

ВЫСОКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НЕОАРХЕЙСКИХ РИОЛИТОВ КУРСКОГО БЛОКА ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА: РЕЗУЛЬТАТЫ МИНЕРАЛЬНОЙ ТЕРМОМЕТРИИ

Н. В. Холина, К. А. Савко, В. М. Холин

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 27 июля 2016 г.

Аннотация: в пределах Курского блока Воронежского кристаллического массива неоархейские высококремнистые ультракалиевые риолиты с вкрапленниками голубого кварца характеризуются температурами кристаллизации 850–870 °С, определенными с помощью TiQ и TiZr геотермометров. Такие высокие температуры кристаллизации предполагают, что источник их расплавов имел состав сухих горячих гранитоидов А-типа, которые образуются в обстановках континентальных рифтов и горячих точек.

Ключевые слова: неоархей, ВКМ, Тим-Ястребовская структура, геохимия, температура кристаллизации, титан-кварцевый геотермометр, титан-циркониевый геотермометр.

HIGH TEMPERATURE CRYSTALLIZATION NEOARCHEAN RHYOLITES OF THE KURSK BLOCK, VORONEZH CRYSTALLINE MASSIF: THE MINERAL THERMOMETRY RESULTS

Annotation: within the Kursk Block Neoproterozoic high-silica ultrapotassic rhyolites imbedded with blue quartz are characterized crystallization temperatures 850–870 °C as determined by TiQ and TiZr geothermometers. Such high crystallization temperatures suggest that the source of the melt had a composition of dry hot-reduced A-type granites, which are formed in continental rift environments and hot spots.

Key words: Neoproterozoic, VKM, Tim Yastrebovskaya structure, geochemistry, crystallization of temperature, Ti-Q geothermometer, Ti-Zr geothermometer.

Введение

В основании разреза терригенно-хемогенных толщ палеопротерозоя Курского блока (КБ) в Тим-Ястребовской структуре (ТЯС) залегают калиевые риолиты с возрастом 2612 млн лет [1] (рис. 1). На них развита кора выветривания, которая перекрывается конгломератами базального горизонта стойленской свиты (рис. 2) курской серии. Эти отложения являются геохронологическим репером, маркирующим перерыв и начало образования морского бассейна, где впоследствии формировались палеопротерозойские железисто-кремнистые формации (ЖКФ) (рис. 2). Таким образом, излияние риолитовых магм является важным геологическим событием в истории КБ, так как с одной стороны является верхним временным рубежом для неоархейского рифтогенеза, когда формировались базитовые толщи михайловской серии, а с другой – нижним возрастным ограничением высокого стояния континента и корообразования с последующей трансгрессией в условиях пассивной континентальной окраины и накоплением терригенных и хемогенных осадков.

Риолиты характеризуются высокими содержаниями SiO₂ и K₂O и являются ультракалиевыми и высококремнистыми (high silica rhyolite – HSR) породами с вкрапленниками голубого кварца. Такие особенности предполагают высокие температуры кристаллизации расплавов, которые, однако, не определены количественно. Цель настоящей статьи – оценить температуры кристаллизации риолитов с использованием минеральных термометров по содержаниям Ti в кварце и цирконе.

Геолого-структурное положение

Ультракалиевые метариолиты распространены локально, только в южном обрамлении ТЯС, где они сохранились от размыва в отдельных структурно-фациальных зонах (рис. 1). Стратиграфическое положение пород установлено точно, так как в ряде скважин (5321, 12-а и др.) на толще вулканитов с размывом и угловым несогласием залегают метапесчаники, кварцитопесчаники и метаконгломераты стойленской свиты курской серии. Максимальная видимая мощность отложений до 300 м (скв. 5321).

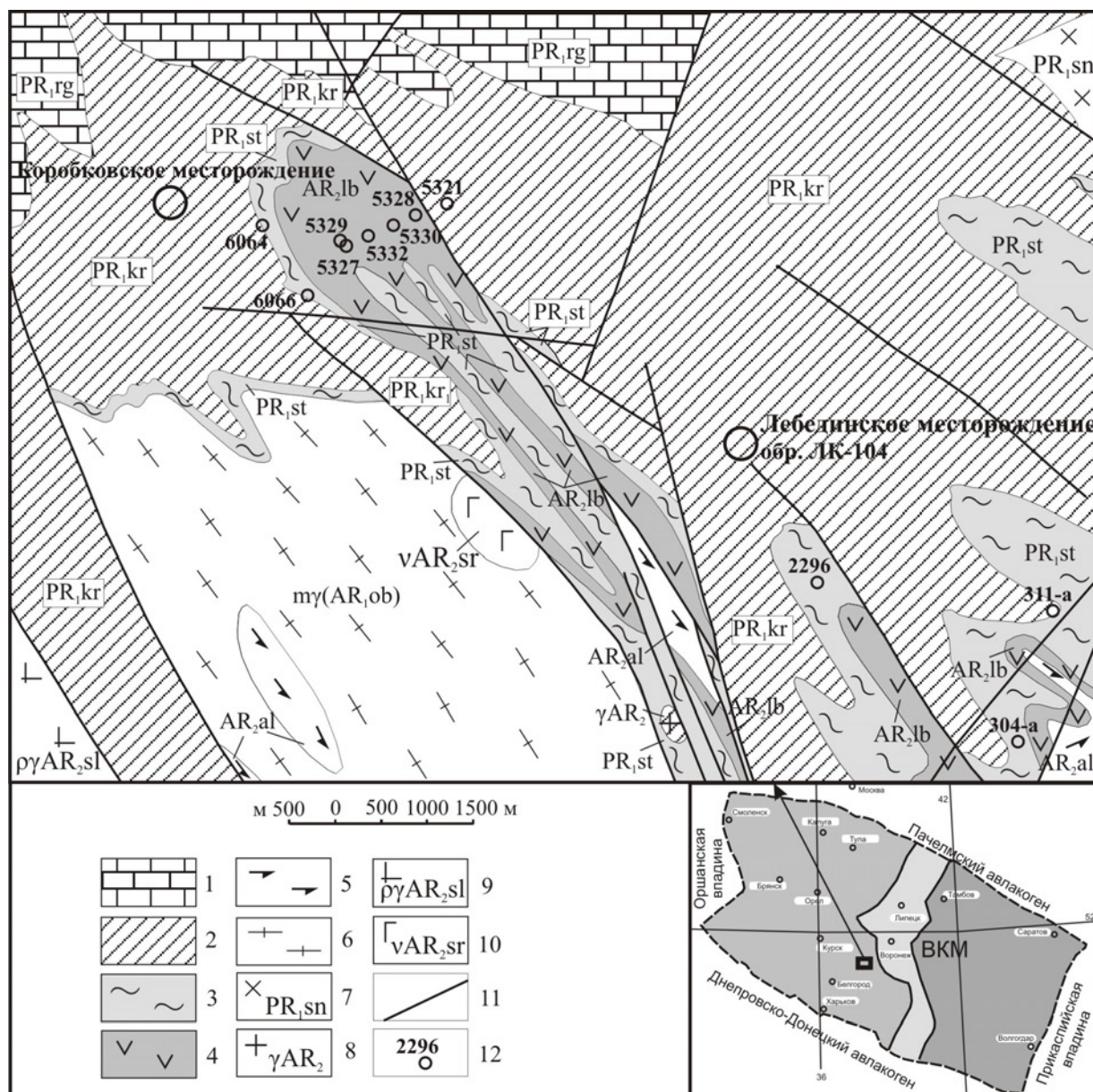


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Старооскольского рудного района КМА с расположением скважин, вскрывших лебединскую свиту михайловской серии. **Палеопротерозой.** *Оскольская серия:* 1 – роговая свита. Кварцево-сланцевые сланцы, метаморфизованные известняки и доломиты, метаалевролиты, метапесчаники, конгломераты. *Курская серия.* 2-3: 2 – коробковская свита. Кварциты магнетитовые, железослюдково-магнетитовые, магнетит-гематитовые, силикатно-магнетитовые; сланцы кварц-биотитовые, кварц-амфиболовые, кварц-хлоритовые, углеродистые, с прослоями метапесчаников, метаалевролитов. 3 – стойленская свита. Сланцы кварц-биотитовые, кварц-серицитовые, кварц-хлоритовые, кварц-двуслюдные, часто углеродистые, метапесчаники, кварциты, метагравелиты, метаконгломераты, метаалевролиты. Неоархей. 4-5 – Михайловская серия: 4 – лебединская свита. Метариолиты, метариодациты, метадациты, сланцы кварц-биотитовые, кварц-двуслюдные, кварц-хлоритовые, иногда метапесчаники, кварциты; 5 – александровская свита. Ортоамфиболиты, ортосланцы основного и ультраосновного состава, изредка прослои кварцитов, маломощные линзы бедных железистых кварцитов, мигматитовые гнейсы и гранито-гнейсы. **Интрузивные породы.** Мезоархей. 6 – обоянский комплекс. ТТГ ассоциация пород, часто разнгейсованных и мигматизированных. Палеопротерозой: 7 – стойло-николаевский комплекс. Гранодиориты, диориты. 8-9 – Неоархей: 8 – гранит-порфиры, порфирировидные граниты; 9 – салтыковский комплекс. Плагииграниты, тоналиты, гранодиориты; 10 – сергеевский комплекс – амфиболизированное габбро, 11 – региональные разломы; 12 – скважины и их номера.

В разрезах скважин (5321, 5329 и др.) отмечены маломощные прослои метапесчаников, разделяющие толщу вулканических пород на отдельные пачки и фиксирующие прерывистый характер процесса вулканизма. Количество потоков в разрезах скважин установить трудно, практически только наличие прослоев

осадочных пород указывает на их присутствие (рис. 2).

Абсолютный возраст, определенный U-Pb методом по циркону из ультракалийных риолитов Лебединского участка (гидрогеологическая шахта под Лебединским железорудным карьером, обр. ЛК-104), составляет 2612 ± 10 млн лет (SHRIMP) [1].

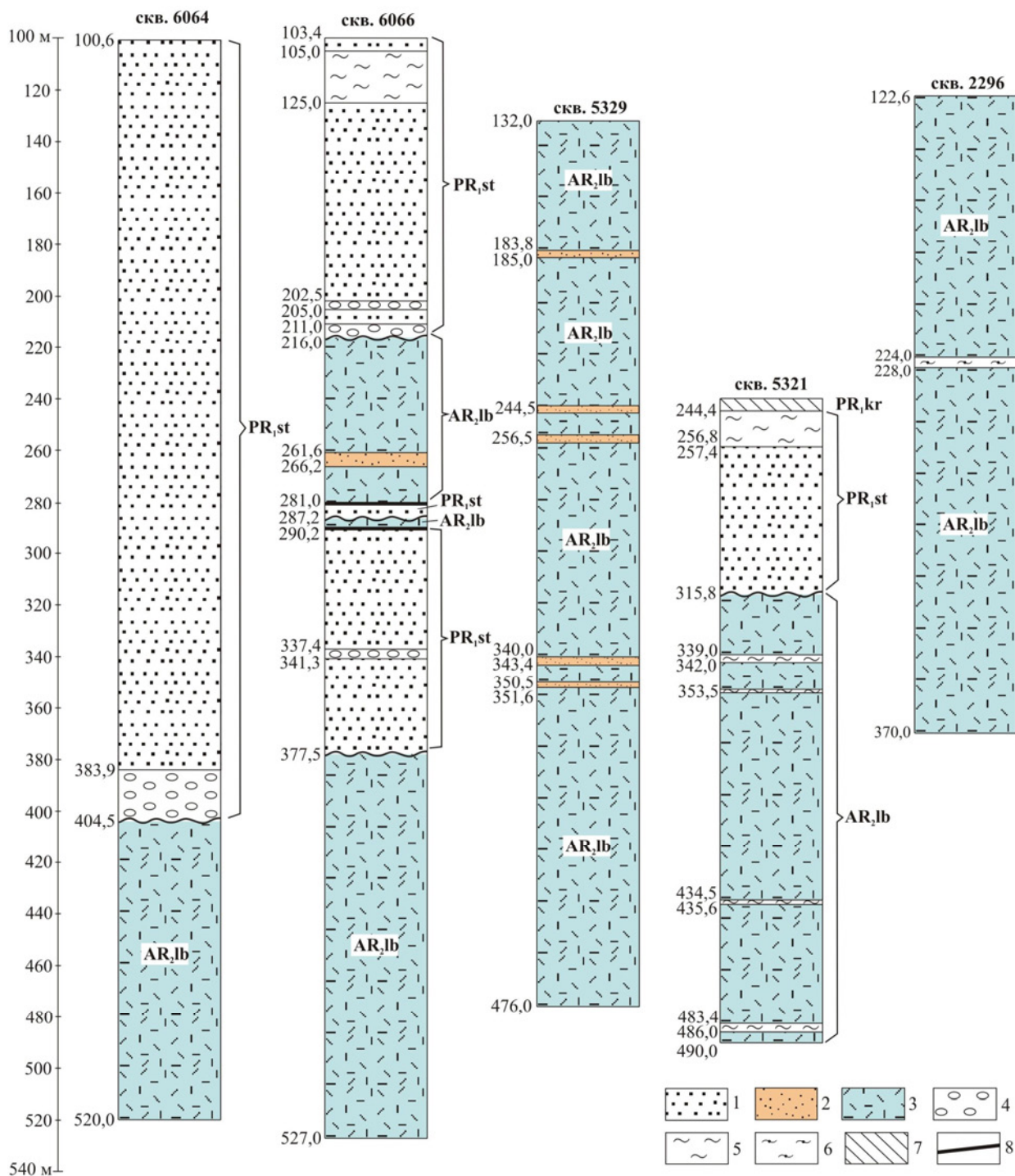


Рис. 2. Разрезы скважин, вскрывших ультракалевые метариолиты: 1 – кварцевый метапесчаник (PR₁st); 2 – кварц-биотит-полевошпатовый метапесчаник (AR₂lb); 3 – метариолиты (AR₂lb); 4 – конгломераты (PR₁st); 5 – сланцы кварц-биотитовые, биотит-мусковитовые; 6 – сланцы биотит-амфиболовые; 7 – сланцы и железистые кварциты курской серии (PR₁kr); 8 – разломы.

Петрография

Среди кислыхэффузивов наибольшим распространением пользуются литокристаллокластические метатифириолитового состава (с.кв. 311а, 304а, 2296, 5328 и др.) и метариолиты (с.кв. 2296, 5327, 5328, 5329, 6066 и др.) (рис. 3). Все породы подверглись региональному метаморфизму при температурах 450–500 °С и давлениях около 2–3 кбар [2, 3], рассланцованы в различной степени, участками до мусковит-кварцевых

сланцев. По этой причине в риолитах отсутствует вулканическое стекло, перекристаллизованное при метаморфизме.

Метатифы риолитового состава и метариолиты макроскопически схожи, серой и светло-серой окраски иногда с розовым оттенком, сланцеватой текстуры, структура порфировидная, обусловленная наличием в мелкозернистой основной массе крупных зерен (кристаллокластов и порфировидных вкрапленников)

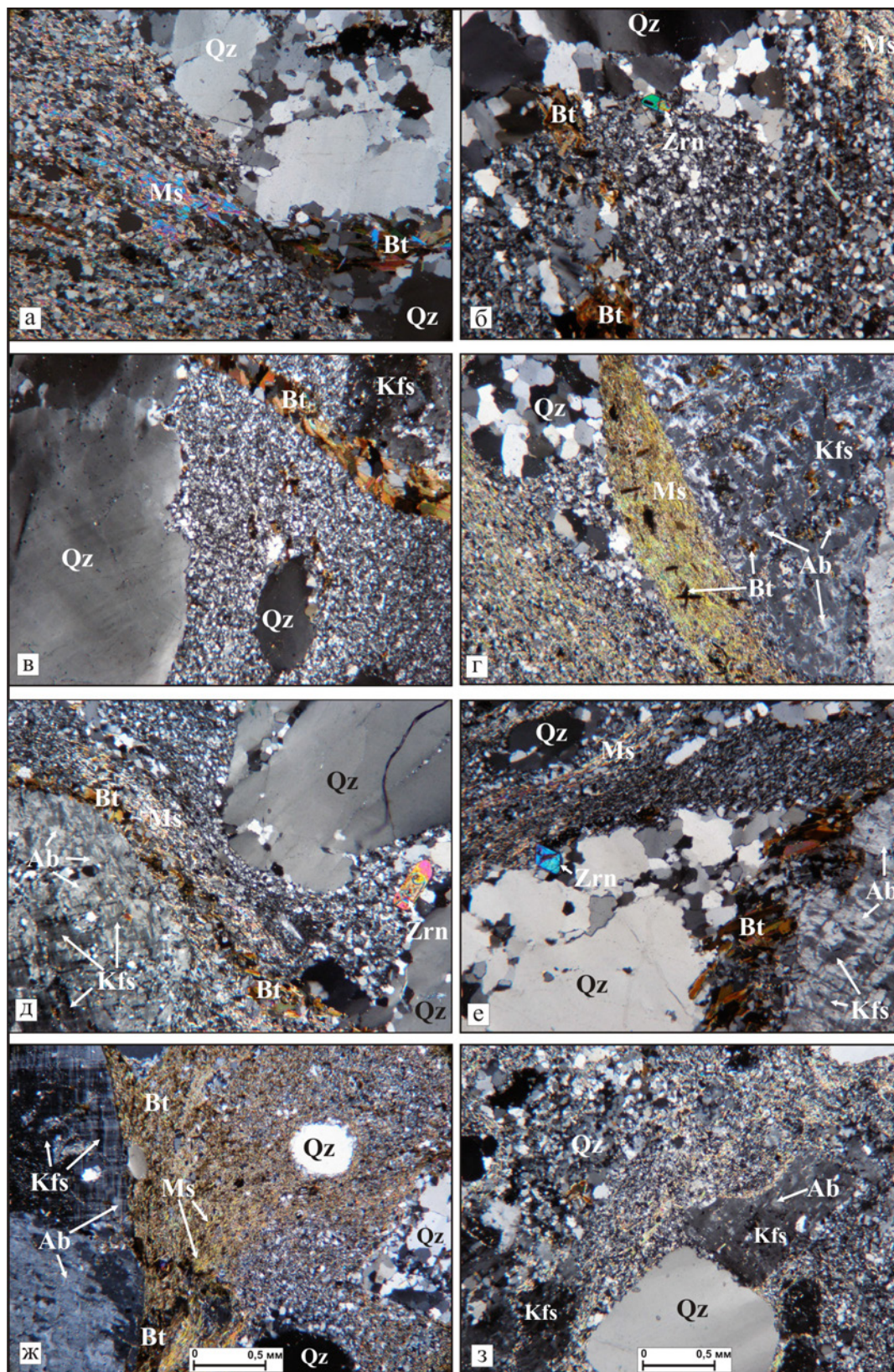


Рис. 3. Снимки участков шлифов из кислых метавулканитов лебединской свиты михайловской серии КМА: а – туфопесчаник (скв. 2296/149,5 м); б – туфопесчаник (скв. 2296/211,5 м); в – метатuff риолитового состава (скв. 2296/250,5 м); з – метатuff риолитового состава (скв. 5328/326,2 м); д – метатuff риолитового состава (скв. 5329/170,8 м); е – метатuff риолитового состава (скв. 5329/170,8 м); ж – метатuff риолитового состава (скв. 5327/149,5 м); з – метатuff риолитового состава (скв. 5329/386,6 м).

кварца, микроклина. В метатифах часто наблюдаются мелкие обломки кристаллических биотитовых сланцев, метапесчаников. Микроскопически породы характеризуются порфировой, порфиробластовой структурой с гранобластовой, лепидогранобластовой и микролепидогранобластовой структурами основной массы (рис. 3).

Резко преобладающими являются вкрапленники кварца характерного бледно-голубого цвета (иногда до 10 мас. %). Их форма преимущественно угловато-округлая, иногда наблюдаются кристаллы близкие к прямоугольной или шестиугольной форме размером до 5–7 мм. Порфиробласты кварца нередко содержат многочисленные включения биотита, мусковита в виде отдельных зерен, скоплений. Ориентировки распределения вкрапленников не наблюдается. Кроме вкрапленников присутствуют ксенокристаллы, образующие агрегаты мелких зерен. Ксенокристаллы кварца срastaются в отдельные участки или прерывистые полосы.

Методика аналитических исследований

Содержания Ti в кварце и цирконах и других элементов примесей в цирконах определялись методом вторично-ионной масс-спектрометрии в Ярославском Филиале Физико-Технологического Института РАН (ЯФ ФТИАН РАН) с использованием вторично-ионного микрозонда CAMECA IMS-4F. Методика измерений в основном соответствовала методике, изложенной в [4, 5]. Кристаллы цирконов для анализа закреплялись эпоксидной смолой в цилиндрических шашках с отполированными верхними поверхностями. На поверхность шашек была напылена тонкая

пленка золота толщиной 0,03 мкм. Основные пункты методики измерений изложены в [6].

Термометрия кристаллизации риолитовых магм

Для определения температуры кристаллизации риолитового расплава использовалось два геотермометра: титан-кварцевый геотермометр и титан-цирконовый.

Так как кислые метавулканиды характеризуются большим количеством вкрапленников голубого кварца, то для определения температуры кристаллизации расплава использовался "Ti-in-quartz" геотермометр [7]. Для этого необходимо определить содержания титана в кварце. Концентрации Ti в метаморфическом и магматическом кварце достаточно высокие (более чем 100 ppm) и, следовательно, их можно определить количественно. Использование этого геотермометра предполагает изовалентное изоморфное замещение кремния Si^{4+} четырехвалентным ионом Ti^{4+} . Активность Ti во многих системах фиксируется почти чистой фазой TiO_2 (обычно рутилом). Поэтому химический потенциал Ti, а так же степень замещения титаном кремния в кварце меняются закономерно с изменением температуры. Это предполагает, что изначально магматический расплав содержал концентрации и Ti, и Si. В процессе кристаллизации расплава образовались кварц и рутил (в виде включений в кварце), находящиеся в равновесии.

Содержания титана во вкрапленниках голубого кварца были определены с помощью SIMS (см. раздел Методика...) для двух образцов – из скв. 5327 (содержание иголок рутила в кварце примерно 0,5 %), скв. 5329 (содержание рутила в кварце достигает 5 %) (рис. 4).

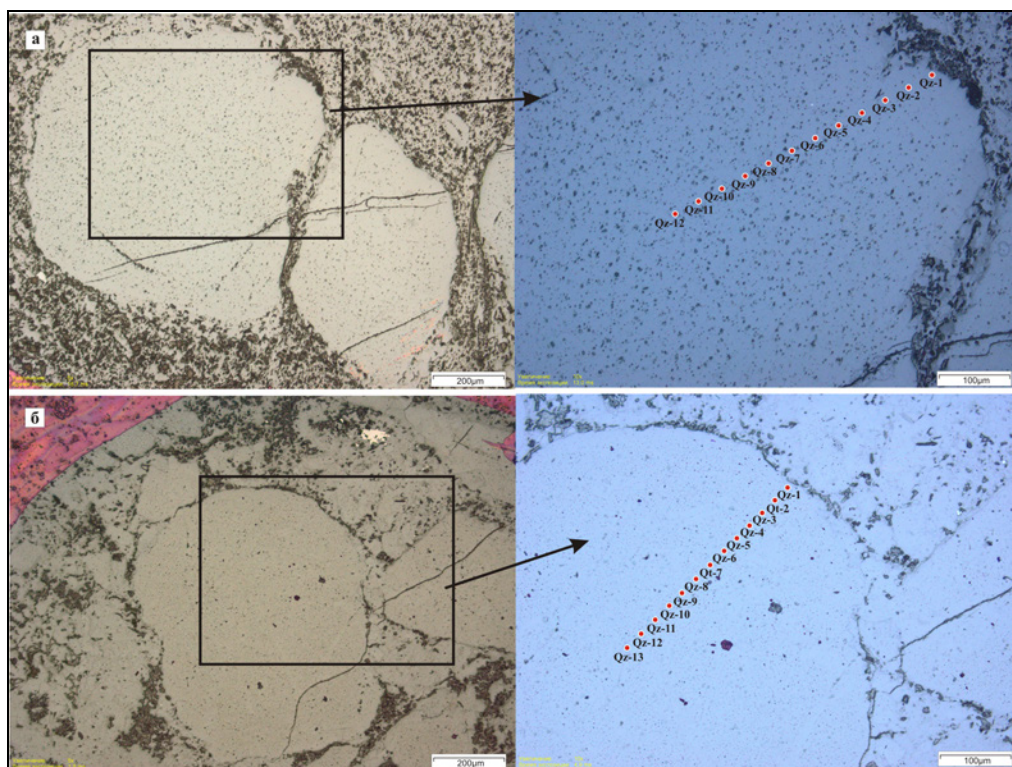


Рис. 4. Точки анализов во вкрапленниках кварца из кислых метавулканидов КМА:
а – метатиф риолитового состава (скв. 5327/149,5);
б – метатиф риолитового состава (скв. 5329/280,0).

Таблица 1

Значения температуры кристаллизации расплава для кислых метавулканитов КМА (Ti-in-quartz геотермометр)

Wark, Watson, 2006	$T(^{\circ}\text{C}) = (-3765/(\log(X_{\text{Ti,qtz}})-5,69)) - 273$		
№	Ti в Qtz [ppm]	log Ti [ppm]	T(°C) Ti Qtz
5327/1	247	2,392697	869
5327/2	145	2,161368	794
5327/3	204	2,30963	841
5327/4	237	2,374748	863
5327/5	123	2,089905	773
5327/6	90,3	1,955688	735
5327/7	223	2,348305	854
5327/8	102	2,0086	750
5327/9	206	2,313867	842
5327/10	189	2,276462	830
5327/11	113	2,053078	762
5327/12	133	2,123852	783
5329/1	325	2,511883	912
5329/2	295	2,469822	896
5329/3	350	2,544068	924
5329/4	412	2,614897	951
5329/5	362	2,558709	929
5329/6	518	2,71433	992
5329/7	405	2,607455	948
5329/8	393	2,594393	943
5329/9	423	2,62634	956
5329/10	397	2,598791	945
5329/11	294	2,468347	896
5329/12	258	2,41162	875
5329/13	211	2,324282	846

Примечание: скв. 5327 – метатиф риолитового состава; скв. 5329 – метатиф риолитового состава. Номера анализов соответствуют номерам точек анализов на рис. 4.

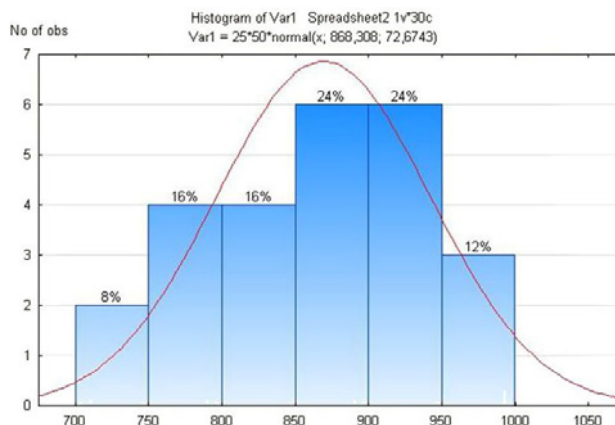


Рис. 5. Распределение температуры кристаллизации расплава для ультракалийных риолитов лебединской свиты михайловской серии КМА (с использованием "Ti-in-quartz" геотермометра).

Используя содержания Ti во вкраплениях кварца, были рассчитаны значения температуры кристаллизации риолитового расплава от 750 до 950 °C, в среднем 868 °C (табл. 1, рис. 5) с погрешностью $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Второй геотермометр "Ti-in-zircon" [8] основан на изоморфном замещении $\text{Ti} \rightarrow \text{Si}$: $\text{ZrSiO}_4 + \text{TiO}_2 = \text{ZrTiO}_4 + \text{SiO}_2$. Содержание Ti в цирконе зависит от активностей TiO_2 , SiO_2 и от температуры. Так как растворимость титана в цирконе крайне ограничена, его содержания в цирконах из ультракалийных риолитов не превышают 40 ppm. Поэтому для определения концентраций Ti в цирконе, как и других редких и редкоземельных элементов, использовался ионный зонд (SIMS).

Призматические зерна цирконов риолита (обр. ЛК-104) (рис. 6) с тонкой осцилляционной зональностью часто имеют более темные ядра. Были проанализированы центральные и краевые части зерен. Температуры кристаллизации риолитового расплава по содержанию Ti в цирконе составляют 820–935 °C, в среднем 851 °C за исключением точки 11 (табл. 2, рис. 7). Погрешность термометра $\pm 35^{\circ}\text{C}$ [8].

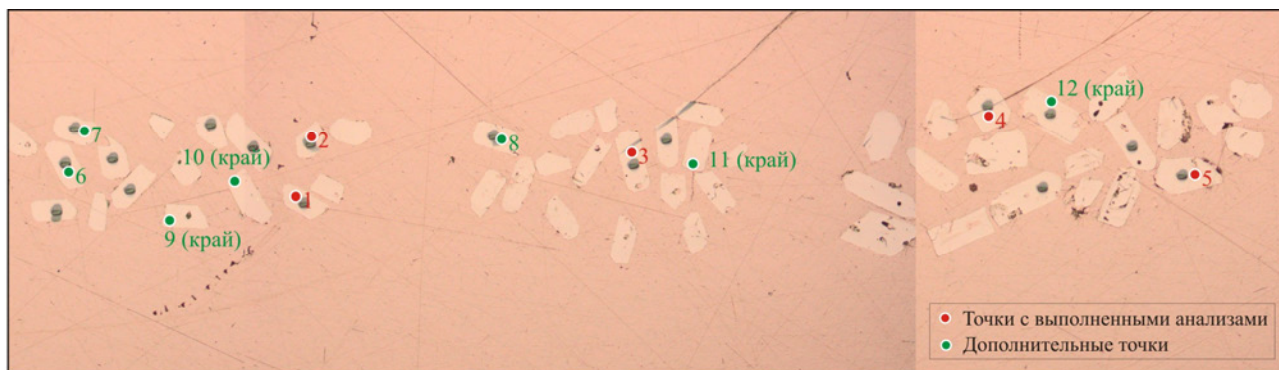


Рис. 6. Фото шашки с точками микрозондовых анализов в зернах цирконов из кислых метавулканитов КМА (обр. ЛК-104).

Спектры распределения REE в цирконах характеризуются дифференцированным распределением со значительным преобладанием тяжелых REE над лег-

кими REE, с наличием четко выраженных положительной Ce- и отрицательной Eu-аномалиями (Eu/Eu^*) (табл. 3, рис. 8). Это связано с тем, что при кристалли-

зации расплава легкие REE фракционируются в собственных минералах – монаците и алланите. Элементы же Y-группы входят в качестве изоморфной примеси в состав циркона. Ксенотим в калиевых риолитах КБ установлен не был. По геохимическим особенностям выделяются ксеногенные цирконы и цирконы магматического и метаморфического генезиса (рис. 9, 10).

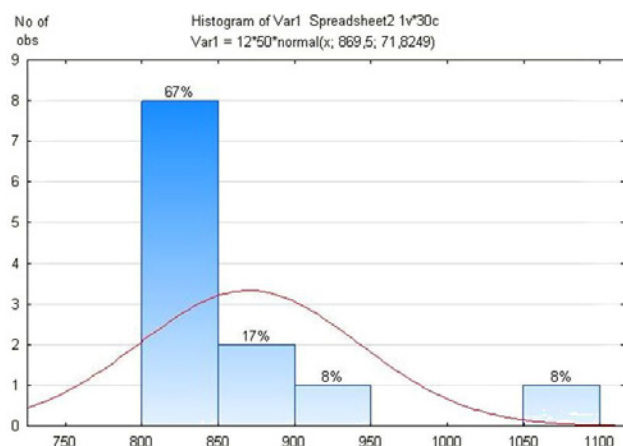


Рис. 7. Распределение температуры кристаллизации расплава для ультракальциевых риолитов лебединской свиты михайловской серии КМА (с использованием "Ti-in-zircon" геотермометра).

Таблица 2

Значения температуры кристаллизации расплава для кислых метавулканитов КМА (Ti-in-zircon геотермометра)

Harrison, Watson, 1983	$T(^{\circ}\text{C}) = 4800 / (5.711 - \log a_{\text{SiO}_2} + \log a_{\text{TiO}_2} - \log(X_{\text{Ti,Zr}})) - 273$		
Образец/№ точки	Ti в Zrn [ppm]	log Ti [ppm]	T(°C) Ti-in-Zrn
ЛК104/1	18,1	1,256	843
ЛК104/2	18,3	1,261	845
ЛК104/3	17,5	1,243	840
ЛК104/4	18,9	1,277	849
ЛК104/5	24,2	1,384	878
ЛК104/6	14,7	1,167	821
ЛК104/7	15,9	1,201	829
ЛК104/8	23,7	1,373	875
ЛК104/9	14,5	1,162	819
ЛК104/10	38,2	1,582	935
ЛК104/11	98,0	1,991	1073
ЛК104/12	15,5	1,191	827

Примечание: образец ЛК-104 – метариолит состава, номера точек анализов соответствуют номерам точек на рис. 6; $\log a_{\text{SiO}_2} = 1$, $\log a_{\text{TiO}_2} = 0,7$

Таблица 3

Содержания редких элементов в цирконах из неоархейских риолитов Курского блока (образец ЛК-104) (в ppm)

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
положение	центр	центр	центр	центр	центр	центр	центр	центр	край	край	край	край
P	165,7	182,3	159,4	85,2	120,9	95,5	162,1	699,1	112,4	237,0	388,2	239,7
Rb	1,6	1,0	0,8	0,5	0,6	0,9	0,9	107,1	2,3	392,6	505,5	48,3
Sm	15,2	14,9	18,7	4,2	6,0	3,7	8,3	52,3	2,6	120,7	210,4	20,4
Th	117,8	93,9	129,5	31,5	33,3	82,9	82,0	273,1	58,6	203,1	763,8	189,8
U	155,3	103,9	108,7	50,8	51,7	122,7	123,5	405,4	128,5	492,7	849,2	264,1
Ta	151,4	144,6	124,7	121,3	117,5	143,8	143,6	213,0	130,4	181,1	227,7	155,0
Hf	8059,3	6742,7	7718,6	7456,9	7569,7	8160,6	7998,9	8715,5	8552,5	9524,6	8785,8	8164,8
Lu	86,9	77,1	53,6	36,9	33,4	38,8	64,9	141,2	34,8	99,2	161,6	92,4
Dy	218,3	197,3	140,3	74,3	71,5	73,9	149,6	571,3	55,8	393,0	771,5	228,9
Nd	9,9	11,9	19,7	2,1	12,9	1,8	5,5	41,6	1,5	157,0	265,1	23,6
Ti	18,1	18,3	17,5	18,9	24,2	14,7	15,9	23,7	14,5	38,2	98,0	15,5
Sr	0,7	0,1	3,4	0,4	2,4	0,2	0,4	9,5	0,4	25,0	46,1	3,9
Y	2315,3	2111,6	1442,9	884,5	834,8	877,1	1637,9	5333,8	689,2	3184,6	5526,2	2376,7
Nb	38,0	13,7	10,9	8,3	7,6	47,5	26,1	32,3	21,2	41,7	55,5	27,1
Ba	0,7	1,4	9,3	1,2	2,2	1,1	0,9	18,2	1,4	60,4	126,5	7,2
La	0,1	0,1	2,2	0,1	12,7	0,1	0,1	13,7	0,1	21,8	39,1	8,2
Ce	14,2	14,6	28,0	7,4	46,9	14,0	11,6	81,4	11,8	205,1	377,3	49,4
Pr	0,7	0,8	3,1	0,1	3,5	0,2	0,3	6,1	0,2	26,7	48,7	4,0
Gd	67,9	66,0	49,4	21,0	22,8	19,0	41,4	200,2	13,1	218,9	390,3	72,4
Yb	543,4	489,4	337,6	226,5	208,5	255,5	415,5	1011,0	215,3	659,7	1119,2	576,6
Eu	0,5	0,6	0,9	0,3	0,3	0,1	0,4	3,2	0,1	7,1	11,4	1,0
Er	375,4	342,2	225,6	140,0	127,6	150,2	267,8	769,8	121,1	461,8	778,5	381,9
Eu/Eu*	0,043	0,048	0,082	0,081	0,069	0,043	0,058	0,085	0,046	0,119	0,109	0,070
U/Yb	0,29	0,21	0,32	0,22	0,25	0,48	0,30	0,40	0,60	0,75	0,76	0,46
U/Th	1,3	1,1	0,8	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	2,2	2,4	1,1	1,4
T °C	843	845	840	849	878	821	829	875	819	935	1073	827

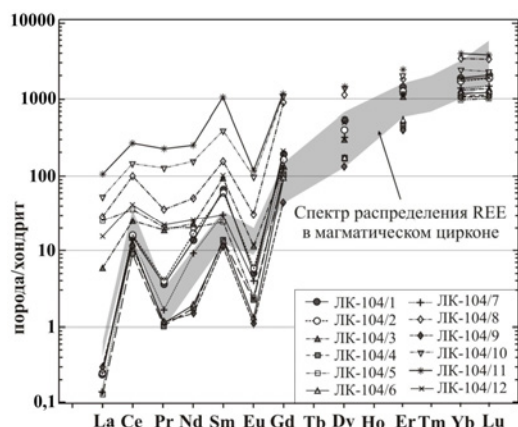


Рис. 8. Распределение REE в цирконах из кислых метабазитов КМА (обр. ЛК-104 – метабазит риолитового состава).

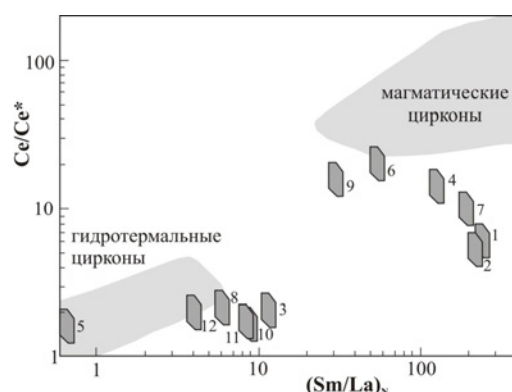


Рис. 9. Соотношение $(\text{Sm/La})_N$ и величины Ce-аномалии в цирконах из ультракалийных риолитов лебединской свиты михайловской серии КМА. Номера точек соответствуют номерам точек в табл. 3.

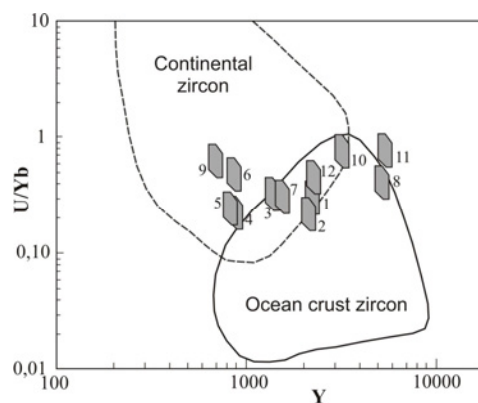


Рис. 10. Соотношение U/Yb и Y в цирконах из ультракалийных риолитов лебединской свиты михайловской серии КМА. Номера точек соответствуют номерам точек в табл. 3.

Воронежский государственный университет
Холина Наталья Викторовна, преподаватель кафедры полезных ископаемых и недропользования, ведущий инженер НИИ Геологии ВГУ
E-mail: holina_geol@mail.ru; Тел.: 8 (473) 222-64-19
Савко Константин Аркадьевич, д. г.-м. н., профессор, заведующий кафедрой полезных ископаемых и недропользования
E-mail: ksavko@geol.vsu.ru; Тел.: 8-915-544-21-64
Холин Владимир Михайлович, доцент кафедры полезных ископаемых и недропользования, к. г.-м. н.
E-mail: holin-vm@mail.ru; Тел.: 8 (473) 222-64-19

Различия в значениях температур кристаллизации риолитового расплава, определенных по двум геотермометрам, составляют не более 17°C , что совсем немного, учитывая погрешности "Ti-in-quartz" геотермометра $\pm 5^\circ\text{C}$ и "Ti-in-zircon" геотермометра $\pm 35^\circ\text{C}$.

Выводы

Калиевые, высококремнистые риолиты с голубым кварцем характеризуются температурами кристаллизации $850\text{--}870^\circ\text{C}$. Такие высокие температуры кристаллизации предполагают, что источник их расплава имел состав сухих горячих гранитоидов А-типа, которые образуются в обстановках континентальных рифтов и горячих точках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савко, К. А. Возраст неогарейских ультракалийных риолитов – важный геохронологический репер эволюции раннедокембрийской коры Воронежского кристаллического массива / К. А. Савко, Н. В. Холина, В. М. Холин, А. Н. Ларионов // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы: мат.-лы VI Российской конференции по изотопной геохронологии. – ИГГД РАН Санкт-Петербург. – СПб: Sprinter. – 2015. – С. 247–249.
2. Савко, К. А. Зональный метаморфизм и петрология метapelитов Тим-Ястребовской структуры, Воронежский кристаллический массив / К. А. Савко, Т. Н. Полякова // Петрология, 2001. – Т. 9. – № 6. – С. 593–611.
3. Polyakova, T. N. Evolutions of Early Proterozoic metamorphism within Tim-Yastrebovskaya Paleorift, Voronezh Crystalline Massif, East-European Platform: Metapelite Systematic, Phase Equilibrium and P-T Conditions / T. N. Polyakova, K. A. Savko, V. Yu. Skryabin // In: H. Thomas (Ed.) Metamorphism and Crustal Evolution, published by Atlantic Publishers and Distributors, New Delhi, 2005. – P. 26–72.
4. Nosova, A. A. Minor elements in clinopyroxene from Paleozoic volcanics of the Tagil Island Arc in the Central Urals / A. A. Nosova, L. V. Sazonova, V. V. Narkisova, S. G. Simakin // Geochem. Int. – 2002. – V. 40 (3). – P. 219–232.
5. Smirnov, V. K. Quantitative SIMS analysis of melt inclusions and host minerals for trace elements and H_2O / V. K. Smirnov, A. V. Sobolev, V. G. Batanova, M. V. Portnyagin [et al.] // EOS Trans. Spring Meet. Suppl. AGU. – 1995. – V. 17. – P. 270.
6. Fedotova, A. A. Ion-microprobe zircon geochemistry as an indicator of mineral genesis during geochronological studies / A. A. Fedotova, E. V. Bibikova, S. G. Simakin // Geochem. Int. – 2008. – V. 46 (9). – P. 912–927.
7. Wark, D. A. TitaniQ: a titanium-in-quartz geothermometer / D. A. Wark, E. B. Watson // Contrib Mineral Petrol., 2006. – V. 152. – P. 743–754.
8. Harrison, T. M. Kinetics of zircon dissolution and zirconium diffusion in granitic melts of variable water content / T. M. Harrison, E. B. Watson // Contrib Mineral Petrol., 1983. – V. 84. – P. 66–72.

Voronezh State University

Holina N.V., Lecturer of the Mineral Resource Department, the Master Engineer of SRI of Geology
E-mail: holina_geol@mail.ru; Тел.: 8 (473) 222-64-19

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

Holin V.M., Associate Professor of the Mineral Resource Department, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
E-mail: holin-vm@mail.ru; Тел.: 8 (473) 222-64-19