

## МОРФОЛОГІЯ ЧАСТИНОК АПАТИТУ В ПРОДУКТАХ ПЕРЕРОБКИ ФОСФОР-ТИТАНОВИХ РУД МАГМАТИЧНОГО ГЕОЛОГО-ПРОМИСЛОВОГО ТИПУ (НА ПРИКЛАДІ ДЕЯКИХ РОДОВИЩ УКРАЇНИ)

*В.М. Харитонов, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна*

Для більшості апатитових уламків з продуктів переробки Р-Ті-руд магматичного генезису майже повністю зберігається вихідний гексагонально-призматичний габітус і частково – стовпчастий вигляд. Це дозволяє впевнено відрізнити апатитові частинки від уламків плагіоклазу схожих з ними за кольором і блиском. Використання отриманих результатів може підвищити експресність мінералогічного контролю під час розробки і вдосконалення технологій з переробки комплексної фосфор-титанової сировини.

**Вступ.** За розвіданими запасами титану Україна займає одне з провідних місць в світі. Основу сировинної бази титанової промисловості України складають родовища трьох геолого-промислових типів: 1 – комплексні рутил-ільменіт-цирконові розсипи; 2 – корінні магматичні родовища комплексних фосфор-титанових руд в габро-норитах; 3 – екзогенні родовища кори вивітрювання основних титан-вмісних порід. Сировинна база титану України налічує понад 40 родовищ і тільки 5 з них розробляються. Всі вони відносяться до розсипного геолого-промислового типу. Необхідність освоєння вітчизняних магматичних родовищ комплексних фосфор-титанових руд викликана потребою України у високоякісній титановій сировині. Окрім титану, з комплексних руд одночасно можливо вилучати такий дефіцитний продукт, як фосфор, що дозволить розширити сировинну базу українських підприємств з виробництва фосфатних добрив, діяльність яких досі базується на імпортній сировині. Особливого значення це питання набуває, якщо враховувати стабільне підвищення попиту на фосфор в кон'юнктурі світового ринку.

Корінні магматичні родовища титану розвідані на Українському щиті в межах Коростенського і Корсунь-Новомиргородського плутонів. За мінеральним складом руди родовищ цього типу поділені на такі мінеральні різновиди [1-3]: 1) апатит-титаномagnetит-ільменітові (родовища Федорівське, Паромівське, Торчинське та ін.); 2) апатит-ільменітові (родовища Стремигородське, Видиборзьке, Носачівське та ін., а також рудопрояви Давидківський і Пенізевіцький); 3) апатит-ільменіт-титаномagnetит-ульвошпінельові (Кропивнянське родовище). Загальним для всіх зазначених родовищ є комплексність складу руд: поряд з ільменітом і титаномagnetитом – основними титаносними мінералами, в них присутній апатит – носій фосфору, що відповідає за складом фторапатиту. Кількісно титанові мінерали переважають над апатитом у відношенні від 2:1 до 7:1. Таким чином, створення нових і вдосконалення існуючих ресурсозберігаючих технологій з комплексної переробки корінних руд, з отриманням ільменітових і апатитових концентратів, є одним із важливіших завдань з розвитку сировинної база нашої країни.

**Стан питання.** Родовища магматичного геолого-промислового типу на теперішній час не розробляються. Вони мають різний ступінь вивченості. Для деяких родовищ підраховані і затверджені запаси корисних компонентів (двооксиду титану, пентаксидів фосфору і ванадію), а також проведені лабораторні і напівпромислові вишукування з розробки технологій переробки руд. Для деяких родовищ ці роботи ще необхідно буде виконати. Розробка і вдосконалення технологічних операцій з вилучення титан- і фосфор-вмісних концентратів завжди супроводжується мінералогічними дослідженнями. Важливим питанням під час таких робіт є експресна оцінка вмісту основних корисних мінералів в продуктах переробки сировини – ільменіту і апатиту. Ільменіт характеризується доволі контрастними властивостями в порівнянні з іншими мінералами фосфор-титанових руд, тому діагностика його частинок не викликає труднощів. Уламки апатиту за кольором і блиском наближені до частинок плагіоклазів і їх діагностика в уламковому матеріалі – продуктах збагачувальних операцій, є ускладненою. Найбільш контрастною відміною частинок апатиту і плагіоклазу є форма їх

уламків. Тому, за мету роботи автор ставив перевірку значущості морфології індивідів апатиту, як діагностичної ознаки для дослідження вихідних фосфор-титанових руд корінних родовищ України і продуктів їх переробки. Для досягнення поставленої цілі автором були поставлені і вирішені наступні *задачі*: 1) аналіз інформаційних ресурсів; 2) мікроскопічне вивчення форми кристалів апатиту з корінних фосфор-титанових руд Стремигородського, Федорівського, Кропивнянського і Носачівського родовищ України; 3) мікроскопічний опис продуктів переробки цих руд (17 продуктів); 4) хімічний аналіз продуктів з визначенням вмісту пентакису фосфору (13 продуктів); 5) порівняння результатів мінералогічного і хімічного аналізу.

**Основна частина.** Корінні магматичні родовища титану Коростенського і Корсунь-Новомиргородського плутонів просторово пов'язані з тілами однойменних малих інтрузій ультраосновних-основних порід (Стремигородська, Федорівська, Кропивнянська, Юрївська, Давидківська, Носачівська, Волківська, Цвітківська, Калинівська та ін.).

*Стремигородське родовище* розташоване в південній частині Чоповицького масиву ультрабазит-базитових порід (центр Коростенського плутону). Являє собою штокоподібне тіло габроїдів, яке просторово тягнє до зони перетинання глибинних розломів. Основу будови родовища складають лейкократові, мезократові і меланкратові габро [3-5, 8]. Чітких меж між ними немає. Вони розрізняються лише за кількісним співвідношенням темнокольорових мінералів і плагіоклазу. Кількість апатиту та ільменіту суттєво збільшується в напрямку зростання меланократовості порід. Вміст  $TiO_2$  в габроїдах родовища коливається в межах – 3,4-8,2, в середньому 6,2 мас.%,  $P_2O_5$  – 0,7-4,5, в середньому – 1,2 мас.%

*Федорівське родовище* знаходиться в південній частині Володарськ-Волинського ультрабазит-базитового масиву (південь Коростенського плутону). Рудне тіло родовища має жолобоподібну форму. В його будові беруть участь мезократові олівінові габро, габро-перидотити, лейкократові олівінові габро [3-6]. Рудними породами є габро і габро-перидотити, що складають ядерну частину однойменної інтрузії. Середній вміст  $TiO_2$  становить (мас.%) 6,7 (інтервал коливання від 4,9 до 10,7),  $P_2O_5$  – 3,1 (від 1,97 до 3,63).

*Кропивнянське родовище* розташоване в центрі Володарськ-Волинського масиву Коростенського плутону. В горизонтальному плані являє собою лінзу, яка витягнута в північно-східному напрямку і має чашоподібну форму у вертикальному розрізі. Серед порід, що складають родовище зазначаються габро-анортозити, лейкократові габро, габро-пегматити, габро-перидотити, анортозити [3-6]. Концентрація  $TiO_2$  (мас.%) в рудних габроїдах змінюється в інтервалі 8,0-10,0, в середньому – 7,8,  $P_2O_5$  – 2,0-4,0, в середньому – 3,2.

*Носачівське родовище* пов'язане з однойменним масивом основних порід, який розташований в центральній частині Корсунь-Новомиргородського плутону. Просторово воно пов'язано з вузлом зчленування двох розломних зон – субширотної Тарасівської і субмеридіональної Каневсько-Новомиргородської. Представлено родовище габро-норитами, частина з яких містить підвищену кількість олівіну [3-5, 7]. Зазначені породи локалізуються серед габро-анортозитів і анортозитів у вигляді двох наближених субпаралельних покладів шароподібної форми з невитриманою потужністю. Вміст  $TiO_2$  в рудах коливається в межах 4,0-35,0 мас.%, в середньому – 6,9,  $P_2O_5$  – 0,1-7,3 мас.%, в середньому – 1,7.

Мікроскопічний опис індивідів апатиту Стремигородського Федорівського, Носачівського і Кропивнянського родовищ проводився в прохідному світлі. Досліджувались зразки напівкернавого матеріалу розвідувальних свердловин, з якого були виготовлені прозорі препарати (всього 63 шліфа).

Апатит *Стремигородського родовища* зустрічається у вигляді включень в плагіоклазі, піроксені, ільменіті і олівіні. Індивіди апатиту характеризуються переважно гексагонально-призматичним габітусом. Грані гексагональної біпіраміди мають підпорядковане значення і майже не впливають на загальний стовпчастий вигляд апатитових кристалів. Їх полігональні зрізи, в основному, мають чіткі рівні межі, що свідчить про ідіоморфізм апатитових індивідів. Характерною особливістю також є поперечна тріщинуватість (рис. 1а). Значення розміру кристалів апатиту за видовженням коливаються в межах 0,3-2,1 мм, переважне – 1,3 мм.

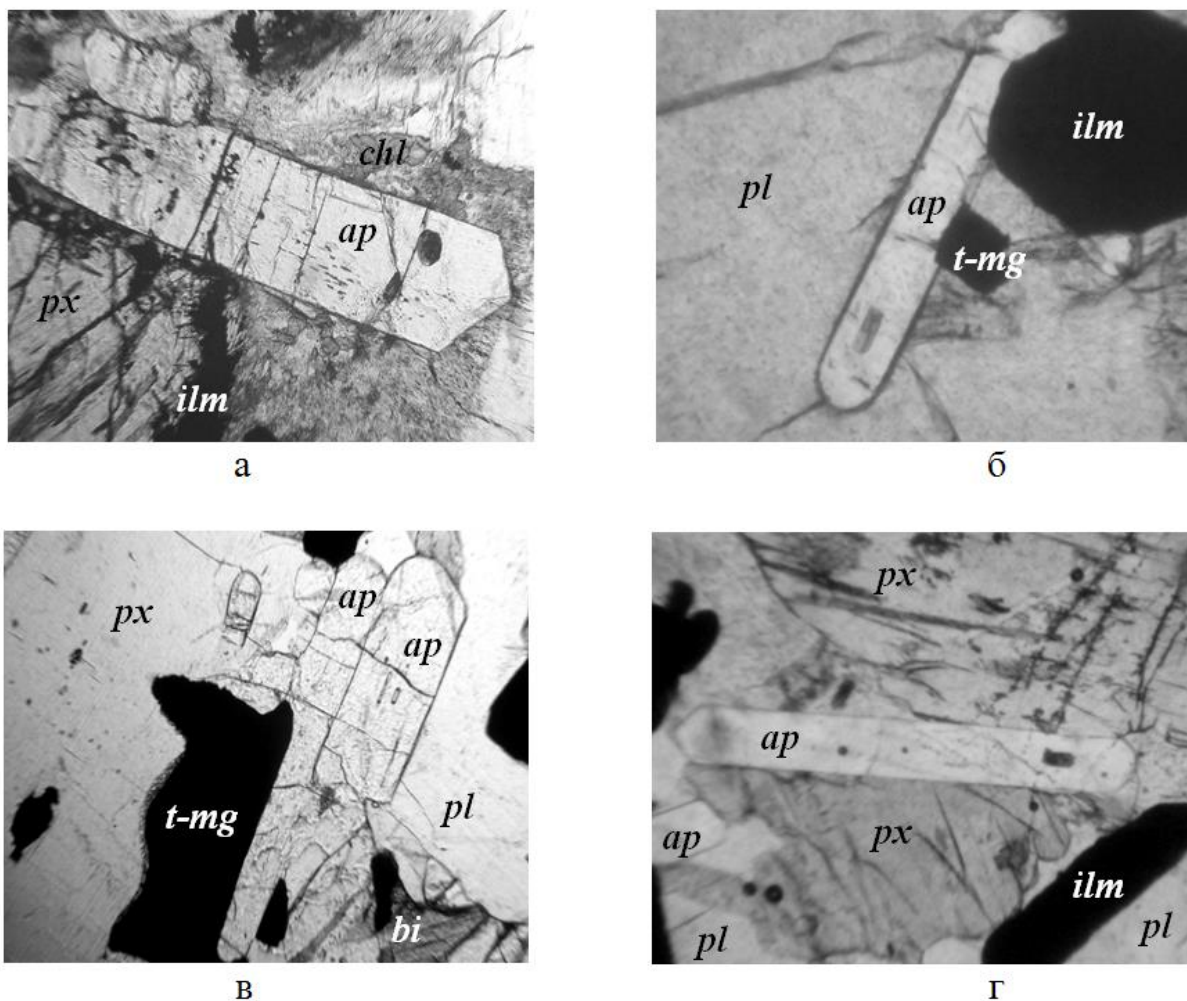


Рис. 1. Кристали апатиту з фосфор-титанових руд деяких родовищ України. Прохідне світло; ніколі ||

а – зріз апатитового індивіду вздовж вісі симетрії шостого порядку; Стремигородське родовище; збільшення 45<sup>x</sup>;

б – частково закруглений полігональний зріз апатиту; Федорівське родовище; збільшення 80<sup>x</sup>;

в – частково закруглені зрізи кристалів апатиту; Кропивнянське родовище; збільшення 80<sup>x</sup>;

г – полігональний зріз індивіду апатиту; Носачівське родовище; збільшення 80<sup>x</sup>;

*ap* – апатит; *ilm* – ільменіт; *t-mg* – титаномagnetит; *pl* – плагіоклаз; *px* – піроксен; *bi* – біотит; *chl* – хлорит.

Індивіди апатиту *Федорівського родовища* є самими ідіоморфними серед кристалів інших мінералів, проте за чіткістю контурів зрізів вони поступаються апатитовим індивідам *Стремигородського родовища*. Грані гексагональної біпіраміди майже не розвинуті і голівки кристалів набувають закругленої форми (рис. 1б). Основу габітусу апатитових кристалів складає гексагональна призма, що обумовлює їх тичкуватий вигляд. Значення розміру (за видовженням) від 0,05 до 1,0 мм, переважне значення – 0,15 мм. Зустрічаються кристали апатиту як поодинокі вкрапленики в усіх рудо- і породоутворювальних мінералах. Іноді апатитові індивіди формують дрібні (1,5-2,0 мм в поперечнику) гніздовидні скупчення в міжзерновому просторі нерудних мінералів.

Апатит *Кропивнянського родовища* відзначається нерівномірним розповсюдженням. Спостерігається у вигляді тісних хвилястих і прямолінійних зрощень з рудними мінералами (рис. 1в). Представлений ідіоморфними, гіпідіоморфними, рідше ксеноморфними зернами

розміром 0,7-3,7 мм за видовженням, переважне значення – 0,9 мм. Відмічається як включення в плагіоклазі, піроксені, титаномагнетиті, ульвошпінелі та ільменіті. А також виповнює простір поміж зерен зазначених мінералів. Кристали апатиту на зрізах вздовж вісі шостого порядку мають частково закруглений контур, проте в поперечному зрізі кристали мають форму наближену до правильного шестикутника. Таким чином, переважною габітусною формою є гексагональна призма, а грані гексагональної біпіраміди майже не розвинуті.

Апатит *Носачівського родовища* представлений ідіоморфними іноді гіпідіоморфними зернами розміром 1,5-3,0 мм за видовженням, переважне значення 1,1 мм. Відмічається в зростаннях з плагіоклазом, піроксеном, ільменітом і олівіном. Кристали апатиту мають достатньо чіткий контур (рис. 1г). Грані гексагональних призми і біпіраміди розвинуті добре. Частка призми в загальній габітус апатитових індивідів є найбільшою, отже подібно до кристалів апатиту з попередніх родовищ, носачівські характеризуються гексагонально-призматичним габітусом.

Переробка апатитових руд здійснюється за принциповою схемою, яка включає у себе такі процеси: дроблення та подрібнення, гравітаційні, магнітні і флотаційні методи збагачення. На кожній зі стадій переробки сировини проводиться контроль мінералогічного складу. Традиційно мінералогічні дослідження проб здійснюють на усередненій наважці, яка складається з декількох сотень уламків. Для кожної мінеральної фази серед відібраних частинок виділяють «вільні» уламки і зростки. Останні поділяють на чотири групи:

- зростки, що складені понад як на 75 % одним мінералом;
- зростки, що складені мінералом на 50-75 %;
- зростки, які містять мінерал в кількості 25-50 %;
- зростки, які містять мінерал в кількості до 25 %.

Перші дві групи поєднують в категорію «багаті» зростки, інші дві – в категорію «бідні». Далі проводять підрахунок «вільних» уламків і зростків, з врахуванням частки кожного мінералу в останніх. За таким алгоритмом автором роботи були проаналізовані продукти переробки фосфор-титанових руд Стремигородського, Федорівського, Кропивнянського і Носачівського родовищ, а також апатитові концентрати отримані із зазначених вище продуктів (всього 17 продуктів). В якості приклада наводиться опис дробленого матеріалу руди Носачівського родовища (рис. 2).

Матеріал фракції +1,0 мм на 100,0 % складений зростками, серед яких переважають «багаті» зростки плагіоклазу і піроксену з ільменітом, біотитом, апатитом та «іншими» – піротин, магнетит, хлорит, карбонат, халькопірит. Клас крупності -1,0+0,5 мм складений на 27,0 об.% «вільними» частинками і на 73,0 об.% зростками. «Вільні» уламки представлені плагіоклазом (18,6%) і піроксеном (8,4%). Серед ільменітових зростків «багаті» з плагіоклазом, піроксеном, біотитом, піротином, магнетитом та «іншими» складають 5,1 об.%, «бідні» – 6,8 об.%. Решта частинок (56,1 об.%) – є нерудними (без ільменіту) зростками. Гранулометрична фракція -0,5+0,25 мм представлена «вільними» уламками (60,5 об.%) і зростками (39,5 об.%). Середи «вільних» частинок кількість плагіоклазу становить 43,8 об.%, піроксену – 14,6 об.%, ільменіту – 2,1 об.%. «Багаті» ільменітові зростки складають 6,3 об.%, «бідні» – 6,2 об.%. Нерудних зростків міститься 27,0 об.%. Матеріал класу крупності -0,25+0,16 мм складений «вільними» уламками на 77,9 об.% і зростками на 22,1 об.%. «Вільні» частинки представлені плагіоклазом, піроксеном, біотитом, ільменітом, апатитом, магнетитом, піротином і хлоритом. «Багаті» зростки ільменіту складають 9,0 об.%, «бідні» – 0,6 об.%, зростки без ільменіту – 12,5 об.%. Серед уламків, що складають фракцію крупності -0,16+0,125 мм 86,5 об.% є «вільними», решта (13,5 об.%) – зростки. «Вільні» частинки представлені всіма зазначеними раніше мінералами, серед яких домінуючими є плагіоклаз і піроксен. «Бідні» і «багаті» ільменітові зростки разом складають 4,4 об.% (2,9 і 1,5 об.%, відповідно). На частку нерудних зростків приходиться 9,1 об.%. Клас крупності -0,125+0,1 мм на 86,7 об.% складений «вільними» уламками і на 13,3 об.% зростками. «Вільні» частинки, аналогічно до попереднього класу крупності, представлені всіма зазначеними вище мінералами. «Бідних» і «багатих» зростків ільменіту сумарно міститься 1,8 об.% (0,4 і 1,4

об.%, відповідно). Кількість зростків нерудних мінералів становить 11,5 об.%. Матеріал класів крупності  $-0,1+0,074$  і  $-0,074$  мм представлений тільки «вільними» уламками.

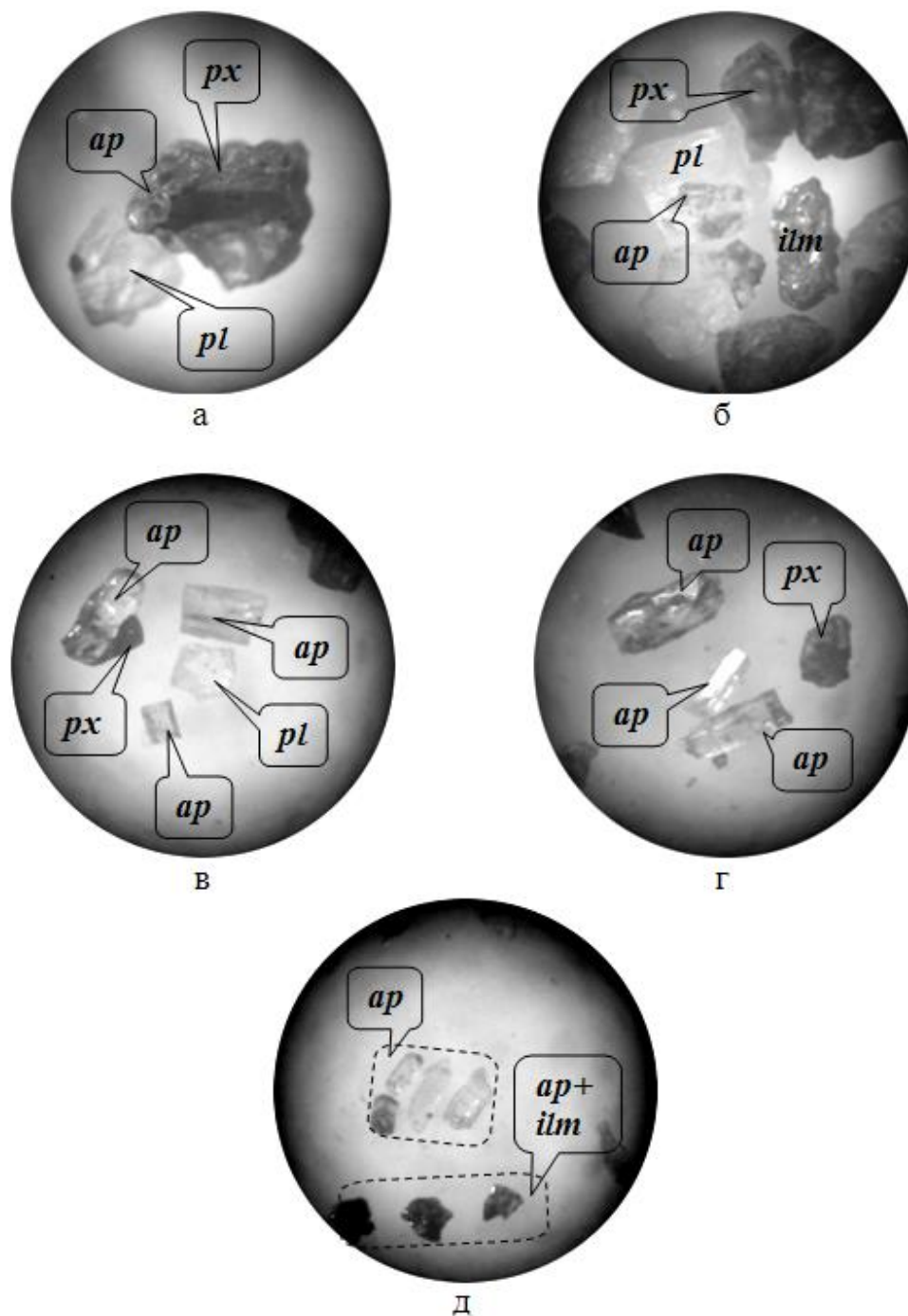


Рис. 2. Уламки індивід апатиту в дробленому матеріалі Р-Ті-руд Носачівського родовища  
 а – зросток (в центрі) піроксену і апатиту; клас крупності  $+0,5$  мм; зб.  $60^{\times}$ ;  
 б – включення індивідів апатиту (в центрі) в уламку плагіоклазу; клас крупності  $-1,0+0,5$  мм;  
 зб.  $40^{\times}$ ;  
 в – зросток і «вільні» уламки апатиту (в центрі); клас крупності  $-0,5+0,25$  мм; зб.  $50^{\times}$ ;  
 г – «вільні» уламки апатиту та піроксену; клас крупності  $-0,25+0,16$  мм; зб.  $95^{\times}$ ;  
 д – зростки з ільменітом та «вільні» уламки апатитових кристалів; клас крупності  $-0,16+0,071$   
 мм; зб.  $120^{\times}$ ;  
*ap* – апатит; *ilm* – ільменіт; *pl* – плагіоклаз; *px* – піроксен.

Мінералогічний аналіз, значної кількості продуктів переробки фосфор-титанових руд показав, що для більшості апатитових частинок зберігається головна габітусна форма, виявлена під час опису прозорих препаратів – гексагональна призма. Це властиво як для подрібненого і дробленого матеріалу руд, так і для концентратів. Саме за формою уламків можливо більш впевнено відрізнити апатит від схожого на нього плагіоклазу. Форма частинок останнього носить пластинчастий дошковий характер, що обумовлено спайністю цього мінералу.

Порівняльний аналіз мінералогічних даних і результатів визначення хімічного складу різних продуктів переробки фосфор-титанових руд (рис. 3), показує близькість результатів. Тобто, значення кількості мінералу визначене під бінокелем в окремих продуктах, якщо його перерахувати на  $P_2O_5$ , майже повністю збігаються зі значеннями цього показника, встановленого хімічним методом.

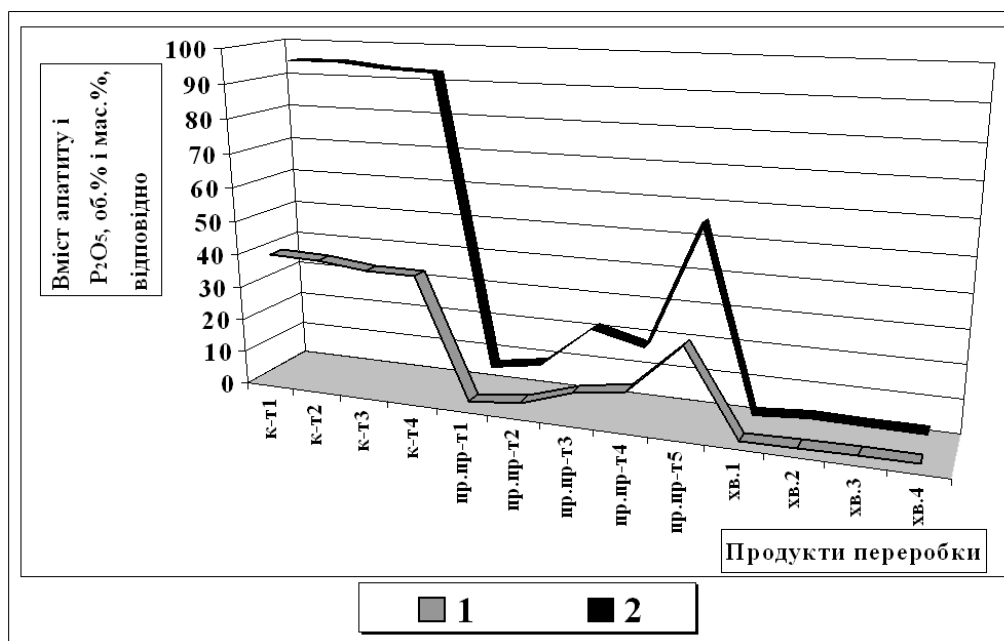


Рис. 3. Вміст пентаксиду фосфору (1) і апатиту (2) в продуктах переробки фосфор-титанових руд Носачівського, Кропивнянського, Стремигородського і Федорівського родовищ к-т1, пр.пр-т1, пр.пр-т2, хв.1 – Носачівське родовище; к-т2, пр.пр-т3, хв.2 – Кропивнянське родовище; к-т3, пр.пр-т4, хв.3 – Стремигородське родовище; к-т4, пр.пр-т5, хв.4 – Федорівське родовище  
к-т1÷к-т4 – концентрати; пр.пр-т1÷пр.пр-т5 – проміжні продукти; хв.1-хв.4 ÷ відходи переробки («хвости»)

### **Висновки та напрямок подальших досліджень.**

1. Окрім титанових мінералів з комплексних корінних фосфор-титанових руд супутньо можливо вилучати дефіцитний апатитовий продукт, який дозволяє створити власну сировинну базу для виробництва фосфатних добрив України.

2. Під час мінералогічного опису продуктів переробки корінних фосфор-титанових руд магматичного генезису найбільш складним є розпізнавання апатитових та плагіоклазових частинок, які майже не відрізняються за оптичними властивостями.

3. Визначена форма кристалів апатиту в прозорих шліфах, що входить до складу фосфор-титанових руд родовищ України зберігається для більшості апатитових частинок в продуктах переробки руд і являє собою гексагональну призму. Це дозволяє відрізнити мінерал від схожого на нього за кольором і прозорістю плагіоклазу, частинки якого мають пластинчасту форму, що обумовлено спайністю мінералу.

4. Отримані результати можливо використовувати під час мінералогічного контролю, що супроводжує розробку і вдосконалення технологічних процесів з переробки фосфор-

титанових руд магматичного геолого-промислового типу.

5. В подальшому автор планує провести аналогічні дослідження для інших родовищ подібного генезису.

#### Список літератури

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. Висоцький О.Б. Давидківський апатит-ільменітовий рудопрояр, 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.
3. Галецький Л.С., Бочай Л.В. Мінералогія та прогнозна оцінка території України // Мінеральні ресурси України. – 1995. - №2 –С. 4-7.
4. Кривдік С.Г.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  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.
5. Кудинова Л.А., Металиди С.В. Титаноносные массивы габбро-анортозитов // Москва: Недра, 1987.— 136 с.
6. Митрохин А.В. Петрология и рудоносность Федоровского апатит-ильменитового месторождения / А.В.Митрохин, Т.В.Митрохина // Мінералогічний журнал.— 2006.— № 4 (28).— С. 43-52.
7. Тарасенко В.С., Коломеец Г.Д., Бойко Д.Д. Петрология и рудоносность анортозитов Корсунь-Новомиргородского плутона // Геолог. журнал, 1986.— т.46, №3.— С. 62-68.
8. Тарасенко В.С., Металиди С.В. Условия образования титановых руд в габброидах Чеповицкого габбро-анортозитового массива (Коростенський плутон) // Геолог. журнал, 1983.— №3.— С. 16-26.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТАМПОНАЖНОГО ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

*Ю.Л. Кузин, Д.А. Судакова, М.В. Лукьяненко, Национальный горный университет, Украина*

Приведены результаты исследования механических свойств тампонажного термопластичного композиционного материала на основе полиэтилентерефталата. Определены механические свойства полиэтилентерефталата и полиэтилентерефталата с добавками наполнителей, поливинилхлорида и полиэтилена. Дана оценка влияния добавок на свойства тампонажного термопластичного композиционного материала на основе полиэтилентерефталата. Обоснована оптимальная рецептура тампонажного термопластичного композиционного материала.

**Постановка проблеми.** Процесс бурения скважин связан с геологическими осложнениями. Наиболее частыми видами осложнений, нарушающими технологию буровых работ, является поглощение буровых и тампонажных растворов.

Ежегодные затраты на борьбу с осложнениями составляют от 8 % до 16 % календарного времени бурения и от 5% до 10% финансовых средств [1]. При этом материальные расходы не подвергаются строгому учету. Выполненный анализ применения технологий борьбы с поглощениями показал, что эффективность в среднем составляет 30 %. Затраты времени в общем балансе на бурение возрастают на 18-23 % [1,2].

Это обусловлено тем, что для ликвидации поглощения промывочной жидкости применяются недостаточно эффективные тампонажные материалы, которые готовятся на водной основе с введенным в его состав минераловязущих или синтетических веществ.

Основными недостатками этих материалов является то, что они обладают большой чувствительностью к разбавлению водой. При тампонировании растворы легко перемешиваются с промывочной жидкостью и пластовыми водами, особенно при наличии межпластового перетекания. Происходит разубоживание, седиментация тампонажных растворов, что ведет к повышению времени схватывания, растеканию на значительные