

УДК 551.2:552.3

ВОЗРАСТ ФУНДАМЕНТА МИКРОПЛИТЫ АРКТИЧЕСКАЯ АЛЯСКА–ЧУКОТКА НА ПРИМЕРЕ ВЕЛИТКЕНАЙСКОГО ГРАНИТНО-МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КУПОЛА (СВ РОССИИ)

© 2024 г. М. В. Лучицкая^{1,*}, Д. В. Бушуева², К. Н. Мазуркевич²,
член-корреспондент РАН С. Д. Соколов¹

Поступило 15.10.2023 г.

После доработки 15.01.2024 г.

Принято к публикации 18.01.2024 г.

В Велиткенайском гранитно-метаморфическом куполе Чукотки обнажаются комплексы фундамента микроконтинента Арктическая Аляска–Чукотка. Проведено U–Th–Pb (SIMS)-геохронологическое изучение ортогнейсов фундамента, парагнейсов по палеозойским породам и лейкогранитов Велиткенайского массива в центральной и юго-западной частях купольной структуры. Подтверждены неопротерозойские оценки возраста ортогнейсов фундамента (велиткенайский комплекс), альбские – гранитоидов поздней фазы Велиткенайского массива, совпадающие с возрастом мигматизации ортогнейсов. Наиболее молодые популяции цирконов из парагнейсов в пределах велиткенайского комплекса имеют кембрийский и силурийский возрасты, единичные цирконы содержат унаследованные ядра с возрастом 1.7 и 1.9 млрд лет. Корреляция неопротерозойских ортогнейсов Велиткенайского гранитно-метаморфического купола с аналогичными комплексами других районов микроплиты Арктическая Аляска–Чукотка указывают на единство её фундамента. Предлагается ввести велиткенайский метаморфический комплекс в легенду чукотской серии листов геологической карты третьего поколения.

Ключевые слова: микроконтинент Чукотка–Арктическая Аляска, Восточная Арктика, гранитоиды, гранитно-метаморфический купол, Велиткенайский массив, фундамент, велиткенайский комплекс, циркон

DOI: 10.31857/S2686739724050024

Микроконтинент (микроплита) Арктическая Аляска–Чукотка (ААЧМ) является одним из основных тектонических элементов Восточной Арктики. Выходы его фундамента на Северо-Востоке России присутствуют на острове Врангеля в виде врангелевского метаморфического комплекса и в гранитно-метаморфических поздне-мезозойских куполах Коолень, Куэкувуньский и Велиткенайский Чукотки [1, 2, 6, 9, 10, 13–15].

В последние годы в связи с применением методов U–Th–Pb-датирования циркона (SIMS и LA-ICP-MS) из орто-, и параметаморфических пород как из непосредственных выходов фундамента на поверхность, так и из коровых ксенолитов, вынесенных щелочными

неоген-четвертичными базальтами, постепенно накапливаются данные о возрасте фундамента ААЧМ [1, 5, 9–11, 15, 16, 18]. Дополнительную информацию даёт исследование унаследованных ядер цирконов и модельных возрастов гранитоидов, приуроченных к выходам фундамента в структурах гранитно-метаморфических куполов и возрастных популяций детритовых цирконов из перекрывающих отложений чехла ААЧМ [12, 13, 15, 16, 18]. Исходя из комплекса данных можно предполагать мезо-неопротерозойский возраст фундамента ААЧМ [1, 7, 13].

Полученные авторами новые геохронологические данные о возрасте гранитоидов Велиткенайского массива и ассоциирующих с ними метаморфических пород в пределах одноимённого гранитно-метаморфического купола, в совокупности с полученными ранее, важны для корреляций возраста различных блоков фундамента ААЧМ и уточнения положения ААЧМ при палеотектонических реконструкциях.

¹Геологический институт, Российская Академия наук, Москва, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия
*E-mail: luchitskaya@ginras.ru

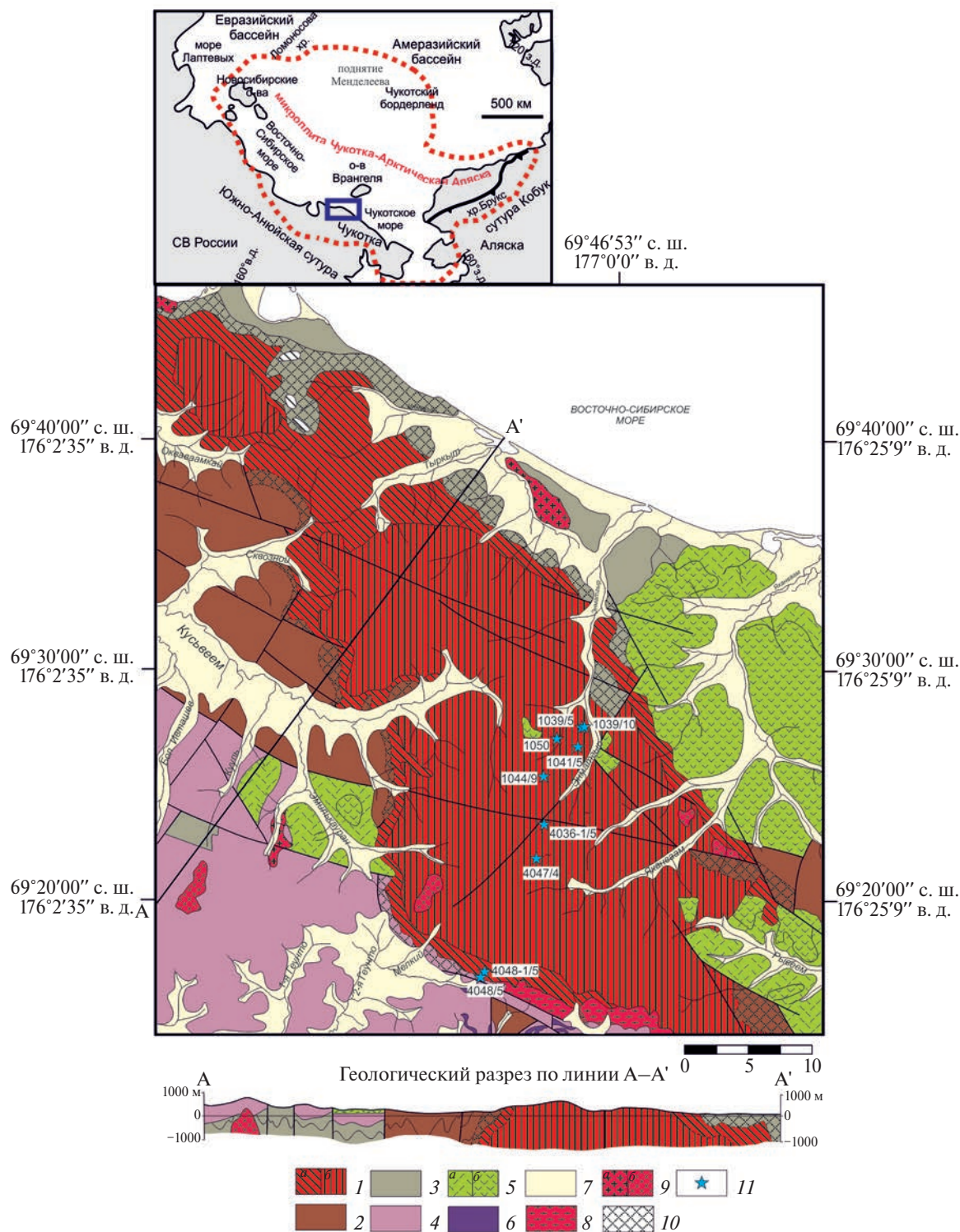


Рис. 1. Геологическая карта Велиткенайской гранито-купольной структуры, составлена по материалам [1, 3, 4]. 1 – неопротерозойский велиткенайский комплекс (ортогнейсы, мигматиты и лейкограниты нерасчленённые): *a* – эпидот-амфиболитовая и *б* – амфиболитовая фации; 2 – девонские карбонатно-терригенные отложения; 3 – каменноугольные карбонатно-терригенные отложения; 4 – триасовые флишеидные отложения; 5 – вулканыты и туфы Охотско-Чукотского вулканического пояса: *a* – кислого состава, *б* – основного состава; 6 – пермо-триасовые габбро и габбро-долериты; 7 – четвертичные отложения; 8 – очковые гнейсы по меловым монцонитоидам; 9 – гранитоиды: *a* – лейкограниты, *б* – монцониты и гранодиориты; 10 – зеленосланцевая фация метаморфизма; 11 – геохронологические пробы.



Рис. 2. Фото мигматизированных ортогнейсов велиткенайского комплекса.

Велиткенайский гранитно-метаморфический купол приурочен к Куульскому поднятию, расположенному в северной части Центральной Чукотки, и включает в ядре крупный (5–25 × 140 км) раннемеловой Велиткенайский гранитоидный массив и мигматизированные ортогнейсы, а её крылья образуют карбонатно-терригенные отложения среднего—верхнего девона, нижнего карбона, перми—триаса, в той или иной степени метаморфизованные (рис. 1). Последние перекрываются верхнемеловыми вулканогенными образованиями Охотско-Чукотского вулканического пояса. По материалам геологических карт разного масштаба собственно гранитоиды Велиткенайского массива относили к чукотскому гранитоидному (Бинеев, 1978 г., Журавлев, 1999 г.) или тауреранскому гранит-гранодиоритовому (Варламова, 2004 г.) раннемеловым плутоническим комплексам.

Предшественники отмечали, что Велиткенайский массив является гетерогенным образованием и рассматривали его как сложнопостроенное гранитно-мигматитово-гнейсовое тело (Бинеев, 1978 г.). Выделяли две фазы интрузивных пород плутона: раннюю, сложенную порфировидными гранодиоритами, кварцевыми диоритами и кварцевыми монцонитами и позднюю — гранитами и лейкогранитами. С каждой из этих фаз связывали свой комплекс метаморфических пород и мигматитов, развитых по осадочным породам девонского-нижнекаменноугольного (возможно,

и пермо-триасового) возраста. Кроме того, среди метаморфических образований в центральной части плутона описывали биотитовые плагиогнейсы с плойчатой текстурой и предполагали, что они являются значительно более древними, чем другие осадочные породы палеозойского возраста, испытавшие метаморфизм (Бинеев, 1978 г.).

В.В. Акининым с соавторами было показано, что в центральной части Велиткенайской купольной структуры присутствуют мигматизированные неопротерозойские (660–600 млн лет) ортогнейсы, которые объединены в велиткенайский комплекс, относящийся к фундаменту ААЧ по аналогии с метаморфическим врангелевским комплексом о-ва Врангеля [1, 16]. Монцонитоиды ранней фазы массива приурочены к его юго-западному обрамлению, имеют раннемеловой возраст 106 млн лет и образовались при частичном плавлении нижней коры в результате магматического подслаивания (андерплейтинга) [1]. Лейкограниты поздней фазы с возрастом 100 млн лет сформировались при ремобилизации и анатектическом плавлении неопротерозойского протолита и содержат циркон с ядрами соответствующего возраста [1].

В ходе полевых работ 2020 г. нами были изучены гранитоиды Велиткенайского массива и ассоциирующие с ними метаморфические породы из центральной и юго-западной частей гранитно-метаморфической структуры (рис. 1); для

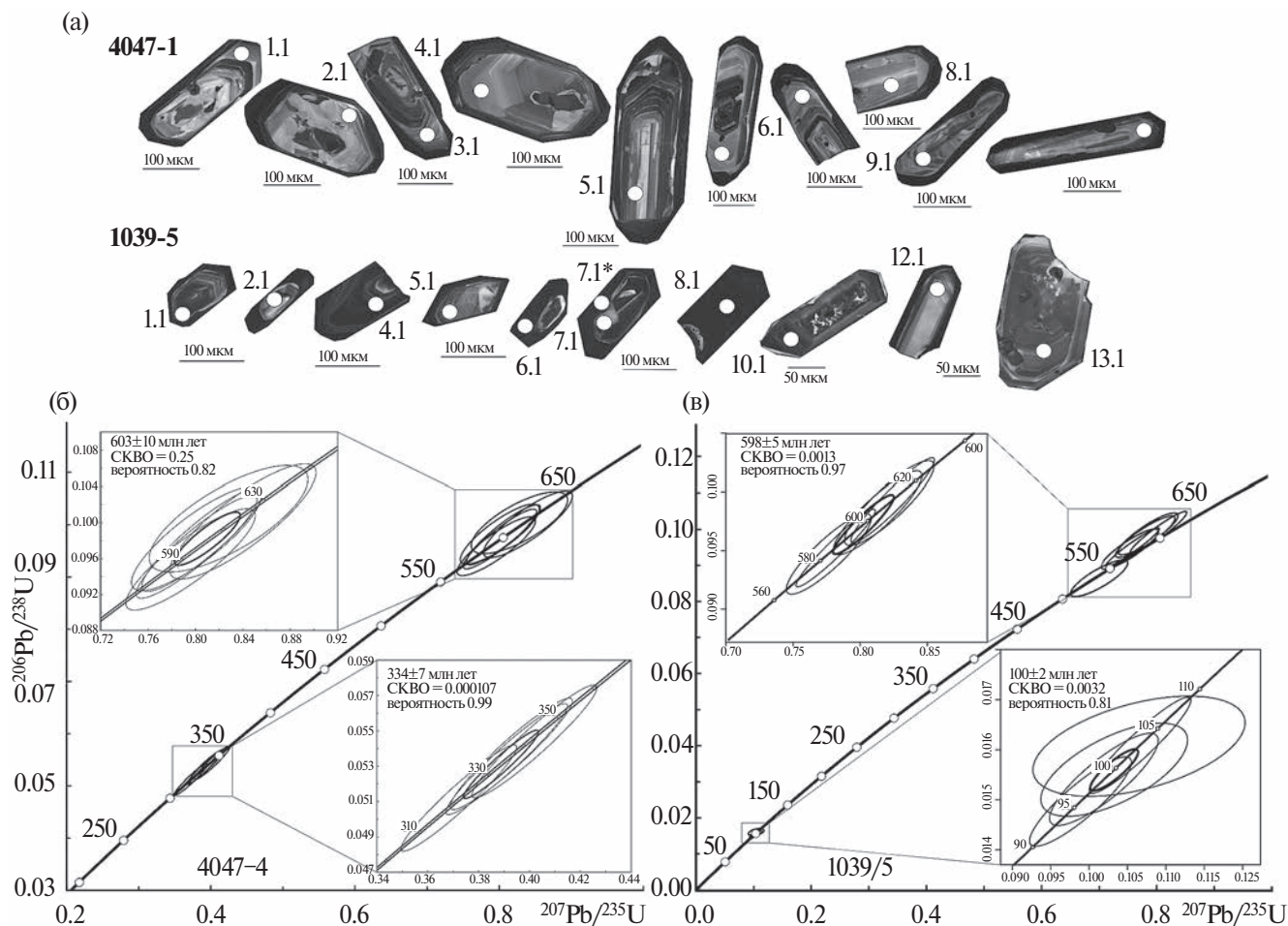


Рис. 3. Микрофотографии кристаллов циркона в режиме катодолуминесценции (а) и диаграммы с конкордией (б, в) для циркона из ортогнейсов (пробы 4047-4 и 1039-5) центральной части Велиткенайского гранитно-метаморфического купола. Номера точек соответствуют номерам в табл. 1.

геохронологических исследований были отобраны 8 проб из ортогнейсов и лейкогранитов поздней фазы.

Выделение циркона проводилось в ГИН РАН по стандартной методике с использованием тяжёлых жидкостей. Геохронологические исследования локальным методом (SIMS) выполнены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ по методике, описанной в [17].

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ВЕЛИТКЕНАЙСКОГО ГРАНИТНО- МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КУПОЛА

Метаморфические породы фундамента (велиткенайский комплекс). Наиболее древний возраст был получен для циркона из ортогнейсов (рис. 2), отобранных в истоках левых притоков р. Яканваам (рис. 1; $69^{\circ}21'55.1''$ с. ш., $176^{\circ}49'35.6''$ в. д.; проба 4047-4; табл. 1).

Акцессорный циркон из ортогнейсов пробы 4047/4 представлен субидiomорфными призматическими прозрачными кристаллами светло-желтого цвета. Размер кристаллов изменяется от 125 до 175 мкм, $K_{\text{удл}} = 1.5\text{--}2.5$. Циркон характеризуется зональным строением: светлая центральная часть с чёткой магматической осцилляторной зональностью и элементами секториальности и более тёмная краевая с менее чётко проявленной магматической зональностью (рис. 3 а). Центральные части кристаллов циркона характеризуются отношением $\text{Th}/\text{U} = 0.44\text{--}1.10$, краевые — $0.01\text{--}0.03$.

Для центральных частей кристаллов циркона из ортогнейсов с магматической зональностью получен конкордантный возраст 603 ± 10 , для краевых — 334 ± 7 млн лет (рис. 3 б). Морфологические особенности циркона и величины Th/U в его центральных частях указывают на магматическое

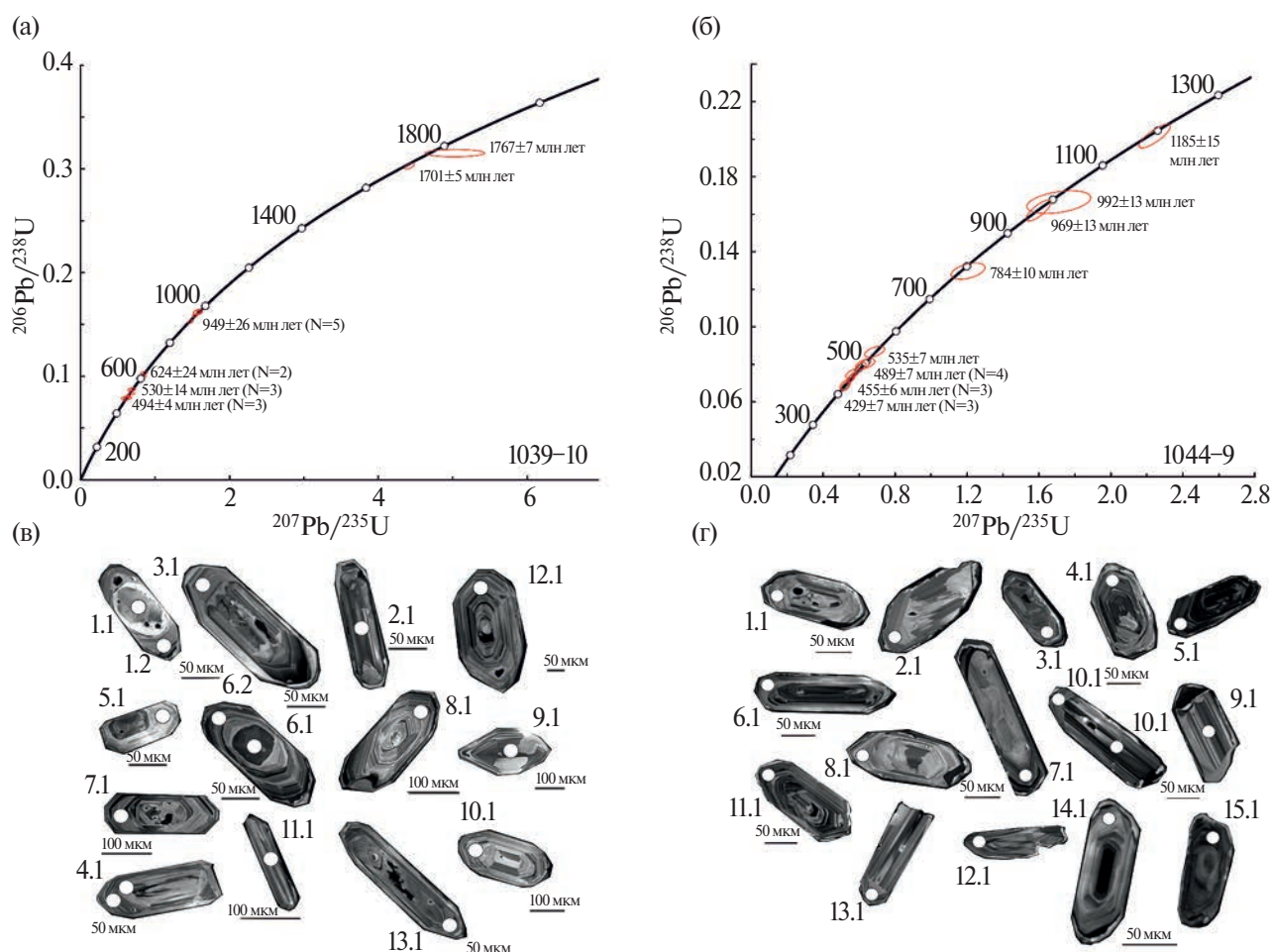


Рис. 4. Диаграммы с конкордией для циркона из парагнейсов (пробы 1039-10 и 1044-9) центральной части Велиткенского гранитно-метаморфического купола (а, б) и микрофотографии кристаллов циркона в режиме катодолюминесценции (в, г). Номера точек соответствуют номерам в табл. 1.

происхождение протолита гнейсов, а оценки возраста соответствуют эдиакарию.

Ортогнейсы из пробы 1039/5 (рис. 1; $69^{\circ}27'41''$ с. ш., $176^{\circ}55'18''$ в. д.; табл. 1) содержат прозрачный и полупрозрачный бесцветный и жёлто-рыжего цвета акцессорный циркон. Он представлен идиоморфными и субидиоморфными кристаллами призматического облика размером от 100 до 175 мкм; $K_{удл} = 1.5-3.0$ и характеризуется магматической зональностью (рис. 3 а).

Для циркона центральных частей получен конкордантный возраст 598 ± 5 , а для краевых частей – 100 ± 2 млн лет (рис. 3 в). Первый отражает возраст магматического протолита ортогнейса, второй совпадает с возрастом внедрения гранитоидов поздней фазы (см. ниже) и мигматизации гнейсов [1].

В поле развития ортогнейсов велиткенского комплекса присутствуют гнейсы, для которых

в результате проведённых геохронологических исследований предполагается обломочный генезис циркона, т.е. они являются парагнейсами (рис. 1; $69^{\circ}27'41''$ с. ш., $179^{\circ}55'18''$ в. д., проба 1039/10; $69^{\circ}25'35''$ с. ш., $179^{\circ}50'17''$ в. д., проба 1044/9 (табл. 1)). Они содержат акцессорный циркон в виде бесцветных, светло-жёлтых субидиоморфных призматических кристаллов размером от 100 до 200 мкм, $K_{удл} = 2-5$ (рис. 4 в, 4г). Циркон имеет магматическую осциляторную зональность с элементами секториальности и преимущественно высокие величины Th/U 0.19–1.55. Некоторые кристаллы в пробе 1039/10 содержат унаследованные ядра (точки 1.1. и 6.1. на рис. 4 в).

Для краевых частей циркона с магматической зональностью из обеих проб получено несколько возрастных популяций: 1039/10 – 949 ± 26 , 624 ± 24 , 530 ± 14 , 494 ± 4 ; 1044/9 – 1185 ± 15 , 992 ± 13 , 968 ± 13 , 784 ± 10 , 535 ± 7 , 489 ± 7 , 455 ± 6 , 429 ± 7 млн лет

Таблица 1. Результаты U–Th–Pb SIMS-датирования циркона из ортогнейсов и парагнейсов Велиткенайского гранитно-метаморфического купола

Точка анализа	Рбс, %	U, г/г	Th, г/г	Рb*, г/г	²³² Th/ ²³⁸ U	Возраст, млн лет		Отношения изотопов					коэфф. корр.	
						²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U		±%
4047-4 – ортогнейс; 603±10 млн лет, 334±7; 69°21'55", 176°49'36"														
4047-4-9.2	0.00	3266	18	0.01	144	322	±8	0.053	0.74	0.372	2.5	0.051	2.4	.955
4047-4-11.2	0.00	3163	21	0.01	145	335	±8	0.053	0.73	0.391	2.5	0.053	2.4	.958
4047-4-6.1	0.00	2592	69	0.03	120	337	±8	0.053	0.79	0.393	2.5	0.054	2.4	.948
4047-4-5.2	0.00	2826	22	0.01	132	342	±8	0.054	0.77	0.402	2.5	0.054	2.4	.952
4047-4-9.1	0.00	453	219	0.50	37.3	591	±14	0.060	1.4	0.796	2.8	0.096	2.4	.867
4047-4-10.1	0.00	734	785	1.10	61.4	599	±14	0.060	1.1	0.801	2.6	0.097	2.4	.914
4047-4-12.1	0.00	663	424	0.66	55.9	603	±14	0.060	1.1	0.806	2.6	0.098	2.4	.904
4047-4-4.1	0.00	356	150	0.44	30	604	±14	0.059	1.5	0.801	2.8	0.098	2.4	.841
4047-4-5.1	0.00	1264	767	0.63	109	615	±15	0.061	1.6	0.84	3	0.100	2.6	.848
4047-4-11.1	0.00	382	173	0.47	32.9	617	±14	0.060	2.2	0.828	3.3	0.100	2.4	.738
1039/5 – ортогнейс; 598±5 млн лет; 69°27'41", 176°55'18"														
1039-5-4.1	0.00	3939	182	0.05	50.6	96	±2	0.048	1.3	0.099	2.7	0.015	2.4	.879
1039-5-6.1	0.00	3257	88	0.03	43.1	99	±2	0.047	1.5	0.101	2.8	0.015	2.4	.845
1039-5-7.1*	1.23	5555	524	0.10	75.4	100	±2	0.058	1.4	0.104	3.7	0.016	2.4	.635
1039-5-7.1	0.26	469	0	0.00	6.48	103	±3	0.049	3.6	0.104	5.3	0.016	2.5	.470
1039-5-8.1	0.00	8153	292	0.04	113	103	±2	0.048	0.86	0.106	2.5	0.016	2.4	.939
1039-5-12.1	0.00	382	168	0.46	28.3	534	±12	0.059	1.6	0.700	2.9	0.086	2.4	.832
1039-5-5.1	0.00	534	255	0.49	43.4	582	±13	0.058	1.3	0.753	2.7	0.095	2.4	.878
1039-5-10.1	0.00	1712	1177	0.71	140	585	±13	0.058	0.7	0.758	2.5	0.095	2.3	.959
1039-5-13.1	0.00	545	384	0.73	45.8	602	±14	0.058	1.3	0.780	2.7	0.098	2.4	.884
1039-5-2.1	0.00	425	195	0.47	36	607	±14	0.058	1.3	0.785	2.7	0.099	2.4	.874
1039-5-1.1	0.00	1463	1587	1.12	125	609	±14	0.059	0.8	0.803	2.5	0.099	2.4	.946
1039/10 – парагнейс; 949±26, 624±24, 530±14, 494±4 млн лет; 69°27'41", 176°55'18"														
1039-10_13.1	0.19	388	180	0.48	26	484	±5	0.057	2.6	0.609	2.8	0.078	1.1	.386
1039-10_5.1	0.42	213	130	0.63	14.5	489	±3	0.057	4.6	0.616	4.6	0.079	0.72	.156
1039-10_1.2	0.05	324	139	0.44	22.4	499	±3	0.057	1.7	0.638	1.8	0.080	0.54	.309

Окончание таблицы 1

1039-10_7.1	0.00	301	195	0.67	21.3	512	±3	0.060	2.4	0.684	2.5	0.083	0.57	.229
1039-10_9.1	0.23	171	147	0.89	12.8	539	±4	0.057	2.8	0.689	2.9	0.087	0.73	.254
1039-10_12.1	0.24	383	420	1.13	29	542	±3	0.057	1.9	0.688	2	0.0878	0.49	.246
1039-10_2.1	0.10	232	192	0.86	19.8	611	±4	0.061	2.1	0.832	2.2	0.099	0.71	.321
1039-10_3.1	0.19	404	76	0.19	35.8	631	±3	0.060	2	0.853	2	0.103	0.49	.238
1039-10_4.1	0.02	551	156	0.29	72.3	915	±4	0.070	0.79	1.474	0.91	0.153	0.45	.493
1039-10_8.1	0.00	532	66	0.13	72.4	948	±4	0.070	0.78	1.538	0.91	0.158	0.47	.513
1039-10_11.1	0.05	277	294	1.10	38.4	964	±5	0.071	1.4	1.575	1.6	0.161	0.59	.380
1039-10_10.1	0.10	350	90	0.27	48.5	964	±4	0.070	1.2	1.558	1.2	0.161	0.47	.377
1039-10_6.2	0.05	591	46	0.08	82.5	971	±4	0.071	0.81	1.598	0.92	0.162	0.44	.478
1039-10_6.1	0.01	665	316	0.49	173	1701	±5	0.106	0.42	4.412	0.54	0.302	0.34	.632
1039-10_1.1	0.08	312	53	0.17	84.6	1767	±7	0.116	3.3	5.03	3.3	0.315	0.47	.141
<i>1044/9 – паразитическая; 1185±15, 992±13, 968±13, 784±10, 535±7, 489±7, 455±6, 429±7 ман лет; унаследованные ядра 1731±8 и 1893±59 млн лет; 69°25'36", 176°50'47"</i>														
1044-9_15.1	0.04	866	339	0.40	51.1	428	±6	0.056	1.1	0.526	1.8	0.069	1.4	.780
1044-9_6.1	0.03	362	104	0.30	21.4	429	±6	0.055	1.6	0.522	2.1	0.069	1.4	.640
1044-9_14.1	0.08	492	217	0.46	29.3	431	±6	0.055	1.6	0.521	2.1	0.069	1.4	.652
1044-9_10.2	0.00	513	172	0.35	31.7	448	±6	0.056	1.3	0.552	1.9	0.072	1.4	.716
1044-9_10.1	0.06	695	501	0.75	43.5	453	±6	0.055	1.3	0.557	1.9	0.073	1.4	.732
1044-9_12.1	0.04	822	119	0.15	51.8	456	±6	0.056	1.1	0.562	1.7	0.073	1.3	.768
1044-9_13.1	0.14	249	46	0.19	16.1	467	±6	0.055	2.3	0.566	2.7	0.0751	1.4	.519
1044-9_11.1	0.06	712	392	0.57	47.7	484	±6	0.056	1.2	0.605	1.8	0.0779	1.4	.737
1044-9_7.1	0.08	809	61	0.08	54.5	486	±6	0.056	1.5	0.607	2	0.0783	1.3	.659
1044-9_5.1	0.03	822	814	1.02	56.4	495	±8	0.057	1.5	0.629	2.2	0.0799	1.6	.731
1044-9_9.1	0.14	162	243	1.55	11.2	497	±7	0.058	3	0.637	3.3	0.0802	1.4	.429
1044-9_8.1	0.21	174	146	0.87	12.9	535	±7	0.058	3	0.687	3.3	0.0866	1.4	.435
1044-9_1.1	0.72	227	83	0.38	25.4	784	±10	0.068	2.8	1.209	3.1	0.129	1.4	.447
1044-9_4.1	0.00	354	199	0.58	49.2	968	±12	0.072	1.2	1.599	1.8	0.162	1.4	.742
1044-9_2.1	0.84	90	47	0.54	13	992	±13	0.075	4	1.709	4.3	0.166	1.5	.340
1044-9_3.1	0.06	418	135	0.33	72.5	1185	±15	0.081	0.81	2.244	1.6	0.202	1.3	.856

Примечание. Ошибка на уровне 1-сигма; Pb* – природный и радиогенный свинец соответственно.

(рис. 4 а, б). Наиболее молодые возрасты в обеих пробах соответствуют кембрию и силуру и отвечают максимальному возрасту седиментации осадочного протолита гнейсов. Для двух унаследованных ядер циркона из пробы 1039/10 получены палеопротерозойские оценки возраста 1701 ± 5 и 1767 ± 7 млн лет. Редкое присутствие палеопротерозойской (1.6–1.8 млрд лет) популяции детритовых цирконов отмечается и для девонских парагнейсов в обрамлении Велиткенайского массива и купола Коолень [1]. Ранее было показано, что в детритовых популяциях велиткенайских парагнейсов наиболее молодые датировки отвечают интервалу от 400 до 320 млн лет, при этом самая молодая дата 320 млн лет соответствует башкирскому веку [8]. По геологическим данным в обрамлении Велиткенайской структуры отсутствуют осадочные отложения древнее девона; ордовикские—нижнедевонские отложения наблюдаются только в Кооленьской гранитно-метаморфической структуре Восточной Чукотки [19]. В дальнейшем необходимо получение статистически более значимых данных методом лазерной абляции для более уверенной интерпретации полученных данных.

Присутствие раннепалеозойских цирконов может указывать на каледонские тектономагматические события.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ И ЮГО-ЗАПАДНАЯ ЧАСТИ ВЕЛИТКЕНАЙСКОГО ГРАНИТНО-МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КУПОЛА

Гранитоиды поздней фазы Велиткенайского массива. Все гранитоиды по химическому составу отвечают лейкогранитам и умеренно-щелочным лейкогранитам; SiO_2 , 75.5–77.3; TiO_2 , 0.02–0.06; Al_2O_3 , 13.4–14.3; Fe_2O_3 общ., 0.37–0.9; MnO , 0.02–0.03; MgO , 0.1–0.12; CaO , 0.85–1.28; Na_2O , 1.78–2.93; K_2O , 5.11–6.93; P_2O_5 , <0.05.

Акцессорный циркон из гранат-содержащего лейкогранита центральной части структуры (рис. 1; $69^\circ 26' 56''$ с. ш., $176^\circ 54' 54''$ в. д.; проба 1041/5; (табл. 1)) бесцветный или светло-жёлтого цвета, прозрачный и полупрозрачный, представлен идиоморфными и субидиоморфными кристаллами призматического облика размером от 50 до 150 мкм, $K_{\text{удл}} = 1.5–3$ (рис. 5 а). Циркон характеризуется хорошо проявленной осцилляторной магматической зональностью и как высокими величинами Th/U-отношениями 0.51–0.82, так и более низкими — 0.04–0.28.

Получены оценки возрасты циркона 102 ± 2 , 149 ± 4 , 177 ± 4 , 196 ± 5 , 333 ± 8 , 352 ± 8 и 595 ± 13 млн

лет (рис. 5 б, 5 в). Поскольку ранее установлено, что лейкограниты поздней фазы Велиткенайского массива прорывают монзонитоиды ранней фазы с возрастом 106–103 млн лет [1], то раннемеловой (альбский) возраст 102 ± 2 мы рассматриваем как возраст внедрения и кристаллизации лейкогранитов, а все более древние цирконы — как ксеногенные.

Циркон из лейкогранитов в центральной части купольной структуры (рис. 1; $69^\circ 27' 40.7''$ с. ш., $176^\circ 52' 5.27''$ в. д., проба 1050.; $69^\circ 22' 48.2''$ с. ш., $176^\circ 49' 59.6''$ в. д.; проба 4036-1/5; (табл. 1)) представлен идиоморфными кристаллами призматического облика размером от 200 до 450 мкм, $K_{\text{удл}} = 2.0–5$ (рис. 5 а). Циркон характеризуется тонкой осцилляторной магматической зональностью и величинами Th/U-отношениями от 0.05 до 0.5.

Для циркона получены конкордантные возрасты 109 ± 1 и 100 ± 1 млн лет (рис. 5 г, 5 д), которые интерпретируются как возрасты кристаллизации гранитоидов и соответствуют раннему мелу (альбу).

Лейкограниты из юго-западной краевой части Велиткенайского плутона (рис. 1; $69^\circ 16' 43.7''$ с. ш., $176^\circ 42' 33.3''$ в. д., проба 4048-5; (табл. 1)) содержат идиоморфные кристаллы циркона призматического облика размером от 120 до 300 мкм, $K_{\text{удл}} = 1.5–4.5$ (рис. 5 а). Циркон характеризуется отчётливой осцилляторной магматической зональностью и высокими величинами Th/U-отношениями от 0.26 до 1.24. Циркон имеет конкордантный возраст 99 ± 1 млн лет (рис. 5 д), который интерпретируется как возраст кристаллизации гранитоидов и соответствуют границе раннего и позднего мела.

Таким образом, полученные новые геохронологические данные и опубликованные ранее свидетельствуют о том, что неопротерозойские ортогнейсы прослеживаются на значительной площади в центральной части Велиткенайской гранитно-метаморфической структуры. Наличие унаследованных ядер в цирконе из парагнейсов с возрастом 1701 ± 5 и 1767 ± 7 млн лет позволяет предполагать, что в фундаменте ААЧМ присутствуют и палеопротерозойские породы, однако преобладающими возрастными популяциями циркона являются нео- и мезопротерозойская [1, 7, 13].

Интерес представляет оценка возраста 334 млн лет, соответствующая раннему карбону (визе) и зафиксированная в каймах циркона из плагиогнейсов с возрастом 603 млн лет. Близким по возрасту событием является

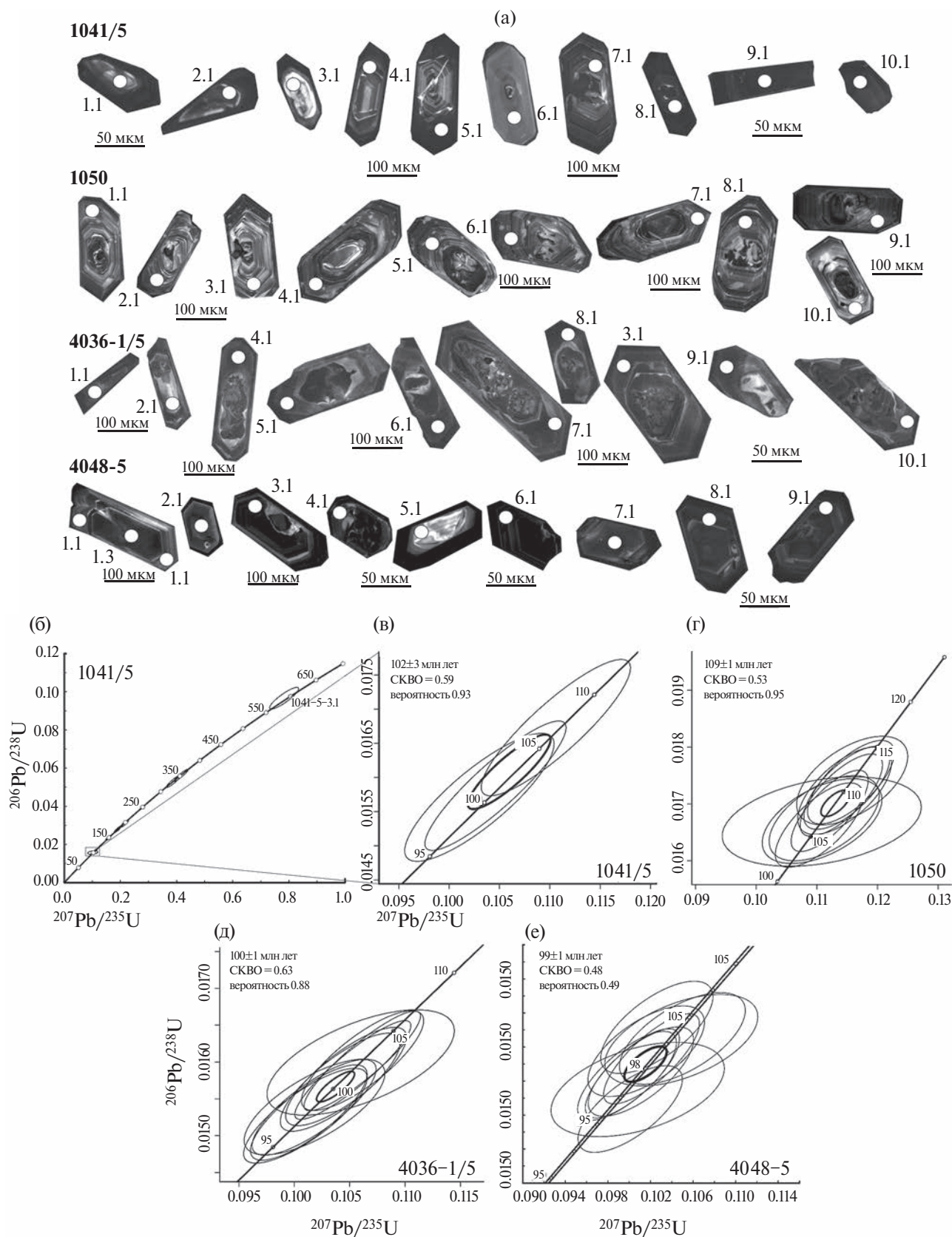


Рис. 5. Микрофотографии кристаллов циркона в режиме катодолуминесценции (а) и диаграммы с конкордией (б–е) для циркона из лейкогранитов центральной (пробы 1041/5, 1050, 4036-1/5) и юго-западной (проба 4048-5) частей Велиткенского гранитно-метаморфического купола. Номера точек соответствуют номерам в табл. 2.

Таблица 2. Результаты U–Th–Pb SIMS-датирования цирконов из лейкогранитов поздней фазы Велиткенайского массива одноименного гранито-метаморфического купола

Точка анализа	Рбс, %	U, г/г	Th, г/г	Рb*, г/г	²³² Th/ ²³⁸ U	Возраст, млн лет		Отношения изотопов				коэфф. корр.		
						²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	±%		²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	±%
1041-5 – гранат-содержащий лейкогранит; 102±1 млн лет, 69°26'56", 176°54'54"														
1041-5-10.1	0.04	2689	500	36.3	0.19	101	±2	0.048	1.5	0.103	2.9	0.016	2.4	.830
1041-5-6.1	1.05	764	186	10.4	0.25	101	±2	0.055	2.6	0.102	7.2	0.016	2.4	.340
1041-5-5.1	0.00	4077	338	55.6	0.09	102	±2	0.048	1.2	0.105	2.7	0.016	2.4	.888
1041-5-8.1	0.00	3765	185	54.1	0.05	107	±3	0.048	1.3	0.111	2.7	0.017	2.4	.873
1041-5-1.1	0.00	3220	226	64.6	0.07	149	±4	0.049	1.1	0.157	2.6	0.023	2.4	.910
1041-5-4.1	0.00	2367	641	56.6	0.28	177	±4	0.049	1.2	0.190	2.6	0.028	2.4	.895
1041-5-2.1	0.05	2225	85	59.1	0.04	196	±5	0.051	1.1	0.218	2.7	0.031	2.4	.889
1041-5-7.1	0.03	1860	1474	84.6	0.82	333	±8	0.053	1.0	0.389	2.6	0.053	2.4	.922
1041-5-9.1	0.00	4267	2125	206	0.51	352	±8	0.054	0.9	0.416	2.5	0.056	2.3	.939
1041-5-3.1	0.00	503	260	41.7	0.53	595	±13	0.059	1.3	0.783	2.7	0.097	2.4	.879
1050 – лейкогранит; 102±1 млн лет, 69°27'7", 176°52'19"														
1050.01_1.1	0.10	1735	339	25.9	0.20	111	±2	0.048	1.8	0.115	2.5	0.017	1.7	.703
1050.01_10.1	0.46	519	179	7.49	0.36	107	±2	0.050	5.5	0.115	5.8	0.017	1.9	.324
1050.01_2.1	0.09	2027	447	29.9	0.23	110	±2	0.048	1.6	0.114	2.4	0.017	1.7	.732
1050.01_3.1	0.15	1236	527	17.8	0.44	107	±2	0.0478	2.7	0.111	3.3	0.017	1.8	.543
1050.01_4.1	0.21	859	142	12.4	0.17	107	±2	0.050	3	0.115	3.5	0.017	1.8	.511
1050.01_5.1	0.23	1464	376	21.9	0.27	111	±2	0.048	2.7	0.115	3.2	0.017	1.8	.543
1050.01_6.1	0.08	2121	508	31.4	0.25	110	±2	0.047	1.8	0.113	2.5	0.017	1.7	.695
1050.01_7.1	0.13	1819	436	27	0.25	110	±2	0.049	2.1	0.116	2.7	0.017	1.8	.643
1050.01_8.1	0.00	2012	539	29.1	0.28	108	±2	0.047	1.5	0.109	2.3	0.017	1.7	.750
1050.01_9.1	0.00	1381	276	19.8	0.21	107	±2	0.050	1.8	0.114	2.6	0.017	1.8	.700
4036-1/5 – лейкогранит; 109±1 млн лет, 69°22'48", 176°49'59"														
4036-1-5_1.1	0.07	2847	85	37.7	0.03	99	±2	0.049	1.4	0.104	2.2	0.015	1.7	0.8
4036-1-5_10.1	0.00	2237	107	29.4	0.05	98	±2	0.050	1.4	0.104	2.2	0.015	1.7	0.8
4036-1-5_2.1	0.18	1124	66	15.5	0.06	102	±2	0.048	2.7	0.107	3.2	0.016	1.8	0.6
4036-1-5_3.1	0.00	3057	177	40.2	0.06	98	±2	0.047	1.2	0.100	2.1	0.015	1.7	0.8
4036-1-5_4.1	0.05	4090	226	56.3	0.06	102	±2	0.047	1.2	0.105	2.1	0.016	1.7	0.8
4036-1-5_5.1	0.00	3465	194	46.6	0.06	100	±2	0.047	1.2	0.102	2.1	0.016	1.7	0.8
4036-1-5_6.1	0.00	3710	234	50.4	0.07	101	±2	0.048	1.2	0.105	2.1	0.016	1.7	0.8
4036-1-5_7.1	0.00	4518	470	61.6	0.11	102	±2	0.049	0.98	0.106	2	0.016	1.7	0.9

Окончание таблицы 2

4036-1-5_8.1	0.04	5248	199	72.2	0.04	102	±2	0.048	1	0.105	2	0.016	1.7	0.9
4036-1-5_9.1	0.00	3669	211	48.5	0.06	99	±2	0.049	1.8	0.103	2.5	0.015	1.7	0.7
4048-1/5 – лейкогранит; 97±1 млн лет, 69°16'44", 176°42'33"														
4048-1-5_1.1	1.36	357	306	4.76	0.89	98	±1	0.050	14	0.106	14	0.015	1.1	.079
4048-1-5_10.1	1.21	418	319	5.57	0.79	98	±1	0.049	13	0.104	13	0.015	1.0	.077
4048-1-5_2.1	1.17	421	471	5.58	1.16	98	±1	0.050	11	0.106	11	0.015	1.0	.085
4048-1-5_3.1	0.68	718	654	9.41	0.94	97	±1	0.048	7.1	0.100	7.2	0.015	0.6	.089
4048-1-5_4.1	0.93	477	497	6.25	1.08	97	±	0.051	10	0.107	10	0.015	0.8	.076
4048-1-5_5.1	0.00	1038	58	145	0.06	971	±3	0.070	0.44	1.569	0.53	0.162	0.3	.550
4048-1-5_6.1	1.18	437	398	5.7	0.94	96	±1	0.045	13	0.094	13	0.015	1.0	.072
4048-1-5_7.1	1.16	437	464	5.73	1.10	97	±1	0.047	12	0.098	12	0.015	0.9	.080
4048-1-5_8.1	0.94	560	674	7.23	1.24	95	±1	0.045	10	0.093	10	0.015	0.8	.078
4048-1-5_9.1	0.81	660	370	8.54	0.58	96	±1	0.048	8.2	0.099	8.2	0.015	0.7	.089
4048-5 – лейкогранит; 99±1 млн лет, 69°16'44", 176°42'33"														
4048-5_3.1	0.09	2439	1870	31.2	0.79	95	±1	0.049	1.5	0.100	2.0	0.015	1.4	.687
4048-5_4.1	0.13	855	352	11.1	0.43	97	±1	0.048	2.9	0.102	3.3	0.015	1.5	.445
4048-5_6.1	0.00	2256	1725	29.6	0.79	98	±1	0.047	1.2	0.100	1.9	0.015	1.4	.747
4048-5_8.1	0.03	2957	3207	38.9	1.12	98	±1	0.048	1.1	0.100	1.8	0.015	1.4	.774
4048-5_2.1	0.05	1980	1392	26.1	0.73	98	±1	0.048	1.4	0.101	2.0	0.015	1.4	.709
4048-5_9.1	0.03	2976	2619	39.5	0.91	99	±1	0.048	1.1	0.102	1.8	0.015	1.4	.783
4048-5_1.1	0.07	1362	930	18.2	0.71	99	±1	0.047	1.7	0.102	2.2	0.016	1.4	.631
4048-5_1.2	0.24	1323	796	17.9	0.62	100	±1	0.049	2.4	0.105	2.8	0.016	1.4	.511
4048-5_7.1	0.30	2679	2455	36.3	0.95	100	±1	0.049	1.8	0.105	2.3	0.016	1.4	.611
4048-5_1.3	0.10	2223	1595	30.3	0.74	101	±1	0.047	1.6	0.103	2.1	0.016	1.4	.667
4048-5_5.1	0.13	337	86	20.7	0.26	445	±6	0.056	1.8	0.550	2.3	0.071	1.4	.627

Примечание. Ошибка на уровне 1-сигма; Pbc и Pb* – природный и радиогенный свинец соответственно.

средне-позднедевонский—раннекаменноугольный гранитоидный магматизм, связанный с элсмирской орогенцией и проявленный в различных частях ААЧМ ([7] и ссылки в ней). Не исключено, что полученная оценка возраста отражает наиболее поздние фазы данного события. Наличие унаследованных или захваченных цирконов этого же возраста (333 ± 8 , 352 ± 8) в поздних лейкогранитах Велиткенайского массива с возрастом 102 млн лет также может указывать на элсмирское событие.

Лейкограниты поздней фазы Велиткенайского массива как в центральной части гранитно-метаморфического купола, так и в юго-западной краевой части имеют альбский возраст 109–100 млн лет, соответствующий возрасту мигматизации ортогнейсов 100 ± 2 млн лет [1]. В геодинамическом плане их внедрение связано с образованием на Чукотке структур растяжения (метаморфических ядер) в апте—альбе сразу после коллапса орогена, образованного при коллизии активной окраины Северо-Азиатского (Сибирского) континента и микроконтинента Арктическая Аляска—Чукотка в начале раннего мела.

Корреляция неопротерозойских ортогнейсов Велиткенайского гранитно-метаморфического купола с подобными комплексами других частей ААЧМ (о. Врангеля, п-ов Сьюард и хр. Брукс Аляски, Чукотский бордерленд, купол Коолень, о. Жохова) указывают на единство фундамента микроплиты Арктическая Аляска—Чукотка. Гранитоидный магматизм неопротерозойского возраста указывает на формирование континентальной коры в эпоху тиманской (байкальской) орогенции.

Полученные геохронологические данные свидетельствуют о необходимости введения велиткенайского комплекса в легенду чукотской серии листов, что является вкладом в практику картирования и издание геологической карты третьего поколения.

БЛАГОДАРНОСТИ.

Авторы выражают благодарность анонимным рецензентам за конструктивные замечания и рекомендации, позволившие улучшить статью.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ.

Полевые работы были выполнены за счёт средств ВСЕГЕИ, аналитические данные получены за счёт средств гранта РНФ № 20-17-00197-П, базовое финансирование сотрудников ГИН РАН за счёт субсидии.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акинин В. В., Ползуненков Г. О., Готтлиб Э. Ш., Миллер Э. Л. Меловой монцонит-гранит-магматитовый велиткенайский комплекс: петрология, геохимия пород и циркона (U-Pb, Hf и O) в приложении к реконструкции эволюции магматизма и континентальной коры в блоке Арктическая Аляска—Чукотка // Петрология. 2022. Т. 30. № 3. С. 227–259.
2. Гельман М. Л. Фанерозойские гранитно-метаморфические купола на северо-востоке России. Статья 2. Магматизм, метаморфизм и мигматизация в позднемезозойских куполах // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 15. № 1. С. 84–93.
3. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Анюйско-Чаунская. Лист R-60-XXI, XXII. А. Я. Пьянков, ред. М. Е. Городинский. Магадан, 1981. С. 1–85.
4. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Анюйско-Чаунская. Лист R-60-XXVII, XXVIII. В. Г. Желтовский, ред. Г. М. Сосунов. Магадан, 1980. С. 1–82.
5. Кораго Е. А., Столбов Н. М., Соболев Н. Н., Шмания А. В. Магматические комплексы восточного сектора Российской Арктики / Под редакцией В. Д. Каминского, Г. П. Аветисова, В. Л. Иванова. 70 лет в Арктике и Мировом океане // СПб.: ВНИИОкеангеология, 2018. С. 101–127.
6. Косько М. К., Авдюничев В. В., Ганелин В. Г., Опекунов А. Ю., Опекунова М. Г., Сесил М. П., Смирнов А. Н., Ушаков В. И., Хандожко Н. В., Харрисон Дж. К., Шульга Ю. Д. Остров Врангеля: геологическое строение, минерагения, геоэкология. Т. 200. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2003. 137 с.
7. Лучицкая М. В., Соколов С. Д. Этапы гранитоидного магматизма и формирование континентальной коры Восточной Арктики // Геотектоника. 2021. № 5. С. 1–25.
8. Ползуненков Г. О. Петрология и изотопная геохронология Велиткенайского монцонит-гранит-магматитового комплекса (Арктическая Чукотка) / Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2023. 19 с.
9. Akinin V. V., Amato J. M., Miller E. L., Gottlieb E., Polzunenkov G. O. New geochronologic data on pre-Mesozoic rocks (Neoproterozoic-Devonian) from the Arctic part of the Chukotka Peninsula // International Conference on Arctic Margins VI. 2011. P. 6.

10. Akinin V. V., Miller E. L., Gottlieb E., Polzunenkov G. Geochronology and geochemistry of Cretaceous magmatic rocks of Arctic Chukotka: an update of GEOCHRON 2.0. *Geophysical Research Abstracts*. 2012. V. 14. EGU2012-3876.
11. Akinin V. V., Gottlieb E. S., Miller E. L., Polzunenkov G. O., Stolbov N. M., Sobolev N. N. Age and composition of basement beneath the De Long archipelago, Arctic Russia, based on zircon U-Pb geochronology and O-Hf isotopic systematics from crustal xenoliths in basalts of Zhokhov Island // *Arctos*. 2015. DOI: 10.1007/s41063-015-0016-6.
12. Amato J. M., Toro J., Miller E. L., Gehrels G. E., Farmer G. L., Gottlieb E. S., Till A. B. Late Proterozoic – Paleozoic evolution of the Arctic Alaska-Chukotka terrane based on U-Pb igneous and detrital zircon ages: implications for Neoproterozoic paleogeographic reconstructions // *Geol. Soc. Amer. Bull.* 2009. V. 121. P. 1219–1235.
13. Amato J. M., Aleinikoff J. N., Akinin V. V., McClelland W. C., Toro J. Age, chemistry, and correlations of Neoproterozoic-Devonian igneous rocks of the Arctic Alaska-Chukotka terrane: An overview with new U-Pb ages / Dumolin J. A., Till A. B. (eds.). *Reconstruction of Late Proterozoic to Devonian Continental Margin Sequence, Northern Alaska, Its Paleogeographic Significance, and Contained Base-Metal Sulfide Deposits* // *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*. 2014. V. 506. P. 29–57.
14. Bering Strait Geologic Field Party, Koolen metamorphic complex, NE Russia: implications for the tectonic evolution of the Bering Strait region // *Tectonics*. 1997. V. 16. No. 5. P. 713–729.
15. Ershova V. B., Lorenz H., Prokopiev A. V., Sobolev N. N., Khudoley A. K., Petrov E. O., Estrada S., Sergeev S., Larionov A., Thomsen T. B. The De Long Islands: a missing link in unraveling the Paleozoic paleogeography of the Arctic // *Gondwana Research*. 2016. V. 35. P. 305–322.
16. Gottlieb E. S., Pease V., Miller E. L., Akinin V. V. Neoproterozoic basement history of Wrangel Island and Arctic Chukotka: integrated insights from zircon U-Pb, O and Hf isotopic studies / Pease V., Coakley B. (eds). *Circum-Arctic Lithosphere Evolution* // *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 2017. V. 460.
17. Larionov A. N., Andreichev V. A., Gee D. G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite the Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite // *Geol. Soc.* 2004. V. 30. P. 69–74.
18. Luchitskaya M. V., Moiseev A. V., Sokolov S. D., Tuchkova M. I., Sergeev S. A., O'Sullivan P. B., Verzhbitsky V. E., Malyshev N. A. Neoproterozoic granitoids and rhyolites of Wrangel Island: Geochemical affinity and geodynamic setting in the Eastern Arctic region // *Lithos*. 2017. V. 292–293. P. 15–33.
19. Natal'in B., Amato J. M., Toro J., Wright J. E. Paleozoic rocks of northern Chukotka Peninsula, Russian Far East: Implications for the tectonic of Arctic region // *Tectonics*. 1999. V. 18. № 6. P. 977–1003.

THE AGE OF THE BASEMENT OF ARCTIC ALASKA – CHUKOTKA MICROPLATE ON THE EXAMPLE OF THE VELITKENAY GRANITE-MIGMATITIC DOME (NE RUSSIA)

M. V. Luchitskaya^{a, #}, D. V. Bushueva^b, K. N. Mazurkevich^b,

Corresponding Member of the RAS S. D. Sokolov^a

^a*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^b*A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation*

[#]*E-mail: luchitskaya@ginras.ru*

The basement of Arctic Alaska – Chukotka microcontinent (AACHM) is exposed in Velitkenay granite-metamorphic dome of Chukotka. U-Pb (SIMS) geochronological study of the orthogneisses of the basement, paragneisses after Paleozoic rocks and leucogranites of Velitkenay pluton in the central and southwestern parts of this structure is carried out. Neoproterozoic ages of basement orthogneisses (velitkenay complex) and Albian ages of granitoids of Velitkenay pluton are confirmed. The latter coincides with the age of orthogneisses migmatization. The youngest zircon clusters from paragneisses within velitkenay complex have Cambrian and Silurian ages, single zircon crystals contain inherited 1.7 and 1.9 Ma cores. The correlation of Neoproterozoic orthogneisses of Velitkenay granite-metamorphic dome with similar complexes of the other AACHM regions indicates unity of its basement. It is offered to enter velitkenay metamorphic complex into the legend of Chukotka series of the third-generation geological map sheets.

Keywords: Arctic Alaska – Chukotka microcontinent, East Arctic, granitoids, granite-metamorphic dome, Velitkenay pluton, basement, velitkenay complex, zircon