

М. А. ПРОСКУРНИНА, В. Ф. ПРОСКУРНИН, Д. Н. РЕМИЗОВ,
А. Н. ЛАРИОНОВ (ВСЕГЕИ)

Кольцевые интрузивы Беспамятнинского ареала: проявления шошонит-латитового магматизма на Северном Таймыре

Проведены петрографо-минералогические, петрогеохимические, изотопно-геохронологические исследования типовых интрузивов в устье р. Беспамятная одноименного ареала. Установлено их образование ассоциацией пород от монцогаббро, монцодиоритов, монзонитов до сиенитов и кварцевых сиенитов. Породы обогащены LILE (Ba, Sr, Rb, K, Cs), LREE и такими летучими компонентами, как F, P₂O₅. Характеризуются отрицательными геохимическими Ti и Ta-Nb аномалиями надсубдукционного генезиса, отличаются от классических типов гранитов и отвечают интрузивным аналогам шошонит-латитовой серии или шошонитовым гранитоидам. Результаты U-Pb датирования цирконов из разных фаз интрузивных пород свидетельствуют об их образовании в посттрапповое время – 241–233 млн лет назад (T₂₋₃) и близком возрасте проявления главной фазы раннекиммерийской складчатости в горах Бырранга. Сделан вывод о необходимости детализации палеогеодинамических реконструкций контуров Пангеи (северо-сибирской части) и Палеопацифики на позднепермско-раннетриасовое время с трапповым (суперплюмовым) магматизмом и средне-позднетриасовое, сопровождающееся коллизионным орогенезом и становлением, в частности, интрузий шошонит-латитовой серии Беспамятнинского ареала.

Ключевые слова: кольцевые интрузивы, монцогаббро, монцодиориты, монзониты, сиениты, кварцевые сиениты, шошонитовые гранитоиды, Ta-Nb аномалия, U-Pb датирование цирконов, средне-позднетриасовый магматизм, раннекиммерийский орогенез, Беспамятнинский ареал.

M. A. PROSKURNINA, V. F. PROSKURNIN, D. N. REMIZOV,
A. N. LARIONOV (VSEGEI)

Ring intrusions of the Bepamyatnaya Areal: manifestations of shoshonite-latite magmatism in Northern Taimyr

Petrographic, mineralogical, petrochemical and isotope geochronological studies of typical intrusions in the Bepamyatnaya River mouth have been carried out. The results showed that the intrusions had been formed by association of rocks from monzogabbro, monzodiorite, monzonite to syenite and quartz syenite. Granitoids are enriched with LILE (Ba, Sr, Rb, K, Cs), LREE and volatile components, such as F, P₂O₅, have negative geochemical Ti and Ta-Nb anomalies of suprasubduction nature. They differ from classical types of granites and correspond to intrusive counterparts of the shoshonite-latite series or shoshonite granitoids. Results of the U-Pb zircons dating from different intrusive phases indicate that they postdate the Siberian trap basalts being emplaced at 241–233 Ma (T₂₋₃) and are close by their age to the main phase of the Early Cimmerian orogeny in the Byrranga Mountains. The obtained results prompt for revision of paleogeodynamic reconstructions of the Pangea (North Siberian parts) and Paleopacific in the Late Permian – Early Triassic time with the trap (superplume) magmatism and Middle-Late Triassic with orogeny and formation of postorogenic intrusions of the shoshonite-latite series of the Bepamyatnaya Areal.

Keywords: ring intrusions, monzogabbro, monzodiorite, monzonite, syenite, quartz-syenite, shoshonite granitoid, Ta-Nb anomaly, U-Pb dating, Middle-Late Triassic magmatism, Early Cimmerian orogeny, the Bepamyatnaya Areal.

Как цитировать эту статью: Проскурнина М. А. Кольцевые интрузивы Беспамятнинского ареала: проявления шошонит-латитового магматизма на Северном Таймыре / М. А. Проскурнина, В. Ф. Проскурнин, Д. Н. Ремизов, А. Н. Ларионов // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 79. – С. 5–22.

В пределах Таймыро-Североземельской складчатой области широким развитием пользуются раннемезозойские малые интрузивы пестрого состава: от шприсгеймитов, шонкинитов, монцогаббро до умереннощелочных и щелочных сиенитов, граносиенитов и гранит-порфиоров, от калиевых лампрофиоров, лампроитов до альнеитов и лампрофиоров камптонит-мончикитового ряда, коровых карбонатитов и глубинных

флюидо-эксплозивных брекчий [1, 2, 4–6, 13, 14, 17, 18].

Впервые рассматриваемые образования в качестве самостоятельной посторогенной формации малых интрузий раннего мезозоя выделены М. Г. Равичем и Л. А. Чайкой [17]. Было установлено их секущее положение по отношению к траппам поздней перми – раннего триаса и нахождение обломков бостонитов (район

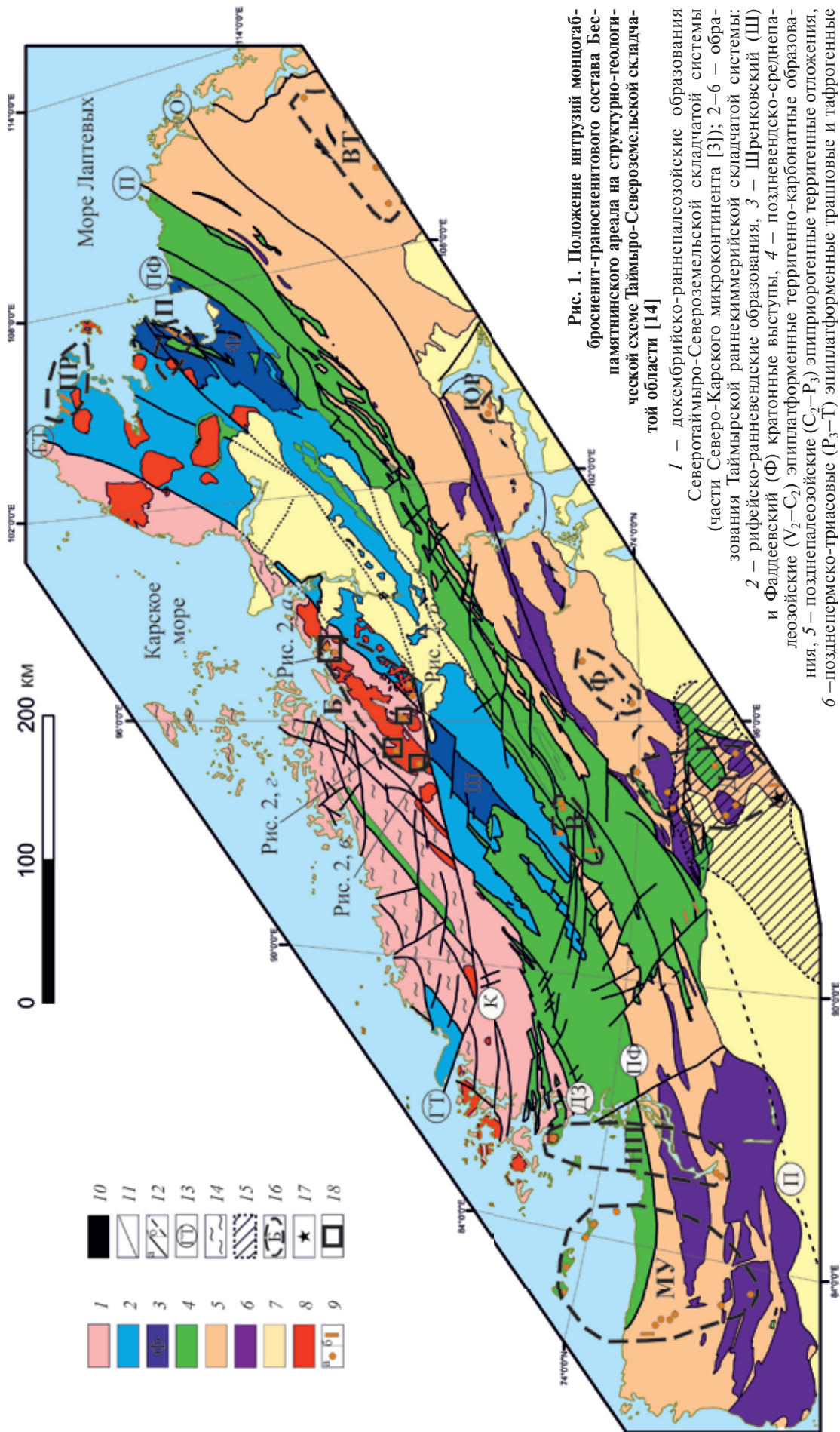


Рис. 1. Положение интрузий монгобросиенит-граносиенитового состава Беспамятинского арсала на структурно-геологической схеме Таймыро-Североземельской складчатой области [14]

1 – докембрийско-раннепалеозойские образования Северотаймыро-Североземельской складчатой системы (части Северо-Карского микроконтинента [3]); 2–6 – образования Таймырской раннекембрийской складчатой системы; 2 – рифейско-раннедевонские образования, 3 – Шренковский (Ш) и Фаддеевский (Ф) кратонные выступы, 4 – поздненевско-среднепалеозойские (V_2 – C_2) эпилатформенные терригенно-карбонатные образования, 5 – поздненепалеозойские (P_3 – T) эпилатформенные терригенные отложения, 6 – позднепермско-триасовые (P_3 – T) эпилатформенные трапповые и тафрогенные образования; 7 – породы юрско-кайнозойского чехла; 8 – позднепалеозойские гранодиорит-умереннощелочногранитовые интрузивы; 9 – раннемезозойские малые интрузивы (а – штоки, б – дайковые тела); 10 – раннемезозойские тела коровых карбонатитов; 11 – геологические границы; 12 – разломы достоверные (а) и предполагаемые (б); 13 – главные разломы: ГТ – Главный Таймырский, ДЗ – Дьябазовый, ПФ – Пясинско-Фаддеевский, П – Пограничный, К – Конечинский, О – Основной; 14 – зоны мигматизации; 15 – северная часть Фадьюкулинско-Котуйской гравимангнитной кольцевой структуры; 16 – ареалы развития средне-познетриасовых малых интрузивов: Моржовско-Убойнинский (МУ), Нижнепясинский (НП), Беспамятинский (Б), Верхнетарейский (В), Дикарабугайский (Д), Фадьюкулинский (Ф), Южнореченский (ЮР), Восточнотаймырский (ВТ), Песцовский (П), Прибрежнолаптевский (ПР); 17 – алмазные альянсы; 18 – контуры расположения участков рис. 2

р. Южная) в раннемеловых отложениях. В дальнейшем при геологической съемке все малые интрузивы гипабиссального облика датировались как средне-позднетриасовые [13], раннемезозойские [1, 18] или позднетриас-раннеюрские [14] и связывались с главной раннекиммерийской фазой орогенеза на Таймыре.

Первые U-Pb датировки цирконов (241–249 млн лет) и результаты изотопно-геохимических исследований [4], полученные для сиенитовых интрузивов Западного Таймыра, позволили отнести их к гранитоидам А-типа раннего триаса и связать с гибридным мантийно-коровым характером происхождения родоначальных магм в результате проявления Сибирского суперплюма [4, 7].

На Восточном Таймыре при изучении коровых карбонатитов в ассоциации с ними установлен ареал линейных соскладчатых и постскладчатых интрузивов монцоферрогаббродолерит-сиенит-граносиенитового состава [12, 15]. Локальный U-Pb (SIMS SHRIMP) анализ цирконов рассматриваемых пород позволил определить возраст их магматической кристаллизации как интервал 238–219 млн лет – граница среднего и позднего триаса. Основная роль в их формировании отводилась Фадьюкудинско-Котуйскому мантийному горячему пятну, связываемому с началом распада Пангеи [9, 14].

Особое значение придается интрузивам пестрого состава в связи с их рудогенерирующей ролью и ассоциацией с ними титаномагнетитового, вольфрам-молибденового, медно-молибден-порфирирового, флюорит-барит-редкоземельного, серебро-свинцово-цинкового и золото-сурьмяно-ртутно-мышьякового оруждений. Установление лампроитов, алмазосносных альнеитов, коровых карбонатитов и эндогенных флюидо-эксплозивных брекчий со спутниками алмазов открывают новые аспекты в их изучении.

При проведении мелкомасштабных геологосъемочных работ (2004–2017 гг.) и создании Госгеолкарт-1000 (третьего поколения) на п-ове Таймыр в постгерцинской (постуральской) истории геологического развития выделено три тектономагматических этапа: позднепермско-раннетриасовый доскладчатый (трапповый), средне-позднетриасовый соскладчатый и позднетриасовый постскладчатый. Интрузивы пестрого состава связаны с двумя последними этапами и образуют десять ареалов развития (рис. 1), не учитывающих единичные дайки лампрофиров, сиенит- и гранит-порфиров, выявленных по всему Таймыру и приуроченных в основном к зонам Главного Таймырского, Пясинско-Фаддеевского и Пограничного разломов.

Кольцевые интрузивы монцогаббро, монцодиоритов, монцонитов, сиенитов, граносиенитов и ассоциирующее с ними медно-молибден-порфирировое оруждение занимают особое место среди интрузивов пестрого состава. Дополнительные доказательства выделения интрузивных тел шашонит-латитового ряда, самостоятельности

проявления средне-позднетриасового магматизма принципиальны для разработки корректной геодинамической модели формирования ранних киммерид Таймыра. Рассматриваемый тип интрузивов установлен в шести ареалах: Моржовско-Убойнинском, Нижнепясинском, Верхнетарейском, Дикарабигайском, Южнореченском и Беспамятнинском.

Статья посвящена наименее изученным интрузивам Беспамятнинского ареала на Северном Таймыре и минералого-геохимическим, геохронологическим исследованиям одного из петротипических массивов в устье р. Беспамятная. Материалы получены при проведении специализированных работ в 2013 г. в процессе составления Госгеолкарты-1000/3 (лист S-47 – оз. Таймыр, западная часть) и частично заимствованы из фондовых источников. Для сопоставления с наиболее изученными интрузивами Западного Таймыра Моржовско-Убойнинского ареала использованы литературные данные [4].

Геологическое положение интрузивов Беспамятнинского ареала. Впервые для Северного Таймыра два сиенитовых интрузива описаны А. М. Даминовой на водоразделе рек Каменистая и Волчья и в верховьях р. Куропаточья в 1954 г. при средне-масштабной геологической съемке. Она рассматривала их в качестве поздней фазы Коломейцевского гранитоидного массива среднего палеозоя. При более поздних среднемасштабных и тематических работах интрузивы междуречья Мамонта и Коломейцева изучались Э. Н. Линдом (1978 и 1984 г.), В. В. Беззубцевым и др. (1979 и 1985 г.), В. Ф. Проскурниным, Ю. И. Захаровым (1982 г.). Вслед за М. Г. Равичем и Л. А. Чайкой они были отнесены к самостоятельному посттрапповому комплексу малых тел. В дальнейшем при групповой геологической съемке [14] на левобережье р. Нижняя Таймыра были закартированы еще четыре кольцевых многофазных интрузива сиенитов в устье р. Беспамятная, междуречье Подбазная и Мутный и ряд мелких тел в верховьях рек Зеленая и Чукча, которые совместно с установленными ранее двумя в междуречье Мамонта – Коломейцева объединены в Беспамятнинский раннемезозойский ареал, или беспамятнинский интрузивный комплекс.

В тектоническом отношении интрузивные тела Беспамятнинского ареала расположены в пределах Карского позднепалеозойско-раннемезозойского сводово-плутонического поднятия [13], или геоблока [16], на границе Северотаймыро-Североземельской складчатой системы и Центрально-Таймырской складчатой мегазоны [3] Таймырской складчатой системы (рис. 1). Карский геоблок сложен складчатыми образованиями докембрия и нижнего – среднего палеозоя, сформированными, соответственно, в пассивноокраинно-орогенных и внутриконтинентальных геодинамических обстановках. В позднем палеозое они прорваны коллизионными [3] или дейтерогенными [14, 16] позднепалеозойскими герцинскими

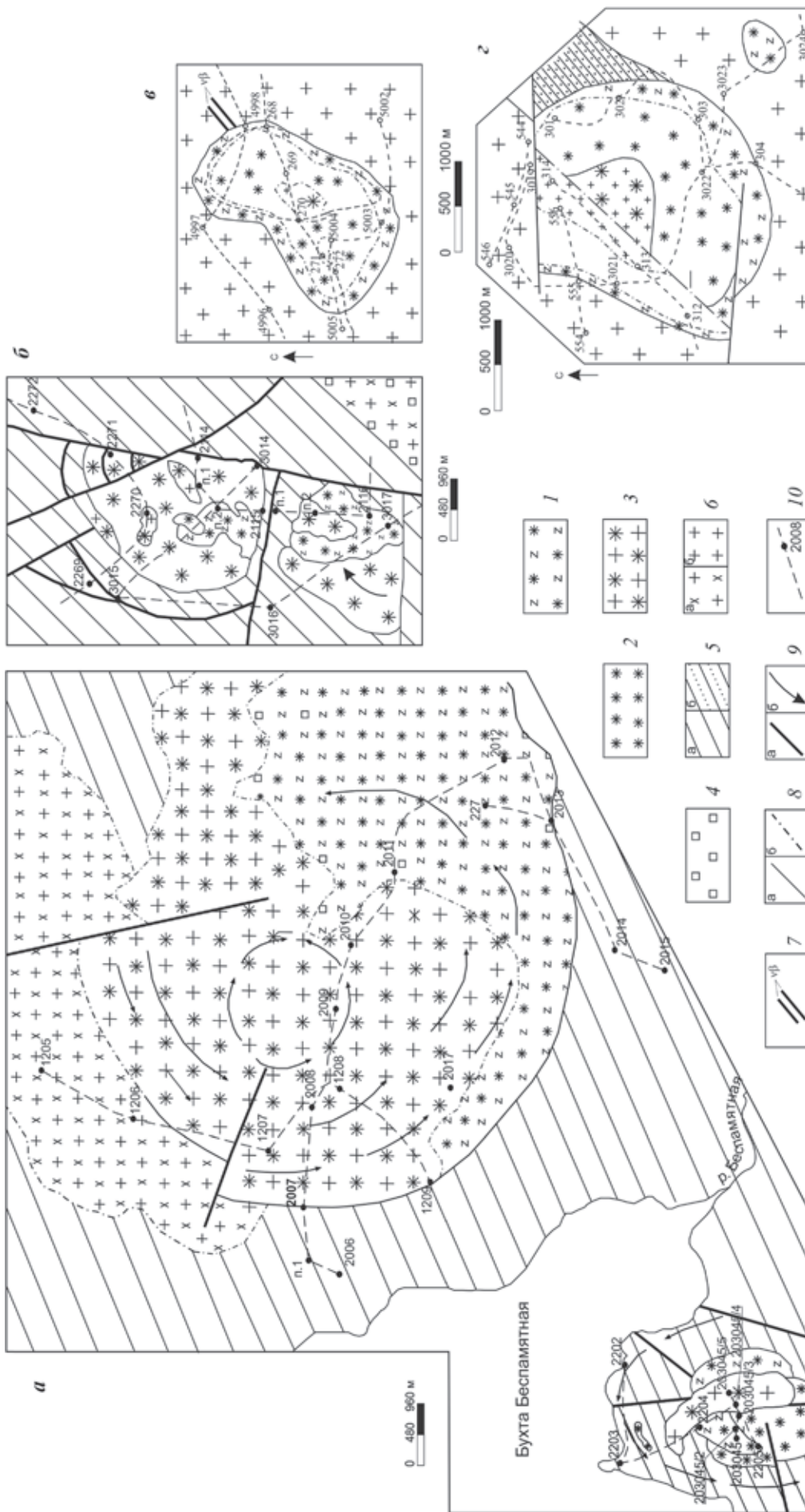


Рис. 2. Схемы геологического строения раннемезозойских кольцевых интрузивов Беспамятнинского ареала

а – приустьевые части р. Беспамятная; *б* – междуречья Подбазная и Мутный; *в* – водораздела рек Каменитая и Волчья; *г* – верховья р. Куропаточья. *а* и *б* – по В. Ф. Проскурнину (1984 г.); *в* и *г* – по В. В. Беззубцеву и др. (1985 г.) с дополнениями авторов.

1–3 – интрузивные образования штоков; 3 – кварцевые сиениты, граносиениты поздней фазы; 4 – калишпатизированные (порфиробластовые) и сиенитовые аплиты средней фазы; 5 – кварцевые сиениты, граносиениты поздней фазы; 6 – калишпатизированные (порфиробластовые) породы; 5–7 – вмещающие образования: 5 – флишоподобные терригенные олигомиктовые (а) и вулканогенные (б) отложения докембрия; 6 – позднепалеозойские гранодиориты (а) и граниты (б); 7 – раннетриасовые дайки габброидлеритов; 8 – геологические границы; 9 – разрывные нарушения, установленные (а) и дешифрируемые (б); 10 – линии маршрутов и точки наблюдений предшественников из отчета А. Ф. Хапилина и др. (1986 г.), В. В. Беззубцева и др. (1985 г.), т. н. 203045–203045/5 – М. А. Проскурниной (2013 г.)

гранитоидами — батолитами и штоками диорит-гранодиоритовой и умереннощелочногранитовой формаций. Для позднепермско-раннетриасовых габбродолеритовых дайковых поясов и средне-позднетриасовых кольцевых малых интрузивных тел геоблок представлял собой жесткую структуру.

Беспамятнинский ареал объединяет четыре группы штоков (площадью в среднем около 5 км²): в приустьевой части р. Беспамятная (рис. 2, а), междуречье Подбазная и Мутный (рис. 2, б), на водоразделе рек Каменистая и Волчья (рис. 2, в) и в верховьях р. Куропаточья (рис. 2, г), а также ряд мелких тел вдоль Чукчинского уступа. Каждая группа состоит, как правило, из двух массивов овальной формы, осложненных кольцевыми, полукольцевыми и радиальными разрывными нарушениями. Они приурочены к водораздельным пространствам, хорошо дешифрируются на аэро- и космоснимках и фиксируются разломами северо-западного простирания внутри чешуевидных крупных пластин, ограниченных главными северо-восточными зонами разломов. В геофизических полях массивы выражены положительными магнитными (до 8 мЭ) и радиоактивными (40–50 мкР/ч) аномалиями. Вмещающие породы — докембрийские флишоидные терригенные отложения, позднепалеозойские гранитоиды и дайки раннетриасовых габбродолеритов. По отношению к структурам вмещающих пород массивы резко дискордантны; экзоконтактные зоны подвержены механическому воздействию интрузирующей магмы, брекчированы и метаморфизованы в условиях амфибол-роговиковой фации.

Интрузивы, как правило, многофазные с отчетливо зональным строением каждой из фаз: сменной крупнозернистых разновидностей центральных частей тел афанитовыми мелкокристаллическими и порфиоровыми — в эндоконтакте. В целом породы ранней, средней и поздней фаз слагают краевую, среднюю и внутреннюю части массивов соответственно. По В. В. Беззубцеву и др. [1], в раннюю фазу массивов водораздела рек Каменистая и Волчья (рис. 2, в) и верховьев р. Куропаточья (рис. 2, г) сформированы щелочные габброиды (шонкиниты?); во вторую главную — сиениты, щелочные сиениты, нефелиновые (калиофилитовые?) сиениты, граносиениты; к поздней фазе отнесены маломощные дайки сиенит-порфиоров, гранит-порфиоров, кварцевых порфиоров и лампрофиоров гранитного ряда. Отнесение к третьей фазе двух различных типов пород объясняется различной интенсивностью процессов ассимиляции.

При последующих исследованиях рассматриваемых интрузивов В. Ф. Проскурниным и др. [14, 16] к Беспамятнинскому ареалу (интрузивному комплексу) отнесены только кольцевые многофазные тела, состав которых варьирует от монцогаббро до граносиенитов. Гранит-порфиры и риолит-порфиры (реки Спокойная, Коломейцева, Куропаточья), лампрофиры камптонит-мончикитового ряда (реки Оленья, Каменистая, руч. Основной, Быстрый) выделены

в самостоятельные подразделения ранне-среднепермского и позднепермского возрастов. В составе кольцевых интрузивов выделено три фазы.

Ранняя фаза представлена мелко- и среднезернистыми клинопироксен-биотитовыми, клинопироксеновыми, клинопироксен-роговообманковыми монцогаббро, монцогаббродиоритами, монцодиоритами, монцонитами, монцонит-порфирами, образующими, как правило, краевые части кольцевых массивов, широко развитых в виде ксенолитов различных размеров в породах более поздних фаз. Средняя фаза характеризуется крупно-, мелко- и неравномернозернистыми породами — роговообманковыми, роговообманково-биотитовыми сиенитами, монцонитами, сиенит-порфирами и сиенитовыми аплитами. Эти породы широко развиты во всех изученных массивах, в частности в штоке на левобережье Беспамятная. Крупно- и среднезернистые разновидности пород слагают центральные части штоков, сиенит-порфиры и сиенитовые аплиты — эндоконтактные, а также жильные и дайковые тела в породах ранней фазы. В позднюю фазу внедрения формировались крупно-, средне-, мелко- и неравномернозернистые роговообманковые, роговообманково-биотитовые, биотитовые кварцевые сиениты, граносиениты и граносиенит-порфиры. Они широко распространены в штоке правобережья р. Беспамятная, занимая до 80 % его площади. В остальных массивах граносиениты встречаются в виде даек и мелких тел, слагающих центральные части штоков.

Многочисленные фазовые взаимоотношения наблюдались в элювиальных развалах и редких коренных выходах. Обычно характерны ровные контакты между магматическими породами разного состава и ксенолиты одних, как правило, более основного состава в других. Например, на правом притоке р. Беспамятная в коренных выходах (т. н. 2011) установлено прорывание среднезернистых монцогаббродиоритов дайками меланократовых сиенит-порфиоров с мелкозернистой основной массой и вкрапленниками амфибола, биотита, а также граносиенит-порфиоров с фенокристаллами анортоклаза, кварца и биотита. В монцогаббродиоритах широко проявлены процессы порфиروبластеза — анортоклазитизации и биотитизации.

В экзоконтакте интрузивов установлены кордиерит-биотит-плагиоклаз-кварцевые роговики, образующие ареалы шириной первые десятки метров во вмещающих терригенных толщах. В массиве правобережья р. Беспамятная породы эндоконтактной зоны и вмещающие позднепалеозойские гранодиориты калишпатизированы с образованием крупных (5–8 см) пойкилопорфиробластов анортоклаза.

Петротипическими интрузивами считаются два кольцевых штока в приустьевой части р. Беспамятная (рис. 2, а) площадью на левобережье 2 км² и правобережье — до 15 км². Массивы хорошо дешифрируются и характеризуются зонально-кольцевым многофазным строением.

Для детального петрографо-минералогического, петро-геохимического и геохронологического изучения пород был опробован массив левобережья р. Беспаятная.

Аналитические методы. При петрографо-минералогических исследованиях применялись методы оптической микроскопии (микроскоп Полам Р-312 в комплекте с компьютеризованным комплексом Olympus BX51), микронзондовые исследования минералов (сканирующий электронный микроскоп CamScan MV 2300 с энергодисперсионным микроанализатором LINK Pentafet (Oxford Instr.), аналитик Е. Л. Грузова).

Определение содержаний породообразующих элементов выполнено рентгенофлуоресцентным методом на приборе ARL 9800, закисного железа – титриметрическим методом (аналитик Б. А. Цимошенко), микроэлементов – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Optima 4300 с поликислотным вскрытием проб (Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, V, Se, Sc, Li). Для редких, редкоземельных и труднолетучих (Be, Mo, Y, Cr, Ba, Ga, Rb, Sr, Zr, Nb, Cs, Hf, Ta, W, Th, U, все TR) элементов использована масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой на приборе Elan 6100 DRC при вскрытии проб сплавлением с флюсом (мета- и тетраборат лития) с последующим кислотным растворением сплава, As – масс-спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой при вскрытии проб царской водкой (аналитики В. А. Шишлов, В. Л. Кудряшов). Определение F проведено ионометрическим методом (методика НСАМ 193-Х), Au – атомно-абсорбционным методом со вскрытием навески пробой смесью кислот с доплавлением остатка с флюсом (аналитики М. Н. Сербина, Е. Н. Тимашева).

Для определения возраста пород Беспаятинского массива U-Pb изотопным локальным анализом из трех проб различных фаз отобрано вручную порядка 50 цирконов с минимумом включений и трещин. Анализы и обработка изотопных аналитических данных выполнены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ на SIMS SHRIMP по стандартной методике. Экспериментальные данные обрабатывались по программе ISOPLOT/EX.

Петрографо-минералогическая характеристика пород. Типичные разновидности пород (рис. 3) штока левобережья р. Беспаятная представлены монцодиоритами (ранняя фаза), монцонитами, сиенитами (средняя фаза) и кварцевыми сиенитами (поздняя фаза). Макроскопически породы меняются от темно-серых в ранней фазе до розовато-серых в поздней с увеличением их лейкократности. В породах ранней фазы к поздней закономерно уменьшается количество темноцветных минералов от 50 до 5–10 %, роль калиевого полевого шпата относительно плагиоклаза увеличивается. Структура пород по причине наличия вкрапленников полевых шпатов среди

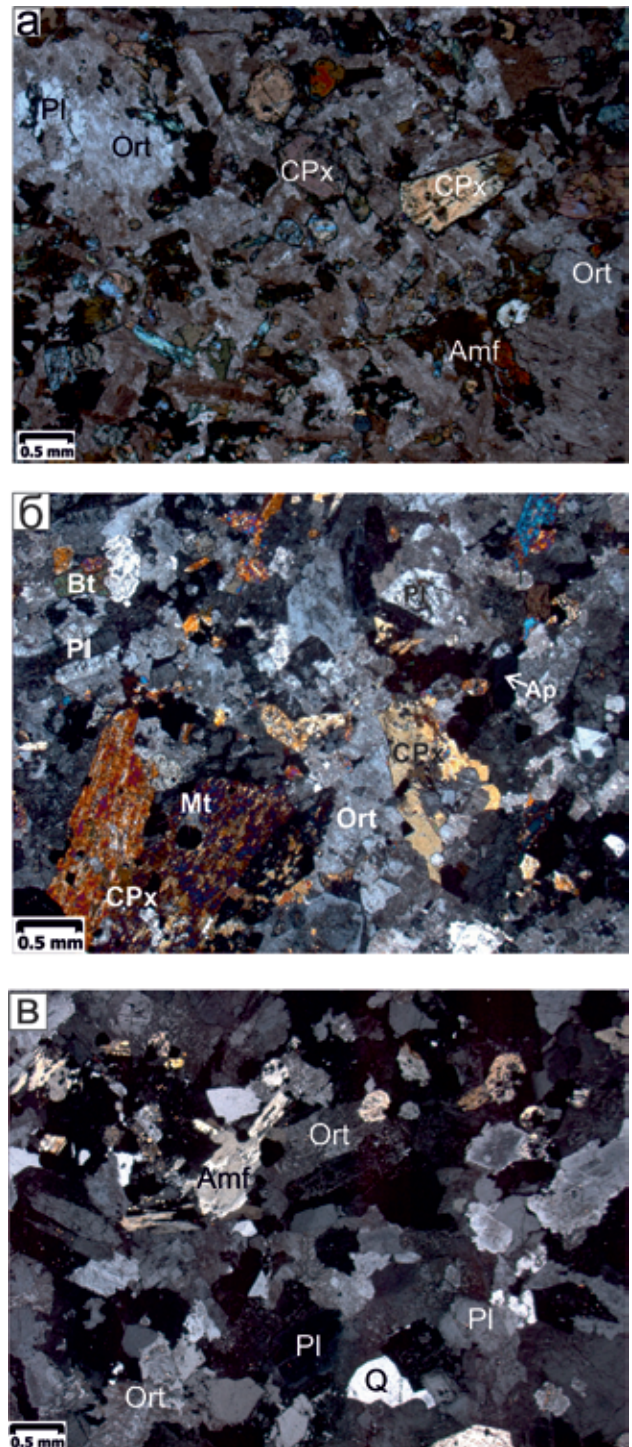


Рис. 3. Фотографии шлифов пород беспаятинского комплекса

a – монцодиоритов ранней фазы (шлиф 203045); *б* – монцонитов средней фазы (шлиф 203045/3); *в* – кварцевых сиенитов поздней фазы (шлиф 203045/4) массива левобережья р. Беспаятная. *a, б, в* – николи X

основной массы клинопироксен-амфибол-биотит-полевошпатового состава преимущественно порфирировидная, а также монцонитовая с чертами бостонитовой, обусловленной зазубренными очертаниями щелочного полевого шпата. Для сиенитов и кварцевых сиенитов характерны гипидиоморфнозернистые и пертитовые структуры.

Минеральный состав рассматриваемых пород варьирует по фазам в следующих пределах (в об. %): калиево-натриевый полевой шпат – 20–30 (1 фаза), 25–50 (2 фаза), 40–65 (3 фаза); плагиоклаз – 25–40 (1 фаза), 20–35 (2 фаза), 15–35 (3 фаза); клинопироксен – 15–35 (1 фаза), 5–15 (2 фаза), 0 (3 фаза); роговая обманка – до 20 (1 фаза), до 15 (2 фаза), до 5 (3 фаза); биотит – 5–10 (1 фаза), 5–15 (2 фаза), 5–10 (3 фаза); кварц – 2–3 (1 фаза), 3–8 (2 фаза), 5–10 (3 фаза). Для пород ранней фазы характерно преобладание клинопироксена среди темноцветных минералов, для монцонитов, сиенитов – роговой обманки, для кварцевых сиенитов – биотита. Среди вторичных минералов отмечаются карбонат, хлорит, скаполит, а в составе аксессуарных установлены идиоморфные зерна апатита (5–7 %), титаномагнетита (2–4 %), циркона (1 %) и мелкие зерна ортита, титанита, гематита, ильменита и пирита.

Калиево-натриевый полевой шпат (КПШ) образует пелитизированные агрегаты неправильной формы и вкрапленники с зубчатой очертаниями. Иногда КПШ развит в виде оторочки вокруг зерен плагиоклаза, обычно также его криптопертитовое строение. Состав КПШ, по данным электронно-зондового анализа, отвечает ортоклазу с содержанием альбитового минала 8–52 %. В породах ранней фазы КПШ проявлен всем спектром разновидностей ортоклаза от $Ab_{52}Ort_{39}An_9$ до $Ort_{92}Ab_8$, иногда с примесью CaO. В монцонитах средней фазы развит ортоклаз промежуточного состава $Ab_{33}Ort_{67} - Ab_{45}Ort_{55}$, в кварцевых сиенитах и сиенитах поздней фазы КПШ содержит лишь до четверти альбитового компонента. В ортоклазе присутствуют примеси BaO (в монцодиоритах – до 1,3 %, в монцонитах – до 1,57 %, в кварцевых сиенитах – до 0,58 %). В двух зернах ортоклаза из монцодиоритов с наибольшим содержанием альбитовой составляющей (до 52 %), помимо BaO (до 2,5 %), определена примесь FeO (0,27 и 1,2 %), характерная больше для плагиоклазов.

Плагиоклаз пород всех фаз представлен двумя генерациями, образующими простые двойники. В отличие от КПШ, плагиоклаз характеризуется относительно более идиоморфным габитусом. Первая генерация плагиоклаза – хорошо ограниченные таблитчатые или лейстовидные кристаллы, вторая генерация – ксеноморфные округлые зерна, окаймленные КПШ. Они трещиноваты с незамутненным цветом и полисинтетическими двойниками. Состав плагиоклазов определен как олигоклаз-андезиновый (An_{14-30}).

Клинопироксен в монцодиоритах, монцонитах и сиенитах выражен кристаллами гипидиоморфного таблитчатого облика размером около 2–3,5 мм. Клинопироксен по минальному составу $En_{25-52}Wo_{25-57}Fs_{6-25}$ соответствует диопсиду и авгиту. В составе клинопироксена от монцодиоритов к сиенитам отмечается слабое увеличение FeO и MnO. Mg# в клинопироксене составляет 55–65, в сиенитах снижается до 40–55. Содержание TiO_2 в клинопироксене достигает 1,01 %.

Амфибол оливково-зеленого оттенка образует изометричные гипидиоморфные зерна, иногда с включениями клинопироксена и рудных минералов. По классификации В. Е. Leake, А. R. Wooley, С. E. S. Arps et al. [29], он относится к паргаситу, ферропаргаситу ($Ca_B > 1,50$, $(Na + K)_A \geq 0,50$). Его состав довольно постоянен, что следует из соотношения модулей – $XFe_{0,31-0,41}XMg_{0,26-0,37}XCa_{0,31-0,33}$. Mg# слабо варьирует около значения 50 (от 38 до 55). Концентрации TiO_2 достигают 2,96 %. В более кислых породах в амфиболе увеличиваются содержания SiO_2 и MgO и снижаются – Al_2O_3 , FeO, TiO_2 при постоянном уровне кальция в минерале – $XFe_{0,12-0,41}XMg_{0,27-0,6}XCa_{0,27-0,32}$. В кварцевых сиенитах состав амфибола соответствует эдениту, который замещается актинолитом.

Биотит по сравнению с пироксеном и амфиболом менее распространен, и его количество в породах увеличивается от монцодиоритов к кварцевым сиенитам. Ксеноморфные и гипидиоморфные чешуйки биотита плеохроируют в коричнево-оливковых тонах. По химическому составу биотит принадлежит изоморфному ряду флогопит – аннит. Соотношение флогопитового и аннитового миналов составляет 44–54 и 28–32 соответственно. Биотит титанистый (TiO_2 в нем до 4,85 %) и, как и породы в целом, высокобариевый (BaO – до 4,61 %).

Апатит концентрирует редкие земли, в его состав входят десятые доли процента Ce_2O_3 и Nd_2O_3 , иногда Cl и SO_3 (0,91–1,06 %).

Титанит от ранней фазы к поздней не постоянен в соотношениях SiO_2 и TiO_2 и содержит аксессуарные количества FeO (1,89–2,82 %), Al_2O_3 (0,86–1,86 %), V_2O_5 до 0,58 %.

Магнетит во всех породах может содержать (%): до 0,28 SiO_2 , до 0,72 TiO_2 и 0,28–0,72 V_2O_5 , до 0,34 MnO и до 0,24 CaO.

Петрогеохимическая характеристика пород. По химическому составу (табл. 1, 2, рис. 4) породы Беспмятинского ареала в целом отвечают умереннощелочному ряду от монцогаббро, монцодиоритов, монцонитов до сиенитов, кварцевых сиенитов и граносиенитов калиево-натриевой, калиевой серий и являются аналогами монцонитов и граносиенитов Моржовско-Убойнинского ареала Западного Таймыра [4]. Содержание SiO_2 в породах ранней фазы внедрения меняется от 52,33 до 56,27 %, средней – от 57,50 до 59,84 %, в позднюю фазу сформированы наиболее кислые разности с содержанием кремнезема от 61,64 до 67,62 %. По индексу Шенда, изучаемые породы металюминиевые, без избытка глинозема, преимущественно лейкократовые (цветовой индекс f' меняется от 14–15 в монцодиоритах до 4–7 – в граносиенитах). Содержание TiO_2 в породах варьирует от 0,31 до 1,27 % (в среднем 0,75 %). Породы высококалийные (от 3,46 до 6,16 % K_2O) при среднем отношении K_2O/Na_2O , которое составляет 1,38.

Химический состав пород (мас. %) массивов устья реки Беспаятная

Компо- нент	Порода											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Номер пробы											
	203045	2204/2	2012/2	203045/2	2012/3	203045/3	2203/9	203045/5	203045/4	2007	2202/5	2202/6
	Фаза											
Ранняя				Средняя				Поздняя				
SiO ₂	53,00	53,44	54,10	54,96	56,27	57,50	58,92	61,64	62,76	64,51	66,97	67,62
TiO ₂	0,86	0,97	1,27	0,92	1,06	0,69	0,72	0,57	0,55	0,47	0,37	0,34
Al ₂ O ₃	14,50	15,77	15,47	13,70	15,97	15,10	14,96	16,60	16,60	15,37	14,73	15,78
Fe ₂ O ₃	2,67	3,85	1,77	2,86	1,94	2,45	4,02	2,57	2,16	2,20	1,50	1,49
FeO	3,90	3,66	6,40	3,60	4,78	3,13	2,51	1,96	2,04	1,88	1,53	1,83
MnO	0,13	0,11	0,14	0,12	0,11	0,107	0,09	0,09	0,07	0,06	0,02	0,05
MgO	5,76	3,98	4,08	5,30	3,43	3,72	3,14	1,47	1,60	1,77	3,07	1,38
CaO	8,54	6,75	6,90	7,95	5,69	6,35	5,37	3,59	3,70	3,00	2,03	2,42
Na ₂ O	2,74	3,52	3,76	2,85	3,46	3,49	3,97	4,23	4,41	4,18	4,02	3,63
K ₂ O	5,50	5,66	3,46	5,90	4,78	5,64	4,39	5,59	5,13	5,30	5,25	4,18
P ₂ O ₅	0,87	0,91	1,06	0,81	0,77	0,64	0,54	0,31	0,35	0,25	0,18	0,19
п.п.п.	0,61	0,77	1,48	0,50	1,47	0,61	0,83	1,00	0,27	0,83	0,75	0,66
Сумма	99,08	99,39	99,89	99,47	99,73	99,43	99,46	99,62	99,64	99,82	100,42	99,57

Примечание: 1–4 – монцодиориты; 5–7 – монцониты, сиениты; 8, 9 – кварцевые сиениты; 10–12 – граносиениты. 1, 2, 4, 6–9, 11, 12 – из массива левобережья р. Беспаятная; 3, 5, 10 – из массива правобережья р. Беспаятная. 2, 3, 5, 7, 10–12 – из колл. В. Ф. Проскурнина, А. Ф. Хапилина (1983 г.); 1, 4, 6, 8, 9 – из колл. М. А. Проскурниной (2013 г.).

Таблица 2

Химический состав пород массивов междуречья Подбазная и Мутный, водораздела рек Каменистая и Волчья беспаятинского комплекса

Компо- нент	Порода							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Номер пробы							
	2116/1	2116/2	3530	3529/16	2270/02	2114/2	2309	2307/1
	Фаза							
Ранняя			Средняя			Поздняя		
SiO ₂	52,33	52,68	54,97	58,36	58,91	59,84	64,29	67,55
TiO ₂	1,14	1,13	0,83	0,63	0,79	0,74	0,54	0,31
Al ₂ O ₃	15,87	15,91	15,52	14,45	14,69	15,51	16,44	15,95
Fe ₂ O ₃	4,05	4,47	3,43	2,65	2,88	2,72	1,64	1,39
FeO	4,35	3,97	4,56	2,99	3,41	3,12	1,93	1,37
MnO	0,17	0,15	0,33	0,13	0,11	0,09	0,06	0,02
MgO	4,64	4,56	3,78	3,40	4,29	2,93	1,35	0,94
CaO	7,67	7,2	6,03	4,35	5,69	4,3	2,65	1,78
Na ₂ O	3,64	3,76	3,28	3,88	3,52	4,24	3,89	4,42
K ₂ O	4,22	4,32	6,00	6,16	3,87	5,10	5,65	5,14
P ₂ O ₅	0,62	0,64	0,53	0,31	0,55	0,48	0,37	0,24
п.п.п.	1,08	0,98	0,59	3,14	0,63	0,69	0,70	0,59
Сумма	99,85	99,78	99,73	99,75	99,36	100,34	99,51	99,70

Примечание: 1–3 – монцодиориты; 4–6 – монцониты, сиениты; 7, 8 – граносиениты. 1, 2, 5–8 – из массивов междуречья Подбазная и Мутный; 3, 4 – из массива водораздела рек Каменистая и Волчья. Пробы из колл. А. Ф. Хапилина, В. Ф. Проскурнина.

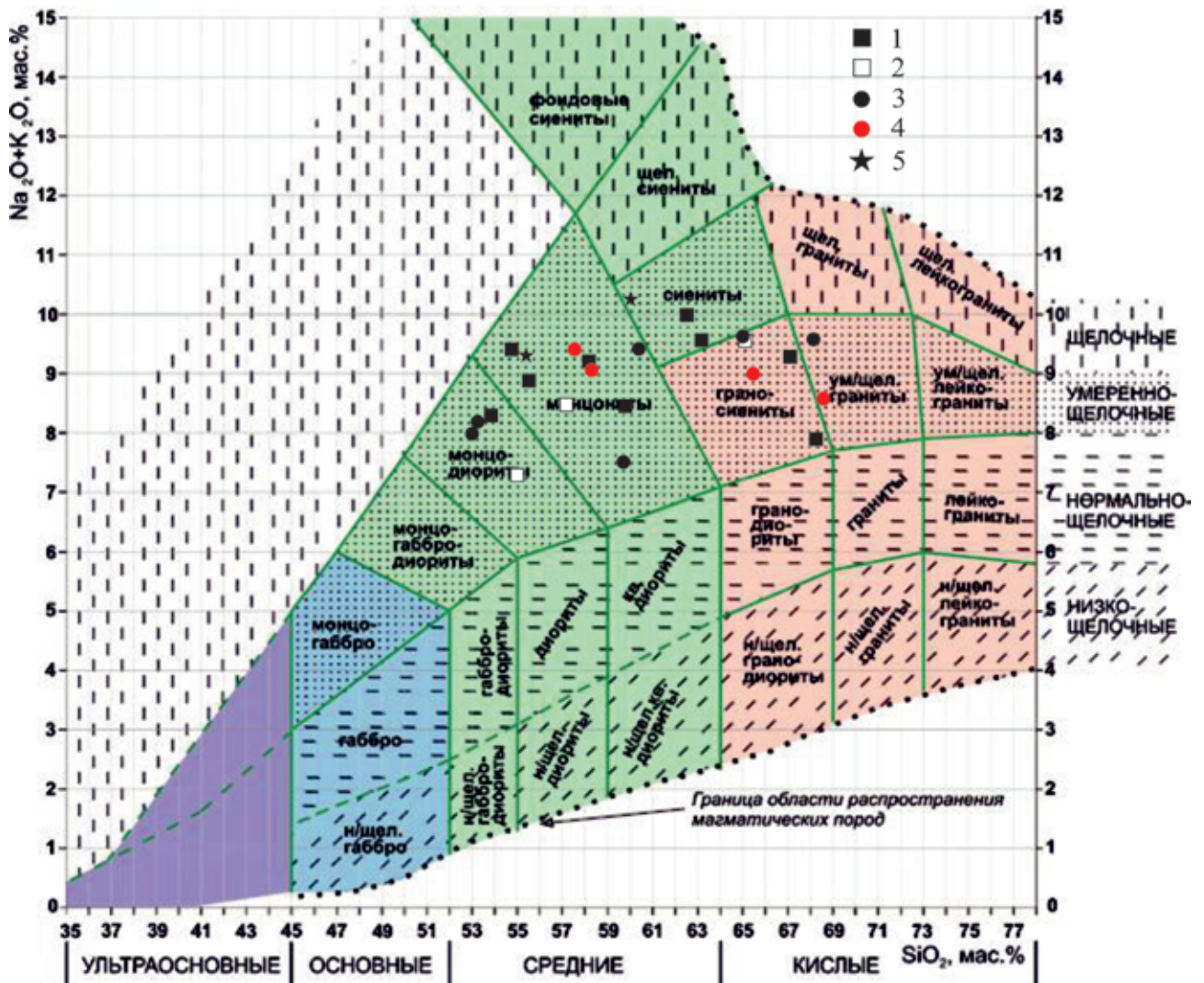


Рис. 4. Химические составы образований Беспамятнинского и Моржовско-Убойнинского ареалов на TAS-диаграмме [21] 1 – породы массива левобережья р. Беспамятная; 2 – массива правобережья р. Беспамятная; 3 – массива р. Куропаточья; 4 – породы Моржовско-Убойнинского ареала [3]; 5 – массива междуречья Каменистая и Волчья

В координатах K_2O-SiO_2 (рис. 5, а) фигуративные точки составов пород Беспамятнинских интрузивов, так же как интрузий Моржовско-Убойнинского ареала, лежат в поле шшонит-латитовой серии, реже в поле щелочной серии. По классификации А. Миширо и Б. Р. Фроста [26], изучаемые монцитонитоиды относятся к магнезиальным (рис. 5, б). Отношение $FeO_{общ}/(FeO_{общ} + MgO)$ низкое и варьирует от 0,5 до 0,76. По соотношению модифицированного индекса Пикока, обозначаемого $MAL1$ (рис. 5, в), и SiO_2 занимает промежуточное положение рассматриваемых пород между известково-щелочной и щелочной сериями.

С геохимической точки зрения (табл. 3) в петротипических интрузивах Беспамятнинского ареала, а также Моржовско-Убойнинского отмечается повышенное содержание крупноионных (Ba, Sr, Rb, K, Cs), высокозарядных элементов (Zr, Hf, Th, U, редких земель) и летучих компонентов (F, P_2O_5). Геохимическая специализация

пород комплекса отмечена для Ag (до 6 Кк), Se (до 58 Кк) и легких редкоземельных элементов (до 8 Кк).

Спектры редкоземельных элементов (РЗЭ) (рис. 6, а) близки по составу внутриплитным базальтам типа OIB или адакитам, формирующимся из глубинных мантийных источников. Породы характеризуются достаточно высокими содержаниями редкоземельных элементов (сумма РЗЭ достигает 546 г/т) и высокими величинами отношений $(La/Yb)_{CN} = 31-37$. Главная особенность горных пород состоит в наличии интенсивных отрицательных Ti-Ta-Nb аномалий (рис. 6, б). Причем даже в наиболее основных монцитодиоритах аномалия Ta и Nb находится практически на уровне более кислых пород – кварцевых сиенитов. Это свидетельствует об однородности источника магмагенерации и, главное, отражает присутствие надсубдукционной компоненты в процессе магнеобразования.

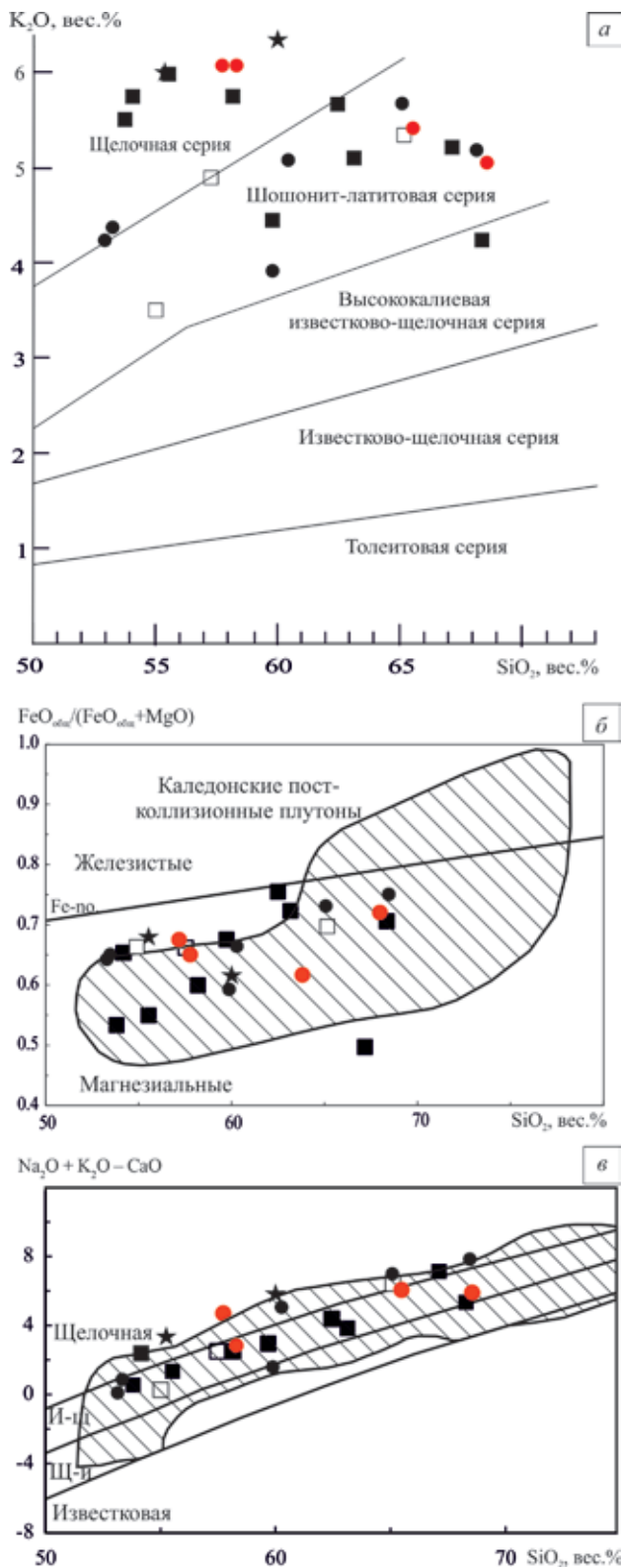


Рис. 5. Химические составы образований Беспмятнинского и Моржовско-Убойнинского ареалов
 а – диаграмма K_2O-SiO_2 [27]; б – диаграмма $FeO/(FeO + MgO) - SiO_2$ с разделением гранитоидов на железистый и магнезиальный типы, по А. Миаширо с дополнениями [26]; в – диаграмма $Na_2O+K_2O-CaO-SiO_2$, модифицированный известково-щелочной индекс [26]. Заштрихованные области – составы каледонских постколлизийных плутонов Британии и Ирландии по 135 анализам [26]. И-щ – известково-щелочная серия, Щ-и – щелочно-известковая серия. Усл. обозн. см. на рис. 4

Результаты U-Pb изотопных исследований.
 Из пород интрузивов левобережья р. Беспмятная – монцодиорита ранней фазы внедрения (пр. 203045), монцонита средней (пр. 203045/3) и кварцевого сиенита поздней фаз (пр. 203045/4) было проанализировано по 10 зерен циркона, выделенных с помощью тяжелых жидкостей и магнитной сепарации. Результаты анализов представлены в табл. 4 и на рис. 7, все погрешности приведены для доверительного интервала 2σ . Зерна циркона идиоморфные и субидиоморфные, дипирамидально-призматические с ровными поверхностями граней. Невысокий коэффициент удлинения зерен характерен для пород повышенной щелочности. Цирконы содержат небольшое количество минеральных включений, иногда – полифазных. Катодолюминесцентные фотографии демонстрируют концентрическую зональность роста, зачастую в комбинации с секториальной. Явных унаследованных ядер и кайм нарастания или рекристаллизации не выявлено. Морфологические и структурные характеристики предполагают магматический генезис зерен цирконов в среде повышенной щелочности и отсутствие наложенных процессов.

Результаты U-Pb датирования цирконов из пород трех последовательных фаз внедрения интрузивов согласуются с геологическими данными. Более древний результат получен для монцодиорита (пр. 203045) ранней фазы – 241 ± 3 млн лет. Возрасты монцонита (203045/3) и кварцевого сиенита (203045/4) в пределах погрешности совпадают и составляют 236 ± 3 и 233 ± 1 млн лет. Примечательно, что Th/U соотношение проанализированных цирконов варьирует в диапазоне 1–2, типичном для пород повышенной щелочности. Этот факт – дополнительный аргумент кристаллизации цирконов при формировании и подтверждает корректность полученных средне-позднетриасовых оценок возраста рассматриваемых интрузивов.

Обсуждение результатов. В формационном отношении породы кольцевых интрузивов Беспмятнинского ареала принадлежат габбро-монцонит-граносиенитовой формации [11], являющимся обычно постскладчатыми. По степени обогащенности щелочами ($K_2O + Na_2O > 8\%$) и калием ($K_2O/Na_2O > 1$), крупноионными литофильными элементами, легкими редкими землями, высокозарядными элементами и летучими компонентами породы Беспмятнинских интрузивов могут быть соотнесены с трахиандезитобазальтами, трахиандезитами шошонит-латитовой серии. В соответствии с классификацией Л. В. Таусона [19], породы изучаемых интрузивов отвечают латитовому геохимическому типу гранитоидов.

По своим петро- и геохимическим характеристикам беспмятнинские магматиты по ряду показателей отличаются от классических гранитоидов I-, S-, A- и M-типов (табл. 5) и в большей мере близки SH-типу шошонитовых гранитов [28].

Таблица 3
Микроэлементный состав пород (ppm) массива
левобережья р. Беспаятная

Элементы	Монцодиорит		Монцит		Кварцевый сиенит	
	Номер пробы					
	203045	203045/2	203045/3	203045/5	203045/4	
Фаза внедрения						
Ранняя						
Средняя						
Поздняя						
Li, г/т	20	26,4	15,7	17,2	13,3	
Be	3,98	3,68	3,11	4,31	3,91	
F	1960	1740	1220	1070	933	
Sc	18,1	17,2	11	4,64	5,5	
V	144	137	94,4	72,8	66,3	
Cr	47,2	46,6	38,3	14,9	13,5	
Co	25,2	23,7	15,1	7,31	8	
Ni	35	27,3	23,1	6,75	8,98	
Cu	65	31,6	34,6	9,34	8,46	
Zn	95,7	79	65,8	48	38	
Ga	11,1	5,59	18,3	13,3	19,4	
Se	4,08	3,52	3,97	2,66	2,11	
Rb	172	158	140	151	128	
Sr	1320	1100	1230	1120	1240	
Y	25,1	23	25,1	27,7	21	
Zr	239	211	217	359	283	
Nb	14,6	13,9	16,1	29,2	18,6	
Mo	1,34	0,96	1,27	0,87	0,78	
Ag	0,099	0,063	0,049	0,024	0,047	
Cs	5,77	5,07	2,47	2,13	1,34	
Ba	2540	2200	2630	2200	2240	
La	93,8	89,9	109	135	90,6	
Ce	179	169	199	254	176	

Окончание табл. 3

Элементы	Монцодиорит		Монцит		Кварцевый сиенит	
	Номер пробы					
	203045	203045/2	203045/3	203045/5	203045/4	
Фаза внедрения						
Ранняя						
Средняя						
Поздняя						
Pr	19,7	19,5	22,2	26,5	17,9	
Nd	77,9	72,5	77,3	88,7	63,4	
Sm	14,1	13	13,7	13,7	10,3	
Eu	3,34	3,17	3,21	3,21	2,48	
Gd	10,1	9,58	10,5	11,3	7,92	
Tb	1,06	1,08	1,14	1,18	0,84	
Dy	6,08	5,42	5,61	5,72	4,24	
Ho	0,89	0,84	0,94	0,96	0,74	
Er	2,4	2,23	2,51	2,8	1,97	
Tm	0,32	0,31	0,37	0,45	0,29	
Yb	2,07	1,89	1,94	2,5	1,78	
Lu	0,3	0,29	0,3	0,33	0,3	
Hf	6,2	5,71	6,16	8,64	7,28	
Ta	0,72	0,66	0,8	1,39	0,86	
W	0,99	0,82	0,64	0,86	< 0,5	
Au	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	
Pb	33,9	43	35,8	20,4	25,2	
Th	19,2	19,8	22,3	36,7	28,3	
U	5,13	5,06	4,82	6,73	3,47	
REE	411	389	448	546	379	
(La/Yb) _{CN}	31	32	38	37	35	
Eu/Eu*	0,85	0,87	0,82	0,79	0,84	

Примечание: Пробы с массива левобережья р. Беспаятная. Содержания элементов в отношениях нормированы на хондрит [23]: $(La/Yb)_{CN}$, $Eu/Eu^* = Eu_{CN}/[Gd_{CN} \times Sm_{CN}]^{1/2}$.

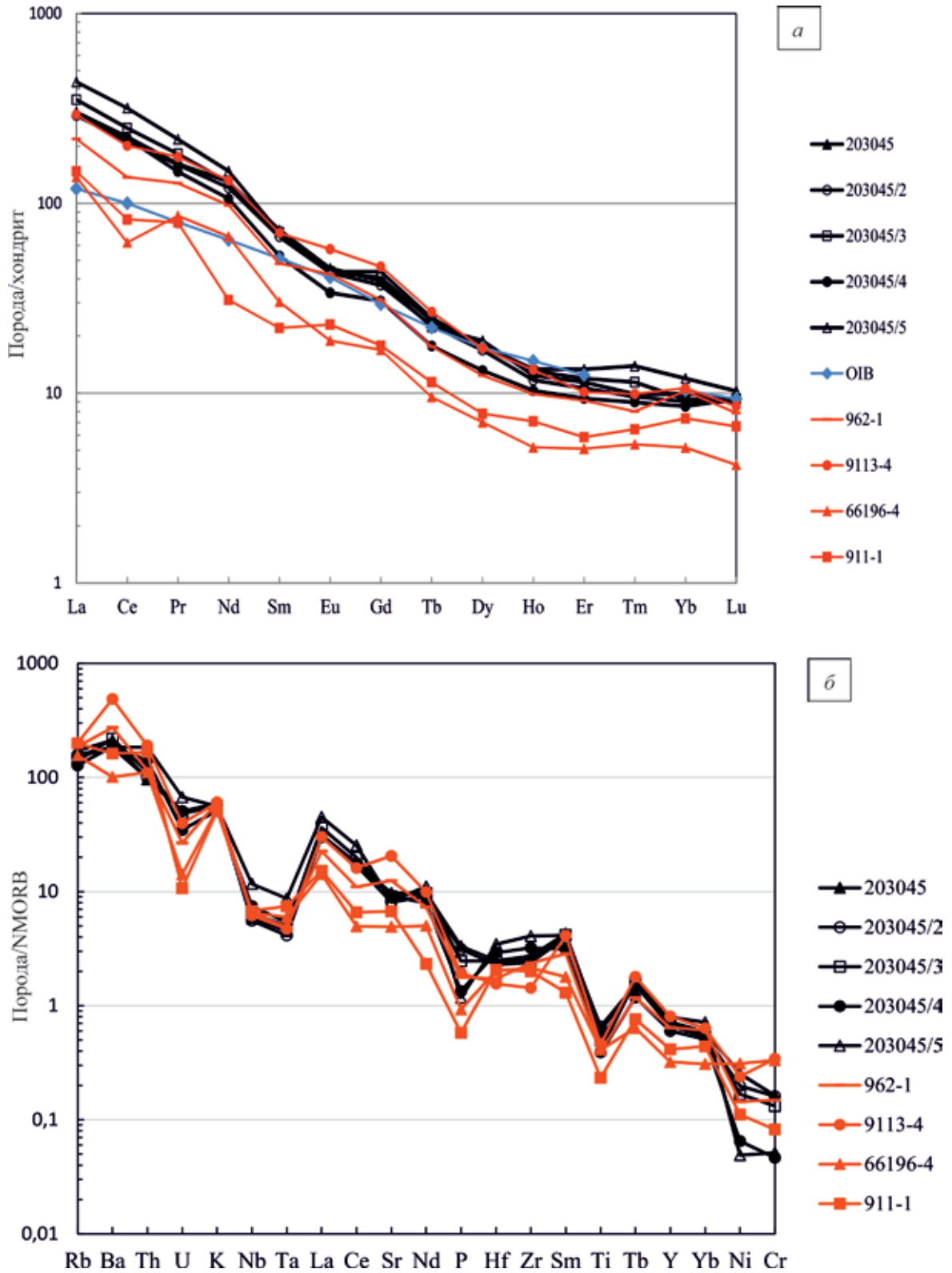


Рис. 6. Спектры распределения РЗЭ (а) и спайдерграмма (б) для горных пород из кольцевых интрузивов Беспмятинского (черные точки, табл. 3) и Моржовско-Убойнинского (красные точки [4]) ареалов. Хондрит – по [23], NMORB – по [30], OIB – по [31]

Таблица 4

Результаты U-Pb датирования на SIMS SHRIMP цирконов из пород бесмятинского комплекса (возраст, млн лет)

Точки измерения	$^{206}\text{Pb}_c, \%$	U, г/т	Th, г/т	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*$, г/т	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ Возраст	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ Возраст	% Дискорд.	$\frac{^{238}\text{U}}{^{206}\text{Pb}^*}$	$\pm \%$	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	$\pm \%$	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	$\pm \%$	егт согт
Мондиоприт, пр. 203045	1.1	480	717	1,54	15,9	± 4,6	± 4,6	± 83	25,96	1,9	0,0493	3,6	0,262	4,1	,474
	2.1	609	742	1,26	20,3	± 4,6	± 4,6	± 57	25,81	1,9	0,0514	2,5	0,2748	3,1	,608
	3.1	537	378	0,73	17,4	± 4,5	± 4,5	± 110	26,57	1,9	0,0476	4,8	0,247	5,2	,373
	4.1	613	831	1,40	20	± 4,5	± 4,5	± 58	26,31	1,9	0,0516	2,5	0,2705	3,2	,599
	5.1	743	1460	2,03	24	± 4,4	± 4,4	± 44	26,6	1,9	0,05132	1,9	0,266	2,7	,703
	6.1	960	1374	1,48	31,4	± 4,4	± 4,4	± 40	26,24	1,9	0,05225	1,7	0,2745	2,5	,728
	7.1	269	214	0,82	8,85	± 4,7	± 4,7	± 85	26,04	2	0,0494	3,6	0,262	4,1	,481
	7.2	984	1169	1,23	31,9	± 4,4	± 4,4	± 60	26,47	1,9	0,0516	2,6	0,2686	3,2	,582
	8.1	605	1001	1,71	19,8	± 4,5	± 4,5	± 65	26,29	1,9	0,0499	2,8	0,262	3,4	,565
9.1	830	1759	2,19	26,9	± 4,4	± 4,4	± 59	26,53	1,9	0,0507	2,5	0,2636	3,2	,595	
Монзонит, пр. 203045/3	1.1	438	592	1,40	14,1	± 4,5	± 4,5	± 66	26,78	1,9	0,0508	2,9	0,2614	3,5	,559
	2.1	711	845	1,23	23,6	± 4,5	± 4,5	± 50	25,89	1,9	0,0507	2,2	0,2701	2,9	,659
	3.1	917	1908	2,15	29,4	± 4,4	± 4,4	± 45	26,75	1,9	0,0514	2	0,2649	2,7	,691
	4.1	259	331	1,32	8,13	± 4,7	± 4,7	± 170	27,24	2,1	0,054	7,7	0,273	8	,259
	5.1	363	564	1,60	11,8	± 4,6	± 4,6	± 62	26,53	2	0,0498	2,7	0,2588	3,3	,593
	6.1	690	942	1,41	22,3	± 4,5	± 4,5	± 46	26,62	1,9	0,0507	2	0,2624	2,8	,693
	7.1	600	984	1,70	19,3	± 4,5	± 4,5	± 79	26,64	1,9	0,0523	3,4	0,27	4	,490
	8.1	441	719	1,69	14,2	± 4,5	± 4,5	± 54	26,58	1,9	0,0512	2,3	0,2657	3	,638
	9.1	410	677	1,71	12,6	± 4,4	± 4,4	± 66	27,93	2	0,0516	2,9	0,2545	3,5	,560
	10.1	1064	2119	2,06	33,4	± 4,3	± 4,3	± 50	27,37	1,9	0,0509	2,2	0,2562	2,9	,654
Кварцевый сиецит, пр. 203045/4	1.1	402	526	1,35	13	± 1,6	± 1,6	± 100	26,73	0,69	0,0493	4,3	0,254	4,4	,157
	2.1	507	588	1,20	16,3	± 1,5	± 1,5	± 76	26,79	0,63	0,051	3,3	0,2623	3,3	,188
	3.1	283	438	1,60	9,04	± 1,8	± 1,8	± 110	27,02	0,77	0,0498	4,7	0,254	4,7	,163
	4.1	772	1639	2,19	24,5	± 1,3	± 1,3	± 70	27,2	0,57	0,0506	3	0,2564	3,1	,187
	5.1	481	835	1,79	15,4	± 1,5	± 1,5	± 76	26,98	0,65	0,0506	3,3	0,2584	3,4	,193
	6.1	483	566	1,21	15,3	± 1,5	± 1,5	± 74	27,18	0,65	0,051	3,2	0,2585	3,3	,199
	7.1	414	649	1,62	13,1	± 1,6	± 1,6	± 85	27,21	0,69	0,0512	3,7	0,2595	3,8	,185
	8.1	570	747	1,35	18,2	± 1,4	± 1,4	± 74	27,05	0,63	0,0493	3,2	0,2512	3,2	,194
	9.1	492	438	0,92	15,5	± 1,5	± 1,5	± 87	27,45	0,67	0,0516	3,8	0,2589	3,8	,174
	10.1	525	583	1,15	16,5	± 1,5	± 1,5	± 73	27,57	0,64	0,0512	3,2	0,256	3,3	,198

Примечание: Ошибки приведены для доверительного интервала 1σ. Pb_c и Pb* – обыкновенный и радиогенный свинец соответственно. Ошибка в калибровке стандарта 0,58%. Изотопные отношения и содержания ^{206}Pb скорректированы по измеренному ^{204}Pb . егт согт – коэффициент корреляции между ошибками определения изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$.

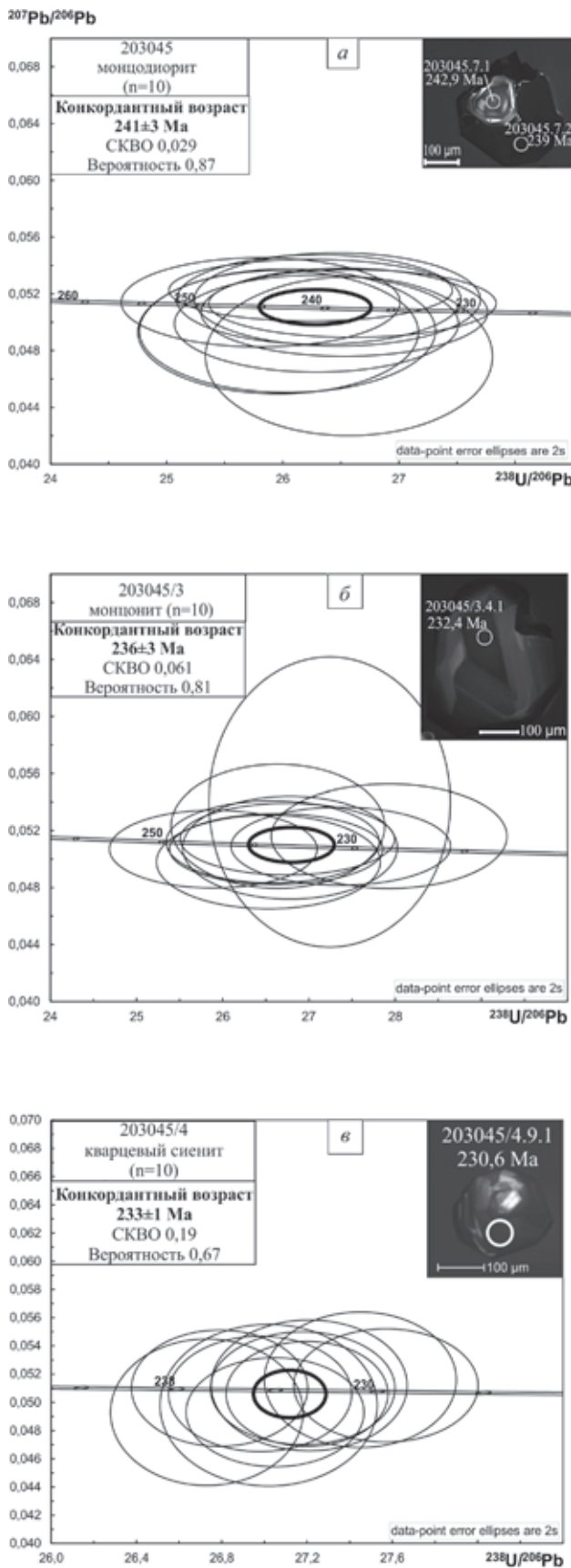


Рис. 7. U-Pb диаграммы с конкордиями по цирконам из монцодиоритов (а) ранней (203045), монцонитов (б) средней (203045/3) и кварцевых сиенитов (в) поздней фаз (203045/4) из штока левобережья р. Беспаятная беспаятинского комплекса

По этим параметрам, а также высокой магнезиальности и принадлежности к щелочной и известково-щелочной сериям породы Беспаятинских массивов параллелизуются с металлюминиевыми постколлизийными каледонскими гранитными интрузиями Британии и Ирландии, имеющими шошонитовые характеристики [26] и относящимся к высоко-BaSr гранитоидам [25, 32]. На диаграмме Батчелора и Боудена (рис. 8) точки составов пород кольцевых монцогаббро-граносиенитовых Беспаятинских и Моржовско-Убойнинских интрузивов лежат в полях постколлизийных поднятий и главным образом позднеорогенных гранитоидов. Большинство исследователей [10, 24, 25, 28, 33] гранитоиды SH-типа относятся к поздне- или постколлизийным. В то же время геохимические данные и наличие выраженной Ti-Ta-Nb аномалии отражают присутствие надсубдукционной компоненты в процессе магмообразования.

Результаты U-Pb датирования цирконов из разных фаз интрузивных пород свидетельствуют об их образовании в посттрапповое (моложе 252–250 млн лет) время – 241–233 (T₂₋₃) млн лет или 249–241 (T₁₋₂) млн лет [4], близкое возрасту проявления начальной и главной фаз раннекаиммерийской складчатости таймырид. Общеизвестно [13, 14], что основная проблема Таймырского раннекаиммерийского орогена как с позиций геосинклинальной, так и плейтктонической парадигм – выявление причин складчато-надвиговых процессов на границе триаса и юры, смявших платформенные поздневендско-палеозойские отложения и позднепермско-раннетриасовые вулканы чехла Сибирского кратона.

В последние годы большое внимание уделяется вопросам геологии образований, относящихся к шошонит-латитовой серии. В первую очередь интерес обосновывается их высокой рудной продуктивностью. С шошонитовым магматизмом связан золото-медно-молибден-порфировый тип месторождений. В большинстве случаев генезис пород интерпретируется как островодужный либо постколлизийный. В рамках геотектонических построений гранитоиды латитового ряда являются крайним (щелочным) членом островодужной ассоциации и занимают дальше от океанического желоба положение. Шошонит-латитовая ассоциация широко распространена по всему миру и приурочена к зонам зрелых активных окраин (Срединный хребет и западное побережье Камчатки, западное побережье США, острова юго-запада Тихого океана, пояс Южноамериканских Анд) и зон коллизии (Западная Анатолия, Восточные Родопы).

С начальных стадий изучения монцогаббро-монцонит-граносиенитовых интрузивов Таймыра сложилось несколько представлений об их происхождении. Одни исследователи считали породу умереннощелочного и щелочного рядов малых интрузивных тел продуктами дифференциации базитовой трапповой магмы и выделяли их в самостоятельные фазы [2]. В последнее

Сравнение средних составов гранитоидов I-, S-, M-, A-типов [33], шошонитовых гранитоидов SH [28] и данных по беспамятнинскому комплексу (SH*)

Оксиды и элементы	Типы гранитов					
	M N = 17	S N = 578	I N = 991	A N = 148	SH N = 21	SH* N = 20
SiO ₂ , вес. %	67,24	70,27	69,17	73,81	63,12	59,46
TiO ₂	0,49	0,48	0,43	0,26	0,57	0,75
Al ₂ O ₃	15,18	14,10	14,33	12,40	15,37	15,56
Fe ₂ O ₃	1,94	0,56	1,04	1,24	2,12	2,65
FeO	2,35	2,87	2,29	1,58	2,11	3,17
MnO	0,11	0,06	0,07	0,06	0,09	0,11
MgO	1,73	1,42	1,42	0,20	1,57	3,25
CaO	4,27	2,03	3,20	0,75	4,19	5,14
Na ₂ O	4,97	2,41	3,13	4,07	3,65	3,77
K ₂ O	1,26	3,96	3,40	4,65	5,48	5,10
P ₂ O ₅	0,09	0,15	0,11	0,04	0,28	0,54
Na ₂ O + K ₂ O	5,23	6,37	6,53	8,72	9,14	8,87
K ₂ O/Na ₂ O	0,32	1,64	1,09	1,14	1,50	1,38
Fe ₂ O ₃ /FeO	0,83	0,20	0,45	0,78	1,01	0,91
FeO/MgO	2,37	2,38	2,27	13,48	2,56	1,05
A/CNK	0,97	1,18	0,98	0,95	0,78	0,74
Rb (ppm)	17,5	217	151	169	234	150*
Sr	282	120	247	48	1020	1202*
Y	22	32	28	75	31	24*
Zr	108	165	151	528	257	262*
Nb	1,3	12	11	37	23,2	18,5*
Ba	263	468	538	352	2756	2362*
Th	1	18	18	23	53,4	25,3*
U	0,4	4	4	5	7,4	5*

Примечание: В столбце SH* звездочкой отмечены данные – среднее из пяти анализов, A/CNK – индекс Шенда; жирным выделены оксиды, их отношения и элементы, отражающие главные особенности вещественного состава пород интрузивов Беспамятнинской ассоциации.

время изотопно-геохимические и геохронологические данные позволили В. А. Верниковскому и др. [4] выделить их как гранитоиды А-типа и связать с регрессивной стадией проявления Сибирского суперплюма [7]. Другие исследователи отводили ведущую роль в происхождении рассматриваемых пород процессам ассимиляции [6], анатексиса [8] вмещающих пород, щелочного посттраппового метасоматоза [5] вне связи с геотектоническими. Фадьюкудинско-Котуйская гравимагнитная кольцевая структура, отвечающая Горячему пятну Таймыра [12, 15], вполне объясняет пестрый посттрапповый магматизм и связанные с ним процессы ассимиляции, анатексиса, метасоматоза. Тем не менее оба эти варианта геодинамической связи проявления малых интрузивов с Сибирским суперплюмом и Горячим пятном не могут объяснить шошонит-латитовый магматизм с надсубдукционными и постколлизийными метками и раннекеммерийский орогенез на Таймыре в среднем – позднем триасе. Кольцевые шошонит-латитовые

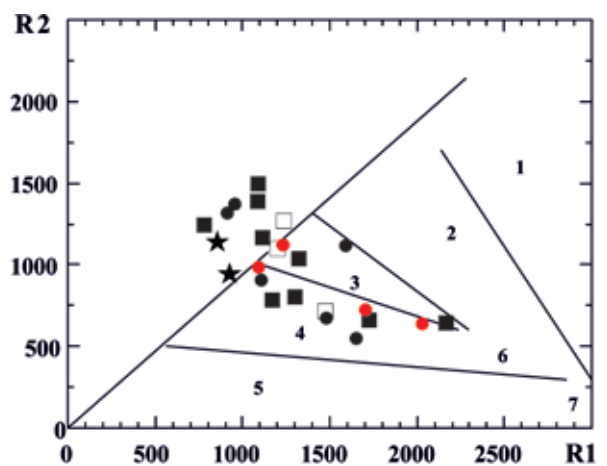


Рис. 8. Составы пород интрузивов Беспамятнинского и Моржовско-Убойнинского ареалов на дискриминационной диаграмме R1–R2 (R1: $4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti)$; R2: $6Ca + 2Mg + Al$) [22]

1 – мантийные фракционаты; 2–7 – гранитоиды: 2 – доколлизийные, 3 – постколлизийных поднятий, 4 – позднеорогенные, 5 – анорогенные, 6 – синколлизийные, 7 – посторогенные. Усл. обозн. см. на рис. 4

интрузивы выпадают из ряда интрузивов пестрого состава, несут устойчивые минералого-геохимические характеристики и свидетельствуют о формировании в условиях сжатия.

Необходима дальнейшая детализация палеогеодинамических реконструкций контуров Пангеи (северо-сибирской части) и Палеопацифики на позднепермско-раннетриасовое время с трапповым (суперплюмовым) магматизмом и средне-позднетриасовое, сопровождавшееся коллизионным орогенезом и становлением, в частности, интрузивов шошонит-латитовой серии. Последние процессы могут быть объяснены с позиций скольжения окраинноконтинентальных литосферных плит [20], приводящего к косоугольной коллизии и становлению кольцевых интрузивов с надсубдукционными метками в средне-позднетриасовое время.

Выводы. Проведенные петрографо-минералогические и петрогеохимические исследования типовых интрузивов на левобережье р. Беспаянная одноименного ареала Северного Таймыра показали, что они образованы ассоциацией пород от монцодиоритов, монцонитов до сиенитов, кварцевых сиенитов и граносиенитов. Биотит в этих породах высокотитанистый и высокобариевый. Амфибол представлен паргаситом, ферропаргаситом из группы Са-амфиболов с переходом к эдениту в кварцевых сиенитах. Клинопироксен относится к диопсиду, иногда – авгиту. Породы содержат от 52,33 до 67,62 % SiO₂, высокую сумму щелочей K₂O + Na₂O (более 8 %, в среднем 8,87 %), K₂O/Na₂O (более 1, в среднем 1,38) и Fe₂O₃/FeO (0,27–1,6, в среднем 0,91) и высокое содержание TiO₂ (0,34–1,27 %, в среднем 0,75 %). Магматиты обогащены LILE (Ba, Sr, Rb, K, Cs), LREE и такими летучими компонентами, как F, P₂O₅, характеризуются отрицательными геохимическими Ti и Ta-Nb аномалиями надсубдукционного генезиса и отвечают интрузивным аналогам шошонит-латитовой серии или шошонитовым гранитоидам (SH-типа).

Результаты U-Pb датирования цирконов из разных фаз интрузивных пород свидетельствуют об их образовании в посттрапповое время 241–233 млн лет назад (T₂₋₃) и близком к возрасту проявления главной фазы раннекиммерийской складчатости в горах Бырранга.

Выделение особого шошонит-латитового магматизма на Таймыре неплюмовой природы из многообразия малых интрузивов пестрого состава требует дальнейшего их изучения и, возможно, является одним из ключевых моментов в геодинамической истории раннекиммерийского тектогенеза.

Авторы весьма признательны зав. отделом петрологии ВСЕГЕИ М. В. Наумову за конструктивные замечания и консультации, позволившие существенно улучшить статью.

Работа подготовлена при финансовой поддержке Роснедра по Государственному контракту № АМ-02-34/14 от 10.06.2013.

1. Беззубцев В. В., Залылеев Р. М., Сакович А. Б. Геологическая карта Горного Таймыра. Масштаб 1 : 500 000. Объяснительная записка. – Красноярск, 1986. – 177 с.
2. Вакар В. А. Трапповая формация Таймыра // Петрография Восточной Сибири. Т. 1. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 256–340.
3. Верниковский В. А. Геодинамическая эволюция Таймырской складчатой области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1996. – 202 с.
4. Верниковский В. А. Раннетриасовые А-граниты Таймыра – результат Северо-Азиатского суперплюма / В. А. Верниковский, В. Л. Пиис, А. Е. Верниковская, А. П. Романов, Д. Дж. Джи, А. В. Травин // Докл. РАН. – 2001. – Т. 380, № 1. – С. 87–93.
5. Гулин С. А. О формировании щелочных и карбонатных метасоматитов Центрального Таймыра // Карбонатиты и щелочные породы севера Сибири. – Л.: НИИГА, 1970. – С. 170–184.
6. Даминова А. М. О роли кристаллизационной дифференциации и ассимиляции в образованиях пород базальтоидного комплекса Центрального Таймыра // Советская геология. – 1956. – № 51. – С. 75–91.
7. Добрецов Н. Л. Мезозойско-кайнозойский вулканизм и этапы геодинамической эволюции Центральной и Восточной Арктики / Н. Л. Добрецов, В. А. Верниковский, Ю. В. Карякин, Е. А. Кораго, В. А. Симонов // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 1126–1144.
8. Золотухин В. В. Особенности дифференцированного интрузива Тулай-Кирыка на Таймыре. – Новосибирск: Наука, 1990. – 110 с.
9. Кравченко С. М., Хаин В. Е. Глобальные структуры литосферы и мантийная конвекция / Докл. РАН. – 1996. – Т. 347, № 3. – С. 368–371.
10. Крупчатников В. И., Врублевский В. В., Крук Н. Н. Раннемезозойские лампроиты и монцонитоиды Юго-Востока Горного Алтая: геохимия, Sr-Nd изотопный состав, источники расплавов // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56, № 6. – С. 1057–1079.
11. Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. – М.: Недра, 1964. – 387 с.
12. Петров О. В. Раннемезозойские карбонатиты Восточного Таймыра / О. В. Петров, В. Ф. Проскурнин, А. В. Гавриш, И. Н. Мозолева, К. И. Лохов, Е. В. Толмачева, Б. С. Петрушков, А. А. Багаева // Региональная геология и металлогения. – 2010. – № 44. – С. 5–22.
13. Погребницкий Ю. Е. Палеотектонический анализ Таймырской складчатой системы. – Л.: Наука ЛО, 1971. – 248 с. (Тр. НИИГА; т. 166).
14. Проскурнин В. Ф. Два петрохимических ряда интрузивов палеозойско-мезозойской магматической активизации севера Таймыра / В. Ф. Проскурнин, Ю. Г. Рогозов, А. Ф. Хапилин, С. Б. Киреев // Петрология, рудоносность и корреляция магматических и метаморфических образований, флюидный режим эндогенных процессов: Тезисы докладов. – Иркутск: Институт земной коры СО АН СССР, 1985. – С. 172–179.
15. Проскурнин В. Ф. О происхождении карбонатитов Восточного Таймыра на основе изотопно-геохимического изучения цирконов / В. Ф. Проскурнин, О. В. Петров, Э. А. Багдасаров, М. И. Розинов, Е. В. Толмачева, А. Н. Ларионов, И. В. Бильская, А. В. Гавриш, И. Н. Мозолева, Б. С. Петрушков // Записки Российского минералогического общества. – 2010. – Ч. 139. – Вып. 1. – С. 19–36.
16. Проскурнин В. Ф. Минералогический анализ Таймыро-Североземельского региона и оценка его золотосодержащего потенциала: Автореферат диссертации доктора геол.-минерал. наук. – СПб., 2013. – 40 с.

17. Равич М. Г., Чайка Л. Г. Малые интрузии хребта Бырранга. — Л., 1959. — 148 с. (Тр. НИИГА; т. 88).
18. Романов А. П. Лампроиты и кимберлиты Горного Таймыра // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология / гл. ред. Д. А. Додин, В. С. Сурков. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. — С. 291–299.
19. Таусон Л. В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. — М.: Наука, 1977. — 278 с.
20. Ханчук А. И. Магматизм зон скольжения литосферных плит: новые данные и перспективы / А. И. Ханчук, Ю. А. Мартынов, А. Б. Перепелов, Н. Н. Крук // Вулканизм и геодинамика: Материалы IV Всерос. симп. по вулканологии и палеовулканологии. — Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. — Т. 1. — С. 32–37.
21. Шарпенко Л. Н., Костин А. Е., Кухаренко Е. А. TAS-диаграмма сумма щелочей — кремнезем для химической классификации и диагностики плутонических пород // Региональная геология и металлогения. — 2013. — № 56. — С. 40–50.
22. Batchelor R. A., Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters // *Chemical Geology*. — 1985. — Vol. 48. — P. 43–55.
23. Boynton W. V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies / Ed. by P. Henderson // *Rare earth element geochemistry*. — Elsevier, 1984. — P. 63–114.
24. Eklund O., Konopelko D., Ruttanen H. et al. 1.8 Ga Svecofennian post-collisional shoshonitic magmatism in the Fennoscandian shield // *Lithos*. — 1998. — Vol. 45. — P. 87–108.
25. Fowler M. B., Henney P. J. Mixed Caledonian appinite magmas: implications for lamprophyre fractionation and high Ba-Sr granite genesis // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. — 1996. — Vol. 126. — P. 199–215.
26. Frost B. R., Barnes C. G., Collins W. J. et al. A geochemical classification for granitic rocks // *Journal of Petrology*. — 2001. — Vol. 42, N 11. — P. 2033–2048.
27. Gill J. B. *The Plate Tectonic Connection* // *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. — Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1981. — Vol. 16. — 390 p.
28. Jiang Y.-H., Liu Z., Jia R.-Y. et al. Miocene potassic granite-syenite association in western Tibetan Plateau: implications for shoshonitic and high Ba-Sr granite genesis // *Lithos*. — 2012. — Vol. 134–135. — P. 146–162.
29. Leake B. E., Wooley A. R., Arps C. E. S. et al. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names // *Canadian Mineralogist*. — 1997. — Vol. 35. — P. 219–248.
30. McDonough W. F., Sun S.-S. The composition of the Earth // *Chemical Geology*. — 1995. — Vol. 120. — P. 223–253.
31. Sun S.-S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / Ed. by A. D. Saunders, M. J. Norry // *Magmatism in Ocean Basins*. — London: Geological Society Special Publications. — 1989. — P. 313–345.
32. Tarney J., Jones C. E. Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth models // *Journal of Geological Society*. — London, 1994. — Vol. 151. — P. 855–868.
33. Zhao J.-X., Kiraishi K., Ellis D. J. et al. Geochemical and isotopic studies from the Yamato Mountains, East Antarctica: Implications for the origin of syenitic magmas // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. — 1995. — Vol. 59, N. 7. — P. 1363–1382.
3. Vernikovskiy V. A. Geodinamicheskaya evolyutsiya Taymyrskoy skladchatoy oblasti [Geodynamic evolution of the Taimyr folded area]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, NITs OIGGM, 1996. 202 p.
4. Vernikovskiy V. A., Pii V. L., Vernikovskaya A. E., Romanov A. P., Dzhi D. Dzhi., Travin A. V. Early Triassic A-type granites of Taimyr — as a result of the North Asian Superplume. *Doklady RAN*. 2001. Vol. 380. No. 1, pp. 87–93. (In Russian).
5. Gulin S. A. About formation of alkaline and calcareous metamatites of the Central Taimyr. *Carbonatites and alkaline rocks of Northern Siberia*. Leningrad: NIIGA. 1970. Pp. 170–184. (In Russian).
6. Daminova A. M. About role of crystal differentiation and assimilation in genesis of basaltoid rocks suite of the Central Taimyr. *Sovetskaya geologiya*. 1956. No. 51, pp. 75–91. (In Russian).
7. Dobretsov N. L., Vernikovskiy V. A., Karyakin Yu. V., Korago E. A., Simonov V. A. Meso-Cenozoic volcanism and stages of geodynamic evolution of the Central and Eastern Arctic. *Geologiya i geofizika*. 2013. Vol. 54. No. 8, pp. 1126–1144. (In Russian).
8. Zolotukhin V. V. Osobennosti differentsirovannogo intruziva Tulay-Kiryaka na Taymyre [Peculiar properties of the differentiated intrusion Tulay-Kiryaka on Taimyr Peninsula]. Novosibirsk: Nauka. 1990. 110 p.
9. Kravchenko S. M., Khain V. E. Global structures of lithosphere and mantle convection. *Dokl. RAN*. 1996. Vol. 347. No. 3, pp. 368–371. (In Russian).
10. Krupchatnikov V. I., Vrublevskiy V. V., Kruk N. N. Early Mesozoic lamproites and monzonitoides of the South-Eastern Mountain Altay: geochemistry, Sr-Nd isotope composition, sources of the melt. *Geologiya i geofizika*. 2015. Vol. 56. No. 6, pp. 1057–1079. (In Russian).
11. Kuznetsov Yu. A. Glavnye tipy magmaticheskikh formatsiy [The main types of magmatic formations]. Moscow: Nedra. 1964. 387 p.
12. Petrov O. V., Proskurnin V. F., Gavrish A. V., Mozoleva I. N., Lokhov K. I., Tolmacheva E. V., Petrushkov B. S., Bagaeva A. A. Early Mesozoic carbonatites of the Eastern Taimyr. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*. 2010. No. 44, pp. 5–22. (In Russian).
13. Pogrebitskiy Yu. E. Paleotektonicheskiy analiz Taymyrskoy skladchatoy sistemy [Paleotectonic analysis of the Taimyr fold system]. Leningrad: Nauka. 1971. 248 p.
14. Proskurnin V. F., Rogozov Yu. G., Khapilin A. F., Kireev S. B. Two petrochemical types of the Northern Taimyr Paleozoic-Mesozoic magmatic activation intrusions. *Petrology, mineralization and correlation of magmatic and metamorphic rocks, fluid conditions of endogenous processes: Abstracts*. Irkutsk: Institut zemnoy kory SO AN SSSR. 1985. Pp. 172–179. (In Russian).
15. Proskurnin V. F., Petrov O. V., Bagdasarov E. A., Rozinov M. I., Tolmacheva E. V., Larionov A. N., Bil'skaya I. V., Gavrish A. V., Mozoleva I. N., Petrushkov B. S. About the formation of the Eastern Taimyr carbonatites on the base of zircons isotope-geochemical study. *Notes of the Russian Mineralogical Society*. 2010. Pt. 139. Iss. 1, pp. 19–36. (In Russian).
16. Proskurnin V. F. Mineragenic analysis of Taimyr-Severozemelsky region and estimation of its gold mineralization potential. *Doct. Diss. (Geology)*. St. Petersburg. 2013. 40 p. (In Russian).
17. Ravich M. G., Chayka L. G. Malye intruzii khrebta Byranga [Minor intrusions of the Byranga mountain ridge]. Leningrad. 1959. 148 p.
18. Romanov A. P. Lamproites and kimberlites of the Mountain Taimyr. *Russian Arctic: geological history, mineralogy, geoecology*. Chief editors D. A. Dodin, V. S. Surkov. St. Petersburg: VNIIOkangeologiya. 2002. Pp. 291–299. (In Russian).
19. Таусон Л. В. Геохимические типы и потенциал'ная рудоносность гранитоидов [Geochemical types and potential mineralization of granitoids]. Moscow: Nauka. 1977. 278 p.
1. Bezzubtsev V. V., Zalyaleev R. M., Sakovich A. B. *Geologicheskaya karta Gornogo Taymyra. Masshtab 1 : 500 000. Ob'yasnitel'naya zapiska* [Geological Map of the Mountain Taimyr. Scale 1:500,000. Explanatory note]. Krasnoyarsk. 1986. 177 p.
2. Vakar V. A. Trappovay formation of Taimyr. *Petrography of Eastern Siberia*. Moscow: Izd-vo AN SSSR. 1962. Vol. 1. Pp. 256–340. (In Russian).

20. Khanchuk A. I., Martynov Yu. A., Perepelov A. B., Kruk N. N. Magmatism of lithospheric plates sliding zones: new data and perspectives. *Materials of the IV All-Russian symposium on volcanology and paleovolcanology*. Petropavlovsk-Kamchat-skiy: IViS DVO RAN. 2009. Vol. 1, pp. 32–37. (In Russian).
21. Sharpenok L. N., Kostin A. E., Kukharensko E. A. TAS-diagram of the sum of alkalis – silicon dioxide for the chemical classification and identification of plutonic rocks. *Региональная геология и металлогения*. 2013. No. 56, pp. 40–50. (In Russian).
22. Batchelor, R. A., Bowden, P. 1985: Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*. 48. 43–55.
23. Boynton, W. V. 1984: Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In Henderson, P. (ed.): *Rare earth element geochemistry*. Elsevier. 63–114.
24. Eklund, O., Konopelko, D., Ruttanen, H. et al. 1998: 1.8 Ga Svecofennian post-collisional shoshonitic magmatism in the Fennoscandian shield. *Lithos*. 45. 87–108.
25. Fowler, M. B., Henney, P. J. 1996: Mixed Caledonian appinite magmas: implications for lamprophyre fractionation and high Ba-Sr granite genesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 126. 199–215.
26. Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J. et al. 2001: A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*. 42. 11. 2033–2048.
27. Gill, J. B. 1981: The Plate Tectonic Connection. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. 16. 390.
28. Jiang, Y.-H., Liu, Z., Jia, R.-Y. et al. 2012: Miocene potassic granite-syenite association in western Tibetan Plateau: implications for shoshonitic and high Ba-Sr granite genesis. *Lithos*. 134–135. 146–162.
29. Leake, B. E., Wooley, A. R., Arps, C. E. S. et al. 1997: Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names. *Canadian Mineralogist*. 35. 219–248.
30. McDonough, W. F., Sun, S.-S. 1995: The composition of the Earth. *Chemical Geology*. 120. 223–253.
31. Sun, S.-S., McDonough, W. F. 1989: Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Saunders, A. D., Norry, M. J. (eds.): *Magmatism in Ocean Basins*. London: Geological Society Special Publications. 313–345.
32. Tarney, J., Jones, C. E. 1994: Trace element geochemistry of orogenic igneous rocks and crustal growth models. *Journal Geological Society*. London. 151. 855–868.
33. Zhao, J.-X., Kiraishi, K., Ellis, D. J. et al. 1995: Geochemical and isotopic studies from the Yamato Mountains, East Antarctica: Implications for the origin of syenitic magmas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 59. 7. 1363–1382.

Проскурнина Мария Анатольевна – геолог, ВСЕГЕИ¹. <Maria_Kurochkina@vsegei.ru>

Проскурнин Василий Федорович – доктор геол.-минерал. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ¹. <Vasily_Proskurnin@vsegei.ru>

Ремизов Дмитрий Николаевич – доктор геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹.

<Dmitry_Remizov@vsegei.ru>

Ларионов Александр Николаевич – канд. геол.-минерал. наук, ст науч. сотрудник, Центр изотопных исследований ВСЕГЕИ¹. <Alexander_Larionov@vsegei.ru>

Proskurnina Maria Anatol'evna – Geologist, VSEGEI¹. <Maria_Kurochkina@vsegei.ru>

Proskurnin Vasily Fedorovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Department, VSEGEI¹.

<Vasily_Proskurnin@vsegei.ru>

Remizov Dmitry Nikolaevich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI¹.

<Dmitry_Remizov@vsegei.ru>

Larionov Alexander Nikolaevich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Center of Isotopic Research VSEGEI¹. <Alexander_Larionov@vsegei.ru>

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.