

УДК 551.72+552.313(470.324)

ГЕОХРОНОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ КИСЛЫХ МЕТАВУЛКАНИТОВ ЛОСЕВСКОЙ СЕРИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

© 2014 г. Р. А. Терентьев, К. А. Савко,
член-корреспондент РАН А. В. Самсонов, А. Н. Ларионов

Поступило 01.10.2013 г.

DOI: 10.7868/S0869565214050235

Лосевская структурно-формационная зона входит в состав Восточно-Сарматского орогена [8] в полосе сочленения Сарматского и Волго-Уральского сегментов Восточно-Европейского кратона [9]. Эта структурно-формационная зона выполнена породами лосевской серии, в разрезе которой среди метатерригенных образований присутствуют метавулканиды контрастной базальт-плагиориолитовой и полимодальной базальт-андезит-плагиориолитовой ассоциаций [5]. Накопление лосевской серии относят как к позднему архею, предполагая аналогию Лосевской структурно-формационной зоны с зеленокаменными поясами Курской магнитной аномалии [1, 3], так и к раннему протерозою, параллелизуя лосевскую серию с воронцовской серией [2, 4]. Вследствие отсутствия однозначных доказательств обеих концепций в современной схеме стратиграфии и магматизма Воронежского кристаллического массива лосевской серии присвоен возраст от раннего архея до позднего протерозоя [7].

Для решения вопроса о возрасте и геодинамической позиции нижней (стрелицкой) толщи лосевской серии, включающей продукты контрастного вулканизма, были проведены минералогическое, петрографическое, петрохимическое, геохимическое и изотопное исследования метаморфизованных кислых пород из опорного разреза.

Плагиодациты, их дифференциаты — плагиориодациты и плагиориолиты и фациальные аналоги — туфы, слагают верхние части разреза стрелицкой толщи лосевской серии, где переслаиваются с зеленокаменными породами (метабазиты

толеитовой серии T-MORB типа [5]). Контакты пород четкие, резкие. В приконтактовых частях палеоэффузивных и палеосубвулканических тел присутствуют включения метабазитов в виде линз размером до 2×4 см. Преобладающая часть кислых пород обладает реликтовой порфировой структурой. Вкрапленники представлены кварцем и плагиоклазом при преобладании последнего. Гранобластовая, лепидогранобластовая основные ткани сложены (об. %) кварцем (40–60), альбит-олигоклазом (50–30), серицитом (10–15), хлоритом и эпидотом (0–10). В зонах повышения P – T -условий метаморфизма в парагенезисе с кварцем и плагиоклазом появляется биотит.

По петрохимическому составу рассматриваемые породы представляют собой сингенетический ряд плагиодацит–плагиориодацит–плагиориолит (SiO_2 64.8–73.5 мас. %) и относятся к семейству высокоглиноземистых ($\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 2.1–6.9), низкощелочных ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 7$ мас. %) риодацитов с низким (< 0.5) $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$.

Плагиориолиты обогащены относительно примитивной мантии в 40–50 раз крупноионными литофильными элементами Rb, Ba, K, обладают сильно фракционированными спектрами РЗЭ ($(\text{La}/\text{Yb})_N$ 21 ± 4) без европейских аномалий (Eu/Eu^* 1.0 ± 0.13), высоким (74 ± 22) Sr/Y. Наиболее близким геохимическим аналогом метаморфизованных кислых пород стрелицкой толщи лосевской серии являются плагиодациты–плагиориолиты надсубдукционных обстановок (высококремнеземистые адакиты [10]). Геохимический облик плагиориолитов, их ассоциация с базальтами T-MORB [5] и мощными толщами граувакк, накапливавшихся по типу лавинной седиментации в условиях узкой динамично развивающейся глубоководной котловины [6], позволяют рассматривать формирование стрелицкой толщи лосевской серии в обстановке, соответствующей современным крайним морям.

Воронежский государственный университет
Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва
Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург

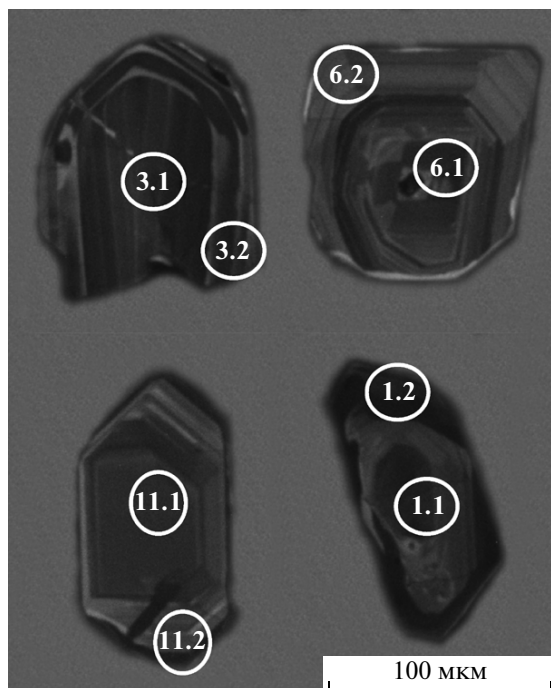


Рис. 1. Цирконы в метаплагиориолите лосевской серии (катодная люминесценция). Верхние два зерна с магматической зональностью в краевых участках как секущей зональностью центра (зерно 3), так и согласной ей (зерно 6). Нижние зерна с азональными (темные участки) оболочками роста. Номера аналитических точек соответствуют приведенным в табл. 1.

Определение времени формирования стрелицкой толщи лосевской серии базируется на результатах SIMS U–Pb-анализов цирконов из плагиориолита вулканогенного типа разреза (скв. 7782, глубина 188.5–193.0 м). Анализ выполнен в центре изотопных исследований ВСЕГЕИ на ионном микрозонде SHRIMP-II по стандартной методике, следуя процедуре, описанной в [11].

Выделенные из образца весом ~800 г цирконы (~20 зерен) представлены полупрозрачными кристаллами и их обломками, подавляющая часть которых несет следы механической абразии. Последнее в сочетании с многообразием морфологических форм цирконов, представленных призматическими, короткопризматическими и изометричными кристаллами, предполагает, что изученный образец плагиориолита содержит ксеногенные цирконы, привнесенные из осадков.

По внутреннему строению изученные цирконы близки и характеризуются тонкой осциллирующей зональностью (рис. 1), что предполагает их исходную магматическую природу. В пяти зернах цирконов присутствуют оболочки дорастания, изотропные в катодолюминесцентном свечении. Границы между изотропными оболочками и зональными частями зерен четкие, иногда неровные, со следами резорбции центральных частей.

Все цирконы имеют умеренные концентрации Th и U, Th/U 1–0.15 и обычно уменьшаются во внешних частях кристаллов. Зерна с высокими концентрациями U и Th/U < 0.1, характерные для сильно дифференцированных гранитов и мигматитов, не отмечены.

По возрастным характеристикам цирконы достаточно однородны. За исключением одного зерна архейского возраста остальные датированные цирконы (23 анализа в центральных и краевых частях 14 зерен) образуют единую группу со средневзвешенным $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -возрастом 2176 ± 10 млн лет, СКВО 1.5, что в пределах пересечения дискордии (2180 ± 12 млн лет, СКВО 1.5) (рис. 2). Однако при анализе $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -возрастов заметна слабовыраженная дискретность их распределения с обособлением значений около 2.20, 2.17 и 2.14 млрд лет (табл. 1), что может указывать на присутствие в плагиориолитах нескольких возрастных групп цирконов с близкими значениями возрастов.

Полученные изотопно-геохронологические данные в сочетании с морфологическими особенностями цирконов указывают на присутствие в плагиориолитах ксеногенных цирконов кластогенного происхождения. Попадание таких ксеногенных цирконов могло быть связано либо с захватом риолитовым расплавом терригенных осадков, подстилавших вулканогенную толщу, либо с поступлением претерпевшим выветривание обломочного материала при накоплении вулканогенной толщи, вскрытой скв. 7782.

Вопрос о времени кислого вулканизма лосевской серии однозначно решить не удалось. Можно лишь предполагать, что эти вулканы не древнее 2140 млн лет, принимая во внимание результаты анализа двух зерен. В этом случае подтверждается комагматичность габброидов рождественского комплекса с изотопным возрастом около 2120–2130 млн лет и толеитов стрелицкой толщи, выявленная по петрогеохимическим данным. Различие составов источников сноса для метатерригенных пород лосевской и сопряженной с ней с востока воронцовской серий [6] при близости изотопных возрастов подтверждает принадлежность стратонов к разным сегментам Восточно-Европейского кратона [5].

Полученные U–Pb-датировки цирконов свидетельствуют о ведущей роли палеопротерозойских источников при формировании терригенных осадков лосевской серии и хорошо согласуются с изотопно-геохимическими характеристиками плагиориолитов (ϵNd_{2140} от +1.8 до +2.9, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{2140}$ от 0.70129 до 0.70232), которые свидетельствуют о ювенильном палеопротерозойском источнике их магм с минимальной долей архейской коровой компоненты [8].

Таблица 1. Результаты U–Pb-исследований цирконов из метаплагиориолита стрелицкой толщи лосевской се-
ри (скв. 7782, глубина 188.5–193.0 м, проба Т-7)

№ зерна, точки анализа	$^{206}\text{Pb}_c$, %	U, г/г	Th, г/г	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*$, г/г	(1)	(1)	D, %	(1)	±, %	(1)	±, %	(1)	±, %	Корреляция ошибок
						Возраст $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$, млн лет	Возраст $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$, млн лет		$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$		$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$		$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$		
Азональные участки (точка 9.1 – центр, остальные – оболочки)															
9.1	0.16	171	163	0.99	57.9	2140 ± 15	2133 ± 19	–0.3	0.1327	1.10	7.200	1.3	0.3936	0.81	0.599
15.2	0.15	267	49	0.19	90.6	2141 ± 13	2139 ± 15	–0.1	0.1331	0.87	7.228	1.1	0.3939	0.72	0.641
7.2	0.21	444	85	0.20	146.0	2080 ± 14	2155 ± 14	3.6	0.1343	0.81	7.049	1.1	0.3807	0.79	0.696
11.2	0.83	236	50	0.22	77.3	2060 ± 15	2161 ± 27	4.9	0.1347	1.50	6.990	1.8	0.3765	0.86	0.487
1.2	0.38	291	42	0.15	89.2	1958 ± 10	2172 ± 14	11.0	0.1356	0.81	6.635	1.0	0.3548	0.61	0.603
Зональные участки (центральные части зерен и оболочки)															
16.1	0.23	243	94	0.40	82.1	2134 ± 13	2163 ± 15	1.4	0.1349	0.88	7.300	1.1	0.3924	0.71	0.631
5.1	0.29	64	28	0.45	21.9	2144 ± 20	2164 ± 30	0.9	0.1350	1.70	7.340	2.1	0.3947	1.10	0.539
1.1	0.22	109	72	0.68	35.8	2080 ± 14	2165 ± 23	4.1	0.1351	1.30	7.090	1.5	0.3809	0.77	0.510
8.1	–	409	246	0.62	138.0	2129 ± 12	2168 ± 11	1.9	0.1353	0.64	7.300	0.9	0.3913	0.66	0.716
3.2	1.26	153	104	0.70	53.5	2168 ± 15	2171 ± 25	0.1	0.1355	1.40	7.470	1.6	0.3998	0.84	0.510
3.1	2.57	85	58	0.71	29.5	2125 ± 17	2173 ± 39	2.3	0.1357	2.30	7.310	2.4	0.3905	0.92	0.377
15.1	0.41	220	92	0.43	70.3	2033 ± 13	2176 ± 18	7.0	0.1359	1.00	6.946	1.3	0.3707	0.75	0.584
5.2	1.93	132	66	0.52	40.3	1923 ± 18	2180 ± 44	13.4	0.1362	2.50	6.530	2.8	0.3476	1.10	0.394
11.1	0.13	135	72	0.55	46.6	2172 ± 16	2193 ± 22	1.0	0.1372	1.20	7.580	1.5	0.4006	0.87	0.574
14.1	0.14	71	24	0.35	23.9	2124 ± 30	2194 ± 30	3.3	0.1374	1.70	7.390	2.4	0.3903	1.70	0.703
10.1	0.53	67	43	0.66	23.9	2226 ± 21	2196 ± 38	–1.3	0.1375	2.20	7.820	2.5	0.4124	1.10	0.455
6.2	0.81	55	22	0.42	18.1	2083 ± 23	2198 ± 42	5.5	0.1376	2.40	7.240	2.7	0.3814	1.30	0.465
17.1	0.02	200	32	0.16	67.7	2140 ± 14	2199 ± 15	2.7	0.1377	0.85	7.478	1.1	0.3938	0.74	0.658
6.1	0.03	72	44	0.63	24.5	2152 ± 20	2199 ± 27	2.1	0.1377	1.50	7.530	1.9	0.3964	1.10	0.584
17.2	0.02	291	66	0.23	99.7	2163 ± 13	2200 ± 13	1.7	0.1378	0.73	7.575	1.0	0.3987	0.68	0.682
9.2	0.20	55	21	0.39	18.1	2079 ± 21	2204 ± 31	6.0	0.1381	1.80	7.250	2.1	0.3807	1.20	0.552
7.1	–	133	68	0.53	46.5	2199 ± 17	2206 ± 20	0.3	0.1383	1.10	7.750	1.5	0.4065	0.90	0.618
12.1	–	87	53	0.62	29.7	2148 ± 18	2229 ± 22	3.8	0.1402	1.30	7.650	1.6	0.3955	0.97	0.600
Относительно древний обломок															
4.2	0.07	249	133	0.55	101.0	2486 ± 15	2724 ± 13	9.6	0.1880	0.79	12.190	1.1	0.4705	0.71	0.666
4.1	0.05	200	187	0.96	82.8	2532 ± 15	2730 ± 12	7.8	0.1886	0.71	12.510	1.0	0.4811	0.72	0.713

Примечания. Ошибки для интервала ±1σ; Pb_c и Pb* – нерадиоогенный и радиоогенный свинец соответственно; (1) – коррекция на Pb_c по измеренному ^{204}Pb ; D, % – дискордантность $100 \cdot [(\text{возраст } ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})/(\text{возраст } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) - 1]$; ошибки калибровки – 0.29. Анализы выполнены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ, аналитик А.Н. Ларионов.

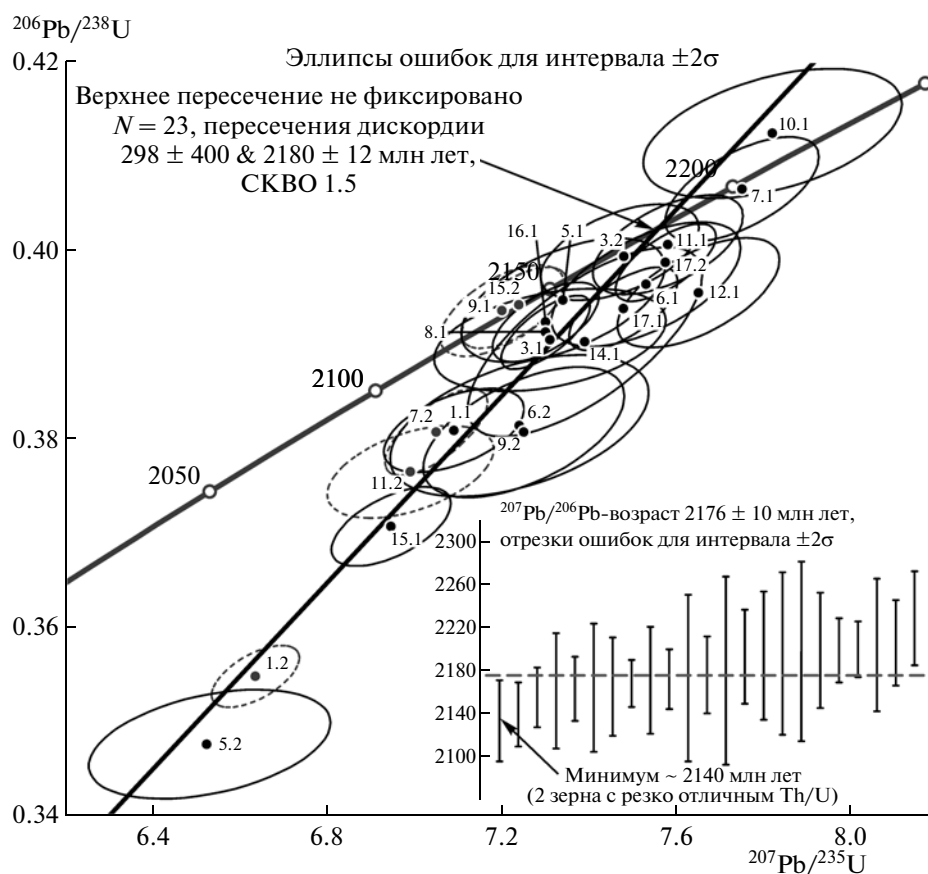


Рис. 2. Изотопные свинцово-урановые отношения и распределение $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -возраста (на врезке) в цирконах из метаплагиориолитов (скв. 7782, глубина 188.5–193.0 м). Центры тяжести эллипсов ошибок изотопных отношений показаны точками: черные – зональные, серые – азональные участки зерен. Номера аналитических точек соответствуют приведенным в табл. 1.

Приведенные геохимические и изотопные данные позволяют сформулировать следующие выводы.

1. Плагиориолиты стрелицкой толщи лосевской серии сформировались в надсубдукционной обстановке, принимая во внимание их химизм.

2. Формирование стрелицкой толщи лосевской серии происходило в палеопротерозое не ранее чем 2140 млн лет в обстановке, соответствующей современным окраинным морям.

3. Изотопно-геохимические данные свидетельствуют о ювенильном палеопротерозойском источнике кислых магм и преобладании палеопротерозойских источников при формировании терригенных осадков с минимальной долей архейской коровой компоненты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голивкин Н.И., Леоненко И.Н., Полищук В.Д. и др. В кн.: Геология, формационный анализ, петрология и металлогенетическая специализация кристаллических образований Русской платформы. Воронеж, 1972. С. 9–11.
2. Горбунов С.И., Зайцев Ю.С., Чернышов Н.М. // Сов. геология. 1969. № 10. С. 8–25.
3. Зайцев Ю.С. // Изв. АН СССР. Серия геол. 1979. № 11. С. 23–30.
4. Леоненко И.Н., Голивкин Н.И., Зайцев Ю.С. и др. В кн: Геология, петрология и металлогения кристаллических образований Восточно-Европейской платформы. М.: Недра, 1976. Т. 1. С. 83–91.
5. Терентьев Р.А. // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. 2005. № 1. С. 81–94.
6. Терентьев Р.А. // Вестн. ВГУ. Сер. геология. 2013. № 1. С. 127–138.
7. Чернышов Н.М., Альбеков А.Ю., Рыборак М.В. // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геология. 2009. № 2. С. 33–40.
8. Щипанский А.А., Самсонов А.В., Петрова А.Ю., Ларионова Ю.О. // Геотектоника. 2007. № 1. С. 43–70.
9. Bogdanova S.V., Gorbatshev R., Garetsky R.G. In: Encyclopedia of Geology. Amsterdam: Elsevier, 2005. V. 2. P. 34–49.
10. Martin H., Smithies R.H., Rapp R., Moyen J.-F. // Lithos. 2005. V. 79. P.1–24.
11. Larionov A.N., Andreichiev V.A., Gee D.G. // Mem. Geol. Soc. London. 2004. V. 30. P. 69–74.