

УДК 549:553.494(477.63)

ТИТАН І РІДКІСНІ МЕТАЛИ В РУДОУТВОРЮВАЛЬНИХ МІНЕРАЛАХ КРОПИВНЯНСЬКОГО РОДОВИЩА (УКРАЇНСЬКИЙ ШИТ)

В. Харитонов

*ДВНЗ “Криворізький національний університет”,
вул. XXII партз’їзду, 11, 50027 Кривий Ріг, Україна
E-mail: wdnh@mail.ru*

Визначено середній рівень титаноносності рудних включень у габро-перидотитах Кропивнянського родовища (Коростенський плутон Українського щита), а також середній вміст Sc і V в титаномагнетиті, ільменіті й ульвіті. Отримані результати можна використовувати під час мінералогічного аналізу вихідних фосфор-титанових руд, а також продуктів їхньої рудопідготовки й сепарації в різноманітних фізичних полях.

Ключові слова: титаномагнетит, ільменіт, ульвіт, фосфор-титанові руди, габро-перидотити, Коростенський плутон, Український щит.

Кропивнянське родовище корінних фосфор-титанових руд розташоване в Житомирській обл. Просторово і генетично воно пов’язане з Володарськ-Волинським масивом основних порід Коростенського плутону (Український щит). У межах масиву виявлено Кропивнянську інтрузію титаноносних габро-перидотитів [1, 3].

Головними рудними мінералами на родовищі є титаномагнетит, ільменіт і ульвошпінель (ульвіт). Вони формують рудні сидеронітові включення в силікатній матриці базит-гіпербазитів. Наведена номенклатура рудних мінералів ґрунтується на результатах попередніх дослідників [1]. Руди Кропивнянського родовища Л. Галецький і О. Ремезова зачислили до специфічного апатит-ільменіт-титаномагнетит-ульвошпінелевого типу. Серед інших мінеральних типів корінних Р-Ті-руд також виділяють апатит-титаномагнетит-ільменітові руди крайових фацій, апатит-ільменітові та ільменітові руди малих інтрузій.

Кропивнянське родовище, як і всі інші родовища корінних руд України, ще не розробляють, проте зацікавленість у такій сировині є. Підтвердження цього – численні лабораторно-технологічні дослідження, які періодично проводили впродовж останніх десяти років [4, 5] і, напевне, ще неодноразово проводитимуть. Такі наукові роботи необхідно супроводжувати експресним кількісним мінералогічним аналізом вихідних руд та продуктів їхнього збагачення. Ця потреба буде актуальною і під час освоєння родовищ, оскільки провадження всіх відомих нині технологічних схем потребуватиме остаточного доведення.

Технологічно-мінералогічні дослідження завжди супроводжуються контролем хімічного складу вихідної і переробленої сировини. Отже, можливість порівняння мінерального і хімічного складу руд та продуктів їхнього збагачення є важливим питанням прикладної

мінералогії металевих корисних копалин. Зазвичай, значення вмісту мінералу в масових або навіть об'ємних відсотках множать на вміст корисного компонента в мінералі й ділять на сто. Так отримують розрахункове значення кількості металу в оксидній формі, яке порівнюють з даними хімічного аналізу. Зазначений прийом можна застосовувати навіть без численних досліджень хімічного складу рудного мінералу конкретної сировини, а використовувати стехіометричні дані певного мінерального виду.

Для руд Кропивнянського родовища зазначена методика є недостатньою, що пов'язано з їхнім багатокомпонентним складом. Цю науково-прикладну проблему посилює тісний просторовий зв'язок трьох рудних титаноносних фаз (рис. 1). Вирішити її, на нашу думку, можливо, визначивши вміст основного рудоутворювального компонента – двооксиду титану в ільменіті, ульвошпінелі й титаномагнетиті.

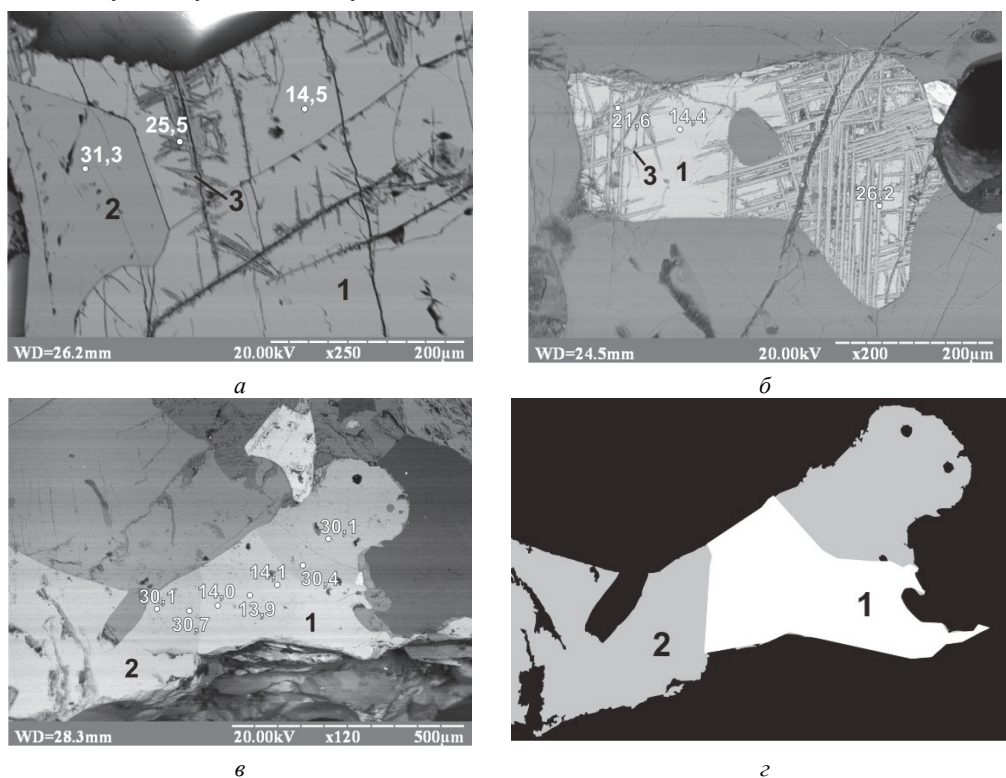


Рис. 1. Три- (а) і двокомпонентні (б, в) рудні вклучення в габро-перидотитах Кропивнянського родовища (режим відбитих електронів). Цифри біля точок зондування – значення вмісту титану (мас. %); г – адаптоване фото рудного вклучення; 1 – титаномагнетит; 2 – ільменіт; 3 – ульвошпінель.

Та спочатку з'ясуємо поняття *титаномагнетит*. У сучасній і класичній літературі цим терміном позначають: 1) різновид магнетиту з вмістом TiO_2 від декількох одиниць до перших десятків відсотків; 2) самостійний мінеральний вид – ульвошпінель $\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{2+}\text{Ti}^{4+})\text{O}_4$ – представник серії магнетиту групи шпінелі [2]; за О. Поваренних [6] –

лідер власної підгрупи в групі шпінелі; 3) магнетит з механічними включеннями ульвошпінелі, ільменіту або рутилу – продуктів розпаду твердих розчинів у мінералі-носії.

Головним критерієм якості досліджуваних руд є кількість TiO_2 . Отже, на нашу думку, саме цей показник треба обрати для розмежування поняття *титаномагнетит*, яке закріпити за магнетитом із вмістом двооксиду титану понад 5,0 мас. %. Окремий мінеральний вид – ульвошпінель – позначати винятково власною назвою або синонімом – ульвіт. Магнетит чи титаномагнетит з механічними домішками ільменіту, ульвіту або рутилу – називати ільменіт+магнетит, або ільменіт+ульвіт+титаномагнетит і так далі.

Титаноносність рудних мінералів Кропивнянського родовища вивчали за допомогою растрового електронного мікроскопа-мікроаналізатора РЭММА-102-02. Досліджували три- (ульвіт-ільменіт-титаномагнетитові) (див. рис. 1, а) та двокомпонентні (ульвіт-титаномагнетитові або ільменіт-титаномагнетитові) (див. рис. 1, б, в) включення. Загальна кількість точок зондування – 193. Статистично опрацьовано чотири вибірки – три окремі для кожної мінеральної фази та одну загальну. Також аналізували вміст головних домішкових елементів – скандію й ванадію (див. таблицю).

Вміст головних мінералоутворювальних і домішкових компонентів
у рудних мінералах Кропивнянського родовища
(мінімальне–максимальне/середньоарифметичне значення, мас. %)

Мінерал (кількість точок зондування)	Mg	Al	Sc	Ti	V	Mn	Fe
Ільменіт (65)	0,32– 0,54/ 0,44	0,18– 0,34/ 0,28	0,01– 0,18/ 0,11	30,08– 31,32/ 30,57	0,00– 0,31/ 0,13	0,27– 0,47/ 0,37	35,94– 37,04/ 36,38
Ульвіт (68)	0,00– 0,72/ 0,17	0,86– 2,67/ 1,69	0,00– 0,78/ 0,25	14,95– 29,39/ 22,03	0,04– 1,13/ 0,47	0,15– 1,55/ 0,64	37,79– 54,75/ 46,16
Титаномагнетит (60)	0,00– 0,28/ 0,17	0,88– 1,94/ 1,18	0,00– 0,73/ 0,14	15,17– 17,02/ 14,86	0,21– 1,04/ 0,39	0,24– 0,86/ 0,52	51,16– 56,34/ 55,04
Загалом для трьох мінералів (193)	0,00– 0,72/ 0,26	0,18– 2,67/ 1,05	0,00– 0,78/ 0,17	14,95– 31,32/ 22,69	0,00– 1,13/ 0,33	0,15– 1,55/ 0,52	35,94– 56,34/ 45,64

Кореляційний аналіз засвідчив, що для титаномагнетиту між значеннями вмісту хімічних елементів, наведених у таблиці, існує високий кореляційний зв'язок. Значення r між Al, Sc, Ti, V і Mn є в інтервалі 0,58–0,96, Mg і Fe – 0,86. Отже, наявні дві різночисленні групи. Між представниками різних груп виявлено сильний негативний зв'язок: значення r коливаються від –0,72 до –0,91.

В ільменіті досліджені хімічні елементи не мають тісного зв'язку. Коефіцієнт кореляції для більшості пар елементів змінюється від 0,01 до 0,51 за модулем. Виняток становлять скандій і титан ($r = -0,67$), скандій і залізо (0,73), титан і залізо (–0,92), ванадій і залізо (–0,59).

Для ульвіту характерне проміжне положення між попередніми мінералами стосовно рівня кореляційного зв'язку між кількістю хімічних елементів. Половина їхніх пар має значення коефіцієнта кореляції в діапазоні від –0,31 до –0,36 та від 0,21 до 0,43. Інші

пари, навпаки, відрізняються тісним негативним або позитивним зв'язком: Mg зі Sc, Mn і V – від $-0,58$ до $-0,72$; Fe з Al, Ti та Mn – від $-0,75$ до $-0,98$; Al зі Sc, V і Ti – від $0,64$ до $0,72$; Sc з V – $0,97$; Ti з Mn – $0,80$.

У загальній вибірці між значеннями вмісту хімічних елементів виявлено винятково позитивний кореляційний зв'язок. Переважна кількість значень коефіцієнта кореляції є в інтервалі $0,55$ – $0,97$. Слабкий зв'язок зафіксовано в парах мангану з Mg, Al, Sc і V: від $0,23$ до $0,43$.

Узагальнюючи дані кореляційного аналізу, можна помітити, що титаномагнетит і ульвіт відрізняються від'ємним зв'язком магнію й заліза з іншими хімічними елементами. Для ільменіту характерний тісний кореляційний зв'язок між мінералоутворювальними (Fe, Ti) і домішковими (V, Sc) елементами. Додатне значення коефіцієнта кореляції між вмістом заліза й кількістю ванадію та скандію і водночас від'ємне значення r між титаном, скандієм і ванадієм можна пояснити переважним ізоморфізмом рідкіснометалевих елементів і титану.

Для вирішення прикладних мінералогічних питань загальний рівень титаноносності рудних включень визначено так. На початку оцінено можливість використання середньоарифметичного значення вмісту титану, наведеного в таблиці.

З цією метою побудовано гістограми (рис. 2). Вони доводять, що ільменіту властивий закон розподілу значень вмісту титану, близький до нормального.

Це дало змогу використовувати для подальших обчислень саме середньоарифметичне значення кількості титану. Для титаномагнетиту найбільша частота значень є в інтервалі $14,45$ – $14,79$, надалі ми прийняли середнє значення вмісту титану, що відповідає середині цього інтервалу – $14,62$ мас. %. Для ульвіту прийнято середнє значення кількості титану $19,76$ мас. %.

Далі обчислено середньозважене значення вмісту титану в рудних включеннях. Для цього визначено частку кожного з трьох мінералів (титаномагнетит, ульвіт, ільменіт) у включеннях. Їхнє фото адаптовано в одній з графічних програм (див. рис. 1, з). Потім за допомогою програми EmbroBox визначено площі, які займають на фото чотири мінеральні фази – три рудні титанові мінерали, а за четверту фазу прийнято всі інші мінерали кропивнянських руд, які потрапили на фото.

Після перерахунку на "чисте" рудне включення (без урахування нерудних мінералів) отримано остаточні значення частки титаномагнетиту, ільменіту й ульвошпінелі в його складі, які, відповідно, становлять $52,39$, $25,12$ і $22,49$ об. %.

Прийнята одиниця вимірювання є стандартним підходом, який використовують у мінерографії [7] під час виконання фазового мінерального аналізу планіметричним методом, коли площі мінеральних фаз співвідносять з об'ємом, який займає той чи інший мінерал.

З урахуванням значень вмісту титану і частки рудних мінералів визначено середньозважене значення титаноносності рудних включень у габро-перидотитах Кропивнянського родовища, яке дорівнює $19,5$ мас. %.

Отже, перевідним коефіцієнтом значення вмісту рудних мінералів у досліджуваній сировині в кількість титану буде $0,195$. Для порівняння отриманих даних з результатами хімічного аналізу значення вмісту TiO_2 теж треба перевести у кількість титану, тобто застосувати перевідний коефіцієнт $0,6$.

Рівень скандієносності та ванадієносності, обчислений аналогічно до титаноносності рудних включень, становить, відповідно, $0,13$ і $0,25$ мас. %.

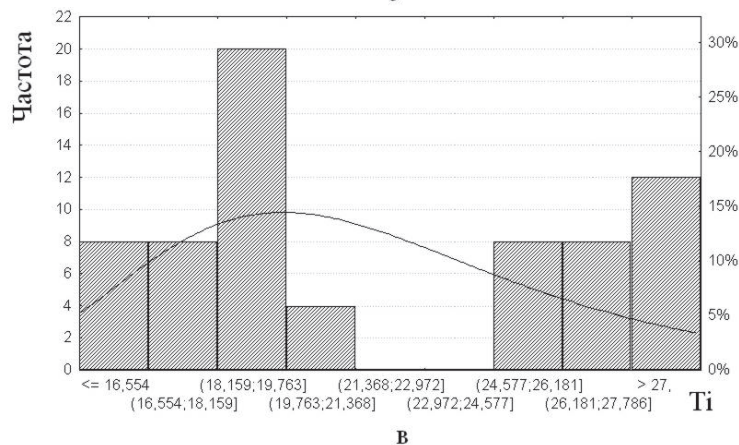
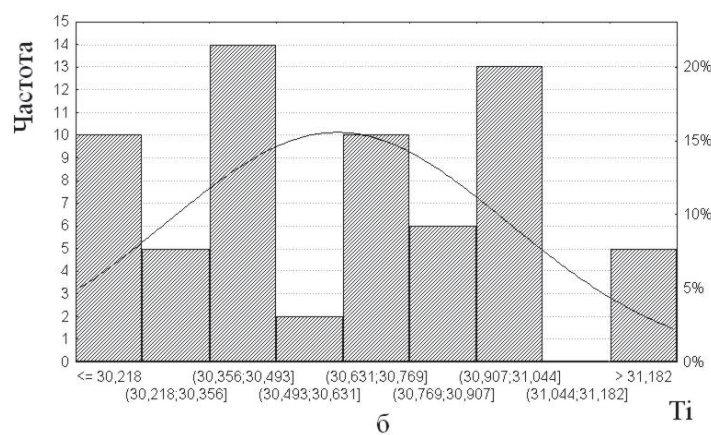
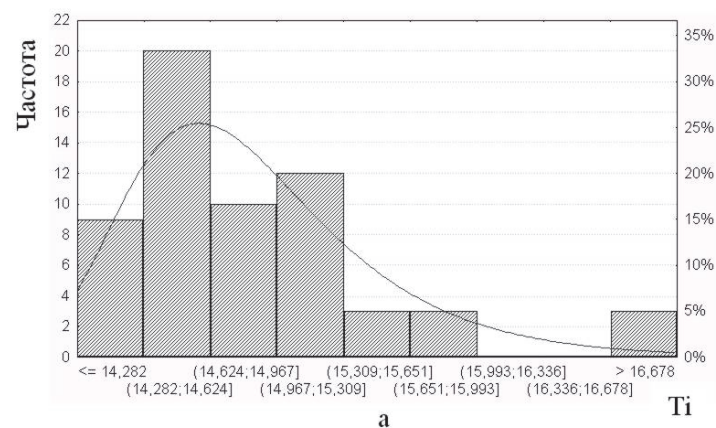


Рис. 2. Гістограми розподілу значень вмісту титану в титаномагнетиті (а), ільменіті (б) та ульвіті (в), мас. %. Вертикальна шкала ліворуч – кількість значень, праворуч – відсотки від загальної кількості.

Отримані нами результати можна використовувати під час мінералогічного аналізу вихідних фосфор-титанових руд, а також продуктів їхньої рудопідготовки (дроблення, подрібнення) і сепарації в різноманітних полях. Подальші дослідження плануємо спрямувати на визначення середнього рівня титаноносності та вмісту рідкісних металів магнітних і немагнітних фракцій, отриманих з руд Кропивнянського родовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Галецкий Л. С. Металлогения титана Украины / Л. С. Галецкий, Е. А. Ремезова // Наукові засади геолого-економічної оцінки мінерально-сировинної бази України та світу : міжнар. наук. конф. : тези доп. – К. : Ніка-центр, 2011. – С. 16–18.
2. Дир. У. А. Породообразующие минералы. Т. 5 : Несиликатные минералы / У. А. Дир, Р. А. Хауи, Дж. Зусман. – М. : Мир, 1966. – 408 с.
3. Митрохіна Т. Титаноносні інтрузії в анортозитових комплексах протерозою / Т. Митрохіна, О. Митрохин // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. геологія. – 2010. – Вип. 48. – С. 22–26.
4. Олейник Т. А. Анализ разработанных технологий обогащения комплексных коренных титаносодержащих руд Украины / Т. А. Олейник // Вісн. Криворізького техн. ун-ту. – 2009. – Вип. 18. – С. 92–96.
5. Развитие технологий добычи, обогащения и переработки титанового сырья в мире и Украине / Т. А. Олейник, Т. П. Гурьянова, Г. А. Колобов [и др.] // Металургія : Наук. праці Запорізької держ. академії. – 2010. – Вип. 22. – С. 23–29.
6. Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов / А. С. Поваренных. – Киев : Наук. думка, 1966. – 547 с.
7. Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд / С. А. Юшко. – М. : Недра, 1971. – 344 с.

*Стаття: надійшла до редакції 02.06.2013
прийнята до друку 19.06.2013*

**TITANIUM AND RARE METALS
IN THE ORE FORMING MINERALS
OF KROPYVNYANSKE DEPOSIT (UKRAINIAN SHIELD)**

V. Kharytonov

*Kryvyi Rih National University,
11, XXII Partz'yizdu St., 50027 Kryvyi Rih, Ukraine
E-mail: wdnh@mail.ru*

Average level of Ti ore inclusions in gabbro-peridotites from Kropyvnyanske deposit (Korostenskyi pluton, Ukrainian shield) has been determined, as well as the mean value of Sc and V in Ti-magnetite, ilmenite and ulvite. These results can be used during mineralogical analysis of original P-Ti ores and the products of their beneficiation and separation in different physical fields.

Key words: Ti-magnetite, ilmenite, ulvite, phosphorus-titanium ores, gabbro-peridotites, Korostenskyi pluton, Ukrainian shield.

**ТИТАН И РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ
В РУДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛАХ
КРОПИВНЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (УКРАИНСКИЙ ШИТ)**

В. Харитонов

*ГВУЗ "Криворожский национальный университет",
ул. XXII партсъезда, 11, 50027 Кривой Рог, Украина
E-mail: wdnh@mail.ru*

Определено средний уровень титаноносности рудных включений в габбро-перидотитах Кропивнянского месторождения (Коростенский плутон Украинского щита), а также среднее содержание Sc и V в титаномагнетите, ильмените и ульвите. Полученные результаты можно использовать при минералогическом анализе исходных фосфор-титановых руд, а также продуктов их рудоподготовки и сепарации в различных физических полях.

Ключевые слова: титаномагнетит, ильменит, ульвит, фосфор-титановые руды, габбро-перидотиты, Коростенский плутон, Украинский щит.