

ХИМИЧЕСКОЕ МИКРОЗОНДОВОЕ Th-U-Pb ДАТИРОВАНИЕ МОНАЦИТОВ ИЗ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД ВОРОНЦОВСКОЙ СЕРИИ, ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ

К. А. Савко, В. В. Хиллер, Н. С. Базиков, С. Л. Вотяков

Как широко распространенный акцессорный минерал метаморфических пород монацит наиболее часто используется как минерал-геохронометр для датирования процессов метаморфизма, так как он характеризуется переменным составом, чутко реагирующим на изменение интенсивных и экстенсивных параметров. В монаците сохраняется геохронологическая информация о его кристаллизации или росте в результате метаморфических реакций с другими акцессорными редкоземельными и породообразующими минералами. Поэтому он является идеальным геохронологическим сенсором для метаморфических событий.

В последнее десятилетие новый импульс в микрогеохронологических исследованиях получил метод химического электронно-зондового датирования U-Th-содержащих минералов [27]. Большое число зарубежных публикаций посвящено применению методики для определения возраста этих минералов из различных геологических объектов [22, 23, 25, 26, 28 и др.]. При этом в России известны лишь немногие публикации в области химического датирования [2, 3, 5–9, 14, 15, 17, 18]. Методы изотопной геохронологии в масс-спектрометрическом варианте с лазерной абляцией (ионным зондированием) проб не всегда применимы для минералов с высокими содержаниями U (Th), то есть методика локального микрозондового датирования [27] остается практически единственной для оценки возрастной эволюции этих минералов, часто гетерогенных по возрасту.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Объектом настоящего исследования являются палеопротерозойские метатерригенные породы Восточно-Воронежской провинции Воронежского кристаллического массива, представленные отложениями воронцовской серии. Восточно-Воронежская провинция отделяет Сарматский сегмент докембрийской коры от Волго-Уральского сегмента Восточно-Европейской платформы. Площадь ее распространения составляет более 70 тыс. км² при ширине 100–150 км и длине более 600 км (рис. 1).

Мощность отложений воронцовской серии по сейсмическим данным изменяется от 2–3 км в юго-западной части до 6–8 км в районе Новохоперско-

го глубинного разлома. Литологически эта серия весьма однородна и представляет собой толщу метаморфизованных песчаниково-сланцевых флиш-идных отложений, прорванную многочисленными интрузиями палеопротерозойского возраста [1, 19].

Зональный метаморфизм пород Восточно-Воронежской провинции весьма детально изучен в пределах Елань-Эртильской (центральная часть структуры) и Мамонско-Подколотновской (юго-западная часть структуры) площадей [4, 10, 11, 13]. В пределах Елань-Эртильской площади закартированы гранатовая (430–480°C), ставролитовая (490–520°C), ставролит-силлиманитовая (520–560°C) и мусковит-силлиманитовая зоны (560–600°C). Условия наиболее высокотемпературной силлиманит-калишпат-кордиеритовой зоны здесь достигнуты не были. В пределах Мамонско-Подколотновской площади не установлены наиболее низкотемпературные метапелиты гранатовой зоны, но присутствуют самые высокометаморфизованные породы воронцовской серии – гранат-силлиманит-кордиеритовые гнейсы (600–750°C). Давления при метаморфизме изменяются от 3 кбар в гранатовой зоне до 5 кбар в силлиманит-калишпат-кордиеритовой.

Для датирования метаморфизма нами были выбраны самые крупные зерна монацитов из гнейсов силлиманит-калишпат-кордиеритовой зоны (скв. 700-а) из юго-западной части структуры (Мамон-Подколотновская площадь) и гранат-мусковит-силлиманитовых кристаллических сланцев (скв. 8240) в ее центральной части (Елань-Эртильская площадь).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Поиск и идентификация зерен монацита в шлифах проводились по их BSE-изображениям и энергодисперсионным спектрам; элементное картирование зерен – на основе измерения интенсивности пика и фона. Пределы обнаружения ThO₂, UO₂ и PbO в монаците составляют 150, 70 и 75 г/т, соответственно (микрозонд Cameca SX 100). Съемка проводилась при ускоряющем напряжении 15 кВ, силе тока пучка 100 нА. Время измерения интенсивности на пике для U, Pb составляло по 150 с, для Th – 300 с, для остальных элементов 10 с, на фоне – в два раза меньше. Общее время анализа одной точки – 10 мин, что оптимизировало условия экспери-

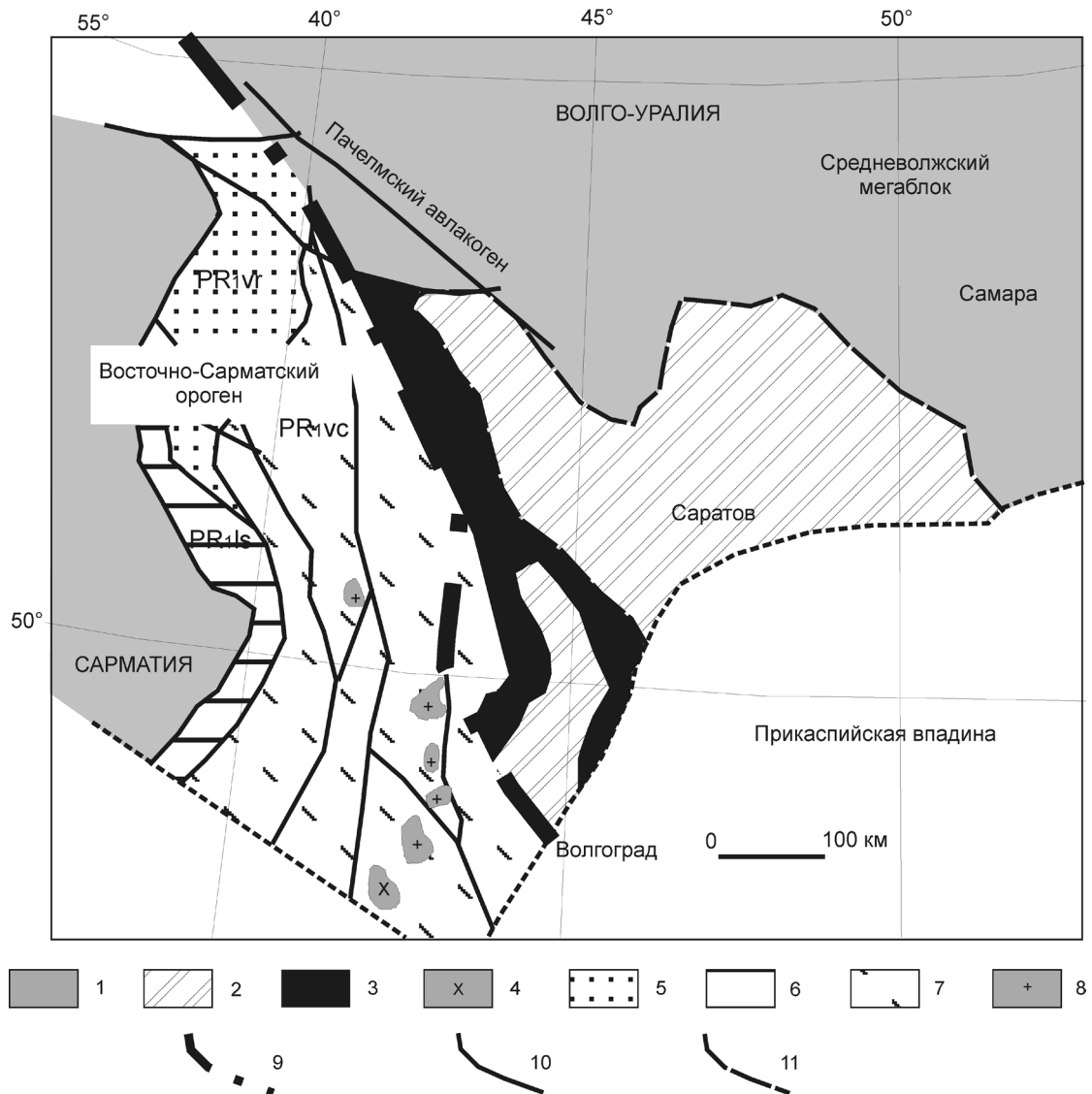


Рис. 1. Схематическая карта зоны сочленения Сарматии и Волго-Уралии (по [1], с изменениями).

1 – архейская кора; 2–8 – палеопротерозойские структурно-вещественные комплексы: 2 – южновожский комплекс глиноземистых гнейсов, включая рахмановский комплекс анатектических гранитов, 3 – терсинский комплекс, 4 – гранитоиды Терсинского пояса, 5 – лосевский и усманский комплексы нерасчлененные, 6 – донская серия гнейсов и павловский гранитоидный комплекс, 7 – воронцовская серия, 8 – бобровский комплекс гранитоидов; 9 – предполагаемая сutura (?) Сарматии и Волго-Уралии; 10 – главные зоны разломов; 11 – границы структурно-вещественных комплексов.

мента по величине отношения сигнал/шум и степени выгорания пробы под электронным пучком. Для каждого из анализируемых элементов подбирались параметры детектора и последовательность проведения измерений; при этом погрешности определения элементов составляли $\Delta Th/Th = 2.6-4.7$, $\Delta U/U = 2.1-18.7$, и $\Delta Pb/Pb = 2.1-12.6$ отн. %. Детальное описание методики анализа приведено в работах [2, 18].

Расчёт возраста монацитов проводился с использованием оригинальной [2] и модифицированной программы Isoplot 3.66 [24] в рамках трех альтернативных подходов: из единичного определения содержания U, Th, Pb в точке зерна минерала, сле-

дую [25]; из Th/Pb–U/Pb-изохроны, следуя [21, 22], а также из Th*–Pb-изохроны с оценкой содержания нерадиогенного Pb, следуя [27, 28] (здесь $Th^* = (Th + U^{экв})$, где $U^{экв}$ – содержание U, пересчитанное в эквивалентное содержание Th, способное произвести то же количество Pb за время жизни системы).

РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО Th-U-Pb ДАТИРОВАНИЯ МОНАЦИТОВ

Монацит из кордиерит-силлиманит-гранатового гнейса (обр. 700-а). Исследовано крупное, удлиненное (50×100 мкм) зерно монацита (его изображение в характеристическом рентгеновском из-

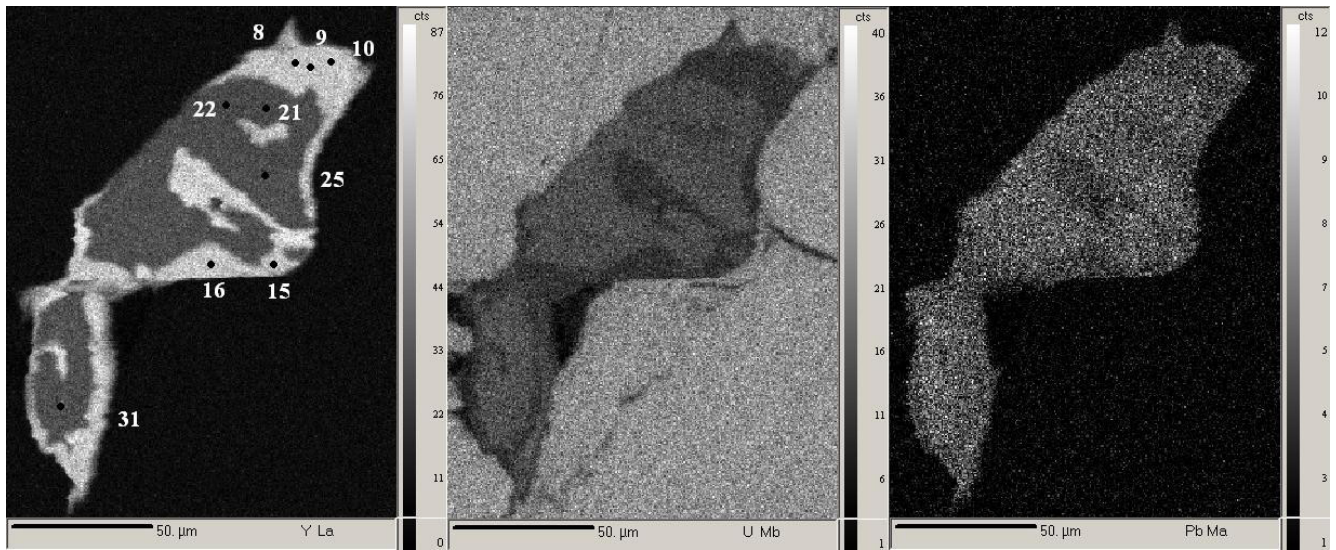


Рис. 2. Изображение в характеристическом рентгеновском излучении линий $Y_{L\alpha}$, $U_{M\beta}$, $Pb_{M\alpha}$ зерна монацита, обр. 700-а.

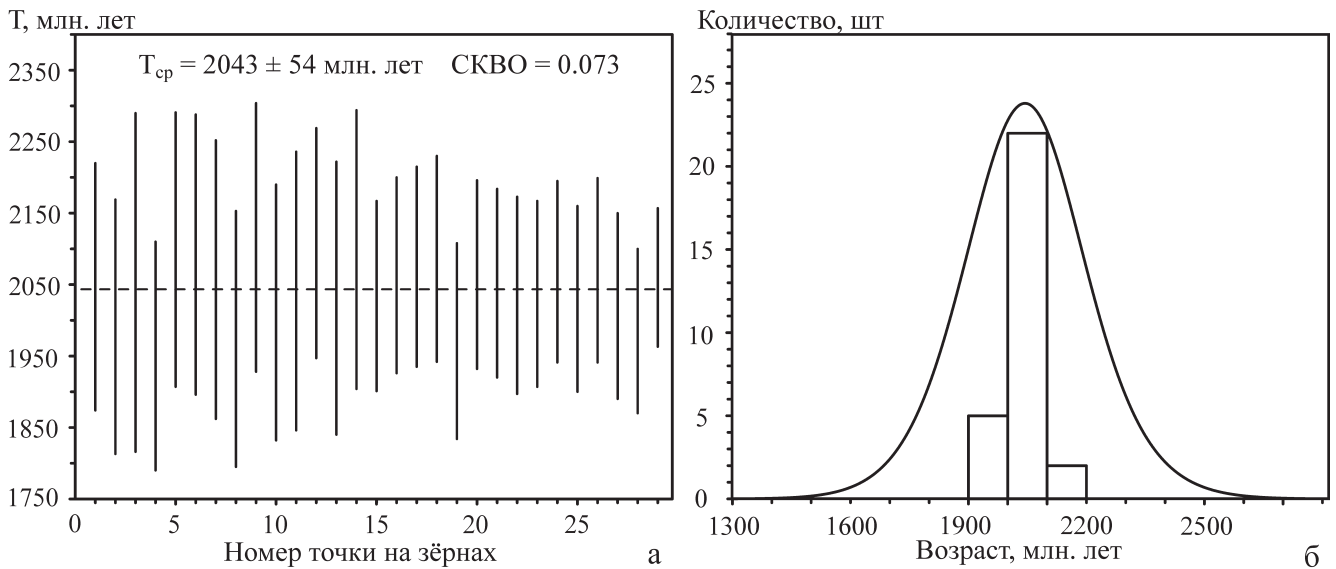


Рис. 3. Вариации значений возрастов, величина средне-взвешенного возраста (а) и гистограмма распределения возрастов (б) для 29 точек монацита, обр. 700-а.

лучения $Y_{L\alpha}$, $U_{M\beta}$ и $Pb_{M\alpha}$ представлено на рис. 2). Количественный анализ состава зерна выполнен в 29 точках (табл. 1). Содержание Se_2O_3 варьирует от 24.53 до 30.24, $La_2O_3 = 12.09-15.04$, $Nd_2O_3 = 10.70-13.31$, $Pr_2O_3 = 2.65-3.41$ и $Y_2O_3 = 0.08-3.50$ мас. %. Содержания примесей ThO_2 , UO_2 и PbO – невысокие (2.91–3.63, 0.10–0.67 и 0.30–0.57 мас. %, соответственно), $SiO_2 = 0.18-0.31$, $CaO = 0.51-1.01$ и $F = 0.22-0.85$ мас. %.

Из точечных определений содержания U , Th , Pb были выполнены расчеты возраста монацита и получены значения в интервале от 1950 до 2116 млн. лет, средне-взвешенное значение – 2043 ± 54 млн. лет, СКВО = 0.07 (см. табл. 1 и рис. 3). В высоко- и низкоиттриевых зонах точечные значения воз-

растов лежат в пределах погрешности измерений, и основания выделять по возрасту центральную и периферическую зоны отсутствуют. Наличие для зерна монацита из образца 700-а значимой дисперсии содержаний Th и U позволяет выполнить изохронные построения. На Th^*-Pb -диаграмме экспериментальные точки удовлетворительно ложатся на изохрону (рис. 4а), проходящую практически через начало координат; содержание нерадиогенного Pb (0.002 мас. %) близко к пределу его обнаружения в минерале; Th^*/Pb -возраст оценивается как 2044 ± 151 млн. лет (СКВО = 0.30) с относительной погрешностью порядка 7 %.

На $Th/Pb-U/Pb$ -диаграмме (рис. 4б) аналитические точки группируются в двух областях – око-

Таблица 1. Химический состав (мас. %) зерна монацита из обр. 700-а

Содержание	Номер аналитической точки								
	8	9	10	15	16	21	22	25	31
ThO ₂	3.17	3.15	3.08	3.10	3.10	3.50	3.25	3.38	3.63
UO ₂	0.12	0.11	0.12	0.17	0.10	0.55	0.53	0.62	0.64
PbO	0.34	0.33	0.32	0.33	0.32	0.51	0.49	0.52	0.56
P ₂ O ₅	30.31	29.86	30.05	30.43	30.44	29.90	29.92	30.34	29.88
Ce ₂ O ₃	28.26	28.05	28.14	28.94	28.37	29.71	30.14	29.28	29.27
La ₂ O ₃	13.69	13.46	13.50	14.02	13.86	14.59	15.04	14.52	14.47
Pr ₂ O ₃	3.03	3.09	3.22	3.29	3.19	3.24	3.29	3.36	3.14
Nd ₂ O ₃	12.68	12.80	12.89	12.53	12.60	12.88	12.81	12.80	12.98
Sm ₂ O ₃	1.61	1.52	1.62	1.56	1.61	1.58	1.61	1.68	1.59
Gd ₂ O ₃	1.63	1.57	1.59	1.41	1.40	0.98	0.88	1.01	1.08
Dy ₂ O ₃	0.79	0.83	0.79	0.65	0.75	0.27	0.19	0.23	0.23
F	0.25	0.31	0.25	0.29	0.24	0.30	0.27	0.25	0.25
Y ₂ O ₃	3.27	3.27	3.31	2.99	3.25	0.95	0.88	0.93	0.98
SiO ₂	0.18	0.23	0.22	0.19	0.20	0.27	0.22	0.30	0.31
CaO	0.68	0.70	0.74	0.54	0.52	0.90	0.85	0.93	0.97
Сумма	100.00	99.26	99.83	100.43	99.95	100.11	100.38	100.15	99.98
Возраст, млн. лет	2099	2092	2057	2011	2041	2063	2075	2064	2070

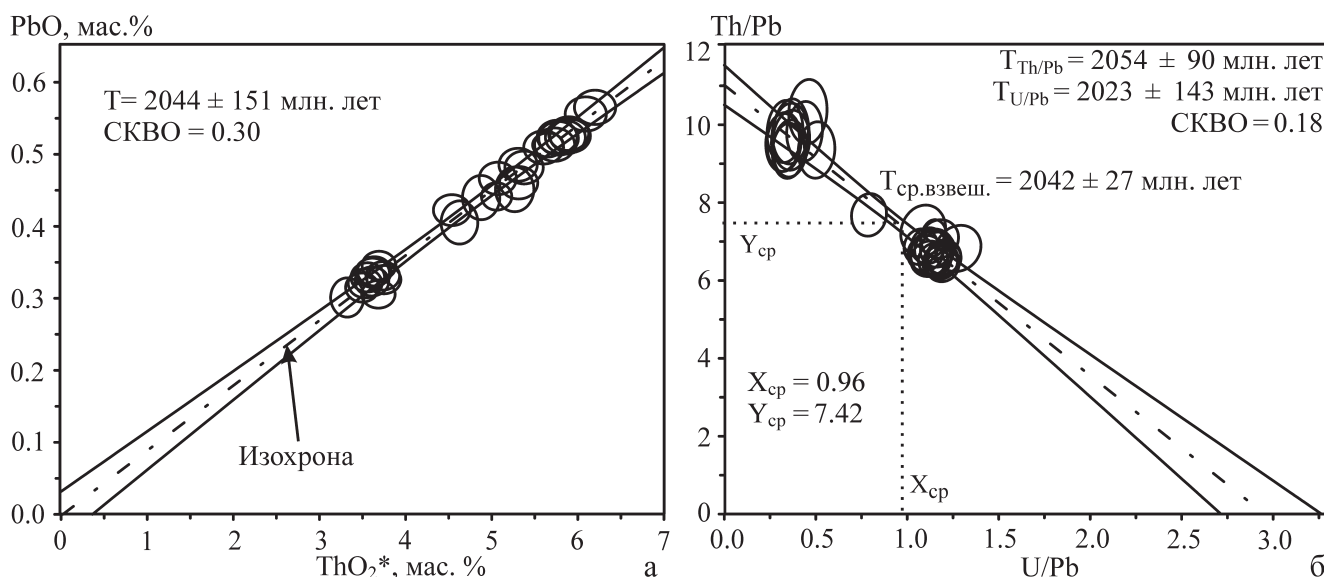


Рис. 4. Диаграммы Th*-Pb (а) и Th/Pb-U/Pb (б) для монацита, обр. 700-а.

ло оси ординат и в центральной части диаграммы, вследствие чего построение изохроны и оценка возрастов представляются вполне корректными: Th/Pb- и U/Pb-возраста составляют 2053.7 ± 90.4 и 2022.9 ± 143.2 млн. лет (СКВО = 0.18), а средне-взвешенное значение возраста – 2042.3 ± 27.4 млн. лет, что сопоставимо со средне-взвешенным значением 2043 ± 54 млн. лет, определенным по точечным содержаниям U, Th, Pb, и изохронным Th*/Pb-возрастом (2044.1 ± 150.7 млн. лет).

Монацит из гранат-мусковит-силлиманитового сланца (обр. 8240). Изученное зерно монацита имеет сильно удлинённую форму (50×10 мкм). Его изображение в рентгеновском характеристическом излучении YLa, UMβ, PbMα ThMα и во вторичных электронах с указанием местоположения 12

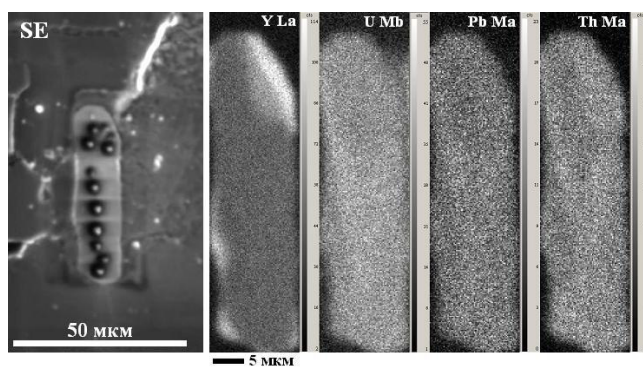
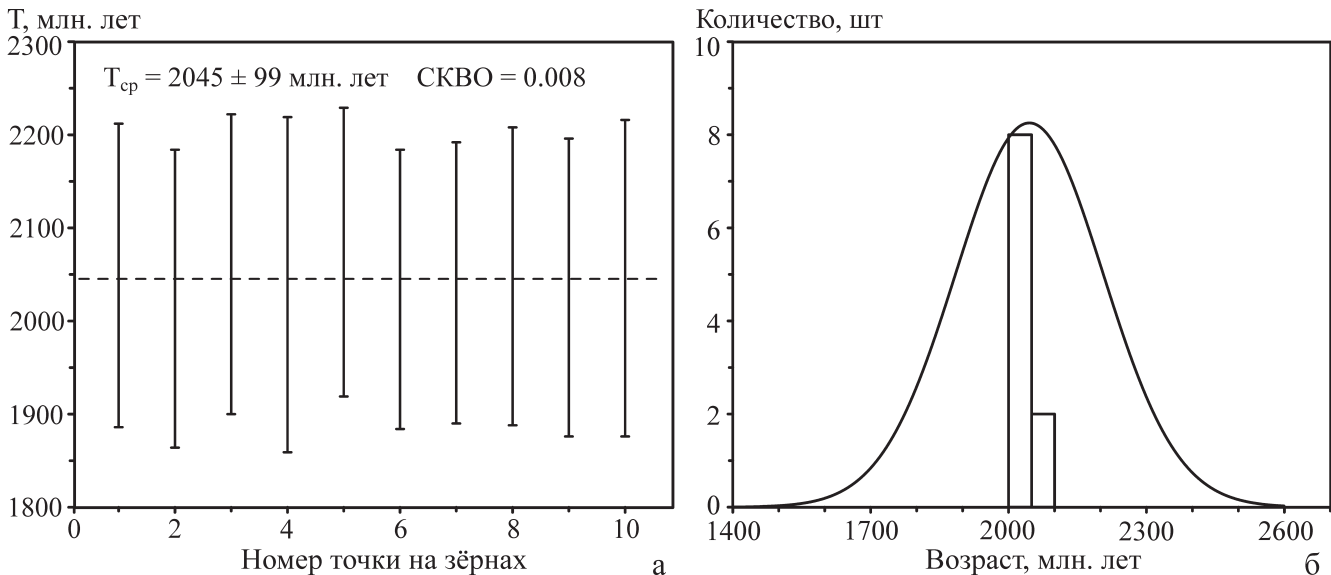


Рис. 5. Изображение во вторичных электронах с указанием точек анализа (а) и в рентгеновском характеристическом излучении YLa, UMβ, PbMα ThMα (б) зерна монацита, обр. 8240.

Таблица 2. Химический состав (мас. %) зерна монацита из обр. 8240

Содержание	Номер аналитической точки									
	1	3	4	6	7	9	10	11	12	
ThO ₂	2.40	2.57	1.98	2.25	2.41	2.43	2.46	2.31	2.39	
UO ₂	0.43	0.42	0.38	0.51	0.53	0.53	0.44	0.46	0.38	
PbO	0.36	0.38	0.31	0.39	0.40	0.40	0.38	0.37	0.35	
P ₂ O ₅	28.68	28.76	28.86	28.95	28.47	28.75	29.13	29.26	29.32	
Ce ₂ O ₃	28.78	29.77	31.14	30.46	30.33	30.19	30.69	30.59	30.61	
La ₂ O ₃	14.01	14.42	14.69	14.38	14.69	14.23	14.55	14.59	14.76	
Pr ₂ O ₃	3.41	3.29	3.44	3.37	3.52	3.48	3.54	3.61	3.37	
Nd ₂ O ₃	13.04	13.27	13.61	13.58	13.59	13.72	13.54	13.71	13.50	
Sm ₂ O ₃	2.22	1.93	1.93	1.94	2.11	2.00	2.00	1.93	1.89	
Gd ₂ O ₃	1.62	1.22	1.02	1.30	1.19	1.12	0.96	1.00	1.17	
Dy ₂ O ₃	0.36	0.26	0.04	0.12	0.08	0.09	0.05	0.07	0.11	
Eu ₂ O ₃	0	0	0.08	0.14	0.10	0.15	0.14	0.10	0.10	
F	0.33	0.33	0.36	0.29	0.27	0.33	0.27	0.29	0.33	
Y ₂ O ₃	1.30	0.74	0.34	0.32	0.33	0.36	0.30	0.33	0.58	
SiO ₂	0.27	0.32	0.32	0.32	0.31	0.33	0.41	0.40	0.35	
CaO	0.62	0.66	0.53	0.65	0.66	0.65	0.64	0.62	0.57	
Сумма	97.83	98.32	99.05	98.96	98.98	98.74	99.48	99.65	99.79	
Возраст, млн. лет	2049	2061	2039	2074	2034	2041	2048	2036	2046	

**Рис. 6.** Вариации значений возрастов, величина средне-взвешенного возраста (а) и гистограмма распределения возрастов (б) для 10 точек монацита, обр. 8240.

аналитических точек представлено на рис. 5. Часть полученных данных по составу зерна приведено в табл. 2. Содержание Ce₂O₃ варьирует от 28.78 до 31.14, La₂O₃ = 13.76–14.76, Nd₂O₃ = 12.99–13.72, Pr₂O₃ = 3.29–3.61, Sm₂O₃ = 1.84–2.22 и Y₂O₃ = 0.30–1.41 мас. %. Содержания примесей ThO₂, UO₂ и PbO – невысокие (1.98–2.57, 0.38–0.56 и 0.31–0.43 мас. %, соответственно), SiO₂ = 0.27–0.41, CaO = 0.53–0.74 и F = 0.25–0.36 мас. %.

По точечным определениям содержания U, Th, Pb выполнены расчеты возраста монацита из образца 8240 и получены значения в интервале от 2024 до 2074 млн. лет, средне-взвешенное значение 2045 ± 99 млн. лет, SKBO = 0.01 (см. табл. 2 и рис. 6).

Дисперсия содержаний Th и U для изученного зерна монацита очень незначительна, вследствие чего на Th*–Pb-диаграмме все точки сосредоточены в достаточно ограниченной области (рис. 7а); их использование для построения изохроны весьма проблематично. Введение на Th*–Pb-диаграмму виртуальной точки с координатами, равными абсолютной погрешности определения этих элементов позволяет оценить Th*/Pb-возраст как 2040 ± 179 млн. лет (SKBO = 0.02) с относительной погрешностью порядка 9 %, что допустимо при химических датировках. На Th/Pb–U/Pb-диаграмме (рис. 7б) точки группируются в центральной части диаграммы, вследствие чего построение изохроны и оценка возрастов

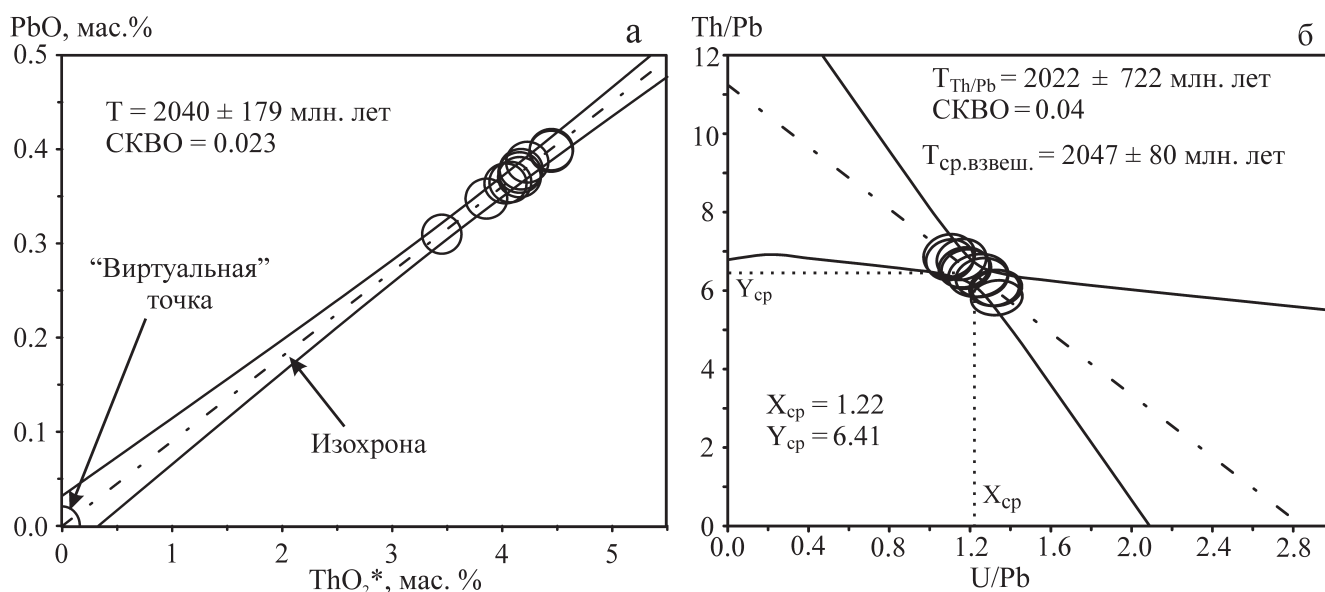


Рис. 7. Диаграммы Th*-Pb (а) и Th/Pb-U/Pb (б) для монацита, обр. 8240.

представляются весьма спорными (Th/Pb-возраст – 2022 ± 722 (!) млн. лет, $СКВО = 0.04$), при этом средне-взвешенное значение возраста оценивается как 2047 ± 80 млн. лет, что удовлетворительно согласуется со средне-взвешенным значением в 2045 ± 99 млн. лет, определенным по точечным содержаниям U, Th, Pb, и изохронным Th*/Pb-возрастом (2040 ± 179 млн. лет).

ВЫВОДЫ

Суммируя вышеизложенное, можно сделать вывод о возрасте метаморфизма пород воронцовской серии. Акцессорный монацит формировался во время метаморфического события 2042–2046 млн. лет, что прекрасно согласуется с геологической историей в палеопротерозое на границе Сарматии и Волгоуралии. Тот факт, что мы получили практически одинаковые возраста для монацитов из образцов пород воронцовской серии, удаленных друг от друга почти на 300 км, подтверждает их надежность.

Накопление мощных толщ терригенных осадков воронцовской серии происходило в интервале 2100–2150 млн. лет за счет размыва континентальной коры Волгоуральского сегмента [1, 16]. После формирования мощной толщи пород в период 2060–2100 млн. происходило внедрение огромных магматических масс ультраосновного, основного состава [19], которые к концу этого пика магматической активности становились все более кислыми (диориты). Региональный метаморфизм воронцовской серии (коллизийный этап) на рубеже 2042–2046 млн. лет с P-T условиями, достигающими гранулитовой фации, послужил причиной внутрикорового плавления метасадочных пород, роста мигматит-гнейсовых куполов и внедрения пост-

коллизийных коровых гранитов S-типа бобровского комплекса с возрастом 2022 млн. лет [1]. Завершает докембрийскую историю магматизма востока ВКМ внедрение интрузивных траппов новогольского комплекса с возрастом 1805 ± 14 млн. лет [12, 20] уже в тафrogenный этап развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бибикова Е.В., Богданова С.В., Постников А.В. и др. Зона сочленения Сарматии и Волго-Уралии: изотопно-геохронологическая характеристика супра-крупных пород и гранитоидов // Стратиграфия и геологическая корреляция. 2009. № 6. С. 3–16.
2. Вотяков С.Л., Хиллер В.В., Щапова Ю.В., Поротников А.В. Химическое электронно-зондовое датирование минералов-концентраторов радиоактивных элементов: методические аспекты // Литосфера. 2010. № 4. С. 94–115.
3. Вотяков С.Л., Хиллер В.В., Щапова Ю.В., Поротников А.В. Моделирование временной эволюции U-Th-Pb-системы как основа для химического микрозондового датирования минералов-концентраторов урана и тория // Докл. АН. 2011. Т. 437, № 4. С. 526–529.
4. Герасимов В.Ю., Савко К.А. Геоспидометрия и температурная эволюция гранат-кордиеритовых метapelитов Воронежского кристаллического массива // Петрология. 1995. Т. 3, № 6. С. 563–577.
5. Конилов А.Н., Романенко И.М., Филиппов М.Н., Петров Д.Б. Возможности гео-хронологии монацитов Th-U-Pb методом по данным рентгеноспектрального микроанализа // Аналитика России-2004: тез. докл. Всеросс. конф. М.: ИОНХ РАН, 2004. С. 265–266.
6. Кориши Е.Х. U-Th-Pb датированием монацитов из чёрных сланцев КМА (Курская магнитная аномалия) по результатам рентгеноспектрального микроанализа // Мат-лы VI Всеросс. конф. по рентгеноспектральному анализу. Краснодар: КГУ, 2008. С. 156.
7. Петров Д.Б. Рентгеноспектральное определение то-

- рия, урана и свинца в аксессуарных минералах. Дисс. ... канд. техн. наук. М.: ГТУ МИСИ, 2007. 112 с.
8. *Пилюгин С.М., Муханова А.А.* U-Th-Pb датирование монацитов из метапелитовых гранулитов Воронежского кристаллического массива по результатам рентгеноспектрального микроанализа // Мат-лы VI Всеросс. конф. по рентгеноспектральному анализу. Краснодар: КГУ, 2008. С. 171.
 9. *Романенко И.М., Муханова А.А., Петров Д.Б., Конилов А.Н.* Методика датирования минералов горных пород и руд с помощью рентгеноспектрального микроанализа // Мат-лы VI Всеросс. конф. по рентгеноспектральному анализу. Краснодар: КГУ, 2008. С. 175.
 10. *Савко К.А.* Зональность минералов и прогрессивные метаморфические реакции в среднетемпературных метапелитах воронцовской серии (Воронежский кристаллический массив) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1990. № 11. С. 79–87.
 11. *Савко К.А.* Низкотемпературные породы в метаморфической зональности воронцовской серии ВКМ // Геология и геофизика. 1994. № 3. С. 50–59.
 12. *Савко К.А., Бочаров В.Л.* Петрохимия габбродолеритов восточной части Воронежского кристаллического массива // Изв. вузов. Геология и разведка. 1988. № 7. С. 42–51.
 13. *Савко К.А., Герасимов Ю.В.* Петрология и геоспидометрия метаморфических пород востока Воронежского кристаллического массива // Тр. НИИГ Воронеж. ун-та. Вып. 8. Воронеж: ВГУ, 2002. 131 с.
 14. *Савко К.А., Кориш Е.Х., Пилюгин С.М.* Редкоземельная минерализация в чёрных сланцах Тим-Ястребовской структуры (Воронежский кристаллический массив) и датирование возраста метаморфизма по монацитам "In situ" // Вестник ВГУ. Геология. 2008. № 1. С. 47–64.
 15. *Савко К.А., Самсонов А.В., Пилюгин С.М. и др.* Новые данные о возрасте гранулитового метаморфизма Курско-Бесединского блока Воронежского кристаллического массива // Вестник ВГУ. Геология. 2009. № 1. С. 84–93.
 16. *Савко К.А., Самсонов А.В., Базилов Н.С.* Метатерригенные породы воронцовской серии воронежского кристаллического массива: геохимия, особенности формирования и источники сноса // Вестник ВГУ. Геология. 2011. № 1. С. 70–94.
 17. *Хиллер В.В., Ерохин Ю.В.* Химическое датирование уранинита из гранитоидов фундамента Шаимского района (Западная Сибирь) // XVI Российский симпозиум по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твёрдых тел: тез. докл. Черногловка: ИПТМ РАН, 2009. С. 74.
 18. *Хиллер В.В.* Состав, кристаллохимия, эволюция U-Th-Pb-системы ряда минералов-геохронометров по данным экспериментального исследования и компьютерного моделирования // Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. 201 с.
 19. *Чернышов Н.М., Пономаренко А.Н., Бартницкий Е.Н.* Новые данные о возрасте никеленосных дифференцированных плутонов Воронежского кристаллического массива // Докл. АН УССР. 1990. Сер. Б. № 6. С. 11–19.
 20. *Чернышов Н.М., Баянова Т.Б., Альбеков А.Ю., Левкович Н.В.* Новые данные о возрасте габбродолеритовых интрузивов трапповой формации Хоперского мегаблока ВКМ // Докл. АН. 2001. Т. 380, № 5. С. 1–3.
 21. *Cocherie A., Legendre O., Peucat J.J., Kouamelan A.N.* Geochronology of polygenetic monazites constrained by in situ electron microprobe Th-U-total Pb determination: Implications for lead behavior in monazite // Geochim. Cosmochim. Acta. 1998. V. 62. 2475–2497.
 22. *Cocherie A., Albarede F.* An improved U-Th-Pb age calculation for electron microprobe dating of monazite // Geoch. Cosmoch. Acta. 2001. V. 65, № 24. P. 4509–4522.
 23. *Dahl P.S., Hamilton M.A., Jercinovic M.J., et al.* Comparative isotopic and chemical geochronometry of monazite, with implications for U-Th-Pb dating by electron microprobe: An example from metamorphic rocks of the eastern Wyoming Craton (USA) // Am. Min. 2005. V. 90. P. 619–638.
 24. *Ludwig K.* Users manual for ISOPLOT/EX, version 2. A geochronological toolkit for Microsoft Excel.
 25. *Montel J.M., Foret S., Veschambre M., et al.* Electron microprobe ages of monazite // Chemical Geology. 1996. V. 131. P. 37–53.
 26. *Rhede D., Wendt I., Forster H.-J.* A three-dimensional method for calculating independent chemical U/Pb- and Th/Pb-ages of accessory minerals // Chemical Geology. 1996. V. 130. P. 247–253.
 27. *Suzuki K., Adachi M., Tanaka T.* Middle Precambrian provenance of Jurassic sandstone in the Mino Terrane, central Japan: Th-U-total Pb evidence from an electron microprobe monazite study // Sedim. Geol. 1991. V. 75. P. 141–147.
 28. *Suzuki K., Kato T.* CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: Protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data // Gondwana Research. 2008. V. 14. P. 569–586.