

doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.04.049>

УДК 550.92

Г.В. Артеменко

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н. П. Семеново НАН Украины, Киев
E-mail: australes@mail.ru

Геохимические особенности и генезис метаандезитов и метадацитов Новогоровской зеленокаменной структуры (Украинский щит)

Представлено академиком НАН Украины Р.Я. Белевцевым

Метаандезиты Новогоровской зеленокаменной структуры толеитовой серии (парагенерация КТ-3 коматиит-толеитовой формации) могли образоваться в результате кристаллизационной дифференциации базитовой магмы из плюмового источника в малоглубинной магматической камере (<40 км). Они имеют низкую магнезиальность ($mg\# = 0,32$). Метадациты, находящиеся среди пород этой парагенерации, формировались в другом магматическом источнике и, вероятно, являются более поздними. Они относятся к известково-щелочной серии, характеризуются высокой магнезиальностью ($mg\# = 0,51$) и сильно контаминированы коровым веществом. Метадациты могли образоваться в результате смешения расплавов базитового и кислого составов или ассимиляции базитами вмещающих пород в малоглубинном магматическом источнике (<40 км).

Ключевые слова: *метаандезит, метадацит, зеленокаменная структура, коматиит-толеитовая формация, Украинский щит.*

В зеленокаменных структурах Среднеприднепровского и Приазовского мегаблоков метаандезиты и кислые метавулканы выделяются в верхней части разреза коматиит-толеитовой формации (парагенерация КТ-3), дацит-андезит-толеитовой и риолит-дацитовой формациях [1]. В результате предыдущих исследований установлено, что метаандезиты и кислые метавулканы дацит-андезит-толеитовой формации формировались в малоглубинных магматических камерах (<40 км), а кислые метавулканы риолит-дацитовой формации — в подкоровых магматических источниках (>40 км) [2]. Метаандезиты и кислые метавулканы парагенерации КТ-3 коматиит-толеитовой формации не изучались.

Постановка проблемы. Метаандезиты и кислые метавулканы часто встречаются в разрезах зеленокаменных структур. Андезиты обычно рассматриваются как породы, характерные для современных зон субдукции, хотя многие исследователи указывали, что они мо-

© Г.В. Артеменко, 2017

ISSN 1025-6415. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2017. № 4

49

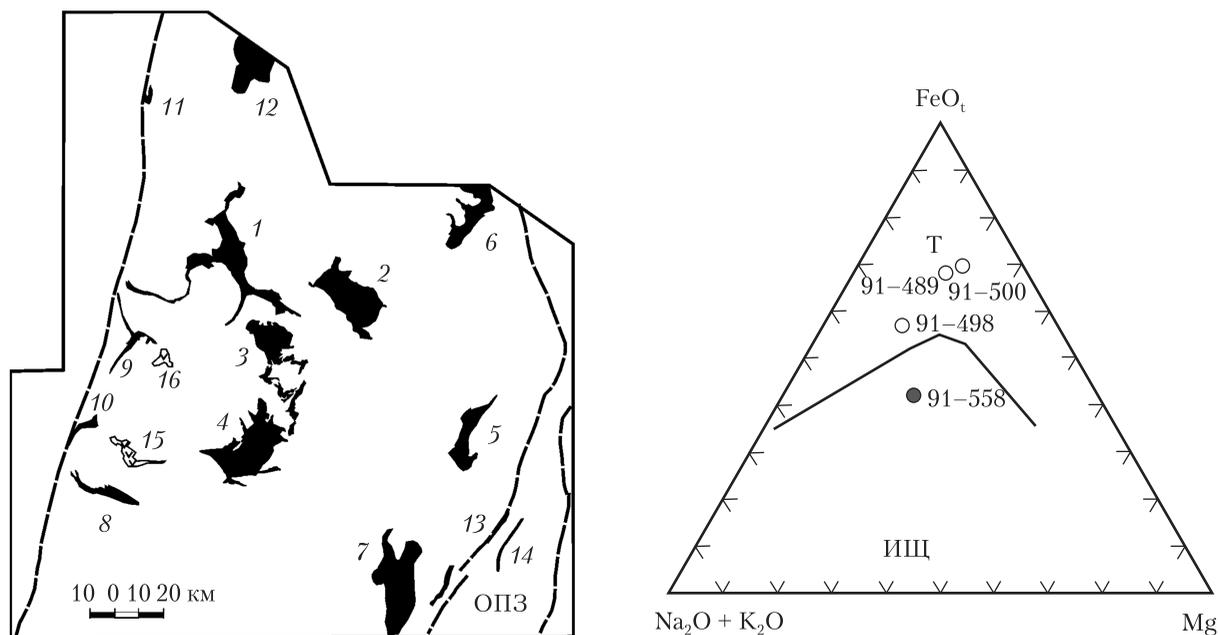


Рис. 1. Схема расположения мезоархейских зеленокаменных структур и расслоенных интрузий: 1 – Верховцевская, 2 – Сурская, 3 – Софиевская, 4 – Чертомлыкская, 5 – Конкская, 6 – Дерезоватская, 7 – Белозерская, 8 – Высокопольская, 9, 10 – Криворожская, 11 – Галещинская, 12 – Кобелякская, 13 – Новогоровская, 14 – Чистопольская, 15 – Александровская, 16 – Авдотьевская. ОПЗ – Орехово-Павлоградская структура

Рис. 2. Диаграмма AFM для метавулканитов Новогоровской ЗС. Т – толеитовая серия, ИЩ – известково-щелочная серия

гут образовываться в результате кристаллизационной дифференциации основной магмы, на что указывает тесная ассоциация андезитов и дацитов с базальтами во многих вулканах, формирование андезитовых магм при дифференциации в некоторых интрузиях *in situ* [3]. Показано [4], что архейские андезиты зеленокаменных поясов восточной части Йилгарнского блока имеют не субдукционную природу, а образовались как в результате фракционной кристаллизации базальтовой магмы, так и при контаминации породами кислой коры. Определение генезиса метаандезитов и кислых метавулканитов зеленокаменных структур Украинского щита позволит получить важные данные о геодинамическом режиме формирования зеленокаменных структур.

Результаты геохимических исследований метаандезитов. Новогоровская ЗС (рис. 1) сложена породами метакоматиит-толеитовой формации (аналог сурской свиты): парагенерациями КТ-1, КТ-2, КТ-3 [5]. В разрезе скважины 309С породы парагенерации КТ-3 представлены метаморфизованными базальтами, андезито-базальтами, андезитами и кислыми вулканитами. Результаты их исследований представлены ниже. U-Pb изотопный возраст метаандезитов 3095 ± 45 млн лет [6].

Метабазальты парагенерации КТ-3 (скв. 309С, гл. 260 м, обр. 91-500) относятся к толеитовой серии (табл. 1, рис. 2). Они характеризуются низкой магнезиальностью ($mg\# = 0,31$), высоким содержанием TiO_2 (1,30 %) и низким содержанием глинозема ($Al_2O_3 = 13,70$). По петрохимическим характеристикам они резко отличаются от более магнези-

альных ($mg\# = 0,54$) и низкотитанистых метабазальтов ($TiO_2 = 0,66\%$) парагенерации КТ-2 (скв. 300С, гл. 373,4 м (обр. 91-270) (см. табл. 1, рис. 2).

Метаморфизованные андезито-базальты (обр. 91-489, скв. 309, гл. 240 м) относятся к толеитовой серии (см. табл. 1, рис. 2). Они низкомагнезиальные, $mg\# = 0,29$. В них очень низкое содержание Rb (5,88 ppm) и умеренное Sr (100 ppm) и Ba (128 ppm) (табл. 2). Характеризуются очень высоким отношением K/Rb (843). В них повышенное количество Y (26 ppm) и умеренное Nb (3,57 ppm) и Yb (2,89 ppm). На мультиэлементной диаграмме выделяются положительные аномалии Rb и Ba (рис. 3). Они обеднены легкими РЗЭ — $(La/Yb)_N = 0,75$ при $Yb_N = 17$ (рис. 4). Наблюдается небольшая отрицательная европиевая аномалия — $Eu/Eu^* = 0,90$. Значения отношений больше единицы — $(Nb/La)_N = 1,14$ и $Nb/Nb^* = 1,42$ — указывают на отсутствие коровой контаминации.

Метаандезиты (скв. 309С, инт. 248-257 м, обр. 91-498) относятся к толеитовой серии (см. табл. 1, рис. 2). Они низкомагнезиальные, $mg\# = 0,32$ (см. табл. 1). В них очень низкое содержание Rb (8,35 ppm) (см. табл. 2). Отличаются высоким отношением K/Rb (792). В них повышенное количество Y (17,7 ppm) и умеренное Nb (2,45 ppm) и Yb (1,92 ppm), высокое содержание переходных элементов — V (310 ppm), Cr (103 ppm) и Ni (64,6 ppm). Спектр распределения РЗЭ слабо дифференцированный — $(La/Yb)_N = 1,15$ при $Yb_N = 11,6$ (см. рис. 4). Он очень сходен с графиком РЗЭ метаандезито-базальтов. Наблюдается небольшая

Таблица 1. Химический состав метавулканитов Новогоровской ЗС, %

Оксиды	1/91-270	2/91-500	3/91-489	4/91-498	5/91-558
SiO ₂	47,20	50,51	54,60	57,88	67,66
TiO ₂	0,66	1,30	1,20	0,94	0,40
Al ₂ O ₃	15,54	13,70	14,34	15,49	14,57
Fe ₂ O ₃	2,20	2,60	2,15	0,33	0,90
FeO	10,08	14,15	11,00	8,78	4,20
MnO	0,18	0,25	0,25	0,22	0,05
MgO	7,80	4,20	3,00	2,36	2,90
CaO	12,13	8,5	8,90	7,67	3,95
Na ₂ O	1,86	2,20	2,10	3,50	2,20
K ₂ O	0,29	0,50	0,50	1,00	1,50
S _{общ}	Следы	0,15	0,10	0,08	0,10
P ₂ O ₅	0,06	0,03	0,03	>0,02	0,02
CO ₂	0,46	—	—	—	—
H ₂ O ⁻	Следы	0,05	0,05	0,20	0,07
П.п.п.	1,30	1,94	1,57	1,70	1,37
Сумма	99,76	100,08	99,79	100,11	99,84
mg#	0,54	0,31	0,29	0,32	0,51
al'	0,77	0,65	0,89	1,35	1,82
FeO*/MgO	1,55	3,93	4,31	3,85	1,72

Примечание. 1 — метабазальт (КТ-2), скв. 300С, гл. 373,4 м (обр. 91-270); 2 — метабазальт (КТ-3), скв. 309С, гл. 260 м (обр. 91-500); 3 — метаандезито-базальт (КТ-3), скв. 309С, гл. 240 м (обр. 91-489); 4 — метаандезит (КТ-3), скв. 309С, инт. 248-257 м (обр. 91-498); 5 — метадацит (КТ-3?), скв. 310С, гл. 260,8 м (обр. 91-558). Анализы выполнены в ИГМР им. Н.П. Семененка НАН Украины.

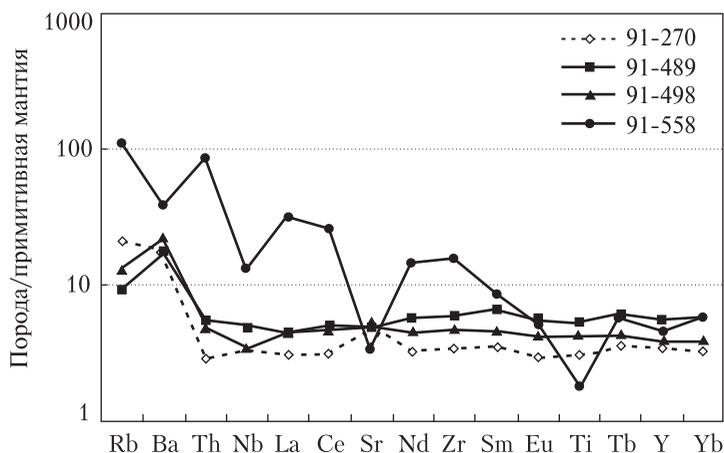


Рис. 3. График распределения РЗЭ для метавулканитов Новогорожской ЗС. Нормировано на состав хондрита С1 [7]

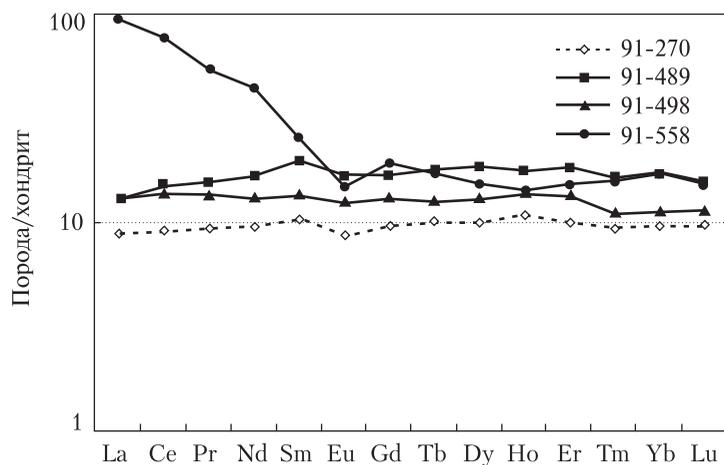


Рис. 4. Мультиэлементная диаграмма для метавулканитов Новогорожской ЗС. Нормировано на примитивную мантию [7]

Низкое значение отношения Nb/Ce (0,20) и высокие значения Zr/Y (8,6), Th/Yb (2,46) указывают на существенную контаминацию коровым веществом. Согласно геохимическим данным, метадациты образовались в коровом магматическом источнике (<40 км).

Таким образом, метабазальты, андезиты-базальты и андезиты парагенерации КТ-3 Новогорожской ЗС относятся к толеитовой серии и характеризуются низкой магнезиальностью ($mg\# = 0,29\div 0,32$). В этом ряду вулканитов наблюдается уменьшение суммарного содержания железа, магния и титана и увеличение содержания SiO_2 , Al_2O_3 и K_2O . Они имеют высокие отношения K/Rb (598–843). Графики распределения РЗЭ и спайдер-диаграммы андезитов и андезиты-базальтов очень близки. Согласно полученным данным, андезиты толеитовой серии могли образоваться в результате кристаллизационной дифференциации базитовой магмы из плюмового источника в малоглубинной магматической камере. Метадациты, находящиеся среди пород парагенерации КТ-3, относятся к известково-щелочной

отрицательная европиевая аномалия — $Eu/Eu^* = 0,94$. На мультиэлементной диаграмме выделяется небольшая отрицательная аномалия Nb и положительные аномалии Rb и Ba (см. рис. 3). Значения отношений меньше единицы — $(Nb/La)_N = 0,77$ и $Nb/Nb^* = 0,74$ — указывают на контаминацию коровым веществом.

Метадациты Новогорожской ЗС, находящиеся среди пород парагенерации КТ-3 [5] (скв. 310С, гл. 261,8 м, обр. 91-558), относятся к известково-щелочной серии (см. табл. 1, рис. 2). Они характеризуются высокой магнезиальностью — $mg\# = 0,51$ (см. табл. 1). В них умеренное содержание Rb (72,7 ppm) и Sr (73,6 ppm), повышенное содержание Cr (75,6 ppm) и Ni (52,9 ppm). На спайдер-диаграмме выделяются отрицательные аномалии Ba, Nb, Ti, Sr, Y (см. рис. 3). Они обогащены легкими РЗЭ — $(La/Yb)_N = 5,43$ при $Yb_N = 17,41$; $(La/Sm)_N = 3,81$; $(Yb/Gd)_N = 0,91$ (см. рис. 4). Отмечается отрицательная европиевая аномалия — $Eu/Eu^* = 0,68$ (см. табл. 2).

Таблица 2. Результаты анализов методом ICP-MS метавулканитов Новогоровской ЗС, ppm

Элементы	1/91-270	2/91-489	3/91-498	4/91-558	Элементы	1/91-270	2/91-489	3/91-498	4/91-558
Rb	13,20	5,88	8,35	72,70	Eu	0,50	0,96	0,72	0,86
Sr	102	100	112	73,60	Gd	1,90	3,53	2,68	3,94
Ba	130	128	156	276	Tb	0,38	0,66	0,47	0,64
V	224	349	310	62,90	Dy	2,53	4,70	3,26	3,96
Cr	247	16,80	103	75,60	Ho	0,62	1,00	0,78	0,81
Co	49,80	46,60	38,90	15,00	Er	1,64	3,06	2,23	2,51
Ni	65,40	41,30	64,60	52,90	Tm	0,24	0,42	0,28	0,40
Cu	47,80	—	—	—	Yb	1,63	2,89	1,92	2,96
Zn	81	—	—	—	Lu	0,25	0,40	0,29	0,39
Y	15,70	26	17,70	20,70	Pb	2,20	—	—	—
Nb	2,38	3,57	2,45	9,46	ΣP3Э	24,30	42,06	33,66	114,74
Ta	0,12	0,25	0,21	0,84	(La/Yb) _N	0,93	0,75	1,15	5,43
Zr	38,90	67,30	53,50	178	(La/Sm) _N	0,86	0,65	0,97	3,81
Hf	1,12	2,18	1,56	4,41	(Yb/Gd) _N	0,99	0,99	0,87	0,91
U	0,082	0,11	0,14	2,07	Eu/Eu*	0,86	0,90	0,94	0,68
Th	0,24	0,47	0,41	7,29	K/Rb	154	598	843	145
La	2,11	3,01	3,08	22,40	(Nb/La) _N	1,13	1,14	0,77	—
Ce	5,53	9,17	8,52	46,50	Nb/Nb*	1,13	1,42	0,74	—
Pr	0,89	1,50	1,29	5,17	Nb/Ce	0,43	0,39	0,29	0,20
Nd	4,41	7,77	6,08	20,40	Zr/Y	2,5	2,6	3,0	8,6
Sm	1,58	2,99	2,06	3,80	Th/Yb	0,15	0,16	0,21	2,46

Примечание. Содержание элементов определено методом ICP-MS в ЦЛ ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия.

серии и отличаются от андезитов большей магнизиальностью ($mg\# = 0,51$), глубокой отрицательной европиевой аномалией ($Eu/Eu^* = 0,68$), сильно контаминированы коровым веществом. Метадациты могли образоваться в результате смешения расплавов базитового и кислого составов или ассимиляции базитами вмещающих пород в малоглубинном магматическом источнике (<40 км).

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленокаменные пояса фундамента Восточно-Европейской платформы (геология и петрология вулкаников). Ленинград: Наука, 1988. 215 с.
2. Артеменко Г.В. Условия генерации вулкаников среднего и кислого состава в зеленокаменных поясах Украинского щита. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 1999. № 11. С. 112–116.
3. Kuno H. Origin of andesite and its bearing on the Island arc structure. *Bull. Volcanol.* 1968. **32**, Iss. 1. P. 141–176.
4. Barnes S.J., Van Kranendonk M.J. Archean andesites in the east Yilgarn craton, Australia: products of plume-crust interaction? *Lithosphere*. 2014. 6, No. 2. P. 80–92.
5. Бобров О.Б. Зеленокам'яні структури Оріхово-Павлоградської зони: перший досвід геологічного опису. Стаття 1. Новогорівська структура. *Мінерал. журн.* 2015. **37**, № 4. С. 68–77.
6. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Некряч А.И., Жданов Е.Н. Возраст метавулкаников Новогоровской зеленокаменной структуры (Западное Приазовье). *Докл. АН Украины.* 1992. № 9. С. 102–104.

7. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ.* 1989. № 42. P. 313–345.

Поступило в редакцію 17.10.2016

REFERENCES

1. Lobach- Zhuchenko, S. B. (Ed.). (1988). Greenstone belt of basement of the East European Platform (Geology and Petrology of volcanic rocks). Leningrad: Nauka (in Russian).
2. Artemenko, G. V. (1999). The conditions for the generation of volcanic rocks of intermediate and acid composition in the greenstone belts of the Ukrainian shield. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 11, pp. 112-116 (in Russian).
3. Kuno, H. (1968). Origin of andesite and its bearing on the Island arc structure. *Bull. Volcanol.*, 32, Iss. 1, pp. 141-176.
4. Barnes, S. J. & Van Kranendonk, M. J. (2014). Archean andesites in the east Yilgarn craton, Australia: products of plume-crust interaction? *Lithosphere*, 6, No. 2, pp. 80-92.
5. Bobrov, O. B. (2015). The Greenstone structure Orekhov-Pavlograd zone: first experience of geological description. Article 1. Novogorovka structure. *Mineral. zhurn.*, 37, No. 4, pp. 68-77 (in Ukrainian).
6. Shcherbak, N. P., Artemenko, G. V., Nekryach, A. I. & Zhdanov, E. N. (1992). Age of metavolcanics of Novogorovka greenstone structure (West Azov block). *Dokl. AN Ukr.*, No. 9, pp. 102-104 (in Russian).
7. Sun, S. S. & McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ.*, No. 42, pp. 313-345.

Received 17.10.2016

Г.В. Артеменко

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, Київ

E-mail: regul@yahoo.com

ГЕОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ І ГЕНЕЗИС МЕТААНДЕЗИТІВ І МЕТАДАЦИТІВ НОВОГОРІВСЬКОЇ ЗЕЛЕНОКАМ'ЯНОЇ СТРУКТУРИ (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

Метаандезити Новогорівської зеленокам'яної структури толеїтової серії (парагенерація КТ-3 коматіт-толеїтової формації) могли утворитися в результаті кристалізаційної диференціації базитової магми з плюмового джерела в малоглибинній магматичній камері (<40 км). Вони мають низьку магнезіальність ($mg\# = 0,32$). Метадацити, які виявлені серед порід цієї парагенерації, формувалися в іншому магматичному джерелі і, ймовірно, є більш пізніми. Вони належать до вапнисто-лужної серії, характеризуються високою магнезіальністю ($mg\# = 0,51$) і сильно контаміновані короною речовиною. Метадацити могли утворитися в результаті змішування розплавів базитового і кислого складів або асиміляції базитами вміщуючих порід у малоглибинному магматичному джерелі (<40 км).

Ключові слова: *метаандезит, метадацит, зеленокам'яна структура, коматіт-толеїтова формація, Український щит.*

G.V. Artemenko

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore-Formation of the NAS of Ukraine, Kiev

E-mail: regul@yahoo.com

GEOCHEMICAL PECULIARITIES AND GENESIS OF METAANDESITES AND METADACITES OF THE NOVOGOROVKA GREENSTONE STRUCTURE (UKRAINIAN SHIELD)

Metaandesites of tholeiitic series of paragenation KT-3 of metamorphosed komatiite-tholeiitic formation of Novogorovka GS can be formed as a result of the fractional crystallization of mafic magma from a plume source in the shallow magma chamber (<40 km). They have a low magnesium number ($mg\# = 0.32$). Metadacite located among the rocks of the paragenation of KT-3 were formed in a different magmatic source and are likely more recent. They belong to the calc-alkaline series, are characterized by high magnesium number ($mg\# = 0.51$) and strongly contaminated by a crustal material. Metadacite can be formed by mixing melts of the mafic and silicic compositions or by assimilation of host rocks by basites in a shallow magma chamber (<40 km).

Keywords: *metaandesite, metadacite, greenstone structure, komatiite-tholeiitic formation, Ukrainian Shield.*