

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища  
Національної Академії наук України»

Стрельцов Віталій Олегович

УДК 553.31 (477.63)

**ГЕОЛОГІЯ ПОКЛАДІВ РИБЕКІТИЗОВАНИХ  
МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ**

Спеціальність 04.00.11 – геологія металевих і неметалевих корисних копалин

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата геологічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі геології і прикладної мінералогії Криворізького національного університету Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор геолого-мінералогічних наук, професор  
**Євтехов Валерій Дмитрович**, Криворізький національний університет, завідувач кафедри геології і прикладної мінералогії, м. Кривий Ріг.

**Офіційні опоненти:** доктор геологічних наук  
**Покалюк Володимир Васильович**, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», провідний науковий співробітник відділу спеціальної металогенії, м. Київ;

доктор геологічних наук  
**Сукач Віталій Васильович**, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П.Семененка НАН України, виконуючий обов'язки завідувача відділу геології і геохімії рудних родовищ, м. Київ.

Захист відбудеться «8» жовтня 2020 р. об 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.192.01 у Державній установі «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної Академії наук України» за адресою: 03680, м. Київ, пр. Палладіна, 34а. Тел./факс: +38 (044) 502-12-29. Електронна пошта: [igns@nas.gov.ua](mailto:igns@nas.gov.ua).

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної Академії наук України» за адресою: 03680, м. Київ, пр. Палладіна, 34а.

Автореферат розісланий «7» вересня 2020 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 26.192.01  
кандидат геолого-мінералогічних наук



В.Г. Яценко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Залізородні рибекітові метасоматити (рибекітові апомагнетито-кварцитові натрієві метасоматити) відносяться до найбільш поширених різновидів бідних магнетитових руд низки родовищ Криворізького басейну, які розробляються гірничозбагачувальними комбінатами (ГЗК) з метою виробництва залізородного концентрату: Первомайського, Ганнівського, Інгулецького, Валявкінського, Петрівського, Артемівського та ін. Ці метасоматити утворились внаслідок епігенетичних процесів докембрійського лужного натрієвого метасоматозу. Теоретичні питання геології докембрійських лужних натрієвих, у тому числі рибекітових метасоматитів розглянуті в роботах Й.І.Танатара, Г.К.Фельдмана, М.Г.Світальського, П.М.Каніболоцького, Ю.Ір.Половинкіної, Я.М.Белєвцева, Р.Я.Белєвцева, М.О.Єлісеєва, О.П.Нікольського, О.І.Стригіна, В.Г.Кушева, М.П.Семененка, Б.І.Омельяненка, Є.К.Лазаренка, І.П.Іванова, М.О.Ярошук, О.В.Пушкарьова, В.О.Синицина, М.В.Рузіної, В.Д.Євтехова, В.Г.Верховцева, І.І.Михальченка, В.В.Покалюка, В.В.Сукача та ін.

Рибекітизація магнетитових кварцитів відбулась внаслідок дії вуглекисотно-натрієвих гідротермальних розчинів на породи залізородної товщі Кривбасу і супроводжувалась заміщенням первинних кварцу, магнетиту, гематиту, кумінгтоніту новоутвореними рибекітом та іншими мінералами, а також перекристалізацією індивідів і агрегатів первинних мінералів, у тому числі магнетиту, зміною текстури й структури магнетитових кварцитів – тобто зміною властивостей руд, які визначають їх збагачуваність, можливість виробництва з них високоякісного магнетитового концентрату. Протягом останніх років спостерігається стійка тенденція підвищення вимог металургійних підприємств до його якості.

В поточний час середній вміст заліза в складі концентрату, який виробляють ГЗК Кривбасу, становить близько 65 мас.%, але останнім часом постала необхідність підвищення цього показника до 68-70 мас.%. Один з головних напрямків роботи – переоцінка мінерально-сировинної бази залізородних родовищ, уточнення існуючих уявлень про вплив геологічних показників на збагачуваність руд, актуалізація їх геолого-технологічних класифікацій, корегування на основі цих даних геолого-структурних, геолого-технологічних карт родовищ, оптимізація технологій видобутку руд, їх усереднення, рудопідготовки та збагачення.

Проведення експлуатаційної геологічної розвідки Первомайського родовища Північного ГЗК, розширення та заглиблення кар'єру сприяло накопиченню значного об'єму новітніх даних про геологічну позицію, морфологію рудних покладів, мінеральний, хімічний склад руд. Для родовища це першочергово стосується рибекітизованих магнетитових кварцитів, які складають близько 40% загальної маси його продуктивної товщі. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю узагальнення та аналізу результатів геологічних робіт останніх 20-30 років, існуючих геологічних уявлень про будову родовища та склад, властивості руд з метою вирішення назрілих проблем підвищення ефективності роботи комбінату.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з Регіональною науковою програмою дослідження мінерально-сировинної бази Криворізького залізородного басейну, яку виконує

Криворізький національний університет спільно з ГЗК Кривбасу. Дослідження були складовою частиною Програми науково-практичної співпраці кафедри геології і прикладної мінералогії КНУ та геологічних служб Північного, Інгулецького ГЗК.

**Об'єкт дослідження** – рибекітові метасоматити залізисто-кремнистої формації Криворізького басейну.

**Предмет дослідження** – геологічна позиція, будова тіл рибекітизованих магнетитових кварцитів, їх склад та показники збагачення.

**Мета дослідження** – уточнення існуючих даних про локалізацію, морфологію тіл рибекітизованих магнетитових кварцитів, встановлення закономірностей зональної будови метасоматичних тіл, варіативності складу та збагачуваності рибекітизованих магнетитових кварцитів як сировини для виробництва залізорудного концентрату.

**Завдання дослідження:** 1) всебічний аналіз результатів опублікованих і фондкових робіт з питань генезису, геологічної позиції, будови тіл первинних і метасоматично змінених магнетитових руд Кривбасу, в тому числі рибекітизованих магнетитових кварцитів, їх мінерального, хімічного складу, фізичних, технічних, технологічних властивостей; 2) проведення геологічних спостережень локалізації, морфології, зональності метасоматичних тіл дев'яти родовищ Криворізького басейну, в тому числі Первомайського родовища, обраного в якості пріоритетного об'єкту досліджень; 3) відбір проб представницької колекції первинних магнетитових кварцитів та їх різної мірою рибекітизованих різновидів; 4) визначення закономірностей зміни мінерального, хімічного складу, структури, текстури магнетитових кварцитів у зв'язку з рибекітизацією; 5) дослідження рудоутворювальних і другорядних мінералів рибекітових метасоматитів як компонентів залізорудної сировини; 6) геологічна оцінка впливу метасоматичних перетворень магнетитових кварцитів на їх речовинні показники, що впливають на збагачуваність руд; 7) експериментальні геолого-технологічні дослідження незмінених і різною мірою рибекітизованих бідних магнетитових руд з визначенням впливу метасоматозу на їх технологічні параметри; 8) узагальнення отриманих даних і актуалізація геолого-технологічної класифікації руд Первомайського родовища.

**Методи дослідження:** 1) відбір точкових геологічних проб бідних магнетитових руд Первомайського та інших родовищ Кривбасу; 2) геологічне картування метасоматичних тіл із встановленням закономірностей їх локалізації та внутрішньої будови; 3) повний та скорочений фазовий аналіз заліза в складі руд – для оцінки первинних магнетитових кварцитів і рибекітових метасоматитів як сировини для виробництва залізорудного концентрату; 4) повний та скорочений силікатний хімічний аналіз – для встановлення варіативності складу різною мірою рибекітизованих магнетитових руд; 5) мікроскопічні дослідження в прохідному та відбитому світлі для діагностики мінералів, кількісних мінералогічних підрахунків, визначення морфологічних особливостей індивідів і агрегатів рудних і нерудних мінералів, структури, текстури рибекітових метасоматитів – показників, що визначають збагачуваність бідних магнетитових руд; 6) мікрозондове визначення хімічного складу рибекіту – з метою виділення його хімічних різновидів, утворених за рахунок різних за складом первинних магнетитових кварцитів; 7) встановлення деталей морфології та внутрішньої будови індивідів і агрегатів рудних і нерудних мінералів з використанням електронного мікроскопу; 8) порівняльне експериментальне моделювання виробни-

цтва залізорудного концентрату з незмінених і рибекітизованих магнетитових кварцитів; 9) визначення трендів зміни технологічних показників первинних магнетитових кварцитів зі зростанням ступеню їх рибекітизації; 10) статистична обробка геологічних і супровідних мінералогічних, хімічних, технологічних даних.

Збір, обробка та аналіз результатів досліджень, підготовка й оформлення дисертації виконувались з використанням допоміжних методів макро- та мікрофотозйомки, комп'ютерної обробки цифрових і графічних даних тощо.

**Наукова новизна одержаних результатів:** 1) уперше встановлені кількісні співвідношення мінеральних різновидів натрієвих метасоматитів у складі їх тіл, що входять до продуктивних товщ залізорудних родовищ Кривбасу: рибекітові – 91% від загальної маси тіл; егіринові – 8%; альбітові – 1%; 2) уперше встановлені закономірності зміни складу, фізичних, технологічних властивостей рибекітизованих магнетитових кварцитів, виявлені три підзони в будові зон рибекітизації магнетитових кварцитів (у напрямку посилення інтенсивності метасоматозу): слабо рибекітизованих магнетитових кварцитів, рибекіт-магнетитових кварцитів, магнетит-рибекітових метасоматитів (рибекітитів); 3) доведено, що рибекітизація супроводжувалась спрямованим спрощенням мінерального складу руд: заміщенням полімінеральних асоціацій магнетитових кварцитів бімінеральною (рибекіт+магнетит) асоціацією магнетит-рибекітових метасоматитів; 4) уперше показано контраверсійність впливу рибекітизації на збагачуваність руд: зменшення показника виходу концентрату в середньому з 52,82 до 40,27% і зростання вмісту заліза в складі кінцевого корисного продукту – концентрату – з 66,87 до 68,97 мас. %.

**Наукове значення роботи.** Уточнення даних про локалізацію та морфологію тіл рибекітизованих магнетитових кварцитів, встановлення закономірностей їх зональної будови, виявлення характеру варіативності їх складу та збагачуваності у відповідності з геологічною зональністю – з метою підвищення ефективності картування покладів, видобутку й переробки бідних магнетитових руд Первомайського та інших родовищ Криворізького басейну.

**Особистий внесок здобувача.** Автор протягом 2013-2019 рр. проаналізував поширення рибекітизованих магнетитових кварцитів у продуктивних товщах усіх дев'яти родовищ, які розробляються п'ятьма гірничозбагачувальними комбінатами Криворізького басейну; узагальнив дані про інтенсивність рибекітизації руд різних родовищ і обрав у якості пріоритетного для виконання досліджень Первомайське родовище [у відповідності з наведеним нижче переліком публікацій за темою дисертації, позиції 1-26]. Провів систематичне геологічне вивчення продуктивної та вмісних товщ родовища, відібрав 247 проб рибекітизованих магнетитових кварцитів і їх метасоматично незмінених різновидів. З матеріалу всіх проб були виготовлені понад 600 прозорих і полірованих шліфів, були виконані 150 хімічних та фазових аналізів. Отримані результати автор використав для систематизації залізорудних рибекітових метасоматитів за ступенем метасоматичних змін [6, 11, 17, 26]. Вперше дослідив неоднорідність будови зон рибекітизації залізорудних натрієвих метасоматитів, виділив у їх складі три підзони [1, 2, 5, 15, 16, 25]. Уточнив існуючі дані про локалізацію та морфологію тіл рибекітових метасоматитів, залежність цих особливостей від їх положення у продуктивній товщі родовища [4, 7, 12, 14, 15]. За результатами мікроскопічних досліджень, визначив закономірності впливу метасоматозу на головні по-

казники морфології, анатомії рудних і нерудних мінералів, текстури, структури руд – параметрів, що визначають якість рибекітизованих магнетитових кварцитів як залізорудної сировини [8, 10]. Для встановлення деталей морфології, внутрішньої будови та складу рудних і нерудних мінералів були проведені мікросондові та електронномікроскопічні дослідження [6, 8]. З використанням одержаних геологічних даних у відповідності з технологічною схемою збагачувальної фабрики Північного ГЗК, автор провів експериментальні дослідження збагачуваності первинних та різною мірою рибекітизованих магнетитових кварцитів [3, 13, 19, 20]. Їх результати були використані автором для встановлення закономірностей зміни технологічних показників магнетитових руд у залежності від інтенсивності їх метасоматичних перетворень. Отримані дані були основою для розробки актуалізованої геолого-технологічної класифікації руд Первомайського родовища [9].

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в: 1) актуалізації методів геолого-структурного, геолого-мінералогічного, геолого-технологічного картування покладів метасоматично змінених бідних магнетитових руд родовища; 2) встановленні за результатами дослідження природних об'єктів і геолого-технологічних експериментів закономірностей впливу інтенсивності рибекітизації на збагачуваність бідних магнетитових руд; 3) визначенні якісних і кількісних показників різною мірою рибекітизованих магнетитових кварцитів як основи для розробки уточненої геолого-технологічної класифікації руд, оптимізації технологічних схем усереднення руд перед подачею на збагачувальні фабрики. Результати геологічних досліджень, висновки та практичні рекомендації автора дисертації впроваджені у виробництво на Північному (акт впровадження №5541/19 від 04.10.2019 р.) та Інгулецькому (акт впровадження №17/6694 від 31.07.2019 р.) ГЗК, використовуються при геологічному картуванні родовищ, уточненні технологічних схем усереднення руд перед подачею на дробарні, збагачувальні фабрики.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень, одержаних у процесі роботи над дисертацією, були представлені на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців» (м. Кривий Ріг, 2013, 2017, 2018, 2019 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів» (м. Кривий Ріг, 2012, 2014, 2016, 2018 рр.); Міжнародній науково-технічній конференції «Сталий розвиток промисловості та суспільства» (м. Кривий Ріг, 2013, 2017, 2018, 2019 рр.); науковій конференції «Метасоматизм та рудоутворення» (м. Київ, 2016 р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології розробки рудних родовищ, еколого-економічні наслідки діяльності підприємств гірничо-металургійного комплексу» (м. Кривий Ріг, 2017 р.); XI Конгресі збагачувальників країн СНД (м. Москва, 2017 р.); Міжнародному мінералогічному семінарі «Сучасні проблеми теоретичної, експериментальної та прикладної мінералогії (Юшкинські читання-2018)» (м. Сиктивкар, 2018 р.).

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковані 26 наукових праць, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях України, з яких 4 у наукових фахових виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз; а також 3 статті в наукових виданнях і 17 тез доповідей у збірниках наукових конференцій.

**Структура і об'єм роботи.** Дисертація складається з анотації, вступу, 7 розділів, які включають 51 рисунок і 15 таблиць, висновків, списку літератури з 256 найменувань і додатків. Текстова частина дисертаційної роботи викладена на 109 сторінках.

На всіх етапах виконання досліджень автор користувався допомогою та консультаціями співробітників геологічних служб п'яти гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу. Велику допомогу консультаціями, порадами у виборі методів досліджень, обробки, узагальнення, аналізу отриманих результатів автору дисертації надали співробітники кафедри геології і прикладної мінералогії Криворізького національного університету доктори геологічних наук, професори А.А.Березовський, О.В.Плотніков, кандидати геолого-мінералогічних і геологічних наук доценти О.М.Трунін, В.В.Стеценко, В.М.Харитонов, О.Я.Смірнов, Л.М.Ковальчук, А.В.Євтехова, Г.Я.Смірнова, С.В.Тіхлівець, асистенти В.О.Андрейчак, О.С.Демченко, аспіранти та наукові співробітники В.В.Філенко, Д.М.Прилепа, М.О.Шепелюк, Т.В.Зайченко.

Автор висловлює щире подяку науковому керівникові роботи, доктору геолого-мінералогічних наук, професору Валерію Дмитровичу Євтехову.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У першому розділі «**Геологічний нарис Криворізького басейну**» наведені результати геологічних спостережень автора, які базувались на даних попередніх дослідників Кривбасу: Й.І.Танатара, Г.К.Фельдмана, М.Г.Світальського, Е.К.Фукса, Ю.Ір.Половинкіної, П.М.Каніболоцького, Я.М.Белєвцева, Р.Я.Белєвцева, М.П.Семененка, Є.К.Лазаренка, М.О.Єлісеєва, В.Г.Кушева, О.П.Нікольського, І.П.Іванова, М.О.Ярощук, О.І.Стригіна, В.І.Луцицького, І.В.Александрова, І.І.Михальченка, О.В.Пушкарьова, В.Г.Верховцева, О.В.Синицина, М.В.Рузіної, В.Д.Євтехова, В.В.Покалюка, В.В.Сукача та ін. В розділі містяться відомості про геологічну позицію, будову Криворізької структури, обумовлену її положенням між Кіровоградським і Середньопридніпровським мегаблоками Українського щита (УЩ). Охарактеризовані чотири залізородні райони Кривбасу. Розглянуті питання стратиграфії, тектоніки, магматизму, метаморфізму, гідротермальних явищ, гіпергенезу – головних геологічних процесів, які визначили сучасну будову залізородних і вмісних товщ, склад руд і гірських порід Криворізької структури. Головну увагу приділено питанням локалізації, морфології тіл залізородних натрієвих, в тому числі рибекітових метасоматитів, походження метасоматизуючих розчинів, складу продуктів метасоматозу. Наведені відомості про комплексну мінерально-сировинну базу родовищ Кривбасу, наголошено на багатоетапності її формування, розглянутий вплив геологічних процесів на формування покладів металевих і неметалевих корисних копалин.

В другому розділі «**Літературний огляд**» узагальнені та проаналізовані результати 256 попередніх робіт дослідників метасоматичних утворень залізо-кремнистої формації родовищ Криворізького басейну та аналогічних родовищ інших регіонів УЩ. Рибекіт як породоутворювальний мінерал був уперше згаданий В.Є.Тарасенком (1903) у описі кристалічних сланців і магнетитових кварцитів. Грунтовні характеристики залізородних натрієвих метасоматитів наведені в монографіях М.Г.Світальського та ін. (1932), П.М.Каніболоцького (1946). У повоєнний час на-

трієві метасоматити вивчалися як вмісні утворення багатих залізних та уранових руд (Я.М.Белевцев, 1950, 1955; Я.М.Белевцев та ін., 1959, 1962; М.О.Єлісеєв та ін., 1962; В.Г.Кушев, 1972; Р.Я.Белевцев та ін., 1989; О.В.Пушкарьов та ін., 1981, 1986; І.І.Михальченко, 2017; В.Г.Верховцев та ін., 2017). Новим поштовхом для досліджень було залучення до експлуатації родовищ метасоматично змінених бідних магнетитових руд Первомайського, Ганнівського, Жовторіченського, Петрівського та інших родовищ (Б.І.Пірогов та ін., 1989). Подальші численні публікації містять відомості про умови утворення, локалізацію, склад натрієвих, у тому числі рибекітових метасоматитів та їх використання як залізних, рідкіснометальних руд. Стосовно геологічної позиції тіл натрієвих метасоматитів, більшість попередніх дослідників наголошувала на їх просторовому тяжінні до залізистих горизонтів саксаганської світи криворізької серії в місцях їх перетину розривними порушеннями, які відігравали роль підвідних каналів для метасоматизуючих вуглекисло-натрієвих розчинів. Найбільшу увагу дослідників привернула проблема утворення егіринітів, рибекітитів, альбітитів. Сформувались чотири головні гіпотези щодо їх генезису: 1) гіпотеза гідротермально-метасоматичного утворення в зв'язку з проявом постметаморфічного магматизму (В.І.Луцицький, А.М.Чураков, Ю.Ір.Половинкіна, М.П.Семененко, Д.С.Коржинський, О.П.Нікольський, О.І.Стригін); 2) гіпотеза метаморфічного походження (П.М.Каніболоцький, В.С.Домарев, В.І.Скаржинський, І.В.Александров, М.О.Ярошук, С.Klein, Н.Р.Eugster, А.Ф.Trendall, Т.Міуано); 3) гіпотеза глибинного частково ювенільного походження натрій-вмісних флюїдів (Я.М.Белевцев, М.О.Єлісеєв, В.Г.Кушев, О.В.Синицин); 4) гіпотеза конвергентності натрієвих метасоматитів (О.І.Стригін, М.О.Ярошук). У низці робіт розглядалися особливості складу натрієвих метасоматитів (Я.М.Белевцев, М.П.Семененко, Ю.Ір.Половинкіна, О.І.Стригін, М.О.Єлісеєв, В.Г.Кушев, В.Д.Євтехов). Були досліджені новоутворені (рибекіт, егірин, альбіт та ін.) та реліктові (магнетит, гематит, кварц, кумінгтоніт та ін.) мінерали, породотворні та домішкові хімічні компоненти. В роботах В.Д.Євтехова вперше був наведений опис мінералогічної, геохімічної зональності тіл залізородних натрієвих метасоматитів як результат еволюції метасоматизуючих розчинів у процесі їх міграції в товщах залізистих порід. Глибокі всебічні дослідження натрієвих метасоматитів стосувались їх використання як енергетичної (уран), рідкіснометальної (скандій, ванадій та ін.) та залізородної сировини. Щодо останньої, в роботах Б.І.Пірогова, В.Д.Євтехова були визначені методи геологічного картування метасоматичних тіл, залежності їх мінерального, хімічного складу від термодинамічних умов метасоматозу, збагачуваності метасоматитів. Були розроблені геолого-технологічні класифікації метасоматично змінених бідних магнетитових руд низки родовищ.

В третьому розділі «**Вихідний матеріал і методика досліджень**» наголошено, що дисертація написана за результатами геологічних досліджень автора з урахуванням даних з 256 опублікованих робіт. Були залучені також відомості з 32 фондів джерел. Власні дослідження автор виконав з використанням матеріалу 247 рядових проб магнетитових кварцитів і їх різною мірою рибекітизованих різновидів, відібраних у забоях та із заскладованого рудного матеріалу Первомайського кар'єру Північного ГЗК. З метою визначення складу залізородних метасоматитів, віднесення їх до виділених автором різновидів, визначення структурних, текстурних показників були ви-



готовлені 320 прозорих і 320 полірованих шліфів. Для діагностики окремих мінералів, встановлення морфологічних особливостей індивідів і агрегатів магнетиту та інших рудогенних мінералів, які визначають збагачуваність магнетитової сировини, виконувались електронномікроскопічні та мікросондові дослідження. За одержаними результатами, були виділені три підзони в межах рибекітової зони тіл залізородних натрієвих метасоматитів. Матеріал 47 найбільш представницьких рядових проб, які характеризували підзони, був скомпонований у чотири об'єднані проби: незмінених магнетитових кварцитів, рибекітизованих магнетитових кварцитів, рибекіт-магнетитових кварцитів і магнетит-рибекітових метасоматитів (рибекітитів). Для чотирьох об'єднаних проб були проведені серії геолого-технологічних досліджень з метою визначення впливу рибекітизації на показники збагачуваності бідних магнетитових руд. Хід експериментів і речовинні показники продуктів збагачення контролювались методами скороченого фазового аналізу заліза та повного силікатного аналізу. Для накопичення, обробки, аналізу геологічних даних, їх представлення в аналітичному та графічному вигляді були використані апробовані комп'ютерні програми. Результати досліджень використовуються для уточнення геолого-технологічних класифікацій руд, методики геолого-структурного та геолого-технологічного картування рудних покладів, вдосконалення методів усереднення руд перед їх дробленням і збагаченням, внесення коректив до існуючої технологічної схеми збагачення метасоматично змінених бідних магнетитових руд Первомайського, а також Інгулецького та інших родовищ Кривбасу.

В четвертому розділі «**Геологічна позиція тіл рибекітових метасоматитів**» викладені результати геологічних спостережень автора в забоях Первомайського кар'єру та аналізу картографічного матеріалу з метою визначення положення тіл рибекітових метасоматитів у межах геологічних об'єктів різного масштабу. В підрозділі **4.1. «Криворізький басейн»** наведені дані про поширення залізородних натрієвих метасоматитів у продуктивних товщах 14 родовищ Кривбасу (табл. 1).

Одержані результати підтверджують дані попередніх дослідників (Я.М.Белєвцев, М.П.Семененко, М.О.Єлісеєв, Є.К.Лазаренко, В.Д.Євтехов) про високу представленість натрієвих метасоматитів у складі залізистих порід Північного залізородного району Кривбасу (Первомайське, Ганнівське родовища). Це пояснюється локалізацією родовищ у ділянці перетину двох глибинних розломів: субмеридіонального Криворізько-Кременчуцького та субширотного Девладівського. Розривні порушення останнього були каналами фільтрації метасоматизуючих розчинів. Підтвердженням цього є суттєве зменшення представленості натрієвих (головним чином, рибекітових) метасоматитів у залізородній товщі в напрямку на південь і на північ від центральної частини Первомайського родовища, позиція якої відповідає ділянці перетину глибинних розломів. Для інших родовищ просторове тяжіння натрієвих метасоматитів до розривних порушень також чітко простежується.

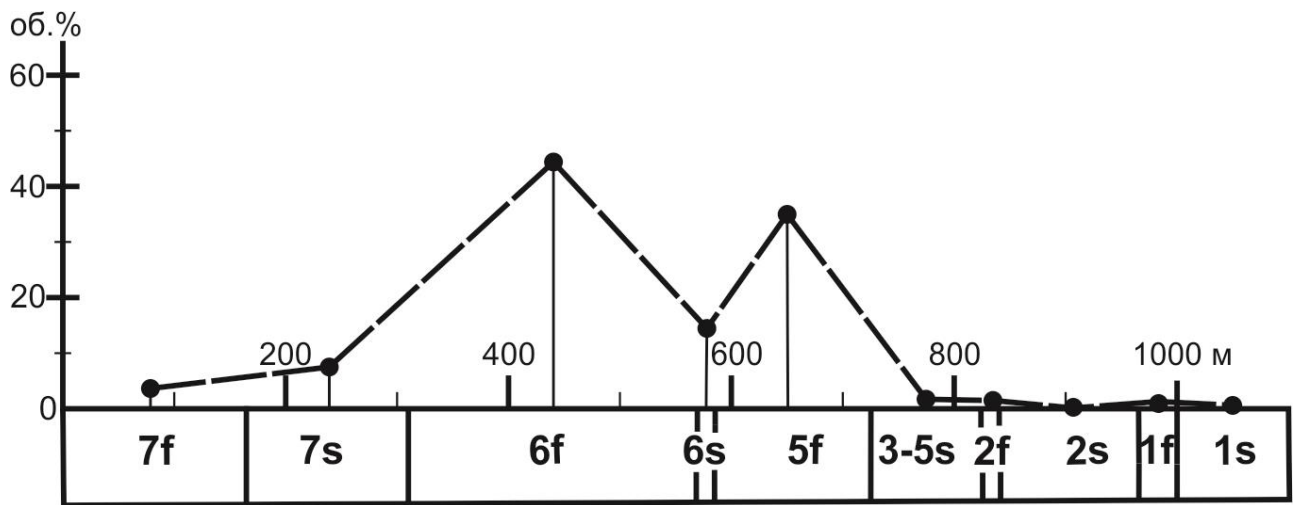
Підрозділ **4.2. Родовища**. Детальне вивчення локалізації рибекітових метасоматитів у розрізі саксаганської світи автор виконав на прикладі Первомайського родовища, в складі саксаганської світи якого присутні п'ять залізистих і п'ять сланцевих горизонтів. Отримані результати дозволили уточнити попередні дані В.Д.Євтехова та ін. Максимальним поширенням рибекітових метасоматитів характеризуються п'ятий і шостий залізисті горизонти, які складають продуктивну залізородну товщу

родовища (рис. 1). Саме в їх розрізах присутні найбільш високозалізисті магнетитові кварцити, оптимальні за складом для активного прояву натрієвого метасоматозу.

Таблиця 1.

Поширення рибекітових та інших натрієвих метасоматитів (об'ємн.%) у розрізах продуктивних товщ родовищ Криворізького басейну

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



**Рис. 1.** Поширення рибекітових метасоматитів у стратиграфічних горизонтах, які складають розріз саксаганської світи Первомайського родовища.

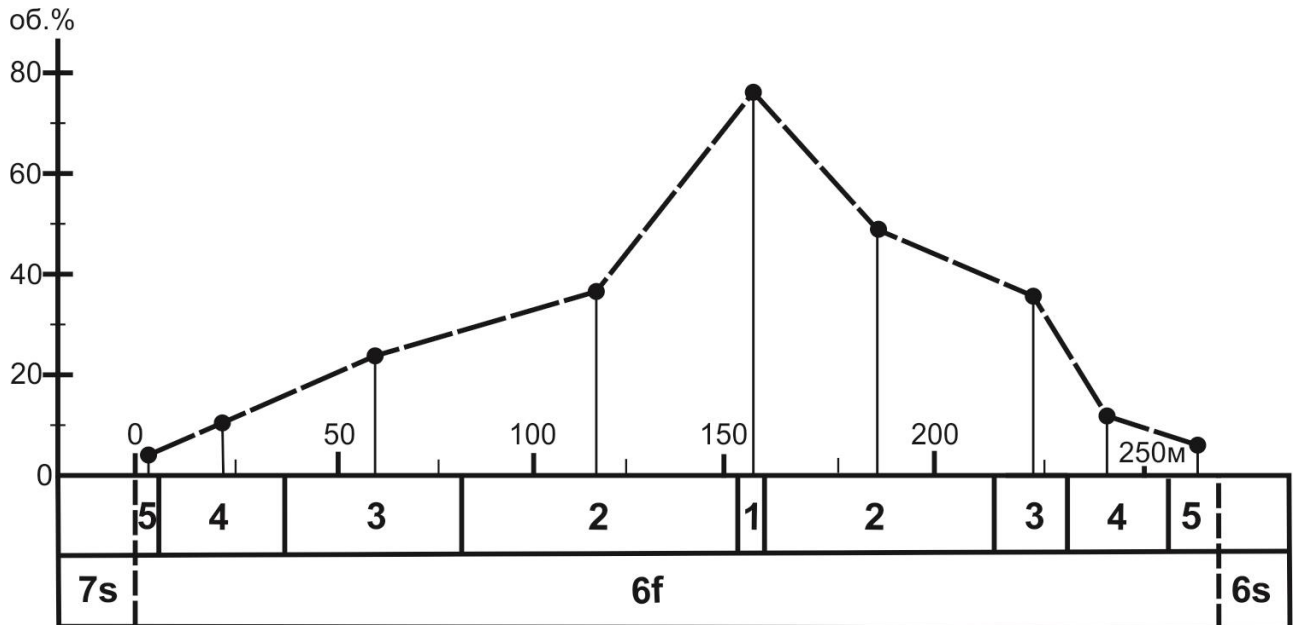
Стратиграфічні горизонти: 7f – сьомий залізистий; 7s – сьомий сланцевий; 6f – шостий залізистий ... 1f – перший залізистий; 1s – перший сланцевий.

Цифрами (200 ... 1000 м) на розрізі показана відстань від верхнього контакту сьомого залізистого горизонту, тобто від верхнього контакту саксаганської світи.

Дослідження геологічної позиції тіл залізородних рибекітових метасоматитів інших родовищ Криворізького басейну (Ганнівське, Глеюватське, Валявкінське, Інгулецьке) підтвердили закономірність, виявлену для Первомайського родовища. Мак-

симальні метасоматичні зміни характерні для найбільш потужних залізистих горизонтів, складених найбільш високозалізистими магнетитовими кварцитами.

Підрозділ **4.3. Залізисті горизонти.** Дослідження були проведені для шостого залізистого горизонту Первомайського родовища – головної складової його продуктивної товщі. Центральну частину горизонту складають залізнослюдко-магнетитові кварцити, проміжну висячого та лежачого боків – магнетитові кварцити, приконтантові – кумінгтоніт-вмісні магнетитові кварцити. Найбільших метасоматичних змін зазнали залізнослюдко-магнетитові кварцити, які в межах Первомайського родовища практично повністю рибекітизовані (рис. 2).



**Рис. 2.** Поширення рибекітових метасоматитів у верствах залізистих кварцитів, які складають розріз шостого залізистого горизонту Первомайського родовища.

Стратиграфічні горизонти: 7s – сьомий сланцевий; 6f – шостий залізистий; 6s – шостий сланцевий.

Мінеральні різновиди первинних залізистих кварцитів: 1 – залізнослюдко-магнетитові; 2 – магнетитові червоношаруваті (залізнослюдко-вмісні); 3 – магнетитові сірошаруваті (кумінгтоніт-вмісні); 4 – кумінгтоніт-магнетитові; 5 – магнетит-кумінгтонітові.

Цифрами на розрізі (0, 50 ... 250 м) показана відстань від верхнього контакту шостого залізистого горизонту саксаганської світи.

В напрямку до лежачого і висячого боків горизонту інтенсивність метасоматичних змін помітно зменшувалась. Аналогічні закономірності поширення рибекітових метасоматитів виявленні також для п'ятого залізистого горизонту Первомайського родовища, п'ятого та шостого залізистих горизонтів Ганнівського родовища, четвертого залізистого горизонту Валявкинського родовища, другого, четвертого, п'ятого та шостого залізистих горизонтів Інгулецького родовища.

Підрозділ **4.4. Прошарки магнетитових кварцитів.** Рибекітизація магнетитових кварцитів розпочиналась з поверхонь контакту рудних і нерудних прошарків. Живильним матеріалом при утворенні рибекіту були агрегати магнетиту рудних про-

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

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

В п'ятому розділі **«Зональність тіл рибекітових метасоматитів Первомайського родовища»** наголошено, що представленість натрієвих метасоматитів різного мінерального складу у розрізі продуктивної товщі наступна: рибекітові – 91 мас.%; егіринові – 8 мас.%; альбітові – 1 мас.%. Результати геологічного картування забоїв кар'єру автор використав як основу для визначення деталей зональності тіл рибекітових метасоматитів.

В підрозділі **5.1. «Зональність тіл рибекітових метасоматитів у межах ділянок родовища з різною геологічною будовою»** наголошується, що залізородні рибекітові метасоматити фіксуються в геологічних тілах двох різновидів: 1) егірин-рибекітового складу (центральні зони представлені егіриновими, проміжні – рибекітовими метасоматитами, периферійні – зонами окварцювання первинних магнетитових кварцитів); 2) рибекітового складу – за умови відсутності зони егіринових метасоматитів через недостатній рівень термодинамічних параметрів (температура, флюїдний тиск, активність натрію, фугітивність кисню та ін.) метасоматизуючих розчинів; у цьому випадку метасоматичні тіла складені двома зонами – рибекітових метасоматитів та окварцованих магнетитових кварцитів. Незважаючи на особливості локалізації, в будові тіл або зон рибекітових метасоматитів виділяються три підзони: 1) інтенсивної рибекітизації (магнетит-рибекітові метасоматити або рибекітити), вміст рибекіту в складі яких перевищує кількість магнетиту, кварц і гематит відсутні; 2) помірної рибекітизації з утворенням рибекіт-магнетитових кварцитів (вміст рибекіту 10-30 мас.%, присутні реліктові метаморфогенні мінерали – кварц і залізна

слюдка); 3) слабкої рибекітизації з утворенням рибекітизованих магнетитових кварцитів (вміст рибекіту не перевищує 10 мас.%). Потужність кожної підзони залежить від декількох факторів, до головних відносяться: 1) положення тіл рибекітових метасоматитів у розрізі продуктивної товщі і, таким чином, різний мінеральний склад первинних магнетитових кварцитів; 2) інтенсивність впливу метасоматизуючих розчинів. Для підзони магнетит-рибекітових метасоматитів (рибекітитів), які формувались за умов максимальних значень термодинамічних параметрів розчинів, цей показник коливається від 0 до 15 м, в середньому становить 6 м; для підзони рибекіт-магнетитових кварцитів, яка характеризується значно більшим поширенням – від 10 до 120 м, в середньому 38 м; для підзони слабкої рибекітизації – від 0 до 25 м, в середньому 9 м. Максимальні значення потужності підзон характерні для метасоматичних тіл, які утворились у верствах залізнослюдко-магнетитових кварцитів – у центральних частинах шостого та п'ятого залізистих горизонтів.

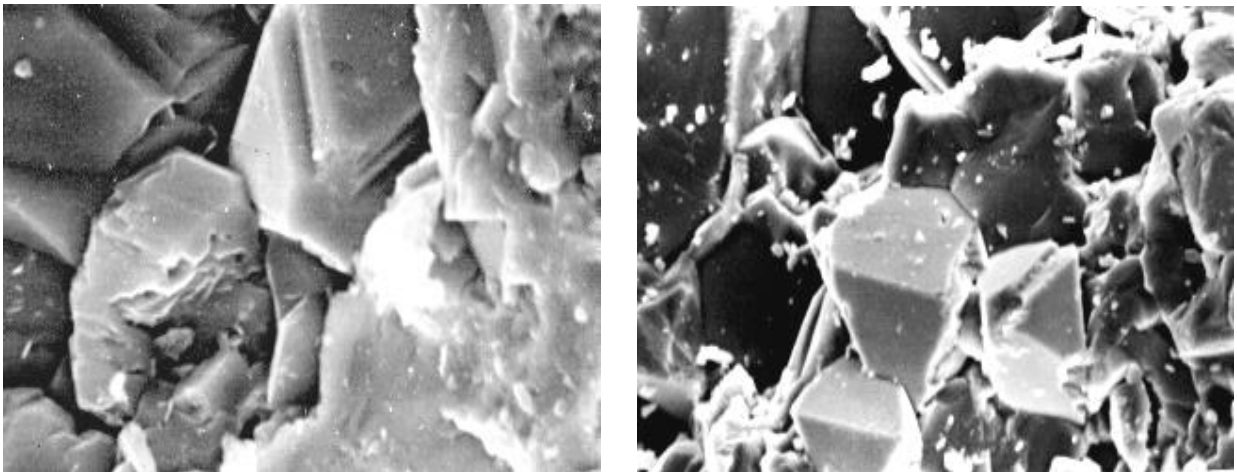
В підрозділі 5.2. «**Варіативність складу рибекітових метасоматитів**» зазначається, що, незважаючи на особливості локалізації, морфології тіл залізородних рибекітових метасоматитів, вони характеризуються подібністю будови та складу порід відповідних метасоматичних підзон.

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

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

В шостому розділі «**Варіативність властивостей рудоутворювальних мінералів залізородних рибекітових метасоматитів**» наведені результати визначення розміру та особливостей морфології, анатомії індивідів і агрегатів рудоутворювальних мінералів, їх просторових взаємовідносин.

Підрозділ **6.1. Магнетит**. Головні характеристики магнетиту, які визначають якість бідних магнетитових руд, – параметри гранулометричного складу, морфології та анатомії його індивідів і агрегатів. Результати дослідження автора показали, що одночасно з частковим заміщенням рибекітом відбувалась перекристалізація виділень магнетиту з укрупненням розміру його кристалів, вдосконаленням їх морфології (рис. 3); дрібні включення магнетиту повністю заміщувались рибекітом. Наслідком стало суттєве збільшення розміру виділень магнетиту (в середньому від 0,065-0,075 до 0,085-0,090 мм). Зростала також ступінь кристалографічної досконалості його індивідів, суттєво зменшувалась кількість дрібних включень інших мінералів, – переважно кварцу.



*Рис. 3. Ідіоморфні октаедричні, кубооктаедричні кристали магнетиту з магнетит-рибекітових метасоматитів.*

*Растровий електронний мікроскоп МРЕМ-100; збільшення 600<sup>x</sup>.*

Підрозділ **6.2. Рибекіт**. Рибекіт головний нерудний мінерал натрієвих метасоматитів. Представлений двома різновидами: 1) власне метасоматичним, який утворився шляхом заміщення мінералів безсилікатних магнетитових кварцитів (кварцу, магнетиту, гематиту); 2) псевдоморфним – продуктом заміщення кумінгтоніту магнезіюрибекітом. Перший характеризується значною варіативністю морфології кристалів: зустрічаються короткостовпчасті, тичкуваті, голчасті, іноді волокнисті індивіди, які утворюють нематобластові, радіально-променисті, іноді сплутано-, паралельно-волокнисті (крокідоліт) агрегати. При утворенні магнезіюрибекіту практично повністю зберігались розмір, форма та просторова орієнтація первинних кристалів кумінгтоніту. За даними мікрозондового аналізу, склад метасоматичного рибекіту близький до стехіометричного; особливістю є поступове зростання вмісту магнезю, кремнезему, глинозему в напрямку від центральних до периферійних частин кристалів. Для кристалів магнезіюрибекіту характерна зворотна зональність – максимальний вміст кумінгтонітового міналу фіксується в центральних частинах кристалів.

Підрозділ **6.3. Кварц**. Кварц – найбільш поширений мінерал вихідних магнетитових кварцитів (вміст близько 50 об'єм.%). Під впливом лужних вуглекисло-натрієвих метасоматизуючих розчинів зазнавав інтенсивного розчинення. Частина кремнезему використовувалась при утворенні рибекіту, частина – в складі відпра-

цьованих розчинів «відганялась» за межі зон рибекітизації, де локально формувались ореольні зони окварцування первинних магнетитових кварцитів. Активне розчинення кварцу супроводжувалось його перекристалізацією. Наслідком було спрощення форми індивідів кварцу, зростання їх розміру (в середньому від 0,0604 у незмінених магнетитових кварцитах до 0,1025 мм у рибекітитах).

Підрозділ **6.4. Кумінгтоніт**. Кумінгтоніт – реліктовий мінерал рибекітових метасоматитів. Утворює тичкуваті, стовпчасті кристали, орієнтовані, переважно, згідно з шаруватістю вмісних магнетитових кварцитів. У процесі псевдоморфізації рибекітом форма кристалів і їх розташування зберігалась. У випадках незавершеного процесу утворювались зональні кристали амфіболу, центральна частина яких представлена кумінгтонітом, периферійна – магнезіюрибекітом. За умови більш активної рибекітизації склад амфіболу в центральних частинах кристалів відповідає магнезіюрибекіту, периферійних – близький до рибекіту.

Підрозділ **6.5. Інші мінерали**. Присутність у метасоматичних тілах реліктів тіл первинних магнетитових кварцитів, прояв епі- та постметасоматичних процесів обумовили наявність у складі рибекітових метасоматитів близько 50 другорядних мінералів: гематиту, егірину, тетраферибіотиту, селадоніту, мінесотаїту, кальциту, доломіту, піриту, піротину та ін. Їх вміст незначний, кількість кожного не перевищує 1 мас.%. Виключення становить гематит, вміст якого в окремих випадках перевищує 10 мас.%, та карбонати – до 2 мас.%. Загальна кількість другорядних мінералів, зазвичай, не перевищує 5 мас.%.

В сьомому розділі «**Вплив рибекітизації на якісні показники та збагачуваність бідних магнетитових руд**» розглянуті результати геолого-технологічних досліджень збагачуваності первинних магнетитових кварцитів і їх різною мірою рибекітизованих різновидів. Експерименти виконувались у відповідності з технологічною схемою збагачувальної фабрики Північного ГЗК. Головним технологічним параметром, за яким визначається збагачуваність руд є показник вмісту заліза в складі концентрату ( $\beta$ ). Результати експериментів свідчать про поступове зростання значень цього параметру зі збільшенням інтенсивності рибекітизації магнетитових кварцитів через кращі показники розкриття індивідів і агрегатів магнетиту при рудопідготовці. Зменшення кількості магнетиту при рибекітизації та пов'язане з цим переведення заліза з мінеральної форми, яка залучається до концентрату (магнетит), до мінеральної форми, яка через низьку магнітну сприйнятливість втрачається у відходах (рибекіт), обумовило закономірне падіння показників виходу концентрату ( $\gamma$ ) та вилучення заліза до складу концентрату ( $\epsilon$ ). Втрати заліза при збагаченні магнетитових кварцитів і їх рибекітизованих різновидів характеризують два показники – загальний вміст заліза в складі хвостів ( $\vartheta$ ) і вміст у хвостах заліза, яке входить до складу магнетиту ( $\vartheta_{\text{магн}}$ ). Значення першого показника з підвищенням інтенсивності рибекітизації помітно збільшується через зростання вмісту в складі хвостів рибекіту і зменшення кількості кварцу. Позитив рибекітизації – суттєве зменшення вмісту в хвостах заліза, яке входить до складу магнетиту через вдосконалення морфології виділень магнетиту та, як наслідок, зменшенням кількості зростків магнетиту з нерудними мінералами у продуктах рудопідготовки.

Таким чином вплив рибекітизації на кількісне співвідношення рудної та нерудної складових магнетитових кварцитів, вдосконалення морфології індивідів і агрегатів

магнетиту, заміщення рибекітом тонковкрапленого магнетиту мали як позитивний, так і негативний вплив на збагачуваність рибекітових метасоматитів. Але оскільки головним показником ефективності збагачувального процесу є загальний вміст заліза в корисному кінцевому продукті, рибекітовий метасоматоз сприяв покращенню бідних магнетитових руд як первинної сировини для виробництва високоякісного залізорудного концентрату.

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

## ВИСНОВКИ

1. Поширення натрієвих метасоматитів, у тому числі рибекітизованих магнетитових кварцитів у розрізах продуктивних товщ родовищ Криворізького басейну суттєво відрізняється. За даними порівняльних геологічних досліджень, максимальним воно є для Первомайського та поряд розташованого Ганнівського родовища. В розрізах продуктивних товщ інших родовищ магнетитових кварцитів Криворізької залізорудної смуги тіла натрієвих метасоматитів зустрічаються значно рідше.

2. В розрізі залізорудної саксаганської світи Первомайського родовища, обраного в якості головного об'єкту досліджень, максимальним поширенням рибекітових та інших натрієвих метасоматитів характеризуються п'ятий і шостий залізисті горизонти, які складають продуктивну товщу родовища. Кількість рибекітових метасоматитів у їх розрізах близько 40 об'ємн.%. Значення цього показника для інших залізистих та сланцевих горизонтів родовища не перевищує 5 об'ємн.%.

3. В розрізі шостого залізистого горизонту, який є головною складовою продуктивної товщі родовища, максимальний вміст рибекітових метасоматитів фіксується в центральних частинах, представлених верствами залізнослюдко-магнетитових (вміст рибекітових метасоматитів близько 80 об'ємн.%), червоношаруватих магнетитових (40-50 об'ємн.%) кварцитів. В напрямку до периферійних частин висячого та лежачого боків горизонту, складених кумінгтоніт-вмісними магнетитовими кварцитами, поширення метасоматитів зменшується до 1-2 об'ємн.%.

4. Рибекітові метасоматити фіксуються в геологічних тілах двох різновидів: 1) егірін-рибекітового складу (тилові зони представлені егіриновими, проміжні – рибекітовими метасоматитами, передові – малопотужними та локально проявленими зонами окварцування первинних магнетитових кварцитів); 2) рибекітового складу (за умови відсутності зони егіринових метасоматитів – тиллові зони рибекітовими метасоматитами, передові зонами окварцування первинних магнетитових кварцитів).

5. В напрямку від центральних до периферійних частин п'ятого та шостого залізистих горизонтів потужність тіл рибекітових метасоматитів закономірно зменшується. За умови їх утворення по залізнослюдко-магнетитових кварцитах цей показ-



ник досягає 150 м (середнє значення 56 м); магнетитових кварцитах – до 110 м (середнє 47 м), кумінгтоніт-магнетитових кварцитах – до 60 м (в середньому 21 м), магнетит-кумінгтонітових кварцитах – до 30 м (середнє значення 6 м).

6. Незважаючи на особливості локалізації, в будові тіл рибекітових метасоматитів виділяються три підзони:

- інтенсивної рибекітизації (магнетит-рибекітові метасоматити або рибекітити), вміст рибекіту в складі яких перевищує вміст магнетиту, кварц і гематит відсутні;

- помірної рибекітизації з утворенням рибекіт-магнетитових кварцитів (вміст рибекіту 10-30 мас.%, присутній реліктовий метаморфогенний кварц);

- слабкої рибекітизації з утворенням рибекітизованих магнетитових кварцитів (вміст рибекіту не перевищує 10 мас.%).

7. Потужність кожної підзони залежить, головним чином, від положення тіл рибекітових метасоматитів у розрізі продуктивної товщі та інтенсивності впливу метасоматизуючих розчинів. Для підзони магнетит-рибекітових метасоматитів (рибекітитів), які формувались за умов максимального прояву метасоматозу, цей показник коливається від 0 до 15 м, в середньому становить 6 м; для підзони рибекіт-магнетитових кварцитів, яка характеризується значно більшим поширенням – від 10 до 120 м, в середньому 38 м; для підзони слабкої рибекітизації – від 0 до 25 м, в середньому 9 м. Максимальні значення потужності підзон характерні для метасоматичних тіл, які утворились за рахунок залізнослюдко-магнетитових кварцитів, мінімальні – за рахунок магнетит-кумінгтонітових кварцитів.

8. Інтенсивність рибекітизації визначним чином вплинула на мінеральний склад магнетитових кварцитів. З її наростанням відбувалось поступове заміщення кварцу, гематиту (залісної слюдки), часткове заміщення магнетиту, псевдоморфізація магнезіорибекітом кумінгтоніту. Наслідком було зменшення середнього вмісту кварцу від 43,33 (незмінені магнетитові кварцити) до 3,16 мас.% (рибекітити); залісної слюдки, відповідно, від 3,89 до 0,78 мас.%; магнетиту від 41,50 до 32,11 мас.%; кумінгтоніту від 8,97 до 0,06 мас.%; вміст рибекіту в цьому напрямку зріс від 0 до 61,78 мас.%. Кількість другорядних мінералів незначна, вміст кожного не перевищує 1 мас.%.

9. Хімічний склад залістих кварцитів закономірно змінюється у розрізах зональних тіл рибекітових метасоматитів через винесення і принесення певних хімічних компонентів. Значно зріс вміст  $\text{Na}_2\text{O}$  – від 0,11 (незмінені магнетитові кварцити) до 2,34 мас.% (рибекітити). Незначною мірою збільшилась кількість другорядних хімічних компонентів (відповідно):  $\text{TiO}_2$  (від 0,057 до 0,105 мас.%),  $\text{MgO}$  (від 1,85 до 2,02 мас.%),  $\text{K}_2\text{O}$  (від 0,05 до 0,12 мас.%),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (від 0,058 до 0,089 мас.%),  $\text{CO}_2$  (від 0,64 до 0,89 мас.%), S (від 0,089 до 0,164 мас.%),  $\text{H}_2\text{O}^+$  (від 0,18 до 1,21 мас.%). Висока фугітивність кисню метасоматизуючих розчинів спричинила зменшення вмісту  $\text{FeO}$  (від 18,71 до 16,16 мас.%) і зростання вмісту  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (від 37,56 до 38,02 мас.%). Загальний вміст заліза дещо підвищився (в середньому від 39,11 до 40,24 мас.%) через винесення відпрацьованими розчинами кремнезему за межі тіл рибекітових метасоматитів та їх метасоматичної усадки.

10. Рибекітизація супроводжувалась частковим розчиненням і перекристалізацією індивідів і агрегатів головного рудного мінералу – магнетиту. Наслідком було збільшення середнього розміру виділень магнетиту від 0,066-0,081 мм (первинні магнетитові кварцити) до 0,084-0,088 мм (рибекітити). Відбулось суттєве зростання

ступеню ідіоморфізму кристалів магнетиту, помітне зменшення в них кількості пойкилобластів кварцу та інших нерудних мінералів.

11. Формування рибекіту відбувалось у відповідності з двома механізмами. В центральних частинах залізистих горизонтів, складених безсилікатними залізнослюдко-магнетитовими, магнетитовими кварцитами, мінерал утворювався шляхом метасоматичного заміщення кварцу, магнетиту, гематиту. В периферійних частинах залізистих горизонтів, представлених кумінгтоніт-магнетитовими, магнетит-кумінгтонітовими кварцитами, переважав механізм псевдоморфного заміщення рибекітом кумінгтоніту. В першому випадку хімічний склад новоутвореного амфіболу близький до стехіометричного, в другому – відповідає магнезіорибекіту.

12. Метасоматичні перетворення первинних магнетитових кварцитів спричинили значні зміни їх мінерального складу, а також розміру, морфології, анатомії кристалів і агрегатів магнетиту. Це обумовило зміни технологічних показників збагачуваності бідних магнетитових руд: зростання вмісту заліза в складі одержуваного концентрату – в середньому від 66,87 (первинні магнетитові кварцити) до 68,97 мас.% (рибекітиту), та зменшення показників виходу концентрату (відповідно, 52,82 і 40,27%) і вилучення заліза до його складу (від 90,30 до 69,03%), а також втрат у хвостах заліза, яке входить до складу магнетиту (від 2,40 до 0,89 мас.%). Через заміщення залізо-вмісним мінералом рибекітом беззалізистого мінералу кварцу суттєво зріс показник загальних втрат заліза у відходах збагачення – від 8,04 до 20,79 мас.%. Оскільки головним технологічним показником ефективності збагачення руд є вміст заліза в корисному кінцевому продукті, рибекітовий метасоматоз сприяв покращенню бідних магнетитових руд Криворізького басейну як первинної сировини для виробництва високоякісного залізорудного концентрату.

13. Результати геологічних досліджень, технологічних випробувань, практичні рекомендації автора дисертації впроваджені у виробництво на Північному та Інгuleцькому гірничозбагачувальних комбінатах, використані для актуалізації геолого-технологічних класифікацій руд та геолого-технологічних карт Первомайського, Інгuleцького родовищ, оптимізації технологічних схем усереднення руд перед подачею на збагачувальні фабрики.

## ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у наукових фахових виданнях України, які включені до Міжнародних наукометричних баз:*

1. Стрельцов В.О. Деякі особливості мінералогічної зональності залізорудних рибекітових метасоматитів Криворізького басейну / В.О. Стрельцов, В.Д. Євтехов, А.В. Євтехова // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – 2017. – №1(76). – С. 52-57.

2. Стрельцов В.О. Закономірності зміни мінерального складу магнетитових кварцитів Криворізького басейну в зв'язку з рибекітизацією / В.О. Стрельцов, В.Д. Євтехов, А.В. Євтехова // Мінералогічний журнал. – 2018 – Том 40, №2 – С. 27-35.

3. Стрельцов В.О. Технологічна мінералогія залізорудних рибекітових метасоматитів Криворізького басейну / В.О. Стрельцов, В.Д. Євтехов, А.В. Євтехова, М.О.

Шепелюк // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – 2018. – №2(81). – С. 23-27.

4. Streltsov V.O. Geological position of riebeckite-containing magnetite ores of Krivoy Rog basin / V.O. Streltsov, V.D. Evtekhov, A.V. Evtekhova, H.Ya. Smirnova // Journal of Geology, Geography and Geoecology.– Dnipro. – 2018 – 27(3) – P. 504-509.

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

5. Шепелюк М.О. Варіативність складу магнетитових кварцитів Інгулецького родовища / М.О. Шепелюк, В.Д. Євтехов, О.Я. Смірнов, В.О. Стрельцов, С.В. Тихливець, Г.Я. Смірнова // Геолого-мінералогічний вісник КНУ. – 2017. – №2(38). – С. 16-29.

6. Стрельцов В.О. Варіативність хімічного складу рибекіту Криворізького басейну / В.О. Стрельцов, В.Д. Євтехов, А.В. Євтехова // Геолого-мінералогічний вісник КНУ.– 2019.– №1(41).– С. 48-57.

*Інші публікації за темою дисертації:*

7. Стрельцов В.О. Локалізація рибекітових метасоматитів у продуктивних товщах залізорудних родовищ Криворізького басейну / В.О. Стрельцов, В.Д. Євтехов // Геолого-мінералогічний вісник КНУ. – 2016. – №1(35). – С. 111-120.

8. Стрельцов В.О. Тренди зміни морфології й анатомії кристалів магнетиту в зв'язку з рибекітизацією магнетитових кварцитів Криворізького басейну / В.О. Стрельцов, В.Д. Євтехов, А.В. Євтехова, Д.М. Прилепа // Геолого-мінералогічний вісник КНУ. – 2016. – №2(36). – С. 69-78.

9. Євтехов В.Д. Актуализированная минералого-генетическая классификация бедных магнетитовых руд Первомайского месторождения Кривбасса / В.Д. Евтехов, Е.В. Евтехов, М.А. Шепелюк, В.В. Филенко, С.В. Тихливец, А.Я. Смирнов, Д.Н. Прилепа, О.С. Демченко, В.О. Стрельцов // Геолого-мінералогічний вісник КНУ. – 2017. – №1(37). – С. 42-72.

*Тези доповідей:*

10. Стрельцов В.О. Генезис і типоморфні особливості рибекіту залізисто-кремнистої формації Криворізького басейну / В.О. Стрельцов // Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів. Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції (Криворізький національний університет 22-24 листопада 2012 р.).– Кривий Ріг.– 2012.– С. 65-68.

11. Стрельцов В.О. Варіативність хімічного складу рибекіту залізисто-кремнистої формації Кривбасу / В.О. Стрельцов, В.Д. Євтехов // Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців. Матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції (Криворізький національний університет, 21-23 березня 2013 р.).– Кривий Ріг.– 2013.– С. 73-77.

12. Стрельцов В.О. Локалізація рибекіту в товщі залізисто-кремнистої формації Криворізького басейну / В.О. Стрельцов // Сталий розвиток промисловості та суспільства. Міжнародна науково-технічна конференція. Секція 5. Геологія та економіка мінеральної сировини (Кривий Ріг, 22-25 травня 2013 р.).– Кривий Ріг.– 2013.– С. 72-75.

13. Стрельцов В.О. Вплив рибекітизації на збагачуваність магнетитових руд Первомайського родовища Криворізького басейну / В.О. Стрельцов, А.В. Євтехова, В.Д. Євтехов // Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гір-

ничодобувних регіонів. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції (Криворізький національний університет, 27-29 листопада 2014 р.) // Кривий Ріг.– 2014.– С. 12-16.

14. Стрельцов В.О. Локалізація рибекітових метасоматитів Інгулецького родовища Криворізького басейну / В.О.Стрельцов // Метасоматизм та рудоутворення. Міжнародна наукова конференція (ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 5-7 жовтня 2016 р.).– Київ.– 2016.– С. 63-65.

15. Стрельцов В.О. Локалізація та мінералогічна зональність рибекітових метасоматитів Криворізького басейну / В.О. Стрельцов, А.В. Євтехова, В.Д. Євтехов // Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів. Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції (Криворізький національний університет, 24-26 листопада 2016 р.) // Кривий Ріг.– 2016.– С. 46-49.

16. Стрельцов В.О. Зміни мінерального складу магнетитових кварцитів Криворізького басейну у зв'язку з рибекітизацією / В.О.Стрельцов, В.Д.Євтехов // Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: Збірник наукових праць за результатами роботи ІV Міжнародної науково-технічної конференції (Кривий Ріг, 24 листопада 2017 р.).– Кривий Ріг.– 2017.– С. 91-92.

17. Стрельцов В.О. Варіативність хімічного складу рибекіту залізорудних натрієвих метасоматитів Криворізького басейну / В.О. Стрельцов, В.Д. Євтехов, В.О. Андрейчак / Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців. Матеріали ХІІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції (Кривий Ріг, 22-24 березня 2017 р.).– Кривий Ріг.– 2017.– С. 53-57.

18. Євтехов В.Д. Аналіз існуючих уявлень про умови утворення залізорудних рибекітових метасоматитів / В.Д. Євтехов, В.О. Стрельцов, А.В. Євтехова // Розвиток промисловості та суспільства. Міжнародна науково-технічна конференція. Секція 5. Геологія і прикладна мінералогія. (Кривий Ріг, 24-26 травня 2017 р.).– Кривий Ріг.– 2017.– С. 45-51.

19. Филенко В.В. Влияние натриевого метасоматоза на качество железорудного концентрата ГОКов Криворожского бассейна / В.В. Филенко, Е.В. Евтехов, В.Д. Евтехов, С.В. Тихливец, В.О. Стрельцов, М.А. Шепелюк // Развитие промышленности та общества. Международная научно-техническая конференция. Секция 5. Геология и прикладная минералогия. (Кривий Ріг, 24-26 травня 2017 р.).– Кривий Ріг.– 2017.– С. 118-120.

20. Стрельцов В.О. Обогащенность рибекитизированных магнетитовых руд железисто-кремнистой формации докембрия / В.О. Стрельцов, А.В. Евтехова, В.Д. Евтехов // Тезисы докладов ХІ Конгресса обогатителей стран СНГ (Москва, 13-15 марта 2017 г.).– Москва.– 2017.– С. 22-26.

21. Шепелюк М.О. Варіативність вмісту заліза в складі магнетитових кварцитів Інгулецького родовища Кривбасу / М.О. Шепелюк, В.Д. Євтехов, Е.О. Беспояско, О.Я. Смірнов, В.О. Стрельцов // Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців. Матеріали ХІV Всеукраїнської науково-практичної конференції (Кривий Ріг, 29-31 березня 2018 р.).– Кривий Ріг.– 2018.– С. 5-10.

22. Шепелюк М.А. Изменчивость содержания железа в составе магнетитовых кварцитов Анновского и Первомайского месторождений Криворожского бассейна / М.А. Шепелюк, В.Д. Евтехов, Е.В. Евтехов, В.О. Стрельцов // Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (Криворізький національний університет, 29 листопада-1 грудня 2018 р.) // Кривий Ріг.– 2018.– С. 81-87.

23. Шепелюк М.А. Изменчивость качественных показателей магнетитовых кварцитов Ингулецкого и Скелеватского месторождений с увеличением глубины их отработки / М.А. Шепелюк, В.Д. Евтехов, А.Я. Смирнов, В.О. Стрельцов // Розвиток промисловості та суспільства. Міжнародна науково-технічна конференція. Секція 5. Геологія і прикладна мінералогія. (Кривий Ріг, 23-25 травня 2018 р.)– Кривий Ріг.– 2018.– С. 10-13.

24. Смирнов А.Я. Повышение эффективности планирования качественных показателей руд горнообогатительных комбинатов Криворожского бассейна / А.Я. Смирнов, Е.В. Евтехов, В.Д. Евтехов, В.О. Стрельцов, М.А. Шепелюк, А.Я. Смирнова // Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції (Криворізький національний університет, 29 листопада-1 грудня 2018 р.) // Кривий Ріг.– 2018.– С. 64-68.

25. Стрельцов В.О. Зональність тіл рибекітових метасоматитів Первомайського родовища Кривбасу / В.О. Стрельцов, В.Д. Євтехов, А.В. Євтехова // Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців. Матеріали XV Всеукраїнської науково-практичної конференції (Кривий Ріг, 21-23 березня 2019 р.)– Кривий Ріг.– 2019.– С. 57-60.

26. Стрельцов В.О. Хімічний склад рибекіту Первомайського родовища Криворізького басейну / В.О. Стрельцов, В.Д. Євтехов, А.В. Євтехова // Розвиток промисловості та суспільства. Міжнародна науково-технічна конференція. Секція 5. Геологія і прикладна мінералогія. (Кривий Ріг, 22-24 травня 2019 р.)– Кривий Ріг.– 2019.– С. 62-66.

**Особистий внесок автора у підготовку та написання статей, тез доповідей:** збір вихідного матеріалу – всі публікації; узагальнення, аналіз вихідних даних і результатів дослідження – всі публікації; графічні роботи – публікації 1-4, 6-9, 11, 14, 17; брав участь у написанні тексту статей і тез доповідей – всі публікації.

## АНОТАЦІЯ

**Стрельцов В.О. Геологія покладів рибекітизованих магнетитових кварцитів Криворізького басейну – на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.11 – геологія металевих і неметалевих корисних копалин.– Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», Київ, 2020.

Залізорудні рибекітові метасоматити – найбільш поширений різновид натрієвих метасоматитів Первомайського, Ганнівського, Жовторіченського, Артемівського, Петрівського та інших родовищ Кривбасу. Вони складають 91% від загальної кількості метасоматично змінених бідних магнетитових руд; відповідний показник егі-

ринових метасоматитів – 8%, альбітових – 1%. Продуктивна товща Первомайського родовища на 40% складена рибекітовими метасоматитами. Для їх тіл характерна зональність, яка формувалась внаслідок різної інтенсивності рибекітизації магнетитових кварцитів. У розрізах метасоматичних тіл фіксуються закономірні зміни мінерального, хімічного складу, структури, текстури та інших властивостей бідних магнетитових руд. Загальною тенденцією було суттєве спрощення їх мінерального складу зі зростанням інтенсивності метасоматичних змін через заміщення рибекітом кварцу, гематиту, другорядних мінералів; магнетит також частково заміщувався рибекітом; кумінгтоніт псевдоморфно заміщувався магнезіорибекітом. Відбувалось вдосконалення морфології, анатомії індивідів і агрегатів магнетиту. Зміна складу та структурна, текстурна перебудова магнетитових кварцитів обумовили закономірні зміни показників їх збагачення: як позитивних (зростання вмісту заліза в складі одержуваного концентрату з 66-67 до 68-69 мас.%), так і негативних (зменшення виходу концентрату з 52-53 до 40-41%, зростання вмісту заліза в складі відходів збагачення з 8-9 до 20-21 мас.%). Результати роботи використовуються для корегування існуючої геолого-технологічної класифікації руд Первомайського, Ганнівського та інших родовищ метасоматично змінених магнетитових кварцитів, актуалізації методів картування рудних покладів.

**Ключові слова:** залізисто-кремниста формація, Криворізький басейн, рибекітові метасоматити, геологія, склад і збагачуваність руд.

## АННОТАЦІЯ

**Стрельцов В.О. Геология залежей рибекитизированных магнетитовых кварцитов Криворожского бассейна – на правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.11 – геология металлических и неметаллических полезных ископаемых.– Государственное учреждение «Институт геохимии окружающей среды Национальной академии наук Украины», Киев, 2020.

Железорудные рибекитовые метасоматиты – наиболее распространенная разновидность натриевых метасоматитов Первомайского, Анновского, Желтореченского, Артемовского, Петровского и других месторождений Кривбасса. Они составляют 91% от общего количества метасоматически измененных бедных магнетитовых руд. Метасоматиты других разновидностей значительно уступают им по распространенности: среднее содержание эгириновых метасоматитов 8%, альбитовых – 1%. Продуктивная толща наиболее представительного Первомайского месторождения на 40% сложена рибекитовыми метасоматитами. В разрезах метасоматических тел с полностью проявленной зональностью зона рибекитовых метасоматитов занимает промежуточное положение между тыловой зоной эгириновых метасоматитов (эгиринов) и передовой зоной окварцевания исходных магнетитовых кварцитов. В случае отсутствия эгиринов – зона рибекитовых метасоматитов занимает центральное положение. В зависимости от интенсивности метасоматоза в составе зон рибекитизации выделяются три подзоны: рибекитизированных магнетитовых кварцитов (содержание рибекита не превышает 10 масс.%), рибекит-магнетитовых кварцитов (10-30 масс.%), магнетит-рибекитовых метасоматитов (рибекититов), содер-

жание рибекита в которых превышает количество магнетита. В соответствии с зональностью закономерно изменяется минеральный, химический состав, структура, текстура и другие свойства руд. Общей тенденцией является значительное упрощение минерального состава магнетитовых кварцитов: с ростом интенсивности метасоматических изменений рибекит замещал кварц, гематит, сидерит, селадонит, стильпномелан, другие второстепенные минералы. Происходило также частичное замещение магнетита (в предельном варианте до 30 масс.% от его первоначального содержания). В периферийных зонах продуктивных толщ месторождений куммингтонит псевдоморфно замещался магнезиорибекитом. В результате магнетит-рибекитовые метасоматиты (рибекититы), образовавшиеся в участках наиболее интенсивного проявления метасоматических изменений магнетитовых кварцитов, характеризуются практически биминеральным (рибекит+магнетит) составом. Изменение состава руд сопровождалось совершенствованием морфологии и анатомии индивидов, агрегатов магнетита. Происходило увеличение среднего размера его кристаллов с 0,06-0,08 до 0,08-0,09 мм, возрастала степень их идиоморфизма, удалялись включения посторонних минералов. Состав натриевого амфибола, в зависимости от состава исходных магнетитовых кварцитов и интенсивности их метасоматических изменений, по данным микрозондовых определений, в направлении от центральных к периферийным частям продуктивных толщ месторождений варьирует от стехиометрического рибекита до магнезиорибекита. Изменение состава, а также структурная и текстурная перестройка магнетитовых кварцитов обусловили закономерные изменения показателей их обогащения. К позитиву относится значительное увеличение содержания железа в составе получаемого концентрата (с 66-67 до 68-69 масс.%), что связано с вызванными рибекитизацией увеличением размера кристаллов магнетита, совершенствованием их формы и, как следствие улучшением раскрытия магнетита при рудоподготовке; к негативу – уменьшение выхода концентрата (с 52-53 до 40-41%), связанное с частичным замещением магнетита рибекитом. Уменьшение содержания в составе руд кварца и увеличение количества рибекита является причиной значительного возрастания содержания железа в составе отходов обогащения – с 8-9 до 20-21 масс.%. Поскольку главный технологический показатель бедных магнетитовых руд – содержание железа в получаемом из них железорудном концентрате, рибекитизация позитивно повлияла на качественные характеристики и обогатимость руд. Результаты работы используются для актуализации геолого-технологической классификации руд и геолого-технологических карт Первомайского, Анновского и других месторождений Криворожского бассейна.

**Ключевые слова:** железисто-кремнистая формация, Криворожский бассейн, рибекитовые метасоматиты, геология, состав и обогатимость руд.

## ABSTRACT

**Streltsov V.O. Geology of riebeckitized magnetite quartzites deposits in Kryvyi Rih basin** – manuscript copyright.

Thesis for a Candidate Degree in Geological Sciences, specialty 04.00.11 – Geology of metallic and non-metallic minerals.– State Institution «Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv, 2020.

Ferriferous riebeckite metasomatites represent the most common variety of sodium metasomatites of Pervomayske, Hannivka, Zhovta Richka, Artemivka, Petrove and other Kryvbas deposits. They account for 91% of the total metasomatically altered low-grade magnetite ores; the amount of aegirine metasomatites is 8%, albite metasomatites one is 1%. 40% of the Pervomayske deposit productive strata consist of riebeckite metasomatites. Zonation is considered to be a typical feature for their bodies, it was formed as a result of varying degree riebeckitization of magnetite quartzites. Regular changes in the mineral, chemical composition, structure, texture and other properties of low-grade magnetite ores are noticed in the sections of metasomatic bodies. There was a general tendency towards a significant simplification of their mineral composition with increasing intensity of metasomatic changes due to the replacement of quartz, hematite, minor minerals with riebeckite; magnetite was also partially replaced with riebeckite; cummingtonite was pseudomorphically replaced with magnesioriebeckite. The morphology, anatomy of the individuals and aggregates of magnetite were improved. The change in composition, structure and texture alteration of magnetite quartzites caused regular changes in their beneficiation indexes: both positive (increase in iron content in the obtained concentrate from 66-67 to 68-69 mass.%) and negative (decrease in concentrate yield from 52-53 to 40-41%, increase in the iron content in the beneficiation waste from 8-9 to 20-21 mass.%). The results of the work are used to improve the existing geological and technological classification of ores of Pervomayske, Hannivka and other deposits of metasomatically modified magnetite quartzites, and to update methods for ore mapping.

**Key words:** banded-iron formation, Kryvyi Rih basin, riebeckite metasomatites, geology, ore composition and ore preparation characteristics.