

УДК 552.163

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ЯТУЛИЙСКОМ (2,1 МЛРД ЛЕТ) МЕТАМОРФИЗМЕ В БЕЛОМОРСКОМ ПОДВИЖНОМ ПОЯСЕ

В. М. Козловский^{1,*}, В. М. Саватенков^{2,3}, Л. Б. Терентьева², Е. Б. Курдюков¹

Представлено академиком РАН И.Д. Рябчиковым 29.11.2016 г.

Поступило 29.11.2016 г.

Проведена оценка изотопного Sm–Nd-возраста апоамфиболитовых эклогитов, эклогитоподобных гранат-клинопироксеновых кристаллических сланцев, отобранных в Чупинском и Энгозерском сегментах Беломорского подвижного пояса (БПП). Эклогиты и эклогитоподобные породы показали по паре минералов гранат–клинопироксен практически один и тот же изотопный возраст: эклогиты — 2119 ± 170 , эклогитоподобные гранат-клинопироксеновые породы — 2191 ± 39 млн лет. Полученный возраст ~2,1 млрд лет — наиболее древний указатель начала палеопротерозойского метаморфизма в БПП.

Ключевые слова: Беломорский подвижный пояс, высокобарный метаморфизм.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524853341-345>

Палеопротерозойский метаморфизм Беломорского подвижного пояса (БПП) северной Карелии обычно сопоставляют с формированием Лапландско-Кольского коллизионного орогена, ядро которого — Лапландский гранулитовый пояс [13]. Основные импульсы гранулитового метаморфизма высокого давления в Лапландском гранулитовом поясе происходили в интервале 1925–1916 млн лет [1, 2]. В краевой части Лапландско-Кольского орогена, сложенной породами Хетоламбинского и Чупинского покровов, пик метаморфизма соответствовал амфиболитовой фации и был проявлен более чем на 40 млн лет позднее — 1875 ± 5 млн лет [1]. По [4, 5] формирование гранулитов Лапландского пояса представляло цепь метаморфических событий, растянутых во временном интервале 1945–1870 млн лет. Более древние (старше 2,0 млрд лет) датировки метаморфических пород, отвечающие палеопротерозойскому этапу развития БПП, не были получены.

Однако анализ термобарометрических, геохронологических данных и геологических наблюдений указывает на предпосылки выделения во временном интервале 2,4–2,0 млрд лет метаморфизма компрессионного направления.

Во-первых, ранний палеопротерозойский (суммийский) этап развития БПП характеризовался рифтогенной обстановкой. Этот этап сопровождался внедрением интрузий габброноритов (2,44–2,36 млрд лет) и их кристаллизацией на незначительной глубине при 3–5,8 кбар [3] или 2,5 кбар [6]. Более поздний палеопротерозойский этап развития БПП, связанный с формированием Лапландско-Кольского коллизионного орогена (1,8–1,9 млрд лет), характеризовался метаморфизмом высокого давления и имел преимущественно ретроградную декомпрессионную направленность. Максимальные оценки давления для метаанортозитов Колвицкого массива составляли ~12 [14], для гранулитов Кандалакшского массива — 16,5 [10], для эклогитизированных даек Чупинского сегмента БПП — $10,0 \pm 0,5$ кбар [6]. Следовательно, в период 2,4–1,9 млрд лет породы БПП были подвержены компрессии, величина которой может быть оценена в 9 ± 5 кбар.

Во-вторых, в последние годы в пределах БПП были обнаружены массивы до 1 км в диаметре эклогитизированных гранатовых метагаббро, пик метаморфизма которых соответствовал условиям низкобарической эклогитовой фации: 13,1–15,0 кбар, 630–700 °C [8]. Эти параметры получены по центрам зональных кристаллов клинопироксена, граната, плагиоклаза. Краевые зоны кристаллов отражают ретроградные изменения в породах. Близкие параметры метаморфизма были получены для эклогитизированных амфиболитов из вмещающих пород: 12,5–13 кбар, 600–630 °C. Но в отличие от метагаббро во вмещающих породах максимальные пара-

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, Москва

² Институт геологии и геохронологии докембрия Российской Академии наук, Санкт-Петербург

³ Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета
*E-mail: bazil@igem.ru

метры метаморфизма были получены по краям зональных кристаллов клинопироксена, граната, плагиоклаза; центры таких кристаллов отражают проградные преобразования амфиболитов в эклогиты [7]. Такие соотношения позволили сделать вывод, что внедрение массивов метагаббро произошло на пике метаморфизма, а формирование эклогитового парагенезиса в дайках стало возможно в результате медленного субизобарического остывания на глубине, соответствующей 13–15 кбар [7, 8]. Возраст комплекса Grt-метагаббро $\approx 2,1$ млрд лет (2115 ± 25 [12], 2177 ± 11 млн лет [9]). Следовательно, возраст высокobarного метаморфизма вмещающих пород также должен быть близок к 2,1 млрд лет.

В нашем сообщении представлены первые результаты датирования высокobarных метаморфических минералов из апоамфиболитовых эклогитов и эклогитоподобных гранат-клинопироксеновых кристаллических сланцев. Эти породы сформировались в результате компрессионного метаморфизма и изофациальны с массивами эклогитизированных Grt-метагаббро [7]. Петрогенезис и возраст высокobarных минеральных ассоциаций в настоящее время — одна из наиболее дискуссионных областей исследований БПП.

На основании изучения серии из семи образцов для оценки возраста высокobarного метаморфизма были выбраны два наиболее представительных образца, для которых ранее было проведено подробное петрологическое и термобарометрическое исследование [7]. Апоамфиболитовые Grt-Омр-эклогиты (обр. КЛ-28) были отобраны в Чупинском сегменте БПП, в средней части южного берега о. Большой Кемлудский (рис. 1). Образец взят из субстратиформной линзы эклогитизированных амфиболитов (7×20 м), залегающей в толще гнейсовидных плагиомигматитов. Эклогит — мелко-среднезернистая массивная порфи́ро-гранобластовая порода, на $\approx 75\%$ сложенная высокobarным парагенезисом — омфаци́том ($Jd = 20-25$), гранатом ($Prp = 12-13$, $Grs = 24-29$), рути́лом, кварцем и содержит единичные зёрна равновесного с ними плагиоклаза ($An = 17-24$ мол. %). Около 25% породы занимает реликтовый амфибол паргаситового состава. По условиям залегания и петрографическим особенностям обр. КЛ-28 практически не отличим от хорошо известных эклогитов о. Столбиха в районе с. Гридино. Параметры пика метаморфизма в образце КЛ-28, оцененные по внешним зонам кристаллов граната, клинопироксена, плагиоклаза, составляли 12,5–12,8 кбар, 600–630 °С. Параметры

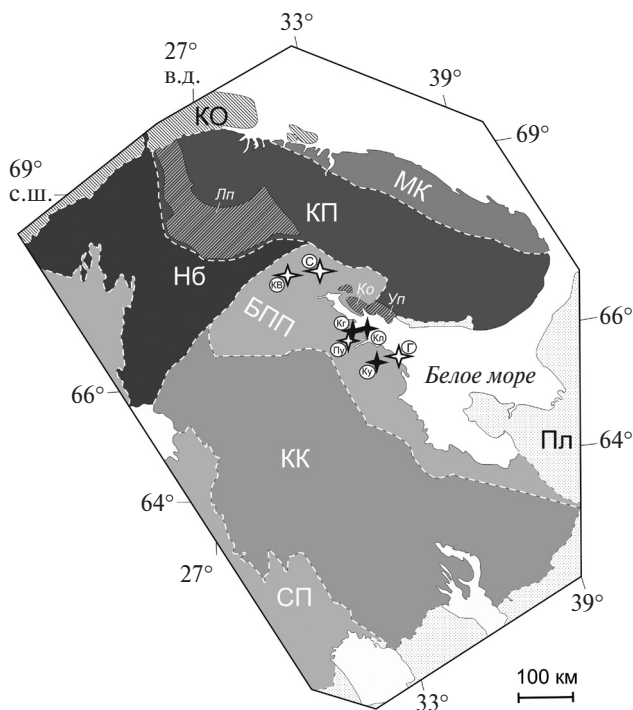


Рис. 1. Положение Беломорского подвижного пояса на схеме тектонического районирования Фенноскандинавского щита [11]. БПП — Беломорский подвижный пояс, КК — Карельский кратон, МК — Мурманский кратон, КП — Кольская провинция, Нб — провинция Норрботтен, СП — Свекофеннская провинция, КО — области Каледонского орогенеза, Пл — платформенный чехол, Лп, Уп, Ко — Лапландская, Умбинская, Колвицкая зоны гранулитов. Чёрные звездочки — участки проявления высокobarного метаморфизма, на которых отобраны пробы для Sm-Nd датирования; белые звездочки — другие известные участки, на которых обнаружены высокobarные породы. Название участков: Кл — Кемлудские о-ва, Кг — Красная губа, Ку — Верхняя Куземка, Пу — Верхнее Пулонгское озеро, Г — Гридино, С — Салма, КВ — Куру-Ваара.

начала проградного метаморфизма, измеренные по центральным зонам этих же минералов, 10,9–11,8 кбар, 580–610 °С [7].

Апоамфиболитовые Grt-Aug-эклогитоподобные породы (обр. КУЗ-3) были отобраны в Энгозерском сегменте БПП в среднем течении р. Верхняя Куземка в борту придорожного карьера на 453 км трассы Мурманск—Санкт-Петербург. Образец взят из метаморфической жилы мощностью $\sim 0,4$ м и протяжённостью ~ 3 м, залегающей в амфиболитах субсогласно их полосчатости. Жила имеет неровные волнистые контакты с амфиболитами и многочисленные апофизы. Эклогитоподобные породы массивного строения и обладают гранобластовой или пойкилобластовой структурой. Эти породы, как и эклогиты, сложены на $\sim 75\%$ высокobarным па-

рагенезисом — клинопироксеном (авгит с долей $Jd \approx 1-2$), гранатом ($Prp = 8-10$, $Grs = 39-41$), сфеном, кварцем и содержат единичные зёрна плагиоклаза ($An = 34-43$ мол.%). Содержание реликтового амфибола не более 5%. Весьма высокая доля этой породы (обычно >20%) приходится на поствысокобарные минералы: эпидот, скаполит, кальцит, тремолит. Параметры пика метаморфизма, оцененные по внешним зонам граната, клинопироксена, плагиоклаза в обр. КУЗ-3, составляли 10,3–11,1 кбар, 650–700 °С. Параметры начала проградного метаморфизма, измеренные по центральным зонам этих же минералов, составляли 9,0–9,8 кбар, 590–610 °С [7].

Для оценки возраста высокобарного метаморфического события был выбран Sm–Nd-метод датирования по метаморфическим минералам — гранату, клинопироксену. Эти же минералы использовали ранее для термобарометрии. Информация о возрасте метаморфизма, полученная по зонам в акцессорном цирконе, представляется нам в данном случае трудно интерпретируемой по причине неоднозначности петрогенезиса различных зон циркона.

Изотопные исследования проводили в лаборатории геохимии изотопов ИГГД РАН по методике в [8]. Учитывая маломинеральность исследуемых пород и возможную изотопную неравновесность породы в целом (как правило, вследствие наличия реликтовых или новообразованных минералов, сформировавшихся ранее или позднее главной ассоциации), многоточечные изохроны получить не удалось, поэтому возраст породы оценивали по паре минералов гранат—клинопироксен. Результаты анализов приведены в табл. 1.

Возраст апоамфиболитовых эклогитов (обр. КЛ-28), полученный по двум точкам (гранат—клинопироксен) на диаграмме $^{147}Sm/^{144}Nd-^{143}Nd/^{144}Nd$ 2119 ± 170 млн лет (табл. 1, рис. 2а). Эклогитопод-

обные Grt—Cpx-породы на участке Верхняя Куземка (обр. КУЗ-3, линия гранат—клинопироксен) дали возраст 2191 ± 39 млн лет назад (табл. 1, рис. 2б). С учётом ошибок определения возраста эклогиты (обр. КЛ-28) и эклогитоподобные породы (обр. КУЗ-3) показали по одной и той же паре минералов один и тот же изотопный возраст. Учитывая, что эти две породы имеют одну петрогенетическую природу: образовались по одному протолиту, имеют практически одинаковый минеральный состав и характерные особенности минеральных взаимоотношений, характеризуются одинаковой эволюцией составов минералов, сформировались на пике метаморфизма при весьма близких *PT*-параметрах, петрографически трудно отличимы друг от друга — определение возраста по двум точкам можно считать достоверным фактом, а не случайной величиной. Полученные возрастные данные для обр. КЛ-28, КУЗ-3 >2,1 млрд лет — наиболее древние указатели начала палеопротерозойского метаморфизма в БПП.

Точки валовых составов пород обр. КЛ-28, КУЗ-3 на рис. 2а, б отстоят достаточно далеко от линии гранат—клинопироксен. Эти отклонения могут быть связаны с наличием реликтового (доэклогитового) амфибола в образце эклогита КЛ-28 и с наличием новообразованного тремолит—скаполит—кальцит—эпидотового парагенезиса в обр. КУЗ-3, сформировавшегося позже высокобарной минеральной ассоциации.

Таким образом, изотопное датирование высокобарных Grt—Cpx-ассоциаций подтвердило первоначальное предположение о том, что в ятулийское время внедрение массивов Grt-метагаббро с возрастом около 2,1 млрд лет [9, 12] происходило синхронно с высокобарным метаморфизмом вмещающих пород.

Ранее нами был оценен возраст формирования метаморфической ассоциации в дезинтегрирован-

Таблица 1. Nd-систематика палеопротерозойских высокобарных метаморфических пород БПП

Порода, образец	Минерал, фракция	Sm, ppm	Nd, ppm	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$\pm 2\sigma$	Возраст, млн лет
Апоамфиболитовый эклогит, обр. КЛ-28	WR	4,06	19,23	0,1277	0,511482	3	2119 ± 170 (Grt, Cpx)
	Cpx	1,57	5,51	0,1719	0,512034	3	
	Grt	0,51	1,48	0,2078	0,512534	7	
Апоамфиболитовая эклогитоподобная Grt—Cpx-порода, обр. КУЗ-3	WR	1,93	5,50	0,2125	0,513055	3	2191 ± 39 (Grt, Cpx)
	Cpx	0,30	1,77	0,1014	0,510774	5	
	Grt	0,15	0,35	0,2578	0,513032	17	
Эклогитизированное Grt-метагаббро, обр. КГ-17	WR	3,55	12,95	0,1655	0,512250	2	1953 ± 42 (Grt, Cpx)
	Cpx	1,37	3,26	0,2541	0,513293	5	
	Pl	0,04	0,17	0,1488	0,512031	10	
	Grt	0,84	1,20	0,4250	0,515490	23	

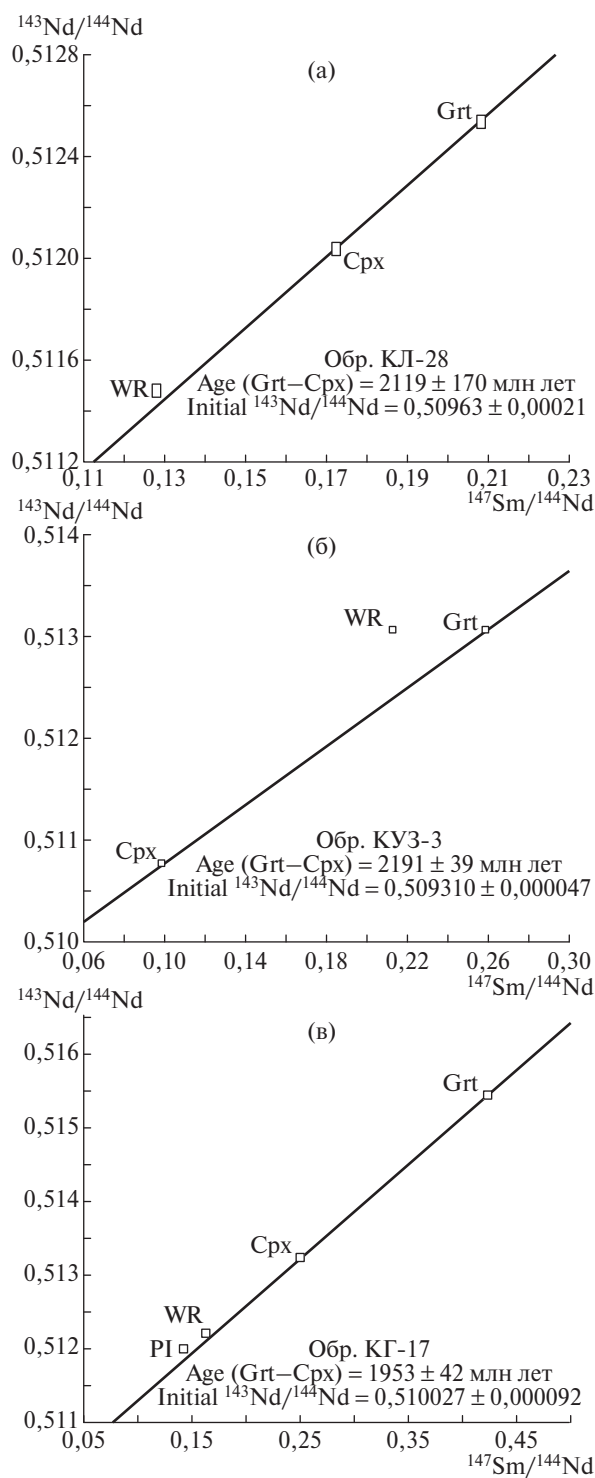


Рис. 2. Линии регрессии в координатах $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ – $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ для минералов (Grt — гранат, Cpx — клинопироксен, Pl — плагиоклаз, WR — валовый анализ пробы) из высокотемпературных пород БПП. а — апоамфиболитовые эклогиты из участка Кемь-Луды, обр. КЛ-28; б — апоамфиболитовые эклогитоподобные Grt-Cpx-породы из участка Верхняя Кузема, обр. КУЗ-3; в — эклогитизированные Grt-метагаббро, слагающие крупный дезинтегрированный массив на участке Красная губа, обр. КГ-17. Размеры прямоугольников соответствуют погрешностям измерения изотопного состава минералов.

ных малых интрузивных телах эклогитизированных гранатовых метагаббро, отобранных в Чупинском сегменте БПП в районе Красной губы (рис. 1). По Sm–Nd-изохроне (Grt-Pl-вал) возраст метаморфизма этого магматического комплекса составил 1901 ± 23 млн лет [8]. Однако учитывая, что плагиоклаз в этой породе наиболее сильно подвержен поствысокобарным изменениям, а валовый анализ породы включает в себя амфибол, также сформировавшийся после основного парагенезиса, мы считаем, что корректнее проводить оценку возраста не по изохроне, а по паре гранат–клинопироксен, отражающей собственно высокобарную ассоциацию. Возраст метаморфизма Grt-метагаббро (обр. КГ-17), оценённый таким образом, составляет 1953 ± 42 млн лет (рис. 2в). Этот возраст примерно на 160 млн лет моложе, чем возраст цирконов из этих пород, отражающий этап внедрения массивов метагаббро [9; 12].

Сопоставление полученных данных показывает, что метаморфический парагенезис в массивах метагаббро формировался несколько позднее, чем в окружающих их толщах амфиболитов (оценки возраста апоамфиболитовых эклогитов (обр. КЛ-28) и эклогитизированных метагаббро (обр. КГ-17) перекрываются незначительно). Это может быть объяснено тем, что при длительном субизобарическом остывании на большой глубине повышенная температура и циркуляция горячих флюидов способствовали продолжительному катионному и изотопному обмену между минералами в метагаббро. Следовательно, закрытие изотопного и катионного обмена в массивах метагаббро произошло, по-видимому, существенно позже, чем во вмещающих породах, слагающих относительно холодное обрамление вокруг этих массивов.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках базовой научной темы НИР № 0136–2018–0029 ИГЕМ РАН и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17–05–00329).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Библикова Е.В., Клаесон С., Глебовицкий В.А. и др. // Геохимия. 2001. № 10. С. 1116–1119.
2. Библикова Е.В., Мельников В.Ф., Авакян К.Х. // Петрология. 1993. Т. 1. № 2. С. 215–234.
3. Егорова С.В., Степанова А.В. Проблемы плит и плюм-тектоники в бокембрии. СПб.: ИГД РАН, 2011. С. 54–56.
4. Каулина Т.В., Беляев О.А., Апанасевич Е.А. и др. // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 34–53.

5. Каулина Т.В., Кислицын Р.В., Апанасевич Е.А. // Геохимия. 2004. № 6. С. 597–603.
6. Козловский В.М., Аранович Л.Я. // Геотектоника. 2008. № 4. С. 70–84.
7. Козловский В.М., Аранович Л.Я., Фришман Н.И. // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 5. С. 906–931.
8. Козловский В.М., Терентьева Л.Б., Саватенков В.М. и др. // ДАН. 2015. Т. 463. № 4. С. 455–462.
9. Скублов С.Г., Мельник А.Е., Марин Ю.Б. и др. // ДАН. 2013. Т. 453. № 3. С. 319–325.
10. Скублов С.Г., Терехов Е.Н. // ДАН. 2009. Т. 425. № 3. С. 384–390.
11. Слабунов А.И. Геология и геодинамика Архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенноскандинавского щита). Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2008. 296 с.
12. Степанова А.В., Ларионов А.Н., Бибикова Е.В. и др. // ДАН. 2003. Т. 390. № 4. С. 528–532.
13. Строение и динамика литосферы Восточной Европы / Под ред. Н.И. Павленковой. М.: Геокарт, Геос, 2006. 735 с.
14. Фонарев В.И. // ДАН. 2004. Т. 395. № 3. С. 397–402.

FIRST DATA ON YATULIAN (2.1 Ga) METAMORPHISM IN THE BELOMORIAN MOBILE BELT

V. M. Kozlovskiy¹, V. M. Savatenkov^{2,3}, L. B. Terentyeva², E. B. Kurdyukov¹

¹ Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

² Institute of Precambrian Geology and Geochronology
of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation

³ Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russian Federation

Presented by Academician of the RAS I.D. Ryabchikov November 29, 2016

Received November 29, 2016

The Sm–Nd isotope ages of apoamphibolite eclogites and eclogite-like garnet-clinopyroxene crystalline schists collected in the Chupa and Engozero segments of the Belomorian mobile belt are estimated. Eclogites and eclogite-like garnet–clinopyroxene rocks demonstrated nearly the same isotope age (2119 ± 170 and 2191 ± 39 Ma, respectively) on the same pair of minerals (garnet–clinopyroxene). The age obtained (about 2.1 Ga) is the oldest indicator of the onset of Paleoproterozoic metamorphism in the Belomorian mobile belt.

Keywords: Belomorian mobile belt, high-pressure metamorphism.