

УДК 551.72 +550.93; 551.222; 551.243

U–Pb-ДАТИРОВАНИЕ СИЛЛОПОДОБНЫХ (ПЛАСТИНЧАТЫХ) ТЕЛ РАННЕ-КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СЕРИИ ГАББРОДИОРИТОВ-ГРАНОДИОРИТОВ В ПОКРОВНО-СКЛАДЧАТОМ АНСАМБЛЕ СВЕКОФЕННИД ПРИЛАДОЖЬЯ

© 2022 г. Член-корреспондент РАН Ю. А. Морозов^{1,*}, М. А. Матвеев¹, Т. В. Романюк¹, А. И. Смутьская¹, Е. Н. Терехов², Т. Б. Баянова³

Поступило 30.06.2022 г.

После доработки 24.07.2022 г.

Принято к публикации 25.07.2022 г.

Приводятся первые результаты геохронологического датирования специфических интрузивных тел силлоподобной формы ряда габбродиоритов-гранодиоритов на площади развития палеопротерозойского ладожского комплекса, обособленных на ранней стадии деформационно-метаморфической эволюции свекофеннид юго-восточной части Балтийского щита. Показана их принадлежность к покровно-складчатому структурному парагенезу Мейерской зоны, разделяющей северный и южный домены Приладожья, в виде пластинчатых магматических тел, заполняющих трещины оперения пологих надвигов. Сопоставляются результаты датирования циркона, полученные U–Pb-методом двумя технологиями, фиксирующие интервал проявления раннекинематической стадии свекофеннского тектогенеза и соответствующих ей плутоно-метаморфических событий около рубежа 1.87 млрд лет, а также временной рубеж проявления наложенной складчатости второго этапа деформаций (около 1.83 млрд лет).

Ключевые слова: Фенноскандинавский щит, палеопротерозой, свекофенский тектогенез, Мейерская зона Приладожья, этапы деформаций, эпизоды магматической активности, силлоподобные тела, циркон, U–Pb-датирование

DOI: 10.31857/S2686739722601260

В Северном Приладожье (юго-восточная часть Фенноскандинавского щита) в качестве границы раздела между терригенно-вулканогенными образованиями палеопротерозоя, накапливавшимися на перикратонной окраине Карельского массива (ладожская серия, карелиды) и в пределах выделяемой рядом исследователей [1] свекофеннской ювенильной океанической коры (лахденпохская серия, собственно свекофенниды), Ш.К. Балтыбаевым с коллегами были выделены так называемый Мейерский надвиг и одноименная тектоническая зона, разделяющая северный и южный домены Приладожья [2]. Она входит в качестве составного элемента (рис. 1) в сутурную

зону взаимодействия двух вышеназванных подразделений (зона Раахе-Ладога), и одновременно составляет часть дивергентной структуры “пальмового дерева” [3] всего подвижного пояса свекофеннид (пояс Саво). В структурном отношении Мейерская зона представляет собой широкую полосу (порядка 15 км) пологого залегания разрывно-складчатых форм, выделяющуюся ранее в виде “пояса покровных структур” [4]. Помимо картируемых разрывов шарьяжно-надвигового типа и лежащих складок неотъемлемым элементом структуры этой зоны являются многочисленные метаинтрузивные тела пластинчатых форм и широкого спектра составов от габбро до лейкогранитов (рис. 2). Их пологое, в целом, залегание (от 10° до 30°), многократное превышение протяженности (сотни метров и первые километры) над мощностью (несколько метров, первые десятки метров) и субогласные или кососекущие соотношения с расслоенностью вмещающих гнейсов ладожской серии (рис. 3 а) позволяют их относить к силлоподобным интрузивным формам [5].

Эти пластинчатые тела широкого диапазона составов от габбродиоритов до лейкогранитов

¹ Институт физики Земли Российской академии наук им. О.Ю. Шмидта, Москва, Россия

² Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

³ Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Мурманская обл., Россия

*E-mail: yurymorozov49@mail.ru

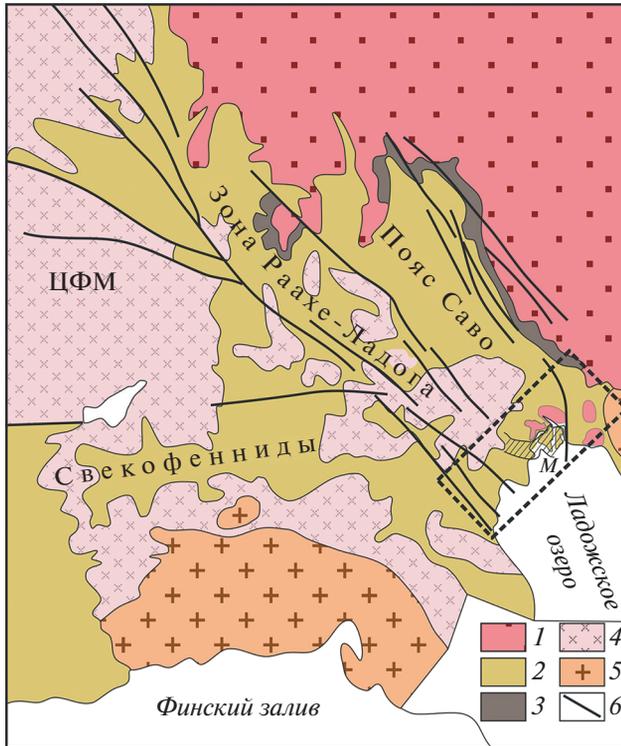


Рис. 1. Схема строения юго-восточной части Балтийского щита: 1 – архей, 2 – палеопротерозой (карелиды и свеккофенниды), 3 – комплекс ятулия-ливвия, 4 – гранитоиды палеопротерозойского возраста, 5 – граниты рапакиви, 6 – крупнейшие разломы. ЦФМ – Центрально-Финский массив. Прямоугольником выделено Северное Приладожье, буквой М и наклонной штриховкой – Мейерская зона.

относятся, по-видимому, к единой магматической серии (неопубликованные авторские данные), так как в отдельных телах установлены постепенные переходы между разностями изменчивой основности. Местами можно видеть, что базисные части таких тел бывают заметно более основного состава, вплоть до габбродиоритов,

постепенно “раскисляясь” в сторону “кровли” до гранодиоритового или плагиогранитного состава. Это дает основания полагать, что дифференциация магматического расплава могла происходить *in situ* в камерах внедрения, роль которых в данном случае играли трещины отрыва, кулисно-оперяющие поверхности сместителей картируемых пологих надвигов и шарьяжей (рис. 3 б). Трещины отрыва в шарьяжно-надвиговом структурном парагенезе с компонентой сдвига (транспрессия) в целом занимают пологое или субгоризонтальное положение и имеют разнополярное падение с гнейсоватостью, аналогично пространственному соотношению парагенетичных плоскостных текстур и трещин отрыва (рис. 3 а и 3 б, врезка). Субстрат этих тел преимущественно массивного сложения, равномернозернистый, без видимых следов закалки и активного взаимодействия с вмещающими породами, позже в значительных своих объемах был подвержен notable огнейсованию и гранитизации в виде мигматитовой полосчатости или жильных плагиогранитных инъекций. Время этих процессов неизвестно, но скорее всего они происходили на заключительных стадиях раннекинематического этапа, так как и сами пластинчатые тела этой серии, и их вторичная гнейсоватость с мигматитовой полосчатостью вместе с пологими надвиговыми зонами подверглись смятию в прямые складки субмеридионального простирания, относимые нами ко второму этапу (D2) свеккофеннского тектогенеза [3]. При этом в отдельных местах было установлено, что вдоль осевых поверхностей этих складок также происходит обособление как в интрузивном субстрате, так и во вмещающих породах плагиогранитных прожилков, а в отдельных случаях ремобилизация гранодиоритового материала и формирование его палингенной производной близкого состава (рис. 3 б, 4).

Тот факт, что пластинчатые силлоподобные тела рассматриваемого масштаба и состава фиксируются только на площади Мейерской зоны

Таблица 1. Изотопные U–Pb-данные по циркону из массивного гранодиорита (проба ЛВ-1437)

№ п/п	Навеска (мг)	Концентрация, г/г		Изотопные отношения*				Возраст, млн лет**			% D
		Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 2\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 2\sigma$	
1	0.113	35.92	89.95	1365	0.341 ± 0.004	5.360 ± 0.068	0.14303 ± 0.00011	1828 ± 23	1865 ± 24	1884 ± 1	3.0
2	0.090	100.48	268.41	1961	0.333 ± 0.004	5.258 ± 0.064	0.13661 ± 0.00008	1840 ± 22	1860 ± 23	1884 ± 1	2.3

* Все отношения скорректированы на холостое загрязнение 1 нг для Pb и 10 пг для U и масс-дискриминацию $0.12 \pm 0.04\%$. D – дискордантность. ** Коррекция на примесь обыкновенного свинца определена на возраст по модели [6]. Все измеренные изотопные отношения исправлены на масс-дискриминацию, полученную при изучении параллельных анализов стандартов SRM-981 и SRM-982 и равную $0.12 \pm 0.04\%$. Расчет координат точек и параметров изохрон проводился по программам К. Людвига [7, 8]. Вычисление возрастов сделано по принятым величинам констант распада урана [9].

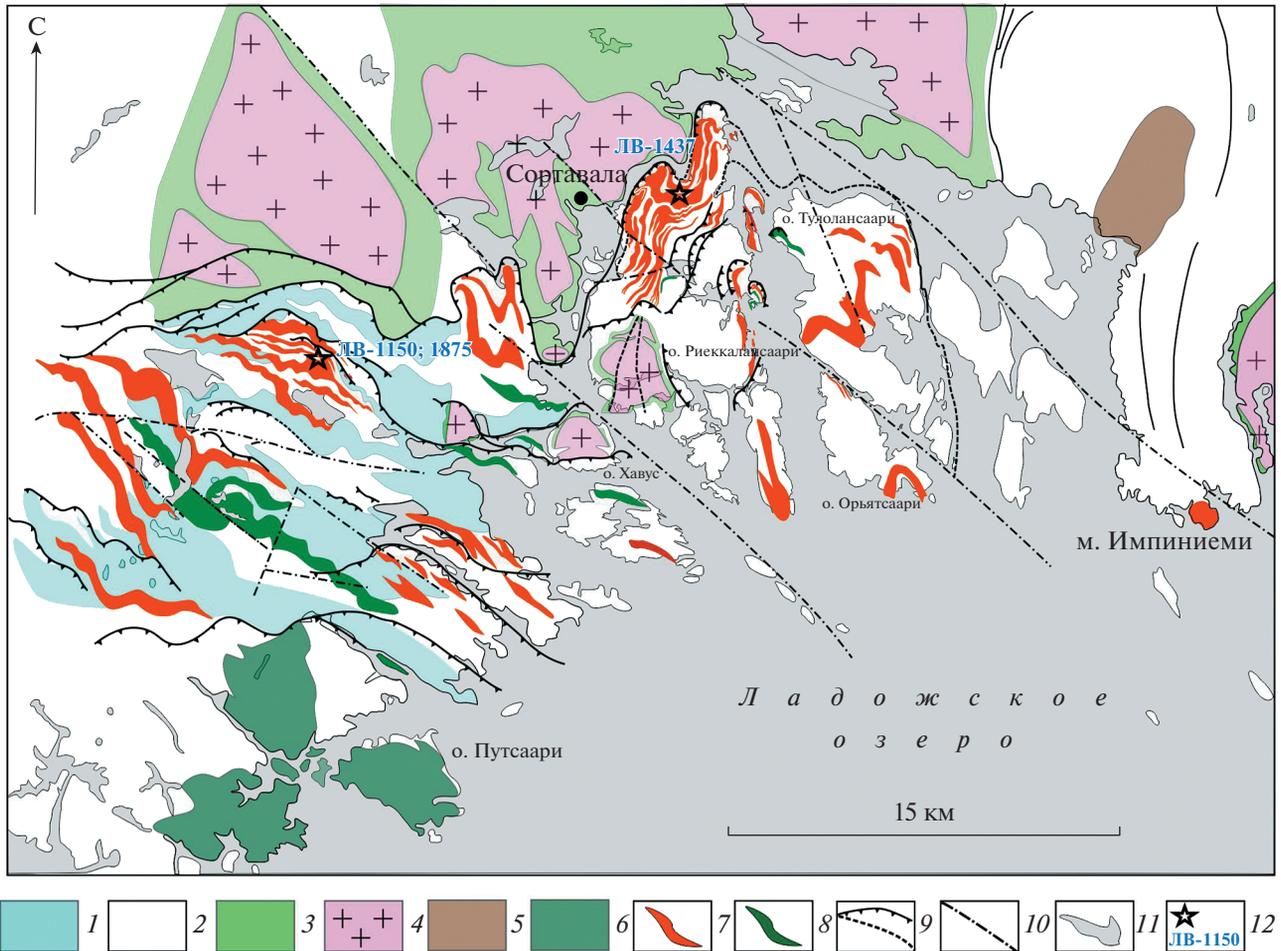


Рис. 2. Упрощенная схема геологического строения южной части северного домена Приладожья с положением пластинчатых силлоподобных тел габбродиоритов-гранодиоритов в пределах Мейерской шарьяжно-надвиговой зоны. 1–2 – ладожская серия: 1 – гранат-содержащие гнейсы, 2 – слюдяные гнейсы; 3 – соргавальская серия; 4 – гранито-гнейсы архея; 5 – вялимьякский клинопироксенит-габбровый комплекс; 6 – путсарский габбро-монцодиоритовый комплекс; 7 – гранодиориты; 8 – габбродиориты; 9 – надвиги-шарьяжи выявленные и предполагаемые; 10 – поздние разрывы; 11 – озера; 12 – точки отбора проб.

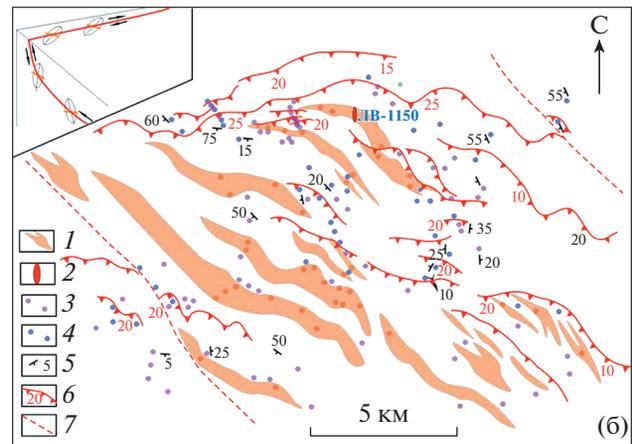
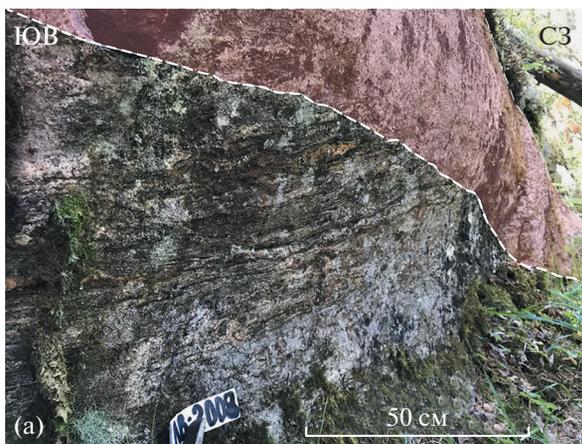


Рис. 3. Соотношение пластинчатых тел гранодиоритов (розовый цвет) с расслоенностью вмещающих гнейсов в обнажении (а) и с шарьяжно-надвиговыми разрывными нарушениями на площади (б). 1 – тела гранодиоритов, 2 – тело палингенных гранодиоритов (точка ЛВ-1150), 3 – гранат-содержащие гнейсы, 4 – слюдяные гнейсы, 5 – элементы залегания расслоенности, 6 – шарьяжно-надвиговые разрывные нарушения, 7 – секущие поздние разрывы. На врезке схематично показаны ориентировки клинопироксенит-габбровый комплекс и соотношения плоскостных текстур и трещин отрыва в транспрессивном надвиго-правосдвиговом парагенезе.

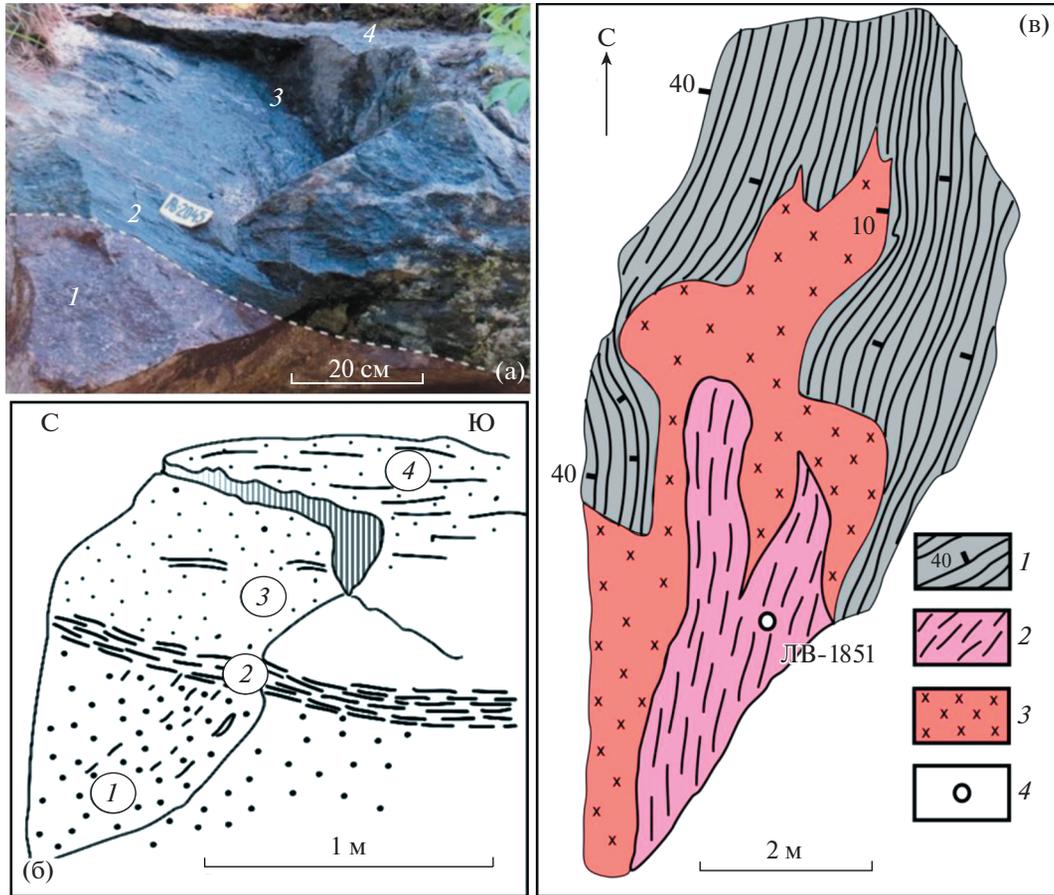


Рис. 4. Фото (а) и зарисовки (б–в) обнажений интрузивных образований, парагенетичных со складками второго этапа деформаций: а–б – соотношение массивного палинггенного гранодиорита (1) с огнейсованными разностями диорита (2, 3, 4) в пластиноподобном теле точки ЛВ-1150; в – плагиогранитная жила в метабазитах сортавальской серии (ЛВ-1851): 1 – амфиболит, 2 – плагиогранитная жила, 3 – микроклин-плагиоклазовый пегматит, 4 – точка опробования.

(вне ее пределов устанавливаются преимущественно субизометричные тела схожей формационной принадлежности, например, Путсарский комплекс, Вялимякская интрузия, массив Импи-ниemi и др. – рис. 2) и парагенетически связаны с ее внутренней структурой раннекинematического этапа, позволяет, благодаря площадному структурно-геологическому картированию, визуализировать общую ее конфигурацию в полосе между северным и южным доменами Приладожья (рис. 2). Не менее важным представляется определение временного интервала раннекинematического этапа через датирование зерен циркона как массивных, так и огнейсованных разностей этой магматической серии, а также фиксирование рубежа проявления наложенных деформаций второго этапа свекофеннского тектогенеза с помощью датирования синкинematических с ним палинггенных и ультраметаморфических образований, что и является главной целью настоящей публикации.

Массивные разности средне-крупнозернистых гранодиоритов были опробованы в точке

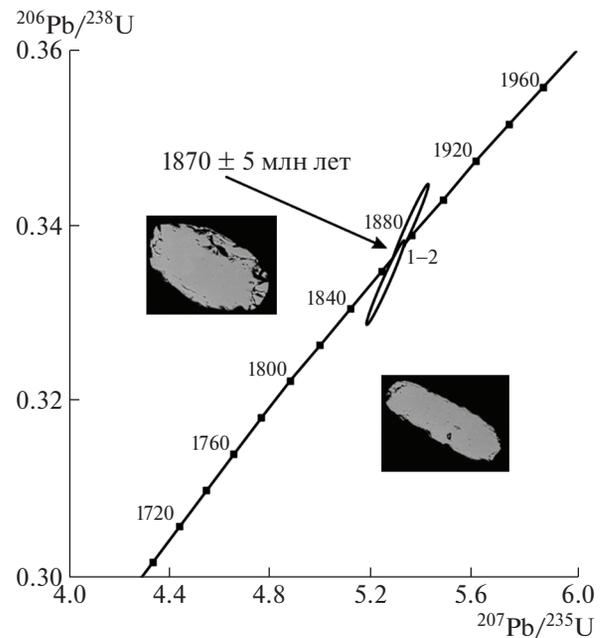


Рис. 5. U–Pb-диаграмма с конкордией для навесок зерен циркона из гранодиоритов точки ЛВ-1437.

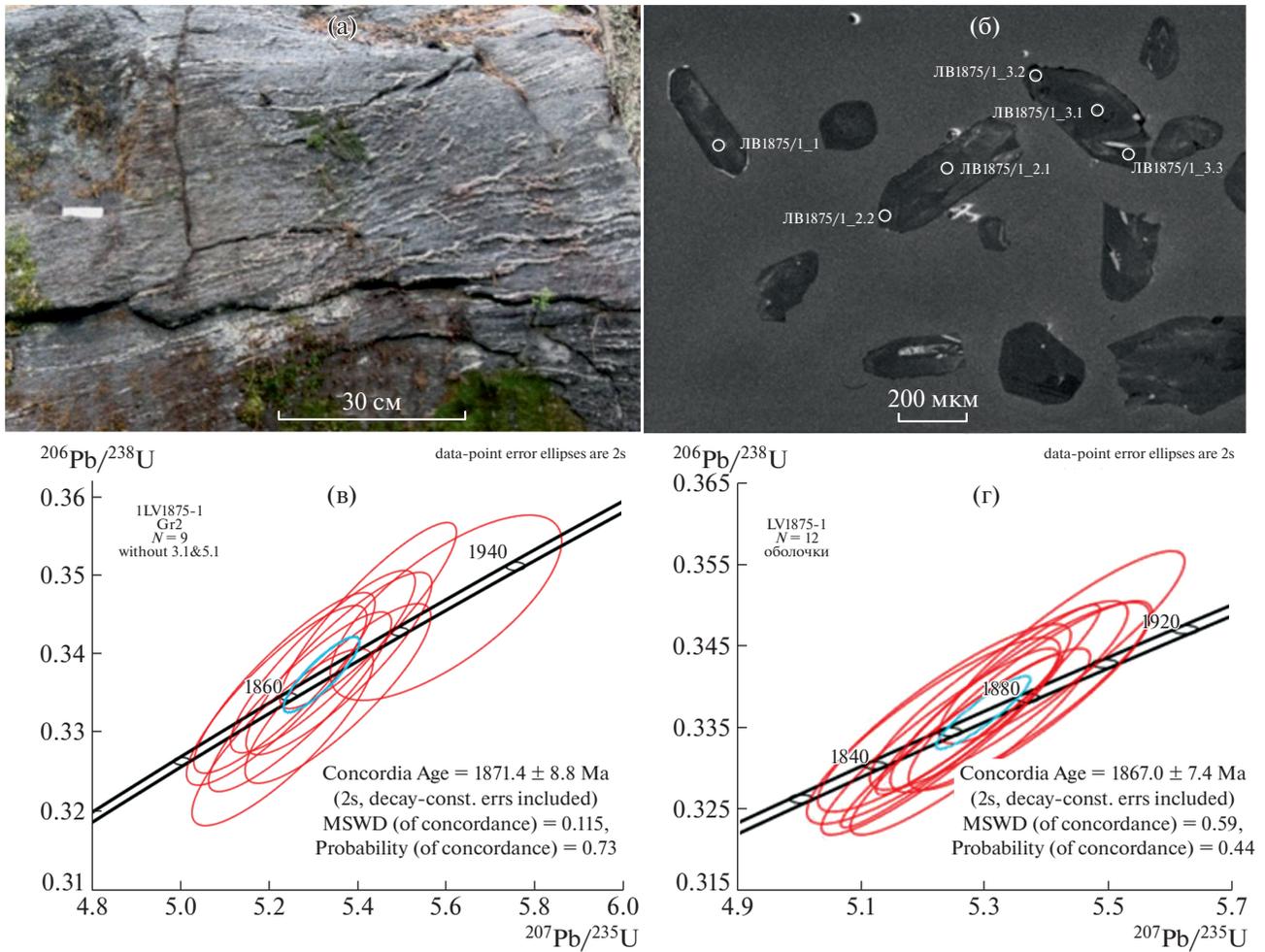


Рис. 6. Огнейсованные гранодиориты точки ЛВ-1875 (а), катодолуминесцентные изображения зерен циркона из них с разметками опробования (б) и диаграммы с конкордией для анализов по ядрам (в) и оболочкам (г) зерен циркона.

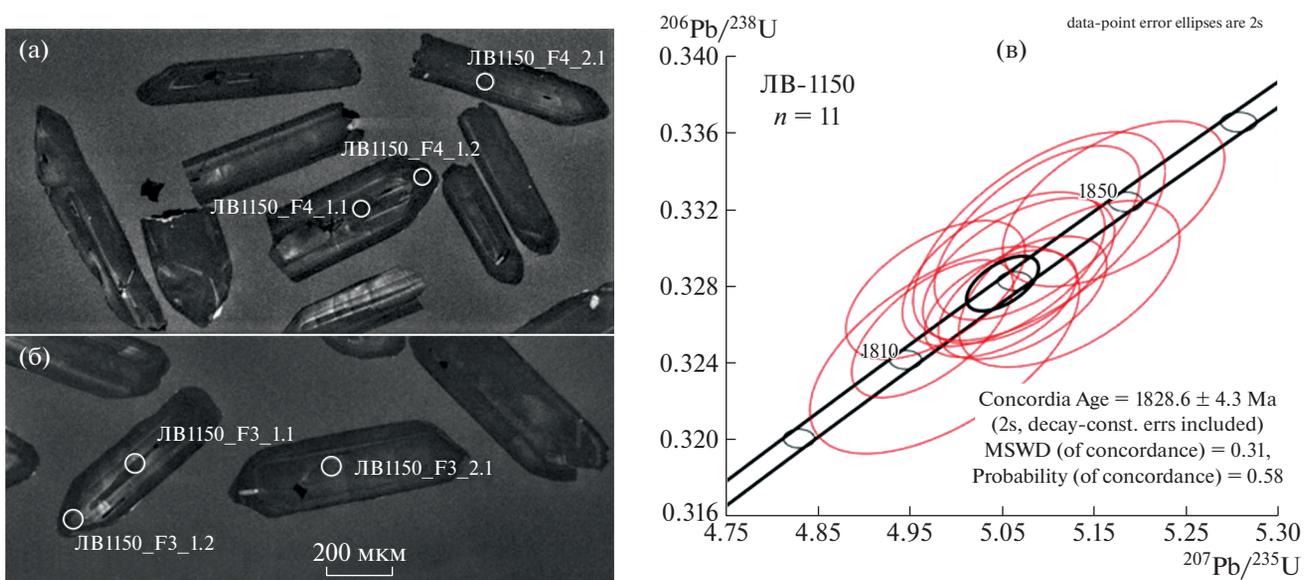


Рис. 7. Разметка зерен циркона (а) и диаграмма для определения U–Pb-конкордантного возраста по циркону (б) из массивной разности гранодиоритов точки ЛВ-1150.

Таблица 2. Изотопные U–Th–Pb-данные для зерен циркона из огнейсованных гранодиоритов (проба ЛВ-1875)

Точки анализа в пробе	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (%)	U г/г	Th г/г	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/\text{г}$	Возраст				Измеренные отношения										ES			
						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		D	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	1σ	%					
						1σ	млн лет	1σ	млн лет										1σ		млн лет	1σ	млн лет
1.1	0.15	266	74	0.29	77.8	1886	23	1885	13	0	2.939	1.4	0.11661	0.63	2.943	1.4	0.1153	0.71	5.402	1.6	0.3398	1.4	893
2.1	0.07	287	91	0.33	83.8	1886	22	1850	12	-2	2.94	1.4	0.11371	0.61	2.942	1.4	0.1131	0.64	5.301	1.5	0.3399	1.4	906
2.2	0.03	568	93	0.17	165	1879	22	1859.9	8.1	-1	2.954	1.4	0.11396	0.44	2.955	1.4	0.11373	0.45	5.306	1.4	0.3384	1.4	950
3.1	0.01	814	295	0.37	235	1869	22	1872.5	6.6	0	2.972	1.3	0.11463	0.37	2.973	1.3	0.11453	0.37	5.312	1.4	0.3364	1.3	964
3.2	0.27	470	86	0.19	137	1881	22	1880	13	0	2.943	1.4	0.11737	0.66	2.951	1.4	0.11502	0.73	5.374	1.5	0.3389	1.4	881
3.3	0.03	733	189	0.27	210	1854	22	1867	7	1	3	1.3	0.11446	0.38	3.001	1.3	0.11418	0.39	5.247	1.4	0.3333	1.3	960
4.1	1.06	2093	609	0.30	330	1077	13	1772	56	64	5.441	1.3	0.1169	2.1	5.499	1.4	0.1083	3.1	2.716	3.3	0.1818	1.4	406
5.1	0.14	284	78	0.28	83.5	1893	23	1849	12	-2	2.926	1.4	0.1143	0.6	2.93	1.4	0.11306	0.66	5.32	1.5	0.3413	1.4	902
II-1.1	1.47	486	229	0.49	139	1835	22	1883	15	3	2.992	1.3	0.12802	0.45	3.036	1.4	0.11521	0.82	5.232	1.6	0.3293	1.4	854
II-2.1	0.06	206	28	0.14	59.4	1862	23	1895	15	2	2.984	1.4	0.1165	0.71	2.986	1.4	0.11598	0.83	5.356	1.6	0.3349	1.4	861
II-2.2	0.08	252	25	0.10	74.6	1910	23	1866	12	-2	2.898	1.4	0.11481	0.65	2.9	1.4	0.11412	0.69	5.425	1.5	0.3448	1.4	895
II-3.1	0.57	408	23	0.06	113	1790	21	1869	17	4	3.106	1.4	0.11924	0.79	3.124	1.4	0.1143	0.94	5.047	1.7	0.3201	1.4	822
II-3.2	0.12	245	43	0.18	70.8	1868	22	1848	13	-1	2.971	1.4	0.114	0.65	2.974	1.4	0.11296	0.74	5.236	1.6	0.3362	1.4	882
II-4.1	0.03	225	43	0.20	64.5	1857	22	1873	13	1	2.995	1.4	0.11482	0.69	2.996	1.4	0.11454	0.72	5.271	1.6	0.3338	1.4	889
II-4.2	0.10	229	43	0.20	66.7	1882	23	1862	13	-1	2.947	1.4	0.11478	0.68	2.95	1.4	0.11389	0.75	5.323	1.6	0.3389	1.4	881
II-5.1	0.03	440	195	0.46	116	1731	46	1858	18	7	3.246	3	0.1138	0.97	3.247	3	0.1136	0.97	4.82	3.2	0.308	3	951
II-5.2	0.51	333	14	0.04	96.2	1860	22	1850	14	-1	2.974	1.4	0.11756	0.56	2.989	1.4	0.11311	0.76	5.218	1.6	0.3346	1.4	873
II-6.1	0.27	377	132	0.36	112	1915	23	1919	24	0	2.884	1.4	0.1198	1.2	2.892	1.4	0.1175	1.3	5.6	1.9	0.3458	1.4	719
II-6.2	0.06	237	43	0.19	69	1880	23	1876	14	0	2.951	1.4	0.11529	0.75	2.953	1.4	0.11474	0.77	5.358	1.6	0.3387	1.4	873
III-1.1	0.07	433	155	0.37	130	1932	23	1857.3	9.6	-4	2.86	1.4	0.11417	0.5	2.862	1.4	0.11357	0.53	5.472	1.5	0.3494	1.4	933
III-1.2	0.14	381	75	0.20	109	1854	22	1860	11	0	2.996	1.4	0.11498	0.52	3	1.4	0.11376	0.58	5.228	1.5	0.3333	1.4	921
III-2.1	0.08	364	102	0.29	106	1882	23	1867	12	-1	2.948	1.4	0.11487	0.66	2.95	1.4	0.11418	0.69	5.336	1.5	0.3389	1.4	895
III-2.2	0.34	405	69	0.18	116	1855	22	1877	11	1	2.99	1.4	0.11776	0.51	3	1.4	0.11483	0.62	5.278	1.5	0.3333	1.4	912
III-3.1	1.21	482	167	0.36	143	1889	22	1894	18	0	2.902	1.3	0.12654	0.72	2.938	1.4	0.1159	1.0	5.441	1.7	0.3404	1.4	805
III-3.2	0.25	499	89	0.18	146	1884	22	1885.9	9.9	0	2.938	1.3	0.11756	0.46	2.946	1.3	0.11538	0.55	5.401	1.5	0.3395	1.3	925
III-4.1	0.06	454	13	0.03	129	1844	22	1863.5	9.2	1	3.018	1.4	0.11444	0.49	3.019	1.4	0.11396	0.51	5.204	1.4	0.3312	1.4	935
III-4.2	0.06	510	133	0.27	151	1905	22	1863.1	8.7	-2	2.907	1.3	0.11448	0.46	2.909	1.3	0.11394	0.48	5.401	1.4	0.3438	1.3	942

Примечание. Погрешность измерений 1σ ; Pbс и Pb* – содержания общего и радиогенного свинца соответственно; D – дискордантность; ES = $(^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}) / (1\sigma(^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U})) / (^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}) / (1\sigma(^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}))$. Ошибка стандартной калибровки – 0.34%; коррекция на общий свинец выполнена, исходя из измеренных содержаний ^{204}Pb . Здесь и далее в других таблицах: серым фоном выделены анализы, не использовавшиеся для вычисления из-за повышенного содержания общего свинца и/или дискордантности >2%; в нумерации точек анализа: 1 – после зерен, 2 – оболочка зерен.

Таблица 3. Изотопные U–Pb-данные зерен циркона из массивных гранодиоритов точки ЛВ-1150

Точки анализа в пробе	$^{206}\text{Pb}/\text{Pb}$ (%)	U г/г	Th г/г	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/\text{г/г}$	Возраст				D	Измеренные отношения						EC		
						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{U}$			$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	1σ	1σ		1σ	1σ
						млн лет	1σ	млн лет	1σ										
						млн лет	1σ	млн лет	1σ		%	%	%	%					
1.1	0.04	255	29	0.12	72.7	1850	9	1846	14	0	3.009	0.5	0.1129	0.8	5.171	1.0	0.3323	0.5	0.6
2.1	0.05	297	101	0.35	83.9	1833	8	1822	13	-1	3.040	0.5	0.1114	0.7	5.051	0.9	0.3289	0.5	0.6
3.1	0.00	210	64	0.31	59.5	1841	11	1827	15	-1	3.025	0.7	0.1117	0.8	5.090	1.1	0.3306	0.7	0.6
4.1	0.03	365	135	0.38	103	1828	7	1801	12	-1	3.050	0.5	0.1101	0.7	4.977	0.8	0.3278	0.5	0.6
5.1	0.04	242	80	0.34	68.4	1829	9	1852	14	1	3.048	0.5	0.1133	0.8	5.123	1.0	0.3281	0.5	0.6
6.1	0.05	338	25	0.08	95.4	1832	8	1829	13	0	3.042	0.5	0.1118	0.7	5.068	0.8	0.3288	0.5	0.6
6.2	0.05	495	67	0.14	139	1826	6	1838	11	1	3.054	0.4	0.1124	0.6	5.072	0.7	0.3274	0.4	0.5
7.1	0.08	206	62	0.31	57.5	1813	11	1822	17	1	3.080	0.7	0.1114	1.0	4.987	1.2	0.3247	0.7	0.6
8.1	0.03	329	112	0.35	93.6	1842	9	1825	13	-1	3.023	0.6	0.1116	0.7	5.088	0.9	0.3308	0.6	0.6
9.1	0.02	525	218	0.43	147	1818	7	1812	10	0	3.069	0.5	0.1107	0.6	4.974	0.7	0.3258	0.5	0.6
9.2	0.18	710	123	0.18	200	1824	6	1831	10	0	3.057	0.4	0.1119	0.6	5.048	0.7	0.3271	0.4	0.5

Погрешность измерений 1σ; Pbс и Pb* – содержания общего и радиогенного свинца соответственно; D – дискордантность, EC = $(^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}) / (1\sigma(^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U})) / (^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}) / (1\sigma(^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}))$. Ошибка стандартной калибровки – 0.34%; коррекция на общий свинец выполнена, исходя из измеренных содержаний ^{204}Pb .

ЛВ-1437 на о. Риеккалансаари в восточном обрамлении Сортавальского купола (рис. 2), где они местами секутся плоскими обособлениями (с ответвлениями) лейкогранитов и вместе с ними составляют пластиноподобное тело, которое имеет весьма пологое западное падение ($Az_{\text{пл}} = 250^\circ - 280^\circ / 20^\circ$) контакта с вмещающими слюдыстыми гнейсами, погружающимися в противоположном

направлении ($Az_{\text{пл}} = 110^\circ / 70^\circ$). Из субстрата гранодиоритов были выделены призматические кристаллы циркона светло-желтого цвета со средними размерами – 0.105×0.07 мм и слабой катодолуминесцентной зональностью. Их датирование проведено в Лаборатории геохронологии и изотопной геохимии Геологического института КНЦ РАН U–Pb-методом с $^{205}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ -трассером

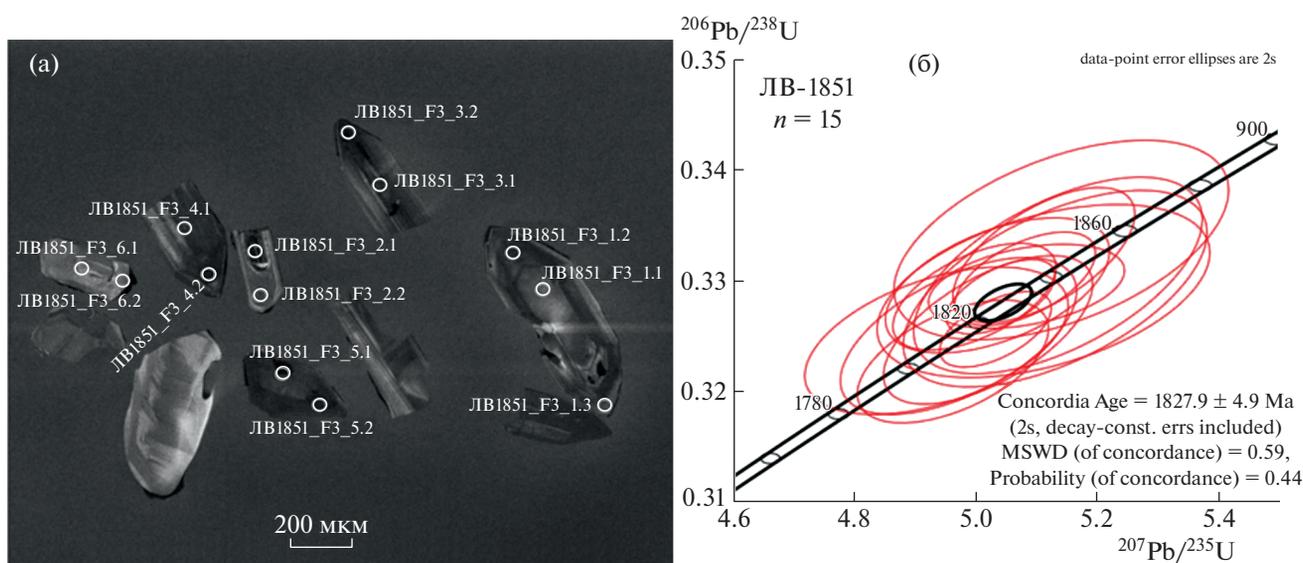


Рис. 8. Катодолуминесцентное изображение кристаллов циркона с разметкой кратеров (а) и диаграмма с конкордией для пробы ЛВ-1851 (б).

Таблица 4. Изотопные U–Pb-данные зерен циркона из плагиогранитной жилы в амфиболитах сортавальской серии в обрамлении Пусунсаарского выступа фундамента (точка ЛВ-1851)

Точки анализа в пробе	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (%)	U г/г	Th г/г	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/\text{г/г}$	Возраст				D	Измеренные отношения						ЕС		
						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$			$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$					
						млн лет	млн лет	млн лет	млн лет						%	%		%	%
						млн лет	млн лет	%	%		%	%	%	%					
1.1	0.10	115	103	0.93	32.1	1814	14	1814	23	0	3.077	0.9	0.1109	1.3	4.970	1.6	0.3250	0.9	0.6
2.1	0.12	94	63	0.69	26.3	1812	13	1803	28	-1	3.080	0.8	0.1102	1.6	4.934	1.8	0.3246	0.8	0.5
2.2	0.16	74	51	0.71	20.9	1834	15	1843	35	0	3.038	1.0	0.1127	2.0	5.110	2.2	0.3291	1.0	0.4
3.1	0.16	74	62	0.86	21	1841	18	1843	29	0	3.026	1.1	0.1127	1.6	5.134	1.9	0.3305	1.1	0.6
4.1	0.16	73	52	0.73	20.8	1835	18	1849	29	1	3.036	1.1	0.1130	1.6	5.130	2.0	0.3293	1.1	0.6
4.2	0.20	57	31	0.56	16.3	1856	18	1826	34	-2	2.997	1.1	0.1116	1.9	5.140	2.2	0.3337	1.1	0.5
5.1	0.05	270	227	0.87	76.5	1839	8	1825	14	-1	3.029	0.5	0.1116	0.8	5.080	0.9	0.3302	0.5	0.6
5.2	0.03	418	338	0.83	117	1817	7	1833	11	1	3.071	0.4	0.1121	0.6	5.031	0.8	0.3256	0.4	0.6
6.1	13.88	1263	1078	0.88	138	670	5	1734	150	159	9.136	0.8	0.1061	8.0	1.600	8.0	0.1095	0.8	0.1
6.2	0.14	124	46	0.38	35.2	1836	12	1813	23	-1	3.034	0.8	0.1108	1.3	5.035	1.5	0.3296	0.8	0.5
7.1	0.90	537	559	1.08	153	1836	8	1830	21	0	3.035	0.5	0.1119	1.2	5.082	1.3	0.3295	0.5	0.4
7.2	2.14	621	483	0.80	167	1720	7	1843	41	7	3.270	0.4	0.1127	2.3	4.750	2.3	0.3058	0.4	0.2
8.1	0.00	133	88	0.68	37.1	1817	13	1829	20	1	3.071	0.8	0.1118	1.1	5.019	1.4	0.3256	0.8	0.6
8.2	0.05	169	103	0.63	48.3	1849	12	1825	18	-1	3.010	0.8	0.1116	1.0	5.111	1.2	0.3323	0.8	0.6
8.3	0.08	142	88	0.64	39.4	1803	11	1824	20	1	3.099	0.7	0.1115	1.1	4.961	1.3	0.3227	0.7	0.5
9.1	0.04	195	129	0.68	55.1	1832	10	1804	17	-2	3.043	0.6	0.1103	0.9	4.997	1.1	0.3286	0.6	0.6
9.2	0.03	446	282	0.65	126	1832	7	1820	11	-1	3.043	0.4	0.1112	0.6	5.040	0.7	0.3286	0.4	0.6

Погрешность измерений 1σ ; Pbс и Pb* – содержания общего и радиогенного свинца соответственно; D – дискордантность, $ЕС = (^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}) / (1\sigma(^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U})) / (^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}) / (1\sigma(^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}))$. Ошибка стандартной калибровки – 0.34%; коррекция на общий свинец выполнена, исходя из измеренных содержаний ^{204}Pb . Серым тоном маркированы анализы с высокой дискордантностью, которые не использовались для вычисления конкордантного возраста.

с использованием ионообменной хроматографии (табл. 1). В результате получен конкордантный возраст 1870 ± 5 млн лет (рис. 5).

Огнейсованные разности гранодиоритов (рис. 6 а) были опробованы в окрестностях озера Лавоярви (точка ЛВ-1875). Выделенные зерна циркона, удлиненной призматической формы и бледно-коричневой окраски, отличались наличием ядер и оболочек, поэтому определение их изотопно-геохимических характеристик осуществлялось на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ МПР (С.-Петербург). Полученные отдельно для ядер и оболочек возрасты (табл. 2) показали незначительные различия – 1871.4 ± 8.8 и 1867 ± 7.4 млн лет (рис. 6 а, б), а их общий конкордантный возраст по 21 анализу составил 1870.2 ± 2.9 млн лет, что идентично определению в массивных разностях гранодиоритов точки ЛВ-1437.

Вместе с тем в одном из обнажений этого же участка (точка ЛВ-1150) были также опробованы массивные разности гранодиоритов, которые об-

разуют широкую прямолинейную полосу (видимая мощность более 1 м), вытянутую в субмеридиональном направлении и ориентированную вдоль осевой плоскости складчатого изгиба второго этапа деформаций, образованного пластиноподобным телом огнейсованных диоритов, а также несколькими разрывными поверхностями картируемых пологих надвигов (рис. 3 б). Массивный и более крупнозернистый субстрат этой полосы помимо различий по составу с окружающими огнейсованными диоритами имеет заметно дискордантные соотношения с гнейсоватостью диоритов (рис. 4 а, б). Зерна циркона из этой разности были также датированы на ионном микрозонде SHRIMP-II (табл. 3) и для них был получен заметно более молодой конкордантный возраст – 1828.6 ± 4.3 млн лет (рис. 7). Исходя из этого мы допускаем их палингенный генезис, связанный с тектоно-термальными преобразованиями второй деформационной стадии свекофеннского тектогенеза, близкой к рубежу 1.83 млрд лет.

Здесь уместно отметить, что близкий возраст был получен нами за пределами Мейерской зоны в плагиогранитной жиле, секущей амфиболиты сортавальской серии (рис. 4 в) в обрамлении куполовидного выступа о. Пусунсаари (г. Питкяранта), также как и в точке ЛВ-1150, субмеридиональной ориентировки, соответствующей трендам осевых поверхностей складок второго этапа деформаций. Выделенные кристаллы циркона с четкой осцилляторной зональностью (рис. 8 а) были проанализированы на ионном микрозонде SHRIMP-II (табл. 4) и показали конкордантный возраст $1827.9 \pm$ млн лет (рис. 8 б).

Таким образом, исходя из датировок пластинчатых тел серии габбро-диоритов-гранодиоритов, входящих в качестве полноценного структурного элемента в покровно-складчатый парагенез Мейерской зоны, раннекинематический этап проявления свекофеннского тектогенеза в Северном Приладожье охватывает некоторый временной интервал вокруг рубежа 1.87 млрд лет. На это же время приходится и проявление синдеформационного пика регионального метаморфизма (1871.3 ± 1.9 млн л.), установленного по метаморфогенному монациту в метавулканитах ладожской серии [10]. Наложенные процессы продолжавшейся гранитизации и проявления палингенеза, выявленные в комплексе диоритов-гранодиоритов, судя по пространственным соотношениям, синхронны с формированием региональной складчатости второго этапа деформаций – около рубежа 1.83 млрд лет, когда в юго-восточной части сутуры на площади Финляндии был проявлен пик регионального метаморфизма и мигматизации [11]. Важно отметить, что полученные датировки раннекинематических пластиноподобных тел габбродиоритов-гранодиоритов оказались моложе начала становления крупных магматических массивов, расположенных севернее и южнее Мейерской зоны (габброиды ранней фазы внедрения путсарского комплекса – 1884 ± 10 млн лет, диориты массива Каоламо – 1883.3 ± 5.2 млн лет, монцодиориты Вялимякского массива – 1891 ± 4.9 млн лет), но близки возрастам диоритов и монцодиоритов поздних фаз путсарского комплекса – 1867.2 ± 5.5 и 1869 ± 7.7 млн лет, гранодиоритов массива Импииниеми – 1871 ± 12 млн лет, а также эндербитам куркиекского и тоналит-диоритам лауватсарского комплексов [12]. Отмеченные различия и близость возрастов в значительной степени коррелируются с региональной структурно-тектонической позицией тел (в дивергентно-веерной общей структуре пояса) и с формами локализации магматического материала (плутонические и пластинчатые), которые, в свою очередь, несомненно, контролируются синмагматической деформационной обстановкой.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках исследований по темам госзаданий ИФЗ РАН и ГИН РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Park A.F., Bowes D.R., Halden N.M., Koistinen T.J.* Tectonic evolution at an early proterozoic continental margin: The Svecokareles of eastern Finland // *Journal of Geodynamics*. 1984. V. 1. № 3–5. P. 359–386.
2. *Балтыбаев Ш.К., Глебовицкий В.А., Козырева И.В., Шульдинер В.И.* Мейерский надвиг – главный элемент строения сутуры на границе Карельского кратона и свекофеннского комплекса в Приладожье, Балтийский щит // *ДАН*. 1996. Т. 348. № 3. С. 353–356.
3. *Морозов Ю.А., Кулаковский А.Л., Смутьская А.И.* Строение и структурно-метаморфическая эволюция Северного домена Приладожья в системе «чехол – фундамент» // *Ладожская протерозойская структура (геология, глубинное строение и минерагения)*. Отв. ред. Н.В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. С. 162–180.
4. *Судовиков Н.Г., Глебовицкий В.А., Сергеев А.С. и др.* Геологическое развитие глубинных зон подвижных поясов (Северное Приладожье). Л.: Наука, 1970. 227 с.
5. *Морозов Ю.А., Мухамедиев Ш.А., Галыбин А.Н., Смутьская А.И.* Тектонический и геомеханический контроль размещения даек и силлоподобных тел в северо-западной части Кольского полуострова // *Геотектоника*. 2017. № 3. С. 28–60.
6. *Stacey J.S., Kramers J.D.* Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 1975. V. 26. № 2. P. 207–221.
7. *Ludwig K.R.* (b) PBDAT – A Computer Program for Processing Pb-U-Th isotope Data. Version 1.22 // *Open-file report 88-542. US Geol. Surv.* 1991. 38 p.
8. *Ludwig K.R.* (a) ISOPLOT/Ex – A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Version 2.05 // *Berkeley Geochronology Center Special Publication*. № 1a. 1999. 49 p.
9. *Steiger R.H., Jäger E.* Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1977. V. 36. № 3. P. 359–362.
10. *Балтыбаев Ш.К., Левченков О.А.* Вулканиды в свекофеннидах Северного Приладожья и результаты U–Pb, Pb–Pb датирования пород разного генезиса как основа для корреляции свекофеннских событий // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2005. Т. 13. № 2. С. 3–19.
11. *Vaasjoki M., Sakko M.* The evolution of the Raahe-Ladoga zone in Finland: isotopic constraints // *Geol. Surv. Finland Bull.* 1988.
12. *Богачев В.А., Иваников В.В., Козырева И.В., Конопелько Д.Л., Левченков О.А., Шульдинер В.И.* U–Pb цирконовое датирование синорогенных габбродиоритовых и гранитоидных интрузий Северного Приладожья // *Вестн. СПбГУ. Сер. 7*. 1999. Вып. 3 (№ 21). С. 23–31.

U–Pb DATING OF SILL-LIKE SHEETED BODIES OF THE EARLY KINEMATIC MAGMATIC DIORITE-GRANODIORITE SERIES WITHIN NAPPE-FOLDED ENSEMBLE OF SVEKOFENNIDES OF THE LADOGA REGION

Corresponding Member of the RAS Yu. A. Morozov^{a, #}, M. A. Matveev^a, T. V. Romanyuk^a, A. I. Smulskaya^a, E. N. Terekhov^b, and T. B. Bayanova^c

^a *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^b *Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^c *Geological Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Murmansk district, Russian Federation*

[#] *E-mail: yurymorozov49@mail.ru*

The first results of geochronological dating of specific sill-like intrusive bodies of the gabbro-diorite-granodiorite series in the development area of the Paleoproterozoic Ladoga complex, isolated at an early stage of deformation-metamorphic evolution of the svekofennides of the south-eastern part of the Fennoscandinavian Shield are presented. It is shown that they belong to the thrust-fold structural paragenesis of the Meyer zone, separating the northern and southern domains of the Ladoga region, in the form of lamellar magmatic bodies filling the feathering fractures of the thrusts. Dating of zircons obtained in U–Pb systematics by two techniques is compared, fixing the interval of manifestation of the early kinematic stage of Svecofennian tectogenesis and its corresponding plutonic-metamorphic events around the boundary of 1.87 Ma, as well as the time boundary of manifestation of superimposed folding of the second deformation stage (about 1.83 Ma).

Keywords: Fennoscandinavian shield, Paleoproterozoic, Svecofennian tectogenesis, Mayer suture zone of the Ladoga region, stages of deformations, stages of igneous-metamorphic activity, sill-like bodies, zircon, U–Pb dating