

В. В. Покалюк, В. Г. Яценко, С. И. Терещенко

## О выделении субщелочного ряда основных вулканитов среди архейских зеленокаменных пород Украинского щита

(Представлено академиком НАН Украины Е. А. Кулишом)

*Діагностовано сублужні метавулканіти серед архейських зеленокам'яних порід Українського щита. Сублужна калієва специфіка метавулканітів відбиває вихідні особливості складу лав, що вивергалися. Визначено співвідношення між толейтовим і сублужним вулканізмом у вигляді латеральних взаємозв'язків.*

Щелочно-базальтовый и толеит-базальтовый вулканизм, как известно, тесно сопряжены в фанерозойских вулканогенных комплексах, что особенно свойственно вулканическим сериям океанических островов, континентальных рифтов, траппов платформ. В последние годы щелочные и субщелочные вулканиты выявлены также в структурах океанических рифтов. Вопрос о причинах сонахождения толейтовых, субщелочных и щелочных базальтовых серий относится к числу важнейших проблем общей петрологии.

Для зеленокаменных поясов докембрия в отличие от фанерозойских вулканогенных комплексов типоморфными являются три вулканические серии: коматиитовая, толейтовая и известково-щелочная [1–3]. Щелочные серии здесь в целом не характерны, что связывается с незрелым характером и малой мощностью раннеархейской континентальной коры [4]. При этом щелочные серии в зеленокаменных поясах докембрия все же имеют распространение, хотя и очень ограниченное [2]. Субщелочные вулканиты по сравнению со щелочными развиты в зеленокаменных поясах докембрия более широко [5–7], хотя идентификация их представляет трудности в связи с наложенным метаморфизмом и перераспределением щелочей в исходных породах, а также тем, что граница между толейтовыми и субщелочными сериями четко не очерчена. По мнению Л. И. Филатовой [5], субщелочность метабазитов архейских зеленокаменных поясов часто недооценивается, принимается за наложенную в связи с региональным метаморфизмом, а также метасоматозом, сопровождающим синтектонические гранитоиды.

На сегодняшний день вулканогенные образования зеленокаменных структур Среднеприднепровской гранит-зеленокаменной области (СГЗО) Украинского щита относятся исключительно к магматическим сериям пониженной и нормальной щелочности (коматиитовой, толейтовой, известково-щелочной) при доминировании толейтов [3, 8–10]. Львовские геологи полагают, что щелочные разности метавулканитов (основных и ультраосновных) отсутствуют в разрезах зеленокаменных структур Среднего Приднепровья (ЗСП) [9]. Что касается субщелочных пород в составе толейтовых ассоциаций, то присутствие их объясняется наложенными процессами с привнесением калия [10].

Калий, как известно, весьма подвижен при различного рода метасоматических процессах, что определяет его низкую информативность для реконструкционных построений. Кроме того, среди метавулканитов ЗСП значительную часть составляют туфы, которые срав-

нительно легко подвергаются низкотемпературным метасоматическим изменениям, вызывающим перераспределение в них щелочей. Эти вторичные процессы, безусловно, имели место, однако масштаб их и степень влияния на исходную щелочность пород можно в конкретных случаях оценить тщательным опробованием разрезов и отдельных лавовых потоков, изучением структурно-текстурных особенностей пород, получением статистически значимых результатов петрохимических исследований.

Проведенная нами петрохимическая систематика архейских метавулканитов новокриворожской свиты Кривбасса методом иерархического кластер-анализа (выборка 235 анализов) с параллельной проверкой петрографическими методами и литолого-стратиграфической привязкой позволила выявить наряду с уже известными петротипами (коматиитами и толеитами) несколько кластеров вулканитов исходно субщелочного ряда (табл. 1). Обнаружение их стало возможным благодаря весьма плотному опробованию вулканогенных разрезов (как отдельных лавовых пластов, так и серии пластов), в результате чего получены статистически значимые результаты, свидетельствующие о исходно повышенной щелочности вулканитов.

Субщелочные вулканиты пространственно развиты главным образом в Центральносаксаганском разрезе, где формируют мощную толщу (220 м), почти целиком сложенную породами повышенной щелочности (рис. 1). Доля нормальнощелочных составов составляет здесь примерно 25%. Отмечается переслаивание потоков нормальных толеитов и субщелочных базальтов и андезибазальтов массивной текстуры, не затронутых внешне динамометаморфическими изменениями. Субщелочной (и щелочной) состав характерен как для рассланцованных, так и массивных разностей, в частности для афанитовых лав с редкими миндалинами. Субщелочной состав конкретных лавовых пластов доказывался стабильно высокими значениями щелочности и неразбалансированным соотношением  $K_2O/Na_2O$  по многим анализам в пределах одного пласта или серии пластов.

Таблица 1. Химический состав субщелочных кластеров метавулканитов новокриворожской свиты (значения главных окислов пересчитаны на сухой остаток), % (вес.)

Компонент	Кластер 10 (9)		Кластер 17 (6)		Кластер 18 (10)		Кластер 19 (5)	
	Среднее	Ст. откл.	Среднее	Ст. откл.	Среднее	Ст. откл.	Среднее	Ст. откл.
SiO <sub>2</sub>	47,63	1,15	57,58	1,05	57,84	0,89	57,75	0,93
TiO <sub>2</sub>	2,19	0,48	1,01	0,21	0,97	0,11	1,13	0,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,59	1,95	12,97	0,84	13,29	0,90	12,88	0,43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,10	0,76	2,56	0,29	3,57	0,75	3,63	0,64
FeO	14,93	0,65	10,55	0,47	9,45	0,50	9,34	0,67
MnO	0,21	0,03	0,11	0,04	0,14	0,04	0,17	0,03
MgO	6,25	0,70	5,22	0,65	4,04	0,48	3,02	0,42
CaO	6,29	1,01	3,54	0,49	4,07	0,74	6,57	0,83
Na <sub>2</sub> O	2,48	0,51	3,10	0,51	3,42	0,69	2,97	0,55
K <sub>2</sub> O	3,06	0,89	3,21	0,74	3,08	0,79	2,41	0,37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28	0,06	0,15	0,03	0,13	0,05	0,12	0,07
Сумма	100,00	—	100,00	—	100,00	—	100,00	—
SO <sub>3</sub> общ	0,20	—	0,09	—	0,10	—	0,08	—
CO <sub>2</sub>	1,59	—	2,26	—	1,71	—	2,50	—
H <sub>2</sub> O	0,26	—	0,25	—	0,33	—	0,58	—
П. п. п.	3,97	—	4,83	—	3,45	—	3,62	—

Примечание. В скобках приведены количества проб в кластерах.

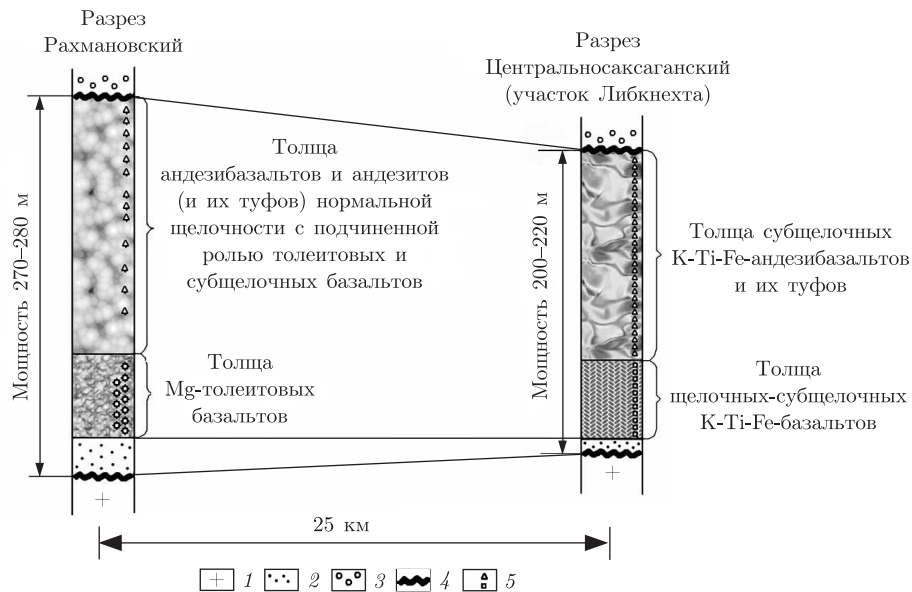


Рис. 1. Схема корреляции Рахмановского и Центральносаксаганского разрезов новокриворожской свиты. Рахмановский разрез сводный по скважинам 20630 и 20631, Центральносаксаганский — сводный по скважинам 18453 и 18454:

1 — саксаганские плагиограниты фундамента; 2 — горизонт белых кварцито-песчаников (латовских); 3 — метапесчаники и метагравелиты скелеватской свиты; 4 — стратиграфические несогласия; 5 — точки отбора проб на химический анализ

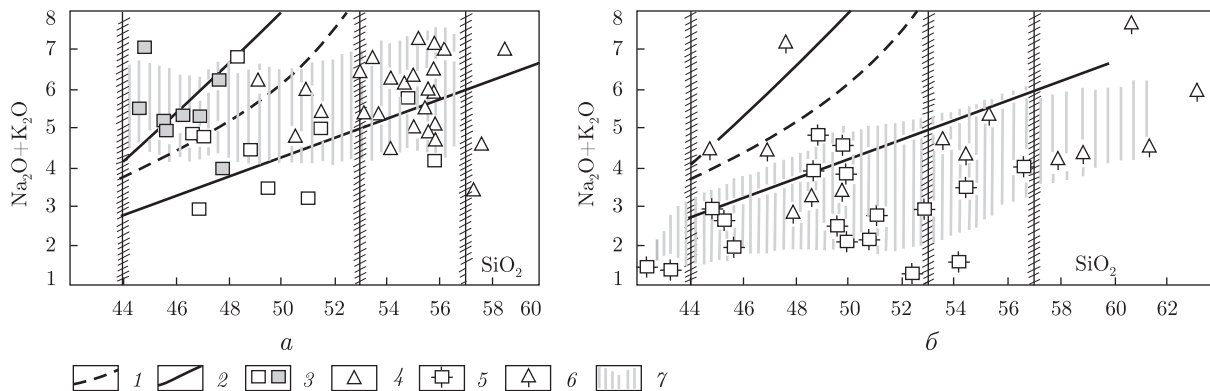


Рис. 2. Составы вулканитов Центральносаксаганского (а) и Рахмановского (б) разрезов на классификационной диаграмме  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  (Классификация... 1981). Выборки анализов составлены без измененных кластеров.

1 — Нижняя граница распространения щелочных пород; 2 — область распространения субщелочных пород; 3 — фигуративные точки составов нижней (базальтовой) толщи Центральносаксаганского разреза, темные значки — кластер 10 (калиевые титан-ферробазальты; 4 — вулканиты верхней (андезибазальтовой) толщи Центральносаксаганского разреза; 5 — вулканиты нижней толеит-базальтовой толщи Рахмановского разреза; 6 — вулканиты верхней андезит-андезибазальтовой толщи Рахмановского разреза; 7 — шлейфы дифференциации преобладающих составов

**Калиевые титан-ферробазальты.** Данные породы составляют кластер 10 (табл. 1); представлены исключительно в Центральносаксаганском разрезе, где приурочены к нижней (50–70 м) базальтовой толще (см. рис. 1, 2). В других районах эти породы не встречаются,

и в этом отношении в некоторой степени уникальны для Кривбасса. Пробы распределены более-менее равномерно по всей толще и, таким образом, характеризуют в целом ее состав. Другие разновидности пород (метатолиты) в этой толще присутствуют в очень незначительном объеме. Породы слагают потоки лав мощностью 2–10 м с редкими миндалинами, массивной текстуры, тонкокристаллической (почти афанитовой) структуры. На петрохимических диаграммах породы обособлены от основного роя составов вулканитов новокриворожской свиты, обладают четкой индивидуальностью петрохимических свойств. Для всех проб характерны высокая калиевоность ( $K_2O = 2-5\%$ , в среднем  $3\%$ ), высокая титанистость ( $TiO_2 = 1,3-2,6\%$ , в среднем  $2,2$ ), весьма высокая общая железистость ( $FeO + Fe_2O_3 = 17,5-19,8\%$ , в среднем  $19$ ) при пониженной глиноземистости ( $Al_2O_3 = 10,8-13,1\%$ , в среднем  $12,6$ ) и умеренной магнезиальности ( $MgO = 5,1-7,3\%$ , в среднем  $6,3$ ). Содержания  $SiO_2$  составляют 46,4–49,7%, в среднем  $47,6$  (относятся к базальтам несколько пониженной основности). Общая щелочность колеблется от 3,9 до 7,4%, в среднем  $5,5$ . Большинство проб относятся на классификационной диаграмме  $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$  к субщелочному полю, приближаясь к линии раздела со щелочными породами; некоторые пробы располагаются в щелочном поле (см. рис. 2). В среднем нормативном составе кластера 10 присутствует оливин (16% (об.)) и калиевый полевой шпат (22% (об.)). Рудные — магнетит и ильменит составляют 3,5 и 2,7 (% (об.)) соответственно. Нефелин в среднем составе кластера отсутствует, однако он фиксируется в незначительных количествах в наиболее щелочных пробах (пр. 157 — 6,4% (об.)). Учитывая нормативный состав, породы можно именовать щелочными-субщелочными (калиевыми) оливиновыми ферробазальтами.

**Субщелочные андезибазальты и их туфы.** Субщелочность андезибазитов проявлена также главным образом в Центральносаксаганском профиле, где они слагают мощную толщу в средне-верхней части разреза (кластеры 17, 18, 19) (см. табл. 1, рис. 1). В других разрезах (Рахмановский, ЮГОК, Первомайский) такие породы присутствуют в гораздо меньшей мере, уступая место андезибазальтам нормальной щелочности. Общее содержание щелочей составляет в среднем 5–6% при колебаниях 4–7%, отношение  $K_2O/Na_2O$  в среднем  $= 0,9-1,3$ , т. е. породы относятся к К–Na-серии, в меньшей мере к калиевой серии. Для них также, как и для субщелочных ферробазальтов (но в отличие от толеитов), характерны повышенные содержания калия, титана, железа, фосфора. В этом они наследуют черты состава субщелочных-щелочных ферробазальтов, залегающих в основании разреза. Пространственное совмещение первых и вторых в едином разрезе, сходство (унаследованность) петрохимических свойств свидетельствует об их генетической связи на уровне относительно самостоятельной субщелочной серии вулканитов.

Исходный (магматический) характер повышенной щелочности пород, в особенности их калиевоности, доказывается следующими признаками.

1. Закономерное статистически значимое возрастание (четкий тренд) содержаний калия в метавулканитах новокриворожской свиты с ростом кремнекислотности от значений менее 1% в базитах до 2% (и более) в андезибазитах (рис. 3, а) свидетельствует об относительной сохранности исходного магматического тренда по калию.

2. На фоне общего калиевого тренда выделяются обособленные высококалиевые кластеры со средними величинами  $K_2O \approx 3\%$ , связанные с конкретными лавовыми пачками (кластер 10), что исключает случайный характер значений их высокой щелочности.

3. Рост содержаний калия в вулканитах четко коррелируется с увеличением количеств таких некогерентных (накапливающихся в конечных дифференциатах) элементов, как титан и фосфор (см. рис. 3, б, в), что является следствием процессов магматической диф-

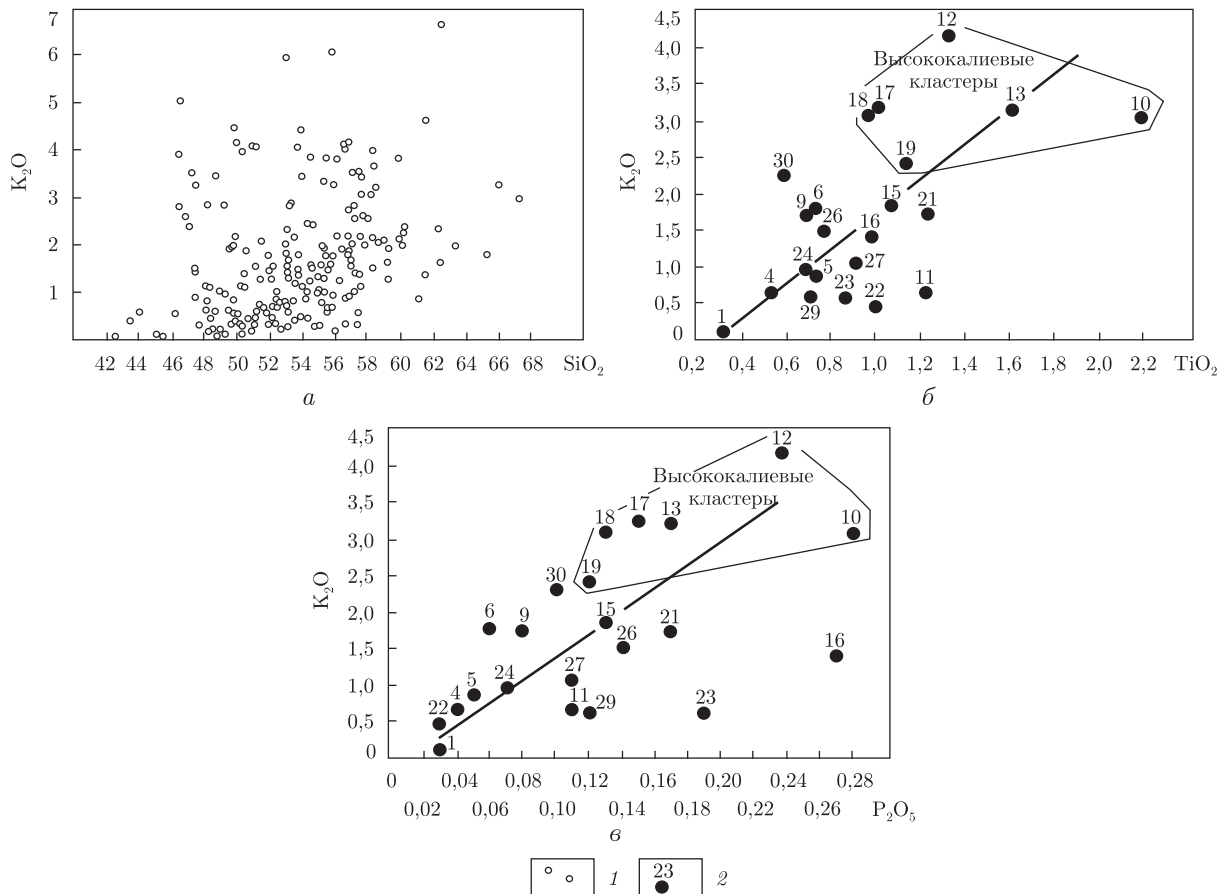


Рис. 3. Зависимости между калиевостью метавулканитов и содержаниями кремния (а), титана (б) и фосфора (в).

1 — Точки отдельных анализов (выборка 205 проб с вычетом измененных кластеров); 2 — точки средних составов кластеров

ференциации и весьма характерно для калиевых субщелочных вулканических серий фанерозоя [11].

Все эти признаки свидетельствуют о том, что субщелочная калиевая специфика этих пород не является следствием наложенных метасоматических процессов, а отражает исходные особенности состава извергавшихся лав.

Идентифицированные щелочные-субщелочные Ti — Fe-базальты и субщелочные андезибазальты в составе зеленокаменного позднеархейского комплекса новокриворожской свиты Кривбасса представляют собой исключительный интерес в плане выяснения их петрогенезиса и взаимоотношений с толеитами и другими петротипами вулканитов. Так, среди общего количества известных локальных разрезов новокриворожской свиты есть два, которые по своему строению и мощностям прекрасно коррелируются между собой, при этом отстоят друг от друга примерно на 25 км, — это Рахмановский и Центральносаксаганский разрезы. Структурно они располагаются в противоположащих бортовых зонах палеограбена участка замыкания Основной синклинали. Сходство их стратиграфического строения вплоть до литопачек, сопоставимость мощностей (см. рис. 1) говорят о единстве вулканогенных процессов и тектонического развития этих участков. Это дает возможность произвести

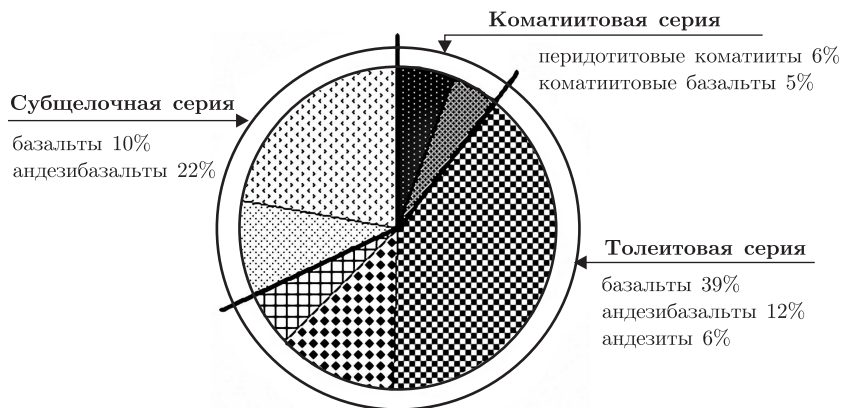


Рис. 4. Сводный сериальный состав вулканитов новокриворожской свиты

сопоставление пространственного распределения петрохимических литотипов вулканитов, вариаций их состава по латерали. При общей сопоставимости их мощностей и внутреннего строения (смена снизу вверх базитового вулканизма андезибазитовым и андезитовым) наблюдается отчетливая петрохимическая специфика, выраженная для Рахмановского разреза существенно толейтовым трендом, для Центральносаксаганского — преобладающим субщелочным трендом дифференциации (см. рис. 2). Из этих особенностей вытекает очень важный петрогенетический вывод о генетическом родстве толейтового и субщелочного вулканизма и существовании между ними фациальных (латеральных) взаимосвязей на уровне пространственно разделенных синхронных магматических очагов, обладающих единством происхождения, но несколько различных по уровню начальной щелочности.

Итоговый сводный сериальный состав вулканитов новокриворожской свиты по всем известным разрезам (выборка 235 проб) представлен на круговой диаграмме (рис. 4).

В новокриворожской свите практически отсутствует известково-щелочная серия вулканитов в том объеме и полноте, которые характерны для других зеленокаменных структур Среднего Приднпровья.

Из докембрийских разрезов похожие ассоциации описаны в составе Казахстанского раннепротерозойского зеленокаменного суперпояса [5, 6], в котором тесно сочетаются толейтовые и субщелочные метавулканиты. Наряду с толейтами здесь описаны ограниченно проявленные повышенно щелочные высокожелезистые высокотитанистые метабазальты, а также широко развитые субщелочные андезибазальты с калиевым и титан-железистым уклоном.

Подобные породы описаны также в составе умбинской вулканогенной толщи варзугской серии раннего протерозоя на Кольском полуострове [7, с. 59] (“...преобладающие в имандра-варзугском комплексе вулканиты основного состава относятся к трем самостоятельным петрохимическим сериям: коматиитовой, толейтовой и субщелочной...”). Для субщелочных метабазальтов и метаандезибазальтов характерны повышенные содержания таких некогерентных элементов, как титан и фосфор. Среди метабазальтов присутствуют высокожелезистые ( $FeO_{общ.} = 18-20\%$ ), высокотитанистые ( $TiO_2 > 3\%$ ) разновидности. Все это удивительным образом напоминает Центральносаксаганский разрез новокриворожской свиты Кривбасса и еще раз подтверждает правомочность выделения в ее составе субщелочного ряда вулканитов.

Причина, по которой до сих пор не были описаны щелочные и субщелочные вулканиты в зеленокаменных структурах Среднего Приднпровья, видится нам, во-первых, в их

ограниченном распространении, — они “теряются” на общем фоне толеитов, и, во-вторых (это в особенности касается субщелочных пород), они, вероятно, попросту не принимались в расчет при петрохимических исследованиях — либо как аномальные составы, либо как претерпевшие перераспределение щелочей и вторичное обогащение калием при метаморфизме. В этом отношении Центральносаксаганский разрез новокриворожской свиты является, пожалуй, уникальным не только для Кривбасса, но и для Среднего Приднепровья в целом. В нем, как мы считаем, сохранились в значительном объеме и в малоизмененном виде исходно высококалийевые субщелочные ассоциации вулканитов. Выявление их может помочь в обнаружении аналогичных пород и в соседних ЗССП.

Петрогенетически данные породы несут чрезвычайно важную информацию, поскольку восполняют некоторый пробел в эволюции вулканизма докембрийских зеленокаменных поясов и подчеркивают их сходство с вулканизмом фанерозойских океанических и континентальных систем.

1. Рыбаков С. И., Светова А. И., Куликов В. С. Вулканизм архейских зеленокаменных поясов Карелии. — Ленинград: Наука, 1981. — 154 с.
2. Конди К. Архейские зеленокаменные пояса. — Москва: Мир, 1983. — 390 с.
3. Малюк Б. И. Магмогенез раннедокембрийских зеленокаменных поясов на примере Среднеприднепровской гранит-зеленокаменной области: Автореф. дис. . . . д-ра геол.-мин. наук. — Ленинград: Б. и., 1991. — 35 с.
4. Грачев А. Ф., Федоровский В. С. Зеленокаменные пояса докембрия: рифтовые зоны или островные дуги? // Геотектоника. — 1980. — № 5. — С. 3–24.
5. Филатова Л. И., Розанов С. Б. Казахстанский раннепротерозойский зеленокаменный пояс в свете проблем зеленокаменных поясов и рифтогенеза. Ст. 1 // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. — 1994. — 69, вып. 6. — С. 13–35.
6. Филатова Л. И., Розанов С. Б. Вулканические комплексы раннепротерозойского Казахстанского зеленокаменного пояса // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4, Геология. — 1995. — № 6. — С. 11–30.
7. Федотов Ж. А. Эволюция протерозойского вулканизма восточной части Печенга-Варзугского пояса (петрохимический аспект). — Апатиты: Б. и., 1985. — 119 с.
8. Малюк Б. И., Колий В. Д., Паранько И. С. Петрохимическое сопоставление метавулканитов криворожской и конско-верховцевской серий // Сов. геология. — 1991. — № 11. — С. 65–70.
9. Лазько Е. М., Сиворонов А. А., Ярощук М. А. и др. Зеленокаменные пояса и роль вулканизма в формировании месторождений. Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. — Киев: Наук. думка, 1990. — 172 с.
10. Малюк Б. И., Паранько И. С. Застосування нетрадиційних методів геологічних досліджень для кореляції вулканогенно-осадочних відкладів // Геол. журн. — 1992. — № 3. — С. 127–137.
11. Фролова Т. И., Бурикова И. А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. — Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1997. — 317 с.

*Институт геохимии окружающей среды  
НАН Украины и МЧС Украины, Киев*

*Поступило в редакцию 09.09.2008*

**V. V. Pokalyuk, V. G. Yatsenko, S. I. Tereshchenko**

### **About the determination of the subalkaline vulcanite series within Archean greenstone rocks of the Ukrainian Shield**

*The subalkaline metavolcanites are diagnosed within Archean greenstone rocks of the Ukrainian Shield. Subalkaline specification of the rocks reflects initial peculiarities of the composition of erupted lavas. Correlations between tholeiitic and subalkaline volcanisms in the form of lateral interconnections are determined.*