

УДК 552.11 (470.5)

РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb SHRIMP-II И AR-AR ДАТИРОВАНИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ МЕЖДУРЕЧЬЯ СЁРТЫНЬЯ-ЩЕКУРЬЯ (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Кудрин Константин Юрьевич,

канд. геол.-минерал. наук, доцент каф. геологии Института
природопользования Югорского государственного университета, Россия,
628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16. E-mail: kudringeo@inbox.ru

Иванов Кирилл Святославич,

д-р. геол.-минерал. наук, заведующий лабораторией региональной
геологии и геотектоники Института геологии и геохимии
им. А.Н. Заварицкого УрО РАН, Россия, 620075, г. Екатеринбург,
пер. Почтовый, 7. E-mail: ivanovks55@ya.ru

Шокальский Сергей Павлович,

канд. геол.-минерал. наук, заведующий отделом Всероссийского
научно-исследовательского геологического института
им. А.П. Карпинского, Россия, 199106, г. Санкт-Петербург,
Средний проспект, 74. E-mail: Sergey_Shokalsky@vsegei.ru

Наставко Екатерина Вячеславовна,

канд. геол.-минерал. наук, инженер 1 категории ОАО «Кузбассгипрошахт»,
Россия, 650610, г. Кемерово, ул. Николая Островского, 34.
E-mail: evnastavko@ya.ru

Актуальность работы. В последние годы большое внимание уделяется проблеме возрастной идентификации интрузивных образований восточного склона Среднего, Северного и Приполярного Урала в связи с отсутствием в их окружении вмещающих стратиграфических образований с надёжной палеонтологической характеристикой. Получаемые при этом результаты зачастую имеют значения гораздо древнее, чем было принято считать. Этот факт положил начало пересмотру имеющихся представлений об эволюции магматизма данного района.

Цель работы: уточнение схемы развития магматизма территории на основании комплекса геологических наблюдений и результатов аналитических исследований.

Методы исследования. Минералогические исследования проведены на электронном сканирующем микроскопе JSM-6510LV (Jeol Ltd) с энерго-дисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 с детектором X-Max-80 (Oxford Instruments Analytical Ltd.) при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе электронного пучка 0,3–0,5 нА, время при наборе спектров 10 с (Новосибирск, Институт геологии и минералогии СО РАН, аналитик Н.С. Карманов). Абсолютный возраст определён Ar-Ar методом по порообразующим амфиболам габбро и диоритов (Новосибирск, Институт геологии и минералогии СО РАН, аналитик А.В. Травин). U-Pb локальное датирование цирконов габбро и диоритов выполнено с помощью вторично-ионного микрозонда высокого разрешения SHRIMP-II (ЦИИ, ВСЕГЕИ) по методике, описанной I.S. Williams (1998). Коррекция на нерадиоγενный свинец проводилась по измеренному ^{204}Pb и современному изотопному составу свинца в модели Стейси-Крамера.

Результаты. Проведено изучение и датирование габбро и диоритов, слагающих крупные структурно-вещественные блоки на восточном склоне Приполярного Урала – Щекуринский и Сёртыньинско-Щекуринский массивы. Большинство изученных цирконов имеют замкнутую U-Pb изотопную систему с конкордантными (согласующимися) или субконкордантными возрастными (степень дискордантности $\pm 5\%$). Полученные датировки демонстрируют значительно более ранние возраста изученных объектов, чем это считалось ранее: магматический возраст габбро тагилыктымского комплекса в структуре Щекуринского массива принят $498 \pm 6,5$ млн лет по Ar-Ar датировке по амфиболу, габбро северорудничного комплекса – $465,2 \pm 6,5$ млн лет по Ar-Ar датировке по амфиболу, диоритов Сёртыньинско-Щекуринского массива – $461\text{--}471$ млн лет по U-Pb датировке по циркону. Предполагается: 1) «молодые» (430 ± 5 млн лет) цирконы указывают на время метаморфизма габбро тагилыктымского комплекса; 2) «древние» (1992–1994 и 620–650 млн лет) цирконы диоритов северорудничного комплекса ксеногенные и указывают на события под Тагильским островодужным террейном в фундаменте прилегающей с запада платформы, попавшего в зону субдукции, и на события в верхней мантии соответственно. Установленные РТ-параметры формирования интрузивных пород свидетельствуют о временном разрыве между внедрением расплава и началом кристаллизации амфиболов, что указывает на более ранний возраст интрузий, нежели принято нами по результатам Ar-Ar датирования.

Ключевые слова:

Приполярный Урал, палеоостроводужный сектор, магматизм, абсолютный возраст, циркон, уран-свинцовое датирование, амфиболы, аргон-аргоновое датирование.

Введение

В последние годы большое внимание уделяется проблеме возрастной идентификации интрузив-

ных образований восточного склона Среднего, Северного и Приполярного Урала в связи с отсутствием в их окружении вмещающих стратиграфиче-

ских образований с надёжной палеонтологической характеристикой [1, 2]. Получаемые при этом результаты определения абсолютных возрастов зачастую имеют значения гораздо древнее, чем было принято считать. Этот факт положил начало пересмотру имеющихся представлений об эволюции магматизма данного района [3].

Представляемые результаты являются продолжением начатых в данном направлении работ. Объектами изучения являются габброиды Щекуринского массива и диориты Сёртыньинско-Щекуринского массива на восточном склоне Приполярного Урала, которые опробованы при проведении полевых исследований (рис. 1).

U–Pb локальное датирование цирконов габбро и диоритов выполнено с помощью вторично-ионного микрозонда высокого разрешения SHRIMP-II (ЦИИ, ВСЕГЕИ) по методике, описанной в работе [4]. Коррекция на нерадиогенный свинец проводилась по измеренному ^{204}Pb и современному изотопному составу свинца в модели Стейси–Крамера [5].

В строении габбрового Щекуринского массива, который является северным продолжением крупного Хорасюрского массива, участвуют два типа габброидов, различающиеся по минералогическим, петрохимическим и геохимическим особенностям [6]. В соответствии с [7] они сопоставлены с тагилытлымским (более древние) и северорудничным комплексами. В береговых обнажениях р. Сёртынья между ними задокументирован интрузивный контакт (с зоной закалки): полосчатые амфиболовые габбро тагилытлымского комплекса (распространены преимущественно в западной части Щекуринского массива) прорваны массивными амфибол-пироксеновыми габбро северорудничного комплекса.

Оба типа габброидов прорываются диоритами Сёртыньинско-Щекуринского массива, которые по совокупности петрогеохимических признаков рассматриваются как вторая фаза становления северорудничного комплекса [6].

РТ-параметры образования и преобразования пород

РТ-условия формирования интрузивных образований оценивались разными дополняющими друг друга способами: на основе однопироксенового геотермобарометра Мерсье [8] – для пироксен-амфиболовых диоритов и массивных пироксен-амфиболовых габбро, амфиболовым [9–11], титаномагнетитовым [12] и магнетит-ильменитовым [13] геобаротермометрами – для всех пород.

Полосчатые габбро тагилытлымского комплекса. Амфиболы полосчатых габбро характеризуются плеохроизмом от светло-зелёной до густой сине-зелёной окраски и по составу отвечают ряду эденит-паргасит-ферроэденит-ферропаргасит, единичные зерна – чермакиту, магнезиальной роговой обманке и актинолиту; весь амфибол пробы 11 соответствует магнезиальной роговой обманке (рис. 2).

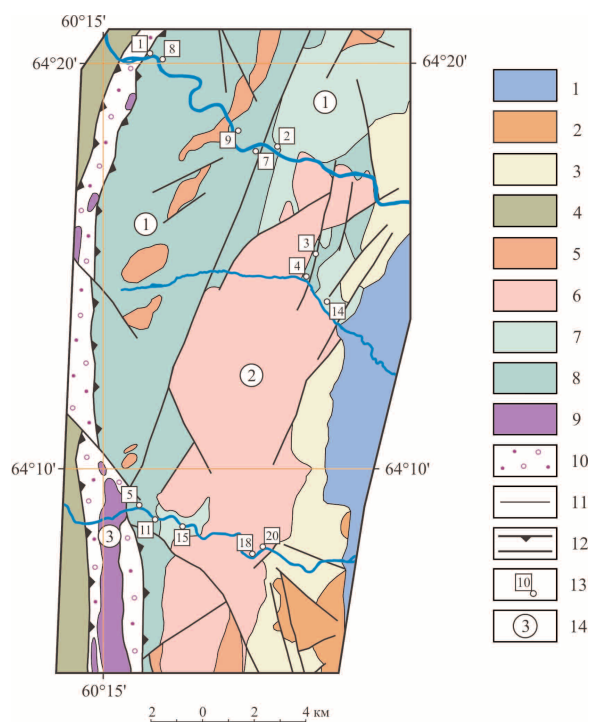


Рис. 1. Схема минералогического опробования Щекуринского и Сёртыньинско-Щекуринского массивов. Составлена с использованием материалов М.М. Павлова (1990), В.В. Бочкарева [14], результатов аэромагнитной съёмки (А.В. Чурсин, 2009) и данных авторов статьи. 1 – мезозойско-кайнозойские отложения; 2 – вулканы рувшорской толщи; 3 – эффузивы соимшорской толщи; 4 – палеоконтинентальный сектор Урала (польинская свита); 5 – плагиограниты неясной принадлежности; 6 – диориты северорудничного комплекса; 7 – габброиды северорудничного комплекса; 8 – габброиды тагилытлымского комплекса; 9 – гипербазиты салатимского комплекса; 10 – зона ГУГР; 11 – геологические границы; 12 – надвиги и разрывные нарушения; 13 – точки отбора проб и их номера; 14 – массивы: 1 – Щекуринский; 2 – Сёртыньинско-Щекуринский; 3 – Сёртыньинский

Fig. 1. Scheme of mineralogical sampling of Shchekurinskii and Sertyninskii-Shchekurinskii massifs. Based on the materials of M.M. Pavlov (1990), V.V. Bochkarev [14], aeromagnetic survey results (A.V. Chursin, 2009) and the data of the authors of the given paper. 1 – Mesozoic-Cainozoic deposits; 2 – volcanics of ruvsorskaya formation; 3 – effusives of soimshorskaya formation; 4 – paleocontinental sector of the Urals (polinskaya series); 5 – plagiogranites of uncertain belonging; 6 – diorites of severorudnichny complex; 7 – gabbroids of severorudnichny complex; 8 – gabbroids of tagilokytlymskiy complex; 9 – ultrabases of salatimskiy complex; 10 – area of the Main Uralian Deep Break; 11 – geological boundaries; 12 – thrusts and faults; 13 – sampling points and their numbers; 14 – massifs: 1 – Shchekurinskii; 2 – Sertyninskii-Shchekurinskii; 3 – Sertyninskii

В табл. 1 приведены РТ-параметры, полученные по амфиболовым геотермобарометрам: температура варьирует от 592 до 843 °С, при давлении от 4,7 до 10,8 кбар. Для актинолита в образце 7 рассчитанная температура составила 545 °С.

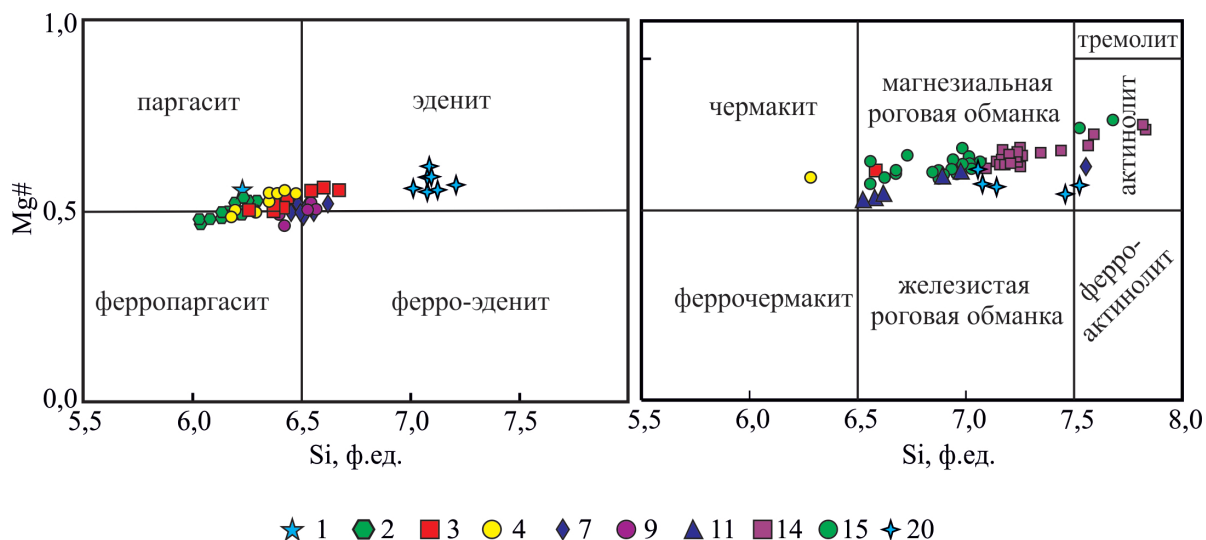


Рис. 2. Положение составов амфиболов полосчатых (точки 1–11) и массивных (точки 14, 15) габбро Щекурьинского массива и диоритов (точка 20) Сёртыньинско-Щекурьинского массива на диаграмме Si ф.ед. – Mg# [15]. Условные обозначения – в соответствии с нумерацией образцов на рис. 1

Fig. 2. Compositions of amphiboles of the banded (points 1–11) and massive (points 14, 15) of the gabbro of Shchekurinskiy massif and diorites (point 20) of Sertyninsko-Shchekurinskiy massif on the diagram Si (formula units) – Mg# [15]. The symbols corresponds to sample numeration in Fig. 1.

Титаномagnetит полосчатых габбро характеризуется структурами распада твёрдого раствора с образованием полосовидных выделений вторичного ильменита и игольчатого рутила, по которым развивается вторичный сфен (рис. 3, А, Б).

Основываясь на составе пар титаномagnetит-ильменит, изученных в образцах 3 (одна пара), 4 (шесть пар) и 9 (четыре пары), температура составила диапазон от 750 до 854 °С, что выше температур, полученных при помощи амфиболовых термометров.

Исходя из рассчитанных РТ-параметров, можно говорить о том, что для полосчатых габбро их максимальные значения фиксируют условия кристаллизации породы или существенно приближены к ним, постепенное их понижение указывает на постмагматические преобразования, а минимальные отражают метаморфические преобразования.

Таким образом, температура кристаллизации полосчатых габбро принимается нами в диапазоне 750–854 °С при давлении 10,5–10,8 кбар (глубина порядка 32 км). Температура постмагматических и метаморфических изменений фиксируется в диапазоне 600–720 °С на фоне снижения давления до

4,7 кбар, что можно объяснить перемещением кристаллизующегося материала к поверхности (до глубины 14 км).

Массивные габбро северорудничного комплекса. Пироксен, изученный в образце 14, однороден, соответствует диопсиду, состав которого по результатам 9 электронно-зондовых измерений (%): En 38–39, Fs 14–16, Wo 46–48. Температура его образования составила диапазон от 923 до 1016 °С. По всей видимости эту температуру достаточно достоверно можно принять за условия образования габбро.

Амфиболы массивных габбро обладают плеохроизмом от бледно-бурой до темно-грязно-зелёной окраски и отвечают по составу магнезиальной роговой обманке (рис. 2), реже актинолиту. РТ-параметры, полученные по различным амфиболовым геотермобарометрам, приведены в табл. 2.

Из образца 14 изучены составы двух пар магнетит-ильменит (рис. 3, В, Г). Температура составила 546–571 °С, что практически полностью совпадает с температурами метаморфических преобразований породы, приведших к образованию актинолита (545–593 °С), полученных при помощи амфиболовых термометров.

Таблица 1. РТ-параметры полосчатых габбро тагилыктылмского комплекса по амфиболам

Table 1. РТ-parameters of banded gabbro of tagiloktylmskiy complex by amphiboles

Геотермобарометры Geothermobarometer	№ образца/Sample						
	1	2	3	4	7	9	11
Барометры/Barometers							
Hammastrom, Zen, 1986 P (±3 кбар)	9,7	7,7–10	5,4–7,8	6,1–8,9	4,7–6,7	5,1–6,6	5,2–6,6
Hollister et al, 1987 P (±1 кбар)	10,5	8,2–10,8	5,7–8,4	6,5–9,6	5,0–7,1	5,4–7,1	5,5–7,0
Термометры/Thermometers							
Otten, 1984 °С	718	637–683	623–697	643–723	675–843	639–705	592–648

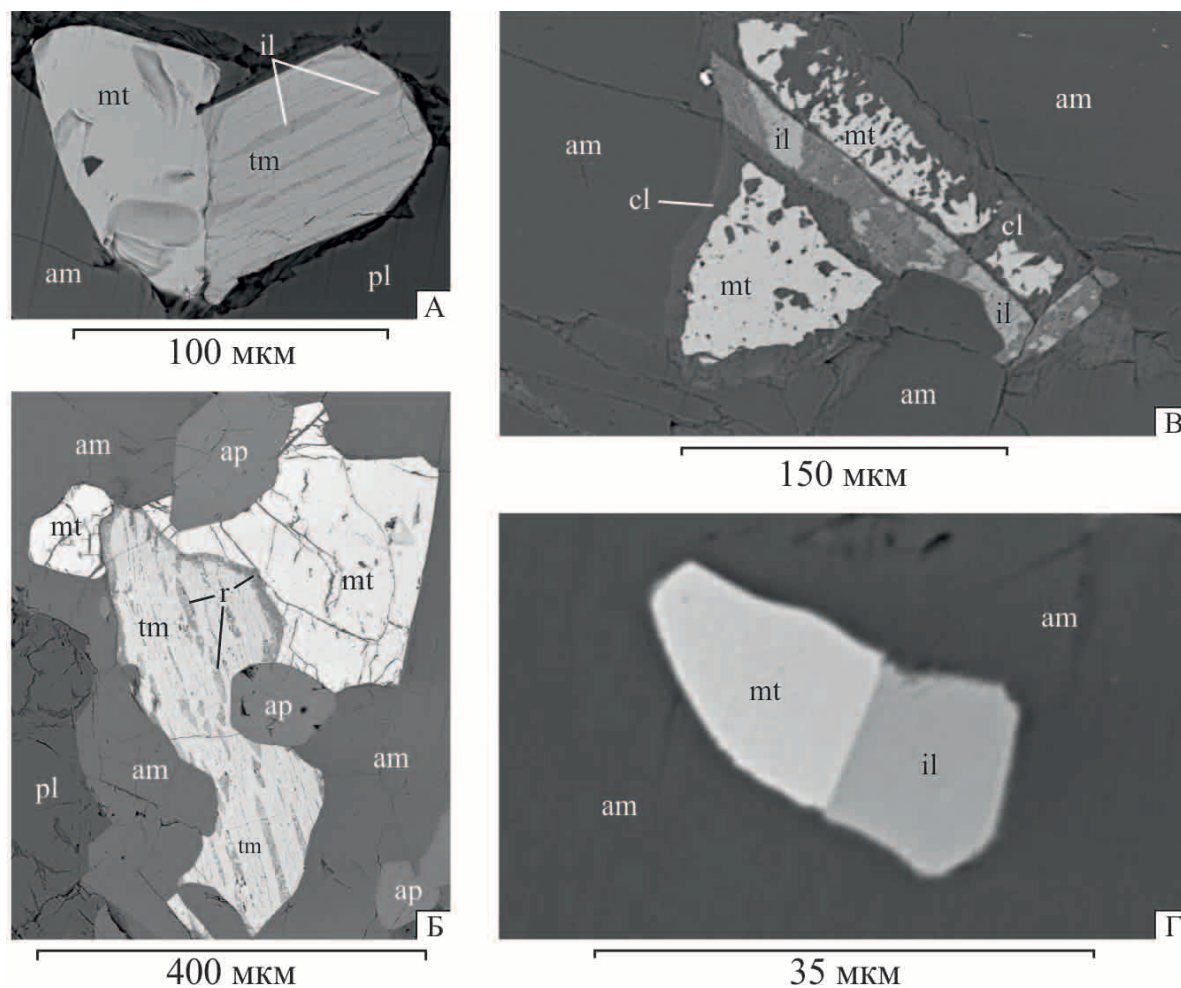


Рис. 3. Магнитные акцессорные минералы габброидов Щекуринского массива. Полосчатые габбро тагилыктлымского комплекса: образцы А – 4; Б – 2; массивные габбро северорудничного комплекса: образец В, Г – 14 в соответствии с рис. 1. *mt* – магнетит; *tm* – титаномагнетит; *il* – ильменит; *pl* – плагиоклаз; *am* – амфибол; *ap* – апатит; *r* – рутил; *cl* – хлорит

Fig. 3. Magnetic accessory minerals of gabbroids of Shchekurinskiy massif. Banded gabbro of tagiloktylmskiy complex: samples А – 4; Б – 2; massive gabbro of severorudnichnyy complex: sample В, Г – 14 according to Fig. 1. *mt* – magnetite; *tm* – titanomagnetite; *il* – ilmenite; *pl* – plagioclase; *am* – amphibole; *ap* – apatite; *r* – rutile; *cl* – chlorite

Таким образом, температура кристаллизации массивных габбро принимается нами в диапазоне 923–1016 °С, температура постмагматических процессов – 600–920 °С, метаморфических преобразований – 545–593 °С. Значение давления, при

котором происходила кристаллизация магматического расплава, определить не удалось; давление, при котором протекали постмагматические и метаморфические процессы, составило 0,1–4,7 кбар, что отражает глубину от 0,3 до 14 км.

Таблица 2. РТ-параметры массивных пироксен-амфиболовых габбро и пироксен-амфиболовых диоритов по амфиболу

Table 2. РТ-parameters of massive pyroxene-amphibole gabbro and pyroxene-amphibole diorites by amphibole

Геотермобарометры Geothermobarometer	№ образца/Sample						
	Габбро/Gabbro				Диорит/Diorite		
	14		15		20		
	Hbl	Act	Hbl	Act	Ed	Hbl	Act
Барометры/Barometer							
Hammastrom, Zen, 1986, P (±3 кбар)	до 1,5	–	1,8–4,5	–	до 1,3	0,4–0,9	–
Hollister et al, 1987, P (±1 кбар)	до 1,4	–	1,6–4,7	–	до 1,1	0,1–0,7	–
Термометры/Thermometer							
Otten, 1984 °С	600–717	545–593	614–789	545–582	695–749	715–743	569–574

Ed – эденит, *Hbl* – роговая обманка, *Act* – актинолит.
Ed – edenite, *Hbl* – hornblende, *Act* – actinolite.

Диориты северорудничного комплекса. Пироксен изучен в образце 20 и соответствует диопсиду, по результатам 17 электронно-зондовых измерений (%): En 34–40, Fs 16–22, Wo 42–46. Температура образования составила от 1094 до 1192 °С, что достаточно близко к параметрам, полученным на основе составов ильменита и магнетита. Данную температуру, по всей видимости, можно отождествлять с условиями формирования породы.

Основываясь на составе двух пар магнетит–ильменит, изученных в образце 20, температура образования составила 1045 и 1063 °С, что значительно выше температур, полученных при помощи амфиболовых термометров. Данный диапазон температур соответствует начальным условиям постмагматических преобразований.

Амфиболы в диорите разделились на эденит (рис. 2), магнезиальную роговую обманку и актинолит. Полученные по амфиболом РТ-параметры (табл. 2), по всей видимости, фиксируют метаморфические процессы.

Таким образом, температура кристаллизации диоритов принимается нами в диапазоне 1094–1192 °С; величину начального давления установить не удалось. Постмагматические изменения фиксируются при температуре 600–1063 °С, метаморфические изменения – в диапазоне 545–600 °С при давлении до 1,5–4,7 кбар, что также свидетельствует о перемещении раскристаллизованного материала к поверхности (до глубины 14 км и менее).

Следует отметить, что в массивах Платиноносного пояса Урала обнаруживаются очень разные, падающие по мере продвижения массивов к поверхности, давления и температуры [16, 17].

О возрасте интрузивных образований

В основе интерпретации результатов изотопно-геохронологического датирования интрузивных образований Щекуринского и Сёртыньинско-Щекуринского массивов лежат следующие геологические наблюдения: 1) полосчатые габбро тагилотылымского комплекса прорываются массивными габбро северорудничного комплекса (правый борт р. Сёртынья, 800 м выше устья руч. Соламя, собственные данные); 2) диориты северорудничного комплекса прорывают все типы габброидов (по результатам геологической съемки масштаба 1:50000 (Б.Ф. Костюк, 1967) и геологического доизучения площади масштаба 1:50000 (М.М. Павлов, 1990)).

Из полосчатых габбро тагилотылымского комплекса Щекуринского массива цирконы выделены из материала пробы 5 (рис. 4), отобранной из скальных обнажений в левом борту р. Сёртынья, амфиболы изучались в образцах 2, 4, 4-1 и 8 (рис. 1).

Большинство изученных цирконов имеют замкнутую U–Pb изотопную систему (рис. 5) с конкордантными (согласующимися) или субконкордантными возрастными (степень дискордантности от

5 до –5 %). В полосчатых габбро отчетливо проявляется датировка по цирконам 430 ± 5 млн лет (табл. 3), то есть ранний силур, конец лландовери. С ней практически совпадают две Ar–Ar датировки по амфиболу (рис. 6, А, Б). Возраст 430 млн лет можно было бы принять как магматический. Однако по характеру цирконов видно, что это так называемые секториальные цирконы (рис. 4), характерные для метаморфических преобразований [18, 19]. Таким образом, 430 млн лет – это, вероятно, возраст метаморфизма полосчатых габбро. Их магматический возраст фактически неизвестен, условно его можно считать $498 \pm 6,5$ млн лет по Ar–Ar датировке по амфиболу (рис. 6, Г).

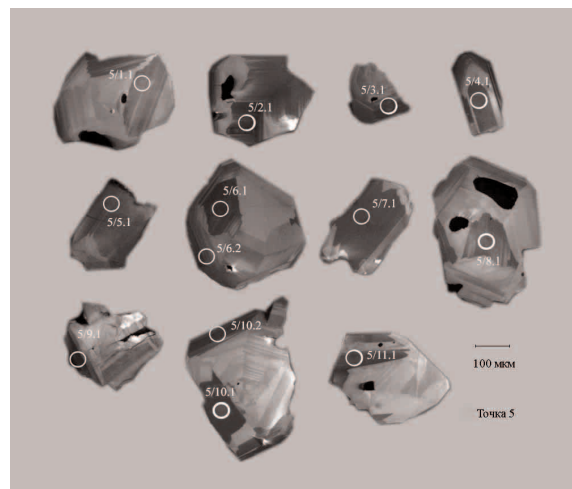


Рис. 4. Католюминесцентные изображения цирконов из полосчатых габбро тагилотылымского комплекса Щекуринского массива

Fig. 4. Cathodoluminescent images of zircons from banded gabbro of tagiloktylymskiy complex in Shchekurinsky massif

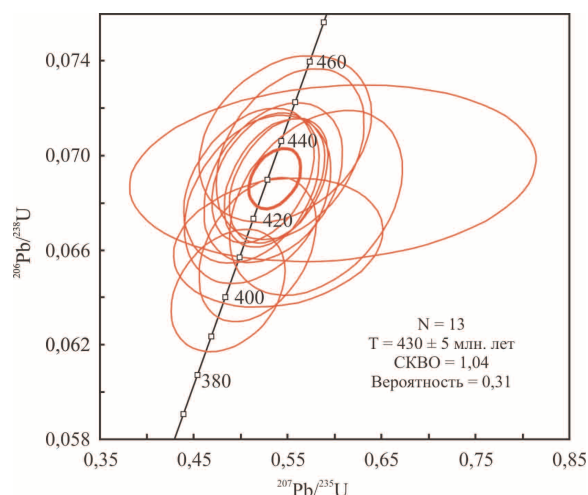


Рис. 5. U–Pb SHRIMP-II изотопные данные для цирконов из полосчатых габбро тагилотылымского комплекса Щекуринского массива

Fig. 5. U–Pb SHRIMP-II isotopic data for zircons from banded gabbro of tagiloktylymskiy complex in Shchekurinsky massif

Таблица 3. U–Pb возраст цирконов из полосчатых габбро тагилыктыльмского комплекса Щекуринского массива**Table 3.** U–Pb age of zircons from banded gabbro of tagiloktylymsk complex in Shchekurinskiy massif

Образец/точка Sample/point	²⁰⁶ Pb _c %	Содержание, г/т Content, g/t			²³² Th ²³⁸ U	Возраст, млн лет (1) Age, million years (1)		D, %	Изотопные отношения (1) Isotopic ratio (1)							
		U	Th	²⁰⁶ Pb*		²⁰⁶ Pb ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb ²⁰⁶ Pb		²³⁸ U ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb* ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb* ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb* ²³⁸ U	±%
5/1.1	0,00	46	25	2,7	0,56	425±9	418±129	-2	14,7	2,1	0,0551	5,8	0,518	6,2	0,0681	2,1
5/2.1	0,00	56	32	3,38	0,60	440±9	459±145	+4	14,1	2,0	0,0562	6,5	0,547	6,8	0,0707	2,0
5/3.1	0,00	118	41	6,95	0,36	429±7	471±83	+9	14,5	1,6	0,0565	3,8	0,536	4,1	0,0688	1,6
5/4.1	0,00	40	19	2,34	0,49	424±10	668±130	+38	14,7	2,3	0,0618	6,1	0,580	6,5	0,0680	2,3
5/5.1	–	71	38	4,23	0,56	432±9	696±311	+39	14,4	2,2	0,0627	14,6	0,598	14,7	0,0692	2,2
5/6.1	0,00	109	57	6,05	0,53	402±6	407±109	+1	15,6	1,6	0,0549	4,9	0,487	5,1	0,0643	1,6
5/6.2	0,00	94	32	5,59	0,35	430±7	413±87	-4	14,5	1,6	0,0550	3,9	0,524	4,2	0,0690	1,6
5/7.1	0,00	51	30	3,01	0,60	428±8	371±122	-16	14,6	1,9	0,0540	5,4	0,512	5,7	0,0687	1,9
5/8.1	0,00	51	27	3,03	0,54	429±8	466±117	+8	14,5	2,0	0,0563	5,3	0,535	5,7	0,0688	2,0
5/9.1	–	170	74	9,7	0,45	414±7	567±180	+28	15,1	1,7	0,0590	8,3	0,539	8,4	0,0663	1,7
5/10.1	0,00	52	27	3,1	0,53	436±9	499±120	+13	14,3	2,1	0,0572	5,4	0,553	5,8	0,0701	2,1
5/10.2	0,00	111	56	6,59	0,52	430±7	486±80	+12	14,5	1,6	0,0569	3,6	0,540	4,0	0,0689	1,6
5/11.1	0,00	55	32	3,12	0,61	412±7	485±101	+15	15,1	1,9	0,0568	4,6	0,517	4,9	0,0660	1,9

Примечание. Pb_c и Pb* – общий и радиогенный свинец. (1) – коррекция на нерадиогенный свинец по ²⁰⁴Pb. «–» – не обнаружено (содержание ниже порога чувствительности). Погрешности калибровки относительно стандартов 0,38 %.

Note: Pb_c and Pb* indicate the common and radiogenic portions, respectively. (1) Common Pb corrected using measured ²⁰⁴Pb. «–» not detected (content is below the threshold). Error in TEMORA Standard calibration was 0,38 %.

Ar–Ar датировка 371 млн лет (поздний девон) (рис. 6, В): по всей видимости – это возраст коллизии Тагильской островной дуги с Русской платформой (что характерно для более южных районов Урала) [20].

Из кварцевых диоритов северорудничного комплекса Сёртыньинско-Щекуринского массива цирконы выделены из материала пробы 18 (рис. 7), отобранной из скальных обнажений в левом борту р. Сёртыня (рис. 1) – наша точка отбора совпадает с пробой № 25 из [21]. Амфиболы массивных габбро этого комплекса изучены в точке 14 (рис. 1). Полученные результаты показали следующее:

а) большинство изученных цирконов имеют замкнутую U–Pb изотопную систему (рис. 8) с конкордантными (согласующимися) или субконкордантными возрастными (степень дискордантности от 5 до -5 %);

б) две датировки по одному зерну циркона показали 1992–1994 млн лет (табл. 4). Очевидно, что это ксеногенный циркон, вероятно, из фундамента прилегающей с запада Русской платформы, попавший в зону субдукции под Платиноносным поясом Урала;

в) четыре датировки в диапазоне 620–650 млн лет получены по одному зерну циркона (табл. 4). Это также ксеногенное зерно. Вероятно, из мантии под приполярной частью Тагильской островной дуги;

г) два зерна циркона, по которым получен возраст 460–470 млн лет (табл. 4). Исходя из строения зёрен (рис. 7), наличия тонкой ритмической зональности – это магматические цирконы, и они дают магматический возраст диоритов: конец среднего – начало позднего ордовика. Кроме того, этот возраст совпадает с возможно магматическим Ar–Ar (по амфиболу) возрастом массивных габбро (рис. 6, Д).

Таблица 4. U–Pb возраст цирконов из кварцевых диоритов северорудничного комплекса Сёртыньинско-Щекуринского массива**Table 4.** U–Pb age of zircons from quartz diorites of severorudnichnyy complex in Sertyninsko-Shchekurinskiy massif

Образец/точка Sample/point	²⁰⁶ Pb _c %	Содержание, г/т Content, g/t			²³² Th ²³⁸ U	Возраст, млн лет (1) Age, million years (1)		D, %	Изотопные отношения (1) Isotopic ratios (1)							
		U	Th	²⁰⁶ Pb*		²⁰⁶ Pb ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb ²⁰⁶ Pb		²³⁸ U ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb* ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb* ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb* ²³⁸ U	±%
18/1.1	0,00	28	11	1,83	0,40	471±13	617±205	+24	13,2	2,9	0,0604	9,5	0,63	9,9	0,076	2,9
18/1.2	0,00	115	66	7,48	0,59	469±8	513±105	+9	13,2	1,8	0,0576	4,8	0,60	5,1	0,076	1,8
18/2.1	0,00	68	38	4,31	0,58	461±10	549±132	+17	13,5	2,1	0,0585	6,0	0,60	6,4	0,074	2,1
18/2.2	0,00	48	13	3,09	0,27	465±11	458±173	-1	13,4	2,5	0,0561	7,8	0,58	8,2	0,075	2,5
18/3.1	0,00	71	25	22,1	0,36	1994±37	1993±34	-0	2,8	2,1	0,1225	1,9	6,12	2,9	0,363	2,1
18/3.2	0,35	48	10	14,9	0,22	1992±44	1968±64	-1	2,8	2,5	0,1208	3,6	6,03	4,4	0,362	2,5
18/4.1	0,00	110	50	9,92	0,48	646±11	811±79	+21	9,5	1,8	0,0661	3,8	0,96	4,2	0,105	1,8
18/4.2	1,04	66	44	6,06	0,69	650±15	756±308	+15	9,4	2,5	0,0644	14,6	0,94	14,8	0,106	2,5
18/4.3	0,00	361	136	32,9	0,39	650±8	670±46	+3	9,4	1,4	0,0619	2,2	0,91	2,6	0,106	1,4
18/4.4	–	182	57	15,8	0,33	620±10	899±135	+32	9,9	1,7	0,0690	6,6	0,96	6,8	0,101	1,7

Примечание: Pb_c и Pb* – общий и радиогенный свинец. (1) – коррекция на нерадиогенный свинец по ²⁰⁴Pb. «–» – не обнаружено (содержание ниже порога чувствительности). Погрешности калибровки относительно стандартов 0,38 %.

Note: Pb_c and Pb* indicate the common and radiogenic portions, respectively. (1) Common Pb corrected using measured ²⁰⁴Pb. «–» not detected (content is below the threshold). Error in TEMORA Standard calibration was 0,38 %.

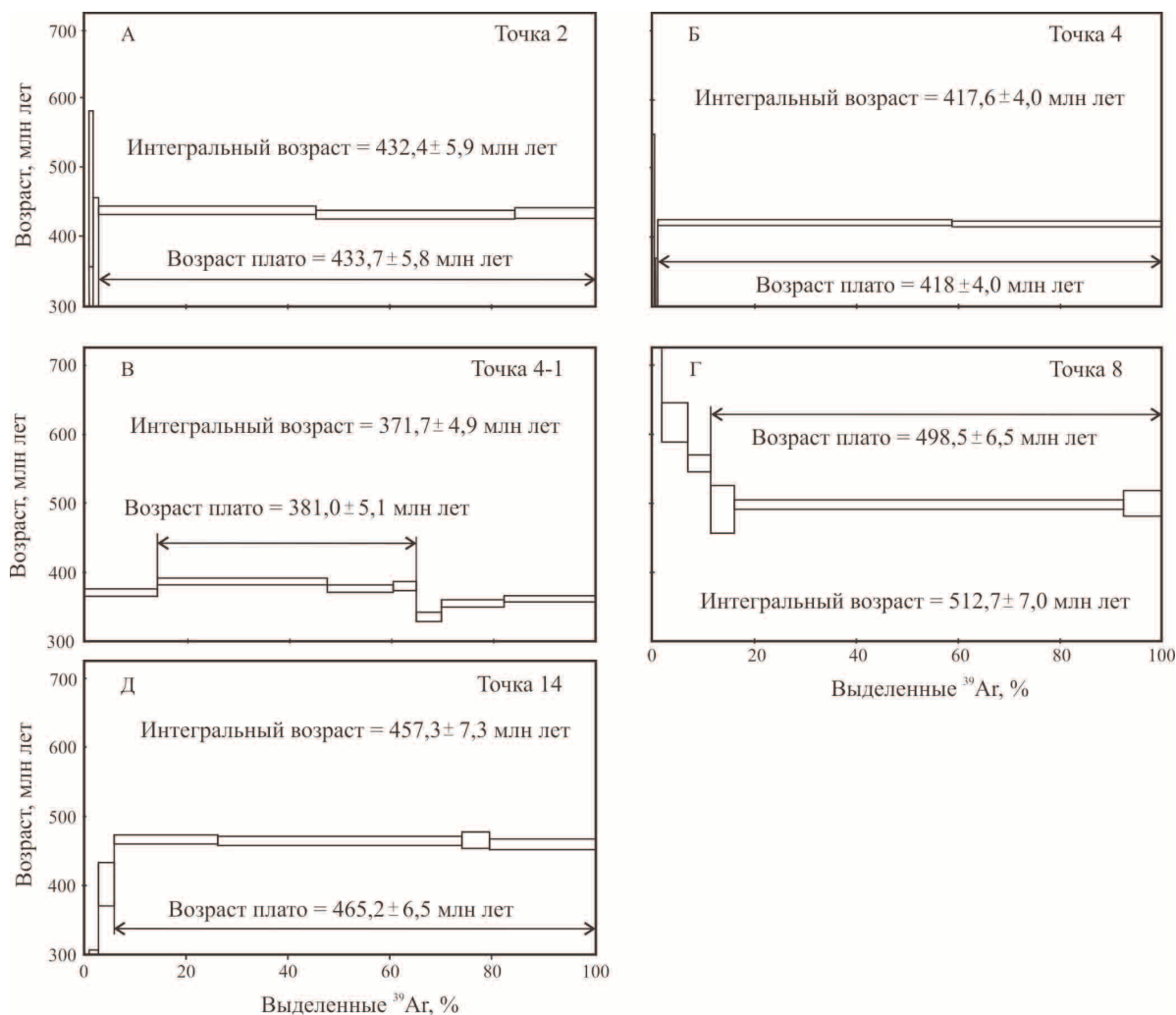


Рис. 6. Результаты Ar–Ar датирования габброидов Щекуринского массива по породообразующему амфиболу: А–Г – полосчатые габбро тагилытлымского комплекса; Д – массивные габбро северорудничного комплекса. Нумерация образцов в соответствии с рис. 1

Fig. 6. Results of Ar–Ar dating of gabbro in Shchekurinskiy massif by the rock-forming amphibole: А–Г are the banded gabbro of tagiloktylmskiy complex; Д is the massive gabbro of severorudnichnyy complex. Sample numbers correspond to Fig. 1

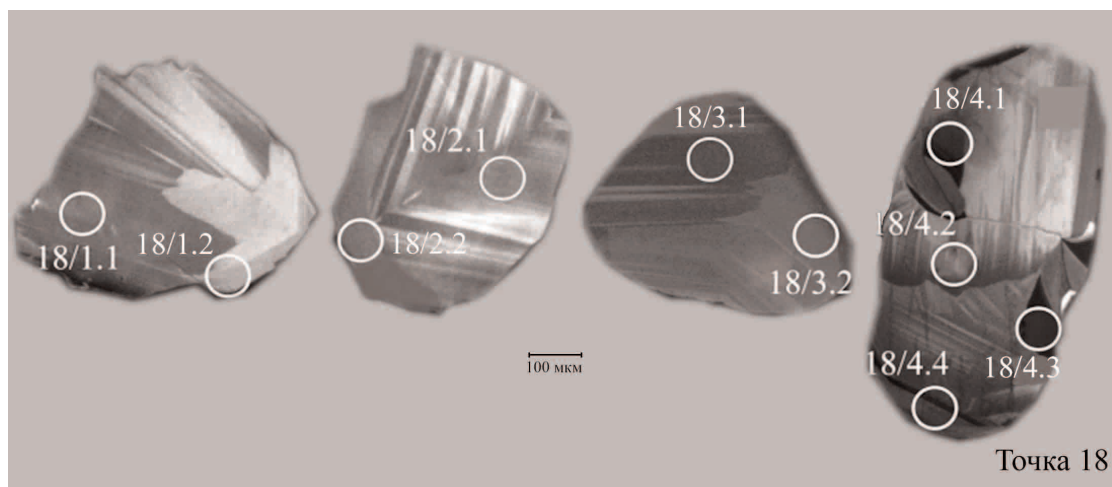


Рис. 7. Катодолуминесцентные изображения цирконов из кварцевых диоритов северорудничного комплекса Сёртыньинско-Щекуринского массива

Fig. 7. Cathodoluminescent images of zircons from quartz diorites of severorudnichnyy complex in Sertyninsko-Shchekurinskiy massif

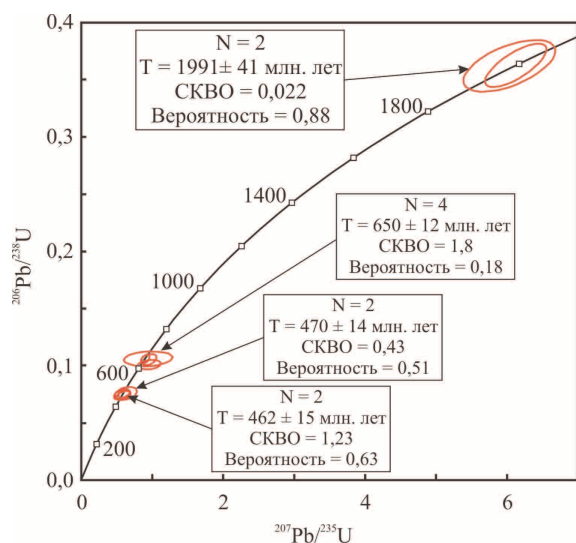


Рис. 8. U-Pb SHIMP-II изотопные данные для цирконов из кварцевых диоритов северорудничного комплекса Сёртыньинско-Щекуринского массива

Fig. 8. U-Pb SHIMP-II isotopic data for zircons from quartz diorites of severorudnichnyy complex in Sertyninsk-Shchekurinskii massiv

Обсуждение результатов и выводы

Прежде всего, следует отметить, что приводимые минералогические и изотопно-геохимические характеристики пород Щекуринского и Сёртыньинско-Щекуринского массивов получены для описываемой территории впервые.

По результатам работ можно сформулировать следующее.

1. Полученные датировки интрузивных пород Щекуринского и Сёртыньинско-Щекуринского массивов демонстрируют значительно более ранние возраста изученных объектов, чем это предполагалось ранее:

а) самыми древними из изученных породных ассоциаций являются полосчатые габбро Щекуринского массива, относящиеся к тагилкытлымскому комплексу. Их возраст условно принят $498 \pm 6,5$ млн лет по Ag-Ag датировке по амфиболу. По всей видимости, принятый возраст не в полной мере отражает время внедрения габброидов: геотемпературные характеристики свидетельствуют о временном разрыве между внедрением расплава и началом кристаллизации амфиболов. То есть время внедрения может превышать 500 млн лет. В связи с этим уместно упомянуть о Sm-Nd изохронном возрасте габбро, габброноритов и амфиболовых габбро платиноносной ассоциации Хорасюрского массива [2]: приводимая авторами датировка 565 ± 50 млн лет в верхнем пределе весьма близка к значениям, полученным в настоящей работе.

На сегодняшний день возраст габброидов тагилкытлымского комплекса на восточном склоне Приполярного Урала считается раннесилурийским, что принято по результатам геологических наблюдений и корреляции с аналогичными образованиями в других районах.

б) немногочисленные предварительные результаты датирования цирконов кварцевых диоритов второй фазы становления северорудничного комплекса показали, тем не менее, значительные вариации данных, образуя три возрастные группы в диапазоне 460–1990 млн лет.

Следует отметить, что сложный характер U-Pb возрастов цирконов установлен и для плагиогранитов третьей фазы верхнетагильского (северорудничного) комплекса, опробованных на расположенной южнее Хорасюрской площади [2], что, по мнению авторов, указывает на сложную и дискуссионную геологическую историю изучаемых объектов.

Полученный магматический возраст цирконов кварцевых диоритов Сёртыньинско-Щекуринского массива (461–471 млн лет) практически совпадает с одним из возрастных кластеров цирконов плагиогранитов Хорасюрской площади (465–485 млн лет).

Таким образом, полученные нами неожиданные и отчасти даже «парадоксальные» возраста магматических пород междуречья Сёртынья-Щекурья не являются какой-то локальной аномалией, а подтверждаются данными по другим районам Платиноносного пояса Урала. Думается, что точку в исследованиях пока ставить рано и изучение необходимо продолжить, тем более что для всего огромного, протяжённостью 1000 км, Платиноносного пояса фактически получены лишь первые современные изотопно-геохронометрические данные. Результаты абсолютного датирования комплексов магматических пород Платиноносного пояса Урала пока не привели к однозначным выводам [22, 23]. Понятно, что преобладающие датировки, соответствующие диапазону 415–430 млн лет, фиксируемые преимущественно в габброноритах и гранитоидах, отражают время завершения формирования островной дуги, конечной (силурийской) стадии её развития. А ведь островная дуга должна была существовать не «одномоментно», а, вероятно, достаточно протяжённый отрезок времени. Сколько эта дуга существовала до этого, достоверно пока неизвестно, чем, по всей видимости, и объясняется часть «древних» (по крайней мере, ордовикских) датировок.

2. Полученные данные по РТ-условиям формирования пород основного состава Щекуринского массива косвенно подтверждают генетическое различие ранее выделенных двух типов габброидов [6]: полосчатые габбро тагилкытлымского комплекса характеризуются более низкими температурами кристаллизации ($750\text{--}854^\circ\text{C}$) по сравнению с массивными габбро ($923\text{--}1016^\circ\text{C}$) и диоритами северорудничного комплекса ($1094\text{--}1192^\circ\text{C}$). По всей видимости, этот факт отражает магмогенез на разных глубинах.

Работы выполняются в Научно-образовательном центре «Поиск» Югорского государственного университета в рамках государственных работ в сфере научной деятельности (задание № 2014/505) и в рамках Программы Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны РФ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов К.С., Берзин С.В., Ерохин Ю.В. Первые данные об U-Pb возрасте цирконов из реликтовых зон спрединга на Среднем Урале // Доклады АН. – 2012. – Т. 443. – № 1. – С. 78–83.
2. Ронкин Ю.Л., Иванов К.С., Лепихина О.П. Возрастная и генетическая идентификация пород Хорасюрского массива: Sm-Nd ID-TIMS и U-Pb SHRIMP-II ограничения // Вестник института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2012. – № 2. – С. 6–10.
3. Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П. О корректности «некорректности» изотопной геологии Хорасюрского массива, Приполярный Урал // Уральский геологический журнал. – 2013. – № 5. – С. 81–94.
4. Williams I.S. Application in microanalytical techniques to understanding mineralizing processes // Reviews in Economic Geology. – 1998. – V. 7. – P. 1–35.
5. Stacey S., Kramers J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // Earth Planet. Sci. Lett. – 1975. – V. 26. – P. 207–221.
6. Кудрин К.Ю. Геохимическая типизация магматических образований восточного склона Приполярного Урала междуречья Сёртыня-Манья // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325. – № 1. – С. 69–82.
7. Основные черты геологического строения и минерально-сырьевой потенциал Северного, Приполярного и Полярного Урала / А.Н. Мельгунов, В.П. Водолазская, А.В. Жданов и др. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. – 273 с.
8. Mercier J.-C.C. Single-pyroxene thermobarometry // Tectonophysics. – 1980. – V. 70. – P. 1–37.
9. Hammastrom J.M., Zen E. Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer // American Mineralogist. – 1986. – V. 71. – P. 1297–1313.
10. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons / L.S. Hollister, G.C. Grisson, E.K. Peters, H.H. Stowell, V.B. Sisson // American Mineralogist. – 1987. – V. 72. – P. 231–239.
11. Otten M.T. The origin of brown hornblende in the Artfjället gabbro and dolerites // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1984. – V. 86. – P. 189–199.
12. Anderson D.J., Lindsley D.H. New (and final!) models for the Ti-magnetite-ilmenite geothermometer and oxygen barometer // EOS Transactions. – 1985. – V. 66. – P. 416.
13. Lepage L.D. ILMAT: an Excel worksheet for ilmenite-magnetite geothermometry and geobarometry // Computers and Geosciences. – 2003. – V. 29. – P. 673–678.
14. Бочкарев В.В. Магматические формации северной части Приполярного Урала. Препринт. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – 67 с.
15. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the international mineralogical association's 1997 recommendations / B.E. Leake, A.R. Woolley, W.D. Birch et al. // Canad. Miner. – 2003. – V. 41. – P. 1355–1362.
16. Иванов К.С. Генезис хром-платинового оруденения Уральского (Нижнетагильского) типа // Доклады АН. – 2011. – Т. 441. – № 2. – С. 224–226.
17. Шмелев В.Р. Структура и петрология Хорасюрского габбро-гипербазитового массива, Приполярный Урал // Петрология. – 1994. – Т. 2. – № 5. – С. 495–510.
18. Каулина Т.В. Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах. – Апатиты: КНЦ РАН, 2010. – 144 с.
19. Atlas of Zircon textures / F. Corfu, J.M. Hanchar, P.W.O. Hoskin, P. Kinny // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. – 2003. – V. 531. – P. 469–500.
20. Иванов К.С. Оценка палеоскоростей субдукции и коллизии при формировании Урала // Доклады АН. – 2001. – Т. 377. – № 2. – С. 231–235.
21. Шмелев В.Р. Магматические комплексы зоны Главного Уральского разлома (Приполярный сектор) в свете новых геохимических данных // Литосфера. – 2005. – № 2. – С. 41–59.
22. Структурно-вещественная эволюция комплексов Платиноносного пояса Урала при формировании хромит-платиновых месторождений уральского типа / Ю.А. Волченко, К.С. Иванов, В.А. Коротев, Т. Оже // Литосфера. – 2007. – № 3. – С. 3–27.
23. Иванов К.С., Волченко Ю.А. О некоторых дискуссионных вопросах изучения геологии Платиноносного пояса Урала // Уральский геологический журнал. – 2009. – № 3. – С. 67–98.

Поступила 05.12.2014.

UDC 552.11 (470.5)

THE RESULTS OF U-PB SHRIMP-II AND AR-AR DATING OF MAGMATIC FORMATIONS IN SERTYNIA-SHCHEKURIA INTERFLUVE (PREPOLAR URALS)

Konstantin Yu. Kudrin,

Yugra State University, 16, Chekhova street, Khanty-Mansiysk,
Russia, 628011. E-mail: kudringeo@inbox.ru

Kirill S. Ivanov,

Institute of Geology and Geochemistry, 7, Pochtovy lane, Yekaterinburg,
Russia, 620075. E-mail: ivanovks55@ya.ru

Sergey P. Shokalskiy,

Russian Geological Research Institute (VSEGEI), 74, Sredniy avenue,
St. Petersburg, Russia, 199106. E-mail: Sergey_Shokalsky@vsegei.ru

Ekaterina V. Nastavko,

JSC «Kuzbassgiproshakt», 34, Ostrovskogo street, Kemerovo,
Russia, 650610. E-mail: evnastavko@ya.ru

The relevance of the work. In recent years much attention is paid to the problem of age identification of intrusive formations of the Eastern slope of the Middle, Northern and Prepolars Urals due to the absence of inclosing stratigraphic formations with reliable paleontological characteristics in their surroundings. The obtained results are often much more ancient than it was believed. This fact has initiated a revision of ideas about the evolution of magmatism of this area.

The main aim of the study is to refine the territory magmatism schemes on the basis of geological observations complex and the results of the analytical research.

The methods used in the study. Mineralogical studies are being carried out with scanning electron microscope JSM-6510LV (Jeol Ltd) with energy-dispersive spectrometer INCAEnergy 350 detector-X-Max-80 (Oxford Instruments Analytical Ltd) at accelerating voltage of 20 kV, electron beam current of 0,3 to 0,5 at a time when the set of spectra 10 (Novosibirsk, Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, analyst N.S. Karmanov). Absolute age is defined by Ar-Ar method on rock-forming amphiboles of the gabbro and diorite (Novosibirsk, Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, analyst A.V. Travin). U-Pb local dating of zircons from gabbro and diorite was performed using secondary ion microprobe of high resolution SHRIMP-II (TION, VSEGEI) according to the method described by I.S. Williams (1998). Nonradiogenic lead compensation was carried out by the measured ^{204}Pb and modern lead isotopic composition in Stacey-Kramer model.

The results. The authors have studied and dated gabbro and diorite, forming the major structural-material units on the Eastern slope of the Prepolars Urals – Shchekurinskiy and Sertyninsko-Shchekurinskiy massifs. The majority of the studied zircons have a closed U-Pb isotopic system with concordant (consistent) or subconcordant ages (degree of discordantly from 5 to –5 %). The received dates demonstrate a significantly earlier age of the studied objects than it was believed: the magmatic age of the gabbro of tagiloktylymskiy complex in structure of Shchekurinskiy massif was accepted $498 \pm 6,5$ million years for Ar-Ar dating on amphibole, gabbro of severorudnichnyy complex was accepted $465,2 \pm 6,5$ million years for Ar-Ar dating on amphibole, diorites of Sertyninsko-Shchekurinskiy massif were accepted 461–471 million years by U-Pb dating on zircon. It is supposed that: 1) the «young» (430 ± 5 mA) zircons indicate the time of metamorphism of gabbros tagiloktylymskiy complex; 2) the «ancient» (1992–1994 and 620–650 mA) zircons of diorites of severorudnichnyy complex are xenogenic and they indicate events under Tagil island-arc terrane in the basement of the adjacent to the West of the platform, got in a subduction zone, and events in the upper mantle respectively. The determined RT-parameters of intrusive rocks formation indicate the time lag between the introduction of the melt and the beginning of crystallization of amphiboles that indicates the earlier age of intrusions than that which the authors accepted according to the results of Ar-Ar dating.

Key words:

Prepolars Urals, paleoarc sector, magmatism, absolute age, zircon, uranium-lead dating, amphiboles, argon-argon dating.

The investigations are carried out in the Scientific educational center «Poisk» of Yugra State University within the State works in scientific field (task no. 2014/505) and within the Program of the Presidium of the RAS «Exploratory fundamental scientific research for the benefit of development of the RF Arctic zone».

REFERENCES

1. Ivanov K.S., Berzin S.V., Erokhin Yu.V. Pervye dannye ob U-Pb vozraste tsirkonov iz reliktovykh zon srediinga na Srednem Urale [The first data about U-Pb age of zircons from relic spreading zones in the Middle Urals]. *Doklady Akademii Nauk – Doklady earth sciences*, 2012, vol. 443, no. 1, pp. 78–83.
2. Ronkin Yu.L., Ivanov K.S., Lepikhina O.P. Vozrastnaya i geneticheskaya identifikatsiya porod Khorasyurskogo massiva: Sm-Nd ID-TIMS i U-Pb SHRIMP-II ogranicheniy [The age and genetic identification of the Khorasyur massif rocks: Sm-Nd ID-TIMS & U-Pb SHRIMP-II constrains]. *Vestnik instituta geologii Komi NTS UrO RAN*, 2012, no. 2, pp. 6–10.
3. Ronkin Yu.L., Lepikhina O.P. O korrektnosti «nekorrektnosti» izotopnoy geologii Khorasyurskogo massiva, Pripolyarnyy Ural [About the correctness of «incorrectness» of isotope geology of the Khorasyur massif, Prepolars Urals]. *Ural'skiy geologicheskii zhurnal*, 2013, no. 5, pp. 81–94.
4. Williams I.S. Application in microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. *Reviews in Economic Geology*, 1998, vol. 7, pp. 1–35.

5. Stacey S., Kramers J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1975, vol. 26, pp. 207–221.
6. Kudrin K.Yu. Geokhimicheskaya tipizatsiya magmaticheskikh obrazovaniy vostochnogo sklona Pripolyarnogo Urala mezhdurechya Sertynya–Manya [Geochemical classification of magmatic formations of the Prepolar Urals eastern slope in Sertynya–Manya interfluvium]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 325, no. 1, pp. 69–82.
7. Melgunov A.N., Vodolazskaya V.P., Zhdanov A.V. *Osnovnye cherty geologicheskogo stroeniya i mineralno-syrevooy potentsial Severnogo, Pripolyarnogo i Polyarnogo Urala* [The main features of geological structure and mineral and raw material potential of the Northern, Prepolar and Polar Urals]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2010. 273 p.
8. Mercier J.-C.C. Single-pyroxene thermobarometry. *Tectonophysics*, 1980, vol. 70, pp. 1–37.
9. Hammarstrom J.M., Zen E. Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer. *American Mineralogist*, 1986, vol. 71, pp. 1297–1313.
10. Hollister L.S., Grisson G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *American Mineralogist*, 1987, vol. 72, pp. 231–239.
11. Otten M.T. The origin of brown hornblende in the Artfjället gabbro and dolerites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1984, vol. 86, pp. 189–199.
12. Anderson D.J., Lindsley D.H. New (and final!) models for the Ti–magnetite–ilmenite geothermometer and oxygen barometer. *EOS Transactions*, 1985, vol. 66, p. 416.
13. Lepage L.D. ILMAT: an Excel worksheet for ilmenite–magnetite geothermometry and geobarometry. *Computers and Geosciences*, 2003, vol. 29, pp. 673–678.
14. Bochkarev V.V. *Magmaticheskie formatsii severnoy chasti Pripolyarnogo Urala* [Magmatic formations of the Northern Subpolar Urals]. Sverdlovsk, UB USSR, 1990. 67 p.
15. Leake B.E., Woolley A.R., Birch W.D. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the international mineralogical association's 1997 recommendations. *Canad. Miner.*, 2003, vol. 41, pp. 1355–1362.
16. Ivanov K.S. Geneziz khrom-platinovogo orudneniya Uralskogo (Nizhnetagil'skogo) tipa [Genesis chromium-platinum mineralization of the Urals (Nizhny Tagil) type]. *Doklady Akademii Nauk – Doklady earth sciences*, 2011, vol. 441, no. 2, pp. 224–226.
17. Shmelev V.R. Struktura i petrologiya Khorasyurskogo gabbro-giperbazitovogo massiva, Pripolyarnyy Ural [Structure and petrology of the Khorasyur gabbro-ultrabasic massif, Prepolar Urals]. *Petrologiya – Petrology*, 1994, vol. 2, no 5, p. 495–510.
18. Kaulina T.V. *Obrazovanie i preobrazovanie tsirkona v polimetamorficheskikh kompleksakh* [The zircon formation and transformation in polymetamorphic complexes]. Apatity, KSC of RAS, 2010. 144 p.
19. Corfu F., Hancher J.M., Hoskin P.W.O., Kinny P. Atlas of Zircon textures. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2003, vol. 53, pp. 469–500.
20. Ivanov K.S. Otsenka paleoskorostey subdukcii i kollizii pri formirovani Urala [Assessment paleovelocity of subduction and collision in the formation of the Urals]. *Doklady Akademii Nauk – Doklady earth sciences*, 2001, vol. 377, no. 2, pp. 231–235.
21. Shmelev V.R. Magmaticheskie komplekсы zony Glavnogo Uralskogo razloma (Pripolyarnyy sektor) v svete novykh geokhimicheskikh dannykh [Magmatic complexes of the Main Urals Fault zone (Prepolar sector) in light of new geochemical data]. *Litosfera – Lithosphere*, 2005, no. 2, pp. 41–59.
22. Volchenko Yu.A., Ivanov K.S., Koroteev V.A., Ozhe T. Strukturalno-veshchestvennaya evolyutsiya kompleksov Platinonosnogo poyasa Urala pri formirovani khromit-platinovykh mestorozhdeniy uralskogo tipa [Structural-substantial evolution of the Urals Platiniferous belt's complexes in the time of Uralian type chromite-platinum deposits formations]. *Litosfera – Lithosphere*, 2007, no. 3, pp. 3–27.
23. Ivanov K.S., Volchenko Yu.A. O nekotorykh diskussionnykh voprosakh izucheniya geologii Platinonosnogo poyasa Urala [Some discussion issues of exploring the Geology of the Urals Platiniferous belt]. *Uralskiy geologicheskii zhurnal*, 2009, no. 3, pp. 67–98.

Received: 05 December 2014.