

ЗАГАЛЬНА ТА ІСТОРИЧНА ГЕОЛОГІЯ, МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ ТА ПЕТРОГРАФІЯ

УДК 551.254 : 551.25

В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, В. Шевчук, здобувач

ОСОБЛИВОСТІ ДОКЕМБРІЙСЬКОГО ТА ФАНЕРОЗОЙСЬКОГО ГРАНІТО-ГНЕЙСОВОГО СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ

Аргументується різний стиль архейського, протерозойського та фанерозойського граніто-гнейсового структуроутворення, що обумовлено зміною потужності, теплових та реологічних режимів літосфери. Показано проміжний характер структурних проявів палеопротерозойської гранітизації із широким розвитком граніто-гнейсових монокліналей.

Different style of Archean, Proterozoic and Phanerozoic granite-gneiss structure-formation is argued. It caused by changes of thicknesses, thermal and rheologic regimes of lithosphere. Intermediate character of structural demonstration of Paleoproterozoic granite-formation with development of granite-gneiss monocline have been analyzed.

Генетичні проблеми граніто-гнейсового структуроутворення. Серед різноманітних морфологічних і динамо-кінематичних типів тектонічних структур різновікових метаморфічних комплексів особливе місце належить граніто-гнейсовим структурам (ГГС). Слід зауважити, що поняття "граніто-гнейс" досі використовується у дещо різних змістах. За ранніми визначенням (Ейхвальд, 1849; Безбородько, 1918), граніто-гнейси – це граніти із первинною гнейсовою текстурою. К. Шуркін (1957) граніто-гнейсами називав орто- і парапороди – продукти метаморфізму та гранітизації. Автори Геологічного словника (1973) рекомендують вживати цей термін стосовно гнейсів із директивними текстурами близьких за складом до гранітів будь-якого походження, окрім продуктів динамометаморфізму. Серед сучасних дослідників найчастіше граніто-гнейсами називають сланцюваті продукти автохтонної гранітизації, близькі за складом до гранітів, без обмежень щодо складу й текстурних особливостей субстрату. Саме наявність кристалізаційної сланцюватості є головною особливістю граніто-гнейсів, яка підкреслює їхнє синдеформаційне формування [12]. За структурно-текстурними характеристиками граніто-гнейси, як і складені ними тектонічні структури доволі строкаті, що відображає різноманітність шляхів палінгенно-метасоматичних (речовинних) перетворень та еволюцію напружено-деформованих станів, у яких вони формувалися.

Іншим принциповим питанням у діагностиці граніто-гнейсів і ГГС є, очевидно, характер гранітизації, участь у їхньому формуванні високотемпературного кремній-лужного метасоматозу і часткового або повного плавлення метасоматично зміненого до гранітоїдного складу субстрату. Такі перетворення відбуваються в межах теплових аномалій, розвиток яких забезпечується функціонуванням глибинних флюїдів відповідної спеціалізації [2]. Остання обставина має визначальне значення в сенсі впливу не лише на зміну речовини, реологічних станів та характер прояву деформаційних процесів, але й на характер полів напружень у геологічних середовищах. Зазначимо, зокрема, що за експериментальними даними вміст у породах до 10 % розплаву досить слабо змінює криві "напруження-деформація", при цьому за порога розряду напружень, як і до плавлення, відзначається широким розвитком порушень сколового характеру. Зате по досягненню критичного вмісту розплаву, експериментально встановленого Ван дер Молленом і Патерсоном на рівні 30–35 %, дотичні напруження різко падають до значень, що не проявляються, і у середовищах розвивається стійкий режим квазів'язкого течіння. Експериментальні дані підтверджують також закономірну орієнтацію зон розплавлення паралельно максимальним стискуючим напруженням [14]. З іншого боку, за оцінками багатьох дослідників лише термопружність у колонах розвитку теплових аномалій здатна створювати високі напруження, ще більшого зростання

рівня напружень слід очікувати від об'ємних ефектів різноманітних фазових перетворень [9; 10; 13].

Відтак, різноманітність ГГС пояснюється, окрім іншого, долученням до зовнішніх щодо систем структуроутворення тектонічних сил внутрішнього силового чинника, роль якого може бути як другорядною, так і визначальною. До того ж, метасоматичні перетворення спричиняються до густинної інверсії та появи архімедових сил з активізацією діапіризму. Не дивлячись на постійний інтерес до ГГС, сталої класифікації таких структур досі не існує. Недостатньо вивченими є також відмінності між однотипними, але різновіковими ГГС.

Основні особливості різновікових граніто-гнейсових структур.

Попри надзвичайну різноманітність ГГС, деякі їх типи набули значного поширення у структурно-формаційних комплексах ранньодокембрійського фундаменту древніх платформ та цілого ряду фанерозойських складчастих областей. Серед них відзначимо: 1) складчасті форми та їхні ансамблі з різким переважанням складок ламінарного течіння; 2) пологосклепінні форми типу граніто-гнейсових куполів; 3) граніто-гнейсові монокліналі. Означені типи ГГС та їх ансамблі можуть зустрічатися як окремо одна від одної, так і в певних комбінаціях, обумовлюючи специфіку різновікових структурно-формаційних комплексів.

Давно відзначена структурна особливість архейських граніто-гнейсових комплексів, у тому числі таких, що формують фундамент граніт-зеленокам'яних поясів, полягає перш за все в широкому розвитку ізометричних у плані, різномасштабних пологосклепінних структур (гнейсові складчасті овали, граніто-гнейсові куполи та валоподібні форми) [4; 5]. Такі комплекси відзначаються повсюдним метаморфізмом на рівні амфіболітової фації, масовим палінгенно-метасоматичним гранітоутворенням та поширенням плагіомігматитів і плагіограніто-гнейсів. Подібні структурні парагенезиси фіксуються також у випадках амфіболітового діафторезу та розвитку граніто-гнейсів по породах гранулітової фації. Поряд з архейськими, у фундаменті ряду кратонів, у тому числі в межах Українського щита, потужного розвитку набули протерозойські двопольовошпатові граніто-гнейсові комплекси, структурні особливості яких, попри наявність однотипних ГГС, суттєво відрізняються від архейських. Поряд із граніто-гнейсовими куполами звичними в них є лінійні структури типу граніто-гнейсових монокліналей. У другій половині минулого століття на прикладах багатьох фанерозойських складчастих систем та областей тектоно-магматичної активізації було доведено, що і пізньопротерозойсько-фанерозойський етап розвитку планети не позбавлений автохтонної гранітизації з формуванням граніто-гнейсових куполів і граніто-гнейсових монокліналей (лінійних зон палінгенно-метасоматичної переробки субстрату) [6; 7; 11]. Таким чином загострилося питання відмінностей морфо-

логічних та генетичних особливостей однотипних, але різновікових ГГС та граніто-гнейсових комплексів у цілому.

Гнейсовими складчастими овалами Л. Салоп назвав крупні (до 800 км у поперечнику) замкнуті овальні та неправильні ("амебоїдні") угруповання складчастих форм, характерні для так званої пермобільної стадії – найдавнішого етапу розвитку Землі. На його думку, ізометричні замкнені форми гнейсових складчастих овалів, а також міжовальних полів зі своєрідним поєднанням куполів і брахіформних мульд, приуроченість до їхніх центральних частин значних за розмірами полів гранітоїдів, доцентрова вергенція складок на крилах овалів, свідчить про формування гнейсових складчастих овалів за суттєвої ролі вертикальних рухів, у той час як "горизонтальні чи якісь косі переміщення мас були по відношенню до них вторинними або похідними" [5]. Ізометрична форма овалів та відсутність ясної впорядкованості у їхньому розташуванні дають підстави стверджувати, що ці структури не мали рами і їх не обмежували будь-які кратонні блоки. Одночасно підкреслюється, що при утворенні таких інфраструктур процеси складчастої деформації, метаморфізму й гранітизації були тісно пов'язаними у часі та просторі. Докази цьому автор вбачає у повній конформності тектонічних структур гнейсів і розміщення серед них граніто-гнейсів, у залежності стилю та складності структурних форм від ступеня гранітизації супракрустальних утворень, у повному збігу кристалізаційної сланцюватості й реліктових текстур та в ізофаціальності метаморфізму і гранітизації. У той же час постулюється утворення концентричних овалів у результаті "підняття крупних мас мобілізованого і частково реоморфізованого матеріалу земної кори, причиною якого було нерівномірне просування теплого фронту із надр планети" [5]. Деформації в овалах розглядаються як результат ламінарного течіння матеріалу в напрямі найменшого супротиву.

У сучасних гіпотезах формування архейської прото-континентальної кори утворення крупних овоїдних структурних форм пов'язується з підняттям магматичних мас і ростом купольних структур під час формування окремих салічних ядер завдяки плюм-тектонічному режиму. Багатокупольна структура сіалічних ядер – нуклеарів сприймається як свідчення ареального та водночас багатосередкового характеру процесів гранітоутворення, що визначило загальний нелінійний стиль ранньоархейської тектоніки [3]. У подальшому, з нарощуванням потужності континентальної кори, повинна була зростати роль механізмів тектоніки літосферних плит.

Таким чином, крупні овоїдні складчасто-купольні граніто-гнейсові ансамблі – належність лише ранньоархейської континентальної кори, головною особливістю якої була відсутність поділу на платформи та геосинкліналі. У той же час, граніто-гнейсові куполи як окремі ГГС та близькі до них форми формувались практично на усіх етапах розвитку планети. Зазначимо, що до структур цього типу окрім власне граніто-гнейсових куполів – зональних положосклевінних структур із гранітоїдними ядрами, відносять також сланцеві, гнейсові, облямовані гнейсові куполи, діапірові граніто-гнейсові куполи, антиформні граніто-гнейсові брахіскладки тощо, утворення яких так чи інакше пов'язане з термофлюїдними аномаліями (потоками глибинних тепломасоносців).

Не дивлячись на тривалу історію вивчення граніто-гнейсових куполів, у витоках якої фігурують праці К. Вегмана, Е. Кранка та П. Ескола, загальновизнаної їхньої класифікації досі не існує. При цьому вже давно стала очевидною необхідність їх розподілу на ранньодокембрійські та фанерозойські структури [11]. Якщо ранньодокембрійські граніто-гнейсові куполи є температурно низькоградієнтними, такими, що формуються в розігрійтій корі і відрізняються переважанням пластичних

деформацій і, в загальному випадку, конкордатними завдяки розвитку перехідних складчастих ансамблів співвідношеннями з утвореннями рами, то фанерозойські – характеризуються як структури високоградієнтні, з різко проявленою метаморфічною зональністю, як правило, структурно незгідні, з потужним розвитком крихких деформацій у крайових зонах. Такі відмінності спричинені, очевидно, не стільки різницею у факторах куполоутворення, скільки РТ-умовами та реологією верхньої кори на тому чи іншому етапі розвитку. Отже і розподіл на ранньодокембрійські й фанерозойські структури досить умовний, оскільки навіть у кайнозой відомі приклади існування в межах верхньої кори доволі масштабних зон гранітизації з дуже різною внутрішньою динамікою та реологією геологічних середовищ, що спричиняє створення різноманітних ГГС, окремі типи яких практично нічим не відрізняються від ранньодокембрійських. Прикладом можуть слугувати, зокрема, граніто-гнейсові структури колізійних зон [8]. Окрім того, останнім часом все більш виразно сприймаються відмінності ранньоархейського й палеопротерозойської гранітизації і, відповідно, граніто-гнейсового структуроутворення.

Сучасні уявлення про тектоніку фундаменту древніх платформ успадковують раніше відомі тектонічні моделі будови фундаментів як поєднання архейських масивів, розділених (чи об'єднаних) ранньопротерозойськими складчастими чи рухливими поясами [3]. Завершення процесу формування ранньодокембрійської кори пов'язується із масовим палеопротерозойським гранітоутворенням, геохімічний профіль якого змінився відносно ранньоархейського із натрій-кремнієвого на калій-кремнієвий. Масштабність цих процесів добре ілюструється на прикладі Українського щита, де вони пов'язуються з потужною тектоно-магматичною активізацією.

Палеопротерозойське структуроутворення за динамо-кінематичними та реологічними умовами і, відповідно, морфологічними типами структурних форм суттєво відрізняється і від архейського, і від фанерозойського, характеризуючись проміжними ознаками. В умовах вже сформованої потужної і відносно жорсткої, хоча й достатньо прогрітої, континентальної кори стає можливою реалізація деструктивних процесів за рахунок зовнішнього щодо систем структуроутворення силового фактору: тектонічних переміщень блоків кори. Реалізація динамічних схем стиснення-розтягу та зсуву в різних комбінаціях забезпечує диференційовану проникливість кори та відповідні масштаби автохтонного й алохтонного гранітоутворення. Крупні складчасті гнейсові овали не характерні, хоча масштаби розвитку ансамблів складок ламінарного течіння в окремих тектонічних зонах можуть бути значними. Масштаби розвитку овоїдних структур зменшуються при зростанні максимальних розмірів окремих граніто-гнейсових куполів. Останні стають метаморфічно зональними утвореннями: амфіболітовий рівень метаморфізму внутрішніх зон змінюється більш низькотемпературним метаморфізмом периферії. Купольне структуроутворення відбувається на фоні послідовної зміни реологічних властивостей порід рами (субстрату), що виражається проявами поряд із пластичними та в'язкопластичними деформаціями внутрішніх зон крихко-пластичних деформацій (квіваж, бластокатаклазити, бластомілоніти) у периферійних зонах граніто-гнейсових куполів. При цьому, очевидно, повинні зміщуватись акценти в сенсі домінування того чи іншого механізму куполоутворення. Можна припустити, що вплив адекватного механізму суттєво знижується, а стиль гнейсово-купольних структур визначається співвідношенням зовнішніх тектонічних сил та збільшенням об'ємів у системах куполоутворення, спричиненого фазовими перетвореннями під час палин-генно-метасоматичних перетворень субстрату. Просторове розташування ГГС набуває певної впорядкованості.

Окремі структури набувають еліптичної у плані форми і розвиваються ізольовано одна від одної або групуються в різко видовжені ланцюги, простягання яких значною мірою угадують постархейський тектонічний каркас.

Поряд із граніто-гнейсовими куполами потужного розвитку набувають лінеаментні структури складної та моноклінальної внутрішньої будови. Граніто-гнейсові моноклінали, як це фіксується на прикладі різних мегаблоків та шовних зон УЩ, стають одним із найбільш поширених виразів активних у палеопротерозойській структурі розломного характеру. Формуються вони завдяки розвитку зонального метаморфізму, високотемпературного калій-кремнієвого метасоматозу та палінгенезу в деструктивних зонах, відзначаються значною різноманітністю структурно-текстурних характеристик мігматитів і граніто-гнейсів, що їх складають. Найбільш звичними є моноклінали, складені смугастими й порфіробластичними мігматитами та граніто-гнейсами зі стійким заляганням кристалізаційної сланцюватості. Дослідження характеру взаємозв'язку речовинних і деформаційних перетворень у межах граніто-гнейсових монокліналей із різновікових структурних парагенезисів показує синдеформаційний характер гранітоутворення у змінних полях напружень. Враховуючи доволі значний ерозійний зріз ранньодокембрійської кори, логічно припустити, що деякі типи граніто-гнейсових монокліналей і, в першу чергу, порфіробластичні, не надто видовжені у плані, можуть бути корінним еродованим граніто-гнейсовим куполом. Повертаючись до загального тектонічного режиму раннього докембрію, можна погодитись з думкою В. Моральова і М. Глуховського про те, що специфіку геодинамічного режиму архейсько-ранньопротерозойського етапу розвитку Землі визначало поєднання плюм-тектонічного і плейт-тектонічного режимів, причому зміна першого другим стала суттю цього етапу [1; 3].

Зазначені особливості палеопротерозойського граніто-гнейсового структуроутворення демонструють його відмінності як від архейського, так і від фанерозойського. Подальше охолодження та зростання жорсткості фанерозойської літосфери обумовило значно більш високу контрастність корових термофлюїдних аномалій, високі температурні градієнти по периферії граніто-гнейсових структур із переходами до зовсім неметаморфізованих утворень. Своєю чергою це не могло не позначитись на повсюдному поєднанні крихких і пластичних деформацій і подальшому зниженні ролі адвективного й діалірового механізмів куполоутворення. Значна розповсюдженість граніто-гнейсових

монокліналей поза куполами при зовсім невеликому зрізі підтверджує думку про можливість незалежного їхнього розвитку і у палеопротерозойській епоху.

Висновки.

Різні теплові режими і, як наслідок, реологічні стани літосфери в архей, протерозой та у фанерозой обумовили суттєву різницю в проникливості літосфери, контрастності термофлюїдних аномалій, характері масового гранітоутворення в періоди тектоно-магматичної активізації, а також різний стиль граніто-гнейсового структуроутворення. Архейський структурний план відзначається розвитком спряжених із структурою рами овальних гнейсово-купольних і купольно-складчастих структурних форм, із широким проявом пластичного і субв'язного течіння на фоні низьких латеральних температурного течіння. Фанерозойські прояви гранітизації відзначаються переважанням лінійних структур типу граніто-гнейсових монокліналей у межах розломних зон та видовжених, крихких і крихко-пластичних деформацій у високоградієнтних теплових полях. Граніто-гнейсове структуроутворення палеопротерозойського етапу має проміжні характеристики, обумовлені значною потужністю континентальної кори, з одного боку, та ще достатньо високою інтенсивністю корових теплових полів.

1. Глебовицкий В.А. Геологические и физико-химические связи метаморфизма и тектоники в раннем докембрии // Геотектоника. – 1996. – № 5. – С. 27–42.
2. Коржинский Д.С. Потоки трансмагматических растворов и процессы гранитизации // Магматизм, формирования кристаллических пород и глубины Земли. – М., 1971. – С. 144–153.
3. Моральев В.М., Глуховский М.З. Архейская и раннепротерозойская тектоника // Фундаментальные проблемы общей тектоники. – М., 2001. – С. 50–90.
4. Салоп Л.И. Два типа структур докембрия, гнейсовые складчатые овалы и гнейсовые купола // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 1971. – Т. 46, вып. 4. – С. 5–30.
5. Салоп Л.И. Геологическое развитие Земли в докембрии. – Л., 1982.
6. Синица С.М. Гнейсовые купола Нерчинского хребта в Восточном Забайкалье. – Новосибирск, 1975.
7. Сорвачев К.К. Пластические деформации в гранито-гнейсовых структурах. – М., 1978.
8. Федоровский В.С. Купольный тектогенез в коллизионной системе каледонид Западного Прибайкалья // Геотектоника. – 1997. – № 6. – С. 56–71.
9. Шевчук В.В., Лихачев В.В. Математическая модель поля напряжений, вызванного тепловой аномалией в упругой среде // Геофиз. журн. – 1996. – Т. 18, № 6. – С. 74–80.
10. Шевчук В.В. РТ-умови та глибинність метаморфізму // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2002. – Вип. 22. – С. 91–94.
11. Шевчук В.В. Еволюція полів напружень при формуванні фанерозойських гранітогнейсових куполов // Геофиз. журн. – 2002. – Вип. 24, № 6. – С. 220–229.
12. Шевчук В.В., Павлов Г.Г. Тектонофизические условия формирования кристаллизационной сланцеватости // Геофиз. журн. – 2003. – Вип. 25, № 5. – С. 76–83.
13. Шерман С.И., Днепровский Ю.И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. – Новосибирск, 1989.
14. Van der Molen and Paterson M.S. Experimental deformation of Partially-Melted Granite // Contrib. Mineral. Petrol. – 1979. – 70. – P. 229–318.

Надійшла до редколегії 15.05.06

УДК 549.8+549.9

В. Павлишин, д-р геол.-мінералог. наук, В. Дяків, канд. геол. наук

РОЗВИТОК БІОЛОГІЧНОЇ МІНЕРАЛОГІЇ В УКРАЇНІ

Проаналізовано етапи розвитку біомінералогічних досліджень в Україні. Відзначена провідна роль В.І. Вернадського в становленні сучасної біомінералогії. Розглянуто дискусійні питання розуміння біомінералогії. Детально охарактеризовано стан біомінералогічних досліджень у другій половині XX – початку XXI ст. Дано оцінку фундаментальних праць Ф.В. Зузука в царині мінералогії уролітів. Вказується на те, що за рівнем розвитку біологічної мінералогії Україна посідає одне з чільних місць в світі. Українські науковці добились вагомих результатів в дослідженні процесів патогенного біомінералоутворення в організмі людини.

In paper are analysed of the stages development of biomineralogical researches in Ukraine. V.I. Vernadsky was leading role in becoming of modern biomineralogy. Debatable questions for biomineralogy understanding are considered. In detail the state of papers of F.V. Zuzuk in the area of urolite mineralogy. It is specified on that by the level of development of biological mineralogy, Ukraine occupies one of above all places in the world. The Ukrainian researches workers obtained ponderable results in research of processes of pathogenic biomineral-forming the human organism.

В сучасній мінералогічній літературі терміни "біомінерал", "біомінералізація" та "біомінералогія" з'явилися у другій половині XX ст. завдяки працям Г. Лавенстама, Г. Нанколласа, А. Корго та ін. [25; 26; 12]. Однак спостереження за властивостями біомінеральних утворень проводила ще людина виду *Homo habilis*. Зокрема, се-

ред нижньопалеолітичних артефактів олдувейського комплексу на території теперішньої Танзанії близько 2 млн років тому встановлені вироби з кісток убитих тварин. Міцнісні та еластичні властивості кісток, їхню текстурованість, легкість в обробці древня людина почала використовувати та виробляти найрізноманіт-