

<sup>1</sup>**О. В. Чепіжко**, д-р геол. наук, проф.

<sup>1</sup>**В. М. Кадурін**, канд. геол.-мін. наук, доцент

<sup>2</sup>**О. В. Драгомірецький**, канд. геол.-мін. наук, доцент

<sup>1</sup>кафедра загальної та морської геології,

<sup>2</sup>кафедра інженерної геології та гідрогеології,

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,

вул. Дворянська, 2, Одеса-82, 65082, Україна

E-mail: avcher@i.ua

## АКЦЕСОРНА МІНЕРАЛІЗАЦІЯ ДОКЕМБРІЙСЬКИХ ГРАНІТОЇДІВ ЯК ІНДИКАТОР ЇХ ЕВОЛЮЦІЙНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Еволюція докембрійського магматизму взагалі і гранітоїдного магматизму зокрема відображає найважливіші закономірності геологічної історії розвитку земної кори на всіх етапах її формування, оскільки являє собою своєрідний індикатор геодинамічних процесів і характеру тектонічних структур. Асоціації акцесорних мінералів, їхній склад і властивості можуть служити надійним критерієм формаційної приналежності гранітоїдів. Розроблена методика рішення задачі відновлення основних рис еволюції виділених районів Українського щита в період ранньо-, середньопротерозойської епохи тектономагматичної активізації на підставі аналізу інформації з акцесорних мінералів гранітоїдів. Проведено вивчення еволюції гранітоїдів Приазовського, Середньопридніпровського, Інгуло-Інгулецького, Північно-Західного Росінсько-Тікічського і Дністровсько-Бузького районів Українського щита на базі інтерпретації інформації з акцесорних мінералів.

**Ключові слова:** акцесорні мінерали, генераційний аналіз, граніт, протерозой, архей, джерело магми, геодинамічний процес.

### Вступ

Одним з важливих розділів мінералогії є вчення про акцесорні мінерали. Його розвиток тісно пов'язаний з успіхами мінералогії, петрографії, геохімії та інших наук геологічного циклу. Вже до кінця 50-х років стала очевидною висока ефективність використання результатів вивчення акцесорних мінералів. Створення наукового напрямку про акцесорні мінерали пов'язано з роботами В. В. Ляховича [6], котрий узагальнив результати відповідних досліджень, що проводилися в СРСР і за кордоном, і сформував його основні положення. Зусиллями С. Д. Туровського, В. В. Ляховича, Є. К. Лазаренка, І. В. Носирева А. А. Краснобаєва, М. П. Щербака, І. Б. Щербакова та ін. [1–9, 11–14] обґрунтовані основи методики вилучення акцесорних мінералів, запропоновані методи використання інформації по акцесорних мінералах при вирішенні різних геологічних задач. Серед них, у першу чергу, можна назвати кореляцію різних утворень за віком, складом, умовам утворення, розшифровку генезису порід, визначення геохімічної й металогенічної спеціалізації, визначення абсолютного

віку, визначення первинного складу метаморфічних і ультраметаморфічних утворень, мінералогічні пошукові ознаки зруденіння. Відтак, тема статті є *актуальною*.

Роботами І. В. Носирева, В. М. Робул, В. М. Кадуріна, О. В. Чепіжко, О. В. Драгомирецького й інших вчених Одеського національного університету імені І. І. Мечникова розроблені методи онтогенічного дослідження акцесорних мінералів й науково-обґрунтована система кількісно-генетичної інтерпретації інформації по акцесорних мінералах для вирішення конкретних геологічних задач [7, 8, 11–14]. Проте, на жаль, потенційні можливості методу в останні роки недостатньо представлені в Геологічній службі України, й використання його носить епізодичний характер. Хоча методичні рекомендації були підготовлені в рамках співробітництва з Міністерством геології України ще в 1989 р. Відтак, тема роботи має суттєве *теоретичне значення*.

Авторами означених робіт визначені вміст і основні параметри розподілу акцесорних мінералів гірських порід Українського щита (УЩ). До мінералів, що зустрічаються постійно [8, 11, 13], віднесені: апатит, циркон, магнетит, ільменіт, монацит, пірит. До таких, що зустрічаються часто, — ортит, сфен, рутил, молібденіт та ін. Мінерали, що зустрічаються не часто — халькопірит, арсенопірит, кіноварь, колумбіт й ін. Досить детально вивчені ті акцесорні мінерали, що постійно зустрічаються і є найбільш інформативними в генетичному аспекті. Отже, ця стаття має важливе *практичне значення*.

*Метою* дослідження є встановлення особливостей формування гранітоїдів Українського щита на підставі генетичної інтерпретації інформації з вивчення акцесорних мінералів. При дослідженні встановлюється вірогідний хід процесу утворення і еволюції означених петротипів гранітоїдів УЩ, а також їх потенційна рудоносність. Для досягнення мети слід вирішити *наступні задачі*: 1) Користуючись принципами онтогенії, проведеного генераційного аналізу акцесорних мінералів, в першу чергу циркону, та детального вивчення внутрішньої будови складних його кристалів, охарактеризувати особливості петрогенетичного процесу. 2) На рівні акцесорних мінералів та їх парагенезисів визначити характер і хід еволюції гранітоїдів УЩ, оцінити їхню потенційну рудоносність. 3) Визначити особливості полістадійного процесу формування і перетворення гранітоїдів УЩ.

## **Матеріали та методи досліджень**

Розроблена методика вивчення генезису дозволяє при дослідженні акцесорних мінералів одержати дані, що дають змогу відповісти на такі питання: петрогенезис, розчленовування й кореляція “німих” товщ, вивчення геохімічної і мінерагенічної спеціалізації порід, оцінка їхньої потенційної рудоносності. Вченими одеської школи проведена значна науково-практична робота, направлена на втілення в практику розробок по відновленню основних рис еволюції гранітоїдів на основі інтерпретації інформації по акцесорних мінералах. В основі лежить матеріал, одержан-

ний в результаті багаторічних досліджень, спрямованих на комплексне вивчення плутонічних формацій Українського щита. Фактичний матеріал складає більше 1000 взірців-протолок, що пройшли повний кількісно-мінералогічний аналіз [7–9, 11–14].

В процесі обробки і аналізу отриманих даних виконавці робіт отримали значну нову інформацію, частина якої знайшла своє відображення в численних публікаціях і в низці наукових розробок, до яких слід віднести:

- методику раціонального взірцювання кристалічних утворень для їх кількісної мінералогічної і петрогеохімічної оцінки;
- розробку раціональних методів статистичної обробки масової кількісної мінералогічної і петрографічної інформації та її оцінки;
- генераційну інтегральну оцінку масивів статистично достовірних мінералогічних даних аналізу порід;
- методику онтогенічного дослідження акцесорних мінералів й науково-обґрунтовану систему кількісно-генетичної інтерпретації мінералогічних даних на основі генераційного аналізу.

Отримані результати при дослідженні акцесорних мінералів складають базу висновків і рекомендацій по вивченню процесів формування порід, самих порід і процесів їх перетворення. Для всіх районів УКЩ були відібрані і проаналізовані основні петротипи комплексів, по яких отримано кількісний склад акцесорних мінералів, їх розподіл і розповсюдження, виділено типоморфні асоціації, проведено генераційний аналіз цирконів.

Генераційний аналіз — це оригінальна розробка Лабораторії акцесорних мінералів Одеського університету, яка представлена у виданнях [7–9, 11–14]. Визначення генерацій мінералів (генераційний аналіз) і їх послідовності утворення дозволяє вивчити еволюцію хімічного процесу в ході парагенезису, утворення і перетворення окремого мінералу та взагалі породи. Серед акцесорних мінералів достовірно визначено генерації циркону, апатиту, монациту (магматичні ранні і пізні, пегматитові, пневматолітові й гідротермальні), які утворилися на відповідних стадіях кристалізації вулканічного розплаву. Узагальненою моделлю мінералів певної генерації є генераційний тип акцесорного мінералу.

### **Аналіз результатів дослідження**

Для всіх вивчених петротипів гранитоїдів визначені синпетрогенні і аутометасоматичні асоціації акцесорних мінералів, які за своєю суттю є основними в характеристиці умов петрогенезису гранитоїдів. Сукупність мінералів, які утворилися за схожих фізико-хімічних умов, в одну й ту ж стадію процесу, називається парагенезисом, а вся кількість мінералів, яка утворилася в одному геологічному об'єкті — його мінеральною асоціацією (парагенетичним комплексом) [7, 9, 10, 13]. Кількісний розрахунок типоморфних синпетрогенних асоціацій акцесорних мінералів, а також кількісне співвідношення генераційних типів найпоширеніших акцесорів дозволяють реконструювати загальну генетичну картину геологічного об'єкту. Склад аутометасоматичних типоморфних асоціацій акцесорних

мінералів несе інформацію про склад можливого зруденіння, пов'язаного з постмагматичним етапом формування геологічного тіла. Так, граніти рапаківі мають більш широкий набір акцесорних мінералів, які утворювалися під час основного процесу гранітизації — циркон, апатит, магнетит, ільменіт, сфен і флюорит.

Для нормальних автохтонних гранітів набір акцесорних мінералів цієї асоціації скорочується до апатиту, циркону, магнетиту й ільменіту. Синпетрогенна асоціація алохтонних гранітів вміщує апатит, циркон, магнетит і монацит. *Вміст акцесорних мінералів по суті є показником глибини утворення гранітоїдів.* При зіставленні вмісту основних акцесорних мінералів, які формують синпетрогенну асоціацію, нами визначена закономірність в їх співвідношенні. Так, для пар акцесорних мінералів циркон-apatит, апатит-магнетит і магнетит-ільменіт фіксується прямо пропорційна залежність у зміні їх кількості, яка корелює з глибиною формування певного петротипа гранітоїдів. Відзначається збільшення вмісту основних акцесорних мінералів із збільшенням глибини формування петротипа. Така залежність може бути використана як одна з ознак глибини формування гранітоїдів при вивченні окремого структурного району докембрійського фундаменту [8, 11, 13].

Процеси породо- і мінералоутворення являють собою певну “реакцію” природних систем на геологічні (фізико-хімічні, термодинамічні) умови урівноваження багатокомпонентних систем гірських порід і мінералів. Будь-яка зміна цих умов формування чи існування гірських порід так чи інакше проявляється на їхньому складі і фізичних властивостях. Тому останні можуть бути своєрідним індикатором цих процесів, що відмічалось неодноразово В. І. Вернадським, Ф. Ю. Левінсон-Лессінгом, О. Є. Ферсманом, О. М. Заварицьким, О. М. Поварених. Більшість дослідників [3, 10, 11] відмічають провідну роль у розподілі мінералів, хімічних елементів, фізичних характеристик таких геологічних факторів формування гранітоїдів, як глибина (термодинамічні умови) кристалізації порід, належність до певних етапів тектоно-магматичної активізації (ТМА), процеси магматичної і еманційної диференціації, контамінації і гібридизму, вторинних процесів. Одночасно вік формування порід, їх формаційна належність, генезис мають другорядне значення.

Відмічені основні фактори у формуванні складу і фізичних характеристик гранітоїдів для їх різних петрогенетичних типів мають різне значення. Так, для гранітоїдів ультраметаморфічного (автохтонного) походження провідну роль відіграють характер, тип вихідного субстрату, тоді як для інтрузивно-магматичних (перш за все гіпабісальних, алохтонних) — процеси вторинних проявів, їх тип, інтенсивність. Всі ці фактори так чи інакше проявляються в особливостях речовинного складу і фізичних властивостях порід. Це дозволяє з успіхом використовувати їх як незалежну від традиційних методів геологічних досліджень пряму багатоозначову інформацію при вирішенні досить складних задач геологічного аналізу, пов'язаних, насамперед, з питанням генезису і генетичною типізацією гранітоїдних порід, — як природних об'єктів з великими металогенічними перспективами.

Акцесорні мінерали апріорно несуть генетичну інформацію про геологічний (породоутворюючий) процес. Найчастіше використовуються для кореляції “німих” товщ, реконструкції вихідної сполуки метаморфітів, відновлення ходу петрогенетичного процесу й т. п. Разом з тим, у літературі не досить освітлене питання про використання акцесорних мінералів для оцінки потенційної рудоносності конкретних об’єктів, розв’язуване з їхнім застосуванням з високим ступенем вірогідності. Кристалізаційна диференціація, що призводить до утворення порід різного складу, визначає первинний характер розподілу в них акцесорних мінералів, а пізні метасоматичні процеси, перетворюючи породи, одночасно призводять до порушення первісного розподілу. Результатом цього є виникнення великої неоднорідності, що призводить, зокрема, до появи промислово цікавих скопчень ряду акцесорних мінералів.

Встановлено: в автономному геологічному об’єкті акцесорні мінерали утворюють три генетичні групи: а) реліктову; б) синпетрогенну; в) накладену. Виділення цих груп проводиться на підставі оцінки параметрів розподілу (коефіцієнт варіацій вмістів), поширення (частота зустрічальності мінерального виду) і виділення генерацій акцесорних мінералів. Кожна з виділених груп може бути проаналізована на предмет її участі в інтегральній потенційній рудоносності об’єкта. Синпетрогенна асоціація містить у собі широкий парагенезис акцесорних мінералів, що складається з вузьких парагенетичних співтовариств, які послідовно утворювалися. На підставі детального генераційного аналізу циркону й кількісних характеристик середніх вмістів, частоти зустрічальності й коефіцієнтів варіацій по кожному мінеральному виду синпетрогенна асоціація розділяється на власне синпетрогенну й автометасоматичну. Перша, у свою чергу, підрозділяється на ранній і пізній етапи, що характеризують час становлення породи в цілому. Друга, автометасоматична, відповідає завершальним етапам розвитку геологічного об’єкта. Кількісні характеристики результатів генераційного аналізу циркону і якісні характеристики автометасоматичної асоціації дозволяють визначити тип і характер потенційного зруденіння конкретного масиву породи.

У ході калішпатизації як нормального процесу гранітизації ультраметаморфічних гранітів на УЩ з порушеної структури породи разом з Са, Na вивільняються рідкісні землі. При цьому рідкофазні і твердофазні реакції призводять до формування самостійних мінеральних фаз, що реалізуються в самостійні мінеральні види — монацит  $\{(Ce, La, Y, Th) PO_4; U, SO_4, SiO_4\}$ , ксенотим  $(YPO_4)$ , ортит  $(Ca, Ce, La)_2(Al, Fe, Mn, Be)_3[SiO_4][Si_2O_7]O(O, OH)$ , чевкініт  $(Ce, Fe_2Ti_3[Si_2O_7]O_8)$ , Ta-Nb. Причому на кожному з виділених на УЩ структурно-тектонічному районі визначена власна специфіка в розвитку й розподілі акцесорних мінералів. Так, для Центральної частини УЩ характерною є Ce-Y група мінералів — ксенотим, монацит; для Приазов’я — Ce-Ti — чевкініт, і для Північно-західної частини щита — Ce-Y — монацит.

Області ТМА становлять підвищений інтерес у дослідженні акцесорних мінералів. По особливостях і типоморфних властивостях акцесорних мі-

нералів, по їхніх асоціаціях запропоновано встановлювати умови процесу рудогенезиса. Спочатку можна відновити хід формування породи, установити процеси її наступної зміни і, як наслідок, визначити напрямок процесів рудоутворення, їх тип. Сам процес стає зрозумілим і дозволяє говорити про напрямок формування та перспективи виявлення концентрацій рідкісноземельних елементів. Причому в умовах автометасоматичної переробки перспективними стають самі граніти як нетрадиційний вид руди.

## Висновки

У кожному виділеному геологічному об'єкті акцесорні мінерали утворюють три генетичні групи: а) реліктову; б) синпетрогенну; в) накладену. В ході дослідження встановлення цих груп проводиться на підставі оцінки параметрів розподілу (коефіцієнт варіацій вмістів), поширення (частота зустрічальності мінерального виду) і вивчення генерацій акцесорних мінералів.

Встановлені закономірності розповсюдження, вмісту, характерних властивостей акцесорних мінералів і їх генерацій, залежність цих параметрів від умов утворення можуть бути використані як ознаки глибини формування гранітоїдів при вивченні окремого структурного району докембрійського фундаменту УЩ.

Області ТМА становлять підвищений інтерес у дослідженні акцесорних мінералів. В умовах автометасоматичної переробки перспективними стають самі граніти як нетрадиційний вид руди.

## Література

1. *Акцесорные минералы Украинского щита* / Ред. Мицкевич Б.Ф., Щербак Н.П. — К.: Наук. думка. — 1976. — 280 с.
2. *Гранитоидные формации Украинского щита* / И. Б. Щербаков, К. Е. Есипчук, В. И. Орса и др. — К.: Наук. думка. — 1984. — 192 с.
3. *Гранитоиды Украинского щита*. Петрохимия, геохимия, рудоносность / Отв. ред. Н. П. Щербак. — К.: Наук. думка. — 1993. — 232 с.
4. *Циркон как индикатор геологических процессов* / А. А. Краснобаев; Отв. ред. А. М. Димкин; АН СССР, Урал. науч. центр, Ин-т геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого. — М.: Наука, 1986. — 234 с.
5. *Краснобаев А. А. Циркон как индикатор геологических процессов*. — М.: Наука, 1986. — 146 с.
6. *Ляхович В. В. Акцесорные минералы*. — М.: Наука, 1968. — 275 с.
7. *Носырев И. В. К методике количественно-генетической оценки результатов изучения акцесорных минералов докембрійских пород (на примере Украинского щита)* // Вестн. Киев. ун-та. Прикл. геохимия и петрофизика. — 1981. — Вып. 8. — С. 52–59.
8. *Носырев И. В., Кадурин В. Н., Робул В. М., Чепижко А. В. К методике выделения типоморфных ассоциаций акцесорных минералов гранитоидных пород* // Акцесорные минералы горных пород. — М.: Наука. — 1985. — С. 34–43.
9. *Носырев И. В., Робул В. М., Есипчук К. Е., Орса В. И. и др. Генерационный анализ акцесорного циркона*. — М.: Наука. — 1989. — 203 с.
10. *Толстой М. И., Гасанов Ю. Л., Костенко Н. В. та ін. Петрогеохимія і петрофізика гранітоїдів Українського щита та деякі аспекти їх практичного використання*. — К.; ОЦ “Київський університет”, 2003. — 329 с.

11. Толстой М. И., Костенко Н. В., Кадурін В. М., Гасанов Ю. Л., Гожик А. П., Чепіжко О. В. Петрографія, акцесорна мінералогія гранітоїдів Українського щита та їх речовинно-петрофізична оцінка. — ВПЦ “Київський університет”, Київ, 2008. — 356 с.
12. Чепіжко О. В., Кадурін В. М., Радкевич Г. А. Онтогенія і філогенія акцесорних мінералів гранітоїдів Українського щита // Мінерал. сб. Львів. ун-ту, Львів. — 2002. — № 52, вип. 2. — С. 155–160.
13. Чепіжко О. В., Кадурін В. М. Акцесорні асоціації основних петротипів гранітів новоукраїнського комплексу Інгулецького мегаблоку Українського щита // Записки УМТ. — Т. 3. — 2006. — С. 192–196.
14. Чепіжко А. В. Типоморфизм акцесорных минералов гранитоидов центральной части Украинского щита // Вісник Київ. ун-та. Прикл. геохімія і петрофізика. — 1986. — Вип. 13. — С. 56–64.

**А. В. Чепіжко, В. Н. Кадурін, А. В. Драгомирецький**

E-mail: avcher@i.ua

### **АКЦЕССОРНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ДОКЕМБРИЙСКИХ ГРАНИТОИДОВ КАК ИНДИКАТОР ИХ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**

#### **Резюме**

Эволюция докембрийского магматизма вообще и гранитоидного магматизма в частности отображает самые важные закономерности геологической истории развития земной коры на всех этапах ее формирования, поскольку представляет собой своеобразный индикатор геодинамических процессов и характера тектонических структур.

Ассоциации акцесорных минералов, их состав и свойства могут служить надежным критерием формационной принадлежности гранитоидов. Разработана методика решения обратной задачи, а именно: восстановление основных черт эволюции прежде выделенных районов Украинского щита (УЩ) в период ранне-, средне-протерозойской эпохи тектономагматической активизации (ТМА) на основании анализа информации по акцесорным минералам гранитоидов. Проведено изучение эволюции гранитоидов Приазовского, Среднеприднепровского, Ингуло-Ингулецкого, Северо-Западного Росинско-Тикичского и Днестровско-Бугского районов УЩ на базе интерпретации информации по акцесорным минералам.

**Ключевые слова:** акцесорные минералы, генерационный анализ, гранит, протерозой, архей, источник магмы, геодинамический процесс.

**O. V. Chepizhko, V. M. Kadurin, O. V. Dragomyretskiy,**

E-mail: avchep@i.ua

**ACCESSORY MINERALISATION OF DOKEMBRIY GRANITES AS AN INDICATOR OF THEIR EVOLUTIONAL TRANSFORMATION**

**Summary**

Evolution of Dokembriy magmatizm in general and granites magmatizm in particular, reflects the most important conformities to law of geological history of development of the earth's crust on all stages of its forming, as is an original indicator of geodynamics processes and character of tectonic structures. The association's accessory minerals, their structure and properties can serve reliable criterion formations of belonging granites. The method of decision of reverse task is developed, namely: renewal of basic lines of evolution before the selected districts of the Ukrainian Crystalline Shield allocated areas in the period of early, middleproterozoic epoch's of tectonic-magmatic activation on the basis of information analyses on the accessory minerals of granites. A study of the evolution of granites Ingulo-Inguleckogo, North-West, and Dnestrovo-Bugskogo areas of the Ukrainian Board on the basis of interpretation of the information on accessory minerals.

**Key words:** accessory minerals, analysis generation, granites, Proterozoic, Archean, magma source, geochemistry, geodynamic settings.