

УДК 552.3(470.5)

## РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb SHRIMP-II ДАТИРОВАНИЯ ЦИРКОНА ИЗ ГРАНИТОИДОВ ТАЛИЦКОГО МОЛИБДЕНОНОСНОГО МАССИВА (ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН СРЕДНЕГО УРАЛА)

© 2017 г. В. Н. Смирнов<sup>1</sup>, К. С. Иванов<sup>1</sup>, С. П. Шокальский<sup>2</sup>, Ю. Л. Ронкин<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15, e-mail: smirnov@igg.uran.ru  
<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт, 199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74

Поступила в редакцию 14.07.2016 г.; принята к печати 27.04.2017 г.

Возрастное положение и геодинамические условия формирования молибденового оруденения и продуктивных на этот вид оруденения гранитоидов Урала до настоящего времени изучены очень слабо. В настоящей публикации изложены результаты изотопного датирования гранитов одного из немногих выявленных на Урале месторождений **Су-Мо-порфиривого типа – Талицкого, способствующие решению этой проблемы. Время формирования молибденоносных гранитоидов Талицкого месторождения было установлено U-Pb методом по цирконам из пород главной интрузивной фазы Талицкого массива, непосредственно вмещающего Су-Мо оруденение, с использованием ионного микрозонда SHRIMP-II (Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург). Вычисленный по 7 (из 11 выполненных измерений) U-Pb-возраст циркона из гранитоидов составляет  $297.4 \pm 2.3$  млн лет (95% уровень значимости) при вероятности соответствия конкордантности 0.996 и СКВО = 0.105. Результаты U-Pb датирования совпадают в пределах погрешности анализа с опубликованными ранее Re-Os возрастными молибденитами Талицкого месторождения:  $299.9 \pm 2.9$  млн лет и  $298.3 \pm 1.3$  млн лет. Датировки фиксируют новый, не известный ранее возрастной уровень формирования молибденового оруденения. До последнего времени на Среднем Урале было известно только Южно-Шамейское молибденовое месторождение, генетически связанное с субщелочными гранитами Малышевского массива, которые имеют более молодой возраст  $277.1 \pm 1.1$  млн лет. Согласно полученным данным, внедрение пород изученного молибденоносного комплекса происходило практически одновременно с образованием широко развитых в пределах восточного склона Среднего Урала интрузий, несущих золотое оруденение (Верхисетский, Шарташский и другие гранитоидные массивы). При близком (практически одинаковом) времени образования породы молибденоносного и золотоносных массивов существенно отличаются по петрохимическим особенностям, что по всей вероятности, и определяет их металлогеническую специализацию. Гранитоиды, формирующие золотоносные кварцевые жилы, по химическому составу являются породами известково-щелочной серии (типичный пример – Шарташский гранитный массив с Березовским месторождением), а в составе гранитоидов, продуктивных на оруденение Су-Мо-порфиривого типа, наряду с породами нормальной щелочности широко развиты умеренно-щелочные разновидности. Наиболее отчетливо это выражено в породах среднего состава, которые представлены исключительно монцодиоритами и кварцевыми монцодиоритами.**

**Ключевые слова:** Урал, гранитоиды, U-Pb SHRIMP-II датирование

## THE RESULTS OF U-Pb SHRIMP-II DATING OF ZIRCON FROM GRANITOIDS OF TALITSKY MOLYBDENUM-BEARING MASSIF (EASTERN SLOPE OF THE MIDDLE URALS)

Vladimir N. Smirnov<sup>1</sup>, Kirill S. Ivanov<sup>1</sup>, Sergey P. Shokalsky<sup>2</sup>, Yury L. Ronkin<sup>1</sup><sup>1</sup>A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 620016, Akad. Vonsovsky st., 15, Ekaterinburg, Russia, e-mail: smirnov@igg.uran.ru<sup>2</sup>A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), 199106, Sredny av., 74, St. Petersburg, Russia

Received 14.07.2016; accepted 27.04.2017

Age position and geodynamic conditions of molybdenum metallization and productive granitoids of the Urals formation are very little studied now. This publication contains the results of isotopic dating of granites from Talitsa Cu-Mo-porphry deposit which should help solve this problem. The timing of formation of the molybdenum-bearing granitoids of Talitsa deposit was determined by applying the U-Pb SHRIMP-II method through zircons (the Center for Isotopic Research of All Russian Geological Research Institute, St. Petersburg). The U-Pb-age has been calculated on 7 (from a total of 11 conducted) measurements with probability of concordance 0.996 and MSWD = 0.105 and it is  $297.4 \pm 2.3$  Ma. The results of U-Pb dating are similar to before published Re-Os ages of Talitsa molybdenite deposit:  $299.9 \pm 2.9$  Ma and  $298.3 \pm 1.3$  Ma. These data establishes the new unknown before age level of molybdenum metallization. Until recently there has been only data on the Yuzhno-Shameiskoe molybdenum deposit connected with the subalkaline granites of Malyshevo massif which is younger:  $277.1 \pm 1.1$  Ma. According to the received data, the intrusion of investigated granitoids happened practically at the same time as the formation of the wide-spread in the western slope of the Middle Urals intrusive bodies which are accompanied by gold metallization (Verkhisetsky, Shartashsky and others). With such close (practically the same) time of formation the rocks of molybdenum-bearing and gold-bearing massifs significantly differ in petrochemical peculiarities,

which probably determines their metallogenetic specialization. Granitoids forming gold-bearing quartz veins on chemical composition are rocks of calc-alkaline series (typical example – Shartashskyi massif with Beriozovsk gold deposit). The granitoids productive on of Cu-Mo-porphyry type metallization together with large number of normal alkalinity rocks includes subalkaline rocks such as monzodiorites and quartz monzodiorites.

**Keywords:** Urals, granitoids, U-Pb SHRIMP-II datin

#### Acknowledgments

Research was carried out in the framework of the comprehensive program of UB RAS (15-18-5-15).

**Для цитирования:** Смирнов В.Н., Иванов К.С., Шокальский С.П., Ронкин Ю.Л. (2017) Результаты U-Pb SHRIMP-II датирования циркона из гранитоидов Талицкого молибденоносного массива (восточный склон Среднего Урала). *Литосфера*, 17(3), 145-150. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-3-145-150

**For citation:** Smirnov V.N., Ivanov K.S., Shokalsky S.P., Ronkin Yu.L. (2017) The results of U-Pb SHRIMP-II dating of zircon from granitoids of Talitsky molybdenum-bearing massif (eastern slope of the Middle Urals). *Litosfera*, 17(3), 145-150. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-3-145-150

Анализ особенностей процессов образования гранитоидов Талицкого массива представляет значительный интерес в связи с тем, что они вмещают одно из немногих выявленных на Урале проявлений медно-молибден-порфирирового типа. Массив сложен породами нормальной и слабо повышенной щелочности, которые выделяются в качестве зверевского плутонического комплекса (Петров и др., 2011). До последнего времени их возраст на основании результатов **К-Аг датирования** считался раннекаменноугольным. Пять определений, полученных этим методом по биотитам из гранитоидов рассматриваемого массива, охватывают интервал от 341 до 320 млн лет при среднем значении 333 млн лет (Азовскова, Грабежев, 1988). Большой разброс и значительный интервал неопределенности ( $\pm 7-8$  млн лет) полученных датировок побудили авторов провести дополнительные геохронологические исследования с использованием **U-Pb** метода датирования по циркону, результаты которых изложены в настоящей работе.

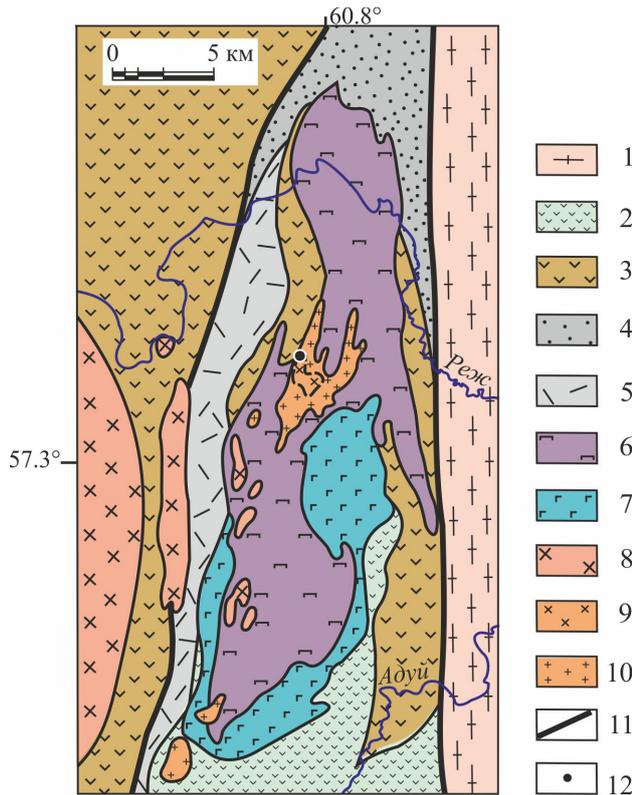
Вмещающие Талицкий массив породы представлены преимущественно серпентинитами и серпентинизированными ультрамафитами офиолитовой ассоциации, относящимися к первомайскому дунит-гарцбургитовому комплексу, и лишь на небольшом участке в северо-западной части массива гранитоиды имеют контакт с вулканитами башкирской свиты среднедевонского возраста. На современном эрозионном срезе массив имеет сложную конфигурацию и относительно небольшие размеры, протягиваясь в направлении с севера на юг на расстояние около 4 км при максимальной ширине не более 1.5 км (рис. 1). Преобладающая его часть сложена гранитоидами главной интрузивной фазы, варьирующими по составу от гранодиоритов до граносиенитов и гранитов. В западной части массива по результатам поискового бурения оконтурено небольшое (до 1.4 км в поперечнике) тело монцодиоритов и кварцевых монцодиоритов, являющихся, по всей вероятности, продуктами кристаллизации магма-

тических расплавов ранней фазы внедрения. Более подробная характеристика массива и связанного с ним медно-молибденового оруденения дана в ряде опубликованных работ (Азовскова, 1999; Азовскова, Грабежев, 2008).

Проба для U-Pb датирования была отобрана из керна скважины 1 (глубина 54.8 м), пробуренной в западной приконтактной части массива при проведении поисковых работ Уральской геологической экспедицией (см. рис. 1). Материал пробы представлен практически неизменным биотитовым гранитом, характеризующимся очень слабо повышенным содержанием щелочей (8.13 мас. %  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ). Выделение циркона проводилось с использованием обычного набора методов, включающего дробление пробы, промывку издробленного материала в воде до серого шлиха, магнитную сепарацию, разделение в тяжелых жидкостях и ручной отбор зерен циркона под бинокуляром. **U-Pb** датирование циркона выполнялось с помощью вторично-ионного микрозонда SHRIMP-II (Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ) по стандартной методике (Williams, 1998).

Циркон изученной пробы представлен идиоморфными кристаллами, габитус которых меняется от коротко- до длиннопризматического, реже их обломками (рис. 2). Размер зерен – от 150 до 350 мкм в длину и от 100 до 150 мкм в поперечнике, удлинение 1 : 2.5 и более. Все кристаллы имеют тонкую ритмичную зональность. Преобладающая часть зерен циркона содержит включения силикатных минералов в виде мелких (до 5 мкм) идиоморфных кристалликов призматической или игольчатой формы. Значительно реже встречаются включения округлой, удлиненной или каплевидной формы, по-видимому, представляющие собой частицы расплава, захваченные в процессе кристаллизации циркона.

**U-Pb SHRIMP-II данные для циркона из гранита** Талицкого массива представлены в табл. 1 и на рис. 3, 4. Цирконы характеризуются значи-

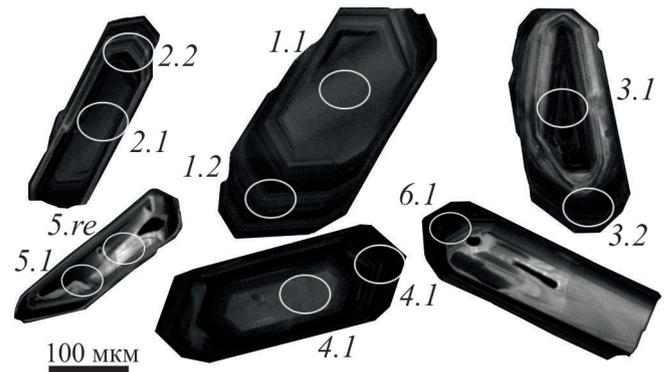


**Рис. 1.** Схема геологического строения района с точкой отбора пробы для изотопного датирования (по материалам О.В. Азовской, Г.А. Букрина и др.).

1 – метаморфические породы (гнейсы, амфиболиты и кристаллические сланцы) адуйского комплекса (PR<sub>1</sub>) и алабашской серии (RF<sub>2</sub>); 2 – вулканы красноадуйской толщи (O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>); 3 – вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы башкарской свиты (D<sub>2-3</sub>); 4 – терригенные и карбонатные породы раннекаменноугольного возраста; 5 – вулканы кореловской толщи: туфы (игнимбриты) риолитов, трахириолитов, трахидацитов, трахитов (C<sub>1</sub>); 6, 7 – породы офиолитовой ассоциации: 6 – первомайский дунит-гарцбургитовый комплекс, 7 – пышминский габбровый комплекс; 8 – гранодиориты и граниты верхисетского комплекса (C<sub>2</sub>); 9, 10 – породы зверевского комплекса: 9 – монцодиориты, кварцевые монцодиориты, 10 – гранодиориты, граносиениты, граниты; 11 – зоны крупных разрывных нарушений; 12 – точка отбора пробы для U-Pb датирования циркона.

**Fig. 1.** Geological scheme of the area with sampling site for isotope dating (after O.V. Azovskova and G.A. Bukrin).

1 – metamorphic rocks (gneisses, amphibolites and crystalline schists) of Adui complex (PR<sub>1</sub>) and Alabash series (RF<sub>2</sub>); 2 – volcanic rocks of Krasnoaduisкая strata (O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>); 3 – volcanic and sedimentary-volcanic rocks of Baskarskaya formation (D<sub>2-3</sub>); 4 – terrigenous and carbonaceous rocks of Early-Carboniferous age; 5 – volcanic rocks of Korelovskaya strata: tuffs (ignimbrites) of rhyolites, trachyrhyolites, trachydacites, trachytes (C<sub>1</sub>); 6, 7 – the rocks of ophiolitic association: 6 – Pervomaiskii dunite-hurzburgitic complex, 7 – Pyshminskii gabbroic complex; 8 – granodiorites and granites of Verkhiset'skii complex (C<sub>2</sub>); 9, 10 – the rocks of Zverevskii complex: 9 – monzodiorites, quartz-monzodiorites, 10 – granodiorites, granosyenites, granites; 11 – zones of big faults; 12 – sampling site for U-Pb dating of zircon.



**Рис. 2.** Катодолуминесцентные изображения циркона из гранита Талицкого массива (образец С-1/54.8).

Белыми кружками показано положение точек измерений, цифры у кружков соответствуют номерам анализов в табл. 1.

**Fig. 2.** Cathodoluminescent images of zircon grains from granite of Talitskiy massif (sample C-1/54.8).

Measurement points are shown by open circles; figures correspond to the number of analyses in table 1.

тельными колебаниями содержаний урана (202–1869 г/т), определяющими коэффициент вариации 63.8%, при этом аналогичный параметр для значений возрастов, вычисленных по отношению  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , составляет только 2.2%. Аппроксимация U-Pb SHRIMP-II данных (n = 11) на диаграмме  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  позволяет выявить дискордию, верхнее пересечение которой с линией согласованных значений определяет возраст  $297 \pm 35$  млн лет, при СКВО = 0.5 (см. рис. 3). Более узкий интервал погрешности (2.3 млн лет) конкордантного U-Pb возраста 297.2 млн лет следует из рассмотрения кластера (n = 8), характеризующегося высоким значением “probability of concordance” = 0.94 (см. рис. 3). Еще большее значение вероятности конкордантности 0.996 присуще сообществу аналитических данных 1.1, 1.2, 2.1, 3.1, 4.1, 5.1, 5.re, определяющих возраст  $297.4 \pm 2.3$  млн лет (95% ур. значимости) при СКВО = 0.105 (см. рис. 4), что позволяет рассматривать с высокой степенью достоверности эту датировку как время образования породы. Изложенные результаты U-Pb датирования совпадают в пределах погрешности анализа с опубликованными недавно Re-Os возрастными молибденитов Талицкого месторождения:  $299.9 \pm 2.9$  и  $298.3 \pm 1.3$  млн лет (Tessalina, Plotinskaya, 2017).

Полученные U-Pb ( $297.4 \pm 2.3$  млн лет) и Re-Os ( $299.9 \pm 2.9$  и  $298.3 \pm 1.3$  млн лет) датировки фиксируют новый, не известный ранее возрастной уровень формирования молибденового оруденения. До последнего времени на Среднем Урале было известно только Южно-Шамейское молибденовое месторождение, генетически связан-

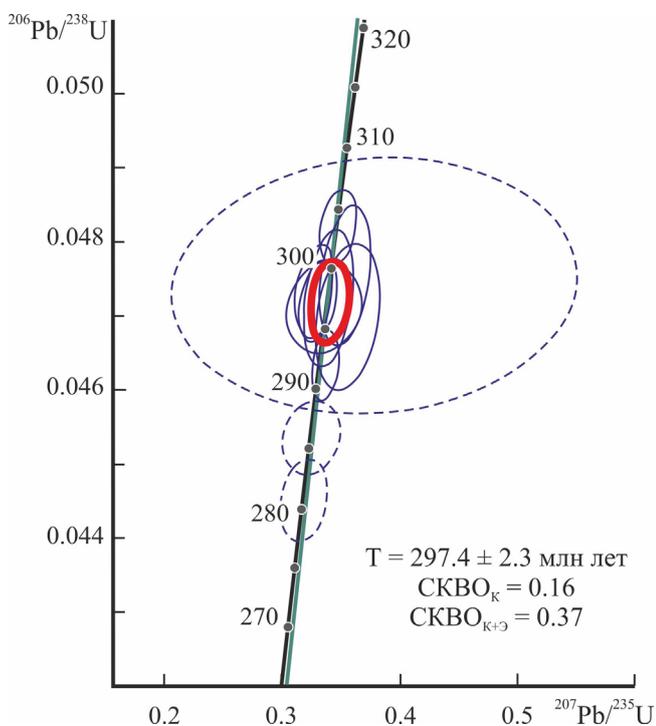
**Таблица 1.** Результаты U-Pb SHRIMP-II анализа циркона из гранита Талицкого массива (проба С-1/54.8)

**Table 1.** The U-Pb SHRIMP-II data of zircon from granite of the Talitskiyi massif (sample C-1/54.8)

Номера точек измерений	$^{207}\text{Pb}_c$ , %	Содержания, ppm			$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{(1)}_{238}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$ , %	$^{(1)}_{235}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$ , %	Rho	Возраст, млн лет				СКВО	P
		U	Th	$^{206}\text{Pb}^*$							$\pm$	$T_K$	$\pm$			
1.1	0.28	1323	480	54.9	0.37	0.341	4.0	0.0472	1.3	0.325	297.5	4.0	297.5	7.6	0.002	0.96
1.2	0.25	655	180	26.7	0.28	0.3298	2.7	0.0472	0.75	0.278	297.2	2.3	297.1	4.4	1.4	0.23
2.1	0.86	1037	305	42.3	0.30	0.331	3.8	0.0473	0.88	0.232	298.0	2.7	298.0	5.1	0.69	0.41
2.2	0.94	1822	451	71.7	0.26	0.320	4.2	0.0445	0.82	0.195	280.7	2.4	280.7	4.5	0.015	0.90
3.1	0.00	1869	566	74.4	0.31	0.337	6.1	0.0471	0.84	0.138	296.6	2.5	296.6	4.9	0.013	0.91
3.2	0.15	1089	230	44.2	0.22	0.326	5.0	0.0454	0.73	0.146	285.9	2.1	285.9	4.1	0.0023	0.96
4.1	0.00	202	118	8.13	0.60	0.355	4.0	0.0475	1.3	0.325	299.3	4.0	299.4	7.6	0.83	0.37
4.2	0.00	336	120	13.6	0.37	0.3378	2.2	0.0463	0.68	0.309	291.9	2.0	291.9	3.9	0.45	0.50
5.1	0.94	1822	451	71.7	0.26	0.380	30	0.0474	2.4	0.080	298.5	7.3	299.0	14	0.113	0.74
5.re	14.68	462	296	22.3	0.66	0.357	5.1	0.0470	1.4	0.275	296.0	4.2	296.0	8.1	1.13	0.29
6.1	0.00	349	81	14.3	0.24	0.349	3.0	0.0482	0.72	0.240	303.3	2.2	303.3	4.3	0.0068	0.93

Примечание. Погрешности приведены для интервала  $\pm 1\sigma$ .  $\text{Pb}_c$  и  $\text{Pb}^*$  – нерадиоогенный и радиоогенный свинцы соответственно. Погрешности калибровки стандарта TEMORA составляли 0.31%. (1) – скорректировано по измеренному  $^{204}\text{Pb}$ . Rho – коэффициент корреляции отношений  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  и  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ .  $T_K$  – конкордантный возраст. P – вероятность соответствия конкордантности. Расчет U-Pb возрастов проводился с использованием программы ISOPLOT/Ex version 3.66 (Ludwig, 2008).

Note. Errors are 1-sigma.  $\text{Pb}_c$  and  $\text{Pb}^*$  indicate the common and radiogenic portions respectively. Error in Standard TEMORA calibration was 0.31%. (1) corrected using measured  $^{204}\text{Pb}$ . Rho – the correlation coefficient between  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  and  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  radiogenic isotope ratios.  $T_K$  – concordant age. P – probability of concordance. Construct U-Pb concordia plots and calculate ages using the program ISOPLOT/Ex version 3.66 (Ludwig, 2008).



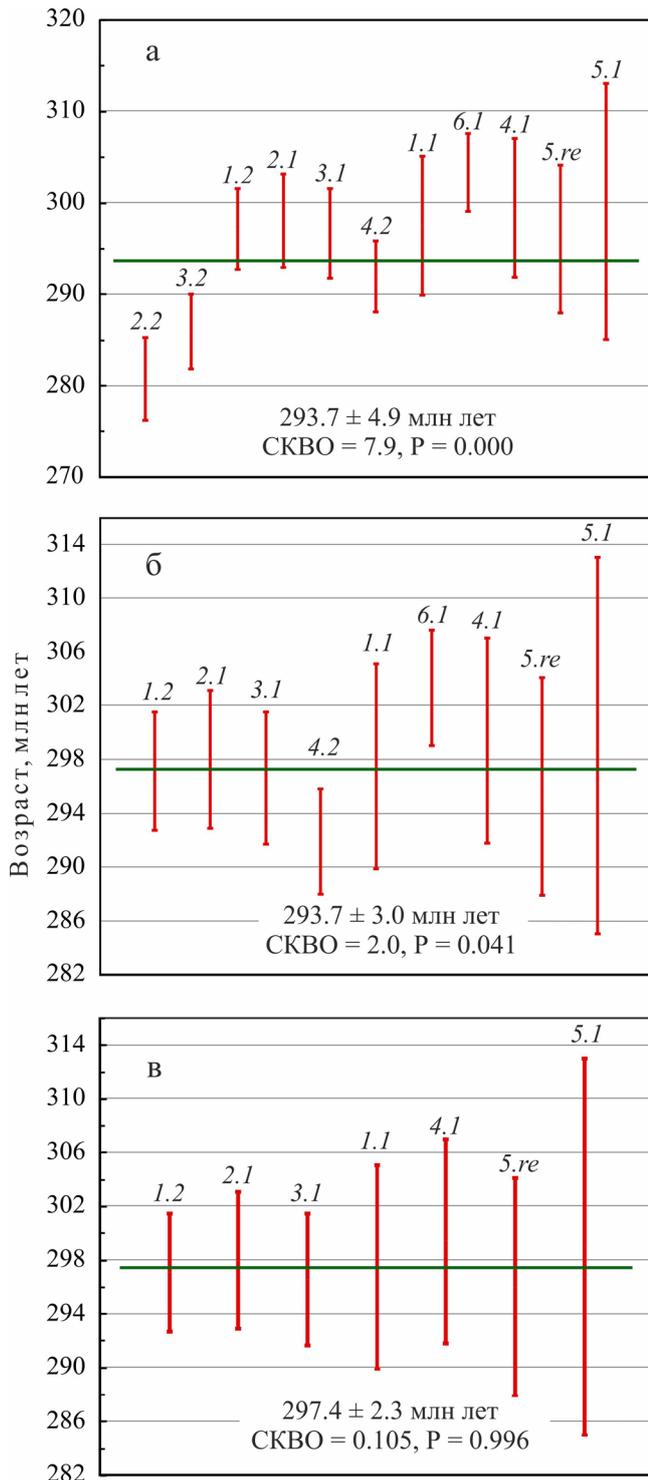
**Рис. 3.** U-Pb-диаграмма с конкордией для циркона из пробы гранита С-1/54.8.

Зеленая линия показывает положение дискордии. К – конкордантность. Э – эквивалентность.

**Fig. 3.** The U-Pb concordia plot for zircon from granite sample C-1/54.8.

The green line is discordia. К – concordance. Э – equivalence.

ное с субщелочными гранитами Малышевского массива, которые имеют более молодой возраст –  $277.1 \pm 1.1$  млн лет (Смирнов и др., 2005). Согласно полученным данным внедрение пород изученного молибденоносного комплекса происходило практически одновременно с образованием широко развитых в пределах восточного склона Среднего Урала интрузий, несущих золотое оруденение (Верхисетский, Шарташский и другие гранитоидные массивы). При близком (практически одинаковом) времени образования породы молибденоносного и золотоносных массивов существенно отличаются по петрохимическим особенностям, что, по всей вероятности, и определяет их металлогеническую специализацию. Гранитоиды, формирующие золотоносные кварцевые жилы, по химическому составу являются породами известково-щелочной серии (типичный пример – Шарташский массив с Березовским золоторудным месторождением). В составе зверевского комплекса, продуктивного на оруденение Си-Мо-порфирирового типа, наряду с породами нормальной щелочности широко развиты умеренно-щелочные разновидности. Наиболее отчетливо это выражено



**Рис. 4.** Графики средневзвешенных значений U-Pb конкордантных возрастов для циркона из гранита C-1/54.8.

**Fig. 4.** Error-weighted average plot U-Pb ages for zircon from granite C-1/54.8.

в петрографических разновидностях среднего состава, которые представлены исключительно по-

родами повышенной щелочности: монцодиоритами и кварцевыми монцодиоритами.

Исследования выполнены в рамках комплексной программы УрО РАН (15-18-5-15).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Азовскова О.Б. (1999) Особенности петрохимии и формационная принадлежность Талицкого гранитоидного массива. *Ежегодник-1998*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 95-98.
- Азовскова О.Б., Грабежев А.И. (1988) Метасоматиты Талицкого массива (Средний Урал). *Картирование метасоматических образований Урала*. Информационные материалы. Свердловск: УрО АН СССР, 90-99.
- Азовскова О.Б., Грабежев А.И. (2008) Талицкое медно-молибден-порфировое месторождение – первый объект субщелочной порфировой системы на Среднем Урале. *Докл. АН*, **418** (2), 237-240.
- Петров Г.А., Жиганов А.А., Стефановский В.В., Шалагинов В.В., Петрова Т.А., Овчинников Р.А., Гертман Т.А. (2011) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-41 – Екатеринбург. Объяснительная записка. СПб.: Картофабрика ВСЕГЕИ, 492 с.
- Смирнов В.Н., Иванов К.С., Ронкин Ю.Л., Левин В.Я., Бушляков И.Н., Лепихина О.П., Попова О.Ю. (2005) Результаты K-Ar и Rb-Sr датирования Малышевского гранитного массива (восточный склон Среднего Урала). *Докл. АН*, **405** (1), 108-112.
- Ludwig K.R. (2008) User's Manual for Isoplot/Ex, Version 3.66. A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Berkeley Geochronology Center. Special Publication (4), 77 p.
- Tessalina S.G., Plotinskaya O.Yu. (2017) Silurian to Carboniferous Re-Os molibdenite ages of the Kalinovskoe, Mikheevskoe and Talitsa Cu- and Mo porphyry deposits in the Urals: Implications for geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, **85**, 174-180.
- Williams I.S. (1998) U-Th-Pb Geochronology by ion microprobe. *Application in microanalytical techniques to understanding mineralizing processes*. *Rev. Econ. Geol.*, (7), 1-35.

#### REFERENCES

- Azovskova O.B. (1999) The petrochemical features and formational appurtenant of Talitskiy granitoid massif. *Ezhegodnik-1998*. Ekaterinberg, IGG UrO RAN, 95-98. (In Russian)
- Azovskova O.B., Grabezhev A.I. (1988) Metasomatites of Talitskiy massif (Middle Urals). *Kartirovanie metasomaticheskikh obrazovaniy Urala*. *Informatsionnye materialy* [The mapping of metasomatites of the Urals. Information materials]. Sverdlovsk, UB of Akad. Nauk SSSR, 90-99. (In Russian)
- Azovskova O.B., Grabezhev A.I. (2008) The Talitsa porphyry-copper molybdenum deposit, the first object of a subalkaline porphyry system in the Central Urals. *Dokl. Earth Sci.*, **418**(1), 99-102. (in Russian)

- Ludwig K.R. (2008) User's Manual for Isoplot/Ex, Version 3.66. A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Berkeley Geochronology Center. Special Publication (4), 77 p.
- Petrov G.A., Zhiganov A.A., Stefanovskii V.V., Shalaginov V.V., Petrova T.A., Ovchinnikov R.A., Gertman T.A. (2011) *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tretie pokolenie). Seria Ural'skaja. List O-41 – Ekaterinburg. Ob'iasnitel'naya zapiska* [The state geological map of Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000. (third generation). Series Urals. List O-41 – Ekaterinburg. Explanatory note.] St.Peterburg, Kartfabrika VSEGEI, 492 p. (In Russian)
- Smirnov V.N., Ivanov K.S., Ronkin Yu.L., Bushlyakov I.N., Lepikhina O.P., Popova O.Yu., Levin V.Ya. (2005) Results of K-Ar and Rb-Sr datings of the Malyshevo leucogranite massif, eastern slope of the Middle Urals. *Dokl. Acad. Nauk*, **405**(8), 1238-1241. (In Russian)
- Tessalina S.G., Plotinskaya O.Yu. (2017) Silurian to Carboniferous Re-Os molybdenite ages of the Kalinovskoe, Mikheevskoe and Talitsa Cu- and Mo porphyry deposits in the Urals: Implications for geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, **85**, 174-180.
- Williams I.S. (1998) U-Th-Pb Geochronology by ion microprobe. *Application in microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. Rev. Econ. Geol.*, (7), 1-35.