



Метабазиты р. Лунвож (Средний Тиман): петрография, минералогия, петрохимия

А. М. Шмакова

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
amshmakova@geo.komisc.ru

На территории Канино-Тиманского региона в пределах Среднего Тимана на р. Лунвож установлена небольшая дайка неизвестного возраста. В результате проведенных исследований было выяснено, что породы, слагающие это интрузивное тело, по содержанию главных породообразующих элементов соответствуют андезибазальтам. Они практически полностью перекристаллизованы и сложены хлоритом (30–40 %), карбонатами (25–40 %), альбитом (10–15 %), кварцем (10–15 %), мусковитом (5–8 %) и плагиоклазом (меньше 1 %). Акцессорные минералы представлены апатитом, монацитом и рутилом. К рудным минералам относятся пирит, халькопирит, кобальтин. По минеральному составу и петрохимическим характеристикам породы, слагающие дайковое тело на р. Лунвож, отличаются от базитов среднерифейского среднетиманского и девонского канино-тиманского комплексов, выделяемых в Канино-Тиманском регионе.

Ключевые слова: *метабазиты, дайковое тело, изотопный анализ углерода и кислорода, река Лунвож, Средний Тиман.*

Metabasites along the Lunvozh river (Middle Timan): petrography, mineralogy, petrochemistry

A. M. Shmakova

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

A small dike of unknown age was found on the territory of the Kanin-Timan region within the Middle Timan along the Lunvozh river. Our studies revealed that the rocks, composing this intrusive body, corresponded to basaltic andesites according to the content of the main rock-forming elements. They were almost completely recrystallized and composed of chlorite (30–40 %), carbonates (25–40 %), albite (10–15 %), quartz (10–15 %), muscovite (5–8 %) and plagioclase (less than 1 %). Accessory minerals were represented by apatite, monazite and rutile. Ore minerals included pyrite, chalcopyrite, and cobaltine. According to the mineral composition and petrochemical characteristics, the rocks composing the dike body along the Lunvozh river, differed from the basites of the Middle Riphean Middle Timan and Devonian Kanin-Timan complexes identified in the Kanin-Timan region.

Keywords: *metabasites, dike body, isotope analysis of carbon and oxygen, Lunvozh river, Middle Timan.*

Введение

Канино-Тиманский регион, расположенный на северо-востоке европейской части России, — это территория, включающая Тиманский кряж (Тиман) и п-ов Канин, в неотектоническом плане представляющая собой гряду, вытянутую в северо-западном направлении на 1150 км при ширине 80–160 км и являющуюся юго-западным ограничением Печорской плиты. Эта гряда образована цепочкой поднятий, в пределах которых участками выходят на поверхность метаморфизованные верхнедокембрийские осадочные толщи и прорывающие их позднедокембрийские магматические породы. В среднем-позднем рифее эта область представляла собой пассивную континентальную окраину Восточно-Европейского палеоконтинента (Пучков, 2010). В среднепозднерифейское, а затем и в девонское время в пределах Канино-Тиманского региона широко проявился внутриплитный, преимущественно базитовый магматизм (Ивенсен, 1964; Мальков, 1973; Гецен, 1975; Костюхин, Степаненко, 1987; Макеев и др., 2008; Удоратина и др., 2014; Пармузин и др., 2015).

С северо-запада на юго-восток Тиман подразделяют на Северный, Средний и Южный. Средний Тиман

включает в себя Вольско-Вымскую, гряду, Цилемское и Четласское поднятия.

В пределах Среднего Тимана к проявлениям внутриплитного базитового магматизма рифейского возраста относятся метадолериты и метагаббро, образующие силлы и дайки. Данные породы установлены на Четласском поднятии и выделяются в среднетиманский метагаббро-долеритовый комплекс ($v\beta RF_2sr$) (Пармузин и др., 2015). К продуктам девонского внутриплитного магматизма относят кимберлитовые трубки, выделяемые в умбинский кимберлитовый комплекс (iD_3um), который объединяет породы Умбинской, Средненской и Водораздельной кимберлитовых трубок (Пармузин и др., 2015). Данные породы известны на Вольско-Вымской гряде. Кроме того, на территории Вольско-Вымской гряды установлены единичные дайки долеритов, относимые к девонскому канино-тиманскому долеритовому комплексу (βD_3kt) (Проскурин, Липатов, 1963). К данному комплексу принадлежат также большие площади покровных базальтов, даек и силлов долеритов, развитых в пределах всего Канино-Тиманского региона (Проскурин, Липатов, 1963; Пармузин и др., 2015).

Для цитирования: Шмакова А. М. Метабазиты р. Лунвож (Средний Тиман): петрография, минералогия, петрохимия // Вестник геонаук. 2023. 10 (346). С. 26–36. DOI: 10.19110/geov.2023.10.3

For citation: Shmakova A. M. Metabasites along the Lunvozh river (Middle Timan): petrography, mineralogy, petrochemistry. Vestnik of Geosciences, 2023, 10 (346), pp. 26–36, doi: 10.19110/geov.2023.10.3

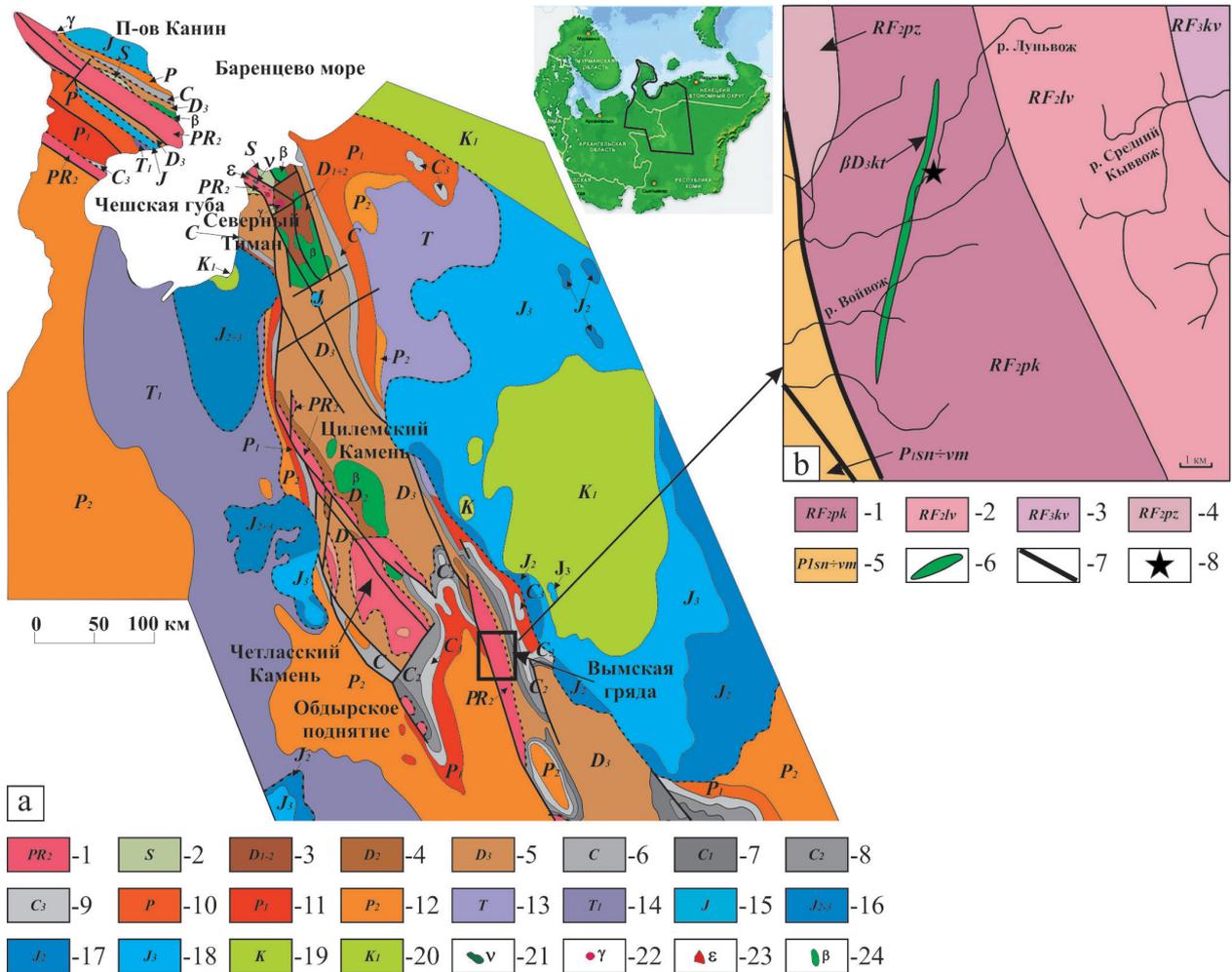


Рис. 1. Геологическая карта-схема Тимана и полуострова Канин (Оловянишников, 2004) — а; карта-схема геологического строения района работ, Вольско-Вымская гряда (Проскурин, Липатов, 1963; Пармузин и др., 2015) — б.

a: 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 и верхняя юра (J₂₋₃), 17 — средняя юра (J₂), 18 — верхняя юра (J₃), 19 — мел (K), 20 — нижний мел (K₁), 21 — долериты (v), 22 — гранитоиды (γ), 23 — сиениты (ε), 24 — базальты (β); **b:** 1–3 — вымская серия среднего-верхнего рифея: 1 — покъюская свита (RF_{2pk}), 2 — лунвожская свита (RF_{2lv}), 3 — кыквожская свита (RF_{3kv}); кислоручейская серия среднего рифея: 4 — пижемская свита (RF_{2pz}); 5 — пермская система, нижний отдел, синдорская, вычегодская и вымская свиты объединенные (P_{1sn÷vm}); 6 — дайка долеритов канино-тиманского комплекса (βD_{3kt}), 7 — разрывные нарушения, 8 — коренной выход дайки метабазитов на р. Лунвож

Fig. 1. Geological map-scheme of Timan and the Kanin Peninsula (Olovyanishnikov, 2004) — a; schematic map of the geological structure of the work area, Volsko-Vymskaya ridge (Proskurin, Lipatov, 1963; Parmuzin et al., 2015) — b.

a: 1 — Upper Proterozoic (PR₂), 2 — Silurian (S), 3 — Lower and Middle Devonian (D₂₋₃), 4 — Middle Devonian (D₂), 5 — Upper Devonian (D₃), 6 — Carboniferous (C), 7 — Lower Carboniferous (C₁), 8 — Middle Carboniferous (C₂), 9 — Upper Carboniferous (C₃), 10 — Permian (P), 11 — Lower Permian (P₁), 12 — Upper Permian (P₂), 13 — Triassic (T), 14 — Lower Triassic (T₁), 15 — Jurassic (J), 16 — Middle and Upper Jurassic (J₂₋₃), 17 — Middle Jurassic (J₂), 18 — Upper Jurassic (J₃), 19 — Cretaceous (K), 20 — Lower Cretaceous (K₁), 21 — dolerites (v), 22 — granitoids (γ), 23 — syenites (ε), 24 — basalts (β); **b:** 1–3 — Vym series of the Middle-Upper Riphean: 1 — Pokyju Formation (RF_{2pk}), 2 — Lunvozh Formation (RF_{2lv}), 3 — Kykvozh Formation (RF_{3kv}); Kisrucheyskaya series of the Middle Riphean: 4 — Pizhma Formation (RF_{2pz}); 5 — Permian system, lower section, Sindor, Vychehga and Vym Formations combined (P_{1sn÷vm}); 6 — dolerite dike of the Kanino-Timan complex (βD_{3kt}), 7 — faults, 8 — primary outcrop of a metabasite dike on the Lunvozh river

В западной части Вольско-Вымской гряды на р. Лунвож на дневную поверхность выходят две дайки, сложенные породами основного состава. Одна из даек, вытянутая в субмеридиональном направлении более чем на 5 км, имеет мощность 20–25 м. Она сложена темно-серыми долеритами различной степени дифференциации, относящимися к девонскому канино-тиманскому комплексу (Проскурин, Липатов, 1963). Второе дайковое тело, имеющее отличное от перво-

го северо-западное простирание, значительно меньшее по мощности (около 50 см), сложено темно-серыми измененными породами основного состава (рис. 1). На сегодняшний день нет информации о минеральном и химическом составе, структуре и возрасте пород, слагающих данное интрузивное тело. Исследуемое дайковое тело может являться спутником соседней большой девонской дайки или быть самостоятельным.

Целью данной работы является всесторонняя характеристика пород этого небольшого интрузивного тела и сопоставление с породами базитовых комплексов в Канино-Тиманском регионе.

Методы исследования

Описание и фотографирование петрографических шлифов горных пород проводилось на поляризационном микроскопе Olympus BX51. Изотопный состав углерода и кислорода измерялся по породе. Разложение карбонатов в ортофосфорной кислоте и измерение изотопного состава углерода и кислорода в режиме непрерывного потока гелия (метод CF-IRMS) производились на аналитическом комплексе фирмы ThermoFisher Scientific (Бремен, Германия), включающем систему подготовки и ввода проб GasBench II, соединенную с масс-спектрометром DELTA V Advantage. Значения $\delta^{13}\text{C}$ даны в промилле относительно стандарта V-PDB, $\delta^{18}\text{O}$ — стандарта V-SMOW. При калибровке использованы международные стандарты NBS-18 и NBS-19. Ошибка определения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ составляет $\pm 0.15\%$ (1σ). Химический состав минералов и растровые снимки получены с помощью сканирующего микроскопа Tescom Vega 3 LMN с энергодисперсным спектрометром X-Max (аналитики — Е. М. Тропников, А. С. Шуйский) в ЦКП «Геонаука» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Геологическое положение объекта исследований

Объектом исследования является дайковое тело, которое располагается в западной части Вольско-Вымской гряды, выходя на поверхность на обоих берегах р. Лунвож в верхнем течении, ~ в 3 м выше уреза воды. Интрузив сложен породами темно-серого цвета и имеет видимую мощность ~ 50 см (рис. 2). Дайка субвертикальная, северо-западного простирания, ази-

мут простирания — 310° . Интрузив прорывает отложения покьюской свиты среднего рифея (RF_{2pk}) (рис. 1), представленные в обнажившейся части разреза серыми слоистыми метаалевролитами. Контакты с вмещающими породами покьюской свиты резкие, отмечается небольшое ороговикование и присутствие зерен карбонатов в экзоконтактовой зоне.

Петрографические и минералогические особенности пород

Текстура пород, слагающих изучаемую дайку, директивная, линзовидно-полосчатая, обусловленная вытянутыми в одном направлении (параллельно плоскостям контакта) агрегатами хлорита. Вероятнее всего данная текстура является реликтовой флюидалной текстурой. Породы практически полностью перекристаллизованы и имеют лепидогранобластовую структуру. Сохранившиеся единичные лейсты плагиоклаза могут указывать на то, что порода могла иметь первичную офитовую или порфиоровую структуру. Реликтовые зерна плагиоклаза в породе составляют менее 1%, остальные минералы имеют вторичное происхождение и представлены хлоритом (30–40%), карбонатами (25–40%), альбитом (10–15%), кварцем (10–15%) и мусковитом (5–8%).

Плагиоклаз представлен единичными крупными лейстами длиной 0.6–1.2 мм и шириной до 0.3 мм, для которых характерны простые и полисинтетические двойники. Минерал частично сосюритизирован, угол погасания составляет $14\text{--}16^\circ$, что соответствует альбиту. Состав плагиоклаза отражает результаты вторичных преобразований. Карбонаты представлены анкеритом. Минерал формирует зерна неправильной и изометричной формы (0.1–0.6 мм), реже ромбоэдрические кристаллы (до 0.2 мм) (рис. 3, b–d; табл. 3), часто образующие скопления. Мусковит встречается в виде редких чешуек (от 0.1 до 0.4 мм) (рис. 3, a, c; 4, 5, c;

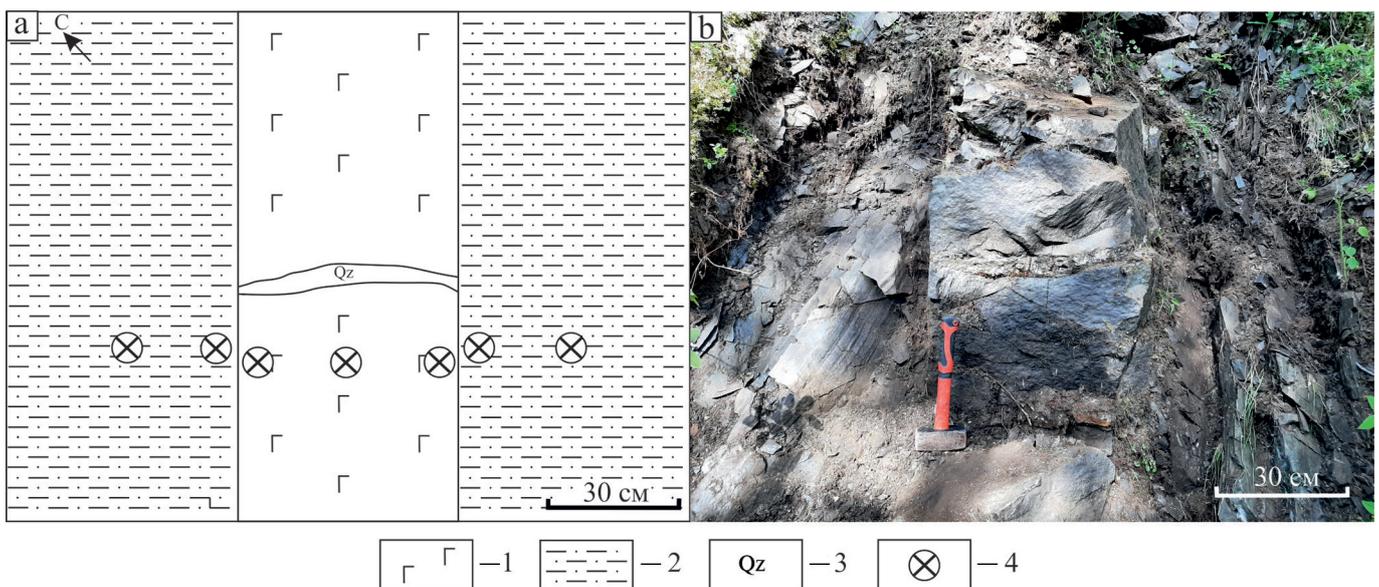


Рис. 2. Схема опробования дайки метабазитов на р. Лунвож: 1 — метаморфизованные породы основного состава, 2 — метаалевролиты, 3 — кварц, 4 — место пробоотбора

Fig. 2. Scheme of sampling of the metabasites dike on the Lunvozh River: 1 — metamorphosed mafic rocks, 2 — metasiltstones, 3 — quartz, 4 — sampling site



табл. 1). Кварц представлен зернами неправильной формы размером от 0.05 до 0.2 мм. Ксеноморфные выделения альбита, вероятно образовавшиеся при перекристаллизации плагиоклаза, имеют размеры от 25 до 100 мкм (рис. 4, 5; табл. 1). Хлорит выполняет межзерновое пространство и представлен в виде мелких чешуек, по химическому составу соответствующих рипи-

долиту и пикнохлориту (рис. 4, 5, b; табл. 1). В породе отмечаются кварцевые прожилки мощностью 0.4–7 мм, ориентированные поперек директивной текстуры (ширина до 0.4 мм) (рис. 3, e, f). Их наличие в дайке может свидетельствовать о том, что породы испытали тектоническое воздействие. Одна из наиболее крупных кварцевых жилок мощностью 7 мм содержит

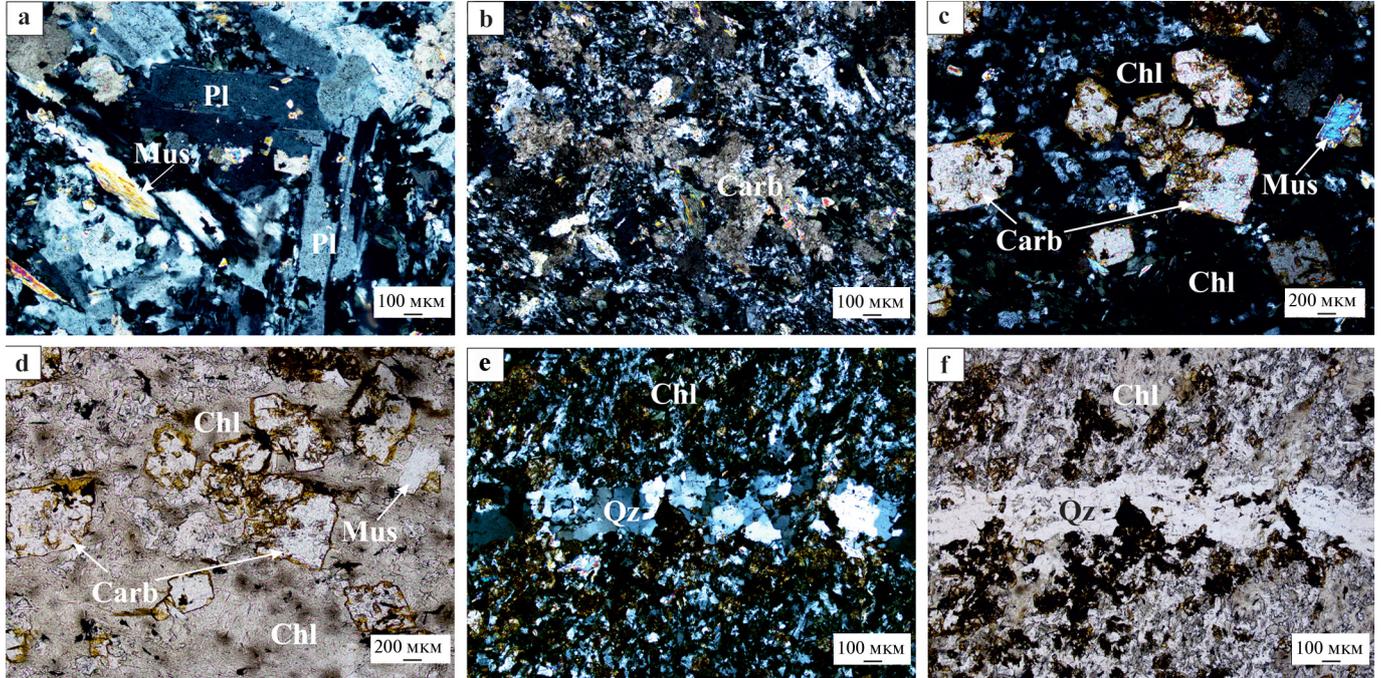


Рис. 3. Микрофотографии шлифов метабазитов дайки на р. Лунвож: а – реликтовые кристаллы плагиоклаза, б – лепидогранобластовая структура, обусловленная наличием чешуек мусковита и зерен карбонатов неправильной формы; с, d – ромбоэдрические кристаллы анкерита, е, f – кварцевая прожилка в метабазитах (а–с, е – фото с анализатором, d, f – фото без анализатора). Условные обозначения: Pl – плагиоклаз, Carb – карбонат, Chl – хлорит, Ab – альбит, Mus – мусковит, Qz – кварц

Fig. 3. Microphotographs of thin sections of metabasites dikes on the Lunvozh river: a – relict plagioclase crystals, b – lepidogranoblastic structure due to the presence of muscovite flakes and non-parville carbonate grains; c, d – rhombohedral crystals of ankerite, e, f – quartz veinlet in metabasites (a–c, e – photo with an analyzer, d, f – photo without an analyzer). Legend: Pl – plagioclase, Carb – carbonate, Chl – chlorite, Ab – albite, Mus – muscovite, Qz – quartz

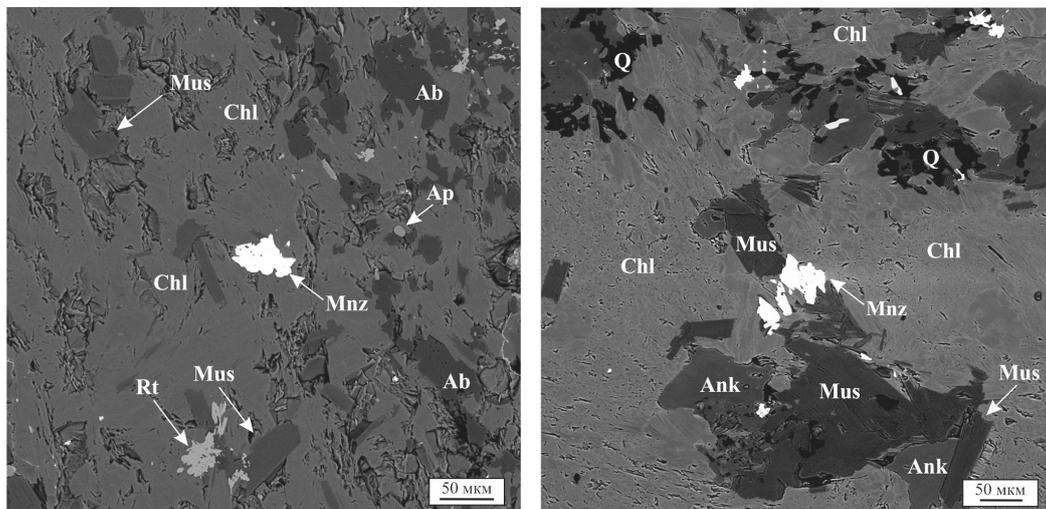


Рис. 4. Минералы метабазитов в режиме упругоотраженных электронов. Условные обозначения: Ab – альбит, Ank – анкерит, Ap – апатит, Chl – хлорит, Mnz – монацит, Mus – мусковит, Q – кварц, Rt – рутил

Fig. 4. Backscattered electron images of minerals in metabasites. Legend: Ab – albite, Ank – ankerite, Ap – apatite, Chl – chlorite, Mnz – monazite, Mus – muscovite, Q – quartz, Rt – rutile

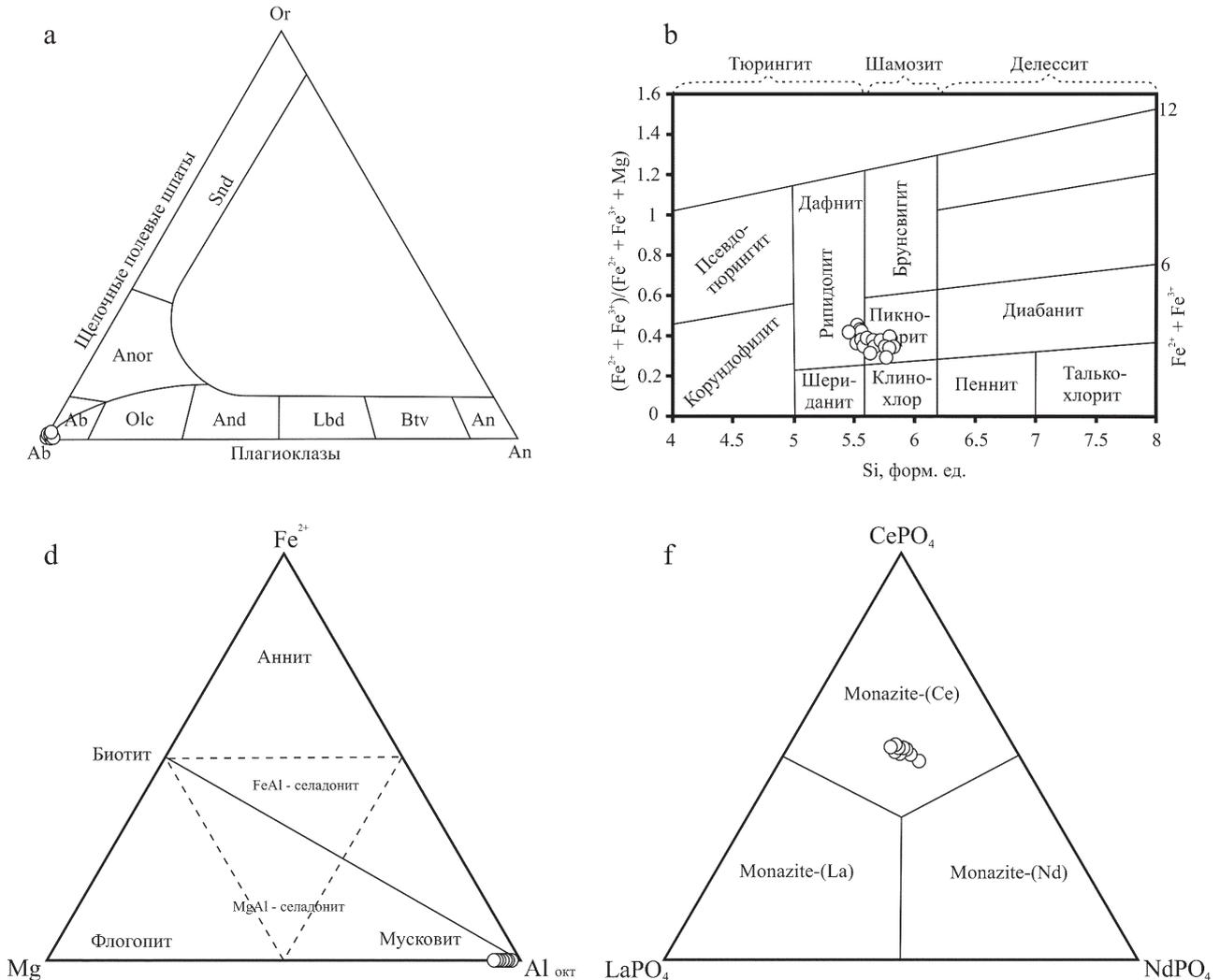


Рис. 5. Диаграммы, иллюстрирующие состав минералов метабазитов: а – тройная диаграмма Ab – Or – An для щелочных полевых шпатов и плагиоклаза; б – диаграмма $(Fe^{2+} + Fe^{3+}) / (Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mg) - (Si)$ для хлорита (Hey, 1954); с – тройная диаграмма Mg – Fe^{2+} – Al_{Okt} для слюд (Васильев и др., 2012); д – тройная диаграмма $LaPO_4 - CePO_4 - NdPO_4$ для монацита (по Nickel, 1992)

Fig. 5. Diagrams illustrating the mineral composition of metabasites: a – ternary diagram Ab – Or – An for alkali feldspars and plagioclase; b – diagram $(Fe^{2+} + Fe^{3+}) / (Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mg) - (Si)$ for chlorite (Hey, 1954); c – ternary diagram Mg – Fe^{2+} – Al_{Okt} for mica (Vasiliev et al., 2012); d – ternary diagram $LaPO_4 - CePO_4 - NdPO_4$ for monazite (Nickel, 1992)

зерна кальцита, внутри которых видны мелкие агрегаты гидроксидов железа. По данным микрозондового анализа в породе также были установлены: апатит, монацит, рутил, пирит, халькопирит и кобальтин. Апатит представлен удлиненными кристаллами с диаметром поперечного сечения до 0.03 мм. За счет примесей фтора (3.27–4.90 вес. %), минерал можно отнести к фторсодержащей разновидности – фторапатиту (табл. 2), характерной для пород магматического происхождения (Юдович, 2022). На первичное магматическое происхождение указывают и сохранившиеся призматические формы кристаллов. В апатите отсутствуют примеси Cl, однако отмечается FeO (0.18–0.84 мас. %) (рис. 4; табл. 2). Монацит встречается в виде зерен неправильной угловатой формы, размером не более 100 мкм. По химическому составу минерал относится к цериевой разновидности (рис. 4, 5, d; табл. 4). Судя по неправильной форме выделений, монацит является вторичным минералом. Возможно, при гидротермальных процессах из апатита были вынесены РЗЭ, которые в дальнейшем вошли в состав монацита.

Рутил представлен агрегатами неправильной формы, размером до 100 мкм (табл. 1, рис. 4). Данный минерал мог образоваться за счет перекристаллизации первичных титансодержащих темноцветных и рудных минералов. Из рудных минералов установлены пирит и халькопирит, которые встречаются в единичных зернах неправильной формы, размером около 100 мкм. Также отмечаются единичные зерна кобальтина изометричной формы размером от 20 до 70 мкм (табл. 5). Выделения кобальтина окаймлены кобальтсодержащим арсенопиритом.

Таким образом, в рассматриваемых породах к первичным минералам магматического генезиса можно отнести только плагиоклаз и апатит. Все остальные минералы – монацит, мусковит, альбит, хлорит, кварц и рутил, а также, вероятно, рудные минералы – имеют вторичное происхождение. Судя по минеральному составу и реликтам офитовой или плагиофоровой структуры, исходными породами, скорее всего, являлись долериты или порфиоровые базальты. Под воздействием гидротермальных растворов породы были практически

**Таблица 1.** Химический состав минералов дайки метабазитов на р. Лунвож (мас. %)**Table 1.** Chemical composition of minerals from the metabasites dike on the Lunvozh river (wt. %)

№ обр. Sample No.	Альбит / Albite			Хлорит / Chlorite			Мусковит / Muscovite			Рутил / Rutile		
	ST-1-3	ST-1-4	ST-1-5	ST-1-3	ST-1-4	ST-1-5	ST-1-3	ST-1-4	ST-1-5	ST-1-3	ST-1-4	ST-1-5
SiO ₂	67.47	68.89	68.72	26.63	27.96	28.56	46.63	47.89	47.04	—	—	—
TiO ₂	—	—	—	—	—	—	0.11	0.16	—	98.47	95.79	97.43
Al ₂ O ₃	20.25	19.8	20.19	20.73	19.98	20.06	34.86	34.67	35.91	—	—	—
Cr ₂ O ₃	—	—	—	0.27	0.4	—	0.24	—	0.73	0.63	—	—
FeO	0.28	—	0.17	21.4	18.6	16.88	1.09	0.67	1.25	0.49	0.29	0.87
MgO	—	—	—	17.77	20	21.91	0.92	1.16	1.04	—	—	—
CaO	0.66	0.13	0.29	—	—	—	—	—	—	0.15	—	—
Na ₂ O	10.99	11.46	11.13	—	—	—	0.52	0.32	0.47	—	—	—
K ₂ O	—	—	—	—	—	—	10.09	10.04	10.48	—	—	—
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.18	1.11
V ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	0.17	0.25	—	—	1.18	1.11
Сумма Total	99.65	100.28	100.5	86.8	86.94	87.4	94.63	95.15	96.93	99.75	97.26	99.4

полностью перекристаллизованы, наиболее ярко проявились процессы карбонатизации и хлоритизации.

Петрохимическая характеристика метабазитов

Породы, слагающие дайковое тело, содержат большое количество карбонатов и хлорита, в связи с этим достаточно велики потери при прокаливании (9.57—12.61 %). Для сопоставления рассматриваемых пород с базитами Среднего Тимана и п-ова Канин их состав был пересчитан на безводный остаток. Породы изучаемой нами дайки содержат SiO₂ от 52.92—54.14 мас. % (здесь и ниже, кроме табл. 5, концентрации оксидов в исследуемых нами породах даны в пересчете на безводный остаток). По петрохимической классификации породы соответствуют андезитобазальтам (рис. 6). По величине отношения Na₂O/K₂O (2.73—2.85) тип щелочности пород определяется как калиево-натриевый (Петрографический кодекс, 2009), за исключением одного состава (Na₂O/K₂O = 0.82), который относится к калиевому типу (табл. 6).

Судя по высоким величинам отношений FeO + Fe₂O₃/MgO относительно содержания (Na₂O + K₂O),

базиты относятся к толеитовой серии (рис. 7, б), а по отношению (FeO* + TiO₂) и MgO они сопоставимы с высокожелезистыми толеитами (рис. 7, а). По содержанию TiO₂ породы являются умеренно низкотитанистыми (TiO₂ = 1.16—1.28), а по величине коэффициента глиноземистости al'' (0.62—0.72) они относятся к низкоглиноземистым породам (Практическая..., 2017).

Таблица 2. Химический состав апатита дайки метабазитов на р. Лунвож (мас. %)**Table 2.** Chemical composition of apatites from the metabasites dike on the Lunvozh river (wt. %)

№ обр. Sample No.	Апатит / Apatite		
	ST-1-3	ST-1-4	ST-1-5
FeO	0.84	0.18	0.31
CaO	54.07	55.21	54.46
P ₂ O ₅	41.17	41.3	41.56
Cl	—	—	—
F	3.46	3.27	4.11
Сумма / Total	96.08	96.69	96.33

Таблица 3. Химический состав карбонатов и гидроксидов железа дайки метабазитов на р. Лунвож (мас. %)**Table 3.** Chemical composition of carbonates of the metabasites dike on the Lunvozh river (wt. %)

№ обр. Sample No.	Анкерит / Ankerite			Кальцит / Calcite			Гидроксиды железа Fe hydroxides		
	ST-1-3	ST-1-4	ST-1-5	ST-1-3	ST-1-3	ST-1-3	ST-1-3	ST-1-3	ST-1-3
SiO ₂	—	—	—	—	—	—	5.45	4.53	4.8
Al ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	0.87	0.34	—
FeO	9.69	7.88	10.16	0.51	0.27	0.22	59.25	52.71	49.21
MnO	0.9	1.71	0.39	1.92	0.93	0.29	2.5	2.67	3.26
MgO	14.15	14.26	14	0.27	0.4	0.42	0.86	0.72	0.95
CaO	29.2	29.4	28.53	48.95	49.82	51.74	4.18	9.69	11.22
Сумма / Total	53.96	53.26	53.08	51.65	51.43	52.68	73.11	70.66	69.46

**Таблица 4.** Химический состав монацита дайки метабазитов на р. Лунвож (мас. %)**Table 4.** Chemical composition of monazites from the metabasites dike on the Lunvozh river (wt. %)

№ обр. Sample No.	Монацит / Monazite					
	ST-1-3	ST-1-3	ST-1-4	ST-1-4	ST-1-5	ST-1-5
P ₂ O ₅	29.13	29.96	29.43	29.43	29.56	29.74
La ₂ O ₃	13.51	14.42	13.85	14.16	15.39	14.16
Ce ₂ O ₃	30.43	31.48	31.06	31.26	31.31	31.74
Pr ₂ O ₃	3.63	3.84	4.29	3.84	3.61	3.56
Nd ₂ O ₃	14.38	14.25	14.84	14.49	13.33	14.62
Sm ₂ O ₃	2.43	2.32	2.48	2.77	1.98	2.33
Gd ₂ O ₃	1.18	1.45	1.59	1.45	1	1.09
Y ₂ O ₃	1.13	0.77	1.5	1.13	1.44	1.15
ThO ₂	1.42	0.78	—	0.53	—	0.55
CaO	0.23	0.23	0.11	—	0.44	0.14
SiO ₂	0.35	0.21	0.27	0.29	0.25	0.33
FeO	0.61	0.47	0.28	0.31	—	0.67
Сумма Total	98.42	100.18	99.69	99.66	98.3	100.08

Таблица 5. Химический состав рудных минералов дайки метабазитов на р. Лунвож (мас. %)**Table 5.** Chemical composition of ore minerals of the metabasites dike on the Lunvozh river (wt. %)

№ обр. Sample No.	Пирит Pyrite	Халькопирит Chalcopyrite	Кобальтин Cobaltine	
			ST-1-5	ST-1-5
Точка / Point	ST-1-5	ST-1-4	ST-1-5	ST-1-5
S	52.4	35.03	19.06	19.4
Fe	45.85	30.72	3.96	4.4
Cu	—	33.95	—	—
Ni	0.23	—	10.47	9.11
As	0.62	—	45.14	45.25
Sb	0.61	—	—	—
Co	—	—	21.5	22.1
Сумма / Total	99.71	99.69	100.13	100.26

* Отчет о производстве опытной групповой геологической съемки м-ба 1 : 50 000 на Среднем Тимане в 1972—1976 гг. (Геологическое строение территории листов Q-39-101 — А, Б, В, Г; 102 — В; 112 — В; Г; 113 — А, Б, В, Г; 114 — А, В, Г; 115 — В; 125 — Б, Г; 126 — А, Б, В, Г; 127 — А, В; 138 — А, Б; 139 — А по результатам работ Тиманской ГПСИ) 582 стр., 78 л. граф. прил., библиограф., 134. Ухтинское ТГУ, УГРЭ. Ухта, февраль 1978 / В. М. Пачуковский, А. М. Плякин, В. И. Граф, Н. В. Опаренков, П. Н. Копытин, Н. С. Никитин, А. А. Лютоев, Г. К. Лебедева

* Report on the production of an experimental group geological survey at a scale of 1 : 50 000 in Middle Timan in 1972—1976. (Geological structure of the territory sheets Q-39-101 — А, В, С, D; 102 — В; 112 — В; D; 113 — А, В, С, D; 114 — А, В, D; 115 — С; 125 — В, D; 126 — А, В, С, D; 127 — А, В; 138 — А, В; 139 — А based on the results of the work of the Timansk State Fire Service) 582 pp., 78 l. graph. adj., bibliography, 134. Ukhta TSU, UGRE. Ukhta, February 1978. V. M. Pachukovsky, A. M. Plyakin, V. I. Graf, N. V. Oparenkov, P. N. Kopytin, N. S. Nikitin, A. A. Lyutoev, G. K. Lebedeva

Изотопный состав углерода и кислорода

В породах, слагающих небольшую рассматриваемую нами дайку на р. Лунвож, отмечаются высокие содержания карбонатов, представленных ромбоэдрическими и изометричными зернами анкерита, а также зернами кальцита, приуроченными к кварцевой прожилке. Поскольку количество карбонатных минералов довольно высокое, был проведен изотопный анализ углерода и кислорода для определения их происхождения и получены следующие значения: $\delta^{13}\text{C} = -15.24$ — (-15.9) ‰, $\delta^{18}\text{O} = 15.32$ — 21.35 ‰.

Обсуждение результатов

Породы, слагающие дайковое тело на р. Лунвож, сильно отличаются по минеральному составу и структуре от базитов среднерифейского среднетиманского метагаббро-долеритового и девонского канино-тиманского долеритового комплексов, развитых на Среднем Тимане и п-ове Канин.

Девонские долериты достаточно слабо преобразованы вторичными процессами и состоят преимущественно из неизмененных плагиоклазов и пироксенов, в единичных случаях хлоритизированных, а также титаномagnetита, халькопирита и пирита. Из акцессорных минералов встречаются апатит и циркон (Пармузин и др., 2015; Шмакова, Куликова, 2020). В некоторых случаях, как, например, в долеритах крупной дайки, выходящей на дневную поверхность на берегах р. Лунвож, плагиоклаз может быть сосюритизирован. Также в породах некоторых обнажений на р. Цильме (Средний Тиман) отмечается большое количество миндалин, vyplненных хлоритом с карбонатной каймой.

Среднерифейские базиты представлены расланцованными метагаббро и метадолеритами. Слабоизмененные породы сложены преимущественно плагиоклазом и пироксеном. Из акцессорных минералов отмечаются циркон, апатит и титанит, из рудных — магнетит и ильменит*. Часто среднерифейские базиты превращены в зеленые сланцы с реликтами оливина и пироксена. Основная масса пород сложена мелкозернистым и мелкочешуйчатым хлорит-биотитовым агрегатом с вкрапленниками магнетита и игольчатого тонкопризматического рутила. Порфиробласты состоят из хлорита и биотита (Пармузин и др., 2015).

В ходе проведенных исследований было установлено, что рассматриваемое нами дайковое тело на р. Лунвож сложено хлоритом (30—40 %), анкеритом (25—40 %), альбитом (10—15 %), кварцем (10—15 %), мусковитом (5—8 %) и плагиоклазом (меньше 1 %). Акцессорные минералы представлены апатитом, монацитом и рутилом, рудные — пиритом, халькопиритом

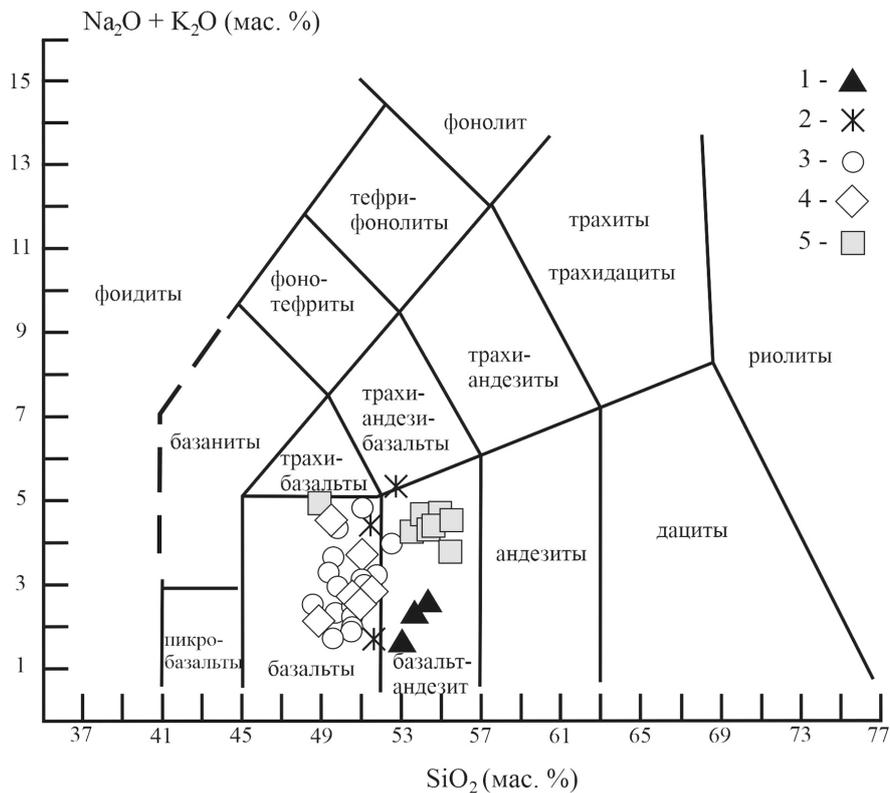


Рис. 6. Классификационная диаграмма $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$ (по Le Bas, 1986) для магматических пород основного состава Среднего Тимана и п-ова Канин: 1 – метабазиты дайкового тела на р. Лунвож, 2–4 – девонские базальтоиды канино-тиманского комплекса: 2 – района р. Лунвож (Средний Тиман), 3 – п-ова Канин (Шмакова и др., 2022), 4 – района р. Цильмы (Средний Тиман), 5 – среднерипейские метагабброиды и метадолериты среднетиманского комплекса (Костюхин, Степаненко, 1987). *Примечание:* для сопоставления исследуемых метагаббро с базитами Среднего Тимана и п-ова Канин химический состав данных пород был пересчитан на безводный остаток

Fig. 6. Classification diagram $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$ according (to Le Bas, 1986) for igneous rocks of basic composition of the Middle Timan and Kanin Peninsula. *Legend:* 1 – metabasites of the dike body on the Lunvozh river, 2–4 – Devonian basalts of the Kanin-Timan complex: 2 – area of the Lunvozh river (Middle Timan), 3 – Kanin Peninsula (Shmakova et al., 2022), 4 – area of the Tsilma river (Middle Timan), 5 – Middle Riphean metagabbroids and metadolerites of the Middle Timan complex (Kostyukhin, Stepanenko, 1987). *Note:* for the distribution of concentrated metagabbro with basites of the Middle Timan and Kanin Peninsula, the chemical composition of these rocks was recalculated to the anhydrous residue

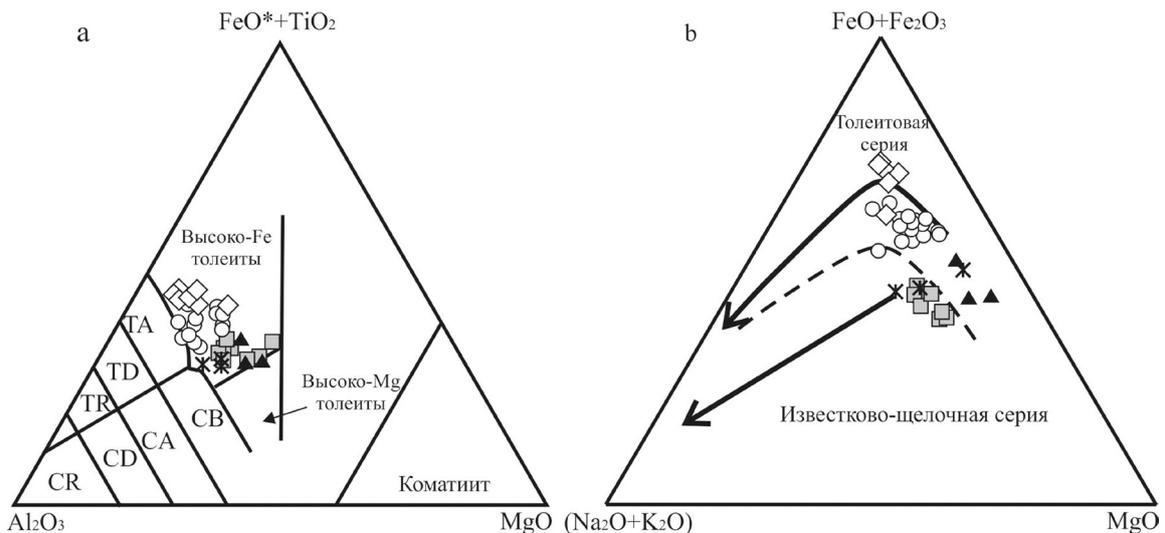


Рис. 7. Классификационные диаграммы для магматических пород основного состава Среднего Тимана и п-ова Канин: **a** – диаграмма $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO}^* + \text{TiO}_2 - \text{MgO}$ (Jensen, 1976). Толейитовая серия: TA – андезит, TD – дацит, TR – риолит; известково-щелочная серия: CB – базальт, CA – андезит, CD – дацит, CR – риолит; **b** – тройная дискриминационная диаграмма AFM (Irvine, Baragar, 1971). Условные обозначения на рис. 6

Fig. 7. Classification diagrams for mafic igneous rocks of the Middle Timan and Kanin Peninsula: **a** – diagram $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO}^* + \text{TiO}_2 - \text{MgO}$ (Jensen, 1976). Tholeiitic series: TA – andesite, TD – dacite, TR – rhyolite; calc-alkaline series: CB – basalt, CA – andesite, CD – dacite, CR – rhyolite; **b** – triple discrimination diagram AFM (Irvine, Baragar, 1971). *Legend in Fig. 6*

и кобальтином. Породы сильно метаморфизованы, этим они отличаются от девонских долеритов канино-тиманского комплекса и отчасти похожи на среднерифейские базиты среднетиманского комплекса. Но при этом рассматриваемые нами метабазиты имеют в своем составе монацит и кобальтин, не характерные ни для девонских, ни для среднерифейских метабазитов, а также содержат большое количество вторичного анкерита.

Выявляются также различия в химическом составе метабазитов дайкового тела и базитов среднерифейского и девонского возраста. По петрохимической классификации породы изучаемого нами дайкового тела на р. Лунвож соответствуют низкощелочным андезибазальтам ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 1.94\text{--}2.86$) и относятся к высокожелезистым толеитам — низкоглиноземистым ($\text{al}'' = 0.62\text{--}0.72$) и умеренно низкотитанистым ($\text{TiO} = 1.16\text{--}1.28$ мас. %).

Среднерифейские метабазиты среднетиманского комплекса представлены преимущественно андезибазальтами и характеризуются заметно более высокими содержаниями суммы щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 3.91\text{--}5.12$) (рис. 6) и более широкими вариациями al'' ($0.55\text{--}0.89$) и TiO_2 ($0.90\text{--}1.73$ мас. %) (Костюхин, Степаненко, 1987).

Девонские долериты канино-тиманского комплекса по химическому составу, хоть и немного меньше, но также отличаются от рассматриваемых нами метабазитов. Они содержат меньше SiO_2 и соответствуют преимущественно базальтам нормальной щелочности, содержания суммы щелочей в них более высокие, чем в метабазитах рассматриваемой дайки ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 2.14\text{--}4.99$) (рис. 6). Девонские долериты отличаются также несколько более высокими значениями коэффициента глиноземистости al'' ($0.67\text{--}1.06$) и относительно повышенными содержаниями TiO_2 ($1.21\text{--}2.46$ мас. %) (Шмакова и др., 2022). Химический состав долеритов крупного дайкового тела на р. Лунвож, расположенного в непосредственной близости от рассматриваемой нами дайки и считающегося девонским (Проскурин, Липатов, 1963), подтверждает эти различия. По сравнению с метабазитами изучаемой нами небольшой дайки эти долериты характеризуются более высоким содержанием щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 2\text{--}5.54$) и немного более высокой глиноземистостью ($\text{al}'' = 0.80\text{--}0.96$) при примерно одинаковых концентрациях TiO_2 ($1.11\text{--}1.24$ мас. %).

В породах дайки на р. Лунвож отмечается большое количество карбонатов. Нами был проведен изотопный анализ углерода и кислорода и получены следующие значения: $\delta^{13}\text{C} = -15.24\text{--}(-15.9)$ ‰, $\delta^{18}\text{O} = 15.32\text{--}21.35$ ‰. Для окисленных форм углерода, характерных для карбонатов из магматических пород, значения $\delta^{13}\text{C}$ варьируют в очень широких пределах — от $+2.9$ до -18.2 ‰ относительно PDB (Фор, 1989). Считается, что окисленные формы углерода имеют в магматических породах вторичное происхождение и связаны с гидротермальными растворами, изотопный состав углерода карбонатных форм которых они и отображают (Фор, 1989). Возможно, в рассматриваемых нами породах карбонаты образовались под воздействием гидротермальных растворов. Х. П. Тейлором было установлено, что значения $\delta^{18}\text{O}$ большинства магматических и метаморфических пород варьируют в пределах от $+5$ до 15 ‰ (Фор, 1989), однако для магматических пород часто отмечаются более низкие значения изотопов кис-

Таблица 6. Химический состав пород дайки на р. Лунвож (мас. %)

Table 6. Chemical composition of dike rocks on the Lunvozh river (wt. %)

№ обр. Sample No.	ST-1-3	ST-1-4	ST-1-5
SiO_2	48.07	47.37	45.47
TiO_2	1.12	1.12	1.00
Al_2O_3	13.27	12.96	12.1
Fe_2O_3	1.82	1.15	1.07
FeO	8.8	7.19	7.56
MnO	0.16	0.16	0.18
CaO	4.82	5.04	5.82
MgO	8.39	9.03	10.06
K_2O	0.6	0.67	0.92
Na_2O	1.71	1.83	0.75
P_2O_5	0.26	0.26	0.23
п.п.п / loi	9.57	11.22	12.61
Сумма / Total	98.59	98.00	97.77
H_2O^-	0.3	0.22	0.14
CO_2	4.87	6.86	8.39

лорода (от $+10$ до 5 ‰). Также для определения принадлежности карбонатных минералов к породам с мантийным источником часто применяется график со значениями изотопов С и О «мантийного квадрата» (Giuliani et al., 2014). Значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов дайкового тела на р. Лунвож не попадают в поле карбонатных минералов, соответствующих породам мантийного генезиса (рис. 8). Вероятно, карбонаты исследуемого тела на р. Лунвож имеют гидротермально-метаморфогенное происхождение.

Заключение

Таким образом, выявленные особенности минерального и химического состава пород, слагающих дайку на р. Лунвож, значительно отличают их от базитов среднерифейского и девонского возраста Канино-Тиманского региона. Установлено, что рассматриваемое нами интрузивное тело на р. Лунвож сложено хлоритом ($30\text{--}40$ %), анкеритом ($25\text{--}40$ %), альбитом ($10\text{--}15$ %), кварцем ($10\text{--}15$ %), мусковитом ($5\text{--}8$ %) и плагиоклазом (меньше 1 %). Из аксессуарных минералов отмечаются апатит, монацит и рутил, из рудных — пирит, халькопирит и кобальтин. Породы дайкового тела метаморфизованы, что отличает их от позднедевонских долеритов канино-тиманского комплекса. Среднерифейские базиты среднетиманского комплекса подвержены процессам метаморфизма, поэтому имеют сходство с исследуемым интрузивным телом. Однако наличие в составе дайкового тела на р. Лунвож монацита, кобальтина и анкерита не позволяет относить его к породам девонского долеритового канино-тиманского и среднерифейского среднетиманского комплексов.

Метабазиты дайкового тела отличаются от базитов Канино-Тиманского региона и по химическому составу. Породы изучаемого нами дайкового тела на р. Лунвож соответствуют низкощелочным андезибазальтам



($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 1.94\text{--}2.86$), которые относятся к высокожелезистым толеитам. Породы соответствуют низкоглиноземистым ($\text{al}^\circ = 0.62\text{--}0.72$) и умеренно низкотитанистым ($\text{TiO} = 1.16\text{--}1.28$ мас. %) разновидностям.

Среднерифейские метабазиты среднетиманского комплекса также соответствуют андезибазальтам, но имеют более высокие суммы щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 3.91\text{--}5.12$) и более широкие вариации al° ($0.55\text{--}0.89$) и TiO_2 ($0.90\text{--}1.73$ мас. %) (Костюхин, Степаненко, 1987).

Базальтоиды девонского канино-тиманского комплекса по химическому составу содержат меньше SiO_2 , чем интрузивное тело на р. Лунвож, и соответствуют преимущественно базальтам нормальной щелочности с более низкими содержаниями суммы щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 2.14\text{--}4.99$). Также у девонских долеритов более высокий коэффициент глиноземистости ($\text{al}^\circ = 0.67\text{--}1.06$) и относительно более повышенные содержания TiO_2 ($1.21\text{--}2.46$ мас. %).

Более крупное тело на р. Лунвож, которое относится к девонским базальтоидам, обладает более высокими содержаниями щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 2\text{--}5.54$) и немного более высокой глиноземистостью ($\text{al}^\circ = 0.80\text{--}0.96$).

Всё вышеперечисленное позволяет сделать вывод, что данное интрузивное тело с большей долей вероятности не относится к среднерифейскому среднетиманскому комплексу и не является сателлитом соседней крупной дайки, сложенной породами девонского канино-тиманского комплекса. Для отнесения изучаемого дайкового тела к какому-либо магматическому комплексу необходимы дальнейшие исследования.

Литература / References

Богатиков О. А., Богина М. М., Бубнов С. Н., Газеев В. М., Гурбанов А. Г., Докучаев А. Я., Евсеева К. А., Кондрашов И. Н., Кононова В. А., Красивская И. С., Ларионова Ю. О., Лексин А. Б., Носова А. А., Первов В. А., Самсонов А. В., Хренов А. П., Чистков А. В., Шарков Е. В., Юткина Е. В. Типы магм и их источники в истории Земли. Часть 1. Магматизм и геодинамика — главные факторы эволюции Земли. Москва: ИГЕМ РАН, 2006, 398 с.

Vogatikov O. A., Bogina M. M., Bubnov S. N., Gazeev V. M., Gurbanov A. G., Dokuchaev A. Ya., Evseeva K. A., Kondrashov I. N., Kononova V. A., Krasivskaya I. S., Larionova Yu. O., Leksin A. B., Nosova A. A., Pervov V. A., Samsonov A. V., Khrenov A. P., Chistkov A. N., Sharikov E. V., Yutkina E. V. Types of magmas and their sources in the history of the Earth. Part 1. Magmatism and geodynamics — the main forces of the Earth's evolution. Moscow: IGEM RAS, 2006, 398 p. (in Russian)

Васильев Н. В., Удоратина О. В., Скоробогатова Н. В., Бородулин Г. П. Слюда месторождения Тайкеу (Полярный Урал): состав и вопросы классификации // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 1 (205). Сыктывкар. С. 9—14.

Vasiliev N. V. Udoratina O. V., Skorobogatova N. V., Borodulin G. P. Mica of the Taikeu deposit (Polar Urals): composition and issues. Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2012, No. 1 (205), Syktyvkar, pp. 9—14. (in Russian)

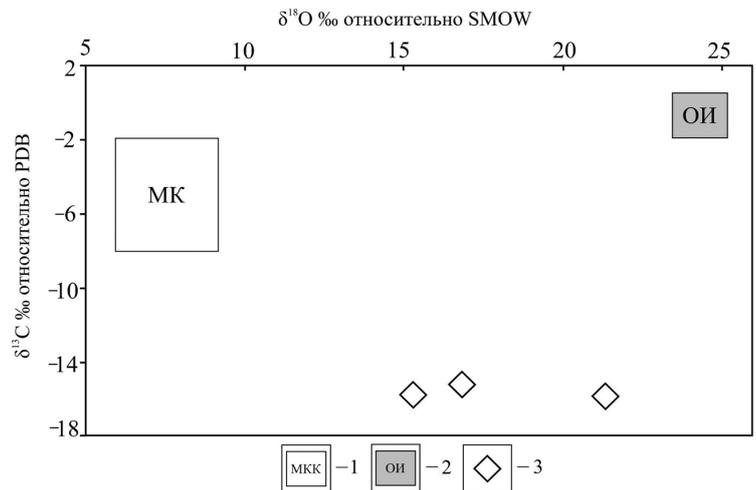


Рис. 8. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов дайкового тела на р. Лунвож: 1 — мантийный квадрат (Giuliani et al., 2014), 2 — осадочные известняки, 3 — карбонаты дайкового тела на р. Лунвож

Fig. 8. Isotopic composition and oxygen of carbonates of the dike body on the Lunvozh river: 1 — mantle square (Giuliani et al., 2014), 2 — sedimentary limestones, 3 — carbonates of the dike body on the Lunvozh river

Гецен В. Г. Строение фундамента Северного Тимана и полуострова Канин. Л.: Наука, 1975. 144 с.

Getsen V. G. Construction of the foundation of Northern Timan and the Kanin Peninsula. Leningrad: Nauka, 1975, 144 p. (in Russian)

Ивенсен Ю. П. Магматизм Тимана и полуострова Канин. М.: Наука, 1964. 123 с.

Evensen Yu. P. Magmatism of Timan and the Kanin Peninsula. Moscow: Nauka, 1964, 123 p. (in Russian)

Костюхин М. Н., Степаненко В. И. Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона / Под ред. К. А. Шуркина, Л. В. Махлаева. Л.: Наука, 1987. 232 с.

Kostyukhin M. N., Stepanenko V. I. Baikal magmatism of the Kanino-Timan region. Eds. K. A. Shurkina, L. V. Makhlaeva. Leningrad: Nauka, 1987, 232 p. (in Russian)

Макеев А. Б., Лебедев В. А., Брянчанинова Н. И. Магматиты Среднего Тимана. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 348 с.

Makeev A. B., Lebedev V. A., Brianchaninova N. I. Magmatites of Middle Timan. Yekaterinburg: UB RAS, 2008, 348 p. (in Russian)

Мальков Б. А. Особенности базальтоидного магматизма Канино-Тиманского пояса // Геология и полезные ископаемые северо-востока европейской части СССР и севера Урала. 1973. Т. II. С. 325—329.

Malkov B. A. Features of basaltoid magmatism of the Kanino-Timan belt. Geology and minerals of the North-East as part of the USSR and the north of the Urals, 1973, V. II, pp. 325—329. (in Russian)

Оловянишников В. Г. Геологическое развитие Северного Тимана и п-ова Канин. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 80 с.

Olovyanishnikov V. G. Geological development of Northern Timan and the Kanin Peninsula. Syktyvkar: Geoprint, 2004, 80 p. (in Russian)



- 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.
- Parmuzin N. M., Mazurkevich K. N., Semenova L. R., Kossova O. L. et al. State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Mezen series. Sheet Q-39 — Naryan-Mar. Explanatory letter. St. Petersburg: VSEGEI Map Factory, 2015, 393 p. (in Russian)
- Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / Глав. ред. О. А. Богатилов, О. В. Петров, А.Ф. Морозов. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 160 с.
- Petrographic Code of Russia. Igneous, metamorphic, metasomatic, impact formations. Third edition, corrected and expanded. Chief editors O. A. Bogatnikov, O. V. Petrov, A. F. Morozov. St. Petersburg: VSEGEI, 2009, 160 p. (in Russian)
- Практическая петрология: методические рекомендации по изучению магматических образований применительно к задачам госгеолкарт. СПб.: ВСЕГЕИ, 2017. 168 с.
- Practical petrology: methodological recommendations for the study of igneous formations in relation to the tasks of state geological maps. St. Petersburg: VSEGEI, 2017, 168 p. (in Russian)
- Проскурин Г. Ф., Липатов В. П. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Серия Тиманская. Лист Q-39 — XXXV. Объяснительная записка. М.: Недра, 1963. 47 с.
- Proskurin G. F., Lipatov V. P. State geological map of the USSR. Scale 1 : 200 000. Timanskaya series. Sheet Q-39 — XXXV. Explanatory letter. Moscow: Nedra, 1963, 47 p. (in Russian)
- Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Puchkov V. N. Geology of the Urals and adjacent areas (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa: DesignPoligraphService, 2010, 280 p. (in Russian)
- Степаненко В. И. Канино-Тимано-Печорская провинция позднедевонского внутриплитного магматизма (положение и размеры) // Доклады академии наук. 2016. Т. 467. № 5. С. 572—575.
- Stepanenko V. I. Kanin-Timan-Pechora province of Late Devonian intraplate magmatism (position and dimensions). Doklady Earth Sciences, 2016, V. 467, No. 5, pp. 572—575. (in Russian)
- Тимонин Н. И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 239 с.
- Timonin N. I. Pechora plate: history of geological development in the Phanerozoic. Yekaterinburg: UB RAS, 1998, 239 p. (in Russian)
- Удуратина 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. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. Т. II. 384 с.
- Udoratina O. V., Andreichev V. L., Travin A. V., Savatenkov V. M. Basalts of Middle Timan: Rb-Sr, Sm-Nd and Ar-Ar data. Geology and mineral resources of the European North-East of Russia: Proc. of the 16th Geological Congress of the Komi Republic, Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2014, V. II, 384 pp. (in Russian)
- Форт Г. Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989. 590 с.
- For G. Fundamentals of isotope geology. Moscow: Mir, 1989, 590 p. (in Russian)
- Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Рыбина Н. В. Состав апатита как универсальный индикатор геологических процессов. Новосибирск: Свинин и сыновья, 2022. 140 с.
- Yudovich Ya. E., Ketris M. P., Rybina N. V. The composition of apatite as a universal indicator of geological processes. Novosibirsk: Svinin and Sons, 2022, 140 p. (in Russian)
- 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.
- Shmakova A. M., Kulikova K. V. Petrography and mineralogy of Late Devonian dolerites of the central and southeastern part of the Kanin Peninsula. Proc. of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Science Series, 2020, No. 6(46), pp. 40—48. (in Russian)
- Шмакова А. М., Куликова К. В., Травин А. В., Богатырев Л. И. Новые $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -данные долеритов Канино-Тиманской провинции внутриплитного магматизма (п-ов Канин) // Вестник геонаук. 2022. 6(330). С. 3—9. DOI:10.19110/geov.2022.6.1
- Shmakova A. M., Kulikova K. V., Travin A. V., Bogatyrev L. I. New $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data on dolerites of the Kanino-Timan region within plate magmatism (Kanin Peninsula). Vestnik of Geosciences, 2022, 6(330). pp. 3—9. DOI: 10.19110/geov.2022.6.1 (in Russian)
- Хей М. Н. A new review of the chlorites // Mineral. Mag. 1954. 224. P. 277—292.
- 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.
- Jensen L. S. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Ontario Division Mines Misc. Pap., 1976, Vol. 66. 22 p.
- Giuliani A., Phillips, Kamenetsky V. S., Fiorentini M. L., Farquhar J., Kendrick M. A. Stable isotope (C, O, S) compositions of volatile-rich minerals in kimberlites: A review // Chemical Geology. 2014. V. 374—375. P. 61—83.
- Le Bas M. J., Le Maitre R. W., Streckeisen A. and Zanettin B. A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram // Journal of Petrology. 1986. 27, 745—750. doi.org/10.1093/petrology/27.3.745
- Nickel E. H. Solid solutions in mineral nomenclature // Mineralogy and Petrology. 1992. 46(1): 49—53.
- Taylor H. P., Frechen J., Degens E. T. Oxygen and carbon isotope studies of carbonatites from the Laacher See district, West Germany and the Alnö district, Sweden // Geochim. Cosmochim. 1967. Acta 31. P. 407—430.

Поступила в редакцию / Received 19.09.2023