

УДК 549:553.31(477.65)

В'ячеслав Валерійович Стеценко,

к. геол. н., доцент,

кафедра геології і прикладної мінералогії, Криворізький національний університет,

вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна,

e-mail: stesenko-74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1471-5379>;

Валерія Валеріївна Зайченко,

аспірант, кафедра геології і прикладної мінералогії, Криворізький національний університет,

e-mail: koshkareva0427@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1780-899X>

ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЕРАЛОГІЧНОЇ ВАРІАТИВНОСТІ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ ПРОДУКТИВНОЇ ТОВЩИ ПЕТРІВСЬКОГО РОДОВИЩА (З ВИКОРИСТАННЯМ ДІАГРАМИ M_M-M_O)

Розглянуті мінералогічні та петрохімічні особливості руд Петрівського родовища, яке використовується для видобутку бідних магнетитових руд. Родовище входить до району Правобережних магнітних аномалій. В його геологічній будові беруть участь дві групи порід: кристалічні породи фундаменту докембрійського віку і рихлі кайнозойські відклади, які їх перекривають. Породні комплекси докембрійського віку представлені сильно метаморфізованими дислокованими породами кристалічного фундаменту архейського і нижньопротерозойського віку. Нижньопротерозойські утворення представлені інгуло-інгулецькою серією, в розрізі якої виділяють зеленореченську з артемівську і родіонівську світи. Артемівська світа є продуктивною в межах досліджуваної території. В структурному плані родовище представляє стиснуту синкліналь, західне крило якої виклинується, а східне простягається в північному напрямку. В зв'язку з цим об'єктом досліджень стало східне крило.

Аутигенно-метаморфогенна зональність руд досліджувалась за допомогою хімічних аналізів, модулів магнітності M_M та окисленості M_O та діаграми в координатах M_M-M_O . В результаті, в межах східного крила Петрівської синкліналі, було виділено 8 мінералогічних різновидів руд: кварцити силікатні з магнетитом, кварцити магнетит-силікатні, кварцити силікат-магнетитові, кварцити магнетитові з гематитом, кварцити гематит-магнетитові, кварцити магнетит-гематитові, кварцити гематитові з магнетитом. Також встановлена закономірна зміна різновидів руд від гематитових кварцитів з магнетитом в центральних частинах до силікатних з магнетитом кварцитів на периферії. В тому ж напрямку спостерігається закономірні зміни хімічних показників $Fe_{заг.}$, $Fe_{магн.}$ та сірки (S) від центру товщі до периферії. Однак виявлена в ході дослідження аутигенно-мінералогічна зональність продуктивної товщі родовища порушується в наслідок накладення метасоматичних процесів, обумовлених формуванням по залізистим кварцитам тіл егіринових та рибекитових метасоматитів.

Ключові слова: Петрівське родовище, бідні магнетитові руди, залізисті кварцити, мінералогічна варіативність, діаграма M_M-M_O , петрохімічні показники.

В. В. Зайченко, В. В. Стеценко. ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ВАРИАТИВНОСТИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ПРОДУКТИВНОЙ ТОЛЩИ ПЕТРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГРАММЫ M_M-M_O). Рассмотрены минералогические и петрохимические особенности руд Петровского месторождения, которое используется для добычи бедных магнетитовых руд. Месторождение входит в состав района Правобережных магнитных аномалий. В его геологическом строении принимают участие две группы пород: кристаллические породы фундамента докембрійского возраста и рыхлые кайнозойские отложения, которые их перекрывают. Породные комплексы докембрійского возраста являют собой сильно метаморфизованные дислоцированные породы кристаллического фундамента и представлены архейскими и нижнепротерозойскими образованиями. Нижнепротерозойские образования представлены ингуло-ингулецькой серией, в разрезе которой выделяют зеленореченскую, артемовскую и родионовскую свиты. Артемовская свита является продуктивной на месторождении. В структурном плане месторождение являет собой сжатую синкліналь, западное крыло которой выклинивается, а восточное простирается в северном направлении. В связи с этим объектом исследованной стало восточное крыло.

Аутигенно-метаморфогенна зональність руд изучалась с помощью химических анализов, модулей магнитности M_M и окисленности M_O и диаграммы в координатах M_M-M_O . В результате, в пределах восточного крыла Петровской синкліналы, было выделено 8 минералогических разновидностей руд: кварциты силикатные с магнетитом, кварциты магнетит-силикатные, кварциты силикат-магнетитовые, кварциты магнетитовые, кварциты магнетитовые с гематитом, кварциты гематит-магнетитовые, кварциты магнетит-гематитовые, кварциты гематитовые с магнетитом. Также выявлена закономерная смена руд от гематитовых кварцитов с магнетитом в центральных частях продуктивной толщи до силікатных с магнетитом кварцитов на периферии. В том же направлении наблюдается закономерное изменение химических показателей $Fe_{общ.}$, $Fe_{магн.}$ и серы (S) от центра толщи к периферии. Однако обнаруженная в ходе исследования аутигенно-минералогическая зональность продуктивной толщи месторождения нарушается в следствии наложения метасоматических процессов, обусловленных образованием по железистым кварцитам тел эгириновых и рибекитовых метасоматитов.

Ключевые слова: Петровское месторождение, бедные магнетитовые руды, железистые кварциты, минералогическая варіативность, диаграмма M_M-M_O , петрохимические показатели.

Постановка проблеми. Актуальною проблемою для всіх родовищ Криворізького басейну є підвищення вимог до якості концентрату, який отримується з магнетитових кварцитів. Підви-

щення якості концентрату можливе за умов покращення технологічних показників вихідної руди, що можливо при дослідженні мінералогічної варіативності руд.

Руди Петрівського родовища досліджувались раніше, проте протягом останніх 30 років системні дослідження мінералогічних і технологічних властивостей руд родовища не проводились. Існуючі уявлення про склад руд та їх збагачуваність застарілі, оскільки контури розробки рудних покладів вийшли за межі попереднього дослідження. В зв'язку з цим суттєво ускладнились можливості оперативного і перспективного планування гірничо-видобувних робіт та усереднення руд.

Аналіз попередніх досліджень. Детальне дослідження мінералогічної варіативності залізистих кварцитів продуктивної товщі родовища проводилось у 80 роках минулого століття (В.Д. Євтехов) [2]. Досліджувались руди центральної частини родовища, яка на поточний час є відпрацьованою на 80%. Перспективним напрямком подальшого видобутку руди є східне крило, яке простягається у північному напрямку. Тому об'єктом досліджень автори обрали східне крило синкліналі, яке раніше вивчалось на етапі дорозвідки у 1983 році, мінералогічна варіативність в ході вивчення не досліджувалась. На сучасному етапі дослідження родовища (2016-2017 рр.) проведено дорозвідку родовища з дослідженням мінералогічної варіативності порід східного крила Петрівської синкліналі.

Мета і задачі досліджень. Основною метою дослідження є вивчення мінералогічної варіативності руд Петрівського родовища та розділення їх на типи за хімічним та мінеральним складом. Встановлення закономірностей залягання різних мінералогічних різновидів руд та виявлення чинників, які можуть порушувати цю закономірність.

Матеріали і методи. При вивченні мінералогічного складу порід залізисто-кременистої формації і будови її товщ багато питань ефективно вирішуються з використанням результатів хімічних аналізів залізистих кварцитів і вміщуючих порід. В більшості випадків цього достатньо для вирішення проблем мінерального і хімічного складу залізистих порід, його варіативності в розрізах, впливу на склад порід епігенетичних порід (динамотермальний метаморфізм, натрієвий метасоматоз, контактний метаморфізм, гіпергенез) та інших геологічних явищ.

Для візуалізації характеру залежності між складом залізистих порід і руд та їх структурними, текстурними, технічними, технологічними та іншими характеристиками може бути використана діаграма в координатах M_M-M_O (де $M_M = Fe_{магн.} / Fe_{заг.}$, $M_O = Fe_2O_3 / (FeO+Fe_2O_3)$), вперше опублікована В.Д.Євтеховим [13,14]. Пізніше дана діаграма використовувалась для вирішення багатьох мінералогічних, петрологічних, геохімічних

та технологічних задач [7,15,16,17].

Діаграма дозволяє виконати розвернуту картину масиву даних про хімічний склад залізистих порід з виділенням полів розповсюдження фігуративних точок залізистих кварцитів різного складу, а також представити тенденції змін на топомінералогічному фоні багатьох показників складу і властивостей залізистих порід і руд. Також проводились макро- і мікроскопічні мінералогічні дослідження всіх виявлених різновидів руд.

Виклад основного матеріалу. Петрівське родовище залізистих кварцитів розташоване в крайній південно-західній частині району Правобережних магнітних аномалій. Правобережний рудний район займає проміжне положення між Криворізьким і Кременчуцьким рудними районами. Територіально приурочений до північної частини зовнішньої зони Криворізько-Кременчуцького крайового прогину [1, 3, 20].

В геологічній будові Петрівського родовища беруть участь дві групи порід, що різко відрізняються за віком, умовами залягання і ступенем метаморфізму: докембрійські - кристалічні породи фундаменту, сильно дислоковані метаморфізовані та перекриваючі їх рихлі відклади кайнозою. Родовище представляє собою породи гнейсової серії серед великого поля мігматитів, за складом плагіоклаз-біотитових і амфібол-плагіоклаз-біотитових. Серед мігматитів, у вигляді невеликих тіл, зустрічаються амфіболіти. Докембрійські породи складені архейськими і нижньопротерозойськими утвореннями. Архей представлений гранітоїдами дніпропетровського комплексу, які утворюють Інгулецьку глибу, а протерозой – метавулканогенно-осадовими утвореннями інгуло-інгулецької серії, в розрізі якої виділяють (знизу догори): зеленоріченську, артемівську і родіонівську світи (рис.1) [1, 3].

Зеленоріченська світа складена гнейсами амфібол-кварц-біотитовими, кварц-біотитовими, графіт-біотитовими, графіт-амфібол-біотитовими і кварц-карбонатними або карбонатними породами.

До артемівської світи відносяться залізисті породи, представлені породами, так званої, перехідної пачки і залізистими кварцитами. Перехідна пачка представлена магнетит-силікатними і силікатними кварцитами, для яких характерно підвищений вміст силікатів і мала масова доля магнетиту. Корисною копалиною на Петрівському родовищі є залізисті кварцитами. Неокислені різновиди представлені магнетитовими, силікат-магнетитовими, гематит-магнетитовими і магнетит-гематитовими кварцитами і магнетит-сидеритовою породою.

Родіонівська світа складена біотитовими

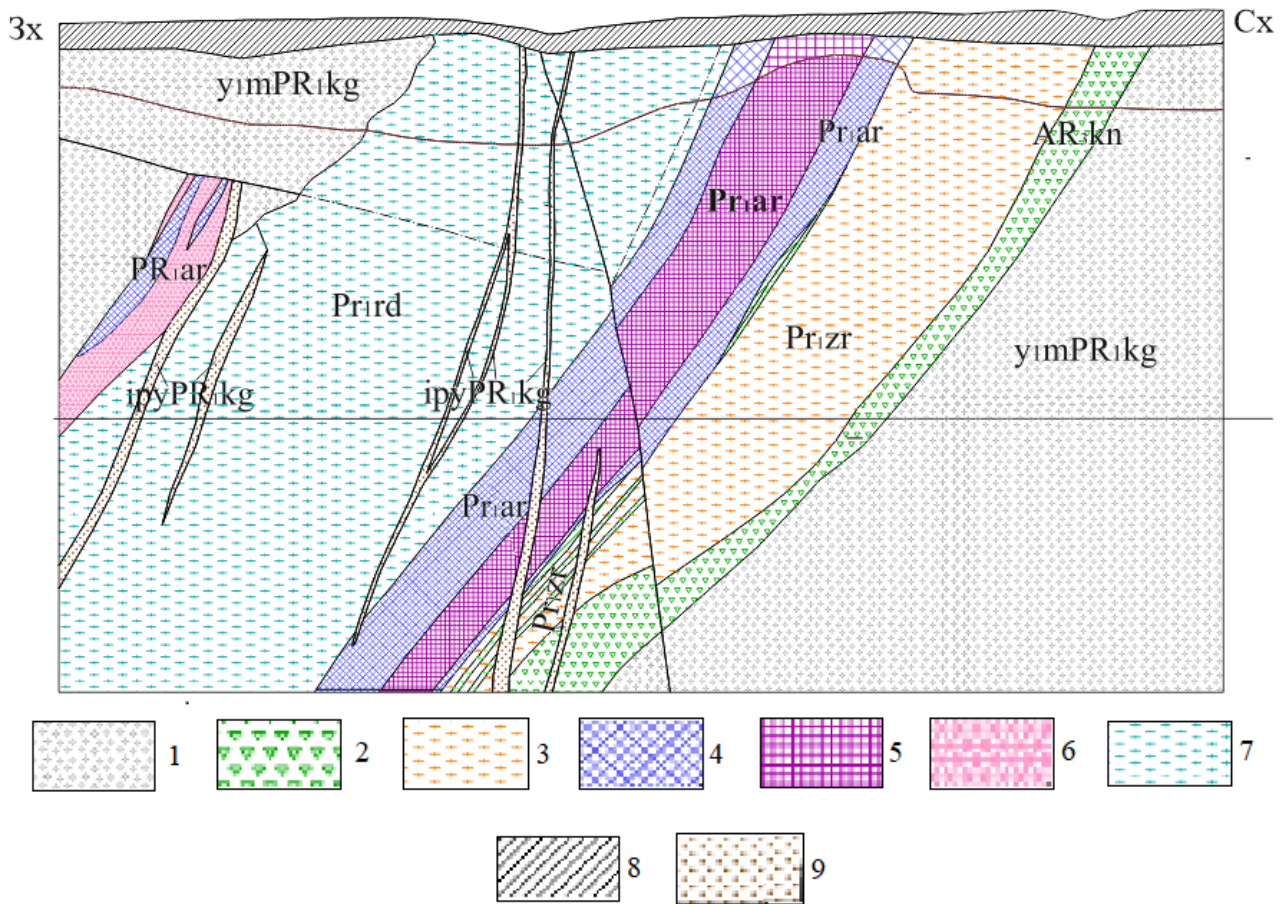


Рис. 1. Геологічний розріз східного крила синклінальної структури Петрівського родовища.
 1 – мігматити (γ_1mPR_1kg); 2 – амфіболіти AR_{3kn} ; 3 – гнейси кварц-біотит-фмфіболові (PR_{1zr});
 4 – кварцити магнетитові (PR_{1ar}); 5 – кварцити гематит-магнетитові (PR_{1ar}); 6 – кварцити амфібол-
 магнетит-піроксенові з грантом (PR_{1ar}); 7 – гнеси кварц-плагіоклаз-біотитові з грантом (PR_{1rd});
 8 – кайнозойські відклади; 9 - пегматити ($ipyPR_1kg$)

гнейсами. Породи всіх світ перетинають плагіоклаз-біотитові і амфібол-плагіоклаз-біотитові пегматити кіровоградського комплексу. Кристалічні утворення перекриваються породами кайнозойського осадового чохла [4-8].

Петрівське родовище представлено стиснутою синклінальною складкою, направленою замковою частиною на південь і відкритою на північ. Падіння крил західне. Східне крило падає під кутом 45-75°, західне під кутом 60-85°. Будова складки ускладнена повздовжніми і поперечними диз'юнктивними порушеннями, що розбивають структуру на окремі тектонічні блоки [11,12]. Західне крило виклинюється на північ. Східне крило протягається у північному напрямку, має потужність рудного покладу до 50 м і є перспективним для подальшої розробки. Раніше східне крило було досліджене поодинокими свердловинами. Питання мінералогічної варіативності вивчалось головним чином у замковій частині Петрівської синклінали, східне крило не досліджувалось.

Мінералогічна варіативність руд Петрівсько-

го родовища проявлена в напрямку від вміщуючих порід до центральної частини товщі. Для центральної частини родовища встановлена наступна зміна мінеральних різновидів порід: сланці → сланці і кварцито-сланці з магнетитом → кварцити магнетит-силікатні → кварцити силікат-магнетитові → кварцити магнетитові → кварцити магнетитові з гематитом → кварцити гематит-магнетитові → кварцити магнетит-гематитові → кварцити гематитові з магнетитом [1,10].

Дослідження мінералогічної варіативності руд східної частини Петрівського родовища проводилось за петрохімічними розрахунками, макро- і мікроскопічними дослідженнями, розрахунками модулів окисленості і магнітності. Було досліджено 1526 проб, визначений їх хімічний склад ($Fe_{магн.}$, $Fe_{заг.}$, Fe_2O_3 , FeO), вибірково зроблені прозорі і поліровані шліфи для дослідження мінерального складу та структурних і текстурних особливостей, зроблені кількісні підрахунки магнетиту в кожному визначеному різновиді руд (об'ємні %) та інші дослідження. За макро- і мік-

роскопічними дослідженнями були виділені різновиди залізистих кварцитів, що складають продуктивну товщу східного крила синклінальної структури родовища: кварцити силікатні з магнетитом, кварцити магнетит-силікатні, кварцити силікат-магнетитові, кварцити магнетитові, кварцити магнетитові з гематитом, кварцити гематит-магнетитові, кварцити магнетит-гематитові, кварцити гематитові з магнетитом. За статистичними підрахунками встановлено, що найбільш розповсюдженим мінеральним різновидом в межах даної області є магнетитові кварцити – близько 44 %, менш розповсюджені кварцити силікат магнетитові – 19 %, кварцити гематитові з магнетитом – 16 %, кварцити гематит-магнетитові – 7-8%, кварцити силікатні з магнетитом, магнетит-силікатні, магнетитові з гематитом та магнетит гематитові – складають від 2,5 до 4,5 %.

Для кожної групи мінеральних різновидів порід в табл.1 наведені мінімальні та максималь-

ні показники вмісту хімічних компонентів. Значення вмісту $Fe_{заг.}$ та $Fe_{магн.}$ відповідають округленим середнім значенням цих показників для залізистих порід відповідного мінерального складу. Значення вмісту Fe^{2+} , Fe^{3+} , FeO , Fe_2O_3 розраховувались, виходячи із значень вмісту $Fe_{заг.}$ і $Fe_{магн.}$.

Таблиця побудована за даними хімічних аналізів, отриманих при дослідженні свердловин: 2, 5, 7, 9, 12, 12а, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21 східного крила Петрівської синклінали.

За даними кількісних співвідношень породо- і рудоутворюючих мінералів і за даними про їх хімічний склад були визначені значення петрохімічних показників M_M і M_O в табл.1 показані кордони їх коливань. У відповідності з отриманими результатами була побудована діаграма M_M - M_O (рис.2).

На лівій гілці діаграми розмістились відрізки, що відповідають залізистим породам проміжного мінерального складу: I – сланці і кварцито-

Таблиця 1

Середні значення петрохімічних показників залізистих порід різного мінерального складу

№ п/п	Мінеральні різновиди залізистих порід	Значення хімічних параметрів: від (1) – до (2), та середнє їх значення (3)	Хімічні показники, мас. %						Петрохімічні модулі	
			$Fe_{заг.}$	$Fe_{магн.}$	Fe^{2+}	Fe^{3+}	FeO	Fe_2O_3	M_M	M_O
1	Кварцити силікатні з магнетитом	1	8,0	2,4	4,2	2,1	7,6	3,0	0,23	0,11
		2	33,5	12,0	25,3	8,2	32,6	11,69	0,4	0,36
		3	17,8	5,9	13,2	4,6	17,0	6,6	0,31	0,3
2	Кварцит магнетит-силікатний	1	8,2	4,8	6,8	2,9	8,8	4,13	0,41	0,32
		2	34,0	13,8	20,7	13,3	26,7	18,96	0,57	0,49
		3	17,7	9,0	10,9	6,8	14,1	9,67	0,51	0,40
3	Кварцит силікат-магнетитовий	1	11,7	8,8	6,5	6,17	8,4	8,83	0,46	0,43
		2	55,6	41,1	21,1	20,3	27,2	29,03	0,81	0,76
		3	26,1	18,0	12,1	14,0	15,6	20,03	0,68	0,55
4	Кварцит магнетитовий	1	17,4	15,7	5,83	10,07	7,5	14,41	0,81	0,56
		2	40,7	39,6	14,14	27,34	18,2	39,12	0,97	0,73
		3	30,8	27,6	10,88	19,98	14,0	28,58	0,9	0,67
5	Кварцит магнетитовий з гематитом	1	25,4	15,5	6,1	13,5	7,9	19,26	0,69	0,7
		2	38,3	29,0	10,8	28,5	13,9	40,72	0,79	0,77
		3	31,7	23,8	8,9	22,8	11,4	32,65	0,75	0,74
6	Кварцит гематит-магнетитовий	1	20,9	15,2	5,3	14,95	6,8	21,4	0,45	0,59
		2	39,8	26,0	12,12	31,5	15,6	45,04	0,73	0,85
		3	30,89	18,85	7,16	23,73	9,21	33,95	0,61	0,79
7	Кварцит магнетит-гематитовий	1	19,0	5,7	2,5	16,4	3,2	23,4	0,23	0,82
		2	37,3	18,9	6,9	31,5	8,9	45,03	0,54	0,9
		3	31,1	12,1	4,7	26,3	6,1	37,61	0,39	0,86
8	Кварцит гематитовий з магнетитом	1	22,4	1,8	1,09	15,22	1,4	21,78	0,03	0,88
		2	37,7	11,5	4,74	35,76	6,1	51,16	0,33	0,98
		3	30,8	4,6	2,02	28,83	2,6	41,25	0,15	0,9

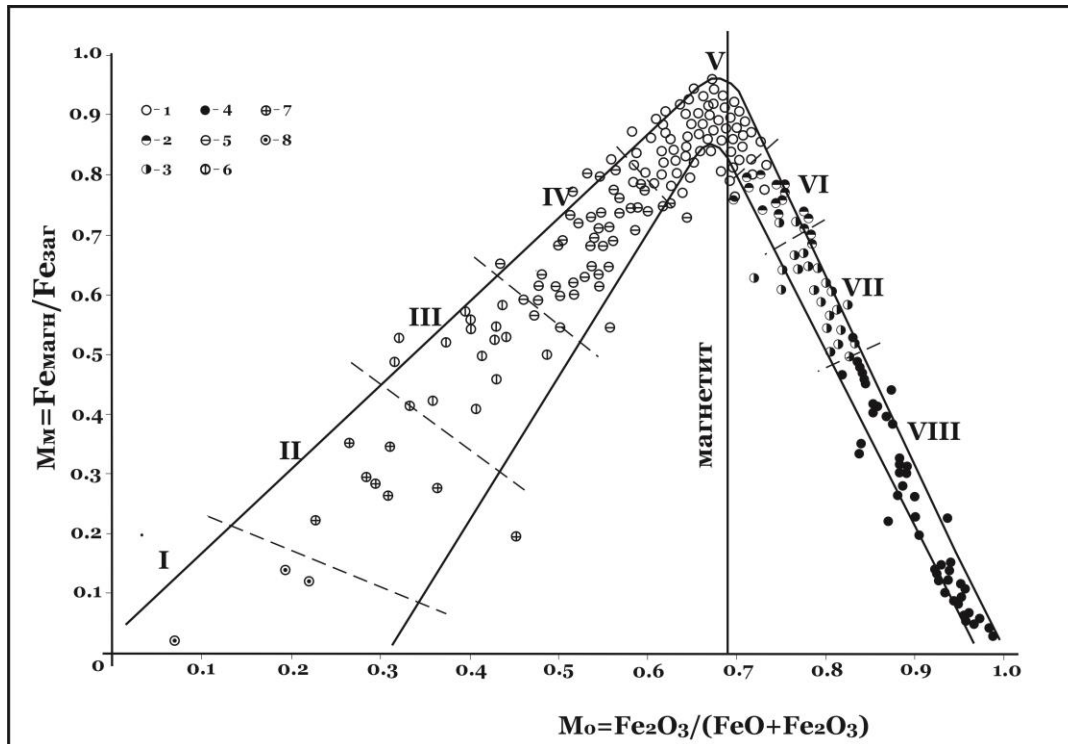


Рис. 2. Поля розповсюдження фігуративних точок укрупнених мінеральних різновидів руд і вміщуючих порід Петровського родовища (східного крила синклінальної структури) в координатах магнітність-окисленість заліза (M_M - M_0) (за даними технологічних випробувань кернових проб):

1 – магнетитові кварцити (V); 2 – кварцити магнетитові з гематитом (VI); 3 – кварцити гематит-магнетитові (VII); 4 – кварцити магнетит-гематитові і гематитові з магнетитом (VIII); 5 – кварцити силікат-магнетитові (IV); 6 – кварцити магнетит-силікатні (III); 7 – кварцити силікатні з магнетитом (II); 8 – кварцитосланці, сланці, гнейси, скарноїди (I)

сланці (зелено сланцева фація метаморфізму); II – кварцити силікатні з магнетитом; III – кварцити магнетит-силікатні; IV- кварцити силікат-магнетитові (епідот-амфіболітова фація метаморфізму). Таким чином в напрямку від області I до області V в складі залізистих порід збільшується вміст магнетиту і зменшується вміст силікатів. Силікати в залізистих кварцитах представлені кумінгтонітом, синьо-зеленою роговою обманкою, біотитом. Також в цьому напрямку незначно збільшується вміст головного породотворюючого мінералу залізистих кварцитів – кварцу.

На правій гілці діаграми M_M - M_0 виділені відрізки VI, VII, VIII, котрі відповідають магнетитовим з гематитом, гематит-магнетитовим, магнетит-гематитовим і гематитовим з магнетитом кварцитам. Таким чином від області V до області VIII в складі порід збільшується вміст залізної слюдки (гематиту) і, відповідно, зменшується вміст магнетиту. Кількість же кварцу в цьому ряді значно зменшується.

Також при нанесенні на діаграму фігуративних точок усіх різновидів залізистих порід виявляється постійне зміщення їх в напрямку від ліній діаграми до центру трикутника, утвореного двома гілками діаграми і віссю абсцис. Практич-

но ні одна з фігуративних точок не лежить на гілках діаграми. Лінії трендів варіативності складу метаморфічних і метасоматичних залізистих порід також розміщені всередині трикутника. Висновки попередніх дослідників дали змогу зрозуміти, що основною причиною зміщення фігуративних точок являється нестехіометричність хімічного складу породотворюючих мінералів [13]. Точки, які лежать над гілками діаграми являються наслідком похибки хімічних аналізів.

Мінливість мінерального складу залізистих порід родовища тісно пов'язана з закономірностями варіацій їх хімічного складу [1]. На рисунку 2 показаний характер змінення вмісту в залізистих породах продуктивної товщі мінералогічних компонентів, таких як $Fe_{заг}$, $Fe_{магн}$, а також сірки (S) (дані з табл.1).

Вміст заліза загального закономірно знижується від кварцитів гематитових з магнетитом і магнетит-гематитових, котрі залягають в центральних частинах залізистого горизонту, до магнетит-силікатних силікатних з магнетитом, які складають його периферійні частини.

На кривій зміни вмісту заліза, що входить до складу магнетиту, спостерігається чіткий максимум, який відповідає магнетитовим кварци-

там. В напрямку силікатної та гематитової гілок вміст $Fe_{\text{маг}}$ різко знижується з 26-28 мас.% до 5-6 мас.%. Це пов'язано з фазовим переходом в гематитову і силікатну форми.

Вміст сірки дуже незначно збільшується в напрямку від гематитових різновидів до силікатних, проте пік приходить на перехідну зону від магнетитових кварцитів до силікат-магнетитових і магнетит-силікатних. Це вказує на локалізацію найбільш потужних сульфідних проявів.

Чітке чергування мінеральних різновидів порід у відповідності з наведеною вище схемою

(рис. 3) часто порушується в зв'язку з накладенням на аутигенно-мінералогічну зональність метасоматичної, обумовленої формуванням по залізистим кварцитам тіл рибекітових і егіринових метасоматитів [14]. Прояв натрієвого метасоматозу, ступінь неоднорідності мінеральної речовини в межах зональних метасоматитових тіл, характер накладення одна на одну зональностей обох видів обумовлюють неоднорідність складу продуктивної товщі східного крила Петрівської синкліналі.

Формування мінералого-геохімічних мета-

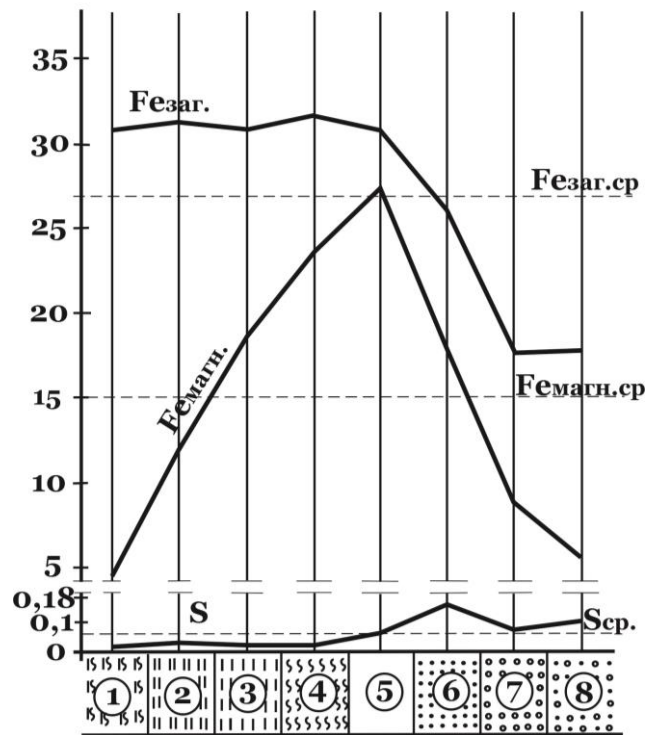


Рис. 3. Зміна вмісту $Fe_{\text{заг.}}$, $Fe_{\text{магн.}}$ та сірки (S) від центральних частин до периферії продуктивної товщі Петрівського родовища. Мінеральні різновиди руд: 1 – кварцит гематитовий з магнетитом, 2 – кварцит магнетит-гематитовий; 3 – кварцит гематит-магнетитовий; 4 – кварцит магнетитовий з гематитом; 5 – магнетитовий кварцит; 6 – кварцит силікат-магнетитовий; 7 – кварцит магнетит-силікатний; 8 – кварцит силікатний з магнетитом

соматичних систем відбувалось за принципом фільтраційного ефекту Д.С. Коржинського [1,18].

Натрієві метасоматити найбільш тісно пов'язані з магнетитовими та гематит-магнетитовими кварцитами. В процесі натрієвого метасоматозу магнетитові кварцити підлягали процесам егіринізації, рибекітизації та окварцювання. В межах східного крила Петрівської синклінальної структури для тіл натрієвих метасоматитів в більшості випадків характерна метасоматична зональність. А саме, від центру до периферії тіл, відмічається наступна зміна метасоматичних зон: зона егіринізації → зона рибекітизації → зона окварцювання. Магнетит, як поазали мікроскопічні дослідження, в зв'язку з натрієвим ме-

тасоматозом піддавався різноманітним впливам. Так, в зонах егіринізації та окварцювання відбувається зменшення зменшення індивідів та агрегатів магнетиту та утворення тісних зростків і проростань кристалів магнетиту з силікатами та кварцем. В процесі рибекітизації, напроти, відбувається перекристалізація магнетиту з укрупненням його індивідів та агрегатів, та з поліпшенням його кристалографічних абрисів.

В гематит-магнетитових кварцитах процеси натрієвого метасоматозу проходили більш активно, ніж магнетитових, проте характер змін складу та структури гематит-магнетитових кварцитів при натрієвому метасоматозі аналогічний тому, що спостерігається в магнетитових кварцитах.

Висновки. За результатами виконаних петрохімічних досліджень залізистих кварцитів продуктивної товщі східного крила Петрівської синклінали, в тому числі за допомогою діаграми M_M-M_O , можна зробити наступні висновки.

З використанням діаграми M_M-M_O можна з високою точністю охарактеризувати особливості зональної будови залізородних товщ, розповсюдженість мінеральних різновидів залізистих кварцитів і сланців у їх розрізах, а з нанесенням додаткової інформації – характер варіативності фізичних, технічних параметрів залізних руд і вміщуючих залізистих порід, їх збагачуваності та інших характеристик.

В ході петрохімічних досліджень продуктивної товщі східного крила Петрівської синклінали за допомогою модулів магнітності і окисленості було виділено 8 різновидів залізистих кварцитів: кварцити силікатні з магнетитом, кварцит магнетит-силікатний, кварцит силікат-магнетитовий, кварцит магнетитовий, кварцит магнетитовий з

гематитом, кварцит гематит-магнетитовий, кварцит магнетит-гематитовий, кварцит гематитовий з магнетитом.

Встановлена чітка зональна будова продуктивної товщі родовища в напрямку від центральних частин до периферії продуктивної товщі досліджуваного району, починаючи від гематитових кварцитів з магнетитом в центрі до силікатних з магнетитом кварцитів на периферії. Проте ця зональність порушується за рахунок накладених процесів натрієвого метасоматозу.

Слід також зазначити, що для ряду випадків віднесення залізистих кварцитів до гематит-магнетитових і магнетит-гематитових на основі результатів фазового аналізу може призводити до неточностей. Оскільки більша частина окисного заліза, що входить до складу егірину, рибекіту та інших ферросилікатів, може включатися в залізо, пов'язане з гематитом, в зв'язку з чим помітно підвищується останній показник.

Література

1. Евтехов В.Д. Изменчивость минерального состава продуктивной толщи Петровского месторождения / В.Д. Евтехов, Д.М. Меньшиков // Геолого-мінералогічний вісник. – 1999. – №1. – С. 41-43.
2. Евтехов В.Д. Зональность натриевых метасоматитов в железистых кварцитах Северного Криворожья / В.Д. Евтехов, Г.П. Зарайский, В.Н. Балашов, О.К. Валеев // Очерки физико-химической петрологии – Москва: Наука, 1988. – №15. – С. 17-37.
3. Государственная геологическая карта Украины. Масштаб 1:50000. Криворожский горнорудный район. Объяснительная записка / Паранько И.С., Бутырин В.К., Змиевский Г.Е. и др. – Киев: ЦТЭ Госкомгеологии Украины, 1992. – 220 с.
4. Блоха И.В. Предварительная оценка комплексной минерально-сырьевой базы Петровского месторождения железистых кварцитов // Геолого-мінералогічний вісник – 1999. – №1. – С. 68-71.
5. Блоха В.Д. Виробний і колекційний камінь Петрівського і Артємівського родовищ Криворізького басейну / В.Д. Блоха, О.О. Орищенко // Геолого-мінералогічний вісник Криворізького національного університету. – 2015. – №2(34). – С. 99-103.
6. Железисто-кременистые формации докембрия Европейской части СССР. Метаморфизм / Р.Я. Белевцев, О.Я. Беляев, В.В. Ветринцев и др. – Киев: Наукова думка, 1989. – 148 с.
7. Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. Минералогия / Б.И. Пирогов, Ю.М. Стебновская, В.Д. Евтехов и др. – Киев: Наукова думка, 1989. – 168 с.
8. Плаксенко Н.А. Главнейшие закономерности железорудного осадконакопления в докембрии (на примере Курской магнитной аномалии) / Н.А. Плаксенко. – Воронеж: Изд. Воронежского госуниверситета, 1966. – 264 с.
9. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза / Н.М. Страхов. – Москва: Изд. АН СССР, 1962. – Т.2 – 574 с.
10. Ходюш Л.Я. Аутигенно-минералогическая зональность как один из критериев расчленения и сопоставления железорудных толщ в железисто-кремнистых формациях докембрия (на примере Белозерского железорудного района) / Л.Я. Ходюш // Проблемы изучения геологии докембрия. – Ленинград: Наука, 1967. – С. 243-249.
11. Залізородні родовища докембрію України і їх прогностична оцінка / Я.Н. Белевцев, Ю.М. Спатко, М.І. Веригін, Ю.С. Лебедєв, С.І. Малютін. – Київ: Наукова думка, 1981. – 230с.
12. Белевцев Я.Н. Залізисто-кременисті формации докембрію Європейської частини СРСР / Я.Н. Белевцев. – Київ: Наукова думка, 1989. – 148с.
13. Евтехов В.Д. Использование петрохимической диаграммы M_M-M_O при изучении аутигенной зональности железисто-кремнистой формации докембрия / В.Д. Евтехов, С.В. Карпенко, А.В. Евтехова // Геолого-мінералогічний вісник. – 2007. – №2 (18). – С. 30-44.
14. Евтехов В.Д. Минералогические особенности метасоматических изменений железистых кварцитов Северного Криворожья (на примере Первомайского месторождения) : автореф. канд. дис. / В.Д. Евтехов; [Львовский госуниверситет]. – Львов., 1978. – 25 с.
15. Технологическая минералогия железистых руд / Пирогов Б.И., Г.С. Поротов, И.В. Холошин, В.Н. Тарасенко. – Ленинград: Наука, 1988. – 304 с.

16. Чубанов В.А. Идентификация минеральных разновидностей и технологических сортов руд Кривбасса / В.А. Чубанов, В.Д. Евтехов // Горный журнал. – 1996. – №11-12. – С. 14-17.
17. Минералогия Криворожского бассейна / Е.К. Лазаренко, Ю.Г. Гершойг, Н.И. Бучинская и др. – Киев: Наукова думка, 1977. – 544 с.
18. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов / Д.С. Коржинский // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. – Москва: Изд. АН СССР, 1955. – С. 335-456.
19. Снежко А.М. Физико-химическая характеристика процессов концентрации благородных металлов в графит-содержащих породах Петровского месторождения / А.М. Снежко, С.И. Терещенко, А.А. Юшин // Геолого-мінералогічний вісник. – 2003. – № 2 – С. 67-69.
20. Плотников О.В. Правобережний район Українського щита – найперспективніша залізородна мінерально-сировинна база України для якісної металургії / О.В. Плотников // Мінеральні ресурси України. – 2002. – №1. – С 16-20.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

UDK 549:553.31(477.65)

Viacheslav Valeriyovich Stetsenko,

PhD (Geology), Associate Professor, Department of Geology and Applied Mineralogy,
Kryvyi Rih National University, 11 Vitaliy Matushevych St., Kryvyi Rih, 50027, Ukraine,
e-mail: stesenko-74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1471-5379>;

Valeriya Valeriyovna Zaichenko,

PhD Student, Department of Geology and Applied Mineralogy,
Faculty of Geology and Ecology, Kryvyi Rih National University,
e-mail: koshkareva0427@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1780-899X>

STUDY OF MINERALOGICAL VARIABILITY OF FERRUGINOUS QUARTZITES OF PRODUCTIVE STRATA OF THE EASTERN WING OF THE PETROVSKY SYNCLINAL FOLD WITH USING DIAGRAM M_M - M_O

Relevance of the problem. Petrovsky deposit is promising area for the extraction of magnetite ores. Detailed research on this deposit was carried out in the 80 years of the last century, but with the deepening and expansion of the pit data from previous studies have lost their relevance. In 2016-2018 years, in the north-eastern part of the deposit, an in-mine exploration in the direction of the eastern wing of the Petrovsky synclinal fold was carried out.

Analysis of previous research. Petrovsky deposit of ferruginous quartzites is located in the remote southwestern part of the area of the Right Bank magnetic anomalies. Two groups of rocks were defined in the geological structure of the deposit: the crystalline rocks of the Precambrian base and the loose Cenozoic deposits that were on the top of them. Rocks of the Precambrian Age are highly metamorphosed and dislocated ones of the crystalline base and are represented by Archean and Lower Proterozoic formations. Lower Proterozoic formations are represented by the Ingul-Ingulets series which is divided by the (bottom up): zelenorichenska, artemivska, radionivska suites. The Artemivska suite is productive in the territory under investigation.

In the structural plan, the Petrovskiy deposit is a compressed synclinal fold, the western wing of which is taper out, and the eastern wing extends in the northern direction. In connection with this, the object of research was the eastern wing.

Purpose and tasks of research. The main purpose of the study was identification of the mineralogical variability of ferruginous quartzites, the allocation of mineralogical varieties of ores according to their chemical composition and to determine the regularities of expanding of these varieties within the productive strata of the eastern wing. These tasks were resolved using chemical analysis of rocks data, calculation of magnetic module M_M and oxidation module M_O , and the construction of a diagram in the coordinates of magnetization-oxidation of iron (M_M - M_O).

Presentation of the main material of the article. Within the eastern wing of the Petrovsky synclinal fold, the eight mineralogical varieties of the ore were identified: silicate quartzites with magnetite, silicate-magnetite quartzites, magnetite-silicate quartzites, magnetite quartzites with hematite, hematite-magnetite quartzites, magnetite-hematite quartzites, hematite quartzites with magnetite. In the boundaries of the work area of a regular change of varieties of ores from hematite quartzites with magnetite in the central parts to silicate quartzites with magnetite on the periphery was established. In the same direction the regularities of

changing the content of Fe_{tot} , Fe_{magn} , and sulfur (S) were elaborated. However, the authigenic-mineralogical zonation of the productive strata of the eastern wing of the syncline structure of the deposit was disturbed as a result of the overprint of metasomatic processes caused by the formation of bodies of aegirine and rebekeitic metasomatites on the basis of ferruginous quartzites was established.

Keywords: Petrovsky deposit, lean magnetite ores, ferruginous quartzites, mineralogical variability, M_M - M_O diagram, petrochemical indices.

References

1. Evtekhov V., Menshekov D. (1999). Variability of the mineral composition of the productive strata of the Petrovsky deposit. *Geological-mineralogical journal*, 1, 41-43.
2. Evtekhov V., Zraiskii G., Balashov V., Valeev O. (1988). Zonation of sodium metasomatites in ferruginous quartzites of the Northern KryvyiRih. *Essays of physico-chemical petrology*, 15, 17-37.
3. Paranko I., Butyrin V., Zmievisky G. (1992). *State Geological Map of Ukraine. Scale 1: 50000. Krivoy Rog mining district. Explanatory note.* Kiev: TsTE Goskomgeologii Ukrainy.
4. Blokha I. (1999). Preliminary assessment of the complex mineral and raw material base of the Petrovsky deposit of ferruginous quartzites. *Geological-mineralogical journal*, 1, 68-71.
5. Blokha V., Orishchenko O. (2015). Decorative and collector stone of the Petrovsky and Artemivsky deposits of the Kryvyi Rih basin. *The Geological and Mineralogical journal of Krivoy Rog National University*, 2 (34), 99-103.
6. Belevtsev R., Belyaev O., Vetrinkets V., and others. (1989). *The ferruginous-siliceous formations of the Precambrian of the European part of the USSR. Metamorphism.* Kiev: Naukova Dumka.
7. Pirogov B., Stebnovskaya Yu., Evtekhov V., and others. (1989). *The iron-siliceous formations of the Precambrian of the European part of the USSR. Mineralogy.* Kiev: Naukova Dumka.
8. Plaksenko N. (1966). *The main regularities of iron ore sedimentation in the Precambrian (on the example of the Kursk magnetic anomaly).* Voronezh: Voronezh State University.
9. Strakhov N. (1962). *Fundamentals of the theory of lithogenesis.* Moscow: Izd. AN SSSR.
10. Khodyush L. (1967). Authigenic-mineralogical zonation as one of the criteria for the dismemberment and comparison of iron ore strata in the ferruginous-siliceous formations of the Precambrian (on the example of the Belozersky iron ore region). *Problems of studying Precambrian geology*, 243-249.
11. Belevtsev Ya., Yipatko Yu., Verigin M., Lebedev Yu., Malyutin Ye. (1981). *Iron-ore deposits of the Precambrian of Ukraine and their predictive estimation.* Kyiv: Naukova Dumka.
12. Belevtsev Ya. (1989). *Iron-siliceous Precambrian formations of the European part of the USSR.* Kiev: Naukova dumka.
13. Evtekhov V., Karpenko S., Evtekhova A. (2007). Use of the petrochemistry diagram of M_M - M_O in the study of the autogenic zonation of the glandular-siliceous Precambrian formation. *Geological-Mineralogical journal*, 2 (18), 30-44.
14. Evtekhov V. (1978). *Mineralogical peculiarities of metasomatic changes of ferruginous quartzites in the northern region of KryviyRih (on the example of Pervomaysky deposit).* Author's abstract. Cand. Dis. Lviv: Lviv State University.
15. Pirogov B., Porotov G., Kholoshin I., Tarasenko V. (1988). *Technological mineralogy of iron ores.* Leningrad: Nauka.
16. Chubanov V., Evtekhov V. (1996). Identification of mineral varieties and technological grades of Kryvbas ores. *Mining journal*, 11-12, 14-17.
17. Lazarenko E., Gershoig Yu., Buchinskaya N., and others (1977). *Mineralogy of the Krivoy Rog basin.* Kiev: Naukova Dumka.
18. Korzhinsky D. (1955). *Essay on metasomatic processes. Main problems in the study of magmatic ore deposits.* Moscow: Izd. AN SSSR.
19. Snezhko A., Tereshchenko S., Yushin A. (2003). Physico-chemical characteristics of processes of noble metals concentration in graphite-bearing rocks of the Petrovsky deposit. *Geological-mineralogical journal*, 2, 67-69.
20. Plotnikov O. (2002). Right Bank district of the Ukrainian shield - our most prospective mineral-ore base for metallurgy. *Mineral Resources of Ukraine*, 1, 16-20.