

Первая U-Pb (SHRIMP-II) датировка гранитоидов Рефтинского массива (Восточная зона Среднего Урала)

Д.Д. Коровин, В.Н. Смирнов

Институт геологии и геохимии
имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН,
г. Екатеринбург
korovin@igg.uran.ru
smirnov@igg.uran.ru

Аннотация

В статье приводятся результаты U-Pb датирования (SHRIMP-II, Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ) зерен циркона из лейкогранита завершающего этапа формирования Рефтинского габбро-гранитоидного массива, являющегося одним из наиболее крупных ареалов магматизма этого типа на Урале. Интрузивные образования датированного эпизода магматизма образуют вытянутую в субмеридиональном направлении цепочку небольших по размеру (до 5 км в поперечнике) тел, которые прорывают плагиоклазовые гранитоиды силурийского возраста, слагающие большую часть массива. В этих телах преобладают гранодиориты, граниты и лейкограниты, а также присутствуют габбро, габбронориты, диориты и кварцевые диориты. По химическому составу значительная часть пород относится к умеренно калиевой известково-щелочной серии, наиболее богатые кремнеземом разновидности имеют высококалиевый состав. Конкордантный возраст цирконов из лейкогранитов составляет 396 ± 3 млн лет. Это подтверждает, что их формирование соответствует по времени крупному эпизоду эндогенной активности – период существования в пределах Среднего Урала девонской островной дуги (со второй половины эмса до начала франского века включительно).

Ключевые слова:

Урал, гранитоиды, U-Pb-SIMS датирование

Введение

Расположенный в пределах восточной окраины Среднего Урала Рефтинский габбро-гранитоидный массив является одним из наиболее крупных интрузивных тел этого состава на Урале. В его составе резко преобладают габбро, диориты и плагиоклазовые гранитоиды рефтинского комплекса, кроме того, в значительном количестве присутствуют породы офиолитовой ассоциации (рис. 1). В западной части массива кварцевые диориты и тоналиты рефтинского комплекса прорваны небольшими по размеру плутонами, сложенными калиево-натриевыми гранитоидами. Наряду с ними в некоторых телах присутствуют петрографические

The first U-Pb (SHRIMP-II) dating of the Reftinsky massif granitoids (Eastern zone of the Middle Urals)

D.D. Korovin, V.N. Smirnov

Institute of Geology and Geochemistry named after academician
A.N. Zavaritsky of the Ural Branch of the Russian Academy of
Sciences, Ekaterinburg
korovin@igg.uran.ru
smirnov@igg.uran.ru

Abstract

The article presents the results of U-Pb dating (SHRIMP-II, the Center for Isotope Research of the A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute) of zircon grains from leucogranite dating back to the final formation stage of the Reftinsky gabbro-granitoid massif, which is one of the largest magmatism areas of this type in the Urals. The intrusive formations of the dated magmatism episode form a sub-meridionally elongated chain of small (up to 5 km in diameter) bodies, which intrude the Silurian plagioclase granitoids building up the main part of the massif. These bodies are dominated by granodiorites, granites, and leucogranites with some gabbro, gabbronorites, diorites, and quartz diorites. By the chemical composition, the study rocks belong mainly to the moderate-potassium calc-alkaline series. The silica-rich petrographic rock varieties have a high-potassium composition. The concordant age of zircons from leucogranites is 396 ± 3 Ma. So, the formation of zircons falls in the same time interval with a significant episode of endogenous activity, i.e. the existence of the Devonian island arc within the Middle Urals (from the second half of the Emsian through the beginning of the Frasnian).

Keywords:

Urals, granitoids, U-Pb-SIMS dating

разновидности основного и среднего составов. Изотопными методами установлено, что возраст пород рефтинского комплекса раннесилурийский [1]. Надежной информации о возрасте прорывающих их тел до настоящего времени нет. Геологические наблюдения, позволяющие оценить возраст таких тел, отсутствуют, а изотопно-геохронологические данные ограничиваются единичными анализами, полученными недостаточно точными K-Ar и $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ методами. В работе Г.Б. Ферштатера с соавторами [2] говорится о наличии датировки 405 ± 8 млн лет, полученной $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ методом (метод Кобера, Университет г. Гранады,

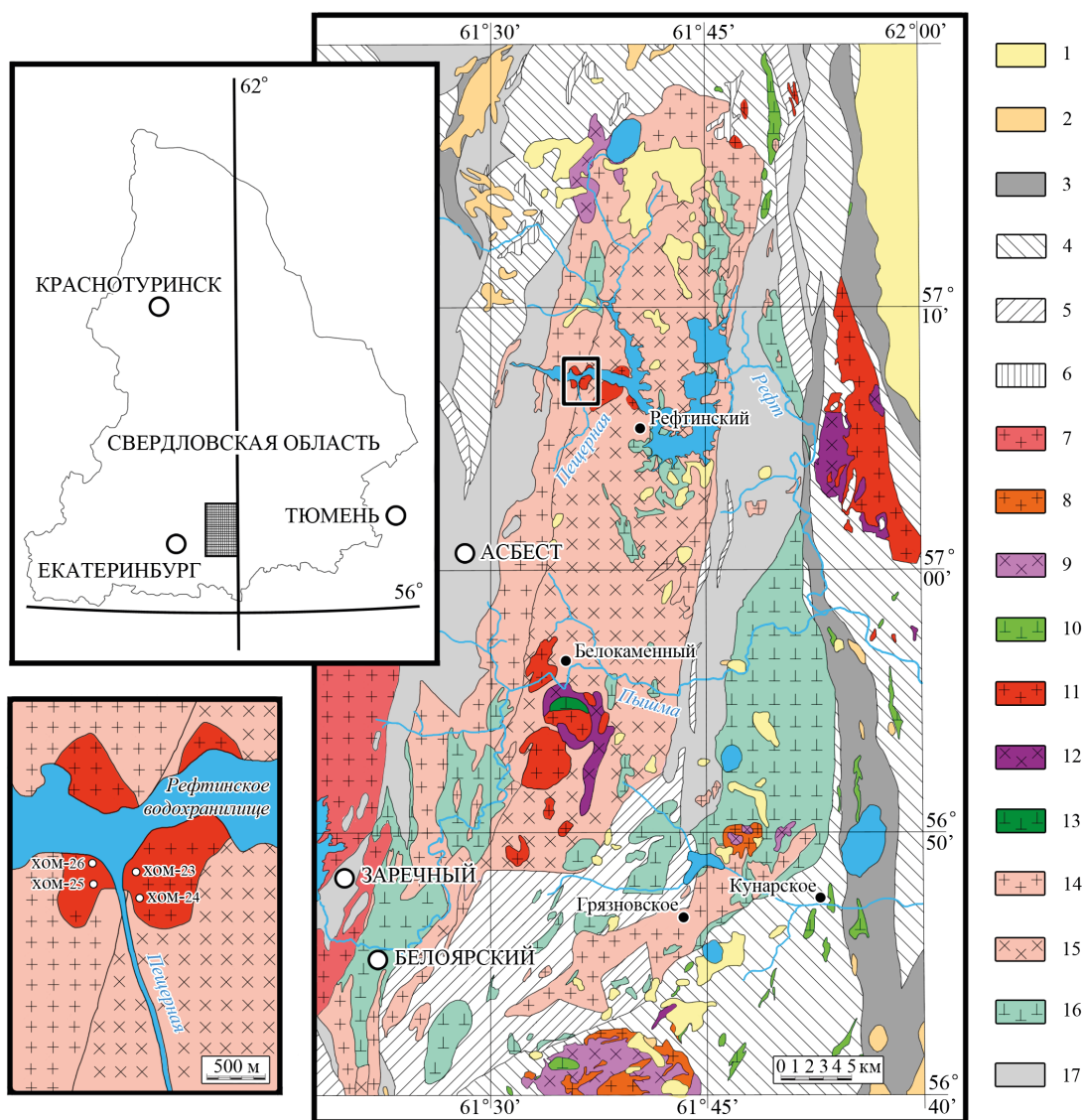


Рисунок 1. Геологическая карта Рефтинского массива (по [3] с уточнениями авторов).

Условные обозначения: 1 – осадочные породы палеогенового возраста (P_{1-3}); 2 – мелового возраста (K_{1-2}); 3 – раннекаменноугольного возраста (C_1); 4 – девонские вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи (D_{1-3}); 5 – вулканогенные толщи ордовикского возраста (O_3); 6 – риолиты пермского урукульско-покровского гипабиссального риолит-трахириолитового комплекса (P); 7 – гранитоиды каменского гранит-гранодиоритового комплекса (C_{2-3}); 8–10 – plutonic rocks of the Nekrasov complex: 8 – гранитоиды (C_1), 9 – диориты (C_1), 10 – габбро (C_1); 11–13 – девонские интрузии: 11 – гранитоиды (D_2), 12 – диориты (D_2), 13 – габбро (D_2); 14–16 – рефтинский комплекс: 14 – плагиограниты (S_2), 15 – кварцевые диориты и тоналиты (S_2), 16 – габбро (S_2); 17 – породы офиолитовой ассоциации, алапаевский дунит-гарцбургит-габбровый комплекс (V).

Figure 1. Geological map of the Reftinsky massif (compiled according to [3] with the authors' corrections).

Legend: 1 – sedimentary rocks of the Paleogene age (P_{1-3}); 2 – the Cretaceous age (K_{1-2}); 3 – the Early Carboniferous age (C_1); 4 – the Devonian volcanogenic and volcanogenic-sedimentary strata (D_{1-3}); 5 – volcanogenic strata of the Ordovician age (O_3); 6 – rhyolites of the Permian Urukul-Pokrovsky hypabyssal rhyolite-trachyrhyolite complex (P); 7 – granitoids of the Kamensky granite-granodiorite complex (C_{2-3}); 8–10 – plutonic rocks of the Nekrasov complex: 8 – granitoids (C_1), 9 – diorites (C_1), 10 – gabbro (C_1); 11–13 – the Devonian intrusions: 11 – granitoids (D_2), 12 – diorites (D_2), 13 – gabbro (D_2); 14–16 – the Reftinsky complex: 14 – plagiogranites (S_2), 15 – quartz diorites and tonalites (S_2), 16 – gabbro (S_2); 17 – rocks of ophiolite association, the Alapaevka dunite-harzburgite-gabbro complex (V).

Испания) по циркону из гранодиорита одного из таких тел (Южно-Хомутинская интрузия, юго-западная часть Рефтинского массива), но сами результаты датирования не приводятся. В объяснительной записке к Геологической карте масштаба 1:200 000 последней редакции [3] имеется ссылка на полученные ранее раннекаменноугольные K-Ar датировки по валовым пробам плагиогранитоидов рефтинского комплекса из экзоконтактовой зоны Хомутинской габбро-гранитоидной интрузии (юго-западная часть Рефтинского массива). По мнению авторов записки, эти возрасты являются результатом термального воздействия

интрузии и, следовательно, отражают время ее внедрения. В соответствии с приведенными данными часть таких тел в этой работе отнесена к раннекаменноугольному некрасовскому габбро-диорит-гранитовому комплексу, а другая часть – к ранне-среднедевонскому алтынайскому диорит-плагиогранитовому комплексу. В настоящей работе приводятся первые надежные изотопно-геохронологические данные, полученные U-Pb методом (SHRIMP-II, ВСЕГЕИ), по цирконам из лейкогранитов одного из таких тел – Пещернинского штока, прорывающего тоналиты рефтинского комплекса в северо-западной части массива.

Геологическое строение района

Рефтинский габбро-гранитоидный массив расположен в пределах среднеуральского сегмента Восточной зоны, которая представляет собой полосу палеозойских вулканогенных, вулканогенно-осадочных и осадочных толщ, а также комагматических вулканитов интрузивных тел, протягивающуюся параллельно главной вулканогенной зоне Среднего Урала – Тагильской – на расстоянии 80–100 км к востоку [4]. С запада эта зона ограничена крупным разрывным нарушением левосдвигового характера – Баженовской шовной зоной [5, 6], в восточном направлении погружается под чехол Западно-Сибирской плиты. Обрамление массива представлено широким спектром преимущественно вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ палеозойского возраста. Контакты с ними большею частью тектонические, но были описаны и рвущие взаимоотношения плагиоклазовых гранитоидов с ультраосновными породами Баженовского массива [7, 8].

Массив состоит из нескольких тектонических блоков (см. рис. 1). Преобладающим типом пород являются плагиоклазовые гранитоиды: кварцевые диориты, тоналиты и плагиограниты (трондьемиты), включенные на Карте масштаба 1:200 000 [3, 9] в состав рефтинского плутонического комплекса, хотя, по мнению авторов настоящей публикации, плагиограниты (трондьемиты) следует отнести к выделенному на смежной к югу площади аверинскому диорит-трондьемитовому комплексу, породам которого они полностью идентичны по петро- и геохимическим особенностям [10, 11]. Плагиоклазовые гранитоиды слагают блок размером 60×15 км в западной части массива, на долю которого приходится более половины его площади. Роговообманковые габбро и диориты рефтинского комплекса образуют два относительно небольших по размеру блока (2×15 и 8×25 км), вытянутых вдоль восточного края массива. От сложенного гранитоидами блока они отделены субмеридиональной полосой пород офиолитовой ассоциации (комплексом параллельных долеритовых даек и габброидами расслоенной части офиолитового разреза). Гранитоидные и габбро-гранитоидные тела, прорывающие плагиоклазовые гранитоиды силурийского возраста, протягиваются в виде цепочки, вытянутой в субмеридиональном направлении вблизи западной границы Рефтинского массива. Размер этих тел на современном эрозионном срезе варьирует от сотен метров до 5–6 км, форма – от субизометричной до неправильной. Значительная часть таких тел, по всей вероятности, соединяется на глубине, образуя достаточно крупные плутоны. Контакты рассматриваемых тел с вмещающими тоналитами резкие, рвущие, с хорошо выраженными зонами закалки, кварц-полевошпатовыми роговиками и роговиковоподобными породами, местами с мощными ореолами метасоматических изменений.

Более детальная характеристика Рефтинского массива дана в работах [1, 12–15].

Для проведения изотопно-геохронологических исследований, результаты которых изложены в настоящей работе, был выбран относительно небольшой по размерам шток, расположенный в северо-западной части Рефтин-

ского массива (устье р. Пещерной). Выбор Пещернинского штока обусловлен тем, что в отличие от большинства интрузивных тел рассматриваемого типа он расположен за пределами зоны наиболее интенсивных метаморфических преобразований, связанных с Баженовской сутурой, что исключает или, по крайней мере, минимизирует возможность влияния этих процессов на результаты датирования.

Краткая характеристика Пещернинского штока

Гранитоидная интрузия (Пещернинский шток) расположена в районе впадения р. Пещерной в Рефтинское водохранилище. На современном эрозионном срезе она имеет неправильную форму и небольшие (около 2.5 км в поперечнике) размеры (см. рис. 1). Однако ввиду того, что на незначительном удалении к востоку от нее расположено еще одно аналогичное по составу гранитное тело, есть все основания предполагать, что на глубине они сливаются, образуя достаточно крупный массив. Выходы гранитоидов Пещернинского штока наблюдаются по обоим берегам р. Пещерной на протяжении около 200 м от ее устья.

Слагающие Пещернинский шток породы являются однородными по составу лейкогранитами, содержащими маломощные (до нескольких десятков сантиметров) жилы аплитов. Лейкограниты представляют собой массивные полнокристаллические породы белого, желтого или светло-бежевого цвета. По размеру зерен они варьируют от мелко- до среднезернистых. Главными породообразующими минералами являются кварц (40–45 %), олигоклаз (30–35), ортоклаз (12–18) и биотит (~4 %). Акцессорные минералы – магнетит, ильменит, апатит, циркон, монацит, ксенотим; вторичные (~1 %) – титанит, рутил, серицит, хлорит, эпидот. Лейкограниты характеризуются гранобластовой структурой с плохо сохранившимися реликтами гипидиоморфнозернистой гранитовой, размер зерен варьирует от 0.2 до 2.2 мм. Ненарушенная первичная структура гранитов не наблюдалась. Аплиты по минеральному и химическому составу близки лейкогранитам, отличаясь более мелкозернистой структурой (размер зерен – менее 0.5 мм), незначительно повышенным содержанием кремнезема и пониженной фемичностью. Метаморфические изменения заключаются в интенсивном катаклазе пород, обусловившем потерю первичных магматических структур, и слабо проявленных зеленокаменных преобразованиях.

Химический состав пород Пещернинского штока приведен в табл. 1. Гранитоиды представляют собой нормальнощелочные породы (рис. 2): величина суммы щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) в них колеблется от 6.69 до 7.79 мас. %. Лейкограниты характеризуются натриевым типом щелочности ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1.2–1.7$), аплит – калиево-натриевым типом ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0.9$) [17]. Положение точек пород Пещернинского штока на диаграмме AFM [18] указывает на их принадлежность известково-щелочной серии (рис. 3, а). По классификации А. Печерилла и С.Р. Тейлора [19] лейкограниты Пещернинского штока соответствуют породам умеренно-калиевой, а аплит – высококалиевой известково-щелочной серии (рис. 3, б).

Таблица 1
Химический состав пород Пещернинского штока, мас. %
Table 1
Chemical composition of rocks of the Peshcherninsky stock, wt. %

Оксиды	XOM-24	XOM-23	XOM-26	XOM-25
SiO ₂	76.4	77.7	78.0	79.0
TiO ₂	0.18	0.14	0.12	0.09
Al ₂ O ₃	12.6	12.3	12.1	12.0
Fe ₂ O ₃	1.09	0.40	0.34	0.12
FeO	0.40	0.40	0.40	0.40
MnO	0.04	0.03	0.03	0.01
MgO	0.24	0.11	0.08	0.00
CaO	1.67	0.89	0.78	0.40
Na ₂ O	4.22	4.35	4.23	3.63
K ₂ O	2.47	3.18	3.56	4.26
P ₂ O ₅	0.02	0.01	0.01	0.01
П.п.п.	0.54	0.44	0.34	0.34
Сумма	100.00	100.01	100.00	100.02

Примечание. XOM-24, XOM-23, XOM-26 – лейкограниты; XOM-25 – аплит.
Note. HOM-24, HOM-23, HOM-26 – leucogranites; HOM-25 – aplite.

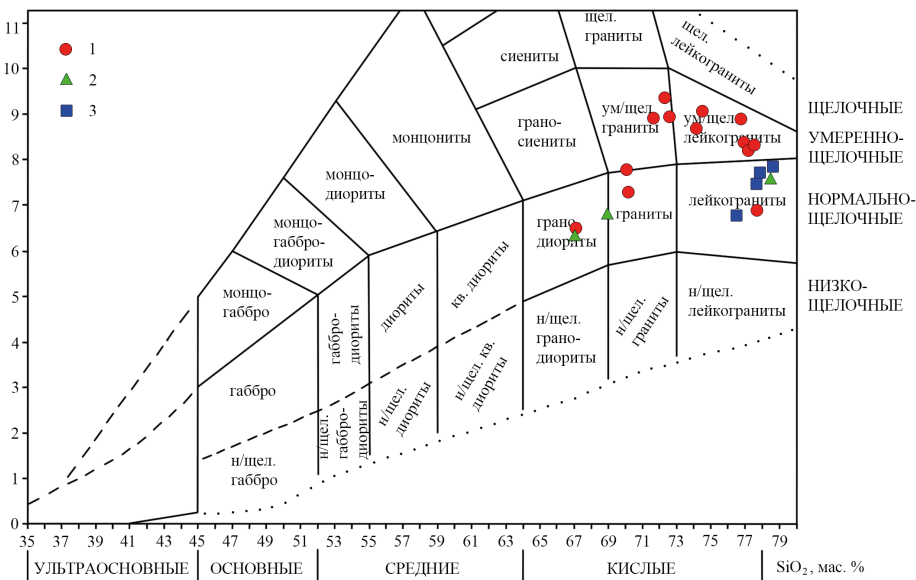


Рисунок 2. Положение гранитоидов Хомутинского, Южно-Хомутинского массивов, Пещернинского штока на классификационной диаграмме $K_2O+Na_2O-SiO_2$ (TAS) [16]. Условные обозначения: 1 – породы Хомутинского массива, 2 – породы Южно-Хомутинского, 3 – породы Пещернинского штока.
Figure 2. The position of granitoids of the Khomutinsky massif, the Yuzhno-Khomutinsky massif, and the Peshcherninsky stock on the alkali sum – silica TAS classification diagram [16]. Symbols: 1 – rocks of the Khomutinsky massif, 2 – rocks of the Yuzhno-Khomutinsky massif, 3 – rocks of the Peshcherninsky stock.

Содержания элементов-примесей Пещернинского штока показаны в табл. 2, характер их распределения иллюстрируют рис. 4 и 5. Общее количество редкоземельных элементов варьирует в лейкогранитах от 64.19 до 72.66 г/т и понижается в аплите до 21.68 г/т. Графики распределения РЗЭ (рис. 4) во всех породах Пещернинского штока характеризуются преобладанием легких элементов спектра над тяжелыми (отношение La_n/Yb_n имеет величину 13,63–17,42 в лейкогранитах и 2.15 – в гранитах) и наличием хорошо выраженной отрицательной европиевой аномалии (величина Eu/Eu^* равна 0.57–0.61 в лейкогранитах и 0.22 – в аплите). Мультикомпонентные спайдер-диаграммы гранитоидов Пещернинского штока (рис. 5) характеризуются отчетли-

выми минимумами высоkozарядных элементов Nb, Ta и Ti при положительной аномалии K и Zr. График распределения элементов в аплите показывает заметно пониженное по сравнению с лейкогранитами содержание Ba, Sr и легких лантаноидов.

Материал и методы

Для проведения изотопно-геохронологических исследований из коренного выхода типичного для датированной интрузии лейкогранита на правом берегу р. Пещерной, в непосредственной близости от ее устья, была отобрана проба XOM-24. Координаты точки отбора – 57°07,069' с.ш., 61°36,286' в.д. 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 бинокулярным микроскопом. При выборе точек для датирования использовались оптические и катодолюминесцентные изображения зерен. Анализ U-Pb изотопной системы цирконов выполнялся на вторично-ионном микрозонде SHRIMP-II (Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ) по стандартной методике [22, 23].

Результаты и их обсуждение

Все наблюдавшиеся в изученной пробе лейкогранита зерна циркона представляют собой идиоморфные короткопризматические кристаллы, имеющие огранку в виде тетрагональной призмы {100} с развитыми гранями двух дипирамид по {111} и {331} (рис. 6). Как правило, они бледно-желтой окраски, в виде исключения встречаются также бесцветные зерна. Размер варьирует от 100 до 450 мкм по длинной оси и от 50 до 200 мкм в поперечнике. Коэффициент удлинения зерен практически

постоянен – 2–2,5. Катодолюминесцентные снимки демонстрируют отчетливо выраженное ритмично-зональное строение зерен. Некоторые из них имеют черную незональную кайму. Измерения изотопного состава преимущественно выполнены в центральных частях кристаллов, в некоторых зернах дополнительно проведены замеры и во внешних зонах.

Результаты изучения U-Pb изотопной системы цирконов приведены в табл. 3. На изотопной диаграмме $^{206}Pb/^{238}U - ^{207}Pb/^{235}U$ (рис. 7), построенной по этим данным, семь из 10 проанализированных точек образуют компактную группу, среднее значение конкордантного возраста по которой составляет 396 ± 3 млн лет при $СКВО=0.49$ и вероятности

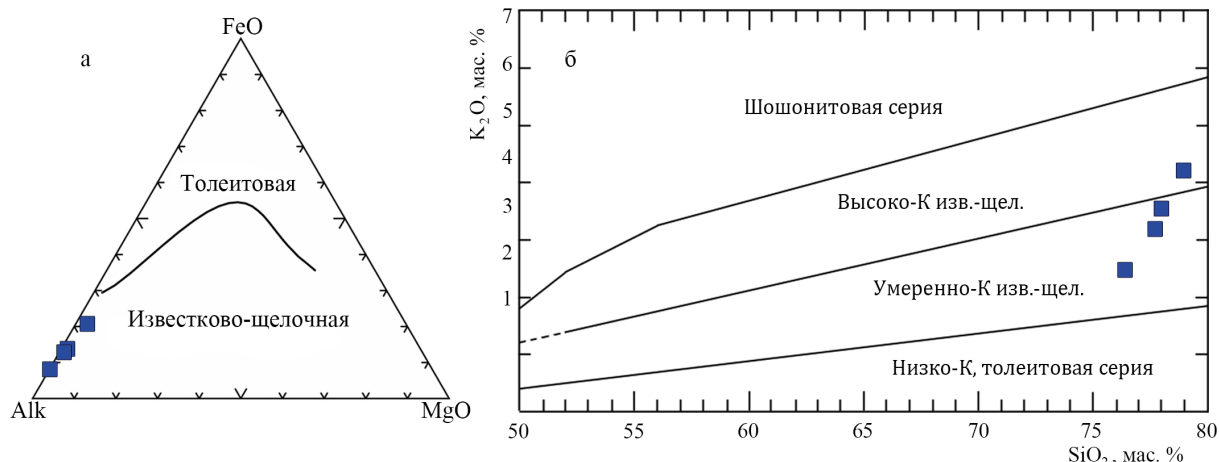


Рисунок 3. Положение гранитоидов Пещернинского штока (отмечены фигуративными точками) на классификационных диаграммах: а – диаграмма AFM [18] для разделения пород толеитовой и известково-щелочной серий; б – диаграмма А. Печерилла и С.Р. Тейлора [19] для разделения пород по содержанию калия.

Figure 3. The position of granitoids of the Peshcherninsky stock (marked with figurative dots) on the classification diagrams: а – AFM diagram [18] for division of rocks to tholeiitic and calc-alkaline series; б – diagram of A. Peccerillo and S.R. Taylor [19] for division of rocks by potassium content.

Таблица 2

Микроэлементный состав гранитоидов Хомутинского массива и Пещернинского штока, г/т

Table 2

Trace element composition of granitoids of the Khomutinsky massif and the Peshcherninsky stock, ppm

Образец	ХОМ-19	ХОМ-17-1	ХОМ-24	ХОМ-23	ХОМ-26	ХОМ-25
1	2	3	4	5	6	7
№	1	2	3	4	5	6
Li	0.8	2.0	5.0	4.0	4.0	0.9
Be	1.10	0.38	0.60	0.44	0.90	0.60
Sc	11.0	3.4	6.0	4.4	5.0	4.0
Ti	1200	600	1000	700	800	400
V	5.0	0.9	17.0	7.0	6.0	1.9
Cr	1.8	1.0	1.0	0.9	16.0	0.9
Mn	130	130	360	230	250	90
Co	0.60	0.3	1.70	0.80	0.90	0.31
Ni	1.7	1.4	1.7	1.4	12.0	1.5
Cu	7.0	6.0	2.9	2.6	35.0	3.0
Zn	22	19	13	9	18	9
Ga	18	11	13	12	12	11
Ge	1.5	1.4	1.8	1.8	2.0	2.4
As	0.78	0.06	0.32	0.28	0.36	0.17
Se	0.56	0.31	0.46	0.42	0.44	0.41
Rb	20	7	50	67	67	69
Sr	140	180	230	140	150	100
Y	14	7	15	10	11	13
Zr	180	56	92	97	110	110
Nb	19	5	5.9	7.0	8.0	7.0
Mo	0.70	0.16	0.17	0.31	0.25	1.80
Ag	0.25	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07
Cd	0.13	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
Sn	0.9	0.7	0.70	0.70	0.70	0.34
Sb	0.05	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02

конкордантности 0.48. Очевидно, что этот возраст может рассматриваться как время образования породы. Для двух точек (1.1 и 3.1) получены более молодые, по сравнению с преобладающей частью циркона, возрасты (приблизительно на 20 млн лет). Скорее всего, они объясняются

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Te	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cs	0.03	0.03	0.18	0.31	0.29	0.09
Ba	270	330	700	800	800	160
La	7	7	19	17	14	3
Ce	17	15	35	33	29	8
Pr	2.2	1.9	3.7	3.4	3.1	1.0
Nd	9.0	7.0	13.0	12.0	11.0	3.8
Sm	1.8	1.5	2.1	2.1	1.9	1.1
Eu	0.30	0.26	0.42	0.37	0.37	0.08
Gd	2.0	1.3	2.1	1.9	1.8	1.1
Tb	0.30	0.15	0.22	0.19	0.19	0.17
Dy	1.9	0.9	1.3	1.0	1.1	1.1
Ho	0.40	0.18	0.26	0.19	0.20	0.23
Er	1.3	0.6	0.8	0.6	0.6	0.8
Tm	0.20	0.09	0.13	0.09	0.10	0.13
Yb	1.4	0.7	1.0	0.7	0.7	1.0
Lu	0.22	0.12	0.16	0.12	0.13	0.17
Hf	2.3	1.2	1.6	1.7	1.9	2.4
Ta	0.70	0.16	0.25	0.25	0.33	0.26
W	0.10	0.10	0.05	0.21	0.17	0.06
Tl	0.17	0.06	0.14	0.18	0.20	0.18
Pb	9	10	8	11	11	12
Th	3.3	3.9	9.0	10.5	10.0	7.0
U	0.41	0.49	2.1	1.8	2.5	2.9
Eu/Eu*	0.48	0.57	0.61	0.57	0.61	0.22
Lan/Ybn	3.58	7.17	13.63	17.42	14.35	2.15
Σ REE	45.02	36.70	79.19	72.66	64.19	21.68

Примечание. ХОМ-19 – гранит Хомутинского массива, ХОМ-17-1 – лейкогранит Хомутинского массива; ХОМ-23, ХОМ-24, ХОМ-26 – лейкограниты Пещернинского штока; ХОМ-25 – аплит Пещернинского штока.

Note. HOM-19 – granite of the Khomutinsky massif; HOM-17-1 – leucogranite of the Khomutinsky massif; HOM-23, HOM-24, HOM-26 – leucogranites of the Peshcherninsky stock; HOM-25 – aplite of the Peshcherninsky stock.

нарушением U-Pb изотопной системы циркона. Наиболее молодое значение возраста – около 174 млн лет (точка измерения – 4.2) – получено по циркону поздней генерации, который нарастает на зерно циркона главной возрастной группы (рис. 6). От циркона, преобладающего в изученной

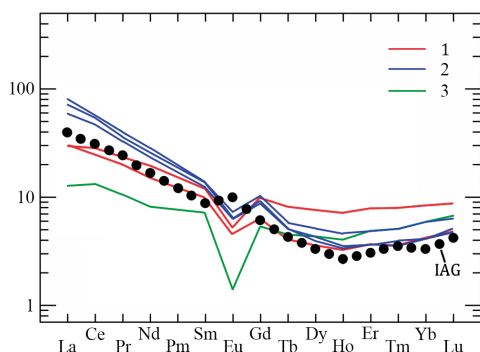


Рисунок 4. Нормированное по хондриту [20] распределение редкоземельных элементов в гранитоидах Хомутинского массива и Пещернинского штока, сравнение с гранитами островных дуг (IAG) [28].

Условные обозначения: 1 – граниты Хомутинского массива; 2 – лейкограниты Пещернинского штока; 3 – аплит Пещернинского штока.

Figure 4. Chondrite normalized [20] distribution of rare earth elements in granitoids of the Khomutinsky massif and the Peshcherninsky stock, comparison with island arc granites (IAGs) [28].

Symbols: 1 – granites of the Khomutinsky massif; 2 – leucogranites of the Peshcherninsky stock; 3 – aplite of the Peshcherninsky stock.

пробе, этот циркон отличается отсутствием зональности, а также значительно повышенным содержанием Pb, U и Th (табл. 3).

Многочисленные мелкие гранитоидные и габбро-гранитоидные интрузии западной части Рефтинского массива, к числу которых относится датированный гранитный шток, имеют одинаковое геолого-структурное положение [27]. Они прорывают зеленокаменно измененные и в разной степени деформированные плагиоклазовые гранитоиды силурийского возраста, образуя цепочку, вытянутую в субмеридиональном направлении в западной части Рефтинского массива (см. рис. 1). Гранитоиды всех этих тел обладают общими особенностями состава: представляют собой породы с нормальным или слабо повышенным содержанием щелочей при незначительном преобладании натрия над калием и обратным их соотношением в наиболее кислых петрографических разновидностях. Это де-

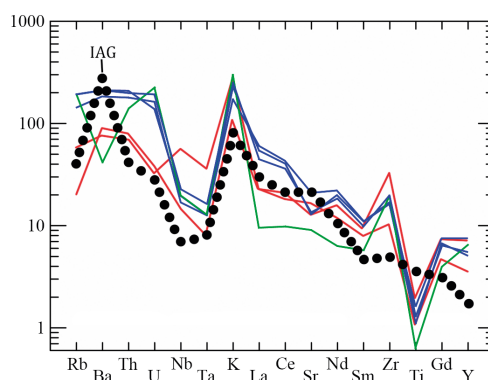


Рисунок 5. Нормированное по хондриту [21] распределение редких и рассеянных элементов в гранитоидах Хомутинского массива и Пещернинского штока, сравнение с гранитами островных дуг (IAG) [28].

Условные обозначения: см. рис. 4.

Figure 5. Chondrite normalized [21] distribution of rare and trace elements in granitoids of the Khomutinsky massif and the Peshcherninsky stock, comparison with island arc granites (IAGs) [28].

The symbols are the same as in Fig. 4.

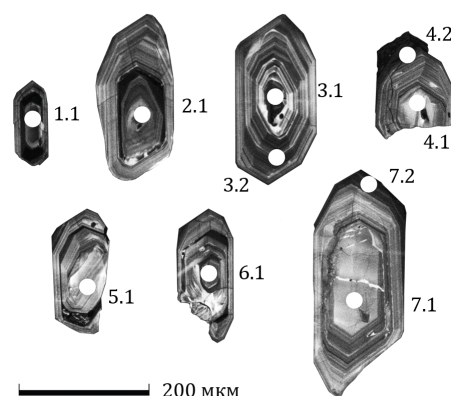


Рисунок 6. Католюминесцентное изображение зерен циркона из лейкогранита пробы ХОМ-24. Кругами показано местоположение точек замеров, цифры соответствуют номерам анализов в табл. 3.

Figure 6. The cathodoluminescence images of zircon grains from HOM-24 leucogranite sample. Circles designate the measurement points. Figures correspond to the numbers of analyses in Table 3.

Данные изотопного U-Pb анализа цирконов Пещернинского штока

Таблица 3

Data of the U-Pb isotopic analysis of zircons from the Peshcherninsky stock

Table 3

Номера точек измерений	$^{206}\text{Pb}/\text{Pb}^*$, %	U, ppm	Th, ppm	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$, ppm	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ Age, (t)	Total $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	±%	Total $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	±%	(1) $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$	±%	(1) $^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	±%
Хом 24-4.2	12.62	3575	2032	0.59	95.9	173.6 ± 2.0	32.01	1.0	0.1469	1.6	36.64	1.1	0.0458	10.0
Хом 24-1.1	0.41	974	646	0.68	50.1	373.2 ± 4.0	16.71	1.1	0.0579	1.3	16.78	1.1	0.0546	2.1
Хом 24-3.1	0.24	738	343	0.48	38.3	377.4 ± 4.1	16.55	1.1	0.0564	1.5	16.59	1.1	0.0545	2.1
Хом 24-7.2	0.00	1383	421	0.31	73.5	386.8 ± 4.0	16.17	1.1	0.0544	1.1	16.17	1.1	0.0544	1.1
Хом 24-3.2	0.00	1031	470	0.47	55.3	390.6 ± 4.0	16.01	1.1	0.0542	1.2	16.01	1.1	0.0542	1.2
Хом 24-2.1	0.00	379	111	0.30	20.4	392.5 ± 4.4	15.93	1.2	0.0546	2.1	15.93	1.2	0.0546	2.1
Хом 24-6.1	0.00	450	153	0.35	24.4	394.5 ± 4.4	15.85	1.1	0.0545	2.0	15.85	1.1	0.0545	2.0
Хом 24-5.1	0.00	341	83	0.25	18.7	399.1 ± 4.7	15.66	1.2	0.0546	2.2	15.66	1.2	0.0546	2.2
Хом 24-4.1	0.00	179	51	0.29	10.0	405.9 ± 5.1	15.39	1.3	0.0540	3.1	15.39	1.3	0.0540	3.1
Хом 24-7.1	0.00	285	81	0.29	16.0	408.8 ± 5.0	15.28	1.3	0.0545	2.4	15.28	1.3	0.0545	2.4

Примечания. # – U-Pb SRIMP-II данные, исключенные из соответствующих возрастных расчетов; погрешности $\pm 1\sigma$; Pbс и Pb* – обычный и радиогенный свинец соответственно; (1) – обычный Pb, скорректированный с использованием измеренного ^{204}Pb ; D – дискордантность; Rho – коэффициент корреляции. В качестве эталона использовались стандарты Темога и 91 500 [24–26], для которых по усредненным отношениям $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ были получены 416.26±8.06 млн лет, СКВО=1.4, n=47, 1059±21 млн лет, СКВО=1.8, n=53 соответственно.

Note. # – U-Pb SRIMP-II data excluded from the corresponding age calculations; errors $\pm 1\sigma$; Pbс and Pb* denote common and radiogenic lead, respectively; (1) conventional Pb corrected using measured ^{204}Pb ; D – discordance; Rho – correlation coefficient. The Temora and 91500 standards were used as a reference [24, 25, 26]. According to the average $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ratios, we obtained 416.26±8.06 Ma, MSWD=1.4, n=47 and 1059±21 Ma, MSWD=1.8, n=53 for the Temora and 91500 standards, respectively.

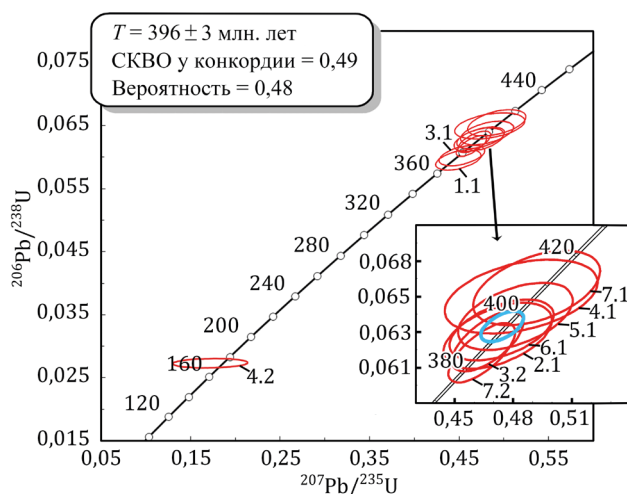


Рисунок 7. Изотопная U-Pb диаграмма с конкордией, построенная по результатам микрозондового изучения цирконов из лейкогранита Пещернинского штока (проба ХОМ-24). На конкордии отображены эллипсы с номерами замеренных точек в соответствии с табл. 3.

Figure 7. The U-Pb isotope diagram with a concordia based on the study results of microprobe zircons from leucogranite of the Peshcherninsky stock (HOM-24 sample). The concordia has ellipses with numbers of the measurement points according to Table 3.

монстрирует рис. 2, на котором наряду с фигуративными точками пород Пещернинского штока показано положение точек гранитоидов Хомутинского и Южно-Хомутинского массивов, расположенных в южной части этой полосы. Однотипным является также поведение редких и рассеянных элементов в гранитоидах рассматриваемых интрузий. На рис. 4 показан характер распределения редкоземельных элементов в лейкогранитах Пещернинского штока и Хомутинского габбро-гранитного массива. Лейкограниты этих интрузивных тел обладают общими особенностями состава РЗЗ: легкие элементы спектра преобладают над тяжелыми, наблюдается отчетливо выраженная отрицательная Eu аномалия. Спайдер-диаграммы распределения редких и рассеянных элементов данных пород характеризуются наличием максимумов по K и Zr и минимумов по Nb, Ta и Ti (см. рис. 5). По характеру распределения и содержанию большинства элементов изученные гранитоиды близки к островодужным гранитам (IAG), описанным С.Н. Рудневым с соавторами [28]. Это позволяет считать, что формирование рассматриваемых интрузивных тел является результатом единого эпизода магматизма, и полученный для лейкогранитов Пещернинского штока возраст 396 ± 3 млн лет, соответствующий второй половине эмского века, отражает время формирования всех этих образований.

Интрузивные породы, близкие по составу и времени формирования рассматриваемым в настоящей публикации, достаточно широко распространены в пределах территории Восточной зоны Среднего Урала. Для кварцевых диоритов Алтынайского массива U-Pb-SIMS методом получены две близкие по величине датировки – 405.9 ± 3.8 млн лет и 405.7 ± 2.5 млн лет, а для гранитов Артемовского массива – возраст 404.2 ± 2.4 млн лет [29]. Возраст гранитов Брусянского массива, по результатам U-Pb LA-ICP-MS датирования, составляет 386.9 ± 3.3 млн лет [3]. Перечисленные данные указывают на наличие в восточной части Среднего Урала достаточно продолжительного эпизода

интрузивного магматизма, охватывавшего промежуток времени от 406 до 387 млн лет назад, т. е. с конца эмского века до начала живетского. Фиксируемый эпизод интрузивного магматизма соответствует времени существования на Среднем Урале девонской островной дуги. Возрастные рамки этого этапа развития – со второй половины эмса до начала франского века включительно – были надежно установлены на основе биостратиграфического датирования островодужных вулканогенно-осадочных толщ [30]. Это согласуется с полученными ранее данными о том, что по геохимическим особенностям породы рассматриваемых в настоящей работе интрузивных тел близки аналогичным петрографическим разновидностям (см. рис. 2, 4, 5), формировавшимся в островодужной обстановке [27].

Литература

1. Смирнов, В.Н. Результаты изотопного датирования пород Рефтинского габбро-диорит-тоналитового комплекса, Восточная зона Среднего Урала / В.Н. Смирнов, Е.В. Наставко, К.С. Иванов, Т.Б. Баянова, Н.В. Родионов [и др.] // Литосфера. – 2014. – № 5. – С. 3–18.
2. Ферштатер, Г.Б. Этапы палеозойского интрузивного магматизма Уральского орогена и их геодинамическая интерпретация / Г.Б. Ферштатер, А.А. Краснобаев, Ф. Беа, П. Монтеро, Н.С. Бородина [и др.] // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование: сборник научных трудов. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. – С. 89–120.
3. Казаков, И.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 (издание второе). Серия Средне-Уральская. Лист О-41-XXVI (Асбест). Объяснительная записка / И.И. Казаков, Е.В. Стороженко, И.Н. Харитонов, В.В. Стефановский, Ю.Н. Кошевой [и др.]. – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. – 284 с.
4. Смирнов, В.Н. Схема тектоно-магматического районирования территории восточного склона Среднего Урала / В.Н. Смирнов, Г.Б. Ферштатер, К.С. Иванов // Литосфера. – 2003. – № 2. – С. 40–56.
5. Смирнов, В.Н. Структурные связи Урала и Западной Сибири: единый этап формирования на границе перми и триаса / В.Н. Смирнов, К.С. Иванов // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 488, № 3. – С. 65–68.
6. Смирнов, В.Н. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст деформаций пород в Баженовской шовной зоне (восточная окраина Среднего Урала) / В.Н. Смирнов, К.С. Иванов, А.В. Травин // Литосфера. – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 242–249.
7. Золотов, К.К. Баженовское месторождение хризотил-асбеста / К.К. Золотов, Б.А. Попов. – Москва: Недра, 1985. – 271 с.
8. Ерохин, Ю.В. Раннесилурийский возраст даек плагиогранита из Баженовского офиолитового комплекса, Средний Урал (по данным Th-U-Pb-датирования монацита) / Ю.В. Ерохин, В.В. Хиллер, К.С. Иванов // Вестник Воронежского государственного университета. – 2021. – № 3. – С. 17–21.
9. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист О-40,

- (41). – Екатеринбург. Объяснительная записка. СПб: Роскомнедра, ВСЕГЕИ, Уралгеолком, УГСЭ, 1997. – 252 с.
10. Смирнов, В.Н. Аверинский диорит-трондьемитовый комплекс востока Урала: новые геолого-геохронологические данные (TIMS и SHRIMP-II) / В.Н. Смирнов, К.С. Иванов, Е.В. Лобова, Т.Б. Баянова, А.Н. Ларионов // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 442, № 5. – С. 668–672.
 11. Лобова, Е.В. Аверинский диорит-трондьемитовый комплекс Восточной зоны Среднего Урала / Е.В. Лобова, В.Н. Смирнов, Т.Б. Баянова // Литосфера. – 2012. – № 3. – С. 49–64.
 12. Смирнов, В.Н. Габбро-гранитоидные серии Восточной зоны Урала / В.Н. Смирнов // Доклады АН СССР. – 1981. – Т. 259, № 6. – С. 1453–1457.
 13. Ферштатер, Г.Б. Эвгеосинклинальные габбро-гранитоидные серии / Г.Б. Ферштатер, Л.В. Малахова, Н.С. Бородин, М.С. Рапапорт, В.Н. Смирнов. – Москва: Наука, 1984. – 264 с.
 14. Лобова, Е.В. Силурийский интрузивный магматизм Восточной зоны Среднего Урала: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Лобова Е.В.; Минерально-сырьевой ун-т «Горный». – Санкт-Петербург, 2013. – 20 с.
 15. Смирнов, В.Н. Изотопный состав Sr, Nd и Hf в породах рефтинского габбро-диорит-тоналитового комплекса (восточный склон Среднего Урала): петрологические и геологические следствия / В.Н. Смирнов, К.С. Иванов, Ю.Л. Ронкин, П.А. Серов, А. Гердес // Геохимия. – 2018. – № 6. – С. 499–513.
 16. Шарпенко, Л.Н. TAS-диаграмма сумма щелочей – кремнезем для химической классификации и диагностики plutonических пород / Л.Н. Шарпенко, А.Е. Костин, Е.А. Кухаренко // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 56. – С. 40–50.
 17. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. – 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Издательство ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.
 18. Irvine, T.N. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks / T.N. Irvine, W.R.A. Baragar // Canadian Journal of Earth Sciences. – 1971. – Vol. 8. – № 5. – P. 523–548.
 19. Peccerillo, A. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey / A. Peccerillo, S.R. Taylor // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1976. – Vol. 58. – P. 63–81.
 20. Sun, S.S. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in Ocean Basins. Edited by A. D. Saunders and M. J. Norry / S.S. Sun, W.F. McDonough // Geol. Soc. Spec. Publ. – 42. – 1989. – P. 313–345.
 21. Sun, S.S. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs, Philos. / S.S. Sun // Trans. R. Soc. London. – 1980. – Ser. A, 297. – P. 409–445.
 22. Williams, I.S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe / I.S. Williams // Reviews in Economic Geology. – 1998. – № 7. – P. 1–35.
 23. 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 // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society, London, Memoirs. – 2004. – Vol. 30. – P. 69–74.
 24. Black, L.P. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology / L.P. Black, S.L. Kamo, C.M. Allen, J.N. Aleinikoff, D.W. Davis [et al.] // Chemical Geology. – 2003. – 200. – P. 155–170.
 25. Wiedenbeck, M. Further characterisation of the 91500 zircon crystal / M. Wiedenbeck, J.M. Hanchar, H. William, W.H. Peck, P. Sylvester [et al.] // Geostand. Geoanal. Res. – 2004. – Vol. 28. – P. 9–39.
 26. Wiedenbeck, M. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses / M. Wiedenbeck, P. Allé, F. Corfu, W.L. Griffin, M. Meier [et al.] // Geostandards Newsletter. – Vol. 19. – № 1. – 1995. – P. 1–23.
 27. Korovin, D.D. Geochemical features of the Devonian plutonic rocks of the Reftinsky massif (Middle Urals) / D.D. Korovin // News of the Ural State Mining University. – 2022. – Issue 1(65). – P. 13–21.
 28. Руднев, С.Н. Ранние этапы островодужного плагиогранитоидного магматизма Горной Шории и Западного Саяна / С.Н. Руднев, Г.А. Бабин, В.П. Ковач, В.Ю. Киселева, П.А. Серов // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 1. – С. 27–44.
 29. Грабежев, А.И. Артемовско-Алтынайский рудно-магматический ареал медно-порфирового типа (Средний Урал): U-Pb SHRIMP-II возраст, петрохимия гранитоидов и генетическая специфика / А.И. Грабежев, В.Н. Смирнов // Литосфера. – 2012. – № 6. – С. 78–89.
 30. Смирнов, В.Н. Основные этапы магматизма восточного склона Среднего Урала / В.Н. Смирнов // Литосфера. – 2012. – № 5. – С. 4–15.

References

1. Smirnov, V.N. Rezultaty izotopnogo datirovaniya porod Reftinskogo gabbro-diorit-tonalitovogo kompleksa, Vostochnaya zona Srednego Urala [Results of isotopic dating of rocks of the Reftinsky gabbro-diorite-tonalite complex, the Eastern zone of the Middle Urals] / V.N. Smirnov, E.V. Nastavko, K.S. Ivanov, T.B. Bayanova, N.V. Rodionov [et al.] // Litosfera [Lithosphere]. – 2014. – № 5. – P. 3–18.
2. Fershtater, G.B. Etapy paleozojskogo intruzivnogo magmatizma Uralskogo orogena i ih geodinamicheskaya interpretaciya [Stages of Paleozoic intrusive magmatism of the Ural orogen and their geodynamic interpretation] / G.B. Fershtater, A.A. Krasnobaev, F. Bea, P. Montero, N.S. Borodina [et al.] // Geodynamics, magmatism, metamorphism and ore formation: Collection of scientific papers. – Ekaterinburg: IGG UB RAS. – 2007. – P. 89–120.
3. Kazakov, I.I. State geological map of the Russian Federation, scale 1:200000 (second edition). Middle Ural series. Sheet O-41-XXVI (Asbestos). Explanatory note / I.I. Kazakov, E.V. Storozhenko, I.N. Kharitonov, V.V. Stefanovsky,

- Yu.N. Koshevoy [et al.] // Sankt-Petersburg: Cartographic factory VSEGEI. – 2017. – 284 p.
4. Smirnov, V.N. Skhema tektono-magmaticheskogo rajonirovaniya territorii vostochnogo sklona Srednego Urala [Tectonic-magmatic zonation scheme of the eastern slope of the Middle Urals / V.N. Smirnov, G.B. Fershtater, K.S. Ivanov // Litosfera [Lithosphere]. – 2003. – № 2. – P. 40–56.
 5. Smirnov, V.N. Strukturnye svyazi Urala i Zapadnoj Sibiri: edinyj etap formirovaniya na granice permi i triasa [Structural links between the Urals and Western Siberia: a common formation stage at the border between the Permian and Triassic] / V.N. Smirnov, K.S. Ivanov // Proceedings of the Academy of Sciences. – 2019. – Vol. 488. – № 3. – P. 65–68.
 6. Smirnov, V.N. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -vozrast deformatsij porod v Bazhenovskoj shovnoj zone (vostochnaya okraina Srednego Urala) [$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -age of rock deformations in the Bazhenov suture zone (the eastern margin of the Middle Urals)] / V.N. Smirnov, K.S. Ivanov, A.V. Travin // Litosfera [Lithosphere]. – 2019. – Vol. 19. – № 2. – P. 242–249.
 7. Zoloev, K.K. Bazhenovskoe mestorozhdenie hrizotil-asbesta [The Bazhenov deposit of chrysotile-asbestos] / K.K. Zoloev, B.A. Popov. – Moscow: Nedra. – 1985. – 271 p.
 8. Erokhin, Yu.V. Rannesilunijiskij vozrast daek plagiogranita iz Bazhenovskogo ofiolitovogo kompleksa, Srednij Ural (po dannym Th-U-Pb-datirovaniya monacita) [The early Silurian age of plagiogranite dikes from the Bazhenov ophiolite complex, the Middle Urals (according to the Th-U-Pb dating of monazite)] / Yu.V. Erokhin, V.V. Hiller, K.S. Ivanov // Bulletin of the Voronezh State University. – 2021. – № 3. – P. 17–21.
 9. State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (new series). Sheet O-40, (41) – Ekaterinburg. Explanatory note. – Sankt-Petersburg: Roskomnedra, VSEGEI, Uralgeolcom, UGSE. – 1997. – 252 p.
 10. Smirnov, V.N. Averinskij diorit-trondyemitovyy kompleks vostochno Urala: novye geologo-geohronologicheskie dannye (TIMS i SHRIMP-II) [The Averinsky diorite-trondhjemite complex of the Eastern Urals: new geological and geochronological data (TIMS and SHRIMP-II)] / V.N. Smirnov, K.S. Ivanov, E.V. Lobova, T.B. Bayanova, A.N. Larionov // Proceedings of the Academy of Sciences. – 2012. – Vol. 442. – № 5. – P. 668–672.
 11. Lobova, E.V. Averinskij diorit-trondyemitovyy kompleks Vostochnoj zony Srednego Urala [The Averinsky diorite-trondhjemite complex of the Eastern zone of the Middle Urals] / E.V. Lobova, V.N. Smirnov, T.B. Bayanova // Litosfera [Lithosphere]. – 2012. – № 3. – P. 49–64.
 12. Smirnov, V.N. Gabbro-granitoidnye serii Vostochnoj zony Urala [Gabbro-granitoid series of the Eastern zone of the Urals] / V.N. Smirnov // Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. – 1981. – Vol. 259. – № 6. – P. 1453–1457.
 13. Fershtater, G.B. Evgeosinklinalnye gabbro-granitoidnye serii [Eugeosynclinal gabbro-granitoid series] / G.B. Fershtater, L.V. Malakhova, N.S. Borodina, M.S. Rapaport, V.N. Smirnov. – Moscow: Nauka. – 1984. – 264 p.
 14. Lobova, E.V. Silurijskij intruzivnyj magmatizm Vostochnoj zony Srednego Urala [Silurian intrusive magmatism in the Eastern zone of the Middle Urals]: extended abstract of Candidate's thesis (Geology and Mineralogy) / Lobova Ekaterina V.; Mineral and Raw Materials University "Gorny". – Sankt-Petersburg. – 2013. – 20 p.
 15. Smirnov, V.N. Izotopnyj sostav Sr, Nd i Hf v porodah reftinskogo gabbro-diorit-tonalitovogo kompleksa (vostochnyj sklon Srednego Urala): petrologicheskie i geologicheskie sledstviya [Isotopic composition of Sr, Nd, and Hf in the rocks of the Reftinsky gabbro-diorite-tonalite complex (eastern slope of the Middle Urals): petrological and geological consequences] / V.N. Smirnov, K.S. Ivanov, Yu.L. Ronkin, P.A. Serov, A. Gerdes // Geokhimiya [Geochemistry]. – 2018. – № 6. – P. 499–513.
 16. Sharpenok, L.N. TAS-diagramma summa shchelochej – kremnezem dlya himicheskoy klassifikacii i diagnostiki plutonicheskikh porod [Alkali sum – silica TAS-diagram for chemical classification and diagnostics of plutonic rocks] / L.N. Sharpenok, A.E. Kostin, E.A. Kukhareenko // Regionalnaya geologiya i metallogeniya [Regional Geology and Metallogeny]. – 2013. – № 56. – P. 40–50.
 17. Petrographic code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations. – 2nd edition, revised and enlarged. – Sankt-Petersburg: VSEGEI Publishing House. – 2008. – 200 p.
 18. Irvine, T.N. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks / T.N. Irvine, W.R.A. Baragar // Canadian Journal of Earth Sciences. – 1971. – Vol. 8. – № 5. – P. 523–548.
 19. Peccerillo, A. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey / A. Peccerillo, S.R. Taylor // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1976. – Vol. 58. – P. 63–81.
 20. Sun, S.S. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in Ocean Basins. Edited by A. D. Saunders and M. J. Norry / S.S. Sun, W.F. McDonough // Geol. Soc. Spec. Publ. – 42. – 1989. – P. 313–345.
 21. Sun, S.S. Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs, Philos. / S.S. Sun // Trans. R. Soc. London. – 1980. – Ser. A, 297. – P. 409–445.
 22. Williams, I.S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe / I.S. Williams // Reviews in Economic Geology. – 1998. – № 7. – P. 1–35.
 23. 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 // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society, London, Memoirs. – 2004. – Vol. 30. – P. 69–74.
 24. Black, L.P. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology / L.P. Black, S.L. Kamo, C.M. Allen, J.N. Aleinikoff, D.W. Davis [et al.] // Chemical Geology. – 2003. – 200. – P. 155–170.
 25. Wiedenbeck, M. Further characterisation of the 91500 zircon crystal / M. Wiedenbeck, J.M. Hanchar, H. William,

- W.H. Peck, P. Sylvester [et al.] // *Geostand. Geoanal. Res.* – 2004. – Vol. 28. – P. 9–39.
26. Wiedenbeck, M. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses / M. Wiedenbeck, P. Allé, F. Corfu, W.L. Griffin, M. Meier [et al.] // *Geostandards Newsletter*. – Vol. 19. – № 1. – 1995. – P. 1–23.
27. Korovin, D.D. Geochemical features of the Devonian plutonic rocks of the Reftinsky massif (Middle Urals) / D.D. Korovin // *News of the Ural State Mining University*. – 2022. – Issue 1(65). – P. 13–21.
28. Rudnev, S.N. Rannie etapy ostrovoduzhnogo plagiogranitoidnogo magmatizma Gornoj Shorii i Zapadnogo Sayana [Early stages of island-arc plagiogranitoid magmatism in Gornaya Shoria and Western Sayan] / S.N. Rudnev, G.A. Babin, V.P. Kovach, V.Yu. Kiseleva, P.A. Serov // *Geology and Geophysics*. – 2013. – Vol. 54. – № 1. – P. 27–44.
29. Grabezhev, A.I. Artemovsko-Altynajskij rudno-magmaticheskiy areal medno-porfirovogo tipa (Srednij Ural): U-Pb SHRIMP-II vozrast, petrohimiya granitoidov i geneticheskaya specifika [The Artyomov-Altynai ore-magmatic area of copper-porphyry type (the Middle Urals): U-Pb SHRIMP-II age, petrochemistry of granitoids and genetic specificity] / A.I. Grabezhev, V.N. Smirnov // *Litosfera [Lithosphere]*. – 2012. – № 6. – P. 78–89.
30. Smirnov, V.N. Osnovnye etapy magmatizma vostochnogo sklona Srednego Urala [Main magmatism stages of the eastern slope of the Middle Urals] // *Litosfera [Lithosphere]*. – 2012. – № 5. – P. 4–15.

Благодарность (госзадание)

Статья подготовлена в рамках государственной бюджетной темы ИГГ УрО РАН АААА-А18-118052590 032-6 «Палеогеодинамика и эволюция структурно-вещественных комплексов при формировании земной коры континентального типа (на примере Урало-Монгольского складчатого пояса и Западно-Сибирской платформы)».

Информация об авторах:

Коровин Дмитрий Дмитриевич – аспирант Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН (Российская Федерация, 620110, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д. 15; e-mail: korovin@igg.urun.ru).

Смирнов Владимир Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии и геохимии имени академика А.Н. Заварицкого УрО РАН; Scopus Author ID: 7403516946 (Российская Федерация, 620110, г. Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, д. 15; e-mail: smirnov@igg.urun.ru).

About the authors:

Dmitry D. Korovin – Post-Graduate Student, Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky UB RAS (Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg, Russian Federation, 620110; e-mail: korovin@igg.urun.ru).

Vladimir N. Smirnov – Leading Researcher, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy); Scopus Author ID: 7403516946, Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky UB RAS (Institute of Geology and Geochemistry named after academician A.N. Zavaritsky of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 15 Academician Vonsovsky st., Ekaterinburg, Russian Federation, 620110; e-mail: smirnov@igg.urun.ru).

Для цитирования:

Коровин, Д.Д. Первая U-Pb (SHRIMP-II) датировка гранитоидов Рефтинского массива (Восточная зона Среднего Урала) / Д.Д. Коровин, В.Н. Смирнов // *Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле»*. – 2023. – № 2 (60). – С. 5–14.

For citation:

Korovin, D.D. Pervaya U-Pb (SHRIMP-II) datirovka granitoidov Reftinskogo massiva (vostochnaya zona Srednego Urala) [The first U-Pb (SHRIMP-II) dating of the Reftinsky massif granitoids (Eastern zone of the Middle Urals)] / D.D. Korovin, V.N. Smirnov // *Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences"*. – 2023. – № 2 (60). – P. 5–14.

Дата поступления статьи: 02.06.2022

Прошла рецензирование: 19.07.2022

Принято решение о публикации: 09.03.2023

Received: 02.06.2022

Reviewed: 19.07.2022

Accepted: 09.03.2023