

УДК 556.388(013)

**В.М.Харитонов, канд. геол. наук, доц.,
Т.А.Олійник, д-р техн. наук, проф.**

Державний вищий навчальний заклад „Криворізький
Національний університет“, м. Кривий Ріг, Україна,
e-mail: oleynik-t@rambler.ru

СУЧАСНИЙ СТАН МЕТОДІВ МІНЕРАЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ КОРИННИХ ФОСФОР-ТИТАНОВИХ РУД РОДОВИЩ УКРАЇНИ

**V.M. Kharytonov, Cand. Sci. (Geol.), Associate
Professor,
T.A. Oliinyk, Dr. Sci. (Tech.), Professor**

State Higher Educational Institution “Kryvyi Rih National Uni-
versity”, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: oleynik-t@rambler.ru

CURRENT STATE OF METHODS OF MINERALOGICAL ANALYSIS OF PHOSPHORUS-TITANIUM LEDGE ORE DEPOSITS OF UKRAINE

Мета. Систематизувати інформацію про методи мінералогічних досліджень фосфор-титанової сировини родовищ України; узагальнити досвід проведення комп'ютеризованого мінералогічного аналізу руд у полірованих препаратах у лабораторіях науково-дослідницького сектору Державного ВНЗ „Криворізький національний університет“.

Методика. Кількісний мінералогічний аналіз фосфор-титанових руд Носачівського родовища у відбитому світлі проведений стандартними лінійним і планіметричним методами. Також застосований комп'ютеризований аналітичний метод з використанням програми “EmbriBox”. Аналізувалися три технологічні проби, з яких було виготовлено по дев'ять полірованих препаратів. Визначалась кількість у рудах трьох фаз – ільменіт, нерудні мінерали + апатит і сульфідів. Порівняння мінералогічних даних з результатами хімічного аналізу проводилось з урахуванням даних про вміст діоксиду титану у складі ільменіту, що визначались для ільменітових мономінеральних фракцій.

Результати. Вміст мінеральних фаз (середнє значення для трьох технологічних проб), визначений планіметричним методом, становив: ільменіту – 23,5 об.% відповідно; нерудних мінералів + апатиту – 73,4; сульфідів – 3,1; лінійним методом – 32,2; 67,1; 0,7 об.% відповідно; за допомогою програми “EmbriBox” – 13,2; 84,6; 2,2 об.% відповідно. За даними хімічного аналізу технологічних проб руд Носачівського родовища середнє значення в них вмісту TiO_2 становить 6,7 мас.%. Встановлено, що найбільш наближені до даних хімічного аналізу є значення, що отримані комп'ютеризованим методом.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в розробці авторами методики комп'ютеризованого аналізу цифрових зображень полірованих поверхонь препаратів, виготовлених із фосфор-титанових руд, за допомогою прикладних комп'ютерних програм.

Практична значимість. Результати можливо використовувати під час подальших досліджень фосфор-титанової сировини у відбитому світлі, а також для проведення кількісного аналізу руд іншого мінерального складу.

Ключові слова: *ільменіт, титаномагнетит, прикладна мінералогія, комп'ютерний аналіз зображень*

Вступ. В Україні велика увага приділяється дослідженню корінних фосфор-титанових руд. Це обумовлено потребою промисловості в сировині магматичного походження для отримання високоякісного титанового пігменту. З магматичним геолого-промисловим типом родовищ пов'язують величезні резерви для поповнення в майбутньому запасів титану країни (76% усіх балансів запасів). Серед найбільш відомих родовищ з них є Стремигородське, Федорівське, Кропивенське, Носачівське та інші. Рівень потенційних ресурсів титану та потужностей виробництва ільменітових концентратів України оцінюється в 20% від світових [1].

Площі поширення корінних родовищ титану України – Житомирська та Черкаська області. У геолого-структурному відношенні родовища пов'язані з крупними Коростенським і Корсунь-Новомиргородським плутонами Українського щита відповідно. Вони являють собою складні розшаровані інтрузивні тіла, представлені комплексами ультраосновних, основних,

середніх і кислих магматичних порід. Родовища титану пов'язані з малими інтрузіями (стремигородська, федорівська, носачівська та ін.) основних і ультраосновних порід, розташованих у межах плутонів. Головними рудними мінералами на родовищах є ільменіт і титаномагнетит, другорядними – ульвошпінель, апатит. Ільменіт представлений дрібними округлими зернами у зростанні з титаномагнетитом. Частина ільменіту знаходиться в титаномагнетиті у вигляді тонких пластинчатих включень. Ульвошпінель утворює тонку сітку в титаномагнетиті. Апатит спостерігається у вигляді тонких індивідів у зрощеннях з іншими мінералами руд. Нерудні мінерали представлені, в основному, піроксеном, плагіоклазом, олівіном, роговою обманкою, біотитом. Сульфідів (пірит та піротин) присутні в рудах як акцесорії.

Оскільки серед корінних фосфор-титанових руд, крім багатих за вмістом діоксиду титану, виділяють також бідні та середні, гостро постає питання необхідності розробки нових та вдосконалення існуючих технологій їх переробки. Такі

дослідження активізувались протягом останніх десяти років і тривають досі. За умов різного ступеню вивчення родовищ і рудопроявів корінних фосфоританових руд України, можна передбачити необхідність у дослідницьких роботах на їх збагачуваність і в подальшому. Також можливе посилення вивчення, у зв'язку з геолого-економічною оцінкою, родовищ для відкриття або поновлення раніше відкритих ліцензій на видобуток надр. Обов'язковим супроводом досліджень на збагачуваність сировини є мінералогічний аналіз, що включає визначення якісного та кількісного мінерального складу, відібраних з руд вихідних технологічних проб та продуктів їх переробки (дроблення, подрібнення, сепарація в різноманітних фізичних полях). Враховуючи, що дослідження на збагачуваність проводять поступово з нарощуванням маси технологічних проб (від одиниць кілограмів до десятків і, навіть, сотень тон), мінерологи мають нагоду опрацювати значну кількість фактичного матеріалу. Не обмежуючись питаннями прикладної мінералогії, вони можуть отримати інформацію, важливу для вирішення питань генетичної мінералогії, петрології, рудогенезу та інших напрямів геологічних досліджень.

Аналіз досліджень і публікацій. В якості першоджерел щодо мінералогічних досліджень Р-Ті-руд родовищ України були вибрані провідні періодичні видання нашої країни, що публікують наукові статті на мінералогічну тематику – „Мінералогічний журнал“, „Записки Українського мінералогічного товариства“, „Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка“, „Мінералогічний збірник“, „Мінеральні ресурси України“, „Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-геологічна“, „Геолого-мінералогічний вісник“, „Вісник національного гірничого університету“, а також матеріали деяких наукових конференцій. Ознайомились автори також зі статтею Ю.А. Галабурди щодо мінералогічних публікацій українських видань за 2005–2008 рр. [2]. Загальна кількість опрацьованих авторами статей за останні вісім років (з 2005 р. включно), що містять мінералогічну інформацію стосовно фосфоританових руд України, становила 22 публікації. Усі їх можна згрупувати в чотири рубрики: 1) мінералогія та геохімія (О.В. Митрохин, А.В. Пичугін, Л.В. Шумлянський та ін., 2006; О.В. Шумлянський, О.В. Митрохин, О.Є. Гречанівська та ін., 2006; Л.В. Шумлянський, 2007; С.Г. Кривдік, Т.В. Гуравський, О.В. Дубина, О.М. Братчук та ін., 2009; Л.С. Галецький, О.О. Ремезова, 2011); 2) мінералогія й петрологія (О.О. Ремезова, 2005; О.В. Митрохин, Т.В. Митрохина, 2006, 2007; С.Г. Кривдік, О.В. Дубина, Т.В. Гуравський, 2008; О. Митрохин, 2008, 2009); 3) мінералогія та рудогенез (Д.К. Жданов, 2006; О.Б. Висоцький, Б.Л. Висоцький, 2007, 2009; О.Б. Висоцький, С.К. Швайберов, Б.Л. Висоцький, 2008; О.Б. Висоцький, А.С. Черниш, Б.Л. Висоцький, 2008; О.О. Ремезова, 2011); 4) прикладна мінералогія (В.М. Харитонов, Т.А. Олійник, Ю.М. Мірошніченко, 2005; В.М. Харитонов, 2007; В.М. Харитонов, Т.А. Олійник, 2009; В.М. Харитонов, М.В. Воро-

бйова, 2010; В.М. Харитонов, Т.А. Олійник, 2010, 2011; В.М. Харитонов, 2010, 2012). Так як деякі публікації за змістом можуть бути розташовані в декількох рубриках, запропоноване групування є доволі умовним, але, на погляд авторів, достатнім для систематики та виявлення певних закономірностей.

У статтях першої рубрики міститься інформація щодо вмісту хімічних елементів у породах аноксидит-рапаківігранітної формації, з якими пов'язані фосфор-титанові руди, а також щодо особливостей хімічного складу окремих мінералів цих порід – кліно- та ортопіроксенів, олівіну, плагіоклазу, калієвого польового шпату, ільменіту, апатиту, сульфідів, циркону, чевкініту, преніту, епідоту, флогопіту та ін. Публікація С.Г. Кривдіка, О.В. Дубини, Т.І. Довбуш та ін. [3] присвячена визначенню вмісту Sr, Y, Eu, Rb, а також значень співвідношення $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Y/Sr, Eu/Eu, Rb/Sr в апатитах з габро Давидківського масиву, феро-габро Південно-Кальчицького масиву, піроксеніту Покрово-Кириївського масиву, рудного нориту Носачівського родовища, олівінового піроксеніту та біотитового метапіроксеніту Голосківського родовища. Застосовані авторами статей методи досліджень – хімічний аналіз, ICP MS (маспектрометричний аналіз індуктивно-пов'язаної плазми), РФА (рентгено-флюоресцентний аналіз), спектральний, валовий XRF, інтегрований і локальний мікрозондові аналізи, рентген-фазовий аналіз.

Публікації мінералого-петрологічної рубрики охоплюють інформацію щодо особливостей складу мінералів і деяких їх оптичних властивостей, на основі якої дослідники намагались вирішити певні петрологічні питання. Серед мінералогічної інформації слід відзначити наведені авторами відомості про хімічний склад, морфологію та гранулометрію піроксенів, плагіоклазів, ільменіту, олівіну, титаномагнетиту й апатиту; значення деяких оптичних показників і температури кристалізації залізо-титанових мінералів. Застосовані авторами публікацій цієї рубрики аналітичні мінералогічні методи – хімічний, спектральний аналіз. Також був використаний діоксидний магнетит-ільменітовий геотермометр, адаптований під програму QUILF [4].

У статтях третьої рубрики міститься мінералогічна інформація, що супроводжує опис окремих родовищ фосфор-титанових руд України, а також припущення щодо генетичної моделі рудних покладів. Мінералогічні дані стосуються кількісних співвідношень мінералів у різних породах Федорівського, Кропивнянського, Стремигородського та інших родовищ, особливостей хімічного складу окремих мінералів (ульвошпінель, форстерит, ільменіт, фаяліт, магнетит, апатит гаусоскіт) та їх оптичних і електричних властивостей, наприклад значення Ng і Nr для мінералів класу „Силікати“ з порід і руд Стремигородського родовища та дані про коефіцієнт TERC ільменіту з утворень Давид-

ківського рудопояву, що чисельно близький до 90 мкв/град [5]. Застосовані авторами публікацій цієї рубрики аналітичні мінералогічні методи – хімічний, спектральний, мікрозондовий, оптичний, кристаломорфологічний і термоелектричний аналізи. В якості статистичних методів використані кластерний і факторний аналізи.

Статті четвертої рубрики висвітлюють результати досліджень корінних Р-Ті-руд родовищ України, проведених за участі авторів. У публікаціях містяться мінералогічні рекомендації до розробки технології збагачення апатит-ільменітової сировини та напрямів використання продуктів її переробки, а також інформація щодо гранулометрії та хімічного складу ільменіту Носачівського родовища, про результати мінералогічного аналізу продуктів дроблення апатит-ільменітових руд, методику вторинного опробування, застосовану під час мінерало-технологічних робіт, про морфологію апатиту з продуктів переробки Р-Ті-руд. Серед методів досліджень, застосованих авторами, слід зазначити хімічний аналіз і традиційні оптичні методи у відбитому й прохідному світлі.

Постановка проблеми. Серед публікацій, що проаналізовані авторами, лише в кількох була зазначена інформація про методику проведення кількісного мінерального аналізу – це стандартний лінійний метод з використанням інтеграційного столика Андіна. В інших публікаціях такої інформації не було наведено, тому було висунуто припущення, що дослідники фосфор-титанових руд для визначення їх кількісного мінерального складу теж застосовували стандартний підхід. Більшу варіативність мають методики з визначення хімічного складу та фізичних властивостей мінералів із корінних Р-Ті-руд та порід, що їх оточують. Отже, розвиток методів мінералогічних досліджень сировини, що розглядається у статті, відбувався впродовж останніх років у напрямі вдосконалення визначення якісних характеристик мінералів. Методики з визначення кількості мінералів досі залишаються традиційними. Проте, для мінеральної сировини іншого мінерального складу відомі вдаль спроби комп'ютеризувати кількісний аналіз. Подібні роботи проведені для карбонатних порід – колекторів нафти Ондбійської ділянки одного з родовищ Республіки Татарстан [6], для теригенних порід м. Запоріжжя [7], для кернавого та шламового матеріалу руд чорних і кольорових металів, а також для техногенної сировини – цементного клінкеру, продукції кам'яного гірничоблендитового ливарництва тощо (В.В. Гайдуков та ін., 2006; А.М. Ігнатова, 2009). У цьому напрямі намагалися провести свої дослідження й автори статті.

Мета (ціль) – систематизувати інформацію щодо методів мінералогічних досліджень фосфор-титанової сировини родовищ України; узагальнити досвід проведення комп'ютеризованого мінералогічного аналізу в лабораторіях науково-дослідницького сектору ДВНЗ „Криворізький національний університет“.

Основна частина. Кожен із традиційних методів визначення вмісту мінералів у сировині базується на

реалізації завдання отримати інформацію щодо міри простору, що займає той чи інший мінерал в об'ємі породи чи руди. Вимірювання проводять за точками, лініями або площинами. Остаточний висновок щодо об'ємного мінерального складу дослідженої сировини роблять за співвідношенням окремих точок, фрагментів ліній або площин, що припадають на кожен мінерал – це, відповідно, точковий, лінійний і планіметричний методи. На сьогоднішній момент кількісний мінералогічний аналіз зазнає сталого розвитку. Він відбувається у двох напрямках: удосконалення традиційних і розробка принципово нових методів.

Удосконалення традиційних методів відбувається за рахунок залучення інформаційних технологій як більш прогресивного інструментарію, при цьому концептуальний підхід до вирішення мінералогічних питань залишається незмінним. На думку авторів, найбільш інформативним є метод вимірювання простору площинами. Використання можливостей сучасної інформаційної техніки дозволяє вдосконалювати саме планіметричний метод. Проте, застосування будь-якої новітньої технології супроводжується необхідністю виконання певних кроків, що залучаються до загального алгоритму методу. Його послідовність повинна мати вигляд: 1) отримання графічних цифрових зображень препарату; 2) їх адаптація; 3) аналіз зображень.

Отримання цифрових мікроскопічних зображень полірованих і прозорих шліфів зараз не викликає великих труднощів – існує величезний арсенал цифрових камер і відеоокулярів з необхідними технічними характеристиками. Після отримання фотографій площини препарату створюється єдиний панорамний знімок, для чого використовується програмне забезпечення, що супроводжує цифрову апаратуру. Під час виконання робіт цієї стадії, з метою підвищення експресності аналізу, можливо введення стрічкового методу – проміжного між лінійним і планіметричним (отримання панорамних зображень шліфа за профілями (мінімум три), а також комбінованого точково-планіметричного (створення панорами шліфа з дев'яти кадрів, що сфотографовані в дев'яти рівномірно розташованих у площині шліфа точках).

Наступний крок – адаптація зображень – необхідна процедура, без якої подальше проведення мінералогічного аналізу є доволі ускладненим. Виконання задачі цієї фази досліджень можна проводити за допомогою поширених графічних програм – CorelDRAW, Photoshop, iPhoto Plus, Akvis-coloriage, MultiSpec, Image Tool, Definiens eCognition та ін. Також можливе використання геоінформаційних систем, наприклад, MapInfo, ABRIS, MICROMINE, K-mine, ArcGIS тощо.

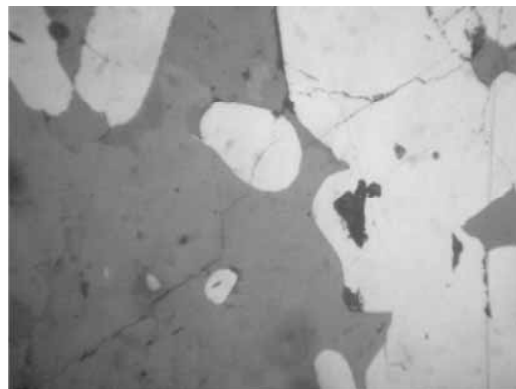
Для аналізу зображень у мінераграфії та петрографії використовують Axiovisionle, „Відео

Тест“, SIAMS Photolab, SIMAGIS, „Стиман“ та інші. Проте ці програмні продукти є доволі малодоступні, що пов'язано з ціною політикою їх розробників та розповсюджувачів. Виходом із цієї ситуації може бути адаптація програм, що розроблені для інших напрямів досліджень, покликаних до підрахунку площин об'єктів на графічних зображеннях, та які мають вільне (безкоштовне) розповсюдження, або які є оптимально функціональними в демонстраційних версіях. Такі методики відомі в багатьох галузях промисловості: у матеріалознавстві (для проведення контролю якості поверхонь – скловолокна, CD-дисків та ін.), у текстильній промисловості, у біології (дослідження препаратів, що пригнічують чи стимулюють ріст кров'яних судин) та багато інших.

У мінераграфічній лабораторії Криворізького національного університету є досвід використання програми EmbroBox, розробленої для текстильної промисловості. Запропоновану методику було апробовано на фосфор-титанових рудах Кропивнянського та Носачівського родовищ і залізних рудах Скелюватського-Магнетитового родовища. В якості приклада автори наводять послідовність і результати кількісного мінерального аналізу бідних апатит-ільменітових руд Носачівського родовища.

Після отримання цифрових знімків, їх було адаптовано у програмі CorelDRAW (демоверсія, <http://www.corel.com>). Із цією метою растрові зображення полірованої поверхні шліфів були переведені у векторну графіку. Застосування зазначеного програмного продукту не вимагає складних операцій і витрат часу, що обумовлено простим якісним мінеральним складом і сприятливими структурно-текстурними характеристиками руд Носачівського родовища (рис. 1).

Прийнята для адаптованого зображення легенда (див. підпис до рис.1) обумовлена двома положеннями: 1) для вирішення задач прикладної мінералогії (опис вихідних проб руд і продуктів їх переробки) достатнім є проведення кількісного мінерального аналізу за скороченим мінеральним складом, тобто є сенс згорнути мінералогічну інформацію, з метою абстрагування від зайвих деталей; 2) мінералогічні дослідження слід проводити з контролем отриманих результатів іншим аналізом, наприклад хімічним, а оскільки основна кількість діоксиду титану міститься в ільменіті, то достатнім буде визначити лише вміст цього мінералу, перерахувати отримане значення на TiO_2 і порівняти розрахункові результати з даними хімічного аналізу. Крім ділянок чорного та білого кольору на адаптованих зображеннях виділялись сіро-кольорові зони, що відповідали окремій фазі під назвою „сульфіди”, до якої були включені піротин, пентландит, халькопірит та ін. Адаптоване зображення було завантажено у програму EmbroBox. У зв'язку з трикопанентністю зображення, була обрана 4 кольорова система розпізнання картинки. Крім неї можливості програми дозволяють застосовувати також 2-, 8-, 16-, 32-, 64-, 128-, 216 і 256-кольорні системи.



а



б

Рис. 1. Вихідне (а) і адаптоване за допомогою програми CorelDRAW (б) зображення фосфор-титанових руд Носачівського родовища у відбитому світлі. Збільшення 30^x. Світло-сіре (а) і біле (б) – ільменіт; темно-сіре (а) і чорне (б) – нерудні мінерали та апатит

Під завантаженням зображенням миттєво виникає віконце зі значеннями автоматичного підрахунку площ різного кольору (рис. 2).

№	Оригін	Синт	DMC	цв. DMC	Color name	Назв. цв.	Anchor	Площаді	M
1	1							47,2 %	15
2	2							52,8 %	17

Рис. 2. Визначення вмісту ільменіту (біле) і нерудного мінералу (чорне) у фосфор-титановій руді Носачівського родовища за допомогою програми EmbroBox

Врахувавши легенду зображення, співвіднесимо отримані данні з кількістю ільменіту та інших мінералів у межах аналітичної ділянки (один знімок полірованого препарату руди). Далі результати були перенесені до додатку Excel Microsoft Office. Аналогічно були проаналізовані інші знімки (загальна кількість склала 243 кадри, по 81-му для кожної з трьох лабораторно-технологічних проб Р-Ті-руди Носачівського родовища). Остаточний висновок щодо вмісту ільменіту в кожній з досліджених проб було зроблено за середньоарифметичними значеннями, розрахованими за допомогою стандартної математичної формули додатку Exel (таблиця).

Порівняння мінералогічних даних із результатами хімічного аналізу проводилося з урахуванням даних про вміст діоксиду титану у складі ільменіту, що визначались для ільменітових мономінеральних фракцій, отриманих із лабораторно-технологічних проб за допомогою електромагнітної сепарації. Було встановлено, що для ільменіту з проби 1 значення титаноносності становило 50,2 мас.%, для проби 2 – 50,0 мас.%, для проби 3 – 50,1 мас.%. Отже перевідними коефіцієнтами зна-

чень вмісту ільменіту у значення кількості діоксиду титану стали 0,502; 0,500; 0,510 відповідно.

За результатами хімічного аналізу лабораторно-технологічних проб руд Носачівського родовища вміст TiO_2 в них становить 8,8; 5,1; 6,1 мас.% відповідно. Перевівши дані планіметричного методу, автори отримали наступні значення вмісту TiO_2 : для проби 1 – 13,7; для проби 2 – 12,9; для проби 3 – 8,8 мас.%. У результаті перерахунку даних лінійного кількісного аналізу рівні титаноносності проб склали 16,2; 17,3; 14,9 мас.% відповідно. Значення кількості ільменіту в досліджених пробах, визначенні з використанням програми “EmbriBox”, після обчислення в масові відсотки двооксиду титану, склали 8,4; 4,6; 6,8 відповідно. Останні розрахункові дані найбільш наближені до результатів хімічного аналізу руд.

Серед нетрадиційних методів мінералогічного аналізу можна зазначити метод дослідження руд у сферичних поверхнях, запропонований Ю.Т. Хоменком та А.С. Поляшовим [8].

Таблиця

Мінеральний склад трьох лабораторно-технологічних проб руд Носачівського родовища

№ лабораторно-технологічної проби	Метод кількісного аналізу	Вміст мінералів, об.%		
		ільменіт	нерудні мінерали+апатит	сульфіди
1	планіметричний	27,3	70,0	2,7
2		25,7	69,7	4,6
3		17,5	80,5	2,0
Середній вміст за всіма пробами		23,5	73,4	3,1
1	лінійний	32,3	66,9	0,8
2		34,5	65,1	0,4
3		29,9	69,3	0,8
Середній вміст за всіма пробами		32,2	67,1	0,7
1	за допомогою програми “EmbriBox”	16,8	79,9	3,3
2		9,2	88,6	2,2
3		13,6	85,2	1,2
Середній вміст за всіма пробами		13,2	84,6	2,2

З цією метою зі штуфних зразків або кернавого матеріалу виготовляються поліровані кулі. Криволінійна форма поверхні зрізу викриває більшу кількість структурних елементів, виявляє більшу інформацію щодо просторового розташування мінеральних індивідів та їх форму. Аналіз складних поверхонь зрізів може викликати труднощі, проте, за умов накопичення певного досвіду, може дати більш точну мінералогічну інформацію, на основі якої дослідник зробить висновки, найбільш наближені до дійсності. Зазначений метод з успіхом може використовуватись для дослідження корінних фосфор-титанових руд, в яких рудні мінерали (титаномагнетит, ільменіт і апатит) містяться у вигляді окремих індивідів або нещільно зрощених агрегатів (рис. 3).

Подальший розвиток методу автори пов'язують із розробкою скануючого мінераграфічного 3D-мікроскопу, комбінованого за принципом роботи 3D-сканера, і мікроскопів типу „Квантімет“ та „Епіквант“. Такий прилад дасть змогу отримати 3D-модель

сферичного препарату, поверхня якого буде розділена на окремі фази з різним значенням відбивної здатності, після чого автоматично можливо буде визначити кількісний мінеральний склад руди.

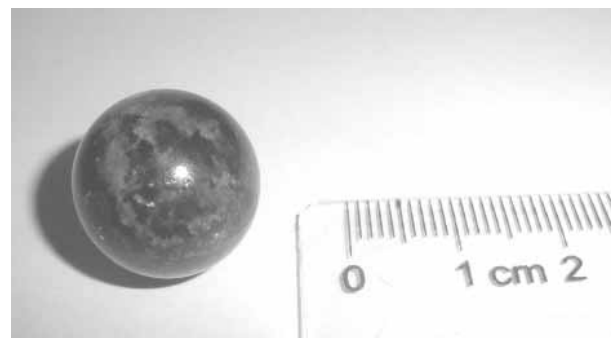


Рис. 3. Сферичний препарат фосфор-титанової руди Федорівського родовища (майстер Т.В. Зайченко)

Висновки. Дослідження фосфор-титанових руд у різних напрямках, що супроводжувались визначенням їх мінерального складу, були проведені з використанням стандартних методик. Досягнення вчених у комп'ютеризації кількісного аналізу мінеральної сировини різноманітного складу та генезису надихають до спроби застосувати інформаційні технології для вирішення питань прикладної мінералогії корінних апатит-ільменитових і апатит-титанома-гнетитових руд. Певним кроком у цьому напрямі є застосування програми "EmbriBox", за допомогою якої можливо отримувати інформацію щодо кількісного мінерального складу титанової сировини. Подальший розвиток мінералогічних досліджень титанових руд можливо очікувати також у напрямі вдосконалення апаратного забезпечення відомих методів із визначення хімічного складу та особливостей структури їх окремих мінералів. Певні перспективи в майбутньому, на думку авторів, буде мати нетрадиційний метод дослідження фосфор-титанових руд у полірованих сферичних препаратах.

Список літератури / References

1. Галецкий Л.С. Решение Международной конференции „Рудная база титана СНГ – 2009“ / Л.С. Галецкий, Л.З. Быховский // Титан. – 2010. – № 1. – С. 22–24.
2. Galetskiy, L.S. and Vykhovskiy, L.Z. (2010), "Resolution of the International Conference "Resources of Titanium Ores in the CIS Countries – 2009", *Titan*, no.1, pp. 22–24.
3. Галабурда Ю.А. Літературні джерела з мінералогії України за 2005–2008 рр. / Ю.А. Галабурда // Записки Українського мінералогічного товариства. – 2009. – Т. 6. – С. 113–124.
4. Galaburda, Yu.A. (2009), "Literary sources concerning mineralogy of Ukraine for 2005–2008", *Zapysky Ukrainського mineralogichnogo tovarystva*, Vol. 6, pp. 113–124.
5. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в апатитах із лужних і основних порід УЩ / С.Г. Кривдік, О.В. Дубина, Т.І. Довбуш [та ін.] // Мінералогічний журнал. – 2011. – № 3 (33). – С.55–62.
6. Kryvdik, S.G., Dubyna, O.V. and Dovbush, T.I. (2011), " $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in apatite from alkaline and basic rocks of the Ukrainian shield", *Mineralogichnyi zhurnal*, no.3(33), pp. 55–62.
7. Митрохин А.В. Петрология и рудоносность Федоровского апатит-ильменитового месторождения / А.В. Митрохин, Т.В. Митрохина // Мінералогічний журнал. – 2006. – № 4 (28). – С.43–52.
8. Mitrokhin, A.V. and Mitrokhina, T.V. (2006), "Petrology and presence of ore in Fedorovskoye apatite-ilmenite deposit", *Mineralogichnyi zhurnal*, no.4(28), pp. 43–52.
9. Висоцький О.Б. Давидківський апатит-ільменитовий рудопроєкт, особливості його геологічної будови та петрографо-геохімічна характеристика / О.Б. Висоцький, А.С. Черниш, Б.Л. Висоцький // Мінеральні ресурси України. – 2008. – № 4. – С. 26–31.
10. Vysotskiy, O.B., Chernysh, A.S. and Vysotskiy, B.L. (2008), "Davydkivskiy apatite-ilmenite deposit, features of its geological structure and petrographic-geochemical description", *Mineralni resursy Ukrainy*, no.4, pp. 26–31.
11. Кадыров Р.И. Компьютерная обработка микрофотографий шлифов карбонатных пород с целью изучения микроструктур и коллекторских свойств продуктивных пластов / Р.И. Кадыров, И.Ю. Чернова // ArcReview. – 2010. – № 3 (54). – С. 14–15.
12. Kadyrov, R.I. and Chernova, I.Yu. (2010), "Use of computer treatment of microphotographs of carbonate rock sections to study microstructures and collector properties of producing strata", *ArcReview*, no.3(54), pp. 14–15.
13. Соколов В.Н. Количественный анализ микроструктуры горных пород по изображениям в растворе электронном микроскопе / В.Н. Соколов // Соросовский Образовательный Журнал. – 1997. – № 8. – С. 72–78.
14. Sokolov, V.N. (1997), "Quantitative analysis of microstructure of rocks by images received by scanning electron microscope", *Sorosovskiy Obrazovatelniy Zhurnal*, no.8, pp. 72–78.
15. Хоменко Ю.Т. Анализ изображений поверхностей среза / Ю.Т. Хоменко, А.С. Поляшов // Форум гірників – 2010 : междунар. научно-техн. конф., сер. Геология, 21–23 октября 2010 г.: статьи / Днепропетровский Национальный горный университет. – Днепропетровск, 2010. – С. 43–50.
16. Khomenko, Yu.T. and Poliashov, A.S. (2010), "Analysis of cut surface images", *Proc. of the Int. Conf. "Forum of mining engineers – 2010"*, Dnipropetrovsk, October 21–23, pp. 43–50.

Цель. Систематизировать информацию о методах минералогических исследований фосфор-титанового сырья месторождений Украины; обобщить опыт проведения компьютеризированного минералогического анализа руд в полированных препаратах в лабораториях научно-исследовательского сектора Государственного ВУЗа „Криворожский национальный университет“.

Методика. Количественный минералогический анализ в отраженном свете Р-Ті-руд Носачевского месторождения проведен стандартными линейным и планиметрическим методами. Также применен компьютеризированный аналитический метод с использованием программы „EmbriBox“. Анализировались три технологические пробы, из которых было изготовлено по девять полированных препаратов. Определялось количество в рудах трех фаз – ильменит, нерудные минерал + апатит и сульфиды. Сравнение минералогических данных с результатами химического анализа проводилось с учетом содержания диоксида титана в составе ильменита, которое определялось для ильменитовых мономинеральных фракций.

Результаты. Содержание минеральных фаз (среднее значение для трех технологических проб), определенное планиметрическим методом, составило: ильменита – 23,5 об.% соответственно; нерудных минералов + апатита – 73,4; сульфидов – 3,1; линейным методом – 32,2; 67,1; 0,7 об.% соответственно; с помощью программы “EmbriBox” – 13,2; 84,6; 2,2 об.% соответственно. По данным химического анализа технологических проб руд Носачевского месторождения среднее значение в них содержания TiO_2 составляет 6,7 мас.%. Установлено, что наиболее близкие к данным химического анализа есть значения, полученные компьютеризированным методом.

Научная новизна. Научная новизна состоит в разработке авторами методики компьютеризированного анализа цифровых изображений полированных поверхностей препаратов, изготовленных из P-Ti-руд, с помощью прикладных компьютерных программ.

Практическая значимость. Результаты возможно использовать для последующих исследований фосфор-титанового сырья в отраженном свете, а также для проведения количественного анализа руд иного минерального состава.

Ключевые слова: *ильменит, титаномагнетит, прикладная минералогия, компьютерный анализ изображений*

Purpose. To systematize information on methods of mineralogical studies of phosphorous-titanium raw material from Ukrainian deposits. To generalize the experience of computerized mineralogical analysis of ore polished specimens carried out in the laboratories of the research sector of State Higher Educational Institution “Kryvyi Rih National University”.

Methodology. Quantity mineragraphy of P-Ti-ores from the Nosachivske deposit has been carried out applying conventional linear and planimetric methods.

Computerized analytical approach using “EmbriBox” software has been utilized. Three technological samples have been analysed, nine polished specimens had been made from each of them. Quantity of three ore phases have been determined, namely of ilmenite, nonmetal mineral + apatite and sulphides. Comparison between mineralogical data and chemical analysis has been carried out taking into account titanium dioxide content in ilmenite determined for ilmenite monomineral fractions.

Findings. Mineral phases content by the authors (average value for three technological samples) using planimetric methods were as follows: ilmenite – 23.5 vol.%, nonmetal mineral + apatite – 73.4, sulphides – 3.1, those by linear method were 32.2, 67.1, 0.7 vol.% accordingly, those by “EmbriBox” software were 13.2, 84.6, 2.2 vol.% accordingly. According to the chemical analysis of technological ore samples from the Nosachivske deposit, the average content of TiO_2 in them was 6.7 mas. %. The values of ilmenite content into titanium dioxide obtained by computerized analysis appeared the closest to the data obtained by the chemical analysis.

Originality. The authors have developed the method of computerized analysis of digital pictures of polished samples made of P-Ti-ores by means of applied software.

Practical Value. The results received by the authors can be useful for consequent studies of phosphorous-titanium raw material reflected light (mineragraphy) and for quantity analysis of ores of different mineral composition.

Keywords: *ilmenite, titanomagnetite, applied mineralogy, computer analysis of images*

Рекомендовано до публікації докт. геол.-мінерал. наук В.Д. Євсховим. Дата надходження рукопису 07.12.12.