Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2025. 22. С. 23–30

Неоархейские базиты Центрально-Карельского домена Карельской провинции Фенноскандинавского щита (р-н озёр Кадилампи-Куслокки)

Арестова Н. А., Егорова Ю. С., Чекулаев В. П., Кучеровский Г. А.
Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, narestova2009@rambler.ru

Аннотация. Изучены базиты района озер Кадилампи-Куслокки (северного продолжения неоархейского пояса Иломантси (Финляндия)) Карельской провинции Фенноскандинавского щита. По геологическим и геохимическим данным выделены четыре группы базитов. Базиты I – массивные метабазальты с плоским распределением РЗЭ: (La/Yb)n = 0.8–0.9; Sm/Nd = 0.33–0.35; Nb/La = 0.9–1.3, характерными для выплавок из примитивной мантии. Базиты II – метабазальты и метабазальтовые андезиты, обогащены легкими РЗЭ: (La/Yb)n = 3.5–12; Sm/Nd = 0.16–0.22; Nb/La = 0.2–0.6. Базиты III – метакоматииты (прослои в базитах II): SiO_2 = 49–50 вес. %, TiO_2 = 0.8 вес. %, MgO = 17–18 вес. %, с (La/Yb)n = 4.6–7; Sm/Nd = 0.27–0.33; Nb/La = 1.0–1.3; аналогичны метакоматиитам пояса Иломантси. Базиты IV – дайки Fe-Ti-метагаббро (секут все породы структуры): SiO_2 = 49 вес. %, TiO_2 = 2.9 вес. %, Fe_2O_3 = 17.7 вес. %, mg# = 0.34; (La/Yb)n = 2.5, Sm/Nd = 0.26, Nb/La = 0.6. По соотношению Zr/Y – Nb/Y базиты I располагаются выше линии ΔNb, вблизи плюмового источника PM; базиты II и III – на и ниже линии ΔNb, вблизи обогащённых неплюмовых источников EM1 и EM2. По соотношению Th/Yb – Nb/Yb таким источником для базитов II и III могла быть обогащенная субконтинентальная литосферная мантия. В поясе Иломантси также присутствуют как необогащенные, так и обогащенные несовместимыми элементами метабазиты. Базиты IV аналогичны метагаббро даек других районов ЦКД, и возможно, являются раннепротерозойскими. Субсинхронное образование в неоархее в одной структуре вулканитов – продуктов плавления различных мантийных источников, совмещенное с накоплением полимиктовых конгломератов, возможно в обстановке внутриконтинентального рифтогенеза, связанного с подъёмом неоархейского плюма. Для базитов пояса подводящим каналом мог служить глубинный разлом на границе Центрально- и Западно-Карельского доменов.

Ключевые слова: Фенноскандинавский щит, Карельская провинция, неоархей, зеленокаменный пояс, метакоматииты, метабазальты, метагаббро.

Neoarchean basites of the Central Karelian domain of the Karelian Province of the Fennoscandian Shield (Kadilampi-Kuslokki district)

Arestova N. A., Egorova Yu. S., Chekulaev V. P., Kucherovsky G. A.
Institute of Precambrian Geology and Geochronology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, narestova2009@rambler.ru

Abstract. The basites of the Kadilampi-Kuslokki lakes region of the Central Karelian domain of the Karelian province of the Fennoscandian Shield, a continuation of the Neoarchean Ilomantsi belt (Finland) in the Russian territory, have been studied. According to geological and geochemical data, four groups of basites have been identified. Basites I are massive metabasalts with flat REE distribution: (La/Yb)n = 0.8–0.9; Sm/Nd = 0.33–0.35; Nb/La = 0.9–1.3, typical of melts from the primitive mantle. Basites II are metabasalts and metabasaltic andesites enriched in light REE: (La/Yb)n = 3.5–12; Sm/Nd = 0.16–0.22; Nb/La = 0.2–0.6. Basites III are metakomatiites (interlayers in basites II): SiO_2 = 49–50 wt. %, TiO_2 = 0.8 wt. %, MgO = 17–18 wt. %, with (La/Yb)n = 4.6–7; Sm/Nd = 0.27–0.33; Nb/La = 1.0–1.3; similar to metakomatiites of the Ilomantsi belt. Basites IV are Fe-Ti-metagabbro dikes (cut all rocks of the structure): SiO_2 = 49 wt. %, TiO_2 = 2.9 wt. %, Fe_2O_3 = 17.7 wt. %, #mg = 0.34; (La/Yb)n = 2.5, Sm/Nd = 0.26, Nb/La = 0.6. According to the Zr/Y – Nb/Y ratio, basalts I are located above the ΔNb line, near the plume source RM; basites II and III are on and below the ΔNb line, near the enriched non-plume sources EM1 and EM2. According to the Th/Yb – Nb/Yb ratio, the enriched subcontinental lithospheric mantle (SCLM) could have been such a source for basites II and III. The Ilomantsi belt also contains both unenriched and enriched metabasites in incompatible elements. Basites IV are similar to metagabbro dikes from other areas of the CKD and are possibly Early Proterozoic. Subsynchronous formation in the Neoarchean in one structure of volcanics, products of melting of various mantle sources, combined with the accumulation of polymictic conglomerates, is possible in the context of intracontinental rifting associated with

the rise of the Neoarchean plume. A deep fault on the border of the Central and West Karelian domains could serve as a supply channel for the basites of the Hattu belt and Kadilampi Kuslokki.

Keywords: Fennoscandian shield, Karelian province, Neoarchean, greenstone belt, metakomatiites, metabasalts, metagabbro.

Введение

Неоархейский период проявления мантийных процессов в раннем докембрии Фенноскандинавского щита является в настоящее время наименее изученным. Главными показателями типа и состава мантийных источников плавления, условий протекания процессов плавления источника, а также последующего преобразовании исходных базит-ультрабазитовых магм могут служить геохимические характеристики неоархейских базитов. Ранее нами были показаны существенные отли-

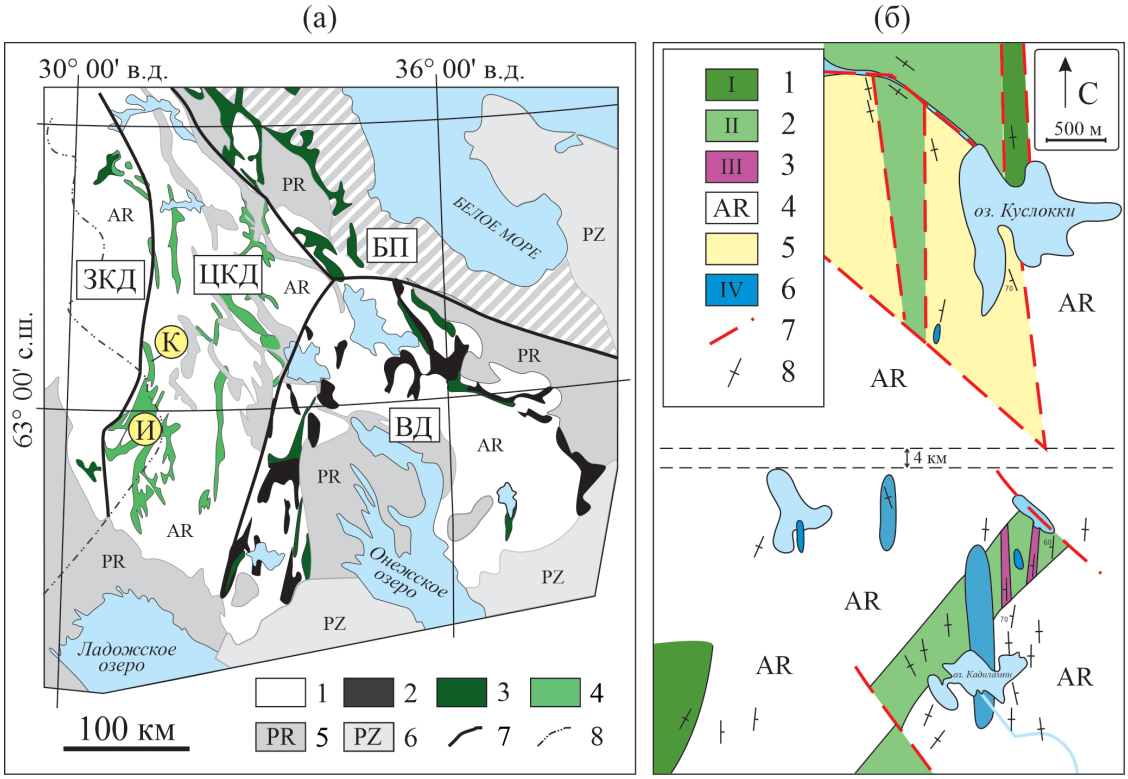

Рис. 1. Геологическая схема юго-восточной части Карельской провинции (а) и схема геологического строения района озер Кадилампи-Куслокки (б). (а) 1–4 – Архей: 1 – нерасчлененные породы, преимущественно гранитоиды; 2–4 – метаморфизованные вулканогенные и осадочные породы зеленокаменных поясов с возрастом: 2 – 3.1–2.92 млрд лет, 3 – 2.88–2.74 млрд лет, 4 – 2.75–2.71 млрд лет; 5 – протерозойские супракрустальные образования; 6 – палеозойские образования; 7 – границы доменов: ЗКД – Западно-Карельский домен, ЦКД – Центрально-Карельский домен, ВД – Водлозерский домен, БП – Беломорская провинция; 8 – государственная граница. *Буквы в кружках*: К – структура района озер Кадилампи-Куслокки, И – зеленокаменный пояс Иломантси. (б) 1 – метабазальты (базиты I); 2 – метабазальты и метабазальтовые андезиты (базиты II); 3 – метакоматииты (базиты III); 4 – архейские ТТГ (нерасчлененные); 5 – метаграувакки и конгломераты; 6 – дайки метагаббро (базиты IV); 7 – тектонические контакты; 8 – гнейсовидность/сланцеватость

Fig. 1. Geological scheme of the southeastern part of the Karelian province (a) and a scheme of the geological structure of the Kadilampi-Kuslokki lakes region (b). (a) 1–4 – Archean: 1 – undifferentiated rocks, mainly granitoids; 2–4 – metamorphosed volcanic and sedimentary rocks of greenstone belts with the age: 2 – 3.1–2.92 billion years, 3 – 2.88–2.74 billion years, 4 – 2.75–2.71 billion years; 5 – Proterozoic supracrustal formations; 6 – Paleozoic formations; 7 – domain boundaries: WKD – West Karelian Domain, CKD – Central Karelian Domain, VD – Vodlozero Domain, BP – White Sea Province; 8 – state border. *Letters in circles*: K – structure of the Kadilampi-Kuslokki lakes region, I – Ilomantsi greenstone belt. (b) 1 – metabasalts (basites I); 2 – metabasalts and metabasaltic andesites (basites II); 3 – metakomatiites (basites III); 4 – Archean TTG (undivided); 5 – metagraywackes and conglomerates; 6 – metagabbro dikes (basites IV); 7 – tectonic contacts; 8 – gneissosity/schistosity

чия в составе мезо- и неоархейских базитов в Карельской провинции Фенноскандинавского щита (Чекулаев и др., 2018), и эти различия требуют более детального их рассмотрения. Наиболее полно неоархейский базит-ультрабазитовый магматизм представлен в Центрально-Карельском (по Лобач-Жученко и др., 2000) домене провинции, где детально изучен в районе озер Кадилампи и Куслокки в западной части домена вблизи границы с Финляндией (рис. 1).

Геологическое строение района

Карельская провинция (гранит-зеленокаменная область) является наиболее крупным сегментом архейской литосферы в пределах Фенноскандинавского щита. Она занимает центральную и западную части Республики Карелия и восточную часть Финляндии (Ранний докембрий…, 2005). Карельская провинция состоит из трёх крупных фрагментов коры (субпровинций или доменов): Водлозерского (ВД), Центрально-Карельского (ЦКД) и Западно-Карельского (ЗКД) (рис. 1 а), различающихся временем формирования слагающих их комплексов пород (Лобач-Жученко и др., 2000).

Главными отличиями пород ЦКД от смежных ВД и ЗКД доменов являются: 1) более молодой возраст, не превышающий 2.8 млрд лет (тогда как в строении ВД и ЗКД участвуют породы с возрастами более 3.0 и 2.8 млрд лет, соответственно); 2) преимущественно положительные значения εNd(t) и t(Nd)DM не более 3 млрд лет (по DePaolo, 1981); 3) геохимические особенности пород среднего и кислого состава: обогащение литофильными элементами K, Ba, Sr, LREE как ТТГ, так и метавулканитов; значительное многообразие составов основных пород, в сравнении с мезоархеем и палеопротерозоем. Ранее было показано (Геология и петрология …, 1969; Ранний докембрий …, 2005), что на уровне современного среза домен почти на 90 % сложен гранитоидами разного состава, представляющими комплекс гранит-мигматитов, наиболее древними из которых, судя по геологическим данным, являются породы ТТГ-ассоциации, в различной степени переработанные в связи с формированием обширного комплекса плагиомикроклиновых гранитоидов. Супракрустальные породы образуют структуры преимущественно в краевых частях домена, реже в центре (рис. 1 а). Они представлены в основном метавулканитами средне-кислого состава и метаосадками, включая полимиктовые конгломераты и железистые кварциты, а метакоматииты и метабазальты имеют подчиненное значение.

В данной работе представлены результаты изучения пород фрагмента зеленокаменной структуры района озёр Кадилампи и Куслокки (расположенной в ЮЗ части ЦКД к ЮЗ от поселка Лендеры), являющегося северным продолжением неоархейского зеленокаменного пояса Хатту (Иломантси) (рис. 1). Геофизическое изучение данного района, названного авторами «Северный Приграничный», проводилось сотрудниками Карельской ГЭ в рамках картирования с бурением (Юдин, 2004 ф). Петрографическое изучение пород без детальных геохимических исследований выполнено коллегами из Института геологии КарНЦ РАН (Нилов и др., 2006; Костомукшский рудный…, 2015). Ими также проведена корреляция комплексов пород данного района с породами зеленокаменного пояса Хатту в Восточной Финляндии (Geological development…, 1993). Авторами показано, что в пределах Северной Приграничной площади прослежено продолжение пояса Хатту на российскую территорию (Юдин, 2004 ф; Нилов и др., 2006). Фрагменты толщи на данной территории представляют собой ветви пород единой зеленокаменной структуры, вытянутые между ТТГ комплексами фундамента.

Породы зеленокаменной структуры района озёр Кадилампи-Куслокки представлены амфиболитами по базальтам, базальтовым андезитам и коматиитам (рис. 1 б). Амфиболиты прорываются и мигматизируются серыми плагиогранитами и гранодиоритами. К востоку от области распространения амфиболитов вблизи оз. Шаверка широко представлены тоналиты, гранодиориты и микроклинизированные граниты. Для аналогичных гранодиоритов пояса Иломантси U-Pb возраст по циркону составляет 2.75–2.72 млрд лет, в этом же возрастном интервале находится возраст супракрустальных пород, слагающих пояс (Hölttä et al., 2012; Мыскова и др., 2022). В районе оз. Куслокки выделяется фрагмент супракрустальных пород, сложенный метаграувакками и полимиктовыми конгломератами, содержащими гальки метабазальтов, метабазальтовых андезитов,

плагио- и плагиомикроклиновых гранитоидов. При этом на участке не установлены метавулканиты среднего и кислого состава, преобладающие в строении центральной (пояс Хатту), (Geological development…, 1993; Hölttä et al., 2012) и южной (Корпиярвинская и Пастаярвинская структура) частях пояса Иломантси (Мыскова, Львов, 2022). Базиты участка секутся дайками микроклиновых гранитов, и все породы района прорваны субмеридиональными дайками габбро различной мощности.

Детальное геологическое и геохимическое исследование фрагмента зеленокаменной структуры района озёр Кадилампи-Куслокки позволило выделить в ее строении 4 группы метабазитов (рис. 1 б): две группы базитовых метавулканитов и субвулканических пород, одна из которых (базиты I) представлена метабазальтами и мелкозернистыми метагаббро, которые секутся и частично мигматизируются серыми плгиогранитами (ТТГ). Базиты II в северной части района (оз. Куслокки) представлены плотными мелкозернистыми метабазальтами и метабазальтовыми андезитами. Южнее, у оз. Кадилампи, базиты II более крупнозернистые, сходны с субвулканическими породами, иногда мигматизированы тоналитами, в них содержатся прослои метакоматиитов (базиты III), в которых сохраняются реликты первично-магматических подушечных структур, подтверждающих вулканическое происхождение пород. К базитам IV отнесены метагаббро даек, секущих все породы структуры.

Петрографические и геохимические характеристики базитов

Петрографическое описание пород выполнено в ИГГД РАН. Содержания в исследуемых породах породообразующих оксидов определены методом РФА по стандартной методике. Редкие и редкоземельные элементы (РЗЭ) измерены методом ICP-MS в центральной аналитической лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Калибровка измерений проводилась с использованием Rb, Re и In в качестве внутренних стандартов. Ошибка определения элементов Th, U, Lu, Yb, Er и Dy методом ICP-MS оценивается в 10–15 %, для остальных редких элементов (Ti, Zr, Sr, Y) не более 5 %.

Базиты I представлены среднезернистыми и реже мелкозернистыми массивными амфиболитами, сложены преимущественно плагиоклазом и роговой обманкой, в небольшом количестве (< 5–10 %) присутствуют биотит, эпидот, актинолит, хлорит, кварц, сфен и ильменит. Амфиболиты содержат: SiO_2 = 51–52 вес. %, TiO_2 = 0.6–0.9 вес. %, MgO = 6.6–8 вес. %, mg# = 0.55, $K_2O + Na_2O$ = 3–3.5 вес. %; для них характерно высокое содержание Cr = 170–270 мкг/г. Они характеризуются плоским графиком распределения РЗЭ со слабым обеднением в области легких РЗЭ с (La/Yb)n = 0.8–0.9, (Gd/Yb)n = 0.9–1.1 (рис. 2 а). Отношения Sm/Nd = 0.33–0.35 близки к таковым в базальтовых расплавах, выплавленных из необогащённого мантийного источника, а Nb/La = 1.0–1.2 свидетельствуют об отсутствии в них коровой контаминации. По составу близки наименее обогащенным несовместимыми элементами метабазальтам пояса Иломантси (рис. 2 б).

Базиты II изучены в северо-западной и южной частях района (рис. 1 б). На СЗ (оз. Куслокки) они представлены мелкозернистыми метабазальтами и метабазальтовыми андезитами, иногда с вариолитовой и миндалекаменной структурой, в южной части района (оз. Кадилампи) базиты такого же состава более крупнозернистые и сильнее мигматизированы, чем базальты северо-западной части участка. Базиты II содержат 40–70 % роговой обманки, до 30 % плагиоклаза и рудную пыль, в мигматизированных разностях присутствуют также биотит и ильменит. Содержание SiO_2 = 49–56 вес. %, TiO_2 = 0.5–1.5 вес. %, MgO = 5–10.5 вес. %, mg# = 0 52–0 62; $K_2O + Na_2O$ = 2.5–5.6 вес. %. В базитах II более низкое по сравнению с базитами I содержание Cr = 20–170 мкг/г, также они отличаются существенным обогащением легкими РЗЭ: (La/Yb)n = 3.5–12; (La/Sm)n = 1.9–4.5; (Gd/Yb)n = 1.4–2.8 (рис. 2 а) и низкими отношениями Sm/Nd = 0.16–0.22 и Nb/La = 0.2–0.6, которые свидетельствуют об обогащённом источнике плавления и/или возможной контаминации расплавов коровым веществом.

Метакоматииты (базиты III) представляют собой мелко- среднезернистые породы, сложенные тремолитом, серпентином и хлоритом, замещающими первичные оливин и пироксен. По составу (SiO_2 = 49–50 вес. %, TiO_2 = 0.8 вес. %, Al_2O_3 = 7 вес. %, MgO = 17–18 вес. %, mg# = 0.75; Cr = 930–1250 мкг/г) они соответствуют коматиитам, недеплетированным глинозёмом. Метакоматииты характеризуются фракционированным спектром распределения редкоземельных элементов с обогащением в области легких РЗЭ (рис. 2 а) с отношениями (La/Yb)n = 4.6–6.9; (Gd/Yb)n = 2.6–2.8;

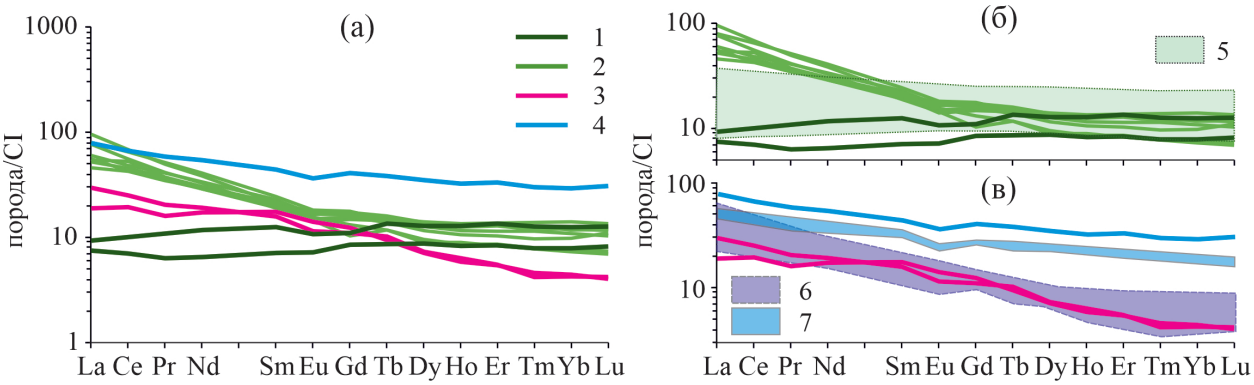

Рис. 2. Нормированные по (Sun, McDonough, 1989) на хондрит CI концентрации редкоземельных элементов в метабазитах района озер Кадилампи – Куслокки Центрально-Карельского домена Карельской провинции (а) и их сравнение с метабазитами пояса Иломантси (б-в): 1 – базиты I (метабазальты); 2 – базиты II (метабазальты и метабазальтовые андезиты); 3 – базиты III (метакоматииты); 4 – базиты IV (Fe-Ti-метагаббро даек); 5–6 – метабазиты пояса Иломантси: 5 – метабазальты пояса Хатту (Hölttä et al., 2012) и Корпиярвинской и Пастаярвинской структур – южное продолжение пояса (Мыскова, Львов, 2022); 6 – метакоматииты пояса Хатту (Hölttä et al., 2012); 7 – дайки Fe-Ti-метагаббро районов озёр Воттомукс, Суккозеро, Большозеро (ЦКД) (неопубликованные данные авторов)

Fig. 2. Concentrations of rare earth elements in metabasites of the Kadilampi-Kuslokki lakes region of the Central Karelian domain of the Karelian province (a), normalized according to (Sun, McDonough, 1989) to CI chondrite, and their comparison with metabasites of the Ilomantsi belt (b-c): 1 – basites I (metabasalts); 2 – basites II (metabasalts and metabasaltic andesites); 3 – basites III (metakomatiites); 4 – basites IV (Fe-Ti-metagabbro dikes); 5–6 – metabasites of the Ilomantsi belt: 5 – metabasalts of the Hattu belt (Hölttä et al., 2012) and the Korpiyarvi and Pastayarvi structures – the southern continuation of the belt (Myskova, Lvov, 2022), 6 – metakomatiites of the Hattu belt (Hölttä et al., 2012); 7 – Fe-Ti-metagabbro dikes of the Vottomuks Lake valley – Lake Sukkozero, Lake Bolshozero (CKD) (authors' unpublished data)

Sm/Nd = 0.28–0.33, которые свидетельствуют о слабообогащенном мантийном источнике, а отношение Nb/La = 0.98–1.3 – об отсутствии контаминации расплава коровым веществом. По составу близки наименее магнезиальным разностям метакоматиитов пояса Иломантси (рис. 2 в).

К базитам IV относятся средне или крупнозернистые метагаббро даек различной мощности и протяженности, секущих базиты двух первых групп, метграувакки и гранитоиды фундамента (рис. 1 б). По химическому составу метагаббро даек (SiO_2 = 49 вес. %, TiO_2 = 2.9 вес. %, MgO = 4.5 вес. %, Fe_2O_3 = 17.7 вес. %, mg# = 0.34; K_2O+Na_2O = 3.2 вес. %.) являются высокотитанистыми и высокожелезистыми породами. Для них характерны самые высокие (из всех групп базитов) содержания высокозарядных (HFS) и редкоземельных элементов, слабо фракционированный спектр распределения РЗЭ (рис. 2 а): (La/Yb)n = 2.5; (La/Sm)n = 1.8; (Gd/Yb)n = 1.4; а также пониженные относительно мантийного отношения Sm/Nd = 0.26 и Nb/La = 0.6.

Анализ типа источника базитовых расплавов проводился по соотношению в них высоко зарядных (HFS) элементов. На диаграмме Zr/Y – Nb/Y (Condie, 2005) метабазальты I-ой группы располагаются выше линии ΔNb, разделяющей плюмовые и неплюмовые источники и их выплавки, вблизи источника PM (примитивной мантии) в поле составов мезоархейских метабазальтов (рис. 3 а).

Базиты II и III на диаграмме Zr/Y – Nb/Y (Condie, 2005) располагаются около и ниже линии ΔNb и смещены в сторону обогащенных источников EM1 и EM2 (рис. 3 а). По соотношению Th/Yb – Nb/Yb (Pearce, Reagan, 2019) базиты II-III смещаются в область производных субконтинентальной литосферной мантии (СКЛМ) (рис. 3 б). Составы метабазальтов и метакоматиитов пояса Иломантси (рис. 3 а-б) также образуют поле составов от PM до обогащенных мантийных источников. Базиты IV (дайки метагаббро) занимают на диаграмме К. Конди (рис. 3 а) промежуточное положение между PM/DM и базитами II и III вблизи линии ΔNb и, вероятно, имели более примитивный мантийный источник. Аналогичные по составу дайки и малые тела Fe-Ti метагаббро известны в районе Суккозерско-Гимольской и Большезерской структур Центрально-Карельского домена

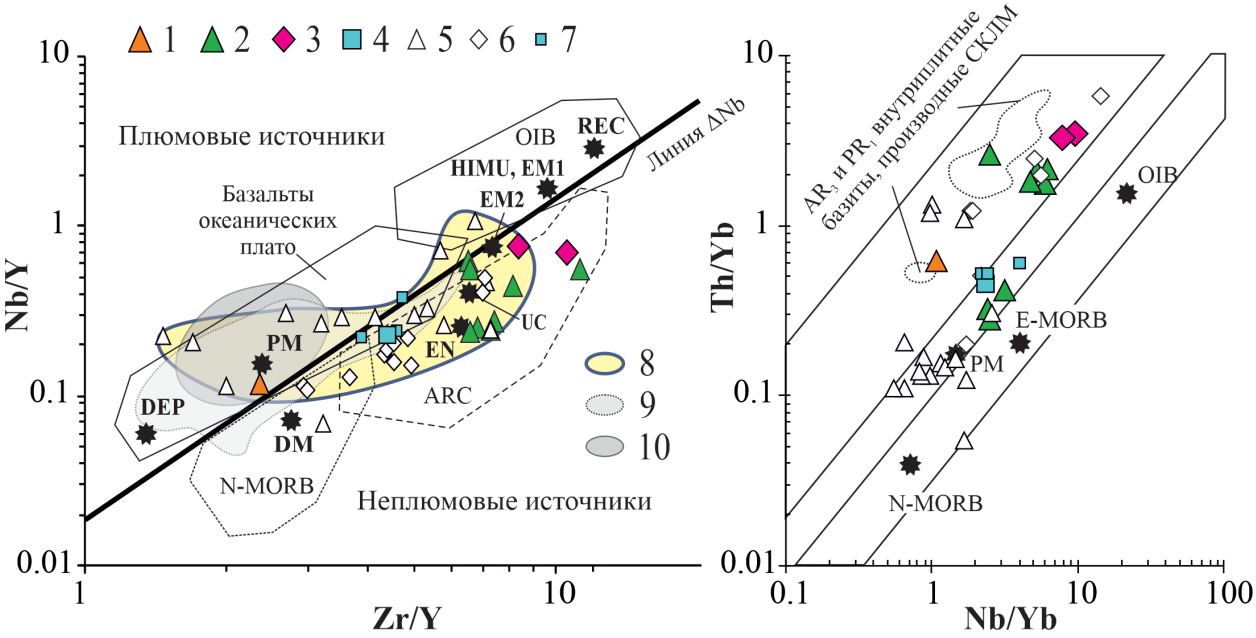

Рис. 3. (а) – диаграмма Zr/Y – Nb/Y с полями коматиитов и базальтов различных геодинамических обстановок (Condie, 2005); (б) – диаграмма Nb/Yb – Th/Yb по (Pearce, Reagan, 2019): 1 – базиты I (метабазальты); 2 – базиты II (метабазальты и метабазальтовые андезиты); 3 – базиты III (метакоматииты); 4 – базиты IV (Fe-Ti-метагаббро даек); 5–6 – метабазиты пояса Иломантси: 5 – метабазальты пояса Хатту (Hölttä et al., 2012) и Корпиярвинской и Пастаярвинской структур (южное продолжение пояса, Мыскова, Львов, 2022), 6 – метакоматииты пояса Хатту (Hölttä et al., 2012); 7 – дайки Fe-Ti-метагаббро районов озёр Воттомукс, Суккозеро, Большозеро (ЦКД). На диаграмме (а) для сравнения показаны поля архейских метакоматиитов и метабазальтов разных доменов Карельской провинции: 8 – Центрально-Карельский домен; 9 – Западно-Карельский домен; 10 – Водлозерский домен. На диаграмме (б): СКЛМ – субконтинентальная литосферная мантия

Fig. 3. (a) – Zr/Y – Nb/Y diagram with fields of komatiites and basalts of different geodynamic settings (Condie, 2005); (b) – Nb/Yb – Th/Yb diagram after (Pearce, Reagan, 2019): 1 – basites I (metabasalts); 2 – basites II (metabasalts and metabasaltic andesites); 3 – basites III (metakomatiites); 4 – basites IV (Fe-Ti-metagabbro dikes); 5–6 – metabasites of the Ilomantsi belt: 5 – metabasalts of the Hattu belt (Hölttä et al., 2012) and the Korpiyarvi and Pastayarvi structures (southern continuation of the belt, Myskova, Lvov, 2022), 6 – metakomatiites of the Hattu belt (Hölttä et al., 2012); 7 – Fe-Ti-metagabbro dikes of the Vottomuks-Sukkozero Lake, Bolshozero Lake (CKD) regions. The diagram (a) shows for comparison the fields of Archean metacomatiites and metabasalts of different domains of the Karelian province: 8 – Central Karelian domain; 9 – West Karelian domain; 10 – Vodlozero domain. In the diagram (b): SKLM – subcontinental lithospheric mantle

Карельской провинции (рис. 2 в; 3 а, б) и относятся разными исследователями к позднему архею или к раннему протерозою.

Обсуждение результатов. Выводы

Проведенное сопоставление геохимических особенностей базитовых метавулканитов пояса Иломантси: района озер Кадилампи и Куслокки (северо-восточная часть), пояса Хатту (центральная часть), (Hölttä et al., 2012) и Корпиярвинской и Пастаярвинской структур (южное продолжение), (Мыскова, Львов, 2022), показало присутствие однотипных базитов со сходными геохимическими характеристиками во всех частях пояса. Во всех частях пояса присутствуют базиты I – с плоским распределением РЗЭ, источником исходных расплавов которых была необогащенная (примитивная) мантия (PM). По химическому составу и геохимическим особенностям, в том числе характеру распределения РЗЭ и отсутствию свидетельств коровой контаминации, базиты I сходны с неоархейскими метабазальтами других районов ВД, ЦКД и ЗКД Карельской провинции. Метабазальты и метабазальтовые андезиты (II) по геохимическим характеристикам (в первую очередь, повышенные содержания SiO_2, MgO, легких РЗЭ, и низкие – TiO_2) близки метабазальтам и метабазальтовым андезитам сумия Карельской провинции (Арестова и др., 2023), однако их мигматизация неоархей-

скими гранитоидами позволяет отнести их к неоархейским образованиям. Сходные геохимические особенности, в том числе обогащение легкими РЗЭ, характерны для более кремнекислых неоархейских разновидностей метавулканитов (метаандезитов и метадацитов) и метаграувакк пояса Иломантси (Hölttä et al., 2012; Мыскова, Львов, 2022).

Метакоматииты (III), формирующие прослои (возможно силлы) в метабазальтах, участвуют в строении и структуры Кадилампи-Куслокки, и пояса Хатту (Hölttä et al., 2012). Присутствие перидотитовых метакоматиитов, содержания MgO в которых в финляндской части пояса составляет 19–32 вес. %, а в российских разрезах 18 вес. %, свидетельствует о высоких температурах формирования исходных расплавов, причиной которых мог быть плюм. Обогащение метакоматиитов несовместимыми элементами, в том числе легкими РЗЭ, может свидетельствовать о неоднородном обогащенном мантийном источнике расплавов, которым могла быть метасоматизированная СКЛМ под Карельским кратоном. Скорее всего она была источником и для расплавов базитов II.

Fe-Ti-метагаббро (IV) аналогичны метагаббро даек и малых интрузий других районов ЦКД, секут базиты I, II, полимиктовые конгломераты и гранитоиды фундамента, и возможно, являются раннепротерозойскими.

Таким образом, мы считаем, что обогащенный мантийный источник плавления существовал, не только начиная с раннего протерозоя, но имел место и в неоархейское время. Субсинхронное образование в начале неоархея в одних и тех же зеленокаменных структурах метавулканитов – продуктов различных мантийных источников (астеносферная мантия и субконтинентальная литосферная мантия) и коровых источников на территории всей центральной части Карельской провинции, совмещенное с накоплением плохо сортированных терригенных осадков, в том числе, полимиктовых конгломератов, указывает на геодинамическую обстановку внутриконтинентального рифтогенеза, начало которого могло быть связано с подъёмом неоархейского плюма. Проводящими каналами для расплавов служили глубинные разломы. В данном случае для базитов пояса Хатту и района озер Кадилампи и Куслокки подводящим каналом мог быть глубинный разлом на границе Центрально-Карельского домена с Западно-Карельским.

Благодарности

Работа выполнена по теме НИР-FMUW-2025-0003 с использованием оборудования ЦКП «АИРИЗ» (Кузнецов и др., 2022).

Литература

1. Арестова Н. А. Природа базальтов архейских зеленокаменных поясов Балтийского щита: источники и геодинамические режимы формирования (на основе анализа геохимических данных) // Региональная геология и металлогения. 2008. № 36. С. 5–18.
2. Арестова Н. А., Чекулаев В. П., Егорова Ю. С., Кучеровский Г. А. Сумийские базальты и базальтовые андезиты Карельской провинции Фенноскандиавского щита: геологическое положение, состав, условия образования // Геология и геофизика. 2023. № 2. С. 1–28. DOI: -15372/GiG2022133.
3. Костомукшский рудный район (геология, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Горьковец В. Я., Шаров Н. В. Петрозаводск. Изд-во: КарНЦ РАН, 2015. 322 с.
4. Кузнецов А. Б., Зайцева Т. С., Сальникова Е. Б. Центр коллективного пользования «АИРИЗ» (ИГГД РАН, Санкт-Петербург): научное оборудование, основные направления исследований и результаты // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13, № 2. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2-0584.
5. Лобач-Жученко С. Б., Чекулаев В. П., Арестова Н. А. и др. Архейские террейны Карелии: их геологическое и изотопно-геохимическое обоснование // Геотектоника. 2000. № 6. С. 26–42.
6. Мыскова Т. А., Львов П. А. Супракрустальные образования разновозрастных архейских зеленокаменных структур Карельского кратона Фенноскандинавского щита на границе со Свекофеннским блоком: состав, возраст, происхождение // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2022. Т. 30, № 1. С. 3–32. DOI: 10.31857/S0869592X22010057.
7. Нилов М. Ю., Юдин С. Н., Кулешевич Л. В. Геологическое строение и геофизические исследования Северной Приграничной площади зеленокаменного пояса Ялонвара – Хатту – Тулос // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 9. Петрозаводск. Изд-во: КарНЦ РАН, 2006. С. 100–120.
8. Ранний докембрий Балтийского щита / Ред. В. А. Глебовицкий. СПб. Изд-во: Наука, 2005. 711 с.

9. Чекулаев В. П., Арестова Н. А., Егорова Ю. С., Кучеровский Г. А. Изменение условий формирования континентальной коры Карельской провинции Балтийского щита при переходе от мезо- к неоархею: результаты геохимических исследований // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2018. Т. 26, № 3 С. 3–23. DOI: 10.7868/S0869592X18030018.
10. Юдин С. И. Информационный отчет о результатах поисков месторождений золота и МПГ на участке Приграничный Северный в породах гранит-зеленокаменной области Ялонваара-Иломантси за 2004 г. Петрозаводск. Изд-во: ТГФ. 2004.
11. Geological development, gold mineralization and exploration methods in the late Archean Hattu schist belt, Eastern Finland / Eds. P. A. Nurmi, P. Sorjonen-Ward // Geological Survey of Finland, Special Paper. 1993. V. 17. 386 p.
12. DePaolo D. J. Neodimium isotopes in the Colorado Front Range and crustmantle evolution in the Proterozoic // Nature. 1981. V. 291. P. 684–687.
13. Condie K. C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. 2005. V. 79. P. 491–504. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.09.014.
14. Hölttä P., Heilimo E., Huhma H., Kontinen A., Mertanen S., Mikkola P., Paavola J., Peltonen P., Semprich J., Slabunov A., Sorjonen-Ward P. The Archaean of the Karelia Province in Finland // Geol. Surv. Finland. Spec. Pap. 2012. V. 54. P. 21–73.
15. Pearce J. A., Reagan M. K. Identification, classification, and interpretation of boninites from Anthropocene to Eoarchean using Si-Mg-Ti systematics // Geosphere. 2019. V. 15, No. 4. P. 1008–1037. https://doi.org/10.1130/GES01661.1.
16. Sun S. S., McDonoughW. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / Eds. A. D. Saunders, M. J. Norry // Magmatism in the ocean asins. Geol. Soc., London, Spec. Publ. 1989. V. 42. P. 313–345. http://dx.doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19.