

Неоархейские базиты Центрально-Карельского домена Карельской провинции Фенноскандинавского щита (р-н озёр Кадиламп-Куслочки)

Арестова Н. А.^{id}, Егорова Ю. С.^{id}, Чекулаев В. П.^{id}, Кучеровский Г. А.^{id}

Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, narestova2009@rambler.ru

Аннотация. Изучены базиты района озер Кадиламп-Куслочки (северного продолжения неоархейского пояса Иломанси (Финляндия)) Карельской провинции Фенноскандинавского щита. По геологическим и геохимическим данным выделены четыре группы базитов. Базиты I – массивные метабазалты 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 выплавки из примитивной мантии. Базиты II – метабазалты 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 – метакватииты (прослой 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 метакватиитам пояса Иломанси. 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 РМ; 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 обогащённая субконтинентальная литосферная мантия. В поясе Иломанси 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 вулкаников – 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, метакватииты, метабазалты, метагаббро.

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

Arestova N. A.^{id}, Egorova Yu. S.^{id}, Chekulaev V. P.^{id}, Kucherovsky G. A.^{id}

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 Neoproterozoic 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, Neoproterozoic, 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 преобразования исходных базит-ультрабазитовых магм могут служить геохимические характеристики неоархейских базитов. Ранее нами были показаны существенные отличия

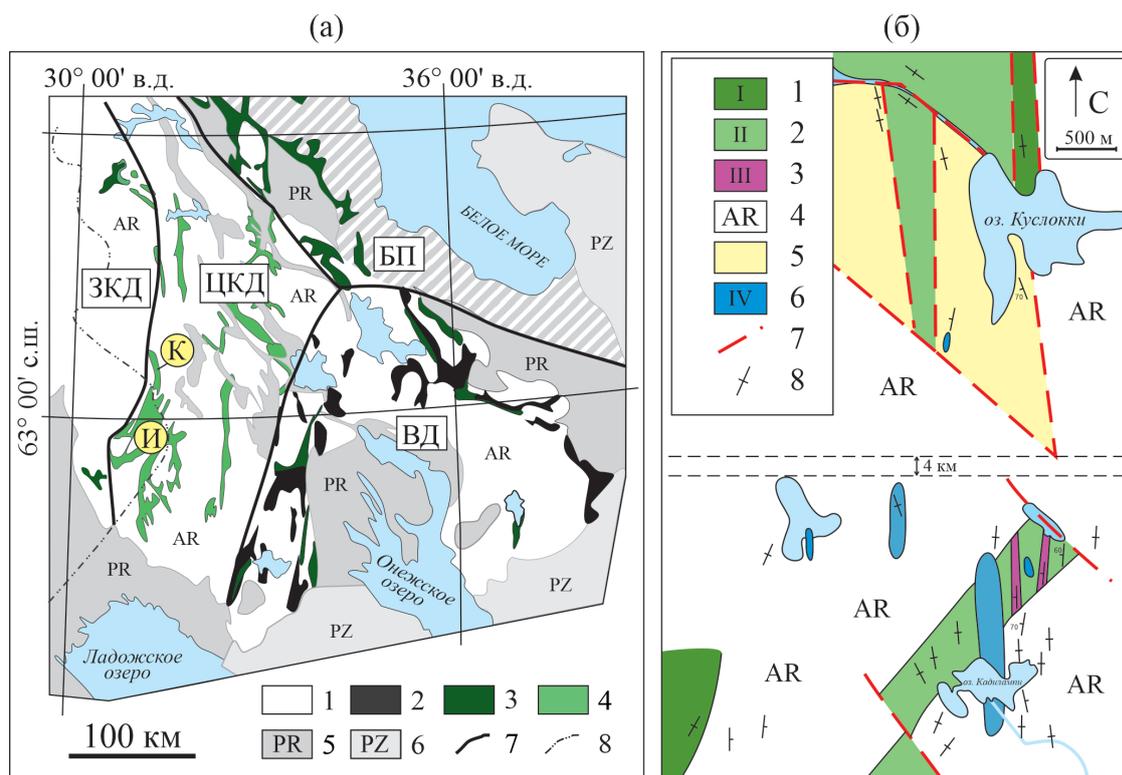


Рис. 1. Геологическая схема юго-восточной части Карельской провинции (а) и схема геологического строения района озер Кадилампи-Куслокки (б). (а) 1–4 – Архей: 1 – нерасчлененные породы, преимущественно гранитоиды; 2–4 – метаморфизованные вулканогенные и осадочные породы зеленокаменных поясов с возрастом: 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 Иломанси. (б) 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

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 неoarхейских базитов в Карельской провинции Фенноскандинавского щита (Чекулаев и др., 2018), и эти различия требуют более детального их рассмотрения. Наиболее полно неoarхейский базит-ультрабазитовый магматизм представлен в Центрально-Карельском (по Лобач-Жученко и др., 2000) домене провинции, где детально изучен в районе озер Кадиламп 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 возрастaми более 3.0 и 2.8 млрд лет, соответственно); 2) преимущественно положительные значения $\epsilon Nd(t)$ и $t(Nd)DM$ не более 3 млрд лет (по DePaolo, 1981); 3) геохимические особенности пород среднего и кислого состава: обогащение литофильными элементами К, Ва, Sr, LREE как ТТГ, так и метавулканитов; значительное многообразие составов основных пород, в сравнении с мезoarхеом 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 метасадками, включая полимиктовые конгломераты и железистые кварциты, а метакоматииты и metabазальты имеют подчиненное значение.

В данной работе представлены результаты изучения пород фрагмента зеленокаменной структуры района озёр Кадиламп и Куслокки (расположенной в ЮЗ части ЦКД к ЮЗ от поселка Лендеры), являющегося северным продолжением неoarхейского 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 Кадиламп-Куслокки представлены амфиболитами по базальтам, базальтовым андезитами 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 metabазальтов, metabазальтовых андезитов,

плагио- и плагиомикроклиновых гранитоидов. При этом на участке не установлены метавулкани- ты среднего и кислого состава, преобладающие в строении центральной (пояс Хатту), (Geological development..., 1993; Hölttä et al., 2012) и южной (Корпьярвинская и Пастаярвинская структура) ча- стях пояса Иломанси (Мыскова, Львов, 2022). Базиты участка секутся дайками микроклиновых гра- нитов, 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 metabазитов (рис. 1 б): две группы базитовых метавулканитов и субвулканических пород, одна из которых (базиты I) пред- ставлена metabазальтами и мелкозернистыми метагаббро, которые секутся и частично мигмати- зируются серыми плагитогранитами (ТТГ). Базиты II в северной части района (оз. Куслокки) пред- ставлены плотными мелкозернистыми metabазальтами и metabазальтовыми андезитами. Южнее, у оз. Кадилампи, базиты II более крупнозернистые, сходны с субвулканическими породами, ино- гда мигматизированы тоналитами, в них содержатся прослои метакоматиитов (базиты III), в которых сохраняются реликты первично-магматических подушечных структур, подтверждающих вулканиче- ское 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 по- родах породообразующих оксидов определены методом РФА по стандартной методике. Редкие и редкоземельные элементы (РЗЭ) измерены методом ICP-MS в центральной аналитической лабо- ратории 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 амфи- болитами, сложены преимущественно плагиоклазом и роговой обманкой, в небольшом количе- стве (< 5–10 %) присутствуют биотит, эпидот, актинолит, хлорит, кварц, сфен и ильменит. Ам- фиболиты содержат: $\text{SiO}_2 = 51\text{--}52$ вес. %, $\text{TiO}_2 = 0.6\text{--}0.9$ вес. %, $\text{MgO} = 6.6\text{--}8$ вес. %, $\text{mg}\# = 0.55$, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 3\text{--}3.5$ вес. %; для них характерно высокое содержание $\text{Cr} = 170\text{--}270$ мкг/г. Они харак- теризуются плоским графиком распределения РЗЭ со слабым обеднением в области легких РЗЭ с $(\text{La}/\text{Yb})_n = 0.8\text{--}0.9$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_n = 0.9\text{--}1.1$ (рис. 2 а). Отношения $\text{Sm}/\text{Nd} = 0.33\text{--}0.35$ близки к таковым в базальтовых расплавах, выплавленных из необогащённого мантийного источника, а $\text{Nb}/\text{La} = 1.0\text{--}1.2$ свидетельствуют об отсутствии в них коровой контаминации. По составу близки наименее обога- щенным несовместимыми элементами metabазальтам пояса Иломанси (рис. 2 б).

Базиты II изучены в северо-западной и южной частях района (рис. 1 б). На СЗ (оз. Куслокки) они представлены мелкозернистыми metabазальтами и metabазальтовыми андезитами, иногда с ва- риолитовой 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 миг- матизированных разностях присутствуют также биотит и ильменит. Содержание $\text{SiO}_2 = 49\text{--}56$ вес. %, $\text{TiO}_2 = 0.5\text{--}1.5$ вес. %, $\text{MgO} = 5\text{--}10.5$ вес. %, $\text{mg}\# = 0.52\text{--}0.62$; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 2.5\text{--}5.6$ вес. %. В базитах II более низкое по сравнению с базитами I содержание $\text{Cr} = 20\text{--}170$ мкг/г, также они отличаются су- щественным обогащением легкими РЗЭ: $(\text{La}/\text{Yb})_n = 3.5\text{--}12$; $(\text{La}/\text{Sm})_n = 1.9\text{--}4.5$; $(\text{Gd}/\text{Yb})_n = 1.4\text{--}2.8$ (рис. 2 а) и низкими отношениями $\text{Sm}/\text{Nd} = 0.16\text{--}0.22$ и $\text{Nb}/\text{La} = 0.2\text{--}0.6$, которые свидетельствуют об обогащённом источнике плавления и/или возможной контаминации расплавов коровым веществом.

Метакоматииты (базиты III) представляют собой мелко- среднезернистые породы, сложен- ные тремолитом, серпентином и хлоритом, замещающими первичные оливин и пироксен. По со- ставу ($\text{SiO}_2 = 49\text{--}50$ вес. %, $\text{TiO}_2 = 0.8$ вес. %, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 7$ вес. %, $\text{MgO} = 17\text{--}18$ вес. %, $\text{mg}\# = 0.75$; $\text{Cr} = 930\text{--}1250$ мкг/г) они соответствуют коматиитам, недеплетированным глинозёмом. Метакома- тииты характеризуются фракционированным спектром распределения редкоземельных элементов с обогащением в области легких РЗЭ (рис. 2 а) с отношениями $(\text{La}/\text{Yb})_n = 4.6\text{--}6.9$; $(\text{Gd}/\text{Yb})_n = 2.6\text{--}2.8$;

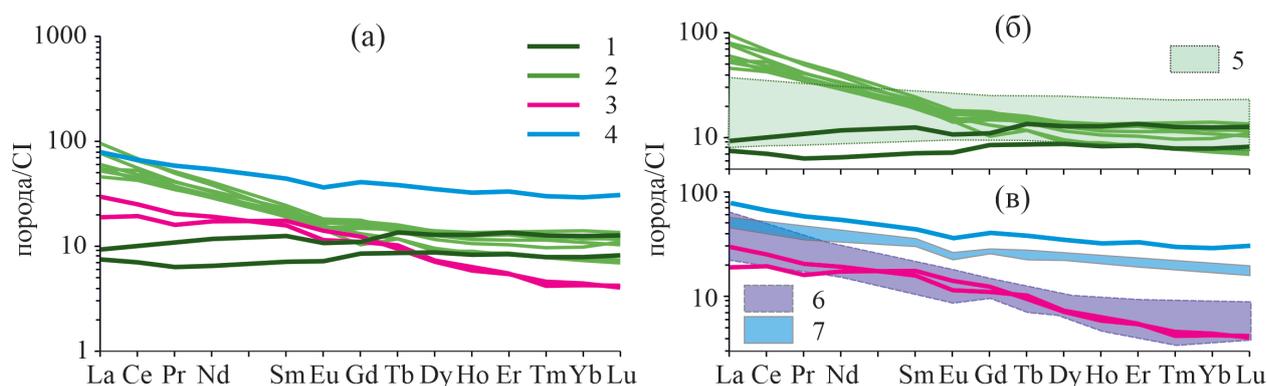


Рис. 2. Нормированные по (Sun, McDonough, 1989) на хондрит CI концентрации редкоземельных элементов в метабазитах района озер Кадиламп – Куслочки Центрально-Карельского домена Карельской провинции (а) и их сравнение с метабазитами пояса Иломантси (б-в): 1 – базиты I (метабазалты); 2 – базиты II (метабазалты и метабазальтовые андезиты); 3 – базиты III (метакоматииты); 4 – базиты IV (Fe-Ti-метагаббро даек); 5–6 – метабазиты пояса Иломантси: 5 – метабазалты пояса Хатту (Hölttä et al., 2012) и Корпийярвинской 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 Iломантси 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 Iломантси 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 слабообогатненном 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, метаграувакки и гранитоиды фундамента (рис. 1 б). По химическому составу метагаббро даек ($\text{SiO}_2 = 49$ вес. %, $\text{TiO}_2 = 2.9$ вес. %, $\text{MgO} = 4.5$ вес. %, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 17.7$ вес. %, $\text{mg\#} = 0.34$; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 3.2$ 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): $(\text{La}/\text{Yb})_n = 2.5$; $(\text{La}/\text{Sm})_n = 1.8$; $(\text{Gd}/\text{Yb})_n = 1.4$; 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 высокозарядных (HFS) элементов. На диаграмме Zr/Y – Nb/Y (Condie, 2005) метабазалты I-ой группы располагаются выше линии ΔNb , разделяющей плюмовые и неплюмовые источники и их выплавки, вблизи источника РМ (примитивной мантии) в поле составов мезоархейских метабазалтов (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 метабазалтов и метакоматиитов пояса Иломантси (рис. 3 а-б) также образуют поле составов от РМ до обогащенных мантийных источников. Базиты IV (дайки метагаббро) занимают на диаграмме К. Конди (рис. 3 а) промежуточное положение между РМ/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

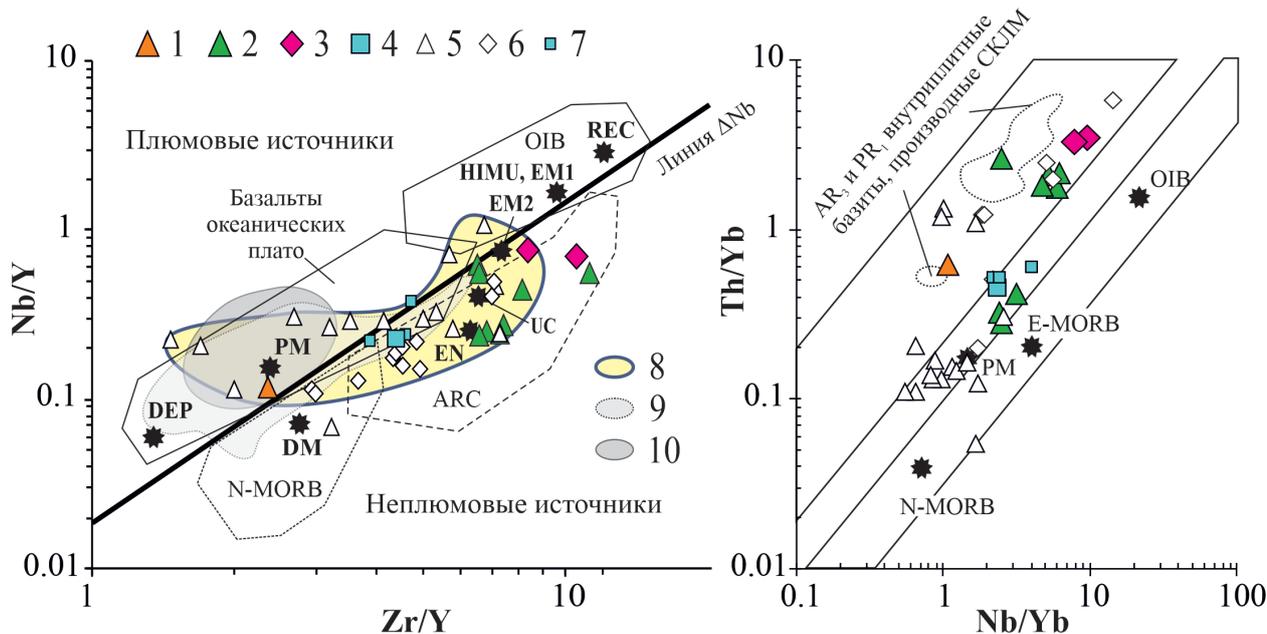


Рис. 3. (а) – диаграмма Zr/Y – Nb/Y с полями коматиитов и базальтов различных геодинамических обстановок (Condie, 2005); (б) – диаграмма Nb/Yb – Th/Yb по (Pearce, Reagan, 2019): 1 – базиты I (метабазальты); 2 – базиты II (метабазальты и метабазаальтовые андезиты); 3 – базиты III (метакоматииты); 4 – базиты IV (Fe-Ti-метагаббро даек); 5–6 – метабазиты пояса Иломантси: 5 – метабазиты пояса Хатту (Hölttä et al., 2012) и Корпийярвинской 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): СКЛИМ – 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 metakomatiites 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 Куслочки (северо-восточная часть), пояса Хатту (центральная часть), (Hölttä et al., 2012) и Корпийярвинской 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 небогатая (примитивная) мантия (PM). По химическому составу и геохимическим особенностям, в том числе характеру распределения РЗЭ и отсутствию свидетельств коровой контаминации, базиты I сходны с неорархейскими метабазальтами других районов ВД, ЦКД и ЗКД Карельской провинции. Метабазальты и метабазальтовые андезиты (II) по геохимическим характеристикам (в первую очередь, повышенные содержания SiO₂, MgO, легких РЗЭ, и низкие – TiO₂) близки метабазальтам и метабазальтовым андезитам сумия Карельской провинции (Арестова и др., 2023), однако их мигматизация нео-

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

Метакоматииты (III), формирующие прослои (возможно силлы) в метабазальтах, участвуют в строении и структуры Кадилампи-Куслоки, 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 неoarхейское время. Субсинхронное образование в начале неoarхея 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 неoarхейского плюма. Проводящими каналами для расплавов служили глубинные разломы. В данном случае для базитов пояса Хатту и района озер Кадилампи и Куслоки 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) / Н. А. Арестова // Региональная геология и металлогения. 2008. № 36. С. 5–18.
2. Архейские террейны Карелии: их геологическое и изотопно-геохимическое обоснование / С. Б. Лобач-Жученко, В. П. Чекулаев, Н. А. Арестова [и др.] // Геотектоника. 2000. № 6. С. 26–42.
3. Изменение условий формирования континентальной коры Карельской провинции Балтийского щита при переходе от мезо- к неoarхею: результаты геохимических исследований / В. П. Чекулаев, Н. А. Арестова, Ю. С. Егорова [и др.] // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2018. Т. 26, № 3. С. 3–23.
4. Костомукшский рудный район (геология, глубинное строение и минерогения) / Отв. ред. В. Я. Горьковец, Н. В. Шаров. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 322 с.
5. Кузнецов А. Б. Центр коллективного пользования «АИРИЗ» (ИГГД РАН, Санкт-Петербург): научное оборудование, основные направления исследований и результаты / А. Б. Кузнецов, Т. С. Зайцева, Е. Б. Сальникова // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13, № 2.
6. Мыскова Т. А. Супракрупальные образования разновозрастных архейских зеленокаменных структур Карельского кратона Фенноскандинавского щита на границе со Свекофеннским блоком: состав, возраст, происхождение / Т. А. Мыскова, П. А. Львов // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2022. Т. 30, № 1. Москва. С. 3–32.
7. Нилов М. Ю. Геологическое строение и геофизические исследования Северной Приграничной площади зеленокаменного пояса Ялонвара – Хатту – Тулос / М. Ю. Нилов, С. Н. Юдин, Л. В. Кулешевич // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2006. Вып. 9. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, С. 100–120.

8. Ранний докембрий Балтийского щита / Ред. В. А. Глебовицкий. Санкт-Петербург: Изд-во Наука, 2005, 711 с.
9. Сумийские базальты и базальтовые андезиты Карельской провинции Фенноскандиавского щита: геологическое положение, состав, условия образования / Н. А. Арестова, В. П. Чекулаев, Ю. С. Егорова [и др.] // Геология и геофизика. 2023. № 2. С. 1–28.
10. Юдин С. И. Информационный отчет о результатах поисков месторождений золота и МПГ на участке Приграничный Северный в породах гранит-зеленокаменной области Ялонваара-Иломанси за 2004 г. / С. И. Юдин. Петрозаводск: 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. Vol. 17. 386 p.
12. Geol. Surv / P. Hölttä, E. Heilimo, H. Huhma [et al.]. Finland. Spec. Pap. 2012. Vol. 54. P. 21–73.
13. DePaolo D. J. Neodimium isotopes in the Colorado Front Range and crustmantle evolution in the Proterozoic / D. J. DePaolo // Nature. 1981. Vol. 291. P. 684–687.
14. Condie K. C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? / K. C. Condie // Lithos. 2005. Vol. 79. P. 491–504.
15. Pearce J. A. Identification, classification, and interpretation of boninites from Anthropocene to Eoarchean using Si-Mg-Ti systematics / J. A. Pearce, M. K. Reagan // Geosphere. 2019. Vol. 15, No. 4. P. 1008–1037.
16. Sun S. S. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / S. S. Sun, W. F. McDonough. Eds.: A. D. Saunders, M. J. Norry // Magmatism in the ocean basins. Geol. Soc., London, Spec. Publ. 1989. Vol. 42. P. 313–345.