

УДК 549 : 553.8 : 353.31 (477.63)

В.О. Андрейчак, В.Д. Євтехов, А.В. Євтехова

Державна установа вищої освіти

"Криворізький національний університет"

50002, м. Кривий Ріг, Україна, вул. XXII партз'їзду, 11

E-mail: mineralogia.knu@gmail.com; evtekhov@gmail.com; eva_anna@mail.ru

ГЕНЕЗИС СІРОГО "СОКОЛИНОГО ОКА" КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

Викладено результати комплексного мінералогічного дослідження сірого "соколиного ока" — найбільш поширеного різновиду в залізорудній товщі Криворізького басейну. Прояви ока відомі в продуктивних залізорудних і вмісних товщах практично всіх залізорудних родовищ Кривбасу, але найбільш поширені вони в межах Глеюватського родовища. Забарвлення та гемологічну цінність сірого "соколиного ока" визначають мінеральний склад, структура, текстура каменю, що залежать від умов його утворення. Вихідним матеріалом для сірого "соколиного ока" був кумінгтонітовий азбест метаморфогенних альпійських жил серед магнетит-кумінгтонітових кварцитів саксаганської світи. На регресивній стадії динамотермального метаморфізму він зазнав окварцювання, що спричинило утворення сірого "соколиного ока". Сіре "соколине око" найвищої якості характеризується близьким до паритетного співвідношенням первинного кумінгтоніту та епігенетичного кварцу. Подальше наростання інтенсивності окварцювання призводило до негативних наслідків: "соколине око" поступово заміщувалося мономінеральним гранобластовим агрегатом кварцу, камінь втрачав ефект переливчастості.

Ключові слова: залізисто-кремениста формація, Криворізький басейн, сіре "соколине око", локалізація, морфологія індивідів і агрегатів, мінеральний склад.

Вступ. Криворізький залізорудний басейн є одним із найцікавіших мінералогічних об'єктів Українського щита. Його надра містять не тільки унікальні запаси бідних і багатих залізних руд, але й близько 50 видів інших металевих і неметалевих корисних копалин, серед них каменебарвна сировина та колекційне каміння. За її різноманітністю й ресурсами Криворізький басейн посідає провідне місце в Україні. До найбільш поширених різновидів кольорового каменю Кривбасу належить "соколине око", представлене трьома мінеральними й колористичними типами — сірим кумінгтонітовим, блакитним магнезіорибекітовим і синім рибекітовим, — а також золотисто-коричневе "тигрове око", яке є продуктом гіпергенних змін "соколиного ока" [3, 9, 11].

Прояви "тигрового" та "соколиного" ока виявлені у межах майже всіх залізорудних родовищ Криворізького басейну: Ганнівського, Первомайського, Валявкинського, Рахманівського,

Інгулецького та родовищ шахт ім. В.І. Леніна, "Гвардійська", "Ювілейна", ім. М.В. Фрунзе, "Родіна", ім. М.І. Калініна, "Північна" ім. В.А. Валявка. Але найчастіше їх знаходять у розрізі залізорудної товщі Глеюватського родовища [1, 2, 4].

Одним з найпоширеніших і найцікавіших є сіре "соколине око". Воно й стало об'єктом дослідження, оскільки число його знахідок становить близько 70 % від загальної кількості зразків подібного виробного каменю. Вироби, виготовлені з сірого "соколиного ока", відрізняються високою декоративністю та гемологічною цінністю.

Мінеральний склад, особливості структури й текстури, генезис цього каменю розглянуто у низці робіт [4—8, 10, 11]. Але викладені в цих роботах мінералогічні дані були фрагментарними або другорядними серед інших мінералогічних, геологічних характеристик залізисто-кременистої формації Кривбасу.

Мета дослідження — систематизація та доповнення відомостей щодо умов і стадійності

Рис. 1. Паралельноволокнистий агрегат кумінгтонітового азбесту сьомого сланцевого горизонту Плеуватського родовища

Fig. 1. Parallel-columnar aggregate of cummingtonite asbestos from the seventh schistose horizon Gleyuvatka deposit

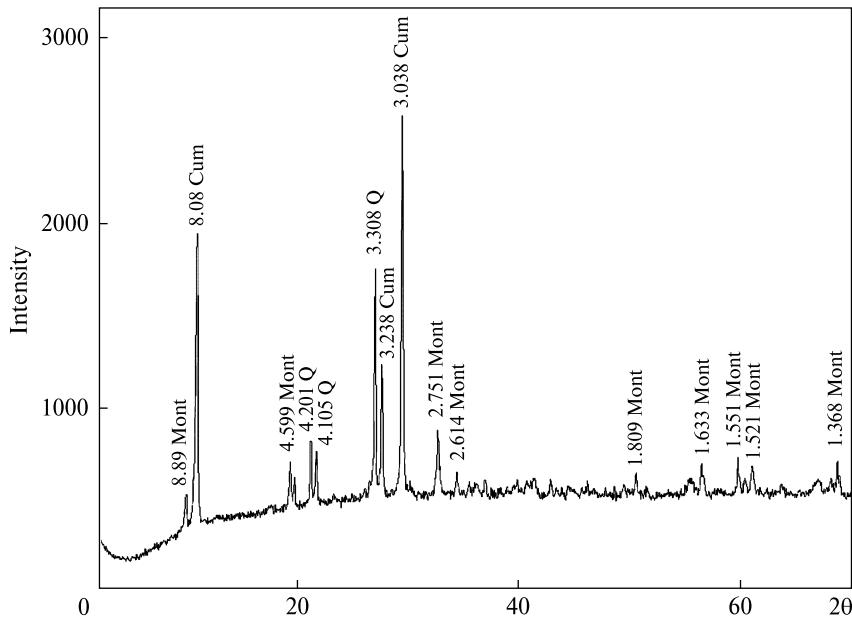


Рис. 2. Дифрактограма жили кумінгтонітового азбесту: Cum — кумінгтоніт, Mont — монтморилоніт, Q — кварц

Fig. 2. Diffractogram of the cummingtonite asbestos veins: Cum — cummingtonite, Mont — montmorillonite, Q — quartz

утворення, складу і будови індивідів та агрегатів сірого "соколиного ока", які визначають його якість як виробного каменю.

Методика досліджень. Ідентифікацію мінералів ока та вмісних залізистих порід виконано з використанням традиційних мікроскопічних методів. Використано також метод рентгенофазового аналізу (РФА). Утворення епігенетичного магнетиту у процесі окварцювання первинного кумінгтонітового азбесту було підтверджене результатами магнітометричного аналізу за допомогою магнітометра з датчиком Холла (аналітик Н.О. Дудченко).

Результати та їх обговорення. Результати польових мінералогічних досліджень у забоях кар'єру № 2 Центрального гірничозбагачувального комбінату свідчать, що в межах ділянок прояву мінералу можна спостерігати всі стадії формування сірого "соколиного ока" — від жил первинного кумінгтонітового азбесту через частково окварцовані його різновиди до високоякісного "соколиного ока" та далі до

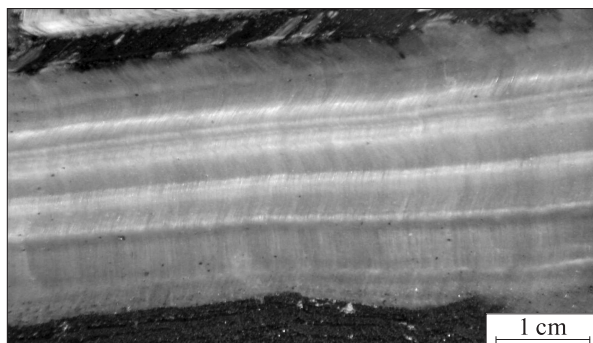


Рис. 3. Високоякісне сіре "соколине око"

Fig. 3. High quality grey "hawk's eye"

низькоякісного надмірно окварцованого ока зі слабким проявом переливчастості.

Основою для утворення сірого "соколиного ока" були альпійські жили кумінгтонітового азбесту — продукту прогресивної стадії динамотермального метаморфізму залізисто-кременистої формації. Азбест — це паралельноволокнистий агрегат дуже тонких квазііндивідів кумінгтоніту, товщина яких становить від

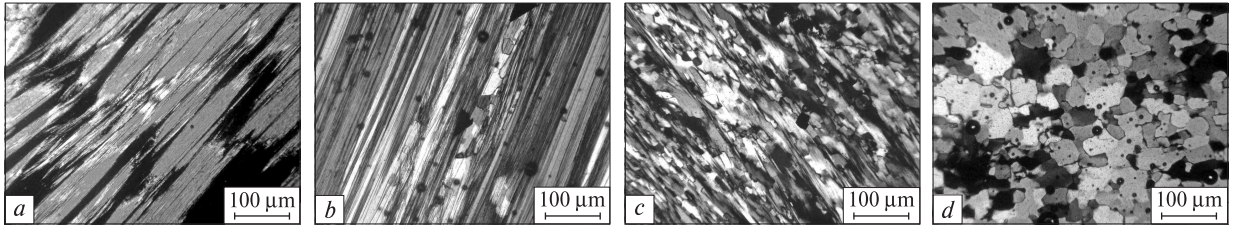


Рис. 4. Стадії формування сірого "соколиного ока" шляхом окварцювання кумінгтонітового азбесту: *a* — вихідний кумінгтонітовий азбест; *b* — початкова стадія його окварцювання; *c* — інтенсивноокварцований кумінгтонітовий азбест (сіре "соколине око" високої якості); *d* — гранобластові агрегати кварцу з ділянки повного окварцювання кумінгтонітового азбесту

Fig. 4. Stages of the grey "hawk's eye" formation by cummingtonite asbestos silicification: *a* — initial cummingtonite asbestos; *b* — primary stage of its silicification; *c* — intensively silicified cummingtonite asbestos; *d* — granoblastic quartz aggregates from the area of cummingtonite asbestos full silicification

Рис. 5. Дифрактограма високоякісного сірого "соколиного ока": Cum — кумінгтоніт, Magn — магнетит, Mont — монтморилоніт, Q — кварц

Fig. 5. Diffractogram of high quality grey "hawk's eye": Cum — cummingtonite, Magn — magnetite, Mont — montmorillonite, Q — quartz

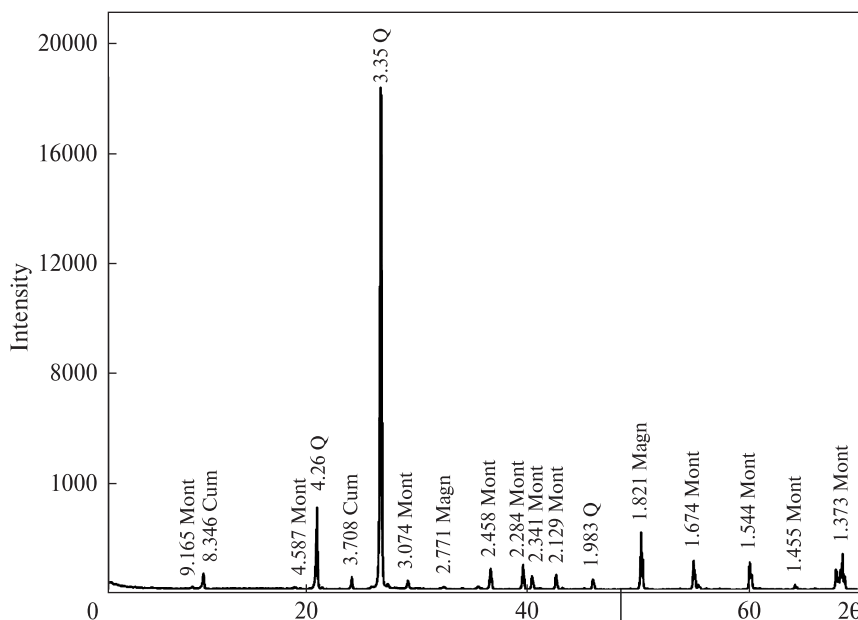
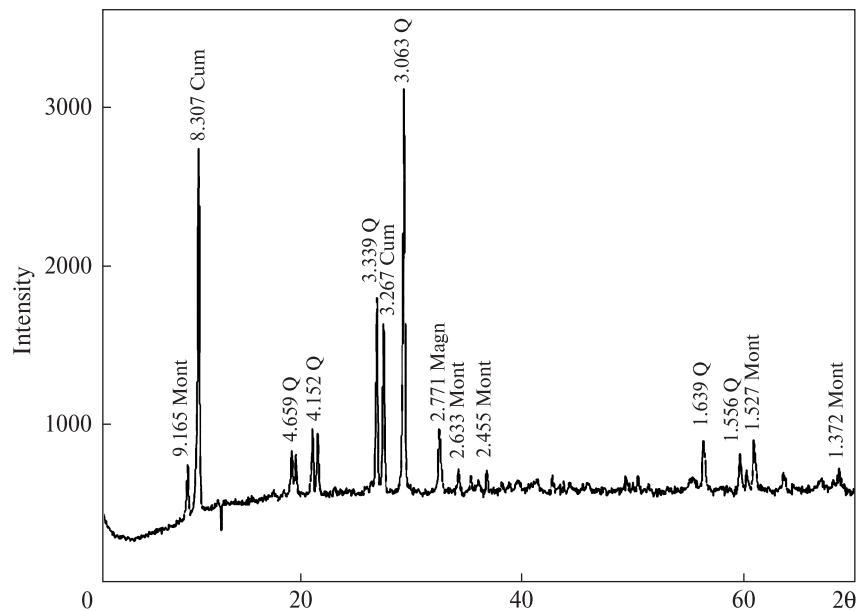


Рис. 6. Дифрактограма надмірно окварцованого сірого "соколиного ока" низької якості: Cum — кумінгтоніт, Magn — магнетит, Mont — монтморилоніт, Q — кварц

Fig. 6. Diffractogram of oversilicified grey "hawk's eye": Cum — cummingtonite, Magn — magnetite, Mont — montmorillonite, Q — quartz

декількох нанометрів до перших міліметрів, довжина досягає 5–7 см (рис. 1).

Окрім кумінгтоніту в призальбандових частинах жил та незначною мірою в їхніх центральних частинах можуть бути присутні дрібні індивіди та агрегати кварцу, магнетиту, хлориту, іноді біотиту, стильпномелану, сидериту та деяких інших силікатів і карбонатів. Ці мінерали були механічно захоплені в процесі формування жил кумінгтонітового азбесту.

За даними РФА (рис. 2), основним мінералом жил є кумінгтоніт, другорядну роль відіграють кварц і монтморилоніт.

Петрографічне вивчення зразків ока різної якості показало, що перетворення кумінгтонітового азбесту на сіре "соколине око" було пов'язане з окварцюванням кумінгтонітового азбесту, вірогідно, на регресивній стадії динамотермального метаморфізму під дією силіційвмісних метаморфогенних гідротермальних розчинів. Відбувалось заміщення (псевдоморфізація) волокнистих субіндивідів кумінгтоніту лезоподібними агрегатами дуже дрібних (0,001–0,03 мм) індивідів кварцу зі збереженням первинної паралельноволокнистої будови агрегатів кумінгтонітового азбесту. Камінь найвищої якості характеризується заміщенням кумінгтоніту кварцом приблизно в паритетних кількісних співвідношеннях (рис. 3).

Подальше наростання інтенсивності окварцювання призводило до негативних наслідків: "соколине око" поступово заміщувалось мономінеральним гранобластовим агрегатом кварцу, камінь утрачав "ефект ока" (рис. 4).

Зміну мінерального складу жил підтверджують дані РФА (рис. 5, 6).

Для рентгенограми високоякісного ока з приблизно рівним вмістом кумінгтоніту та кварцу характерні піки двох мінералів — кварцу (Q) і кумінгтоніту (Cum), а також слабші монтморилоніту (Mont) та магнетиту (Magn). У зразках надмірно окварцованого ока фіксується значне послаблення інтенсивності піків кумінгтоніту. Посилення окварцювання супроводжувалось утворенням усе більшої кількості монтморилоніту — продукту розкладання кумінгтоніту.

Надлишкове залізо, яке вивільнялось із кристалічної ґратки кумінгтоніту в процесі його окварцювання, індивідуалізувалось у вигляді дрібних (до 0,05 мм) ідіо-, субідіоморфних кристалів магнетиту, які утворюють вкраплення в агрегатах "соколиного ока" (рис. 7).

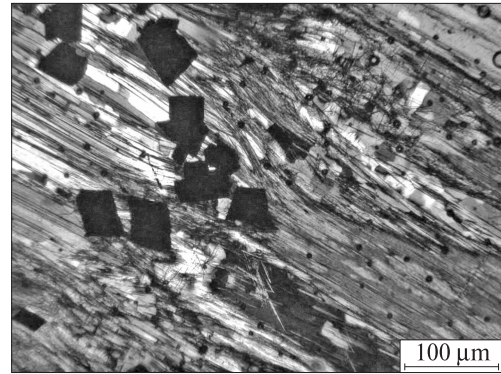


Рис. 7. Субідіоморфні кристали магнетиту в паралельноволокнистому агрегаті частково окварцованого кумінгтонітового азбесту

Fig. 7. Subidiomorphic magnetite crystals in parallel-columnar aggregate of partly silicified cummingtonite asbestos

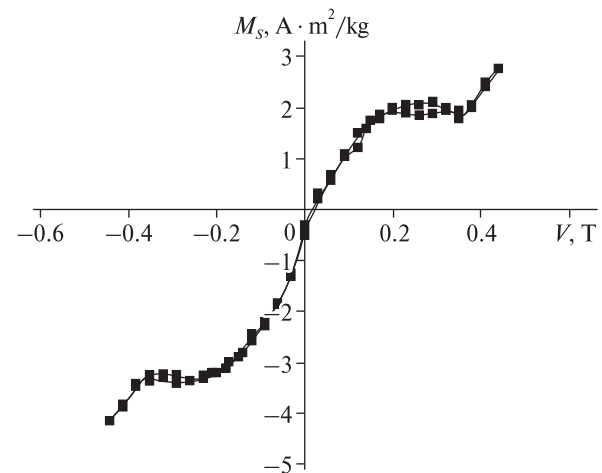


Рис. 8. Крива намагніченості зразка сірого "соколиного ока"

Fig. 8. Saturation curve of oversilicified grey "hawk's eye" specimen

Наявність незначної домішки магнетиту підтверджено результатами рентгенофазового аналізу, який показав підсилення піків мінералу (рис. 6).

Зразки з підвищеним вмістом магнетиту досліджено за допомогою методу магнітометрії в лабораторії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України (рис. 8).

З вигляду кривої можна припустити, що в складі сірого "соколиного ока" присутні дві фази магнітовпорядкованих мінералів. Перша — магнетит — насичується вже в полі близько 0,2 Тл, а друга — кумінгтоніт — за значно вищих показників магнітного поля, поза межами можливостей приладу.

Висновки. 1. "Соколине" й "тигрове око" — це представники численних видів виробного та колекційного каменю Криворізького басейну. Найпоширеніше сіре "соколине око". Число його знахідок становить близько 70 % від загальної кількості зразків.

2. Утворення "соколиного ока" пов'язане з окварцюванням метаморфогенних альпійських жил кумінгтонітового азбесту у верствах магнетит-кумінгтонітових кварцитів. Надмірне окварцювання призводило до поступового заміщення ока мономінеральним гранобластовим

агрегатом кварцу, втрати каменем ефекту переливчастості.

3. Надлишкове залізо, яке вивільнялось із кристалічної структури кумінгтоніту в процесі окварцювання, індивідуалізувалось у вигляді дрібних ідіоморфних вкраплеників магнетиту в агрегатах "соколиного ока". За наявності значної кількості магнетиту колористичні якості сірого "соколиного ока" погіршуються, оскільки його забарвлення набуває темного відтінку, "соколине око" втрачає своєрідний полик.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрейчак В.О., Євтехов В.Д. Локалізація проявів соколиного і тигрового ока Криворізького басейну // Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців : Матеріали ІХ Всеукр. наук.-практ. конф. (Кривий Ріг, 22—24 берез. 2012 р.). — Кривий Ріг, 2012. — С. 85—89.
2. Андрейчак В.О., Євтехов В.Д. Поширення тигрового та соколиного ока у межах Криворізького басейну // Сучасна геологічна наука і практика в дослідженнях студентів і молодих фахівців : Матеріали Х Всеукр. наук.-практ. конф. (Кривий Ріг, 21—23 берез. 2013 р.). — Кривий Ріг, 2013. — С. 81—84.
3. Баранов П.Н. Гемологія: діагностика, дизайн, оброблення, оцінювання самоцвітів. — Дніпропетровськ : Метал, 2002. — 208 с.
4. Блоха В.Д. О поделочных камнях Кривбасса // Відом. Акад. гірн. наук України. — 1997. — № 4. — С. 45—46.
5. Євтехов В.Д., Паранько І.С. До проблеми розвитку мінерально-сировинної бази Криворізького басейну // Мінер. ресурси України. — 1999. — № 2. — С. 7—11.
6. Євтехов В.Д. Етапи формування комплексної мінерально-сировинної бази залізородних родовищ Криворізько-Кременчуцького лініаменту // Відом. Акад. гірн. наук України. — 1997. — № 4. — С. 121—125.
7. Євтехова Г.В. Зональність альпійських жил залізородної товщі Криворізького басейну. I. Метаморфогенні жили // Геол.-мінерал. вісн. Криворізьк. нац. ун-ту. — 2004. — № 1 (11). — С. 55—64.
8. Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г., Бучинская Н.И., Белевцев Р.Я., Возняк Д.К., Галабурда Ю.А., Галий С.А., Квасница В.Н., Кульчицкая А.А., Мельник Ю.П., Мельников В.С., Павлышин В.И., Пирогов Б.И., Туркевич Г.И. Минералогия Криворожского бассейна. — Киев : Наук. думка, 1977. — 543 с.
9. Стоун Дж. Все о драгоценных камнях. — М. : Оникс, 2004. — 175 с.
10. Хэфлик В., Баранов П.Н., Натканец-Новак Л., Думанска-Словик М., Шевченко С.В., Никитенко И.С. Минералогические особенности кварцевого кошачьего глаза из Криворожских железородных месторождений // Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту. — 2008. — № 8. — С. 68—72.
11. Heaney P.J., Fisher D.M. New interpretation of the origin of tiger's-eye // *Geology*. — 2003. — **31**. — P. 323—326.

Надійшла 15.03.2016

REFERENCES

1. Andreychak, V.O. and Evtekhov, V.D. (2012), *Contemporary geological science and practice in students and young specialists researches, Proc. of IX All-Ukrainian. nauk.-pract. conf.*, Kryvyi Rih, 22-24 Mar. 2012, pp. 85-89.
2. Andreychak, V.O. and Evtekhov, V.D. (2013), *Contemporary geological science and practice in students and young specialists researches, Proc. of X All-Ukrainian. nauk.-pract. conf.*, Kryvyi Rih, 21-23 Mar. 2013, pp. 81-84.
3. Baranov, P.N. (2002), *Gemology: diagnostics, design, treatment, gem evaluation*, Metal, Dnipropetrovs'k, 208 p.
4. Blokha, V.D. (1997), *Journ. Mining Sci. Acad. Ukraine*, Kyiv, No 4, pp. 45-46.
5. Evtekhov, V.D., Paranko, I.S. and Evtekhov, E.V. (1999), *Mineral Resources of Ukraine*, Kyiv, No 2, pp. 7-11.
6. Evtekhov, V.D. (1997), *Journ. Mining Sci. Acad. Ukraine*, Kyiv, No 4, pp. 111-114.
7. Evtekhova, A.V. (2004), *Geology and Mineralogy Bull. Kryvyi Rih Nat. Univ.*, Kryvyi Rih, Ukraine, No 1 (11), pp. 55-64.
8. Lazarenko, E.K., Hershoyh, Yu.G., Buchynskaya, N.I., Belevtsev, R.Ya., Voznyak, D.K., Galaburda, Yu.A., Galiy, S.A., Kvasnytsya, V.M., Kulchytska, G.O., Mel'nik, Yu.P., Mel'nikov, V.S., Pavlyshyn, V.I., Pirogov, B.I. and Turkevich, G.I. (1977), *Mineralogy of Kryvyi Rih basin*, Nauk. dumka, Kiev, 544 p.
9. Stone, J. (2004), *All about gemstones*, Onyx, Moscow, 175 p.
10. Heflyk, V., Baranov, P.N., Natkanets-Novak, L., Dumanskiy-Slovic, M., Shevchenko, S.V. and Nikitenko, I.S. (2008), *Scientific Bull. Nat. Mining Univ.*, Dnipropetrovs'k, Ukraine, No 8, pp. 68-72.
11. Heaney, P.J. and Fisher, D.M. (2003), *Geology*, Vol. 31, pp. 323-326.

Received 15.03.2016

В.А. Андрейчак, В.Д. Евтехов, А.В. Евтехова

Государственное учреждение высшего образования

"Криворожский национальный университет"

50002, г. Кривой Рог, Украина, ул. XXII партсъезда, 11

E-mail: mineralogia.knu@mail.ru; evtekhov@gmail.com; eva_anna@mail.ru

ГЕНЕЗИС СЕРОГО "СОКОЛИНОГО ГЛАЗА" КРИВОРОЖСКОГО БАСЕЙНА

Изложены результаты комплексного минералогического исследования серого "соколиного глаза" — наиболее распространенной его разновидности в железорудной толще Криворожского бассейна. Проявления глаза известны в продуктивных и вмещающих железорудных толщах практически всех железорудных месторождений Кривбасса, но наиболее распространены они в пределах Глееватского месторождения. Окраску и геммологическую ценность серого "соколиного глаза" определяют минеральный состав, структура, текстура, которые зависят от условий его образования. Исходным материалом глаза был куммингтонитовый асбест метаморфогенных альпийских жил среди магнетит-куммингтонитовых кварцитов саксаганской свиты. На регрессивной стадии динамотермального метаморфизма он претерпел окварцевание, что привело к образованию серого "соколиного глаза". Разновидности наиболее высокого качества характеризуются близким к паритетному соотношением первичного куммингтонита и эпигенетического кварца. Дальнейшее нарастание интенсивности окварцевания привело к негативным последствиям: "соколиный глаз" постепенно замещался мономинеральным гранобластовым агрегатом кварца, камень терял эффект переливчатости.

Ключевые слова: железисто-кремнистая формация, Криворожский бассейн, серый "соколиный глаз", локализация, морфология индивидов и агрегатов, минеральный состав.

V.A. Andreichak, V.D. Evtekhov, A.V. Evtekhova

State institution of higher education "Kryvyi Rih National University"

11, XXII Party Congress Str., Kryvyi Rih, Ukraine, 50002

E-mail: mineralogia.knu@gmail.com; evtekhov@gmail.com; eva_anna@mail.ru

GENESIS OF GREY "HAWK'S EYE" OF THE KRYVYI RIH BASIN

Results of complex mineralogical studies of the grey "hawk's eye" (as its most common variety occurring in iron ore rock mass of the Kryvyi Rih basin) have been presented in the article. The eye manifestations take place in productive iron ore and enclosing rocks of practically all iron ore deposits of the Kryvbas, but they are the most typical of the Gleyuvatka deposit. Coloring and gemological value of the grey "hawk's eye" are determined by mineral composition, structure, texture which depend on the conditions of the gem formation. Cummingtonite asbestos of metamorphogenic alpine veins among magnetite-cummingtonite quartzites was the initial material for the "eye" formation. It was silicified at the regressive stage of dynamothermal metamorphism, which caused the gem formation. The grey "hawk's eye" of the highest quality is characterized by parity proportion of primary cummingtonite and epigenetic quartz. Further increase in silification process resulted in negative consequences: the "hawk's eye" was gradually replaced by the monomineral granoblastic quartz aggregate, the gem was losing its iridescence. The "tiger's eye" is a product of hypergene changes of grey, light blue and blue "hawk's eye" accompanied by formation of complex pseudomorph of dispersed goethite and hypergene quartz with inclusions of montmorillonite in fibrous individuals of amphiboles. Practically every geological process manifested in Kryvyi Rih structure: sedimentation, dynamothermal metamorphism, sodium metasomatism, tectogenesis and hypergenesis took place in the formation of "hawk's" and "tiger's" eyes of the Kryvbas. Crystallochemical, morphological, anatomical changes of the "eye" were confirmed by X-ray diffraction, X-ray fluorescence, magnetometric analyses.

Keywords: iron-banded formation, Kryvyi Rih basin, grey "hawk's eye", localization, individuals and aggregates morphology, mineral composition.