———— ГЕОЛОГИЯ ————

УДК: 551.[2+21+24+26+73],552.3/4

РАННЕПАЛЕОЗОЙСКИЙ ВОЗРАСТ ПРОТОЛИТОВ ГНЕЙСОВ И ГРАНИТО-ГНЕЙСОВ НА ВОСТОКЕ ЮЖНОГО УРАЛА: РЕЗУЛЬТАТЫ U-Th-Pb (SIMS)-ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2020 г. А.В.Рязанцев*

Представлено академиком РАН К.Е. Дегтяревым 25.05.2020 г. Поступило 25.05.2020 г. После доработки 07.07.2020 г. Принято к публикации 20.07.2020 г.

Для гнейсов в Восточно-Уральской мегазоне на Южном Урале U–Th–Pb-методом (SHRIMP II) по акцессорным магматическим цирконам впервые доказан раннепалеозойский возраст их протолита. В восточном обрамлении Суундукского массива средне-позднепалеозойских гранитоидов выделено два метаморфических комплекса. Зеленодольский комплекс представлен гранитогнейсами, а кусаканский – гнейсами и кристаллическими сланцами по вулканогенным и вулканогенно-осадочным породам и кварцитами. Для гранито-гнейсов зеленодольского комплекса получена оценка возраста протолита 478 \pm 5 млн лет, для гнейсов кусаканской свиты – 529 \pm 6 млн лет. Формирование толщи вулканогенно-осадочных пород и гранитоидов этой мегазоны связано с эволюцией вулкано-плутонического пояса на активной континентальной окраине.

Ключевые слова: Урал, геодинамика, активная континентальная окраина, кембрий, ордовик, гнейсы, гранито-гнейсы, протолит, рифтогенез, метаморфические ядра, U–Pb-возраст, SHRIMP II

DOI: 10.31857/S2686739720100084

В восточных зонах Южного Урала широко распространены средне- и позднепалеозойские гранитоиды, прорывающие гнейсово-мигматитовые и амфиболит-гнейсово-сланцевые комплексы (рис. 1). Метаморфические комплексы ранее рассматривались как выступы докембрия. Работы последних лет показали, что метаморфизм некоторых гнейсово-мигматитовых комплексов имеет палеозойский возраст, а для гранито-гнейсов в ряде работ доказывается среднепалеозойский возраст их протолита и близкий к нему возраст метаморфизма [1-4]. В связи с мощной метаморфической переработкой пород в среднем и позднем палеозое сильно затушеваны проявления более ранних этапов магматизма и метаморфизма и остается нерешенной проблема возраста протолита гнейсов большинства комплексов, а присутствие в структуре докембрия не доказано [1]. Изотопные исследования свидетельствуют о неоднородности земной коры региона и о присутствии блоков с относительно молодой, позднедокембрийской континентальной или островодужной корой [1, 3, 5–7]. Изучение детритовых цирконов из ордовикских толщ в Восточно-Уральской мегазоне показывает преобладание популяции венд-кембрийского возраста с источником материнского материала из юве-

нильной коры с модельным возрастом $T_{DM}^{C} = = 0.72 - 1.06$ млрд лет [8].

Задачей проведенных исследований являлось U—Th—Pb-геохронологическое изучение акцессорных цирконов из гнейсов и гранито-гнейсов в Восточно-Уральской мегазоне на экзоконтакте Суундукского гранитного массива с целью определения возраста их протолитов. Возраст определялся U—Pb-локальным анализом (SIMS SHRIMP) в ЦИИ ВСЕГЕИ. Измерения изотопных отношений U и Pb проводились по методике, описанной в [12]. Интенсивность первичного пучка молеку-

Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

^{*}E-mail: avryazan51@mail.ru



Рис. 1. Обзорная схема расположения основных структурных элементов Южного Урала и исследованных объектов. 1 – палеоконтинентальные блоки; 2 – блоки с палеозойскими офиолитами и островодужными комплексами; 3 – гранитоиды среднего и позднего палеозоя; 4–5 – крупные разломы: 4 – Главный уральский разлом, 5 – прочие. Структурные элементы: I – Предуральский краевой прогиб, II–VI – мегазоны: II – Западно-Уральская, III – Центрально-Уральская, IV – Магнитогорская, V – Восточно-Уральская, VI – Западно-Тургайская зона. К востоку от Суундукского массива показано положение территории рис. 2.

лярных отрицательно заряженных ионов кислорода составляла ~2.5–4 нА, диаметр пятна (кратера) – ~15 × 10 мкм. Индивидуальные погрешности даны для интервала 1 σ (%), рассчитанные возрасты –2 σ (млн лет). Полученные данные обрабатывались с помощью программ SQUID [13] и ISOPLOT [14].

В строении Суундукского массива принимают участие средне- и позднепалеозойские гранитоиды [9]. Метаморфический комплекс к востоку от массива выделяется как кусаканская свита, для которой условно принимался раннерифейский возраст [2, 9]. Для кристаллических сланцев кусаканской свиты ранее были получены Sm—Nd-минеральные изохроны с возрастом 463 ± 40 и $460 \pm$ ± 7 млн лет [2]. Считается, что эти значения характеризуют возраст метаморфизма, связанного с рифтогенезом [2].

Нами установлено, что метаморфические образования в районе пос. Зеленодольский представлены двумя разнородными комплексами (рис. 2). В первом комплексе, преобладают гранито-гнейсы. Второй комплекс представлен гнейсами, кристаллическими сланцами и кварцитами. На метаморфических породах с тектоническим контактом залегают серпентинитовый меланж и нижнекембрийская (?) чулаксайская свита, в разрезе которой преобладают графитистые кварцито-сланцы и базальты.

Гранито-гнейсы, которые мы предлагаем выделять как зеленодольский комплекс, представлены желто-белыми (металейкограниты) или серыми (метадиориты) породами с редким амфиболом, биотитом, мусковитом и гранатом. Гранитогнейсы имеют субмеридиональную кристаллизационную сланцеватость и содержат конформные жилы белых гранатовых гнейсов, образованных по гранитным аплитам, а также жилы и линзы кварц-альбитовых пегматитов.

Среди гранито-гнейсов залегают крупные линзы (ксенолиты?) с фрагментами толщи мигматизированных переслаивающихся полосчатых разноокрашенных гнейсов, кристаллических сланцев и гранатовых метакремнистых кварцитов (кусаканская свита). В гнейсах и кристаллических сланцах наблюдается полосчатость, обусловленная чередованием крупно- и тонкокристаллических пород. Среди гнейсов и кристаллических сланцев преобладают гранат-биотитовые, гранат-биотит-мусковитовые разности со ставролитом, андалузитом, силлиманитом. Толща смята в мелкие изоклинальные складки с вертикальными субмеридиональными осевыми поверхностями и субгоризонтальными шарнирами. В структуре присутствуют силлы метагабброидов, представленных флогопит-содержащими амфиболитами.

Протолитами гнейсов и кристаллических сланцев кусаканской свиты, вероятно, являются туфы и туффиты, по составу соответствующие андезитам и дацитам. Гранито-гнейсы принадлежат известково-щелочной серии и по составу близки к гранитам вулканических дуг [10].

Из зеленовато-серых полосчатых биотиткварц-полевошпатовых гнейсов кусаканской свиты, отобранных в точке 15164 (см. рис. 2) с координатами 52°23'07.7" с.ш. 59°53'58.9" в.д., выделен циркон, представленный кристаллами с осцилляторной зональностью и расплавными включениями, что указывает на магматический генезис цирконов. Многие зерна трещиноваты. По 16 точ-



Рис. 2. Метаморфические комплексы на левом берегу р. Суундук в районе пос. Зеленодольск к востоку от Суундукского гранитного плутона. 1 - рыхлые кайнозойские отложения; 2-3 - чулаксайская свита (нижний кембрий?): 2 - углеродистые кварциты, 3 - базальты; 4-6 - зеленодольский гранито-гнейсовый комплекс (ранний ордовик): 4 - лейкократовые гранито-гнейсы, 5 - гнейсы по аплитам, 6 - серые полосчатые гранито-гнейсы мигматизированные; 7 - кусаканская свита (нижний кембрий), гнейсы, кристаллические сланцы и кварциты по туфогенным и терригенным породам; 8 - флогопитовые амфиболиты по габбро-долеритам; 9 - граниты джабыкско-санарского комплекса (ранняя пермь); 10 - серпентинитовый меланж; 11 - тектонические контакты; 12 - точки отбора проб на цирконы и их номера.

кам получена оценка возраста 529 \pm 6 млн лет (рис. 3, табл. 1).

Из гранито-гнейсов зеленодольского комплекса в точке 14354 с координатами 52°23'19.9" с.ш., 59°53'37.3" в.д. выделен циркон, представленый бесцветными кристаллами призматической формы с типичной магматической осцилляторной зональностью. По 10 точкам получена оценка возраста 478 ± 5 млн лет (см. рис. 3, табл. 2).

Формирование рассмотренных магматических комплексов происходило на континентальной окраине, фрагменты которой присутствуют в различных структурных зонах Южного Урала [8, 11]. Разрез ордовика в этих структурах представляют рифтогенные толщи с вулканитами и терригенными преимущественно аркозовыми породами. В западных структурных зонах присутствуют толщи с вулканитами, дифференцированные от андезитов до риолитов серии [11]. В зоне Уралтау Центрально-Уральской мегазоны терригенные толщи несогласно залегают на вендских и кембрийских комплексах [8, 11], которые рассматриваются, как комплексы вулкано-плутонического пояса активной континентальной окраины. В Восточно-Уральской мегазоне терригенные толщи низов ордовика представлены рымникской и маячной свитами. Детритовые цирконы, выделенные из песчаников этих толщ, имеют возрасты в диапазоне 511—583 млн лет [8]. При этом фиксируется яркий максимум со значением 529 млн лет, сходный с возрастом протолита гнейсов кусаканской свиты (529 \pm 6 млн лет).

Полученный раннекембрийский и раннеордовикский возрасты протолитов метаморфических ортопород в структуре Восточно-Уральской мегазоны и данные о их составе позволяют относить эти комплексы к активной континентальной окраине, развитие которой продолжалось в венде-раннем палеозое. Наиболее полные фрагменты этой окраины установлены в более западных структурных зонах Урала [8]. Среднеордовикский метаморфизм, проявленный к востоку от Суундукского массива [2], по-видимому, связан со

РЯЗАНЦЕВ

	²⁰⁶ Pb _c , %	Содержание, мкг/г			Изотопные отношения					Возраст, млн лет	
№ анализа		²⁰⁶ Pb*	U	Th	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ± %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ± %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ± %		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
1	0.00	5.63	76	49	0.67	0.057 ± 4.1	0.087 ± 2.6	0.686 ± 4.9	0.53	536 ± 13	536 ± 14
2	0.26	11.8	162	37	0.24	0.057 ± 2.8	0.085 ± 2.4	0.637 ± 4.4	0.56	524 ± 12	526 ± 13
3	0.00	9.81	137	49	0.37	0.058 ± 3.1	0.083 ± 2.4	0.67 ± 3.9	0.61	516 ± 12	516 ± 12
4	0.00	12.6	175	90	0.53	0.058 ± 2.7	0.084 ± 2.4	0.674 ± 3.6	0.67	520 ± 12	520 ± 12
5	0.37	4.2	58	13	0.23	0.059 ± 4.7	0.084 ± 2.7	0.644 ± 6.5	0.42	520 ± 14	521 ± 14
6	0.00	17.9	237	139	0.60	0.057 ± 2.3	0.088 ± 2.3	0.693 ± 3.3	0.70	544 ± 12	544 ± 12
7	0.23	6.82	95	51	0.56	0.059 ± 3.7	0.084 ± 2.5	0.655 ± 5	0.51	519 ± 13	519 ± 13
8	0.12	13.6	180	61	0.35	0.059 ± 2.6	0.088 ± 2.3	0.702 ± 3.7	0.64	541 ± 12	541 ± 12
9	0.08	41.2	556	462	0.86	0.058 ± 1.5	0.086 ± 2.2	0.676 ± 2.7	0.81	532 ± 11	532 ± 11
10	0.07	32.7	462	208	0.46	0.057 ± 1.7	0.082 ± 2.2	0.645 ± 2.9	0.78	510 ± 11	510 ± 11
11	0.17	9.15	127	43	0.35	0.059 ± 3.2	0.084 ± 2.5	0.662 ± 4.4	0.58	519 ± 13	519 ± 13
12	0.00	6.84	94	40	0.44	0.059 ± 3.7	0.085 ± 2.5	0.693 ± 4.4	0.57	525 ± 13	525 ± 13
13	0.06	24.6	337	131	0.40	0.057 ± 3.2	0.085 ± 2.2	0.658 ± 3	0.74	525 ± 11	525 ± 11
14	0.08	20.4	265	202	0.79	0.058 ± 2.2	0.089 ± 2.3	0.712 ± 3.2	0.71	552 ± 12	552 ± 12
15	0.04	43	583	257	0.46	0.057 ± 1.5	0.086 ± 2.2	0.675 ± 2.7	0.83	531 ± 11	531 ± 11
16	0.00	10.2	136	56	0.43	0.058 ± 3	0.088 ± 2.4	0.697 ± 3.9	0.62	541 ± 12	541 ± 12

Таблица 1. Результаты геохронологических U-Th-Pb-исследований циркона из гнейсов кусаканской свиты (проба 15164)

Примечание. Погрешность – 1σ; Pb_c и Pb^{*} – пропорции обычного и радиогенного свинца соответственно; погрешность в калибровке стандарта – 0.54%. Rho – коэффициент корреляции ошибок ²⁰⁷Pb/²³⁵U–²⁰⁶Pb/²³⁸U.

№ анализа	²⁰⁶ Pb _c , %	Содержание, мкг/г			Изотопные отношения					Возраст, млн лет
		²⁰⁶ Pb*	U	Th	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ± %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ± %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ± %		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U
1	0.16	12	176	125	0.74	0.058 ± 2.9	0.632 ± 3.4	0.632 ± 3.4	0.550	493.2 ± 9
2	0.19	25.8	392	77	0.20	0.057 ± 2	0.602 ± 2.7	0.602 ± 2.7	0.661	475.6 ± 8.1
3	0.12	26.6	405	173	0.44	0.056 ± 2	0.589 ± 2.6	0.589 ± 2.6	0.670	474.2 ± 8.1
4	0.24	8.08	119	23	0.20	0.059 ± 3.7	0.633 ± 4.3	0.633 ± 4.3	0.474	489.7 ± 9.5
5	0.25	38.6	586	211	0.37	0.056 ± 2.3	0.587 ± 3.1	0.587 ± 3.1	0.650	474.5 ± 9.2
6	0.67	21.4	326	106	0.34	0.056 ± 3.1	0.591 ± 3.6	0.591 ± 3.6	0.498	472.9 ± 8.2
7	0.14	40	609	189	0.32	0.056 ± 1.6	0.594 ± 2.4	0.594 ± 2.4	0.739	474.9 ± 8
8	0.05	65.9	984	324	0.34	0.056 ± 0.94	0.605 ± 2	0.605 ± 2	0.879	483.6 ± 8.1
9	0.37	21.9	335	87	0.27	0.056 ± 3.6	0.586 ± 4.1	0.586 ± 4.1	0.443	469.8 ± 8.2
10	0.26	24.5	370	140	0.39	0.058 ± 2.6	0.617 ± 3.2	0.617 ± 3.2	0.558	477 ± 8.2

Таблица 2. Результаты геохронологических U–Th–Pb-исследований циркона из гранито-гнейсов зеленодольского комплекса (проба 14354)

Примечание. Погрешность – 1σ; Pb_c и Pb^{*} – пропорции обычного и радиогенного свинца соответственно; погрешность в калибровке стандарта – 0.51%, Rho – коэффициент корреляции ошибок ²⁰⁷Pb/²³⁵U–²⁰⁶Pb/²³⁸U.



Рис. 3. Диаграммы с конкордиями и CL-микрофотографии цирконов для гнейсов кусаканской свиты (проба 15164) и гранито-гнейсов зеленодольского комплекса (проба 14354). На фотографиях номера точек соответствуют номерам анализов в таблицах 1 и 2.

структурами растяжения, типичными для комплексов метаморфических ядер кордильерского типа.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 20-05-00308 в рамках госзадания 0135-2019-0049.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Иванов К.С., Панов В.Ф., Лиханов И.И. и др. Докембрий Урала // Горные ведомости. 2016. № 9. С. 4–28.
- 2. Виноградов В.И., Щербаков С.А., Горожанин В.М. и др. Возраст метаморфитов Восточно-Уральского поднятия: Sm-Nd и Rb-Sr-изотопное датирование // ДАН. 2000. Т. 371. № 6. С. 784–787.
- Ферштатер Г.Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.

- Görz I., Bombach K., Kröner U., Ivanov K.S. Protolith and Deformation Age of the Gneiss-Plate of Kartali in the Southern East Uralian Zone // International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch). 2004. 93 (4). P. 475–486.
- Осипова Т.А. Источники гранитоидов Главной гранитной оси Урала: Sm-Nd, Rb-Sr и U-Pb данные // Материалы XI Всероссийского петросовещания "Магматизм и метаморфизм в истории Земли". Екатеринбург: Институт геологии и геохимии. Том II. 2010. С. 111–112.
- 6. *Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.
- 7. Шатагин К.Н., Астраханцев О.В., Дегтярев К.Е. и др. Неоднородность континентальной коры Восточного Урала: результаты изотопно-геохимического изучения палеозойских гранитоидных комплексов // Геотектоника. 2000. № 5. С. 44–60.
- 8. *Рязанцев А.В., Кузнецов Н.Б., Дегтярев К.Е. и др.* Реконструкция венд-кембрийской активной континентальной окраины на Южном Урале по результатам изучения детритовых цирконов из ордовик-

ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ том 494 № 2 2020

ских терригенных пород // Геотектоника. 2019. № 4. С. 43–59.

- Князев Ю.Г., Князева О.Ю., Сначев В.И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист N-40–Уфа. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 512 с.
- Рязанцев А.В., Толмачева Т.Ю. Вендские и раннепалеозойские комплексы активной континентальной окраины в палеозоидах Южного У рала // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Т. 2. Материалы XLIX Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2017. С. 169–172.
- 11. *Рязанцев А.В., Толмачева Т.Ю*. Ордовикские вулканогенные и плутонические комплексы Сакмарского аллохтона на Южном Урале // Геотектоника. 2016. № 6. С. 1–28.
- Whilliams I.S. Geochronology by Ion Microprobe // Reviews in Economic Geology, 1998. V. 7. P. 1–35.
- 13. *Ludwig K.R.* SQUID 1.00, A User's Manual // Berkeley Geochronology Center Special Publication. 2000. № 2. 2455 Ridge Road, Berkeley. CA 94709, USA. 17 p.
- Ludwig K.R. ISOPLOT 3.00. A User's Manual // Berkeley Geochronology Center Special Publication. 2003. № 4. 2455 RidgeRoad, Berkeley. CA 94709. USA. 70 p.

EARLY PALEOZOIC PROTOLITH AGE OF GNEISSES AND GRANITIC GNEISSES IN THE EASTERN SOUTH URALS: RESULTS OF THE U-Th-Pb (SIMS) GEOCHRONOLOGICAL RESEARCH

A. V. Ryazantsev[#]

Geological institute of the Russian Academy of Scienses, Moscow, Russian Federation [#]E-mail: avryazan51@mail.ru Presented by Academician of the RAS K.E. Degtyarev May 25, 2020

Zircon dating proved the Early Paleozoic protolith age of gneisses in the East Ural megazone (Southern Urals). Two metamorphic complexes have been identified there in the eastern frame of the Middle-Late Paleozoic Suunduk granitoid pluton. The Zelenodolsk complex is represented by granitic gneisses, and the Kusakan complex (Formation) by metavolcanic gneisses, crystalline shists, and quartzites. U–Th–Pb analyses (SHRIMPII) of accessory magmatic zircons from the Zelenodolsk granitic gneiss yielded dates 478 ± 5 Ma. The protolith age of the Kusakan gneiss (andesitic metatuff) is 529 ± 6 Ma. The origin of volcanic, volcanic-sedimentary rocks and granitoids in this structure is associated with the evolution of the volcanic-plutonic belt on the active continental margin.

Keywords: Urals, geodynamics, active continental margin, Cambrian, Ordovician, gneisses, granitic gneisses, protolith, rifting, metamorphic core, U–Pb age, SHRIMP