

Возраст формирования супракрустальных комплексов Лапландского гранулитового пояса

Козлов Н.Е.¹, Сорохтин Н.О.^{1,2}

¹ Геологический институт КНЦ РАН

² Институт Океанологии им. П.П. Шириова РАН

Аннотация. Рассмотрен вопрос о времени формирования супракрустальных комплексов Лапландского гранулитового пояса. По результатам U-Pb датирования установлено, что он составляет 2703 ± 9 млн. лет ($n=3$, СКВО-1.3). Эти цифры сходны с ранее полученными Rb-Sr методами цифрами – 2700 ± 44 млн. лет для метаморфитов, преобразованных в условиях амфиболитовой фации и 2690 ± 33 млн. лет для метаморфитов, сформировавшихся в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций. При этом можно предполагать, что данная цифра отражает не возраст формирования протолитов пород, а время их метаморфического преобразования. С высокой долей вероятности показано, что породы среднего-кислого состава, по которым ранее U-Pb методом был получен возраст 2473 ± 3 млн. лет, считавшийся временем заложения Лапландского гранулитового пояса (ЛГП), являются не составной частью его супракрустального разреза, а кварцевыми диоритами интрузивного комплекса – дифференциатами интрузии анортозитов. Выводы о неоархейском возрасте протолитов пород ЛГП и их протоостроводужной природе позволяют представить наиболее непротиворечивую модель формирования архейских комплексов Кольского региона и более четко определить в ней место супракрустальных комплексов Лапландского гранулитового пояса. При этом они хорошо согласуются с выводами о существовании на этом этапе архейской истории Кольского региона, к северо-востоку от ЛГП, древней субдукционной зоны, в пределах которой формировались эклогиты и эклогитоподобные породы.

Ключевые слова: лапландский гранулитовый пояс, возраст протолитов, первичная природа, арктическая зона.

Age of the formation of supracrustal complexes of the Lapland granulite belt

Kozlov N.E.¹, Sorokhtin N.O.^{1,2}

¹ Geological Institute KSC RAS

² P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS

Abstract. The question of the time of formation of supracrustal complexes of the Lapland granulite belt is considered. Based on the results of U-Pb dating, it was found to be 2703 ± 9 Ma ($n=3$, MSWD-1.3). These ages are similar to those previously obtained by Rb-Sr methods, i. e. 2700 ± 44 Ma for metamorphites transformed under conditions of amphibolite facies and 2690 ± 33 Ma for metamorphites formed under conditions of amphibolite and granulite facies. At the same time, it can be assumed that this age reflects not the time of the formation of rock protoliths, but the time of their metamorphic transformation. It is shown with a high degree of probability that the rocks of medium-acidic composition previously dated at 2473 ± 3 Ma with the U-Pb method, which was considered the time of initiation of the Lapland granulite belt (LGB), are not an integral part of its supracrustal section, but quartz diorites of the intrusive complex – the differentiates of anorthosite intrusion. The conclusions about the Neoproterozoic age of the protoliths of the LGB rocks and their proto-island-arc nature make it possible to present the most consistent model for the formation of the Archaean complexes of the Kola region and more clearly determine the place of the supracrustal complexes of the Lapland granulite belt. At the same time, they are in good agreement with the conclusions about the existence at this stage of the Archaean history of the Kola region, northeast of the LGB, an ancient subduction zone, where eclogites and eclogite-like rocks were formed.

Keywords: Lapland granulite belt, age of protoliths, primary nature, Arctic zone.

Введение, состояние проблемы

Гранулитовые пояса раннего докембрия являются объектами, крайне интересными и важными для познания эволюции Земли. Этим определяется внимание, которое им уделяется. Наибольший интерес исследователей вызывают такие их специфические черты, как изменения в условиях

повышенных, в сравнении с другими фациями, значений температур и давления, наличие во многих комплексах «опрокинутой» метаморфической зональности и часто поясное (шовное) распространение пород. Кроме этого, в их пределах широко развиты такие специфические образования, как эндербиты и чарнокиты, а также интрузии автономных анортозитов. Эти комплексы характерны только для раннего докембрия.

Одной из наиболее детально исследованных структур данного типа является Лапландский гранулитовый пояс (далее в работе обозначен как ЛГП), расположенный на северо-востоке Балтийского щита (рис. 1). Эта линейная структура протягивается от северной части Норвегии до северо-восточного побережья Кандалакшского залива Белого моря на территории России. В его составе

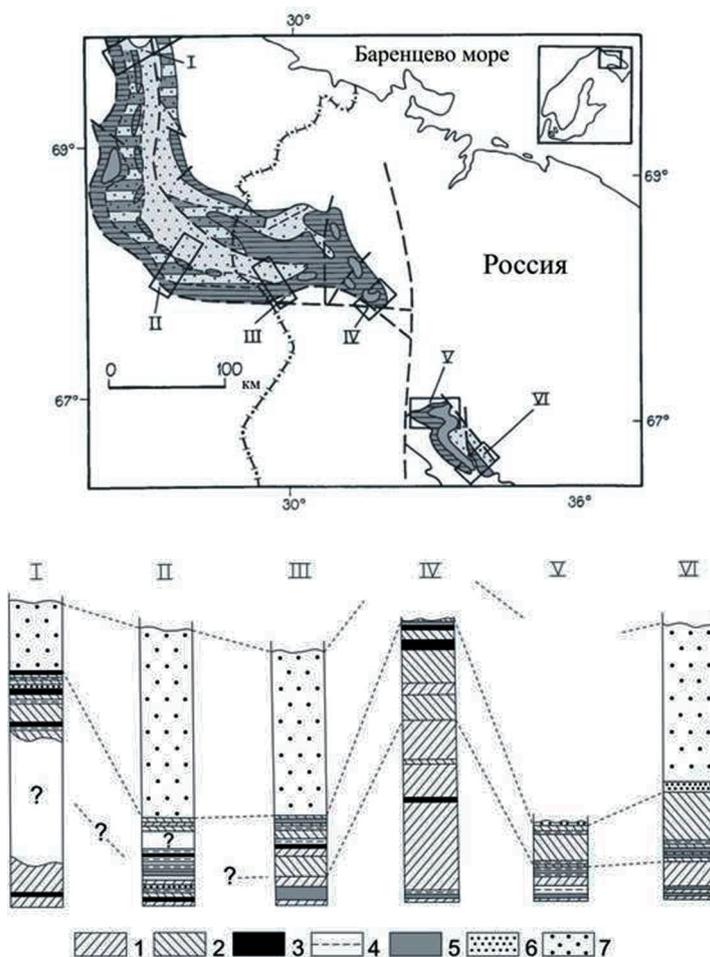


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Лапландского гранулитового пояса и обобщенные разрезы супра-крустальных толщ различных районов (по Н.Е. Козлову, 1995).

I-III – районы р. Танаелв, Сев. Норвегия, пос. Вуотсо, Сев. Финляндия и р. Юрийок, соответственно; IV – Саль-ные, V – Кандалакшские, VI – Колвицкие тундры. Горизонтальной штриховкой на карте обозначены площади развития пород метавулканогенной, точками – метаосадочной толщ. Площади, в пределах которых разделение названных разновидностей затруднено, обозначены одновременно штриховкой и точками. Серым залиты крупные тела анортозитов.

Условные обозначения для разрезов: 1 – метатолейиты, 2 – глиноземистые метабазалты, 3 – метаандезобазальты, 4 – метаандезиты, 5 – метадациты, 6 – метатUFFиты, 7 – метаседиментные породы.

Fig. 1. Schematic geological map of the Lapland granulite belt and generalized sections of supracrustal strata of various regions (after N.E. Kozlov, 1995). I-III – areas of the river Tanaelv, Northern Norway, settlement Vuotso, Northern Finland, and the river Jaurijok, respectively; IV – Sal'nyye Tundry, V – Kandalaksha Tundry, VI – Kolvitsa Tundry. Horizontal shading on the map indicates the areas of development of metavolcanogenic rocks, dots – metasedimentary strata. The areas within which it is difficult to separate the named varieties are indicated both by hatching and dots. Large bodies of anorthosites are filled with gray. Symbols for sections: 1 – metatholeiites, 2 – aluminous metabasalts, 3 – metaandesobasalts, 4 – metaandesites, 5 – metadacites, 6 – metatuffites, 7 – metasedimentary rocks.

выделяются кислые, основные и средние по составу гранулиты, которые подстилаются гнейсо-амфиболитовой толщей, во многих случаях отделенной от первых телами анортозитов и метаанортозитов (Виноградов и др., 1980; Беляев, 1971; Козлов и др., 1990). Южная граница структуры интенсивно деформирована в процессе сдвиговых деформаций.

Вопрос о первичной природе пород ЛГП также неоднозначен и обсуждается в литературе длительное время. Еще в 30-ые годы прошлого столетия были сформулированы две принципиально различные точки зрения – А.А. Полканова, считавшего данные образования первично интрузивными, и П. Эскола, предложившего гипотезу об их вулканогенно-осадочном генезисе. В 70-ые годы XX века достаточно интенсивно развивался взгляд на породы ЛГП как на супракрустальный комплекс. Одним из первых среди российских геологов для территории Кольского региона его высказал Е.К. Козлов (устное сообщение), полагавший, что количество первично вулканогенно-осадочных образований в пределах данной структуры довольно значительно. Точка зрения на лапландские гранулиты, как супракрустальные образования, была поддержана целым рядом исследователей (Ивлиев, 1977; Андреев, 1983, Козлов, 1995).

Геолого-геофизические данные, полученные в конце 90-х годов XX столетия, привели многих исследователей к выводу о покровно-надвиговом строении пояса (Marker, 1985; Богданова и др., 1992; Миллер, Милькевич, 1995; Бибикова и др., 1993; Терехов, Левицкий, 1993; Mints, 1993). Для объяснения причин появления на поверхности пород, преобразованных в глубинных условиях повышенных температур и давлений, привлекались процессы эксгумации (обдукции) эклогитоподобных амфиболит-гранулитовых комплексов (Терехов, 2007; Cagnard et al., 2011).

Авторами настоящего исследования за основу также была взята покровно-надвиговая модель как возможный вариант строения, в наибольшей степени затрудняющий первичные реконструкции (Козлов, 1995). Мы полагаем, что ЛГП маркирует зону сочленения различных доменов континентальной коры Кольской гранулитогнейсовой области (Sorokhtin et al., 2020).

Одним из крайне важных для понимания особенностей развития супракрустальных комплексов ЛГП является вопрос о времени их формирования. Ряд геологов (Балаганский, 2002; Бибикова и др., 1993; Barbey et al., 1984; Gaál et al., 1989; Huhma, Meriläinen, 1991) полагают, что они имеют палеопротерозойский возраст. Заметим, что некоторые сторонники этой точки зрения принимают названный возраст протолитов пояса с оговоркой, что для амфиболитов и мафических гранулитов он должен превышать время формирования палеопротерозойских габбро-анортозитовых массивов (Глубинное строение..., 2010). Существует также и другая группа исследователей, к которой принадлежат и авторы настоящей работы, которые приводят аргументы в пользу архейского происхождения супракрустальных толщ ЛГП (Виноградов и др., 1980; Прияткина, Шарков, 1979; Крылова, 1983; Минц и др., 1996; Козлов, 1995; Вревский и др., 200; Козлов и др., 1990; Kozlov et al., 2021). Данной проблеме и посвящена данная статья.

Обсуждение результатов

Вопрос о времени формирования протолитов пород ЛГП, как уже описано во введении, на сегодня решается неоднозначно. Заметим, что еще в 1995 г. нами по итогам исследований в районе Сальных тундр, в серии пород, представленных метавулканитами различного состава, Rb-Sr методом был зафиксирован возраст 2700 ± 44 млн. лет для метаморфитов, измененных в условиях амфиболитовой фации и 2690 ± 33 млн. лет – для пород, преобразованных в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций (Kozlov et al., 1995) (рис. 2). Главным замечанием к этим цифрам сторонников палеопротерозойского возраста являлось то, что, как известно, Rb-Sr система является наименее устойчивой (по сравнению, например, с Sm-Nd) в связи с большей мобильностью Rb и Sr при высокой температуре ($> 600^\circ\text{C}$) или под воздействием флюидов (Faure, 1986; Levsky et al., 2009), поэтому эти результаты могли быть искажены метаморфическими процессами.

Для уточнения вопроса о возрасте формирования супракрустальных комплексов ЛГП нами в районе р. Яурийоки (район III на рис. 1) были проведены дополнительные исследования. В пределах пояса, вблизи его контакта с подстилающим гнейсовым комплексом Беломорья, были изучены

детальное изучение состава метаморфитов, слагающих эти комплексы. С этой целью были исследованы и опробованы биотит-амфиболовые и мусковит-биотитовые гнейсы, обнаженные в низах разреза ЛГП, а также биотитовые гнейсы комплекса основания, интерпретируемые как метаграувакки (рис. 3).

Дискриминантным анализом всей совокупности опробованных пород была рассчитана дискриминантная функция отличия названных комплексов. При средних значениях $D=1062.8$ для метаграувакк обрамления и $D=850.8$ для метавулканитов ЛГП и граничном значении $D=956.8$ для этих совокупностей пояса в целом, метаморфиты района р. Юрийоки характеризуются медианным значением $D=896.5$. Только в одной точке, Я-108, данный параметр незначительно превышает пороговое значение (рис. 1, табл. 1), что, скорее всего, связано с процессами выветривания – при пересчете на нормативный минеральный состав лишь в этой пробе также фиксируется незначительное количества нормативного корунда (Al_2O_3) и отсутствие нормативного диопсида, характерного для других пород этой группы. В ней же наблюдается слегка повышенное значение индекса выветривания (CIW).

Подстилающие ЛГП биотитовые и мусковит-биотитовые гнейсы в данном районе, как указано выше, интерпретируются по протоприроде как метаграувакки, что подчеркивается параметрами CIW (табл. 1). Пересчет на нормативный минеральный состав фиксирует для всех без исключения проб пород этой группы устойчивое избыточное содержание Al_2O_3 при отсутствии нормативного диопсида, что также надежно различает их и метаморфиты пояса.

Данные о составе пород ЛГП в данном районе в целом и пробы Я-30, из которой были отобраны цирконы для изучения возраста, в частности, не позволяет предполагать сколько-нибудь существенного участия в формировании вещества пород, выбранных в качестве объекта геохронологических исследований, вещества пород комплекса основания, а также процессов выветривания.

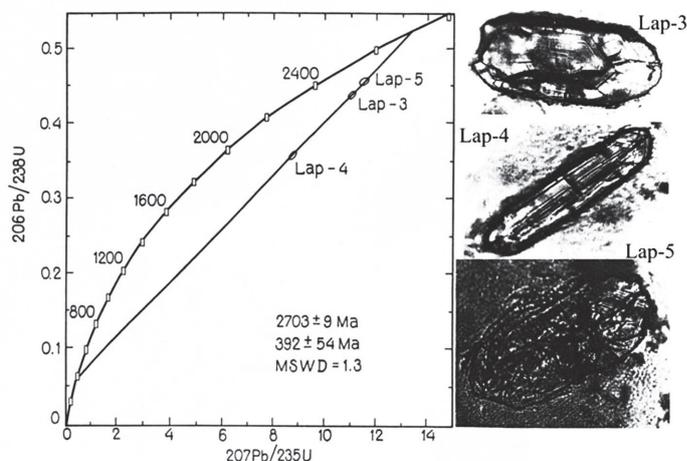


Рис. 4. U-Pb изохрона по цирконам из метадацитов района р. Юрийоки (проба Я-30, анализирована под номером Lap-16). На врезке – фотографии цирконов различных фракций.
Fig. 4. U-Pb isochrone for zircons from metadacites of the Yaurijoki River region (sample Ya-30, analyzed under the number Lap-16). The inset shows photographs of zircons of various fractions.

Результаты датирования пород ЛГП из района р. Юрийоки приведены на рисунке 4. Они фиксируют возраст – 2703 ± 9 млн. лет ($n=3$, СКВО-1.3), аналогичный полученному ранее Rb-Sr методом. Для датирования нами выбирались прозрачные, не содержащие ядер зерна циркона, имеющие как удлиненно-призматическую, так и овально-удлиненную форму, с отчетливой тонкой зональностью (рис. 4). При этом в пробе преобладали цирконы с $K_y = 1.5-2.0$, что также довольно характерно для кислых эффузивов. При этом умеренное содержание U (Lap 4 – 0.0306 %; Lap 5 – 0.0380 %) не исключает, по аналогии с другими регионами (Бибикова и др., 1983), что полученная цифра может отражать не возраст формирования протолитов, а время их метаморфического преобразования. Это вполне объяснимо, если учесть, что не так давно для пород ЛГП в районе Кандалакшских тундр зафиксированы цифры чуть более древнего возраста – 2799 ± 4 млн. лет (Korikovskiy et al., 2014).

Таблица 1. Сравнение состава метадцитов низов разреза ЛПП (I) и метаграувакк Беломорского комплекса из района р. Юриййоки (II).
 Table 1. Comparison of the composition of metadacites from the bottom of the LGP section and metagraywacke of the Belomorian complex from the area of the Yaurijoki River.

Комплекс	Номера проб	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	CIW	D	
I	Я-12	67.88	0.49	13.65	0.13	5.19	0.05	2.23	3.65	3.88	1.46	51.1	877.5	
	Я-14	66.09	0.71	13.03	2.01	4.65	0.08	2.89	3.70	3.30	1.87	51.8	915.6	
	2494	66.70	0.45	14.56	1.58	2.39	0.02	2.44	2.60	6.52	1.68	48.6	811.3	
	Я-29	63.95	0.52	14.45	0.18	4.82	0.02	3.56	1.75	7.15	1.50	49.1	823.6	
	Я-30	66.74	0.54	13.72	2.14	2.51	0.01	3.69	2.43	4.36	2.21	53.5	943.2	
	2495	65.14	0.48	14.98	2.00	2.99	0.03	3.34	2.40	5.25	2.16	53.2	932.3	
	Я-108	67.94	0.40	13.30	0.81	3.66	0.02	3.45	1.88	3.91	2.42	2.42	57.2	957.8
	Я-101/2	66.31	0.54	15.41	1.45	5.78	0.08	1.83	2.74	3.02	3.02	1.65	61.1	1071.6
	Я-100	66.32	0.68	14.22	2.03	4.93	0.05	1.82	3.01	3.02	2.24	2.24	57.6	1005.7
	Я-8	65.75	1.02	15.31	1.57	4.78	0.07	1.16	3.23	3.89	1.66	1.66	55.5	1019.2
II	2491	67.55	0.64	13.29	1.25	4.64	0.03	3.10	0.88	3.41	2.42	64.6	1069.3	
	2493	66.28	1.29	14.03	5.45	3.25	0.02	0.82	0.95	2.78	3.11	68.5	1188.7	

CIW = $Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O) \times 100$ (Hannois, 1988) – индекс выветривания (weathering index).

D = $7.37 SiO_2 + 111.65 TiO_2 + 51.52 Al_2O_3 + 10.13 Fe_2O_3 + 5.06 FeO + 14.62 MnO + 19.32 MgO - 55.01 CaO - 60.53 Na_2O - 10.82 K_2O$

Таблица 2. Средний состав метаандезитов, встречающихся в пределах ЛПП, и кварцевых диоритов г. Окагьева, Кандалакшские тундры.
 Table 2. The average composition of metaandesites occurring within the LGB and quartz diorites of Mt. Okatiev mountain, Kandalaksha Tundra.

Районы взятия проб	Кол-во проб	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Σ FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Колвицкие тундры	1	59.50	0.40	12.74	12.41	0.19	2.75	6.68	2.12	0.58
Сальные тундры	2	59.78	0.79	15.31	7.34	0.12	4.18	6.72	3.61	0.97
Финляндия	5	59.03	0.49	15.44	9.89	0.19	2.85	7.13	2.75	0.52
Норвегия	4	59.82	0.57	14.71	8.45	0.14	3.32	6.59	2.85	1.04
Кандалакшские тундры, г. Окагьева	9	60.54	0.32	17.39	4.81	0.07	2.90	5.99	3.93	1.19
Разница в содержании элементов в породах ЛПП и г. Окагьева*		1.01	1.25	1.13	1.53	1.71	–	1.11	1.09	1.14

*) В случае, если значения содержания элемента для пород ЛПП превышают его значение для пород г. Окагьева, для вычислений брались минимальные средние значения в одной из групп пород ЛПП, которое делилось на значение содержания его в породах г. Окагьева, если же оно было ниже в породах ЛПП, чем в породах г. Окагьева, расчет был обратный. Жирным шрифтом выделены максимальные значения таких различий, превышающие значение 1.2.

Полученные результаты в совокупности с приведенными выше данными, полученными ранее Rb-Sr методом, с высокой долей вероятности свидетельствуют в пользу вывода об архейском возрасте протолитов пород низов разреза ЛГП. При этом они находятся в противоречии с материалами группы авторов, казалось бы, убедительно показавших, что протолиты пород, исследованные ими в районе Кандалакшских тундр (на рис. 1 – район под номером V), на г. Окатьева, которые они считают метаандезитами низов разреза пояса, по данным U-Pb датирование цирконов имеют возраст 2473 ± 3 млн. лет (Балаганский и др., 1998). Мы посчитали неверным оставить без объяснения эти результаты исследования наших коллег.

Согласно геологическим наблюдениям, изученные на г. Окатьева породы и по материалам названных авторов, и по нашим наблюдениям, действительно чередуются в разрезе с амфиболитами нижней пачки разреза ЛГП. Но, как представляется нам, эта ситуация не может быть доказательством их однозначной принадлежности к разрезу метавулканитов пояса. Напомним, что в данном районе, также как и в Колвицких тундрах, этими же авторами, как и многими до них (Виноградов и др., 1980; Крылова, 1983 и др.), описаны крупные пластовые тела интрузивных анортозитов и метаанортозитов, залегающие субсогласно с породами пояса. И нельзя исключать, что породы, определенные в упомянутой выше работе как «метаандезиты», также являются субсогласно залегающими первично интрузивными образованиями, принадлежащими к магматическому комплексу, сложенному преимущественно анортозитами и метаанортозитами.

Подобных сомнений у названных исследователей не возникло, поскольку они детально не исследовали состав этих пород. Нами же такое исследование было специально проведено. Установлено, что данные породы имеют крайне постоянный на всей изученной площади, как на г. Окатьева, так и за ее пределами, химический состав, принципиально отличный от состава метандезитов, которые достаточно редко, но все-таки встречаются в этом и других частях ЛГП (табл. 2). Заметим, что и сам факт столь широкого развития пород среднего состава в районе г. Окатьева при крайне ограниченном распространении (а иногда и полном отсутствии) метаандезитов в других исследованных разрезах ЛГП, также вызывает вопросы.

Сравнение среднего состава данных пород г. Окатьева и метаандезитов других районов ЛГП, проведенное по специально разработанным Е.В. Мартыновым методикам, описанным в работе (Sorokhtin et al., 2020), показывает их различие, особенно четко проявившееся по содержанию Ti, Fe и Mn (табл. 2). Сопоставление этих пород с анортозитами и метаанортозитами, а также с метаандезитами ЛГП по содержанию данных элементов показывает их значимое отличие от метавулканитов пояса при их незначимом отличии от интрузивных образований анортозитового комплекса (табл. 3). На сходство этих «метаандезитов» с породами анортозитового комплекса указывает и несколько повышенное в них, в сравнении с метаандезитами ЛГП, содержание Al_2O_3 и Na_2O (табл. 2), что является и характерной особенностью анортозитов и метаанортозитов.

Таблица 3. Значение отличия по содержанию TiO_2 , $\sum FeO$ и MnO кварцевых диоритов г. Окатьева от метаанортозитов и метаандезитов ЛГП.

Table 3. Significance of the difference in the content of TiO_2 , $\sum Fe$ and MnO of quartz diorites of Mt. Okatiev from metaanorthosites and metaandesites of LGP.

	Метаандезиты (12 проб)	Метаанортозиты (84 пробы)
Кварцевые метадиориты г. Окатьева (9 проб)	14.02*	2.14
Метаандезиты ЛГП	–	22.42

*) значение коэффициентов статистики Пури-Сена-Тамуры (Puri, Sen, 1971; Tamura, 1966). Отличия значимы для уровня значимости 0.05 при превышении величины 7.815. Жирным выделено незначимое отличие.

Таким образом, с высокой долей вероятности породы среднего состава, опробованные В.В. Балаганским с коллегами (1998) на г.Окатьева (и названные ими метаандезитами), являются не составной частью супракрустального разреза ЛГП, а кварцевыми диоритами, дифференциата-

ми интрузии анортозитов, залегающими субсогласно с метавулканидами ЛГП. Это, на наш взгляд, хорошо объясняет и полученные для них сходные с анортозитами цифры абсолютного возраста (2.45 млрд. лет, по (Митрофанов и др., 1993)). Заметим, что иных безоговорочных данных о палеопротерозойском возрасте метавулканидов ЛГП, то есть сведений, противоречащих точке зрения об их неархейском возрасте, нам не известно.

Вывод о неархейском возрасте протолита метавулканидов ЛГП снимает многие вопросы, и главный их них – о несоответствии данных геодинамических реконструкций условий формирования пояса и палеорифтогенных комплексов Печенгской структуры (Смолькин, 1992; Козлов, 1995; Kozlov et al., 2021). Нам представляется, что практически одновременное формирование континентальной проторифтогенной Печенгской структуры и расположенного на не столь значительном удалении от нее протоостроводужного комплекса ЛГП, если и тот, и другой считать палеопротерозойскими, маловероятно и требует очень смелых геодинамических построений. Важным является также факт принципиального отличия по вещественному составу метавулканидов ЛГП от всех палеопротерозойских структур региона при их сходстве с архейскими образованиями (Kozlov et al., 2010; Kozlov et al., 2018; Sorokhtin et al., 2020).

Выводы о неархейском возрасте протолитов пород ЛГП и их протоостроводужной природе (Козлов, 1995) позволяют представить наиболее непротиворечивую модель формирования архейских комплексов Кольского региона и более четко определить в ней место супракрустальных комплексов пояса (Kozlov et al., 2018; Sorokhtin et al., 2020). При этом они хорошо согласуются с выводами о существовании на этом этапе архейской истории Кольского региона, к северо-востоку от ЛГП, древней субдукционной зоны, в пределах которой формировались эклогиты и эклогитоподобные породы (Balagansky et al., 2015).

Выводы

По результатам U-Pb датирования установлено, что возраст пород ЛГП составляет 2703 ± 9 млн лет ($n=3$, СКВО-1.3). Эти данные сходны с ранее полученными Rb-Sr методами цифрами – 2700 ± 44 млн. лет для метаморфитов, преобразованных в условиях амфиболитовой фации и 2690 ± 33 млн. лет для метаморфитов, сформировавшихся в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций. При этом можно предполагать что данная цифра отражает не возраст формирования протолитов пород, а время их метаморфического преобразования.

С высокой долей вероятности можно полагать, что породы среднего-кислого состава, по которым ранее В.В. Балаганским с коллегами (1998) U-Pb методом, был получен возраст 2473 ± 3 млн.лет, считавшийся временем заложения Лапландского гранулитового пояса, являются не составной частью его супракрустального разреза, а кварцевыми диоритами интрузивного комплекса – дифференциатами интрузии анортозитов.

Авторы выражают благодарность Т.С. Марчук за работу по оформлению данной публикации.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания № АААА-А19-119100290148-4 (FMEZ-2022-0025) и № 0128-2021-0004.

Литература

1. Андреев В.П. Геология и петрология метаморфических пород хребта Сальные тундры на Кольском полуострове. Автореф. дисс. канд. геол. мин. наук. М. Изд-во: МГУ. 1983. 23 с.
2. Балаганский В.В. Тектоностратиграфический террейн-анализ как основа для тектонического районирования // Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. Т. 1. Геология, геохронология, геодинамика. Апатиты. Изд-во: КНЦ РАН. 2002. С. 44–56.
3. Балаганский В.В., Тиммерман М.Я., Кислицын Р.В., Дэйли Дж.С., Балашов Ю.А., Ганнибал Л.Ф., Шерстеникова О.Г., Рюнгген Г.И. Изотопный возраст пород Колвицкого пояса и Умбинского блока (юго-восточная ветвь Лапландского гранулитового пояса), Кольский полуостров // Вестник МГТУ. Т. 1. № 3. 1998. С. 19–32.
4. Беляев К.Д. Новые данные о структуре, геологии и металлогении гранулитовой формации Кольского полуострова // Проблемы магматизма Балтийского щита. Л. Изд-во: Наука. 1971. С. 218–225.

5. Бибикина Е.В., Кириозова Т.И., Грачева Т.В. Изотопный возраст древнейших гранитоидов Приднестровья // *Геохимия*. № 7. 1983. С. 997–1004.
6. Бибикина Е.В., Мельников В.Ф., Авакян К.Х. Лапландские гранулиты: петрология, геохимия и изотопный возраст // *Петрология*. 1993. Т. 1. № 2. С. 215–234.
7. Богданова М.Н., Ефимов М.М., Сорохтин Н.О. Элементы архейской геодинамики в северо-западном Беломорье // *Геодинамика и глубинное строение Советской части Балтийского щита. Апатиты*. Изд-во: КНЦ РАН. 1992. С. 81–92.
8. Виноградов Л.А., Богданова М.Н., Ефимов М.М. Гранулитовый пояс Кольского полуострова. Л. Изд-во: Наука. 1980. 208 с.
9. Вревский А.Б., Другова Г.М., Козлов Н.Е., Скублов С.Г. К геохимии редкоземельных элементов в Лапландском гранулитовом комплексе (Балтийский щит) // *Вестник МГТУ*. 2000. Т. 3. № 2. С. 315–324.
10. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС. В 2-х томах. М. Изд-во: ГЕОКАРТ. ГЕОС. 2010. 400 с. + 36 с. цв. вкл.
11. Ивлиев А.И. Геология метаморфических комплексов Лапландского гранулитового пояса (Сальные тундры, Кольский полуостров). Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. М. Изд-во: МГУ. 1977. 23 с.
12. Козлов Н.Е. Вещественный состав метаморфических комплексов высокобарных гранулитовых поясов и проблема формирования их протолитов (на примере Лапландских гранулитов) // Автореф. дис. докт. геол.-мин. наук. СПб. Изд-во: ИГГД. 1995. 36 с.
13. Козлов Н.Е., Иванов А.А., Нерович Л.И. Лапландский гранулитовый пояс - первичная природа и развитие. Апатиты. Изд-во: КНЦ АН СССР. 1990. 170 с.
14. Крылова М.Д. Геолого-геохимическая эволюция лапландского гранулитового комплекса. Л. Изд-во: Наука. 1983. 159 с.
15. Миллер Ю.В., Милькевич Р.И. Покровно-складчатая структура Беломорской зоны и ее соотношение с Карельской гранит-зеленокаменной областью // *Геотектоника*. № 6. 1995. С. 80–92.
16. Митрофанов Ф.П., Балаганский В.В., Балашов Ю.А., Ганнибал Л.Ф., Докучаева В.С., Нерович Л.И., Радченко М.К., Рюнгенен Г.И. U-Pb возраст габбро-анортозитов Кольского полуострова // *Докл. РАН*. Т. 331. 1993. С. 95–98.
17. Прияткина Л.А., Шарков Е.В. Геология Лапландского глубинного разлома (Балтийский щит). Л. Изд-во: Наука. 1979. 127 с.
18. Смолькин В.Ф. Коматиитовый и пикритовый магматизм раннего докембрия Балтийского щита. СПб. Изд-во: Наука. 1992. 272 с.
19. Терехов Е.Н. Лапландского-Беломорский подвижный пояс как пример корневой зоны палеопротерозойской рифтовой системы Балтийского щита // *Литосфера*. № 6. 2007. С. 15–39.
20. Терехов Е.Н., Левицкий В.И. Гранулиты Лапландского пояса: редкоземельные элементы и проблема петрогенезиса // *Изв. ВУЗов. Геология и разведка*. № 5. 1993. С. 3–18.
21. Balagansky V.V., Shchipansky A., Slabunov A.I., Gorbunov I., Mudruk S., Sidorov M., Azimov P., Egorova S., Stepanova A., Voloshin A. Archaean Kuru-Vaara eclogites in the northern Belomorian Province, Fennoscandian Shield: crustal architecture, timing, and tectonic implications // *International Geology Review*. 2015. V. 57. P. 1543–1565. <https://doi.org/10.1080/00206814.2014.958578>.
22. Barbey P., Convert J., Moreau B., Capdevila R. and Hameurt J. Petrogenesis and evolution of an early Proterozoic collisional orogenic belt: The granulite belt of Lapland and the Belomorides (Fennoscandia). *Bull. Geol. Soc. Finland*. V. 1–2. 1984. P. 161–188.
23. Cagnard F., Barbey P., Gapais D. Transition between «Archaean-type» and «modern-type» tectonics: Insights from the Finnish Lapland Granulite Belt // *Precambrian Research* 187(1):127-142 DOI: 10.1016/j.precamres.2011.02.007.
24. Faure G. *Principles of Isotope Geology*. John Wiley and Sons, Inc.: USA. 1986. 589 P. ISBN 0-471-86412-9.
25. Harnois L., The CIW index: a new chemical index of wetherin // *Sedimentary Geology*. V. 55. 1988. P. 319–322.
26. Huhma H. and Meriläinen K. Provenance of paragneisses from the Lapland Granulite Belt. *Res Terrae, Ser. A, University of Oulu*. V. 5. 1991. P. 26.
27. Korikovskiy S.P., Kotov A.B., Sal'nikova E.B., Aranovich L. Ya. The Age of the Protolith of Metamorphic Rocks in the Southeastern Part of the Lapland Granulite Belt, Southern Kola Peninsula: Correlation with the Belomorian Mobile Belt in the Context of the Problem of Archean Eclogites // *Petrology* 22(2). March 2014. P. 91-108. DOI: 10.1134/S0869591114020040.
28. Kozlov N.E., Avedisyan A.A., Balashov Y.A., Ivanov A.A., Kamienskaya A.D., Muhamedova I.W. Some new aspects of geology, deep structure, geochemistry and geochronology of the Lapland Granulite Belt, Baltic Shield. *Geology of the eastern Finnmark-Western Kola Peninsula region. Geol. Surv. Nor.Bull.* V. 7. 1995. P. 157–166.

29. Kozlov N.E., Sorokhtin N.O., Martynov E.V. Geodynamic Evolution and Metallogeny of Archaean Structural and Compositional Complexes in the North-western Russian Arctic Minerals. 2018. V. 8(12). P. 573. <https://doi.org/10.3390/min8120573> Received: 19 October 2018 / Revised: 16 November 2018 / Accepted: 3 December 2018 / Published: 6 December 2018. P. 1–18.
30. Kozlov N.E., Sorokhtin N.O., Martynov E.V., Lapland Granulite Belt–Neoproterozoic subduction zone in the North-Eastern Baltic shield // *Applied Earth science*: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/25726838.2021.1930965>
31. Kozlov N.E., Sorokhtin N.O., Martynov E.V., Kozlova N.E. Geochemistry International. Basic rocks of the Lapland Granulite Belt and compositional heterogeneity of the Early Precambrian mantle // *Геохимия*. 2010. Т. 48. № 5. С. 505–509.
32. Levsky L.K., Morozova I.M., Levchenkov O.A., Baykova V.S., Bogomolov E.S. Isotopic-geochronological systems in metamorphic rocks: Pon’goma Island, Belomorian mobile belt // *Geochemistry International*. 2009. V. 47. P. 215–232. <https://doi.org/10.1134/S001670290903001X>.
33. Marker M. Early proterozoic (c. 2000–1900 Ma) crustal structure of the northeastern Baltic Shield: Tectonic division and tectogenesis // *NGU Bull.* 1985. V. 403. P. 55–74.
34. Mints M.V. Paleotectonic reconstruction of the Early Precambrian in the Eastern Part of the Baltic Shield. Part 1. Early Proterozoic // *Geotectonics*. V. 27. No. 1. 1993. P. 34–50.
35. Sorokhtin N.O., Kozlov N.E., Glaznev V.N., Martynov E.V. A Study in Earth’s Geological Evolution (The Baltic Shield) Copyright: 2000–2020 by John Wiley & Sons, Inc. / Expected Pub Date: 2020 // ISBN: 9781119650973 / Hardcover 588 p.
36. Puri M.L., Sen P.K. Nonparametric methods in multivariate analysis. New York: John Wiley & Sons. 1971. 677 p.
37. Tamura R. Multivariate nonparametric several-sample tests // *The Annals of Mathematical Statistics*. V. 37. No. 3. 1966. P. 611–618.