

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**КУРИЛО МАРІЯ МИХАЙЛІВНА**



УДК 553.31:553.45

**РЕСУРСНІ ОБМЕЖЕННЯ В ОСВОЄННІ РОДОВИЩ ЗАЛІЗНИХ РУД  
В УМОВАХ ПЕРЕХОДУ ДО ЯКІСНОЇ МЕТАЛУРГІЇ І НОВОЇ  
ЕНЕРГЕТИКИ**

Спеціальність 04.00.19 – Економічна геологія

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора геологічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі геології родовищ корисних копалин ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка МОН України.

**Науковий консультант:** доктор геолого-мінералогічних наук, доктор географічних наук, доктор технічних наук, професор  
**Рудько Георгій Ілліч**  
Державна комісія України по запасах корисних копалин, голова

**Офіційні опоненти:** академік НАН України, доктор геологічних наук, професор  
**ПОНОМАРЕНКО Олександр Миколайович**, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, директор

доктор геолого-мінералогічних наук, професор **ГУЛІЙ Василь Миколайович**

доктор геологічних наук, професор **РУЗІНА Марина Вікторівна**, НТУ "Дніпровська політехніка", професор кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин

Захист відбудеться «20» вересня 2021 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.001.32 при Київському національному університеті імені Тараса Шевченка за адресою: 03022, м. Київ, вул. Васильківська, 90, к.104.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці ім. М.О. Максимовича Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 58, зал №12.

Автореферат розісланий «13» серпня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
доктор геологічних наук



О.В. Дубина

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Залізорудна галузь України є однією із базових складових вітчизняної економіки, яка забезпечує істотну частку експортних поставок та валютних надходжень. Актуальність роботи зумовлена зовнішніми та внутрішніми факторами, які впливають на ефективність розробки родовищ залізистих кварцитів та багатих залізних руд України. Зовнішніми факторами є:

- розвиток нових металургійних технологій, зокрема, прямого відновлення заліза, які встановлюють інші вимоги до якості вихідної руди та концентратів;
- інтенсифікація попиту пов'язана з переходом до відновної енергетики, зокрема при виробництві акумуляторів, виробництві електромобілів та ін.;
- виснаження якісних світових запасів і порушення безпечних ланцюгів постачання залізорудної сировини спричинили історичні максимуми цін на залізну руду в 2020-2021 рр.

Результатом зростання попиту і ліквідності заліза є збільшення фактичних і прогнозних обсягів споживання при переході до відновної енергетики та нової металургії.

Внутрішніми факторами розвитку залізорудного комплексу є сучасний стан балансових запасів, кількість яких скорочується, а якість не стає кращою. За кількістю промислових запасів Україна тривалий період належить до десяти найбільших країн світу, але за якістю руди вітчизняних родовищ знаходяться на рівні нижче середнього серед країн - основних виробників залізорудної сировини. Це зумовлено залученням значної частки бідних руд – залізистих кварцитів, які потребують збагачення.

Аналіз якості товарної продукції вітчизняних залізорудних підприємств показав, що більшість вітчизняних підприємств виготовляють концентрат з вмістом 65-68% заліза, залізорудні обкотиші із вмістом 60-65% заліза. Товарна залізна руда випускається із вмістом 55-64% заліза. Такі якісні характеристики продукції відповідають вимогам до якості вихідної сировини для виробництва чавуну. Нові технології виробництва гарячого брикетованого заліза НВІ та прямого відновлення заліза DRІ потребують якості 66-70% та 65,5 - 69% заліза у вихідній сировині. Таким чином, головним ускладненням для ефективного відпрацювання вітчизняних залізорудних родовищ є проблеми якості сировини.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі геології родовищ корисних копалин ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка в рамках бюджетних науково-дослідних тем «Розробка моделей різномасштабних геологічних систем на базі новітніх технологій як теоретичної основи забезпечення приросту запасів корисних копалин та їх раціонального використання» (державний реєстраційний номер №0106U005854), «Розробка наукових засад геолого-економічної оцінки стану та перспектив розвитку мінерально-сировинної бази України» (№0111U006374), а також в рамках науково-технічних проектів Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, зокрема, «Обґрунтування геолого-економічних та еколого-геологічних параметрів безпечного розвитку

гірничодобувних районів України (на прикладі Донбасу та Кривбасу)» за номерами державної реєстрації РК № 0116U006547 і РК № 0117U007138 в рамках програми НАН України «Мінерально-сировинна база України як основа безпеки держави».

Проведені дослідження відповідають завданням Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази (МСБ) України в період до 2030 року в частині перспектив вивчення і освоєння родовищ залізних руд.

**Мета дослідження.** Метою роботи є розробка та обґрунтування основних напрямів розвитку вітчизняної залізорудної сировинної бази, зокрема для запасів залістистих кварцитів і багатих залізних руд, та визначення граничних геолого-промислових параметрів рентабельної розробки цих родовищ.

Для досягнення мети поставлено *наступні завдання*:

- Визначення індексів доступності запасів залізних руд на основі прогнозів споживання сировини у нових технологічних процесах.
- Оцінка якості промислових запасів залізних руд відповідно до вимог нових технологічних процесів.
- Обґрунтування подальших напрямів промислового освоєння залізорудних родовищ, які експлуатуються, які забезпечують покращення якості залізорудної сировини.
- Створення геолого-промислових моделей залізорудних родовищ із використанням найбільш оптимальних кондицій на мінеральну сировину.
- Підрахунок та вартісна оцінка промислових запасів вітчизняних залізорудних родовищ.
- Аналіз чутливості мінімального промислового вмісту заліза від вихідних параметрів оцінки.
- Визначення граничних умов рентабельної розробки вітчизняних залізорудних родовищ.

**Об'єктом дослідження** були промислові запаси вітчизняних залізорудних родовищ, які розробляються, в межах проектних контурів кар'єрів та шахтних полів. Основні об'єкти дослідження належать до груп розвіданих та попередньорозвіданих запасів із класифікаційними кодами 111, 121, 122. Додатковими об'єктами були попередньо розвідані родовища із не встановленим промисловим значенням, а також запаси супутніх корисних копалин вітчизняних залізорудних родовищ. Зокрема, як об'єкти в даному дослідженні розглядались окремо запаси родовищ, які розробляються відкритим способом, такі як Горишне-Плавнинське, Лавриківське, Єристівське, Новокриворізьке, Валявкінське, Артемівське, Петрівське, Велика Глеюватка, Інгулецьке, Скелеватське Магнетитове, Ганнівське, Першотравневе. До переліку родовищ багатих залізних руд, що розробляються підземним способом, були включені запаси поля шахти Гвардійська, Тернівська, Октябрська, Родіна, рудника ім. Фрунзе, та шахти Ювілейна, а також Переверзівського та Південно-Білозерського родовищ. Окремо розглядались запаси магнетитових кварцитів, які розробляються, або можуть розроблятися підземним способом – поля шахти Орджонікідзе та шахти Першотравневої. Всього до вибірки було включено 28

об'єктів, які переважно розташовані в межах Криворізько-Кременчуцької зони, зокрема – Криворізького, Правобережного та Кременчуцького рудних районів.

**Предмет дослідження** - геолого-промислові параметри оцінки залізорудних родовищ, які забезпечують рентабельне і ефективне відпрацювання. Цей перелік критеріїв включав геологічні, гірничотехнічні, технологічні, економічні, екологічні та інші чинники, які впливають на вартість запасів та рентабельність промислової розробки залізорудних родовищ.

**Методи досліджень.** Для виконання поставлених завдань було використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження, а також інструментів геолого-економічної оцінки: систематизація і класифікація запасів і ресурсів, статистичні методи (описова статистика, кореляційний, факторний аналіз), індексні методи, моделювання родовищ та методи підрахунку запасів залізорудних родовищ (методи вертикальних геологічних розрізів і погоризонтних планів, геостатистичні методи), методи рентної і нормативної вартісної оцінки залізорудних родовищ, методи оцінки ризиків, зокрема, аналіз чутливості параметрів якості, кількості та вартості запасів.

При виконанні досліджень даної роботи було використано наступне програмне забезпечення:

- статистична обробка матеріалів і візуалізація даних - SPSS Statistics, Tableau Software;
- моделювання залізорудних родовищ - GEMS, Micromine, Leapfrog Geo;
- проектування геологорозвідувальних робіт та оцінка промислових залізорудних об'єктів – АВК-5, АС-ПИР.

Дослідження проведені в рамках концепції виснаження надр і мінеральних ресурсів, які започатковані у роботах Харольда Хотелінга і були розвинуті для вітчизняної сфери використання надр академіком Шестопаловим В.М., д.геол.н. Яковлевим Є.О. та професором Коржневим М.М.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у визначенні граничних геолого-промислових параметрів рентабельної розробки залізорудних родовищ України та встановленні взаємозв'язків між цими параметрами.

- *Вперше* розраховано індекси доступності промислових запасів залізних руд та інших базових металів в умовах переходу до якісної металургії і відновної енергетики. Складові розрахунків враховують динаміку видобутку і попиту на метал, терміни забезпеченості промисловими запасами, концентрацію запасів і виробництва залізорудної сировини, екологічні показники.
- *Вперше* визначено граничні геолого-промислові параметри рентабельної розробки залізорудних родовищ та встановлено залежності між вихідними характеристиками запасів та мінімальним промисловим вмістом заліза в руді.
- *Вдосконалено* складові рентної оцінки залізорудних родовищ і запропоновано нові показники рентної оцінки  $C_{\text{рент}}$ , які визначаються як різницеві (відносні) показники між фактичним вмістом заліза магнітного  $Fe_{\text{магн.}}$  та мінімальним промисловим вмістом  $Fe_{\text{магн.}}$  індивідуально по

родовищам.

- *Розширено* використання існуючих кондицій якості залізорудних родовищ для оперативної оцінки з врахуванням вимог нових технологій якісної металургії.

Наукові і практичні результати проведеного дослідження частково стали частиною наукового доробку колективу авторів циклу наукових праць «Використання природних ресурсів України в умовах екологічних обмежень», що були відзначені Державною премією України в галузі науки і техніки за 2013р.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати наукового дослідження мають велике практичне значення і використовуються при нормативній і інвестиційній геолого-економічній оцінці залізорудних родовищ України. Систематизовано основні геолого-промислові параметри освоєння залізорудних родовищ та визначено їх відповідність сучасним технологічним процесам. Головні практичні результати наукового дослідження полягають у наступному:

- Створено геолого-промислові та економічні моделі промислових запасів вітчизняних залізорудних родовищ.
- Розраховано індекси доступності заліза та інших базових металів із врахуванням ризиків видобутку і постачання сировини.
- Встановлено інтервали граничних значень якості, собівартості виробництва залізорудної сировини та ціни її реалізації для рентабельного відпрацювання залізорудних родовищ.
- За результатами створення геолого-промислових та економічних моделей залізорудних родовищ проведено оцінку ризиків подальшого освоєння цих об'єктів.

Теоретичні та практичні положення дисертаційної роботи було використано в науковій і викладацькій діяльності кафедри геології родовищ корисних копалин ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, виробничій діяльності виробничих установ геологічної галузі, зокрема, ТОВ «Відділення економіки Академії гірничих наук України», ТОВ «Геологічна сервісна група», що підтверджується відповідними актами про впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Проведені наукові дослідження самостійно виконувались автором згідно із поставленими завданнями і обраними методами протягом 2008–2021 років. Дисертантом обрано і систематизовано об'єкти дослідження – запаси і родовища залізних руд України – відповідно до поставленої мети. Методика досліджень обиралась і вдосконалювалась в залежності від геолого-промислових особливостей родовищ особисто автором. Дисертант особисто брала участь у польових і камеральних дослідженнях залізорудних об'єктів Кривбасу, зборі первинної геологічної інформації, створенні геологічних і геолого-промислових моделей родовищ у складі колективу Академії гірничих наук України протягом 2008-2020 років.

Автором самостійно розроблено методику визначення індексів доступності заліза та інших базових металів з врахуванням періодів забезпеченості промисловими запасами, темпів споживання металів, ризиків їх видобутку і постачання до споживачів та екологічних факторів.

Дисертантом самостійно проводився збір, систематизація та аналіз вихідних даних, первинної та узагальненої геологічної інформації, проведена статистична обробка матеріалів, сформульовано основні наукові положення і висновки дослідження.

Особистий внесок автора є у безпосередньому виконанні всіх практичних задач, обґрунтуванні результатів дослідження та висновків, які стосуються всіх складових роботи.

Аналіз та обговорення проміжних та фінальних результатів дослідження проведено спільно з науковим консультантом, доктором д. геол. н., д.т.н., д.г.н., проф. Рудько Г.І. та керівником відділення геології Академії гірничих наук України д. геол. н., проф. Плотніковим О.В.

Дисертант висловлює вдячність колегам з ННІ «Інститут геології» та Державної комісії України по запасах корисних копалин за допомогу в виконанні робіт, участь яких відмічена в спільних публікаціях. Окремо автор висловлює подяку директору ННІ «Інститут геології», д. геол. н., проф. Вижві С.А., завідувачу кафедри геології родовищ корисних копалин, д. геол. н., проф. Михайлову В.А. та канд. геол. н., доц. кафедри геоінформатики Віршилу І.В. за конструктивні зауваження та поради щодо застосування сучасних підходів при моделюванні родовищ корисних копалин.

Внесок автора в наукові праці, опубліковані у співавторстві, визначено в списку публікацій.

**Апробація результатів дослідження.** Результати наукових досліджень, основні положення, висновки та практичні рекомендації, які включені до дисертації, було представлено на міжнародних і вітчизняних наукових конференціях та семінарах: Наукової міжнародна конференція «Наукові засади геолого-економічної оцінки мінерально-сировинної бази України та світу», 18–22 квітня 2011 р., Київ; VII та VIII Міжнародні науково-практичні конференції «Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів», листопад 2010, листопад 2012 р. м. Кривий Ріг; International Youth Science Environmental Forum “EcoBaltica-2013”, 6-7 December St.-Petersburg. 2013; V Уральский горнопромышленный форум. I научно-практическая конференция с международным участием Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений», 1-3 жовтня 2013г. Єкатеринбург; Міжнародна наукова конференція «Роль вищих навчальних закладів у розвитку геології» (до 70-річчя геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка), 31 березня – 3 квітня 2014 р., Київ, Україна; XI Всеукраїнська науково-практична конференція "Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців, 26-28 березня 2015 р., м. Кривий Ріг; 14th SGEM International

Multidisciplinary Scientific GeoConference on Science and Technologies, June 19-25, 2014, Albena, Bulgaria; 15th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConferences on Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining, June 16-25, 2015, Albena, Bulgaria; 16th SGEM 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference , 30 June-6 July 2016, Albena, Bulgaria; 17th SGEM International Multidisciplinary Scientific Geoconference 27 June - 6 July, 2017, Albena, Bulgaria, 18th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference on Earth and Geosciences 30 June - 9 July, 2018, Albena, Bulgaria, 19<sup>th</sup> SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference on Earth and Geosciences 28 June - 7 July, 2019, Albena, Bulgaria; 20<sup>th</sup> SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference 16 - 25 August 2020, Albena, Bulgaria; I-VI Міжнародна науково-практичної конференція «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування», (м. Трускавець, жовтень 2014, жовтень 2015, жовтень 2016, листопад 2017, жовтень 2018, жовтень 2019 рр.); II міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференція «Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства» 19–20 березня. 2015 р. Тернопіль; 14<sup>th</sup> EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 11-14 May 2015, Kyiv, Ukraine; 15<sup>th</sup> EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects 10-13 May 2016, Kyiv, Ukraine; 16<sup>th</sup> EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects 15-17 May 2017, Kyiv, Ukraine; 17<sup>th</sup> EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects 14-17 May 2018, Kyiv, Ukraine; 18<sup>th</sup> EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects 14-16 May 2019, Kyiv, Ukraine; 19<sup>th</sup> EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, 11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine; XIV International Scientific Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment 10–13 November 2020, Kyiv, Ukraine.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 71 наукову працю, серед яких 23 публікації у виданнях, які обліковуються наукометричними базами Scopus та Web of Science. Перелік публікацій включає 18 статей у фахових періодичних виданнях, затверджених переліком МОН України, 6 статей у міжнародних журналах або наукових фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних, 10 монографій, 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав із напрямку, з якого підготовлено дисертацію; 31 публікацію матеріалів і тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях, 4 публікації в інших виданнях.

**Структура та об'єм роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, огляду літератури, матеріалів і методів досліджень, опису результатів власних досліджень з їх обговоренням, розділу з узагальнення отриманих результатів, висновків, списку використаних літературних джерел (368 посилань) та додатків. Дисертаційна робота викладена на 388 сторінках, ілюстрована 78 рисунками та містить 41 таблицю.



## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету та основні завдання досліджень, вказано наукову новизну отриманих результатів, їх практичну цінність та особистий внесок здобувача, наведено дані апробації основних положень дисертаційної роботи.

**Перший розділ «Огляд та аналіз раніше проведених досліджень»** розділено на окремі складові, які висвітлюють завдання та результати попередніх досліджень, які стосуються об'єкту та предмету дослідження.

Об'єкти вітчизняної залізорудної бази, розташовані в межах Криворізько-Кременчуцької зони та Білозерського району характеризуються значним ступенем геологічного і техніко-економічного вивчення, що зумовлено тривалою історією вивчення та промислового освоєння залізорудних родовищ. Основні опубліковані роботи і звіти, які стосуються пошукових і розвідувальних робіт на цій території датуються 1950-1990 роками. Геологічна інформація про основні об'єкти дослідження, які розташовані в межах Криворізько-Кременчуцької зони, а також Білозерського залізорудного району накопичувались у вигляді фондів матеріалів та опублікованих праць протягом багатьох останніх століть і десятиріч. Протягом цього часу вивчалися і були уточнені геологія, стратиграфія, тектоніка і геологія родовищ даного регіону. Найбільший внесок в дослідження геології родовищ Кривбасу зробили Я.М. Белевцев, Р.Я. Белевцев, І.М. Бордунов, Ю.Г. Гершойг, В.Д. Євтехов, Ю.М. Єпатко, І.М. Малахов, М.М. Коржнев, І.С. Паранько, Б.І. Пирогов, О.В. Плотніков, М.І. Черновський, М.П. Щербак, М.О. Ярощук та багато інших вітчизняних геологів.

В теперішній час для родовищ, що є об'єктами даної дисертаційної роботи, проводяться роботи з дорозвідки і експлуатаційної розвідки, що забезпечує максимальну достовірність вихідної геологічної інформації для наступних технологічних і техніко-економічних розрахунків. Останні роботи геологів, які досліджують Криворізький басейн мають комплексний міждисциплінарний характер і спрямовані на моделювання всіх можливих форм техногенезу, які мають місце при тривалому інтенсивному використанні надр. Найбільшого масштабу висвітлення в публікаціях набули питання комплексного освоєння в наступних аспектах: 1) спільної розробки супутніх і спільнозалягаючих корисних копалин і компонентів, разом з основними – залізними рудами (І.С. Паранько, В.Д. Євтехов; О.В. Криворучкіна; С.О. Довгий, В.В. Іванченко, М.М. Коржнев; 2) перспективи рентабельного освоєння окислених залізистих кварцитів (В.Д. Євтехов); 3) залучення до промислового освоєння техногенних родовищ, які утворені при складування відвалів, некондиційних чи позабалансових руд і відходів (Т.П. Нестеренко, В.В. Іванченко, С.О. Довгий, М.М. Коржнев); 4) збільшення ступеня переробки відходів гірничо-металургійного комплексу, що зменшує кількісне і якісне техногенне навантаження на території регіону (В.В. Іванченко, С.М. Тиришкіна; В.Г. Губіна, Б.О. Горлицький; С.О. Довгий, М.М. Коржнев).

В більшості випадків в роботах найбільша увага приділена авторами геологічним, технологічним і екологічним аспектам подальшого освоєння сировинної бази Кривбасу в рамках концепції сталого розвитку (М.М. Коржнев; І.М. Малахов). В даній дисертаційній роботі до врахування залучається також і економічний ефект, що забезпечує вибір оптимальних і найбільш реалістичних напрямів подальшого освоєння залізородних родовищ.

Окремо висвітлено проблеми доступності і виснаження мінеральних ресурсів. Моделювання процесів виснаження родовищ корисних копалин детально почали розглядатись з першої половини ХХ століття в роботах Х.Хотелінга (Hotelling Н. (1931)). Окремі дослідження присвячувались природному виснаженню мінеральних ресурсів, окремі – економіці вичерпних ресурсів та моделюванню зовнішніх факторів виснаження (економічних, технологічних, політичних тощо). У сучасному розумінні доступність - це питання відносного, а не абсолютного дефіциту ресурсів. Обмеження у доступі до корисних копалин реалізується при поєднанні кількох факторів у часі і просторі, найбільш реальними з яких є наступні (Hanley, N.; Shogren, J.F., White B.; Cleveland C.J., Stern D.I. ; Chari, V. V., Lawrence J. C.): 1) регіональний поділ виробництва та споживання металів; 2) монополізація джерел сировини та виробництва; 3) зростання попиту зі змінами в технологіях; 4) використання ресурсу як геополітичного інструменту.

Для об'єктів вітчизняної мінерально-сировинної бази проблеми виснаження розглядаються недостатньо і переважно обмежені підтвердженням наявності самого процесу, що проявляється у погіршенні якості корисних копалин, ускладненні гірничо-геологічних умов експлуатації, техногенних змінах геологічного середовища. В роботах (Довгий С.О., Шестопалов В.М., Коржнев М.М. (2007), Коржнев М.М. (2005)) авторами сформульовані етапи освоєння надр та характерні зміни економічних та екологічних показників стану мінерально-сировинної бази.

Відповідно до ступеня виснаження, доступності, ризиків видобування та постачання окремих корисних копалин в розвинутих країнах формують переліки критичних та стратегічних видів корисних копалин. В Україні своєї затвердженої методики визначення переліку стратегічних видів корисних копалин, як в державному, так і в регіональному масштабі не існує, хоча сам перелік корисних копалин загальнодержавного значення, критичної мінеральної сировини деколи з'являється в проектах нормативних документів. В роботі запропоновані нові методики оцінки доступності металів та ризиків їх постачання, а також актуалізовано і розширено використання існуючих інструментів геолого-економічної та вартісної оцінки залізородних родовищ.

**Другий розділ «Значення заліза та базових металів для розвитку високотехнологічних напрямів економіки та енергетики».** В сучасний період відбувається процес декарбонізації економіки та перехід більшості розвинутих країн світу до використання безпечних, чистих, в більшості випадків відновних, енергетичних джерел. Цей процес надзвичайно збільшує попит на базові метали та рідкісноземельні елементи, оскільки саме із ними пов'язане зростання

виробництва акумуляторів, а також обладнання для більшості установок для генерації енергії із відновних джерел.

Обмежений доступ до ресурсів, суттєве розширення сфер їх можливого використання та геополітичні ризики їх постачання обумовлюють прагнення виробників мати власну ресурсну базу. Враховуючи, що ця первинна ланка вже визначає виробничі ризики, в майбутньому власна ресурсна база розглядається найбільш дефіцитною та стратегічною складовою виробництва енергії.

Існуючі методології оцінки вичерпання ресурсів базуються на кількісних порівняння запасів корисних копалин та існуючих темпів їх видобутку. Дуже часто, існуючі моделі виснаження ресурсів не враховують політичні, організаційні та інші ризики доступності. Визначення важливих мінералів найчастіше передбачає використання показників інтенсивності у вітчизняному виробництві, наявність власних ресурсів і показник залежності від імпорту. Такі підходи враховують лише минулу або поточну ситуацію, і не припускають майбутнє зростання споживання корисних копалин та стратегії пом'якшення можливих шкідливих впливів. Наведені в даній роботі розрахунки, стосуються не лише поточного, а й майбутнього стану споживання металу.

В розділі запропонована нова методика визначення індексів доступності металів, в т.ч. заліза, з врахуванням вимог нових технологій і зростаючого попиту у енергетиці. За результатами масштабних досліджень Світового банку, залізо разом із іншими базовими металами включені до переліку критичних корисних копалин, необхідних для реалізації переходу на зелену енергетику. До аналізу були залучені дані щодо 10 головних технологій - вітрової, сонячної фотоелектрики, концентрованої сонячної енергетики, гідроенергії, геотермальної енергетики, накопичення енергії, атомної енергії, вугілля, газу, уловлювання та зберігання вуглецю. Окрім заліза, в дослідження були включені алюміній, хром, кобальт, мідь, графіт, індій, залізо, свинець, літій, марганець, молібден, неодим, нікель, срібло, титан, ванадій та цинк. Вплив різних металів є нерівнозначним. Деякі метали мають вирішальне значення, але лише для однієї технології (графіт у акумуляторах та неодим у вітрогенераторах), але мідь і залізо, які використовуються для всіх перерахованих технологій та галузей, є найважливішими елементами для реалізації низьковуглецевого майбутнього.

Моделювання доступності металів проведено на основі наступних характеристик: 1) абсолютна кількість металів, що використовується в поточному періоді для енергетики; 2) прогнозований річний попит на енергетичні технології до 2050 року у відсотках від поточної норми; 3) кількість технологій, де є потреба в окремому металі; 4) сукупні викиди CO<sub>2</sub>, які пов'язані з виробництвом металу; 5) період забезпеченості промисловими запасами; 6) кількість країн, які виробляють понад 1% світового обсягу металу; 7) країни з максимальною річною продуктивністю виробництва металу. Проведено ранжування металів за вказаними характеристиками, а також визначався індекс доступності кожного мінералу. Разом було класифіковано 17 металів, які мають вирішальне значення у переході до зеленої енергії з 10 основними наявними технологіями.

Моделі оцінки доступності металів базується на динамічному балансі «попит-пропозиція», який передбачає різні інструменти балансування – не тільки збільшення постачання (пошуків, розвідки та видобутку), але і його диверсифікацію, пошук альтернативних технологій (заміна окремих металів іншими металами або матеріалами), вторинну переробку, враховує екологічні аспекти, пов'язані з видобутком та політичні ризики.

Базовий сценарій базується на гіпотезі статистично незалежних факторів оцінки доступності металу в категоріях імовірності «шансів успіху», аналогічно до підходів у нафтовій геології. У додатковому сценарії розроблено компромісний підхід між керованим даними та експертними оцінками. Вплив різних індексів було згруповано за типами ризику - ризик пропозиції, ризик попиту та ризик геополітики. Для оцінки інтегральної імовірності успіху такої системи попит-пропозиція, була використана модель нечіткої логіки.

Таблиця 1- Загальний індекс доступності металів

Корисна копалина	Індекс доступності							Загальний індекс доступності
	1	2	3	4	5	6	7	
Алюміній	0.63	0.99	0.72	0.89	0.83	1.00	0.64	<b>0.21</b>
Хром	0.98	1.00	0.61	1.00	0.52	0.67	0.84	<b>0.17</b>
Кобальт	0.96	0.53	0.83	0.99	0.50	1.00	0.50	<b>0.11</b>
Мідь	0.91	0.99	0.50	0.99	0.66	1.00	0.95	<b>0.28</b>
Графіт	0.70	0.50	1.00	0.95	0.69	1.00	0.56	<b>0.13</b>
Індій	1.00	0.77	0.94	1.00	1.00	0.83	0.89	<b>0.54</b>
Залізо	0.50	1.00	0.94	0.50	0.80	1.00	0.83	<b>0.16</b>
Свинець	0.95	0.98	0.78	1.00	0.54	1.00	0.74	<b>0.29</b>
Літій	0.97	0.51	1.00	1.00	0.64	0.67	0.66	<b>0.14</b>
Марганець	0.95	1.00	0.67	1.00	0.66	1.00	0.94	<b>0.39</b>
Молібден	1.00	0.99	0.61	1.00	0.74	0.92	0.77	<b>0.31</b>
Неодим	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.67	0.53	<b>0.34</b>
Нікель	0.85	0.90	0.56	0.97	0.54	0.92	0.93	<b>0.19</b>
Срібло	1.00	0.94	0.89	0.99	0.52	1.00	1.00	<b>0.43</b>
Титан	1.00	1.00	0.72	1.00	1.00	1.00	0.96	<b>0.69</b>
Ванадій	0.99	0.81	0.89	0.99	0.98	0.50	0.66	<b>0.23</b>
Цинк	1.00	1.00	0.78	0.99	0.55	1.00	0.89	0.38

За результатами визначень індексів доступності металів залізо має значення сукупного індексу доступності ІА 0.16, що є нижче середнього рівня і свідчить про значні ризики безпечних постачань сировини. Значення складових сукупного індексу, які спричиняють такий рівень є наступними: ІА1 (індексування за абсолютним річним обсягом металу, що споживатиме енергетика у 2050 р.) -0.5, ІА2 (індексування за зростанням попиту 2050 р. на

метал енергетичних технологій у відсотках до поточного рівня) – 1.0, ІА 3 (індексування за кількістю технологій відновної енергетики, де використовують метал) – 0.94, ІА4 (індексування за рівнем кумулятивних викидів CO<sub>2</sub>, які пов'язані з виробництвом металу) – 0.5, ІА 5 (індексування за терміном забезпеченості промисловими запасами металу) – 0.8, ІА 6 (індексування за кількістю країн, які виробляли більше 1% світового виробництва металу) – 1.0, ІА7 (індексування за кількістю країн з максимальної річною часткою світового виробництва металу) – 0.83, ІА8 (розповсюдженість металу в земній корі) – 0.98, ІА 9 (рівень вторинної переробки металу) - 1, ІА 10 (наявність заміників металу) – 0.75.

Для оцінки запропонованого індексу було використано такий двоступеневий підхід: 1) ранжування корисних копалин за найбільш значущими факторами та визначення індексу доступності окремих металів за кожним із індексів; 2) моделювання інтегрального індексу доступності за різними сценаріями в системі «попит-постачання». Сценарій 1 є більш консервативним і реалізує статистичну модель, керовану даними, за допомогою найнижчого рівня ймовірності успіху. Сценарій 2 представляє більш гнучку комбінацію підходів. Основна ідея оцінки за допомогою нечіткої логіки - показати низку потенційних змін у балансі між попитом та пропозицією. Існує багато факторів, які можуть суттєво змінити глобальний баланс: не лише поточна глобальна пандемія COVID-19, але і зростання попиту на енергію за рахунок прихованого видобутку криптовалют (включаючи високий попит за високоякісними електронними чіпами), політичні коливання у питанні клімату Землі, інші типи енергії на регіональному рівні тощо. Окремо слід зазначити наявність альтернативи у вигляді ядерної енергетики. Це лише одна галузь, де існують високі можливості розвитку науково-технічного прогресу (наприклад, малі ядерні (уранові чи торієві) реактори, натрієві реактори тощо), при чому це можливо і реалістично у прогнозованій короткостроковий період. Це може змінити розвиток технологій і відповідно гірничу галузь у всьому світі. Варто зауважити, що хром і нікель мають найнижчі показники індексів через участь у великій кількості технологій у поєднанні з відносно ризикованою пропозицією. Мідь, молібден та марганець можуть компенсувати високі ризики попиту достатнім виробництвом. Зміни в балансі попиту та постачання з будь-якої причини, впливатиме на різні метали по-різному. Найбільш нестабільна група відповідно до цієї оцінки складається із кобальту, літію, РЗЕ, заліза та ванадію.

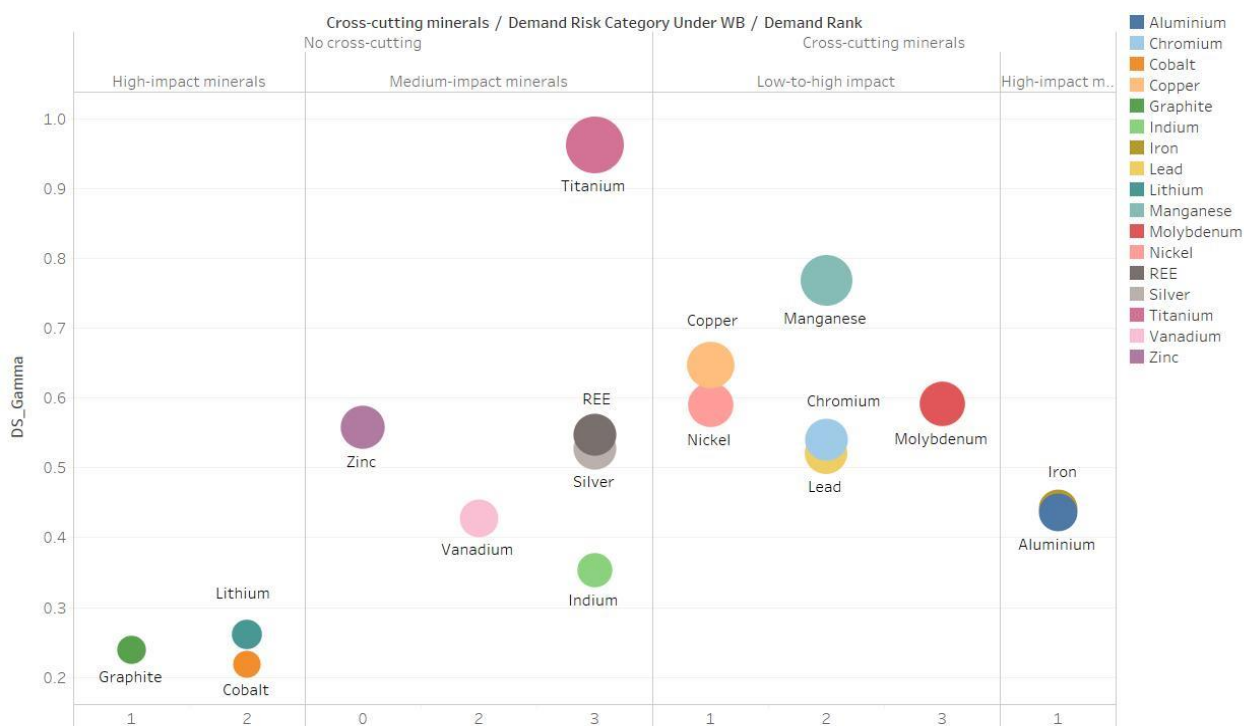


Рис. 1. Результати порівняння 10-факторної моделі для сценарію 2 з даними Світового Банку.

**Третій розділ «Сучасний стан і передумови розвитку вітчизняної залізорудної бази».** При оцінці якості і кількості запасів родовищ залізістих кварцитів та багатих залізних руд традиційно орієнтувались на потреби чорної металургії, де в сучасний період відбувається інтенсивний розвиток нових безкоксових технологій. Залучення нових металургійних технологій, зокрема, прямого відновлення заліза, встановлюють інші вимоги до якості вихідної руди та концентратів ніж існували раніше, зокрема це стосується вмісту заліза та шкідливих домішок у руді чи концентраті. Виснаження якісних світових запасів і порушення безпечних ланцюгів постачання залізорудної сировини спричинили історичні максимуми цін на залізну руду в 2020-2021 рр. Результатом зростання попиту і ліквідності заліза є збільшення фактичних і прогнозних обсягів споживання при переході до відновної енергетики та нової металургії.

Внутрішніми факторами розвитку залізорудного комплексу є сучасний стан балансових запасів, кількість яких скорочується, а якість не стає кращою. За кількістю промислових запасів Україна тривалий період належить до десяти найбільших країн світу, але за якістю руди вітчизняних родовищ знаходяться на рівні нижче середнього серед країн-основних виробників залізорудної сировини. Це зумовлено залученням значної частки бідних руд – залізістих кварцитів, які потребують збагачення.

Аналіз якості товарної продукції вітчизняних залізорудних підприємств показав, що більшість вітчизняних підприємств виготовляють концентрат з вмістом заліза 65-68% заліза, залізорудні обкотиші із вмістом 60-65%. Товарна залізна руда випускається із вмістом 55-64%. Такі якісні характеристики продукції відповідають вимогам до якості вихідної сировини для виробництва чавуну. Нові технології виробництва гарячого брикетованого заліза та прямого відновлення заліза потребують якості 66-70 % та 65,5 – 69,0% заліза у вихідній

сировині. Таким чином, головним ускладненням для ефективного відпрацювання вітчизняних залізородних родовищ є проблеми якості сировини.

**Четвертий розділ «Геолого-економічна оцінка вітчизняних залізородних родовищ».** В розділі систематизовані результати геолого-економічної оцінки залізородних родовищ, яка виконувалась в період 2008-2020 років. Для кожного родовища оцінка визначалась і уточнювалася морфометрія рудних покладів у проектних контурах кар'єрів та шахтних полів, обґрунтовані сучасні параметри кондицій для підрахунку запасів, проведено підрахунок балансових запасів та вартісна оцінка промислових запасів вітчизняних залізородних родовищ. Для кожного родовища оцінка виконувалась наступними етапами:

- Створення геолого-промислових моделей залізородних родовищ із використанням найбільш оптимальних кондицій на мінеральну сировину.
- Підрахунок балансових запасів в проектних контурах кар'єрів та шахтних полів
- Вартісна оцінка промислових запасів вітчизняних залізородних родовищ.

За результатами цих ГЕО, в яких автор брала безпосередню участь, виконано розрахунок мінімального промислового вмісту заліза як основного комплексного параметра кондицій на мінеральну сировину.

Вітчизняні родовища залізистих кварцитів розробляються в проектних контурах 500-700 м із середнім вмістом заліза пов'язаного з магнетитом 21-29%, в середньому 25-56%. Проектна продуктивність по видобутку руди залежить від величини запасів і гірничо-технічних умов експлуатації і по окремим родовищам складає від 3 до 15 млн т/рік. Всі родовища експлуатуються із достатніми показниками рентабельності, що зумовлено комплексом індивідуальних факторів для кожного об'єкта. Найбільші значення собівартості мають Петрівське та Артемівське родовища, а також об'єкти підземного видобутку залізистих кварцитів. Середні значення собівартості мають Горишне-Плавнинське, Лавриківське, Першотравневе, Ганнівське, Скелеватське Магнетитове родовища та Велика Глеюватка. Об'єкти, для яких зафіксовані високі показники собівартості, мають найбільший ризик втрати промислового значення частини балансових запасів, що може спричинити необхідність їх реструктуризації і коригування проектних рішень.

Для всіх родовищ багатих залізних руд фіксується достатня рентабельність відпрацювання за співставленням мінімального промислового і фактичного вмісту заліза. Ризик втрати промислового значення навіть частиною запасів є незначний. Це підтверджує обґрунтованість обраних параметрів кондицій на мінеральну сировину для підрахунку запасів.

Для родовищ багатих залізних руд перспективи розширення сировинної бази пов'язані з залученням до експлуатації магнетитових кварцитів. Основними причинами ефективності видобутку корисних копалин є: підвищення якості зумовлене збільшенням гранулометричного складу магнетиту, простими та



складними геологічними структурами, достатнім обсягом запасів, наявністю інфраструктури (шахти, видобуток, робочі рівні) тощо. Навіть незначні втрати якості руди або негативні коливання цін на сировинні товари призводять до збитковості їх розвитку.

**П'ятий розділ «Аналіз механізмів підвищення якості вітчизняної залізорудної сировини та вибір оптимального варіанту».** Відповідність вітчизняних запасів залізних руд вимогам нових технологічних процесів в першу чергу стосуються якості залізорудної сировини. Це питання може бути вирішено переглядом технології переробки вихідної руди або покращенням якості самих експлуатаційних запасів. В даному розділі визначені пріоритетні напрями подальшого розвитку МСБ. Для родовищ *залістистих кварцитів* розглянуті 1) оптимізація схем збагачення неокислених руд, 2) покращення якості вихідної руди за рахунок оптимізації кондицій для оконтурення балансових запасів, 3) відновлення законсервованих об'єктів підземного видобутку магнетитових кварцитів, які мають кращі вмісти і чистоту магнетиту. Варіант освоєння нових розвіданих та опощукованих родовищ є можливим, але більшість об'єктів нерозподіленого фонду надр розташовані на цінних землях і проекти їх освоєння передбачають підземний видобуток. Це вимагає значних витрат матеріальних ресурсів і часу. Для родовищ *багатих залізних руд* біли розглянуті напрями: 1) розширення ресурсної бази за рахунок запасів на значних глибинах, 2) створення нових та оновлення діючих засобів для видобутку наявних балансових запасів, 3) оцінка промислового значення супутніх корисних копалин, в тому числі магнетитових кварцитів.



Рис. 2 Співставлення показників основних напрямів подальшого розвитку залізорудної бази



За результатами укрупнених техніко-економічних розрахунків рекомендовано найбільш ефективні напрями з точки зору їх вартості та термінів реалізації. Для більшості родовищ залізистих кварцитів найбільш оптимальним є варіант покращення якості вихідної руди за рахунок оптимізації кондицій для оконтурення балансових запасів. Цей напрям включає актуалізацію кількості і якості запасів із проведенням детальної геолого-економічної оцінки та наступне коригування проекту розробки родовища. Основні ризики цього варіанту розвитку пов'язані із частковою реструктуризацією запасів за промисловим значенням. Ці заходи потребують 1-2 роки для реалізації і найменші капіталовкладення, які можуть окупитися менше ніж за 1 рік.

**Шостий розділ «Визначення оптимальних кондицій для ефективної розробки залізородних родовищ».** В розділі систематизовано параметри кондицій, які застосовують в сучасній геолого-економічній оцінці промислових запасів. Для родовищ залізних руд це бортовий вміст заліза, мінімальна потужність рудних тіл, максимальна потужність пустих прошарків і некондиційних руд, вміст шкідливих домішок, глибина підрахунку запасів, яка встановлена проектними і технічними рішеннями.

Бортові вмісти заліза пов'язаного з магнетитом для вітчизняних родовищ залізистих кварцитів коливаються в значних межах від 10 до 20%. Найменші значення – для родовищ Новокриворізьке, Артемівське, Петрівське, Велика Глеюватка, середні значення 14-16% - для родовищ Горишне-Плавнинське, Лавриківське, Єристовське, Валякинське, Інгулецьке, Ганнівське. Високі значення  $C_{\text{борт}} 18\%$  має родовище Скелеватське Магнетитове. Максимальні бортові вмісти використовують для об'єктів підземного видобутку залізистих кварцитів – шахта ім. Орджонікідзе та шахта Першотравнева. Для родовищ залізистих кварцитів, де у структурі запасів наявні окислені різновиди, використовують також підвищені значення бортового вмісту (28-32%  $Fe_{\text{магн}}$ ). Бортові вмісти заліза загального, які використовують для багатих залізних руд, які розробляються підземним способом коливаються в межах 46-48%, що забезпечує достатньо ефективну розробку родовищ.

Для родовищ, які розробляються відкритим способом мінімальна потужність рудного тіла та максимальна потужність міжрудних прошарків некондиційних руд, приймається на рівні 10 м, що зумовлено гірничо-технічними проектними рішеннями, які оптимізують втрати і засмічення руди. Для багатих залізних руд мінімальна потужність рудного тіла приймається на рівні 4 м, максимальна потужність міжрудних прошарків некондиційних руд і пустих порід, що включаються в підрахунок запасів – 6 м. Для родовищ ЗЗРК встановлено мінімальна потужність рудного тіла – 2.5 м, максимальна потужність міжрудних прошарків некондиційних руд – 10 м, що зумовлено використанням сучасного високопродуктивного обладнання, що забезпечує ефективність відпрацювання запасів.

Обґрунтованою, що найбільш комплексним параметром кондицій при підрахунку запасів залізних руд є мінімальний промисловий вміст заліза (пов'язаного з магнетитом або загального), який має не лише геологічне та

технологічне обґрунтування, як бортовий вміст, але й враховує економічні передумови розробки.

Для всіх родовищ розраховано мінімальний промисловий вміст заліза та визначено різницю між цим параметром і бортовим та фактичним середнім вмістом металу. Розрахунки проводились за фактичними даними розробки та уніфікованими визначеннями ціни залізородної сировини. Ціна визначалась за вартістю 1% Fe в товарній продукції відповідно до вмісту Fe в концентраті або товарній руді.

За результатами цих розрахунків виділено об'єкти, для яких є доцільним перегляд параметрів кондицій. Для родовищ багатих залізних руд перегляд кондицій є неактуальним, оскільки при використанні затверджених для них параметрів, вони розробляються рентабельно, фактичний вміст істотно перевищує мінімальний промисловий.

Родовища залістистих кварцитів мають у складі собівартості значну частину витрат на збагачення руди, що зумовлює набагато гірші ніж для багатих руд співвідношення мінімального промислового, бортового і фактичного вмісту корисного компонента. Для частини родовищ це ускладнюється зростанням витрат на розкривні роботи і транспортування, наприклад для Артемівського родовища. Найчастіше ефективна розробка цих об'єктів відбувається за рахунок спільної переробки руди із декількох родовищ. Наприклад, Центральний ГЗК переробляє руду Петрівського, Артемівського родовищ, ш.Орджонікідзе та родовища Велика Глеюватка.

**Таблиця 2 Визначення мінімального промислового вмісту для родовищ залістистих кварцитів**

Родовище	$C_{\text{борт}} \%$	Різниця $C_{\text{minprom}} - C_{\text{борт}}$	$C_{\text{minprom}}$	$C_{\text{minprom}} - C_{\text{факт}}$	$C_{\text{факт}} \text{ Fe} \% \text{ в руді}$
Горишне-Плавнинське	14	10.18	24.18	3.81	27.99
Лавриківське	14	10.18	24.18	3.81	27.99
Єристівське		18.59	18.59	7.89	26.48
Новокриворізьке	10	10.49	20.49	0.83	21.32
Валявкінське		19.79	19.79	8.91	28.70
• магнетитові кварцити	16				
• окислені кварцити	28				
Артемівське	14	24.75	38.75	-9.82	28.93
Петрівське	14	20.35	34.35	-10.59	23.76
Велика Глеюватка		21.73	21.73	1.54	23.27
ш.Орджонікідзе	20	9.78	29.78	-2.09	27.69
Інгулецьке	14	5.84	19.84	4.46	24.30
Скелеватське магнетитове	18	5.77	23.77	4.97	28.74
Ганнівське	16	12.15	28.15	-0.86	27.29
Першотравневе	16	11.79	27.79	0.22	28.01

**Таблиця 3. Визначення мінімального промислового вмісту для родовищ багатих залізних руд**

Родовище	$C_{\text{борт}}$ %	Різниця $C_{\text{мінпром}} - C_{\text{борт}}$	$C_{\text{мінпром}}$	$C_{\text{мінпром}} - C_{\text{факт}}$	$C_{\text{факт}}$ Fe% в руді
КЗРК					
Гвардійська	46	-26.61	19.39	41.01	60.40
Тернівська	46	-30.20	15.80	42.51	58.31
Октябрська	46	-25.64	20.36	39.57	59.93
Родіна	46	-28.57	17.43	40.27	57.70
ЗЗРК					
Переверзівське	48	-35.55	12.45	47.47	59.92
Південно-Білозерське	48	-33.01	14.99	43.31	58.30
СБ					
Фрунзе	46	-17.56	28.44	32.96	61.40
Ювілейна	48	-26.02	21.98	37.42	59.40

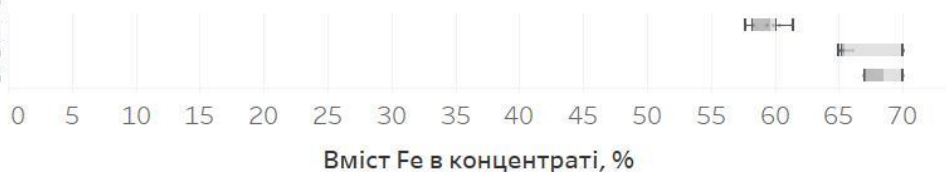
Вміст заліза в руді

Спосіб розробки  
Багаті руди  
Відкритий спосіб  
Підземний спосіб



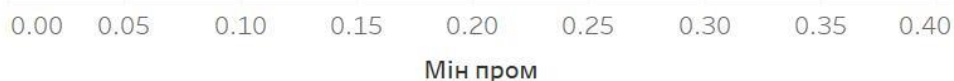
Вміст заліза в концентраті

Спосіб розробки  
Багаті руди  
Відкритий спосіб  
Підземний спосіб



Мінпром

Спосіб розробки  
Багаті руди  
Відкритий спосіб  
Підземний спосіб

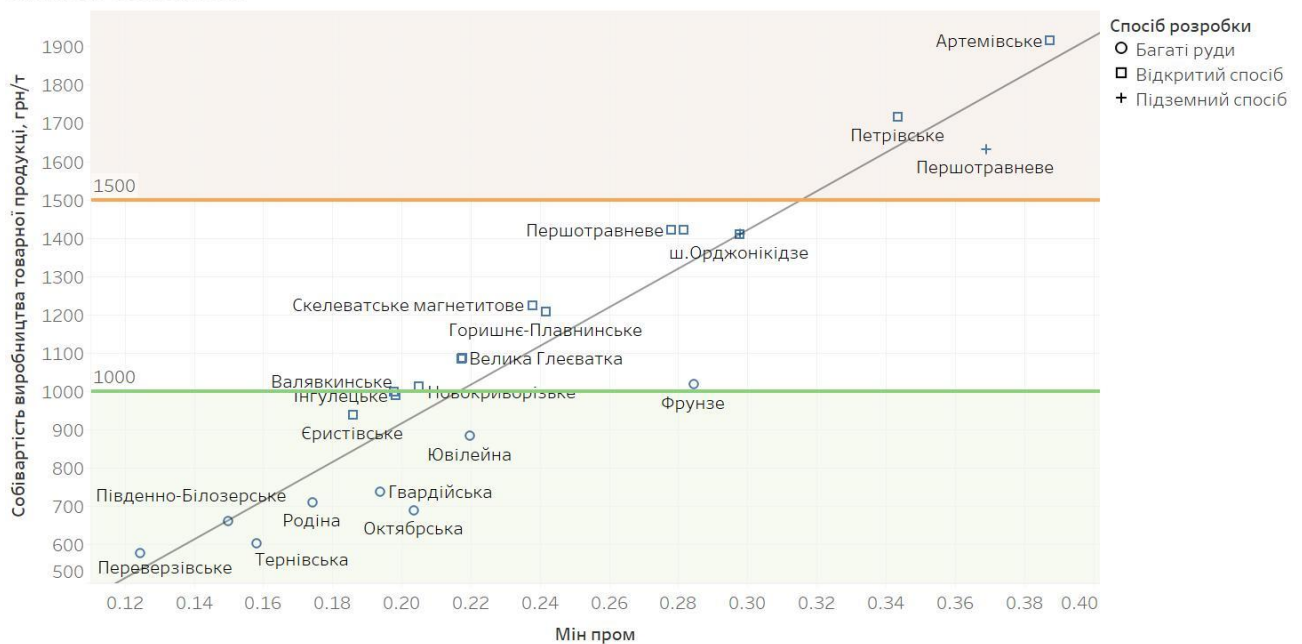


**Рис.3 Розподіл визначних показників вмісту заліза в руді, в концентраті та мінімального промислового вмісту заліза по групах родовищ**

**Сьомий розділ «Аналіз чутливості ключових параметрів та граничні значення рентабельної розробки залізрудних родовищ».** В розділі визначено залежності між вихідними параметрами та мінімальним промисловим вмістом заліза для кожного родовища. Найбільший вплив на цей параметр кондицій має собівартість виробництва залізрудного концентрату або товарної руди, оскільки цей показник агрегує в собі у вартісному вигляді витрати на видобуток, що відображають складність геологічної будови та гірничо-технічних умов експлуатації родовища та витрати на переробку і збагачення сировини, що відображають технологічні характеристики руд та їх збагачуваність.

За співвідношенням рівня мінімального промислового вмісту і собівартості виробництва виділено групи родовищ 1) із найвищим мінімальним промисловим вмістом заліза і найвищими показниками собівартості є група родовищ - Артемівське, Петрівське, та ш. Першотравнева; 2) із середніми значеннями мінімального промислового вмісту заліза і собівартості виробництва – родовища Першотравневе, Горишне-Плавнинське, Склеватське Магнетитове, Велика Глеєватка, Валякинське, Новокриворізьке; 3) із найменшими значеннями мінімального промислового вмісту заліза і собівартості виробництва – родовища Інгулецьке, Єристівське та більшість родовищ багатих залізних руд (рис.4).

Мінпром-Собівартість



**Рис.4. Залежність собівартості товарної руди/концентрату та мінімального промислового вмісту заліза по вітчизняним родовищам**

Проведено аналіз чутливості мінімального промислового вмісту корисного компонента в запасах залізних руд від вихідних параметрів ( $\pm 30\%$  для кожного параметра) і на основі цього встановлено граничні межі рентабельної розробки промислових запасів. Для такого аналізу чутливості було застосовано різницю між мінімальним промисловим і середнім вмістом заліза, яка повинна мати позитивні значення для балансових запасів.

Результати техніко-економічних розрахунків та моделювання мінімального промислового вмісту засвідчують, що при базових показниках вартості виробництва запаси більшості родовищ є рентабельними, але для деяких з них це досягається спільною розробкою одним ГЗК і шихтуванням руди з інших об'єктів.

Необхідність реструктуризації запасів за промисловим значенням може виникнути при погіршенні показників доходу і собівартості:

- більше ніж на 20-25% для родовищ Полтавського ГЗК та Валявкинського родовища;
- показників доходу більше ніж на 15-20% і собівартості більше ніж на 25-30% для Інгулецького і Скелеватського Магнетитового родовищ;
- при незначних коливаннях 10% для Першотравневого і Ганнівського родовищ.

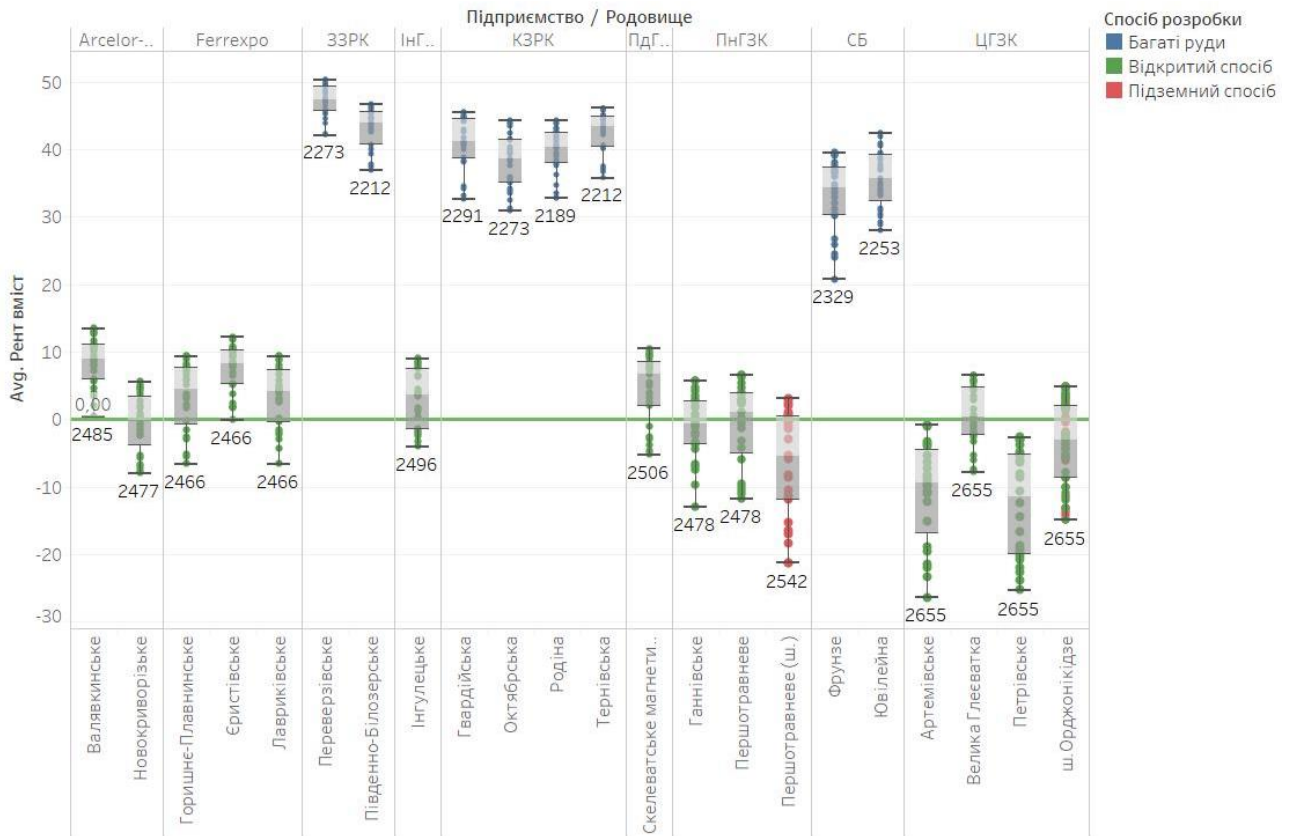
За результатами багатоваріантних розрахунків визначено, що найбільший ризик втрати промислового значення для великої частки запасів фіксується для об'єктів підземного видобутку магнетитових кварцитів. Середній ризик втрати балансової приналежності промислових запасів визначено для родовищ Артемівського, Петрівського. Саме для цих об'єктів фіксується найвищий розрахований мінімальний промисловий вміст заліза, пов'язаного з магнетитом, але й найвища якість і ціна товарного концентрату. Таке співвідношення забезпечує ефективність освоєння, але характеризується значними ризиками гірничого бізнесу.

Родовища багатих залізних руд мають параметри розробки, які забезпечують ефективно відпрацювання навіть при значних ускладненнях гірничо-технічних умов, які можуть призводити до +30% зростання собівартості.

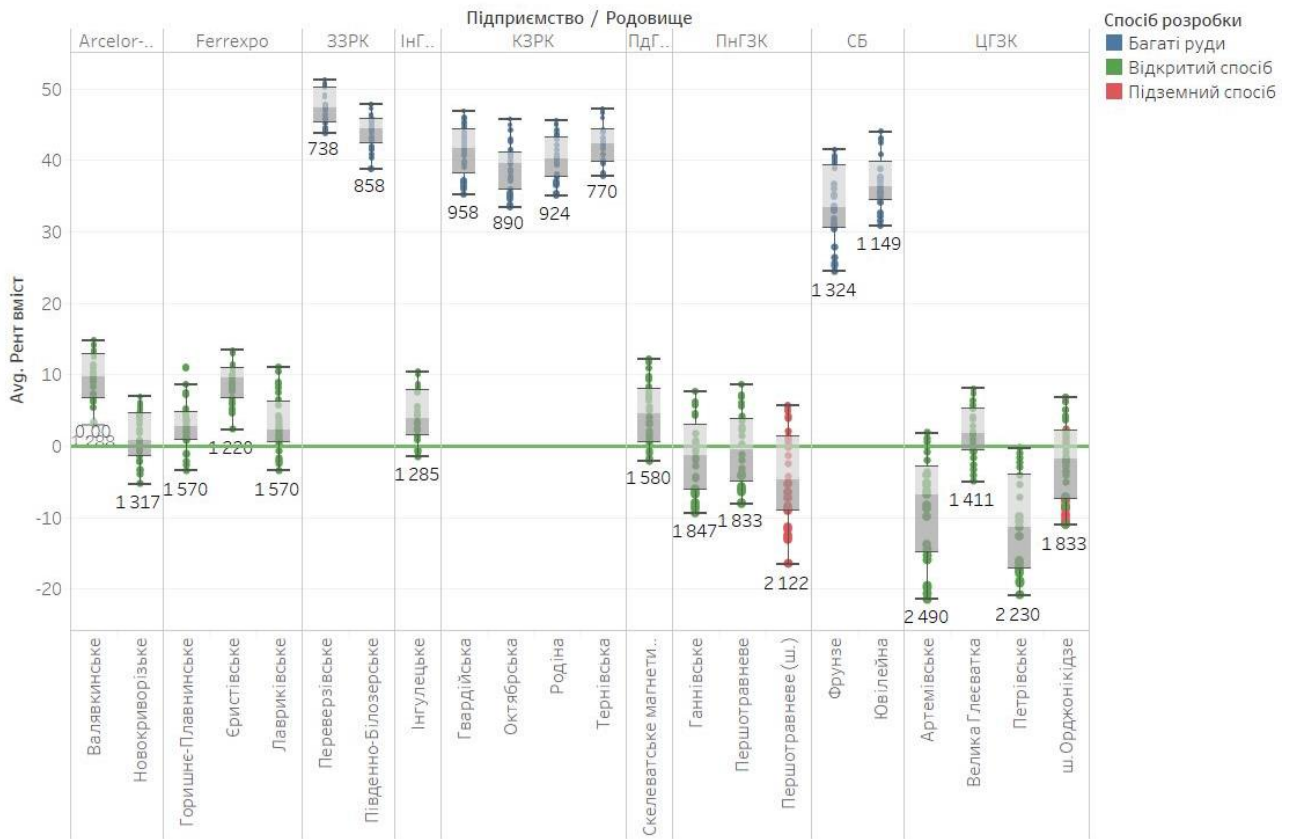
В наступній частині дослідження проведено аналіз чутливості мінімального промислового вмісту корисного компонента в запасах залізних руд від вихідних параметрів і на основі цього встановлено граничні межі рентабельної розробки промислових запасів. Ці граничні показники повинні забезпечувати відповідність мінімального промислового і фактичного вмісту заліза в запасах.

Для такого аналізу чутливості  $\pm 30$  кожного параметра для кожного родовища визначались наступні показники рентної оцінки запасів: 1)  $C_{Fe_{\text{рент}}}$  - різниця між фактичним і мінімальним промисловим вмістом заліза; 2) дохід як різниця між ціною товарної руди або концентратів та собівартістю виробництва.

За результатами багатоваріантних розрахунків визначено, що найбільший ризик втрати промислового значення для великої частки запасів фіксується для об'єктів підземного видобутку магнетитових кварцитів (рис.5). Середній ризик нерентабельності відпрацювання промислових запасів визначено для родовищ Артемівського, Петрівського та Великої Глеюватки. Родовища багатих залізних руд мають параметри розробки, які забезпечують ефективно відпрацювання навіть при значних ускладненнях гірничо-технічних умов, які можуть призводити до +30% зростання собівартості (рис.6).



**Рис.5 Розподіл рентного вмісту заліза по об'єктах видобутку при зміні вартості товарної продукції  $\pm 30\%$**



**Рис.6 Розподіл рентного вмісту заліза по об'єктах видобутку при зміні собівартості виробництва  $\pm 30\%$**

**Восьмий розділ «Оцінка запасів магнетитових кварцитів Правобережного району як перспективної бази для якісної металургії»**

Визначальною тенденцією розвитку залізорудної мінерально-сировинної бази світу є переорієнтація на якісну (бездоменну) металургію, яка висуває більш жорсткі вимоги до якості залізорудної сировини. Вимогам якісної металургії відповідають родовища, розташовані в архейських залізисто-кременистих формаціях вулканогенно-осадового типу. Правобережний район Українського щита можна вважати найперспективнішою залізорудною мінерально-сировинною базою для розвитку якісної металургії України, оскільки за своїми показниками (геолого-мінералогічними і технологічними) залістисті кварцити архейської вулканогенно-осадової формації району відповідають вимогам якісної металургії, а їх розташування поблизу діючих гірничозбагачувальних комбінатів дозволяє передбачити можливість економічно доцільного їх видобутку.

За структурно-генетичними особливостями залізорудні родовища району розділяються на дві групи - східну і західну. Західна група вміщує Желтянське, Попельноставське, Миколаївське, Млинківське і Успенське родовища, які розташовані вздовж Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому. Метаморфічні породи західної групи належать до фації зелених сланців. Залізорудні родовища приурочені до протерозойської залізисто-кременистої формації осадового типу (О.В. Плотніков) і мають схожі властивості внутрішньої будови. Характерним для усіх родовищ є складне сполучення фрагментів складчастих структур з повздовжніми розривними тектонічними порушеннями. Для кожного з зазначених родовищ властиві також і особливі риси внутрішньої будови. Залізні руди західної групи родовищ не відповідають вимогам стандартів до якісної металургії.

Східна група родовищ відноситься до архейської залізисто-кременистої формації вулканогенно-осадового типу. Породи метаморфізовані переважно в амфіболітовій фації (О.В. Плотніков). Структурно-генетичні закономірності розташування родовищ західної групи визначаються граніто-гнейсовими куполами. Конфігурація залізорудних пластів в плані обумовлена морфологією граніт-мігматитових ядер брахіантиклінальних і куполоподібних складок. Серед структур залізорудних родовищ виділяються синклінальні і антиклінальні складки. Зустрічаються також моноклінальні ділянки, які іноді утворюють флексурні вигини. Вимогам якісної металургії відповідають залізні руди Східної групи родовищ. Рудні поклади цих родовищ розташовані в середній підсвіті артемівської світи і представлені магнетитовими і силікат-магнетитовими кварцитами. Текстура руд верстувата і складена з кварцових, магнетитових, і силікатних прошарків. Магнетитові прошарки утворені полієдрично-верстуватими агрегатами магнетиту, які видовжені в одному напрямку. Межі зерен магнетиту з нерудними мінералами дуже різкі, ослаблені. Зерна практично не містять включень інших мінералів.



Технологічні дослідження залізних руд східної частини Правобережного району показали їх легку збагачуваність з вмістом заліза в концентраті від 71.6 до 71.9% при виході концентрату 33.2 - 44.5% і вилученням заліза в концентрат 69.1 - 81.6%. За вмістом шкідливих домішок концентрати більшості родовищ відповідають вимогам якісної металургії. На деяких ділянках родовищ, що розташовані в зонах субширотних розривних порушень, вміст сірки дещо перевищує вимоги порошкової металургії, сягаючи 0.087%.

Правобережний район налічує більше десятка відомих родовищ і рудопроявів. За ступенем геологічного і техніко-економічного вивчення виділяються Пролетарське, Горіхівське, Лозоватське та Червонофедорівське родовища, серед яких перше є найбільш вивченим. Решта об'єктів вимагають проведення пошуково-оціночних і розвідувальних робіт для встановлення їх промислового значення. За прогнозною вартістю запасів і ресурсів в надрах виділяється Північно-Лозоватське родовище, для якого цей показник вартості більший ніж в 1,5-2 рази, ніж для інших об'єктів. Виділяються також Червонофедорівське та Миколаївське родовища, що пов'язано з величиною запасів та ступенем вивченості цих об'єктів. Розрахунок проводився для двох варіантів товарної продукції відносно якої оцінювались запаси залізних руд. Перший варіант передбачає виробництво концентрату із вмістом корисного компоненту 71,9%. Другий варіант розрахований відповідно до виробництва обкотишів із середнім вмістом заліза 63%.

**Таблиця 2 Розрахунок товарної вартості прогнозних ресурсів (запасів) залізних руд Правобережного району**

Родовище	Ресурси, млн.т	Значення коефіцієнтів приведення		Товарна вартість прогнозних ресурсів, млн \$	
				Варіант 1	Варіант 2
Петрівське	180	середнє	0,032303	618,98	834,15
Артемівське	102,8	середнє	0,032303	353,51	476,39
Желтянське	650	середнє	0,014308	990,05	1334,22
Миколаївське	700	середнє	0,014308	1066,21	1436,85
Млинківське	75	мінімальне	0,007306	58,33	78,61
Успенське	28	мінімальне	0,007306	21,78	29,35
Хутора Петрівського	60	мінімальне	0,007306	46,66	62,89
Північно-Зеленівське	54	мінімальне	0,007306	42,00	56,60
Східно-Зеленоріченське	34	мінімальне	0,017272	62,51	84,25
Західно-Зеленоріченське	52	мінімальне	0,017272	95,61	128,85
Ленінське	75	мінімальне	0,017272	137,90	185,84
Червонофедорівське	220	середнє	0,049698	1163,94	1568,56
Горіхівське	110	середнє	0,049698	581,97	784,28
Лозоватське	20	мінімальне	0,027857	59,31	79,93
Північно-Лозоватське	319	максимальне	0,049173	1669,87	2250,35
Іванівське	35	мінімальне	0,017272	64,35	86,72
Кам'яно-Потоцьке	41,5	мінімальне	0,017272	76,30	102,83
Разом	1773,5			7109,30	9580,66



**Дев'ятий розділ «Перспективи комплексного освоєння залізорудних родовищ».** В розділі узагальнено дані щодо супутніх корисних копалин залізорудних родовищ, якими найчастіше є породи розкриву, вміщуючі і перекриваючі породи, безрудні і некондиційні кварцити. В даному розділі проведено аналіз не лише геологічних і технологічних передумов комплексного освоєння родовищ залізних руд, але й економічний аналіз такого варіанту освоєння. Головними факторами, що можуть спричинити доцільність і ефективність комплексного використання ресурсів родовищ, що розробляються є: 1) значні обсяги розвіданих та попередньо розвіданих запасів; 2) якісні характеристики виділених сортів і типів неокислених та окислених залізистих кварцитів; 3) ступінь вивченості нерудних корисних копалин, які вивчались паралельно з основними; 4) сприятливі гірничо-геологічні та гідрогеологічні умови залягання всіх вказаних корисних копалин для ведення селективної відкритої комплексної розробки; 5) наявність виробничої інфраструктури добувних підприємств. В розділі наведені індивідуальні техніко-економічні розрахунки, за якими встановлено промислове значення супутніх корисних копалин для ряду родовищ залізистих кварцитів.

Комплексне використання надр сьогодні розглядається не лише в межах сфери використання надр, але й з огляду на доступність інших природних ресурсів. Не дивлячись на великі обсяги поставлених на баланс підприємств супутніх корисних копалин як будівельної сировини, вони практично не використовувались і не перероблялись на товарну продукцію. Проводився селективний видобуток та складування у окремі або змішані відвали, які вимагали все більше земельних площ для розширення. Серед них найбільшу групу становили сланці та безрудні кварцити, некондиційні залізисті кварцити, амфіболіти, граніти, мігматити, гнейси. Деякі із гірничо-збагачувальних підприємств тривалий період складували супутні корисні копалини відповідно до проектних рішень, але за весь час так і не реалізовували їх товарну продукцію.

Для родовищ залізистих кварцитів і для родовищ багатих залізних руд аспекти комплексного освоєння мають свої особливості. Для бідних залізних руд ефективність комплексного освоєння забезпечується поєднанням багатьох факторів, в тому числі і високими показниками продуктивності. Будь-яке селективне вилучення супутніх корисних копалин буде спричинити погіршення цього показника і відповідно впливати на рентабельність розробки. Крім цього, для родовищ залізистих кварцитів часто супутніми вважають породи розкриву або вміщуючих порід, які вимагають не лише селективного видобутку, але й селективного складування при неможливості їх перетворення на товарну продукцію. В сучасних умовах неможливості отримання додаткових земельних відводів це спричиняє надлишкові збитки або взагалі унеможливорює такий варіант освоєння.

Для родовищ багатих залізних руд в якості супутньої корисної копалини, як правило, розглядають вміщуючі магнетитові кварцити, які на значних глибинах мають покращені показники якості магнетиту. Для цих об'єктів комплексне освоєння є одним з перспективних напрямів розширення сировинної бази.

## ВИСНОВКИ

Результати геолого-економічної оцінки та моделювання мінімального промислового вмісту для вітчизняних залізорудних родовищ дали можливість визначити граничні параметри їх рентабельної розробки в умовах підвищення вимог до якості залізорудної сировини. Ці вимоги динамічно змінюються із залученням нових металургійних технологій та зростаючого попиту на метал при переході до відновної енергетики.

1. Проведені дослідження засвідчують, що вітчизняні залізорудні родовища розробляються в умовах інтенсивного використання надр, що спричиняє значні обсяги погашення промислових запасів і виснаження їх найбільш якісної частини. Якість товарної продукції більшості ГЗК, які розробляють залістисті кварцити і багаті руди, не повністю відповідає вимогам нових металургійних технологій.

2. За результатами визначень індексів доступності металів залізо має значення сукупного індексу доступності ІА 0.16, що є нижче середнього рівня і свідчить про значні ризики безпечних постачань сировини. Значення складових сукупного індексу, які спричиняють такий рівень є наступними: ІА 1 (індексування за абсолютним річним обсягом металу, що споживатиме енергетика у 2050) -0.5, ІА2 (індексування за зростанням попиту 2050 р. на метал енергетичних технологій у відсотках до поточного рівня) – 1.0, ІА 3 (індексування за кількістю технологій відновної енергетики, де використовують метал) – 0.94, ІА4 (індексування за рівнем кумулятивних викидів CO<sub>2</sub>, які пов'язані з виробництвом металу) – 0.5, ІА 5 (індексування за терміном забезпеченості промисловими запасами металу) – 0.8, ІА 6 (індексування за кількістю країн, які виробляли більше 1% світового виробництва металу) – 1.0, ІА7 (індексування за кількістю країн з максимальної річною часткою світового виробництва металу) – 0.83, ІА8 (розповсюдженість металу в земній корі) – 0.98, ІА 9 (рівень вторинної переробки металу) - 1, ІА 10 (наявність заміників металу) – 0.75.

3. За результатами укрупнених техніко-економічних розрахунків рекомендовано найбільш ефективні напрями покращення якості залізорудної продукції на вітчизняних родовищах з точки зору їх вартості та термінів реалізації. Для більшості родовищ залістистих кварцитів найбільш оптимальним є варіант покращення якості вихідної руди за рахунок оптимізації кондицій для оконтурення балансових запасів. Цей напрям включає актуалізацію кількості і якості запасів із проведенням детальної геолого-економічної оцінки та наступне коригування проекту розробки родовища. Основні ризики цього варіанту розвитку пов'язані із частковою реструктуризацією запасів за промисловим значенням. Ці заходи потребують 1-2 роки для реалізації і найменші капіталовкладення, які можуть окупитися менше ніж за 1 рік. Для родовищ багатих залізних руд ефективними напрямками розвитку є оцінка промислового значення запасів на значних глибинах та оцінка промислового значення супутніх корисних копалин, в тому числі вміщуючих магнетитових кварцитів.

4. Залучення до освоєння нових об'єктів обмежено неможливістю

отримання у користування земельних відводів (або вартістю земельних ресурсів), що спричиняє надлишкові екологічні втрати. З цих причин промислове освоєння якісних запасів магнетитових кварцитів нерозподіленого фонду надр передбачає застосування систем підземного видобутку.

5. Для всіх об'єктів розраховано мінімальний промисловий вміст заліза як основний параметр якості запасів, який має не лише геологічне та технологічне обґрунтування, як бортовий вміст, але й враховує економічні передумови розробки. Запропоновані нові складові рентної оцінки родовищ  $C_{\text{рент.}}$ , які визначаються як різниці (відносні) показники між фактичним вмістом  $Fe_{\text{магн.}}$  та мінімальним промисловим вмістом  $Fe_{\text{магн.}}$  індивідуально по родовищах.

6. Визначено залежності між вихідними параметрами та мінімальним промисловим вмістом заліза для кожного родовища. Найбільший вплив на цей параметр кондицій має собівартість виробництва залізорудного концентрату або товарної руди. За співвідношенням рівня мінімального промислового вмісту і собівартості виробництва виділено групи родовищ 1) із найвищим мінімальним промисловим вмістом заліза і найвищими показниками собівартості є група родовищ - Артемівське, Петрівське, та ш. Першотравнева; 2) із середніми значеннями мінімального промислового вмісту заліза і собівартості виробництва – родовища Першотравневе, Горишне-Плавнинське, Склеватське Магнетитове, Велика Глеюватка, Валявкінське, Новокриворізьке; 3) із найменшими значеннями мінімального промислового вмісту заліза і собівартості виробництва – родовища Інгулецьке, Єристівське та більшість родовищ багатих залізних руд.

7. Проведено аналіз чутливості мінімального промислового вмісту корисного компоненту в запасах залізних руд від вихідних параметрів ( $\pm 30\%$  для кожного параметру) і на основі цього встановлено граничні межі рентабельної розробки промислових запасів. Для такого аналізу чутливості було застосовано різницю між мінімальним промисловим і середнім вмістом заліза, яка повинна мати позитивні значення для балансових запасів.

8. Результати техніко-економічних розрахунків та моделювання мінімального промислового вмісту засвідчують, необхідність реструктуризації запасів за промисловим значенням може виникнути при погіршенні показників доходу і собівартості: 1) більше ніж на 20-25% для родовищ Полтавського ГЗК та Валявкінського та Новокриворізького родовищ; 2) показників доходу більше ніж на 15-20% і собівартості більше ніж на 25-30% для Інгулецького і Склеватського Магнетитового родовищ; 3) при незначних коливаннях 10% для Першотравневого і Ганнівського родовищ.

9. За результатами багатоваріантних розрахунків визначено, що найбільший ризик втрати промислового значення для великої частки запасів фіксується для об'єктів підземного видобутку магнетитових кварцитів. Середній ризик втрати балансової приналежності промислових запасів визначено для родовищ Артемівського, Петрівського. Саме для цих об'єктів фіксується найвищий розрахований мінімальний промисловий вміст заліза, пов'язаного з магнетитом, але й найвища якість і ціна товарного концентрату. Таке співвідношення забезпечує ефективність освоєння, але характеризується

значними ризиками гірничого бізнесу.

10. Родовища багатих залізних руд мають параметри розробки, які забезпечують ефективне відпрацювання навіть при значних ускладненнях гірничо-технічних умов, які можуть призводити до +30% зростання собівартості.

11. Подальший розвиток МСБ вітчизняних залізорудних родовищ може бути ефективним при покращенні якості товарної продукції (руди і концентратів), яка містить 67–70 % заліза і оптимізації обсягів видобутку відповідно до потреб нових ринків.

### Список опублікованих праць за темою дисертації:

*Статті у міжнародних журналах або наукових фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних:*

1. Nate S, Bilan Y, **Kurylo M**, Lyashenko O, Napieralski P, Kharlamova G. (2021). Mineral Policy within the Framework of Limited Critical Resources and a Green Energy Transition. *Energies*, 14(9):2688. <https://doi.org/10.3390/en14092688> (**Scopus Q2**) (Особистий внесок здобувача – постановка задач, розробка методики, розрахунок та валідація результатів, обґрунтування висновків)

2. Коржнев М., **Курило М.**, Кошарна С. (2021) Підходи до планування сталого розвитку Криворізького залізорудного басейна на стадії пост-майнінгу. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(92),79-87. [http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2021/N1\(92\)/Korzhev.pdf](http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2021/N1(92)/Korzhev.pdf) (**Web of Science**) (Особистий внесок здобувача – постановка задач, вибір методики, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків)

3. Михайлов В., Загнітко В., **Курило М.** (2017). Перспективи інвестицій в мінерально-сировинний комплекс України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(76), 47-51. [http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2017/N%201\(76\)/mykhailov.pdf](http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2017/N%201(76)/mykhailov.pdf) (**Web of Science**) (Особистий внесок здобувача – постановка задач, вибір методики, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків)

4. Балега А., Вижва С., **Курило М.** (2018). Інституційне забезпечення геологічного вивчення надр: національний вимір (практика) та міжнародний досвід. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(83), 63-72.

[http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2018/N%204\(83\)/balega.pdf](http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2018/N%204(83)/balega.pdf) (**Web of Science**) (Особистий внесок здобувача – постановка задач, вибір методики, перевірка результатів дослідження, обґрунтування висновків)

5. Вижва С., **Курило М.**, Балега А. (2018). Основні інструменти державного планування і фінансування забезпечення геологічного вивчення надр в Україні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(81), 56-62.

[http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2018/N%202\(81\)/vyzhva\\_81.pdf](http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2018/N%202(81)/vyzhva_81.pdf) (**Web of Science**) (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, вибір методики, перевірка результатів дослідження, обґрунтування висновків*)

6. Рудько Г., **Курило М.**, Бала В. (2018). Критерії визначення балансової належності запасів вугілля за зіставленням вітчизняних класифікацій та JORC. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(80), С.63-68

[http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/en/archive/2018/N%201%20\(80\)/rudko\\_80.pdf](http://www.geolvisnyk.univ.kiev.ua/en/archive/2018/N%201%20(80)/rudko_80.pdf) (**Web of Science**) (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, вибір методики, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків*)

7. Любчик О., Кошляков О., Курило М. (2018) Розрахунок доходу власника надр (держави) від господарської діяльності з видобутку підземних вод згідно із законодавствами України та Польщі. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(81), С.86-91  
[http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2018/N%202\(81\)/liubchuk\\_81.pdf](http://geolvisnyk.univ.kiev.ua/archive/2018/N%202(81)/liubchuk_81.pdf) (**Web of Science**) (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, розробка методики, розрахунок та валідація результатів, обґрунтування висновків*)

#### **Статті у наукових фахових виданнях України:**

8. Прокопенко О., **Курило М.**, Кулик С. (2020). Обґрунтування оптимальних значень бортового вмісту за допомогою 3D-моделювання на прикладі вітчизняних родовищ залізистих кварцитів. *Мінеральні ресурси України*, (1), 12-14. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.12-14> (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, статистична обробка, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, вибір параметрів для моделювання, обґрунтування висновків*).

9. Балєга А.В., **Курило М.М.** (2019). Особливості фінансування та організації геологічного вивчення вітчизняних залізородних родовищ. *Мінеральні ресурси України*, (2), 34-39. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.34-39> (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, вибір методики, перевірка результатів дослідження, обґрунтування висновків*).

10. Плотніков О.В., **Курило М.М.**, Кошарна С.К. (2019). Оцінка ступеня виснаженості залізородних родовищ для прогнозування постліквідаційних робіт. *Мінеральні ресурси України*, (1), 26-30. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.1.26-30> (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків*).

11. Вижва С.А., **Курило М.М.**, Балєга А.В. (2018). Регіональні аспекти розвитку й відтворення вітчизняної мінерально-сировинної бази та способи їхнього фінансового забезпечення. *Мінеральні ресурси України*, (4), 12-17. <https://doi.org/10.31996/mru.2018.4.12-17> (*Особистий внесок здобувача –*

*постановка задач, вибір методики, перевірка результатів дослідження, обґрунтування висновків).*

**12. Курило М.М., Плотніков О.В.** (2014) Значення економічної геології та геолого-економічних досліджень у розвитку та відтворенні вітчизняної мінерально-сировинної бази. *Вісник ОНУ Серія: Географічні та геологічні науки*, 19, 3 (22). *(Особистий внесок здобувача – постановка задач, збір та аналіз статистичної інформації, перевірка результатів дослідження, обґрунтування висновків).*

**13. Рудько Г.І., Курило М.М.** (2011). Особливості геолого-економічної оцінки на етапі інтенсивного використання та виснаження надр. *Наукові праці ДонТУ. Серія гірничо-геологічна*, 15 (192), 78-95. *(Особистий внесок здобувача – постановка задач, систематизація геологічної інформації, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, висновки).*

**14. Михайлов В.А., Курило М.М., Антакова І.В., Бондар Ю.О.** (2011) Оцінка та ранжування геологічних пам'яток із застосуванням методик геолого-економічного аналізу. *Мінеральні ресурси України*, (1), 11–15. *(Особистий внесок здобувача – постановка задач, розробка методики, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, висновки).*

**15. Курило М.М.** (2010). Особливості визначення параметрів кондицій на мінеральну сировину для вітчизняних родовищ залізистих кварцитів, які розробляються. *Вісник Криворізького економічного інституту КНЕУ*, 2, 133-139.

**16. Михайлов В.А., Курило М.М.** (2010). Проблеми геолого-економічної оцінки мінерально-сировинної бази марганцю України. *Мінеральні ресурси України*. (3), 8–14. *(Особистий внесок здобувача – постановка задач, систематизація геологічної інформації, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків)*

**17. Курило М.М.** (2010). Екологічні показники при геолого-економічній оцінці залізородних родовищ. *Вісник Криворізького економічного інституту КНЕУ*, 1, 124-131.

**18. Рудько Г.І., Плотніков О.В., Курило М.М.** (2009). Сучасні підходи до геолого-економічної переоцінки вітчизняних родовищ залізистих кварцитів. *Екологія і безпека життєдіяльності*, 3, 42-48. *(Особистий внесок здобувача – постановка задач, польові роботи та камеральна обробка даних, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків).*

**19. Курило М.М., Тітова Н.О.** (2009). Порівняльна оцінка геолого-економічних ризиків на різних етапах вивчення деяких родовищ і проявів корисних копалин. *Наукові праці Інституту фундаментальних досліджень*, 14, 63-67. *(Особистий внесок здобувача – збір та обробка геологічної інформації, перевірка результатів дослідження, обґрунтування висновків).*

**20. Курило М.М.** (2009). Визначення етапів освоєння надр за геолого-економічними показниками використання мінерально-сировинної бази. *Вісник Криворізького економічного інституту КНЕУ*, 1(17), 107-113.



21. Коржнев М.М., **Курило М.М.** (2009). Проблеми виснаження надр при виборі об'єктів проведення геологорозвідувальних робіт. *Геолог України*, 1-2, 76-82. (Особистий внесок здобувача – збір та обробка геологічної інформації, аналіз нормативної бази геологорозвідувальних робіт, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків).

22. Коржнев М.М., **Курило М.М.** (2008). Особливості геолого-економічної оцінки відходів, утворених при видобутку та переробці корисних копалин. *Екологія і безпека життєдіяльності*, 4, 24-29. (Особистий внесок здобувача – збір та обробка геологічної інформації, аналіз нормативної бази, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків).

23. Михайлов В.А., **Курило М.М.**, Галкина Н.Ю. (2008). Определение зависимости между рентабельностью горнодобывающих предприятий и технико-экономическими характеристиками отечественных месторождений флюсового карбонатного сырья. *Збірник наукових праць ІГНС* (16), 66–72. (Особистий внесок здобувача – постановка задач, збір та обробка геологічної інформації, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків).

24. Коржнев М.М., **Курило М.М.** (2005). Економічна оцінка геологічного простору. *Геолог України*, 2, 77-82. (Особистий внесок здобувача – постановка задач, вибір методики, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків).

### **Монографії:**

25. Довгий С.О., Іванченко В.В., Коржнев М.М., **Курило М.М.**, Трофимчук О.М., Чумаченко С.М., Яковлев Є.О., Беліцька М.В. (2016). Асиміляційний потенціал геологічного середовища України та його оцінка. К.: Ніка-Центр, 173. (Особистий внесок здобувача – розділ 1.5. Нормативно-правові та економічні аспекти оцінки асиміляційного потенціалу довкілля на прикладі об'єктів використання надр, розділ 3.2. Концептуальні підходи щодо відновлення асиміляційного потенціалу геологічного середовища у гірничодобувних районах, розділ 4.2. Використання асиміляційного потенціалу при переході до не сировинне спрямованої економіки, формулювання висновків).

26. Довгий С.О., Іванченко В.В., Коржнев М.М., **Курило М.М.**, Трофимчук О.М., Чугунов Ю.Д., Яковлев Є.О., Якушенко Л.М. (2014). Мінерально-сировинна комплекс та сталий розвиток України. К. Ніка-Центр, 233. (Особистий внесок здобувача – розділ 3.1. Мінерально-сировинна база, розділ 4.1. Мінерально-сировинна база, необхідна для забезпечення напрямів досягнення збалансованого розвитку, розділ 4.2. Визначення пріоритетності вивчення і залучення у виробництво геологічних об'єктів, розділ 4.4. Зменшення впливу на довкілля та екологічна реабілітація територій, висновки).

27. Довгий С.О., Іванченко В.В., Коржнев М.М., **Курило М.М.**, Трофимчук О.М., Яковлев Є.О. (2013). Критерії екологічної і геолого-економічної оцінки та мінералогія відходів гірничо-металургійного комплексу Кривбасу. К.: Ніка-

Центр, 226. (*Особистий внесок здобувача – розділ 2.1 Методичні підходи щодо до оцінки відходів гірничодобувного і переробного комплексів , розділ 2.2 Геологічні передумови та геолого-економічні критерії промислової цінності супутніх корисних копалин і відходів збагачення при розробці залізрудних родовищ Кривбасу, розділ 4.1 Комплексне освоєння надр як засіб зменшення накопичення відходів, висновки*).

**28.** Довгий С.О., Коржнев М.М., **Курило М.М.**, Ляшенко О.І., Малахов І.М., Трофимчук О.М., Чумаченко С.М., Яковлев Є.О., Захарій Н.В., Сухіна О.М. (2012). Екологічні ризики, збитки та раціональні межі використання надр в Україні. К.: Ніка-Центр, 323. (*Особистий внесок здобувача – розділ 3 Оцінка екологічних ризиків та економічних збитків видобутку основних видів корисних копалин, поширених в Україні підрозділи 3.3, 3.4 , 3.5, 3.7, висновки*).

**29.** Довгий С.О., Коржнев М.М., Трофимчук О.М. Іванченко В.В., Курило М.М... Стеценко А.І.. (2017) Геологічна будова та сучасні геолого-економічні й екологічні умови видобутку і переробки залізних руд Криворізько-Кременчуцької зони. К.: Ніка-Центр. (*Особистий внесок здобувача – розділ 2 Основні методи та показники геолого-економічної оцінки родовищ корисних копалин на окремих стадіях геологорозвідувальних робіт*).

**30.** Рудько Г.І., **Курило М.М.**, Миргородський О.П., Лагода О.А (2012). Нормативно-правове регулювання надрокористування. К.: Вид-во Гіперіон, 256. (*Особистий внесок здобувача – розділ 1 Правове регулювання відносин в геологічній галузі, розділ 2 Державне управління в геологічній галузі, розділ 4 Геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин в аспекті нормативно-правового регулювання геологічної галузі, розділ 5 Мінерально-сировинна база, висновки*).

**31.** Рудько Г.І., **Курило М.М.**, Радованов С.В. (2011). Геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин. К.: Вид-во «АДЕФ-Україна», 384. (*Особистий внесок здобувача – розділ 4 Геолого-економічна оцінка прогнозних і перспективних ресурсів, розділ 5 Підрахунок запасів корисних копалин, розділ 6 Кондиції на мінеральну сировину, розділ 7 Економічна оцінка родовищ корисних копалин*).

**32.** Рудько Г.І., Плотніков О.В., **Курило М.М.**, Радованов С.В. (2010). Економічна геологія родовищ залістих кварцитів. К.: Вид-во «Академпрес», 272. (*Особистий внесок здобувача – розділ 2 Основні критерії та показники геолого-економічної оцінки родовищ залістих кварцитів, розділ 4 Геолого-економічна оцінка вітчизняних родовищ залістих кварцитів, розділ 5 Геолого-економічне ранжирування залізрудних родовищ*).

**33.** Коржнев М.М., Шеляг-Сосонко Ю.Р., Яковлев Є.О., Трофимчук О.М., **Курило М.М.**, Андрієвський І.Д. (2009). Розвиток України в умовах глобалізації та скорочення природно-ресурсного потенціалу. К.: «Логос», 195. (*Особистий внесок здобувача – розділ 2 Споживання природних ресурсів та питання розвитку сировинної сфери, підрозділи 2.1.1, 2.1.3, 2.1.4. 2.1.5, 2.3, 3.1, 4.2 Перехід на альтернативні види палива і енергії, розвиток енергозберегаючих технологій, висновки*).



**34.** Довгий С.О., Шестоपालов В.М., Коржнев М.М., Яковлев Є.О., **Курило М.М.**, Андрієвський І.Д., Малахов І.М., Трофимчук О.М., Аксьом О.С., Захарій Н.В. (2007). Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення. К.: «Наукова думка», 347. (*Особистий внесок здобувача – розділ 3 Концептуальні основи реструктуризації мінерально-сировинної бази України, розділ 4 . Інформаційне забезпечення реструктуризації МСБ України, висновки*).

**Статті в іноземних виданнях:**

**35.** Коржнев М.Н., **Курило М.М.**, Захарій Н.В. (2014). Ресурсные и экологические критерии определения ассимиляционного потенциала геологической среды на примере горнодобывающих регионов Украины. *Вестник Томского государственного университета*, 387, 243–252. (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, , розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків*).

**36.** Плотніков О.В. **Курило М.М.** (2010). Прогнозная оценка запасов и ресурсов Правобережного района Украинского щита – наиболее перспективной сырьевой базы для качественной металлургии. *Горная промышленность*, 1, Спецвыпуск, 42-47. (*Особистий внесок здобувача – польові дослідження, обробка вторинної геологічної інформації, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків*).

**Інші наукові видання:**

**37.** **Курило М.М.** (2009). Екологічні показники при геолого-економічній оцінці родовищ корисних копалин на окремих стадіях геологічного вивчення та освоєння надр. *Екологічна безпека та природокористування. Збірник наукових праць*, 4, 100-110. (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, аналіз звітних даних надрокористувачів, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків*).

**38.** Плотніков О.В., Радованов С.В., **Курило М.М.** (2012). Особливості геолого-економічної оцінки складів окислених кварцитів. *Комбинированные технологии разработки месторождений глубокими карьерами и шахтами. Сб. науч. трудов Академии горных наук Украины*, 60-74. (*Особистий внесок здобувача – польові роботи, збір та статистична обробка даних, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків*).

**39.** Коржнев М.М., **Курило М.М.** (2007). Мінерально-сировинна база України в умовах глобалізації. *Стратегічна панорама*, 2, 14-22. (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, вибір методики, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків*).

**Публікації за матеріалами конференцій:**

**41. Kurylo M., Plotnikov O.** (2020). Quality parameters of Ukrainian iron ore deposits and their compliance with modern technological processes/ *Conference: 20th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference 16 - 25 August 2020, Albena, Bulgaria, Proceedings 2020*/DOI: 10.5593/sgem2020/1.1/s01.033 (**Scopus**). (Особистий внесок здобувача – польові дослідження, обробка вторинної геологічної інформації, висновки)

**42. Kurylo M., Plotnikov O., Prokopenko O.** (2020). Cut-off grade determination peculiarities for 3d modeling of Ukrainian BIF deposits/ *Conference: 20th SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference 16 - 25 August 2020, Albena, Bulgaria, Proceedings 2020*/DOI: 10.5593/sgem2020/1.1/s01.008 (**Scopus**). (Особистий внесок здобувача – обробка вторинної геологічної інформації, вибір параметрів для моделювання, обґрунтування висновків)

**43. Kurylo M., Plotnikov O., Stapay V.** (2020). Stratification analysis of productive layers of BIF deposits based on Markov chain theory/ *Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020 May 11-14, 2020, Kyiv, Ukraine*/ DOI: 10.3997/2214-4609.2020geo046 (**Scopus**). (Особистий внесок здобувача – статистична обробка вторинної геологічної інформації, висновки)

**44. Kurylo M., Plotnikov O., Stapay V.** (2020). GIS technology in the geological and technological modeling of iron ore deposits/ *Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020 May 11-14, 2020, Kyiv, Ukraine* /DOI:10.3997/2214-4609.2020geo043 (**Scopus**). (Особистий внесок здобувача – обробка вторинної геологічної інформації, вибір параметрів для моделювання, обґрунтування висновків)

**45. Plotnikov O., Kurylo M., Stapay V., Kolotievskyi R.** (2020). Geological modeling of shaft pillars parameters during mining operation of rich iron ores deposits under pressure aquifers/ *Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 10–13 November 2020, Kyiv, Ukraine* DOI: 10.3997/2214-4609.202056081 (**Scopus**). (Особистий внесок здобувача – обробка вторинної геологічної інформації, вибір параметрів для моделювання, обґрунтування висновків)

**46. Plotnikov O., Kurylo M., Stapay V.** (2020). Forecasting of geological hazards based on the reconstruction of tectonic stress fields within the Krivoy Rog ore region/ *Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 10–13 November 2020, Kyiv, Ukraine*. DOI: 10.3997/2214-4609.202056084 (**Scopus**). (Особистий внесок здобувача – польові дослідження, статистична обробка геологічної інформації, висновки)

**47. Plotnikov O., Kurylo M.** (2019). Statistical assessment of geological risks on the example of BIF deposits// *Conference: 18th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, May 2019, Kyiv, Ukraine, Volume 2019*, DOI: 10.3997/2214-4609.201902143 (**Scopus**). (Особистий внесок здобувача – польові дослідження, комплексування методів оцінки ризиків, статистична обробка геологічної інформації, висновки)

**48.** Plotnikov O., **Kurylo M.**, Stapaу V. (2019). Optimization of geological study's degree for iron ore deposits at mining exploration// *Conference: 18th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects*, May 2019, Kyiv, Ukraine, Volume 2019, DOI: 10.3997/2214-4609.201902139 (**Scopus**). (*Особистий внесок здобувача – аналіз нормативної бази геологорозвідувальних робіт, статистична обробка вторинної геологічної інформації, висновки*)

**49.** Plotnikov O., Kurylo M. (2019). Determination of discounting parameters in feasibility study of iron ore deposits// *Conference: 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019*. 28 June - 7 July 2019, Albena, Bulgaria, Book number:1.1 141-146 pp. DOI:10.5593/sgem2019/1.1/S01.018 (**Scopus**). (*Особистий внесок здобувача – багатоваріантні розрахунки, оцінка вартості запасів, висновки*)

**50.** **Kurylo M.**, Plotnikov O. (2018). Geological and mining risks assessment on example of Ukrainian BIF deposits/ *Conference: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018, SGEM2018 Conference Proceedings*, 02-08 July, 2018, Bulgaria, Albena, Vol.18, Issue 1.1, 167-172 pp, DOI: 10.5593/sgem2018/1.1/S01.022 (**Scopus**) (*Особистий внесок здобувача – польові дослідження, комплексування методів оцінки ризиків, статистична обробка геологічної інформації, висновки*)

**51.** Плотніков О.В., **Курило М.М.** (2018). Геолого-економічні чинники промислового значення супутніх корисних копалин залізородних родовищ Кривбасу/ *Матеріали четвертої науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування»*. Трускавець, 6–10 листопада 2018 р. К.: ДКЗ. С.261-265. (*Особистий внесок здобувача – польові дослідження, ретроспективний аналіз геологічної інформації, оцінка вартості запасів основних і супутніх корисних копалин, висновки*)

**52.** Плотніков О.В., **Курило М.М.**, Кошарна С.К. (2018). Визначення етапу використання надр залізородних родовищ Кривбасу за ресурсними та геолого-економічними показниками. *Матеріали четвертої науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування»*. Трускавець, 6–10 листопада 2018 р. К.: ДКЗ. С.255-260.

**53.** Михайлов В.А., **Курило М.М.** (2017). Оцінка інвестиційної привабливості об'єктів мінерально-сировинної бази України. *Матеріали четвертої науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування»*. Трускавець, 6–10 листопада 2017 р. К.: ДКЗ. С. 135–139. (*Особистий внесок здобувача – збір та обробка фондових матеріалів, прогноз попиту на мінеральну сировину, експертна оцінка кількості і вартості запасів, висновки*)

**54.** **Kurylo M.**, Plotnikov O. (2016). Commercial significance of magnetite quartzites reserves for underground mining//*16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Conference Proceedings*, Bulgaria, Albena, June 28 - July 6, 2016, Book1 Vol. 2, 127-132 pp DOI: 10.5593/SGEM2016/B12/S03.017 (**Scopus**). (*Особистий внесок здобувача –*

*постановка задач, польові дослідження, багатоваріантні техніко-економічні розрахунки, обґрунтування висновків)*

**55.** Плотніков О.В., Курило М.М. (2016). Мінерально-сировинна база окислених залізистих кварцитів України - реальність чи міф?// Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування.// *Матеріали Третьої науково-практичної конференції* (4–7 жовтня 2016 р., м. Трускавець). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). – К.: ДКЗ, 2016. – С.57-63. (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, вибір методики, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків*)

**56.** Plontikov A., Belous A. **Kurylo M.** (2016). Statistical models of results comparing of roller-bit and core drilling studying while mining exploration of iron ore deposits/15<sup>th</sup> EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects. May 2016, Kyiv, Ukraine, Volume 2016// <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=84600>  
DOI: 10.3997/2214-4609.201600499 (**Scopus**). (*Особистий внесок здобувача – аналіз нормативної бази геологорозвідувальних робіт, статистична обробка вторинної геологічної інформації, висновки*)

**57.** **Kurylo M.**, Plotnikov O. (2015). Commercial significance of high-grade iron ore deposits on example of Belozersky area (Ukraine)// Geology, Mineral Processing, Oil and Gas Exploration. *SGEM2015 Conference Proceedings*, Bulgaria, Albena, June 18-24, 2015, Book1 Vol. 1, 85-90 pp, DOI: 10.5593/SGEM2015/B11/S1.011 (**Scopus**). (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, статистична обробка даних, розрахунок параметрів кондицій для підрахунку запасів, багатоваріантні техніко-економічні розрахунки*)

**58.** Плотніков О.В., Курило М.М. (2015). До проблеми визначення параметрів дисконтування при геолого-економічних оцінках родовищ корисних копалин/ *Матеріали Другого науково-практичного семінару «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування»* Україна, м. Трускавець, 5 по 8 жовтня 2015 р.-Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). – К.: ДКЗ, 2015.-С.148-154. (*Особистий внесок здобувача – багатоваріантні розрахунки, оцінка вартості запасів, висновки*)

**59.** Estimation of flux reserve and resource base of Ukraine// Geology, Mineral Processing, Oil and Gas Exploration. *SGEM2015 Conference Proceedings*, Bulgaria, Albena, June 18-24, 2015, June 18-24, 2015, P. 135–140. (**Scopus**). (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, польові дослідження, багатоваріантні техніко-економічні розрахунки, обґрунтування висновків*)

**60.** Курило М.М., Захарій Н.В. (2015). Оцінка екологічних ризиків та збитків при експлуатації родовищ корисних копалин/ *Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства: матеріали II міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф.* 19–20 березн. 2015 р. – Тернопіль : Крок, 2015. – С.286-288. (*Особистий внесок здобувача – збір та обробка геологічної інформації, аналіз нормативної бази, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків*).



**61. Курило М.М.** (2015) Геолого-економічні критерії промислової цінності супутніх корисних копалин Кривбасу// *Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції "Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців*, 26-28 березня 2015 р., м. Кривий Ріг. - Видавничий центр Криворізького національного університету, 2015. - С. 110-115 (*Особистий внесок здобувача – збір та обробка геологічної інформації, аналіз нормативної бази геологорозвідувальних робіт, розрахунок геолого-промислових та техніко-економічних показників, обґрунтування висновків*).

**62. Плотніков О.В., Курило М.М., Токарь М.Ю.** (2014). Застосування ГІС при підрахунку запасів складнобудованих родовищ залізних руд// *Матеріали XIV Міжнародної конференції «Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти»*, 11-14 травня 2015 р. м.Київ., CiteWeb id: 20152380888/ DOI: 10.3997/2214-4609.201412416 (**Scopus**). (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, статистична обробка даних, вибір параметрів моделювання, розрахунок параметрів кондицій для підрахунку запасів*)

**63. Kurylo M., Plotnikov O.** (2014). Geological and economic evaluation of iron ore deposits of Pravoberezhny area (Ukraine) /14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014, www.sgem.org, SGEM2014 Conference Proceedings, June 19-25, 2014, Book 1, Vol. 1, 145-152 pp. (**Scopus**). (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, польові дослідження, багатоваріантні техніко-економічні розрахунки, обґрунтування висновків*)

**64. Kurylo M.** (2014). Commercial significance of associated minerals of iron ore Krivbas deposits (Ukraine)// Exploration and Mining. Mineral Processing// *Conference Proceedings. SGEM2014 Conference Proceedings*, June 19-25, 2014, Book 1, Vol. 1, 145-152 pp, DOI: 10.5593/SGEM2014/B11/S1.018 (**Scopus**). (*Особистий внесок здобувача – постановка задач, польові дослідження, багатоваріантні техніко-економічні розрахунки, обґрунтування висновків*)

**65. Плотніков О.В., Курило М.М.** (2014). Розвиток спеціальності економічна геологія у світлі головних перспектив відтворення вітчизняної мінерально-сировинної бази// *Матеріали Міжнародної наукової конференції «Роль вищих навчальних закладів у розвитку геології» (до 70-річчя геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка)*, 31 березня – 3 квітня 2014 р. (Київ, Україна). - К., 2014. – С.34-36. (*Особистий внесок здобувача – збір та обробка даних кадастру родовищ корисних копалин, експертна оцінка кількості і вартості запасів, висновки*)

**66. Плотніков О.В., Курило М.М.** (2014). Геолого-економічні та екологічні чинники розвитку залізорудної мінерально-сировинної бази України в інвестиційних проектах розвитку технологій прямого відновлення заліза// *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. Матеріали Першого науково-практичного семінару* (10–14 листопада 2014 р., м. Трускавець). Державна комісія України по запасах корисних копалин (ДКЗ). – К.: ДКЗ, 2014.- С. 23-29. (*Особистий внесок здобувача – збір та обробка фондових матеріалів, прогноз попиту на мінеральну сировину, експертна оцінка кількості і вартості запасів, висновки*)

**67. Курило М.М.** (2013). Геолого-экономические критерии промышленной ценности сопутствующих полезных ископаемых железорудных месторождений Кривбасса// *V Уральский горнопромышленный форум. I научно-практическая конференция с международным участием Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений.* г. Екатеринбург, 2013 г. С. 144-145. (Особистий внесок здобувача – польові дослідження, ретроспективний аналіз геологічної інформації, оцінка вартості запасів основних і супутніх корисних копалин, висновки)

**68. Korzhnev M., Kurylo M., Zahariy N.** (2013). Resource Functions and criteria for assimilation potential determining of the geological environment on example of mining region of Ukraine /*International Youth Science Environmental Forum “Ecobaltica - 2013” Book of Proceeding, St.-Petersburg.- 2013.-P.120-122.* (Особистий внесок здобувача – збір та обробка геологічної інформації, визначення залежностей між основними геолого-промисловими параметрами об'єктів надрокористування та показниками екологічного навантаження, обґрунтування висновків).

**69. Плотніков О.В., Курило М.М.** (2012). Геологічна інформація: класифікації, можливості використання, права власності та визначення вартості// *Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів»,* 22-24 листопада 2012 р. м. Кривий Ріг.-Видавничий центр Криворізького національного університету. - 2012. - С. 123-127. (Особистий внесок здобувача – аналіз нормативної бази геологорозвідувальних робіт, оцінка якості і вартості первинної та узагальненої геологічної інформації, висновки)

**70. Плотніков О.В., Курило М.М.** (2011). Особливості вартісної переоцінки родовищ, які розробляються, на прикладі вітчизняних родовищ багатих залізних руд // *Тези наукової міжнародної конференції «Наукові засади геолого-економічної оцінки мінерально-сировинної бази України та світу».* - К: Ніка-центр. - 2011. - С. 42-44. (Особистий внесок здобувача – польові дослідження, ретроспективний аналіз геологічної інформації, оцінка вартості запасів основних і супутніх корисних копалин, висновки)

**71. Плотніков О.В., Курило М.М.** (2010). Особливості визначення мінімального промислового вмісту корисного компоненту для вітчизняних родовищ залістистих кварцитів, які розробляються// *Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів».*-Видавничий центр Криворізького технічного університету. - 2010. - С. 102-105. (Особистий внесок здобувача – польові дослідження, обґрунтування параметрів кондицій для підрахунку запасів, визначення мінімального промислового вмісту заліза, висновки)

## АНОТАЦІЯ

**Курило М.М. Ресурсні обмеження в освоєнні родовищ залізних руд в умовах переходу до якісної металургії і відновної енергетики.** - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.19 – економічна геологія. – ННІ «Інститут Геології», Київський Національний Університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, 2021.

В роботі запропоновані напрями розвитку вітчизняних родовищ, які в результаті дають покращення якості залізорудної сировини. Це технологічна модернізація схем збагачення, оптимізація кондицій для підрахунку балансових запасів, відновлення законсервованих об'єктів підземного видобутку, оцінка промислового значення супутніх корисних копалин. Проведено градацію залізорудних родовищ за співвідношенням мінімального промислового вмісту та собівартості виробництва. За результатами багатоваріантних розрахунків визначено, що найбільший ризик втрати промислового значення для великої частки запасів фіксується для об'єктів підземного видобутку магнетитових кварцитів, середній ризик - для Артемівського, Петрівського родовищ та Великої Глеюватки. Родовища багатих залізних руд мають параметри розробки, які забезпечують ефективно відпрацювання навіть при значних ускладненнях гірничо-технічних умов, які можуть призводити до +30% зростання собівартості.

**Ключові слова:** родовище, залізні руди, промислові запаси, якість руди, мінімальний промисловий вміст, пряме відновлення заліза, рентабельність.

## SUMMARY

**Kurylo M.M. Resource constraints in the development of iron ore deposits in the transition to quality metallurgy and renewable energy.** – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of geological sciences on a speciality 04.00.19 - economic geology. – Kyiv National Taras Shevchenko University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the substantiation of the main directions of development of the domestic iron ore raw material base and the determination of the limited geological and industrial parameters of the profitable development of iron ore deposits. In terms of the number of mineable reserves, Ukraine has long been one of the ten largest countries in the world, but the quality of domestic ore deposits is below the average among the main producers of iron ore. This is due to the involvement of a significant proportion of poor ores - ferrous quartzites, which need to be enriched.

The dissertation proposes the main directions of development of the domestic iron ore complex, which as a result improve the quality of iron ore raw materials. For *iron quartzite* deposits it is technological modernization and optimization of ore dressing schemes, improvement of source ore quality due to optimization of conditions for delineation of balance reserves, restoration of preserved underground mining facilities for extraction of quality reserves, development of new explored and searched

reserves for underground conditions. For deposits of *rich iron ores*, these areas are as follows: o valuation of the industrial value of reserves at considerable depths, creation of new and renewal of existing means for extraction of existing balance reserves, assessment of the industrial value of related minerals, including ferrous quartzites. For each of the proposed options for the development of deposits, detailed sales schemes were developed and consolidated technical and economic calculations were made, which allowed identifying the most effective areas in terms of their cost and timing of implementation.

To optimize the geological and industrial parameters of the development of iron quartzite deposits, it is proposed to use the minimum industrial content of the useful component (cut-off grade). The minimum industrial content as a criterion of the industrial value of reserves is determined by the ratio of production costs, quality of iron ore products, sales prices, extraction and impurity.

The dissertation also determined the relationships between the initial parameters and the minimum industrial iron content for each deposit. The greatest influence on this conditions parameter has the cost of production of iron ore concentrate or commodity ore. The cost indicator aggregates in value the following components: 1) production costs, which reflect the complexity of the geological structure and mining conditions; 2) the cost of processing and dressing of raw materials, reflecting the technological characteristics of ores.

The gradation of iron ore deposits according to the ratio of the minimum industrial content and the cost of production is carried out. The following groups are distinguished: 1) with the highest minimum industrial iron content and the highest cost indicators are the group of deposits - Artemivske, Petrivske, and Pershotravneva mine; 2) with an average minimum iron content of industrial and production costs – the following open-pit deposit: Pershotravneve, Horyshnye-Plavnynske, Skelevatske Magnetytove, Velyka Hleyuvatka , Valyavkynske , Novokryvorizke; 3) with the lowest values of the minimum industrial content of iron and the cost of production - the deposit Inguletske, Yeristivske and most deposits of rich iron ore.

According to the results of multivariate calculations, it is determined that the greatest risk of loss of industrial value for a large share of reserves is recorded for objects of underground extraction of magnetite quartzites. The average risk of the unprofitability of industrial reserves is determined for the projects of Artemivske, Petrivske and Velyka Gleyuvatka. Deposits of rich iron ore have development parameters that provide efficient mining even with significant complications of mining conditions, which can lead to + 30% increase in cost.

The proposed new rent assessment component C rents deposits, defined as the difference (relative) performance between the actual content of  $Fe_{\text{magn.}}$  and the minimum industrial content (cut-off grade) of  $Fe_{\text{magn.}}$  individually by deposits.

Further development of minerals commodity in domestic iron ore deposits can be effective in improving the quality of marketable products (ores and concentrates) containing 67-70% Fe, and optimizing production by the needs of new markets.

**Keywords:** deposit, iron ores, industrial reserves, ore quality, cut-off grade, direct reduction of iron, profitability.