

ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 550.93:552.18:552.163

**Sm–Nd-ВОЗРАСТ КОЛВИЦКОГО Fe–Ti–V-МЕСТОРОЖДЕНИЯ,
ПОРЬЕГУБСКИЙ КЛИНОПИРОКСЕНИТ-ВЕРЛИТОВЫЙ
КОМПЛЕКС, КОЛЬСКИЙ РЕГИОН**

© 2024 г. П. А. Серов*, Н. Ю. Грошев

Представлено академиком РАН С. В. Кривовичевым 27.06.2024 г.

Поступило 27.06.2024 г.

После доработки 19.08.2024 г.

Принято к публикации 26.08.2024 г.

Впервые определен изотопный возраст пород порьегубского клинопироксенит-верлитового комплекса, вмещающего Колвицкое Fe–Ti–V-месторождение. Sm–Nd-взраст безрудных клинопироксенитов, преобладающих в изученном массиве, составляет 1858 ± 34 млн лет ($\varepsilon_{\text{Nd}}(T) = -1.5$) и интерпретируется как время внедрения порьегубского комплекса, произошедшего после пика гранулитового метаморфизма (1925–1915 млн лет). Обнаруженные зоны закалки в клинопироксенитах вокруг ксенолитов гранулитов указывают на внедрение комплекса в остывшие породы Лапландско-Кольского орогена, что согласуется с временем его остывания, оцененного ранее по рутилу (450° , 1880–1870 млн лет). Минерализованные породы, как предполагается по активной ассилияции ксенолитов гранулитов, формируются на поздней стадии развития комплекса: возраст минерализованных пироксенитов, обогащенных платиной и палладием (0.8 г/т), составляет 1832 ± 35 млн лет ($\varepsilon_{\text{Nd}}(T) = -2.0$), в то время как возраст титаномагнетитовых руд – 1823 ± 19 млн лет ($\varepsilon_{\text{Nd}}(T) = -2.5$). Таким образом, полученные изотопные данные указывают на внедрение малых ультрамафитовых интрузий, развитых в Кандалакшско-Колвицких гранулитах (Колвицком меланже), на стадии остывания Лапландско-Кольского орогена.

Ключевые слова: титан, ванадий, элементы платиновой группы, Sm–Nd-изотопный возраст, сульфиды, магнетит, Колвицкое месторождение, порьегубский комплекс, клинопироксенит-верлитовая формация, Кольский регион

DOI: 10.31857/S2686739724120052

Среди Кандалакшско-Колвицких гранулитов широко развиты малые мафит-ультрамафитовые интрузивы, представленные двумя комплексами: порьегубским (порьереченским) клинопироксенит-верлитовым и плотицьянским шрисгеймит-кортландит-габброноритовым. Колвицкое месторождение Fe–Ti–V-руд связано с первым из них. Вопрос о соотношении времени формирования этих интрузивов с пиком метаморфических преобразований в гранулитах является дискуссионным. С одной стороны, эти интрузивы расположены в пределах Колвицкого меланжа [1, 2] и могли сформироваться, по данным геологической карты Кольского региона [3], до коллизионного гранулитового метаморфизма. По существующим оценкам, гранулитовый метаморфизм

ограничивается интервалом от 1925 ± 1 млн лет [4] до 1915 ± 7 млн лет [5]. С другой стороны, недавнее датирование циркона из кортландитов массива Плотицья Варака (1913 ± 5 млн лет; [6]) показывает, что интрузивы могли образоваться в самом конце периода гранулитового метаморфизма и являются, таким образом, синколлизионными. Однако, некоторыми исследователями [7] отмечается наличие ксенолитов гранулитов в клинопироксенитах, что свидетельствует о формировании порьегубского комплекса в посторогенных условиях. Фактическое отсутствие геохронологической информации по порьегубскому комплексу определяет актуальность проведения изотопно-геохронологических исследований как части дискуссии, приведенной выше. Однако, поскольку U–Pb-датирование ультрамафитов сопряжено с трудностями выделения необходимого количества циркона, выбор Sm–Nd-изотопной системы для геохронологических исследований является предпочтительным. Sm–Nd-датирование

Геологический институт Кольского научного центра
Российской академии наук, Апатиты, Россия

*E-mail: p.serov@ksc.ru

выполнено для вмещающих и оруденелых пород Колвицкого месторождения, которое в последнее время привлекает к себе внимание из-за большого числа минералов группы платины, найденных в зонах сульфидной вкрапленности, оперяющих магнетитовые рудные тела [8].

ГЕОЛОГИЯ

Колвицкое Fe–Ti–V-месторождение (рис. 1) расположено в массиве Железный, входящем в состав порьегубского клинопироксенит-верлитового комплекса. Этот комплекс образует в структуре Кандалакшско-Колвицких гранулированных цепь массивов общей протяженностью более 20 км, ориентированную в северо-западном направлении [7–9]. Массив Железный размером 4 · 1 км сложен преимущественно клинопироксенитами (рис. 1). Подчиненная группа пород массива Железный представлена верлитами, оливинитами, вебстеритами, оливиновыми

клинопироксенитами и титаномагнетитовыми рудами (магнетититами) [10] и рассматривается исследователями как позднее образование (поздняя фаза) массива [11].

Титаномагнетитовые руды Колвицкого месторождения образуют крутопадающие тела мощностью до 50 м, которые прослеживаются по простиранию на расстояние до 1500 м, а на глубину – до 350 м. Среднее содержание железа в руде составляет 40%, оксида титана и ванадия – 7 и 0.2% соответственно [9, 10]. Вокруг титаномагнетитовых руд, в оливиновых клинопироксенитах и вебстеритах развивается зона сульфидной вкрапленности с содержанием халькопирита до 10%. С этой вкрапленностью связана платинометальная минерализация с содержанием Pt+Pd+Au до 1 г/т на мощность около 3 метров [11].

Полевые наблюдения показывают, что вблизи резких контактов безрудных крупно-средне-

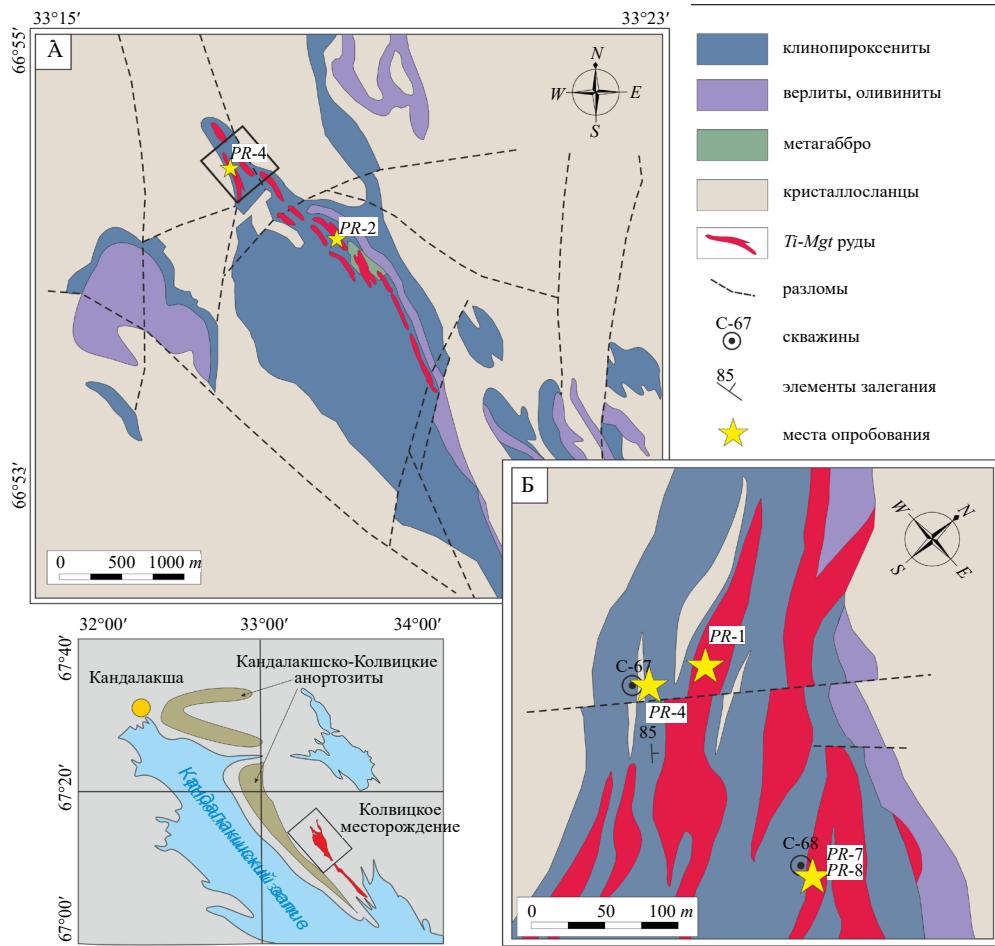


Рис. 1. Схема геологического строения массива Железный (а) и фрагмент детальной карты Колвицкого Fe–Ti–V-месторождения (б) (составлено по материалам [10]).

зернистых клинопироксенитов и гранат-пироксен-полевошпатовых кристаллосланцев (обломков гранулитов) образуется зона закалки в виде мелкозернистых пироксенитов мощностью до одного метра (рис. 2 а). В ксенолитах гранулитов происходит перекристаллизация части материала, появляются пегматоидные текстуры. Ксенолиты кристаллосланцев в минерализованных пироксенитах и титаномагнетитовой руде имеют постепенные границы, возникающие за счет ассилияции гранулитов. Титаномагнетитовая руда при этом обогащается гранатом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе полевых работ в пределах массива Железный для Sm–Nd-исследований была отобрана одна пробы клинопироксенитов (PR-4) и две пробы минерализованных пироксенитов из керна скважины (PR-7, PR-8), а также две пробы титаномагнетитовой руды из разведочных канав в северной (PR-1) и центральной (PR-2) части массива (рис. 1). Вес каждой пробы составляет около 5 кг.

Безрудные клинопироксениты представляют собой крупно-среднезернистые породы, состоящие из клинопироксена (75–80%), оливина (5–15%), буроватого амфибола (5–10%), ортопироксена (<1%) и апатита (ед. з.). Как правило,

клинопироксениты содержат замутненный пылевидными рудными минералами ксеноморфный пироксен и практически несерпентинизированный оливин. Минерализованные пироксениты (рис. 2 б) состоят из клинопироксена (20–86%), буроватого амфибола (5–10%), оливина (1–5%), ортопироксена (1–70%), рудных минералов (3–12%) и единичных зерен биотита, хлорита, серпентина, герцинита и апатита. Минерализованные пироксениты, как правило, обогащены клинопироксеном и имеют среднезернистое сложение; порфировидные структуры отмечаются в обогащенных ортопироксеном разностях. Главными рудными минералами являются магнетит, халькопирит, ильменит, пирротин, пентландит. Минералы платиновых металлов, установленные преимущественно в этих породах [8], представлены звягинцевитом, соболевскитом, станнопалладинитом, фрудитом, тетраферроплатиной и др. Содержание платины и палладия в пробе PR-8, по данным атомно-абсорбционного анализа (ГИ КНЦ РАН), составляет 0.8 г/т. Титаномагнетитовая руда (рис. 2 в) сложена, главным образом, магнетитом (60–90%), герцинитом (5–10%), ильменитом (3–7%) и содержит в различных количествах силикатные и сульфидные минералы (оливин, клинопироксен, амфибол, халькопирит, троилит, пентландит).

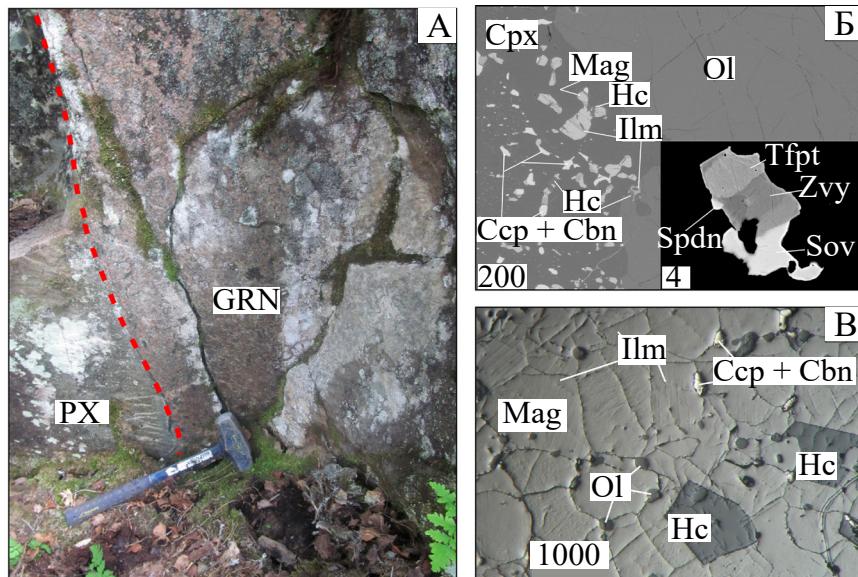


Рис. 2. (А) Фотография обнажения резкого контакта (выделено красным пунктиром) ксенолита гранулитов (GRN) и закаленных клинопироксенитов (PX) массива Железный. Длина кувалды 40 см. (Б) BSE-изображение минерализованного оливинового пироксенита, содержащего минералы платиновых металлов (на врезке). (В) Микрофотография титаномагнетитовой руды Колвицкого месторождения в отраженном свете. Масштабные линии – в мкм. Сср – халькопирит, Сbn – кубанит, Сpx – клинопироксен, Нс – герцинит, Илм – ильменит, Mag – магнетит, Оl – оливин, Sov – соболевскит, Spdn – станнопалладинит, Tfpt – тетраферроплатина, Zvy – звягинцевит.

Sm–Nd-метод

Измерения изотопного состава неодима и концентраций Sm и Nd проводились в Центре Коллективного Пользования ФИЦ КНЦ РАН (г. Апатиты) на 7-канальном твердофазном масс-спектрометре Finnigan-MAT 262 в статическом двухленточном режиме с использованием рениевых и tantalовых лент. Изотопные отношения были нормализованы по отношению $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$; изотопный состав неодима приведен к референсному значению в стандарте JNd-1 = 0.512115 [12]. Ошибки определения отношения $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ составили 0.3%, изотопного состава Nd в индивидуальном анализе – 0.003%, и до 0.005% для минералов с низкими концентрациями неодима и самария. Холостое внутрилабораторное загрязнение по Nd – 0.3 нг, по Sm – 0.06 нг. Точность определения концентраций Nd и Sm $\pm 0.5\%$. Более детальное описание методик химической пробоподготовки и масс-спектрометрического анализа приведено в работе [13]. При расчете величин $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ и модельных возрастов T_{DM} использованы современные значения CHUR $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512630$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1960$ [14]; DM $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.513151$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.2136$ [15] и константы распада самария $\lambda_{147} = (6.524 \pm 0.024) \cdot 10^{-12}/\text{год}$ [16]. Построение минеральных изохрон и расчет Sm–Nd-возрастов проводился с помощью онлайн-версии программы IsoplotR [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

Всего проанализировано 5 пород в целом (WR) и 17 монофракций породообразующих силикатных (пироксены, оливин, амфибол, апатит) и рудных минералов (пирротин, троилит, халькопирит, пентландит). Изотопные составы неодима в изученных образцах варьируют от 0.510986 до 0.512773, отношение $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ от 0.0890 для оливина до 0.2185 для клинопироксена (табл. 1). Концентрации неодима варьируют от 0.169 ppm до 459 ppm, самария – 0.037 ppm от до 72.3 ppm. Минимальные количества неодима и самария определены в сульфидах и оливине (доли ppm).

Минеральная Sm–Nd-изохрона для клинопироксенитов, построенная по породе в целом и породообразующим минералам, соответствует возрасту 1858 ± 34 млн лет, $\epsilon_{\text{Nd}}(T) = -1.5$ (рис. 3 а). Полученный возраст может рассматриваться как время формирования массива Железный. Массив, по-видимому, внедрился в кристаллосланцы после пика гранулитового метаморфизма, время которого оценивается интервалом 1925–1915 млн лет [4, 5]. Интересно отметить, что время формирования массива Железный совпадает в пределах ошибки с оценкой времени остывания гранулитов до температуры 450°C . Последняя была достигнута к рубежу 1880–1870 млн лет, судя по времени

Таблица 1. Результаты Sm–Nd-изотопных исследований для пород и минеральных фракций массива Железный

Образец	Концентрация, мкг/г		Изотопные отношения		T_{DM} , млн лет	$\epsilon_{\text{Nd}}(T)$
	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$		
Безрудный клинопироксенит 1858 ± 34 млн лет						
PR-4 WR	3.56	13.65	0.1577	0.512088±11	2887	-1.47
PR-4 Opx	1.722	5.87	0.1773	0.512348±14		
PR-4 Cpx	3.72	11.78	0.1907	0.512487±19		
PR-4 Ap	72.3	459	0.0951	0.511334±14		
PR-4 Amf	4.49	18.91	0.1436	0.511904±20		
Минерализованный пироксенит 1832 ± 35 млн лет						
PR-8 WR	3.03	13.16	0.1390	0.511840±17	2670	-2.05
PR-8 Ol	0.141	0.664	0.1285	0.511708±12		
PR-8 Cpx	4.39	14.37	0.1847	0.512385±17		
PR-8 Pyh	0.060	0.345	0.1052	0.511431±19		

Таблица 1. Окончание

Образец	Концентрация, мкг/г		Изотопные отношения		T_{DM} , млн лет	$\varepsilon_{Nd}(T)$
	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$		
PR-8 Pn	0.158	1.013	0.0944	0.511289 ± 22		
PR-8 Ccp	0.102	0.556	0.1107	0.511513 ± 22		
PR-7 WR	3.83	16.30	0.1422	0.511883 ± 9	2698	-1.96
PR-7 Opx	1.940	7.24	0.1620	0.512111 ± 19		
Титаномагнетитовая руда				1823 ± 19 млн лет		
PR-1 WR	2.225	10.16	0.1324	0.511745 ± 11	2631	-2.34
PR-1 Ol	0.252	1.712	0.0890	0.511205 ± 19		
PR-1 Cpx	3.59	11.02	0.1969	0.512516 ± 14		
PR-1 Ccp	0.057	0.322	0.1070	0.511462 ± 27		
PR-1 Tro	0.115	0.687	0.1012	0.511379 ± 23		
PR-2 WR	2.744	12.19	0.1360	0.511773 ± 9	2698	-2.77
PR-2 Cpx	5.18	14.33	0.2185	0.512773 ± 12		
PR-2 Ccp	0.092	0.621	0.0896	0.511225 ± 18		
PR-2 Pn	0.283	2.532	0.0676	0.510986 ± 26		

закрытия U-Pb-изотопной системы в рутиле [5]. Кроме этого, близкий Sm-Nd-возраст ранее был получен для клинопироксенит-верлитового массива Райненчорр, расположенного в южной части комплекса Волчьих Тундр – 1863 ± 77 млн лет при величине $\varepsilon_{Nd}(T) = -1.8 \pm 0.2$ [18].

Для минерализованных пироксенитов была построена Sm-Nd-минеральная изохона по породе в целом, породообразующим и сульфидным минералам из проб PR-7 и PR-8. Наклон полученной линии регрессии соответствует возрасту 1832 ± 35 млн лет, $\varepsilon_{Nd}(T) = -2.0$ (рис. 3 б). Sm-Nd-изохона по породе в целом и минералам из титаномагнетитовой руды (пробы PR-1 и PR-2) соответствует возрасту 1823 ± 19 млн лет, $\varepsilon_{Nd}(T) = -2.5$ (рис. 3 в), который пересекается в пределах ошибки измерения с Sm-Nd-возрастом минерализованных пироксенитов. Таким образом, оценка Sm-Nd-возраста для оруднения Колвицкого месторождения в пределах ошибки совпадает с возрастом вмещающих клинопироксенитов, что подтверждает их связь в рамках общего комплекса.

Несмотря на то, что представление о двухфазности порьегубского комплекса [10, 11] не

находит в настоящее время геохронологического подтверждения, необходимо отметить его изотопную гетерогенность, выраженную в понижении величин $\varepsilon_{Nd}(T)$ от -1.5 в предположительно ранних породах (клинопироксенитах) до -2.0 – -2.5 в более поздних породах (минерализованные пироксениты и титаномагнетитовая руда). Это уменьшение, по-видимому, объясняется большей степенью контаминации рудной магмы веществом гранулитов, свидетельством чего являются их частично ассилированные ксенолиты в титаномагнетитовой руде в сравнении с “приваренными” ксенолитами в клинопироксенитах.

Таким образом, впервые полученные для малых клинопироксенит-верлитовых интрузий Кандалакшско-Колвицких гранулитов изотопные Sm-Nd-возрастные данные указывают на единство клинопироксенитов и оруднелых пород Колвицкого Fe-Ti-V-месторождения в рамках порьегубского интрузивного комплекса. Наиболее древний из полученных возрастов, 1858 ± 34 млн лет, немногим моложе оценок возраста гранулитового метаморфизма в Колвицком меланже (1925–1915 млн лет) и согласуется с оценкой времени остывания кристаллосланцев до 450° на рубеже 1880–1870 млн лет.

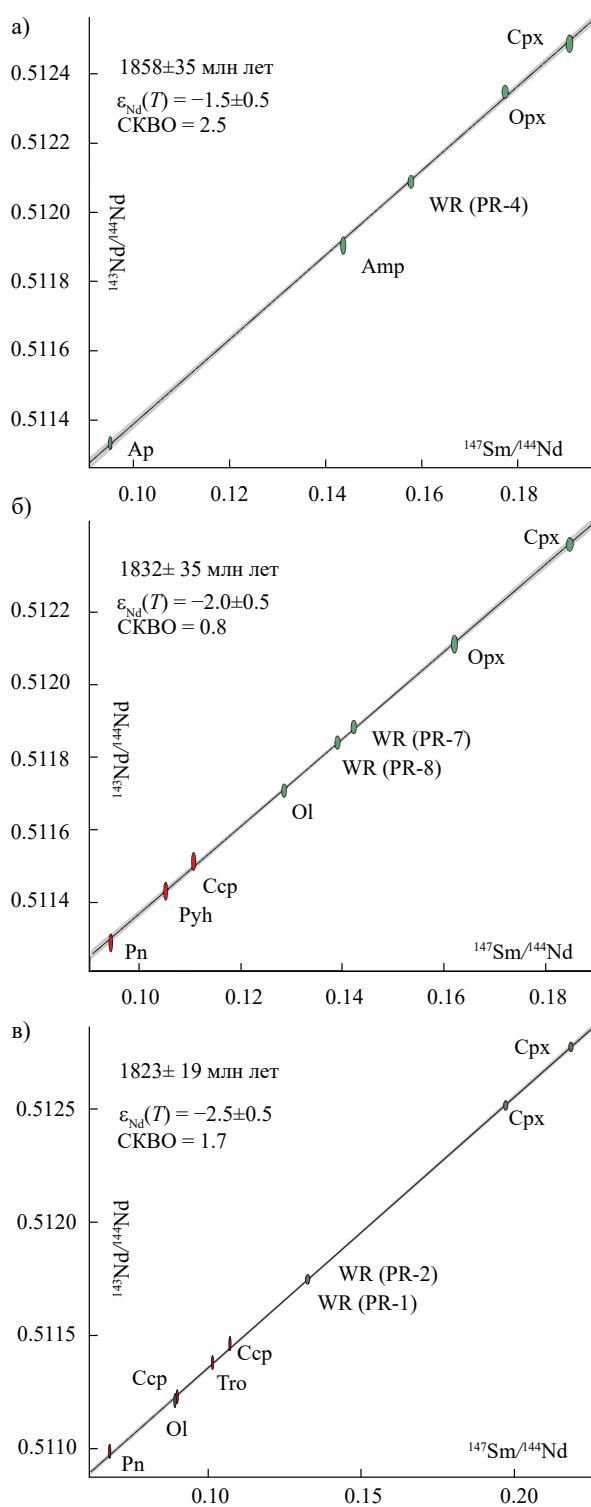


Рис. 3. Минеральные Sm–Nd-изохроны для пород и руд массива Железный: а) безрудные клинопироксениты; б) минерализованные пироксениты; в) титаномагнетитовая руда. WR – порода в целом, Cpx – клинопироксен, Opx – ортопироксен, Ol – оливин, Amp – амфибол, Ap – апатит, Ccp – халькопирит, Pyh – пирротин, Tro – троилит, Pn – пентландит. Красными эллипсами обозначены сульфидные минералы.

лет. Следовательно, формирование порьегубского клинопироксенит–верлитового комплекса происходило в постколлизионных геодинамических условиях, на стадии остывания Лапландско–Кольского орогена.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят С. В. Бороздину, А. Н. Иванова, А. В. Мокрушина и Ю. Н. Нерадовского за помощь в проведении полевых работ, а также анонимного рецензента, чьи замечания помогли улучшить качество рукописи. Помянуто Юрия Николаевича Нерадовского, щедро делившегося своим опытом и знаниями.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках темы НИР ГИ КНЦ РАН № FMEZ-2024-0004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балаганский В. В., Горбунов И. А., Мудрук С. В. Палеопротерозойские Лапландско–Кольский и Свекофенский орогены (Балтийский щит) // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 3 (26). С. 5–11.
- Glebovitsky V., Marker M., Alexejev N., Bridgwater D., Sedova I., Salnikova E., Berezhnaya N. Age, evolution and regional setting of the Palaeoproterozoic Umba igneous suite in the Kolvitsa–Umba zone, Kola Peninsula: constraints from new geological, geochemical and U–Pb zircon data // Precambrian Res. 2001. V. 105. P. 247–267.
- Балаганский В. В., Басалаев А. А., Беляев О. А., Пожиленко В. И., Радченко А. Т., Радченко М. К. Геологическая карта Кольского региона (северо–восточная часть Балтийского щита) масштаба 1:500000 / Гл. ред. Ф.П.Митрофанов. Апатиты, 1996.
- Бибикова Е. В., Мельников В. Ф., Авакян К. Х. Лапландские гранулиты: петрология, геохимия и изотопный возраст // Петрология. 1993. Т. 1. № 2. С. 215–234.
- Каулина Т. В. Заключительные стадии метаморфической эволюции Колвицкого пояса и Умбинского блока (юго–восточная ветвь Лапландского гранулитового пояса): U–Pb датирование циркона, титанита, рутила // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2009. Т. 12. №. 3. С. 386–393.
- Чащин В. В., Баянова Т. Б. Петро–геохимия и U–Pb возраст интрузии Плотичья Варака, Кольский регион // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2023. Т. 20. С. 222–228.

7. *Войтеховский Ю.Л., Нерадовский Ю.Н., Гришин Н.Н., Ракитина Е.Ю., Касиков А.Г.* Колвицкое месторождение (геология, вещественный состав руд) // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17. № 2. С. 271–278.
8. *Нерадовский Ю.Н., Грошиев Н.Ю., Войтеховский Ю.Л., Бородина С.В., Савченко Е.Э.* Минералы платины, палладия, серебра и золота в Порьереченском титаноносном комплексе (Кольский полуостров) // Вестник КНЦ. 2017. № 3. С. 77–94.
9. *Беляев К.Д., Карпов Р.В.* Геологические предпосылки поисковых работ на Кольском полуострове и новые направления их развития. Состояние и перспективы расширения минерально-сырьевой базы Северо-Запада РСФСР. Л.: Недра, 1973. Лен. Отд. С. 15–29.
10. *Лимберис Ю.Г., Чемисов Г.К., Смирнов Ю.П. и др.* Сводный отчет о результатах поисковых работ на Ni, выполненных в Терском районе в 1966–1969 гг. Апатиты: ФГУ МурТФГИ, 1970. 165 с.
11. *Шолохнев В.В., Васильева В.А., Кузнецов В.А., Клюев Н.К., Докучаева В.С., Богачев В.А., Кнауф В.В. и др.* Оценка платиноносности крупных расслоенных массивов Карело-Кольского региона / Отчет: в 4 кн. СПб.: Фонды ВСЕГЕИ, 2007. 358 с.
12. *Tanaka T., Togashi S., Kamioka H., Amakawa H., Kagami H., Hamamoto T., Yuhara M., Orihashi Y., Yoneda S., Shimizu H.* JNd1-1: A neodymium isotopic reference in consistency with LaJolla neodymium // Chem. Geol. 2000. V. 168. P. 279–281.
13. *Serov P.A., Bayanova T.B.* The Sulfide/Silicate Coefficients of Nd and Sm: Geochemical “Fingerprints” for the Syn- and Epigenetic Cu-Ni-(PGE) Ores in the NE Fennoscandian Shield // Minerals. 2021. V. 11. 1069.
14. *Bouvier A., Vervoort J.D., Patchett P.J.* The Lu–Hf and Sm–Nd isotopic composition of CHUR: Constraints from unequilibrated chondrites and implications for the bulk composition of terrestrial planets // Earth Planet. Sci. Lett. 2008. V. 273 (1–2). P. 48–57.
15. *Goldstein S.J., Jacobsen S.B.* Nd and Sr isotopic systematics of river water suspended material implications for crystal evolution // Earth Planet. Sci. Lett. 1988. V. 87. P. 249–265.
16. *Villa I.M., Holden N.E., Possolo A., Ickert R.B., Hibbert D.B., Renne P.R.* IUPAC-IUGS recommendation on the half-lives of ^{147}Sm and ^{146}Sm // Geochim. Cosmochim. Acta. 2020. V. 285. P. 70–77.
17. *Vermeesch P.* IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology // Geosci. Front. 2018. V. 9. P. 1479–1493.
18. *Чащин В.В.* Райненчоррский клинопироксенит-верлитовый комплекс // Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района. Ч. 1. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 2004. С. 133–153.

**Sm–Nd AGE OF THE KOLVITSA Fe–Ti–V DEPOSIT,
PORYA GUBA CLINOPYROXENITE–WEHRLITE COMPLEX,
KOLA REGION**

P. A. Serov[†], N. Y. Groshev

Presented by Academician of the RAS S.V. Krivovichev on June 27, 2024.

*Geological Institute of the Kola Science Center of the Russian Academy
of Sciences, Apatity, Russian Federation*

[†]*E-mail: p.serov@ksc.ru*

The isotopic age of rocks from the clinopyroxenite–wehrlite Porya Guba Complex hosting the Kolvitsa Fe–Ti–V deposit was determined for the first time. Sm–Nd age of the barren clinopyroxenites prevailing in a studied massif is 1858 ± 34 Ma ($\varepsilon_{\text{Nd}}(T) = -1.5$) and is considered as the emplacement time of the Porya Guba Complex, occurred after the peak of granulite metamorphism (1925–1915 Ma). Quenching zones found around xenoliths of granulites in clinopyroxenites indicate the emplacement of the complex into the cooled rocks of the Lapland–Kola orogen, which is consistent with the estimated time of its cooling (1880–1870 Ma, 450°, by rutile). Mineralized rocks, as inferred from active assimilation of granulite xenoliths, are formed at a late stage of the complex development: the age of mineralized pyroxenites enriched in platinum and palladium (0.8 g/t) is 1832 ± 35 Ma ($\varepsilon_{\text{Nd}}(T) = -2.0$), while the age of titanomagnetite ore is 1823 ± 19 Ma ($\varepsilon_{\text{Nd}}(T) = -2.5$). Thus, the obtained isotopic data indicate that the emplacement of small ultramafic intrusions developed in the Kandalaksha–Kolvitsa granulites (Kolvitsa Melange) took place during the cooling stage of the Lapland–Kola orogen.

Keywords: titanium, vanadium, platinum group elements, Sm–Nd isotope age, sulfides, magnetite, Kolvitsa deposit, Porya Guba Complex, clinopyroxenite–wehrlite formation, Kola region