ґрунтів, а також до збільшення рівня мінералізації самої річки Саксагань.

За результатами досліджень, що були проведені у останні роки, вміст хлоридів у підземному горизонті четвертинних відкладень у лесовидних суглинках в районах промислових майданчиків гірничозбагачувальних комбінатів коливався від 0,7 ГДК (243,19 мг/дм³) до 18 ГДК (6314,35 мг/дм³). Вміст сульфатів, в тому ж підземному горизонті, коливався від 0,4 ГДК (191,04 мг/дм³) до 20,3 ГДК (10146,72 мг/дм³).

За типом вод (переважаючим аніоном), підземні води четвертинних відкладень у лесовидних суглинках в районі промайданчиків, майже в рівних долях відносяться як до сульфатно-хлоридних так і до хлоридно-сульфатних, лише в окремих свердловинах води належать до гідрокарбонатно-хлоридних. Головним катіоном вод скрізь є натрій.

Підземні води горизонту неоген-палеогенових відкладень та кори вивітрювання протерозой-архейських відкладень в районі промайданчиків демонструють значно меншу засоленість. Так, максимальні значення хлорид-аніону Cl⁻ визначені на рівні 3,4 ГДК (1193,60 мг/дм³); максимальні значення сульфат-аніону SO₄²⁻ – 4,9 ГДК (2427,84 мг/дм³).

В зоні розташування відвалів засоленість хлор-аніоном підземних вод також висока із значним розмахом варіацій від 0,3 ГДК (117,69 мг/дм³) у горизонті кори вивітрювання протерозой-архейських відкладень до 10,6 ГДК (3710,91 мг/дм³) у горизонті четвертинних

відкладень у лесовидних суглинках. Ще більш значний розмах варіацій має вміст сульфатів у підземних водах в районі розташування відвалів. Так, мінімально зафіксовані значення складають 0,1 ГДК (73,44 мг/дм³) у горизонті кори вивітрювання протерозой-архейських відкладень, а максимально зафіксовані значення становлять 13,6 ГДК (6784,80 мг/дм³) у горизонті четвертинних відкладень. Домінуючим типом вод в зоні розташування відвалів є сульфатно-хлоридні групи натрію-магнію.

В районі розташування житлових масивів та прилягаючих до них територій підземні води засолені помірно, максимальні значення хлорид-аніону визначено у горизонті неоген-палеогенового комплексу та становлять 2,2 ГДК (763,59 мг/дм³). Вміст сульфатів дещо вищий – максимальне значення – 5,3 ГДК (2629,44 мг/дм³) у горизонтах четвертинних відкладень.

Найбільший вміст солей у підземних водах серед усіх технологічних майданчиків було визначено для ділянок, що розташовані поруч із хвостосховищем Північного ГЗК. Цей район характеризується максимальними значеннями мінералізації – понад 22 г/дм³. Максимальні значення хлоридів було визначено в свердловинах, що розкривають четвертинні відкладення – 19,8 ГДК (6928,35 мг/дм³); натрій у цих же свердловинах сягає 15,4 ГДК (3072,57 мг/дм³), а загальна мінералізація перевищує 12,5 г/дм³. Максимальні значення сульфат-аніону зафіксовані у свердловині № 1076 четвертинних відкладень становлять 17,3 ГДК (8669,76 мг/дм³).

Найбільш потужний техногенний вплив за межами території підприємства ПРАТ «ПівнічГЗК» визначається в зоні заплави річки Саксагань. Так у горизонті делювіальних відкладів у свердловині № 1517 було зафіксовано значення хлоридів на рівні 14,8 ГДК (5168,81 мг/дм³), за рівня натрію у 14,5 ГДК (2892,02 мг/дм³) та загальному рівні мінералізації понад 9,5 г/дм³.

Окиснюваність вод пояснюється, головним чином, наявністю органічних сполук, тому є одним з непрямих методів визначення забруднення вод органічними та легко окиснюваними сполуками (сірководнем, сульфітами, залізом II). Показник окиснюваності води у водоймах не повинен перевищувати 30 мгО₂/дм³.

Показник окиснюваності вод, що визначався у водах свердловин в районі промайданчика ПівнГЗК демонструє надзвичайну варіативність (рис. 3). За середнього значення 64,17 мгО₂/дм³ розмах варіацій становить від 1,29 до 953,44 тобто із відмінністю у понад

700 разів. В районі розташування відвалів ПівнГЗК значення показника окиснюваності вод дещо нижчі у порівнянні із ділянкою проммайданчика, але також значно перевищують межі норми. Так, середнє значення визначено нами на рівні $48,89 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ при мінімальному значенні – $1,94 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, а максимальному – $743,36 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Також дуже високі значення окиснюваності підземних вод демонструє територія поблизу хвостосховища, за середнього значення показника $54,52 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, в окремих свердловинах окиснюваність сягає понад $1000 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ (у свердловині № 1076 окиснюваність становить $1292,8 \text{ мг/лO}_2$). На території житлового мікрорайону значення даного показника значно менші і в межах норми – $3,84 \pm 1,86 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Що стосується свердловин в районі заплави р. Саксагань – у більшості з них за показником окиснюваності води відносно чисті (середнє значення $2,49 \pm 0,66 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$), за виключення свердловини №1517, яка розташована в пониззі б. Петрикова, та окиснюваність вод якої становила $549,44 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ у 2018 році і вже $646,4 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ у 2019 році.

Активна реакція води (рН) визначається співвідношенням концентрацій протонів та гідроксильних іонів. Природні води здебільшого мають рН у діапазоні від 6,5 до 8,5. Проте активна техногенна діяльність значно розширює діапазон значень рН. Так, в районі проммайданчика за середнього майже нейтрального значення підземних вод ($7,06 \pm 2,02$) розмах коливань цього показника становив від 3,1 (св.№ 1126) до 10,44 (св.№ 15), тобто від кислоти до лугу. Майже аналогічна ситуація в районі розташування відвалів – мінімальне значення рН 2,75 визначалося у свердловині №2185, максимальне – 9,85 у свердловині № 2193. В районі житлового масиву вода помірно залугована – середнє значення рН підземних вод в цьому районі становить $7,77 \pm 1,17$. Тоді як в заплаві р. Саксагань підземні води помірно закислені (середнє значення рН $6,75 \pm 1,73$), причому є свердловини (№ 1517) в яких вода – кислота (рН 3). Активна реакція підземних вод розкритих свердловинами на території, що прилягає до хвостосховища аналогічна ситуації на проммайданчику – розмах коливань показника рН від 3,21 до 10,7, тобто від кислоти до лугу.

Аналіз вмісту та розподілу полютантів, що належать до I-III класу небезпеки визначив наявність та перевищення ГДК майже для всіх досліджуваних показників. Виключенням є ртуть (токсичний

важкий метал I класу небезпеки) та нікель (важкий метал II класу небезпеки) вміст яких у всіх досліджуваних пробах був нижчий за ГДК.

Так, що стосується Pb^{2+} (важкого металу II класу небезпеки), то його середній вміст у підземних водах свердловин становив $0,071 \text{ мг/дм}^3$, тобто в середньому 2,36 рази перевищував ГДК ($0,03 \text{ мг/дм}^3$). Проте, якщо проаналізувати ділянки впливу ПівніГЗК більш детально – отримаємо диференційовану картину. Більш забруднені цим поллютантом ділянки розташовані на проммайданчику (в середньому $0,084 \pm 0,045 \text{ мг/дм}^3$) із максимальним значенням у свердловині №1138 у $0,17 \text{ мг/дм}^3$ (5,67 ГДК); в районі відвалів середній вміст свинцю майже аналогічний – $0,089 \pm 0,046 \text{ мг/дм}^3$, проте відзначено свердловину із 7-кратним перевищенням ГДК (св. №2281). В районі житлового масиву середні значення вмісту Pb^{2+} знаходяться в межах 2 ГДК ($0,056 \text{ мг/дм}^3$), а найнижчі значення виявлено на ділянці заплави р. Саксагань – в середньому $0,053 \text{ мг/дм}^3$ (1,77 ГДК).

Вкрай негативним можна вважати вміст кадмію у підземних водах досліджуваного району. Кадмій – один з небагатьох елементів, що не виконує конструктивних функцій в людському організмі. Цей елемент і його сполуки є надзвичайно токсичними, навіть, у незначних концентраціях. Кадмій має властивість накопичуватись в організмах і екосистемах. Концентрації даного важкого металу – поллютанту II класу небезпеки в районі проммайдинчика у 12,1 рази перевищували ГДК ($0,001 \text{ мг/дм}^3$), в районі відвалів – у 15,2 рази. В водах свердловин розташованих в житловому масиві – у 10 разів, у заплаві р. Саксагань в 9 разів.

Вміст мангану у підземних водах (важкого металу III класу небезпеки) не має чітких залежностей. І навіть в районі проммайдинчика розмах варіації становить понад 2000 разів від 0,01 до 20 мг/дм^3 . Тобто від 0,1ГДК до 200 ГДК (свердловина 869). Майже аналогічна картина спостерігається і для свердловин в районі відвалів – розмах коливань вмісту Mn^{2+} становить 1600 разів від 0,01 до 16 мг/дм^3 . Значно нижчі рівні вмісту мангану зафіксовано для підземних вод в районі житлового масиву – максимальне значення $0,44 \text{ мг/дм}^3$ (4,4 ГДК). Що стосується заплави р. Саксагань, то вміст мангану в підземних водах цієї території в середньому вищий за житловий масив і нижчий за технологічні ділянки. Виключенням є

свердловина № 1517 – вміст мангану в ній в 220 разів перевищує ГДК – тобто є найбільшим, серед усіх обстежених свердловин. Варто зазначити, що води в цій свердловині не відповідають нормам за жодним з досліджуваних показників.

Аналіз результатів сполук нітрогену у підземних водах розкритих свердловинами в зоні впливу ПРАТ «ПівніГЗК» свідчить про відносно стабільну ситуацію. Виключенням є точкові забруднення. Так, вміст нітратів (NO_3^-) у підземних водах у переважній більшості знаходиться в межах ГДК. Проте окремі точкові забруднення мають місце: свердловина №2189 в районі відвалів – вміст нітратів $264,16 \text{ мг/дм}^3$ (5,87 ГДК); свердловина № 1517 в районі заплави р. Саксагань – $63,87 \text{ мг/дм}^3$ (1,5 ГДК). Що стосується нітритів (NO_2^-), які є більш небезпечними для біоти, перевищення ГДК зафіксовано в жилмасиві – свердловина № 2218 – $11,52 \text{ мг/дм}^3$ (3,5 ГДК), та в славнозвісній свердловині №1517 в районі заплави Саксагані – $23,47 \text{ мг/дм}^3$ (7,1 ГДК).

Жорсткість води, або її твердість, обумовлюється вмістом у природних водах іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} . Хоча солі кальцію та магнію і не є особливо шкідливими для організму, але їх наявність у великих кількостях робить воду малоприсадною для господарсько-питного водопостачання, а також для промислових цілей. Показник загальної жорсткості підземних вод повсюдно значно перевищує допустимі норми. Так, в районі проммайданчика середні значення цього показника становлять $27,78 \pm 29,41 \text{ мг-екв/дм}^3$ (велике стандартне відхилення свідчить про значний розмах варіацій), а максимум – $94,0 \text{ мг-екв/дм}^3$. Для ділянки відвалів значення цього показника аналогічно високі – $28,05 \pm 19,91 \text{ мг-екв/дм}^3$ за максимальної величини – $80,0 \text{ мг-екв/дм}^3$. Дещо менші, але також в 4 рази в середньому перевищуючи норму є значення жорсткості води в районі жилмасиву – $20,30 \pm 10,62 \text{ мг-екв/дм}^3$ (при максимумі $38,0 \text{ мг-екв/дм}^3$). Підземні води заплави р. Саксагань мають середню жорсткість на рівні $17,0 \pm 8,6 \text{ мг-екв/дм}^3$ та максимальне значення у свердловині №1517 – $28,0 \text{ мг-екв/дм}^3$.

Аналіз гідрохімічного стану водоносних горизонтів в межах територій гірничих відводів видобувних підприємств Криворізького басейну показав існування тісного взаємозв'язку між підземними та поверхневими водами, який обумовлює особливості хімічного складу ґрунтових вод і зв'язаного з ним гідравлічними вікнами

водоносного комплексу міоцену та водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід. Хімічний склад підземних вод водоносного горизонту неоплейстоцену, водоносного комплексу міоцену залежить від хімічного складу поверхневих вод техногенного генезису.

Найбільш значущий вплив на гідрохімічний стан підземних вод простежуються в районах промислових майданчиків гірничозбагачувальних комбінатів, відвалів та біля хвостосховищ. На решті території м. Кривий Ріг основні інфільтраційні втрати, з техногенних водойм, частково перехоплюються дренажними спорудами, що знижує вплив вод техногенного генезису на гідрохімічний стан підземних вод.

1.5. Загальна характеристика типових техногенних змін взаємодії поверхневого і підземного стоку в гірничодобувних районах

До чого може дійти не контрольовані техногенні зміни взаємодії поверхневого і підземного стоку в гірничодобувних районах ми розглянемо на прикладі Донбасу. Головними факторами, які визначають екологічний стан його території, є:

- порушення геомеханічної та гідргеофільтраційної рівноваги породного масиву внаслідок ведення гірничих робіт з вилученням великих об'ємів мінеральної сировини, формуванням значної кількості скидів забруднених підземних вод у місцеву річкову мережу (до 800 млн. м³/рік) та парникових газів (до 6 млрд. м³/рік), руйнування регіональних водотривів та розвиток водопроникних зон техногенної тріщинуватості;
- накопичення відходів гірничодобувного і переробного комплексів;
- порушення гідргеологічного і гідрологічного режимів території, формування на великих площах (до 7-8 тис. км²) зон осідання земної поверхні (2-7 м) з наступним уповільненням поверхневого стоку;
- геохімічне забруднення водозбірних ландшафтів річкових басейнів вуглепромислової зони Донбасу та зростання транскордонної міграції забруднень у напрямку РФ та басейну Азовського моря.

Всі інші фактори (розвиток небезпечних геологічних процесів, забруднення приземної атмосфери, ґрунтів, скорочення

біорізноманіття, тощо) у більшості гірничодобувних районів Кривбасу та Донбасу є похідними від цих чотирьох.

Найбільші еколого-техногенні, перш за все, водно-екологічні, соціально-економічні та техногенні загрози для населення виникають при екологічно незбалансованому закритті вугледобувних підприємств у зв'язку з прискореним затопленням гірничих виробок, підйомом рівнів та забрудненням місцевих підземних та поверхневих джерел питно-господарського водопостачання за межами гірничих відводів, додатковими деформаціями земної поверхні, посиленням висхідної міграції забруднених мінералізованих вод та вибухонебезпечних і токсичних газів (метан, радон, сірководень і ін.), що пов'язано з порушенням регіональних водотривких (слабопроникних) шарів. При цьому у зону активного водообміну можуть потрапляти поверхневі осередки забруднення ґрунтів (полігони промислових і побутових відходів), поверхневого стоку і ґрунтових вод, які здатні активно рухатися до річок і поширювати зону водно-екологічного ризику.

Практичним наслідком цього є зростаючі загрози виведення з ладу поверхневих і підземних систем питного водопостачання, підтоплення та руйнування житлових і промислових об'єктів і комунікацій (у тому числі екологічно небезпечних – нафтогазотрубопроводів, хімічних підприємств, тощо), ускладнення умов сільськогосподарської діяльності у межах річкових басейнів р.р. Саксагань, Інгулець, Сіверський Донець та ін. Некерований розвиток цих процесів, які у гірничодобувних районах України здебільшого носять незворотний характер, в т.ч. за умови додаткового впливу ускладнюючих факторів збройного конфлікту на Сході, глобальних змін клімату та ін., призвело до розвитку екологічної катастрофи, наслідки якої будуть мати надзвичайно довготерміновий і регіональний (транскордонний) характер.

При цьому виконаний аналіз довгострокових змін екологічних параметрів різноманітних ПТГС Кривбасу, Донбасу та інших ГДР дозволяє дійти висновку про провідний характер впливу в сучасних умовах техногенезу геологічного середовища (ГС) та річкових басейнів, як регіональних дрен техногенно переформованого шахтно-кар'єрним водовідливом підземного потоку.

Основні фактори техногенних змін екопараметрів ГС і річкових басейнів (РБ) ГДР України за умови пост-майнінгу:

- хімічне забруднення ландшафтів;
- значне зниження рівнів підземних вод, підробка поверхневих водоймищ (до 600 випадків у Донбасі з різним рівнем перехоплення поверхневого стоку);
- скидання у річкову систему високомінералізованих агресивних шахтних вод;
- прискорення екзогенних геологічних процесів (зсуви, карст, підтоплення), розвиток просідань денної поверхні з ускладненням інженерно-геологічного стану житлових і промислових об'єктів;
- зниження інженерно-сейсмологічної стійкості породних масивів під впливом зростання рухомості порід в зонах їх підробки гірничими виробками, прояві гідромеханічних поштовхів, та інше;
- створення великої кількості териконів, фільтруючих накопичувачів, полігонів відходів, які є також джерелом забруднення водних ресурсів, ґрунтів та приземного повітря.

Найбільш динамічні зміни екопараметрів ГС та РБ Кривбасу та Донбасу пов'язані з значними притоками підземних вод в гірничі виробки, загальний обсяг скидання яких у річкову мережу при максимальному розвитку гірничодобувних робіт складав близько 27,0 м³/с (1990 р.), При регіональному об'ємі природних водних ресурсів біля 12,0 м³/с це свідчило про активне дронування поверхневих водних джерел і гідравлічний взаємозв'язок шахт, еар'рів та поверхневих природних і техногенних водних об'єктів між собою. Наприклад, при середній солоності шахтних вод близько 3,6 г/дм³ це обумовлює солейнос переважно у басейн р. Сіверського Донця на рівні 2,7 млн т/рік, що суттєво активізує забруднення транскордонного річкового стоку у басейні Дону (РФ) та Азовського моря.

В умовах збройного конфлікту поверхневі водні об'єкти, в першу чергу басейну Сіверського Донця, якій є головним джерелом питного та господарського водопостачання (40-80% місцевого водоспоживання), мають значні загрози небезпечного погіршення екологічного стану (рис. 1.10).

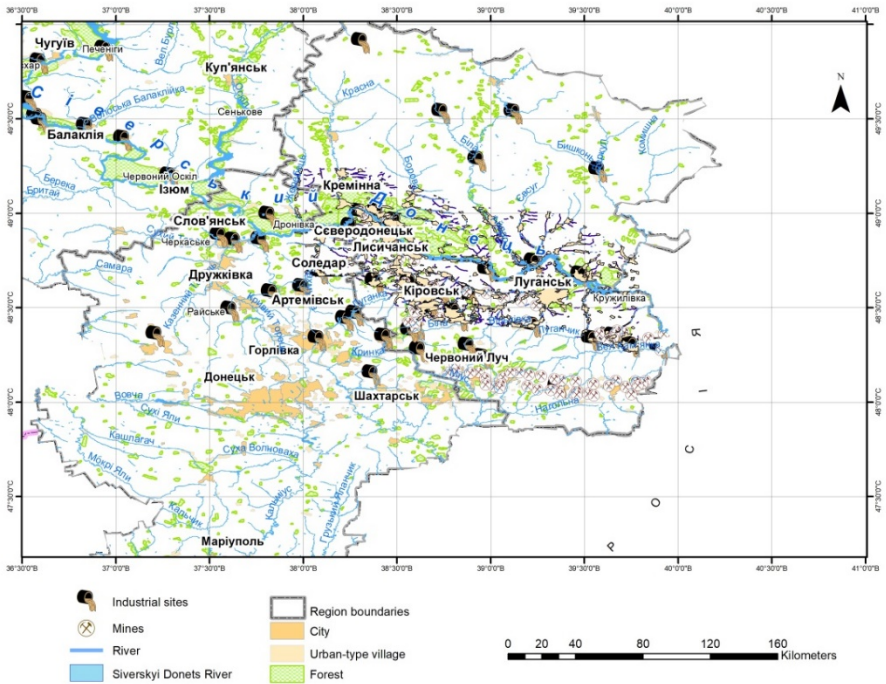


Рис. 1.10. Техногенне навантаження на басейн р. Сіверський Донець.

Оцінка екологічного стану резервних джерел питного та господарського водопостачання населення Донецької і Луганської областей, на підконтрольній та непідконтрольній українському уряду територіях, є вкрай важливою, оскільки обумовлена активним використанням місцевим населенням локальних незахищених від забруднення шахтних колодязів, свердловин і джерел за межами центральної системи водопостачання.

Авторами було розроблено індикативну схему проведення експрес-досліджень в даному регіоні, що дало змогу оцінити найбільш вразливу ланку, яка є критичною для екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності.

Важлива компонента відзначити роль сучасних технологій, а саме використання контактних, дистанційних методів моніторингу та геоінформаційних технологій (ГІС).

На основі інтегрованих в ГІС геоданих, авторами побудовано

моделі динаміки забруднень поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець.

Для побудови моделей просторового розподілу забруднень та оцінки якості поверхневих вод авторами було використано геостатистичні методи, що дозволили отримати інтерполяційну поверхню значень рівня забруднення та побудувати відповідні карти імовірності зміни якості поверхневих вод всього басейну та території в цілому.

Додатково вищенаведені оцінки дозволяють дійти висновку, що перетворення водно-екологічних параметрів природно-техногенних геосистем (ПТГС) «гірничодобувний комплекс–підземна та поверхнева гідросфера» за умови сучасного автореабілітаційного затоплення шахт Донбасу та, частково, Кривбасу має значну складність і невизначеність при впровадженні заходів пост-майнінгу. Переважно це обумовлене тим, що площі підйому рівнів підземних вод у 5–10 разів і більш перевищують площі гірничих робіт, що формує динамічне переформування рівнів і хімічного складу підземних вод та їх перетоків у гідрографічну мережу.

На наш погляд, в сучасних умовах соціально-економічної та еколого-техногенної реструктуризації надрокористування у Донбасі та Кривбасі найбільші водно-екологічні загрози безпеки життєдіяльності для значної частини населення регіону (більше 50 %) виникають при закритті гірничодобувних підприємств без достатнього комплексу захисних і еколого-стабілізуючих заходів. Враховуючи складну просторово-часову структуру факторів змін екопараметрів ГС та поверхневого стоку Кривбасу та Донбасу нами була обґрунтована шкала екологічного впливу початкової фази пост-майнінгу вуглепромислової зони на стан життєзабезпечуючих складових доквілля (літосфери, гідросфери і ін.).

Виконані авторські оцінки засвідчили, що в найбільшому за площею і глибинами гірничодобувних робіт регіоні Донбасу екологічно критичні наслідки автореабілітаційного затоплення шахт («мокра консервація») пов'язані з відсутністю створення насосно-гідралічної системи по утриманню рівнів підземних вод на екологічно оптимальних глибинах нижче регіонально проникної кори вивітрювання вугленосних порід (за досвідом держав ЄС – 250–350 м.). Даний підхід виключає активне латеральне розтікання забруднених і мінералізованих шахтних вод та їх перетік у вищезалігаючі прісноводні горизонти та поверхневі водотоки.

Досвід свідчить, що при цьому у більшості ГДР також відбувається підйомом рівнів підземних вод за межами гірничих відводів, додаткове просідання поверхні, посилення міграції забруднених мінералізованих вод до підземних і поверхневих джерел водопостачання та вибухонебезпечних і токсичних газів до житлової і промислової забудови, що переважно пов'язано з тектонічними та техногенними порушеннями водотривких шарів [85, 98].

Приймаючи до уваги вищенаведені порівняльні характеристики взаємодії підземного і поверхневого водних потоків при затоплення вугільної шахти Донбасу нами була розроблена "Схема переходу техногенно-геологічної системи "гірничодобувний комплекс-геологічне середовище" у фазу пост-майнінгу" (см. рис. 1.11).

Вищенаведені оцінки свідчать, що порушення рівноважного геомеханічного стану надр, рівневого і гідрохімічного режиму підземних і поверхневих вод та деформації земної поверхні за умови автореабілітаційного затоплення шахт ("мокрої" консервації) є головними факторами розвитку потенційних водно-екологічних небезпек та ризиків надзвичайних ситуацій водно-екологічного походження.

В цілому результати виконаного аналізу змін водно-екологічного стану розвинених («старих») гірничодобувних районів Донбасу з урахуванням досягнутих ними до переходу у фазу пост-майнінгу критичних техніко-економічних параметрів природо-ресурсного потенціалу дозволяє дійти висновку щодо можливості часткової реалізації відповідних заходів щодо підвищення водно-екологічної безпеки життєдіяльності.

Головним чином це пов'язано з незворотним порушенням рівноважної природної взаємодії підземної і поверхневої складових гідросфери регіону Донбасу) внаслідок вилучення великих об'ємів вуглепородних мас з руйнуванням регіональних водотривів та річкових долин, осіданням на великих площах земної поверхні, геохімічним забрудненням поверхневих і підземних водозбірних ландшафтів, обрушенням вміщуючих і покрівних порід.

В цьому плані, на нашу думку, показовим виглядає порівняння рівнів відновлення еколого-захисних функцій геологічного середовища (переважно ґрунтів та порід зони аерації) та поверхневої гідросфери (донні відклади) Зони відчуження ЧАЕС та зони впливу затоплення шахт Центрального району Донбасу (рис. 1.12, табл.1.5).

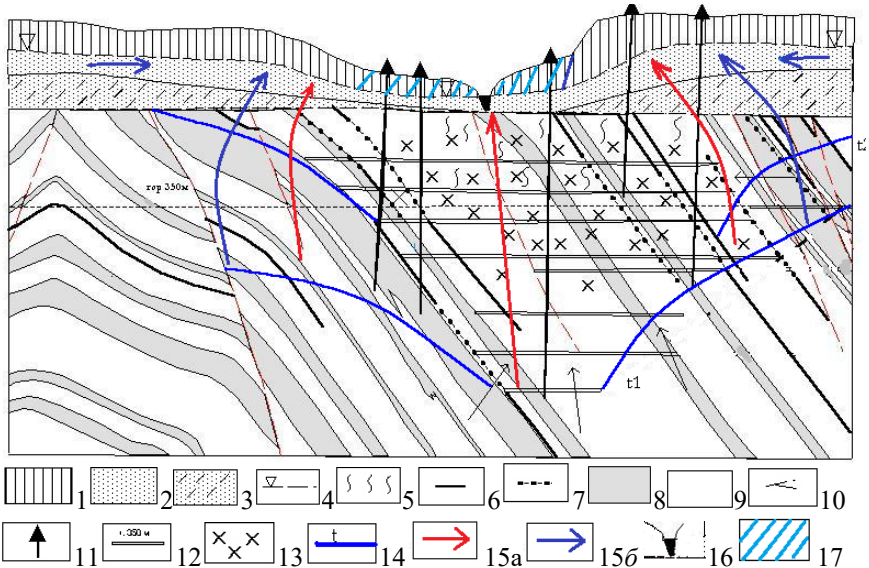


Рис. 1.11. Принципова схема формування взаємодії підземного і поверхневого водних потоків при затоплення вугільної шахти Донбасу.

Умовні позначення: 1 - зона низхідної ненасиченої фільтрації (зона аерації); 2 - зона розповсюдження ґрунтових вод; 3 - слабопроникні породи підшови ґрунтового водоносного горизонту; 4 - рівень ґрунтового водоносного горизонту; 5 - зона розвитку регіональної водопроникної тріщинуватості у покривній частині вугленосних порід (область латеральної фільтрації); 6 - вугільні пласти; 7 - відроблені вугільні пласти; 8 - пісковики; 9 - алевроліти; 10 - тектонічні порушення; 11 - наземні шахтні споруди; 12 - підземні гірничі виробки; 13 - зони техногенної тріщинуватості; 14 - рівень підземних вод глибоких горизонтів при затопленні шахти на різні періоду часу (t); 15a - напрями руху мінералізованих підземних вод; 15б - напрями руху підземних вод при затопленні шахт (радіальні та латеральні потоки); 16 - річкове русло (регіональна дрена підземних вод); 17 - ділянки підтоплення та активного осідання поверхні.

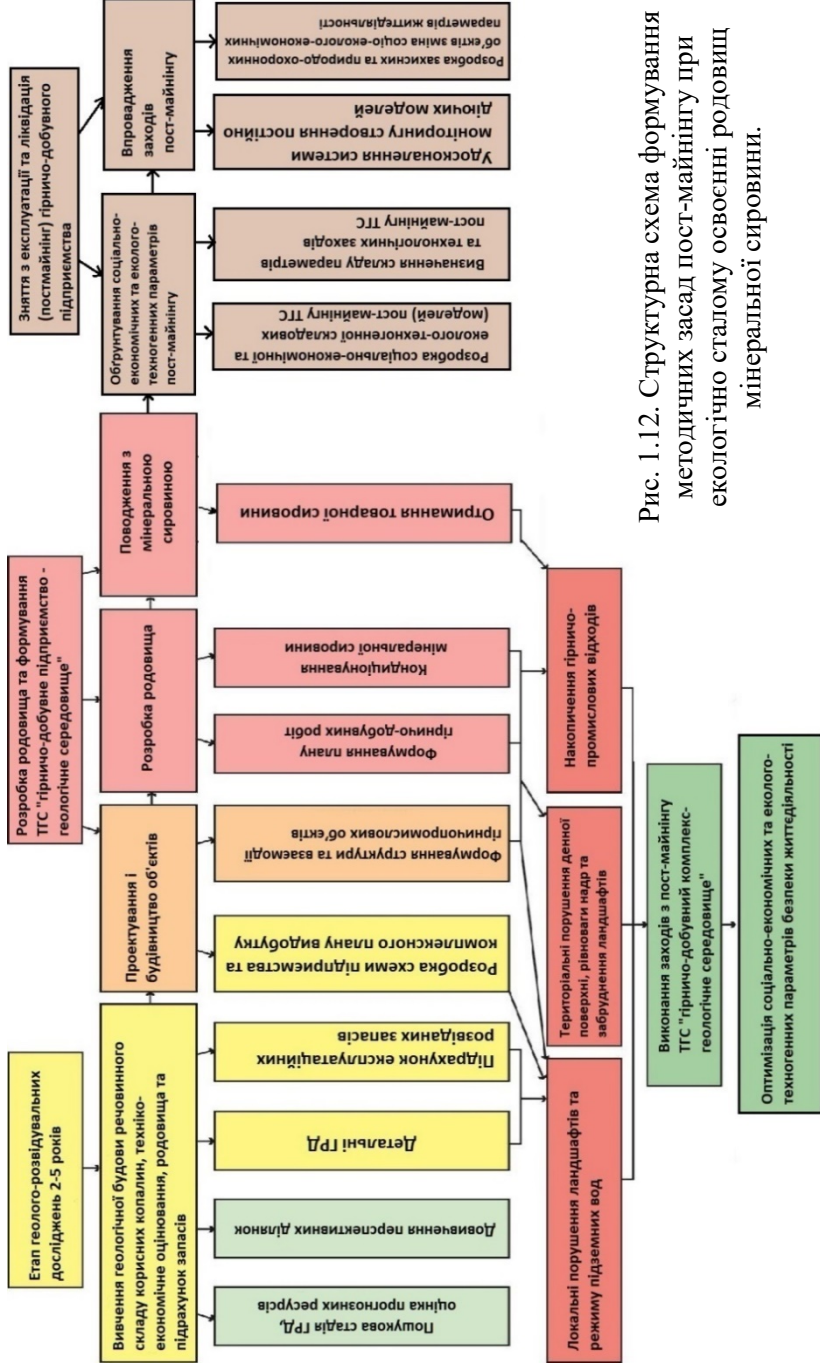


Рис. 1.12. Структурна схема формування методичних засад пост-майнінгу при екологічно сталому освоєнні родовищ мінеральної сировини.

Таблиця 1.5.

Співставлення небезпечних техногенних змін екологічного стану геологічного середовища зони впливу Чорнобильської АЕС та території масового закриття шахт у Донбасі

Види змін екологічного стану геологічного середовища	Фактори техногенного впливу на геологічне середовище		Заходи щодо попередження або зменшення небезпечних змін Геологічного середовища
	Зона аварійного впливу Чорнобильської АЕС	Зона впливу масового закриття шахт у Донбасі	
1. Ландшафтно-геохімічне забруднення	Автореабілітаційне очищення (до 90 %)	Незворотне регіональне забруднення ґрунтів та донних відкладів	Моніторинг геохімічного стану ґрунтів (донних відкладів); аргобстрілів
2. Літосферні – порушення геомеханічної рівноваги	Відсутність змін верхньої зони ГС	Руйнівні осідання денної поверхні	Моніторинг зон деформації поверхні
3. Гідрологічні: регіональне забруднення поверхневого стоку	Короткочасне радіонуклідне забруднення поверхневого стоку	Регіональне стійке забруднення поверхневого стоку	Розширення моніторингу поверхневого стоку вод
4. Гідрогеологічні: небезпечне забруднення та виснаження підземних вод)	Слідів надходження радіонуклідів в ґрунтові горизонти	Регіональне забруднення та виснаження підземних вод	Обстеження групових підземних водозаборів та поодиноких свердловин

Продовження табл. 1.5.

Види змін екологічного стану геологічного середовища	Фактори техногенного впливу на геологічне середовище		Заходи щодо попередження або зменшення небезпечних змін Геологічного середовища
	Зона аварійного впливу Чорнобильської АЕС	Зона впливу масового закриття шахт у Донбасі	
5. Газогеохімічний (забруднення приземного шару атмосфери)	Короткочасне забруднення радіонуклідами та аерозолями	Зростаюче забруднення приземної атмосфери	Газогеохімічне обстеження території і крупних тектонічних зон
6. Інженерно-геологічний (порушення рівноваги та міцності порід підрунтя)	Практична відсутність змін інженерно-геологічних умов	Регіональне порушення цілісності породного масиву)	Відновлення моніторингу ПТГС промислової і житлової забудови
7. Сейсмо-інженерно-геологічний	Сейсмо-інженерно-геологічні умови стабільні	Зниження інженерно-геологічної стійкості (техногенні землетруси при затопленні шахт)	Створення мережі сейсмогеофізичних спостережень в місцях затоплення шахт

Із даних, наведених у табл. 1.5 слідує, що екологічний стан геологічного середовища у складі будь-якої ПТГС є визначальним параметром відновлення природно-ресурсного потенціалу і формування водно-екологічних факторів безпеки життєдіяльності.

Вищезазначені оцінки свідчать, що комплекс еколого-техногенних та соціально-економічних заходів пост-майнінгу у більшості ГДР Донбасу та Кривбасу може мати частковий характер, враховуючі незворотність більшості змін екологічних параметрів геологічного середовища та поверхневої гідросфери, що відбулися або знаходяться у стадії активного розвитку [85, 98]. При цьому внаслідок комплексних порушень рівноваги надр при вилученні великих об'ємів рудно-породної сировини і створенні «дефіциту маси» у верхній зоні літосфери практично у всіх розвинених ГДР України на стадії пост-майнінгу втрачається більша частина екологічних функцій геологічного середовища (ландшафтно-геохімічних, водно-екологічних, інженерно-геологічних та ін.).

В цілому етап формування засад та розвитку політики пост-майнінгу ГДР України, з урахуванням мінімізації остаточних порушень екопараметрів поверхневої і підземної гідросфери як провідних факторів безпеки життєдіяльності місцевого населення, уявляється стратегічним науково-технологічним і соціально-економічним завданням, враховуючи провідну роль мінерально-сировинних ресурсів у формуванні ВВП та забезпеченні ресурсно-енергетичної безпеки держави.

Глава 2.

МІНЕРАЛОГІЯ ТЕХНОГЕНЕЗУ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ ТА ЙОГО ОТОЧЕННЯ

Теоретичною базою для проведення мінералого-геохімічних досліджень у гірничодобувних регіонах послужили роботи з екологічної мінералогії С.О. Довгого і В.І. Павлишина [19, 76, та ін.]. За їх висновками, мінеральна речовина, перш ніж залучиться у фізіологічний процес, обов'язково руйнується, тобто переходить в іонну або молекулярну форму. Дія мінералів на живий організм (дистанційна, дотикова, пневмонічна, харчова), звичайно, має негативні фізіологічні та спадкові наслідки. Токсичними за певних умов стають мінерали, які містять такі елементи: As, Sb, Hg, Ba, B, Cd, Co, Cu, Pb, Mo, Ni, Se, Tl, Be, U, V, Zn, Cr, Te, In, Bi, F, Al, Sr, S. Виділено три групи мінеральних родовищ України: а) хімічно токсичні родовища; б) родовища радіоактивних мінералів; в) родовища, шкідлива дія яких пов'язана з підвищеною твердістю або особливою морфологією їх мінералів. Мінералогічні дослідження є важливою складовою екологічного вивчення територій пост-майнінгу, які дають більш глибоко розуміння про джерела і міграцію забруднень.

Виходячи з аналізу геологічних даних, накопичених по регіону досліджень, і сучасної екологічної ситуації, вміст і розподіл мінералів і хімічних елементів на території пост-майнінгу Кривого Рогу в ґрунтах має визначатися, головним чином, відсотковою часткою у них матеріалу: а – кори вивітрювання гранітоїдів і порід зеленокам'яних поясів Середнього Придніпров'я та порід криворізької серії; б – продуктів відходів збагачення залізних руд на ГЗК і осадів, сформованих при скиді високомінералізованих шахтних вод і технічних вод підприємств; г – матеріалу шлаків і димів металургійних підприємств, привнесеному вітром; д – продуктів перетворення побутових відходів. Просторова картина поширення техногенних геохімічних потоків при видобутку і переробці мінеральної сировини найчіткіше визначається за зміною хімічного складу тих природних середовищ, які надовго депонують забруднюючі речовини. Це, насамперед ґрунти і донні осади річок і водойм.

2.1. Еколого-літологічні зміни поверхневих водойм Криворізького басейну під впливом техногенних чинників

Сучасні технології збагачення залізних руд неможливі без утворення відходів виробництва у вигляді «хвостів» збагачення із подальшим складуванням їх у спеціальних резервуарах – хвостосховищах, у які вони подаються у вигляді водяної пульпи. Сьогодні у хвостосховищах Дніпропетровської області акумульовано близько 2,7 – 3 млрд. м³ відходів збагачення руди, з яких понад 2 млрд. м³ – у Кривбасі. В хвостосховищах накопичуються іноді величезні кількості (до сотень і десятків тисяч тон) відпрацьованого рудного матеріалу, а площа, яку вони займають, сягає десятків, сотень квадратних кілометрів. Всі процеси, які відбуваються з рудами в зоні гіпергенезу, не припиняються, а підсилюються у хвостосховищах завдяки зростаючому механічному впливу й доступу кисню та води. Відбувається специфічне мінералоутворення, пов'язане з технологічними розчинами. Там, де технологічні розчини не перероблюються, вони потрапляють у поверхневі водойми [41]. В результаті у складі осадку річок, що протікають даною територією, постійно зустрічаються продукти техногенного походження: часточки металургійних шлаків, шламів, хвостів збагачення та інших відходів. На півдні Криворізького залізорудного басейну алювій річки Інгулець перетворений на рудну граувакку – середньодрібнозернисті піски від темно-сірого до чорного кольору, що складаються з уламків магнетитових кварцитів і сланців. На відміну від часточок гематитових кварцитів та бурих залізняків, що надходять з кори вивітрювання, в даних породах магнетит переважає над гематитом і гетитом, і вони мають чітко виражені магнітні властивості.

Техногенні відклади широко представлені в межах території розташування гірничо-металургійного комплексу Кривбасу, що трансформована позитивними й негативними техногенними формами рельєфу (видобувні залізорудні кар'єри, відвали гірських порід, тощо) [33]. Відклади утворилися внаслідок промислової діяльності людини і представлені суглинками із включенням ґрунтового шару й жорствою потужністю до 4,2 м, а в межах відвалів і шламосховищ – відходами виробництва і шламами потужністю до декількох десятків метрів. В шламосховищах зберігаються 2,3-

2,6 млрд. т дрібнодисперсних, абразивних шламів. Швидкість їх накопичення складає 50-70 млн. т/рік. Потужність алювіального шару заплави коливається від 3,5 до 9,0 м. Щорічні обсяги скидання техногенних вод складають біля 15-30 млн.м³ з мінералізацією 6-8 г/л. Після проходження весняної повені в травні проводиться промивання річкового русла пропусками чистої води з Карачунівського водосховища [4, 69].

У відвалах Кривбасу накопичено більш як 5 млрд. т гірської маси, складеної осадовими породами, матеріалом скельного й пухкого розкриву, некондиційними різновидами залізних руд, сланцями, кварцитами, амфіболітами, мігматитами, тощо.

Діяльність промислових підприємств суттєво змінила геоморфологію долини р. Інгулець будову і склад річкового алювію. У басейні річки у районах, в яких діють гірничо-збагачувальні комбінати, відбуваються корінні зміни усіх елементів ландшафту, що спричиняє розвиток специфічних геохімічних процесів, які впливають на хімічний склад води водних об'єктів техногенного і природного походження.

Донні осадки річок, які є елементом верхньої частини розрізу літосфери та нижньою частиною гідросфери, несуть інформацію про будову, склад, умови формування річкових долин та водозбірної території. У зонах значного антропогенного впливу, на територіях промислових та, особливо, гірничо-видобувних центрів, до природних джерел седиментаційного матеріалу у великих обсягах додається техногенний, який надходить із стічними водами, поверхневим стоком, шляхом безпосереднього переміщення до річкового русла матеріалу, складованого у береговій зоні. При цьому техногенна складова включається у загальні цикли міграції та седиментації осадової речовини. Алювіальні осадки у зонах техногенного впливу та нижче за течією – це сукупність часток природного та неприродного походження [65, 68].

Гідрологічна мережа Криворіжжя представлена річкою Інгулець та його притокою – р. Саксагань, а також великими балками й водотоками (балками Червона, Лозуватка, Грушевата, Кобильна та інші). В басейні р. Інгулець, у районах, в яких зосереджені гірничо-збагачувальні комбінати, відбуваються корінні зміни усіх елементів ландшафту, що спричиняє розвиток специфічних геохімічних процесів, що впливають на хімічний склад води та донних осадків.

Північний регіон Кривбасу. Результати визначення літологічних характеристик донних осадків поверхневих джерел у зоні впливу ПРАТ «ПівнГЗК» свідчать про відмінності властивостей осаду в залежності від точки в якій вони відбиралися: балка, річка чи ставок. Слід зазначити, що проби у цих зонах відрізнялися за зовнішнім виглядом, характером включень, кольором, щільністю, пластичністю, запахом. Наявність твердих включень (наприклад, щебню) залежала від відстані до дороги чи проммайданчиків. Так, для всіх проб характерна наявність великої кількості органічної речовини, детриту, подекуди у пробах містяться суглинки. Проби здебільшого інтенсивного чорного кольору із подекуди різким запахом аміаку та сірководню.

За гранулометричним складом проби донних осадків помітно відрізнялись в залежності від місця відбору. Так, у балках переважала псефіто-псамітова фракція осаду, тоді як у водотоках, що були розташовані у безпосередній близькості до хвостосховища, або витікали з нього домінувала пелітова фракція. Пояснити це можна наявністю спеціальних «пасток» для крупної фракції техногенного матеріалу, що може надходити від виробничих джерел.

Розподіл кількості матеріалу за розміром часток у пробах, що характеризують різні водотоки навколо Північного ГЗК (табл. 2.1), дозволяє виявити вплив техногенного фактору на склад донних осадків. У цілому, середній розмір часток обумовлений речовим складом проби, співвідношенням піщаної та мулистої складової.

Усереднені показники гранулометричного складу свідчать, що алевритова фракція чітко визначена лише у осадках р. Саксагань. У трьох місцях відбору проб, а саме: тальвезі балки біля с. Чабаново (Т.1.6), ставку поблизу с. Калинівка (Т.1.7) та тальвезі балки Петриківська (Т.1.8) – домінує пелітова фракція. Значну частину матеріалу проб складають адсорбовані на рослинних рештках солі (карбонати, хлориди, сульфати). Крім того у цих пробах відзначено високий відсоток мушлевого детриту.

Питома щільність осадків водотоків, що знаходяться в радіусі впливу ПівнГЗК змінюються у діапазоні від 2,10 до 2,41 г/см³. Зазначенні значення у середньому дещо нижчі за типово річкові. Це свідчить про розмив ґрунту та значне надходження його до водотоку.

Таблиця 2.1.

Класифікація донного осадку за розміром, %

Місця відбору проб	Гранулометричні фракції			
	Псефіти, (>2 мм)	Псаміти, (2-0,1 мм)	Алеврити, (0,1-0,05 мм)	Пеліти, (<0,05 мм)
Точка 1.1 Б.Північна Червона	37,69	27,64	3,44	31,24
Точка 1.2 Б.Грядкувата	21,57	37,48	2,40	38,55
Точка 1.3 Р.Саксагань	2,66	42,15	25,66	29,53
Точка 1.4 Б.Приворотна	3,06	42,40	2,05	31,24
Точка 1.5 Б.Петрикова	32,11	44,23	5,26	38,55
Точка 1.6 Б.біля с.Чабаново	1,74	18,90	4,80	74,56
Точка 1.7 Ставок біля с. Калинівка	2,77	14,56	0,46	82,21
Точка 1.8 Б.Петриківська	2,04	9,11	1,60	87,25
Точка 1.9 Б.Петриківська	50,67	15,95	5,76	27,62

Наявність магнітних часток у пробах відображає техногенну складову, оскільки такі частки представлені переважно шламами збагачення або часточками, що надходять аеротехногенним шляхом із пилом. Вміст магнітного продукту в пробах складає в середньому 2,2 % від загальної маси проби.

Сумарний вміст водорозчинних солей у пробах донних осадків визначено за сухим залишком у водній витяжці. Найменший вміст солей нами визначено у точці, що відповідає ставку у верхів'ї б. Приворотна, а найбільший вміст солей – у балці Петриківська. Також великий вміст солей визначено у балці Петрикова (Т.1.5) та у балці біля с. Чабаново (Т.1.6). До мало засолених належать осадки р.

Саксагань та б. Північна Червона. Седимент інших водотоків помірно засолений.

Особливості розподілу та концентрування хімічних елементів у донних осадах водотоків, що розташовані у зоні впливу ПівнГЗК визначали на основі систематизації та обробки даних кількісного спектрального аналізу зразків, відібраних під час експедицій.

Для оцінки вмісту хімічних елементів у пробах донних осадків використовувались: абсолютний та середній вміст у пробах (мг/кг), порівняння отриманих результатів з ГДК у ґрунтах та кларком.

Результати спектрального аналізу проб донних осадків виявили певні особливості розподілу та накопичення хімічних елементів у досліджуваних водотоках. В донних відкладах обстежених водойм присутні наступні елементи: Cr, Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Mo, V, Mn, Bi, Ti, Zr, Fe, Ba, Sc, Nb, Sn, Ga, Y, Yb, La, Li, P. Вміст більшості з них знаходиться на рівні кларку. Однак, визначається пріоритетна група елементів-забруднювачів. Так, серед елементів I класу небезпеки визначено високий вміст Pb. Лише у трьох водотоках його вміст не перевищував ГДК, тоді як у верхів'ї б. Приворотна, у ставку біля с. Калинівка, та в обох місцях відбору проб у балці Петриківська визначено підвищенні концентрації цього техногенного важкого металу. Вміст Cr – елементу II класу небезпеки, знаходиться, переважно, в межах норми, за винятком ставка на околиці с. Калинівка. Тут його концентрація становить 2 ГДК. Вміст Cu, елемента II класу небезпеки, повсюдно перевищує ГДК, а в балці Петрикова його міст становить майже 10 ГДК. Також, відзначається майже повсюдне перевищення вмісту Co у донних осадах проб досліджених водойм. Концентрування Mn відзначено у пробах з р. Саксагань та б. Петрикова.

Загальновідомо, що аеротехногенні емісії промислових підприємств є провідним джерелом техногенного надходження важких металів (ВМ) у ґрунти та на акваторії індустріальних регіонів [86]. При цьому стверджується, що 90-95% аеротехногенного потоку ВМ обумовлюється викидами пилу [17, 32, 86]. На території Північного ГЗК налічується 158 джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, з них 146 – організованих. В середньому за рік в атмосферу від цих джерел надходить 17-18 тис. т забруднюючих речовин. При цьому частка аеротехногенного пилу складає біля 50% (8,4 тис. т) від загальної маси викидів [7, 48]. Аналіз карти розподілу

пилу в приземному шарі атмосфери територій, що наближені до ПівнГЗК свідчить: загальна площа розсіювання пилу становить 12620 га, де значення її концентрацій знаходяться в межах 0,3-4,0 середньорічних ГДК, що відповідає 0,15-2,0 мг/м³. Території з максимальним запиленням 2,0-4,0 ГДК локалізовані поблизу джерел емісії та займають площу 1804,7 га, що складає 14,3% від всієї зони запилення. Оцінка техногенних важких металів (ВМ) в ґрунтах територій, що наближені до ПівнГЗК, показала, що аеротехногенна емісія пилу спричиняє різноспрямований вплив на концентрування рухливих форм ВМ. Так, акумуляція виявлена для заліза, цинку та нікелю. В розподілі мангану, міді та кадмію визначено як накопичення так і вилуговування в залежності від ґрунтового горизонту. Для свинцю вірогідно визначено вилуговування із подальшим надходженням його у трофічні ланцюги.

Таким чином, можна зазначити, що надходження та концентрування у водоймах та водотоках низки небезпечних важких металів відбувається як за рахунок безпосереднього їх надходження із техногенних водойм підприємства, що містять надмірні кількості ВМ так і аеротехногенним шляхом із джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Центральний регіон Кривбасу. Аналіз літологічних характеристик донних осадків р. Інгулець свідчать про їх відмінності в залежності від зони в якій вони відбиралися: природно-антропогенній, техногенній чи техноплагенній. Слід зазначити, що проби донних осадків у цих зонах можуть відрізнятися як за зовнішнім виглядом, так і низкою фізико-хімічних показників. Наявність твердих включень залежить також від геологічної будови району, де відбиралася проба. Так, для північного району, від гирла р. Жовтої і до с. Лозуватка, окрім уламків порід архейського комплексу, у пробах донних осадків зустрічалася велика кількість мушлевого детриту. В межах міста Кривий Ріг, в пробах інтенсивно чорного кольору були присутні рештки рослин. Проби донних осадків мали різкий запах аміаку і сірководню. В пробах південніше Кривого Рогу зустрічаються уламки карбонатних порід, вапняки. Колір проб донних осадків світлішає, з'являються прошарки крупнозернистих пісків [63].

Гранулометричний склад проб донних осадків р. Інгулець (район с. Лозуватка) помірно різномірний. Середньозважені значення розміру часток для кожного окремого профілю змінюються від 0,57

до 1,54 мм (табл. 2.2). Мінімальний середній розмір часток зафіксований для зони ріки вище Кривого Рогу, де вміст техногенного матеріалу в донних осадах найменший; максимальний – для зони, наближеної до промислових об’єктів Кривбасу. Розподіл кількості матеріалу за розміром часток у пробах, що характеризують різні ділянки річища Інгульця, дозволяє виявити вплив техногенного фактору на склад донних осадків. У цілому, середній розмір часток обумовлений речовим складом проби, співвідношенням піщаної та глинистої речовини.

Таблиця 2.2.

Розподіл донного осаду р. Інгулець в центральній частині м. Кривий Ріг за фракціями., %

Місця відбору проб	Гранулометричні фракції				
	Псефіти, >2 мм	Псаміти, 2-0,1 мм	Алеврити, 0,1-0,05 мм	Пеліти, <0,05 мм	Середньо-зважена
Профіль 1 с. Лозуватка	4,9	55,7	3,7	35,7	0,57
Профіль 2 р-н с. Чкаловка	2,8	93,2	1,1	2,9	0,66
Профіль 3 (р-н с. Мар’янівка)	24,3	51,8	10,7	13,2	1,54
Профіль 4 (с.Інгулець)	16,07	60,22	2,09	21,62	1,41

Питома щільність осадків р. Інгулець, що підпадає під вплив ЦГЗК неоднорідна. Значення змінюються у діапазоні від 2,37 до 2,65 г/см³.

Залежно від співвідношення піщаних, мулистих та глинистих частинок, а також включень органіки, уламків мушель, порід з яких складено береги (частіше за все вапняки), показники питомої щільності проб відрізняються на 0,15-0,2 г/см³, фактично знаходячись в межах довірчого інтервалу.

За даними багатьох дослідників питома щільність шламів збагачення залізних руд Кривбасу знаходиться в межах від 2,5 до 3,8 г/см³ [18, 100]. Зважаючи на розташування хвостосховища ЦГЗК у верхів’ях балок, що впадають до р. Інгулець, можна припустити з

певною вірогідністю, що в районі досліджень, де показник питомої щільності складає $2,65 \text{ г/см}^3$, донні осадки містять шлами збагачення магнетитових кварцитів.

Результати наших багаторічних досліджень свідчать, [67] що показник питомої щільності дозволяє досить точно ідентифікувати початок зони впливу гірничо-збагачувальних комбінатів на річкову екосистему.

Гірничо-видобувні роботи у Кривбасі мають безпосередній вплив на такі літологічні характеристики донних осадків, як гранулометричний склад, питома щільність та наявність магнітних часток у пробах. Оскільки шламіві частки представлені в основному важкою фракцією, то їх розповсюдження спостерігається лише у зоні наближеної до с. Інгулець. Вміст магнітного продукту в цих пробах складає 2,1 % від загальної маси проби. Вище за течією вміст магнітних часток не перевищує 1%.

Результати визначення сумарного вмісту водорозчинних солей у пробах донних осадків свідчать про поступове їх зниження за течією. Так, у профілі в районі с. Лозуватка вміст водорозчинних солей становить 0,83 % у 100 г сухої проби, в районі с. Чкаловка – 0,23; в районі с. Мар'янівна – 0,1; та трохи збільшується в районі с. Інгулець, де помітно відчувається підпір Карачунівського водосховища – 0,31 % у 100 г сухої проби.

Хімічний склад донного осадку річки Інгулець змінюється у широких межах (табл. 2.3). Найбільші коливання величин визначено для загального заліза, окисного (Fe_2O_3) та, особливо, закисного (FeO) – в 61 раз. Помірні коливання показників визначалися для двоокису титану та оксиду магнію – в 11,6 та в 15 разів відповідно. Найменш варіативними були кремнезем, оксид натрію та п'ятиокис фосфору. Стабільні та високі значення останнього обумовлюються постійною присутністю річкової біоти.

Результати спектрального аналізу проб донних осадків виявили певні особливості розподілу та накопичення хімічних елементів у досліджуваній частині р. Інгулець. В донних осадках р. Інгулець присутні наступні елементи: As, P, Cr, Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Mo, V, Mn, Bi, Ti, Zr, Fe, Se, Ba, Sc, Sr, Y, Yb, La, Li. Вміст більшості з них знаходиться на рівні кларку. Однак, визначається пріоритетна група елементів-забруднювачів: I класу небезпеки – Pb, Zn, Be, P, As, Hg; II класу – Cr, Cu, Mo, Ni; III класу – Mn; IV класу небезпеки – Ag, Fe.

Таблиця 2.3.

Хімічний склад донних осадків р. Інгулець, % [3]

Досліджувані показники	Статистичні показники			
	max	min	M±m	Середній склад глини і пісковиків, [48]
Fe _{заг.}	12,60	0,40	2,66±2,29	2,54
Fe ₂ O ₃	11,30	0,30	2,48±2,14	2,37
FeO	6,10	0,10	1,19±1,06	1,13
SiO ₂	87,46	58,40	74,88±7,62	67,24
Al ₂ O ₃	12,40	1,85	6,57±2,69	9,62
TiO ₂	0,70	0,06	0,38±0,18	0,49
MnO	0,10	0,02	0,05±0,02	0,08
CaO	10,20	1,25	3,82±1,94	5,21
MgO	2,57	0,17	1,07±0,48	1,69
Na ₂ O	1,02	0,32	0,63±0,18	0,78
K ₂ O	3,00	0,40	1,20±0,53	1,86
P ₂ O ₅	0,27	0,06	0,12±0,04	0,60
ВПП	15,55	2,20	7,28±2,81	-

Серед елементів, що перевищують регіональний фон визначаються: Be, Cu, Mo, Ni, Cr, Zn, Ag та P. До елементів, що перевищують ГДК належать: Mn, Mo, As, Ni, Pb, Zn, Hg.

Так, для п'яти з досліджених нами елементів, виявлена чітка тенденція до накопичення за 25-річний період часу спостережень за гідросистемою р. Інгулець - Cr, Zn, Cd, Mn, Ag. Інші елементи в динаміці дослідження виявляють різноспрямований характер накопичення у донних осадках.

Розраховані нами коефіцієнти концентрацій у 1990 році склали наступний ряд: Co Ti (0,58) < As (0,60) < Cu (1,01) < Cr (1,16) < Nb (1,22) < P (1,97) < Be (2,07) < Pb (2,84) < Zn (3,60) < Mo (4,90) < Ni (5,38) < Mn (6,01). Через 10 років цей ряд змінився, причому за рахунок подекуди значного збільшення вмісту хімічних елементів (особливо побільшало миш'яку, фосфору, цинку, свинцю та ртуті). Так, у 2000 році коефіцієнти концентрацій склали наступний ряд: Ti (0,66) < Nb (0,70) < Co (0,84) < Cr (1,42) < Be (1,46) < Ni (1,70) < Cu

(1,83) < Ag (2,13) < P (2,56) < Mo (3,0) < As (4,50) < Zn (7,71) < Pb (10,52) < Mn (10,93). Як свідчать дані у 2000 році у пробах донних осадків з'явилося срібло у кількостях, що перевищує регіональний фон. Коефіцієнт концентрацій, розрахований за даними 2015 року формують наступний ряд: Co (0,57) < Ti (0,65) < Nb (1,0) < Ni (1,40) < Cr (1,46) < Cu (1,60) < P (2,06) < Mo (3,3) < Be (3,75) < As (4,10) < Zn (8,20) < Pb (9,0) < Mn (11,26) < As (93,30).

Узагальнюючи результати проведених досліджень слід зазначити, що середній багаторічний вміст хімічних елементів та, зокрема, ВМ у донних осадках проточної частини р. Інгулець є в середньому вищим за фоновий регіональний рівень, виключенням є лише Co, Nb, Ti. Але водночас зауважимо, що «проточність» р. Інгулець, та пов'язаний з цим факт помірною накопичення ВМ у донних осадках за сучасних еколого-геологічних умов є, по суті, штучним.

Зміни гідрологічного режиму, що визначаються для р. Інгулець, обумовлюються техногенним перетворенням всієї гідросистеми: створенням каскаду водосховищ, скидами великих обсягів неочищених або мало очищених стічних вод, скидами високо мінералізованих вод шламосховищ та, головню, «промиваннями» річища Інгульця після скидів техногенних вод дніпровською водою. Останнє є фактором формування специфічного гідрологічного та гідрохімічного режиму досліджуваного водного об'єкту. Сумарний обсяг вод неприродного (техногенного) генезу в гідросистемі р. Інгулець складає близько 45-50% середньорічного стоку. Це у свою чергу вносить суттєві корективи у фізико-хімічні особливості накопичення та просторового розподілу хімічних елементів, що затримує процес кумуляції важких металів у донних осадках, не зважаючи на досить велику їх кількість, що надходять до р. Інгулець з Криворізького індустріального регіону.

Південний регіон Кривбасу. За гранулометричним складом проб донних осадків ділянка р. Інгулець на півдні Кривого Рогу відрізняється від інших ділянок. За результатами наших багаторічних досліджень [67] на р. Інгулець було визначено три зони: природно-антропогенна, техногенна та техноплагенна, які чітко виокремлюються. Мінімальний середній розмір часток зафіксований для зони верхів'я ріки, де вміст техногенного матеріалу в донних осадках низький; максимальний середній розмір часток – для зони, що розташована вздовж промислових об'єктів Кривбасу (так званого

«південного промислового вузла Кривбасу»). Нижче за течією ріки, в межах третьої зони, встановлено проміжне значення даного показника, який поступово знижується у напрямку до гирла р. Інгулець.

Середньозважені значення розміру часток для кожного окремого профілю досліджуваної ділянки змінюються від 1,76 до 2,86 мм, що значно вище ніж на інших ділянках ріки. У пробах відібраних нижче балки Грушевата і до с. Андріївка кількість матеріалу псефітопсамітової фракції до 40% вища ніж в інших місцях річища. Водночас, кількість пелітових часток ($< 0,05$ мм) переважно мала, що суттєво вирізняє ці проби від проб, узятих в р. Інгулець вище та нижче за течією від промислового району Кривбасу (табл. 2.4). Наявність крупнозернистого непритаманного річному осадку у річищі свідчить про значне техногенне навантаження гідросистеми.

Таблиця 2.4.

Вміст головних типів уламків у донному осаді р. Інгулець %

Місця відбору проб	Гранулометричні фракції			
	Псефіти, (>2 мм)	Псаміти, (2-0,1 мм)	Алеврити, (0,1-0,05 мм)	Пеліти, (<0,05 мм)
Точка 1.1 (б.Грушувата нижче мосту)	2,8	93,2	1,1	2,9
Точка 1.2 (р-н с. Матрьонівка)	47,2	51,0	2,2	2,5
Точка 1.3 (с.Рахманово)	37,6	57,2	1,1	4,1
Точка 1.4 (с.Рахманово)	60,3	32,6	4,1	3,0
Точка 1.5 (с. Зелене)	28,9	42,4	0,8	44,7
Точка 1.6 (с.старий Інгулець)	28,9	68,1	1,2	1,8
Точка 1.7 (с. Могилівка)	17,2	65,1	4,0	13,7
Точка 1.8 (с. Інгулець)	64,6	22,5	9,7	3,1
Точка 1.9 (с. Андріївка)	25,8	59,0	2,0	13,1

Гранулометричний склад донного осаду р. Інгулець (проба 1 та 2) і балки Грушеватой (проба 3 та 4) наведені в таблиці 2.5. З таблиці видно, що в матеріалах проб спостерігаються три максимуми: +10,00 мм; -0,25+0,10мм та -0,063 мм. Перший з них відповідає розміру шматочків щебеню, другий – природній компоненті осаду, третій співпадає з технологічно обумовленою гранулометриєю хвостів збагачення магнетитових кварцитів (-0,07 мм).

Таблиця 2.5.

Гранулометричний склад донного осаду р. Інгулець і б. Грушеватой

Проба	Класи крупності, мм, %										
	+10,0	-10,0+5,0	-5,0+3,0	-3,0+2,0	-2,0+1,0	-1,0+0,45	-0,45+0,35	-0,35+0,25	-0,25+0,1	-0,1+0,063	-0,063
1.	19,0	9,2	3,7	2,8	7,4	2,4	6,5	1,6	12,6	1,3	33,6
2.	-	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,5	1,5	23,7	19,5	51,9
3.	15,4	2,0	1,3	1,3	3,4	2,8	11,7	5,3	39,6	7,7	9,4
4.	-	0,3	0,3	0,3	0,8	0,9	0,8	0,8	24,9	10,8	59,9

Питома щільність донних осадків ділянки р. Інгулець, що знаходиться в зоні впливу ІнГЗК змінюються у діапазоні від 2,56 до 3,13 г/см³, що в середньому на 15-30 % більше щільності проб вище та нижче за течією. Значення у середньому вищі за типово річкові.

На рисунку 2.1 можна бачити дві схожі ділянки, розірвані ділянкою неоднорідності довжиною біля 20 км, що припадає на зону «південного промислового вузла Кривбасу». справа й зліва від цієї зони неоднорідності крива питомої щільності розподілена відносно рівномірно вздовж річища. Точки знаходяться в межах довірчого інтервалу. Якщо порівняти максимальне значення щільності з показниками у техноплазній зоні, (орієнтовно 40 - 70 км нижче за течією), вони наближуються до значень, притаманних природним донним осадкам - 2,3-2,4 г/см³. Залежно від співвідношення піщаних, мулистих та глинистих частинок, а також включень органіки, уламків мушель, порід з яких складено береги (частіше за все

вапняки), показники питомої щільності решти проб відрізняються на $0,15-0,2 \text{ г/см}^3$, фактично знаходячись в межах довірчого інтервалу.

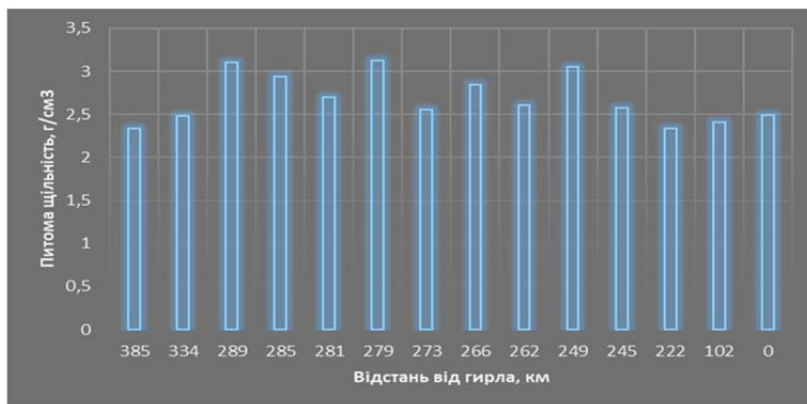


Рис. 2.1. Просторовий розподіл показника питомої щільності донних осадків р. Інгулець.

Повертаючись до аномальних значень питомої щільності в південному районі Кривого Рогу ($2,56 - 3,13 \text{ г/см}^3$), ми звернули увагу, що за даними багатьох дослідників питома щільність шламів збагачення бідних залізних руд Кривбасу знаходиться в межах від $2,6$ до $3,8 \text{ г/см}^3$ [95, 96]. Зважаючи на розташування шламосховищ двох гірничо-збагачувальних комбінатів у верхів'ях балок, що впадають до Інгульця, можна припустити з певною вірогідністю, що в середній течії (район від б. Грушевата до с. Андріївка), донні осадки значною мірою складені зі шламів збагачення магнетитових кварцитів на збагачувальних фабриках гірничо-збагачувальних комбінатів. На окремих ділянках річища відбулося збагачення алювію природними і техногенними мінералами заліза, а їх концентрація перевершила кондиції для залізистих кварцитів Криворізького басейну [106]. Це підтверджують і аномалії у розподілі гранулометричного складу проб.

Використовуючи результати, отримані при визначенні такої літологічної характеристики, як питома щільність донних осадків, можна зробити попередній висновок, що у верхній та нижній течіях р. Інгулець питома щільність наближається до природних значень. В

зоні техногенезу (від 250 до 280 км, за течією) спостерігається збільшення щільності на 15-30 %.

Показник питомої щільності дозволяє досить точно ідентифікувати початок зони впливу на річкову екосистему.

Оскільки головною промисловою діяльністю міста є видобуток та переробка залізних руд, то доцільно визначити наявність **магнітних часток** у пробах. Вміст магнітного продукту в досліджуваних пробах, подекуди, сягає рекордних 59,55% від загальної маси проби. Вище північної околиці Кривого Рогу на 10-15 км та нижче за течією на 20-25 км, кількість магнітних часток вимірюється десятими частками відсотків (тобто знаходиться в межах похибки). У межах південного району Кривого Рогу та нижче за течією на 15-20 км, кількість магнітного продукту у пробі змінюється від 59,55 % (б. Грушева), до 2,1% (с. Інгулець). Визначена аномалія добре корелює з характером змін у гранулометричному складі та питомою щільністю. Можна припустити з великою долею вірогідності, що дана аномалія пов'язана з наявністю у донних осадах шламів збагачення залізних руд.

2.2. Літологічні новоутворення на техногенних об'єктах ГЗК

Криворізький басейн має велику кількість гірничих підприємств та техногенних об'єктів, пов'язаних з їх діяльністю. Серед них: хвостосховища, відстійники, шламосховища, відвали, відкриті склади концентрату та шлаку тощо. Значне навантаження на геологічне середовище та екологію району призвело до значних змін довкілля. Поблизу техногенних об'єктів виявлені мінеральні новоутворення, пов'язані з їх діяльністю: природно-техногенні травертини, перли арагоніту, рудні грауваки [30, 94, 122]. Техногенні відклади залягають на утвореннях докембрійського кристалічного фундаменту та палеоген-неогенової осадової товщі [9], мають характерний склад і можуть виділитися в окрему антропогенну формацію із притаманними їй особливостями. Їх дослідження дозволяють прогнозувати та попереджати розвиток природно-техногенних процесів у сучасному геологічному середовищі.

Одним з новоутворених об'єктів гірничої промисловості є хвостосховище ПРАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» (ЦГЗК). Воно розташоване у тальвегах балок Велика та Мала Лозуватка, в центральній-західній частині Кривого Рогу на відмітках

95-115 м над рівнем моря. До хвостосховища скидаються відходи збагачення магнетитових кварцитів у вигляді пісків та високомінералізованих стічних вод. Щорічні надходження пісків становлять 7,8 млн тонн із вмістом магнітного заліза близько 7,0% [118]. Важка фракція відходів накопичується у картах наміву хвостосховища, а відносно очищена вода частково повертається до ставка оборотної води шламосховища, звідки знову забирається для потреб збагачувальної фабрики. Повернення води забезпечується шляхом стікання її до дренажних систем, розташованих по периметру хвостосховища ПРАТ «ЦГЗК» (рис. 2.2).

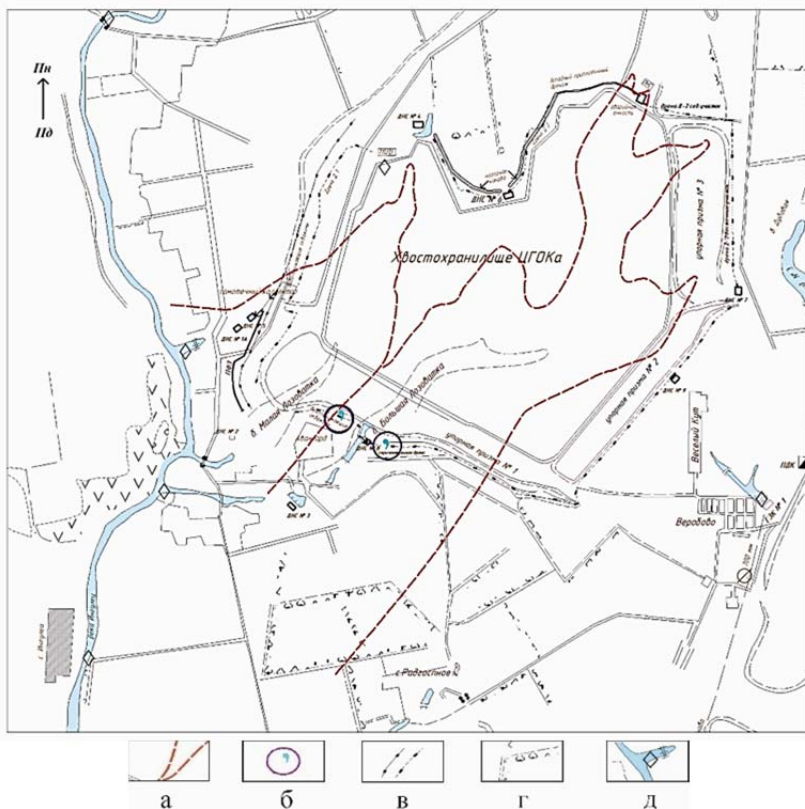


Рис. 2.2. Карта-схема району досліджень: а – контури балок Мала та Велика Лозуватка; б – місця виходу джерел високомінералізованої води; в – дренажні системи хвостосховища; г – посадки; д – місця відбору води в р. Інгулець.

Втрата води внаслідок випаровування з поверхні дзеркала хвостосховища, дренажу через упорні призми (дамби) і до водоносних горизонтів, змушує підприємство постійно поповнювати запаси води із річки Інгулець, біля с. Авангард. По периметру хвостосховища утворилися штучні джерела, через які високомінералізована вода дренує із-під дамби хвостосховища у напрямку річки Інгулець, промислових об'єктів та населених пунктів Криворізького району. Насичені штучні розчини-водотоки поширюються у навколишньому середовищі, дренують у товщу палеоген-неогенових осадових порід і змінюють їх природний стан. Безпосередньо у місця витоку їх із-під дамби хвостосховища були виявлені поклади травертину.

На вивченій території раніше вже були встановлені джерела виходу техногенної води із-під упорних призм хвостосховища ЦГЗК та поклади травертинів [6]. Автором виявлені нові витoki технічної води у підніжжі упорної призми хвостосховища і пов'язані з ними поклади мінеральних новоутворень. Їх поява зумовлена наявністю на цій ділянці постійного водного потоку з підвищеною мінералізацією.

Вода із джерела, що виходить на поверхню із-під упорної призми має мінералізацію від 5,48 до 7,25 г/л (за даними останніх 5 років) (табл. 2.6). Відноситься до солонуватих (від 1 до 25 г/л) за класифікацією О.А. Алекіна [1]. За гідрохімічною класифікацією за домінуючим іоном вода відноситься до сульфатної та гідрокарбонатної натрієво-кальцієвої. І хоча гідрокарбонатні іони та іони кальцію мають не найвищі показники, та при випаровуванні води хвостосховища їх концентрація призводить до кристалізації карбонату кальцію та утворення травертинів.

Травертини залягають на розмитій поверхні четвертинних лесоподібних суглинків з прошарками чорнозему і утворюють субгоризонтальні верстви та лінзи потужністю від кількох сантиметрів до 0,5 м. Вони суттєво відрізняються від карбонатних осадових порід сарматського віку у відслоненнях балок Велика та Мала Лозуватка і не пов'язані з їх перевідкладенням [93].

Поверхня верств травертину має вигляд субгоризонтальних площадок, терас та напливів, що спускаються «сходами» в напрямку гирла балок. Відклади в ділянках максимального розвитку (на відстані 5-15 м від джерел мінералізованої води) сягають в ширину близько 4-4,5 м. Далі вони простежуються по водотокам і затухають

через 30-50 м, де потужність шару зменшується до 2-3 см. Порода дрібнозерниста пориста. У її складі домінують карбонати у вигляді лускоподібних, табличчастих агрегатів, щітки, кірок і вицвітів на поверхні порід, з яких побудована дамба та рослинних залишків.

Таблиця 2.6.

Хімічний склад води в штучних джерелах по периметру
хвостосховища ПРАТ «ЦГЗК»

Дата відбору	Жорсткість заг./устр.	НСО ₃ ⁻ мг/л	СІ ⁻ мг/л	SO ₄ ²⁻ мг/л	Ca ²⁺ мг/л	Mg ²⁺ мг/л	Na ⁺ +K мг/л	Мінералізація мг/л
1кв.2015	65,2/0,2	823,5	704,3	3249,6	492,6	493,94	824,31	6845
2кв.2015	58,2/0,2	872,3	705,5	3015,6	422,2	451,5	892,36	6250
3кв.2015	63,1/0,1	915,0	793,3	3388,7	501,9	462,81	1031,42	6932
1кв.2016	55,4/0,4	664,9	699,0	3104,6	440,1	406,63	916,99	6417
2кв.2016	65,9/0,9	811,3	758,1	3147,8	510,2	491,75	789,68	6752
3кв.2016	58,5/0,5	862,54	738,9	2966,9	518,5	396,78	880,08	6490
4кв.2016	58,5/0,5	862,54	747,58	3092,0	511,1	376,96	945,65	6778
1кв.2017	60,5/0,5	905,85	596,62	2956,2	641,3	345,56	753,11	5850
2кв.2017	55,0/0,7	1351,15	707,83	2798,2	480,96	376,96	1043,83	6744
3кв.2017	53,0/2,0	793,61	637,1	3033,60	481,0	352,64	946,60	6276
3кв.2017	60,0/0,6	938,18	640,61	2957,9	501,0	425,60	806,11	6253
4кв.2017	58,0/1,6	799,1	654,8	2696,0	511,0	390,0	683,37	5860
2кв.2018	56,2/1,0	832,65	654,44	2840,2	494,2	383,53	806,28	6120
3кв.2018	55,2/0,6	710,65	698,63	2403,2	523,9	353,37	889,98	5480
4кв.2018	68,6/3,4	764,33	712,89	3991,1	474,5	546,23	1084,66	7250
1кв.2019	58,0/1,4	739,32	584,21	2987,9	470,9	419,52	754,96	6120
2кв.2019	56,6/2,0	680,76	643,12	2873,2	506,6	380,85	748,29	6020
3кв.2019	57,1/2,1	768,60	638,5	2932,2	516,7	380,85	795,19	6210
4кв.2019	57,0/1,2	878,40	645,2	2994,1	521,0	376,96	872,89	6460
1кв.2020	55,0/1,4	823,5	627,5	3034,4	521,0	352,64	1312,08	6400
2кв.2020	55,0/1,8	701,5	630,04	3150,04	501,0	364,8	917,09	6520
3кв.2020	58,0/2,6	805,2	638,15	3060,0	541,1	376,96	849,30	6480

Колір породи білий, світло-сірий, рідше зеленкуватий та блідо-рожевий. Текстура грубо-шарувата, лускувата, пориста. Структура дрібнозерниста, прихованокристалічна. Місцями травертин утворює пухку землисту або грудкувату масу незцементованих часточок всередині пачок щільної будови або на їх поверхні (рис. 2.3). У формуванні відслонень приймають участь різновеликі уламки залізистих кварцитів зі схилів упорної призми хвостосховища та велика кількість рослинних залишків, покритих кірками, щітками та вицвітами хемогенних карбонатів. Карбонатний склад агрегатів підтверджує бурхлива реакція з розчином HCl.



Рис. 2.3. Травертин у тальвезі б. Велика Лозуватка, поблизу витоку технічної води з хвостосховища ПРАТ «ЦГЗК».

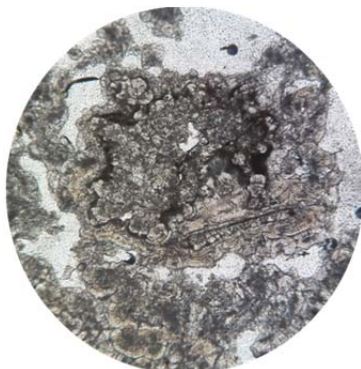
Під мікроскопом порода має білий з коричневим відтінком колір, шарувата, місцями плямиста з великою кількістю пустот (рис. 2.4). Шаруватість зумовлена тонким чергуванням мікроверств прихованокристалічного карбонату, глинистих мінералів та гетиту. Ділянками породоутворюючі мінерали утворюють концентрично-зональні натічні агрегати.

Головними породоутворюючим мінералом травертину є кальцит, вторинні мінерали - кварц, біотит, гетит; акцесорні - рутил, магнетит; вторинні - гематит (мартит, хлорит). Реліктові уламки вміщуючих порід представлені зернами залізистих кварцитів, жильного кварцу, гранітів тощо.

Кальцит молочно-білий, рожеві, жовто-коричневий від домішків гетиту, зустрічаються незабарвлені виділення. Кристали спостерігаються рідко. Основна форма агрегатів – сфероїд. Скупчення сфероїдів утворюють натічні форми (рис. 2.5 а) та кірки, щітки і плівки (рис. 2.5 б).



а



б

Рис. 2.4. Травертин під мікроскопом: а – мікрошаруватий; б – концентрично-зональний з великою кількістю. пустот. Прозорий шліф, ніколі паралельні, збільшення 25^{\times} .



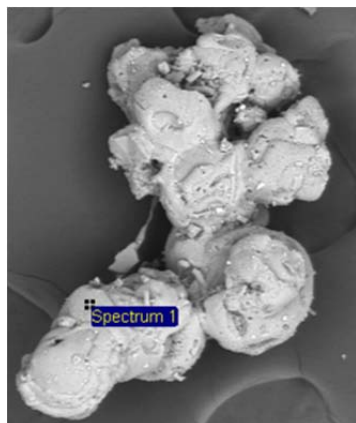
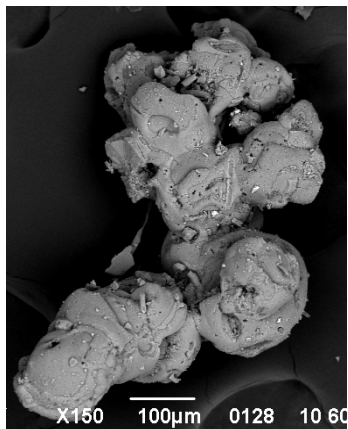
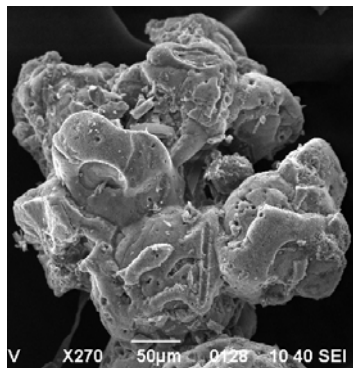
а



б

Рис. 2.5. Форми виділення карбонатів у складі травертину: а – сфероїдальні натічні агрегати; б – кірки, щітки і плівки. Бінокуляр, збільшення: а- 300^{\times} ; б - 200^{\times} .

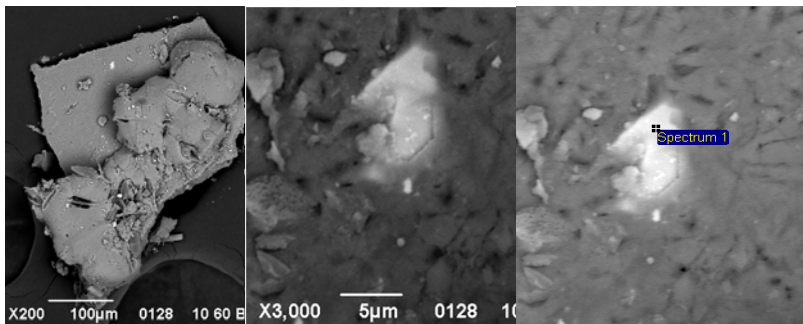
Під *електронним мікроскопом* натічні форми карбонатів мають вигляд грудкуватих агрегатів, напливів, стяжінь, сфероїдальних утворень приховано кристалічної внутрішньої будови (рис. 2.6). За даними мікрозондового аналізу, їх склад відповідає кальциту. Можливі домішки опалу, гіпсу, галогенідів. Уламкові зерна гематиту (мартиту) з матеріалу дамби хвостосховища покриті зональною оторочкою гіпергенного гетиту (лімоніту) (рис.2.7 б).



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C	21.50	29.15	78.77	CO ₂
Si	0.38	0.22	0.81	SiO ₂
S	0.20	0.10	0.50	SO ₃
Cl	0.82	0.38	0.00	
Ca	13.66	5.55	19.11	CaO
O	63.45	64.60		
Totals	100.00			

Рис.2.6. Натічні агрегати природно-техногенного кальциту. РЕМ, МЗ.

Порода збагачені лише Ca і тільки за вмістом Mn схожа з іншими осадами району досліджень. Вміст інших хімічних елементів значно нижчий, а Sc, Ba, Y, Co, Zr, Nb, Ga, Be, Yb взагалі не виявлені спектральним аналізом. Карбонатні новоутворення виявилися значно «чистішими», як за рівнем важких металів (Ni, Cr, Cu, Pb, Ti, V, Co), так і за вмістом рідкоземельних елементів (Sc, Y, Zr, Nb, Ga, Be, Yb). З наведених даних видно, що досліджений травертин має суттєві геохімічні особливості, що відрізняють його від природних вапняків у районі досліджень.



Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Fe	69.94	40.00	100.00	Fe ₂ O ₃
O	30.06	60.00		
Totals	100.00			

б

Рис. 2.7. Кірки і грудкуваті натічні агрегати карбонатів (а) з уламковими зернами гематиту в «сорочці» гіпергенного гетиту (б). PEM, МЗ.

C	17.14	25.41
S	0.34	0.19
Cl	0.30	0.15
Ca	25.75	11.43
O	56.46	62.82
Totals	100.00	

а

У хімічному складі травертину домінує CaO (48,73%), на другому місці SiO₂ (4,44%), незначна кількість MgO (0,56%). Відмічається незначний вміст заліза: FeO (1,07%) та Fe₂O₃ (0,96%). Втрати при прожарюванні склали 43,24%. Результати хімічного аналізу свідчать, що травертин майже повністю складається з карбонату кальцію.

Результати спектрального аналізу карбонатних новоутворень та інших осадів у тальвезі балки Велика Лозуватка наведені в таблиці 2.7.

Результати вивчення травертинів свідчать про чистоту хімічних процесів в умовах сучасного осадконакопичення без участі у них домішок важких металів. У процесі формування травертину бере участь суто гідрокарбонат кальцію, який під впливом зміни термодинамічних умов розкладається на нерозчинний карбонат кальцію, чисту воду та вуглекислий газ [4]:



Таблиця 2.7

Елементи-домішки у складі у складі донного осаду балки Велика Лозуватка, за даними спектрального аналізу, (мг/кг)

№ пр.	H, м	Ni	Cr	Cu	Pb	Sc	Ba	Y	Mn	Co	Ti	V	Zr	Nb	Ga	Be	Yb
1	87	20	20	20	10	10	100	30	400	3	1000	40	80	1	4	2	2
2	81	3	2	5	2	0	0	0	400	0	10	5	0	0	0	0	0
3	77	20	40	20	10	20	300	40	400	3	2000	40	200	2	4	2	3

Примітки. Аналізом не встановлені хімічні елементи: Р, Аg, Нd, Ві. Н - висота над рівнем моря. Відстань місць відбору проб від упорної призми хвостосховища: пр. 1 - 3 м; пр. 2 - 20 м; пр. 3 – 200 м. Матеріал проб: пр. 1 – суглинки зі значною домішкою чорнозему; пр. 2 – травертин; пр. 3 – запісочені суглинки з чорноземом.

Утворення травертину відбувається звичайно з падінням тиску, пов'язаного з виходом підземних вод на поверхню. Воно супроводжується асиміляцією виділеного CO₂ рослинами або дифузією в атмосферу внаслідок інтенсивного руху води. У результаті відбувається хімічна реакція, в якій виділяється нерозчинний у воді карбонат кальцію [88].

З таблиці 2.7 також видно, що вміст важких металів у пробах змінюється від вершини до гирла балки. На ділянках сучасного формування травертинових новоутворень вміст майже усіх важких металів різко падає і навіть досягає нуля, а в напрямку до гирла балки знову зростає. Це може свідчити про розчинення та вимивання з осаду окремих хімічних елементів водою, що депонує з виявлених джерел. Розчинення мало вибіркового характеру, оскільки вміст Ni, Cu, Pb, Mn, Co, V, Ga і Be в осадах не змінився.

Таким чином можна зробити такі висновки:

Технологічна вода в оборотному циклі ГЗК збагачена різноманітними розчинними солями, у тому числі гідрокарбонатом кальцію Ca(HCO₃)₂. Значні обсяги депонування її з об'єму хвостосховищ у навколишнє середовище приводять до активізації процесів сучасного осадкоутворення. Розвантаження техногенних та змішаних природно-техногенних вод на денну поверхню супроводжується осадженням розчинених солей. Йому сприяє зміна температури, рН середовища та підвищення концентрації внаслідок

випарювання води. Карбонатна порода, утворена з вуглекислих джерел, може бути віднесена до *травертину*. Досліджені травертини приурочені до джерел у фундаменті дамби хвостосховища ГЗК і за походженням є техногенно-природними. Вони локалізовані на денній поверхні виключно в зоні витоку та випаровування високомінералізованої технологічної води ГЗК. Зміна умов в місцях розвантаження подібна до умов утворення природного травертину [88].

У стратиграфічному відношенні, охарактеризовані породи відносяться до верхнього підрегіонарису голоценового відділу четвертинної системи. На геологічному розрізі ділянки їх поширення обмежуються мережою балок, де вони локально перекривають суглинки лесоподібні жовто-бурі, палеві з прошарками реліктових ґрунтів. Разом з перлами арагоніту [30], рудними грауваками [125], травертини доповнюють перелік техногенно-природних осадових порід, що в сучасну геологічну епоху утворюються в межах Криворізького басейну.

Техногенно-природні травертини Криворіжжя мають високі тепло,- та звукоізоляційні властивості, задовільний декоративний вигляд та дуже низький, до повної відсутності, вміст важких металів. Вони можуть знайти використання у житлово-комунальному будівництві та виробництві екологічно чистих матеріалів іншого призначення.

2.3. Природна і техногенна мінеральна сировина у донному осаді річок Криворізького залізорудного басейну

На території Криворіжжя протікають 8 рік (всі входять до басейну Дніпра): Інгулець з притоками - Саксагань, Зелена, Жовта, Бокова (з притокою Боковенька), Вербова (притока р. Вісунь, яка, в свою чергу, впадає в р. Інгулець), а також Кам'янка - притока р. Базавлук. Всі ріки, окрім Інгульця, відносяться до розряду малих річок. Уздовж річкових долин розвинута мережа балок – постійних і сезонних поверхневих водотоків. На території Кривого Рогу по долині р. Саксагань відомо 50 балок, р. Інгулець - понад 20. Довжина балок коливається від 1 до 25-30 км. [42]. Донні відклади балок менш потужні у порівнянні з річковими. Проте у формуванні сучасного літолого-екологічного стану мережі поверхневих водойм і водозбірної площі басейну в цілому вони теж відіграють значну роль.

Найбільшого впливу промислових підприємств гірничо-металургійного комплексу зазнали річки Інгулець і Саксагань. Тому нижче наведені результати дослідження донних відкладів саме цих водних артерій та балок, що до них впадають (рис. 2.8).



а



б

Рис. 2.8. Досліджені річки Криворізького басейну: а – Саксагань, в межах впливу Північного ГЗК; б – Інгулець в районі Південного ГЗК.

Макроскопічно грубозерниста (псефітова) частина донного осаду вивчених річок і постійних водотоків балок складається з жорстви та незрілого гравію з уламками порід і руд Криворізького басейну, детально охарактеризованого у геологічній літературі [13, 60]. Уламки мають бурий, жовтий та сіро-зелений колір. Провідним барвником виступають оксиди і гідроксиди заліза (рис. 2.9). Під мікроскопом визначені гематитові кварцити, гранатові сланці з порфіробластами магнетиту, пористі гетит-мартитові кварцити з зони вилугування, вивітрені сланці, осадові залізні і марганцеві руди та інші породи і руди.

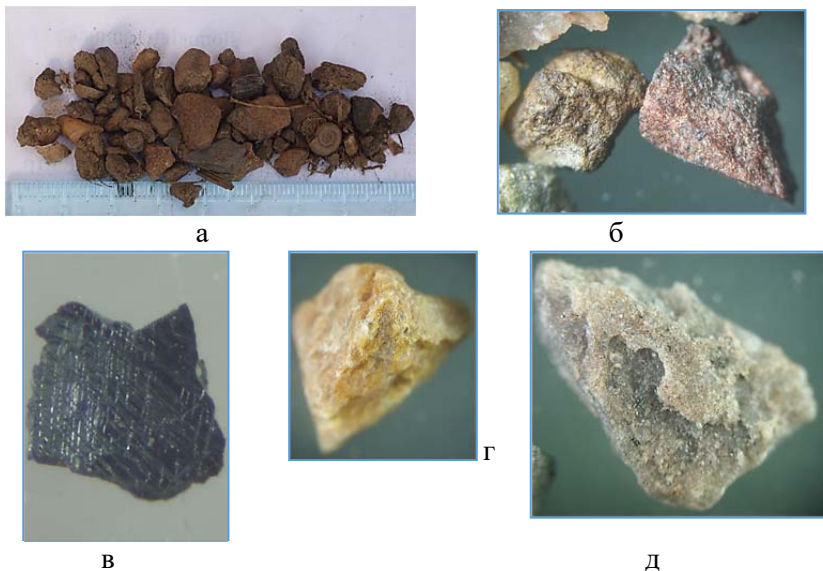


Рис. 2.9. Складові компоненти кори вивітряння кристалічних і осадових порід у донному осаді річок Інгулець і Саксагань: а – жорства і незрілий гравій з уламками порід і руд Криворізької серії, та мушлями континентальних молюсків у донному осаді постійного водотоку балки Північна Червона (басейн р. Саксагань); б – мартитовий і мартит-гетитовий кварцити; в – пластинка спекуляриту (гематит); г, д – вивітрений кварцовий прошарок залістого кварциту. Бінокуляр. Збільшення: б, д - 25^x; в- д - 100^x.

Неоген-палеогенові осадові породи представлені уламками органогенних вапняків, зелених глауконітових глин, оолітових

марганцевих руд і бурих залізняків, пісковиків. Значна частина донного осаду знаходиться у вигляді відокремлених мінеральних індивідів і агрегатів, що потрапляють з денудованої кори вивітрювання гірських порід і руд залізисто-кременистої формації (мартит, лімоніт, метаморфогенний і жильний кварц, гідрослюди, каолінит тощо). Кварцовий пісок, глауконіт, оксиди і гідроксиди марганцю, алюмінію і заліза надходять також з неоген-палеогенових пісків (рис. 2.10).

Вказані компоненти алювію утворилися у корі вивітрювання порід залізисто-кременистої формації та умовах палеоген-неогенового седиментогенезу. За класифікацією [28, 67] вони повинні відноситись до природних компонентів сучасного алювію. Проте безпосереднім джерелом транспортування їх до річкового осаду є, в основному, відвали розкривних порід залізвидобувних кар'єрів і шахт. У геоморфологічному плані вони утворюють масштабні плато, наближенні до річищ Інгульця і Саксагані на відстань від кількох десятків метрів до кількох кілометрів. Складені відвали з суміші магнетитових (малорудних) і гематитових кварцитів, сланців, осадових порід тощо (рис. 2.11).

До річкової мережі Кривбасу відбуваються масштабні надходження змішаних у відвалах породних асоціацій. В межах Криворізького басейну вони живлять річкову мережу значно інтенсивніше, ніж відслонення осадових порід і кори вивітрювання. Тому їх слід віднести до перетворених природних компонентів (видобутих з надр, переміщених і подрібнених порід і руд). Знесені з відвалів, дамб хвостосховищ, будівельних майданчиків і доріг, породи різного віку і походження формують в сучасному алювії різнозернисті поліміктові літокласти. В них поряд знаходяться в різній мірі обкатані і кутасті псефітові і псамітові уламки, глинисті часточки і хемогенні утворення (рис. 2.12).

Органічна складова осаду представлена переважно мушлями гастропод і їх уламками, а також рослинним детритом (рис. 2.13).

У донному осаді водотоків балок Криворіжжя поширені карбонатні стяжіння, землясті агрегати, нарости на фрагментах рослин. При більш детальному вивченні виявилось, що частина їх представлена колоніями кременисто-карбонатних діатомових водоростей (рис. 2.14).

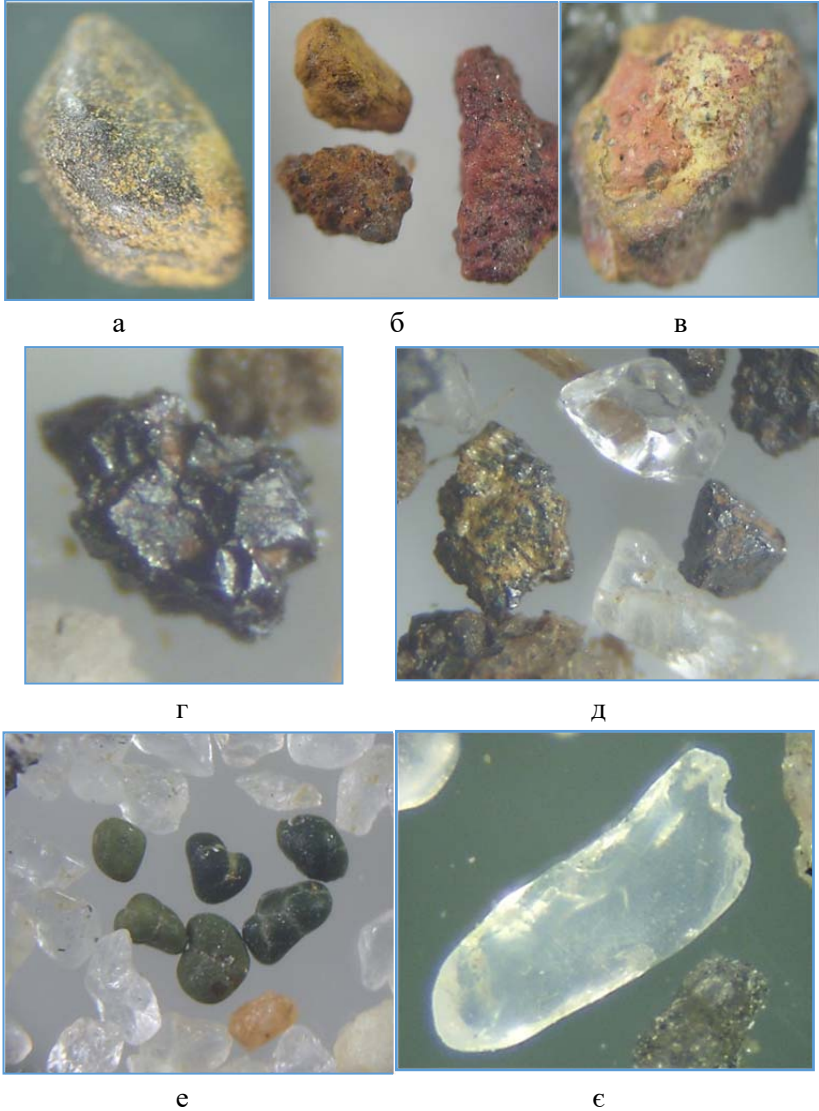


Рис. 2.10. Осадкові мінерали, гірські породи і руди в алювії р. Інгулець: а – гетит з бурого залізняку; б, в – уламки бокситів; г, д – розкриті кристали мартиту і кварцу; е - глауконіт з кварцовим піском; є - опал з кори вивітрювання кристалічних порід Інгулецького родовища. Бінокуляр. Збільшення: а-е - 30^{\times} ; є - 90^{\times} .



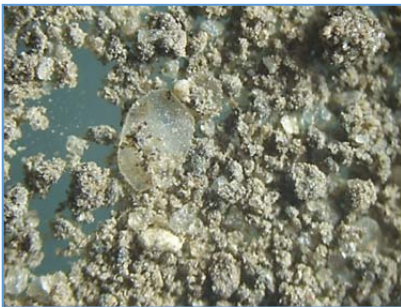
Рис. 2.11. Суміш магнетитових (малорудних) і гематитових кварцитів, сланців, вапняків, піску, плини, суглинків та інших порід у відвалі розкривних і вмшуючих порід ПАО ІНГЗК.



а



б



в



г

Рис. 2.12. В різній мірі обкатані літокласти (а) і кварц (б), суглинок (в) і гіпс (г) в пробі сучасного незрілого алювію р. Інгулець в районі с. Латівка (південь Кривого Рогу). Бінокуляр. Збільш. – 40^х.



Рис. 2.13. Органічні рештки у донному осаді: а – мушлі гастропод і рослинні рештки; б, в – фрагменти мушель молюсків. Бінокуляр. Збільшення: а, б - 50^{\times} ; в - 80^{\times} .

Поширення діатомей відображає особливості сучасної екосистеми Кривбасу, а саме:

- винесення на денну поверхню значної маси карбонатних палеоген-неогенових відкладів і накопиченням їх у відвалах гірничих підприємств;
- розчинення карбонатів дощовою водою;
- утворення численних мілких добре аерованих проточних водойм і потічків з високомінералізованою водою.

Дані умови є сприятливими для життєдіяльності даного типу мікроорганізмів.

Крім мінеральних часточок, принесених з кори вивітрювання і відвалів кристалічний і осадових порід, або утворених в умовах річкового осаду в алювії річок Кривбасу, зустрічаються невивітрені магнетитові і силікатні кварцити, сланці, егірініти, видобуті безпосередньо з кар'єрів залізорудних комбінатів (рис. 2.15). Вони не зазнали впливу гіпергенних агентів вивітрювання та зберегли первинний мінеральний склад, магнітні та інші характерні для них властивості [11, 36, 38].

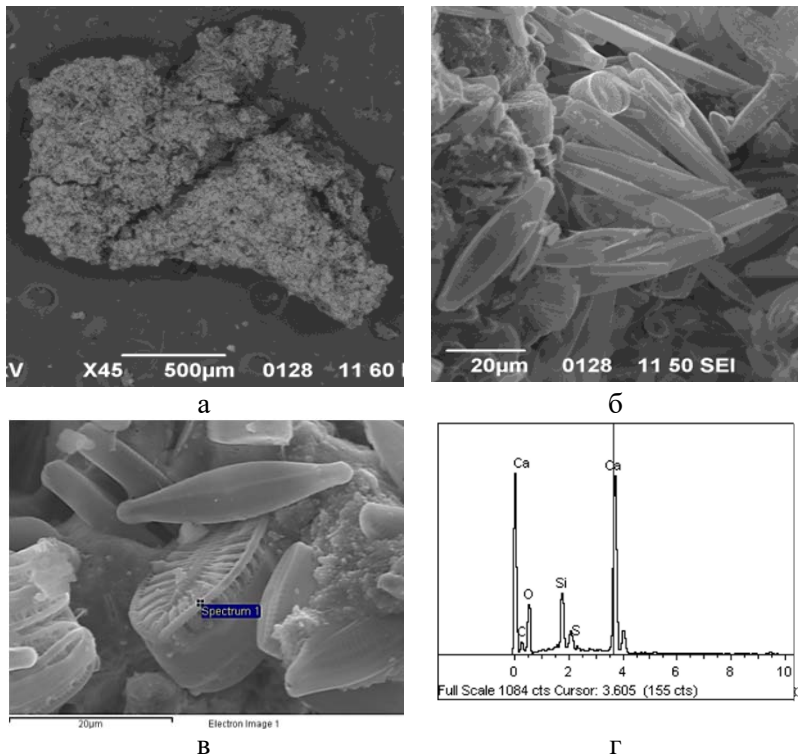


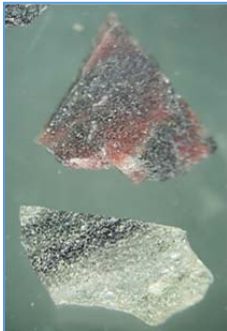
Рис. 2.14. Кремнисто-карбонатні діатомові водорості у донних відкладах постійних водотоків балок Північного Криворіжжя: а – в – растрова електронна мікроскопія; г – результати мікрозондового аналізу діатомей.



а



б



в



г



д

Рис. 2.15. Продукти видобутку магнетитових кварцитів у донному осаді р. Інгулець: а – червоно шаруватий магнетитовий кварцит; б – уламки магнетитових і силікат-магнетитових кварцитів; в – сіро шаруваті і червоно шаруваті магнетитові кварцити; г – малозалізистий тальк; д – кумінгтонітовий сланець. Бінокуляр. Збільшення: а - 40^{\times} ; в, г - 20^{\times} ; д- 25^{\times} .

Також безпосередньо з кар'єру, минаючи кору вивітрювання до мережі поверхневих вод надходять незмінені сульфіді, лужні силікати та інші нестійкі в екзогенних умовах гіпогенні утворення [5] (рис. 2.16).



Рис. 2.16 Продукти видобутку і збагачення магнетитових кварцитів у донному осаді Інгульця: а – кварц-кумінгтонітовий сланець з магнетитом; б – егіриніт з включеннями магнетиту; в – червоно шаруватий магнетитовий кварцит; г – малорудний магнетитовий кварцит; д – фрагменти магнетитових шарів залізного кварциту. Бінокуляр. Збільшення: а, б - 120^х; в - 40^х; г, д – 60^х.

В дрібних класах осаду присутні не змінені мінерали порід залізно-кременистої формації: альмандин, турмалін, актиноліт, сидерит, магнетит та інші (рис. 2.17).

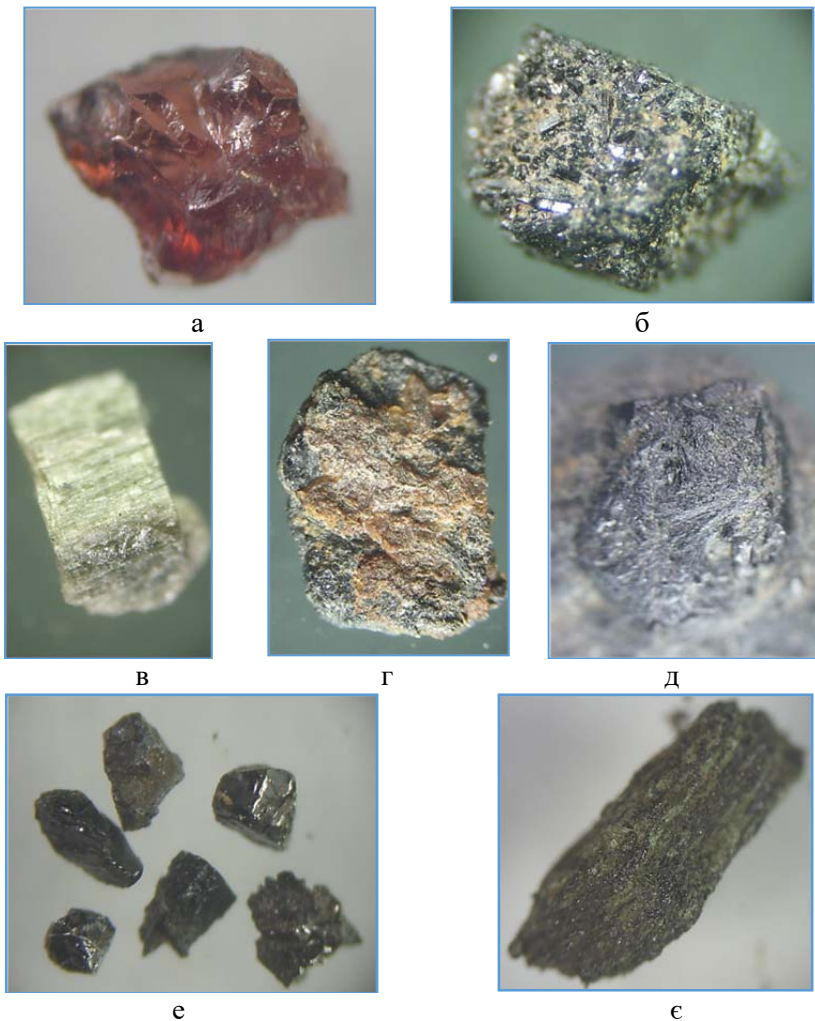


Рис. 2.17. Мінерали метаморфічних порід і руд у донному осаді річок Криворіжжя: а - альмандин; б – турмалін (шерл); в –егірин; г – щітка сидериту на зерні магнетиту; д, е - магнетит; е – силікатний прошарок магнетитового кварциту з егірином. Бінокуляр. Збільшення: а - 30^{\times} ; б - 25^{\times} ; в-д - 20^{\times} ; е - 50^{\times} ; е - 15^{\times} .

Дрібнозернисті класи осаду (-0,1 мм) містять розкриті із зростків зерна і кристали мартиту, кварцу. На їх поверхні зустрічаються щітки і кірки гіпергенних оксидів марганцю: манганіту, піролюзиту, псиломелану. В класах 0,1-0,5 мм поширені зростки у вигляді фрагментів рудних шарів і прошарків магнетитових кварцитів, магнетит-силікатних сланців, егіринітів з магнетитом тощо. Магнетитова домінанта осаду пояснюється максимальним наближенням водотоку до збагачувальних фабрик ГЗК. З них по балкам, що перетинають територію комбінатів, техногенне забруднення рухається природним шляхом в напрямку річок Інгулець та Саксагань.

На відміну від кори вивітрювання, мінеральні асоціації не змінених порід містять значну домішку сульфідів: піриту, піротину, халькопіриту, галеніту тощо (рис. 2.18). Вони утворюють щітки, кірки, плівки на поверхні породо-, і рудоутворюючих мінералів, та суттєво збагачують донний осад шкідливими геохімічними елементами, в першу чергу важкими кольоровими металами і сульфідними елементами.



Рис. 2.18. Сульфіди, принесені до Інгульця у складі продуктів видобутку і збагачення залізистих кварцитів: а – кірка піротину на магнетитовому кварциті; б – пірит на зерні біотитового сланцю з магнетитом; в – хлорит-біотитовий сланець з піритом. Бінокуляр. Збільшення: а, б - 30^{\times} ; в - 25^{\times} .

Домішка сульфідів у річковому осаді зумовлює забруднення його сідерофільними і халькофільними хімічними елементами: Fe, Zn, Sn, Li. Вміст Ni, Co, V, і Cr в ньому є максимальним (вплив талькових сланців та гідротермальних сульфідних жил і прожилків).

Незначна відстань річкових русел від дробарних та збагачувальних фабрик і відвалів ГЗК зумовила значне підвищення вмісту у донному осаді головного рудного мінералу залізистих кварцитів - магнетиту. В річковому алювії він представлений продуктами сухої магнітної сепарації у вигляді відносно крупних зростків з кварцом і силікатами, порфіробластами в біотитових сланцях, фрагментами рудних (магнетитових) шарів, але найбільше – магнетитовим концентратом. Втрати продуктів збагачення ГЗК привели до накопичення їх в руслових відкладах Інгульця і Саксагані (рис. 2.19).

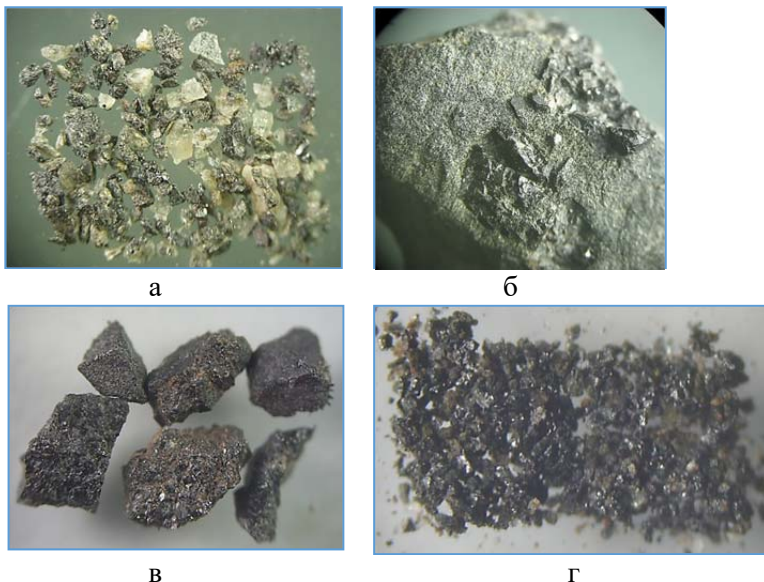


Рис. 2.19. Втрачений у процесах видобутку і збагачення магнетит у донному осаді р. Інгулець: а – зростки магнетиту, кварцу і силікатів з продуктивної товщі Інгулецького родовища; б – сланцевий прошарок з порфіробластами магнетиту; в – фрагменти рудних магнетитових шарів з відходів попередньої сухої магнітної сепарації; г – втрачений магнетитовий концентрат ГЗК, вилучений з алювію Інгульця. Бінокуляр. Збільшення: а - 30^{\times} ; б - 50 ; в - 60^{\times} ; г – 25^{\times} .

Складові донного осаду, що зазнали впливу промислових виробничих процесів (видобуток, переміщення, подрібнення, збагачення тощо) віднесені до *перетворених природних компонентів* донного осаду, за [67].

Певні компоненти донного осаду не могли утворитися в результаті природних геологічних процесів. До них відносяться металургійні кульки та графіт, часточки алюмінієвої фольги, металева стружка. Встановлено значне забруднення донного осаду *мікропластиком: синтетичним волокном, пластмасою, поліетиленом* та іншими побутовими відходами органічного складу. Вони знаходяться у вигляді фрагментів різноманітних виробів та дисперсних часточок, розсіяних в природному матеріалі донного осаду. Часточки промислового походження представлені також бітумом та битим склом (рис. 2.20).

Магнітні кулі, складаються з гідроксидів заліза. Їх походження пов'язане з процесами термічної обробки залізорудної сировини [75]. Найближче джерело надходжень даного матеріалу - система газоочистки металургійних агрегатів ПАО АМКР і Зеленодольської ТЕС. Вказані часточки промислового походження віднесені до *техногенних компонентів* сучасного донного осаду за [63, 66, 67]. До річкового осаду вони потрапляють повітряним і водним шляхом, як з виробничих майданчиків промислових підприємства, так і з прилеглих житлових масивів м. Кривий Ріг і сільських населених пунктів.

Поширеними компонентами річкового алювію є також алюмінієва фольга і металургійний графіт (рис. 2.21).

В проаналізованих пробах відчутний вплив високо мінералізованої води хвостосховищ ГЗК, з якими пов'язано утворення соляних відкладів (карбонатів, сульфатів) у вигляді друзочок, щіток, вицвітів на часточках донного осаду, рослинних рештках тощо. Розгрузка технічної води, що дренає до річки з розташованих поряд хвостосховищ ЦГЗК приводить до формування покладів природно-техногенного травертину [93]. Потужним джерелом солей є також відвали осадових порід ГЗК. Солі розчиняються у дощовій воді та виносяться потічками до балок і річки, де в результаті зміни гідрохімічного стану середовища осаджуються на поверхні мінеральних і органічних часточок (рис. 2.22).

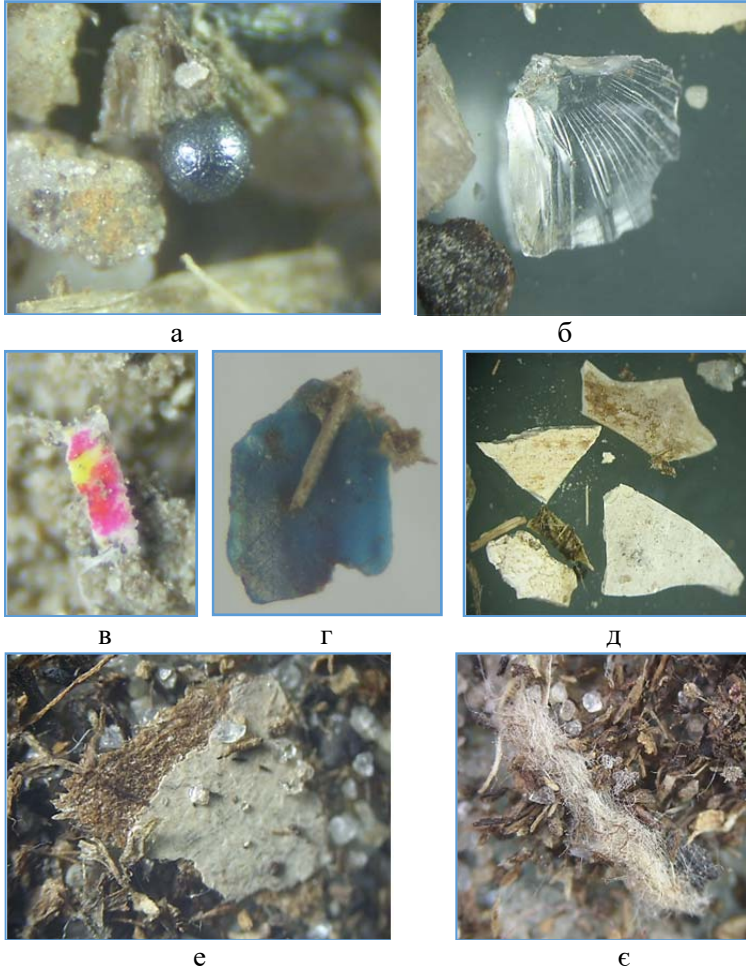
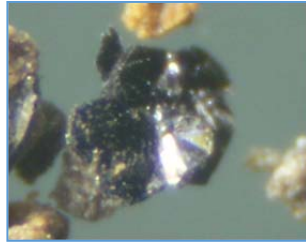


Рис. 2.20. Техногенні компоненти осаду: а – магнітна куля металургійного походження; б – уламок побутового скла; в – е – часточки побутового пластику; е – синтетичне волокно з рослинними рештками. Бінокуляр. Збільшення: а - 40^{\times} ; б, д - 30^{\times} ; в - 200^{\times} ; г – 130^{\times} ; е, е - 60^{\times} .

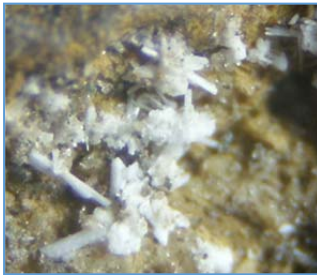


а



б

Рис. 2.21. Часточки річкового осаду, що мають промислове походження: а – алюмінієва фольга; б – металургійний графіт. Бінокуляр. Збільшення -10^{\times} .



а



б

Рис. 2.22. Радіально-променисті агрегати і щітки арагоніту на поверхні часточок донного осаду, утворені внаслідок впливу ГЗК на річку Інгулець. Бінокуляр. Збільшення: 80^{\times} .

Наведений матеріал дозволяє зробити наступні висновки.

1. Суттєвою складовою донного осаду у поверхневих водоймах Криворізького басейну є перекривні і вміщуючі гірські породи і руди, що надходять в результаті ерозії відвалів, дамб, доріг і промислових площадок, хвости та інші відходи збагачення, а також втрачений магнетитовий концентрат. В даному випадку природний матеріал потрапляє до річкового алювію не з кори вивітрювання, а безпосередньо з промислових і комунальних об'єктів. Обсяги осаджень техногенної мінеральної речовини значно більші, ніж вважалось раніше, і можуть перевищувати природні надходження з водозбірної площі річок.
2. У розрізі сучасного алювію річкової мережі Криворіжжя домінує в незначній мірі отсортований незрілий осад. Виключення

представляють локальні розсипи (знизу вверх осадової колонки) гетиту, гематиту (мартиту) і магнетиту, що починають формуватися в сучасну геологічну епоху. Цим сучасний алювій відрізняється від аналогічних утворень доіндустріальної епохи з проявами розсипного золота, циркону, ільменіту, альмандину та інших важких мінералів.

3. Викликає занепокоєння повсюдне забруднення донного осаду чорними і кольоровими металами, металургійним шлаком, пилом, склом, бітумом, мікропластиком.
4. Природні і штучно утворені водойми, кори вивітрювання та розміщені на водозбірній площі промислові відходи формують єдину, відсутню в минулому систему утворення, спільного транспортування, накопичення і розсіювання мінеральної сировини змішаного природного-техногенного походження.
5. Наведені дані свідчать про необхідність розробки і впровадження дієвих рішень по очищенню донних відкладів, одночасно з днопоглибленням, складуванням і комплексною переробкою накопиченої природної і техногенної сировини.

2.4. Тонкодисперсні металургійні відходи в осадках штучних водотоків Криворіжжя

Утворення тонкодисперсних відходів (пили, шламів) є невід'ємним наслідком промислового виробництва. Проблема їх розповсюдження у навколишньому середовищі та негативного впливу на здоров'я населення набула за останні роки загальнонаціонального значення. Особливо гострою вона стала у Криворізькому басейні, що займає перше місце в Україні за обсягами видобутку і металургійної переробки залізних руд [35].

Дослідження складу забруднюючих матеріалів та механізмів їх розповсюдження з території металургійного підприємства у довкілля дозволять підвищити ефективність природоохоронних заходів, зменшити техногенне забруднення біосфери різними викидами і скидами шкідливих і токсичних речовин і тому є особливо актуальними.

Вивчені донні осадки обвідного каналу ПАО АМКР. Цей штучний водотік має довжину біля 10 км при ширині до 10 м. Він витікає з Південного водосховища в районі залізничної станції

Батуринська, наповненого водою Дніпра, протікає повз відвали шлаків і шламонакопичувачів ПАО АМКР, хвостосховища Південного і Новокриворізького ГЗК, і закінчується в місці впадіння балки Грушувата в р. Інгулець поблизу хвостосховища «Миролюбівське». Умовно чиста вода з каналу відбирається для технологічних потреб, а також скидається в р. Інгулець. Дослідження донних осадків обвідного каналу дозволяє простежити механізм розповсюдження промислових відходів з території промислових площадок металургійного комбінату, коксохімічного і цементного заводів і двох гірничозбагачувальних комбінатів в напрямку Інгульця і довкілля в цілому.

Проби осаду відібрані у трьох ділянках каналу: біля витоку з Південного водосховища (пр. А-2-20), в районі шлакового відвалу ПАО АМКР (пр. А-1-20), в районі акумулюючої ємності, шламових карт, коксохімічного і цементного заводів (пр. А-6-20) (рис. 2.23). Вивчено мінеральний склад, гранулометрія і насипна вага осаду штучної проточної водойми.

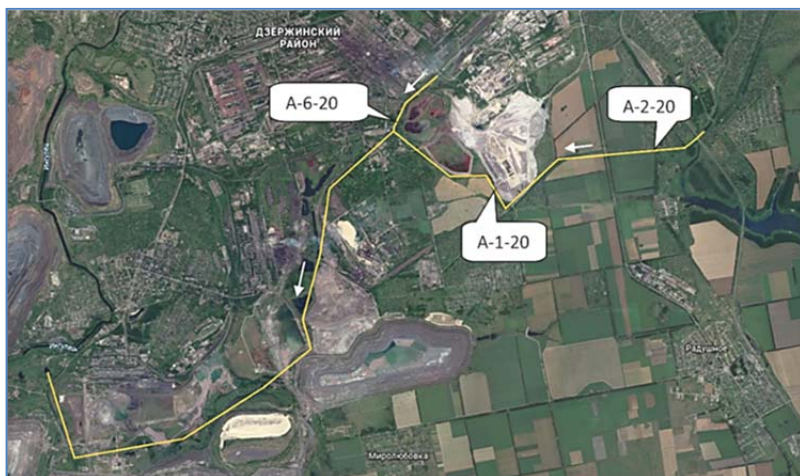


Рис. 2.23. Обвідний канал ПАТ АРМКР (жовте), що з'єднує Південне водосховище з водою р. Дніпро та р. Інгулець з місцями відбору проб.

Результати дослідження свідчать, що донний осад суттєво відрізняється в різних ділянках обвідного каналу. В напрямку від

Південного водосховища до проммайданчика ПАО АМКР він стає більш однорідним за гранулометричним складом і тонкозернистим (рис. 2.24).

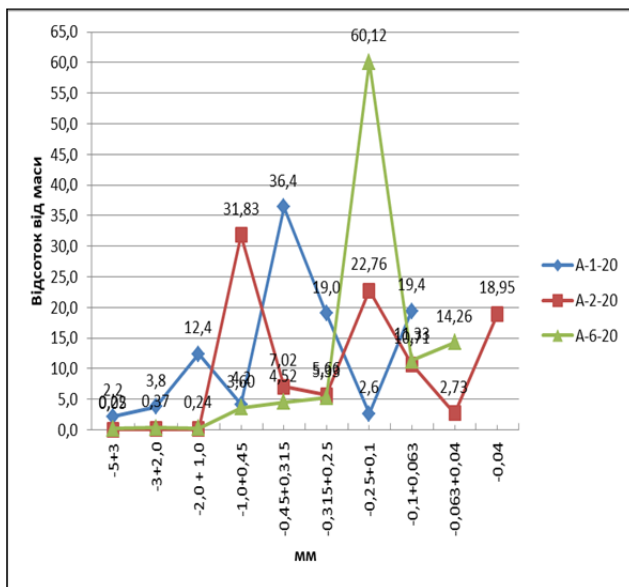
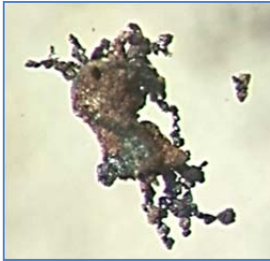


Рис. 2.24. Гранулометричний склад матеріалу відібраних проб.

Колір осаду змінюється від сіро-чорного (пр. А-2-20) і світло-сірого (пр. А-1-20) до буро-коричньового (пр. А-6-20). Насипна вага осаду підвищується від $0,672 \text{ г/см}^3$ (пр. А-2-20) до $1,155 \text{ г/см}^3$ (пр. А-6-20). У його мінеральному складі зростає вміст магнетиту, гематиту, гетиту, гіпсу, кальциту та інших соляних мінералів, лусок металургійного графіту, коксового дріб'язку, часточок шлаку і шламу. Одночасно зменшується вміст кварцу, глауконіту, мікропластику і органічних решток.

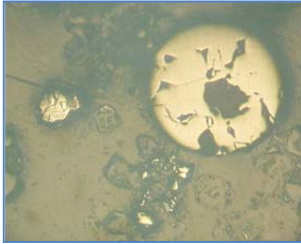
Форма виділень оксидів заліза куляста, характерна для металургійних відходів. Металургійне скло представлено голками, шипами, виділеннями неправильної форми. Металургійний графіт лускуватий, часто розщеплений [119]. Глинисто-карбонатні часточки цементу утворюють дрібні грудочки неправильної або кулястої згусткові форми (рис. 2.25).



а



б



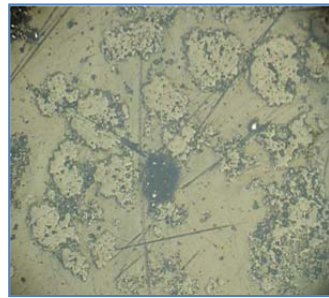
в



г



д



е

Рис. 2.25. Промислові часточки у донному осаді обвідного каналу: а - в - кулі і зерна неправильної форми магнетиту; г – металургійне скло (часточка гранульованого шлаку); д – металургійний графіт; е – кулясті глинисто-карбонатні часточки пилу цементного заводу. А – в, г - пр. А-6-20); г, д - пр. А-1-20). А, б, г – бінокуляр; в, д е – полірований шліф. Збільшення: а – 120^{\times} ; б – 100^{\times} ; в – 180^{\times} ; г, д – 150^{\times} ; е – 200^{\times} .

Джерелами надходження тонкодисперсних техногенних часточок до осаду обвідного каналу слугують розміщені поряд промислові об'єкти: коксохімічний завод, цементний завод, мартенівський та інші цехи ПАО АМКР.

Таким чином, донні відкладення проточних водойм на промислових майданчиках слугують колекторами всіх видів промислового забруднення. Часточки осаду за формою, розмірами і складом відповідають продуктам діяльності виробничих об'єктів і накопичувачів відходів. Природна річкова вода, що потрапляє на територію промислових комбінатів забруднюється до стану технічної і частково використовується для технологічних потреб, а частково повертається до річкової мережі. Забруднені промисловими відходами донні осадки штучних проточних водойм теж виносяться за межі підприємств і забруднюють доквілля. Для зменшення негативного впливу проточних водойм промислового призначення, що з'єднуються з річковою мережею та забруднюють її, рекомендується виконувати очищення русла каналів та утилізацію накопиченого мулу, що за складом відповідає сировинним матеріалам промислових підприємств.

2.5. Морфоседиментаційна диференціація речовини в межах поверхневих водойм Криворізького басейну

Вивчено вплив морфології часточок осаду на процеси концентрації-розсіювання мінералів, що постійно відбуваються в басейнах седиментації. До *морфологічних ознак* віднесені особливості внутрішньої будови, габітус і співвідношення розмірів, мікроскульптури росту (віцинальні грані, реберні форми тощо) і розчинення, пов'язана з ними питома поверхня, а також рівень накопичення електростатично заряджених мікрочасточок на поверхні мінеральних зерен (індивідів і агрегатів) осаду, що сприяють формуванню полімінеральних утворень - міцел. Їх дослідження має за мету прогнозувати поведінку мінеральних часточок в процесах мобілізації, транспортування та осадження седименту, оскільки вказані особливості мають безпосередній вплив на швидкість осадження (седиментаційну щільність), дальність переносу і переважаючі ділянки накопичення мінералів.

Вплив анатомії мінеральних індивідів і агрегатів осаду. Важливим фактором осадової диференціації є внутрішня будова мінеральних часточок. Тверді, газові та рідинні включення, прояви скелетного росту та розчинення з утворенням пористості зменшують седиментаційну щільність мінералів. Пористі зерна золота з проявами скелетного та дендритного росту, акцесорні апатит,

циркон, андалузит з вакуолями газів, порожнисті кулі заліза та його оксидів з пилу і шламів металургійних комбінатів (рис. 2.26) мають значно нижчу від номінальної щільність. У водному потоці вони мігрують на значні відстані, накопичуючись в пониззі річок, дельтах, лиманах та басейнах седиментації Азовського і Чорного морів.

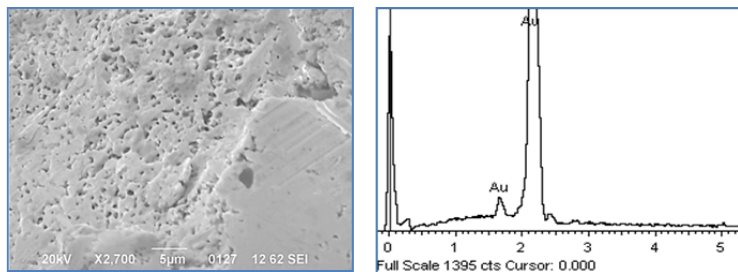
В той же час, тонкозернистий метаморфогенний кварц, подрібнений у технологічному циклі ГЗК, з великою кількістю пилоподібних включень оксидів заліза, осаджується в конусах виносу балок, у тальвегах яких споруджені хвостосховища ГЗК. В р. Інгулець він утворює локальні розсипи техногенних рудних граувакк [25]. З ним асоціює кварц з піритом і голчастими включеннями рутилу (рис. 2.27).

Габітус і співвідношення розмірів. Значна група компонентів осаду мають вигляд *ізометричних кристалів, закономірних зростків, агрегатів і обкатаних зерен*. Серед них поширені кристали кубічної сингонії (октаедричні, гексаедричні, ромбододекаедричні), індивіди псевдокубічного вигляду тощо (рис. 2.28).

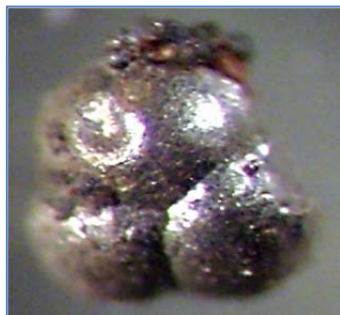
З відходів промислових підприємств до природних і штучних водойм спрямовуються кулясті агрегати оксидів заліза і скла, оплавлені мінерали вогнетривів тощо. Куляста зовнішня форма характерна для сульфідів і оксидів заліза з териконів шахт Західного Донбасу, розміщених на схилах річкових долин (Самара, Кальміус та ін.). Вони утворились внаслідок самоzapалювання териконів вуглевидобувних шахт. Кулясті виділення скла характерні також для золи ТЕС. Магнітні металеві, залізоокисні та скляні кулі, що походять з металургійних комбінатів і ТЕС стали в сучасний період невід'ємною техногенною складовою практично всіх поверхневих водойм у промислово навантажених регіонах.

Округлі внаслідок механічної обробки уламкові зерна ільменіту, циркону, золота, кварцу, гранатів; хемо-біогенні мікрооліти кальциту і арагоніту дуже поширені в донних відкладах вивчених природних водойм (рис 2.29).

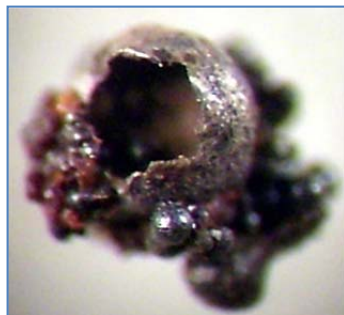
Мінерали хемогенного, хемогенно-органогенного і техногенно-природного походження у складі річкового осаду теж, як правило, мають ізометричну кулясту форму. Серед них найбільш поширені: гетит, марказит, кальцит, фромбоїдальний пірит. Рідше зустрічаються, кулясті виділення халькопіриту, борніту та інших мінералів (рис. 2.30, 2.31).



а



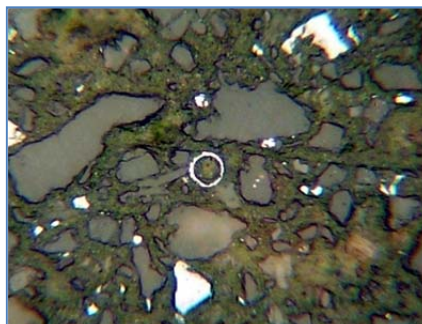
б



в



г



д

Рис. 2.26. Пористі зерна золота з проявами скелетного та дендритного росту (а), деформовані порожнисті кулі заліза (б, в) та його оксидів з пилу і шламів металургійних комбінатів. А – РЕМ, МЗА; б-г – бінокуляр; д – полірований шліф. А – алювій р. Дніпро в районі с. Корсунка; б-г – донний осад акумулюючої ємності ПАО АМКР; д – алювій р. Громоклій. Збільшення: б, в – $100\times$; г – $150\times$; д – $110\times$.

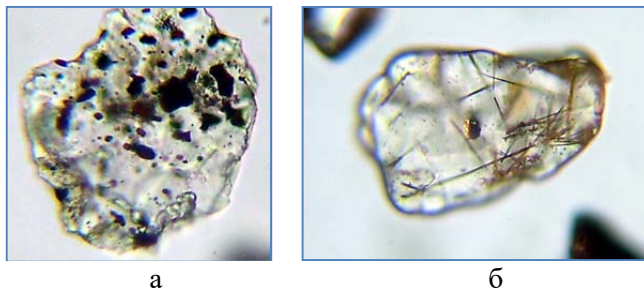


Рис. 2.27. Кварц у донному осаді р. Інгулець, південь Кривбасу: а - збагачений оксидами і гідроксидами заліза; б – з включеннями рутилу і піриту. Імерсія, збільшення 80^x.

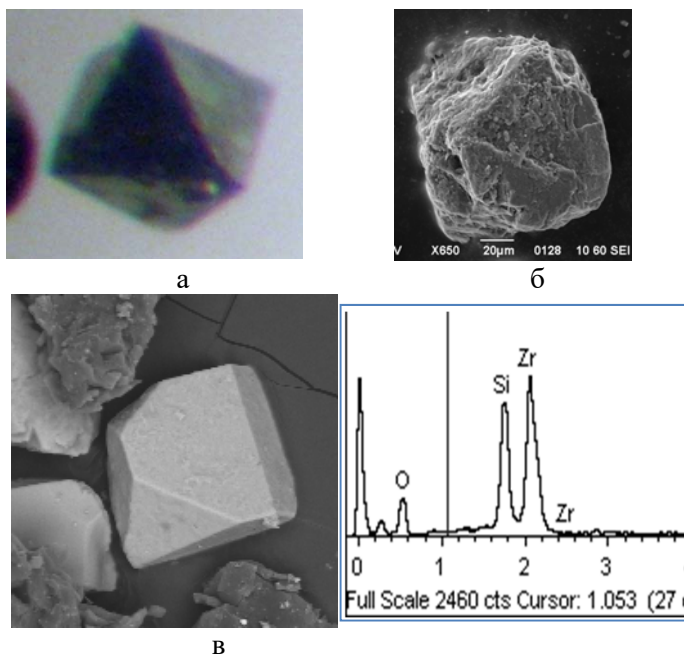


Рис. 2.28. Ідіоморфні ізометричні кристали: октаедри магнетиту (а) і мартиту (б), призматично-діпірамідальний (псевдокубічний) індивід циркону (в). Алювій річок Інгулець (а) і Дніпро (в), відвали ПАО ИНГОК у долині р. Інгулець (б). А – бінокуляр, б, в - РЕМ. Збільшення: а - 200^x.

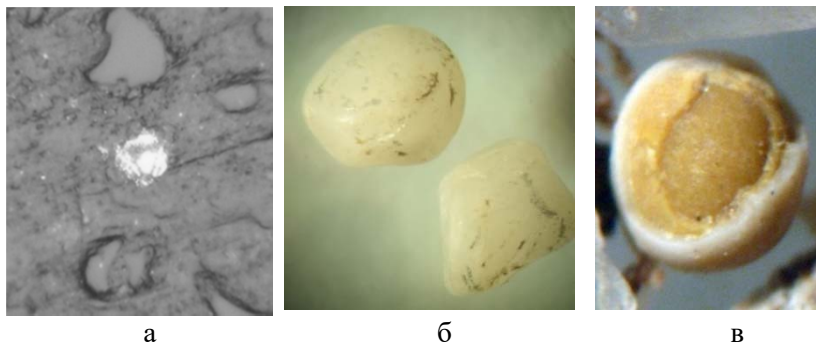


Рис. 2.29. Ізометричні зерна: золота у донному осаді р. Інгулець (а) і кварцу, р. Дніпро (б); мікроооліт кальциту, там же (в). А – полірований шліф; б, в – бінокуляр. Збільшення: а – 70^{\times} ; б, в – 10^{\times} .

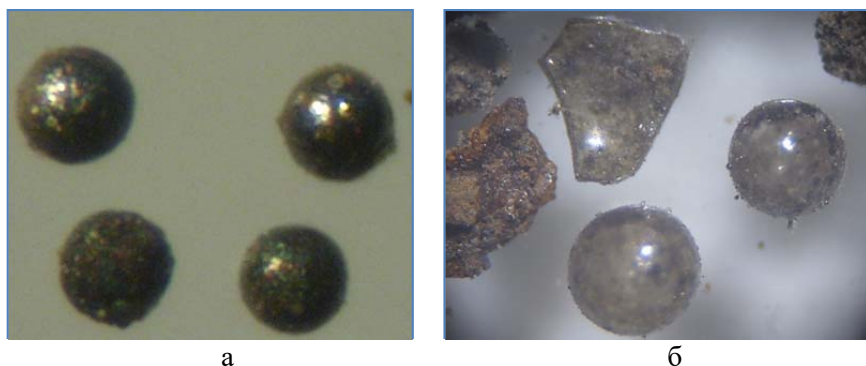
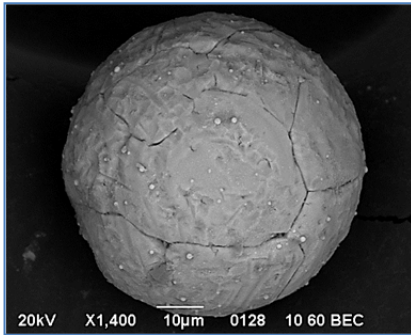
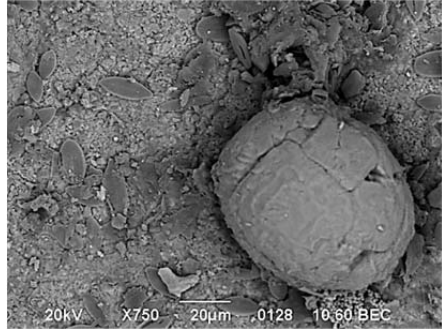


Рис. 2.30. Кулясті виділення оксидів заліза з відстійника шламів ПАО АМКР (а), і скла з золи розташованої на березі Дніпра Трипільської ТЕС (б). Бінокуляр. Збільшення – 200^{\times} .

Аутигенні мінерали заліза чітко відображають зміну умов седиментації і після седиментаційних перетворень у вертикальному розрізі алювію. У верхньому аерованному шарі осаду утворюються мікроооліти гетиту в асоціації з аеробними бактеріями і органічним кальцитом (рис. 2.32).



а

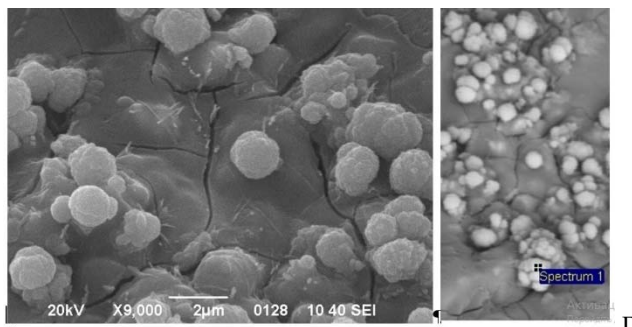
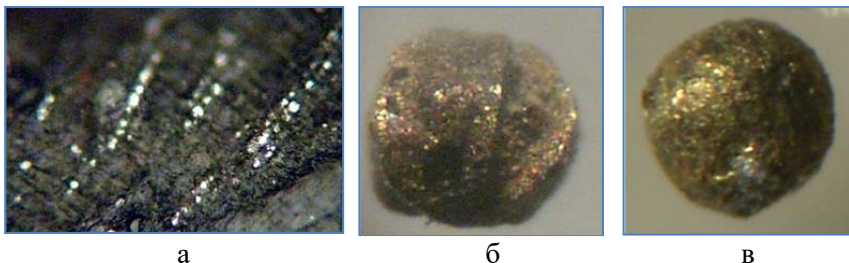


б

Рис. 2.31. Кулясті агрегати аутигенного гетиту доменної будови у донному осаді Дунаю (а) і Дніпра, в оточенні аеробних бактерій (б). РЕМ.

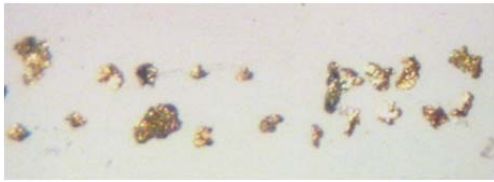
Нижче рівня 0,4-0,5 м розрізу донного осаду розташована зона анаеробних умов, в яких кристалізується марказит у вигляді дрібних кулястих агрегатів в органічних рештках, новоутвореного борніту в уламках шлаків кольорової металургії як наслідок їх гальміролізу, а ще нижче, у приплотикових ділянках розрізу мікрооліти марказиту перекристалізуються в дрібні ідіоморфні кристали піриту (рис. 2.32).

Лускуваті, пластинчасті, ниткоподібні, голчасті, скелетні кристали, дендрити характерні для багатьох мінералів донного осаду. В першу чергу до них відносяться метали: природні виділення золота, срібла, міді та техногенних часточок бронзи, заліза, алюмінію та інших (рис. 2.33).

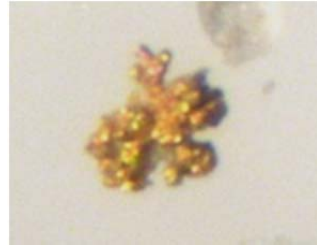


Element	Weight%	Atomic%
S	26,25	40,17
Cl	3,61	5,14
Fe	5,73	5,06
Cu	64,41	49,63
Totals	100,00	

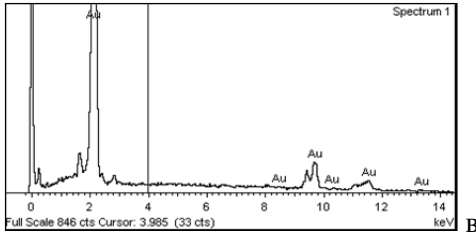
Рис. 2.32. Кулясті виділення аутигенних мінералів річкового осаду: а – фітоморфози марказиту; б – четверник марказиту; в – мікросфероліт марказиту; г – мікроскопічні виділення вторинного борніту на уламках шлаків кольорової металургії. Донний осад Інгульця (а); Південного Бугу (б, в); Дніпра (г). Полірований шліф (а), бінокуляр (б, в), РЕМ, МЗА (г). Збільшення: а – 120^{\times} ; б – 50^{\times} ; в – 40^{\times} .



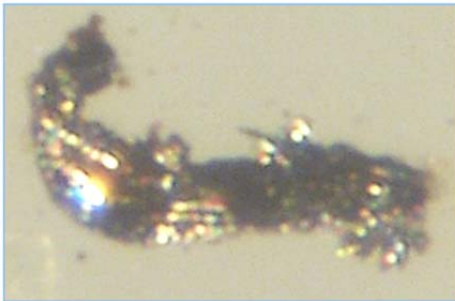
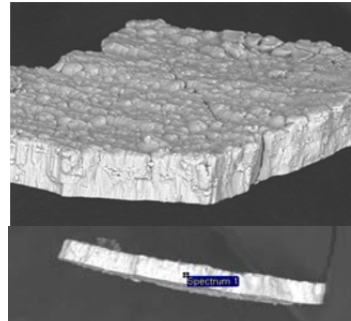
а



б



в



г



д

Рис. 2.33. Часточки металів складної форми: а - лускуваті виділення золота в алювії нижнього Дніпра; б - дендрити золота в донному осаді хвостосхоща Мужієво; в – пластинка золота у верхній частині алювіального розрізу у дельті Дунаю; г, д - техногенна бронза і залізо в алювії Дніпра. А, б, г, д – бінокуляр; в - РЕМ, МЗА. Збільшення: а, б, г - $120\times$; д - $20\times$.

Пластинчасту та досить складну форму мають також індивіди і агрегати силікатів, оксидів, сульфідів, карбонатів, поширених у донних осадах досліджених водойм (рис. 2.34).

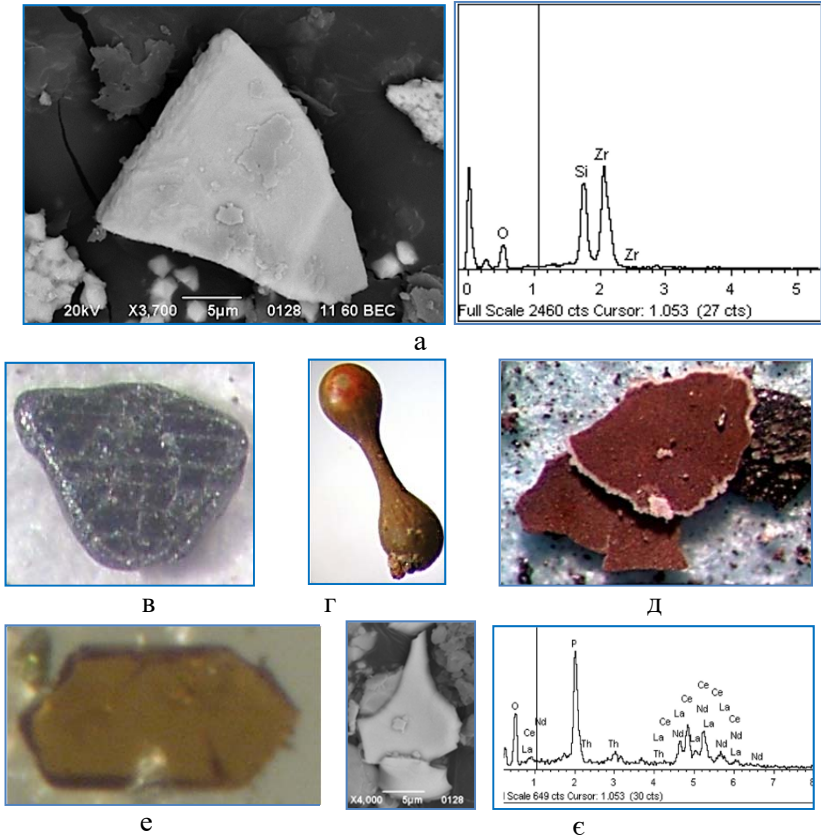


Рис. 2.34. Сплюснені індивіди циркону (а), гематиту (в), гантелеподібна часточка (г) і кірка (д) гетиту, монацит (е, е). Аллювій Дніпра (а, е, е) і Інгульця (в); г, д - донний осад акумулюючої ємності ПАО АМКР. А, е – РЕМ, РЕМ; в-е – бінокуляр. Збільшення: в-д – 40^{\times} ; е – 120^{\times} .

Золото, циркон, монацит, сульфіді, карбонати, кварц та інші природні мінерали, а також штучно утворені металеве залізо і сплави, оксиди металів, металургійне скло в різних умовах здатні формувати часточки в широкому діапазоні морфологічних ознак - від ізометричних кристалів і куль до плоских лусок, голок, ниток, скелетних кристалів і розгалужених дендритоподібних агрегатів надскладної морфології. В залежності від морфологічних ознак рудні мінерали в одному випадку транспортуються волочінням по дну

водойми та накопичуються у приплотикових розсипах, а в іншому – першими переходять в рухомий стан при збільшенні швидкості водного потоку та разом з річковим мулом і рослинними рештками накопичуються у верхніх ділянках алювію.

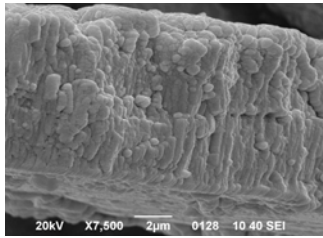
Мікроскульптури росту, розчинення і заміщення на поверхні мінеральних зерен. Скульптури росту, розчинення та заміщення відображають умови мінералоутворення і особливості середовища кристалізації. Вони суттєво ускладнюють мікроморфологію мінеральних зерен і змінюють їх питому поверхню (рис. 2.35).

Мікроскульптури росту, розчинення та заміщення мають суттєвий вплив на здатність затримуватись у водному завесі, швидкість міграції, дальність переносу від корінних джерел та переважне накопичення в різних фаціях річкової долини.

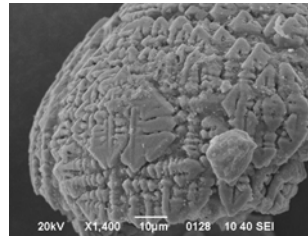
Рівень накопичення електростатично заряджених мікрочасточок на поверхні мінеральних зерен. Внаслідок дезінтеграції гірських порід в зоні гіпергенезу утворюються значні обсяги дисперсних часточок мікронних розмірі. Вони є носіями електростатичних зарядів і, завдяки малим розмірам, практично не осаджуються на дно водойми, за винятком коагуляції (злипання при зіткненні) у більш значні за розміром часточки. Процеси коагуляції і гелеутворення, а також фізичні і хімічні перетворення (конденсація, рекристалізація, йонний обмін і інші) мають вирішальне значення у формуванні різноманітних осадків і осадкових гірських порід (глинистих, карбонатних, крем'янистих і інш.) [83, 90].

Накопичення електростатично заряджених пилоподібних часточок у вигляді розрідженого зонального шару на поверхні зерен осаду значно поширено в досліджених водоймах і є одним з вирішальних факторів седиментогенезу в природних і штучних водоймах регіону (рис. 2.36).

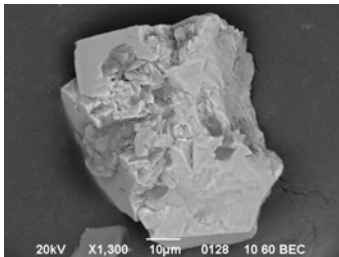
Сорбція зернами осаду пилоподібних заряджених часточок залежить від мінерального складу, морфології зерна і скульптур на його поверхні, мінерального і хімічного складу дисперсних часток водного завесу, а також фізико-хімічних параметрів води (температури, солоності, рН тощо). Рівень накопичення зарядів на поверхні зерен одного мінерального складу змінюється в широких межах.



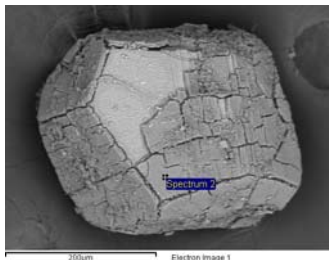
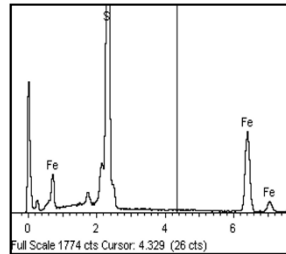
а



б



в



г

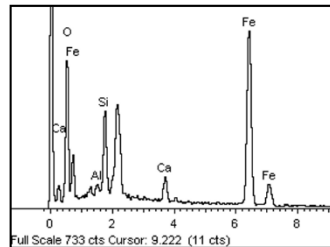


Рис. 2.35. Скульптури росту, розчинення і заміщення на часточках донного осаду: а - скульптурована пластинка золота; б - фрагмент кулястої шламової частки, утвореної скелетними кристалами металургійного магнетиту; в - корродований в умовах гальміролізу пірит; г – скульптурована кірка лімоніту на поверхні пентагондодекаедричного кристалу піриту. Алувій р. Дунай, м. Вілкове (а), р. Дніпро, с. Львове (в), р. Інгулець, м. Кривий Ріг (г).

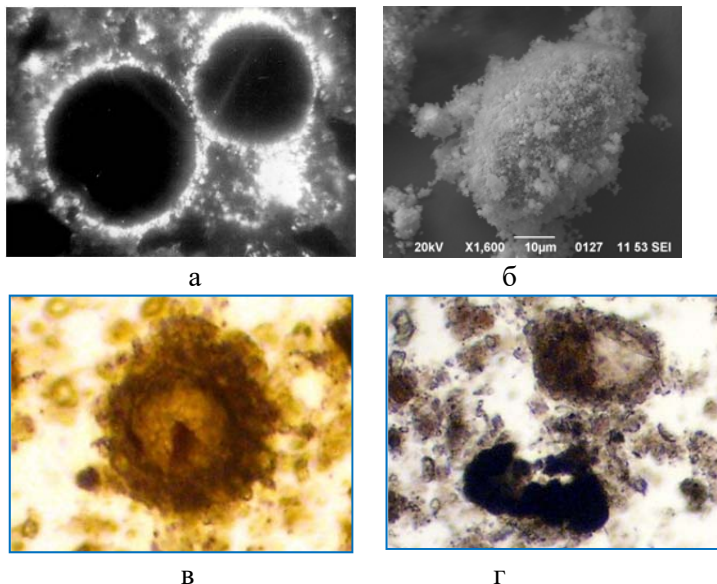


Рис. 2.36. Міцели, утворені мікроскопічними електростатично зарядженими часточками на поверхні зерен осаду: а – зональні карбонатні міцели на поверхні металургійного скла; б – пухкий дисперсний глинисто-карбонатний матеріал на поверхні зерна осаду; в – зональна силікат-карбонат-гетитова міцела; г – міцели, утворені на зернах рудних мінералів і кварцу. А – донний осад накопичувача шламів ПАО АМКР; б – алювій Дніпра; в, г – донний осад Карачунівського водосховища на р. Інгулець. А – прозорий шліф, ніколї схрещені; б – РЕМ; в, г – іммерсійний препарат. Збільшення: а, г – $140\times$; в – $230\times$.

Ізометричні індивіди та обкатані зерна простої морфології з незначною кількістю поверхневих зарядів утворюють розсипи в «літологічних пастках». Зерна складної морфології і скульптурованою поверхнею мають значний та розріджений шар тонкодисперсних електростатично заряджених пилоподібних часточок. Вони мігрують на значні відстані і осаджуються (дефлокуюються) лише в умовах геохімічного бар'єру «річка-море».

Типізація часточок осаду за морфологічними ознаками, внутрішньою будовою і рівнем накопичення електростатично заряджених мікрочасточок. Внаслідок значної варіативності умов

утворення і перетворення, мінеральні часточки донного осаду набули значних відмінностей, здатних впливати на седиментаційні процеси, зокрема накопичення-розсіювання в межах природних і штучних поверхневих водойм. Важливими характеристиками компонентів (часточок) природного і техногенного осадів є їх внутрішня будова, морфологія і скульптура поверхні та пов'язані з ними питома поверхня і рівень накопичення електростатичних (кулонівських) зарядів. За даними параметрами в межах зерен осаду **одного мінерального виду** автором визначені три групи:

а) ізометричні не скульптуровані щільні або з великою кількістю рудних включень, мінімальним рівнем питомої поверхні і електростатичних зарядів мінеральні індивіди і кулясті агрегати, округлі внаслідок часткового розчинення та механічної обробки (обкатування) зерна;

б) лускуваті, сплюснені, ниткоподібні, голчасті, скелетні кристали, дендрити та розгалужені агрегати з великою кількістю внутрішніх порожот, зі скульптурами росту, розчинення та механічних деформацій, що мають відносно велику площу поверхні і значний рівень накопичення електростатичних зарядів;

в) перехідна група: короткостовбчасті, товстотаблицчасті індивіди, зерна неправильної форми (рис. 2.37).

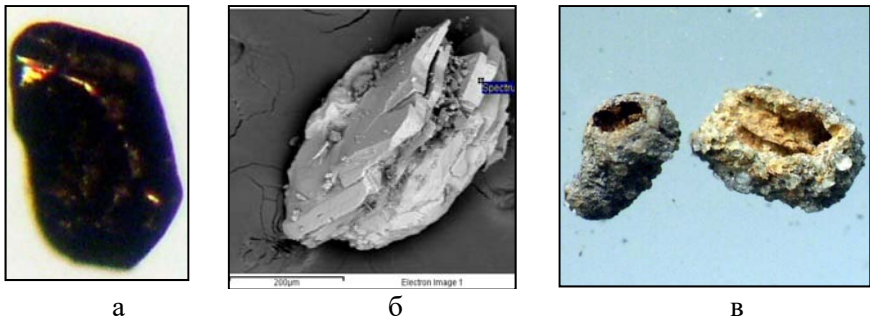
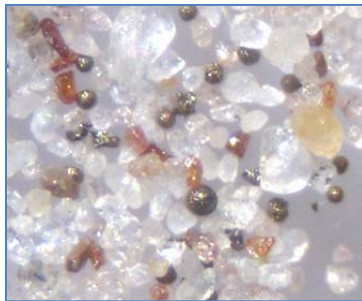


Рис. 2.37. Перехідна група зерен осаду за морфологічними ознаками: а – короткостовбчастий ідіоморфний кристал ільменіту (р. Інгул); б – товсто таблицчастий гематит (залізна слюдка, р. Інгулець); в – аглютиновані черепашки (Карачунівське водосховище). а, в – бінокляр; б – РЕМ. Збільшення: а- 250^х; в – 120^х.

Вплив морфологічних ознак на розподіл мінеральних часточок у вертикальному розрізі осаду. Зв'язок форми мінеральних індивідів і агрегатів з положенням їх у розрізі алювіальних відкладів досліджувались на прикладі пониззя Дніпра, гирла Дунаю, Інгульця, Саксагані та інших річок України. Вивчено kern дослідних (глибиною до 10 м) і пошукових (до 50 м) бурових свердловин, закладених на заплавах та річкових островах. Бралась до уваги морфологічні ознаки найпоширеніших мінералів важкої фракції: піриту, марказиту, магнетиту, гематиту, гетиту, ільменіту, а також самородного золота.

Визначено, що в результаті морфо-седиментаційної диференціації різні за морфологією, внутрішньою будовою, мікрорельєфом поверхні та рівнем накопичених електростатичних зарядів індивіди і агрегати одного мінерального виду в процесах седиментогенезу ведуть себе як різні мінерали та накопичуються у різних ділянках алювіального розрізу. Асоціація мінеральних часточок групи **А** концентрується у нижніх приплотикових ділянках алювію. До неї відносяться малорухливі кубічні, октаедричні та пентагон-додеаедричні кристали піриту, магнетиту, хроміту, алмазу, щільні магнітні кулі техногенних оксидів заліза, мікрооліти і сфероліти гетиту, марказиту, щільні ізометричні виділення золота, короткостовбчасті кристали і уламки циркону, монациту, ільменіту, а також кулясті виділення металургійного скла, обкатані ізометричні зерна кварцу тощо. Під час виконання пошукових робіт з використанням шліхового методу мінеральні часточки даної морфологічної відміни ефективно осаджуються у «сірому шліху», не зважаючи на незначні (часто менше 0,1 мм) розміри.

На відміну від них, мінеральні індивіди і агрегати групи **Б** у водному потоці надзвичайно рухливі. Вони останніми осаджуються із завису при зменшенні швидкості течії, і першими здійснюються при зростанні динаміки водного потоку [91] (см. рис. 2.38 б). У верхніх ділянках досліджених алювіальних розрізів, на контакті донного осаду з водою, найбільш поширені сплюснені кристали, лускуваті зерна і агрегати складної морфології вказаних мінералів, віднесені за наведеною вище класифікацією до групи **Б**. Їх розмір змінюється в широких межах, досягаючи більше 1 мм. Проте замість концентрації у «сірому шліху» вони втрачаються з мулом у відмученій частині осаду.



а



б

Рис. 2.38. Марказит з алювіальних відкладів Нижнього Дніпра: а - кулясті агрегати в приплотикових ділянках розрізу; б - дощаті кристали з верхнього шару алювіального розрізу. А – с. Збур'ївка, св. 304 гл.51 м.; б – с. Корсунка, сучасний донний осад Дніпра. Бінокуляр. Збільшення: а – 60^{\times} , б – 100^{\times} .

Таблитчасті, призматичні кристали, зерна неправильної форми перехідної група **В** зустрічаються у всіх ділянках розрізу річкових відкладів.

Розподіл мінеральних часток по латералі басейнів седиментації. Внаслідок характерних морфологічних ознак часточки групи **А** осаджуються поблизу джерел зносу, входять до складу осадів руслових фацій, у тому числі точок мінералізації і розсипів золота відносно простої морфології, з якими асоціюють близькі за розмірами ідіоморфні мікрокристали піриту та кулясті виділення марказиту, гетиту та інших мінералів. У складі покладів даного типу найчастіше зустрічається золото ізометричного вигляду, обкатане, і внаслідок цього ущільнене та в незначній мірі скульптуроване [44-46].

Часточки, віднесені до групи **Б**, накопичуються в продуктах дальнього знесення: річкових гирлах, лиманах, розсіюються у морських та океанічних басейнах. В гирлових та заплавних фаціях Дунаю, Дніпра, Інгульця і інших річок сплюснені часточки рудних мінералів виглядають екзотичними утвореннями на тлі мулистій основної складової осаду. Це стосується тонких скульптурованих лусок золота, сульфідних новоутворень в органічних рештках, сплюснених ідіоморфних кристалів марказиту, монациту, гематиту, кірок і щіток гетиту тощо.

Часточки групи **В** зустрічаються у більшості фаціальних відмін донного осаду. Рудні зерна даної морфології формують косові розсипи та накопичуються у проміжних колекторах.

В результаті морфо-седиментаційної диференціації різні за морфологією, внутрішньою будовою, мікрорельєфом поверхні та рівнем накопичених електростатичних зарядів індивіди і агрегати одного мінерального виду в процесах седиментогенезу ведуть себе як різні мінерали та накопичуються у різних ділянках алювіального розрізу і фаціях басейнів седиментації. Даний висновок ілюструють виділення марказиту різної морфології, що в концентруються в різних ділянках одному літологічного розрізу (рис. 2.38).

Надзвичайним морфологічним розмаїттям виділяється розсипне золото України. В публікаціях М.С. Ковальчука, В.М. Квасниці, Є.Ф. Шнюкова, М.О. Маслакова, В.Т. Кардаша та інших дослідників охарактеризовано кілька десятків форм його виділення [44-46, 87, 103]. Враховуючи важливий вплив зовнішньої морфології, внутрішньої будови, мікроскульптур і рівня накопичення електростатичних зарядів часточок осаду, можна спрогнозувати головні тенденції і закономірності розподілу золота у літологічному розрізі і по літералі басейнів седиментації.

Добре ограновані досконалі кристали октаедричної, кубооктаедричної та ромбододекаедричної форми, округлі дискоїди, ущільнені унаслідок деформації куле- та грудкоподібні зерна золота зустрічаються обмежено. Вони тяжіють до нижніх ділянок алювіального розрізу і плотиків. Дана група є найбільш перспективною для формування розсипів в седиментаційних пастках руслових фацій.

Більш поширені недосконалі, спотворені монокристали і їх зростки, дрото-, стрічко-, гачкоподібні, пористі зерна, дво-, трилисники, веретеноподібні індивіди, складні поліморфні утворення неправильної та екзотичної форми, зерна з автоепітаксичними наростами, зернами натічної форми, новоутворені тонкі луски, плівки, екзотичні форми на поверхні обвуглених органічних решток, гідроокисів заліза і мангану, золотинки з механічними подряпинами, скульптурами розвальцювання, деформованими та загнутими краями, внутрішньозерновими деформаціями тощо. Схожі властивості і динаміку осадження мають складні зростки добре огранованих кристалів, деформовані кристали три-, чотиригранної форми, булаво- та гантелеподібні зерна, сегрегаційні скупчення.

Наведені морфологічні відміни домінують в донних осадах річок значної частини території України. Тому слід визначити значну перспективність пошуків лускуватого та морфологічно складного скульптурованого золота саме у верхніх ділянках алювіального розрізу, включно сучасні верстви, особливо в межах виділеної Є.Ф. Шнюковим [103] провінції тонкого золота на півдні України. Основою для розробки покладів «тонкого золота» може стати розроблена технологія збагачення і комплексної переробки мінеральної сировини, наведена в наступному розділі роботи.

Особливості морфо-седиментаційної диференціації в межах водойм промислового призначення. Водойми промислового призначення (хвостосховища, відстійники, шламонакопичувачі тощо) мають свої особливості, зумовлені виробничими вимогами і нормами техногенного накопичення седименту. До них відносяться відносно малі розміри басейнів, висока концентрація твердого завису, незначний вплив сезонного фактора та інші. Морфо-седиментаційна диференціація приводить до швидкого і ефективного осадження з водного завису (шламу) зерен групи А, та в меншій мірі групи В (рис. 2.39).

Дендрити, лускуваті, скелетні, голчасті та скульптуровані кристали; зерна з великою кількістю пустот і накопичених електростатичних зарядів відносяться до часточок групи Б (рис. 2.40). Внаслідок підвищеної рухливості вони не осаджуються у відстійниках та хвостосховищах і через випускні труби - шандори виносяться водним потоком за межі штучних водойм та забруднюють довкілля.

Висновки за розділом зводяться до таких положень:

1. Важливими характеристиками компонентів (часточок) природного і техногенного осадів є їх внутрішня будова, морфологія і скульптура поверхні та пов'язані з ними питома поверхня і рівень накопичення електростатичних (кулонівських) зарядів. За даними параметрами мінеральні зерна осаду поділяються на три групи: А) ізометричні щільні з мінімальним рівнем питомої поверхні і зарядів; Б) лускуваті, ниткоподібні, голчасті скелетні кристали та розгалужені агрегати з великою кількістю пустот, що мають максимальну площу поверхні і значний рівень накопичення електростатичних зарядів; В) перехідна група.

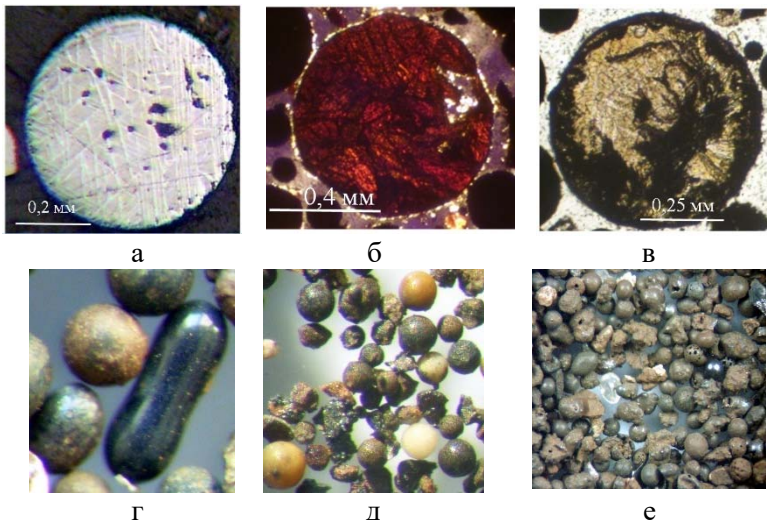


Рис. 2.39. Часточки групи А, що ефективно затримуються у шламових відстійниках металургійного комбінату АМКР: а – мартитизований магнетит; б – ферити кальцію (в центрі) і оксиди заліза; в – розкристалізована часточка металургійного скла; г – оксиди заліза; д, е – кулясті виділення техногенних оксидів заліза і металургійного скла. А - полірований шліф; б – прозорий шліф, ніколи схрещені; в - прозорий шліф, ніколи паралельні; г-е – бінокуляр. Збільшення: г – 60^{\times} ; д – 50^{\times} ; е – 40^{\times} .

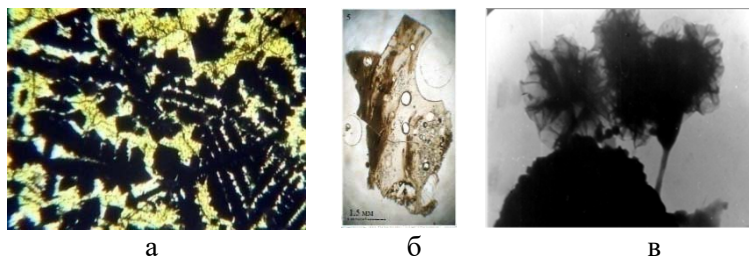


Рис. 2.40. Часточки складної морфології і внутрішньої будови у відходах металургійного виробництва ПАО АМКР: а - скелетні кристали магнетиту; б – часточка металургійного скла; в – мікросфероліти металургійного графіту. А – прозорий шліф, ніколи паралельні; б – імерсійний препарат; в - високороздільна електронна мікроскопія. Збільшення: а, б – 50^{\times} ; в – 7000^{\times} .

2. В межах природних і штучних водойм відбуваються масштабні процеси морфо-седиментаційної диференціації: різні за морфологічними ознаками, внутрішньою будовою, питомою поверхнею і рівнем накопичення поверхневих зарядів індивіди і агрегати одного мінерального виду в умовах седиментогенезу ведуть себе як різні мінерали та накопичуються у різних ділянках річкової долини та алювіального розрізу. В результаті, асоціація морфологічно схожих мінеральних часточок групи А концентрується у нижніх приплотикових ділянках осаду, а групи Б – у його верхній частині. За масштабами та наслідками даний процес співставляється з диференціацією за розміром і питомою вагою зерен, а в класах осаду менше 0,1 мм відіграє домінуючу роль.

3. При зведенні штучних басейнів і створенні технологічного промислового устаткування морфо-седиментаційна диференціація мінеральної речовини у водному потоці не враховується. Це приводить до значних втрат рудних мінералів і масштабного забруднення довкілля промисловими відходами.

2.6. Традиційні рішення і сучасні тенденції мінералогічного аналізу донного осаду гідросистем

Важливою складовою багатьох геологічних робіт став мінералогічний аналіз шліхів і протолочкових проб [34, 39, 49, 64]. Вивчення мінерального складу рудних концентратів, промпродуктів та хвостів збагачення важливо також для забезпечення ефективної роботи збагачувальних фабрик [77]. Останнім часом помітна тенденція підмінити мікроскопічну діагностику і вивчення мінералів використанням рентгеноструктурних методів визначення мінеральної сировини [107]. Все ж традиційний мінералогічний аналіз залишається більш інформативним і надійним у порівнянні з експресними інструментальними методами.

Недоліком шліхового методу є втрата частини цінних важких мінералів на стадії підготовки проб до виконання мінералогічного аналізу. До цього приводить відмучування (видалення глинистої фракції) у водному потоці перед відмивкою «сірого шліха». Втрачаються рудні часточки складної пластинчастої морфології з великою кількістю газово-рідинних включень, зі значно скульптурованою поверхнею, вкриті пухкою «сорочкою» глинистих

мінералів. Натомість навіть незначні за розміром, але ізометричні щільні індивіди і агрегати потрапляють до відмитого «сірого шліха» осаду, або важкої фракції протолочкової проби (рис. 2.41). Втрати рудних мінералів позначаються не лише на результатах мінералогічного аналізу, а й суттєво зменшують балансові запаси розсипних і корінних родовищ, скорочують площі пошукових робіт, приводять до втрат рудних мінералів при збагаченні.

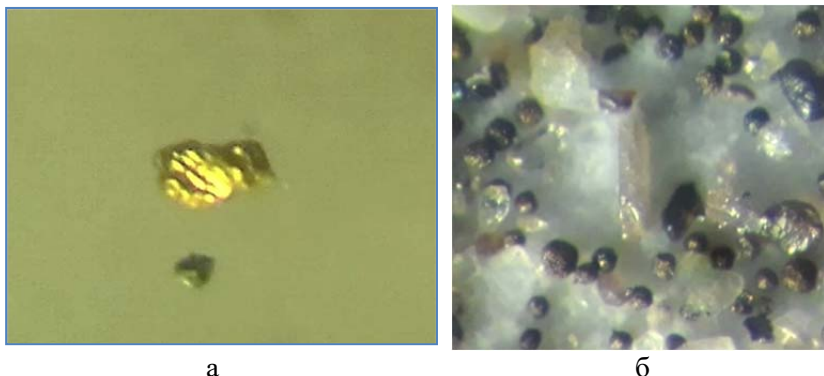


Рис. 2.41. Деформована пластинка золота у відмученій фракції алювію р. Солона (а); мікросфероліти марказиту (жовто-сіре), циркон (блідо-рожеве) і обкатаний ільменіт (чорне) у зернистій частині донного осаду в гирлі р. Куца Бердянка (а); Бінокуляр. Збільшення: а– 400^x; б – 140^x.

В індустріальних регіонах сучасні донні осадки містять значну домішку матеріалів промислового походження. Вони мають широкий спектр питомої щільності (від золота і свинцю до пластичних мас і штучних волокон), зустрічаються в різних класах крупності і мають надзвичайно мінливу морфологію часточок. Компоненти осаду індустріального походження є індикаторами техногенного забруднення довкілля [39, 122]. Тому вони теж повинні відображатися в підсумкових результатах мінералогічного шліхового аналізу.

Мета роботи: підвищити інформативність і достовірність шліхового методу.

Задачі: скоротити втрати важких мінералів при відмучуванні; забезпечити вилучення з осаду промислових часточок - металів,

бітуму і мікропластику; обґрунтувати необхідність використання шліхового методу в екологічних проектах.

Враховуючи наведені аргументи, автори спробували доповнити традиційну **методику** вивчення шліхів новими елементами з метою повернення «втрачених» рудних мінералів і максимальним вилученням часточок промислового забруднення осаду. В узагальненому вигляді підготовка проб до мінералогічного аналізу і сам аналіз включали виявлення і характеристику не тільки власне природних мінералів, руд і гірських порід, але й промислових часточок різноманітного складу, кристалічних і аморфних, а також органічних решток. Підготовка проб до мінералогічного аналізу відповідно до запропонованої методики складалася з наступних послідовних операцій:

1. Виділення щепи – переважно рослинного матеріалу, який транспортується по поверхні води і осаджується в періоди припинення водотоку. З початком руху води щепи першою починає переміщатися. В пробах сучасних донних осадків в ній, окрім рослинних решток, концентрується диспергований пластик, синтетичні волокна, поліетилен, металічні частинки складної морфології, бітум та інші поліютантні. Дослідження вказаної фракції деталізує ступінь і характер забруднення навколишнього середовища.

2. Відмучування глинистої компоненти з виділенням мулу і зернистої частини проби.

3. Розділення зернистої частини по класу 0,5 мм. У класі +0,5 мм концентруються літокласти і органічні рештки.

4. Відмивка «сірого шліха» з класу -0,5 мм зернистої частини і окремо мулу.

5. Розділення «сірих шліхів» у бромформі з наступною магнітною сепарацією важких фракцій у полі з індукцією 0,1-0,2 і 0,6-0,8 Тл.

6. Мікроскопічні дослідження виділених фракцій: щепи, літокластів і мушель, магнітної фракції МФ1 з зернистої частини і МФ2 з мулу, електромагнітних фракцій ЕМФ1 з зернистої частини і ЕМФ2 з мулу, неелектромагнітної фракції НЕМФ1 з зернистої частини і НЕМФ2 з мулу, об'єднаної легкої фракції ЛФ.

Кожну фракцію зважували і визначали її мінеральний склад, виконували палеонтологічний та петрографічний аналізи класу +0,5 мм. Використовували оптичну і електронну мікроскопію,

мікрозондовий аналіз та інші традиційні і сучасні методи діагностики, дослідження і фотофіксації компонентів осаду.

Узагальнення та аналіз результатів. Первинні дані про мінеральний склад окремих фракцій був виражений у об'ємних відсотках. Для подальшого автоматичного визначення вмісту мінералів у пробах осаду використали математичний апарат табличного шаблону у програмному середовищі MS Excel, який враховував питому вагу всіх мінералів осаду, масу кожної фракції, вагу вихідної проби (табл. 2.8).

У результаті комп'ютерної обробки даних мінералогічного аналізу в кінцевій таблиці відображені:

- 1) маса кожної фракції проби;
- 2) масова доля кожної фракції;
- 3) вміст кожного мінералу у фракції в об'ємних відсотках;
- 4) вміст кожного мінералу у фракції в масових відсотках;
- 5) вміст кожного мінералу в пробі в масових відсотка;
- 6) вміст кожного мінералу в пробі, виражений в грамах на тонну (г/т).

Створений шаблон універсальний і надає можливість створити зведену таблицю результуючих показників (вміст мінералу в пробі у масових відсотках та в г/т) по серії проб. Узагальнені кількісні результати мінералогічного аналізу, зручні для порівняння та фіксації кореляційних зв'язків, а також візуалізації даних за допомогою графіків та діаграм. Результати мінералогічного аналізу, відображені в таблиці, можуть бути використана для рішення пошукових задач, визначення теригенно-мінералогічної спеціалізації басейну седиментації, рішення інших геологічних і геоecологічних задач.

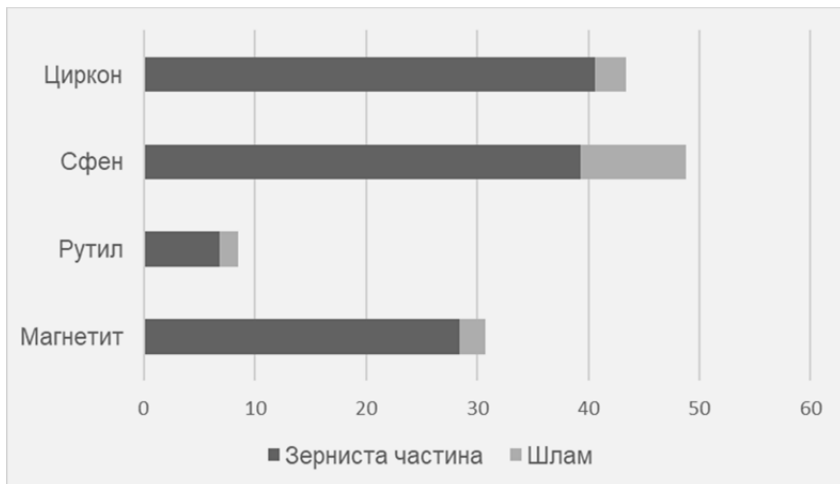
Переваги вдосконаленої методики. Розроблений алгоритм проведення мінералогічного аналізу донних осадків дає можливість комплексно дослідити відібраний матеріал, всесторонньо його проаналізувати та візуально відобразити результати.

Порівняно з класичною моделлю проведення мінералогічного аналізу, запропонований варіант показав оціночний «приріст» вмісту мінералів в пробі у г/т за рахунок дослідження шламової частини (рис. 2.42), що може суттєво впливати на прийняття рішення щодо рентабельності господарського використання надр досліджуваної території.

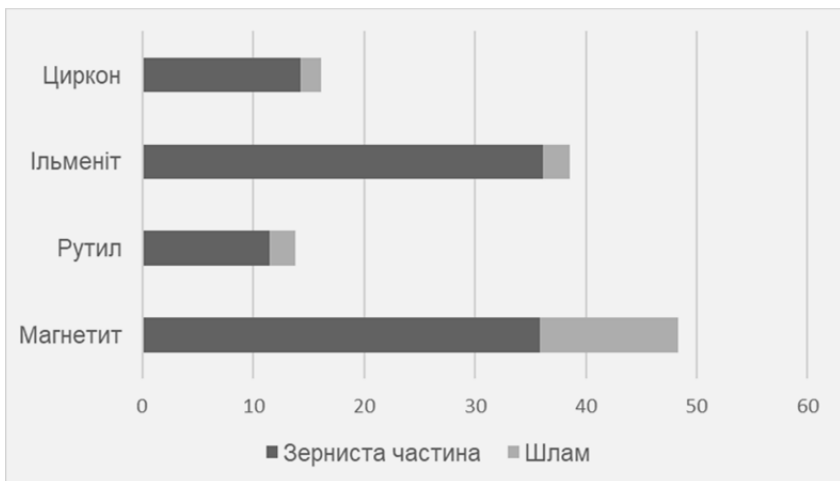
Таблиця 2.8.

Зразок шаблону розрахункової таблиці (скмпонований фрагмент)

	Показники	Продукт проби г. 229										Σ	Масова доля мінералу, %, %	Маса мінералу в тонні пробі, г/т	
		+0,5	ЛФ I	ЛФ II	ЛФ III	ЛФ IV	МФ I	МФ II	ЕМФ I	ЕМФ II	НЕМФ I				НЕМФ II
Мінерал	Питома вага мінералу	674,200	306,000	26,108	333,000	2,995	0,057	0,001	7,570	0,005	0,959	0,009	1350,904		
	Мінерал	49,907	22,651	1,933	24,650	0,222	0,004	0,000	0,560	0,000	0,071	0,001	100,000		
	об'єм, %						...		2,500	17,600	5,700	0,300			
	об'єм з п.в.,	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	11,800	83,072	26,904	1,416			
	масова доля	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,352	22,432	7,506	0,520			
Ільменіт	4,72	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,254	0,001	0,072	0,000	0,327	0,024	242,004
		5,000	48,000	88,000	83,950	24,000	0,500	0,300			34,100	0,010			
	об'єм з п.в.,	13,300	127,680	234,080	223,307	63,840	1,330	0,798	0,000	0,000	90,706	0,027			
	масова доля	4,912	47,404	87,197	84,136	23,694	0,260	0,154	0,000	0,000	25,307	0,010			
Кварц	2,66	33,119	145,057	22,765	280,173	0,710	0,000	0,000	0,000	0,000	0,243	0,000	482,067	35,685	356847,410
			0,001				95,000	99,000							
	об'єм, %						...								
	об'єм з п.в.,	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	494,000	514,800	0,000	0,000	0,000	0,000			
	масова доля	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	96,730	99,276	0,000	0,000	0,000	0,000			
Магнетит	5,20	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,055	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,062	0,005	45,922
							...								
	об'єм, %						...			1,100	20,500				
	об'єм з п.в.,	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,159	96,145	0,000			
	масова доля	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,393	26,825	0,000			
Циркон	4,69	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,257	0,000	0,257	0,019	190,480
							...								
Перевірка розрахунків	Σ об'єм з п.в.	270,750	269,342	268,450	265,412	269,430	510,700	518,553	351,995	370,322	358,418	272,515	1350,904	100	1000000
	Σ об'єм, %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	Σ маса, г	674,200	306,000	26,108	333,000	2,995	0,057	0,001	7,570	0,005	0,959	0,009			



а



б

Рис. 2.42. Вміст деяких акцесорних мінералів у г/т в пробах відібраних: а – на узбережжі Азовського моря, профіль, з глибин 1,8-2,5 м; б – на підводному конусі виносу р. Куца Бердянка.

Специфіка індустріально навантажених регіонів обумовлює постійну наявність в донних осадах водойм частинок різноманітного походження. В їхньому складі все частіше фіксується комплекс априродних (штучних) утворень: змінених, техногенних і

відновлених компонентів осаду на ряду з природними літо-, кристалокластами, хомогенними утвореннями, органічними залишками [95, 122, 132].

В усіх досліджуваних пробах донних осадків зустрічаються штучні компоненти. Як правило в складі легких фракцій присутні обкатане скло, силікатні кульки, шматочки пластику, синтетичні волокна, рідше – бітум. У важких фракціях виявлені металічні магнітні й немагнітні кульки, дротики, графіт, металеві пластинки, окислені металеві кірочки, бітум, різноманітні сплави, пластик.

Результати такого мінералогічного аналізу можна використовувати для вирішення не лише геолого-пошукових чи суто мінералогічних, а й для екологічних та економічних завдань. Оскільки береться до уваги, диференціюється та вивчається весь відібраний матеріал, то отримуються дані не лише про вміст мінералів в пробі, а й про наявність априродних техногенних компонентів, присутність решток рослинного і тваринного світу. Тому можна оцінити ступінь забруднення території, класифікувати поліутанти та ідентифікувати джерела забруднення, здійснити комплекс заходів щодо відновлення стану природного середовища.

Глава 3

ОЦІНКА ЯКОСТІ РУД І ВИТРАТ НА МОНІТОРИНГ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ДОСЯГНЕННЯ ЗАДОВІЛЬНОГО СТАНУ ДОВКІЛЛЯ У КРИВБАСІ

3.1. Прогноз щодо витрат на моніторинг типових об'єктів

Необхідність оцінки ступеню екологічного навантаження, що обумовлює ризики для території, є одним із пріоритетних напрямків діяльності по завершенню гірничодобувних робіт на родовищі. Завчасне прогнозування необхідних інвестиційних впливань у даного роду контроль значно спрощує подальше проведення робіт та збільшує імовірність упередження виникнення екологічних небезпек.

Створений прогноз щодо витрат на моніторинг двох типових об'єктів Кривбасу - ліцензійних площ Валявкинського родовища (кар'єр №3) та кар'єру «Південний» по завершенню їх фактичного життєвого циклу базується на використанні середньозваженої вартості моніторингу, що проводиться інвесторами на словацьких об'єктах – одному із родовищ залізорудна площі Нижньої Слани та Руднянському рудному полі [57].

Розрахунок означеної величини включає різні обсяги витрат на перший рік моніторингу, що є найбільш повним та всеохоплюючим, через необхідність якомога більш точної оцінки стану довкілля після припинення гірничих робіт, та другий із усіма наступними роками, на кожен з яких виділяється близько 82% від суми, що витрачається на перший рік.

Безпосередній прогноз виконаний для вітчизняних об'єктів через підрахунок інтерпольованих значень витрат на моніторинг, використовуючи середньозважені вартості із врахуванням відсоткової різниці вкладень у той чи інший рік:

$$B_{int} = \bar{V} \times S_{поруш.} \quad (3.1)$$

B_{int} – інтерпольоване значення витрат на моніторинг площ вітчизняних родовищ; \bar{V} – середньозважена вартість; $S_{поруш.}$ – площі порушені гірничими роботами та відвалами родовища/кар'єру.

Окрім прогнозних вартостей на кожен рік моніторингу, було визначено й сумарне інтерпольоване значення витрат на п'ять років моніторингу порушених площ кожного з родовищ:

$$B_{inm} = \sum_{i=1}^5 B_{inm} \quad (3.2)$$

Результати проведених розрахунків представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Результати підрахунку інтерпольованого значення витрат на моніторинг площ Валявкинського родовища (кар'єр №3) та кар'єру Південний

Об'єкт	Інтерпольоване значення витрат на моніторинг площ					
	На перший рік моніторингу		На другий та кожен наступний рік моніторингу		Сумарне значення витрат на п'ять років	
	€	грн.	€	грн.	€	грн.
Валявкинське родовище	59 187,3	1 887 483	48 461	1 545 421,29	253 031,3	8 069 168,16
Кар'єр «Південний»	38 675,63	1 233 365,84	31 666,55	1 009 846,28	165 341,83	5 272 750,96

У загальних кошторисах на проведення усіх рекультиваційних робіт та пост ліквідаційних досліджень екологічного спрямування, історично відводиться від 10 до 15% на моніторинг стану навколишнього середовища у межах площ, які зазнавали безпосереднього впливу від видобутку корисної копалини. Даний відсоток не є фіксованим, оскільки залежить від ряду факторів, таких, як: розміри площі, тривалість та інтенсивність негативного впливу родовища на прилеглі території, паралельна активність з порушення та відновлення складових навколишнього середовища, добросовісність користувачів надр та ін. Ілюстративним прикладом

пропорційного співвідношення розмірів родовищ та витрат на контроль за станом прилягаючих до нього територій є порівняння сумарних прогнозних витрат на п'ять років моніторингу на криворізьких об'єктах та сумах, що були витрачені за цей же період на словацьких, де більш суттєві суми фіксуються саме на вітчизняних об'єктах.

За відсутності чітко фіксованих у звітах підприємств передбачуваних екологічних витрат, можливе створення прогнозного загального кошторису, використавши умовний показник в 11% (відсоток обумовлений середніми розмірами родовищ відносно інших криворізьких об'єктів), що буде відводитися на проведення п'ятирічного моніторингу у переліку усіх рекультиваційних робіт та пост ліквідаційних досліджень на Валявкинському родовищі (кар'єрі №3) та кар'єрі «Південний». Таким чином вираховується орієнтовна (можлива) сума усіх екологічних витрат (табл. 3.2), що необхідна для повернення прилеглим до досліджуваних родовищ територіям первозданного вигляду.

Таблиця 3.2.

Орієнтовні (можливі) кошториси загальних екологічних витрат на Валявкинському родовищі (кар'єр №3) та Південному кар'єрі

	Валявкинське родовище		Південний кар'єр	
	€	грн.	€	грн.
Прогнозні загальні екологічні витрати	2 300 284,54	73 402 079,67	1 503 107,54	47 964 161,60

Враховуючи факт реалізації більшої частини екологічно спрямованих заходів на досліджуваних родовищах паралельно до гірничодобувних робіт, фінальні суми компенсаційної діяльності по завершенню, консервації чи ліквідації родовищ можуть бути змінені в бік зменшення.

Робота із зазначеними сумами має кілька шляхів. Перший передбачає їх накопичення під час експлуатації родовища за рахунок прибутків від продажу сировини. Даний процес супроводжується

відкриттям спеціального рахунку підприємства, із заборонаю витрачання накопичених засобів до початку ліквідації родовища. Накопичена сума має бути дисконтована на увесь період розробки родовища і відповідати реальним майбутнім витратам на екологічну реабілітацію території.

Проте, за результатами статистичного аналізу даних досліджуваних криворізьких родовищ та прогнозування екологічних витрат, що матимуть місце по завершенню їх видобувної активності можливо зробити висновок, щодо доцільності проведення на гірничодобувних об'єктах активних робіт паралельної спрямованості відносно видобутку корисної копалини та рекультиваційної діяльності. Даний підхід дає можливість суттєво зменшувати об'єми капіталовкладень у постліквідаційний період родовищ, коли видобуток уже припинено, але є необхідність нівелювання усіх завданих навколишньому середовищу збитків [57]. Так, за умови реалізації хоча б 65-70% робіт, вартість яких фіксується у кошторисі екологічних витрат на родовищі, по завершенню гірничодобувної активності необхідні об'єми капіталовкладень будуть суттєво нижчі тих, що матимуть місце на родовищах, де активне інвестування у екологічну складову мало місце в основному на етапі виснаження надр.

Окрім того, проведення означених робіт з початку першої третини етапу інтенсивного використання надр, так чи інакше, сприяє сповільненню ускладнення гірничотехнічних умов, які формально виражаються у змінах не лише глибини відпрацювання родовищ, але і фізико-механічних властивостей самого масиву.

Узятий за основу алгоритм дій, що мав місце на словацьких сидеритових родовищах, можна вважати доцільним до використання для прогнозування попутних та постліквідаційних екологічних заходів та витрат на українських залізрудних родовищах, що знаходяться на стадії інтенсивного використання та виснаження.

На стадії пост-майнінгу (етапах інтенсивного використання і виснаження родовищ), немаловажливим фактором є пристосування нормативно-правової бази діяльності підприємств гірничо-металургійного комплексу до нових умов. З одного боку, зміни у цій базі мають забезпечувати вірну геолого-економічну оцінку родовищ з максимальним врахуванням технічних і технологічних факторів їх експлуатації, геолого-екологічних ризиків, планування поточних екологічних витрат та передбачення наслідків їх розробки

і відповідних компенсаційних витрат. З іншого боку, вони мають спонукати до накопичення фінансових ресурсів на ліквідацію родовищ і екологічну реабілітацію територій. Тобто, метою цих змін має бути, по можливості, максимальна мінімізація впливу діяльності підприємства на довкілля під час його роботи і створення комфортних умов для життя людини й існування флори і фауни в природно-техногенному середовищі після його ліквідації. З цієї причини, пошук шляхів забезпечення надкористувачів найбільш якісною сировиною, а навколишнє середовище якомога меншими впливами від гірничодобувної діяльності є дуже актуальним, особливо в умовах таких гірничих районів, як Кривий Ріг.

Одним з таких шляхів може стати врахування залежності кількості та якості запасів від включення постліквідаційних витрат до техніко-економічних розрахунків. І як основний параметр у дослідженні доцільно використати мінімальний промисловий вміст корисного компоненту, як параметр кондицій, що застосовується з метою підрахунку балансових запасів.

За своєю суттю, *мінімальний промисловий вміст корисного компоненту* (C_{\min}) є вмістом корисного компоненту, який забезпечує рівність витрат на видобуток корисної копалини і переробку товарної продукції та цінності корисного компоненту, який при цьому вилучається. Цей показник визначає рівень безбиткового видобутку та переробки і при цьому забезпечує найбільш тісний зв'язок гірничо-геологічних, технічних, технологічних і економічних характеристик родовища. І у стандартному випадку дана величина визначається наступним чином:

$$C_{\min} = \frac{Z \times a}{C_{\text{руди}} \times (1 - p) \times K_{\text{вил}}} \times 100\% \quad (3.3)$$

Де: C_{\min} – мінімальний промисловий вміст корисного компоненту; Z – собівартість; a – вміст корисного компоненту в товарній продукції; $C_{\text{руди}}$ – ціна товарної продукції; p – коефіцієнт розубожування (збіднення); $K_{\text{вил}}$ – коефіцієнт вилучення.

Структура ж собівартості, в свою чергу обов'язково включає амортизаційні відрахування:

$$A = \frac{K_t}{T_{\text{експл}}} \quad (3.4)$$

Де: A – амортизація; K_t – капіталовкладення у постліквідаційні роботи та дослідження; $T_{\text{експл}}$ – експлуатаційні витрати.

Як об'єкт для розрахунків був обраний кар'єр «Південний», для якого раніше був створений загальний прогностичний кошторис на проведення усіх постліквідаційних робіт та досліджень. Мінімальний промисловий вміст $Fe_{\text{заг}}$ було розраховано для двох варіантів вихідних даних:

1) за прогностичними показниками останньої геолого-економічної оцінки запасів багатих залізних руд 2013 року - C_{min} ;

2) за прогностичними показниками із врахуванням додаткових капіталовкладень в постліквідаційні дослідження $C_{\text{min відкориг}}$;

За проведеними, по фактичним, зазначеним у звітах гірничодобувних підприємств, даним, розрахунками, величина мінімального промислового вмісту корисного компоненту сягає 46%. І при встановленій ціні, об'єми запасів руд повторної розробки будуть відповідати тим, що наведені у звітах при розрахунку цієї величини із використанням бортового вмісту $Fe_{\text{заг}}=46\%$.

Врахування при визначенні мінімального промислового вмісту корисного компоненту, розрахованих раніше витрат на постліквідаційні роботи та дослідження обумовлює певні зміни його величини. Перш за все амортизаційні відрахування для кар'єру «Південний» на планові 14 років його можливої активності будуть становити 107364,8243 €/рік або ж 3 426 011,543 грн/рік. Тобто відкоригована собівартість буде формуватися за рахунок прийняття до уваги, як цієї величини, так і введення інших, таких як: річна собівартість та річна продуктивність по видобутку і в кінцевому результаті $C_{\text{min відкориг}}$ зростає до 51,42%.

Як впливає із проведених розрахунків, нарощування витрат на постліквідаційні роботи та дослідження певною мірою спричиняє зростання собівартості і, відповідно мінімального промислового вмісту корисного компоненту. Ще одним фактором, який може вплинути на досліджувану величину (C_{min}) стала ціна руди, що є достатньо динамічною величиною. За її певної величини, до прикладу 500 грн. – суттєвих змін не відбувається і зазначений параметр не буде впливати на підрахунок запасів. Проте якщо ціна буде падати ефект буде зворотнім.

Так, маючи ціну руди, можливим є встановлення згаданої різниці, шляхом перевірки даних по блоках, використавши один із

запропонованих гірничодобувними підприємствами розрахунків об'єму запасів руд повторної розробки із найвищими, з прогнозованих варіантів, вмістами $Fe_{\text{заг}}$ (розрахунок був виконаний із врахуванням бортового вмісту $Fe_{\text{заг}}=50,6\%$). За умови використання відкоригованого мінімального промислового вмісту корисного компоненту (51,42%) два блоки із дев'яти можуть бути відбраковані, внаслідок менших, за встановлену планку значень. Як результат із підрахованих запасів випадає 353,6 тис.т., але якість запасів дещо збільшується (табл.3.3).

Таблиця 3.3.

Зміни обсягів запасів руд повторної розробки при використанні відкоригованого мінімального промислового вмісту корисного

компоненту ($C_{\text{мін відкориг}}$)

№ блоку	Запаси блоку, тис.т.	Вміст $Fe_{\text{заг}}$, %	Запаси блоку, тис.т.	Вміст $Fe_{\text{заг}}$, %
Розрахунок об'єму запасів руд повторної розробки при бортовому вмісті $Fe_{\text{заг}}=50,6\%$			Розрахунок об'єму запасів руд повторної розробки із врахуванням відкоригованого $C_{\text{мін}}=51,42\%$	
Категорія C_1				
1	347,6	51,31	-----	-----
2	345,4	52,89	345,4	52,89
3	196,4	54,03	196,4	54,03
4	115,1	53,06	115,1	53,06
Усього по C_1	1004,5	52,58	656,9	53,26
Категорія C_2				
5	22,0	51,72	22,0	51,72
6	51,8	52,26	51,8	52,26
7	121,8	51,83	121,8	51,83
8	59,8	51,99	59,8	51,99
9	6,0	51,40	-----	-----
Усього по C_2	261,4	51,93	255,4	51,95
Усього по родовищу:	1265,9	52,45	912,3	52,89

Проведений аналіз двох варіантів визначення балансових запасів, один з яких включав розраховані постліквідаційні витрати, доводить

реальність запропонованого шляху забезпечення користувачів надр більш якісною сировиною, а навколишнього середовища – меншими впливами від гірничодобувної діяльності.

3.2. Вплив процесів натрієвого метасоматозу на якість руд

Залізородні натрієві метасоматити досить широко поширені у продуктивних товщах 14 родовищ Кривбасу (табл. 3.4). Найбільш високо вони представлені у складі залізистих порід його Північного залізородного району (Первомайське, Ганнівське родовища). Це пояснюється локалізацією родовищ у ділянці перетину двох глибинних розломів: субмеридіонального Криворізько-Кременчуцького та субширотного Девладівського. Розривні порушення останнього були каналами фільтрації метасоматизуючих розчинів [96]. Підтвердженням цього є суттєве зменшення представленості натрієвих (головним чином, рибекітових) метасоматитів у залізородній товщі в напрямку на південь і на північ від центральної частини Первомайського родовища, позиція якої відповідає ділянці перетину глибинних розломів. Для інших родовищ просторове тяжіння натрієвих метасоматитів до розривних порушень також чітко простежується.

Детальне вивчення локалізації рибекітових метасоматитів у розрізі саксаганської світи було виконано автором на прикладі Первомайського родовища, в складі саксаганської світи якого присутні п'ять залізистих і п'ять сланцевих горизонтів [96]. Максимальним поширенням рибекітових метасоматитів на характеризуються п'ятій і шостий залізисті горизонти, які складають продуктивну залізородну товщу родовища. Саме в їх розрізах присутні найбільш високозалізисті магнетитові кварцити, оптимальні за складом для активного прояву натрієвого метасоматозу.

Дослідження геологічної позиції тіл залізородних рибекітових метасоматитів інших родовищ (Ганнівське, Глеюватське, Валявкинське, Інгулецьке) підтвердили те, що максимальні метасоматичні зміни характерні для найбільш потужних залізистих горизонтів, складених найбільш високозалізистими магнетитовими кварцитами.

Таблиця 3.4.

Поширення рибекітових та інших натрієвих метасоматитів (об'ємн.%) у розрізах продуктивних товщ родовищ Кривбасу [96]

Родовища	Загалом	Егіринові	Альбітові	Рибекітові
Ганнівське	29,90	2,30	0,09	27,51
Первомайське	43,60	4,16	0,20	39,24
шахти «Тернівська»	7,80	0,21	0,02	7,57
шахти «Ювілейна»	3,60	0,13	0,01	3,46
Глеюватське	2,10	0,17	0,01	1,92
Шахти ім. М.В.Фрунзе	1,90	0,16	0,00	1,74
шахти «Родіна»	0,10	0,00	0,00	0,10
шахти №1 ім. Ф.А.Артема	0,00	0,00	0,00	0,00
шахти «Гігант-Глибока»	0,00	0,00	0,00	0,00
Новокриворізьке	0,00	0,00	0,00	0,00
Валявкінське	1,40	0,07	0,01	1,32
Скелюватське	0,10	0,00	0,00	0,10
шахти «Інгулецька»	2,80	0,14	0,01	2,65
Інгулецьке	3,10	0,21	0,01	2,88

Для шостого залізного горизонту Первомайського родовища центральну частину горизонту складають залізнослюдко-магнетитові кварцити, проміжну висячого та лежачого боків – магнетитові кварцити, приконтактів – кумінгтоніт-вмісні магнетитові кварцити. Найбільших метасоматичних змін зазнали залізнослюдко-магнетитові кварцити, які в межах Первомайського родовища практично повністю рибекітизовані. В напрямку до лежачого і висячого боків горизонту інтенсивність метасоматичних змін помітно зменшувалась. Аналогічні закономірності поширення рибекітових метасоматитів виявленні також для п'ятого залізного горизонту Первомайського родовища, п'ятого та шостого залізистих горизонтів Ганнівського родовища, четвертого залізного горизонту

Валявкинського родовища, другого, четвертого, п'ятого та шостого залізистих горизонтів Інгулецького родовища.

Рибекітизація магнетитових кварцитів розпочиналась з поверхонь контакту рудних і нерудних прошарків. Живильним матеріалом при утворенні рибекіту були агрегати магнетиту рудних прошарків (залізіста складова), кварцу нерудних прошарків (кремнеземна складова); катіони натрію та вода були принесені метасоматизуючими розчинами. На початковій стадії рибекітизації залізного кварциту формування радіально-променистих агрегатів голчастих, тонкостовпчастих кристалів рибекіту відбувалось на агрегатах магнетиту як на субстраті. Ріст кристалів був спрямований, переважно, в напрямку нерудних прошарків. У подальшому метасоматичний процес захоплював увесь об'єм рудних прошарків. Рибекіт повністю заміщував присутній у їх складі кварц і частково магнетит. Кінцевою стадією метасоматозу було повне заміщення кварцу як рудних, так і нерудних прошарків, повне заміщення залізної слюдки, а також заміщення близько 30% магнетиту рудних прошарків. У процесі метасоматозу в більшості випадків відбувалась перекристалізація магнетиту з удосконаленням кристалографічних форм його індивідів та помітним зростанням їх розміру.

Дослідження геологічної позиції тіл рибекітових метасоматитів свідчать про максимальне їх поширення в межах п'ятого та шостого залізистих горизонтів Первомайського родовища, які складають його продуктивну залізородну товщу. В забоях кар'єру були виконані морфологічні дослідження 38 тіл рибекітових метасоматитів, які утворились за рахунок різних за складом магнетитових кварцитів шостого залізного горизонту. За одержаними даними, потужність метасоматичних тіл суттєво зменшується в напрямку від центральної частини горизонту, складеної верствами залізнослюдко-магнетитових (максимальна потужність 150 м, середнє значення 56 м) і магнетитових (до 110 м, середнє 47 м) кварцитів до периферійної частини горизонту, представленої верствами кумінгтоніт-магнетитових (до 60 м, в середньому 21 м) і магнетит-кумінгтонітових (до 30 м, середнє значення 6 м) кварцитів.

Представленість натрієвих метасоматитів різного мінерального складу у розрізі продуктивної товщі Первомайського родовища наступна: рибекітові – 91 мас.%; егіринові – 8 мас.%; альбітові – 1 мас.%. Результати геологічного картування забоїв кар'єру автор

використав як основу для визначення деталей зональності тіл рибекітових метасоматитів.

Залізородні рибекітові метасоматити фіксуються в геологічних тілах двох різновидів: 1) егірин-рибекітового складу (центральні зони представлені егіриновими, проміжні – рибекітовими метасоматитами, периферійні – зонами окварцювання первинних магнетитових кварцитів); 2) рибекітового складу – за умови відсутності зони егіринових метасоматитів через недостатній рівень термодинамічних параметрів (температура, флюїдний тиск, активність натрію, фугітивність кисню та ін.) метасоматизуючих розчинів; у цьому випадку метасоматичні тіла складені двома зонами – рибекітових метасоматитів та окварцованих магнетитових кварцитів. Незважаючи на особливості локалізації, в будові тіл або зон рибекітових метасоматитів виділяються три підзони: 1) інтенсивної рибекітизації (магнетит-рибекітові метасоматити або рибекітити), вміст рибекіту в складі яких перевищує кількість магнетиту, кварц і гематит відсутні; 2) помірної рибекітизації з утворенням рибекіт-магнетитових кварцитів (вміст рибекіту 10-30 мас.%, присутні реліктові метаморфогенні мінерали – кварц і залізна слюдка); 3) слабкої рибекітизації з утворенням рибекітизованих магнетитових кварцитів (вміст рибекіту не перевищує 10 мас.%). Потужність кожної підзони залежить від декількох факторів. До головних з них належать: 1) положення тіл рибекітових метасоматитів у розрізі продуктивної товщі і, таким чином, різний мінеральний склад первинних магнетитових кварцитів; 2) інтенсивність впливу метасоматизуючих розчинів. Для підзони магнетит-рибекітових метасоматитів (рибекітитів), які формувались за умов максимальних значень термодинамічних параметрів розчинів, цей показник коливається від 0 до 15 м, в середньому становить 6 м; для підзони рибекіт-магнетитових кварцитів, яка характеризується значно більшим поширенням – від 10 до 120 м, в середньому 38 м; для підзони слабкої рибекітизації – від 0 до 25 м, в середньому 9 м. Максимальні значення потужності підзон характерні для метасоматичних тіл, які утворились у верствах залізнослюдко-магнетитових кварцитів – у центральних частинах шостого та п'ятого залізистих горизонтів.

Незважаючи на особливості локалізації, морфології тіл залізородних рибекітових метасоматитів, вони характеризуються

подібністю будови та складу порід відповідних метасоматичних підзон.

Мінеральний склад. Вміст магнетиту через часткове заміщення рибекітом закономірно зменшується від первинних магнетитових кварцитів до рибекітитів майже на 10 мас.%. Ще більш значним є зниження вмісту кварцу – в середньому від 43,33 до 3,16 мас.%. Відбувалось також практично повне заміщення рибекітом метаморфогенного «емульсійного» гематиту нерудних прошарків магнетитових кварцитів. Кумінгтоніт, а також незначною мірою біотит у якості рудоутворювальних мінералів присутні в первинних силікатвмісних магнетитових кварцитах периферійних зон продуктивної товщі родовища. Рибекітизація супроводжувалась псевдоморфізацією кумінгтоніту магнезіорибекітом та повним заміщенням біотиту тонкокристалічним магнезіорибекітом з домішкою альбіту. Кількість новоутвореного рибекіту з наростанням інтенсивності метасоматозу значно зростала через заміщення ним усіх рудоутворювальних і другорядних мінералів первинних магнетитових кварцитів. Кінцевий продукт рибекітизації – магнетит-рибекітові метасоматити – руди бімінерального (магнетит+рибекіт) складу.

Хімічний склад. Якість залізорудної сировини на гірничозбагачувальних комбінатах визначають за двома головними показниками – загальним вмістом заліза в руді ($Fe_{\text{заг.}}$) та вмістом заліза в складі магнетиту ($Fe_{\text{магн.}}$). Через метасоматичну усадку, пов'язану з частковим винесенням кремнезему лужними розчинами, вміст першого зростав у середньому з 39,11 до 40,24 мас.%. Вміст $Fe_{\text{магн.}}$ помітно зменшувався через наростаюче заміщення магнетиту рибекітом. За даними повних силікатних хімічних аналізів, від тилових до передових підзон метасоматичних тіл спостерігається поступове зменшення вмісту кремнезему, глинозему, закисного заліза та зростання вмісту окисного заліза й більшості другорядних хімічних компонентів через принесення їх метасоматизуючими розчинами.

Головні характеристики магнетиту, які визначають якість бідних магнетитових руд, – параметри гранулометричного складу, морфології та анатомії його індивідів і агрегатів. Результати його дослідження показали, що одночасно з частковим заміщенням рибекітом відбувалась перекристалізація виділень магнетиту з укрупненням розміру його кристалів, вдосконаленням їх морфології

(рис. 3.1); дрібні включення магнетиту повністю заміщувались рибекітом. Наслідком стало суттєве збільшення розміру виділень магнетиту (в середньому від 0,065-0,075 до 0,085-0,090 мм). Зростала також ступінь кристалографічної досконалості його індивідів, суттєво зменшувалась кількість дрібних включень інших мінералів, – переважно кварцу.

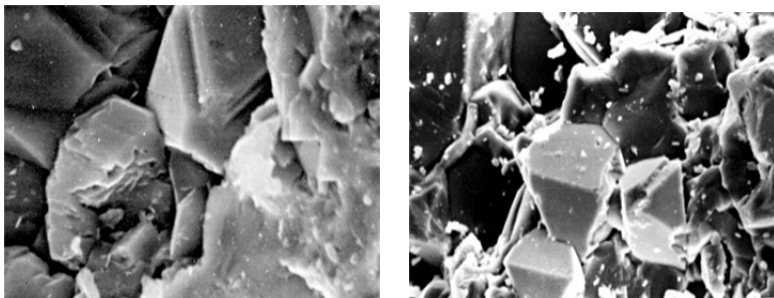


Рис. 3.1. Ідіоморфні октаедричні, кубооктаедричні кристали магнетиту з магнетит-рибекітових метасоматитів [96].
Растровий електронний мікроскоп МРЕМ-100; збільшення 600^x.

Рибекіт головний нерудний мінерал натрієвих метасоматитів. Представлений двома різновидами: 1) власне метасоматичним, який утворився шляхом заміщення мінералів безсилікатних магнетитових кварцитів (кварцу, магнетиту, гематиту); 2) псевдоморфним – продуктом заміщення кумінгтоніту магнезіорибекітом. Перший характеризується значною варіативністю морфології кристалів: зустрічаються короткостовпчасті, тичкуваті, голчасті, іноді волокнисті індивіди, які утворюють нематобластові, радіально-променисті, іноді сплутано-, паралельно-волокнисті (крокідоліт) агрегати. При утворенні магнезіорибекіту практично повністю зберігались розмір, форма та просторова орієнтація первинних кристалів кумінгтоніту. За даними мікрозондового аналізу, склад метасоматичного рибекіту близький до стехіометричного; особливістю є поступове зростання вмісту магнію, кремнезему, глинозему в напрямку від центральних до периферійних частин кристалів. Для кристалів магнезіорибекіту характерна зворотна зональність – максимальний вміст кумінгтонітового міналу фіксується в центральних частинах кристалів.

Кварц – найбільш поширений мінерал вихідних магнетитових кварцитів (вміст близько 50 об'єм.%). Під впливом лужних вуглекисло-натрієвих метасоматизуючих розчинів зазнавав інтенсивного розчинення. Частина кремнезему використовувалась при утворенні рибекіту, частина – в складі відпрацьованих розчинів «відганялась» за межі зон рибекітизації, де локально формувались ореольні зони окварцювання первинних магнетитових кварцитів. Активне розчинення кварцу супроводжувалось його перекристалізацією. Наслідком було спрощення форми індивідів кварцу, зростання їх розміру (в середньому від 0,0604 у незмінених магнетитових кварцитах до 0,1025 мм у рибекітитах).

Кумінгтоніт – реліктовий мінерал рибекітових метасоматитів. Утворює тичкуваті, стовпчасті кристали, орієнтовані, переважно, згідно з шаруватістю вмісних магнетитових кварцитів. У процесі псевдоморфізації рибекітом форма кристалів і їх розташування зберігалась. У випадках незавершеного процесу утворювались зональні кристали амфіболу, центральна частина яких представлена кумінгтонітом, периферійна – магнезіорибекітом. За умови більш активної рибекітизації склад амфіболу в центральних частинах кристалів відповідає магнезіорибекіту, периферійних – близький до рибекіту.

Присутність у метасоматичних тілах реліктів тіл первинних магнетитових кварцитів, прояв епі- та постметасоматичних процесів обумовили наявність у складі рибекітових метасоматитів близько 50 другорядних мінералів: гематиту, егірину, тетраферібіотиту, селадоніту, мінесотаїту, кальциту, доломіту, піриту, піротину та ін. Їх вміст незначний, кількість кожного не перевищує 1 мас.%. Виключення становить гематит, вміст якого в окремих випадках перевищує 10 мас.%, та карбонати – до 2 мас.%. Загальна кількість другорядних мінералів, зазвичай, не перевищує 5 мас.%.

Вплив рибекітизації на якісні показники та збагачуваність бідних магнетитових руд. Експерименти виконувались у відповідності з технологічною схемою збагачувальної фабрики Північного ГЗК. Головним технологічним параметром, за яким визначається збагачуваність руд є показник вмісту заліза в складі концентрату (β). Результати експериментів свідчать про поступове зростання значень цього параметру зі збільшенням інтенсивності рибекітизації магнетитових кварцитів через кращі показники

розкриття індивідів і агрегатів магнетиту при рудопідготовці. Зменшення кількості магнетиту при рибекітизації та пов'язане з цим переведення заліза з мінеральної форми, яка залучається до концентрату (магнетит), до мінеральної форми, яка через низьку магнітну сприйнятливість втрачається у відходах (рибекіт), обумовило закономірне падіння показників виходу концентрату (γ) та вилучення заліза до складу концентрату (ϵ). Втрати заліза при збагаченні магнетитових кварцитів і їх рибекітизованих різновидів характеризують два показники – загальний вміст заліза в складі хвостів (ϑ) і вміст у хвостах заліза, яке входить до складу магнетиту ($\vartheta_{\text{магн.}}$). Значення першого показника з підвищенням інтенсивності рибекітизації помітно збільшується через зростання вмісту в складі хвостів рибекіту і зменшення кількості кварцу. Позитив рибекітизації – суттєве зменшення вмісту в хвостах заліза, яке входить до складу магнетиту через вдосконалення морфології виділень магнетиту та, як наслідок, зменшення кількості зростків магнетиту з нерудними мінералами у продуктах рудопідготовки.

Таким чином вплив рибекітизації на кількісне співвідношення рудної та нерудної складових магнетитових кварцитів, вдосконалення морфології індивідів і агрегатів магнетиту, заміщення рибекітом тонковкрапленого магнетиту мали як позитивний, так і негативний вплив на збагачуваність рибекітових метасоматитів. Але, оскільки головним показником ефективності збагачувального процесу є загальний вміст заліза в корисному кінцевому продукті, рибекітовий метасоматоз сприяв покращенню бідних магнетитових руд як первинної сировини для виробництва високоякісного залізорудного концентрату.

З використанням одержаних автором результатів геологічних досліджень і технологічних випробувань рибекітових метасоматитів були виділені 163 рядових різновиди руд, а з урахуванням їх близькості за складом, поширенням у продуктивній товщі, збагачуваністю, вони були скомпоновані в 75 укрупнених різновидів, а ці – у 8 об'єднаних різновидів. Геологічні й технологічні показники 8 об'єднаних різновидів руд (як метасоматично незмінених, так і рудних метасоматитів) у поточний час використовуються як базові дані для актуалізації геолого-технологічної класифікації магнетитової сировини, уточнення геолого-технологічної карти родовища.

3.3. Технологічні рішення досягнення задовільного стану довкілля

Рециклінг промислових відходів є вирішальною умовою досягнення задовільного стану довкілля у Кривбасі. У попередніх публікаціях авторів наводилися приклади технічних рішень щодо комплексної переробки вторинної мінеральної сировини, що надходить у довкілля з виробничих підприємств Кривбасу. Металургійні шлами з системи газоочисних агрегатів доменного, мартенівського, конвертерного, агломераційного та вапняного цехів ПАО АМКР можуть перероблятися у залізорудний концентрат, коксовий дріб'язок, поліметалічний концентрат [23, 35]. Головною проблемою в даному випадку є високий вміст у шламах Zn, Cu, Pb і P. У вихровому повітряно-мінеральному потоці мінерали, що вміщують кольорові метали, виділяються в окремий поліметалевий продукт. Сумарний вміст металів у ньому відповідає вимогам до сировинних матеріалів у кольоровій металургії.

Також перспективним напрямком є розроблена технологія комплексної переробки металургійної замавленої окалини [10, 27]. Загальний вміст заліза в ній сягає 70%, а вміст кремнезему, сірки, фосфору та інших баластних і шкідливих домішок значно нижчий від гранично допустимих значень. Спосіб та установка для переробки даної сировини захищені патентами і пропонуються до впровадження на підприємствах чорної металургії. Вони не використовують природний газ і інші енергоносії, а також воду; екологічно безпечні і економічні. Головна перевага інновації - рециклінг заліза і нафтопродуктів, без втрат залізорудної сировини і енергоносіїв. Лабораторні випробування показали вихід дуже світлих високоякісних мастил, що можуть розглядатися у якості резервних джерел постачання мастильних матеріалів для підприємств гірничо-металургійного комплексу.

Кінцеві відвали мартенівських, конвертерних, доменних і електросталеплавильних шлаків, що накопичуються після вилучення скрапу, є сировиною для виробництва металевих продуктів, вюстит-магнетитового залізорудного концентрату, феросплавів, порошків для абразивної обробки металевих конструкцій і інших виробів, флюсу для доменного і сталеплавильного виробництва, маршаліту, будівельних матеріалів [23, 27, 37].

Переробка шлаку від виплавки бронзи і латуні з брухту кольорових металів показала, що вони можуть перероблятися у три товарних продукти [27]:

1. Очищений від металів і сплавів шлак.
2. Метало-оксидний продукт (вихід 8-10%; вміст міді 60-70%, в середньому 65%; вилучення металу 46,9%).
3. Металевий продукт (вихід 5-6%; вміст міді 96-98%; вилучення металу 42,8%).

Відходи сміттєспалювальних заводів (золотошлаки) містять небезпечні для здоров'я людей і стану навколишнього середовища часточки металів (Pb, Cu, Zn, Ag, Au, Mo, Sb, Fe та ін.) і мінералів, розмірами від декількох десятків міліметрів до кількох мікрон. Запропоновані технологічні рішення дозволяють переробляти даний матеріал на місці його утворення та запобігти забрудненню довкілля. Продуктами переробки є [5]:

1. Алюміній (95-98 % Al), вихід 20,0 кг/т.
2. Мідь, бронза, латунь (95-98 % металів), вихід 5,0 кг/т.
3. Металеве залізо, вихід 13,0 кг/т.
4. Магнетитовий концентрат (65-67 % Fe), вихід 32,0 кг/т.
5. Скло, кераміка, кварцовий пісок, вихід 410,0 кг/т.
6. Вапняково-силікатний продукт, вихід 520,0 кг/т.

В роботах [24, 27] запропонована інноваційна технологія збагачення і комплексної переробки гематитових кварцитів і некондиційних гематитових руд Кривбасу, а також раніше одержаних заскладованих відходів (хвостів) збагачення гематитових, гематит-магнетитових і магнетитових кварцитів. Вона дозволяє завершити цикл видобутку і збагачення залізних руд виробництвом комплексу високоякісних продуктів: гетит-гематитового і гематит-магнетитового концентратів ($Fe_{\text{зар.}}$ 67-69%), агломераційної руди ($Fe_{\text{зар.}}$ 57-62%), клінкерної сировини, сухої фарби, щебня, відсіву, піску. Нових відходів при цьому не утворюється.

Також доступними для промислового видобутку залізорудної сировини є сучасні донні осадки річок Інгулець і Саксагань. Традиційним природним джерелом надходження до річкової мережі регіону гетиту, гідрогетиту, гематиту, гідрогетиту є кора вивітрювання порід залізо-кременистої формації. Крім того, в сучасну геологічну епоху до річкового алювію надходять значні

обсяги магнетиту, вюститу, феритів, металевого заліза тощо, з промислових майданчиків гірничо-металургійного комплексу міста. Розсипи природно-техногенного характеру формуються в різних місцях, а особливо у південному промисловому районі Кривого Рогу [25, 27, 28].

Названі інноваційні рішення технологічно обґрунтовані, економічно вигідні та екологічно безпечні. Їх впровадження у виробництво будуть мати значні позитивні соціальні наслідки для Криворіжжя. Продовженням даного напрямку є новітні технічні і технологічні рішення, направлені на переробку твердих промислових відходів і відновлення природного стану довкілля у промислово навантажених регіонах України.

Відходи ливарного виробництва у вигляді відпрацьованої формувальної суміші накопичуються на металургійних комбінатах, машинобудівних і ремонтних заводах. Вони зберігаються у відкритих відвалах і можуть поширюватись у навколишньому середовищі [121].

Відпрацьована формувальна суміш, представлена пухким грудкуватим матеріалом темно-сірого кольору, не радіоактивна. Деякі зерна слабо магнітні. Насипна щільність $1,63 \text{ г/см}^3$. Складається з кварцу, металевого заліза, магнетиту, гематиту, гетиту, циркону, ільменіту і суміші глинистих мінералів, в основному каолініту, вуглецевої речовини (рис. 3.2).

У складі суміші домінують зростки, утворені за рахунок спікання металевого заліза і його оксидів з кварцом, цирконом, ільменітом і іншими мінералами. Поширені кірки, примазки мінералів заліза на поверхні інших компонентів суміші. Глинисті мінерали і продукти їх випалу знаходяться в вигляді більш-менш однорідної плівки, що покриває зерна кварцу і інших природних мінералів (рис. 3.3).

Гранулометричний склад суміші змінюється від 0 до 30 мм, головним чином 0-5 мм. Оксиди заліза і обпалена глина утворюють цемент численних зростків і грудочок, сприяючи збільшенню відносного змісту крупнозернистих класів в суміші.

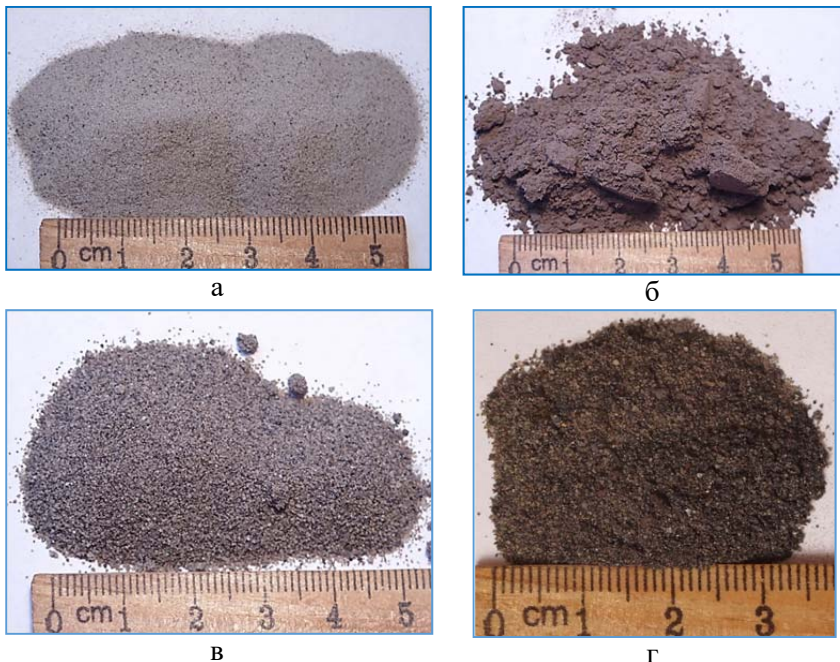
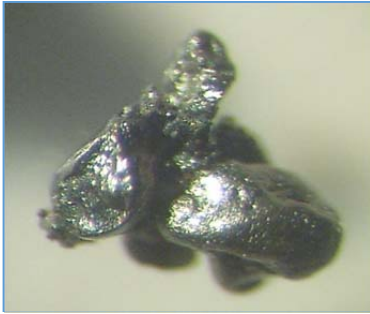


Рис. 3.2. Відпрацьована формувальна суміш (а) і продукти її переробки: б - залізо-оксидний продукт; в - регенований кварцовий пісок (світло-сіре) з домішкою циркону (темно-сіре до чорного); г - регенована глина.

Завданнями роботи були:

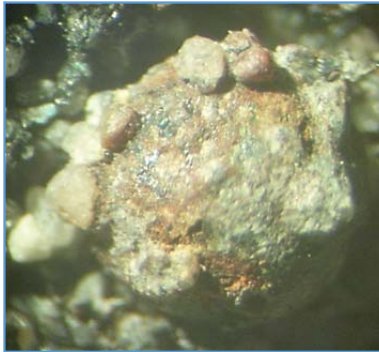
1. Розкрити зростки і грудочки, утворені металевим залізом і його оксидами, що спіклися з кварцом і іншими мінералами формувальної суміші.
2. Видалити плівку обпаленої глини, гетиту і інших оксидів заліза з поверхні кварцу.
3. Розділити між собою і виділити в окремі продукти головні компоненти відпрацьованої формувальної суміші: кварц, глину і суміш корольків металевого заліза і його оксидів.
4. Підготувати вироблені продукти для повторного використання.



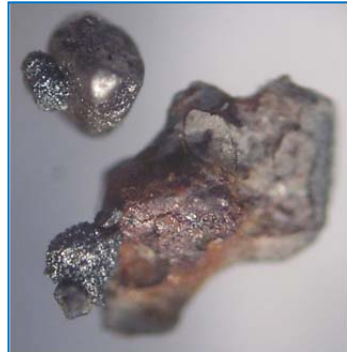
а



б



в



г



г



д



е

Рис. 3.3. Компоненти відпрацьованої формувальної суміші під мікроскопом: зростки металевого заліза з ільменітом (а); зростки магнетиту з кварцом (б); кірка глинистих мінералів, гідроксидів заліза і кварцу на поверхні кулястого корольку заліза (в); магнетит і гідроксиди заліза (г); кірки магнетиту, гідроксидів заліза і глинистих мінералів на кварці (д); пригарок (е). Бінокулярний мікроскоп. Збільшення - 100^x.

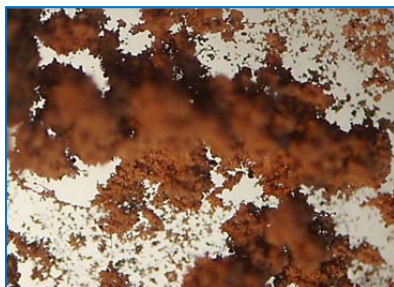
Технологічні випробування виконувалися на обладнанні Криворізького відділу ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України». Використали роторний млин, магнітний і гравітаційний сепаратори, пилоосаджувальні камери (конструкції Ю.Д. Чугунова), рукавний фільтр, набір сит (стандартні). Вивчення вихідної сировини і продуктів її переробки виконували за допомогою оптичних мікроскопів.

Результати технологічних випробувань

З використанням лабораторної установки НАНУ відпрацьована формувальна суміш розділена на чотири продукти: регенований кварцовий пісок для повторного використання у ливарному виробництві, дрібнозернистий будівельний пісок, регенована глина, залізо-оксидний продукт (рис. 3.4).



а



б



в



г

Рис. 3.4. Продукти комплексної переробки відпрацьованої ливарної суміші: а – кварцовий пісок для повторного використання у ливарному виробництві; б – регенована будівельна глина; в, г – залізо-оксидний продукт для доменного виробництва. Бінокулярний мікроскоп. Збільшення: а, в, г – 100X; б – 40^X;

Регенований кварцовий пісок у порівнянні з вихідною відпрацьованою сумішшю має більшу насипну щільність і більш тонкий гранулометричний склад. Складається з вивільнених із зростків і очищених від полімінеральної плівки кутастих або обкатаних зерен кварцу. Частина продукту знаходиться в класі мінус 0,071 мм і відповідає маршаліту (меленого кварцу). Маршаліт також становить незначну домішку в регенованій глині. При необхідності, маршаліт може бути виділеним з кварцового продукту та частково з глини в окремий продукт.

Регенований кварцовий пісок містить домішки циркону до 5-7%. Він також може бути додатково виділений в окремий продукт і використаний в якості сировини для виробництва рідкоземельних елементів, жаростійкого матеріалу в металургійній, авіаційній і космічній промисловості.

Регенована глина складається з мікроскопічних виділень силікатів, головним чином каолініту, і маршаліту. В незначній кількості вона містить гідроксиди заліза - магнетит, гетит, гідрогетит, лепідокрокіт. В процесі видалення глинистої плівки з поверхні кварцових зерен в вихровому мінерально-повітряному потоці суміш глинистих мінералів була додатково очищена, підсушена, розпушена і активована. Це дозволяє використовувати її повторно в ливарному виробництві або у будівельній промисловості.

Залізо-оксидний продукт концентрує утворені в процесі відливання дрібні частинки залишкового металевого заліза: чавуну, сталі та їх складових частин, наприклад когеніту. Корольки заліза чорні або буро-чорні внаслідок окислення. Форма виділень різноманітна: гранульовані зерна, таблички, пластини, кулі, виділення неправильної форми і т.і.

У продукті також сконцентровані вюстит, магнетит, гематит, ільменіт і інші мінеральні форми заліза. У процесі налагодження і налаштування технологічного обладнання можливе додаткове виробництво високоякісного залізорудного концентрату, придатного для використання в якості шихтового матеріалу при виробництві чавуну і сталі. Це також буде сприяти зведенню до мінімуму утворення відходів при переробці «горілої землі» відпрацьованої формувальної суміші.

Вироблені з відпрацьованої суміші продукти характеризуються досить високою чистотою. Це дозволяє використовувати їх повторно в основному (ливарному) або допоміжних виробництвах.

Рудопрояви і розсипи мінералів титану і цирконію досить поширені у Середньому Придніпров'ї [15]. Відпрацьовується Малишевське родовище. Перспективними для пошуків і розробки є також інші ділянки Середнього Придніпров'я, у тому числі осадовий чохол Криворізької групи родовищ заліза. Видобування рудних пісків здійснюється земснарядом та крокуючими екскаваторами з транспортуванням відповідно гідротранспортом та автосамоскидами до вузла приготування пульпи, що знаходиться в кар'єрі, і звідти насосними станціями подаватимуться на збагачувальну фабрику. Діюча система видобутку з гідровимивом рудних пісків приводить до підтоплення територій та забруднення водоносних горизонтів [120].

В даний час є очевидними і технологічні труднощі, пов'язані з виділенням «другорядних», проте вельми цінних і затребуваних компонентів покладу рудних пісків. Зокрема, застосування води для транспортування і рудопідготовки сировини робить попутне виробництво і реалізацію наявної в рудах глини (в середньому, 15-20%) досить дорогим і екологічно не бездоганим процесом. Тому, актуальними є розробка та впровадження нових недорогих компактних технологій, що дозволяють виділити цінний продукт в сухому підготовленому до використання вигляді безпосередньо перед етапом активного зволоження розкритих кар'єром покладів. Можливість сухої рудопідготовки вихідної сировини актуальне ще й тому, що на цій стадії можна виділити головний компонент розсипу - кварцовий пісок, і також сухим способом.

Автори пропонують у якості одного з варіантів вирішення питання, технологію безвідходної переробки рудних пісків з виділенням комплексу мінеральних продуктів.

Попередні дослідження складу і властивостей матеріалу виявили низку особливостей, сприятливих і несприятливих для його збагачення у вихровому повітряно-мінеральному потоці.

Сприятливими для збагачення є такі особливості рудних пісків:

1. Значна частина її представлена пухкою або слабо зцементованою масою «розкритих» кварцових піщинок і глини, вільних від зрощень з рудними мінералами. Це дозволяє з мінімальними витратами виділити глину і кварцовий пісок в окремі продукти вже на початкових стадіях збагачення.

2. Головна маса кварцових зерен (більше 52%) зосереджена в крупних класах піску, а рудних мінералів - в тонких і, частково, в алеврито-пелітових класах.

3. Крім гранулометричних характеристик, мінеральні компоненти пісків (кварц, рудні мінерали і каолінит) істотно розрізняються по щільності, міцності, а глинисті мікрочастинки ще й морфологічно. Спостерігається суттєва контрастність їх технологічних властивостей.

Наведені особливості сприяють збагаченню пісків і забезпечують якісну сепарацію їх як по мокрій, так і по сухій схемами, включаючи гравітаційні, магнітний та комбіновані методи.

Ускладнюють збагачення наступні особливості розсіпів:

1. Кварц значно поширення у багатьох класах крупності, де асоціює як з рудними мінералами, так і з каолінітом.

2. У гіпергенних умовах мінерали розсіпи зазнали змін. Ільменіт частково заміщений лейкоксомом, кварц - маршалітом. Змінені зерна значно відрізняються від «свіжих» за фізичними властивостями, що ускладнює збагачення.

Виникнення маршаліту пов'язано з більш пізніми, ніж седиментація процесами. Тому, просторово, маршаліт локалізується на місці свого виникнення - поблизу і на поверхні кварцових зерен.

Технологічні випробування включали обробку рудного піску у роторному млині, магнітну сепарацію, розділення на грохоті, сепарацію у повітряному циклоні та інші операції. Висушена проба оброблялася в роторному млині. В ньому глинисті частинки відділялися від піску і через повітряний циклон переміщувалися потоком повітря з робочої камери млину до пилоосаджувальної камери. Для визначення оптимального режиму обробки піщаної суміші у роторному млині було прийнято час подрібнення від 20 до 180 сек. Результати випробувань наведені в таблиці 3.5.

З наведених даних випливає, що оптимальною тривалістю обробки проби в млині є 40 сек., коли зернистий матеріал в ході сухої дешламації повністю очищається від глинистих домішок. Одночасно з видаленням глини виділявся концентрат маршаліту. Важкі розсіпоутворюючі мінерали відсепаровували за допомогою магнітних і гравітаційних сепараторів. Вихідний пісок і вироблені з нього продукти наведені на рисунку 3.5.

Таблиця 3.5.

Вихід продуктів обробки піску у роторному млині, %

Гранулометричний клас, мм	Розгрузка продукту	Час обробки проби у роторному млині, сек.			
		20	40	60	180
+0,315	з млину	16,48	9,34	4,1	2,93
+0,200-0,315		43,90	36,76	32,58	23,7
+0140-0,200		14,67	16,13	16,57	15,47
+0,100-0,200		9,93	16,47	14,04	13,93
+0,071-0,100		4,05	4,86	7,05	9,86
+0,040-0,071		1,57	1,81	3,12	4,12
-0,040		1,24	1,22	2,76	3,34
-0,020	з повітряного циклону	8,16	13,41	19,78	26,65
Сума		100	100	100	100

За допомогою компактного мобільного устаткування можливо відпрацьовувати різномасштабні об'єкти Середнього Придніпров'я, у тому числі Криворізького басейну: розсипи, рудопрояви і ділянки мінералізації у їх корінному заляганні, відвалах перекривних осадових порід, відходах збагачення тощо.

Запропонована технологія дозволяє виробляти концентрати ільменіту, рутилу, циркону, інших важких мінералів, а також високоякісну глину, маршаліт і кварцовий пісок, без використання води, і відвантажувати їх споживачам безпосередньо з місця видобутку, минаючи збагачувальну фабрику і її хвостове господарство. Накопичення відходів збагачення за даних умов не передбачається. Технологічні, економічні, екологічні та соціальні вигоди запропонованого варіанту очевидні.

Схожі технологічні рішення можуть бути використані для збагачення, комплексної переробки, або очистки інших осадових порід, донних осадків поверхневих водойм і продуктів їх промислової переробки.



Рис. 3.5. Вихідні піски (а) і продукти їх переробки у вихровому повітряно-мінеральному потоці: ільменітовий концентрат (б), комплексний рутил-цирконовий концентрат (в), кварцовий пісок (г), маршаліт (д) і глина (е). А – г – бінокуляр, збільшення 60^{\times} .

Особливої актуальності в даний час набула проблема **очищення донного осаду природних і штучних водойм від полімерних матеріалів, бітуму і мікропластику**. Дощові потоки, що омивають водозбірні площі річок, виносять з території промислових підприємств, населених пунктів і звалищ побутових відходів значну

кількість дезінтегрованого до розміру 0-100 мкм пластику, штучних волокон, поліетилену тощо до річок, що транспортують їх далі до Світового океану, забруднюючи річкові, морські та океанічні глибоководні і прибережні донні відклади, зокрема пляжі і рекреаційні зони. Шкідливі хімічні речовини, що містяться в ньому, такі як стирол, формальдегід, уретан, період розкладання яких становить кілька сотень років, та інші забруднювачі, адсорбовані поверхнею часточок мікропластику, становлять значну небезпеку для людей та інших живих організмів: тварин, риб, комах і рослин.

У попередніх роботах співробітниками ДНУ «МорГеоЕкоЦентр НАН України» запропонували спосіб очищення пляжних пісків, що не містять нафтопродуктів, патент України [40]. Він дозволяє ефективно очищати донні та прибережні відклади водою від небезпечних важких радіоактивних мінералів, металевих часточок і скла. Одночасно з очищенням піску можливо виробництво рудних концентратів і продуктів: цирконового, ільменіт-рутилового, монацитового, гранатового, магнетитового, кварцового, глини тощо. Обладнання виконується у вигляді мобільної компактної установки і може використовуватись протягом року, не перешкоджаючи діяльності рекреаційних зон узбережжя.

У даному розділі розглянута доопрацьована версія обладнання для удосконалення способу очищення пісків шляхом виділення з них полімерних матеріалів і бітуму в роторному млині у повітряно-мінеральному потоці, і мікропластику у повітряному гравітаційному сепараторі, що дозволить значно підвищити ефективність очищення пляжних пісків та інших донних осадів. Вказаний результат досягається за рахунок руйнування агрегатів полімерних матеріалів і бітуму з піском в роторному млині у вихровому повітряно-мінеральному потоці та виділення мікропластику у повітряному гравітаційному сепараторі з немагнітної фракції осаду.

Спосіб включає відбір піску на задану глибину, просівання, видалення крупного класу, просушування піску гарячим повітрям, гравітаційну і магнітну сепарацію дрібного класу, утилізацію магнітної і важкої фракції, повернення очищеного від важких та небезпечних мінералів піску на пляж. Після просівання, просушування і магнітної сепарації піску, здійснюють розділення немагнітної фракції у роторному млині у вихровому повітряно-мінеральному потоці, зі швидкістю обертання ротора і витратою

повітря, що забезпечують виділення полімерних матеріалів і бітуму; суміш мікропластику та піску просіюють по класу 0,2 мм, клас - 0,2 мм піддають повітряній гравітаційній сепарації з виділенням мікропластику, очищеного піску та шкідливих важких і радіоактивних мінералів; очищений пісок повертають на пляж, а сторонні предмети і уламки гірських порід, магнітну і важку фракції піску та додатково виділену суміш бітуму, полімерних матеріалів і мікропластику утилізують або переробляють.

Випробування вказаної технології здійснювали на річці Саксагань, піщані пляжні піски якої в районі м. Кривий Ріг забруднені відходами видобутку, збагачення і переробки залізних руд, а також бітумом, мікропластиком, штучними волокнами, целофаном та іншими промисловими і побутовими відходами. Вказані компоненти донного осаду не характерні для природного стану навколишнього середовища і шкідливі для живих організмів. На обстеженій території встановлено суттєве забруднення р. Саксагань продуктами діяльності гірничозбагачувальних комбінатів (залізорудний концентрат, хвости збагачення, водорозчинні солі), металургійних агрегатів і теплоелектростанцій (магнітні кульки, шлак, зола з димових викидів в атмосферу) транспортних, нафтопереробних підприємств (бітум, скло, електротехнічний графіт тощо). Потужним джерелом забруднення річкових відкладів побутовими відходами є територія мікрорайонів м. Кривий Ріг і сільських населених пунктів. З них зафіксовано значне надходження пластику, поліетилену, синтетичних волокон тощо [28].

Вплив сонячного випромінювання, повітря, дощової води та інших природних і техногенних факторів приводить до подрібнення синтетичних матеріалів і утворення мікропластику з переважаючим розміром часточок 0-20 мкм. Небезпечний для живих організмів матеріал забруднює річку Саксагань та розташовані на її берегах міські пляжі, рекреаційні об'єкти, зони лікування і відпочинку жителів міста Кривий Ріг, а також річки Інгулець і Дніпро, Чорне море і Світовий океан.

Схематично технологія комплексного очищення забрудненого донного осаду р. Саксагань наведена на рисунку 3.6.

Пляжний пісок р. Саксагань, відібраний у центральній частині м. Кривий Ріг, очищали від уламків гірських порід, що потрапили до річки з відвалів гірничорудних підприємств сторонніх предметів

(битого скла, промислових і побутових відходів тощо), важких магнітних мінералів і металів і додатково полімерних матеріалів бітуму і мікропластику на обладнанні відділу проблем екологічної геології Державної наукової установи «МорГеоЕкоЦентр НАН України».

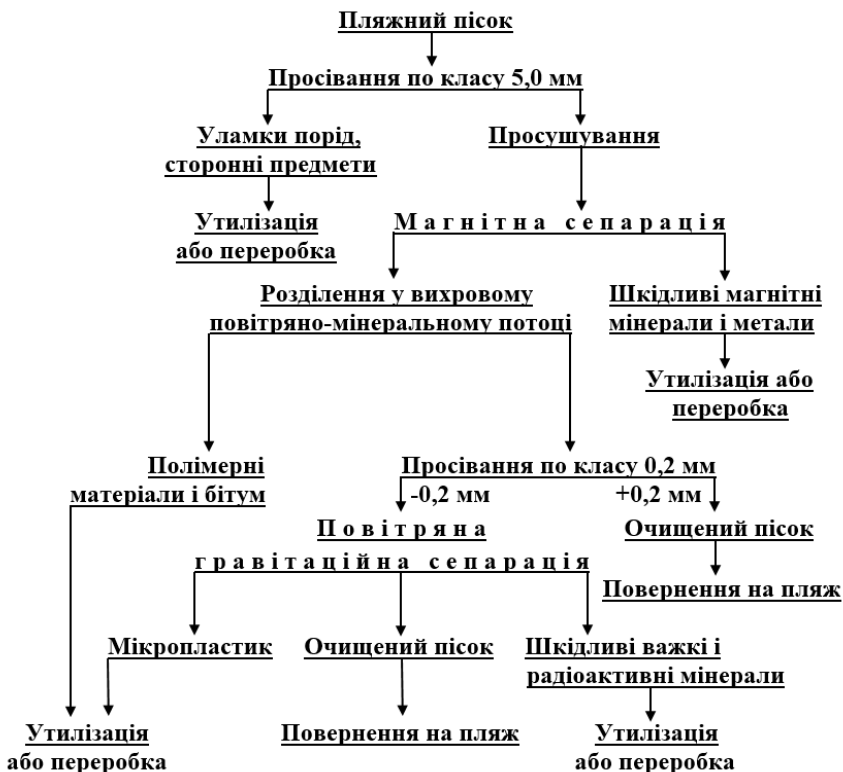


Рис. 3.6. Схема технології комплексного очищення забрудненого донного осаду р. Саксагань (м. Кривий Ріг).

Для цього використовували роторний млин, повітряний циклон, пилоосаджувальні камери, рукавний фільтр, магнітний і повітряний гравітаційний сепаратори. Відібраний на глибину 10-15 см. річковий пісок просівали на грохоті по класу 5 мм, у надрешітному продукті виділяли уламки залістистих кварцитів, граніту, кварцових жил,

рослинності, битого скла і інших сторонніх предметів. Підрешітний продукт просушували і здійснювали магнітну сепарацію. Спочатку у полі з індуктивністю 0,1-0,2 Тл, потім 0,9-1,0 Тл, для виділення з піску магнітних мінералів і металів.

Немагнітний продукт обробляли у динамічному повітряному потоці, за рахунок руху зерен і агрегатів піску з забруднюючими матеріалами по вихровій траєкторії, зіткненню з лопатками ротора і стінкою робочої камери дробарки та між собою, з силою, достатньою для вивільнення часточок полімерних матеріалів і бітуму з грудочок і агрегатів піску, бітум і полімерні матеріали відділяли від пляжного піску, в якому ще містилися часточки мікропластику.

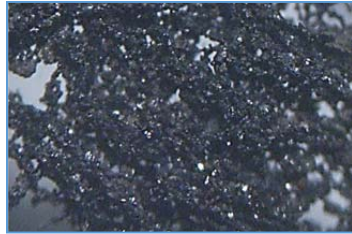
Суміш піску і мікропластику просівали по класу 0,2 мм. Клас +0,2 мм у вигляді очищеного піску повертали на пляж, а клас -0,2 мм розділяли у повітряному гравітаційному сепараторі. Виділяли: мікропластик очищений пісок класу -0,2мм і суміш шкідливих важких і радіоактивних мінералів: циркону, монациту, сульфідів тощо (рис. 3.7).

Наведені приклади технологічних випробувань і конструктивні особливості технологічного устаткування свідчать про ефективність і значний потенціал розробок у різних напрямках переробки мінеральної сировини.

Найбільшу цінність має можливість сепарації і комплексної переробки різноманітних промислових відходів, донних осадків природних і штучних водойм, бідних і некондиційних руд. Виробництво з них високоякісних концентратів і сучасних будівельних матеріалів виконується одночасно з очищенням і відновленням стану навколишнього середовища.



а



б



в



г



д



е

Рис. 3.7. Забруднений промисловими і побутовими відходами пляжний пісок р. Саксагань (а) і продукти його комплексної переробки і очищення: б – залізорудний концентрат; в - бітум; г - пластик; д – мікропластик та рослинні рештки; е – очищений від природно-техногенних і техногенних поліутантів річковий пісок. Б, в, д - бінокулярний мікроскоп. Збільшення: б, в, - 40^{\times} ; д - 100^{\times} .

ВИСНОВКИ

Проблемам навколишнього середовища на територіях пост-майнінгу почали приділяти значну увагу фактично з кінця 90х років минулого – початку нинішнього століття. В Україні ці проблеми досягли критичної межі і реально гальмують сталий розвиток колишніх і нині діючих гірничодобувних районів і регіонів. Економічні, екологічні та соціальні умови кожного з них індивідуальні в залежності від виду мінеральної сировини, типу місцевості, її геології, клімату та багато чого іншого. Тому індивідуальними, з врахуванням специфіки регіонів, мають бути програми їх екологічної реабілітації та подальшого розвитку. Це в повній мірі відноситься і до Криворізького залізорудного басейну.

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. В умовах сучасних ринкових відносин 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.

На етапі інтенсивного використання і виснаження родовищ, на якому знаходиться Кривбас, важливим є пристосування нормативно-правової бази діяльності підприємств гірничо-металургійного комплексу до нових умов. З одного боку зміни у цій базі мають забезпечувати вірну геолого-економічну оцінку родовищ з максимальним врахуванням технічних і технологічних факторів їх експлуатації і геолого-екологічних ризиків, плануванням поточних екологічних витрат та передбаченням наслідків їх розробки і відповідних компенсаційних витрат. З іншого боку такі зміни мають бути спрямовані на накопичення фінансових ресурсів на ліквідацію родовищ і екологічну реабілітацію територій.

Криворізький залізорудний басейн є типовою пост-майнінговою територією. У її межах сформувалася регіональна природно-техногенна геосистема «гірничодобувний комплекс – довкілля», що змінила життєзабезпечуючі складові навколишнього природного середовища: геохімічні ландшафти геологічного середовища, гідросферу та біосферу.

Відчутно змінився гідрологічний режим та гідрохімічний склад вод головних водних артерій басейну – річок Інгулець і Саксагань, склад седименту, шляхи та форми його транспортування. Внаслідок зміни гідродинамічної активності та замулення річкової мережі і забруднення вод погіршився стан Карачунівського водосховища – джерела питного водопостачання м. Кривий Ріг та Криворізького району.

Динаміка змін хімічного складу річкової води свідчить про неспинне зростання рівня мінералізації води. Води Інгульця вище та нижче Карачунівського водосховища мають різні гідрохімічні типи. Стабільно високою є жорсткість води. Рівень мінералізації, жорсткість води у водних об'єктах Кривбасу значною мірою обумовлені техногенним впливом.

Існує тісний взаємозв'язок між підземними та поверхневими водами, який обумовлює особливості хімічного складу ґрунтових вод і зв'язаного з ним гідравлічними вікнами водоносного комплексу міоцену та водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід. Хімічний склад підземних вод водоносного горизонту неоплейстоцену, водоносного комплексу міоцену залежить від хімічного складу поверхневих вод техногенного генезису.

Найбільш значущий вплив на гідрохімічний стан підземних вод простежуються в районах промислових майданчиків гірничозбагачувальних комбінатів, відвалів та біля хвостосховищ. На решті території м. Кривий Ріг основні інфільтраційні втрати з техногенних водойм, частково перехоплюються дренажними спорудами, що знижують вплив техногенних чинників на гідрохімічний стан підземних вод.

Діяльність промислових підприємств суттєво змінила геоморфологію долини річок, будову і склад річкового алювію. В басейнах річок у районах, в яких діють гірничо-збагачувальні комбінати, відбулися корінні зміни усіх елементів ландшафту, що спричинило розвиток специфічних геохімічних процесів, які впливають на хімічний склад води водних об'єктів техногенного і природного походження.

В зонах значного антропогенного впливу, на територіях промислових та, особливо, гірничо-видобувних центрів, до природних джерел седиментаційного матеріалу у великих обсягах додається техногенний, який надходить із стічними водами, поверхневим стоком, шляхом безпосереднього переміщення до річкового русла матеріалу, складованого у береговій зоні. Техногенна складова включається у загальні цикли міграції та

седиментації осадоної речовини. Алювіальні осадки в зонах техногенного впливу та нижче за течією – це сукупність часток природного та неприродного походження

Надходження та концентрування у водоймах та водотоках низки небезпечних хімічних елементів і сполук відбувається за рахунок безпосереднього їх надходження із техногенних водойм, а також аеротехногенним шляхом із джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Природна річкова вода, що потрапляє на територію промислових комбінатів забруднюється і в такому стані повертається до річкової мережі. Забруднені промисловими відходами донні осадки штучних проточних водойм теж виносяться за межі підприємств і забруднюють довкілля. Для зменшення негативного впливу проточних водойм промислового призначення, що з'єднуються з річковою мережею та забруднюють її, рекомендується виконувати очищення русла каналів та утилізацію накопиченого мулу, що за складом відповідає сировинним матеріалам промислових підприємств.

Значні обсяги депонування з об'єму хвостосховищ у навколишнє середовище приводять до активізації процесів сучасного осадоутворення. Розвантаження техногенних та змішаних природно-техногенних вод на денну поверхню супроводжується осадженням розчинених солей. Йому сприяє зміна температури, рН середовища та підвищення концентрації. Карбонатна порода, утворена з вуглекислих джерел, може бути віднесена до травертину. Поклади травертину приурочені до джерел у фундаменті дамби хвостосховища ГЗК і за походженням є техногенно-природними.

Травертини Криворіжжя мають високі тепло- та звукоізоляційні властивості, задовільний декоративний вигляд та дуже низький, до повної відсутності, вміст важких металів. Вони можуть знайти використання у житлово-комунальному будівництві та виробництві екологічно чистих матеріалів іншого призначення.

Суттєвою складовою донного осаду у поверхневих водоймах Криворізького басейну є перекивні і вміщуючі гірські породи і руди, що надходять в результаті ерозії відвалів, дамб, доріг і промислових площадок, хвости та інші відходи збагачення, а також втрачений магнетитовий концентрат. Природний матеріал потрапляє до річкового алювію безпосередньо з промислових і комунальних об'єктів. Обсяги осаджень техногенної мінеральної речовини значно більші, ніж вважалося раніше, і можуть значно перевищувати природні надходження з водозбірної площі річок.

У розрізі сучасного алювію річкової мережі Криворіжжя домінує в незначній мірі отсортований незрілий осад. Цим сучасний алювій відрізняється від аналогічних утворень доіндустріальної епохи з проявами розсипного золота, циркону, ільменіту, альмандину та інших важких мінералів. Змішаний матеріал кількадеметровим шаром перекиває потенційно золотоносні відклади Праїнгульця.

Викликає занепокоєння повсюдне забруднення донного осаду чорними і кольоровими металами, металургійним шлаком, пилом, склом, бітумом, синтетичними волокнами і мікропластиком. Це свідчить про необхідність розробки і впровадження дієвих рішень по очищенню донних відкладів, одночасно з днопоглибленням, складуванням і комплексною переробкою накопиченої природної і техногенної сировини.

Важливими характеристиками компонентів (часточок) природного і техногенного осадів є їх внутрішня будова, морфологія і скульптура поверхні та пов'язані з ними питома поверхня і рівень накопичення електростатичних (кулонівських) зарядів. В межах природних і штучних водойм відбуваються масштабні процеси морфо-седиментаційної диференціації речовини: різні за морфологічними ознаками, внутрішньою будовою, питоною поверхнею і рівнем накопичення поверхневих зарядів індивіди і агрегати одного мінерального виду в умовах седиментогенезу ведуть себе як різні мінерали та накопичуються у різних ділянках річкової долини та алювіального розрізу. За масштабами та наслідками даний процес співставляється з диференціацією за розміром і питоною вагою зерен, а в класах осаду менше 0,1 мм відіграє домінуючу роль.

При зведені штучних басейнів і створенні технологічного промислового устаткування морфо-седиментаційна диференціація мінеральної речовини у водному потоці не враховується. Це приводить до значних втрат рудних мінералів і масштабного забруднення довкілля промисловими відходами.

Також значні втрати важких мінералів супроводжують традиційний шліховий мінералогічний аналіз. Втрати суттєво зменшують балансові запаси розсипних і корінних родовищ, скорочують площі пошукових робіт, приводять до втрат рудних мінералів при збагаченні.

Вдосконалення мінералогічного шліхового аналізу дозволяє повніше визначати природні і техногенні, неорганічні і органічні компоненти задля підвищення результативності пошукових робіт, розробки нових технологічних схем збагачення і комплексної

переробки мінеральної сировини, підвищення ефективності заходів щодо відновлення стану природного середовища.

Важливими для досягнення задовільного стану довкілля у Кривбасі є оцінка якості руд і витрат на моніторинг.

Створений прогноз щодо витрат на моніторинг двох типових об'єктів Кривбасу - ліцензійних площ Валявкинського родовища (кар'єр №3) та кар'єру «Південний» по завершенню їх фактичного життєвого циклу базується на використанні середньозваженої вартості моніторингу, що проводиться інвесторами на словацьких об'єктах – одному із родовищ залізорудна площі Нижньої Слани та Руднянському рудному полі.

Одним із шляхів забезпечення надрокористувачів найбільш якісною сировиною, а навколишнє середовище якомога меншими впливами від гірничодобувної діяльності може стати врахування залежності кількості та якості запасів від включення постліквідаційних витрат до техніко-економічних розрахунків. І як основний параметр у дослідженні доцільно використати мінімальний промисловий вміст корисного компоненту, як параметр кондицій, що застосовується з метою підрахунку балансових запасів.

Проведений аналіз двох варіантів визначення балансових запасів, один з яких включав розраховані постліквідаційні витрати, доводить реальність запропонованого шляху забезпечення користувачів надр більш якісною сировиною, а навколишнього середовища – меншими впливами від гірничодобувної діяльності.

Для більш точного прогнозування витрат на подальшу промислову діяльність також необхідно враховувати вплив на якість руд наложених процесів натрієвого метасоматозу там, де вони проявлені. Вплив рибекітизації на кількісне співвідношення рудної та нерудної складових магнетитових кварцитів, вдосконалення морфології індивідів і агрегатів магнетиту, заміщення рибекітом тонковкрапленого магнетиту мали як позитивний, так і негативний вплив на збагачуваність рибекітових метасоматитів. Але, оскільки головним показником ефективності збагачувального процесу є загальний вміст заліза в корисному кінцевому продукті, рибекітовий метасоматоз сприяв покращенню бідних магнетитових руд як первинної сировини для виробництва високоякісного залізорудного концентрату.

Рециклінг замість поширення промислових відходів у навколишньому середовищі є вирішальною умовою досягнення задовільного стану довкілля у Кривбасі. Приклади економічно обґрунтованих технічних рішень щодо комплексної переробки вторинної

мінеральної сировини підприємств Кривбасу включають широкий спектр різноманітних відходів: металургійних шлаків, пилу і шламів, відходів ливарного виробництва, відвальних гематитових кварцитів і некондиційних руд та інші. Особливої актуальності в даний час набула проблема очищення донного осаду природних і штучних водойм від полімерних матеріалів, бітуму і мікропластику. Випробувані нові технологічні і конструктивні рішення свідчать про ефективність і значний потенціал розробок у різних напрямках переробки мінеральної сировини.

Наведені дані свідчать про значний та не використаний потенціал Криворізького залізорудного басейну. Ефективне використання і впровадження комплексних науково-дослідних розробок широкого кола наукових колективів сприятиме його розвитку задля поліпшення життєвого рівню населення у відновленому довкіллі.

Головним завданням впровадження окремих заходів пост-майнінгу спрямованих на підвищення безпеки життєдіяльності місцевого населення у «старих» гірничодобувних регіонах України можуть бути такі:

1) удосконалення прогнозів змін основних життєзабезпечуючих складових довкілля (грунтів, гідросфери, надр та ін.);

2) випереджаючи розробки компенсаційної моделі сталого соціально-економічного та еколого-техногенного розвитку гірничодобувних районів з урахуванням досвіду реструктуризації гірничих комплексів у державах ЄС (Німеччина, Англія та ін.);

3) удосконалення структури моніторингу на основі розширення комплексу оціночних параметрів, впровадження математичних моделей техногенного геологічного середовища гірничодобувних районів, використання технологій ГІС та ДЗЗ (інтерферометрія, спектрометрія та ін.);

4) наукове обґрунтування гранично-припустимих змін екологічних параметрів складових довкілля та довгострокової безпеки життєдіяльності;

5) забезпечення стійкої експлуатації об'єктів критичної інфраструктури (комплексів енерго-водо-теплопостачання, транспортних мереж та ін.);

6) збільшення використання ресурсів прісних підземних вод як захищеного від техногенного забруднення джерела питно-господарського водопостачання;

7) визначення ділянок сільгоспугідь геохімічно безпечних для отримання сільськогосподарської продукції.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Алекин О. А.* Химический анализ вод суши / *О.А. Алекин.* – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 199 с.
2. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии / *О.А. Алекин.* – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
3. *Алѣхина Т.Н.* Факторы вариативности химического состава донных осадков р. Ингулец / *Алѣхина Т.Н.* // Экологическая химия. - Санкт-Петербург, 2012.- Том 21.- Выпуск 4.- С.234-239.
4. *Алѣхина Т.Н.* Тяжелые металлы в донных осадках рек индустриальных регионов / *Т.Н. Алѣхина, А.А. Бобко, И.Н. Малахов* // Довкілля та здоров'я. –2007. - № 3. – С. 9-13.
5. *Альохіна Т.М.* Динаміка гідрохімічного стану вод р. Саксагань в умовах активного техногенезу / *Альохіна Т.М.* // Гідрогеологія: наука, освіта, практика / Мат. VI наукової конференції з міжнародною участю. 2020.-Харків.- С.5-8.
6. *Амоша О.І.* Промисловість України – 2016: стан та перспективи розвитку: наук.-аналіт. доп. / *О.І. Амоша, І.П. Булеєв, А.І. Землянкін, Л.О. Збаразська, Ю.М. Харазішвілі та ін.* – Київ: НАН України, Ін-т економіки промисловості. – 2017. – 120 с.
7. Анализ способов и средств сокращений выбросов и сбросов вредных веществ горных предприятий: отчет о НИР// Криворожский горнорудный институт. – Кривой Рог. – 1995. – 23 с.
8. *Багрій І. Д.* Геоекотолічні проблеми Криворізького басейну в умовах реструктуризації гірничодобувної галузі / *І.Д. Багрій, П. В. Блінов, Н.А. Белокопитова, та ін.* – К.: Фенікс, 2002. – 190 с.
9. *Белевцев Я.Н.* Геология криворожских железорудных месторождений / *Белевцев Я.Н., Тохтуев Г.В., Стрыгин А.И. и др.* // Киев: Изд. АН УССР, 1962.– Т. 1 – 484 с., т. 2 – 567 с
10. *Ведмеденко К.І., Чепелев Е.М., Иванченко В.В. та ін.* Установка для переробки замасленої прокатної окалини методом безкисневої дистиляції. Патент України на корисну модель № 39344. Бюлетень №4.25.02. 2009.
11. *Витна М.В.* Літологія і можливості використання алювію річок України / *Витна М.В., Иванченко В.В.* // Сталий розвиток промисловості у суспільстві. Міжнародна науково-технічна конференція. 22-25 жовтня. Кривий Ріг, - С.77.
12. *Вишневський В.І.* Гідрологічні характеристики річок України / *В.І. Вишневський, О.О. Косовець.* – К.: Ніка-Центр, 2003. – 324с.
13. Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна / *Под ред. Я.Н. Белевцева* / М.: Госгеолтехиздат, 1957.- 279 с.

14. Геологическая карта Криворожского железорудного района. / Сост. Н.И. Свистальский, Э.К. Фукс, Ю.И. Половинкина, Ю.Г. Дубяга. - 1931. - 25 с.
15. Геологія і корисні копалини України: Атлас / гол. ред. Л. С. Галецький / НАН України, Ін-т геолог. наук, УЦПТ “Геос-XXI століття”. – К.: ДП “Такі справи”, 2001. – 168 с.
16. Географічна енциклопедія України [відп. ред. О.М. Маринич].- К.: Українська енциклопедія ім. М.П. Бажана.- 1993.- Т.3.- С. 156-157.
17. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов /М.А. Глазовская.– Смоленск: Ойкумена. – 2002. –287 с.
18. Губин В.Г. Технология одновременного получения песка и железорудного концентрата из отходов горно-обогатительных комбинатов / В.Г. Губин // Черная металлургия, 1985. – № 9. – С. 30-31.
19. Довгий С.О. Екологічна мінералогія України / С.О. Довгий, В.І. Павлишин. – К.: Наукова думка. – 2003. – 152 с.
20. Довгий С.О. (відп. ред.). Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення / С.О. Довгий, В.М. Шестопалов, М.М. Коржнев та ін. – К.: Наукова думка. – 2007. – 347 с.
21. Довгий С.О. Енергетично-ресурсна складова розвитку України / С.О. Довгий, М.І. Євдошук, М.М. Коржнев та ін.. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 263 с.
22. Довгий С.О. Екологічні ризики, збитки та раціональні межі використання надр в Україні / С.О.Довгий, М.М.Коржнев (наук. ред.), М.М.Курило та ін. – К.: Ніка-Центр, 2012. – 314с.
23. Довгий С.О. Критерії екологічної і геолого-економічної оцінки та мінералогія відходів гірничо-металургійного комплексу Кривбасу / С.О. Довгий, В.В. Іванченко, М.М. Коржнев (наук. ред.) та ін. – К.: Ніка-Центр. – 2013. – 226с.
24. Довгий С.О. Мінерально-сировинний комплекс та сталий розвиток України / С.О. Довгий, В.В. Іванченко, М.М. Коржнев (наук. ред.) та ін. – Київ: Логос, 2014. – 236 с.
25. Довгий С. О. Асиміляційний потенціал геологічного середовища України та його оцінка / С.О. Довгий, В.В. Іванченко, М.М. Коржнев (наук. ред.), та ін.. – К.: Ніка-Центр, 2016. – 172 с.
26. Довгий С.О. Геологічна будова та сучасні геолого-економічні й екологічні умови видобутку і переробки залізних руд Криворізько-Кременчуцької зони / С.О Довгий, М.М. Коржнев (наук. ред.), О.М. Трофимчук та ін. – К.: Ніка-Центр, 2017. –208с.

27. *Довгий С.О.* Стратегічні напрями реструктуризації Донецького вугільного і Криворізького залізрудного басейнів в умовах трансформацій енергетичної сфери / *С.О. Довгий, О.М. Трофимчук, М.М. Коржнев (наук. ред.), Є.О. Яковлев та ін.* – К.: Ніка-Центр, 2019. – 160 с.
28. *Довгий С.О.* Моніторинг мінерально-сировинної бази України та екологічного стану територій її гірничодобувних регіонів у контексті забезпечення їх сталого розвитку / *С.О. Довгий, О.М. Трофимчук, М.М. Коржнев (наук. ред.), Є.О. Яковлев та ін.* – К.: Ніка-Центр, 2019. – 148 с.
29. *Евдокимов П.Д.* Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик / *П.Д. Евдокимов.* – Москва: Госгортехиздат, 1960. – 420 с.
30. *Євтехов В.Д.* // «Шахтні перли» Криворізького басейну / *Євтехов В.Д.* // Геолого-мінералогічний вісник. - 2002. - №2.
31. Енциклопедія Криворіжжя. [Під ред. *В.П. Бухтіярова, В.Г. Балакіна*]. Кривий Ріг: Явва, 2005. Т.1.- С.426-427.
32. *Жовинский Э.Я.* Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / *Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева.* – Киев: Наукова думка. –2002. –212 с.
33. Засади та досвід моніторингу техногенезу у донних відкладах індустріальних регіонів: матеріали Всеукр. наук. конф. [«Моніторинг природних і техногенних сред»], (Сімферополь, Крим, 24-26 квітня 2008 р.) / Таврический нац. ун-т им. В.И. Вернадского. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2008. – С. 83-85.
34. *Захарова Е.М.* Шлиховые поиски и анализ шликхов / *Захарова Е.М.* – М.: Из-во Московского университета, 1960 – 167 с.
35. *Иванченко В.В.* Минеральный состав и агломерация железосодержащих металлургических шламов / *В.В. Иванченко, М.И. Котляр, В.И. Шатоха, Т.П. Нестеренко, С.Н. Тыришкина.* – Кривой Рог : Издательский цент КТУ, 2007 – 142с.
36. *Иванченко В.В.* Мінералогія донних відкладів р. Інгулець. / *Иванченко В.В., Журавель Н.Р.* // Записки Українського мінералогічного товариства. 2011, том 8. С. 99-102.
37. *Иванченко В.В.* Сталеплавильний шлак в сучасному геологічному середовищі. / *Иванченко В.В., Тыришкина С.М., Оторвін П.І.* // Серія: «Геологічне середовище антропогенної екосистеми». Київ: Видавництво НАН України. 2011. – 147 с.
38. *Иванченко В.В.* Аутигенні сульфідні осадки річок України. / *Иванченко В.В., Квітка А.С.* // Геология и полезные ископаемые мирового океана. №2. 2014. С. 118-123.

39. *Іванченко, В.В.* Літологія та можливості комплексного використання сучасного алювію Дніпра. / *Іванченко, В.В., Белицька, М.В., Гаврилюк, І.В.* // Вісник Дніпропетровського університету, 2015, 23, с. 56-64.
40. *Іванченко В.В., Чугунов Ю.Д., Шнюков Є.Ф.* Спосіб очищення пляжних пісків. Патент України на корисну модель №107615 У бюл. №11 від 10.06.2016.
41. Іпатко Ю.М. Періоди техногенезу гірничого Кривбасу / Ю.М. Іпатко, І.М. Малахов // Геологічний журнал. – К., 2004. – №1. – С.62 – 69.
42. *Казаков В.Л.* Балки басейну ріки Саксагань. Географічні дослідження Кривбасу: Фізична географія, економічна і соціальна географія, геоекологія, історична географія, інформаційна географія, туризм, викладання географії / *Казаков В.Л.* // Матеріали кафедральних науково-дослідних тем. - Вип. 4. - Кривий Ріг : Видавничий дім, 2009. - С.12-19.
43. *Кендзера О. В.* Сейсмічна небезпека і захист від землетрусів (практичне впровадження розробок Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України) / *Кендзера О.В.* // Вісник Національної академії наук України. – 2015. – № 2. – С. 44–57.
44. *Ковальчук М.С.* Морфогенетична класифікація золота з осадових комплексів України / *Ковальчук М.С.* // Геол. журн. — 2000. — № 3. — С. 54—73.
45. *Ковальчук М.С., Квасниця В.М., Довгань Р.М. та ін.* Морфогенетична класифікація розсипного золота з алювіальних відкладів р. Дністер / *Ковальчук М.С., Квасниця В.М., Довгань Р.М. та ін.* // Геол. журн. — 2001. — № 3. — С. 30—40.
46. *Ковальчук М.С.* Мінералогія розсипного золота України. / *Ковальчук М.С.* // Записки Українського мінералогічного товариства. 2011, том 8 127. С. 126-129.
47. *Колосов В.А.* Состояние и перспективы развития горнодобывающей промышленности Украины. Разработка рудных месторождений / *В.А. Колосов* – Кривой Рог, 2004. – С. 37–41.
48. Комплексная разработка рудных месторождений / под ред. Черных. – К.: Техника. – 2005. – 376 с.
49. *Копченова Е.В.* Минералогический анализ шликеров / *Е.В.Копченова.* – М.: Государственное издательство геологической литературы, 1951. – 207с.
50. *Коржнев М.М.* Концептуальні основи поліпшення стану довкілля гірничовидобувних регіонів України / *М.М. Коржнев, В.С.*

- Мищенко, В.М. Шестопалов, Є.О. Яковлев.* – К.: РВПС України, 2000. – 75 с.
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. – 195 с.
 52. *Коржнев М.М.* Техногенні форми рельєфу та оцінка екологічних ризиків і збитків гірничовидобувної діяльності у Криворізькому залізорудному басейні / *М.М. Коржнев, І.М. Малахов* // Вісник КНУ. Геологія. – вип. 58, 2012. – С. 46-50.
 53. *Коржнев М.Н.* Ресурсные и экологические критерии определения ассимиляционного потенциала геологической среды на примере горнодобывающих регионов Украины / *М.Н. Коржнев, М.М. Курило, Н.В. Захарий* // Вестн. Том. гос. ун-та. 2014. № 387. – С. 243–252.
 54. *Коржнев М.М.* Концептуальні підходи щодо визначення асиміляційного потенціалу територій з врахуванням його складових для геологічного середовища. / *Коржнев М.М., Кошарна С.К.* // Екологічна безпека та природокористування. – 2016. – Вип. 21 (№1-2). – С. 16-24.
 55. *Коржнев М.* Підходи до планування сталого розвитку Криворізького залізорудного басейна на стадії пост-майнінгу / *М. Коржнев, М. Курило, С. Кошарна* // Вісник КНУ. Геологія. 2021. Вип. 1 (92).
 56. *Котлов Ф.В.* Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека / *Котлов Ф.В.* – М.: Недра, 1978. – 264с.
 57. *Кошарна С.К.* Геолого-економічна оцінка залізорудних родовищ Криворізького басейну на етапі інтенсивного використання і виснаження запасів. – Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.19 – економічна геологія. – К.: ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Тараса Шевченка. – 2019. – 20с.
 58. *Кравчинський Р. Л.* Оцінка гідрохімічного режиму та якості поверхневих вод басейну р. Інгулець : Дисертація. кандидата географічних наук: 11.00.07 : Київ, 2011. - 182 с.
 59. *Крючков А.В.* Совершенствование технологии обогащения железистых кварцитов / *Крючков А.В.* // Горн. журнал. – 2002. – №12. – С. 9–10.
 60. *Лазаренко Е.К.* Минералогия Криворожского бассейна. / *Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г., Бучинская Н.И. и др.* – К.: Наукова Думка, 1977. – 542 с.

61. *Латшин А.Е.* Отчет о научно-исследовательской работе Разработка технологи обеспыливания сухих поверхностей шламохранилища Сев ГОК. – Кривой Рог: КТУ, 2004.- 44 с.
62. *Линник П.Н.* Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах / *П.Н. Линник, Б.И. Набиванец.* – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 272 с.
63. Літологія сучасних донних осадків поверхневих водойм Криворізького залізорудного басейну / [*Малахов І.М., Альохіна Т.М., Бобко А.О., Іванченко В.В., Агаджанов М.С.*]. Серія «Геологічне середовище антропогенної екосистеми».– Кривий Ріг: Октан-принт, 2008. – 110 с.
64. *Ляхович В.В.* Акцессорные минералы. Их генезис, состав, классификация и индикаторные признаки. / *Ляхович В.В.* – М.: Наука, 1968. – 275с.
65. *Малахов И.Н.* Новая геологическая сила / *Малахов И.Н.* – Кривой Рог: Видавничій дім «Україна», 2009. – 312 с.
66. *Малахов І.М.* Фактори формування складу сучасних донних осадків р. Інгулець. / *Малахов І.М., Альохіна Т.М., Бобко А.О., Іванченко В.В.* // Геологічний журнал. № 3, 2010. С. 69-74.
67. *Малахов І.М.* Методичні питання вивчення трансформації геологічного середовища у гірничо-видобувних регіонах. / *Малахов І.М., Альохіна Т.М., Іванченко В.В., Бобко А.О., Агаджанов М.С.* // Серія: «Геологічне середовище антропогенної екосистеми», Кривий Ріг: Видавництво НАН України. – 2011 – 172 с.
68. *Меньшикова Е.А.* Речные осадки в условиях техногенного воздействия / *Меньшикова Е.А.* // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 7. – С. 183–185.
69. Методи відбору проб донних відкладень у поверхневих водоймах: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. [«Проблеми екології та екологічної освіти»], (Кривий Ріг, 8-10 грудня 2006 р.) / Криворізький держ. педаг. ун-т. –Кривий Ріг: «Видавничий дім», 2007. – С. 116-118.
70. *Мищенко В.С.* Екоресурсні платежі в Україні / *В.С. Мищенко* // Економіка України, №10, 1998. – С. 40-46.
71. *Могилевський Л.М.* Вплив техногенезу надр на поверхневі водні об'єкти Кривбасу / *Л.М. Могилевський* // Деякі чинники техногенезу. Серія: Геологічне середовище антропогенної екосистеми.- Кривий Ріг: Октант-Принт, 2002.- С.80-96.
72. *Натаров В.Д.* Геологический отчет о геологической съемке кайнозойских отложений Центральной части Кривбасса. Т. 1. - Кривой Рог: Министерство черной металлургии СССР

- «Главгеология». Госуд. Союзный Криворожский геологоразведочный трест. Гидрогеологическая партия. 1953. - 280 с.
73. *Натаров В.Д.* Гидрохимические особенности реки Саксагань/ В.Д. Натаров // НИГРИ, бюллетень научно-технической информации. М.- 1959.- Вып. 5.- С. 94-99.
74. *Недрига В.П.* Гидротехнические сооружения (справочник проектировщика) / В.П. Недрига. – М.: Стройиздат, 1983. – 543с.
75. *Нестеренко Т.* Онтогенія кулястих індивідів і агрегатів техногенного походження. / *Нестеренко Т., Іванченко В., Тиришкіна С.* // Мінералогічний збірник. 2007. № 57. Вип. 1. С. 76-80.
76. *Павлишин В.І.* Людина і камінь (мінералогічні аспекти) / В.І. Павлишин. – К.: ВПЦ «Київський університет». – 2005. – 89с.
77. *Пирогов Б.И.* Минералогическое исследование железистых и марганцевых руд. / *Пирогов Б.И., Пирогова В.В.* – М.: Недра, 1973.– 214с.
78. *Плотников А.В.* Прогнозная оценка запасов и ресурсов Правобережного района Украинского щита – наиболее перспективной сырьевой базы для качественной металлургии // Горная промышленность./ *Плотников А.В., Курило М.М.* - Спецвыпуск, 2010. – С. 42-47.
79. *Плотников О.В.* Структура світових запасів заліза і тенденції розвитку залізорудної мінерально-сировинної бази України / *Плотников О.В., Петрусенко І.Ю.* // Металлургическая и горнорудная промышленность: Науч.-техн. и производ. журнал. – 2003. – № 1. – С. 79–83.
80. *Плотников О.В.* Геолого-економічні чинники промислового значення супутніх корисних копалин залізорудних родовищ Кривбасу / *Плотников О.В., Курило М.М.* // Мат-ли 5-ої міжнар. наук.-прак. конференції «Надрокористування в Україні. перспективи інвестування» (м. Трускавець, 8-12 жовтня 2018 р.). Т. 1. – С. 261- 265.
81. Порошкова металургія / <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
82. Прогноз влияния хвостохранилища СевГООКа на водные ресурсы, разработка технологического регламента по охране водного бассейна от загрязнения. Отчет о НИР / НовоТЭК-2, 1991. – 68 с.
83. *Пустовалов В.Л.* Петрография осадочных пород. Ч. 1. Госгеолтехиздат. М.-Л. 1940. 476 с.
84. *Рудько Г. І.* Геолого-економічна оцінка окиснених залізистих кварцитів у залізисто-кременистих формаціях докембрію Українського щита / *Г. І. Рудько, О. В. Плотников, С. В. Радованов;*

- Державна служба геології та надр України, Криворізький національний університет. – Чернівці: Букрек, 2012. – 328 с.
85. Рудько Г.І. Регіональні техногенні зміни еколого-геодинамічних умов розробки залізородних родовищ Кривбасу / Г.І. Рудько, Є.О.Яковлев // Мінеральні ресурси України. 2018. № 2. – С. 43-50.
 86. Савосько В.Н. Тяжелые металлы в почвах Кривбасса: монография/ В.Н. Савосько. – Кривой Рог: Дионат- 2016. -288с.
 87. Самородне золото України. Квасниця В. Латиш І. Видавництво "АртЕк". 1996р., 152 с.
 88. Свинко. Й. Травертини (вапнякові туфи) // Тернопільський енциклопедичний словник: у 4 т. / редкол.: Г.Яворський та ін. — Тернопіль: Видавничо-поліграфічний комбінат «Збруч», 2008. — Т. 3 : П — Я. — 708 с. — ISBN 978-966-528-279-2. — С. 463–464.
 89. Сейсмический риск и инженерные решения / Под ред. Ц. Ломница и Э. Розенблюта. – М.: Недра, 1981. – 374 с.
 90. Словник – довідник з екології: навч.-метод. посіб. / уклад. О.Г.Лановенко, О.О. Остапівщина.— Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2013.— 107с.
 91. Справочник по литологии. / Редакторы: Вассоевич Н.Б., Либрович В.Л., Логвиненко Н.В., Марченко В.И./ – Москва: Издание Недра, 1983. – 509 с.
 92. Старостенко В. І. Розвиток сейсмологічної мережі на території України для цілей сейсмічного захисту / В.І. Старостенко, О.В.Кендзера, Ю.В. Лісовський, Ю.В. Семенова // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. – К.: ІГНС, 2011. – Вип. 19. – С. 144–150.
 93. Стеценко А.І. Основні джерела та чинники техногенного впливу на осадові породи центральної частини Кривбасу. / Стеценко А.І., Іванченко В.В. // East European Scientific Journal, 2016, №12, part 1, р. 39-46.
 94. Стеценко А. І. Формування карбонатних відкладів під впливом інфільтрацій з хвостосховища ЦГЗК (Кривий Ріг). / Стеценко А. І., Кошарна С. К., Іванченко В. В. // Екологічна безпека та природокористування. – 2017. – № 3-4 (24). – С. 74-84.
 95. Стеценко, А.І. Особливості мінерального та хімічного складу травертинів природно-техногенного походження у м. Кривий Ріг. / Стеценко, А.І., Іванченко, В.В., Стеценко, В.В. // Мінералогічний збірник ЛНУ ім. Івана Франка, 1(68), 2018. – с. 172-181.
 96. Стрельцов В.О. Геологія покладів рибекітизованих магнетитових кварцитів Криворізького басейну // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за

- спеціальністю 04.00.11 – геологія металевих і неметалевих корисних копалин. – К.: ДНУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України». – 2020. – 24 с.
97. *Трофимов В.Т.* Классификация техногенных воздействий на геологическую среду / *В.Т. Трофимов, В.А. Королёв, А.С. Герасимова* // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокирология. – 1995. – № 5. – С. 96–107.
 98. *Трофимчук А. Н.*, Динамика пористоупругих насыщенных жидкостью сред / *А.Н. Трофимчук, А. М. Гомилко, О. А. Савицкий и др.* / НАН України, Інститут гідромеханіки, Совет національної безпеки и обороны України, Український ін-т дослідвань отружаної отруди. – К.: Наукова думка, 2003. – 230 с.
 99. *Федоров И.С.* Складирование отходов рудообогашения / *И.С. Федоров, М.Н. Захаров.* – Москва: Недра, 1985. – 228 с.
 100. *Федорова И.А.* Гранулометрический состав отходов обогашения СевГОКа Криворожского бассейна / *И.А. Федорова, В.Д. Евтехов* // Мінералогічний вісник. – 2001. – №1 (5). – С. 38-46.
 101. *Шерстюк Н.П.* Особливості гідрохімічних процесів у техногенних та природних водних об'єктах Кривбасу. / *Н.П. Шерстюк В.К. Хільчевський.* – Дніпропетровськ: ТОВ «Акцент ПП». - 2012. – 263 с.
 102. *Шнюков Е. Ф. (отв. ред.)* Экологическая геология Украины: справочное пособие / *Е. Ф. Шнюков, В. М. Шестопалов, Е. А. Яковлев и др.* / АН України, Інститут геологічних наук. – К.: Наукова думка, 1993. – 408 с.
 103. *Шнюков Е.Ф.* Перспективы Южно-Украинской провинции мелкого и тонкодисперсного золота. / *Шнюков Е.Ф., Маслаков Н.А., Кардаш В.Т.* // Природные и техногенные россыпи, месторождения коры выветривания на рубеже тысячелетий. РКВ. — М., 2000. — С. 391—392.
 104. *Яковлев Е.А.* Применение принципов геоэнергетики при прогнозе региональных изменений гидро- и инженерно-геологических условий / *Е.А. Яковлев, Д.Р. Литвак, В.В. Кухар* // Геологический журнал. – 1984. – № 1. – С. 69–75.
 105. *Яковлев Е.А.* О структуре оценки и управления экологическим риском геологической среды / *Е. А. Яковлев* // Геологический журнал. – 1992. – № 3. – С. 11–16.
 106. *Янин Е.П.* Эколого-геохимические аспекты аллювиального осадкообразования в городских агломерациях. / *Янин Е.П.* // Прикладная геохимия.-2001.- № 2.- С. 389-414

107. *Al-Bakri, D., F. Khalaf, and A. Al-Ghadban* (1984) Mineralogy, genesis, and sources of surficial sediments in the Kuwait marine environment, northern Arabian Gulf. // *Journal of Sedimentary Research*, 1984, 54 (4), p.1266–1279
108. *Batterham R.* (2014) Lessons in sustainability from the mining industry / *Robin Batterham* / «SYMPHOS 2013», 2nd International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry // *Procedia Engineering* 83 (2014) 8–15.
109. *Beukes J.* (November 2007) Guidelines for the rehabilitation of mined land / *Johann Beukes, Maryna Muhr-Swart, Phil Tanner.* – Johannesburg: Chamber of mines of South Africa/Coaltech. – 2007. – 41 p. // www.mineralscouncil.org.za
110. *Borschmann G.* (4 May 2017) After the mining, what's next? Overseas mine rehabilitation offers lessons for Australia / *Gregg Borschmann.* – <https://www.abc.net.au/news/2017-05-04/after-the-mining-whats-next-for-the-landscape/8489422>
111. *Chen K.H.* (2018) Research of mining wasteland reclamation and regeneration modes in Shendong Mining Region / *K.H. Chen* // 4th International Conference on Agricultural and Biological Sciences. IOP Publishing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 185 (2018) 012027. – 14 p. – doi :10.1088/1755-1315/185/1/012027
112. *Cojean R.* (2005) The post-mining context at Decazeville-Firmin concession (Aveyron, France): analysis of impacts resulting from the cessation of pumping at the central shaft. Survey of various scenarios related to the water level of the Pit lake in the Grande Decouverte / *Roger Cojean, Nicolas Franco, Jean-Claude Lazarewicz, Agnès Blachere, Dorothée Lefort, et al.* / Symposium Post mining 2005, Nov 2005, Nancy, France. pp.NC, 2005 // <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972519>
113. *Cotula L.* (October 2018) Special economic zones: engines of development or sites of exploitation? / *Lorenzo Cotula and Liliane Mouan* / IIED Briefing / <http://pubs.iied.org/17481IIED>
114. *Fagiewicz K., Mękowski M.* (2018) Ecological and social aspects in the management of post-mining areas. An example of the Adamów lignite basin / *Katarzyna Fagiewicz, Michał Mękowski* // *Civil and environmental engineering reports*, 2018, 28 (3). – P. 50-64. DOI: 10.2478/ceer-2018-0034
115. *Glenn V.* (June 2014) Mined land rehabilitation – is there a gap between regulatory guidance and successful relinquishment? / *Vanessa Glenn, David Doley, Corinne Unger Nic McCaffrey and Phill McKenna,*

- Melina Gillespie, Elizabeth Williams.* – <https://www.researchgate.net/publication/263506865>
116. *Heymann E.* (2013) Europe's re-industrialization. The gulf between aspiration and reality / *Eric Heymann, Stefan Vetter.* – Frankfurt am Main: Deutsche Bank AG, DB Research, 2013. – P.2.
 117. *Humphries R.N.*(June 2015) Does the Concept of Novel Ecosystems Have a Place in Mine Closure & Rehabilitation? / *R.N. Humphries, M. Tibbett* / Conference Paper – June 2015 – <https://www.researchgate.net/publication/280489271>
 118. <https://cgok.metinvestholding.com/ru/about/structure>
 119. <https://dzi.gov.ua/press-centre/press-release/ukrayina-sered-svitovyh-lideriv-po-zapasah-zaliznyh-rud/>.
 120. <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/4107/reports/>.
 121. <http://obrobka.pp.ua/1675-formuvaln-materali-sumsh.html>.
 122. *Ivanchenko, V.V., Belitskaya, M.V., Smirnov, Y.Y., Ilyina, A.S.* (2015) Changes in river sedimentation caused by the influence of the modern tcj-system of Ukraine. // Third Plenary Conference and Field Trip From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary. Astrakhan, Russia. 22-30 September 2015. Proceedengs, p. 91-96.
 123. *Kokko K.* (2015) Sustainable mining, local communities and environmental regulation / *Kai Kokko, Arild Buanes, Timo Koivurova, Vladimir Masloboev, Maria Pettersson* // BARENTS STUDIES: *Peoples, Economies and Politics*. Vol. 2, Issue 1, 2015. – P. 50–81.
 124. *Kretschmann J.* (2017) From Mining to Post-Mining: The Sustainable Development Strategy of the German Hard Coal Mining Industry / *J. Kretschmann, A.B. Efremenkov, A.A. Khoreshok* / Ecology and safety in the technosphere: current problems and solutions. IOP Publishing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **50** (2017) 012024. – P. 9, doi:10.1088/1755-1315/50/1/012024
 125. *Mehta P. S.* (2002) The Indian Mining Sector: Effects on the Environment & FDI Inflows / *Pradeep S. Mehta* // CCNM global forum on international investment. Conference on Foreign Direct Investment and the Environment: Lessons to be learned from the Mining Sector. 7-8 February 2002 *OECD.* – *Paris, France.*
 126. Minerals and Metals Fact Book – 2016 // Natural Resources Canada. – 2016. – 116 p.
 127. Mine rehabilitation: leading practice sustainable development program for the mining industry (September 2016) / Industry.gov.au | dfat.gov.au // www.ag.gov.au/caa

128. Mine Rehabilitation – Case Studies (2018). – <https://minerals.org.au/mine-rehabilitation-case-studies>
129. Mining, Minerals and Sustainable Development (MMSD). Retrieved January 24, 2020, from <https://www.iied.org/mining-minerals-sustainable-development-mmsd>
130. Post-mining rehabilitation (July 2017). – The Environmental Protection Authority (EPA) / <http://www.epa.wa.gov.au/focus/post-mining-rehabilitation>
131. *Sardinha I. Dias* (2010) The REHMINE research project: the threefold value of São Domingos abandoned mine rehabilitation in southern Portugal / *I. Dias Sardinha, J. Carolino, I. Mendes & P. Verga Matos* // WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 141, 2010. – P. 28-38. / WIT Press, ISSN 1743-3541 (on-line) www.witpress.com, doi:10.2495/BF100031
132. *Sklar, L.S., Dietrich, W.E.* (2001). Sediment and rock strength controls on river incision into bedrock. // *Geology*, 29(12), p. 1087-1090
133. *Sklenicka P.* (2004) Non-productive principles of landscape rehabilitation after long-term opencast mining in north-west Bohemia / *P. Sklenicka, I. Prikryl, I. Svoboda and T. Lhota* // The Journal of The South African institute of Mining and Metallurgy. March 2004. – P. 83-88.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

Довгий Станіслав Олексійович
Іванченко Владислав Вікторович
Коржнев Михайло Миколайович
Трофимчук Олександр Миколайович
Яковлев Євген Олександрович
Альохіна Тетяна Миколаївна
Анпілова Євгенія Сергіївна
Беліцька Марина Валеріївна
Ковальчук Любов Миколаївна
Курило Марія Михайлівна
Кошарна Софія Костянтинівна
Стеценко В'ячеслав Валерійович
Стрельцов Віталій Олегович
Берьозкіна Людмила Володимирівна
Зайцева Світлана Тихонівна
Стеценко Альона Ігорівна
Іванченко Андрій Владиславович
Ільченко Тетяна Миколаївна
Шасенко Микола Миколайович

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЙ ПОСТ-МАЙНІНГУ
В УКРАЇНІ НА ПРИКЛАДІ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ
ТА ЙОГО ОТОЧЕННЯ**

Оригінал-макет авторський

Підписано до друку 31.03.2021. Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Умовн. друк. арк. 11,39. Наклад 300 пр. Зам.№ 34.

ТОВ «Видавництво «Ніка-Центр». 03142, Київ, вул. Кржижановського, 4.
т./ф. (044) 39-011-39; e-mail:psyhea9@gmail.com
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК №5368 від 27.06.2017

Віддруковано у ТОВ «Зеніт».
21100, м. Вінниця, вул. 1 Травня, буд.30а.
Свідоцтво №34213919 від 15.08.2005