

РОЛЬ МАГМАТИЗМУ В ПАЛЕОГЕОДИНАМІЧНИХ РЕКОНСТРУКЦІЯХ

Розглянуто значення магматизму як маркера геодинамічних процесів минулих геологічних епох. Подано схему поетапного вивчення магматичних порід, їх узагальнення та прив'язку до тектонічних структур. З використанням формаційного аналізу, мінералого-геохімічних властивостей кайнозойських вулканітів доведено, що в кайнозої геологічний розвиток Українських Карпат відбувався за типом колізійного геодинамічного режиму.

Ключові слова: магматизм; геодинаміка; формаційний аналіз; геохімія; Українські Карпати.

Вступ

З розвитком в середині ХХ століття ідеї тектоники плит почалося інтенсивне вивчення тектоно-магматичних процесів у літосфері. Було встановлено, що формування більшості геологічних структур неминуче супроводжується активізацією магматичних процесів. Останні у вигляді магматичних порід збережені в геологічному літописі, підлягають реконструкції і маркують геодинамічні режими, за яких вони відбувалися.

Дослідження глибоких надр Землі привели до висновку [Лобковский и др., 2004], що тектоніка плит пов'язана з верхніми оболонками літосфери і верхньої мантії на глибину приблизно 400 км. Глибше динаміка Землі набуває інших форм, які тільки тепер починають пізнавати різними методами, передовсім геофізичними, сейсмічної томографії, космічної геодезії, що дають змогу реконструювати геометрію внутрішніх неоднорідностей і їхні межі в корі та мантії. Що ж до речовинного складу глибинних зон, фізичного стану, властивостей порід – то це прерогатива петрології, геохімії та мінералогії.

Магматизм

як індикатор палеотектонічних умов

Магматичні розплави, які застигли у вигляді ефузивних або інтрузивних порід, мільйони років зберігають свої петрографічні асоціації та геохімічні характеристики, що дозволяє робити висновки про фізико-хімічний та флюїдний режим в період магмогенезу минулих геологічних епох. Завдання дослідників полягає в тому, щоб правильно інтерпретувати ці дані. Раніше ми описували сучасний підхід до вирішення цієї проблеми [Ляшкевич, 2000], тому вкажемо тільки основні положення.

Відповідно до теорії літосферних плит [Wilson, 1991], магматичні процеси відбуваються у чотирьох головних типах тектонічних обстановок: 1 – конструктивні границі плит; 2 – деструктивні границі плит; 3 – океанічні внутрішньоплитові; 4 – континентальні внутрішньоплитові. Відповідно до тектонічних обстановок розвинені різноманітні магматичні серії порід.

Ця узагальнена класифікація основана на терміні “магматична серія”, широкоживаному в західній літературі для глобальних і дрібномасштабних регіональних побудов. Термін “магматична серія”, на жаль, по-різному пояснюється,

але за суттю магматичні серії є сукупністю порід, що підпорядковані одним і тим самим фізико-хімічним закономірностям. Кожна серія характеризується загальними, притаманними тільки їй рисами мінерального і хімічного складу, що свідчить про генетичну спорідненість ефузивних та інтрузивних порід.

Тільки на підставі понять магматичних серій часто неможливо визначити умови магмогенезу, бо більшість серій, наприклад толейтову, виявлено у всіх типах тектонічних обстановок. Винятком є ультралужна серія кімберлітів, що зустрічається виключно у внутрішніх районах платформ.

Для середньомасштабних геодинамічних побудов раціональніше використовувати формаційний аналіз, з виділенням рядів магматичних формацій, котрі надійніше характеризують тектонічний режим [Магматические..., 1989]. Магматична формація – це сукупність асоціацій (комплексів) магматичних порід, що стійко повторюються в геологічному часі та просторі, зберігаючи характерні особливості складу, внутрішньої будови і співвідношень з навколишнім середовищем [Кузнецов, 1964]. Використання моделей тектоники плит змушує принципово по-новому підходити до збору та інтерпретації геологічних даних про магматичні комплекси. Поглиблюючи мінералого-петрологічні та геохімічні дослідження, необхідно перейти від описового, емпіричного стилю робіт до теоретичного з побудовою петролого-геодинамічних моделей, що охоплюють не тільки кору, але і верхню мантію.

Можна окреслити таку послідовність петрологічного вивчення магматичних порід: 1 – мінералого-петрографічний опис; 2 – виділення фацій і головних петротипів, їх об'єми в межах кожного одновікового комплексу, 3 – петрохімічна та геохімічна характеристика комплексів з виділенням специфічних ознак; 4 – визначення формацій і серій; 5 – визначення Р-Т умов виплавки відповідних магм; 5 – складання петролого-геодинамічних моделей (з урахуванням геофізичних, тектонічних, геологічних даних конкретного регіону). Це складний творчий шлях, який не завжди дає однозначний результат, але дозволяє підсумовувати різні дані та розвивати наші уявлення про Землю.

Правильне визначення мінералого-петрографічного складу і фацій магматичних порід – це першочерговий етап робіт. Не оминаючи рідкісних

різновидів порід, які завжди становлять науковий інтерес, слід всі різноманітні магматичні породи розділити на головні петротипи й оцінити їх співвідношення. Наприклад, якщо визначені олівінові базальти, авгітові базальти, плагіобазальти тощо, то їх доцільно об'єднати в один петротип "базальти".

Петрохімічні дані необхідні для впевненої діагностики порід, особливо у випадку вулканічних утворень зі складним для визначення мінералогічним вмістом. Класифікація вулканічних порід великою мірою визначається петрохімічними показниками. Для палеотектонічних реконструкцій необхідно використовувати хімічні аналізи порід, які не зазнали значних постмагматичних змін (містять не більше ніж 5 % легких компонентів). В ідеалі для розв'язання цієї задачі треба знати хімічні склади первинних виплавок, однак на практиці цього важко досягти через тривалість та мінливість процесів магноутворення. Розрізняють п'ять головних процесів, в результаті яких змінюється склад первинних магм, що утворюються за рахунок плавлення мантійної або корової речовини. Це диференціації власне магматична, кристалізаційна, флюїдно-магматична (всі три притаманні саме розплаву) і два процеси взаємодії магми із оточуючим субстратом, – асиміляційний та магматичного заміщення [Wilson, 1991].

З метою ідентифікації цих процесів і визначення первинного складу порід використовують численні петрохімічні показники (магнезійність, залізистість, глиноземістість тощо), діаграми Харкера, AFM та ін. Для оцінки геодинамічного режиму бажано знати роль всіх петрогенних елементів: Fe, Mg, Ti, Cr, Si та ін., а не тільки калію, на який звернуто велику увагу під час дослідження субдукційних зон.

Первинна магма з перидотитової верхньої мантії має склад: $Mg > 0,7$, високий вміст $Ni > 400-500$ г/т, $Cr > 1000$ г/т і SiO_2 не більше за 50%. Первинні співвідношення $^{87}Sr/^{86}Sr = 0,699$, $Rb/Sr = 0,029$. У незвідненій мантії океанічних островів, що містить літофільні елементи, $^{87}Sr/^{86}Sr = 0,7045$, $Rb/Sr = 0,040-0,045$. У звідненій мантії, що характерна для базальтів COX, $^{87}Sr/^{86}Sr = 0,702-0,703$, $Rb/Sr = 0,008-0,012$. В аномальній мантії, яка утворюється за рахунок глибинної метасоматичної переробки магм у міжконтинентальних рифтах, співвідношення $Rb/Sr = 0,052-0,176$, тобто збільшується відносно незвідненої мантії. Все це свідчить про гетерогенність складу верхньої мантії і, відповідно до цього, первинні магми матимуть різний ініціальний склад радіогенних елементів, зокрема Sr.

Подальший розвиток магматичного процесу (утворення магматичних камер, взаємодія з навколишніми породами, реакції обміну компонентів, кристалізаційна диференціація тощо) призводить до зміни вмісту літофільних та ізотопних елементів у розплаві та відповідних магматичних породах. Тому тільки комплексне вивчення магматичних порід з аналізом поведінки головних породо-

утворюючих окислів, елементів-домішок, радіогенних та рідкоземельних елементів може дати уявлення про особливості конкретного магматичного процесу, участь в магногенезі різних оболонок Землі та геодинамічний режим його прояву.

Петрогенетичне вивчення вивержених порід передбачає встановлення джерела магми, Р-Т умов розплаву, його транспортування у розташовані вище камери і вилування на поверхню. Під час складання петрологічних моделей і геодинамічних реконструкцій, основаних на петрологічних даних, обов'язково повинна враховуватись геологічна обстановка та особливості тектонічного розвитку конкретного регіону. Тут немає шаблонних схем і необхідний творчий підхід у кожному конкретному випадку, що в результаті допоможе зрозуміти всю складність глибинних процесів, які формують земні оболонки та їх корисні копалини.

Кайнозойський магматизм Карпат

Вивчення вулканічних порід Українських Карпат почалося більш ніж століття тому і пов'язано з іменами відомих вчених: С. Рудницького, Ю. Токарського, В.С. Соболева, В.П. Костюка, Е.Ф. Малеева, Л.Г. Данилович, С.М. Спітківської, В.А. Калюжного, В.Т. Моляво, С.С. Круглова, М.Т. Ломізе, Е.Н. Лазаренка та ін. В результаті різнобічних досліджень виділені численні різновиди вулканітів, вивчено їх мінералого-петрографічний склад, визначено вік (як за біостратиграфічними, так і за абсолютними значеннями), структурне положення, форми прояву, рудну мінералізацію тощо. Про генезис кайнозойського вулканізму вчені висловлювали різні думки. Спочатку, за Г. Штілле, приймалася концепція субсеквентного й орогенного вулканізму [Малеєв, 1964; Толстой и др., 1976], а з середини ХХ століття, зважаючи на утвердження мобілістської теорії плит, пріоритетною стала ідея острівнодугової природи карпатського кайнозойського магматизму [Sandulesku, 1975; Данилович, 1977; Balla, 1985].

Вивчаючи у 1990–2012 рр. еволюцію тектономагматичних процесів альпійського періоду розвитку Карпат, ми дійшли висновку про відсутність класичного типу субдукції в регіоні та про зв'язок кайнозойського вулканізму з колізійним етапом [Ляшкевич и др., 1995, 2004; Ляшкевич, Яцожинский, 2004, 2005]. Цей висновок ґрунтувався на результатах мінералого-петрографічного, формаційного і порівняльно-тектонічного аналізів, але потребував подальшого розвитку й аргументування, зокрема геохімічного.

Могутній ранньоміоценовий вулканізм вибухового ареально-тріщинного типу максимально проявився в Паннонській западині та Закарпатському прогині, утворивши вулканічні товщі (до 700–1000 м) з ігнімбритів, ріолітових туфів, пемзошлакових потоків (ріодацитова формація) (рис. 1). Цими породами заповнена велика частина площі зазначених западин: у Паннонській – Тисенський,

Мечек-Дебреценський блоки, у Закарпатській – похована ефузивно-пірокластична товща (новоселицька, доробратівська світи). Крім просторової і часової єдності, ці вулканіти виявляють певний зв'язок і з глибинними розломами. Одночасно з

пірокластичними товщами на початку міоцену формувалися вулканічні споруди Кремницьких гір у Словаччині, гір Бержень, Матра, Бюкк, Токай в Угорщині, гір Апусені в Румунії та поховане пасмо Чопських вулканів в Україні.

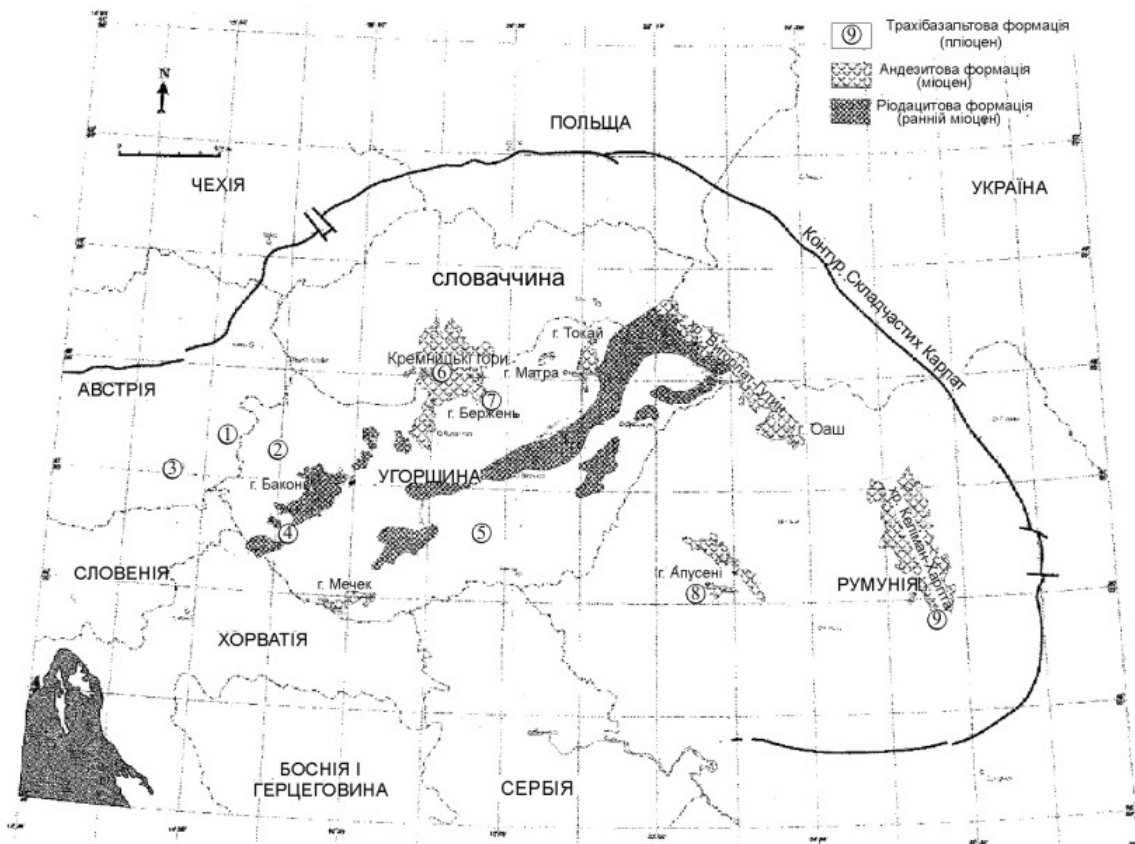


Рис. 1. Поширення кайнозойських магматичних порід у Панкардії

У середньому – пізньому міоцені вулканічна активність у Паннонській западині згасає і центри вулканізму зміщуються на схід та південний схід у межі Вигорлат-Гутинського і Келіман-Харгітського хребтів, складених переважно андезитами (андезитова формація). Лави виливались у спокійніший обстановці, утворюючи стратовулканічні споруди, потоки, неки тощо.

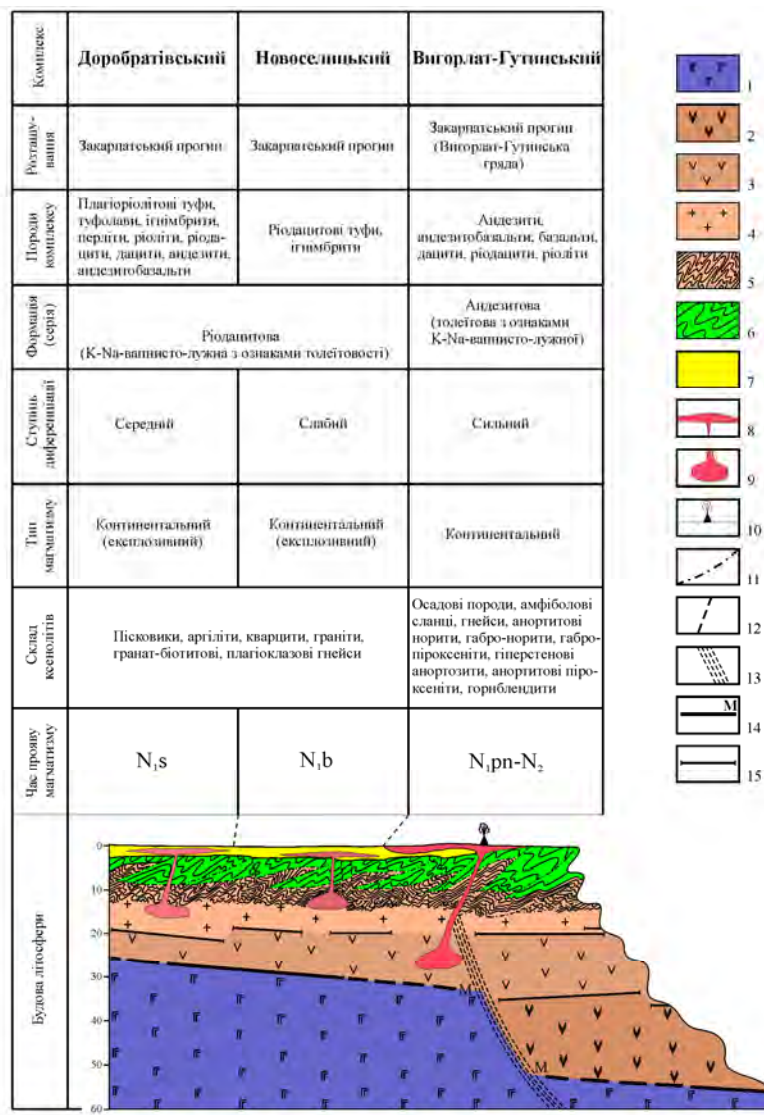
Тут наявна антидромна тенденція вулканізму, підтверджена численними даними абсолютного віку: 13,0–11,5 млн. років для порід ріодацитової формації та 11,2–10,5 млн. років для андезитової формації в Українських Карпатах, тобто кислий вулканізм передує андезитовому. За даними сучасної вулканології [Фролова, 1991], якщо гомодромний магматизм спостерігається в умовах нарощування континентальної кори, то антидромний – під час її руйнування, деструкції. Процес деструкції кори в нашому регіоні був пов'язаний з розтягом та дробленням континентальної кори на окремі блоки і супроводжувався магматизмом, надходженням значних об'ємів флюїдних газів, зокрема і вуглеводневих, а також утворенням численних жил гідротермальних мінеральних асоціацій. Розвиток маг-

матичних вогнищ відбувався при високих температурах, у межах 1300–1350 °С (дані за гомогенізацією розплавних включень у склі [Калюжный, 1965]) з заглибленням вогнищ у нижню частину кори, в шар основних порід, що підтверджується складом захоплених ксенолітів [Остафійчук и др., 1977]. В породах ріодацитової формації виявлені уламки лише осадових порід, гнейсів, а в андезитовій – багато ксенолітів основних порід: габро, габро-норитів, анортозитів, габро-піроксенітів тощо. Послідовність магматичних проявів і будову літосфери Українських Карпат відображено на рис. 2.

Ми виконали [Ляшкевич, Алехина, 2003] підрахунки питомої густини теплової енергії – U_{th} , яка виділяється під час вулканізму на площі 1 км² за 1 млн. років і характеризує його інтенсивність, що засвідчили, що в Панкардії вона дорівнює $0,94 \times 10^{17}$ Дж/км² і близька до енергії трапів плато Декан, де $U_{th} = 1,00 \times 10^{17}$ Дж/км². Деканські трапи вважають прикладом екстремального магматизму, а це означає, що вулканізм Панкардії був надзвичайно інтенсивним. Характерно, що питома густина теплової енергії міоценового вулканізму Паннонської і Закарпатської западин однакова, а

це додатково підкреслює єдність геологічного розвитку цих регіонів. Сумарний об'єм вулканічного матеріалу Панкардії становить близько 31321 км³, що відповідає об'єму неогенових ефузивно-піро-

кlastичних товщ Кавказу, де V≈37000 км³. Обидва регіони входять до складу єдиної альпійської складчастої системи.



1 – перидотсфера (шпінельовий лерцоліт, зустрічаються також верліти, гарцбургіти, піроксеніти); 2 – шар Кука (гранатові грануліти); 3 – нижня "базальтова" кора (габро, габро-норити, габро-піроксеніти, анортитові норити, анортитові піроксеніти, гіперстенові анортозити, горнблендити); 4 – верхня, гранітно-метаморфічна, кора (граніти, гранат-біотитові, плагіоклазові та інші гнейси, амфіболові сланці); 5 – верхня частина гранітно-метаморфічної кори, сформована в передальпійський час (різноманітні гнейси і сланці, амфіболіти, мармури, гранітоїдні породи, філіти, кварцити, метаморфізовані ефузиви кислого, середнього і основного складу); 6 – альпійські геосинклінальні комплекси; 7 – моласи Закарпатського прогину; 8 – магматичні ефузивні комплекси; 9 – магматичні осередки і підвідні канали; 10 – вулканічні споруди; 11 – насуви; 12 – скиди; 13 – Закарпатський глибинний розлом; 14 – поверхня Мохоровичича; 15 – інші сейсмічні границі.

Рис. 2. Магматизм і будова літосфери Карпатського регіону на пізньоальпійському етапі

Встановлено [Ляшкевич и др., 1995; Ljashkevich, 1995], що кайнозойські вулканічні породи обох формацій збіднені на феромагnezіальні елементи – домішки і збагачені на халькофільні (особливо свинець), частково лантаніди церієвої групи, рубідій, барій, уран. Спайдер-діаграми, побудовані за вмістом рідкісних і розсіяних елементів у досліджуваних породах відносно еталонних проб мантиї і кори, показали відмінність вулканітів від речовини мантиї і близькість, майже

ідентичність складу елементів-домішок кори і кайнозойських вулканітів. Порівняно з верхньою мантиєю вулканіти виснажені Cr, Ni, Co, V і збагачені на великокатионні літофільні елементи – U, Th, Rb, Ba, Ce із заниженим вмістом Sr. Відповідність складу вулканітів еталону "Crust" вказує на їхній генетичний зв'язок, тобто можна припустити, що утворення магматичних розплавів відбувалося в межах континентальної кори під впливом ендегенних потоків тепла і флюїдів.

Для петрогенетичних моделей дуже важливі ізотопні дослідження рідкісних елементів вулканічних порід, насамперед Sr, Rb, Nd. Перші відомості щодо ізотопного стронцію у вулканічних породах Українських Карпат наведено в роботі Л.Г. Данилович [Данилович, 1977]. Для андезитобазальтів Вигорлат-Гутинського хребта визначено $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,7055$, для ріолітів – 0,7080, для ігнімбритів Закарпатської западини – 0,7073, для дацитів – 0,7057.

У Паннонській западині вулканіти, відповідні за складом і часом нашим захороненим товщам у Закарпатті, детально дослідив на ізотопи Sr, Nd, Pb доктор Г. Панто [Salters et al., 1985] в лабораторії Массачусетської університету. Встановлено зростання відношення $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,70426-0,71125$ від андезитобазальтів до ріолітів у міоценових вулканітах і зменшення $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0,51274-0,51221$, тобто та сама закономірність.

Висновки

Ранньоміоценовий кислий вулканізм ріодацитової формації не можна відокремлювати від андезитового, і кожному окремо приписувати відповідну геодинамічну обстановку. Це дві фази перманентного магматичного процесу, що охоплює період близько 10–15 млн. років, антидромної спрямованості, з великим об'ємом середньокислих лав і порівняно неглибоких, приблизно 50–100 км, магматичних вогнищ у континентальній корі.

Геохімічні дані, зокрема ізотопні, вказують, що в утворенні магматичного розплаву певне значення мала мантійна складова і, можливо, це виражалось в притоках високотемпературних глибинних флюїдів, що викликали експлозивний характер першої фази вулканізму і подальші гідротермально-метасоматичні заміщення порід.

Палеотектонічна обстановка на початку міоцену вказує, що територія Карпат і Паннонії була стабільною областю з континентальною корою, а явно енсідіальний тип магм, антидромний характер вулканізму, його геохімічні особливості, зв'язок з глибинними розломами приводять до висновку про відсутність класичної субдукції в геологічному розвитку Українських Карпат і відповідність вулканізму постколізійному геодинамічному режиму.

За період від тріасу до сучасності у Панкардії (Паннонська западина, Карпати, Динариди) встановлено три головних фази магматизму: мезозойська, міоценова та пліо-плейстоценова. У мезозойську фазу вкорінювалися здебільшого ультраосновні та основні магми, в міоценову – середні та кислі, в пліо-плейстоценову – лужно-базальтоїдні. Фінальної фази лужних порід в українській частині Карпат не знайдено, але вона існує в сусідніх Паннонській та Трансильванській западинах і є маркером сучасних магматичних процесів. Лужні породи Панкардії за складом і віком

відповідають кайнозойському лужному магматизму Західної Європи, який зараховують до типу внутрішньоплітного магматизму континентів [Ляшкевич, 2007]. Вони мають мантіїно-плюмовий генезис і характеризують стан глибинної динаміки Землі сучасної епохи.

Література

- Данилович Л.Г. Эволюция магматизма и закономерности размещения магматических пород в Советских Карпатах // Материалы XI Конгресса КБГА. – К.: Наук. думка. – 1977. – С. 249–250.
- Данилович Л.Г. Петрогенезис магматичних утворень Карпат за даними вивчення ізотопного складу стронцію // Геол. журн. – 1977. – 37, № 4. – С. 49–61.
- Калюжный В.А. Оптические и термометрические исследования включений стекла в фенокристаллах гялодацитах Закарпатья // ДАН СССР. – 1965. – 160, № 2. – С. 438–441.
- Кузнецов Ю.А. Главные типы магматических формаций – М.: Недра, 1964. – 387 с.
- Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е. Современные проблемы геотектоники и геодинамики. – М.: Научный мир. – 2004. – 612 с.
- Ляшкевич З.М. К вопросу о петрогенезисе щелочных пород Панкардии // Геофиз. журн. – 2007. – 29, № 6. – С. 157–162.
- Ляшкевич З.М. Магматизм як індикатор геодинамічних обстановок // Геол. і геохімія горюч. копалин. – 2000. – № 4. – С. 25–29.
- Ляшкевич З.М., Медведев А.П., Алехина М.А. Проблема геодинамических условий формирования эффузивного магматизма Карпат // Эффузивно-осадочный литогенез. Труды Междунар. конф. – Симферополь. – 2004. – С. 38–42.
- Ляшкевич З.М., Медведев А.П., Крупский Ю.З., Варичев А.С., Тимошук В.Р., Ступка О.О. Тектоно-магматическая эволюция Капат. – К.: Наук. думка. – 1995. – 132 с.
- Ляшкевич З.М., Яцожинский О.М. Альпийский магматизм Украинских Карпат: его эволюция, геодинамика // Геофиз. журн. – 2005. – № 6. – С. 1005–1011.
- Ляшкевич З.М., Яцожинский О.М. Кайнозойский вулканизм Украинских Карпат и его значение для геодинамических реконструкций // Геофиз. журн. – 2004. – Т. 26, № 1. – С. 87–95.
- Ляшкевич З.М., Алехина М.А. Про активність неогенового вулканізму Карпат // Геол. і геохімія горюч. копалин. – 2003. – № 3. – С. 46–51.
- Магматические формации СССР / В.М. Масайтис, В.Н. Москалева, Н.А. Румянцева и др. – М.: Недра. – Т. 1. – 318 с.
- Малеєв Е.Ф. Неогеновий вулканізм Закарпатья. – М.: Наука, 1964. – 250 с.
- Остафийчук И.М., Молявко В.Г., Гасанов Ю.Л. Сравнительная характеристика вулканизма зон Припаннонского и Закарпатского глубинных раз-

- ломов // Геол. журн. – 1977. – № 1. – С.110–120.
- Толстой М.И., Молявко В.Г., Гасанов Ю.Л., Остафийчук И.Н. Схема орогенного вулканизма Карпат и Паннонского массива // Геол. журн. – 1976. – 36, вып. 5. – С. 38–42.
- Фролова Т.И. Гомодромная и антидромная последовательность магматизма и земная кора // Вестник МГУ. Сер. 4. – 1991. – № 1 – С. 3–20.
- Balla Z. The Carpathian loop and the Pannonian basin: a Kinematic analysis // Geophysical Trans-section. – 1985. – 30, № 4. – P. 313–353.
- Ljashkevich Z.M. Neogene volcanic rocks of the Ukrainian Carpathians: a brief review // Acta Vulcanologica. – 1995. – 7 (2). –P. 49–61.
- Salter J., Hart S., Panto Gy. Origin of Late Cenozoic volcanic Rocks of the Carpathian Arc, Hungary // Earth Planet Sci. Lett. – 1985. – 19. – P. 279-292.
- Sandulescu M. Essai de synthese structurale des Carpathes // Bull. Soc. Geol. Fr. – 1975. – 17, № 3. – P. 299–358.
- Wilson M. Igneous petrogenesis: a global tectonic approach. – London. – 1991. – 467 p.

РОЛЬ МАГМАТИЗМА В ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЯХ

З.М. Ляшкевич

Рассмотрено значение магматизма как маркера геодинамических процессов прошлых геологических эпох. Приведена схема поэтапного изучения магматических пород, их обобщения и привязки к тектоническим структурам. С использованием формационного анализа, минерало-геохимических признаков кайнозойских вулканитов доказано, что в кайнозойское геологическое развитие Украинских Карпат происходило по типу коллизионного геодинамического режима.

Ключевые слова: магматизм; геодинамика; формационный анализ; геохимия; Украинские Карпаты.

THE ROLE OF MAGMATISM IN PALEOGEODYNAMIC RECONSTRUCTIONS

Z.M. Ljashkevich

Significance of magmatism as a marker of geodynamic processes of the past geological epochs is considered. A scheme of phased studies of magmatic rocks is given as well as their generalization and connection to tectonic structures. On the basis of formation analysis and mineral-geochemical indicators of the Cainozoic volcanites it is proved that geological development of the Ukrainian Carpathians during Cainozoic go on a collision geodynamic regime type.

Key words: magmatism; geodynamics; formation analysis; geochemistry; Ukrainian Carpathians.