

## НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ВОЗРАСТУ И ИЗОТОПИИ ГНЕЙСОВ МУРЗИНСКО-АДУЙСКОГО КОМПЛЕКСА И ЖИЛЬНЫХ ГРАНИТОВ В НИХ

© 2018 г. **Г. Б. Ферштатер**, А. А. Краснобаев, П. Монтеро\*, Ф. Беа\*, Н. С. Бородина, Н. Г. Солошенко, М. В. Стрелецкая

Мурзинско-адуийский метаморфический комплекс расположен к востоку от крупных гранитных массивов – Мурзинского и Адуийского, сложен орто- и парагнейсами диоритового состава, которые также сохраняются в виде реститов в указанных массивах. Метаморфиты прорваны жилами гранитов (южаковский комплекс). По возрасту цирконы из гнейсов и прорывающих их жильных гранитов образуют семь возрастных групп в интервале от 1588 до 260 млн лет. В гнейсах и большей части гранитов встречаются цирконы всех возрастных кластеров, что является доказательством заимствования гранитами циркона гнейсов, с одной стороны, и развития в гнейсах «гранитного» циркона, с другой. Соотношения изотопов Sr позволяют полагать, что источником жильных гранитов, как и гранитов западной части Мурзинского массива, являются допалеозойские кремнекислые породы, вскрытые эрозией в восточной, прилегающей к гранитным массивам, зоне развития метаморфитов.

Породы мурзинско-адуийского метаморфического комплекса (ММК) [Кейльман, 1974] расположены в пределах палеоконтинентальной зоны северо-западного мегаблока восточнее крупных гранитных массивов – Мурзинского и Адуийского. Комплекс сложен разнообразными орто- и парагнейсами преимущественно диоритового состава, которые в восточной части сменяются более кремнекислыми породами, сохранившимися в виде реститов в гранитах западной части гранитных массивов. Метаморфиты прорваны многочисленными жилами гранитов, которые обособлены в южаковский комплекс [Орогенный гранитоидный магматизм..., 1994]. Имеющиеся к настоящему времени данные свидетельствуют о мезопротеройском возрасте гнейсов [Краснобаев и др., 2005] и позднепермском возрасте жильных гранитов, таком же, как и у гранитов Мурзинского и Адуийского массивов [Montero et al., 2000; Gerdes et al., 2002; Краснобаев и др., 2006; Ферштатер, 2013].

Распределение образцов на исследованной площади показано на рис. 1. Возраст и изотопные параметры циркона определены в университете г. Гранада (Испания) в лаборатории IBERSIMS профессорами П. Монтеро и Ф. Беа на приборе SHRIMP-Пе/мс. Процедура измерений приведена на сайте [www.ugr.es/~ibersims](http://www.ugr.es/~ibersims). Анализ изотопного состава и содержаний Rb, Sr, Sm, Nd методом изотопного разбавления в породах Крутихинского массива выполнен на многоколлекторном масс-спектрометре высокого разрешения Triton Plus (Thermo) аналитиками Н.Г. Солошенко, М.В. Стрелецкой. Методика

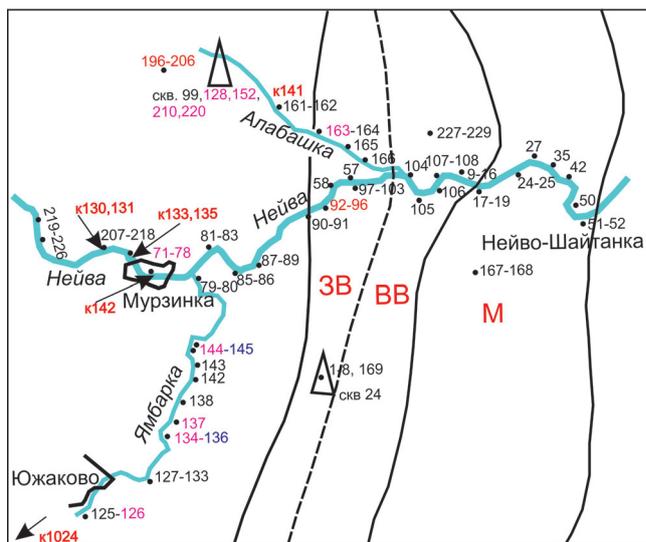


Рис. 1. Размещение образцов на изученной площади.

Красным цветом с индексом “к” обозначены образцы, в которых определен возраст циркона, без индекса – образцы, в которых измерены Rb-Sr и Sm-Nd изотопные параметры. Линиями показаны контуры Мурзинского массива и в нем примерные площади развития гранитов западно-ватихского (ЗВ), восточно-ватихского (ВВ) подкомплексов и мурзинского (М) комплекса.

измерений рассмотрена в отдельной статье [Ферштатер и др., 2015].

На микроанализаторе SHRIMP-Пе/мс в двух пробах гнейсов (к133 и к1024) и в пяти пробах гра-

\* Университет г. Гранада, Испания

нитов (к130, к131, к135, к141 и к142) было исследовано 209 зерен. Изученные цирконы из гнейсов и прорывающих их жильных гранитов (табл. 1, 2) образуют семь возрастных групп (рис. 2): I –  $1588 \pm 20$  (среднее из 9), II –  $1060 \pm 28$  (6), III –  $530 \pm 11$  (19), IV –  $380 \pm 6$  (19), V –  $330 \pm 9$  (12), VI –  $276 \pm 3$  (67), VII –  $260 \pm 3$  (72), первые четыре из которых представляют собой, по-видимому, цирконы из гнейсов, в разной мере переработанные, а три последние – те цирконы, которые образовались в процессе гранитообразования. Цирконы I–IV групп, светлые в CL, характеризуются небольшими размерами (обычно не более 0.1 мм), изометричными очертаниями, пятнистой или секториальной зональностью, часто корродированы. Они образуют как отдельные обособленные зерна, так и зоны в зональных зернах, что свидетельствует о дискретном преобразовании какого-то первичного циркона в связи с событиями, имевшими место в соответствующие интервалы времени. Три молодые группы цирконов образуют либо каймы, либо обособленные зерна с хорошей осцилляционной зональностью.

Важно отметить, что в гнейсах и большинстве проб гранитов (за исключением к141, к142) встречаются цирконы всех отмеченных возрастных групп (см. рис. 2), что является однозначным до-

казательством заимствования гранитами циркона гнейсов, с одной стороны, и развития в гнейсах “гранитного” циркона, с другой.

Наиболее однородными и близкими по возрасту циркона к гранитам Мурзинского массива [Montero et al., 2000; Gerdes et al., 2002] являются граниты к141 и к142 (см. табл. 2). В них резко преобладают темные в CL (богатые ураном) призматические зональные зерна (см. рис. 2), образующие две возрастные группы около 280 и 260 млн лет. Даже в тех случаях, когда цирконы содержат светлые в CL бедные ураном ядра, они по внешнему виду сходны с теми, что широко распространены в цирконах из гнейсов, где они имеют раннепалеозойские или протерозойские возрасты, возрастные различия между ядром и каймой не фиксируются. В отличие от цирконов из гранитов собственно Мурзинского и Адуйского массивов, которые, как правило, имеют темные богатые ураном оторочки, в жильных южакских гранитах внешние каймы часто имеют более светлую окраску (зерна 1, 19, 25 в пробе к141 и зерно 18 в пробе пегматоидного гранита к142, рис. 3). Цирконы имеют магматический облик и, по всей вероятности, кристаллизовались из расплава.

В гранитах к130 и к131 (рис. 4) многие цирконы характеризуются наличием светлых (сильная

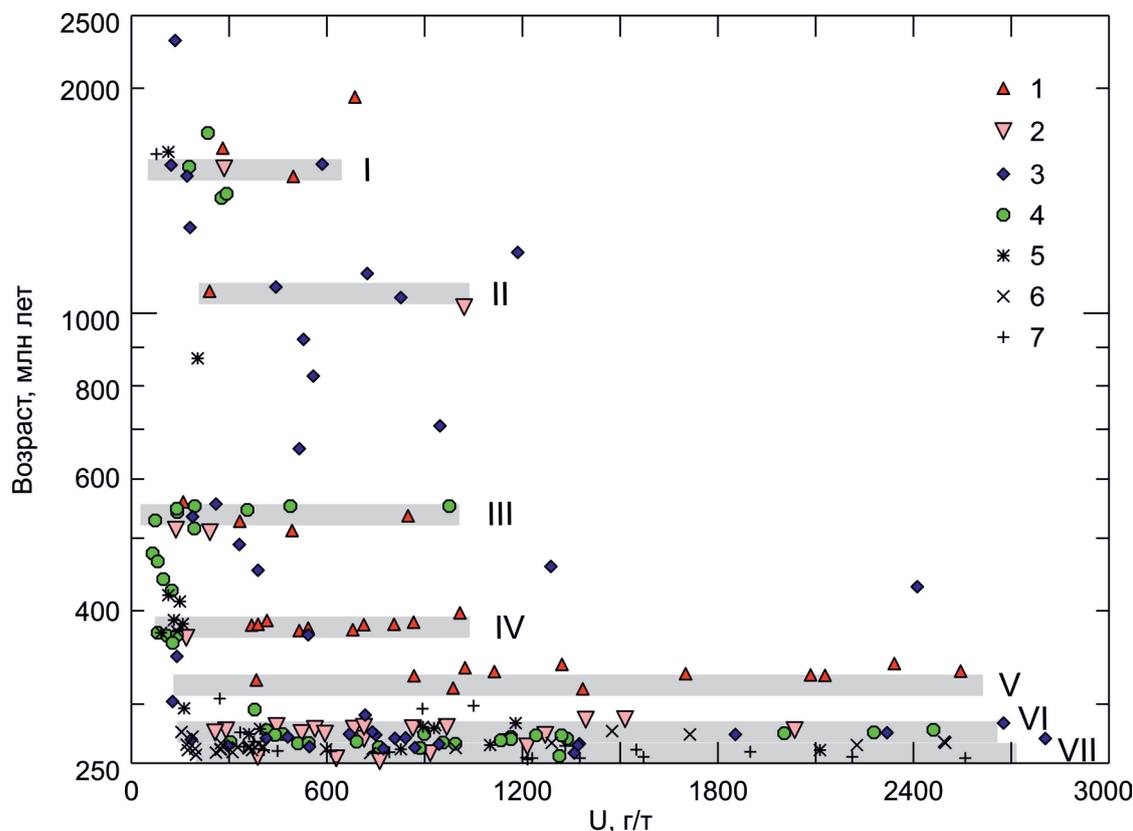


Рис. 2. Диаграмма  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возраст циркона – содержание урана.

1, 2 – гнейсы: 1 – к1024, 2 – к133; 3–7 – граниты: 3 – к131, 4 – к130, 5 – к135, 6 – к141, 7 – к142. I–VII – усредненные значения возраста соответствующих групп циркона.

Таблица 1. Изотопные параметры и возрасты циркона из гнейсов ММК (млн лет)

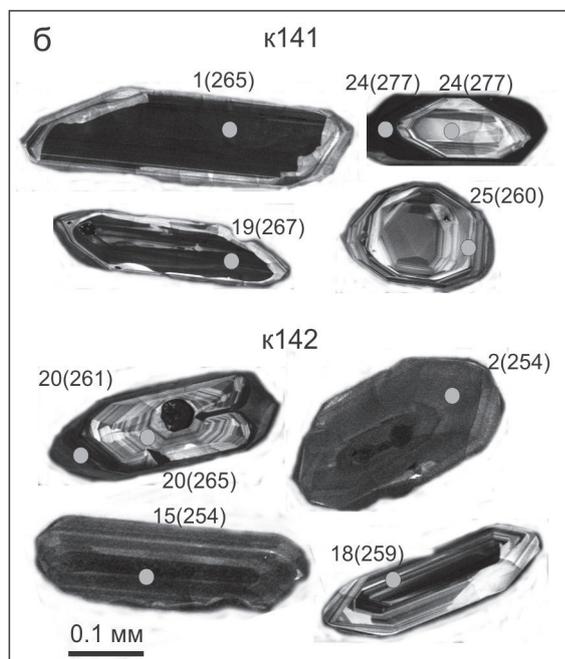
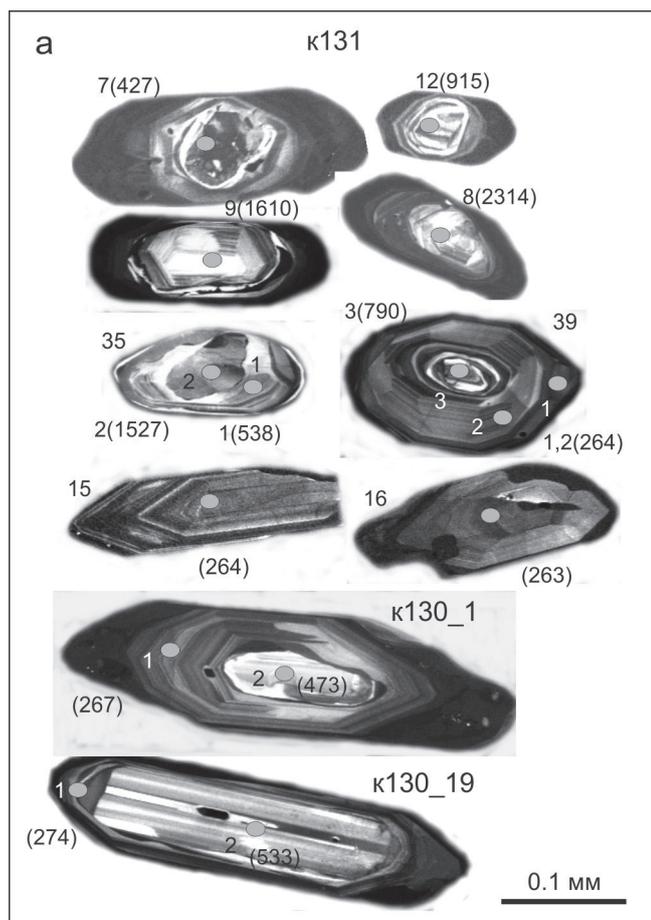
Группа	N	г/т		%	Th/U	Изотопные отношения, откорректированные по 208Pb				Возрасты, откорректированные по 208Pb									
		U	Th			206Pb	f6_4	f6_8	7Pb/6Pb	±егг	7Pb/5U	±егг	6Pb/8U	±егг	7Pb/5U	±егг	% dis		
<b>к1024 (плотина в д. Бызово)</b>																			
I	8	687.1	320.6	209.8	0.48	0.12091	0.00132	0.35224	0.00531	5.87213	0.11122	0.573	1970.0	19.2	<b>1945.0</b>	25.4	1957.0	16.5	0.6
I	7	280.5	62.5	71.6	0.23	0.10269	0.00132	0.29338	0.00437	4.15404	0.08311	0.536	1673.0	23.6	<b>1658.0</b>	21.8	1665.0	16.5	0.4
I	18	498.0	218.4	115.1	0.45	0.09415	0.00153	0.26675	0.00375	3.46289	0.07540	0.464	1511.0	30.2	<b>1524.0</b>	19.1	1519.0	17.3	-0.4
II	21	240.1	66.2	37.6	0.28	0.08538	0.00230	0.18053	0.00656	2.12521	0.09641	0.576	1324.0	51.4	<b>1070.0</b>	35.9	1157.0	31.8	7.6
III	12	849.6	207.2	63.8	0.25	0.05609	0.00131	0.08658	0.00167	0.66958	0.02043	0.455	456.0	51.0	<b>535.0</b>	9.9	521.0	12.5	-2.8
IV	16	866.9	395.8	46.4	0.47	0.05477	0.00134	0.06181	0.00075	0.46684	0.01286	0.318	403.1	53.8	<b>386.6</b>	4.5	389.0	8.9	0.6
IV	11	714.3	228.2	37.9	0.33	0.05292	0.00092	0.06131	0.00075	0.44738	0.00965	0.411	326.0	39.0	<b>384.0</b>	4.6	375.0	6.8	-2.2
IV	1	806.1	236.1	42.9	0.30	0.05418	0.00077	0.06145	0.00076	0.45904	0.00885	0.464	378.5	31.8	<b>384.5</b>	4.7	383.6	6.2	-0.2
IV	13	370.3	94.3	19.7	0.26	0.05384	0.00081	0.06143	0.00069	0.45602	0.00873	0.423	364.3	33.6	<b>384.3</b>	4.2	381.5	6.1	-0.8
V	29	1025	604.8	51.1	0.56	0.05307	0.00129	0.05293	0.00058	0.38733	0.01046	0.293	331.9	54.4	<b>332.5</b>	3.6	332.4	7.7	0.0
V	25	867.7	495.4	39.4	0.59	0.05339	0.00252	0.05244	0.00118	0.38605	0.02021	0.309	345.3	103	<b>329.5</b>	7.2	331.5	14.9	0.6
<b>к133 (западная окраина д. Мурзинка)</b>																			
I	7_2	284.1	58.5	66.6	0.21	0.16075	0.00436	0.27130	0.00800	6.01334	0.24193	0.528	2464.0	45.2	<b>1547.0</b>	40.7	1978.0	35.7	22
III	7_3	133.3	68.7	9.9	0.53	0.05771	0.00260	0.08565	0.00210	0.68145	0.03502	0.343	519.0	95.8	<b>530.0</b>	12.4	528.0	21.4	-0.4
VII	7_1	383.6	132.8	13.4	0.36	0.05143	0.00112	0.04015	0.00047	0.28473	0.00709	0.338	260.0	49.0	<b>254.0</b>	2.9	254.0	5.6	0.2
III	16	202.3	163.6	14.4	0.83	0.06000	0.00318	0.08259	0.00152	0.68332	0.03838	0.235	604.0	111	<b>512.0</b>	9.1	529.0	23.4	3.2
VI	10	1397	297.3	55.3	0.22	0.05164	0.00088	0.04572	0.00048	0.32552	0.00665	0.374	269.3	38.8	<b>288.2</b>	3.0	286.1	5.1	-0.8
VI	5	870.5	200.2	34.1	0.24	0.05206	0.00084	0.04517	0.00080	0.32427	0.00784	0.526	288.1	36.4	<b>284.8</b>	4.9	285.2	6.0	0.2
VI	11	730.3	158.2	27.8	0.22	0.05302	0.00079	0.04399	0.00060	0.32156	0.00657	0.477	330.0	33.4	<b>278.0</b>	3.7	283.0	5.1	2.0
VI	15	572.3	57.9	21.9	0.10	0.05140	0.00091	0.04409	0.00046	0.31248	0.00654	0.361	258.7	40.4	<b>278.2</b>	2.9	276.1	5.1	-0.8
VII	9_1	626.8	89.9	22.0	0.15	0.05132	0.00081	0.04052	0.00042	0.28673	0.00549	0.390	255.0	35.8	<b>256.0</b>	2.6	256.0	4.4	0.0
VII	9_2	741.3	178.0	26.0	0.25	0.05114	0.00071	0.04046	0.00058	0.28528	0.00579	0.506	247.0	32.0	<b>256.0</b>	3.6	255.0	4.5	-0.4
VII	21	4404	171.1	163.0	0.04	0.05048	0.00022	0.04111	0.00053	0.28615	0.00403	0.659	217.1	10.2	<b>259.7</b>	3.3	255.5	3.2	-1.6
VII	7	383.6	132.8	13.4	0.36	0.05143	0.00112	0.04015	0.00047	0.28473	0.00709	0.338	260.1	49.0	<b>253.8</b>	2.9	254.4	5.6	0.2

Примечание. %dis = (7Pb\_5U - 6Pb\_8U)/7Pb\_5U × 100 для всех зерен меньше 3, за исключением к1024-21 (7.6) и к133-7.2 (22). Зерна из гнейса к1024-11, 12, 18, 21, 7 и 8 и гнейса к133 11, 16, 7\_1, 7\_2, 7\_3, 9\_1 и 9\_2 показаны на рис. 4. Всего в пробе к1024 измерено 30 зерен, в пробе к133 - 25.

Таблица 2. Изотопные параметры и возрасты циркона из жильных гранитов (южакровский комплекс) (млн лет)

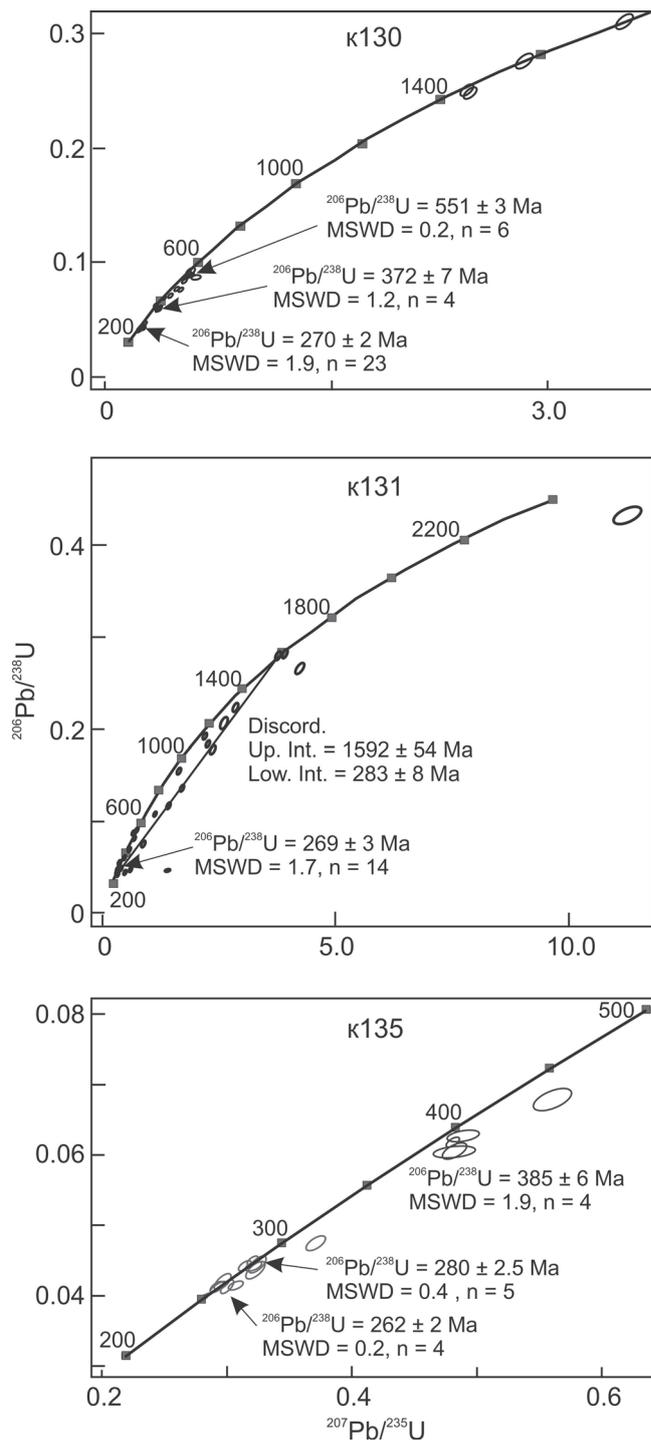
Группа	N	г/г		%	Th/U	Изотопные отношения, откорректированные по 208Pb		Изотопные отношения, откорректированные по 208Pb		Возрасты, откорректированные по 208Pb		% dis									
		U	Th			206Pb/fb_4	fb_8	7Pb/6Pb	±err	8cor	±err		7Pb/5U	±err	6Pb/8U	±err					
<b>к130 (2.1 км ниже д. Луговая)</b>																					
I	19.1	465.5	51.3	17.5	0.3	0.2	0.11	0.05406	0.00125	0.04346	0.00067	0.32394	0.00908	0.397	373.5	51.2	<b>274.2</b>	4.1	284.9	7.0	3.8
III	19.2	74.2	54.7	5.6	1.7	0.9	0.76	0.06044	0.00893	0.08615	0.00186	0.71791	0.10718	0.104	619.5	290	<b>532.7</b>	11.0	549.4	65.4	3.0
	1.2	65.3	39.3	4.4	0.9	2.0	0.62	0.04436	0.00270	0.07619	0.00145	0.46597	0.02980	0.214	0.0	0.0	<b>473.4</b>	8.7	388.4	20.9	21.8
VII	1.1	511.6	82.8	18.7	0.2	0.0	0.17	0.05411	0.00081	0.04222	0.00058	0.31496	0.00650	0.482	375.7	33.2	<b>266.6</b>	3.6	278.0	5.0	4.2
<b>к131 (2.1 км ниже д. Луговая)</b>																					
8	134.6	77.9	50.4	0.0	0.3	0.59	0.18604	0.00397	0.43172	0.00841	11.0745	0.32234	0.482	2707.5	34.8	<b>2313.5</b>	38.0	2529.4	27.5	8.6	
9	114.3	73.2	28.1	0.3	0.0	0.66	0.10152	0.00226	0.28372	0.00409	3.97151	0.10628	0.388	1652.1	40.8	<b>1610.1</b>	20.6	1628.4	21.9	1.2	
I	35	171.3	73.3	39.7	0.2	0.1	0.44	0.11520	0.00194	0.26735	0.00469	4.24667	0.10426	0.514	1883.1	30.0	<b>1527.3</b>	23.9	1683.1	20.4	9.2
II		443.7	109.5	70.4	0.1	0.2	0.25	0.08726	0.00081	0.18301	0.00282	2.20176	0.04042	0.605	1366.1	17.8	<b>1083.4</b>	15.4	1181.6	12.9	8.4
	12	529.0	89.5	70.5	0.1	1.0	0.17	0.06894	0.00111	0.15256	0.00317	1.45009	0.03843	0.564	896.9	32.8	<b>915.3</b>	17.7	909.9	16.0	-0.6
39.3	559.2	201.4	66.0	0.1	4.8	0.37	0.05002	0.00291	0.13030	0.00307	0.89863	0.05647	0.270	195.9	130	<b>789.6</b>	17.6	651.0	30.7	21.2	
7	2412	998.9	144.6	0.3	1.3	0.42	0.05168	0.00169	0.06847	0.00109	0.48791	0.01784	0.314	271.3	73.4	<b>426.9</b>	6.6	403.5	12.3	-5.8	
3	184.9	3.8	6.9	0.7	0.2	0.02	0.05300	0.00089	0.04280	0.00103	0.31277	0.00925	0.585	328.9	37.8	<b>270.2</b>	6.4	276.3	7.2	2.2	
VII	15	751.3	174.0	29.0	3.0	6.5	0.24	0.05068	0.00481	0.04180	0.00062	0.29212	0.02809	0.111	226.5	206	<b>264.0</b>	3.9	260.2	22.3	-1.4
VII	16	870.9	125.4	31.4	0.2	0.3	0.15	0.05173	0.00119	0.04157	0.00069	0.29652	0.00848	0.416	273.3	52.0	<b>262.6</b>	4.3	263.7	6.7	0.4
VII	39.1	547.8	86.3	19.8	0.4	0.1	0.16	0.05288	0.00146	0.04183	0.00116	0.30494	0.01199	0.508	323.5	61.6	<b>264.1</b>	7.1	270.2	9.3	2.2
VII	39.2	296.2	56.3	10.8	0.5	0.3	0.19	0.05336	0.00108	0.04184	0.00055	0.30788	0.00749	0.389	344.3	45.0	<b>264.3</b>	3.5	272.5	5.8	3.0
<b>к141 (бывшая деревня Верхняя Алабашка)</b>																					
VI	24.1	1476.0	121.6	56.0	0.2	0.0	0.08	0.05175	0.00046	0.04386	0.00059	0.31294	0.00515	0.585	274.5	20.2	<b>276.7</b>	3.6	276.5	4.0	0.0
VI	24.2	154.6	72.3	5.9	1.0	0.6	0.48	0.05469	0.00238	0.04386	0.00079	0.33071	0.01559	0.274	399.5	94.6	<b>276.7</b>	4.9	290.1	12.0	4.6
VII	1	2228	391.0	80.8	0.0	0.0	0.18	0.05293	0.00066	0.04192	0.00082	0.30593	0.00721	0.599	325.7	28.2	<b>264.7</b>	5.0	271.0	5.6	2.4
VII	19	2495	1599	91.4	0.0	0.0	0.66	0.05192	0.00186	0.04232	0.00061	0.30297	0.01177	0.267	282.1	80.0	<b>267.2</b>	3.8	268.7	9.2	0.6
VII	25	311.7	56.2	11.1	0.5	0.0	0.18	0.05464	0.00169	0.04121	0.00102	0.31045	0.01234	0.449	397.3	67.8	<b>260.3</b>	6.3	274.5	9.6	5.2
<b>к142 (д. Мурзинка, правый берег р. Нейва)</b>																					
VII	15	1230.4	140.1	42.8	0.1	0.0	0.12	0.05172	0.00040	0.04022	0.00038	0.28679	0.00363	0.533	272.9	17.6	<b>254.2</b>	2.3	256.0	2.8	0.8
VII	18	792.6	361.1	28.1	0.1	-0.1	0.47	0.05108	0.00122	0.04102	0.00032	0.28892	0.00734	0.218	244.7	54.2	<b>259.2</b>	2.0	257.7	5.8	-0.6
VII	2	1377.3	202.5	47.9	0.1	0.0	0.15	0.05139	0.00067	0.04021	0.00081	0.28492	0.00692	0.600	258.5	29.6	<b>254.1</b>	5.0	254.6	5.5	0.2
VII	20.1	1331.9	107.1	48.8	1.2	2.2	0.08	0.05083	0.00119	0.04137	0.00055	0.28991	0.00787	0.354	233.1	53.0	<b>261.3</b>	3.4	258.5	6.2	-1.0
VII	20.2	272.5	30.6	12.9	11.4	23.7	0.12	0.04804	0.01568	0.04201	0.00136	0.27823	0.09125	0.071	101.1	-	<b>265.3</b>	8.4	249.3	75.2	-6.4

Примечание. Зерна из гранита к130\_19,1,2 и все зерна из гранитов к131, к141 и к142 показаны на рис. 2. Всего в пробе к130 измерено 43 зерна, пробе к131 – 44, пробе к141 – 25, пробе 142 – 20 зерен.



**Рис. 3.** Катодолуминесцентные изображения зерен циркона из гранитов к131, к130, к141, к142.

Здесь и на рис. 5 цифры – номера зерен в табл. 1, цифры в скобках – возраст (млн лет). Положение точек измерений показано кружками.



**Рис. 4.** Диаграмма  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  с конкордией для циркона из гранитов.

Дискордия для обр. к130 построена по точкам 2.1, 21.1, 39.3, 10.1.

CL) ядер с пятнистой, или секториальной зональностью (см. рис. 3). Цирконы образуют несколько возрастных групп, млн лет: I – 1500–1700, II – 900–1100, III – 510–550, IV – 370–380, V – 310–330, VI – 270–280, VII – <270, каждая из которых (за исключением самой ранней) образует как ядра, так и каймы вокруг более ранних цирконов. Зерна I–III групп обычно имеют небольшие размеры (до 0.05–0.07мм), сглаженные изометричные формы, часто корродированы более поздней разновидностью. В граните к135 хорошо проявлена возрастная группа 375–420 млн лет, представленная светлыми в CL слабо зональными зернами, которые цементируют мезопротеройский циркон 1635 млн лет и сами окружены каймами с возрастом 260–280 млн лет.

Наиболее распространенные среди вмещающих пород биотит-рогообманковые диорито-гнейсы (к133) содержат “гранитные” цирконы, образующие те же возрастные кластеры 280 и 260 млн лет, что и в гранитах. Они представлены как отдельными таблитчатыми зональными зернами, так и каймами вокруг цирконов с возрастом 1547 и 512–530 млн лет (рис. 5, 6). В биотитовом гнейсе к1024, расположенном в западной части ММК

на наибольшем удалении от Мурзинского массива, гранитные цирконы VI и VII групп отсутствуют и преобладают цирконы IV и V групп с возрастом  $385 \pm 4$  и  $332 \pm 3$  млн лет, образование которых, по-видимому, связано с импульсами палеозойского метаморфизма, находящими отражение в породах южной части ММК [Вишнякова и др., 2017; Ферштатер и др., 2018]. Протерозойские цирконы в этом гнейсе принадлежат группам I–III.

Rb/Sr и Sm/Nd возрасты гнейсов и жильных гранитов южакковского комплекса (табл. 3, рис. 7) фиксируют, по-видимому, некие промежуточные этапы становления пород, которые не поддаются надежной интерпретации. Особенно интересен Rb/Sr возраст гранитов, пробы которых отобраны из одного места (скважины Алабашского пегматитового поля), образующих изохрону с возрастом  $457.0 \pm 9.8$  млн лет и  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.711100 \pm 0.00012$ . Подобное высокое первичное отношение изотопов стронция, согласующееся с отрицательным значением  $\epsilon\text{Nd}$  (см. табл. 3, рис. 8) и ранее полученными данными для гранитов западной части Мурзинского массива [Montero et al., 2000; Gerdes et al., 2002], свидетельствует об участии источника гранитов с высоким значением  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Таким  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$



Рис. 5. Катодолуминесцентные изображения зерен циркона из гнейсов к133 и к1024.

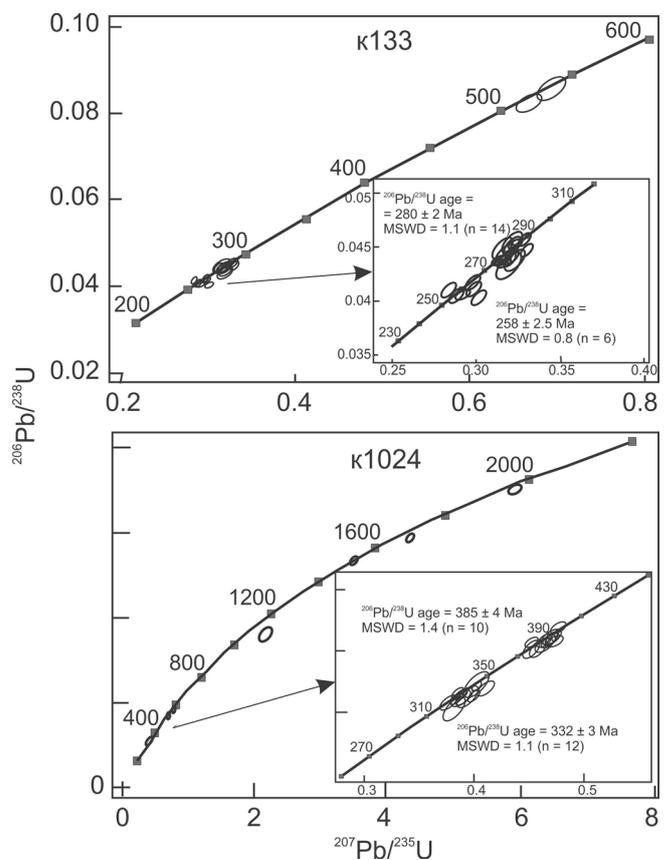
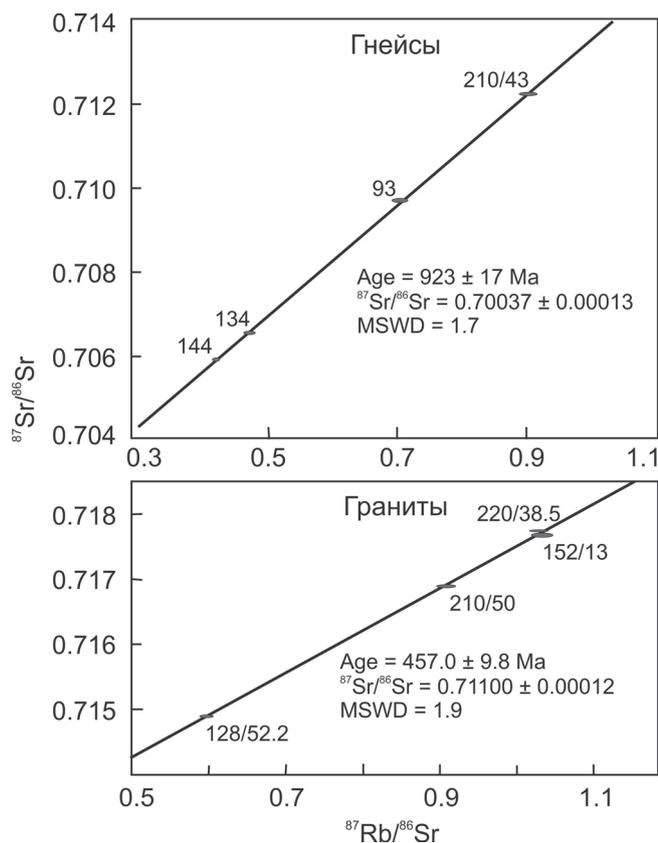


Рис. 6. Диаграмма  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  с конкордией для циркона из гнейсов к133 и к1024.

Таблица 3. Rb-Sr и Sm-Nd параметры гнейсов и гранитов

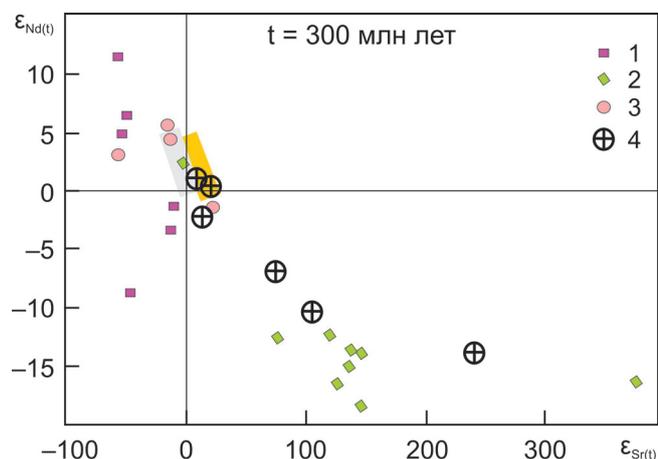
Проба	Rb, г/т	Sr, г/т	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2s$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2s$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	(eSr) <sub>i</sub>	Nd, г/т	Sm, г/т	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2s$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2s$	eNd	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$
Гнейсы																
73	158.41	1355.20	0.3382	0.0034	0.707306	0.000014	0.702470	-12.11	88.61	14.55	0.09926	0.00001	0.512289	0.000005	5.7	0.511637
196	5.45	55.03	0.2863	0.0029	0.706880	0.000014	0.702785	-7.62	33.52	4.66	0.08412	0.00001	0.512348	0.000007	8.8	0.511796
144	59.16	408.30	0.4191	0.0042	0.705901	0.000013	0.699907	-48.55	17.88	4.51	0.15255	0.00001	0.512106	0.000006	-4.7	0.511105
134	74.72	376.46	0.4701	0.0057	0.706542	0.000019	0.699819	-49.80	15.81	4.01	0.15343	0.00001	0.512888	0.000006	10.4	0.511881
210/43	104.64	335.37	0.9031	0.0090	0.712224	0.000028	0.699309	-57.06	24.63	3.94	0.09681	0.00001	0.513034	0.000017	20.6	0.512398
220/50									24.71	4.93	0.12060	0.00001	0.512684	0.000009	10.7	0.511892
93	114.41	415.04	0.7015	0.0080	0.709698	0.000016	0.699666	-51.98	20.75	3.74	0.10902	0.00001	0.512722	0.000014	12.9	0.512006
Граниты																
163	140.10	259.40	1.5635	0.0156	0.715234	0.000013	0.709562	76.13	96.07	10.99	0.06916	0.00001	0.511746	0.000004	-12.5	0.511610
137	121.40	410.60	0.8561	0.0086	0.717597	0.000021	0.714491	146.12	160.78	26.35	0.09910	0.00001	0.511734	0.000004	-13.9	0.511539
152/13	138.00	386.80	1.0330	0.0103	0.717679	0.000024	0.713932	138.18	143.10	15.05	0.06358	0.00000	0.511606	0.000003	-15.0	0.511482
220/38.5	133.00	374.60	1.0279	0.0103	0.717740	0.000011	0.714011	139.30	125.99	13.87	0.06656	0.00001	0.511695	0.000005	-13.4	0.511564
128/52.2	90.00	435.90	0.5979	0.006	0.714892	0.000014	0.712723	121.01	59.69	6.84	0.06926	0.00001	0.511756	0.000006	-12.3	0.511620
122	118.98	404.70	0.8515	0.0085	0.717887	0.000020	0.714252	145.30	57.80	7.23	0.07565	0.00002	0.511470	0.000004	-18.2	0.511321
116	25.61	612.90	0.1208	0.0012	0.704518	0.000009	0.704102	-2.08	5.49	1.15	0.12709	0.00004	0.512625	0.000010	2.4	0.512375
210/50	121.76	388.69	0.9071	0.0091	0.716891	0.000015	0.713018	125.97	44.63	6.19	0.08389	0.00002	0.511574	0.000005	-16.4	0.511409
126	164.68	405.26	1.1789	0.0118	0.735698	0.000019	0.730665	376.58	14.54	2.14	0.08880	0.00001	0.511604	0.000014	-16.1	0.511429
18									18.08	3.30	0.11045	0.00001	0.511795	0.000008		
84,б									19.96	3.17	0.09587	0.00001	0.512691	0.000014		

Примечание.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , (eSr)<sub>i</sub> и  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (eNd)<sub>i</sub> рассчитаны на возраст 1000 млн лет для гнейсов и 300 млн лет для гранитов.



**Рис. 7.** Диаграмма  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  для гнейсов и гранитов.

Анализы пород см. в табл. 3.



**Рис. 8.** Диаграмма  $\epsilon\text{Nd}_{(300)}$ – $\epsilon\text{Sr}_{(300)}$  для пород западного обрамления Мурзинского массива и Крутихинского массива.

1, 2 – гнейсы (1) и жильные граниты (2) западного обрамления Мурзинского массива; 3, 4 – диориты (3) и граниты (4) Крутихинского массива.

не обладают ни гнейсы, вмещающие граниты, ни породы новообразованной коры Уральского орогена [Ферштатер, 2013]. Можно полагать, что источником жильных гранитов, как и гранитов западной части Мурзинского массива, являются допалеозойские кремнекислые породы, вскрытые эрозией лишь в самой восточной, примыкающей к гранитным массивам, зоне ММК. Бимодальность молодых цирконов в гнейсах и гранитах подобна той, что наблюдается в цирконах гранитов Адуйского массива [Ферштатер, 2013] и отражает как неоднородность субстрата, так и этапность гранитообразования.

*Работа выполнена в рамках темы № АААА-А18-118052590029-6 государственного задания ИГГ УрО РАН.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вишнякова М.Д., Бородин Н.С., Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Монтеро П. U-Pb возраст циркона из пород Крутихинского массива – возможного протолита части гранитов Адуйского массива (Средний Урал) // Ежегодник-2016. Тр. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. С. 260–263.

Кейльман Г.А. Мигматитовые комплексы подвижных поясов. М.: Недра, 1974. 200 с.

Краснобаев А.А., Беа Ф., Ферштатер Г.Б., Монтеро П. Цирконовая геохронология Мурзинского метаморфического комплекса (Средний Урал) // Докл. РАН. 2005. Т. 404, № 3. С. 407–410.

Краснобаев А.А., Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Монтеро П. Полигенные цирконы Адуйского батолита (Средний Урал) // Докл. РАН. 2006. Т. 410, № 2. С. 244–249.

Орогенный гранитоидный магматизм Урала / под ред. Г.Б. Ферштатера. Миасс: ИГГ УрО РАН, 1994. 252 с.

Ферштатер Г.Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. 365 с.

Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С., Беа Ф., Монтеро П. Модель мантийно-корового взаимодействия и магмогенерация в коре надсубдукционного орогена (палеозой Урала) // Литосфера. 2018. № 2.

Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С., Солошенко Н.Г., Стрелецкая М.В. Новые данные о природе субстрата южноуральских позднепалеозойских гранитов // Литосфера. 2015. № 3. С. 5–16.

Gerdes A., Montero P., Bea F., Fershtater G., Borodina N., Osipova T., Shardakova G. Peraluminous granites frequently with mantle-like isotope compositions: the continental-type Murzinka and Dzhabyk batholith of the eastern Urals // Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch). 2002. V. 91. P. 3–19.

Montero P., Bea F., Gerdes A., Fershtater G.B., Osipova T.A., Borodina N.S., Zinkova E.A. Single-zircon evaporation ages and Rb-Sr dating of four major Variscan batholiths of the Urals. A perspective on the timing of deformation and granite generation // Tectonophysics. 2000. V. 317. P. 93–108.