

МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 551.71/.72+551.25:552.13(477)

О. Павлова, асист., О. Пономаренко, д-р геол. наук

**РЕТРОСПЕКТИВНИЙ СТРУКТУРОГЕНЕТИЧНИЙ ТА ГЕОТЕРМОХРОНОМЕТРИЧНИЙ
МОНІТОРИНГ МЕТАМОРФІЧНИХ ТА ТЕКТОНІЧНИХ ПОДІЙ У ДОКЕМБРІЇ
(НА ПРИКЛАДІ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА)***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. С.Є. Шнюковим)*

Розглянуто можливість застосування та складові моніторингу головних етапів метаморфізму та тектонічних подій докембрію на прикладі західного регіону Українського щита. Комплексне застосування структурогенетичних, мінералогічних та ізотопних геотермохронOMETРИЧНИХ досліджень дозволило відпрацювати методику виявлення стадійності та вікових інтервалів процесу динамотермального перетворення мінеральних асоціацій кристалічних порід докембрію.

In article view an occasion of application and componentry of monitoring of the main stages of metamorphism and tectonic events in Precambrian on an example of the western region of the Ukrainian shield. Complex application structuregenetic, mineralogy and isotopic Complex use of structure genetic, mineralogical and isotope geothermochronometric researches has allowed to fulfil a revealing of stages and age intervals of process of thermodynamic transformations of mineral associations of crystal rocks.

Вступ. Ця стаття присвячена визначенню можливості застосування принципу моніторингу (простежування послідовної зміни речовинного складу, фацій метаморфізму та співвідношення ізотопів деяких хімічних елементів у часі) для виявлення головних етапів метаморфічних та тектонічних перетворень порід у докембрії на прикладі західної частини Українського щита.

Головною особливістю територій розвитку регіонального та ареально-розломного метаморфізму у докембрії є те, що кристалічні породи в них неодноразово піддавалися дії термодинамічних процесів за температур і тисків, що відповідали амфіболітовій, епідот-амфіболітовій та зеленосланцевій фаціям метаморфізму [3, 6] в умовах крихких, крихко-пластичних та пластичних перетворень. Такі регіони та зони тектонічних порушень в них можна віднести до території ретроградного поліфаціального метаморфізму і діафторезу, оскільки мінеральні асоціації кристалічних порід, що в них формуються, виникають за рахунок різновікових первинномагматичних і метаморфічних порід. Поряд зі зміною мінерального складу в цих породах відбувається також структурна перебудова, яка частково або повністю змінює первинний вигляд порід.

Поліфаціальні та діафторичні перетворення у докембрії, які є процесами неодноразовими, різновіковими, а інколи і різнонаправленими, можуть породжувати неоднозначність трактування тих чи інших геологічних подій. Наприклад, в рухомих зонах за режиму амфіболітової фації метаморфізму можуть формуватися або розгнейсовані породи, або тектоногнейси та тектоносланці, які без спеціального комплексу досліджень неможливо відрізнити від продуктів прогресивного регіонального метаморфізму та ультраметаморфізму первинноосадкових товщ [15, 16]. Такі утворення інколи потрапляють у стратиграфічні схеми як окремі тіла, або метаморфічні товщі із невизначеним суперечним стратиграфічним положенням [4]. Тому, метою означеної роботи є показ можливості визначення етапності та віку метаморфічних та тектонічних перетворень кристалічних порід за допомогою принципу ретроспективного моніторингу цих процесів у часі та просторі.

Постановка задачі та передумова. Основною задачею наукових досліджень виявився відбір головних напрямів моніторингу, визначення особливостей їх взаємозв'язку між собою, а також підбір можливої форми відображення отриманих результатів.

Передумовою вирішення поставленої задачі було: 1) петрографічне та мінералогічне дослідження кристалі-

чних порід та підбір критеріїв наявності, послідовності, характеру та рівня метаморфічних перетворень; 2) визначення можливості ізотопного датування цих процесів за етапами перетворення з використанням накопичених даних та за рахунок додаткових аналітичних досліджень; 3) визначення рівня інформативності та напрямків поповнення існуючого Петрографічного фонду України (літо-тек та баз даних до них) для цілей моніторингу.

Для вибору петрографічних складових моніторингу були задіяні зразки кристалічних порід по території досліджень та шліфи до них із Літотек петрофонду КНУ імені Тараса Шевченка та ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України. Петрографічний, структурогенетичний та мікротектонічний аналізи, які були відпрацьовані на декількох об'єктах північно-західної частини УЩ [9, 10], проводилися на базі кафедри мінералогії, геохімії та петрографії геологічного факультету КНУ. Ізотопні дослідження циркону уран-свинцевим, а амфіболу й біотиту калій-аргоновим методами для вибору геохронометричних компонентів моніторингу були проведені в лабораторіях ІГМР ім. М.П. Семененка НАН України та університету Макварі (Сідней, Австралія).

На жаль, в останній час вважається, що калій-аргоновий метод, який широко використовується для датування магматичних та тектонічних подій у фанерозої, не прийнятний для докембрійських порід за наявності в них накладеної високотемпературної метаморфічної перекристалізації, яка змінює їх первісний мінеральний склад та текстурно-структурні параметри, а також призводить до порушення кристалічних решіток мінералів із зміною ізотопних співвідношень материнських та дочірніх радіоізотопів і, відповідно, до отримання ізотопних дат, які не відповідають часу первинного формування геологічних утворень. Це проявляється у "омолодженні" порід і відсутності збігу ізотопного віку біотитів та амфіболів, отриманих K-Ar методом, між собою та з ізохронним віком циркону із цих же порід, появи дискордантних значень ізотопного віку за цирконами тощо. Проте комплексний петрографічний, структурогенетичний та мінералого-геохімічний аналіз у поєднанні з геохронометричними даними, отриманими калій-аргоновим методом, можуть вирішити задачі моніторингу геологічних процесів у докембрії.

Вибір об'єктів та методів дослідження. З метою отримання цілісної картини еволюції тектонічних процесів були проведені комплексні петрографічні, мікротектонічні та структурогенетичні дослідження докембрійських кристалічних порід західної частини УЩ, у тому чи-

слі, що були перетворені в зонах діафорезу [9, 10]. В першу чергу це палеопротерозойські гранітоїди, амфіболіти та гнейси, тобто породи, що містять в своєму складі такі мінерали, як біотит, амфібол та акцесорні монацит і циркон. Також проведені мікрозондові дослідження складу й структури біотиту та циркону, вивчені ізотопний вік сингенетичних біотитів та амфіболів K-Ar методом. Ізохронний вік циркону корнинських та коростішівських гранітів визначений традиційним U-Pb ізохронним методом та за допомогою LAM ICP MS [12]. До інтерпретації отриманих даних залучені результати опублікованих досліджень [7, 14, 16].

Результати досліджень. Структурогенетичний та петрографічний напрям моніторингу. Петрографічними дослідженнями кристалічних порід було визначено, що докембрійські породи від часу утворення пройшли складну історію послідовних тектонічних та діафорічних перетворень, що відзеркалилися на їх мінеральному складі та структурно-текстурних ознаках. Найоптимальнішим напрямком відновлення еволюції структур та складу порід виявився зворотній (ретроспективний) – від останньої, або кінцевої, до початкової стадії перетворення, що реалізується при послідовному знятті слідів кожної з них. При цьому, останній (кінцевий) етап перетворення порід може фіксуватися звичайним катаклизмом (сухе динамічне перетворення) або катаклизмом з аргілізацією (низькотемпературне гідротермально-метасоматичне перетворення), а попередні стадії – серією послідовних (поступових або стрибкоподібних) перетворень в межах тектонічних порушень у більш високотемпературних (метаморфічних) режимах, що за мінеральними парагенезисами відповідають зеленосланцевій, епідот-амфіболітовій, або власне амфіболітовій (навіть гранулітовій) фаціям регіонального метаморфізму [3, 6, 15].

Діагностичними ознаками наявності *гідротермально-метасоматичного етапу* є прояв катаклазу породотворних мінералів, утворення кліважних просічок мілонітового характеру та площин міжзернового сковзання навколо польових шпатів та кварцу з формуванням очкових мілонітів. У катаклязованих породах відбувається гідратація слюд, аргілізація та серицитизація польових шпатів або сосюритизація плагіоклазів, по тріщинах сколювання формується тонкий катакlastичний агрегат силікатів, який при можливій циркуляції низькотемпературних (<300°C) гідротермально-метасоматичних розчинів може бути просякнутий відповідними новоутвореними мінералами.

Ознаками *зеленосланцевого етапу* перетворення є рекристалізація загальної маси порід із утворенням тонких кліважних просічок філоніту та наявність площин тектонічного сковзання між зернами породотворних мінералів з формуванням лінзоподібних та очкових текстур. В породах спостерігається мусковітизація та хлоритизація біотиту, аргілізація, серицитизація калієвих та натрій-кальцієвих польових шпатів або сосюритизація середніх та основних плагіоклазів, по площинах тектонічних сколів формується тонкий катакlastичний агрегат польових шпатів із новоутвореннями хлориту, мінералів групи епідоту, карбонатів тощо.

Діагностичними ознаками для виділення *епідот-амфіболітової стадії* перетворення є заміщення первинного більш високотемпературного парагенезису мінералів порід парагенезисом синьо-зеленої рогової обманки з біотитом, біотиту з мусковітом, кварцом, сфеном, кліноцоїзитом, наявність цих же мінералів у тектономатриці в тектонобластитах.

Ознаками *діафорічного амфіболітового етапу*, який найчастіше передуює описаним стадіям, є прояв

крихко-пластичної деформації порід при звичайному зсуві, або за умов зсуву із стисненням (транспресії) чи зсуву із розсувом (транстенсії), при яких кристали в породах механічно дробляться, перекристалізуються за механізмом "розчинення-перевідкладення", переорієнтовуються, регенеруються, гранулюються та новоутворюються в ділянках розтягу в мінеральних парагенезисах, рівноважних існуючим на той момент температурам і тискам.

Мікроскопічні та мікрозондові дослідження підтвердили, що під час тектогенезу мінерали тріскаються, катаклазуються, частково упорядковуються, регенеруються, заліковуються, а також урівноважуються відповідно до P-T умов та складу тріщинних флюїдів. Це стосується не тільки породотворних, але й акцесорних мінералів. Наприклад, раніше утворені кристали циркону, апатиту та сфену під час наступних етапів тектогенезу регенеруються, обрастаючи новими оболонками, а паралельно відбувається зародження та ріст нових більш молодих індивідів, відповідно, з новими співвідношеннями ізотопів [12].

Таким чином, проводячи регіональні петрографічні дослідження, за означеними критеріями можна виділити етапи метаморфічних та динамічних перетворень кристалічних порід та прослідкувати загальну еволюцію геологічних процесів на території, що досліджується.

Геохронометричний напрям моніторингу. Він визначається віком утворення породотворних (амфібол, біотит, калієві польові шпати) та акцесорних (циркон, монацит, сфен) мінералів з урахуванням особливостей аналітичних методів ізотопної геохнології та геохімічних процесів, що впливають на термофіксацію радіогенних елементів в кристалічних решітках мінералів. За даними Б.А. Калеганова та В.П. Макарова [5, 8], співвідношення урану до радіогенного свинцю в цирконах та калію до аргону в амфіболах при метаморфізмі при близькій температурі фіксації ізотопів в кристалічних решітках (>600 °C), визначають і однаковий вік їх утворення. Крім цього, дослідження акцесорних мінералів показали, що при повторному метаморфізмі, або при діафорезі за рахунок підвищеної рухомості ізотопів свинцю, в новоутворених цирконах, або в регенераційних оболонках навколо древніх зерен, співвідношення ізотопів U та Pb, як правило, порушене і не відповідає конкордії.

Експериментальними дослідженнями [1, 2, 5, 8] було доведено, що калійвмісні мінерали (біотит та амфібол) за досить короткий період прогрівання до температур, більших за температуру термофіксації ними радіогенного аргону, повністю його втрачають. Тому дослідниками вважається, що при регресивному метаморфізмі накопичення радіогенного Ar⁴⁰ в амфіболах, а, відповідно, і відлік часу його "утворення", починається при остиганні нижче 600 °C, а в біотитах – нижче 350 °C. Таким чином, вік, визначений K-Ar методом по амфіболу, фактично фіксує нижню температурну межу стадії амфіболітового та епідот-амфіболітового метаморфізму, а по біотиту – час виходу порід із режиму метаморфізму.

Така поведінка ізотопів в мінералах метаморфічно змінених порід привела до думки використання означеного явища для геохронометричного моніторингу тектонічних та метаморфічних подій з урахуванням температурного режиму системи, в якій вони відбуваються. При наявності в породах, що пройшли повний цикл метаморфічних перетворень, таких мінералів, як реліктовий циркон, новоутворений або регенерований циркон, монацит, амфібол, біотит (мусковіт), хлоритизований біотит, можна визначити такі параметри, як тривалість всього процесу метаморфізму або окремих його етапів (при T>300 °C) [11].

Розходження у визначенні віку калій-аргоновим методом по амфіболу та біотиту можна використовувати також для підрахунку швидкості остигання порід при ретроградному метаморфізмі, а також для визначення часу закінчення метаморфічних перетворень порід.

Відображення результатів структурогенетичного та термогеохронометричного моніторингу метаморфічних та тектонічних подій у докембрії можливе у вигляді створення карт-схем розповсюдження порід поліфаційного метаморфізму, окремих фацій метаморфізму, вікової еволюції та міграції ареалів метаморфічних процесів, визначення швидкості остигання та часу виходу окремих територій та зон діафторезу з режиму метаморфізму [11] тощо. Проте, необхідною умовою продовження таких робіт є розширення петрофону та пристосування його бази даних для потреб моніторингу [13]. Крім цього, аналіз існуючої бази даних геохронометрії докембрійських порід УЩ вказав на необхідність проведення регіональних робіт з К-Аг хронометрією усіх співіснуючих каліймісних мінералів, що дозволить підвищити інформативність даних моніторингу.

Висновки. Вже перший досвід поєднання структурогенетичних та геотермохронометричних досліджень порід докембрії УЩ з метою ретроспективного моніторингу метаморфічних та тектонічних процесів у просторі й у часі підтвердив правильність вибору головних інформаційних напрямів – структурогенетичного, петрографічного та геохронометричного.

1. Петрографічна складова моніторингу, представлена фаціальним, структурогенетичним та мікротектонічним аналізами, які дозволяють об'єктивно оцінити етапність, інтенсивність, послідовність та температурний режим метаморфізму перетворення як окремих тіл кристалічних порід, так і цілих регіонів.

2. Геохронометричні дослідження дозволяють визначити вік окремих етапів тектонічного та метаморфічного перетворення порід, швидкість їх охолодження, а також виявити на площі довготривалі та найбільш термальноактивні ділянки діафторезу.

3. Комплексування структурогенетичних, мінералогічних та ізотопних геохронометричних досліджень докембрійських порід у регіональному масштабі дозволить більш об'єктивно простежити послідовність та характер метаморфічних та тектонічних подій у межах щита.

1. Батырмурзаев А.С. Миграция калия и радиогенного аргона в минералах. – Махачкала, 1982.
2. Брандт С.Б., Вороновский С.Н. Дегидратация и диффузия радиогенного аргона в слюдах // Изв. АН СССР, сер. геол., № 11, 1964.
3. Дислокаційна тектоніка та тектонофації докембрії Українського щита / О.І. Лукієнко, Д.В. Кравченко, А.В. Сухорада; за ред. В.А. Михайлова. – К., 2008.
4. Єсипчук К.Є., Бобров О.Б., Степанюк Л.М. та ін. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (пояснювальна записка). – Київ: УкрДГРІ, 2004.
5. Калеганов Б.А. О потере и поглощении аргона калийсодержащими минералами. – Препринт. Свердловск, УрО АН СССР, 1989.
6. Лукієнко О.І., Павлов Г.Г., Кравченко Д.В. "Біотитовий кліваж" у в'язкорозломних структурах Українського щита // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2001. – Вип. 20. – С. 8-10.
7. Каталог изотопных дат пород Украинского щита / Щербак Н.П., Злобенко В.Г., Жуков Г.В. и др. – К., 1978.
8. Макаров В.П. О возможности существования аргоновых минералов // Электронный науч.-инф. журн. "Вестник отделения наук о Земле РАН", №1 (21), 2003.
9. Павлов Г., Павлова О., Бубнова О., Філіпов С. Мікротектонічний аналіз порфіроподібних гранітів північно-західної частини Українського щита // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія, № 37, 2006. – С.29-31.
10. Павлов Г., Павлова О., Бубнова О. Еволюція мінеральної складу та структури Мухарівських гранітоїдів Північно-західної частини Українського щита // Вісн. Київськ. ун-ту. Геологія, № 40, 2007. – С.14-18.
11. Пономаренко О.М., Павлов Г.Г., Павлова О.О. Калій-аргонова геохронометрія розломних зон докембрію Українського щита // Геохімія та рудоутворення. Зб. наук. пр., № 27, 2009.
12. Пономаренко А.Н., Павлов Г.Г., Павлова Е.А., Белоусова Е.А. Изотопная геохронология этапов структурно-минералогического преобразования докембрийских гранитов Украинского щита / В кн. Изотопные системы и время геологических процессов. Мат. IV Российской конф. по изотопной геохронологии, Т. II, г. Санкт-Петербург, 2-4 июля 2009 г. – С.П-б., 2009.
13. Пономаренко О.М., Павлов Г.Г., Павлова О.О., Гасанов Ю.Л. Геоінформаційні системи петрографії порід (на прикладі Українського щита) // Геоінформатика, №1, 2009. – С. 62-68.
14. Скобелев В.М. Петрохимия и геохронология докембрийских образований Северо-Западного района Украинского щита. – К., 1987.
15. Шевчук В.В., Павлов Г.Г. Взаємозв'язок деформаційних і кристалізаційних процесів під час метаморфізму / В кн. "Тектоника, минералогия, минеральные ресурсы. Сб. науч. работ Института геохимии окружающей среды НАН и МЧС Украины. – Вып. – Том II., 2005. – С. 89-100.
16. Щербаков І. Б. Петрологія Українського щита. – Львів, 2005.

Надійшла до редколегії 04.12.09

ЕКОНОМІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 553.061

А. Бодюк, канд. економ. наук

НАПРЯМИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКОНОМІЧНОЇ ГЕОЛОГІЇ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

Обґрунтовано напрями дослідження виробництва по розвідці надр, у тому числі ресурсів надр, економіки ресурсів, організаційного і правового забезпечення. Проаналізовано застосування груп методів геологічних, економічних, фінансових, товарознавчих, загальнотеоретичних, статистичних, розрахункових і балансових оцінок.

Directions of researches of geological slovelly are grounded, including resources of bowels of the earth, economy of resources, organizational and legal providing. Application of groups of methods of geological, economical, financial, theoretical, statistical, calculation and balance estimations is analysed.

Постановка проблеми. Цільовою функцією кожної науки є розкриття і пізнання відповідних об'єктивних законів природи чи суспільства. Тому вона накопичує й досліджує набуті у процесі історичного розвитку суспільства знання про об'єкти дослідження, користуючись загальнонауковими й притаманними тільки їй методами пізнання об'єктивної реальності у природі, суспільному виробництві.

Теоретичною основою економічної геології є відповідні положення праць філософів, вчених у галузі пошуку та розвідки корисних копалин, математичного моделювання й аналізу, економіки геологорозвідувальних робіт, науково-технічного прогресу, фінансів.

Нами відрізняються комплекс теоретичних положень досліджуваної економічної геології від теоретичних положень економіки господарського використання мінерально-сировинних ресурсів, економіки геологорозвідувальних робіт, геологічних підприємств.

Тому за теоретичну проблему слід визнати, зокрема, конкретизацію напрямів досліджень економічної геології з тим, щоб її виокремити від інших економічних наук.

Аналіз досліджень. Геологорозвідувальна діяльність також досліджує прояви законів природи у створенні надроресурсів, закони суспільства у їх господарському чи побутовому використанні. Такі дослідження, зокрема, проводяться науковцями в рамках економічної геології.