УДК 552.11 (470.111) DOI 10.19110/1994-5655-2021-3-22-31

А.М. ШМАКОВА*,**, К.В. КУЛИКОВА*

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА Позднедевонских базальтоидов полуострова канин и среднего тимана

* Институт геологии им. акад. Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар **Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), г. Санкт-Петербург

alex.sch92@yandex.ru

A.M. SHMAKOVA^{*,**}, K.V. KULIKOVA^{*}

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE LATE DEVONIAN BASALTOIDS OF THE KANIN PENINSULA AND THE MIDDLE TIMAN

* N.P.Yushkin Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre, Ural Branch, RAS, Syktyvkar **A.P. Karpinsky All-Russian Research Geological Institute (VSEGEI), St. Petersburg

Аннотация

В статье рассмотрены петрохимия и геохимия долеритов и базальтов позднедевонского канино-тиманского комплекса полуострова Канин и Среднего Тимана. Петрохимически породы канино-тиманского комплекса соответствуют базальтоидам нормального ряда щелочности, частично умеренно щелочным разновидностям и относятся к толеитовой серии. Менее дифференцированны долериты юго-восточной части п-ова Канин, более – базальты р. Цильмы на Среднем Тимане. Наименьшие концентрации РЗЭ характерны для пород в центральной части п-ова Канин (36,5-56,8 г/т), наибольшие в базальтах с р. Цильма (77,13-88,33 г/т). Установлено влияние коровой компоненты при эволюции расплавов, сформировавших породы канино-тиманского комплекса. Источником расплава служил шпинелевый-гранатовый лерцолит, степень плавления варьировала от 10 до 30%

Ключевые слова:

долериты, базальты, геохимия, плюм, полуостров Канин, Тиман

Abstract

The petrochemistry and geochemistry of dolerites and basalts of the Late Devonian Kanin-Timan complex of the Kanin Peninsula and the Middle Timan are considered. Petrochemically, the rocks of the Kanin-Timan complex of the Kanin Peninsula and the Tsilma river area of the Middle Timan correspond to basaltoids of the normal range of alkalinity and partially to moderately alkaline varieties, and belong to the tholeiitic series.

The least differentiated varieties are dolerites of the southeastern Kanin Peninsula, the most differentiated are the basalts of the river Tsilma of the Middle Timan. The lowest REE concentrations were found in the rocks of the central part of the Kanin Peninsula (36.5-56.8 g/t); in the same samples, the lowest La_N/Yb_N values were recorded (1.85 and 2.4, respectively), which indicates an increased degree of melting of the source. The highest REE concentrations were found in basalts from the river Tsilma (77.13-88.33 g/t), LaN/YbN values (2.49-2.7, respectively).

The influence of the crustal component in the formation of melts from which rocks of the Kanin-Timan complex were formed, was established. The source of the melt was spinel-garnet lherzolite, the degree of melting varied from 10 to 30%. The maximum degree of melting was 30%, at which melts were formed, that gave rise to the least differentiated rocks of the Northern Timan and the central part of the Kanin Peninsula.

The mantle source, that gave rise to the melts from which the rocks of the Kanin-Timan complex were formed, was enriched with subduction and crustal components, a similar type of source is characteristic of the basaltoids of the Norilsk trough

Keywords:

dolerites, basalts, geochemistry, plume, Kanin Peninsula, Timan

Введение

На п-ове Канин и Тиманском кряже развиты девонские интрузивные и субвулканические породы основного состава, выделяемые в канино-тиманский долеритовый комплекс трапповой формации (βD₃kt) (рис. 1) [1, 2, 3]. По данным ряда исследователей в позднем девоне проходили процессы рифтогенеза, которые обусловили базитовый магматизм, а также были высказаны предположения о влиянии мантийного плюма на формирование интрузивных пород Канино-Тиманского региона [4]. Трапповая формация является результатом палеозойского внутриплитного магматизма, предполагается, что ее формирование фиксирует плюмовый импульс единого для Восточно-Европейской платформы суперплюма [5]. Считается, что данный суперплюм разделился на несколько струй и сформировал разрозненные внутриплитные магматические провинции на северо-западе Восточно-Европейской платформы [6].

Детальные геохимические исследования девонских базальтоидов п-ова Канин не проводились. Наши геохимические данные позволяют сравнить долериты центральной и юго-восточной части п-ова Канин с базальтами Среднего Тимана и породами петротипических формаций, предположить условия и источники формирования расплавов.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются образцы долеритов и базальтов канино-тиманского долеритового комплекса, которые были отобраны в ходе экспедиционных работ на п-ове Канин в составе Канинского отряда ВСЕГЕИ в 2018–2019 гг., нач. отряда Д.В. Зархидзе, А.С. Букасс. В 2020 г. были отобраны образцы на р. Цильма (Средний Тиман) в составе полевого отряда ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, нач. отряда А.М. Шмакова. Описание шлифов проводилось на поляризационном микроскопе Оlympus BX51. Для определения элементов-приме-



Рис. 1. Геологическая карта района исследований (по: [7]). Fig. 1. Geological map of the study area (according to: [7]).

сей в породах использован метод ICP-MS на массспектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7700. Применялся метод кислотного разложения пробы в микроволновой печи (Sineo MDS-10). Для анализа использовалась навеска массой не более 100 мкг. Исследования проведены в ЦКП «Геонаука» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Аналитик: Г.В. Игнатьев.

Геология и петрография

На территории п-ова Канин базальтоиды канино-тиманского комплекса представлены интрузивными дайками долеритов и телами субвулканических базальтов, расположенными в основном в центральной части (реки Горелая, Тальбей, Падлей, Менсейяха, Мурсеяха) и частично на юговостоке полуострова (побережье Чешской губы, бассейн р. Б. Ойва, р. Немазямаяха).

Позднедевонские долериты центральной и юго-восточной частей п-ова Канин близки между собой в текстурно-структурном плане. Текстура пород чаще всего массивная, реже миндалекаменная. Миндалины небольшого размера (до 1 мм), зональные, выполнены сидеритом, кальцитом и кварцем. Микроструктура пород офитовая, реже – порфировая, пойкилоофитовая. Порфировые вкрапленники представлены незональными кристаллами плагиоклаза, размером до 1,8 мм. Основная масса сложена зональными пироксенами и плагиоклазами. Акцессорные минералы представлены апатитом и КПШ. Из рудных минералов установлены титаномагнетит, реже пирит, халькопирит [8].

На Среднем Тимане, по берегам р. Цильма и ее притокам породы исследуемого комплекса представлены довольно крупными выходами с видимой мощностью от 1,5 до 20–25 м и протяженностью от 12 до 100 м. Магматические тела сложены тонкозернистыми базальтами темно-серого цвета. В обнажениях периодически отмечается чередование массивных базальтов с миндалекаменными.

Базальты имеют массивную и миндалекаменную текстуры и порфировую структуру с интерсертальной, реже пойкилоофитовой основной массой. Содержание миндалин в породе составляет 10–15 %. Наблюдаются два типа миндалин. Амебовидные, реже округлые, размером 0,3 – 0,6 мм, миндалины, выполненные хлоритом, с каймами карбонатов (железосодержащий доломит) и кварца. Второй тип – крупные трубчатые, реже уплощенные миндалины агатов размером от 1 до 20 см.

Вкрапленники представлены таблитчатыми кристаллами плагиоклаза (0,4 – 0,8 мм, реже 1 мм) и удлиненно призматическими кристаллами клинопироксена (0,8 мм, реже 1 мм). Основная масса породы сложена микролитами плагиоклаза (0,2 мм) и изометричными зернами клинопироксена (0,2 мм). Из рудных минералов установлены мелкие изометричные или скелетные кристаллы титаномагнетита (0,05–0,15 мм), реже халькопирит, пирит. Межзерновое пространство заполнено стеклом или заместившим его палагонитом (10–20 %). Кроме того, отмечаются агрегаты карбонатов (железосодержащий доломит).

Геохимическая характеристика пород

Диапазон содержаний SiO₂ в породах п-ова Канин варьирует от 48,28 до 52,39 мас. %, в базальтах р. Цильма он изменяется от 40,49 до 51,05 мас. % (табл. 1), низкие содержания кремнезема характерны для пород с высоким содержанием карбонатов.

Базальтоиды комплекса относятся преимущественно к породам нормальной щелочности (K₂O+Na₂O=1,96–4,11 мас.%) (табл.1) и соответст-

Таблица 1

Table 1

Химический состав долеритов п-ова Канин и базальтов р. Цильма (Средний Тиман)

Chemical composition of dolerites of the Kanin Peninsula and basalts

of the river Tsilma (Middle Timan)

Компо-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
нент	400401	400403	400504	1115	1666/1	1678/1	1679	1681/1	ЦИ-18-2	ЦИ-20-1	ЦИ-21	ЦИ-32-3	ЦИ-36	ЦИ-41-2
SiO2	48.28	48.72	49.12	52.39	52.1	50.32	49.45	50.75	47.49	49.94	50.12	40.37	51.05	50.26
TiO2	2.16	2.18	2.04	1.8	1.64	1.42	1.2	1.64	1.99	1.94	1.91	1.60	1.83	1.88
Al2O3	14.15	15.05	13.79	14.85	16.17	16.08	16.22	15.4	14.62	16.1	15.91	12.42	14.86	15.54
Fe2O3	5.71	5.71	5.34	12.89	11.97	4.43	3.2	4.64	6.87	6.02	4.75	4.03	5.53	3.37
FeO	7.34	8.16	8.4	0.27	3.24	7.05	7.75	8.02	8.1	8.16	9.78	6.35	8.34	9.76
MnO	0.17	0.2	0.21	0.2	0,21	0.18	0.19	0.18	0.25	0.22	0.21	0.86	0.26	0.21
MgO	6.51	6.25	6.16	3.47	3.54	4.85	5.96	4.69	3.72	2.54	2.62	3.66	3.36	3.10
CaO	9.31	6.87	10.83	9.35	11.06	12.22	13.52	10.38	11.43	10.72	10.99	15.66	10.34	10.62
Na2O	2.59	3.29	2.04	3.03	2.22	1.88	1.76	2.05	2.08	2.36	2.5	1.9	2.73	2.9
K2O	0.43	1.1	0.47	1.08	0.77	0.59	0.2	1.22	0.27	0.33	0.34	0.18	0.26	0.3
P2O5	0.16	0.18	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.11	0.15	0.14	0.1173	0.11	0.14	0.12
п.п.п	2.1	1.78	1.19	1.45	1.16	1.66	1.35	1.81	3.92	2.42	1.82	13.57	2.22	1.92
Сумма	98.91	99.49	99.78	100.93	100.93	100.77	100.87	100.89	100.92	100.92	100.92	100.70	100.92	100.92

Примечания: 1 – 3 – долериты юго-востока п-ова Канин, 4 – 8 – долериты центральной части п-ова Канин, 9 – 14 – базальты с р. Цильма (Средний Тиман). В таблице приведена выборка наиболее представительных составов. Оксиды даны в мас.%.

Notes: 1 - 3 - dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula, 4 - 8 - dolerites of the central part of the Kanin Peninsula, 9 - 14 - basalts of the river Tsilma (Middle Timan).



Рис. 2. Классификационные диаграммы для долеритов и базальтов п-ова Канин и Тимана. а – диаграмма Al_2O_3 - FeO*+TiO₂ - MgO [9]. Толеитовая серия: TA – андезит, TD – дацит, TR – риолит; известкого-щелочная серия: CB – базальт, CA – андезит, CD – дацит, CR – риолит; б – тройная дискриминационная диаграмма AFM [10]. Условные обозначения: 1 – долериты центральной части п-ова Канин, 2 – долериты юго-восточной части п-ова Канин, 3 – базальты Верхневорыквинского покрова [11], 4 – базальты Северного Тимана [12], 5 – базальты р. Цильма, 6 – базальты Норильской мульды [13].

Fig. 2. Classification diagrams for dolerites and basalts of the Kanin Peninsula and Timan. a – diagram Al_2O_3 - FeO* + TiO₂ - MgO [9]. Toleite series: TA – andesite, TD – dacite, TR – rhyolite; lime-alkaline series: CB – basalt, CA – andesite, CD – dacite, CR – rhyolite; 6 – triple discrimination diagram AFM [10]. Legend: 1 – dolerites of the central part of the Kanin Peninsula, 2 – dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula, 3 – basalts of the Upper-Vorykva nappe [11], 4 – basalts of the Northern Timan [12], 5 – basalts of the Tsilma river, 6 – basalts of the Norilsk trough [13].

вуют магматическим образованиям натриевой серии. По содержанию K₂O породы п-ова Канин являются преимущественно среднекалиевыми (K₂O=0,20–1,22 мас.%), породы с р. Цильма – низкокалиевыми (K₂O=0,18–0,34 мас.%) (табл.1).

Изученные породы относятся к субщелочным образованиям, что является типичным для пород трапповой формации. На диаграмме AFM составы позднедевонских основных пород Северного и Среднего Тимана, а также п-ова Канин образуют толеитовый тренд (рис. 2, б). На треугольной диаграмме AI₂O₃-(TiO₂+FeO)-MgO наблюдается разделение пород на ldt группы: высокожелезистые толеиты и андезиты (рис. 2, а). Таким образом, долериты относятся к породам толеитовой серии.

Известно, что для трапповых формаций характерна изменчивость в содержаниях титана. Так, содержание диоксида титана TiO_2 в долеритах п-ова Канин варьирует от 1,20 до 2,18 мас.%. Часть долеритов п-ова Канин относится к умеренно-низкотитанистым разностям (TiO_2 = 1,20–1,42 мас.%), другая часть соответствует умеренно-высокотитанистым породам (TiO_2 =1,64–2,18 мас.%). Больше всего долеритов с высоким содержанием титана наблюдается на побережье Чешской губы. Базальты с р. Цильма также относятся преимущественно к высокотитанистым породам (1,60–1,99 мас. %).

Все породы исследуемого комплекса являются высокоглиноземистыми образованиями, долериты п-ова Канин содержат Al_2O_3 = 13,79–16,22 мас. %, долериты р. Цильма Al_2O_3 =12,42–15,91 мас. %.

В породах канино-тиманского комплекса были изучены редкие и рассеянные элементы. Содержание редкоземельных (РЗЭ) в породах варьируют - наименьшие концентрации установлены в долеритах центральной части п-ова Канин (36,5-56,8 г/т). Средние значения РЗЭ в породах полуострова варьируют от 63,13 до 81,27 г/т. Наибольшие содержания отмечаются в базальтах р. Цильма (77,13-88,33 г/т). Для сравнения в базальтоидах Норильской мульды суммарные концентрации РЗЭ варьируют от 56,55 до 115,83 г/т [13].

На диаграмме распределения РЗЭ для пород исследуемого комплекса наблюдается субгоризонтальный тип графика со слабым отрицательным наклоном. Отмечается обогащение легкими REE относительно тяжелых (рис. 3, а). Величина La_N/Yb_N, являющаяся показателем этого обогащения, варьирует в пределах от 1,85 до 3,16 у долеритов п-ова Канин, и от 2,49 до 2,70 у пород р. Цильма, от 2,39 до 2,59 в базальтах Ворыквинского покрова Среднего Тимана [11]. Наименьшие значения La_N/Yb_N=1,85 характерны для долеритов одного из образцов

центральной части п-ова Канин, наибольшие значения $La_N/Yb_N - для$ траппов Норильской мульды (2,13 – 5,52) [13]. Подобные высокие показатели типичны для базальтов, формирующихся из обогащенных источников, а увеличение отношения La_N/Yb_N связано с уменьшением степени плавления.

На спайдер-диаграмме в позднедевонских долеритах наблюдаются относительно повышенные содержания крупноионных элементов (Rb, Ba, Th) и низкие концентрации высокозарядных элементов (Zr, Hf, Yb) (рис. 3 а,б). По сравнению с исследованными базальтоидами породам Норильской мульды присущи повышенные концентрации Sr, Ba, Th, Nb, Ta, Ce и др. (рис. 3 б), что также указывает на более обогащенные источники формирования этих пород. Относительно пород Норильской мульды исследуемые долериты и базальты, вероятно, формировались из менее обогащенного источника.

Zr и Nb являются несовместимым компонентами, а их концентрации наименее подвержены изменению при фракционной кристаллизации оливина, пироксена, магнетита и плагиоклаза из базальтовой магмы [18]. Поэтому они дают представление о составе первичных магм. На вариационной диаграмме Zr-Nb фигуративные точки составов долеритов п-ова Канин, базальтов Среднего Тимана попадают преимущественно в поля составов базальтов сибирских траппов, в единичных случаях – океанического плато Онтонг-Джава (рис.4).



Рис. 3. а – график распределения REE, нормированных к составу хондрита Cl (по: [15]) для позднедевонских долеритов; б – спектры распределения элементов-примесей, нормированных к составу базальтов COX [16], для позднедевонских базальтоидов. Условные обозначения: 1 – долериты центральной части п-ова Канин, 2 – долериты юго-восточной части п-ова Канин, 3 – базальты Верхневорыквинского покрова [11], 4 – базальты Северного Тимана [12], 5 – базальты р. Цильма, 6 – базальты Норильской мульды [13]. Fig. 3. a – graph of REE distribution, normalized to the composition of chondrite Cl (according to: [15]) for the Late Devonian dolerites; 6 – spectra of the distribution of trace elements, normalized to the composition of the COX basalts [16], for the Late Devonian basaltoids. Legend: 1 – dolerites of the central part of the Kanin Penin-

sula, 2 – dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula, 3 – basalts of the Upper-Vorykva nappe [11], 4 – basalts of the Northern Timan [12], 5 – basalts of the Tsilma river, 6 – basalts of the Norilsk trough [13].



Рис. 4. Положение составов долеритов на графике соотношения Zr-Nb для долеритов п-ова Канин и базальтов Среднего Тимана в сравнении со спектрами траппов Параны, базальтов Килауэа (Гавайские острова), океанического плато Онтонг-Джава, N-MORB [14]. Условные обозначения: 1 – долериты центральной части п-ова Канин, 2 – долериты юго-восточной части п-ова Канин, 3 – базальты Верхневорыквинского покрова [11], 4 – базальты Северного Тимана [12], 5 – базальты р. Цильма.

Fig. 4. Position of dolerite compositions on the Zr-Nb ratio graph for dolerites of the Kanin Peninsula and basalts of the Middle Timan in comparison with the spectra of Parana traps, Kilauea basalts (Hawaii), Ontong Java plateau, N-MORB [14]. Legend: 1 - dolerites of the central part of the Kanin Peninsula, 2 - dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula, 3 - basalts of the Upper-Vorykva nappe [11], 4 - North Timan basalts [12], 5 - basalts of the Tsilma river.

У долеритов п-ова Канин и базальтов р. Цильма Среднего Тимана отношение Nb/La <1 (табл. 2), характерное для контаминации магм континентальной корой [17]. Для базальтов предложено описывать мантийные источники, из которых они могут выплавляться, в системе Th-Nb-Ce. Эта система рассматривает смешение трех компонентов: деплетированной мантии (DMM с низкими Th/Nb и высокими Ce/Nb), субдукционного компонента островных дуг (SDC с высокими Th/Nb и Ce/Nb) и остаточного компонента рециклированной океанической коры (RSC с низкими Th/Nb и Ce/Nb) [18]. На вариационной диаграмме Ce/Nb - Th/Nb (рис. 5) точки составов большей части исследуемых пород попадают в область, где в источнике заметно влияние субдукционной и коровой компоненты на исходный расплав. В породах отношения Ce/Nb и Th/Nb закономерно увеличиваются, являясь наименьшими для долеритов юго-восточной части п-ова Канин и наибольшими для базальтов на р. Цильма Среднего Тимана. Похожая тенденция характерна и для базальтоидов Норильской мульды. Точка состава базальтов Северного Тимана локализована вблизи поля примитивной мантии.

Для определения состава мантийного источника и степени его плавления использовался ряд диаграмм.

По данным вариаций Nb – Nb/Yb, применяемых для определения условий выплавления магмы [20], установлено, что расплавы, из которых формирова-



Рис. 5. а, б – положение долеритов п-ова Канин и базальтов Среднего Тимана на диаграмме Ce/Nb – Th/Nb [18]. Примечание: DMM – деплетированная мантия; PM – примитивная мантия; RSC – остаточный компонент рециклированной океанической коры; SDC – субдукционный компонент островных дуг; С. Crust – континентальная кора. Условные обозначения: 1 – долериты центральной части п-ова Канин, 2 – долериты юго-восточной части п-ова Канин, 3 – базальты Верхневорыквинского покрова [11], 4 – базальты Северного Тимана [12], 5 – базальты р. Цильма, 6 – базальты Норильской мульды [13].

Fig. 5. a, 6 - position of dolerites of the Kanin Peninsula and basalts of the Middle Timan on the Ce/Nb - Th/Nb diagram [18]. Note: DMM - depleted mantle; PM - primitive mantle; RSC - residual component of recycled oceanic crust; SDC - subduction component of island arcs; C. Crust - Continental crust. Legend: 1 - dolerites of the central part of the Kanin Peninsula, 2 - dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula, 3 - basalts of the Upper-Vorykva nappe [11], 4 - basalts of the Northern Timan [12], 5 - basalts of the river Tsilma, 6 - basalts of the Norilsk trough [13].

Таблица 2

Содержание элементов-примесей в породах п-ова Канин и Среднего Тимана (р.Цильма), г/т Table 2

С	ontent o	f trace-ei	lements in	the r	rocks of	' the	Kanin I	Peninsula a	nd Mia	ldle	Timan	(Tsilma	river)	, g	t/t
												•			

Компо-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
нент	400401	400403	400504	1115	1666/1	1678-1	1679	1681-1	ци-18-2	ци-21	ци-20-1	ЦИ-32-3	ЦИ-36	ЦИ-41-2
V	350	320	300	190	230	240	170	260	240	190	210	230	280	330
Cr	84	56	74	27	50	100	120	53	36	37	36	59	46	50
Ni	57	42	53	32	39	55	65	47	36	37	37	48	44	46
Ga	17	18	16	15	14	14	12	15	15	15	15	16	18	19
Rb	9,2	36	9.7	24	19	15	3	24	3,6	5.5	5.1	1.8	4.3	9.7
Sr	140	170	160	150	140	130	110	140	160	170	170	160	170	200
Y	25	26	24	26	20	19	14	19	25	24	25	26	28	29
Zr	110	120	100	120	96	81	52	100	110	110	110	110	130	130
Nb	6.0	6.5	5.8	6.5	6,5	4.3	2.6	6.0	7,1	6.9	6.7	5.7	6.6	6.7
Mo	0.62	0.64	0.68	0.68	0,75	0.54	0.36	0.63	0,6	0.68	0.63	0.72	0.72	0.74
Cd	3.4	3.8	3.4	2.7	2,5	1.8	1.3	2.2	2,9	2.8	2.9	3.1	3.7	3.6
Cs	0.27	2.8	0.79	3.1	0,92	0.98	0.24	1.3	0,38	3	2.7	0.29	0.078	4.5
Ва	70	150	120	140	120	90	59	160	81	130	99	130	110	120
La	7.3	7.7	7	11	9,2	7.5	4.4	8.9	11	11	11	10	12	12
Ce	18	20	18	25	22	17	10	20	26	25	25	24	28	28
Pr	2.7	2.9	2.6	3.6	2,9	2.7	1.5	2.8	3,4	3.4	3.4	3.3	3.8	3.8
Nd	13	14	13	16	13	11	7	13	15	15	15	15	17	17
Sm	3.9	4.3	3.9	4.4	3,6	3.1	2.1	3.4	4,3	4.3	4.2	4.2	4.6	4.7
Eu	1.4	1.6	1.5	1.5	1.2	1.1	0.8	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6
Gd	4.9	5.3	4.8	5.4	4.3	3.8	2.7	4.0	5.2	5.1	5.1	5.2	5.9	5.9
Tb	0.84	0.9	0.83	0.9	0.73	0.65	0.48	0.68	0.89	0.87	0.88	0.88	0.98	0.98
Dy	4.9	5,2	4.8	5.5	4.4	4.0	3.0	4.0	5.4	5.3	5.4	5.3	5.9	5.9
Ho	0.99	1,10	0.97	1.1	0.9	0.8	0.62	0.81	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1,2
Er	2.8	3	2.7	3.2	2.6	2.4	1.8	2.3	3.2	3.1	3.2	3.1	3.4	3.5
Tm	0.38	0.41	0.37	0.44	0.37	0.33	0.25	0.31	0.45	0.44	0.45	0.43	0.49	0.48
Yb	2.4	2.5	2.3	2.8	2.3	2.1	1.6	1.9	2,8	2.8	2.8	2.7	3	3.1
Lu	0.37	0.39	0.36	0.43	0.38	0.32	0.25	0.29	0,43	0.42	0.43	0.42	0.46	0.47
Hf	3	3.4	2.9	3.7	3.1	2.5	1.7	3.1	3,7	3.6	3.6	3.4	4	4
Та	0.46	0.47	0.43	0.5	0.44	0.34	0.22	0.45	0,46	0.46	0.45	0.47	0.51	0.53
Pb	1.9	1.4	1.6	3.6	3.1	3.2	2.3	4.3	2.6	3.3	3.1	5.8	4	3.8
Th	1.4	1.5	1.4	2.6	2.6	1.8	1.0	2.4	3.2	3.3	3.2	2.9	3.4	3.4
U	0.31	0.35	0.32	0.6	0.58	0.4	0.23	0.53	0.72	0.71	0.71	0.64	0.76	0.79
Nb/La	0.82	0.84	0.83	0.59	0.71	0.57	0.59	0.67	0.64	0.63	0.61	0.57	0.55	0.56
LaN/YbN	2.05	2.07	2.05	2.64	2.69	2.41	1.85	3.16	2.65	2.65	2.65	2.49	2.7	2.61

Примечания: 1 – 3 – долериты юго-востока п-ова Канин, 4 – 8 – долериты центральной части п-ова Канин, 9 – 14 – базальты р. Цильма (Средний Тиман).

Notes: 1 - 3 - dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula, 4 - 8 - dolerites of the central part of the Kanin Peninsula, 9 - 14 - basalts of the river Tsilma (Middle Timan).



Рис. 6. Составы долеритов п-ова Канин и базальтов Тимана в сопоставлении с результатами численного моделирования частичного плавления разных мантийных источников в системе Nb – Nb/Yb [19]. Кривые показывают вычисленные соотношения при плавлении пород гранатового перидотита с содержанием граната 1%, 5%, 10 % (GtP1, GtP5, GtP10), шпинелевого лерцолита (SpLz) примитивной мантии (PM), умеренно деплетированного гарцбургита (Hz) деплетированной мантии (DM) и островодужного гарцбургита (ArcHz) поддуговой сильно деплетированной мантии (ArcM). Условные обозначения: 1 – долериты центральной части п-ова Канин, 2 – долериты юго-восточной части п-ова Канин, 3 – базальты Верхневорыквинского покрова [11], 4 — базальты Северного Тимана [12], 5 – базальты р. Цильма, 6 – базальты Норильской мульды [13].

Fig. 6. Compositions of dolerites of the Kanin Peninsula and Timan basalts in comparison with the results of numerical modeling of partial melting of various mantle sources in the Nb-Nb/Yb system [19]. The curves show the calculated ratios during melting of garnet peridotite rocks with 1%, 5%, 10% garnet (GtP1, GtP5, GtP10), spinel lherzolite (SpLz) of primitive mantle (PM), moderately depleted harzburgite (Hz) of depleted mantle (DM) and island-arc harzburgite (ArcHz) of subarc strongly depleted mantle (ArcM). Legend: 1 - dolerites of the central part of the Kanin Peninsula, 2 - dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula, 3 - basalts of the Upper-Vorykva nappe [11], 4 - North Timan basalts [12], 5 - basalts of the river Tsilma, 6 - basalts of the Norilsk trough [13].

лись породы канино-тиманского комплекса, образовались при плавлении гранатового перидотита с содержанием граната 1 % или шпинелевого лерцолита (рис. 6).

На диаграмме Sm – Sm/Yb, которая отражает результаты численного моделирования частичного плавления разных мантийных источников [12], прослеживается, что степень плавления варьировала от 10 до 20 %, максимальная степень плавления составляла 30 % (см. рис.7). При такой степени плавления формировались расплавы, которые дали начало наименее дифференцированным породам Северного Тимана и центральной части п-ова Канин.

Заключение

Петрохимически долериты и базальты канино-тиманского комплекса п-ова Канин и района р. Цильма Среднего Тимана относятся к базальтоидам нормального ряда щелочности и частично к умеренно щелочным разновидностям. Породы соответствуют толеитовой серии, в целом наименее дифференцированными разностями являются долериты юговосточной части п-ова Канин, наиболее – базальты р. Цильма Среднего Тимана.

Содержания РЗЭ в долеритах и базальтах канино-тиманского комплекса п-ова Канин и района р. Цильма Среднего Тимана варьируют. Наименьшие концентрации установлены в породах центральной части п-ова Канин (36,5 и 56,8 г/т), в этих же образцах зафиксирована наименьшая величина La_N/Yb_N (1,85 и 2,4 соответственно), что указывает на повышенную степень плавления источника. Наибольшие содержания выявлены в базальтах с р. Цильма (77,13-88,33 г/т), значения La_N/Yb_N (2,49-2,7 соответственно). По сравнению с базальтами трапповой формации Норильской мульды исследованные породы содержат меньшие концентрации редких и рассеянных элементов и формировались из менее обогащенного источника.

Расплавы, из которых формировались породы канино-тиманского комплекса, образовались при плавлении либо шпинелевого лерцолита, либо гранатового перидотита с содержанием граната 1 %. Степень плавления варьировала от 10 до 20 %. Максимальная степень плавления составляла 30 %, при такой степени плав-

ления формировались расплавы, которые дали начало наименее дифференцированным породам Северного Тимана и центральной части п-ова Канин.

Мантийный источник, давший начало расплавам, из которого образовались породы канинотиманского комплекса, был обогащен субдукционной и коровой компонентами, похожий тип источника характерен для базальтоидов Норильской мульды.

Литература

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист R-37, 38. м. Святой



Рис. 7. Составы долеритов п-ова Канин и базальтов Тимана в сопоставлении с результатами численного моделирования частичного плавления разных мантийных источников в системе Sm – Sm/Yb [20]. Кривые показывают вычисленные соотношения при плавлении пород деплетированной мантии (DM): гранатового лерцолита (GrtLz), шпинелевого лерцолита (SpLz) и их смеси в соотношении 1:1 (Grt-SpLz). Цифрами обозначена степень плавления. Условные обозначения: 1 – долериты центральной части п-ова Канин, 2 – долериты юговосточной части п-ова Канин, 3 — базальты Верхневорыквинского покрова [11], 4 – базальты Северного Тимана [12], 5 – базальты р. Цильма, 6 – базальты Норильской мульды [13].

Fig. 7. Compositions of dolerites of the Kanin Peninsula and Timan basalts in comparison with the results of numerical modeling of partial melting of various mantle sources in the Sm - Sm/Yb system [20]. The curves show the calculated ratios during melting of depleted mantle (DM) rocks: garnet lherzolite (GrtLz), spinel lherzolite (SpLz) and their mixture in a 1: 1 ratio (Grt-SpLz). The numbers indicate the degree of melting. Legend: 1 – dolerites of the central part of the Kanin Peninsula, 2 – dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula, 3 – basalts of the Upper-Vorykva nappe [11], 4 – North Timan basalts [12], 5 – basalts of the Tsilma river, 6 – basalts of the Norilsk trough [13].

Нос, м. Канин Нос. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕ-ГЕИ, 2008. 251 с. + 11 вкл. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ВНИИОкеангеология, ОАО «МАГЭ»).

- Журавлев В.А., Куприн В.Ф., Лукьянова Л.И., Парамонова М.С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Мезенская. Лист Q-38 – Мезень. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 311 с. + 3 вкл.
- Пармузин Н.М., Мазуркевич К.Н., Семенова Л.Р., Коссовая О.Л. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Мезенская. Лист Q-39 – Нарьян-Мар. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 393 с. + 32 вкл.
- Степаненко В.И. Канино-Тимано-Печорская провинция позднедевонского внутриплитного магматизма (положение и размеры) // Доклады академии наук. 2016. Т. 467. № 5. С. 572-575.
- Панева А.А., Куликова К.В., Бурцев И.Н. Внутриплитный палеозойский магматизм Среднего Тимана // Петрология магматических и метаморфических комплексов: Материалы VIII Всероссийской петрографической

конференции с международным участием. Томск, 2016. С. 224-230.

- 6. Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е. Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М.: Науч. мир, 2004. 612 с.
- 7. Оловянишников В.Г. Геологическое развитие Северного Тимана и п-ова Канин. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 80 с. Илл. 52, табл. 116.
- Шмакова А.М., Куликова К.В. Петрография и минералогия позднедевонских долеритов центральной и юго-восточной части полуострова Канин // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2020. № 6 (46). С. 40-48. УДК 552.31 (470.111) DOI 10.19110/ 1994-5655-2020-6-40-48
- 9. Jensen L.S. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks // Ontario Division Mines Misc. Pap., 1976. Vol. 66. 22 p.
- Irvine T.N., Baragar W.R.A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Canad. J. Earth Sci. 1971. Vol. 8. P. 523-548.
- 11. Удоратина О.В., Андреичев В.Л., Травин А.В., Саватенков В.М. Базальты Среднего Тимана: Rb-Sr, Sm-Nd, и Ar-Ar данные // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVI Геологического съезда Республики Коми. Т.II. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. 384 с.

- 12. Анферова Е.А., Удоратина О.В., Ронкин Ю.Л. Девонские базальты Северного Тимана // Вулканизм и геодинамика: Мат-лы V Всерос. симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. С. 3-5.
- Криволуцкая Н.А., Рудакова А.В. Строение и геохимические особенности пород трапповой формации Норильской мульды (СЗ Сибирской платформы) // Геохимия. 2009. №7. С. 675-698.
- 14. Reichow M.K., Saunders A.D., White R.V. et al. Geochemistry and petrogenesis of basalts from the West Siberian Basin: an extension of the Permo-Triassic Siberian Traps, Russia // Lithos. 2005. No.79. P. 425-452.
- Boynton W. V. Geochemistry of Rare Earth Elements Meteorite Studies // Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam, 1984. P. 63-114.
- Pearce J.A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries / Ed. R.S.Thorpe // Andesites. Wiley, Chichester, 1982. P. 525-548.
- Lightfoot P.C., Howkesworth C.J., Hergt J., Naldrett A.J. et al. Remobilisation of the continental lithosphere by a mantle plume: major-, trace-element, and Sr-, Nd-, and Pbisotopic evidence from picritic and tholeiitic lavas of the Norilsk District, Siberian Trap, Russia. Contrib // Mineral Petrol. 1993. Vol.114. P. 171-188.
- Saunders A.D., Norry M.J., Tarney J. Origin of MORB and Chemically-Depleted Mantle Reservoirs: Trace Element Constraints // J. of Petrology, Special Lithosphere Issue. 1988. P. 415-445.
- Early Carboniferous volcanic rocks of West Junggar in the western Central Asian Orogenic Belt: implications for a suprasubduction system / G.Yang, Y.Li, L.Safonova, S.Yi, L.Tong, R.Seltmann // Intern. Geology Review. 2014. Vol. 56. P. 823-844.
- Aldanmaz E., Pearce J.A., Thirlwall M.F., Mitchell J.G. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2000. Vol. 102. Iss. 1-2. P. 67-95.

References

- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tretye pokolenie). Seriya Severo-Karsko-Barencemorskaya. List R-37, 38. M. Svyatoy Nos, m. Kanin Nos. Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000 (third generation). North Kara-Barents Sea series. Sheet R-37, 38. Cape Svyatoy Nos, Cape Kanin Nos. Explanatory note]. St.Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 2008. 251 p. + 11 inserts. (Ministry of Natural Resources of Russia, Rosnedra, VSEGEI, VNIIOkeangeologia, JSC "MAGE").
- 2. Zhuravlev V.A., Kuprin V.F., Lukyanova L.I., Paramonova M.S. et al. Gosudarstvennaya

geologicheskaya karta Rossiiskoi Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tretye pokolenie). Seriya Mezenskaya. List Q-38 - Mezen'. Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1000 000 (third generation). Mezen series. Sheet Q-38 -Mezen. Explanatory note]. St.Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 2012. 311 p. + 3 inserts.

- Parmuzin N.M., Mazurkevich K.N., Semenova L.R., Kossovaya O.L. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tretye pokolenie). Seriua Mezenskaya. List Q-39 - Naryan Mar. Obyasnitelnaya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000 (third generation). Mezen series. Sheet Q-39 -Naryan-Mar. Explanatory note]. St.Petersburg: Cartographic factory VSEGEI, 2015. 393 p. + 32 inserts.
- Stepanenko V.I. Kanino-Timano-Pechorskaya provinciya pozdnedevonskogo vnutriplitovogo magmatizma (polozhenie i razmery) [Kanin-Timan-Pechora province of the Late Devonian intraplate magmatism (position and size)] // Doklady Earth Sciences. 2016. Vol. 467. No. 5. P. 572-575.
- Paneva A.A., Kulikova K.V., Burtsev I.N. Vnutruplitnii paleozoiskii magmatism Srednego Timana // Petrologiya magmaticheskih i metamorficheskih kompleksov [Intraplate Paleozoic magmatism of the Middle Timan // Petrology of magmatic and metamorphic complexes]: Materials of VIII All-Russian petrograph. conf. with intern. partic. Tomsk, 2016. P. 224-230.
- 6. Lobkovsky L.I., Nikishin A.M., Khain V.E. Sovremennie problem geotektoniki i geodinamiki [Modern problems of geotectonics and geodynamics]. Moscow: Scientific World, 2004. 612 p.
- Olovyanishnikov V.G. Geologicheskoe razvitie Severnogo Timana i p-ova Kanin [Geological development of Northern Timan and the Kanin Peninsula]. Syktyvkar: Geoprint, 2004. 80 p. Illustrations 52, Tables 116.
- Shmakova A.M., Kulikova K.V. Petrografiya i mineralogiya pozdnedevonskih doleritov centralnoi i yugo-vostochnoi chasti po;uostrova Kanin [Petrography and mineralogy of the Late Devonian dolerites of the central and southeastern part of the Kanin Peninsula] // Proc. of the Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, 2020. No. 6(46). P. 40-48. UDC 552.31 (470.111) DOI 10.19110 / 1994-5655-2020-6-40-48
- 9. Jensen L.S. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks // Ontario Division Mines Misc. Pap., 1976. Vol. 66. 22 p.
- Irvine T.N., Baragar W.R.A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Canad. J. Earth Sci. 1971. Vol. 8. P. 523-548.
- 11. Udoratina O.V., Andreichev V.L., Travin A.V., Savatenkov V.M. Bazalty Srednego Timana: Rb-Sr, Sm-Nd, i Ar-Ar dannie // Geologiya imineralnie resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii [Basalts of the Middle Timan:

Rb-Sr, Sm-Nd, and Ar-Ar data // Geology and mineral resources of the European North-East of Russia]: Materials of the XVI Geol. Congr. of the Komi Republic. Vol. II. Syktyvkar: Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, 2014. 384 p.

- 12. Anferova E.A., Udoratina O.V., Ronkin Yu.L. Devonskie bazalty Severnogo Timana // Vulkanizm i geodinamika [Devonian basalts of Northern Timan // Volcanism and geodynamics]: Materials of the V All-Russian Symp. on Volcanology and Paleovolcanology. Ekaterinburg: Inst. of Geology and Geochemistry, Ural Branch, RAS, 2011. P. 3-5.
- 13. Krivolutskaya N.A., Rudakova A.V. Stroenie i geohimicheskie osobennosti porod trappovoi formacii Norilskoi muldy (SZ Sibirskoi platformy [The structure and geochemical features of the rocks of the trap formation of the Norilsk trough (NW of the Siberian platform)] // Geochemistry. 2009. No. 7. P. 675–698.
- 14. Reichow M.K., Saunders A.D., White R.V. et al. Geochemistry and petrogenesis of basalts from the West Siberian Basin: an extension of the Permo-Triassic Siberian Traps, Russia // Lithos. 2005. No.79. P. 425-452.
- Boynton W. V. Geochemistry of Rare Earth Elements Meteorite Studies // Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam, 1984. P. 63-114.

- Pearce J.A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries / Ed. R.S.Thorpe // Andesites. Wiley, Chichester, 1982. P. 525-548.
- Lightfoot P.C., Howkesworth C.J., Hergt J., Naldrett A.J. et al. Remobilisation of the continental lithosphere by a mantle plume: major-, trace-element, and Sr-, Nd-, and Pb-isotopic evidence from picritic and tholeiitic lavas of the Norilsk District, Siberian Trap, Russia. Contrib // Mineral Petrol. 1993. Vol.114. P. 171-188.
- Saunders A.D., Norry M.J., Tarney J. Origin of MORB and Chemically-Depleted Mantle Reservoirs: Trace Element Constraints // J. of Petrology, Special Lithosphere Issue. 1988. P. 415-445.
- Early Carboniferous volcanic rocks of West Junggar in the western Central Asian Orogenic Belt: implications for a suprasubduction system / G.Yang, Y.Li, L.Safonova, S.Yi, L.Tong, R.Seltmann // Intern. Geology Review. 2014. Vol. 56. P. 823-844.
- Aldanmaz E., Pearce J.A., Thirlwall M.F., Mitchell J.G. Petrogenetic evolution of Late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey // J. of Volcanology and Geothermal Research. 2000. Vol. 102. Issue 1-2. P. 67-95.

Статья поступила в редакцию 21.04.2021