

УДК 550.42

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ КИМБЕРЛИТОВ ТРУБКИ ЦНИГРИ-АРХАНГЕЛЬСКАЯ, АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ (СЕВЕР ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

© 2024 г. Е. В. Агашева^{1,*}, Л. В. Зырянова¹, А. М. Агашев¹, Н. Г. Солошенко²,
академик РАН Н. П. Похиленко¹

Поступило 22.02.2024 г.

После доработки 21.03.2024 г.

Принято к публикации 25.03.2024 г.

Приведены новые данные по валовому и изотопному (Sr, Nd)-составу кимберлитов слабоалмазонасной трубки ЦНИГРИ-Архангельская, расположенной в Кепинском поле Архангельской алмазонасной провинции. Показано, что кимберлиты относятся к умереннотитанистому типу кимберлитов провинции и существенно отличаются от ранее изученных кимберлитов Кепинского поля более низкими концентрациями TiO_2 , Ва, высокочargedных и лёгких редкоземельных элементов. Среди всех кимберлитов провинции кимберлиты трубки ЦНИГРИ-Архангельская имеют наиболее радиогенный состав Sr ($^{87}Sr/^{86}Sr$ от 0.7068 до 0.7089), что может быть связано с сочетанием нескольких факторов. Установлено, что кимберлиты трубки представлены двумя разновидностями, имеющие различия как в концентрациях главных и редких элементов, так и изотопном составе Sr и Nd. Изотопный состав Nd (ϵ_{Nd} от 0 до -0.6) для кимберлитов I-разновидности свидетельствует об их обогащённом источнике в литосферной мантии. Кимберлиты II-разновидности имеют менее радиогенный состав Nd (ϵ_{Nd} от -3.5 до -4.9), интерпретация которого неоднозначна: их образование из ещё более древнего обогащённого источника внутри литосферной мантии по сравнению с I-разновидностью, не исключается.

Ключевые слова: кимберлит, Архангельская алмазонасная провинция, геохимия, изотопы Sr и Nd, литосферная мантия

DOI: 10.31857/S2686739724070082

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Архангельской области известно ~100 объектов проявления ультраосновного и основного магматизма [1], образующих Архангельскую алмазонасную провинцию (ААП), условно разделённую на шесть магматических полей (рис. 1). Объекты кимберлитового магматизма известны в пределах Золотицкого, Кепинского и Верхотинского полей. Традиционно [1–4] кимберлиты ААП разделяются на три типа. Первый тип представлен низкотитанистыми ($TiO_2 < 1$ мас. %) кимберлитами Золотицкого поля, которые также характеризуются низкими концентрациями лёгких (Л) редкоземельных

элементов (РЗЭ) и высокочargedных элементов (ВЗРЭ), а также отрицательными значениями ϵ_{Nd} (от -2.2 до -5.3) при значениях $^{87}Sr/^{86}Sr$ от 0.70362 до 0.70662, что свидетельствует о формировании источников этих кимберлитов в обогащённой мантии первого типа ЕМ1 [1–3]. Второй тип представлен высокотитанистыми ($TiO_2 > 2$ мас. %) кимберлитами Кепинского поля, которые обогащены ЛРЗЭ, имеют положительные значения ϵ_{Nd} (от +2.8 до +1.2) при значениях $^{87}Sr/^{86}Sr$ от 0.70342 до 0.70518, что указывает на положение их источника в деплетированной мантии [1–4], соответствующая изотопно-геохимическим характеристикам кимберлитов I-группы Южной Африки [5]. Третий тип представлен умереннотитанистыми (~1 мас. % $TiO_2 < 2.5$ мас. %) кимберлитами трубки им. В. Гриба, которые по значениям ϵ_{Nd} от -1.0 до +1.5 и $^{87}Sr/^{86}Sr$ от 0.70425 до 0.70648 и концентрациям ЛРЗЭ и ВЗРЭ имеют

¹Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия

²Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург, Россия

*E-mail: shchukinalena@igm.nsc.ru

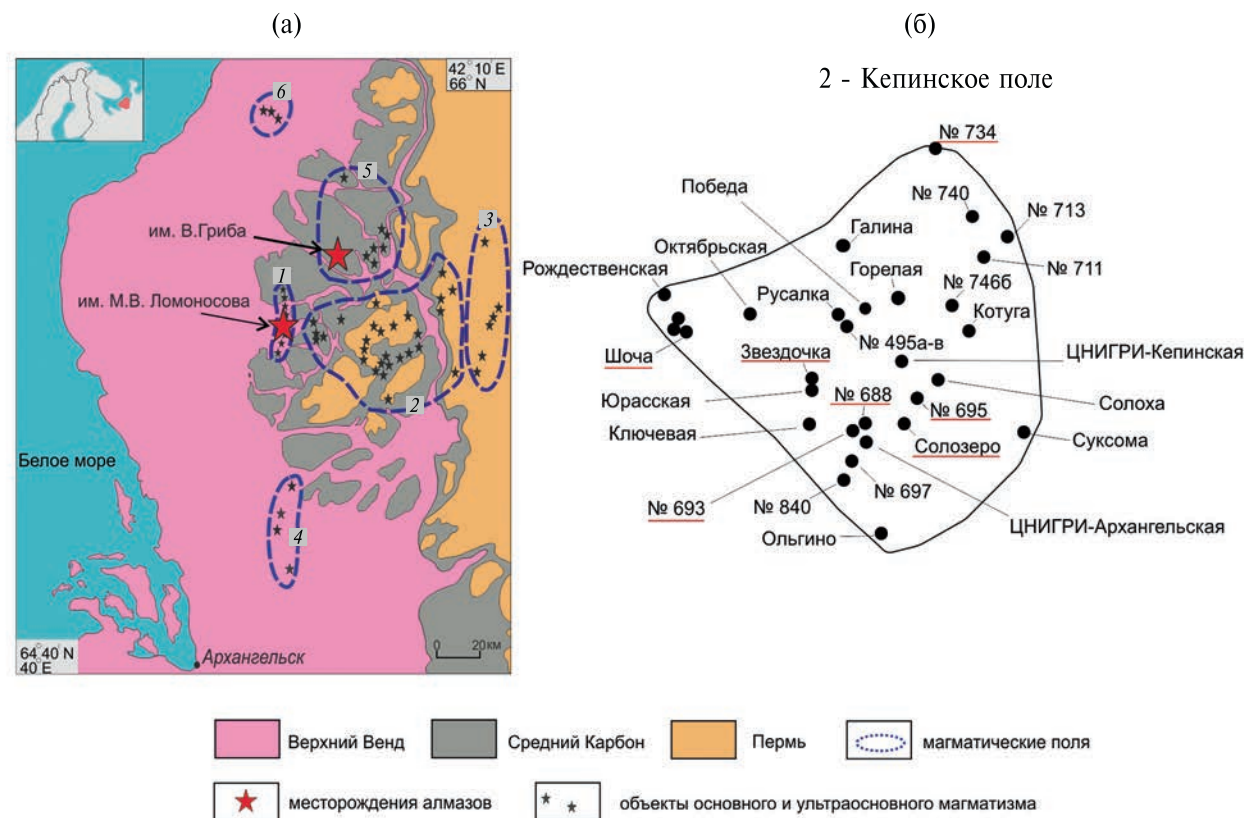


Рис. 1. Схема расположения магматических объектов Архангельской алмазоносной провинции (а) с детализацией [6] для Ке́пинского поля (б). 1–6 — магматические поля (по [1]): 1 — Золотицкое, 2 — Ке́пинское, 3 — Турьинское, 4 — Ижмозерское, 5 — Верхотинское, 6 — Мельское. Красной линией подчеркнуты кимберлитовые объекты Ке́пинского поля, для которых ранее были получены данные по составу Rb–Sr- и Sm–Nd-изотопных систем [1–4].

промежуточный состав между кимберлитами Золотицкого и Ке́пинского полей [1, 2].

Кимберлитовая трубка Цнигри-Архангельская была обнаружена в 2005 г. в южной части Ке́пинской площади [6], но до сих пор мало изучена [6–8]. Трубка вскрыта девятью скважинами до 300 м в глубину от поверхности и определена как слабоалмазоносная (0.056 кар/т; [6]). Возраст образования трубки не установлен.

В настоящей работе представлены новые данные по изотопно-геохимическому составу пяти образцов кимберлитов трубки Цнигри-Архангельская с целью выявления их сходств и различий с ранее изученными кимберлитами ААП в целом и Ке́пинского поля в частности, а также определения состава их источника. Образцы кимберлитов были отобраны из двух скважин, которые опробуют жерловую часть трубки, представленную, согласно [6], “ксенотуфобрекцией” (276/1, 276/2) и “автолитовой кимберлитовой брекцией” (124/1, 124/2, 124/3).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Петрографическое исследование плоскополированных пластинок выполнено методами оптической (поляризационный микроскоп Axiolab 5 производства “CarlZeissMicroscopy”) и сканирующей электронной (сканирующий микроскоп MIRA 3 LMU “Tescan Ltd.”, оснащённый системой микроанализа “INCA Energy” 450 XMax-80 “Oxford Instruments Ltd.” TESCANA MIRA 3 LMU) микроскопии в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск). Петрографическая характеристика проведена согласно [9]. Образцы кимберлитов были в дальнейшем измельчены, и вручную под бинокулярным микроскопом был отобран “чистый” кимберлитовый материал визуально без примеси какого-либо ксеногенного материала. Отобранный материал был измельчён в порошок. Валовый состав кимберлитов определён в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск). Концентрации 15 главных элементов определены на рентгенофлуоресцентном

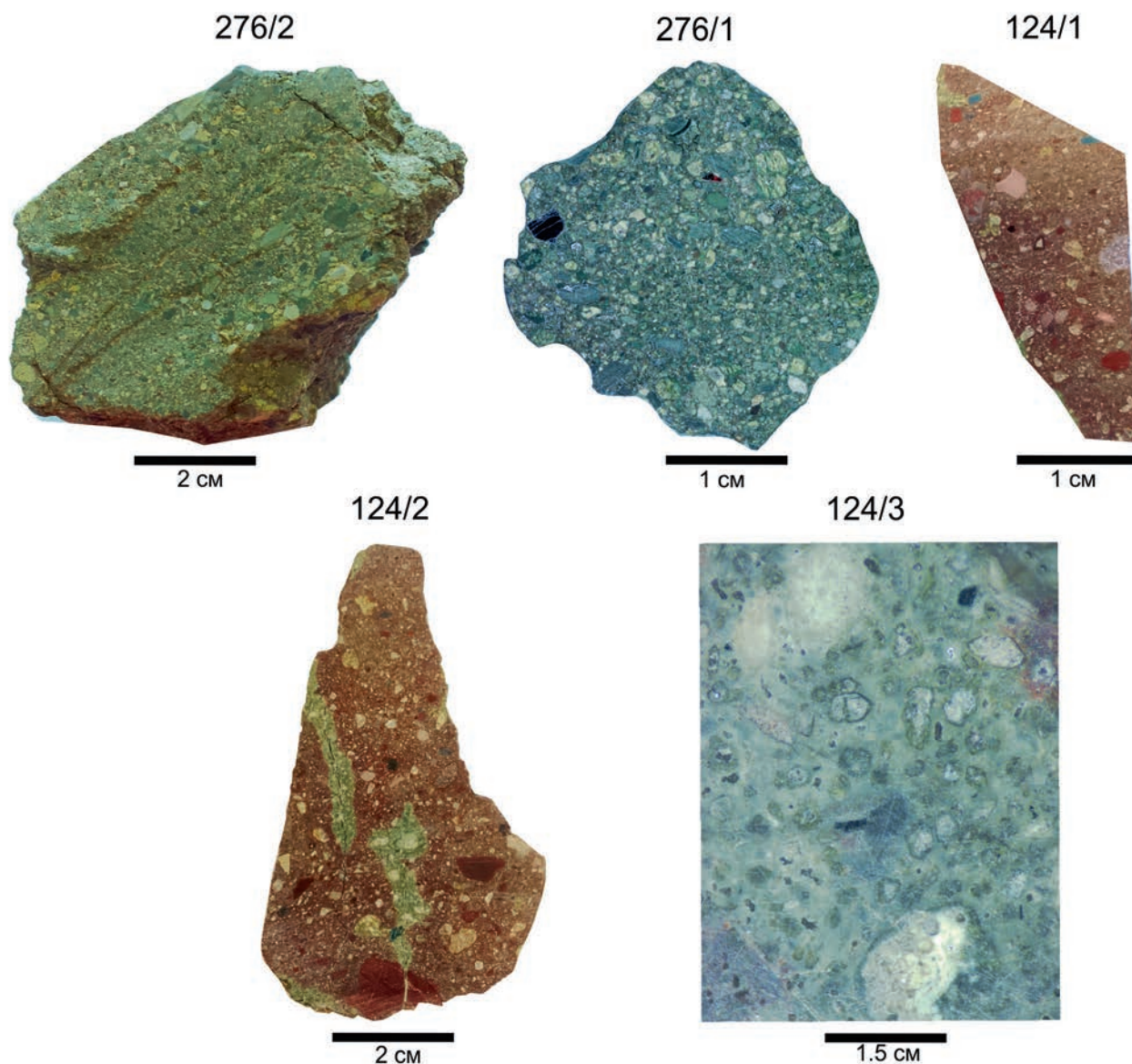


Рис. 2. Фотографии образцов кимберлитов из трубки ЦНИГРИ-Архангельская.

спектрометре ARL-9900-XP. Определение концентраций 32 элементов-примесей выполнено на ИСП масс-спектрометре высокого разрешения ELEMENT фирмы "FinniganMat" (Германия) с ультразвуковым распылителем U-5000AT по методике [10].

Определение изотопного состава и концентраций Rb, Sr, Sm и Nd в породах выполнено в лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург). К навеске образца (100 мг) добавлялся смешанный изотопный трассер ^{84}Sr – ^{85}Rb и ^{149}Sm + ^{150}Nd , затем осуществлялось разложение и гомогенизация образца. Химическое разделение Rb и Sr проводилось в катионо-обменных колонках (Bio-Rad AG 50×8, 200–400 меш).

Выделение суммы PЗЭ и Sm и Nd из фракции PЗЭ производилось с помощью катионо-обменной и экстракционной хроматографии по методике [11].

Измерение изотопного состава Rb, Sr, Sm и Nd выполнено с помощью девятиколлекторного масс-спектрометра TRITON Plus (Thermo) в статическом режиме. Величина холостого опыта на период проведения работ составляла: Rb – 0.02 нг, Sr – 0.2 нг, Nd – 0.1 нг, по Sm – 0.08 нг, что не вносило существенных изменений в изотопный состав исследованных образцов. Значение изотопного стандарта Sr NIST 987 на время проведения исследований составило $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710253 \pm 0.000011$.

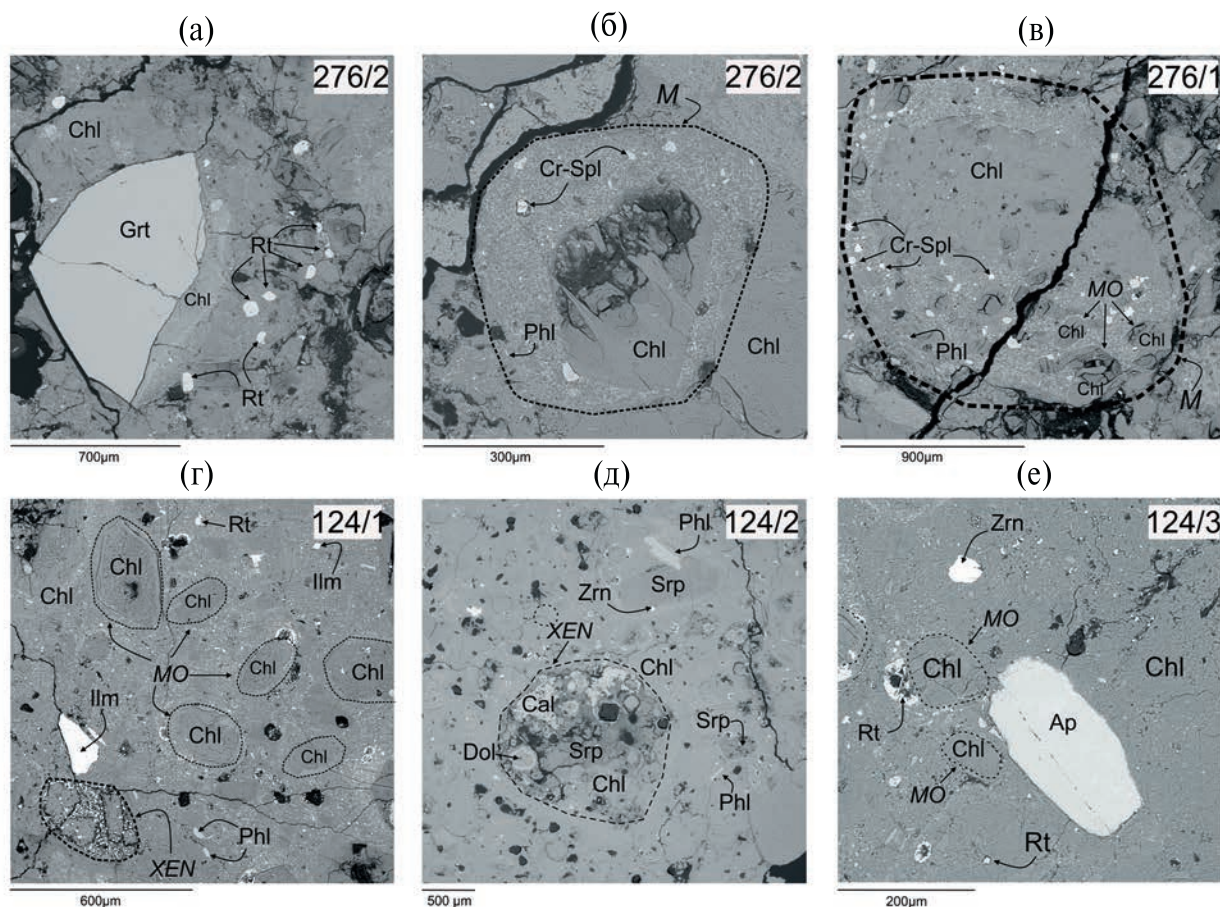


Рис. 3. BSE-изображение пластинок кимберлитов из трубки ЦНИГРИ-Архангельская. Grt – гранат, Rt – рутил, Cr-Spl – хромсодержащая шпинель, Phl – флогопит, Ilm – ильменит, Zrn – циркон, Ap – апатит, Srp – серпентин, Chl – хлорит, Cal – кальцит, Dol – доломит, М – магмакласт, MO – микрокристы изменённого оливина, XEN – изменённый ксенолит.

(2s, $n = 9$). Коррекция на изотопное масс-фракционирование при измерении изотопного состава Nd проводилась нормированием по $^{148}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.24157$ по экспоненциальному закону. Правильность и воспроизводимость измерений изотопного состава Nd контролировалась повторными измерениями стандарта Nd-ИГЕМ: $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512402 \pm 9$ (2σ , $n = 9$), что соответствует $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.511851$ в международном стандарте LaJolla.

Вычисление начального отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ и параметра ϵNd осуществлялось с использованием следующих значений констант: $\lambda^{87}\text{Rb} = 1.42 \cdot 10^{-11} \text{ год}^{-1}$, $\lambda^{147}\text{Sm} = 6.54 \cdot 10^{-12} \text{ год}^{-1}$, $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{PM}} = 0.085$, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{PM}} = 0.7045$, $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{PM}} = 0.512638$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{PM}} = 0.1967$ [12, 13].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изученные образцы представлены породами от светло-зелёного до насыщенного коричневого цвета, в одном образце (124/2) на фоне основной коричневой массы наблюдаются светло-зелёные прожилки (рис. 2). Породы состоят из макро- ($> 1\text{ мм}$; 3–8 об. %) и микрокристов ($< 1\text{ мм}$; от 5 до 40 об. %) замещённого (серпентин, хлорит) оливина, погруженные в хлорит-серпентиновый матрикс (рис. 3). Все изученные образцы обеднены магмакластами (до 2 об. %), размер которых не превышает 2 мм, которые являются ядерными (замещённые зерна оливина, ксенокристы мантийных минералов) и имеют близкую к сферической форму (рис. 3 а, б). Магмакласты представлены преобладающими микрокристами ($< 200\text{ мкм}$) замещённого оливина, в меньшем количестве – Cr-шпинели и

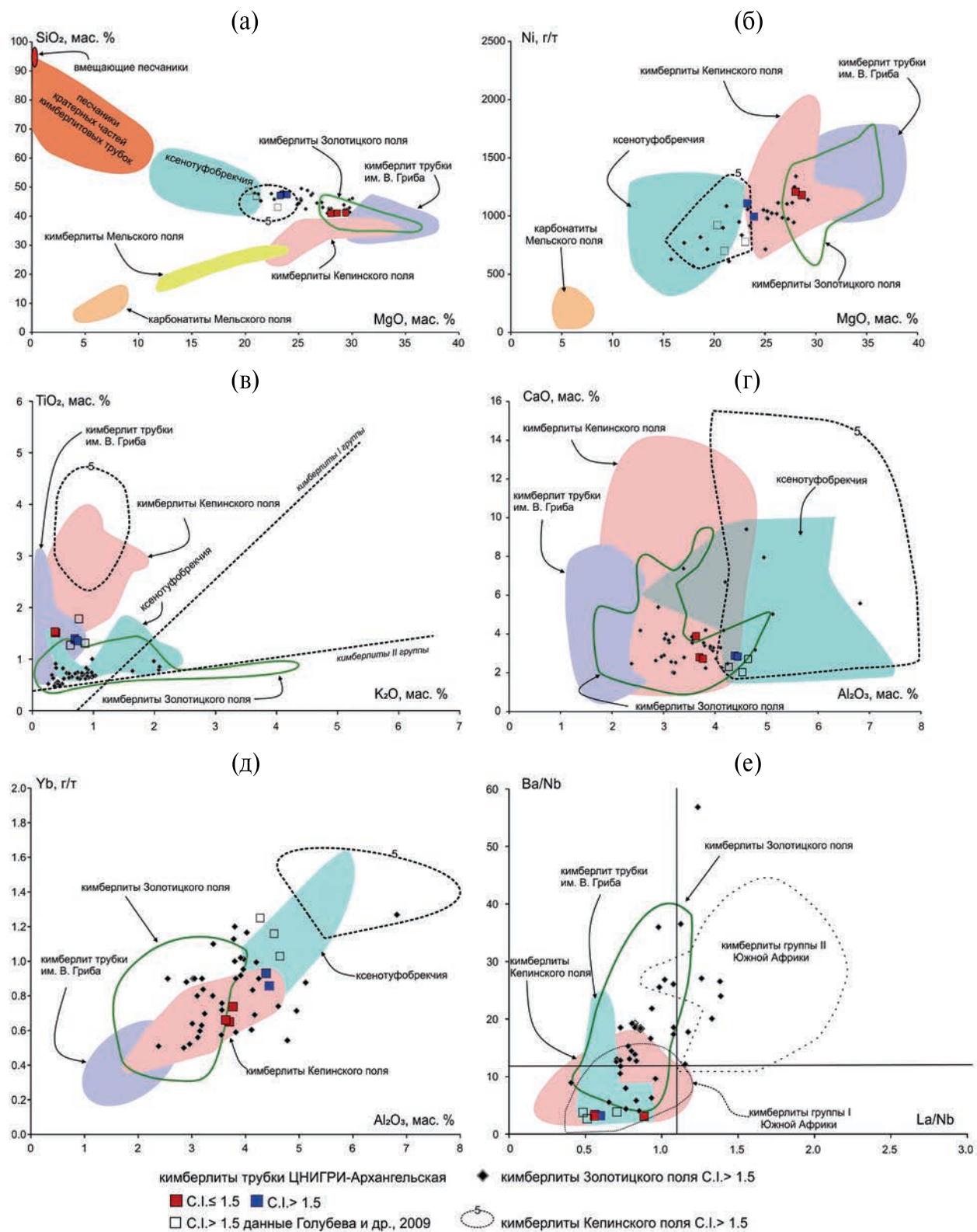


Рис. 4. Особенности валового состава кимберлитов трубки ЦНИГРИ-Архангельская в распределении SiO_2/MgO (а), Ni/MgO (б), $\text{TiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ (в), $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (г), $\text{Yb}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (д), Ba/Nb - La/Yb (е). Поля составов кимберлитов трубок им. В. Гриба, Золотицкого и Кепинского полей включают только составы образцов, для которых рассчитанный индекс контаминации (C.I. [14]) < 1.5. Составы пород [1-4, 16]. Поля составов кимберлитов I- и II-групп [5].

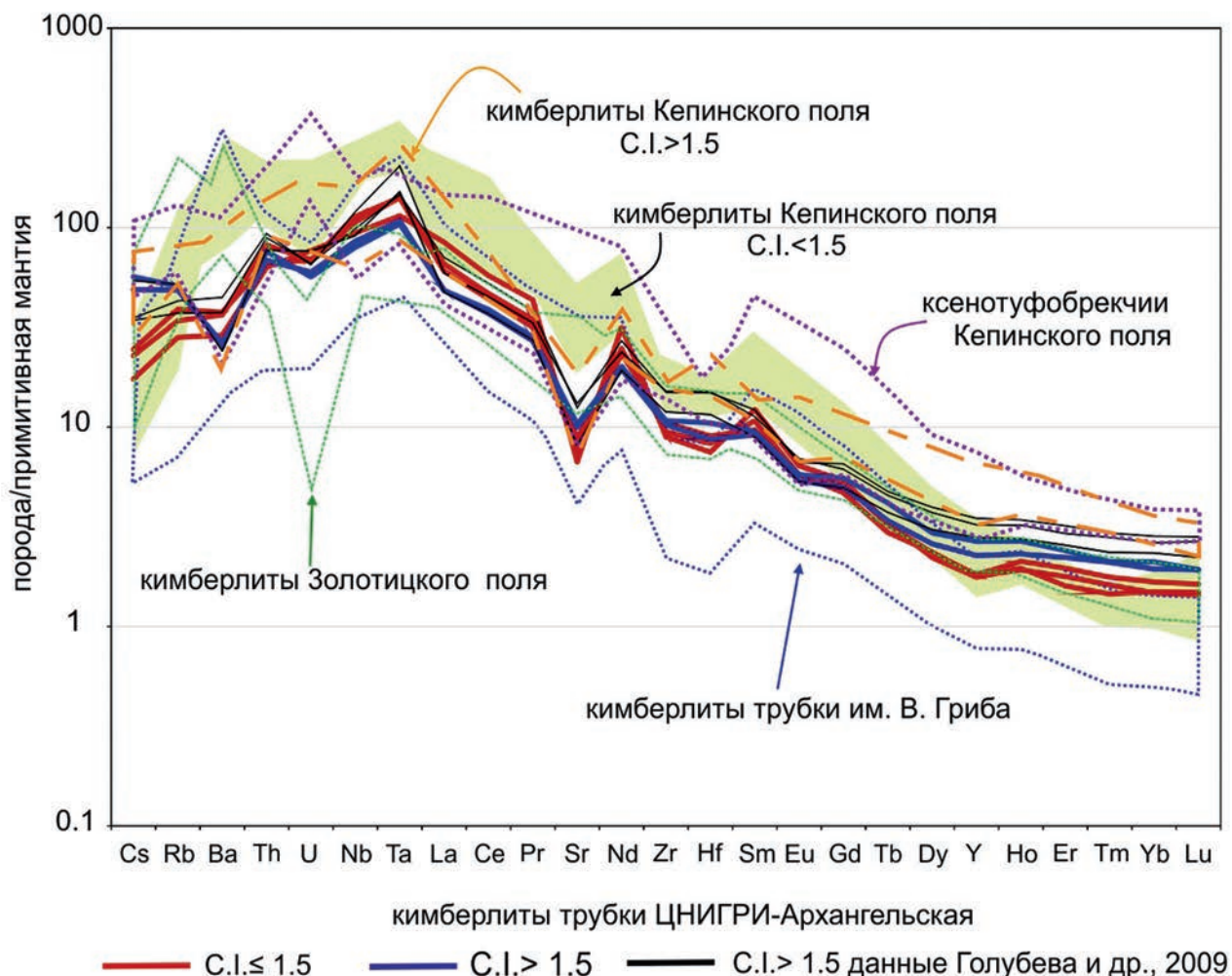


Рис. 5. Нормированные на примитивную мантию [15] концентрации редких элементов в кимберлитах трубки ЦНИГРИ-Архангельская. Составы кимберлитов для Золотицкого поля и трубки им. В. Гриба показаны только для образцов с $C.I. \leq 1.5$. Данные по составам пород Золотицкого и Кепинского полей и трубки им. В. Гриба [1–4, 16].

флогопита, погруженными в хлоритовый матрикс. В качестве ксенокристов во всех образцах обнаружены Mg-ильменит, хромсодержащий пироп, Сг-шпинель, флогопит, рутил, циркон, апатит, редко магнетит и единично Mn-ильменит (рис. 3 а, г, е). Ксенолиты осадочных и интенсивно замещённых карбонатами (кальцит, доломит) пород идентифицированы во всех образцах в варьирующем количестве от 5 до 20 об. % (рис. 3 г, д). Согласно [9], образцы представлены массивными обеднёнными макрокристаллами замещённого оливина и магмакластами микрокристаллическими пирокластическими кимберлитами.

По составу (таблица S1) изученные кимберлиты представлены двумя разновидностями (рис. 4). Кимберлиты I-разновидности (124/1,

124/2, 124/3) содержат более низкие концентрации SiO_2 (~41 мас. %), Al_2O_3 (3.6–3.8 мас. %) и K_2O (~0.4 мас. %) и более высокие концентрации MgO (28.0–29.4 мас. %) и Ni (1065–1200 г/т) по сравнению с кимберлитами II-разновидности (276/1, 276/2), которые обогащены SiO_2 (47.1–47.4 мас. %), Al_2O_3 (~4.4 мас. %), K_2O (~0.47 мас. %) и имеют более низкие содержания MgO (23.3–23.9 мас. %) и Ni (994–1110 г/т; рис. 4 а–д). Все образцы характеризуются умеренными концентрациями TiO_2 (1.4–1.5 мас. %), что сопоставимо с таковыми для кимберлитов трубки им. В. Гриба и ниже, чем определённые ранее для кимберлитов Кепинского поля (TiO_2 ~2–4 мас. %; рис. 4 в). Индекс контаминации ($C.I.$; [14]) составляет ≤ 1.5 для образцов I-разновидности и ~2.1 для образцов II-разновидности. В распределениях SiO_2/MgO , $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Yb}/$

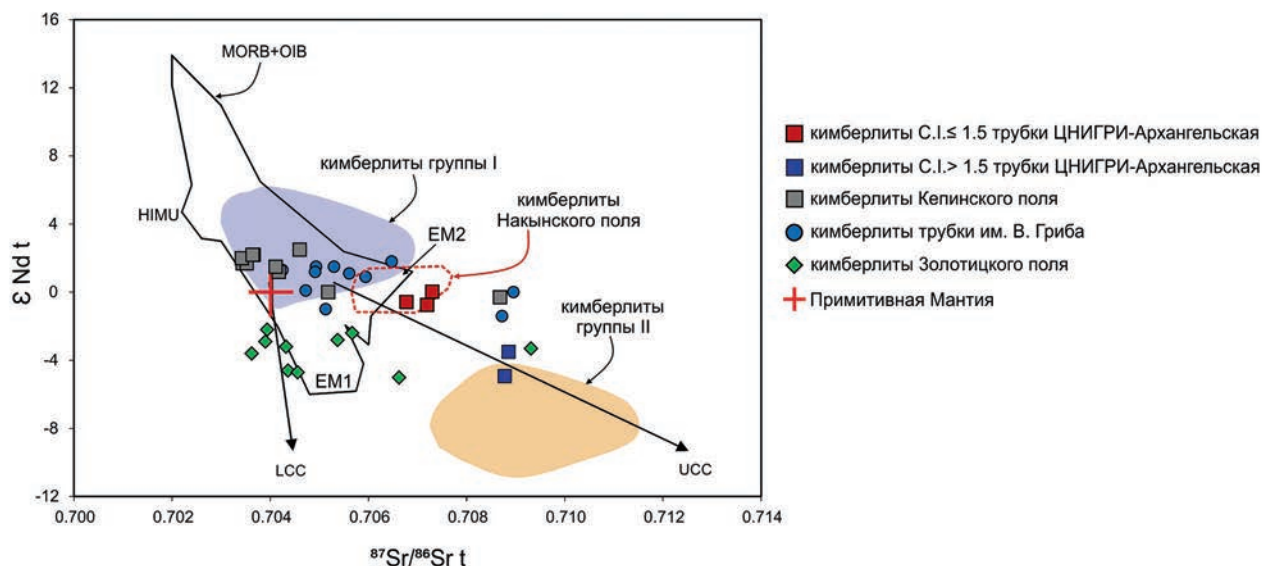


Рис. 6. Изотопный состав Sr и Nd кимберлитов трубки ЦНИГРИ-Архангельская. Данные по кимберлитам Золотицкого и Кепинского полей и трубки им. В. Гриба [1–4]. Поля кимберлитов I- и II-групп [5]; примитивная мантия [12]; MORB, OIB, EM1, EM2 [17]; кимберлиты Накынского поля [18].

Al_2O_3 составы образцов I-разновидности соответствуют кимберлитам Золотицкого и Кепинского полей с $C.I. \leq 1.5$, а образцы II-разновидности – таковым с $C.I. > 1.5$ (рис. 4 а, г, д).

Нормализованные на состав примитивной мантии (ПМ) [15] содержания РЭ и РЗЭ показывают обогащение кимберлитов трубки ЦНИГРИ-Архангельская несовместимыми элементами (рис. 5). Во всех образцах наблюдается выраженное обогащение Th, U, Nb, Ta до 60–140 раз относительно ПМ и относительное обеднение по Sr и Zr-Hf (до 6–10 раз относительно ПМ) и тяжёлыми (Т) РЗЭ (рис. 5). Кимберлиты I-разновидности несколько менее обогащены Cs, Rb и ТРЗЭ и более обогащены ЛРЗЭ (La_n/Yb_n 40–56) по сравнению с кимберлитами II-разновидности (La_n/Yb_n 23–25). В распределении Ba/Nb к La/Yb (рис. 4 е) кимберлиты трубки ЦНИГРИ-Архангельская соответствуют кимберлитам группы I Южной Африки [5]. По сравнению с кимберлитами Кепинского поля (рис. 5) кимберлиты трубки ЦНИГРИ-Архангельская обеднены всеми РЭ за исключением ТРЗЭ, концентрации которых сопоставимы (рис. 5). Кимберлиты II-разновидности характеризуются одновременными увеличениями концентраций Al_2O_3 и Yb при уменьшении значений Nb/Zr (0.4–0.5).

Результаты изотопных анализов (таблица S1) показали, что по изотопному составу Sr и Nd две разновидности кимберлитов трубки ЦНИГРИ-Архангельская существенно различаются

(рис. 6). Изотопное отношение $^{143}Nd/^{144}Nd$ в кимберлитах I-разновидности ($C.I. \leq 1.5$) варьирует в диапазоне 0.512322–0.512348, а во второй ($C.I. > 1.5$) – существенно ниже (0.512198–0.512199). Изотопное отношение $^{147}Sm/^{144}Nd$ для кимберлитов I-разновидности составляет 0.0795–0.0851, для второй 0.0927–0.1213. Начальные изотопные отношения $^{143}Nd/^{144}Nd$, рассчитанные на время внедрения кимберлитов (380 млн л. [4]) и представленные в виде $\epsilon Nd t$, составляют величины, от близких к составу ПМ значений от 0 до –0.6 (I-разновидность) и в диапазоне от –3.5 до –4.9 (II-разновидность). Эти значения указывают на обогащённый относительно модели ПМ состав источника кимберлитов (рис. 6). Рассчитанные модельные возраста $T_{(Nd)}DM$, составляют 1.15–1.51 млрд лет для кимберлитов II-разновидности и 0.86–0.93 млрд лет для I-разновидности.

Измеренные изотопные отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в кимберлитах I-разновидности варьируют в диапазоне 0.709–0.7092, $^{87}Rb/^{86}Sr$ – от 0.358 до 0.390. Начальные изотопные отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ составляют от 0.7068 до 0.7073, а $\epsilon Sr t$ – от +39 до +46. Кимберлиты II-разновидности характеризуются идентичным изотопным составом Sr: измеренные изотопные отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ составляют 0.7111, $^{87}Rb/^{86}Sr$ – от 0.424 до 0.450; начальное изотопное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ – от 0.70877 до 0.70885, а $\epsilon Sr t$ – от +67 до +68. Таким образом, кимберлиты I-разновидности имеют изотопный состав промежуточный между

кимберлитами групп I и II и близкий к составам базальтов океанических островов с источником в обогащённой мантии второго типа (ЕМ2). Кимберлиты II-разновидности имеют более радиогенный изотопный состав Sr и менее радиогенный изотопный состав Nd, близкие к таковым значениям кимберлитов группы II.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Традиционно считается [1, 2], что кимберлиты Кепинского поля характеризуются единообразием валового и изотопного состава, однако, состав кимберлитов трубки ЦНИГРИ-Архангельская значительно отличается от изученных ранее кимберлитов Кепинского поля [1–4] более низкими концентрациями TiO_2 , Ba, ВЗРЭ и ЛРЗЭ. По концентрациям TiO_2 и характеру обогащения РЭ кимберлиты трубки ЦНИГРИ-Архангельская сопоставимы с кимберлитами трубки им. В. Гриба, отличаясь от них более низкими содержаниями MgO и более высокими концентрациями Al_2O_3 . По сравнению с кимберлитами Золотицкого поля кимберлиты трубки ЦНИГРИ-Архангельская содержат более высокие концентрации TiO_2 при более низких концентрациях K_2O и значениях Ba/Nb. Согласно классификации кимберлитов ААП [1, 2], кимберлиты трубки ЦНИГРИ-Архангельская могут быть отнесены к типу умереннотитанистых кимберлитов, который на данный момент для ААП представлен только кимберлитами трубки им. В. Гриба.

По изотопному составу Sr и Nd две разновидности кимберлитов трубки ЦНИГРИ-Архангельская существенно различаются. Кимберлиты II-разновидности характеризуются более радиогенным составом Sr. Такие же высокие значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ t были получены для автолитов из кимберлитов трубки № 688 Кепинского поля [3] и Ломоносовская Золотицкого поля [1], и двух образцов кимберлита трубки им. В. Гриба [2] и интерпретированы как результат коровой контаминации и гидротермальных вторичных изменений [1, 3]. Тем не менее, ассимиляция обогащённого материала внутри литосферной мантии также допускается [19]. Кимберлиты II-разновидности характеризуются более высокими концентрациями SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , ТРЗЭ и более низкими содержаниями MgO и Ni и значениями Nb/Zr по сравнению с кимберлитами I-разновидности (рис. 5). Учитывая эти особенности кимберлитов, а также $\text{C.I.} > 1.5$, нельзя исключать, что высокие значения отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ t могут быть вызваны коровой контаминацией и/или постмагматической циркуляцией

подземных вод [3, 20]; механическая контаминация исключена [18]. Согласно [3], в кимберлитах Золотицкого поля и автолите из кимберлита трубки № 688 Кепинского поля повышение значений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ t сопровождается уменьшением концентраций Sr и повышением содержаний SiO_2 и значений C.I. , а значения ϵNd t при этом либо находятся в пределах значений кимберлитов с $\text{C.I.} \leq 1.5$, имеющим наименьшие значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ t, либо уменьшаются (рис. 6). Такая же закономерность наблюдается для кимберлитов Мирнинского поля Сибирского кратона [20]. Повышение значений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ t в кимберлитах II-разновидности трубки ЦНИГРИ-Архангельская сопровождается значительным понижением значений ϵNd t (рис. 6, табл. 1) и не может быть интерпретировано однозначно. Такое различие изотопного состава не может быть следствием постмагматических гидротермальных изменений, характерных для других кимберлитов, так как в этом случае требуется взаимодействие с гидротермальным агентом другого состава. Исходя из различий химического состава кимберлитов, агент должен быть существенно обогащён Si и Al, а исходя из различий изотопного состава, должен иметь высокие содержания Nd и высокие значения отношения Nd/Sr. Ассимиляция кимберлитом материала континентальной коры маловероятна, так как кимберлиты II-разновидности имеют высокие содержания Ni (990–1100 г/т), что однозначно указывает на их мантийное происхождение. Более вероятной причиной различий изотопного состава пород трубки может быть выплавление кимберлитов II-разновидности из ещё более древнего, изолированного от конвекции обогащённого источника внутри литосферной мантии. В таком случае, это может быть другая порция расплава или фаза внедрения.

По изотопному составу Nd кимберлиты I-разновидности ($\text{C.I.} \leq 1.5$) трубки ЦНИГРИ-Архангельская занимают промежуточное положение между кимберлитами Золотицкого поля и трубкой им. В. Гриба и имеют явные отличия от кимберлитов Кепинского поля [1–4]. Значения ϵNd t варьируют от 0 до –0.6 для кимберлитов I-разновидности, что свидетельствует об их обогащённом источнике, в то время как для кимберлитов Кепинского поля значения ϵNd t определены всегда как положительные от +2.8 до +1.2 и указывают на деплетированный состав их источника, который испытал обогащение в результате воздействия флюидов/расплавов незадолго до плавления [3]. По сравнению с другими кимберлитами ААП (с $\text{C.I.} \leq 1.5$) кимберлиты

I-разновидности трубки ЦНИГРИ-Архангельская имеют наиболее радиогенный состав Sr (рис. 6), интерпретация которого также, как и для II-разновидности может быть неоднозначна. Однако, по изотопному составу Nd и Sr кимберлиты I-разновидности трубки ЦНИГРИ-Архангельская близки к кимберлитам Накынского поля Сибирского кратона (рис. 6, [18]).

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда грант № 20-77-10018. Отбор образцов кимберлитов был выполнен в рамках государственного задания ИГМ СО РАН (№ 122041400157-9).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы утверждают об отсутствии у них конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богатилов О. А., Гаранин В. К., Кононова В. А. и др. Архангельская алмазоносная провинция. М.: Изд-во Московского Университета, 1999. 524 с.
2. Кононова В. А., Голубева Ю. Ю., Богатилов О. А., Каргин А. В. Алмазоносность кимберлитов Зимнебережного поля (Архангельская область) // Геология рудных месторождений. 2007. Т. 49. № 6. С. 483–505.
3. Beard A. D., Downes H., Hegner E., Sablukov S. M. Geochemistry and mineralogy of kimberlites from the Arkhangelsk Region, NW Russia: Evidence for transitional kimberlite magma types // Lithos. 2000. V. 51. P. 47–73. doi: 10.1016/S0024-4937(99)00074-2.
4. Mahotkin I. L., Gibson S. A., Thompson R. N. et al. Late Devonian diamondiferous kimberlite and alkaline picrite (proto-kimberlite?) magmatism in the Arkhangelsk region, Russia // Journal of Petrology. 2000. V. 41. P. 201–227. doi: 10.1093/petrology/41.2.201.
5. Smith C. B., Gurney J. J., Skinner E. M. W. et al. Geochemical character of southern African kimberlites: A new approach based on isotopic constraints // Geological Society of South Africa Transactions. 1985. V. 88. P. 267–280.
6. Голубев Ю. К., Прусакова Н. А., Голубева Ю. Ю. Кепинские кимберлиты, Архангельская область // Руды и металлы. 2010. № 1. С. 38–45.
7. Голубева Ю. Ю., Щербакова Т. Е., Колесникова Т. И. Особенности вещественного состава кимберлитов трубки ЦНИГРИ-Архангельская, Зимнебережное поле // Руды и Металлы. 2009. № 4. С. 66–73.
8. Агашева Е. В., Гудимова А. И., Червяковский В. С., Агашев А. М. Контрастная алмазоносность кимберлитов трубок им. В. Гриба и ЦНИГРИ-Архангельская (Архангельская алмазоносная провинция) как следствие различий в составе и эволюции литосферной мантии: данные по концентрациям главных и редких элементов в ксенокристаллах граната // Геология и геофизика. 2023. № 12. С. 1751–1777. doi: 10.15372/GiG2023155
9. Scott Smith B. H., Nowicki T. E., Russell J. K. et al. A glossary of kimberlite and related terms. Scott-Smith Petrology Inc.: North Vancouver. 2018. Part 1 – 144 pp, Part 2 – 59 pp, Part 3 – 56 pp.
10. Николаева И. В., Палесский С. В., Козьменко О. А., Аношин Г. Н. Определение редкоземельных и высокозарядных элементов в стандартных геологических образцах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) // Геохимия. 2008. № 7. С. 1–6.
11. Pin C., Joannon S., Bosq Ch., Le Fèvre B., Gauthier P.J. Precise determination of Rb, Sr, Ba, and Pb in geological materials by isotope dilution and ICP-quadrupole mass spectrometry following separation of the analytes // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 2003. V. 18. P. 135–141. doi: 10.1039/b211832g.
12. Faure G. Principles of isotope geology. New York: Wiley, 1986. 608 p.
13. White W. M. Geochemistry. New Jersey: John Wiley & Sons, 2020. 960 p.
14. Taylor W. R., Tompkins L. A., Haggerty S. E. Comparative geochemistry of West African kimberlites: Evidence for a micaceous kimberlite endmember of sublithospheric origin // Geochimica and Cosmochimica Acta. 1994. V. 58. № 19. P. 4017–4037. doi: 10.1016/0016-7037(94)90264-X.
15. McDonough W. F., Sun S. S. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. V. 120. P. 223–253. doi: 10.1016/0009-2541(94)00140-4.
16. Agasheva E. V. Magmatic material in sandstone shows prospects for new diamond deposits within the Northern East European platform // Minerals. 2021. № 11 (4), Art. 339. doi:10.3390/min11040339
17. Hofmann A. W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism // Nature. 1997. V. 385. P. 219–229. doi:10.1038/385219a0.
18. Agashev A. M., Watanabe T., Bydaev D. A. et al. Geochemistry of kimberlites from the Nakyn field, Siberia: evidence for unique source composition // Geology. 2001. V. 29. № 3. P. 267–270. doi: 10.1130/0091-7613(2001)029<0267:GOKFTN>2.0.CO;2.

19. *Rosenthal A., Foley S. F., Pearson D. G. et al.* Petrogenesis of strongly alkaline primitive volcanic rocks at the propagating tip of the western branch of the East African Rift // *Earth and Planetary Science Letters*. 2009. V. 284. № 1–2. P. 236–248. doi: 10.1016/j.epsl.2009.04.036.
20. *Agashev A. M., Nakai S., Serov I. V. et al.* Geochemistry and origin of the Mirny field kimberlites, Siberia // *Mineralogy and Petrology*. 2018. V. 112 (Suppl 2). P. 597–608. doi: 10.1007/s00710-018-0617-4.

RECENT DATA ON THE ISOTOPES AND GEOCHEMISTRY OF KIMBERLITES OF THE TSNIGRI-ARKHANGELSKAYA PIPE, ARKHANGELSK DIAMONDIFEROUS PROVINCE (NORTHERN EAST-EUROPEAN PLATFORM)

**E. V. Agasheva^{a, #}, L. V. Zyryanova^a, A. M. Agashev^a, N. G. Soloshenko^b,
Academician of the RAS N. P. Pokhilenko^a**

^a*V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation*

^b*Academician A. N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, Russian Federation*

[#]*E-mail: shchukinalena@igm.nsc.ru*

The first data on the bulk and isotopic (Sr, Nd) composition of kimberlites from the low-diamondiferous TSNIGRI-Arkhangelskaya pipe, located in the Kepino field of the Arkhangelsk diamondiferous province, are presented. It is shown that the kimberlites belong to the moderate titanium type of kimberlites of the province and differ significantly from the previously studied kimberlites of the Kepino field in lower concentrations of TiO₂, Ba, high field strength and light rare earth elements. Among all the kimberlites of the province, the kimberlites of the TSNIGRI-Arkhangelskaya pipe have the most radiogenic Sr composition (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr t from 0.7068 to 0.7089), which may be due to a combination of several factors. It has been established that the kimberlites of the pipe are represented by two varieties, which have differences both in the concentrations of major and trace elements, and in the compositions of Sr and Nd isotopes. The composition of Nd isotopes (ε_{Nd} from 0 to –0.6) for variety I kimberlites indicates their enriched source in the lithospheric mantle. Kimberlites of variety II have a less radiogenic Nd composition (ε_{Nd} from –3.5 to –4.9), the interpretation of which is ambiguous: their formation from an even more ancient enriched source inside the lithospheric mantle compared to variety I cannot be excluded.

Keywords: kimberlite, Arkhangelsk diamondiferous province, geochemistry, Sr and Nd isotopes, lithospheric mantle