

УДК 549.12:550.4(447)

**АКЦЕСОРНІ МІНЕРАЛИ ГРАНІТІВ КІРОВОГРАДСЬКОГО ТИПУ
ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА**

О. Чепіжко, В. Кадурін, Л. Шатохіна

*Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
65026 м. Одеса, вул. Дворянська, 2
E-mail: avcher@i.ua*

Вивчення акцесорних мінералів Вознесенського, Бобринецького, Кіровоградського та інших гранітних масивів кіровоградського комплексу центральної частини Українського щита виконано досить повно. Найдетальніше досліджені акцесорні мінерали, що постійно трапляються і є найінформативнішими в генетичному аспекті. Генераційний аналіз акцесорних мінералів, передусім циркону, та детальне вивчення внутрішньої будови складних його кристалів дає змогу схарактеризувати особливості петрогенетичного процесу. Моделювання процесу формування кристалів циркону на підставі їхньої внутрішньої будови допомогло з'ясувати перебіг процесу кристалізації та підтвердило поліультраметаморфічний процес їхнього утворення. Поліультраметаморфізм є процесом накопичення на завершальних етапах рідкісноземельної і рідкіснометалевої мінералізації. Водночас у геохімічній спеціалізації цей процес не ідентифікований. Відповідно, мінералогенічну спеціалізацію гранітоїдів найчіткіше можна виявити під час аналізу акцесорних мінералів, які вміщують інформацію про послідовність і концентрацію рідкісноземельної та рідкіснометалевої мінералізації.

Ключові слова: акцесорні мінерали, циркон, процес кристалізації, гранітоїди, мінералогенічна спеціалізація, Український щит.

Детальність вивчення акцесорних мінералів гранітних масивів центральної частини УЩ неоднакова. Досить повно і детально вивчені акцесорні мінерали гранітів Вознесенського, Бобринецького Кіровоградського та інших масивів кіровоградського комплексу [1–3, 6, 9–11, 13–15 та ін.]. Їх виконали різні автори із застосуванням різних методик опробування порід і лабораторного вивчення мінералів. Значення цих досліджень важливе, однак наголосимо, що виникають певні труднощі в зіставленні даних щодо окремих масивів.

Результати вивчення акцесорних мінералів порфіроподібних гранітів Бобринецького, Кіровоградського, Новоукраїнського й Уманського масивів, проведеного за єдиною методикою, що забезпечує зіставлення отриманих результатів, наведені в багатьох публікаціях [5–11, 13–15]. Для порівняння з акцесорною мінералізацією Вознесенського масиву використано результати праць І. Носирева та В. Робул [8, 13]. Головним об'єктом дослідження є порфіроподібні трахітоїдні граніти, зачислені до кіровоградського типу. Опорним об'єктом для відпрацювання методів опробування гранітів і детального дослідження акцесорних мінералів вибрано Бобринецький масив [10, 13, 14].

Визначено вміст і головні параметри розподілу акцесорних мінералів. До мінералів, що трапляються постійно [8, 10, 13–15], зачислені: апатит, циркон, магнетит,

ільменіт, монацит, пірит; часто наявні ортит, титаніт, рутил, молібденіт та ін.; мінерали, які фіксують не часто, – халькопірит, арсенопірит, кіновар, колумбіт тощо. Детально вивчені ті акцесорні мінерали, що трапляються постійно і є найінформативнішими в генетичному аспекті.

Наша мета – вивчення особливостей формування гранітоїдів кіровоградського типу Українського щита (УЩ) на підставі генетичної інтерпретації інформації з дослідження акцесорних мінералів. Під час дослідження виявляють вірогідний перебіг процесу утворення й еволюції означених петротипів гранітоїдів Кіровоградського блока УЩ.

Завдання досліджень такі:

- 1) визначити можливу інформаційно-генетичну ємність акцесорних мінералів гранітоїдів;
- 2) порівняти склад і властивості головних петротипів гранітоїдів центральної частини Кіровоградського блока УЩ;
- 3) на підставі принципів онтогенії, виконаного генераційного аналізу акцесорних мінералів, передусім циркону, та детального вивчення внутрішньої будови його складних кристалів схарактеризувати особливості петрогенетичного процесу;
- 4) визначити на рівні акцесорних мінералів характер і перебіг еволюції гранітоїдів протерозойського віку центральної частини УЩ;
- 5) визначити особливості полістадійного процесу утворення гранітів кіровоградського типу.

Головні принципи генетичної інтерпретації мінералогічної інформації.

Особливості морфології й будови акцесорних мінералів ультраметаморфітів полягають у тому, що ці мінерали відображають усі зміни, які відбулися в породі: метаморфізм ранніх етапів і наступний ультраметаморфізм на всіх етапах його прояву [1, 5–7, 9, 10, 12, 14, 15]. Кількісний розрахунок типоморфних синпетрогенних асоціацій акцесорних мінералів і визначення співвідношень генераційних типів найпоширеніших акцесоріїв дають змогу реконструювати загальну генетичну картину геологічного об'єкта. Склад автотасоматичних типоморфних асоціацій акцесорних мінералів дає інформацію про тип імовірного зруденіння, пов'язаного з постмагматичним етапом формування геологічного тіла.

Інформаційна ємність акцесоріїв у десятки разів вища, ніж породоутворювальних мінералів. Акцесорні мінерали одного виду досить часто утворюють генетичні групи, а серед них – генерації, які добре діагностують. Наприклад, у літературі часто описують генетичні типи й генерації апатиту, монациту, магнетиту та ін. Однак найчастіше і найповніше описують циркон, оскільки він дає велике розмаїття різновидів, які можна чітко розпізнати. У лабораторії акцесорних мінералів Одеського національного університету розроблено методику генераційного аналізу циркону [10, 13–15]. В її основі є онтогенічний метод. Найповніше і найдетальніше досліджено генерації синпетрогенного циркону. Такі кристали, зазвичай, зональні, та практично всі не містять ядер, окрім ранньої магматичної генерації, яка вміщує реліктові магматичні й реліктові детритові ядра. Кристали добре ограновані, що дає змогу виконувати кристаломорфологічний аналіз. Дослідження анатомії кристалів циркону і включень у них також допомагає конкретизувати генетичну інформацію.

Породоутворювальні мінерали без тонких методів дослідження не можна повною мірою використати для відновлення історії формування, оскільки генетична інформація в них майже “стерта”. Причиною є утворення цих мінералів унаслідок

кристалізаційної диференціації. Тільки акцесорні мінерали, передусім ті, кристали яких уміщують реліктові складові, що збереглися у вигляді ядер, можуть бути головним носієм генетичної інформації, яка засвідчить поліультраметаморфічність петротипу.

Саме детальне вивчення складної картини внутрішньої будови кристалів першої магматичної генерації синпетрогенного циркону з магматичним “ядром” дало нам змогу визначити особливості перебігу процесу утворення ультраметаморфічних гранітоїдів.

Узагальнення інформації про головні петротипи гранітоїдів центральної частини Кіровоградського мегаблока. У докембрійській історії земної кори УЩ від початкових стадій формування і до повної консолідації важливу роль відігравали гранітоїдні породи, на частку яких припадає до третини об’єму порід усього щита. На території УЩ був велетенський за тривалістю мегаетап гранітоутворення, який в історії щита більше не повторився [3, 13]. Особливість цього мегаетапу – зміна речовинного складу порід у часі. Ці зміни відбувалися послідовно, однак були не постійними, а періодичними, що залежало, насамперед, від дискретності перебігу самого магматичного процесу, підпорядкованого окремим тектономагматичним проявам.

Гранітоїди кіровоградського комплексу є ультраметаморфічними породами, сформованими на невеликих глибинах за кислих умов середовища. Як впливає з цирконового показника, гранітоїди є складними за генетичним типом (палінгенні від автохтонних до алохтонних) і сформовані по різному субстрату [3–5, 13, 14]. Наприклад, для вознесенського граніту основою була метаморфізована осадова товща, для кіровоградського й бобринецького – вулканогенно-осадова. Возіятський граніт і синюхінський лейкограніт за генераційним аналізом циркону можна зачислити до інтрузивно-магматичних або алохтонних ультраметаморфічних.

Склад утворень кіровоградсько-житомирського комплексу. Породи кіровоградсько-житомирського комплексу (PR_2kz) утворюють обширні масиви в центральній частині УЩ, частково – у межах Інгуло-Інгулецького району. Вони формувалися внаслідок гранітизації гнейсів бузької, інгуло-інгулецької і тетерівської серій та основних порід нижнього протерозою, а також перероблених архейських метаморфічних та ультраметаморфічних утворень. Вік утворень кіровоградсько-житомирського комплексу, датований калій-аргоновим і уран-торій-свинцевим методами, становить 2 800–1 900 млн років (за максимального прояву ультраметаморфічної гранітизації в інтервалі 2 100–1 900 млн років).

В основі комплексу виділяють граніти біотитові й біотит-мусковітові житомирські, граніти і мігматити біотитові й амфібол-біотитові порфіробластичні уманські, граніти і мігматити трахітоїдні новоукраїнські, граніти і мігматити біотитові порфіробластичні кіровоградські, бобринецькі й вознесенські. Всі породи – це плагіоклаз-мікроклінові та суттєво мікроклінові граніти, пов’язані з метаморфічними утвореннями поступовими переходами.

Характерна риса гранітів кіровоградсько-житомирського комплексу – порфіробластична структура, а також чітко виражена трахітоїдність. Ступінь виявлення цих структурно-текстурних особливостей різний, іноді коливається навіть у межах одного масиву.

Метасоматичні утворення комплексу поширені в Центральній, Первомайсько-Трахтемирівській, Кіровоградській та інших тектонічних зонах і представлені ура-

ноносними альбітитами, грейзенами, мікрокліновими й альбіт-мікрокліновими породами. Простягання план-паралельних текстур гранітів дуже часто збігається з основними елементами простягання вмісних метаморфічних порід.

Граніти комплексу формують ядра антиклінальних купольних структур, облямованих мігматитами і гнейсами. Переходи між гранітоїдами і вмісними породами поступові. Мінеральний склад відрізняється переважанням мікрокліну над плагіоклазом, підвищенням вмістом гранату.

Процес формування гранітоїдів УЩ розвивався циклічно. Виділено еволюційні ряди гранітоїдних порід, які фіксують три етапи гранітоутворення на щиті [3, 4, 13].

Акцесорні мінерали гранітів кіровоградського типу. Головним об'єктом дослідження були порфіроподібні трахітоїдні граніти, які належать до кіровоградського типу. Ми вивчили акцесорні мінерали порфіроподібних гранітів Бобринецького, Кіровоградського, Новоукраїнського й Уманського масивів. Мінералогічні дослідження проведено за єдиною методикою, що забезпечує достовірність зіставлення результатів.

Унаслідок виконаних робіт визначено понад 40 акцесорних мінералів (табл. 1). Головним об'єктом дослідження є кристали циркону з граніту Бобринецького масиву, які мають складну тризональну внутрішню будову (рис. 1, 2).

Таблиця 1

Вміст акцесорних мінералів у гранітах кіровоградського комплексу
Інгуло-Інгулецького блока Українського щита

Мінерали	Петротипи гранітів					
	Новоукраїнський	Вознесенський	Бобринецький	Кіровоградський	Трикратський	Уманський
Магнетит	2,56	0,21	4,36	4,31	8,23	2473,31
Льменіт	246,35	0,11	1,41	83,58	24,36	161,46
Циркон	124,42	3,86	62,36	17,99	7,46	45,09
Апатит	337,98	110,22	591,62	29,38	121,54	448,15
Пірит	12,86	0,42	5,70	1,29	8,13	4,98
Піротин	0,01	–	–	0,51	0,23	0,01
Титаніт	3,74	0,00	0,25	0,31	3,58	5,54
Монацит	7,90	21,36	4,76	3,54	11,58	0,28
Флюорит	0,36	363,75	2,25	0,59	0,65	0,01
Анагаз	34,50	27,92	6,88	14,89	–	0,25
Рутил	–	0,11	0,50	–	1,25	0,01
Лейкоксен	7,87	–	1,50	0,01	0,02	42,50
Циртолїт	–	0,15	–	–	–	–
Гранат	12116,10	1283,30	6200,70	7703,50	4,10	45,83
Халькопірит	0,03	0,02	0,80	0,22	0,18	0,01
Молібденіт	1,83	–	0,60	0,07	–	1,01
Силіманіт	–	0,10	–	–	–	–
Турмалін	11,43	0,01	0,21	3,70	0,01	0,01

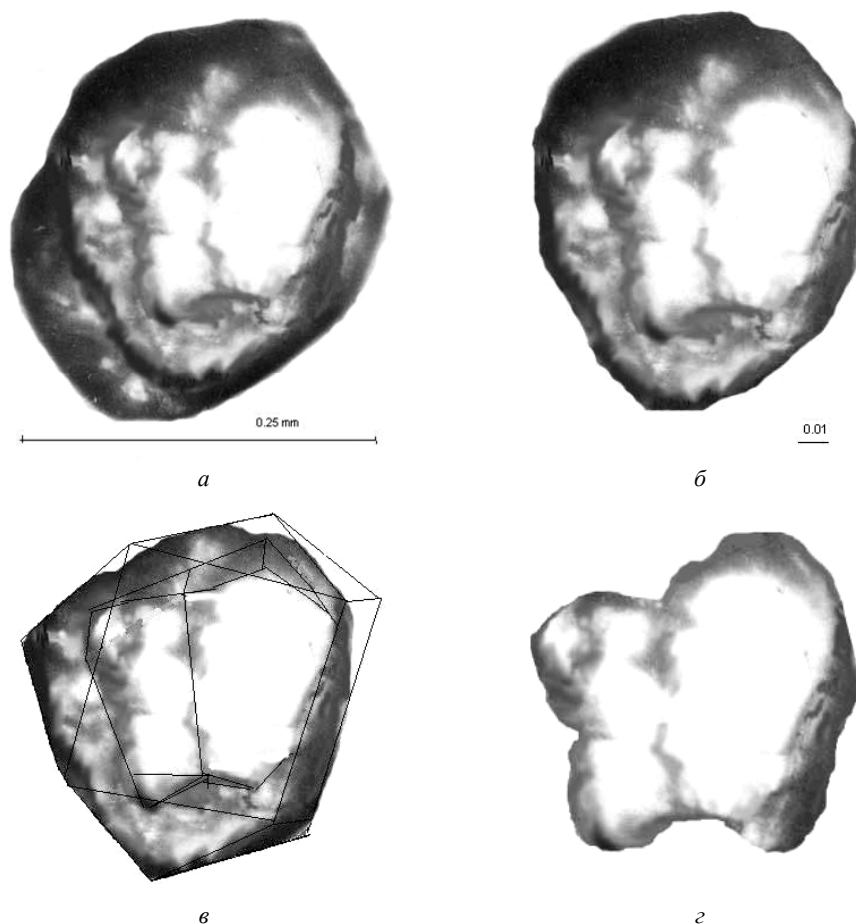


Рис. 1. Тризональний кристал циркону з порфіроподібного граніту Бобринецького масиву: *a* – загальний вигляд; *б* – кристал, утворений на другому етапі формування гранітів (друга оболонка); *в* – кристалографічна модель; *г* – внутрішня складова – реліктове магматичне “ядро” (зародок кристала, який формується на другому етапі гранітоутворення).

Кристал циркону тризональний (див. рис. 1,*a*), сформувався внаслідок двостадійного (в два етапи) процесу гранітоутворення. Кожен з етапів супроводжувався підвищенням температури і тиску, утворенням розплаву. У підсумку раніше сформовані кристали циркону розплавлялися по поверхні, проте не встигали повністю розплавитись. Надалі в процесі гранітоутворення знову відбувалась кристалізація – і так само в наступному етапі.

Змодельована послідовність формування циркону засвідчує, що кристал, який перебував у первинному субстраті, діяв як “реліктовий магматичний” (див. рис. 1,*б*). Він слугував зародком кристала, що кристалізувався на першому етапі гранітоутворення.

Наступна оболонка кристала циркону утворювалася на другому етапі процесу формування граніту (див. рис. 1,*в*). З формуванням розплаву кристал розплавлявся з поверхні. Далі на переході процесу в другий етап знову відбувався процес криста-

лізації й утворення нового кристала (див. рис. 1,*a*). Процес формування кристала циркону реконструювали, використовуючи мікроскопічне вивчення і фотографування в різних проєкціях. Визначена кристалографічна модель тризонального циркону дає підстави стверджувати: внутрішнє магматичне ядро – це зросток двох кристалів так званого гіацинтового типу (див. рис. 1,*г*). Кристал, який утворився на завершальному етапі гранітоутворення, є кристалом цирконового типу. Таке співвідношення кристалів свідчить про ріст зовнішньої оболонки в середовищі, відмінному від первинного.

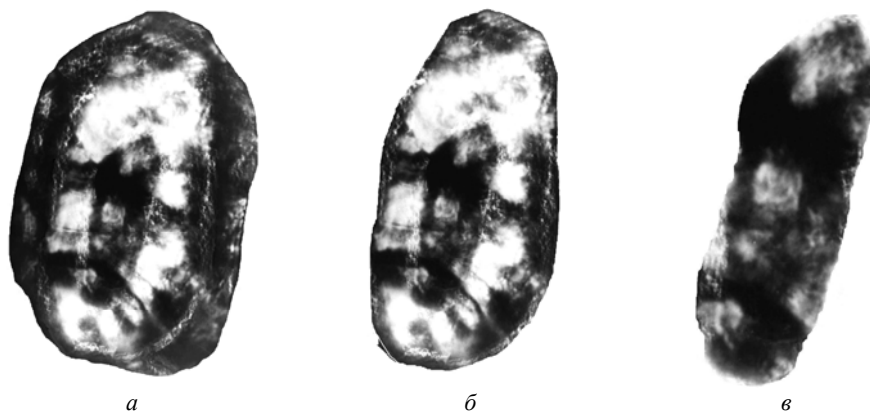


Рис. 2. Тризональний кристал циркону з порфіроподібного граніту Бобринецького масиву: *a* – загальний вигляд; *б* – друга оболонка кристала; *в* – реліктовий магматичний кристал.

Значимо, що такі складні кристали трапляються нечасто, тому для детального вивчення виділено тільки два тризональні кристали циркону з порфіроподібного граніту Бобринецького масиву. Другий кристал (див. рис. 2) також сформований як продукт двостадійного процесу гранітоутворення. Він складений з трьох оболонок, які формувалися послідовно; зародком кристалізації слугував кристал, утворений на попередньому етапі гранітоутворення.

Реконструкція процесу формування кристала дала змогу визначити перебіг процесу кристалізації на підставі його внутрішньої будови. Генераційним аналізом внутрішня складова кристала визначена як магматичне “ядро” – кристал гіацинтового типу, що утворився на першій стадії гранітоутворення (див. рис. 2,*a*). Наступна складова – кристал гіацинтового типу, сформований на другій стадії гранітоутворення (див. рис. 2,*б*). Зародок кристала – попередній кристал, оплавлений з поверхні. Важливим аргументом на користь самостійного розвитку цього кристала є різне положення осей симетрії першого та другого кристалів.

Зовнішня складова – кристал цирконового типу, сформований на завершальному етапі процесу гранітоутворення (див. рис. 2,*в*). Зародком для його кристалізації слугував кристал, сформований на першій стадії гранітоутворення. Для вивченого кристала визначено також різне положення осей симетрії першого, другого і третього кристалів, що є важливим аргументом на користь самостійного розвитку кожної зі складових кристала. Водночас не достатньо обґрунтованою є відсутність процесу епітаксiального наростання кристала.

Подібні кристали простежені в гранітах Бобринецького і Кіровоградського масивів, що розташовані по периферії Новоукраїнського масиву. Це підтверджує поліультраметаморфічний процес їхнього утворення.

Аналіз розподілу розсіяних і рідкісних елементів свідчить про не зовсім чітко виражену тенденцію до накопичення їх на пізніших етапах ультраметаморфізму. Така тенденція чіткіше виявлена внаслідок аналізу розподілу акцесорних монациту і ксенотиму (збільшується кількісний вміст цих мінералів) у бобринецьких, кіровоградських і крупських гранітах (табл. 2).

Таблиця 2

Літофільні елементи у гранітоїдах кіровоградського комплексу Українського щита

Петротипи гранітів	Вміст елементів, мкг/г								
	Nb	Zr	Sc	La	Ce	Y	Th	U	P
Вознесенський	16,0	225,0	5,1	92,0	206,0	41,0	26,9	3,1	578,0
Новоукраїнський	21,0	215,0	4,3	180,0	214,0	63,0	48,7	2,6	638,0
Кіровоградський	18,0	153,0	5,1	103,0	146,0	66,0	37,7	4,6	481,0
Бобринецький	18,0	465,0	4,4	154,0	235,0	113,0	43,0	3,4	662,0
Трикратський	16,0	337,0	4,6	98,0	187,0	58,0	29,8	3,3	577,0
Кіровоградський гранодіорит	10,0	257,0	5,4	0,1	40,0	15,0	He визн.	1,4	550,0

Оскільки другий етап ультраметаморфічного гранітоутворення завершується постультраметаморфічними метасоматитами, то вони, напевне, є максимально вірогідним місцем накопичення рідкісноземельних і рідкіснометалевих мінералів.

Аналіз наведеного матеріалу дає підстави стверджувати, що гранітоїди кіровоградського типу формувалися в два етапи ультраметаморфізму. Утворення гранітоїдів пов'язане не тільки з високими ступенями ультраметаморфізму, частковим локальним зниженням тиску в процесі метаморфізму і зростанням ролі легких і лужних компонентів, передусім, фосфору, фтору, води і калію, а й з неодноактним виявленням цього процесу. Плавлення *in situ*, без переміщення субстрату визначене підвищенням температури (могутній тепловий потік), локальним зниженням тиску в ослаблених зонах, надходженням легких компонентів і зростанням ролі калію. Внаслідок калішпатизації відбувається перерозподіл рідкісноземельних елементів, передусім церію й ітрію, в самостійні мінеральні фази – монацит і ксенотим. Поліетапність гранітизації посилює процес фракціонування рідкісних земель. Водночас особливо тугоплавкі мінерали (циркон, магнетит) зберігаються у вигляді реліктів або “ядер” у новоутворених кристалах ультраметаморфітів.

Отже, внутрішня будова складних тризональних кристалів циркону свідчить про формування порфіроподібних гранів кіровоградського комплексу протягом двох етапів.

Мінералогенічну спеціалізацію гранітоїдів найчіткіше можна виявити під час аналізування акцесорних мінералів, які вміщують інформацію про послідовність і концентрацію рідкісноземельної та рідкіснометалевої мінералізації.

Поліультраметаморфізм – це процес накопичення на завершальних етапах рідкісноземельної і рідкіснометалевої мінералізації. Водночас у геохімічній спеціалізації цей процес не ідентифікований.

1. Акцессорные минералы Украинского щита / Ред. Б.Ф. Мицкевич, Н.П. Щербак. К., 1976.
2. Гранитоидные формации Украинского щита / Щербаков И.Б., Есипчук К.Е., Орс В.И. и др. К., 1984.
3. Гранитоиды Украинского щита. Петрохимия, геохимия, рудоносность / Отв. ред. Н.П. Щербак. К., 1993.
4. *Григорьева Л.В.* Докембрийская тектоно-магматическая активизация. Л., 1986.
5. *Краснобаев А.А.* Циркон как индикатор геологических процессов. М., 1986.
6. *Ляхович В.В.* Акцессорные минералы. М., 1968.
7. *Носырев И.В.* К методике количественно-генетической оценки результатов изучения акцессорных минералов докембрийских пород (на примере Украинского щита) // Вестн. Киев. ун-та. Прикл. геохимия и петрофизика. 1981. Вып. 8. С. 52–59.
8. *Носырев И.В.* Онтогенія и типоморфізм акцессорних мінералів ізвержених порід // Вестн. Киев. ун-та. Прикл. геохимия и петрофизика. 1987. Вып. 14. С. 64–72.
9. *Носырев И.В., Кадурич В.Н., Робул В.М., Чепижко А.В.* К методике выделения типоморфных ассоциаций акцессорных минералов гранитоидных пород // Акцессорные минералы горных пород. М., 1985. С. 34–43.
10. *Носырев И.В., Робул В.М., Есипчук К.Е.* и др. Генерационный анализ акцессорного циркона. М., 1989.
11. *Смирнов В.И., Гинзбург А.А.* и др. Курс рудных месторождений. М., 1986.
12. Типоморфізм, синтез и использование циркона: Сб. науч. тр. / Отв. ред. Ю.П. Мирошник. К., 1989.
13. *Толстой М.І., Гасанов Ю.Л., Костенко М.В.* та ін. Петрогеохімія і петрофізика гранітоїдів Українського щита та деякі аспекти їх практичного використання. К., 2003.
14. *Чепижко А.В.* Типоморфізм акцессорних мінералів гранітоїдів центральної частини Українського щита // Вестн. Киев. ун-та. Прикл. геохимия и петрофизика. 1986. Вып. 13. С. 56–64.
15. *Чепижко О.В., Кадурич В.М., Радкевич Г.А.* Онтогенія і філогенія акцесорних мінералів гранітоїдів Українського щита // Мінерал. зб. 2002. № 52. Вип. 2. С. 155–160.

ACCESSORY MINERALS OF KIROVOHRADS'KYI TYPE GRANITES

IN THE CENTRAL PART OF THE UKRAINIAN SHIELD**O. Chepizhko, V. Kadurin, L. Shatokhina**

*I.I. Mechnikov National University of Odesa
Dvoryans'ka St. 2, UA – 65026 Odesa, Ukraine
E-mail: avchep@i.ua*

Study of accessory minerals of Voznesens'kyi, Bobrynets'kyi, Kirovohrads'kyi and other granite massifs of kirovohrads'ky complex in the central part of the Ukrainian Shield have been executed. Accessory minerals which constantly happen and are the most informing in a genetic aspect are more detailed in all explored. Generation analysis of accessory minerals, foremost to zircon, and the detailed study of internal structure of his difficult crystals enable to describe the features of petrogenetic process. The design of zircon crystals forming process on the basis of their internal structure helped to find out ran across the process of crystallization and confirmed the polyultrametamorphic process of their formation. Ultrametamorphism is the process of accumulation of rare-earth and rare-metal mineralization at the final stages. At the same time in geochemical specialization this process is not identified. Accordingly, mineralogenetic specialization of granitoids can be find out most expressly during the analysis of accessory minerals which contain information about sequence and concentration of rare-earth and rare-metal mineralization.

Key words: accessory minerals, zircon, process of crystallization, granitoids, mineralogenetic specialization, Ukrainian Shield.

Стаття надійшла до редколегії 09.09.2008
Прийнята до друку 30.10.2008