Девонские базальты и долериты Тимана и полуострова Канин: петрография, минералогия, геохимия, изотопия

А. М. Шмакова, К. В. Куликова

Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар alex.sch92@yandex.ru

Аннотация

В работе приведена обобщающая информация о петрографических, минералогических и изотопно-геохимических особенностях девонских базальтоидов п-ова Канин, Северного, Среднего и Южного Тимана. Основными породообразующими минералами являются клинопироксены и плагиоклазы, представленные как вкрапленниками, так и кристаллами основной массы. Из рудных минералов установлены титаномагнетит, редко встречается ильменит, пирит, халькопирит, галенит. Акцессорные минералы представлены апатитом и калиевым полевым шпатом (КПШ). Породы относятся преимущественно к нормальнощелочным базальтам и соответствуют толеитовой серии. Суммарные концентрации редкоземельных элементов (РЗЭ) имеют широкие вариации: п-ов Канин = 36,5-81,27 г/т, Северный Тиман = 35,6-64,2, Средний Тиман = 62,0-88,6, Южный Тиман = 44,82-52,41 г/т. Породы характеризуются геохимическими особенностями, типичными для магматических пород основного состава, сформированными в континентальной внутриплитной геодинамической обстановке. Мантийный источник, давший начало расплавам, был обогащен коровым компонентом. Наименее дифференцированные расплавы, более всего соответствующие первичным магмам, из которых формировались базальтоиды Тимана и п-ова Канин образовались при плавлении шпинелевого лерцолита, при степени плавления от 10 до 30 %.

Ключевые слова:

долериты, базальты, п-ов Канин, Тиман

Введение

Канино-Тиманский регион является северо-восточной окраиной Восточно-Европейской платформы и включает в себя п-ов Канин, Северный, Средний и Южный Тиман, которые формируют кулисообразную гряду, вытянутую в северо-западном направлении (1150х80 – 160 км). В пределах гряды фундамент сложен метаморфизованными верхнерифейскими породами, осадочный чехол представлен отложениями от нижнего силура до верхней перми (рис. 1) [2]. На территории региона известны большие

Devonian basalts and dolerites of the Timan and the Kanin Peninsula: petrography, mineralogy, geochemistry, isotopy

A. M. Shmakova, K. V. Kulikova

Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar alex.sch92@yandex.ru

Abstract

The paper presents general information on the petrographic, mineralogical and isotope-geochemical features of the Devonian basaltoids of the Kanin Peninsula, the Northern, Middle and Southern Timan. The main rock-forming minerals are clinopyroxenes and plagioclases represented by both phenocrysts and crystals of the groundmass. Among ore minerals, there are titanomagnetite, rarely ilmenite, pyrite, chalcopyrite, and galena. Accessory minerals are apatite and potassium feldspar. The rocks are mainly normal-alkaline basalts and correspond to the tholeiitic series. Total concentrations of rare-earth elements have wide variations: Kanin Peninsula = 36.5-81.27 ppm, Northern Timan = 35.6-64.2 ppm, Middle Timan = 62.0-88.6 ppm, Southern Timan = 44.82-52.41 ppm. The rocks are characterized by geochemical features typical of igneous rocks of basic composition, formed in a continental intraplate geodynamic setting. The mantle source, which gave rise to the melts, was enriched by the crustal component. The least differentiated melts, most closely corresponding to the primary magmas from which the basaltoids of Timan and the Kanin Peninsula were formed, were formed by spinel lherzolite melting with a melting degree from 10 to 30 %.

Keywords:

dolerites, basalts, Kanin Peninsula, Timan

площади девонских базальтов, а также дайки и силлы долеритов. Генезис данных пород до сих пор является предметом споров. По мнению одних исследователей [3-5], в девонском периоде, активно проходили процессы плюмового магматизма, который и обусловил появление базальтов трапповой формации, а также щелочных пород и трубок кимберлитов. По версии других [6-8], в пределах изучаемого региона в девонское время проходили процессы рифтогенеза, приведшие к излияниям базальтов,

27

внедрению даек и силлов долеритов. На сегодняшний день нет единой точки зрения на природу трапповых базальтов и их подводящих каналов – даек. Также отсутствует подробная вещественная характеристика этих пород на современном аналитическом уровне.

Цель работы – уточнение геодинамической обстановки формирования девонских базальтоидов Канино-Тиманского региона, определение типа и вещественного состава их мантийных источников.

Материалы и методы

Образцы базальтов Северного Тимана (реки Сула, Белая) были взяты из коллекции Б. А. Остащенко, В. В. Рожковой, Б. А. Малькова. Пробы пород Южного Тимана отобраны из керна скважины "С10" ООО "Тимано-Печорский научно-нсследовательский центр". Описание и фотографирование петрографических шлифов пород проводили на поляризационном микроскопе Nicon Eclipse LV100ND. Химический состав минералов и растровые снимки получены с помощью сканирующего микроскопа Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсным спектрометром Х-Мах (аналитики: Е. М. Тропников, А. С. Шуйский). С помощью методов рентгенофлуоресцентного (аналитик: С. Т. Неверов) и классического химического (аналитики: О. В. Кокшарова, Н. В. Туленкова, Т. А. Прудова, Т. В. Осипова) анализов был получен химический состав пород. Концентрации элементов-примесей в базальтах были получены методом



Рисунок 1. Геологическая карта-схема Тимана и п-ова Канин (по: [1]): 1 – верхний протерозой (PR₂); 2 – силур (S); 3 – нижний и средний девон (D₂₋₃); 4 – средний девон (D₂); 5 – верхний девон (D₃); 6 – карбон (C); 7 – нижний карбон (C₁); 8 – средний карбон (C₂); 9 – верхний карбон (C₃); 10 – пермь (P); 11 – нижняя пермь (P₁); 12 – верхняя пермь (P₂); 13 – триас (T); 14 – нижний триас (T₁); 15 – юра (J); 16 – средняя юра (J₂); 17 – средняя и верхняя юра (J₂₋₃); 18 – верхняя юра (J₃); 19 – мел (K); 20 – нижний мел (К₁); 21 – сиениты (є); 22 – гранитоиды (γ); 23 – долериты (v); 24 – базальты (β); 25 – несогласное залегание; 26 – разломы; 27 – районы исследований.

Figure 1. Geological sketch-map of the Timan and the Kanin Peninsula (according to [1]): 1 – Upper Proterozoic (PR₂); 2 – Silurian (S); 3 – Lower and Middle Devonian (D₂); 4 – Middle Devonian (D₂); 5 – Upper Devonian (D₃); 6 – Carboniferous (C); 7 – Lower Carboniferous (C); 8 – Middle Carboniferous (C₂); 9 – Upper Carboniferous (C₃); 10 – Permian (P); 11 – Lower Permian (P₃); 12 – Upper Permian (P₂); 13 – Triassic (T); 14 – Lower Triassic (T₃); 15 – Jurassic (J); 16 – Middle Jurassic (J₂); 17 – Middle and Upper Jurassic (J₂₋₃); 18 – Upper Jurassic (J₃); 19 – Cretaceous (K); 20 – Lower Cretaceous (K₁); 21 – syenites (ε); 22 – granitoids (γ); 23 – dolerites (v); 24 – basalts (β); 25 – unconformable bedding; 26 – faults; 27 – research areas.

масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) (спектрометр Agilent 7700, аналитик: Г. В. Игнатьев), исследования проведены в ЦКП «Геонаука» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Исследования изотопного состава Sm, Nd, Rb и Sr (см. табл. 3) проведены в ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург.

Геологическое строение района исследований

Девонские базальты Тимана и п-ова Канин выделяются в составе таврояхинской (D₃tv), кумушкинской (D₃kš), валсовской (D₃vl) и джъерской (D₃dz) свит, а дайки и силлы долеритов – в составе канино-тиманского долеритового комплекса (βD₃kt) [9]. Распространение базальтоидов в регионе неравномерное, большие площади покровных базальтов установлены на Северном и Среднем Тимане. Самая большая мощность покровных базальтов зафиксирована на Северном Тимане (160–170 м), на Среднем Тимане мощность значительно меньше – 25–30 м [10]. Дайки долеритов чаще встречаются на п-ове Канин и Среднем Тимане и прорывают рифейские отложения. Преобладающее простирание даек субмеридиональное, мощность составляет 1,5–50 м.

Петрографические и минералогические особенности пород

Базальты п-ова Канин обладают миндалекаменной текстурой в сочетании с пойкилоофитовой и интерсертальной микроструктурами основной массы. Помимо видимых миндалин округлой и чечевицеобразной форм (1-10 мм), состоящих из хлорита и кальцита, в породе отмечаются мелкие амебовидные миндалины хлоритового состава размером около 0,2 мм. Содержание миндалин в породе варьирует от 1 до 20 %. Также встречаются секреции яйцевидной формы размером до 20 см, выполненные кварцем и аметистом. Вкрапленники представлены лейстами плагиоклаза (до 0,5 мм) (центр зерен – An₈₃-An₈₇, край зерен – An₇₄-An₇₇), в единичных случаях зернами клинопироксена (центр зерен – авгит, край зерен – ферроавгит) (0,25–0,35 мм). Основная масса сложена микролитами сохранившегося и измененного плагиоклаза (центр зерен – Ап₆₇-Ап₇₆, край зерен – Ап₅₂-Ап₇₁) с размером 100-

200 мкм. В породе наблюдаются мелкие зерна часто замещенного пироксена (центр зерен – авгит, край зерен – ферроавгит) (размер 100-250 мкм) и изометричные зерна гомогенного (рис. 2 а) и скелетного титаномагнетита (80 мкм). Отмечаются зерна изометричного и шестоватого барита (100 мкм). Вулканическое стекло замещено вторичными минералами. Помимо миндалин отмечаются небольшие прожилки, заполненные кварцем (рис. 3 а, б).

У долеритов п-ова Канин выделяются следующие особенности. По размерности зерен структура долеритов делится на тонко- (0,25-0,6 мм) и мелкозернистую (1,0-1,5 мм). Текстура пород чаще всего массивная, в единичных случаях - миндалекаменная. Миндалины мелкие (до 1 мм), зональные, выполнены сидеритом, кальцитом и кварцем. Содержание миндалин в породе варьирует от 10 до 15 %. Микроструктура пород офитовая, реже – порфировая, пойкилоофитовая. Редкие порфировые вкрапленники (до 1,8 мм) представлены незональными лейстами плагиоклаза (центр зерен – An₈₃, край зерен – An,). Основная масса породы сложена клинопироксенами и плагиоклазами. Плагиоклаз (центр зерен - An₅₀-An₇₂, край зерен - An₃₀-An₅₀) встречается в виде лейст размером от 0,5 до 1,5 мм, часто наблюдается замещение минерала поздним альбитом или олигоклазом. Клинопироксен представлен ксеноморфными, реже - гипидиоморфными кристаллами размером от 0,25 до 1,5 мм. В некоторых зернах отмечается структура распада твердого раствора, выраженная в виде наличия составов пижонита (центр зерен – авгит, субкальциевый авгит, магнезиальный и промежуточный пижонит, край зерен – авгит, ферроавгит, реже – субкальциевый ферроавгит и железистый пижонит). Рудные минералы – эвгедральные или скелетные кристаллы титаномагнетита со структурой распада (рис. 2 б) или без нее (размер – 0,5 мм, реже – 1 мм). Реже встречаются халькопирит, пирит, ильменит и галенит. Акцессорные минералы – скелетные изометричные или игольчатые кристаллы (размер – 0,01–0,03 мм) апатита иединичные зерна КПШ (размер – до 0,1 мм). Межзерновое пространство выполнено стеклом, чаще всего замещенное палагонитом (рис. 3 в, г).



Рисунок 2. Кристаллы титаномагнетита: а, б – полуостров Канин: а – гомогенные эвгедральные кристаллы, б – скелетные кристаллы со структурой распада; в, г – Северный Тиман: в – скелетные кристаллы, г – гидроксиды железа; д, е – Средний Тиман: д – скелетные кристаллы, е – эвгедральные кристаллы; ж-и – Южный Тиман: ж – скелетные кристаллы, з – эвгедральные кристаллы, и – гидроксиды железа (фото в обратно рассеянных электронах).

Figure 2. Titanomagnetite crystals: a, b - Kanin Peninsula: a - homogeneous euhedral crystals, b - skeletal crystals $with a structural chain; <math>B, r - Northern Timan: B - skeletal crystals, r - iron hydroxides; <math>\mu, e - Middle Timan: \mu - skeletal crystals, e - euhedral crystals; <math>w - u - Southern Timan: w - skeletal crystals, a - euhedral crystals, u - iron hydroxides (photo in reverse-intelligent electrons).$

Базальты Северного Тимана (реки Сула, Белая) представлены массивными и миндалекаменными разновидностями, с интерсертальной и порфировой структурами основной массы. Содержание миндалин варьирует от менее 1 до 20 %, форма округлая, амебовидная, размером от 0,1 до 4 мм. Миндалины выполнены хлоритом, кварцем, иногда с каймами карбонатов, реже анальцимом. Порфировые вкрапленники представлены преимущественно лейстами плагиоклаза с прямой зональностью (размер - 0,1-2 мм) (центр зерен – Ап_{43-в1}- край зерен Ап₄₉₋₆₈), редко изометричными зернами пироксена (размер – 0,4–0,6 мм) (центр зерен – авгит, край зерен – ферроавгит). У некоторых вкрапленников плагиоклаза (р. Сула) отмечается замещение альбитом, КПШ и цеолитами. Основная масса базальтов сложена микролитами плагиоклаза (0,1-0,25 мм) (центр зерен An₅₇-An₆₇, край зерен An₃₅-An₅₅), иногда подверженного соссюритизации и изометричными зернами пироксена (0,1–0,25 мм) (центр зерен – авгит, магнезиальный пижонит, край зерен – ферроавгит, промежуточный пижонит). Рудные минералы - скелетные кристаллы титаномагнетита (размер – до 0,04 мм) (рис. 2 в), редкие зерна халькопирита (до 50 мкм) и гидроксиды железа (рис. 2 г), развивающиеся в межзерновом пространстве. Акцессорные минералы представлены титанитом, который образует изметричные зерна (размер – 0,1 мм) в интерстициях. Также в межзерновом пространстве установлены амебовидные агрегаты хлорита, редкие зерна сидерита и стекло (рис. 4 а, б).

Среднетиманские базальты (р. Цильма) имеют массивную или миндалекаменную текстуру и порфировую структуру с интерсертальной, реже – пойкилоофитовой основной массой. Содержание миндалин в породе варырует от 10 до 15 %. Отмечается два типа миндалин. Первый тип – амебовидные миндалины, реже – округлые, размером 0,3-0,6 мм, выполненные хлоритом, с каймами карбонатов (железосодержащий доломит) и кварца. Второй тип – крупные трубчатые, реже – уплощенные миндалины агатов размером от 1 до 20 см. В миндалекаменных базальтах с миндалинами хлорита отмечаются измененный плагиоклаз, а также высокое содержание агрегатов карбонатов (железистого доломита). Порфировые вкрапленники наблюдаются в массивных, не измененных базальтах и представлены таблитчатыми кристаллами плагиоклаза (0,4–0,8 мм, реже – 1 мм) и удлиненными кристаллами клинопироксена (0,8 мм, реже – 1 мм) (центр зерен – авгит, край зерен – ферроавгит). У вкрапленников плагиоклаза отмечается прямая и «осцилляторная» зональность. Прямая зональность обусловлена понижением концентрации кальция от центра к краю. «Осцилляторная» зональность характеризуется сменой содержаний кальция от центра к краю: An₇₁ – An₈₀ – An₄₈ – An₄₇ Основная масса породы представлена микролитами плагиоклаза (0,2 мм) (центр зерен – An₅₂-An₈₀, край зерен – An₄₉-An₆₃) и изометричными зернами клинопироксена (0,2 мм) (центр зерен – авгит, субкальциевый авгит, магнезиальный и промежуточный пижонит, край зерен – субкальциевый авгит, ферроавгит). В зернах пироксена наблюдаются структуры распада твердого раствора. Рудные минералы представлены мелкими эвгедральными (см. рис. 2 е) или скелетными (см. рис. 2 д) кристаллами титаномагнетита (0,05-0,15 мм), реже - зернами халькопирита и пирита.



Рисунок 3. Микрофотографии шлифов пород полуострова Канин: а, б – базальты юго-восточной части: а – миндалекаменные базальты; б – пойкилоофитовая структура; в, г – долериты: в – порфировая структура в долеритах юго-восточной части; г – порфировые вкрапленники плагиоклаза в долеритах центральной части. Figure 3. Micrographs of thin sections of rocks from the Kanin Peninsula: а, б – basalts of the southeastern part of the Kanin Peninsula: a – amygdaloidal basalts, б – poikilophitic structure; в, г – dolerites of the peninsula: в – porphyry structure in dolerites of the southeastern part of the peninsula, г – porphyry phenocrysts of plagioclase in dolerites of the central part of the peninsula.

Межзерновое пространство заполнено стеклом или заместившим его палагонитом (10-20 %) (рис. 4 в, г).

Базальты Южного Тимана обладают миндалекаменной текстурой и порфировой структурой в сочетании с интерсертальной микроструктурой основной массы. Содержание миндалин в породе – от 2 до 15 %. Форма амебовидная, реже – округлая, размер – от 0,4-3 мм, миндалины выполнены хлоритом, иногда с каймами карбонатов. Также отмечаются кварцевые миндалины. Вкрапленники представлены пироксеном (до 1,25 мм), реже - плагиоклазом (до 0,8 мм). Порфировые вкрапленники пироксена зональные, в центре зерен соответствуют эндиопсиду или авгиту, по периферии – авгиту, реже – ферроавгиту. Вкрапленники плагиоклаза базальтов Южного Тимана также

30



Рисунок 4. Микрофотографии шлифов: а, б – базальты Северного Тимана (реки Сула, Белая): а – миндалекаменные базальты, б – порфировые вкрапленники плагиоклаза; в, г – базальты Среднего Тимана (р. Цильма): в – амебовидные миндалины в базальтах, г – порфировые вкрапленники плагиоклаза; д, е – базальты Южного Тимана (скв. 10): д – миндалекаменные базальты, е – зерна пироксена и лейсты плагиоклаза в базальтах. Figure 4. Micrographs of thin sections: a, б – basalts of the Northern Timan (Sula, Belaya rivers): a – amygdaloid basalts, б – porphyritic phenocrysts of plagioclase; в, г – basalts of the Middle Timan (Tsilma river): в – amoeboid amygdaloids in basalts, г – porphyritic phenocrysts of plagioclase; д, е – basalts of the Southern Timan (well 10): д – amygdaloid basalts, е – pyroxene grains and plagioclase laths in basalts.

обладают прямой и «осцилляторной» зональностью, как и базальты Среднего Тимана. «Осцилляторная» зональность в плагиоклазе характеризуется сменой содержаний кальция от центра к краю: An₆₅-An₆₉-An₇₇-An₇₅-An_{48.} Ocновная масса породы представлена зональными микролитами плагиоклаза (0,4 мкм) (центр зерен – An₆₄–An₇₇, край зерен – An₃₈–An₆₈) и зональными зернами пироксена (0,4 мкм) (центр зерен – авгит, край зерен – ферроавгит). Часто порода подвержена изменениям и основной плагиоклаз может быть замещен альбитом. К акцессорным минералам относятся мелкие округлые агрегаты апатита (0,004 мм). Из рудных минералов установлены эвгедральные (рис. 2 ж) и скелетные кристаллы титаномагнетита (размер – 0,5-0,8 мм) (рис. 2 з) в единичных случаях с более титановой каймой. Также отмечаются редкие изометричные зерна ильменита. Наблюдается метасоматическое замещение силикатных минералов оксидами железа, которые

по величинам отношений FeO+Fe₂O₃/MgO относительно содержания (Na₂O+K₂O), породы относятся к толеитовой серии (рис. 5 б). По данным вариационной диаграммы TiO₂-Mg#, наиболее титанистыми и дифференцированными разновидностями являются породы районов рек Сулы и Белой (Северный Тиман) и Цильмы (Средний Тиман), а наименее – базальтоиды мыса Мал. Румяничный Северного Тимана и скв. 10 Южного Тимана (рис. 5 в).

Суммарные концентрации РЗЭ в базальтах Тимана и п-ова Канин имеют следующие значения: п-ов Канин = 36,5-81,27 г/т, Северный Тиман = 35,6-64,2, Средний Тиман = 62,0-88,6, Южный Тиман = 44,82-52,41 г/т. Базальты Тимана имеют однотипные распределения РЗЭ и элементов-примесей. Для исследуемых пород характерно не высокое обогащение легкими РЗЭ относительно тяжелых (La_N/Yb_N=1,44-2,65) (табл. 2) [11, 12, 15]. В базальтах и долеритах, по сравнению с базальтами СОХ нормального типа,

развиваются по ним в трещинах (рис. 2 и). Отмечается большое содержание хлорита в интерстициях. Межзерновое пространство заполнено стеклом, в редких – случаях карбонатом (рис. 4 д, е).

Изотопно-геохимические особенности пород

В химическом составе изученных пород были выделены следующие 000бенности. Содержание SiO, в основных породах Тимана и п-ова Канин варьирует в довольно широких пределах - от 47,08 до 57,01 мас. % (табл. 1) [11, 12]. По данным диаграммы TAS (рис. 5 а), породы тяготеют к области нормальнощелочных базальтов (Na,0+K,0=1,96-3,20). На общем фоне выделяются два образца Северного и Южного Тимана. Они попадают в поля щелочных разновидностей (Na₂O+K₂O=6,67-7,87), за счет высокого содержания Na₂O=5,O3-6,17 мас. %. Большинство составов базальтов натриевому соответствуют типу, кроме одного образца Северного Тимана, который относится к натриево-калиевому типу. Коэффициент глиноземистости (al') варьирует от 0,64 до 1,29. Концентрация ТіО, достигает 0,92-2,18 мас. %, Р₂О₅=0,06-0,19, Мg#=0,17-0,52 (табл. 1). Судя

Таблица 1

Химический состав девонских базальтоидов Тимана и полуострова Канин, мас.%

Table 1

Chemical composition of Devonian basaltoids of the Timan and the Kanin Peninsula, wt.%

Номер	1				2			3				4		5		
образца	400201	400204	400207	351501	351404	400312	400402	400404	1676/2	1676/3	16771	1681/2	0-4064-7	553/298	C10/4	C10/5
Si0 ₂	48,70	48,14	48,44	49,42	49,72	47,24	48,28	48,68	50,55	49,89	50,19	51,18	51,23	48,72	48,19	57,01
Ti0 ₂	2,63	1,48	1,26	1,46	1,45	2	2,03	2,12	1,28	1,39	1,36	1,60	1,67	1,99	1,25	1,42
Al ₂ O ₃	16,36	15,11	15,05	14,34	14,08	14,08	14,5	14,07	16,08	16,17	16,75	15,5	15,01	17,11	13,93	16,46
Fe ₂ O ₃ общ	14,55	10,97	11,66	12,5	12,6	14,18	14,28	14,39	11,03	11,37	11,37	12,09	13,5	14,03	11,33	6,66
Mn0	0,14	0,15	0,19	0,25	0,23	0,24	0,19	0,19	0,16	0,18	0,18	0,18	0,19	0,23	0,25	0,09
MgO	3,18	8,20	7,57	6,76	6,69	6,52	5,93	6,55	5,34	4,63	4,41	4,72	2,93	2,79	7,25	6,35
CaO	3,38	8,73	10,92	10,53	10,99	9,95	8,63	8	10,89	8,71	12	10,00	5,02	11,74	12,42	1,75
Na ₂ 0	3,09	2,85	1,9	1,8	1,87	2,15	2,73	2,95	2,46	4,08	2,06	2,35	5,03	2,31	2,14	6,17
K ₂ 0	2,56	0,33	0,21	0,29	0,34	0,51	0,67	0,77	0,65	0,78	0,54	1,01	2,84	0,3	0,15	0,50
P_2O_5	0,30	0,12	0,13	0,13	0,14	0,17	0,18	0,17	0,1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,14	0,10	0,12
п.п.п.	4,00	3,17	2,28	1,38	1,28	1,53	1,54	1,79	2,25	3,55	1,85	2,08	3	1,61	3,74	3,71
Сумма	94,89	96,08	97,33	97,48	98,11	97,04	97,42	97,89	98,54	97,31	98,97	98,74	97,53	99,36	97,02	96,52
Сумма с п.п.п.	98,89	99,25	99,61	98,86	99,39	98,57	98,96	99,68	100,79	100,86	100,82	100,82	100,53	100,97	100,76	100,23
FeO	8,10	5,81	6,92	8,27	8,61	8,75	8,75	8,76	7,17	7,82	7,33	7,48	4,84	8,83	6,87	2,13
H ₂ O	0,94	2,10	1,68	0,88	1,05	0,95	0,91	1,15	0,97	0,68	0,83	0,82	0,61	0,61	1,72	0,83
CO ₂	0,88	0,10	0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,16	0,16	< 0,1	0,56	0,86
Mg#	0,19	0,45	0,42	0,37	0,37	0,34	0,31	0,33	0,35	0,31	0,3	0,3	0,19	0,18	0,41	0,51

Примечание. 1 – составы базальтов юго-восточной части полуострова Канин; 2 – составы долеритов юго-восточной части полуострова Канин; 3 – составы долеритов центральной части полуострова Канин; 4 – составы базальтов Северного Тимана (реки Сула и Белая); 5 – составы базальтов Южного Тимана (скв. 10). Mg# - коэффициент магнезиальности.

Note. 1 - compositions of basalts from the southeastern part of the Kanin Peninsula; 2 - compositions of dolerites from the southeastern part of the Kanin Peninsula; 3 - compositions of dolerites from the central part of the Kanin Peninsula; 4 - compositions of basalts from Northern Timan (Sula and Belaya rivers); 5 - compositions of basalts from Southern Timan (well 10). Mg# - magnesia ratio.





Рисунок 5. Классификационные диаграммы для магматических пород основного состава Тимана и полуострова Канин: а – диаграмма (Na,0+K,0-Si0,) [13]; б – диаграмма АFM [14]; в – вариационная диаграмма TiO₂ – Mg#.

Условные обозначения: 1 - базальты юго-восточной части полуострова Канин; 2 - долериты юго-восточной части полуострова Канин [15]; 3 – долериты центральной части полуострова Канин [там же]; 4 - базальты рек Сулы и Белой (Северный Тиман); 5 - базальты мыса Мал. Румяничный (Северный Тиман) [11]; 6 - базальты р. Цильмы [15]; 7 - базальты Верхневорыквинского покрова (Средний Тиман) [12]; 8 - базальты Южного Тимана.

Figure 5. Classification diagrams for basic igneous rocks of the Timan and the Kanin Peninsula: a - diagram (Na,0+K,0-SiO,) [13]; б - AFM diagram [14]; в - TiO, - Mg# variation diagram.

Keys: 1 - basalts of the southeastern part of the Kanin Peninsula; 2 - dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula [15]; 3 - dolerites of the central part of the Kanin Peninsula [15]; 4 - basalts of the Sula and Belava rivers (Northern Timan); 5 - basalts of Mal. Rumyanichny Cape (Northern Timan) [11]; 6 - basalts of the Tsilma river [15]; 7 - basalts of the Verkhnevorykvinsky nappe (Middle Timan) [12]; 8 - basalts of the Southern Timan.

Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук № 3 (79), 2025 Серия «Науки о Земле» izvestia.komisc.ru

наблюдаются относительно повышенные содержания крупноионных элементов Ba, Rb, Th, U и относительно пониженные концентрации высокозарядных элементов Zr, Hf, HREE (рис. 6). Также для пород не характерен дефицит европия и отмечается слабый ниобиевый минимум.

Для определения геодинамической обстановки формирования базальтоидов использовался ряд наименее подвижных элементов Zr, Nb, Y. По данным диаграммы отношений Zr/Y-Zr, все базальтоиды Канино-Тиманского региона можно отнести к внутриконтинентальным

Таблица 2

Содержание элементов-примесей в базальтах полуострова Канин, Северного и Южного Тимана, г/т Table 2

Content of trace elements in basalts of the Kanin Peninsula, Northern and Southern Timan, ppm

2-2-2-2-2	1		2	2	3		
Элемент	0-4064-7	553/298	C10/4	C10/5	351501	400207	
Ba	270	99	30	31	140	101	
Rb	43	5,5	1,7	2,2	5,3	1,7	
Th	1,5	12	1,7	1,9	2,3	1,6	
U	0,26	0,76	0,37	0,35	0,55	0,72	
Nb	5,5	8,4	5,3	5,4	6	4,6	
Ta	0,36	0,58	0,3	0,29	0,4	0,35	
Sr	140	170	140	140	150	141	
Hf	2,6	4,1	2,3	2,2	2,9	2,3	
Zr	92	129	71	67	87	77	
V	400	308	200	160	230	276	
Co	38	46	36	35	34	45	
Ni	54	42	61	67	41	91	
Cr	110	97	130	130	43	217	
La	7	11	6,5	5,6	8,2	6,8	
Ce	19	27	16	13	20	16	
Pr	2,8	3,7	2,2	1,9	2,7	2,2	
Nd	13	17	9,8	8,7	12	10	
Sm	4	4,8	2,9	2,6	3,4	2,8	
Eu	1,6	1,7	1	0,93	1,2	1,2	
Gd	5	5,8	3,6	3,2	4	3,7	
Tb	0,79	1,0	0,64	0,55	0,69	0,64	
Dy	4,7	5,9	3,9	3,3	4,2	3,6	
Ho	0,95	1,2	0,82	0,69	0,88	0,76	
Er	2,6	3,4	2,3	2	2,5	2,4	
Tm	0,34	0,44	0,33	0,28	0,35	0,34	
Yb	2,1	2,9	2,1	1,8	2,3	2,0	
Lu	0,32	0,42	0,32	0,27	0,35	0,32	
Y	24	27	19	15	20	20	
∑REE	64,20	87,06	52,41	44,82	62,77	52,70	
∑LREE	52,40	71,85	42,00	35,93	51,50	42,63	
∑HREE	11,80	15,22	10,41	8,89	11,27	10,06	
La _N /Yb _N	2,25	1,47	2,09	2,7	2,4	2,26	
Nb/La	0,79	0,73	0,82	0,96	0,73	0,68	
Gd _N /Yb _N	1,92	1,61	1,38	1,88	1,4	1,47	

Примечание. 1 – составы базальтов Северного Тимана (реки Сула и Белая); 2 – составы базальтов Южного Тимана (скв. 10); 3 – составы базальтов юго-восточной части полуострова Канин.

Note. 1 – compositions of basalts of the Northern Timan (Sula and Belaya rivers); 2 – compositions of basalts of the Southern Timan (well 10); 3 – compositions of basalts of the southeastern part of the Kanin Peninsula.



Рисунок 6. График распределения РЗЭ, нормированных к составу хондрита Cl (по: [16]) (а) и график распределения элементов-примесей, нормированных к составу базальтов СОХ (б) [17], для позднедевонских базальтоидов Канино-Тиманского региона).

Условные обозначения: 1 – базальты юго-восточной части полуострова Канин; 2 – долериты юго-восточной части полуострова Канин [15]; 3 – долериты центральной части полуострова Канин [15]; 4 – базальты рек Сулы и Белой (Северный Тиман); 5 – базальты мыса Мал. Румяничный (Северный Тиман) [11]; 6 – базальты р. Цильмы [там же]; 7 – базальты Верхневорыквинского покрова (Средний Тиман) [12]; 8 – базальты Южного Тимана.

Figure 6. Distribution graph of REE normalised to the composition of Cl chondrite (according to [16]) (a) and distribution graph of trace elements normalised to the composition of MOR basalts (6) [17] for the Late Devonian basaltoids of the Kanin-Timan region).

Keys: 1 – basalts of the southeastern part of the Kanin Peninsula; 2 – dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula [15]; 3 – dolerites of the central part of the Kanin Peninsula [15]; 4 – basalts of the Sula and Belaya rivers (Northern Timan); 5 – basalts of the Mal. Rumyanichny Cape (Northern Timan) [11]; 6 – basalts of the Tsilma river [15]; 7 – basalts of the Verkhnevorykvinsky nappe (Middle Timan) [12]; 8 – basalts of the Southern Timan.

образованиям, с примесью базальтов COX (рис. 7 а). По соотношению Nb/Y-Zr/Y составы исследуемых базитов занимают области пересечения базальтов океанических плато и островодужных базальтов, тяготея к не плюмовым источникам (рис. 7 б).

Для определения источников базальтовых расплавов исследуемые породы были рассмотрены в системе Th–Nb-Ce [21]. На вариационной диаграмме Ce/Nb–Th/Nb точки составов большей части исследуемых пород формируют тренд, показывающий нарастание в источнике влияния коровой компоненты на исходный расплав (рис. 8 а). Судя по положению точек, наибольшее влияние коровой составляющей было оказано на базальтовую магму, из ко-



Рисунок 7. а - диаграмма Zr/Y -Zr: w/in plate – внутриплитные толеиты, MORB – базальты СОХ, Е - внутриплитные толеиты и базальты COX, volc arc – островодужные базальты [18]; б – диаграмма Zr/Y-Nb/Y: DEP - деплетированная глубинная мантия, РМ - примитивная мантия, ОРВ – базальты океанического плато, OIB - базальты океанических островов, REC – рециклинированный компонент, NMORB – нормальные базальты срединно-океа-

нических хребтов, DM – верхняя деплетированная мантия, ARC – островодужные базальты, EN – обогащенный компонент [19, 20]. Условные обозначения: 1 - базальты юго-восточной части полуострова Канин; 2 - долериты юго-восточной части полуострова Канин [15]; 3 - долериты центральной части полуострова Канин [15]; 4 – базальты рек Сулы и Белой (Северный Тиман); 5 – базальты мыса Мал. Румяничный (Северный Тиман) [11]; 6 – базальты р. Цильмы [15]; 7 – базальты Верхневорыквинского покрова (Средний Тиман) [12]; 8 – базальты Южного Тимана.

Figure 7. a - Zr/Y - Zr diagram: w/in plate - intraplate tholeiites, MORB - MOR basalts, E - intraplate tholeiites and MOR basalts, volc arc - island-arc basalts [18]; 6 - Zr/Y - Nb/Y diagram: DEP - depleted deep mantle, PM - primitive mantle, OPB - oceanic plateau basalts, OIB - oceanic island basalts, REC - recycled component, NMORB - normal mid-ocean ridge basalts, DM - upper depleted mantle, ARC - island-arc basalts, EN - enriched component [19, 20]

Keys: 1 - basalts of the southeastern part of the Kanin Peninsula; 2 - dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula [15]; 3 - dolerites of the central part of the Kanin Peninsula [15]; 4 - basalts of the Sula and Belaya rivers (Northern Timan); 5 - basalts of the Mal. Rumyanichny Cape (Northern Timan) [11]; 6 - basalts of the Tsilma River [15]; 7 - basalts of the Verkhnevorykvinsky nappe (Middle Timan) [12]; 8 - basalts of the Southern Timan.



Рисунок 8. а - положение составов базальтоидов полуострова Канин и Тимана на диаграмме Ce/Nb - Th/Nb [21].

Примечание. DMM – деплетированная мантия; RSC – остаточный компонент рециклированной океанической коры; SDC - субдукционный компонент островных дуг; б – составы пород в сопоставлении с результатами численного моделирования частичного плавления разных мантийных источников в системе Nb - Nb/Yb [22]. 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); в – ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd – ⁸⁷ Sr /⁸⁶Sr диаграмма [23–25] для базальтов Тимана и полуострова Канин. HIMU - мантия с высоким отношением U/Pb, PREMA - преобладающая мантия [26], BSE - валовый состав Земли [27, 28], EM1, EM2 - обогащенная мантия [там же].

Условные обозначения: 1 - базальты юго-восточной части полуострова Канин; 2 - долериты юго-восточной части полуострова Канин [15]; 3 - долериты центральной части полуомтрова Канин [там же]; 4 - базальты рек Сулы и Белой (Северный Тиман); 5 – базальты мыса Мал. Румяничный (Северный Тиман) [11]; 6 – базальты р. Цильмы [15]; 7 – базальты Верхневорыквинского покрова (Средний Тиман) [12], 8 – базальты Южного Тимана.

Figure 8. a - position of compositions of the Timan and Kanin Peninsula basaltoids on the Ce/Nb - Th/Nb diagram [21].

Note. DMM - depleted mantle; RSC - residual component of recycled oceanic crust; SDC – subduction component of island arcs; 6 – rock compositions compared with the results of numerical modeling of partial melting of different mantle sources in the Nb - Nb/Yb system [22]. The curves show the calculated ratios during melting of garnet peridotite rocks with garnet content of 1, 5, 10 % (GtP1, GtP5, GtP10), spinel lherzolite (SpLz) of the primitive mantle (PM), moderately depleted harzburgite (Hz) of the depleted mantle (DM) and island-arc harzburgite (ArcHz) of the subarc strongly depleted mantle (ArcM); B - ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd - ⁸⁷Sr /⁸⁶Sr diagram [23-25] for basalts of the Timan and the Kanin Peninsula. HIMU - mantle with high U/Pb ratio, PREMA - dominant mantle [26], BSE - bulk composition of the Earth [27, 28], EM1, EM2 - enriched mantle [27, 28].

Keys: 1 - basalts of the southeastern part of the Kanin Peninsula; 2 - dolerites of the southeastern part of the Kanin Peninsula [15]; 3 - dolerites of the central part of the Kanin Peninsula [15]; 4 - basalts of the Sula and Belaya rivers (Northern Timan), 5 - basalts of the Mal. Rumvanichny Cape (Northern Timan) [11]: 6 - basalts of the Tsilma river [15]; 7 – basalts of the Verkhnevorykvinsky nappe (Middle Timan) [12]; 8 - basalts of the Southern Timan.

Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук № 3 (79), 2025 34 Серия «Науки о Земле» izvestia.komisc.ru

торой кристаллизовались базальтоиды Среднего Тимана (р. Цильма) и центральной части п-ова Канин. Влияние корового компонента подтверждается низким показателем Nb/La (0,54-0,96), который свидетельствует о влиянии на источник расплава древней континентальной литосферы [29].

Для определения условий выплавления магмы были использованы наименее дифференцированные составы исследуемых пород. По данным вариаций Nb–Nb/Yb [22], установлено, что расплавы, из которых формировались базальтоиды, образовались при плавлении шпинелевого лерцолита (рис. 8 б). На это указывают и низкие (Gd/Yb) n=1,04–1,92 [30].

Нами был изучена Sm-Nd и Rb-Sr изотопная система пород (табл. 3). Величины отношений ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd минимальны в породах Валсовского покрова (Средний Тиман) (0,51269-0,51271), центральной части п-ова Канин (0,51268). Наиболее высокие отношения ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd установлены для пород Северного Тимана (0,512849-0,512920) и базальтов юго-восточной части п-ова Канин (0,521282).

Величины $\epsilon_{\rm Nd}$ имеют положительные значения и варьируют от +2,3 до +4,5 (см. табл. 1). Самые высокие значения $\epsilon_{\rm Nd}$ установлены в породах Северного Тимана (+5,5), самые низкие – в центральной части п-ова Канин (+2,3). Такие значения $\epsilon_{\rm Nd}$ характерны для пород мантийного происхождения.

Положение точек составов исследуемых базальтоидов на диаграмме ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd-⁸⁷Sr/⁸⁶Sr сгруппированы вблизи мантийного тренда. Однако точки составов близки к области обогащенной мантии [23-25] (рис. 8 в). Высокие содержания ⁸⁷Sr /⁸⁶Sr=0,70687-0,71167 могут быть связаны с поступлением в магму стронция из осадочных пород.

Заключение

В ходе проведенных исследований установлено, что основными породообразующими минералами базальтоидов Тимана и п-ова Канин являются зональные клинопироксены и плагиоклазы, представленные как вкрапленниками, так и кристаллами основной массы. Отмечается структура распада твердого раствора в долеритах п-ова Канин и базальтах Среднего Тимана. У вкрапленников плагиоклазов базальтов Среднего и Южного Тимана наблюдается прямая и «осцилляторная» зональность. Рудные минералы представлены преимущественно титаномагнетитом. В значительно меньшей степени (единичные зерна) встречаются ильменит, пирит, халькопирит, галенит. Акцессорные – апатит и КПШ. По данным диаграммы TAS, породы соответствуют преимущественно нормальнощелочным базальтам и относятся к толеитовой серии. Наиболее титанистыми и дифференцированными разновидностями являются породы районов рек Сулы и Белой (Северный Тиман) и Цильмы (Средний Тиман), а наименее – базальтоиды мыса Мал. Румяничный Северного Тимана и скв. 10 Южного Тимана (см. рис. 2 в). Суммарные концентрации РЗЭ в базальтах Тимана и п-ова Канин имеют широкие вариации: п-ов Канин = 36,5-81,27 г/т, Северный Тиман = 35,6-64,2, Средний Тиман = 62,0–88,6, Южный Тиман = 44,82–52,41 г/т. Базальтоиды характеризуются геохимическими особенностями, типичными для магматических пород основного состава, сформированными в континентальной внутриплитной геодинамической обстановке. Мантийный источник, давший начало расплавам, был обогащен коровой компонентой. Наименее дифференцированные расплавы, более всего соответствующие первичным магмам, из ко-

Таблица З

Table 3

	Isotopic composition of Sm-Nd and Rb-Sr in basaltoids of the Timan and the Kanin Peninsula											
Nº/Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
№ пробы	400207*	400504*	1678/1*	0-4064-8	232/A81	ЦИ-25*	C6/10	2A/11	12-2A/11	19/71	26/73	C10T/4*
t, млн лет	419	419	419	389	389	295	389	389	389	389	389	389
Sm. мкг/г	2,96	4,41	3,40	3,91	2,00	4,524	4,2	3,9	3,9	4,53	4,38	3,40
Nd. мкг/г	10,64	15,11	12,29	13,05	6,14	16,55	14,6	13,69	13,6	17,02	16,18	11,65
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0,1681	0,1762	0,1670	0,1810	0,1968	0,1643	0,1729	0,1719	0,1748	0,1607	0,1637	0,1763
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0,51271	0,51282	0,51268	0,512849	0,51292	0,51272	0,51279	0,51277	0,51279	0,51269	0,51271	0,512733
e _{Nd} (T)	+2,9	+4,6	+2,3	+4,9	+5,5	+2,7	+4,1	+3,8	+4	+2,8	+3	+2,9
Т _{DM (млн лет)}	940	797	985	746	692	850	813	834	820	921	900	914
Rb	-	-	18,33	-	3,7	-	9,6	22,6	-	6,6	3,9	2,17
Sr	-	-	158	-	104,8	-	166,2	200,5	-	203,2	192,3	171
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	-	-	0,3379	-	0,101	-	0,167	0,033	-	0,094	0,059	0,0369
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	-	-	0,70793	-	0,7102	-	0,71167	0,70841	-	0,70833	0,70732	0,70687
+/-2s	-	-	5	-	17	-	15	3	-	18	11	5

Изотопный состав Sm-Nd и Rb-Sr в базальтоидах Тимана и полуострова Канин

Примечание. Пробы: 1 – базальты полуострова Канин (Чёшская губа); 2 – долериты полуострова Канин (Чёшская губа); 3 – долериты полуострова Канин (р. Тальбей); 4, 5 – базальты Северного Тимана: 4 – район р. Сулы, 5 – мыс. Бол. Румяничный [12]; 6–10 – базальты Среднего Тимана: 6 – район р. Цильмы; 7-9 – Верхневорыквинский покров [12], 10, 11 – Валсовский покров [12], 11 – Южный Тиман (скв. 10). Условное обозначение. * авторские данные.

Note. Samples: 1 – basalts of the Kanin Peninsula (Cheshskaya Guba); 2 – dolerites of the Kanin Peninsula (Cheshskaya Guba); 3 – dolerites of the Kanin Peninsula (Talbey River); 4, 5 –basalts of the Northern Timan: 4 – Sula River area, 5 –Bol. Rumyanichny Cape [12]; 6–10 – basalts of the Middle Timan: 6 – Tsilma River area, 7–9 – Verkhnevorykvinsky nappe [12]; 10–11 – Valsovsky nappe [12], 11 — Southern Timan (well 10). Symbol: * means the author's data. торых формировались базальтоиды Тимана и п-ова Канин, образовались при плавлении шпинелевого лерцолита, при степени плавления от 20 до 30 %.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники и литература

- Оловянишников, В. Г. Геологическое развитие Северного Тимана и п-ова Канин / В. Г. Оловянишников. – Сыктывкар: Геопринт, 2004. – 80 с.
- Тимонин, Н. И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое / Н. И. Тимонин. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 239 с.
- Nikishin, A. M. Late Precambrian to Triassic history of the East European craton: dynamics of sedimentary basin evolution / A. M. Nikishin, P. A. Ziegler, R. A. Stephenson [et al.] // Tectonophysics. – 1996. – Vol. 268. – P. 23–63.
- Лобковский, Л. И. Современные проблемы геотектоники и геодинамики / Л. И. Лобковский, А. М. Никишин, В. Е. Хаин. – М.: Научный мир, 2004. – 612 с.
- Степаненко, В. И. Канино-Тимано-Печорская провинция позднедевонского внутриплитного магматизма (положение и размеры) / В. И. Степаненко // Доклады академии наук. – 2016. – Т. 467, № 5. – С. 572—575.
- Гецен, В. Г. Тектоника Тимана / В. Г. Гецен. Л.: Наука, 1987. – 172 с.
- Пучков, В. Н. Тектоника Урала. Современные представления / В. Н. Пучков // Геотектоника. – 1997. – № 4. – С. 42–61.
- Малышев, Н. А. Геодинамическая эволюция Европейского северо-востока в девоне / Н. А. Малышев, Э. В. Шипилов // Вестник. – 2002. – № 11. – С. 2–4.
- Опаренкова, Л. И. Легенда Тиманской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (издание второе) / Л. И. Опаренкова, Н. Ф. Иванов. – Ухта, 1999. – 150 с.
- Тиманский кряж. Т. 2. Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика Земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы: монография. – Ухта: УГТУ, 2010. – 437 с.
- Анферова, Е. А. Особенности химического состава минералов базальтов нижней части Верхне-Ворыквинского покрова (Средний Тиман) / А. Е. Анферова. // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Мат-лы 21-й науч. конф. – Сыктывкар; Геопринт, 2011. – С. 8–12.
- Удоратина, О. В. Базальты Среднего Тимана: Rb-Sr, Sm-Nd, и Ar-Ar данные / О. В. Удоратина, В. Л. Андреичев, А. В. Травин [и др.] // 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.
- Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences. Subcommission on the Systematics of

Igneous Rocks (2nd edition). Edited by R. W. LeMaitre. – Cambridge University Press, 2002. – 236 p. https://doi. org/10.1017/CB09780511535581.

- Irvine, T. N. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks / T.N. Irvine, W.R.A. Baragar // Canada. J. Earth Sci. – 1971. – Vol. 8. – P. 523–548.
- Шмакова, А. М. Геохимическая характеристика позднедевонских базальтоидов полуострова Канин и Среднего Тимана / А. М. Шмакова, К. В. Куликова // Известия Коми научного центра УрО РАН. Серия «Науки о Земле». – Сыктывкар, 2021. – №3 (49). – С. 22–31. DOI 10.19110/1994-5655-2021-3-14-21.
- Boynton, W. V. Geochemistry of rare-earth elements: Meteorite studies / W. V. Boynton // Rare Earth Element Geochemistry. – Amsterdam. – 1984. – P. 63–114.
- Pearce, J. A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries / Pearce, J. A. // In: Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks. Ed. R. S. Thorpe. – John Wiley and Sons, 1982. – P. 525–548.
- Pearce, J. A., Norry M. J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb. Variations in volcanic rocks / J. A. Pearce, M. J. Norry // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1979. – Vol. 69. – P. 33–37.
- Fitton, J. G. Thermal and chemical structure of the Iceland plume / J. G. Fitton, A. D. Saunders, M. J. Norry [et al.] // Earth Planet. Sci. Lett. – 1997. – Vol. 153. – P. 197–208. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(97)00170-2.
- Condie, K. C. The 1.75-Ga Iron King Volcanics in west-central Arizona: a remnant of an accreted oceanic plateau derived from a mantle plume with a deep depleted component / K. C. Condie, B. A. Frey, R. Kerrich // Lithos. 2002. Vol. 64. P. 49–62. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(02)00158-5.
- Saunders, A. D. Origin of MORB and chemically-depleted mantle reservoirs: trace element constraints / A. D. Saunders, M. J. Norry, J. Tarney // Journal of Petrology. Special Lithosphere Issue. – 1988. – P. 415–445.
- Yang, G. Early Carboniferous volcanic rocks of West Junggar in the western Central Asian Orogenic Belt: implications for a supra-subduction system / G. Yang, Y. Li, I. Safonova [et al.] // International Geology Review. – 2014. – Vol. 56. – P. 823–844.
- Ivanov, A. V. Deep-level geodynamics: boundaries of the process according to geochemical and petrologic data // Geodynamics & Tectonophysics. - 2010. - Vol. 1, № 1. -P. 87-102.
- Hofmann, A. W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism / A. W. Hofmann // Nature. – 1997. – Vol. 385. – P. 219–229.
- Tackley, P. J. Mantle convection and plate tectonics: toward an integrated physical and chemical theory / P. J. Tackley // Science. – 2000. – Vol. 288, № 5473. – P. 2002– 2007.
- Zindler, A. Chemical geodynamics / A. Zindler, S. R. Hart // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 1986. – Vol. 14. – P. 493–571.

- Armienti, P. Do we really need mantle components to define mantle composition? / P. Armienti, D. Gasperini // Journal of Petrology. – 2007. – Vol. 48. – P. 693–709.
- Stracke, A. FOZO, HIMU, and the rest of the mantle zoo / A. Stracke, A. W. Hofmann, S. R. Hart // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2005. – Vol. 6. Q05007. doi:10.1029/2004GC000824.
- Lightfoot, P. C. Remobilization 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 Noril'sk District, Siberian Trap, Russia / P. C. Lightfoot, C. J. Howkesworth, J. Hergt [et al.] // Contrib Mineral Petrol. – 1993. – Vol. 114. – P. 171–188.
- Hirschmann, M. M. A possible role for garnet pyroxinite in the origin of the "garnet signature" in MORB / M. M. Hirschmann, E. M. Stolper // Contrib. Mineral. Petrol. – 1996. – Vol. 124. – P. 185–208. https://doi.org/10.1007/ S004100050184.

References

- Olovyanishnikov, V. G. Geologicheskoe razvitie Severnogo Timana i p-ova Kanin [Geological development of the Northern Timan and the Kanin Peninsula] / V. G. Olovyanishnikov. – Syktyvkar: Geoprint, 2004. – 80 p.
- Timonin, N. I. Pechorskaya plita: istoriya geologicheskogo razvitiya v fanerozoe [The Pechora plate: history of geological development in the Phanerozoic] / N. I. Timonin. – Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1998. – 239 p.
- Nikishin, A. M. Late Precambrian to Triassic history of the East European craton: dynamics of sedimentary basin evolution / A. M. Nikishin, P. A. Ziegler, R. A. Stephenson [et al.] // Tectonophysics. – 1996. – Vol. 268. – P. 23–63.
- Lobkovsky, L. I. Sovremennye problemy geotektoniki i geodinamiki [Modern problems of geotectonics and geodynamics] / L. I. Lobkovsky, A. M. Nikishin, V. E. Khain. – M.: Nauchny mir, 2004. – 612 p.
- Stepanenko, V. I. Kanino-Timano-Pechorskaya provinciya pozdnedevonskogo vnutriplitnogo magmatizma (polozhenie i razmery) [Kanin-Timan-Pechora province of late Devonian intraplate magmatism (position and dimensions)] / V. I. Stepanenko // Reports of the Academy of Sciences. - 2016. - Vol. 467, № 5. - P. 572-575.
- Getsen, V. G. Tektonika Timana [Tectonics of the Timan] / V. G. Getsen. – Leningrad: Nauka, 1987. – 172 p.
- Puchkov, V. N. Tektonika Urala. Sovremennye predstavleniya [Tectonics of the Urals. Modern concepts] / V. N. Puchkov // Geotektonika [Geotectonics]. – 1997. – № 4. – P. 42–61.
- Malyshev, N. A. Geodinamicheskaya evolyuciya Evropejskogo severo-vostoka v devone [Geodynamic evolution of the European northeast in the Devonian] / N. A. Malyshev, E. V. Shipilov // Bulletin. – 2002. – № 11. – P. 2–4.
- Oparenkova, L. I. Legenda Timanskoj serii listov Gosudarstvennoj geologicheskoj karty Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200 000 (izdanie vtoroe) [Legend of the

Timan series of sheets of the State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1:200,000 (second edition)] / L. I. Oparenkova, N. F. Ivanov. – Ukhta, 1999. – 150 p.

- Timanskij kryazh. T. 2. Litologiya i stratigrafiya, geofizicheskaya harakteristika Zemnoj kory, tektonika, mineralno-syr'evye resursy: monografiya [Timan Ridge. Vol. 2. Lithology and stratigraphy, geophysical characteristics of the Earth's crust, tectonics, mineral resources: monograph]. – Ukhta: USTU, 2010. – 437 p.
- Anferova, E. A. Osobennosti himicheskogo sostava mineralov bazaltov nizhnej chasti Verhne-Vorykvinskogo pokrova (Srednij Timan) [Features of chemical composition of minerals of basalts of the lower part of the Verkhne-Vorykvinsky nappe (Middle Timan)] / E. A. Anferova // Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery Timano-Severouralskogo segmenta [Structure, Substance, History of the Lithosphere of the Timan-Severouralsk Segment]. Proc. 21st Scientific Conf. – Syktyvkar: Geoprint, 2011. – P. 8–12.
- Udoratina, O. V. Bazalty Srednego Timana: Rb-Sr, Sm-Nd, i Ar-Ar dannye [Basalts of the Middle Timan: Rb-Sr, Sm-Nd, and Ar-Ar data / O. V. Udoratina, V. L. Andreichev, A. V. Travin [et al.] // Geologiya i mineralnye resursy Evropejskogo Severo-Vostoka Rossii [Geology and Mineral Resources of the European North-East of Russia]: Proc. of the XVI Geological Congress of the Komi Republic. Vol. II. Syktyvkar: IG Komi Science Centre Ural Branch RAS, 2014. 384 p.
- Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences. Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks (2nd edition). Edited by R. W. LeMaitre. – Cambridge University Press, 2002. – 236 p. https://doi. org/10.1017/CB09780511535581.
- Irvine, T. N. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks / T.N. Irvine, W.R.A. Baragar // Canada. J. Earth Sci. – 1971. – Vol. 8. – P. 523–548.
- 15. Shmakova, A. M. Geohimicheskaya harakteristika pozdnedevonskih bazaltoidov poluostrova Kanin i Srednego Timana [Geochemical characteristics of the Late Devonian basaltoids of the Kanin Peninsula and the Middle Timan] / A. M. Shmakova, K. V. Kulikova // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – Syktyvkar. – 2021. – № 3 (49). – P. 22–31. DOI 10.19110/1994– 5655-2021-3-14–21.
- Boynton, W. V. Geochemistry of rare-earth elements: Meteorite studies / W. V. Boynton // Rare Earth Element Geochemistry. – Amsterdam. – 1984. – P. 63–114.
- Pearce, J. A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries / Pearce, J. A. // In: Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks. Ed. R. S. Thorpe. – John Wiley and Sons, 1982. – P. 525–548.
- Pearce, J. A., Norry M. J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb. Variations in volcanic rocks / J. A. Pearce,

Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук № 3 (79), 2025 Серия «Науки о Земле» izvestia.komisc.ru

M. J. Norry // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1979. – Vol. 69. – P. 33–37.

- Fitton, J. G. Thermal and chemical structure of the Iceland plume / J. G. Fitton, A. D. Saunders, M. J. Norry [et al.] // Earth Planet. Sci. Lett. – 1997. – Vol. 153. – P. 197–208. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(97)00170–2.
- Condie, K. C. The 1.75-Ga Iron King Volcanics in west-central Arizona: a remnant of an accreted oceanic plateau derived from a mantle plume with a deep depleted component / K. C. Condie, B. A. Frey, R. Kerrich // Lithos. 2002. Vol. 64. P. 49–62. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(02)00158–5.
- Saunders, A. D. Origin of MORB and chemically-depleted mantle reservoirs: trace element constraints / A. D. Saunders, M. J. Norry, J. Tarney // Journal of Petrology. Special Lithosphere Issue. – 1988. – P. 415–445.
- Yang, G. Early Carboniferous volcanic rocks of West Junggar in the western Central Asian Orogenic Belt: implications for a supra-subduction system / G. Yang, Y. Li, I. Safonova [et al.] // International Geology Review. – 2014. – Vol. 56. – P. 823–844.
- Ivanov, A. V. Deep-level geodynamics: boundaries of the process according to geochemical and petrologic data // Geodynamics & Tectonophysics. – 2010. – Vol. 1, № 1. – P. 87–102.
- Hofmann, A. W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism / A. W. Hofmann // Nature. – 1997. – Vol. 385. – P. 219–229.

- Tackley, P. J. Mantle convection and plate tectonics: toward an integrated physical and chemical theory / P. J. Tackley // Science. - 2000. - Vol. 288, № 5473. - P. 2002-2007.
- Zindler, A. Chemical geodynamics / A. Zindler, S. R. Hart // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 1986. – Vol. 14. – P. 493–571.
- Armienti, P. Do we really need mantle components to define mantle composition? / P. Armienti, D. Gasperini // Journal of Petrology. – 2007. – Vol. 48. – P. 693–709.
- Stracke, A. FOZO, HIMU, and the rest of the mantle zoo / A. Stracke, A. W. Hofmann, S. R. Hart // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2005. – Vol. 6. Q05007. doi: 10.1029/2004GC000824.
- Lightfoot, P. C. Remobilization 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 Noril'sk District, Siberian Trap, Russia / P. C. Lightfoot, C. J. Howkesworth, J. Hergt [et al.] // Contrib Mineral Petrol. – 1993. – Vol. 114. – P. 171– 188.
- Hirschmann, M. M. A possible role for garnet pyroxinite in the origin of the "garnet signature" in MORB / M. M. Hirschmann, E. M. Stolper // Contrib. Mineral. Petrol. – 1996. – Vol. 124. – P. 185–208. https://doi.org/10.1007/ S004100050184.

Благодарность (госзадание):

Исследования выполнены в рамках государственного задания Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Acknowledgements (state task)

The research was carried out within the frames of the state task of the Institute of Geology Komi SC UB RAS.

Информация об авторах:

Шмакова Александра Михайловна – младший научный сотрудник Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; https://orcid.org/0000-0002-9770-6696 (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: alex.sch92@yandex.ru).

Куликова Ксения Викторовна – ведущий научный сотрудник Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук; https:// orcid.org/0000-0003-1714-824X (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: fopolina1@yandex.ru).

About the authors:

Alexandra M. Shmakova – Junior Researcher, Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; ORCID (54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, 167982 Russian Federation; e-mail: alex.sch92@yandex.ru). Kseniya V. Kulikova – Leading Researcher, Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; ORCID (54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, 167982 Russian Federation; e-mail: fopolina1@yandex.ru).

Для цитирования:

Шмакова, А. М. Девонские базальты и долериты Тимана и полуострова Канин: петрография, минералогия, геохимия, изотопия / А. М. Шмакова, К. В. Куликова // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле». – 2025. – № 3 (79). – С. 27–39.

For citation:

Shmakova, A. M. Devonskie bazalty i dolerity Timana i p-ova Kanin: petrografiya, mineralogiya, geohimiya, izotopiya [Devonian basalts and dolerites of the Timan and the Kanin Peninsula: petrography, mineralogy, geochemistry, isotopy] / A. M. Shmakova, K. V. Kulikova // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – 2025. – № 3 (79). – P. 27–39.

Дата поступления статьи: 04.03.2024 Прошла рецензирование: 25.03.2025 Принято решение о публикации: 01.04.2025 Received: 04.03.2024 Reviewed: 25.03.2025 Accepted: 01.04.2025

39