ють в межах Кіровоградсько-Новомиргородської депресії і представлені вулканогенно-осадовою породою з уламками змішаної крейдово-палеоценової фауни. Стратифікація райгородської товщі Кіровоградсько-Новомиргородської депресії ґрунтується на сингенетичній нижнєпалеоценовій фауні в об'ємі зони Cibicides lectus.

Ключові слова: *райгородська товща, вулканогенно-осадові породи, маастрихт, палеоцен*

Data about heterogeneous lithologic composition of Raygorodska strata of central region of the Ukrainian shield and formation during late Maastricht – early Paleocene are considered. Formations of late Maastricht in the volume of area Nephrolithus frequens are presented by tuff within the limits of Tyasminskaya depression. Paleocene deposits occur within the limits of Kirovograd-Novomirgorodskaya depression and consist of sedimentary-volcanic rock with fragments of mixed Crataceous-Paleocene fauna. Stratification of Raygorodska strata of Kirovograd-Novomirgorodskaya depression is based on the syngenetic lower Paleocene fauna of matrix material in the volume of Cibicides lectus zone.

Keywords: *Raygorodska strata, sedimentary-volcanic rocks, Maastricht, Paleocene*

Рекомендовано до публікації к.г.-м.н. Ю.Т. Хоменко 23.06.10

УДК 553.494:553.641(477.46)

© Харитонов В.М., Олійник Т.А., 2010

В.М. Харитонов, Т.А. Олійник

ТЕХНОЛОГО-МІНЕРАЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРОДУКТІВ ДРОБЛЕННЯ КОРІННИХ АПАТИТ-ІЛЬМЕНІТОВИХ РУД НОСАЧІВСЬКОГО РОДОВИЩА

V.M. Kharitonov, T.A. Oliinyk

TECHNOLOGICAL-MINERALOGICAL ASSESSMENT OF PRODUCTS OF APATITE-ILMENITE LEDGE ORE REDUCTION OF THE NOSACHIVSKE DEPOSIT

Визначені гранулометричні показники ільменітових індивідів з трьох технологічних проб фосфор-титанових руд Носачівського родовища. Статистична обробка результатів вимірювання показала відмінність проб за розміром зерен ільменіту. Попередньо визначені класи крупності з 100%-им вивільненням ільменітових частинок, підтверджені мінералогічним аналізом продуктів дроблення досліджених руд.

Ключові слова: *титан, ільменіт, фосфор, апатит, гранулометричні показники, дроблення*

Світову сировинну базу титану складають родовища п'ятьох геолого-промислових типів: магматичні, гіпергенні, розсипні, вулканогенно-осадові і метаморфічні [1]. У межах України відкриті родовища перших трьох типів. На теперішній час розробляються лише розсипи, але в останні роки все більша увага приділяється родовищам магматичного типу. Пов'язано це з дефіцитом у країні руд зі „свіжим" ільменітом, що є джерелом високоякісних пігментів. Останні можна одержувати з використанням технологій, застосованих на підприємствах Сумської області і Автономної республіки Крим. За даними Геологічної служби США, у 2009 р. Україна знаходилась на 10-му місці серед світових виробників двооксиду титану. Загальне світове виробництво металу в 2009 р. оцінюється в 5280 тис. т, з яких 120 тис. т виробила Україна. В Законі України „Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази...", №3458-IV від 22 лютого 2006 року (Офіційне інтернет-представництво Президента України, http://www.president.gov.ua) одним із пріоритетних напрямів на період з 2007 до 2010 р. є збільшення джерел титанової сировини країни, де серед основних завдань є геологічне довивчення саме корінних (магматичних) родовищ фосфор-титанових руд. Одним з крупних районів їх розвитку є Черкаська область, де відомі Носачівське, Волковське та інші родовища [2].

Дослідженням Носачівського родовища займались Кудінова Л.А., Металіді С.В. (1987), Галецький Л.С., Бочай Л.В. (1995), І.В. Батов, А.Л. Фалькович, О.М. Братчук та ін. (2005), Харитонов В.М., Олійник Т.А., Мірошніченко Ю.М. (2005), Харитонов В.М., Олійник Т.А. (2009). В цих роботах висвітлювались питання геології, петрології, геохімії родовища загалом, а також технологічної мінералогії і технологій збагачення фосфор-титанових руд зокрема.

Носачівське родовище пов'язане з одноіменним масивом основних порід, який розташований в центральній частині Корсунь-Новомиргородського плутону. Площа масиву складає 110 км. Родовище являє собою інтрузію габро-норитів [3, 4]. Форма рудних тіл пластовидна. Вміст TiO_2 в рудах коливається від 4,00 до 35,00%, P_2O_5 – 0,06–7,28%. За вмістом TiO_2 виділяються три сорти руд: багаті (10–35%), середні (6–10%) і бідні (4–6%). Мінералогічний склад руд представлений плагіоклазом, піроксеном (моноклінним і ромбічним), біотитом, олівіном, ільменітом і апатитом. Присутніми також є магнетит, піротин, халькопірит, хлорит, кварц, рогова обманка і карбонат.

Основними фазами в принципових схемах переробки руд є магнітна, гравітаційна і флотаційна сепарації. Проте, незважаючи на чисельні дослідження руд Носачівського родовища, недостатньо вивченими є гранулометрія ільменіту, а також аспекти попередньої підготовки руд до збагачення, зокрема, дроблення.

З метою розвитку теоретичних основ технологій переробки фосфор-титанових руд авторами проведена технолого-мінералогічна оцінка ступеня розкриття ільменітових і апатитових частинок після дроблення. Для досягнення мети авторами були поставлені і вирішені наступні завдання:

– визначення мінерального складу вихідних руд;

– визначення граничної крупності дроблення за даними гранулометрії головного рудного мінералу – ільменіту;

– аналіз розподілу рудних мінералів (ільменіт, апатит) у системі вільна частинка/зросток.

Об'єктами досліджень стали середні та бідні фосфор-титанові руди Носачівського родовища, які були представлені трьома технологічними пробами. Складались вони з кернового матеріалу трьох свердловин (04, 03 і 05). Кількість рядових проб у кожній з технологічних становила 38, 47 і 50 штук відповідно. Загальна маса перших двох проб становила 154,0, третьої – 167,5 кг. Середній вміст двооксиду титану – 8,8; 5,1; 6,1, пентаксиду фосфору – 0,6; 1,3 і 1,0 мас.%. За вмістом TiO_2 перша проба (01/04) відноситься до середніх, дві інші (02/03 і 03/05) – до бідних.

З кожної з технологічних проб були відібрані мінералогічні проби в кількості 10, 9 і 11 штук, з яких були виготовлені прозорі та полірovані шліфи (майстер Т.В. Зайченко). Середній мінеральний склад проб наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Середній мінеральний склад технологічних проб Носачівського родовища

Мінерал	№ проб/№ свердловин		
	01/04	02/03	03/05
плагіоклаз	53,83	61,27	51,84
піроксен	14,50	11,36	18,72
рогова обманка	1,71	1,23	3,78
олівін	4,63	0,65	1,41
біотит	4,69	1,33	6,95
апатит	3,22	3,69	2,27
хлорит	2,05	0,85	1,07
карбонат	0,70	5,19	0,43
кварц	1,22	3,96	0,14
ільменіт	12,27	9,71	11,41
піротин	0,40	0,13	1,17
магнетит	0,76	0,62	0,58
халькопірит	0,02	0,00	0,01
пентландит	0,01	0,01	0,03
ВСЬОГО	100,00	100,00	100,0

З метою попередньої оцінки граничної крупності дроблення руд був проведений гранулометричний аналіз ільменіту, оскільки він є носієм головного корисного компоненту – титану, і загальний ступінь готовності сировини до збагачення слід оцінювати саме за цим мінералом.

Гранулометричні дослідження проводились за стандартною методикою за допомогою мікроскопу "Nu" (виробник "Karl Zeisse Jena", Німеччина). Вимірюванню підлягали ізометричні і видовжені перетини зерен (рис.1). Всього зроблено 427 замірів для проби 01/04, 341 – для проби 02/03 і 363 – для проби 03/05. Результати вимірювань наведені в табл. 2. За середньоарифметичним значенням розмірів зерен ільменіту всі три проби відрізняються між собою не суттєво – різниця коливається від 0,1 до 0,4 мм.

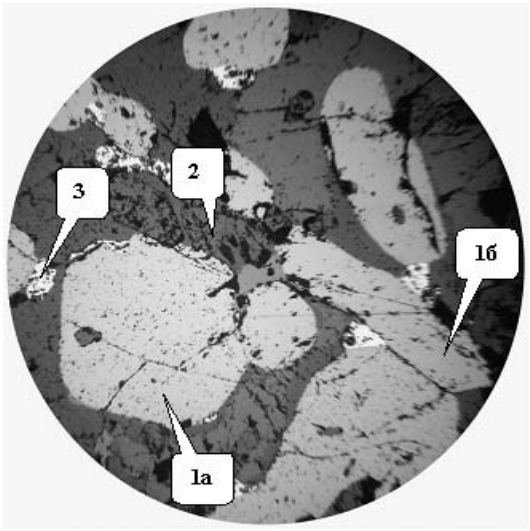


Рис.1. Ізометричні (1а) і видовжені (1б) перетини індивідів ільменіту. Рядова проба 8 технологічної проби 01/04. Збільшення 30^X: 1 – ільменіт; 2 – основна піроксен-плагіоклазова тканина руди; 3 – піротин

Найбільша відмінність встановлена між довжиною видовжених перетинів зерен. З метою перевірки статистично обґрунтованого висновку про близькість чи відмінність трьох проб фосфор-титанових руд за середньоарифметичними значеннями гранулометрії ільменіту, визначався розподіл даних в статистичних вибірках. Побудовані гістограми (табл. 3, рис. 2–4) свідчать про відмінність розподілу значень розміру зерен від нормального. У зв'язку з цим був застосований метод Краскла-Уелліса [5].

Таблиця 2

Гранулометричні відомості про бідні і середні фосфор-титанові руди Носачівського родовища

№ проби	Інтервали коливань розміру перетинів ільменіту (мін.-макс.), мм			Середньоарифметичне значення розміру, мм		
	ізометричних	видовжених		ізометричних	видовжених	
		за довжиною	за шириною		за довжиною	за шириною
01/04	0,096–0,803	0,203–1,679	0,071–0,911	0,229	0,621	0,184
02/03	0,152–0,943	0,221–2,137	0,098–0,922	0,427	0,991	0,344
03/05	0,147–0,756	0,189–1,869	0,084–0,840	0,331	0,731	0,246

Метод полягає у висуванні двох гіпотез:
1) нульової – про рівність середніх значень показника в трьох вибірках $(\bar{a}_1 \mid \bar{a}_2 \mid \bar{a}_3)$;
2) альтернативної, коли хоча б одна з вибірок за середнім значенням відрізняється від інших.

Перша гіпотеза є вірною, коли значення розрахункового критерію Краскла-Уелліса H не перевищує критичне значення точки розподілу за законом Пірсона ($\chi_{q,k-1}$) з певним рівнем значимості ($q = 0{,}05$) і ступенями свободи ($k-1 = 2$ – для трьох виборок). У нашому випадку значення точки розподілу становитиме 6,0 [6]. Коли ж H буде перевищувати це значення, вірною слід вважати альтернативну гіпотезу. Тоді вибірку з найбільшим середньоарифметичним значенням відкидають і перевіряють за аналогією дві, що залишились (при цьому значення $\chi_{q,k-1}$ буде становити 3,8).

Розрахунок критерію Краскла-Уелліса проводять за формулою

$$H \mid \frac{12}{N(N+1)} \left(\sum_{i=1}^{k} \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(N+1), \qquad (1)$$

де N – загальна кількість вимірів показника; R_i^2 – квадрат суми виправлених рангів, що припадають на всі члени i-ї вибірки; n_i – кількість вимірів показника в конкретній вибірці.

Таблиця 3

Інтервали значень розміру (мм) ільменітових зерен для статистичних виборок

Номер інтервалу	№ проб/№ свердловин		
	01/04	02/03	03/05
ізометричні перетини			
I	0,096–0,176	0,152–0,244	0,147–0,217
II	0,176–0,256	0,244–0,336	0,217–0,287
III	0,256–0,336	0,336–0,428	0,287–0,357
IV	0,336–0,416	0,428–0,520	0,357–0,427
V	0,416–0,496	0,520–0,612	0,427–0,497
VI	0,496–0,576	0,612–0,704	0,497–0,567
VII	0,576–0,656	0,704–0,796	0,567–0,637
VIII	0,656–0,736	0,796–0,888	0,637–0,707
IX	0,736–0,816	0,888–0,980	0,707–0,777
довжина видовжених перетинів			
I	0,203–0,373	0,221–0,441	0,189–0,379
II	0,373–0,543	0,441–0,661	0,379–0,569
III	0,543–0,713	0,661–0,881	0,569–0,759
IV	0,713–0,883	0,881–1,101	0,759–0,949
V	0,883–1,053	1,101–1,321	0,949–1,139
VI	1,053–1,223	1,321–1,541	1,139–1,329
VII	1,223–1,393	1,541–1,761	1,329–1,519
VIII	1,393–1,563	1,761–1,981	1,519–1,709
IX	1,563–1,733	1,981–2,201	1,709–1,899
ширина видовжених перетинів			
I	0,071–0,17	0,152–0,244	0,084–0,165
II	0,17–0,271	0,244–0,336	0,165–0,254
III	0,271–0,371	0,336–0,428	0,254–0,339
IV	0,371–0,471	0,428–0,520	0,339–0,424
V	0,471–0,571	0,520–0,612	0,424–0,509
VI	0,571–0,671	0,612–0,704	0,509–0,594
VII	0,671–0,771	0,704–0,796	0,594–0,679
VIII	0,771–0,871	0,796–0,888	0,679–0,764
IX	0,871–0,971	0,888–0,980	0,764–0,849

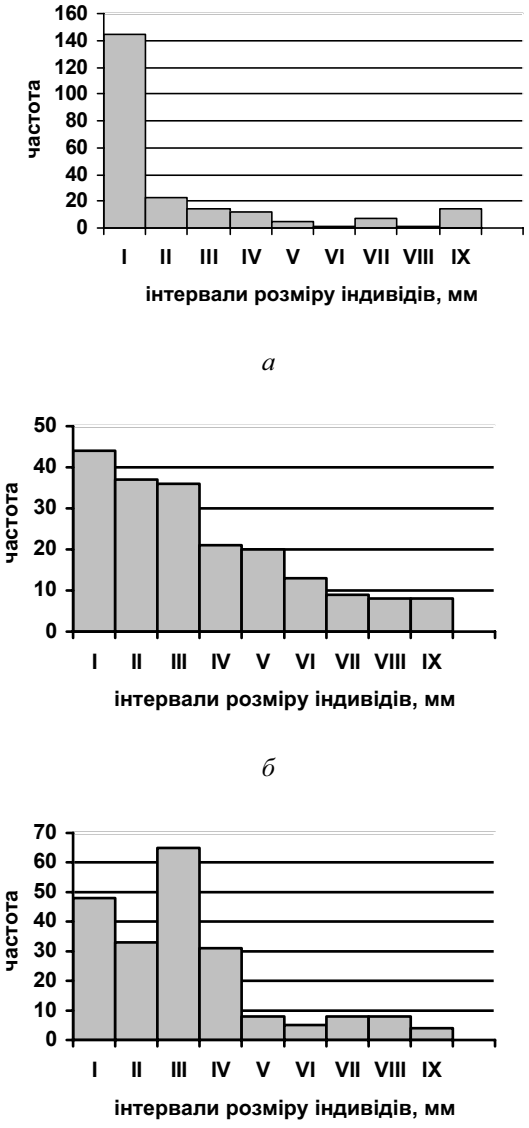


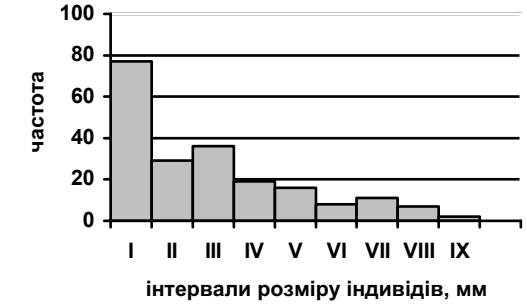
Рис. 2. Гістограми розподілу значень розміру ізометричних зрізів індивідів ільменіту в пробах 01/04, 02/03, 03/05

За зазначеною методикою оцінювались вибірки значень розміру ізометричних і видовжених (довжина і ширина) перетинів індивідів ільменіту трьох проб фосфор-титанових руд Носачівського родовища. Статистичні дані для розрахунку критерію Краскла-Уелліса наведені в табл. 4. Виправлені ранги кожної з виборок формуються так. Спочатку складають загальний варіаційний ряд у порядку зростання значень показника. Пронумеровують усі члени цього ряду, тобто надають їм ранг. Однаковим значенням показника приписують один і той же середній (виправлений) ранг. Після чого знаходять суму порядкових номерів значень, а потім її підводять до квадрату.

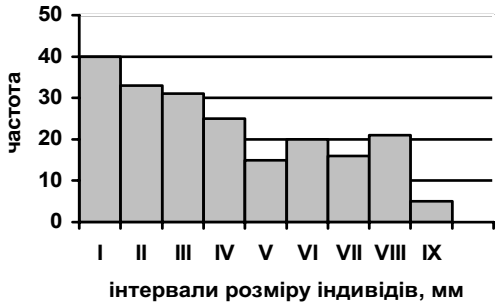
Критерій H, розрахований для трьох проб, перевищує критичне значення точки розподілу закону Пірсона. Таким чином, нульова гіпотеза не підтверди-

лась в усіх трьох випадках. Після видалення вибірки з більшим середньоарифметичним значенням гранулометричних показників – це проба 02/03, була проведена перевірка справедливості нульової гіпотези про рівність середніх значень розміру ізометричних і видовжених перетинів ільменітових індивідів проб 01/04 і 03/05. Статистичні дані наведено в табл. 5.

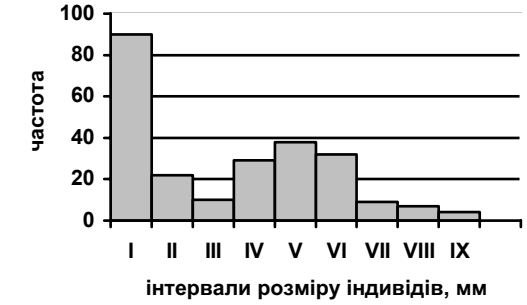
Розрахований критерії Краскла-Уелліса перевищує критичне значення точки розподілу закону Пірсона (χq, k-1 = 3,8 [6]), тобто проби 01/04 і 03/05 за значенням розміру ізометричних перетинів ільменітових зерен, а також за значенням довжини і ширини їх видовжених зрізів, відрізняються між собою. Таким чином, усі три досліджені проби за гранулометричними показниками є відмінними одна від одної.



а



б



в

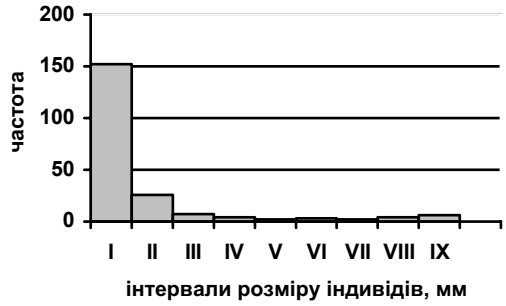
Рис. 3. Гістограми розподілу значень розміру видовжених зрізів індивідів ільменіту за довжиною проб 01/04, 02/03, 03/05

Аналіз гістограм дає змогу визначити переважні інтервали значень розміру ільменітових зерен:

– для ізометричних перетинів проби 01/04 він становитиме 0,01–0,18 мм, для проб 02/03 і 03/05 – 0,15–0,43 мм;

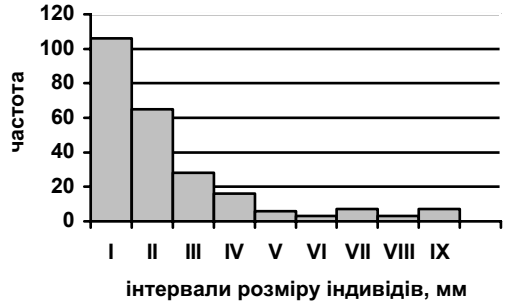
– для довжини видовжених зрізів – 0,20–0,37 мм (проба 01/04), 0,22–0,88 мм (проба 02/03) і 0,19–0,38 мм (проба 03/05);

– для ширини видовжених перетинів – 0,07–0,17 мм (проба 01/04), 0,15–0,43 мм (проба 02/03) і 0,08–0,25 мм (проба 03/05).



а

б



в

Рис. 4. Гістограми розподілу значень розміру видовжених зрізів індивідів ільменіту за шириною проб 01/04, 02/03, 03/05

Отже, можна очікувати під час дроблення вихідної середньої фосфор-титанової руди (проба 01/04) появу вільних уламків в класі крупності -0,5+0,25 мм, стовідсоткове вивільнення ільменітових частинок у фракції – -0,074+0,0 мм. Для бідної апатит-

ільменітової руди цими класами будуть – -0,5+0,25 і -0,1+0,0 мм (проби 02/04 і 03/05).

З метою перевірки ступеня розкриття ільменітових частинок після дроблення фосфор-титанової руди був проведений мінералогічний аналіз продуктів її дезінтеграції. Дроблення проводили за допомогою щокової дробарки, після чого весь матеріал було класифіковано на фракції: +1,0; -1,0+0,5; -0,5+0,25; -0,25+0,16; -0,16+0,125; -0,125+0,1; -0,1+0,074; -0,074 мм.

З огляду на результати мікроскопічного мінералогічного аналізу (табл. 1) вихідних проб, а також з метою підвищення експресності мінералогічного вивчення продуктів дроблення, був прийнятий спрощений мінеральний склад руд. Деякі мінерали, що характеризуються незначним поширенням, були об'єднані до двох груп (кожна сумарно близько 5,0 об.%): 1) рогова обманка, олівін і 2) хлорит, кварц, карбонат, магнетит, піротин. Перша була об'єднана з піроксеном, так як усі три мінерали мають близький набір головних мінералоутворюючих компонентів (FeO, Fe_2O_3, MgO, SiO_2). Друга була названа категорією „інші". Отже, надалі вивчення мінерального складу продуктів дроблення апатит-ільменітових руд проводилось з виділенням шести компонентів: плагіоклаз, піроксен, апатит, ільменіт, біотит, інші. З кожної гранулометричної фракції методом квартування відбиралась усереднена наважка, яка складалась з близько 500 уламків.

Таблиця 4

Критерій Краскла-Уелліса і вихідні статистичні дані для його розрахунку при оцінці трьох виборок

№ проби	Перетини ільменітових зерен								
	ізометричні (N=628)			видовжені					
				довжина (N=654)			ширина (N=654)		
	R_i	R_i^2	n_i	R_i	R_i^2	n_i	R_i	R_i^2	n_i
01/04	42344,0	1793014336	221	56055,5	3142219080	206	41865,0	1752678225	206
02/03	81370,5	6621158270	196	83586,0	6986619396	207	87891,5	7724915772	207
03/05	73767,5	5441644056	211	74325,5	5524279950	241	83897,5	7038790506	241
	H = 169,2			H = 49,9			H = 136,9		

Таблиця 5

Критерій Краскла-Уелліса і вихідні статистичні дані для його розрахунку при оцінці двох виборок

№ проби	Перетини ільменітових зерен								
	ізометричні (N=432)			видовжені					
				довжина (N=447)			ширина (N=447)		
	R_i	R_i^2	n_i	R_i	R_i^2	n_i	R_i	R_i^2	n_i
01/04	34927,0	1219895329	221	43699,5	1909646300	206	34435,5	1185803660	206
03/05	58724,5	3448566900	211	56695,5	3214379720	241	65611,0	4304803321	241
	H = 103,6			H = 10,7			H = 71,3		

Визначалась кількість вільних частинок і зростків. Останні перераховувались на „чистий" уламок і додавались до перших, так оцінювався середній вміст мінералів у фракції. Зважаючи на вихід кожного класу крупності, обчислювався мінеральний склад для кожної з трьох проб (табл. 6).

Таблиця 6

Середній мінеральній склад продуктів дроблення фосфор-титанової руди Носачівського родовища

Назва мінералу	Вміст мінералу, об.%		
	проба 01/04	проба 02/03	проба 03/05
ільменіт	14,89	9,62	10,61
апатит	1,60	3,59	2,27
плагіоклаз	53,58	53,87	52,77
піроксен	20,81	23,50	23,91
біотит	4,72	5,83	6,95
інші	4,40	3,59	3,50
Всього	100,00	100,00	100,00

Розкриття зерен головного і супутнього рудних мінералів наведене в табл. 7. Початок розкриття ільменітових індивідів для всіх трьох проб зафіксовано в класі крупності -0,5+0,25 мм, а стовідсоткове вивільнення зерен ільменіту – у фракції -0,1+0,074 мм. Таким чином, отримані експериментальні данні з дроблення фосфор-титанових руд майже повністю підтвердили попередню оцінку гранулометричних показників ільменіту.

Індивіди супутнього корисного мінералу – апатиту, починають розкриватись у фракції -0,25+0,16 мм, повне вивільнення зафіксовано у тому ж класі крупності, що і для ільменіту.

З огляду на незначний вихід фракцій з повністю розкритими рудними мінералами, середню та бідну фосфор-титанові руди Носачівського родовища необхідно доподрібнювати.

У подальшому автори планують проводити технолого-мінералогічну оцінку продуктів подрібнення фосфор-титанових руд Носачівського родовища.

Таблиця 7

Розподіл мономінеральних частинок і зростків ільменіту та апатиту в продуктах дроблення середньої і бідної фосфор-титанової руди Носачівського родовища

Гранулометричні фракції	Вихід фракцій	Загальний вміст, об.%		Вміст мономінеральних часток, об.%		Вміст в зростках, об.%	
		ільменіту	апатиту	ільменіту	апатиту	ільменіту	апатиту
1	2	3	4	5	6	7	8
проба 01/04							
+1,0	1,15	14,8	1,1	0,0	0,0	14,8	1,1
-1,0+0,5	33,91	14,5	1,4	0,0	0,0	14,5	1,4
-0,5+0,25	25,29	15,7	1,6	5,1	0,0	10,6	1,6
-0,25+0,16	13,79	15,2	1,7	4,6	1,6	10,6	0,1
-0,16+0,125	6,9	16,7	1,6	12,0	0,6	4,7	1,0
-0,125+0,1	6,32	14,1	1,8	10,5	0,6	3,7	1,2
-0,1+0,074	7,47	14,0	1,9	14,0	1,9	0,0	0,0
-0,074	5,17	14,1	2,1	14,1	2,1	0,0	0,0
ВСЬОГО	100						
проба 02/03							
+1,0	0,9	4,8	4,8	0,0	0,0	4,8	4,8
-1,0+0,5	27,5	5,1	2,6	0,0	0,0	5,1	2,6
-0,5+0,25	18,9	8,9	2,0	3,4	0,0	5,5	2,0
-0,25+0,16	12,6	12,2	2,8	10,2	0,9	2	1,9
-0,16+0,125	18,0	10,5	3,2	9,3	2,6	1,2	0,6
-0,125+0,1	5,4	12,1	5,3	9,7	2,3	2,4	3,0
-0,1+0,074	11,7	12,3	6,7	12,3	6,7	0,0	0,0
-0,074	5,0	11,8	7,3	11,8	7,3	0,0	0,0
ВСЬОГО	100,0						
проба 03/05							
+1,0	1,4	12,2	1,4	0,0	0,0	12,2	1,4
-1,0+0,5	31,5	11,1	1,4	0,0	0,0	11,1	1,4
-0,5+0,25	19,9	11,7	2,3	4,3	0,0	7,4	2,3
-0,25+0,16	9,2	12,6	2,4	8,1	1,0	4,5	1,4
-0,16+0,125	10,2	12,5	2,3	11,2	2,1	1,3	0,2
-0,125+0,1	6,5	13,0	2,3	10,5	1,9	2,5	0,4
-0,1+0,074	10,2	14,7	3,6	14,7	3,6	0,0	0,0
-0,074	11,1	13,8	3,4	13,8	3,4	0,0	0,0
ВСЬОГО	100,0						

Список літератури

1. Курс рудных месторождений / Смирнов В.И., А.И. Гинзбург, Григорьев В.М. и др. – М.: Недра, 1986. – 343 с.
2. Металічні корисні копалини України / Михайлов В.А., Виноградов Г.Ф., М.В.Курило та ін. – К.: ВПЦ, 2008 – 320 с.
3. Галецкий Л.С., Бочай Л.В. Минералогия и прогнозная оценка территории Украины // Минеральные ресурсы Украины, 1995. – №2. – С. 4–7.
4. Кудинова Л.А., Металиди С.В. Титаноносные массивы габбро-анортозитов // Москва: Недра, 1987. – 136 с.
5. Юшко С.А. Методы лабораторного исследования руд. – М.: Недра, 1971 – 344 с.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

Определены гранулометрические показатели ильменитовых индивидов из трех технологических проб фосфор-титановых руд Носачевского месторождения. Статистическая обработка результатов измерений показала отличие проб по размерам зерен ильменита. Предварительно определенные классы крупности со 100%-ым раскрытием ильменитовых частиц подтверждены минералогическим анализом продуктов дробления руд.

Ключевые слова: *титан, ильменит, фосфор, апатит, гранулометрические показатели, дробление*

Granulometric parameters of ilmenite individuals have been determined from three technological samples of phosphorus-titanium ore taken from the Nosachivske deposit. Statistical treatment of the measurement results has shown that samples differ by size of the ilmenite grains. The predefined classes of fineness with 100% disclosing of ilmenite particles have been confirmed by mineralogical analysis of products of bucking (ore reduction).

Keywords: *titanium, ilmenite, phosphorus, apatite, granulometric parameters, bucking (ore reduction)*

Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. В.Д. Євтєховим 27.05.10