

U-PB ИЗОТОПНЫЙ ВОЗРАСТ И ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ АНДЕЗИТОВЫХ ПОРФИРИТОВ КУРСКОГО БЛОКА ВОСТОЧНОЙ САРМАТИИ

С. В. Цыбуляев, К. А. Савко

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 27 сентября 2018 г.

Аннотация: одним из проявлений вулканизов в пределах Курского блока Восточной Сарматии являются андезитовые порфириды глазуновской свиты, вскрытые в пределах Никитовского участка одной скважиной 2926 на северном фланге Орловско-Тимской синформы. Андезитовые порфириды характеризуются содержанием $SiO_2=57-61\%$ и повышенной магнезиальностью ($Mg\#=0,45-0,62$). Они относятся к метаглиноземистым калиево-натровым ($Na_2O/K_2O=1,1-3,2$) породам. По соотношению K_2O-SiO_2 порфириды являются высококалийевыми разностями щелочно-известковистой серии. Установлен возраст их формирования - 2067 ± 5 млн лет. При сопоставлении геохронологических данных и интерпретации дискриминантных диаграмм тектонических обстановок наиболее вероятным представляется формирование андезитовых порфиридов в постколлизивной геодинамической обстановке.

Ключевые слова: Сарматия, Курский блок, геохронология, изотопный возраст, андезиты, циркон.

U-PB ISOTOPE AGE AND TECTONIC POSITION OF THE PALEOPROTEROSOIC ANDESITE PORPHYRITES, KURSK BLOCK, EASTERN SARMATIA

Abstract: one of the manifestations of volcanics within the Kursk block of Eastern Sarmatia is the andesite porphyrites of the Glazunovka suite, opened by one well 2926 on the northern flank of the Oryol-Tim sinform. Andesitic porphyrites are content ($SiO_2 = 57-61\%$ and increased magnesium ($Mg \# = 0,45-0,62$)). They belong to metaaluminous potassium-sodium ($Na_2O / K_2O = 1,1-3,2$) rocks. According to the $K_2O - SiO_2$ ratio, porphyrites are high-potassium alkali-calcareous series differences. The eruption age of Glazunovka suite andesite porphyrites from the Kursk block of East Sarmatia is determined at 2067 ± 5 Ma. Our geochronological data and discriminant diagram interpretation suggest that eruption of the andesite porphyrites occurred in post-collisional setting.

Key words: Sarmatia, Kursk block, geochronology, isotope age, andesites, zircon.

Введение

Палеопротерозойские вулканиды являются индикаторами геодинамических режимов континентальной коры Курского блока Восточной Сарматии (КБВС). Одним из таких проявлений является вулканическая породная ассоциация глазуновской свиты, вскрытая в пределах Никитовского участка одной скважиной 2926 на северном фланге Орловско-Тимской синформы (рис. 1).

Скважина 2926 была пробурена в 1972 году и помимо андезитов глазуновской серии, также вскрыла подстилающие их базальты. О причинах формирования базальт-андезитовой ассоциации было высказано несколько противоречащих друг другу версий. Одни исследователи объединяли породы среднего и основного состава в единую андезит-базальтовую формацию [1]. Другие выделяли две вулканические формации нижнепротерозойского возраста: трапповую и более позднюю андезитовую [2, 3], либо объединяли

вулканогенные породы глазуновской свиты (толщи) с габбро-долеритами смородинского комплекса в состав единой вулканоплутонической ассоциации [4, 5]. С позиции геодинамического анализа В. М. Холин и Ю. Н. Стрик [6] отнесли вулканиды основного состава к поздней стадии рифтогенеза Орловско-Тимской структуры и коррелировали их с базальтами тимской свиты, а вулканиды среднего состава приписали к андезитам орогенных обстановок.

Все вышеперечисленные утверждения основывались на сопоставлении химического состава вулканидов Курского блока с составами эффузивов эталонных геодинамических формаций. Ранее полученный U-Pb изотопный возраст цирконов из андезитовых порфиридов [7] оценивается в 2115 ± 79 млн лет, что на настоящий момент не может дать однозначного ответа об их стратиграфическом положении и подтвердить одну из вышеперечисленных схем корреляции.

Цель настоящей статьи – определение U-Pb изо-

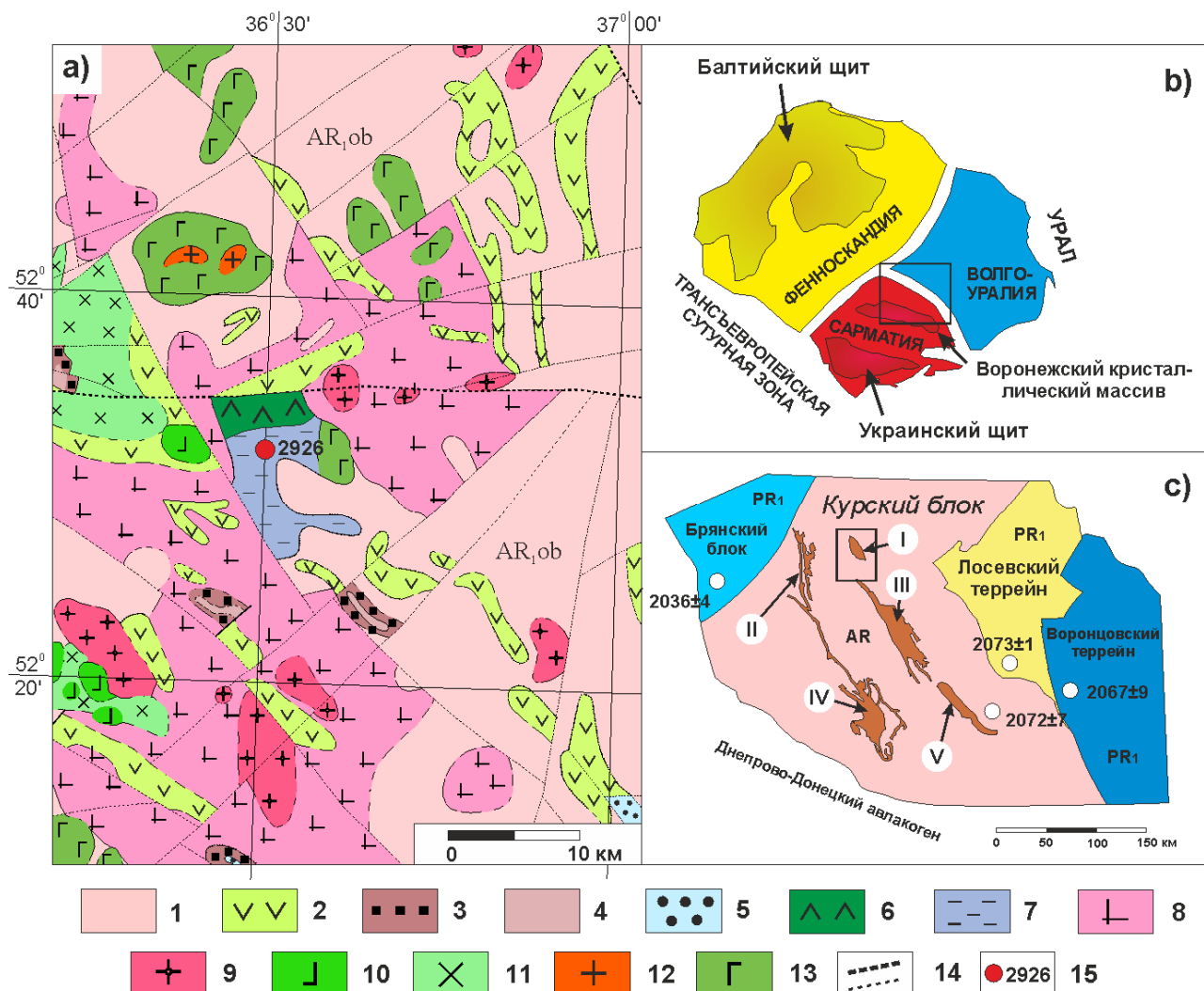


Рис. 1. Положение породных комплексов глазуновской свиты в пределах Курского блока Восточной Сарматии: а) схематическая геологическая карта Никитовского участка, б) схема сегментов Восточно-Европейского кратона по [15], в) структурная схема Курского блока, положение в нём структур палеопротерозойского возраста по [16]. Белыми точками обозначен возраст метаморфизма [17]. Условные обозначения к рис. 1а: 1 – обоянский комплекс (AR₁ob); 2 – михайловская серия (AR₂mh); 3 – стойленская свита (PR₁st); 4 – коробковская свита (PR₁kr); 5 – роговская свита (PR₁rg); 6 – тимская свита (PR₁tm); 7 – глазуновская свита (PR₁gl); 8 – салтыковский комплекс (pγAR₁sl); 9 – атаманский комплекс (γPR₁at); 10 – золотухинский комплекс (vPR₁z); 11 – стойло-николаевский комплекс (γδPR₁sn); 12 – малиновский комплекс (γPR₁ml); 13 – смородинский комплекс (vPR₁sm); 14 – разрывные нарушения различного ранга; 15 – скважины и их номера. Условные обозначения к рис. 1с: палеопротерозойские синформы КБВС: I – Орловская, II – Михайловская, III – Тим-Ястребовская, IV – Белгородская, V – Волотовская.

топного возраста по цирконам из андезитовых порфиров глазуновской свиты Курского блока и тектонической обстановки формирования на основе их геохимических признаков.

Геологическая позиция

Никитовский участок, в пределах которого вскрыты образования глазуновской свиты, расположен в южной части Орловской структуры (ОС), являющейся фрагментом палеопротерозойской Тим-Ястребовской грабен-синклинали. «Рама», обрамляющая Никитовский участок, представлена палеопротерозойскими хемогенно-терригенными метаосадками курской и оскольской серий, несогласно залегающих на архейском фундаменте, большую часть территории которого

занимают гранито-гнейсы обоянского комплекса, тоналит-грандьемит-гранодиориты салтыковского комплекса и зеленокаменные породы михайловской серии.

Образования глазуновской свиты мощностью 790 метров вскрыты единственной скважиной 2926 (рис. 2). Они несогласно залегают на метабазах тимской свиты. В основании глазуновской свиты (PR₁gl) имеется пачка конгломерато-брекчий мощностью 53 метра, обломки которых представлены базальтами, базальтовыми метапорфиритами и апобазальтовыми амфиболитами, по минеральному составу и структуре идентичными породам нижней базальтоидной пачки тимской свиты [8]. Выше по разрезу образования свиты представлены тремя пачками пирокластических (туфы,

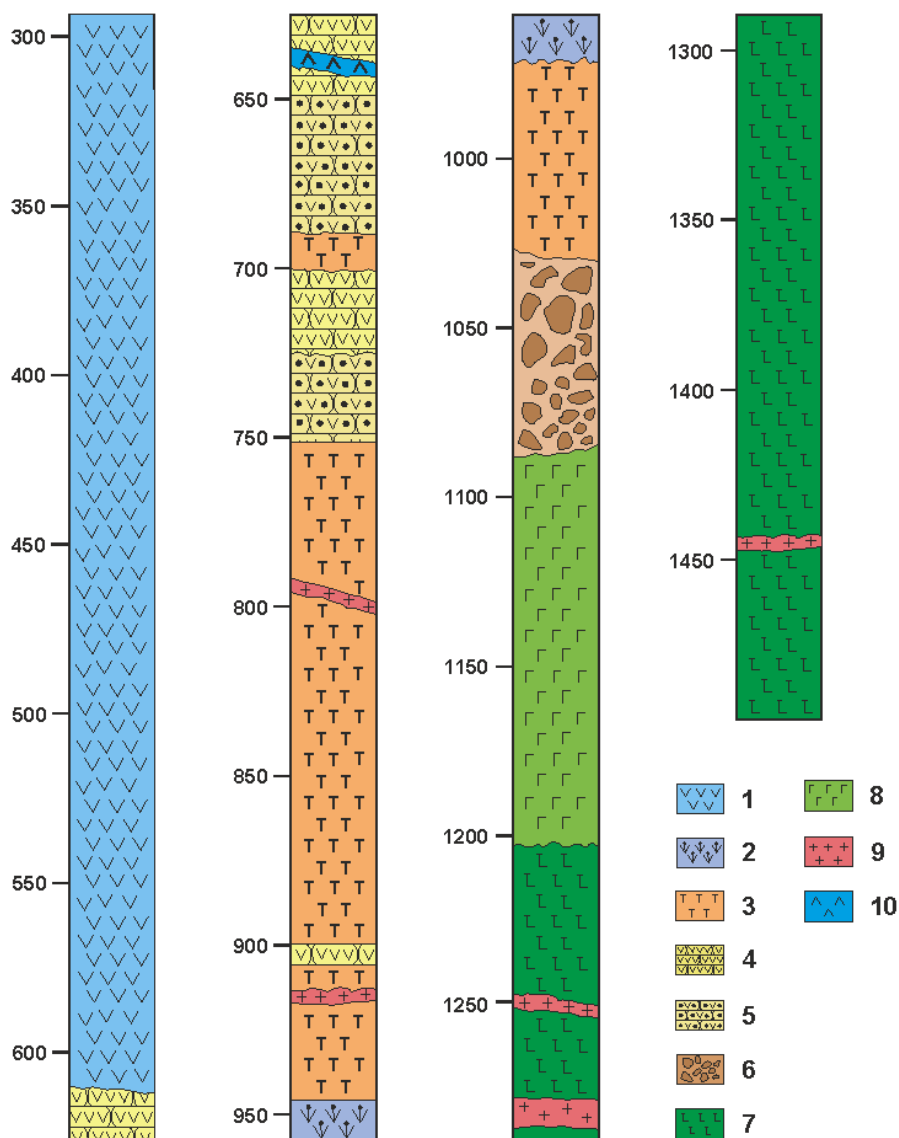


Рис.2. Стратотипический разрез глазуновской свиты (скв. 2926) по [6] с упрощениями. Условные обозначения: 1-6 – образования глазуновской свиты: 1 – андезитовый порфирит, 2 – лавобрекчия андезитового состава, 3 – туфы андезитового состава, 4 – туффиты андезитового состава, 5 – туфоконгломераты, туфогравелиты, 6 – конгломерато-брекчии, 7 – metabазальты, апобазальтовые амфиболиты тимской свиты, 8 – габбро-долериты смородинского комплекса, 9 – дайки гранитов, 10 – дайка микродиоритовых порфиров.

лавобрекчии андезитовых порфиров) и туфогенных пород (туффиты, туфогравелиты, туфоконгломераты): нижняя залегает в интервале 1031–903,5 м, средняя пачка – 903,5–750,0 м, верхняя пачка – 750,0–611,6 м. Верхняя часть разреза (около 320 м) сложена субвулканическими породами – андезитовыми порфиритами. Пирокластические и субвулканические образования свиты проявляют сходные петрохимические характеристики [8]. Однако туфы характеризуются большими вариациями химического состава, что связано с терригенной примесью, поэтому в данной работе мы рассматриваем только субвулканические образования.

Петрография и петрохимия

Как уже отмечалось выше, субвулканические разновидности глазуновской свиты представлены анде-

зитовыми порфиритами.

Андезитовые порфириты представляют собой породы темно-серого цвета, с порфиловыми выделениями плагиоклаза размером до 1,5–4 мм. Их количество колеблется от 30 до 80 %, в среднем составляет 50 %. Под микроскопом породы имеют полифизическую структуру. Вкрапленники представлены резко доминирующим нередко зональным плагиоклазом (30–80 %) и амфиболом (до 15 %). Обычно вкрапленники расположены беспорядочно, но иногда ориентированы в одном направлении, образуя директивную текстуру. Центральные части зональных плагиоклазов представлены лабрадором (An_{56-62}), краевые – андезином (An_{32-37}). Амфибол образует зёрна размером от 0,2 до 1,5 мм, зелёного до сине-зеленого цвета и диагностируется как магнезиальная роговая обманка ($Si=6,5-7,0$;

Mg/Mg+Fe²⁺=0,6–0,7), иногда по периферии кристаллов роговой обманки наблюдаются выделения магнетита, образующего рудную оторочку (рис. 3). Основная масса (до 55 %), выполняющая промежутки между зернами плаггиоклазов и амфиболов сложена калишпат-кварц-плаггиоклазовым агрегатом с примесью биотита, амфибола, эпидота и представляет собой тонко-мелкозернистую основную ткань. Акцессорные мине-

ралы представлены цирконом, апатитом, магнетитом.

Андезитовые порфиры характеризуются содержанием SiO₂=57–61 % и повышенной магнезиальностью (Mg#=0,45–0,62). Они относятся к метаглиноземистым калиево-натровым (Na₂O/K₂O=1,1–3,2) породам. По соотношению K₂O–SiO₂ порфиры являются высококальциевыми разновидностями щелочно-известковистой серии (рис. 4 а-г).

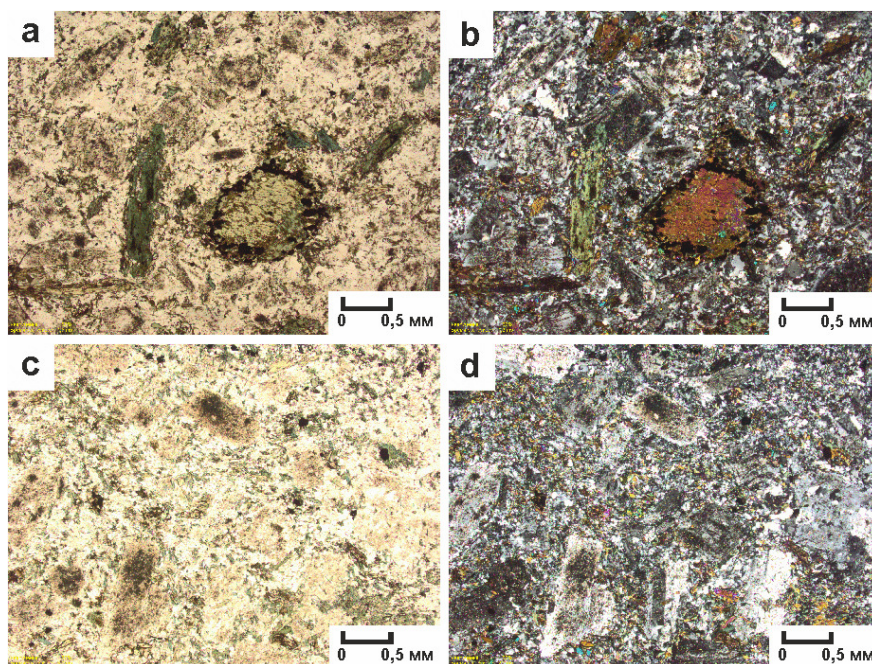


Рис. 3. Фото шлифов андезитовых порфиритов: а, б – обр. 2926/402, с, д – обр. 2926/443. Слева без анализатора, справа с анализатором.

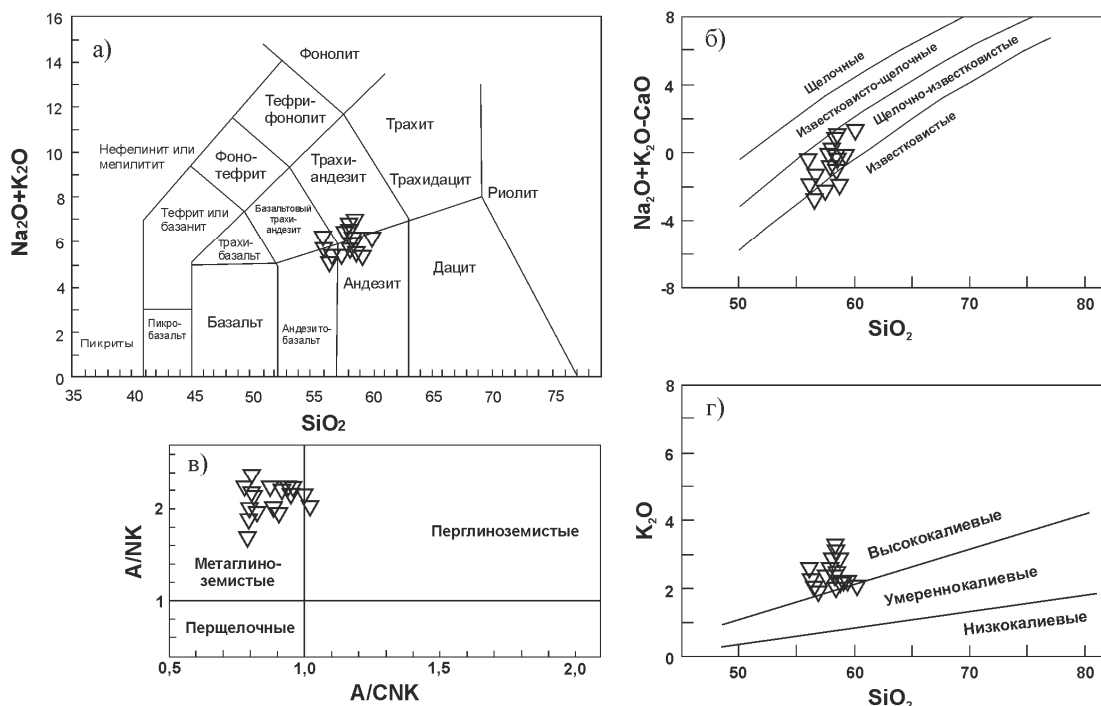


Рис. 4. Составы вулканитов глазуновской свиты на классификационных диаграммах: а) TAS [18]; б) Na₂O+K₂O-CaO – SiO₂ [19]; в) A/NK (в молекулярных количествах Al₂O₃/(Na₂O+K₂O))-A/CNK (в молекулярных количествах Al₂O₃/(CaO-Na₂O+K₂O)) [20]; г) K₂O-SiO₂ [21].

U-Pb изотопный возраст

Измерения абсолютного возраста цирконов из андезитовых порфиров глазуновской свиты (обр. 2926/449,6) выполнены с помощью мультиколлекторного вторично-ионного масс-спектрометра высокого разрешения SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, по стандартной методике [9, 10] с использованием эталонных цирконов «91500» и «Томога». При расчетах использовали константы распада, предложенные в работе [11], и вводили поправку на нерадиоγενный свинец по [12] на основе измеренного отношения $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Полученные результаты обрабатывали с помощью программ «SQUID v1.12» и «ISOPLOT/Ex 3.22» [13, 14].

Цирконы из андезитовых порфиров представлены субидiomорфными, редко идиоморфными короткопризматическими кристаллами и их обломками размером до 200–400 мкм (рис. 5). Цирконы прозрачные и полупрозрачные, а в зонах, содержащих включения других минеральных фаз и трещины, приобретают светло-коричневую от слабой до насыщенной окраску. В катодной люминесценции в цирконах отмечается осцилляционная концентрическая зональность, что предполагает их исходную магматическую природу.

Результаты изотопного датирования приведены на рис. 6 и в табл. 1. Возраст андезитовых порфиров по верхнему пересечению с конкордией оценивается как 2074 ± 12 млн лет. Однако, согласно общемировой

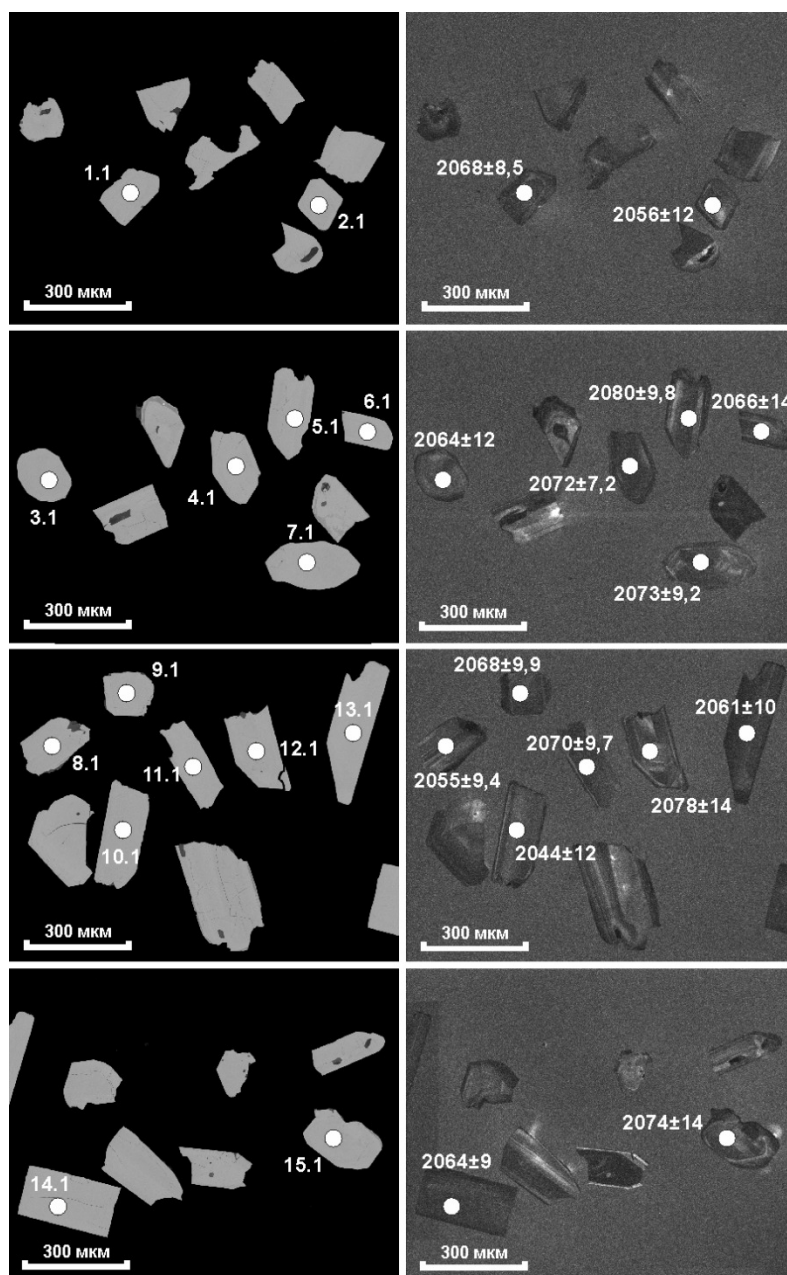


Рис. 5. Изображения цирконов из андезитовых порфиров глазуновской свиты (обр.2926/449,6). Слева – снимки в отраженном свете; справа – в катодной люминесценции. Точками отмечены места U-Pb изотопных исследований и значения возрастов ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) в млн лет.

практике обработки результатов U-Pb исследований, выполненных локальными методами, приоритетным в качестве оценки возраста докембрийских цирконов считаются средние величины возраста ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$). Средневзвешенный $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возраст цирконов из андезитовых порфиритов составил 2067 ± 5 млн лет.

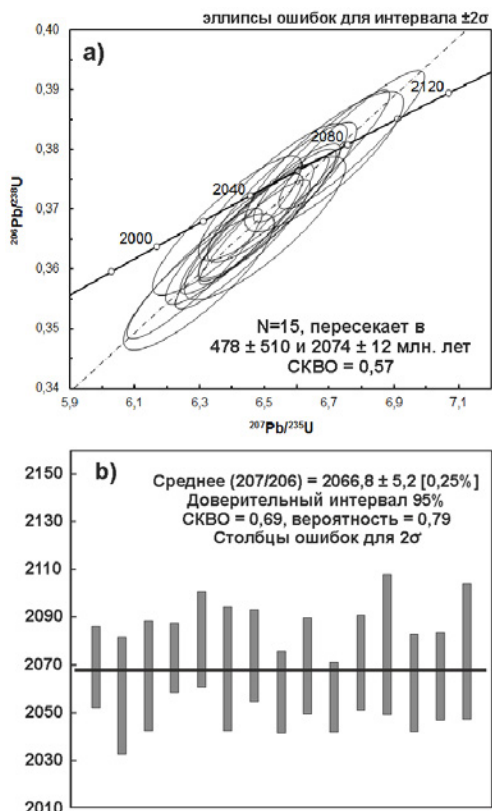


Рис. 6. Результаты изотопного датирования цирконов из андезитовых порфиритов глазуновской свиты КБВС.

Тектоническая позиция

Полученные значения возраста цирконов из андезитовых порфиритов «моложе» пика коллизионного события, зафиксированного в восточной части Курского блока и маркируемого региональным метаморфизмом с возрастом 2072 ± 7 млн лет [17]. Данное обстоятельство позволяет говорить о формировании породной ассоциации глазуновской свиты на пост-коллизионном этапе развития коры. В пользу чего выступает положение точек составов андезитовых порфиритов на дискриминантной диаграмме, используемой для определения геодинамической обстановки формирования средних пород [22] (рис. 7).

Выводы

Неоднозначная трактовка тектонических условий формирования докембрийских вулканитов в пределах Курского блока, связана как с «закрытостью» территории осадочным чехлом, что делает недоступным её для прямого изучения, так и с отсутствием прецизионных датировок. Полученные нами изотопные данные позволили установить положение андезитовых

Таблица 1

Результаты U-Pb локальных анализов цирконов из андезитовых порфиритов глазуновской свиты (обр. 2926/449, 6)

Точка	$^{206}\text{Pb}_e, \%$	U, ppm	Th, ppm	$^{206}\text{Pb}^*, \text{p}$	$^{232}\text{Th} / ^{238}\text{U}$	Возраст, млн лет		D, %	$^{238}\text{U} / ^{206}\text{Pb}$	±%	$^{207}\text{Pb}^* / ^{206}\text{Pb}^*$	±%	$^{207}\text{Pb}^* / ^{35}\text{U}$	±%	$^{206}\text{Pb}^* / ^{238}\text{U}$	±%	Err corr
						$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$										
1.1	0,00	225	81	73,3	0,37	2071±21	2068±8,4	0	2,64	1,2	0,12781	0,48	6,676	1,3	0,3789	1,2	0,929
2.1	0,12	136	103	43,6	0,78	2043±22	2056±12	1	2,682	1,3	0,12693	0,69	6,526	1,4	0,3729	1,3	0,875
3.1	0,06	139	47	44,6	0,35	2043±22	2064±12	1	2,682	1,3	0,12751	0,66	6,555	1,4	0,3728	1,3	0,890
4.1	0,02	363	322	115	0,92	2020±21	2072±7,2	3	2,717	1,2	0,12807	0,41	6,5	1,3	0,3681	1,2	0,946
5.1	0,01	215	151	70,5	0,73	2084±22	2080±9,8	0	2,62	1,2	0,12865	0,55	6,769	1,4	0,3816	1,2	0,913
6.1	0,06	119	58	36,7	0,50	1972±22	2066±14	5	2,794	1,3	0,12764	0,77	6,298	1,5	0,3578	1,3	0,862
7.1	0,03	218	178	68,1	0,85	2001±21	2073±9,2	4	2,747	1,2	0,12815	0,52	6,433	1,3	0,3641	1,2	0,919
8.1	0,05	200	171	61,8	0,88	1978±21	2055±9,4	4	2,784	1,2	0,12689	0,54	6,284	1,4	0,3592	1,2	0,918
9.1	0,07	188	134	59,7	0,74	2028±22	2068±9,9	2	2,705	1,2	0,12783	0,56	6,516	1,4	0,3697	1,2	0,911
10.1	0,12	127	95	40,3	0,77	2016±22	2044±12	1	2,723	1,3	0,1261	0,7	6,385	1,5	0,3672	1,3	0,878
11.1	0,03	186	141	58,9	0,79	2025±21	2070±9,7	2	2,71	1,2	0,12792	0,55	6,509	1,3	0,369	1,2	0,912
12.1	0,14	93	62	29,4	0,69	2014±23	2078±14	3	2,726	1,3	0,1285	0,81	6,5	1,6	0,3668	1,3	0,854
13.1	0,10	185	115	58	0,64	2006±21	2061±10	3	2,74	1,2	0,1273	0,58	6,406	1,4	0,365	1,2	0,904
14.1	0,08	238	152	74,9	0,66	2013±21	2064±9	3	2,728	1,2	0,12752	0,51	6,446	1,3	0,3666	1,2	0,921
15.1	0,03	113	55	36,9	0,50	2067±22	2074±14	0	2,646	1,3	0,1283	0,79	6,684	1,5	0,378	1,3	0,847

Примечание: ошибки возраста для доверительного интервала 1σ; Pb_e и Pb* – нерадиоактивный и радиоактивный свинец, соответственно. Ошибка калибровки стандарта (1σ) – 0,52%. Коррекция на Pb_e по измеренному ^{206}Pb . D, % – дискордантность.

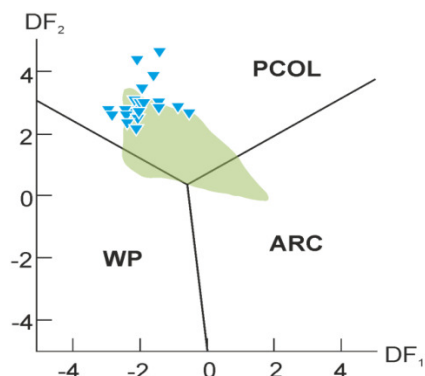


Рис. 7. Дискриминантная диаграмма для андезитов глазуновской свиты [22]. Треугольники – составы андезитовых порфириров, поле – составы андезитовых туфов по [6]. Поля андезитов: ARC – островных дуг, WP – внутриплитных и PCOL – постколлизийных обстановок.

$$DF1 = -2,45605 \ln(TiO_2/SiO_2) + 1,11985 \ln(Al_2O_3/SiO_2) - 2,22475 \ln(Fe_2O_3/SiO_2) + 2,48861 \ln(FeO/SiO_2) - 0,212024 \ln(MnO/SiO_2) - 0,06661 \ln(MgO/SiO_2) + 1,29066 \ln(CaO/SiO_2) - 0,28377 \ln(Na_2O/SiO_2) - 0,40211 \ln(K_2O/SiO_2) + 0,030635 \ln(P_2O_5/SiO_2) - 11,43097347$$

$$DF2 = -0,57759 \ln(TiO_2/SiO_2) - 0,01121 \ln(Al_2O_3/SiO_2) + 0,69125 \ln(Fe_2O_3/SiO_2) - 1,99798 \ln(FeO/SiO_2) - 1,72014 \ln(MnO/SiO_2) + 0,305275 \ln(MgO/SiO_2) + 0,816018 \ln(CaO/SiO_2) - 1,791727 \ln(Na_2O/SiO_2) + 0,871298 \ln(K_2O/SiO_2) + 0,335479 \ln(P_2O_5/SiO_2) - 12,20158596$$

порфириров в стратиграфической схеме Курского блока Восточной Сарматии и определить геодинамическую обстановку формирования как постколлизийную.

Благодарности

Авторы благодарны Ю. Н. Стрику и В. М. Холину за ценные консультации при написании настоящей статьи. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00058.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крестин, Е. М. Вулканизм нижнего протерозоя Курско-Воронежского кристаллического массива / Е. М. Крестин // Вулканизм докембрия (материалы Второго Всесоюзного палеовулканического симпозиума). – Петрозаводск. – 1976. – С. 111–118.
2. Быков, И. Н. Некоторые аспекты петрогенеза раннепротерозойской андезитовой серии северной части Воронежского кристаллического массива / И. Н. Быков, Ю. Н. Стрик // Тез. Докл. VII симп. по геохимии магматических пород. – 1981. – С. 16.
3. Быков, И. Н. Рудные минералы вулканитов трапповой и андезитовой формаций раннего протерозоя северной части КМА / И. Н. Быков, Т. П. Коробкина // Деп. в ВИНТИ № 2224-83. – Воронеж. – 1983. – 117 с.
4. Чернышов, Н. М. Вулкано-плутоническая ассоциация основных пород позднего докембрия КМА / Н. М. Чернышов, В. Л. Бочаров, В. С. Чесноков // Вопросы петрологии и рудоносности основного-ультраосновного магматизма Воронежского кристаллического массива. – Воронеж. – 1974. – С. 26–31.

Воронежский государственный университет

Савко Константин Аркадиевич, д. г.-м. н., профессор, заведующий кафедрой полезных ископаемых и недропользования E-mail: ksavko@geol.vsu.ru; Тел.: 8-915-544-21-64

Цыбуляев Сергей Владимирович, аспирант кафедры полезных ископаемых и недропользования.

E-mail: stsybulyaev@bk.ru; Тел.: 8-930-408-88-91

5. Чернышов, Н. М. Траппы Курской магнитной аномалии. / Н. М. Чернышов, В. С. Чесноков // – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та. – 1983. – 276 с.

6. Холин, В. М. О соотношении базальтового и андезитового вулканизма глазуновской свиты КМА / В. М. Холин, Ю. Н. Стрик // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2000. – № 5 (10). – С. 115–120.

7. Артеменко, Г. В. Геохронологическая корреляция вулканизма и гранитоидного магматизма юго-восточной части Украинского щита и Курской магнитной аномалии / Г. В. Артеменко // Геохимия и рудообразование. – 1995. – Вып. 21. – С. 129–142.

8. Холин, В. М. Геология, геодинамика и металлогеническая оценка раннепротерозойских структур КМА: автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук / В. М. Холин. – Воронеж. – 2001. – 24 с.

9. Williams, I. S. U-Th-Pb Geochronology by ion microprobe / I. S. Williams // Applications in micro analytical techniques to understanding mineralizing processes. – Rev. Econ. Geol. – 1998. – V. 7. – P. 1–35.

10. Larionov, A. N. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite / A. N. Larionov, V. A. Andreichev, D. G. Gee // Gee D. G., Pease V. L. (Eds.). The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society London Memoirs. – 2004. – V. 30. – P. 69–74.

11. Steiger, R. H. Subcommittee on geochronology: convention of the use of decay constants in geo- and cosmochronology / R. H. Steiger, E. Jäger // Earth Planet. Sci. Lett. – 1977. – V. 36. – P. 359–362.

12. Stacey, J. S. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model / J. S. Stacey, J. D. Kramers // Earth Planet. Sci. Lett. – 1975. – V. 26. – P. 207–221.

13. Ludwig, K. R. SQUID 1.12 A User's Manual. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel / K. R. Ludwig // Berkeley Geochronology Center Special Publication. – 2005. – 22 p.

14. Ludwig, K. R. Isoplot. Ex ver. 3.6. / K. R. Ludwig // Berkeley Geochronology Center Special Publications, 2008. – № 4. – 77 p.

15. Gorbatshev, R. Frontiers in the Baltic Shield / R. Gorbatshev, S. Bogdanova // Precambrian Res. – 1993. – V. 64. – P. 3–21.

16. Савко, К. А. Мегаблок Сарматия как осколок суперкратона Ваалбара: корреляция геологических событий на границе архея и палеопротерозоя / К. А. Савко, А. В. Самсонов, В. М. Холин, Н. С. Базиков // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2017. – Т. 25. – № 2. – С. 3–26.

17. The Early Precambrian metamorphic events in Eastern Sarmatia / K. A. Savko [et al.] // Precambrian Res. – 2018. – V. 301. – P. 1–23.

18. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee of the Systematics of Igneous Rocks. / R. W. Le Maitre [et al.] // Cambridge University Press. – 2002. – 236 p.

19. A geochemical classification for granitic rocks / B. R. Frost [et al.] // Journal of Petrology – 2001. – V. 42. – P. 2033–2048.

20. Maniar, P. D. Tectonic discrimination of granitoids / P. D. Maniar, P. M. Piccoli // Geol. Soc. Am. Bull. – 1989. – V. 101. – P. 636–643.

21. Rickwood, P. C. Boundary lines within petrologic diagrams, which use oxides of major and minor elements / P. C. Rickwood // Lithos. – 1989. – V. 22. – P. 247–263.

22. Verma, S. P. First 15 probability-based multidimensional tectonic discrimination diagrams for intermediate magmas and their robustness against postemplacement compositional changes and petrogenetic processes / S. P. Verma, S. K. Verma // Turkish Journal of Earth Sciences. – 2013. – V. 22. – № 6. – P. 931–995

Voronezh State University

Savko K. A., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of the Mineral Resource Department E-mail: ksavko@geol.vsu.ru; Тел.: 8-915-544-21-64

Tsybulyaev S. V., Postgraduate of the Mineral Resource Department

E-mail: stsybulyaev@bk.ru; Тел.: 8-930-408-88-91