

де  $p_{нас}$  – рівноважний тиск пари над рідкою фазою;  $p_{пер}$  – рівноважний тиск пари над краплиною радіусом  $r$ ;  $V_M$  – мольний об'єм рідини,  $\text{см}^3/\text{моль}$ ;  $\sigma$  – поверхневий натяг,  $\text{дж}/\text{см}^2$ .

Розрахунок роботи, яка затрачається для утворення зародка краплини, здійснюється за формулою:

$$A = -\sigma S + nRT \ln \frac{p_{пер}}{p_{нас}},$$

де  $S$  – площа поверхні зародку.

Пояснення утворення дрібних краплин рідини з переохолодженої пари справедливе також для утворення дрібних кристалів твердої речовини із переохолодженого розчину. Вульф довів, що всередині будь-якого кристалу можна знайти таку точку, для якої відношення поверхневого натягу  $\sigma$ , будь-якої  $i$ -тої грані до відстані  $l$ , від цієї точки до  $i$ -тої грані є величиною постійною. Замінивши  $\sigma/r = \sigma/l$  та  $p_{пер}/p_{нас} = C_{пер}/C_{нас}$ , вважаючи  $\sigma$  і  $l$  для всіх граней кристалу однаковими, отримаємо рівняння Томсона для критичного розміру твердого кристалічного зародка з переохолодженого розчину.

$$RT \ln \frac{C_{пер}}{C_{нас}} = \frac{2\sigma V_M}{l},$$

а робота утворення кристалічного зародка виражається рівнянням:

$$A = -\frac{a}{\Delta T^2}, \text{ де } a = \frac{16}{3} \pi \sigma^3 \left( \frac{V_M T_{пл}}{L_{пл}} \right)^2,$$

для якого  $\Delta T = T_{пл} - T$  – переохолодження розчину;  $T_{пл}$  – температура плавлення кристалу;  $L_{пл}$  – теплота плавлення [4].

З іншого боку відомо, що кристалізація відбувається із концентрованих розчинів сильних електролітів. Отже

величини  $S$  згідно з теорією Дебая та Гюккеля слід замінити величинами активностей розчинів.

$$RT \ln \frac{a_{пер}}{a_{нас}} = \frac{2\sigma V_M}{l}.$$

Надалі ми плануємо порівняти відповідність обох підходів реальним процесам кристалізації монокристалів.

**Висновки.** У результаті проведеної роботи було встановлено математичний зв'язок між:

1) поверхневою енергією кристалу та розміром кристалічного зародку. Це дозволяє прослідкувати за швидкістю росту граней кристалу. А отже, попередити скелетний ріст кристалів та утворення первинних включень рідини, що негативно впливають на властивості п'єзо- та піроелектриків;

2) ступенем пересичення та поверхневою енергією кристалу, що дає можливість розрахувати таке пересичення розчину, яке відповідало б утворенню монокристалу;

3) ступенем пересичення та розміром кристалу. Відповідно, задавши певне пересичення, можна розрахувати розмір монокристалу, який має утворитися.

Розроблений математичний апарат дозволяє підібрати умови для полегшення вирощування монокристалів водорозчинних речовин із розчинів, зокрема таких, які проявляють п'єзоелектричні та піроелектричні властивості.

1. Петров Т.Г., Трейвус Е.Б., Пуни Ю.О., Касаткин А.П. Выращивание кристаллов из растворов. – Л., 1967.
2. Попов Г.М., Шафрановский И.И. Кристаллография. – М., 1972.
3. Смирнов Ю.М. Физика кристаллизации. Рост кристаллов: Учебное пособие. – Калинин, 1986.
4. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. – М., 1973.
5. Шаскольская М.П. Очерки о свойствах кристаллов. – М., 1978.
6. Шафрановский И.И. Симметрия в природе. – Л., 1985.

Надійшла до редколегії 29.03.06

УДК 552.321:552.164

Г. Павлов, канд. геол.-мінералог. наук, О. Павлова, асист., О. Бубнова, асп., С. Філіпов, студ.

## МІКРОТЕКТОНІЧНИЙ АНАЛІЗ ПОРФІРОПОДІБНИХ ГРАНІТІВ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

За результатами мікротектонічного аналізу встановлено етапи структурно-тектонічної еволюції порфіроподібних гранітів Північно-Західного району Українського щита. Виділено й охарактеризовано мінеральні парагенезиси, що виникають на кожному із етапів їх постмагматичної переробки. Виявлено вплив гідротермально-метасоматичних інфільтруючих розчинів на мінеральний склад порід на всіх етапах тектогенезу.

According to the microtectonical analysis results the periods of structural-tectonic evolution of megacrystic granites of the North-Western region of the Ukrainian shield have been determined. The mineral parageneses which occur on each stage of magmatic reworking are distinguished and described here. An influence of hydrothermal-metasomatic infiltrating solutions on the mineral composition of the rocks on all stages of tectogenesis has been discovered.

**Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Питання належності окремих масивів докембрійських гранітів до тих чи інших стратиграфічних комплексів продовжує бути каменем спотикання для широкого загалу геологів, що їх вивчають. У північно-західній частині Українського щита до них належить ціла низка масивів порфіроподібних гранітів, що знаходяться як у безпосередній близькості до Коростенського плутону, так і на значній відстані на захід від нього. За всю історію їх вивчення вони належали то до кіровоградсько-житомирського комплексу, то до осницького, деякі – до кишинського. За останньою стратиграфічною схемою їх поділили поміж житомирським, осницьким і кишинським комплексами. Таке трактування належності гранітів пов'язане в першу чергу з перехідним характером їх петрографічних і геохімічних ознак, а також неоднозначністю інтерпретації їх ізотопного віку.

Повернутися до цієї проблеми спонукала спроба деяких дослідників відокремити порфіроподібні граніти осницького комплексу в окремий мухарецький ком-

плекс [2; 7]. Петрографічне дослідження порфіроподібних гранітів Коростишівського, Мухарецького, Новоград-Волинського, Кишинського та Устинівського масивів північно-західної частини Українського щита виявило значний вплив тектонічних перетворень не тільки на структурно-текстурні характеристики порід, але й на кінцевий їх мінеральний та мікрокомпонентний склад.

Такі змінення характерні для епігенетичних перетворень під час активізації тектонічних зон, у яких відбувається становлення цих масивів. Особливістю їх є те, що вони відбуваються за рахунок глибинних інфільтруючих гідротермально-метасоматичних розчинів, що просякають породи в режимі транстенсії (зсув-розтяг) в умовах, які відповідають регресивному метаморфізму від амфіболітової до зеленосланцевої стадії метаморфізму. Такі мінеральні перетворення приводять подекуди до значних змін у речовинному складі порід та їх структурах.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Розв'язанню проблеми інтерпретації мікротектонічних елементів гірських порід з метою визначення їх генезису та впливу на формування структур і мінерального складу на



сучасний момент приділяється значна увага у світі. Це праці Н. Green та D. Grigg (1970), С. Passchier та R. Trouw [8], Ю. Морозова [3]. В останні роки і в Україні з'явилися роботи О. Лукієнка (2002), В. Шевчука та Г. Павлова [6], що направлені на інтерпретацію результатів макро- та мікротектонічних досліджень у пристосуванні до тектогенезу в умовах середніх і високих фацій метаморфізму. Аналіз цих досліджень показав, що проблема структурогенезу та мінералоутворення при тектогенезі настільки багатогранна, що не може бути вирішена окремими дослідженнями. Але завдяки уже виявленим, описаним та науково обґрунтованим петрографічним і тектонофізичним закономірностям за опрацьованою методикою можна проводити інтерпретацію та моделювання історії розвитку конкретних геологічних об'єктів.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми та постановка завдання.** Однією з невирішених проблем у петрографії гранітоїдів Українського щита є проблема формування мінерального парагенезису при тектогенезі, що відбувається в умовах підвищених температур та тисків, особливо при інфільтрації по міжзернових тріщинах флюїдів різного складу.

Мета даної роботи – означити етапи перетворення протерозойських порфіроподібних гранітів північно-західної частини Українського щита на прикладі гранітів осницького й кишинського комплексів на Новоград-Волинському тектонічному блоці, простежити вплив тектонічних факторів на формування їх мінерального парагенезису та визначити вплив інфільтраційних метасоматизуючих розчинів на процес структуро- та мінералоутворення.

**Результати дослідження.** Об'єктами мікротектонічного дослідження стали гранітоїди Кишинського, Устинівського та Мухаревського масивів порфіроподібних гранітів, які за останніми уявленнями належать до гранітів осницького й кишинського комплексів [1]. Вони розвинені в Північно-Західній частині Українського щита в межах Новоград-Волинського тектонічного блоку.

Масив кишинських гранітів знаходиться на захід від Коростенського плутону в безпосередній до нього близькості та залягає серед житомирських гранітів і мігматитів, які прориває. Деякий час сублужні лейкограніти кишинського типу належали або до осницького, або до коростенського комплексу, чому сприяла наявність елементів оболонкових структур навколо порфіроподібних вкраплеників мікрокліну та геохімічна спеціалізація. Їх особливою ознакою є переважання мікрокліну над плагіоклазом, майже мезопертитовий склад першого та відсутність у ньому мікроклінового двійникування. Особливістю польових шпатів та кварцу порід є те, що вони пересичені дуже тонкими газовими та газорідними включеннями.

Петрографічні дослідження показали, що граніти піддавалися процесам тектогенезу, які виразилися в гранулобластезі кварцу по контурах зерен, слабкому блокуванні та деформації двійників плагіоклазу й незначному розущільненню між зернами мікрокліну, місцями з агрегативною перекристалізацією і заповненням тріщин альбітом з тонким мірмекітовим проростанням кварцу, що вказує на місцевий інфільтраційний перерозподіл лугів і кремнезему, можливо на останніх етапах кристалізації. Деформація та рекристалізація біотиту відбувається паралельно катаклазу зерен магнетиту та флюориту з розвитком бахромчастих облямівок агрегативних скупчень червоно-бурого біотиту підвищеної залізистості. Продовженням явищ тектогенезу є крихка деформація зерен мікрокліну з виповненням тріщин зернами кварцу та тонкими лусками мусковіту. Рекристалізація кварцу та перекристалізація ділянками мікроклін-пертиту має статичний характер. Високий ступінь

окисленості заліза пов'язується деякими дослідниками [7] з алохтонною природою цих гранітів. Але їх вивчення показує, що на останньому етапі їх перетворення відбувається гідротермальне розкладення біотиту та відбувається гідроокислення заліза у тріщини. Петрофізичні ознаки свідчать, що граніти перетворювалися на дуже малих та малих глибинах в умовах лінійного розтягу при високому парціальному тиску кисню [5]. Реконструкція початкового вигляду гранітів вказує, що їх первинну структуру формують іноді ідіоморфні або частково оплавленої форми зерна кварцу, подовжені таблиці плагіоклазу та крупні виділення мезопертиту таблиці плагіоклазу або ортоклазу тощо. За всіма ознаками кишинські граніти можна віднести до алохтонних утворень, що кристалізувалися із пересиченої кремнеземом газонасиченої магми, яка скипіла перед кристалізацією, за рахунок чого породоутворювальні мінерали виявилися насиченими дуже тонкими газовими та газорідними включеннями.

Масив устинівських гранітів знаходиться на північній захід від Коростенського плутону в безпосередній до нього близькості. Деякий час належав до коростенського комплексу, особливо сприяли цьому елементи гранофірових структур у пегматоїдних різновидах та геохімічна спеціалізація. Кварц і мікроклін дуже подібні до кишинських гранітів. Структура порід порфіроподібна, аналогічна кишинським, з елементами тектонобластової.

За ступенем тектонічних перетворень породи неоднорідні. Практично повсюдно спостерігається формування фесстончастих виділень біотиту, магнетиту, бурого сфену та флюориту. По кварцу розвиваються смуги гранулобластезу, іноді з перетворенням первинних зерен у суцільний гранулобластичний мозаїчний агрегат з виділеннями між субзернами майже безбарвного сфену. Кристалізація сфену відбувається також по контактах зерен і тріщинах, що розсікають польові шпати та розщеплюють зерна біотиту. Рекристалізація кварцу статична. У результаті наступної деформації залежно від температурних умов та характеристик диференціальних рухів у ділянках дилатації по біотиту, по тріщинах у флюориті та польових шпатах розвивається хлорит, кальцит і кварц, а у ділянках стиснення розвивається агрегативна крипторекристалізована кварцова, слюдиста або кварцово-польовошпатована маса. За характером діафоричних мінералів, серед яких домінує кальцит, можна припустити, що розчини, які інфільтрувалися по тріщинах, були пересичені бікарбонатом кальцію. Останній етап катаклазу також, як і в кишинському масиві, характеризувався окислювальним характером термальних розчинів.

За петрофізичними ознаками устинівські граніти належать до таких, що перетворені на дуже малих та малих глибинах в умовах неоднорідного розтягу при високому парціальному тиску кисню [5].

Мухаревські граніти, що становлять однойменний масив, являють собою рожеві порфіроподібні середньота крупнозернисті з гіпідіоморфнозернистою, часто катакластичною структурою породи. Для них характерний блакитнуватий кварц, подібний до кварцу осницьких гранітів. На думку мінералогів, блакитне забарвлення кварцу в них може бути пов'язане із субмікроскопічними включеннями волосоподібного рутилу та ільменіту, які утворюються у кварці за рахунок самоочищення останнього від домішок, захоплених у результаті кристалізації з високотемпературного, відносно збагаченого титаном магматичного розплаву. Особливістю мікрокліну порід є те, що за інтенсивністю природної термолюмінесценції та РТЛ вони наближаються до осницьких гранітів [4]. Плагіоклаз (олігоклаз) переважає над калієвим польовим



шпатом, біотит представлений як буро-зеленою різноманітністю у порфіроподібних різновидах, так і бурою в середньозернистих з помірною титаністістю, звичайною до нормальних гранітів амфіболітової фації, із залізистістю, що коливається в межах 50–70 %, та підвищеною глиноземистістю. Завдяки знахідкам у них силіманіту та кордієриту мухарецькі граніти віднесені дослідниками [7] до апопелітових або s-гранітів інтрузивного походження.

У гранітах фіксується первинний парагенезис мінералів, зі структурами, що визначають чітку послідовність кристалізації від плагіоклазу до решітчастого мікрокліну, а потім і до кварцу, що значно відрізняє їх від устінівських та кишинських гранітів. Біотит, що з'являється на останніх етапах кристалізації разом із ільменітом, апатитом та цирконом головним чином формує міжзернові відособлення. На етапі постмагматичного перетворення, що за температурними умовами відповідає епідот-амфіболітової фації метаморфізму, відбулася деформація порід крихко-пластичного характеру з формуванням дилатційного парагенезису мінералів: сфен + епідот + біотит(II). Цей парагенезис заповнює тріщини в мінералах, міжзернові та кліважні домени, дифузійно розвивається по плагіоклазу. При наростанні інтенсивності зсувних рухів по сколах або площинах високої диференційної течії по вже утворених мінералах розвиваються крипторекристалізаційні новоутворення сфену, епідоту, біотиту разом із гранулобластичним кварцом, мікрокліном, плагіоклазом та крипторекристалічним агрегатом кварц-альбітового складу, що залюковує тріщини в первинних польових шпатах. При зниженні температури на окремих ділянках спостерігається заміщення біотиту хлоритом.

Деформація та катаклаз, до якого приурочені процеси серицитизації плагіоклазу, мусковітизації біотиту першої та другої генерації та виповнення тріщин кварцом із мусковітом, децю відірвані за часом і структурним планом від епідот-амфіболітового. Можливо до цього етапу приурочена поява ліночок фіолетового флюориту по спайних площинах біотиту. Петрофізичні дослідження дозволили віднести мухарецькі граніти до таких, що остаточно перетворені як на малих глибинах в умовах розтягу, так і на середніх глибинах в умовах ущільнення при високому парціальному тиску кисню [5].

Із наведеного опису видно, що граніти кишинського та мухарецького комплексів відрізняються між собою первинними структурами та різним температурним режимом тектонічної переробки. Динамотермальний метаморфізм у межах Мухарецького масиву відповідав епідот-

амфіболітової фації з накладанням на неї окремими зонами зеленосланцевих фацій. Більш низький, такий, що відповідає гідротермально-метасоматичному рівню, рівень перетворення устінівських і кишинських гранітів. Наявність у останніх елементів статичної рекристалізації свідчить про довготривалий термальний відпал після закінчення тектонічних рухів або відпал, пов'язаний з подальшим формуванням Коростенського плутону.

**Висновки.** Формування існуючих мінеральних парагенезисів та структурно-текстурних характеристик гранітів, що розглядалися, відбувалося багатостадійно і з різною інтенсивністю. На процеси, що призвели до перетворення будови та речовинного складу порід, суттєво впливали тектонічні й метасоматично-гідротермальні процеси, що їх супроводжували. Режим перетворення гранітів мав пульсаційний характер на фоні загального зниження температури з утворенням на кожному етапі тектонічної активізації мінерального парагенезису, що відповідав епідот-амфіболітової та зеленосланцевої фаціям метаморфізму для мухарецьких і метасоматично-гідротермальним зміненням для кишинських та устінівських гранітів. Безпосереднім джерелом енергії процесу та метасоматизуючих інфільтраційних розчинів могли бути флюїди глибинного походження, а також Коростенський плутон, вік становлення якого збігається з віком тектонічної активізації території блоку. Проведений комплексний мікротектонічний аналіз із реконструкцією первинного вигляду порфіроподібних гранітів підтверджує об'єктивність поділу "автономних" гранітних масивів Новоград-Волинського блоку на два типи, як за первинною схемою кристалізації, так і за характером та рівнем постмагматичних тектонічних перетворень.

1. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (схема та пояснювальна записка) / Нац. стратиграфічний комітет України. – К., 2004.
2. Костенко Н.М. Геологическое развитие Волынского геоблака Украинского щита в раннем протерозое и некоторые вопросы его рудоносности // Геол. журн. – 1991. – № 6. – С. 12–23.
3. Морозов Ю.А. Структурообразующая роль транспресии и трансенсии // Геотектоника. – 2002. – № 6. – С. 3–25.
4. Рокачук Т.А., Бесपालко Н.А., Крамаренко Н.К., Хатунцева А.Я. Корреляция гранитоидов Украинского щита по особенностям термолитоминисценции щелочных полевых шпатов // Геол. журн. – 1980. – Вып. 40, № 1. – С. 25–34.
5. Толстой М.И., Гасанов Ю.Л., Костенко Н.В. Петрогеохимия и петрофизика гранитоидов Украинского щита та деякі аспекти їх практичного використання: Довідник-навчальний посібник. – К., 2003.
6. Шевчук В.В., Павлов Г.Г. Проблеми генетичної типізації сланцеватості // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2004. – № 28. – С. 13–15.
7. Щербак І.Б. Петрологія Українського щита. – Л., 2005.
8. Passchier C.W., Trouw R.A.J. Microtectonics. – Berlin Heidelberg-New York, 1996.

Надійшла до редколегії 24.05.06

## ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 550.89

О. Іванік, канд. геол. наук

### ГЕОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН У СИСТЕМІ ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ – ТРУБОПРОВІД У КРІОЛІТОЗОНІ

*Проведено аналіз та визначено параметри геологічного середовища для оцінки напружено-деформованого стану системи геологічне середовище – трубопровід у межах кріолітозони. Визначено, що для вирішення завдань безпечно-го функціонування необхідним є створення геологічних моделей на основі геологічної та математичної постановки задач механіки суцільних середовищ.*

*The geological factors for estimation of strain-deformed state of the system "geological environment-pipeline" in cryolithozone are analyzed. It is necessary to develop geological models on the base of geological and mathematical target setting of the continuum mechanics for safe operation of trans pipelines.*

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** При очевидності негативного впливу геологічного середовища на трубопровідно-транспортні комплекси можливості моделювання екстремальних ситуацій з

необхідним одержанням кількісних характеристик силового впливу на трубопровід виникають тільки на основі оперативних розрахунків полів напружень і деформацій в системі геологічне середовище – трубопровід у широ-