

## **Supplementary 2, ESM\_2**

### **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

#### *Отбор и подготовка образцов*

Образцы для исследований отбирались как из жил графических лейкогранитов и кварцевых монцонитов, так и из вмещающих их пород. Образцы расположены на профиле, пересекающем Валаамский силл с СЗ на ЮВ вкрест простираения скрытой расслоенности силла (рис. 1в). Всего в данном исследовании использовано 27 образцов (Supplementary 1, ESM\_1), из которых были изготовлены шлифы на эпоксидной смоле, подготовлены пробы для химического и изотопного анализа. Для всех образцов выполнен комплекс оптических, микрозондовых и геохимических исследований, а для 10 образцов также анализ изотопного состава Sr и Nd.

#### *Сканирующая электронная микроскопия и ЭДС*

Текстурно-структурное изучение взаимоотношения минералов проводились на сканирующем электронном микроскопе Jeol JSM-6480LV Геологического факультета МГУ им. Ломоносова и Jeol JSM-5610LV в Институте геологии рудных месторождений (ИГЕМ РАН, г. Москва). Электронно-зондовые исследования проводились в плоскополированных шлифах, предварительно покрытых углеродной пленкой толщиной 25 нм. Для аналитических измерений применялся энергодисперсионный спектрометр X-MaxN (“Oxford Instruments”, GB) со сверхтонким окном и площадью активной зоны кристалла 50 мм<sup>2</sup>, установленный на базе сканирующего электронного микроскопа JSM-6480LV («Jeol», Japan).

#### *Катодолюминесценция*

Изучение цветной катодолюминесценции (CL) проводилось в ИГЕМ РАН на базе электронно-зондового микроанализатора фирмы Camesa «MS-46» с использованием цифровой камеры высокого разрешения Videoscan 285. Основные параметры ввода изображения устанавливались в диапазонах: усиление сигнала перед оцифровкой (0–100), экспозиция 180 с, и контролировались с помощью выбора режима синхронизации и выбора режима работы цветных камер. CL-изображения кварца получены при токе зонда 20 нА, ускоряющем напряжении 20 кВ, размер раstra 300×300 мкм.

#### *Электронно-зондовый микроанализ (EPMA)*

Составы минералов определяли на волновом спектрометре JEOL JXA-8200 в ИГЕМ РАН. Анализ проводили при ускоряющем напряжении 20 кВ, силе тока 20 нА и диаметре

зонда 3 мкм. Все элементы измеряли по  $K\alpha_1$  линии. Расчет поправок осуществлялся по методу ZAF с использованием программы фирмы JEOL.

Содержание Ti в кварце измерялась на том же приборе в ИГЕМ РАН. Ускоряющее напряжение 20 кВ, ток 300 нА. Время измерения Ti (Ка, PETH) составляло 200 с на пике и по 100 с на фоне. Предел обнаружения ( $3\sigma$ ) 15 ppm. Через каждые 10 точек определялся состав в реперной точке для контроля дрейфа прибора, выбранной в однородном зерне кварца по данным катодоллюминесценции.

#### *LA-ICP-MS*

Содержание Ti в кварце также определялось с помощью метода LA-ICP-MS на масс-спектрометре высокого разрешения «Element-XR» с ионизацией в индуктивно-связанной плазме с лазерной приставкой OP-213 в Институте геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского (ГЕОХИ РАН, г. Москва). Условия съемки Ti в кварце: диаметр кратера — 30 мкм, частота импульсов лазерного излучения — 10 Гц, величина газовых потоков: гелий — 0.58 л/мин; аргон: рабочий газ — 0.905 л/мин, вспомогательный газ — 1.95 л/мин, охлаждающий газ — 16 л/мин. Измерения проведены при низком разрешении ( $R = 300$ ). Для измерения содержания элементов использован калибровочный стандарт синтетического стекла NIST610 с содержанием элементов на уровне 400 г/т. В качестве внутреннего стандарта для расчетов выбран кремний — элемент с достаточно высокой концентрацией относительно фоновых значений и наиболее гомогенно распределенный в кварце. Полученные данные обрабатывали в программе Glitter (Van Achterbergh et al., 2001).

#### *РФА*

Содержания главных компонентов пород определялись методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в ИГЕМ РАН на спектрометре PW-2400 производства компании Philips Analytical B.V. Подготовка препаратов для определения пороодообразующих элементов выполнена путем плавления 0.3 г порошка с 3 г тетрабората лития в индукционной печи. Точность анализа составляла 1–5 отн. % для элементов с концентрациями выше 0.5 мас. % и до 12 отн. % ниже 0.5 мас. %.

#### *ICP-MS*

Концентрации микроэлементов в 22 образцах были определены методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) в Институте технологии микроэлектроники и особо чистых материалов (Черноголовка) с использованием аналитических протоколов (Karandashev et al., 2017). Порошки породы обрабатывались неорганическими кислотами в герметичном автоклаве, при этом разложение образца

контролировалось добавлением  $^{161}\text{Dy}$ . Пределы обнаружения составляли 0.02–0.03 мкг/г для REE, Hf, Ta, Th и U; 0.03–0.05 мкг/г для Nb, Be и Co; 0.1 мкг/г для Li, Ni, Ga и Y; 0.2 мкг/г для Zr; 0.3 мкг/г для Rb, Sr и Ba; 1–2 мкг/г для Cu, Zn, V и Cr. Спектрометр был откалиброван по стандартам GSP-2, BM, SGD-1A и ST-1. Аналитическая точность  $1\sigma$  была лучше 0.3 отн.% для элементов с концентрацией до пяти пределов обнаружения и 0.15 отн.% для остальных элементов.

#### *Изотопный анализ Sr и Nd*

Изотопный состав Sr и Nd в валовых пробах пород был определен в Лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН методом TIMS. Для Rb-Sr и Sm-Nd изотопных исследований использовали навески образца 0.85 г. Смешанный изотопный трассер ( $^{85}\text{Rb} + ^{84}\text{Sr}$ ) добавляли к пробам до процедуры разложения. Разложение образцов осуществляли в фторопластовых бюксах в смеси концентрированных азотной и фтористоводородной кислот ( $\text{HNO}_3 : \text{HF} = 1: 5$ ) при температуре около  $200^\circ\text{C}$  в течение 3 суток. Далее смесь трехкратно выпаривалась, каждый раз добавлялось по 1 мл концентрированной соляной кислоты для разложения фторидов, удаления следов фторид-ионов и перевода остатка в хлоридную форму. При хроматографическом выделении элементов последовательно использовали два вида колонок: на первой стадии производили выделение Rb, Sr и суммы редкоземельных элементов (используемая смола DOWEX 50X8 200-400 меш), на второй – выделение Sm и Nd (смола HDEHP). Изотопный анализ был проведен на твердофазном масс-спектрометре Sector 54 (Micromass, Англия). Концентрации Nd и Sm пород брали из данных ICP и из них было рассчитано  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  отношение.

Вместе с каждой серией измерений проводили измерение стандарта. Стандартный раствор Sr – SRM-987 при измерении для Sr, а для Nd – Nd-IGEM, внутренний стандарт Nd с  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512407$  откалиброванный относительно стандарта LaJolla Nd = 0.511857. Стандарты наносятся на такие же ленты, как и прочие образцы Sr и Nd в следующем количестве: Sr – 100–200 нг (1–2 мкл раствора), Nd – 30–100 нг (1–2 мкл раствора). Результаты измерения стандартов позволяют судить о систематической погрешности измерений:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma = 0.710240 \pm 25$  (0.0029%),  $n=13$ ;  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\sigma = 0.512390 \pm 16$  (0.003%),  $n=14$  для определения изотопного состава Sr и Nd соответственно.