

УДК 552.32

**ПРОБЛЕМИ СИСТЕМАТИКИ ВУЛКАНІЧНИХ СЕРІЙ
ОСНОВНОГО СКЛАДУ**

К. Свєшніков, В. Пащенко

*Львівський національний університет імені Івана Франка
79005 м. Львів, вул. Грушевського, 4
E-mail: zaggeol@geof.franko.lviv.ua*

Пошук якісних відмінностей між шляхами диференціації–кристалізації вихідних розплавів різних магматичних серій і систематика магматичних серій на цій основі залишається однією з найактуальніших проблем магматичної геології. Зображення трендів вулканічних серій основного складу та точок складу головних породотвірних мінералів на діаграмі $(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)\text{--MgO--CaO}$ дало змогу з'ясувати низку якісних відмінностей між шляхами диференціації серій різних типів, які не вдається “вловити” іншими методами. Запропоновано якісну діаграму співвідношення геодинаміки та петрохімічних особливостей (середнього вмісту SiO_2 та відношення Al_2O_3 до CaO) базальтоїдних серій.

Ключові слова: вулканічна серія, петрохімічні особливості, геодинамічне положення, тренд диференціації.

Петрологи всього світу здавна фіксували наявність у природі певних сполучень магматичних порід, які повторюються в просторі та часі. Це явище одним із перших інтерпретував у 1928 р. Л. Боуен, який увів поняття магматичної асоціації – сукупності магматичних порід, пов'язаних спільністю походження, тобто похідних (дериватів) однієї первинної магми [1]. У сучасній геологічній літературі поняттю *магматична серія*, або *серія вивержених порід*, надають того самого змісту, що Л. Боуен колись вкладав у поняття асоціації, а саме – це сукупність порід, генетично пов'язаних між собою процесами диференціації вихідної (материнської) магми [2, с. 68]. Головним доказом належності порід серії до похідних однієї магми вважають відповідність їхнього петрохімічного складу одному тренду (тобто фігуративні точки складу порід на тих чи інших діаграмах розташовані вздовж однієї лінії). У разі виділення таких сполучень Л. Боуен зазначав, що ключовими проблемами їхнього дослідження є потреба пояснити різноманітність вивержених порід, по-перше, в межах однієї серії і, по-друге, між різними серіями. Відповідно до цих двох проблем сформувалося два напрями дослідження серій: моделювання процесів диференціації з метою визначення складу материнської магми тієї чи іншої серії та з'ясування відповідності складових цієї серії різним стадіям процесу; шукання стійких відмінностей між різними серіями [2, с. 76].

Сьогодні різні дослідники виділяють серії п'яти головних типів – толеїтова, вапнисто-лужна, сублужна базальтоїдна, лужна базальтоїдна, шошонітова (її, хоча й виділяють окремо, вважають одним із різновидів сублужних або лужних серій). Визначення серіальної належності вулканічних товщ має важливе значення, оскільки

ки доведено їхній тісний зв'язок із геодинамічними умовами виникнення. Згідно з головними положеннями плитної тектоніки магматичні процеси можуть відбуватися в умовах як латерального розтягнення (у серединно-океанічних хребтах, складчастих поясах, рифтових зонах, під час утворення трапових виливів на континентах), так і латерального стиснення (в острівних дугах, під час орогенезу та колізії континентальних плит). У першому випадку характерними вулканічними серіями, які супроводжують процеси розтягнення, є сублужні та лужні, а під час стиснення виникають вапнисто-лужні та шошонітові. Толейтові серії нейтральні; вони можуть виникати в умовах як стиснення, так і розтягнення [2, 3 та ін.].

Для розрізнення (дискримінації) цих серій запропоновано низку петрохімічних діаграм. Найпоширеніші серед них ґрунтуються на загальновідомому явищі зростання швидкості накопичення лугів зі збільшенням кремнезему в послідовності толейтові → вапнисто-лужні → сублужні → лужні серії [4, рис. на стор. 218; 5, рис. на стор. 79 та ін.]. В основі всіх цих діаграм є вихідна діаграма Харкера кремнезем–сума лугів, на якій серії різних типів утворюють тренди, нахилені під різними кутами до осей діаграми. Такі діаграми дають змогу достатньо впевнено розрізнити серії за кількісними ознаками, проте ніяк не відображають можливих якісних відмінностей у ході диференціації серій та факту їхнього утворення в різних геодинамічних умовах.

Принципово інший підхід до поділу базальтоїдних серій ґрунтується на вивченні співвідношень заліза, магнію та кремнію, на підставі чого також запропоновано низку дискримінаційних діаграм. Л. Уейджер та В. Дір 1939 р. розділили базальтоїдні серії нормальної лужності на дві групи: в одній із них під час диференціації накопичується залізо з порівняно невеликим збагаченням кремнеземом; в іншій накопичується кремнезем за порівняно сталої залізистості, унаслідок чого виникають диференціати середнього та кислого складу. Надалі це явище досліджував Ф. Осборн, який назвав тренд серій першої групи толейтовим, а другої – вапнисто-лужним напрямом диференціації [6]. Ці два принципово різні шляхи диференціації отримали назви, відповідно, тренду Феннера і тренду Боуена. За винятком діаграми Ф. Осборна, якому вдалося виявити якісні відмінності в процесах диференціації різних серій, всі інші діаграми цієї групи ґрунтуються на кількісних відмінностях значень тих чи інших коефіцієнтів. Як зазначив Л. С. Бородін, відсутність якісних критеріїв робить усю систему виділення серій дещо суб'єктивною і кількість типів серій у схемах різних дослідників відрізняється.

Досить повний огляд співвідношень різних схем і назв серій зробив Ч. Хьюджес [2]. Не наводячи деталей цих схем, зазначимо, що на сучасному етапі розвитку геології тою чи іншою мірою вже досліджені практично всі скільки-небудь помітні за розмірами магматичні тіла на континентах і значна частина в океанах. Проте отриманий фактичний матеріал здебільшого не використовують, оскільки нема такої систематики природних сполучень магматичних порід, яка би ґрунтувалася на якісних відмінностях між їхніми різними типами. Сьогодні ця проблема є найактуальнішою у всій магматичній геології. Недостатня кількість розробок у цьому напрямі гальмує вирішення низки як загальнотеоретичних, так і прикладних завдань (зокрема, підвищення точності металогенічних прогнозів).

Пошук якісних відмінностей між серіями потребує опрацювання значного вихідного матеріалу за допомогою якомога більшої кількості різноманітних петрохімічних діаграм. З цією метою за літературними джерелами зроблено вибірки по сері-

ях п'яти згаданих вище типів і проаналізовано їх на діаграмі $(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)\text{--MgO--CaO}$. Для характеристики толеїтових серій використано їхній середній склад з різних геоструктур: серединно-океанічних хребтів, рифтів, трапових областей, офіолітових асоціацій [7, с. 168, 283, 439]. Вапнисто-лужні серії схарактеризовані аналізами з Японських, Еолових та Алеутських островів [7, с. 324, 340, 344, 351, 364]. Прикладом сублужних серій є вулканіти Байкальського рифта й інших регіонів [7, с. 14, 325, 340, 439]. Аналізи шошонітових серій узяті з цієї ж праці [с. 364, 370], а лужних серій – з праць [6, с. 25, 88; 7, с. 30; 8, с. 299, 300].

Аналіз характеру трендів перелічених серій на діаграмі $(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)\text{--MgO--CaO}$ можна значно спростити, якщо на цю ж діаграму нанести точки теоретичного складу породотвірних мінералів (рис. 1).

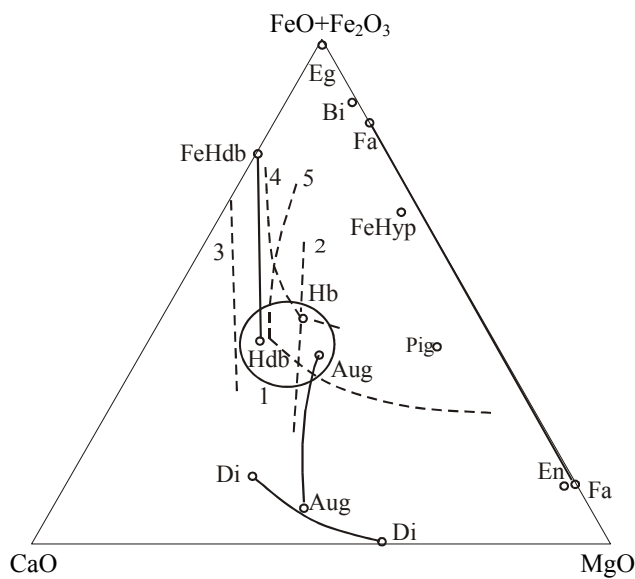


Рис. 1. Тренди диференціації вулканічних серій.

Теоретичний склад мінералів: Hdb – геденбергіт; FeHdb – ферогеденбергіт; Di – діопсид; Aug – авгіт; Pig – піжоніт; En – енстатит; FeHyp – ферогіперстен; Hb – рогова обманка; Bi – біотит; Fo – форстерит; Fa – фаяліт.

1 – поле толеїтової серії; тренди: 2 – плутонічних масивів, комагматичних толеїтовим серіям; 3 – вапнисто-лужної серії; 4 – сублужної серії; 5 – лужної серії.

Як видно з діаграми, *толеїтові серії* відповідають ізометричному полю в центральній частині, причому в це поле потрапляють точки складу авгіту, геденбергіту й рогової обманки. На відміну від вулканітів, комагматичні й плутонічні серії (наприклад, інтрузивні тіла трапових асоціацій або тіла габроїдів, пов'язані з толеїтовими серіями нижньодокембрійських зеленокам'яних поясів), утворюють чітко виражені тренди, які простягаються вздовж лінії авгіту, перетинаючи точку складу рогової обманки. Безпосередньо на продовженні цього напрямку розташований з одного боку склад малозалізного авгіту, а з іншого – склад біотиту. Можна при-

пустити, що ті два мінерали є природними обмеженнями цього тренду диференціації.

Вапнисто-лужні серії утворюють чітко виражений тренд, який простежується вздовж лінії “ферогеденбергіт–геденбергіт”. На продовженні тренду міститься точка кальцієвого діопсиду. Це дає змогу припустити, що склад кальцієвого діопсиду та склад ферогеденбергіту є кінцевими точками трендів цього типу. *Сублужні базальтоїдні серії* формують дугоподібний тренд, який простежується від ферогеденбергіту до рогової обманки і далі повертає в напрямі складу піжоніту. *Лужні базальтоїдні серії* утворюють тренд найскладнішої форми порівняно з іншими. Спочатку він простежується у вигляді дуги від поля олівіну до точки геденбергіту, а далі повертає практично під прямим кутом і простежується в напрямі складу егірину. Такий різкий перегин потребує пояснень. Ми використали аналізи лужних вулканітів Африки та Меймеч-Котуйської провінції; в обох випадках наявний цей перегин, отже, він не є випадковим.

Не вдалося також з’ясувати характер диференціації шошонітових серій. Більшість точок їхніх аналізів потрапила в поле толейтових серій, проте кількість аналізів, які були в нашому розпорядженні, недостатня для остаточних висновків.

Розглянута діаграма дає змогу сформулювати такі положення.

1. Толейтова серія якісно відрізняється від інших тим, що не має лінійного тренда диференціації. Можна сказати, що вона є найпримітивнішою порівняно з іншими серіями. У випадку, коли толейтові розплави підлягають диференціації (наприклад, у плутонічних масивах трапових асоціацій), вони утворюють тренд уздовж лінії складу авгіту.

2. Шляхи диференціації серій, крім толейтової, контролювані утворенням різних за складом фемічних мінералів, передусім піроксенів. Це твердження здається загальновідомим, проте отримані результати дають змогу його конкретизувати. Зокрема, у так званому базальтовому тетраедрі – четверній системі нефелін–плагіоклаз–олівін–кварц, на прикладі якої вивчали головні напрями диференціації базальтових магм [6], бар’єром між серіями нормальної (толейтовою та вапнисто-лужною) і підвищеної (лужною та сублужною) лужності є перетин діаграми олівін–плагіоклаз–діопсид. Згідно з отриманими результатами, замість діопсиду роль петрологічного бар’єра швидше відіграє геденбергіт, який чітко відділяє вапнисто-лужну серію від серій підвищеної лужності, тоді як склад діопсиду є далеко збоку від шляхів диференціації серій.

3. Отримані результати дають підстави припустити, що тренди диференціації кожної серії, принаймні теоретично, повинні починатись і закінчуватись у точках певних мінералів. У конкретних випадках серії однакового типу можуть бути роздиференційовані різною мірою, і це відобразиться на довжині трендів. Можна очікувати таке: коли серія буде роздиференційована повністю, то кінці трендів упираються в зазначені вище точки мінералів, які слугують природними обмеженнями початку та закінчення диференціації цих серій.

4. Привертає увагу те, що всі серії перетинають поле складу толейтової серії. З одного боку, близькість їхнього складу пояснює, чому інколи так складно розрізнити ці серії, а з іншого, постає питання, як відрізнявся між собою вихідний склад розплавів різних серій.

Для того, щоб відповісти на це питання, ми порівняли між собою середній склад різних серій (див. таблицю).

Середній склад порід вулканічних серій

Ком-понент	Лужні серії		Сублужні серії				Толейтові серії			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	46,20	45,31	49,96	50,13	49,99	47,52	50,02	51,57	49,26	49,61
TiO ₂	1,61	2,93	2,09	2,52	2,68	3,07	1,96	1,36	2,35	1,43
Al ₂ O ₃	18,06	14,64	17,67	15,71	15,20	15,55	15,90	15,51	14,80	16,01
FeO	9,42	12,96	10,42	11,69	12,59	12,35	11,55	9,98	11,88	11,49
MnO	0,22	0,15	0,21	0,18	0,20	0,20	0,17	0,19	0,18	0,00
MgO	2,30	5,78	5,50	5,25	5,32	5,71	7,14	8,26	7,58	7,84
CaO	7,28	10,69	7,54	8,37	9,72	8,61	8,81	10,26	10,95	11,32
Na ₂ O	9,32	3,34	4,02	3,76	2,93	3,89	3,12	2,85	2,51	2,76
K ₂ O	4,18	3,16	2,10	1,81	1,11	1,39	1,02	0,61	0,50	0,22

Ком-понент	Толейтові серії				Вапнисто-лужні серії				Шошонітова серія
	11	12	13	14	15	16	17	18	
SiO ₂	48,00	56,00	64,00	50,00	48,00	56,00	64,00	50,76	52,69
TiO ₂	0,92	0,72	0,66	0,71	0,75	0,70	0,55	1,11	0,86
Al ₂ O ₃	18,00	16,50	15,00	16,23	15,00	17,50	16,20	17,62	17,09
FeO	10,00	7,90	5,80	11,13	8,70	6,50	4,50	9,52	8,27
MnO				0,23				0,18	0,13
MgO	5,90	2,80	1,00	7,48	9,80	4,50	1,50	6,58	6,61
CaO	11,00	8,70	5,40	11,98	11,20	8,00	5,00	10,17	8,98
Na ₂ O	2,40	3,00	3,60	1,81	2,20	3,20	3,80	2,87	2,44
K ₂ O	0,30	0,60	1,20	0,33	0,60	1,20	1,50	0,89	2,64

Примітки. 1 – нефелініти; 2 – лейцитові тефрити Східної Африки; 3, 14, 18 – середній склад; серії: 4, 7 – рифтових асоціацій; 5, 8 – трапових асоціацій; 6, 9 – океанічних островів; 10 – серединно-океанічних хребтів; 11, 15 – основні, 12, 16 – середні, 13, 17 – кислі (11–14 – вулканіти острівних дуг). Ан. №№ 1–4, 8, 12–17 за [7]; №№ 5–7, 9–11 за [3].

Як видно з рис. 2, середній вміст кремнезему в різних серіях є різним і зростає в послідовності лужні–сублужні–толейтові–шошонітові серії. Це дає змогу припускати, що склад вихідних розплавів розглянутих серій змінювався в цій же послідовності, збагачуючись кремнеземом.

У петрологічній літературі постійно обговорюють питання ролі глинозему і систематизаційне положення базальтів з підвищеною глиноземністю. Великого значення надають дослідженню співвідношення Al₂O₃/CaO.

З рис. 3 бачимо, що це співвідношення є мінімальним для базальтів серединно-океанічних хребтів і зростає як до лужних, так і до шошонітових асоціацій. Значимо, що явище зростання абсолютної кількості глинозему до більш основних та більш кислих базальтоїдів вже давно з'ясоване статистично на породному рівні під час розробки класифікації різновидів магматичних порід [9].

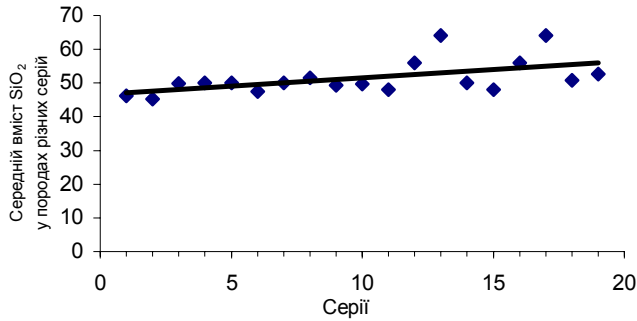


Рис. 2. Середній вміст кремнезему в послідовності серій від лужних до шошонітових (нумерація серій відповідає прийнятій у таблиці). Тренд лінійний.

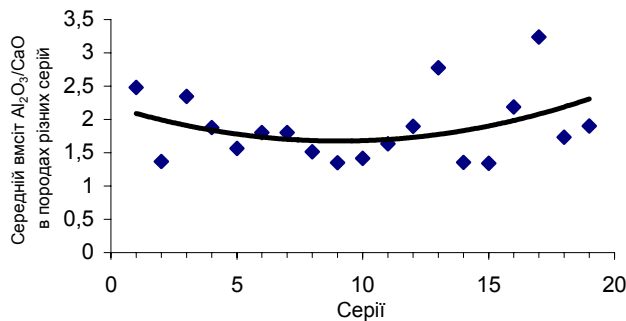


Рис. 3. Зміна співвідношення Al_2O_3/CaO у послідовності серій від лужних до шошонітових. Тренд поліноміальний другого ступеня.

У цьому випадку таке явище виявляється на рівні породних сполучень (формаційному рівні), однак на цьому рівні правильніше говорити не про абсолютну, а про відносну глиноземність. Мінімум глиноземності виявляється пов'язаним із толеїтовими серіями серединно-океанічних хребтів. Водночас зі збільшенням відносної кількості глинозему зростає загальна кількість лугів. У лівій частині діаграми, де кількість кремнезему послідовно зменшується, зростання лужності призводить до появи лужних мінералів, і виникають лужні серії. У правій частині діаграми збільшення кількості лугів менш інтенсивне і супроводжується зростанням кількості кремнезему, тому перенасиченості лугами тут не виникає, і лужні мінерали не утворюються.

Всі ці дані дають підстави запропонувати діаграму (рис. 4), на якій якісно можна відобразити зв'язок петрохімічних особливостей вулканічних серій основного складу з геодинамічними умовами їхнього утворення. Думки дослідників щодо *PT*-умов утворення магматичних розплавів, які дають різні серії, суттєво розходяться, проте є один чинник, стосовно якого практично всі автори згодні між собою. Загальновизнано, що лужні серії виникають за умов підвищеного тиску вуглекислоти, вапнисто-лужні – в умовах підвищеного тиску водних флюїдів. Експериментально з'ясовано, що підвищення тиску води в системі зсуває склад розплавів у бік збагачення кремнеземом, а підвищення тиску вуглекислоти призводить до протилежного ефекту. Тому, як це показано на рис. 4, можна досить упевнено вважати, що зміна петрохімічних особливостей розглянутих

серій тісно залежить від флюїдного режиму під час виплавлення порцій вихідних магматичних розплавів.

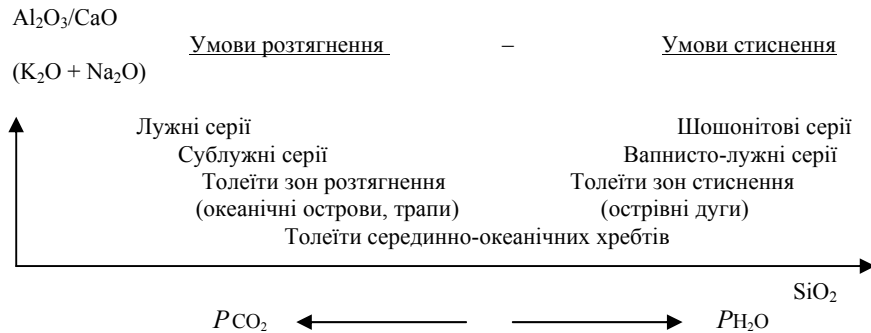


Рис. 4. Співвідношення петрохімічних характеристик вулканічних серій з геодинамічними умовами їхнього утворення

1. Bowen N. L. The evolution of the igneous Rocks. Princeton, N.J., 1982.
2. Хьюджес Ч. Петрология изверженных пород. М., 1988
3. Магматические горные породы. Эволюция магматизма в истории Земли. М., 1987.
4. Бородин Л. С. Петрохимия магматических серий. М., 1987.
5. Структурная геология и тектоника плит. Т. 3 / Гл. ред. К. Сейферт. М., 1991.
6. Йодер Г. С., Тилли К. Э. Происхождение базальтовых магм. М., 1965.
7. Магматические горные породы. Основные породы. М., 1985.
8. Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. М., 1964.
9. Кокс К. Г., Белл Дж. Д., Панкхерст Р. Дж. Интерпретация изверженных горных пород. М., 1982.

SOME PROBLEMS OF THE BAZALT VOLCANIC SERIES SYSTEMATISATION

K. Sveshnikov, V. Pashchenko

*Ivan Franko National University of Lviv
Hrushevskogo st. 4, UA – 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: zaggeol@geof.franko.lviv.ua*

The searching of the differences between differentiation–crystallization paths of magmatic melts corresponding to different magmatic series and their systematisation on this basis remain one of the most important problems in the magmatic geology. The using of the (FeO+Fe₂O₃)–MgO–CaO diagrams with dots of major rock-forming mineral composition on them shows some quality distinctions between different type series,

which can not be established by the other methods. The quality diagram, showing the correlation between geodynamics and petrochemical features (mean content of SiO_2 and $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ ratio) of the basaltoid series, has been proposed.

Key words: volcanic series, petrochemical features, geodynamic position, differentiation trend.

Стаття надійшла до редколегії 3.05.2001