

УДК: 24.550

ГРАНИТОИДНЫЙ МАГМАТИЗМ ОБЛАСТИ СОЧЛЕНЕНИЯ СЕВЕРНОГО И ГЛАВНОГО БАТОЛИТОВЫХ ПОЯСОВ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. М. В. Лучицкая^{1,*}, М. В. Герцева²,
член-корреспондент РАН С. Д. Соколов¹, И. В. Сысоев²

Поступило 05.04.2024 г.

После доработки 03.05.2024 г.

Принято к публикации 08.05.2024 г.

Представлены новые U–Th–Pb (SIMS)-геохронологические, петро-геохимические и Sr–Nd-изотопные данные для гранитоидов трёх плутонических комплексов (саханьинского, омчикандинского и арга-эмнекенского), распространённых в области сочленения двух крупных батолитовых поясов Верхояно-Колымской складчатой области, Главного и Северного. Установлен валанжин-готеривский возраст гранитоидов всех трёх комплексов. Показано сходство гранитов и лейкогранитов омчикандинского и саханьинского комплексов с I-S-типом гранитов, а гранитоидов арга-эмнекенского — с гранитами I-типа. Особенности петро-геохимического состава гранитоидов указывают на метаосадочный источник для гранитов и лейкогранитов омчикандинского и саханьинского комплексов и метамагматический (амфиболитовый) для гранитоидов арга-эмнекенского комплекса. Sr–Nd-изотопные данные показывают, что гранитоиды выплавлялись из различных коровых источников, в которых присутствовала разная доля зрелого материала континентальной коры. Совокупность геологических и полученных новых геохронологических, петро-геохимических и изотопных данных позволяет предполагать коллизионную обстановку их формирования на завершающем валанжин-готеривском этапе коллизии Колымо-Омолонского микроконтинента и Сибирского континента.

Ключевые слова: гранитоиды, Главный и Северный батолитовые пояса, циркон, коллизия, Колымо-Омолонский микроконтинент, Сибирский континент, Верхояно-Колымская складчатая область, ранний мел

DOI: 10.31857/S2686739724090112

Северный и Главный пояса гранитоидов субширотного и субмеридионального простирания маркируют коллизионную структуру Верхояно-Колымской складчатой области, сформированную в результате столкновения Сибирского континента и Колымо-Омолонского микроконтинента на рубеже поздней юры—раннего мела [7, 9]. Несмотря на длительную историю изучения гранитоидных комплексов Северного и Главного батолитовых поясов продолжается дискуссия о возрасте основных этапов и геодинамической обстановке формирования гранитоидного магматизма [7, 9, 13]. Обобщение

геохронологических U–Pb SIMS-данных по гранитоидам обоих батолитовых поясов указывает на интервал возрастов 158–144 млн лет с пиком 150±3 и 140–129 млн лет для гранитоидов Главного и Северного поясов соответственно [1, 13]. Геодинамическая природа гранитоидов Главного пояса многими авторами рассматривается как коллизионная [3, 7, 9–11]. Однако в последнее время появляются альтернативные модели, предполагающие окраинно-континентальное происхождение гранитоидов на основании совпадения возрастов (U–Pb SIMS) гранитоидов и вулканитов среднего–кислого состава Уяндино-Ясачненского вулканического пояса, протягивающегося восточнее и параллельно Главному батолитовому поясу, их пространственного совмещения и геохимических особенностей гранитоидов [5, 13]. Гранитоиды Северного пояса относят либо к надсубдукционным образованиям,

¹Геологический институт Российской Академии наук, Москва, Россия,

²Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Московский филиал, Москва, Россия

*E-mail: luchitskaya@ginras.ru

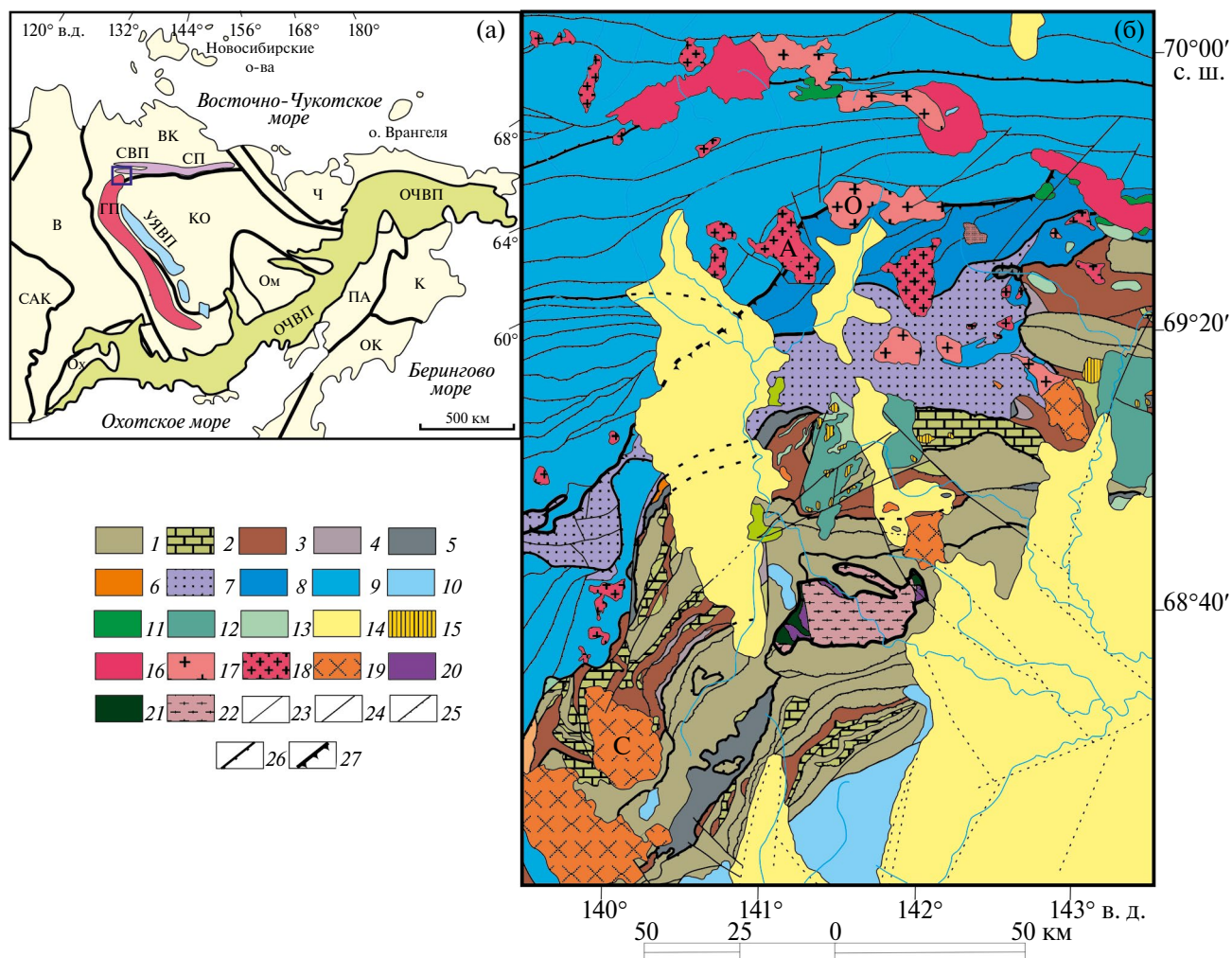


Рис. 1. Схема орогенных поясов (по данным [8], с изменениями) (а) и геологическая карта области сочленения Главного и Северного батолитовых поясов, Верхояно-Колымская складчатая область, (по данным [4], с изменениями) (б). (а) В — Верхоянский складчатый-надвиговый пояс. *Орогенные пояса:* ВК — Верхояно-Колымский, Ч — Чукотский; ЮА — Южно-Ануйский; К — Корякский; ПА — Пенжинско-Анадырский; ОК — Олюторско-Камчатский. САК — Северо-Азиатский кратон. *Кратонные террейны:* Ох — Охотский; ОМ — Омолонский. КО — Колымо-Омолонский супертеррейн. *Вулканические пояса:* УЯВП — Уяндино-Ясачненский, ОЧВП — Охотско-Чукотский, ГП — Главный батолитовый; СП — Северный батолитовый, СВП — Северный вулканоплутонический. (б) 1 — терригенно-карбонатные отложения ордовика; 2 — терригенно-карбонатные отложения силура; 3 — карбонатные отложения нижнего-среднего девона; 4 — терригенно-карбонатные отложения верхнего девона — нижнего карбона; 5 — вулканогенно-терригенные отложения карбона; 6 — кремнистые отложения перми; 7 — терригенные отложения верхнего триаса; 8 — туфотерригенные отложения нижней юры; 9 — терригенные отложения средней юры; 10 — туфогенно-терригенно-вулканогенные отложения основного, среднего, кислого состава верхней юры; 11 — туфогенно-вулканогенные отложения среднего-кислого состава нижнего мела (тумусская толща); 12 — вулканогенные отложения основного-среднего-кислого состава нижнего мела (джахтардахская свита); 13 — туфогенно-вулканогенные отложения кислого состава нижнего мела (сасыл-тиннахская толща); 14 — неоген-четвертичные отложения; 15 — экструзивные купола трахиандезитов позднего мела; 16–19 — раннемеловые интрузии: 16 — эликчанского комплекса, 17 — омчикандинского комплекса, 18 — арга-эмнекенского комплекса, 19 — саханьинского комплекса; 20, 21 — Калгынский офиолитовый массив: 20 — дуниты-гарцбургиты, 21 — габбро-амфиболиты, амфиболиты; 22 — палеозойские (?) отложения — сланцы, амфиболиты, гнейсы, кварциты, мраморы; 23 — геологические границы; 24–27 — разломы: 24 — взбросы, сбросы, 25 — второстепенные надвиги, 26 — главные надвиги, 27 — шарьяжи. Буквами обозначены массивы: А — Арга-Эмнекенский, О — Омчикандинский, С — Саханьинский.

либо связывают их внедрение с обстановкой растяжения после закрытия Оймяконского океана и коллизии Сибирского континента и Колымо-Омолонского микроконтинента, возможно в режиме трансформной окраины [6, 13, 17, 20].

Северный пояс раннемеловых гранитоидных батолитов простирается на ~600 км вдоль северной окраины Колымо-Омолонского супертеррейна и образует две ветви, северо- и юго-западную, расходящиеся в западном направлении (рис. 1 а). Гранитоиды и пространственно ассоциирующие с ними одновозрастные раннемеловые вулканиты и субвулканические образования северо-западной ветви были отнесены авторами статьи к Северному вулcano-плутоническому поясу и становление гранитоидов связывалось и постколлизийным растяжением [6].

Целью данной статьи является анализ новых полученных данных U–Pb SIMS-датирования, петро-геохимического и изотопного состава гранитоидов области сочленения Северного и Главного батолитовых поясов, включающей юго-западную ветвь Северного пояса и северную часть Главного для установления геодинамической обстановки формирования гранитоидного магматизма в контексте позднеюрско-раннемеловой тектоно-магматической эволюции Верхояно-Колымских мезозоид.

ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В рассматриваемой в статье области сочленения Северного и Главного батолитовых поясов присутствуют массивы трёх раннемеловых гранитоидных комплексов: омчикандинского лейкогранит-гранитового, арга-эмнекенского гранит-диорит-гранодиоритового и саханьинского гранит-лейкогранитового.

Гранитоиды омчикандинского комплекса образуют серию массивов, самый крупный из которых петротипический Омчикандинский массив площадью около 250 км² (рис. 1 б). Гранитоиды массивов прорывают и метаморфизуют триасовые и юрские терригенные отложения (рис. 1 б). Породы комплекса представлены биотитовыми, реже амфибол-содержащими гранитами, которые в эндоконтактах переходят в мелкозернистые граниты и гранит-порфиры, а также лейкогранитами. Жильные образования — аплиты и пегматиты.

Гранитоиды омчикандинского комплекса прорываются гранитоидами эликчанского комплекса с возрастом 121–125 млн лет (рис. 1) [6].

Гранитоиды арга-эмнекенского комплекса входят в состав большого числа массивов, образующих ряды северо-западного простираения, петротипическим является Арга-Эмнекенский массив, имеющий площадь выхода гранитоидов в современном эрозионном срезе около 160 км² (рис. 1 б). Массивы сложены биотит-амфиболовыми, пироксен-биотит-амфиболовыми гранодиоритами, биотитовыми и роговообманково-биотитовыми гранитами, кварцевыми диоритами, диоритами. Гранитоиды секутся дайками кварцевых диоритов, гранодиоритов, гранодиорит-порфиров, аплитовидных гранитов, аплитов. В Арга-Эмнекенском и других массивах установлено, что породы от кварцевых диоритов до гранитов связаны постепенными переходами.

Гранитоиды саханьинского комплекса локализованы в северной части Главного батолитового пояса. Петротипический Саханьинский массив представляет собой крупный лакколитоподобный плутон с площадью выхода около 420 км², в плане имеет очертания овала с северо-западной ориентировкой большой оси (рис. 1 б). Гранитоиды комплекса представлены биотитовыми амфибол-содержащими, биотитовыми гранитами, лейкогранитами, редко гранодиоритами. С ними ассоциируют дайки аплитовидных гранитов, аплитов и жилы пегматитов.

Гранитоиды арга-эмнекенского и саханьинского комплексов прорывают и метаморфизуют палеозойские, триасовые и юрские отложения (рис. 1 б).

В магнитном поле и поле силы тяжести крупные массивы всех комплексов выражены отрицательными магнитными аномалиями интенсивностью до –50 нТл и отрицательными аномалиями силы тяжести от –50 до –80 мГал соответственно [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выделение циркона проводилось в ГИН РАН по стандартной методике с использованием тяжёлых жидкостей. Геохронологические исследования локальным U–Th–Pb-методом (SIMS, SHRIMP-II) выполнены в Центре изотопных исследований Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского по методике, описанной в [16].

Цирконы выделены из 3 образцов гранодиоритов и кварцевых диоритов арга-эмнекенского

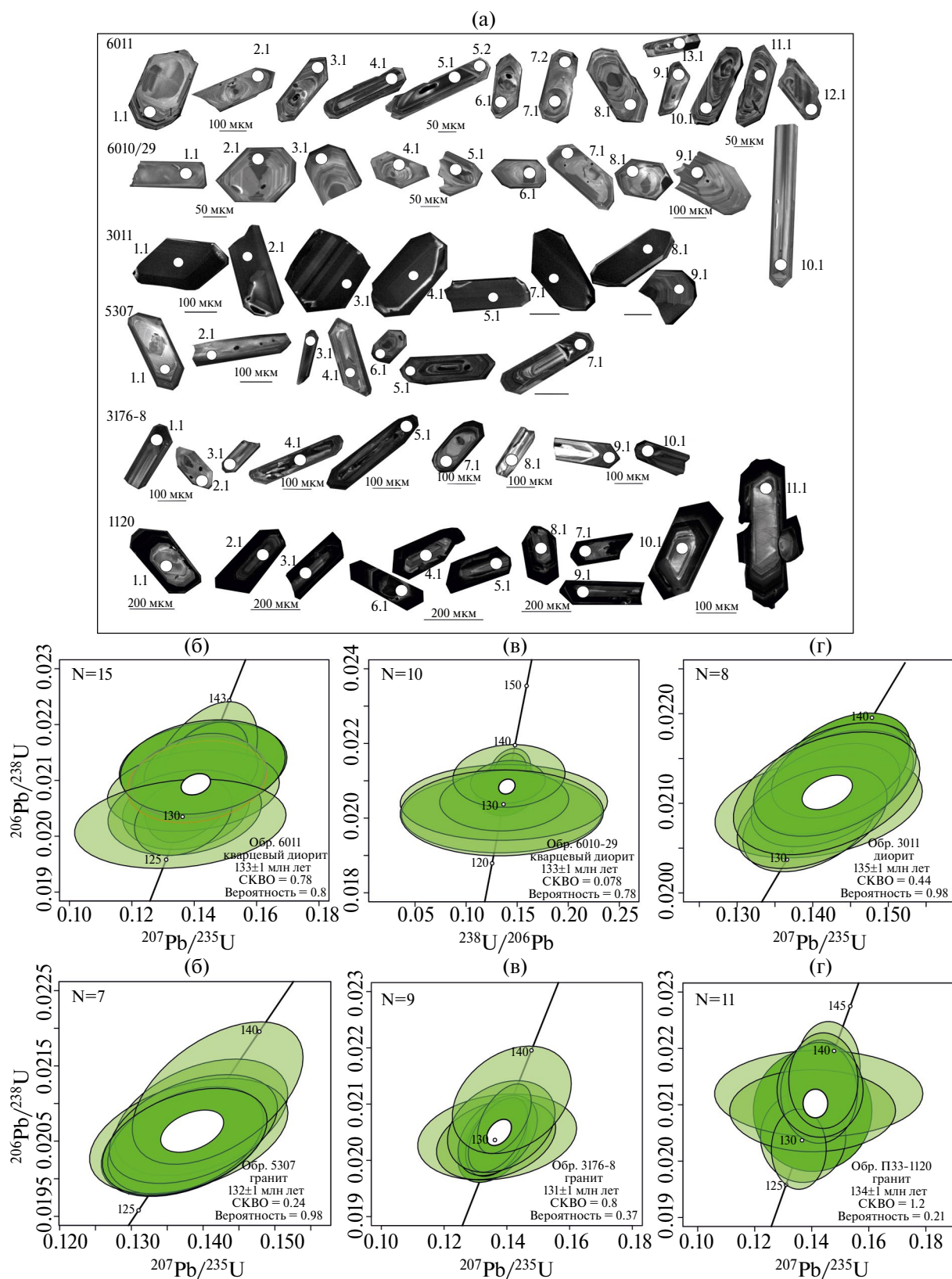


Рис. 2. Микрофотографии кристаллов циркона в режиме катодолуминесценции (а) и диаграммы с конкордией (б–ж) для циркона из гранитоидов арга-эмнекенского (обр. 6011, 6010-29, 3011), омчикандинского (обр. 5307, 3176-8) и саханьинского (обр. П33-1120) комплексов. Номера точек соответствуют номерам в таблице 1.

комплекса, 2 образцов гранитов омчикандинского комплекса и 1 образца гранита саханьинского комплекса.

Кристаллы циркона из гранитоидов всех массивов на микрофотографиях, выполненных в режиме катодолюминесценции, обладают коротко- и длиннопризматическим габитусом, размеры кристаллов варьируют от 120 до 520 мкм (Кудл = 1.5–6) (рис. 2 а). Циркон характеризуется хорошо выраженной осцилляторной зональностью, а величина Th/U-отношения изменяется от 0.23 до 0.7 (табл. 1), что свойственно цирконам магматического генезиса [15]. Унаследованные древние ядра в цирконе не выявлены.

Конкордатные возрасты циркона из кварцевых диоритов и диоритов арга-эмнекенского комплекса составляют 135 ± 1 , 133 ± 1 млн лет; гранитов омчикандинского комплекса — 132 ± 1 млн лет, гранита саханьинского комплекса — 134 ± 1 млн лет (рис. 2 б, табл. 1). Ранее гранитоиды саханьинского комплекса из других массивов

были датированы (U–Pb SIMS) в интервале 135 ± 1 – 140 ± 1 млн лет [4]. Полученные оценки возраста для гранитоидов всех трёх комплексов рассматриваются как возрасты кристаллизации циркона, отражают возраст пород и соответствуют раннему мелу (валанжину–началу готерива).

ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГРАНИТОИДОВ

Анализ породообразующих элементов и элементов-примесей осуществлялся в аккредитованной Центральной лаборатории ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского.

Гранитоиды омчикандинского комплекса по соотношению суммы щелочей и кремнезёма относятся к породам нормальной щёлочности, гранитам и лейкогранитам, редко гранодиоритам, а гранитоиды саханьинского комплекса — к лейкогранитам и умеренно-щелочным

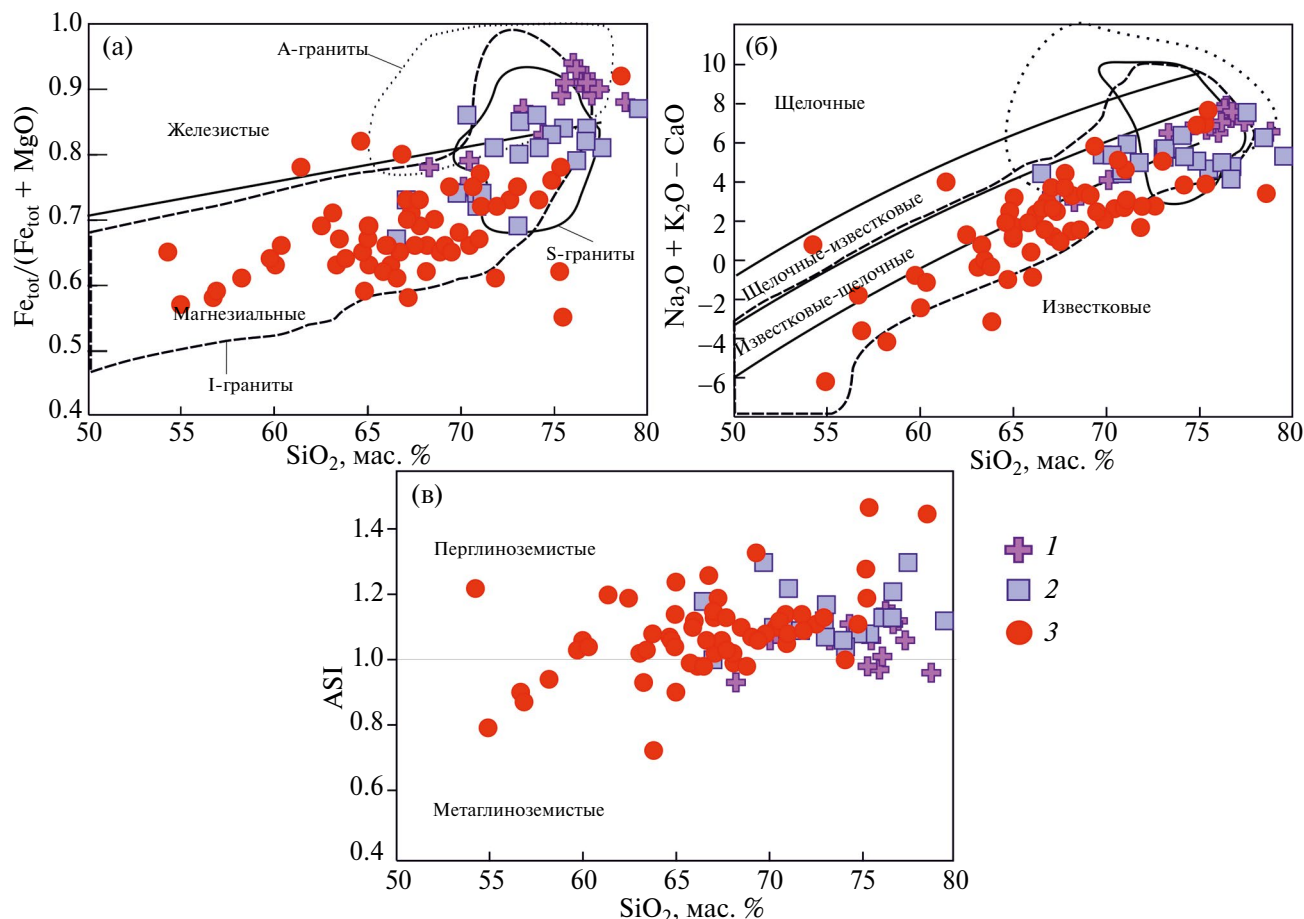


Рис. 3. Диаграммы $FeO_{tot}/(FeO_{tot} + MgO)$ – SiO_2 (а), $Na_2O + K_2O - CaO$ – SiO_2 (б), ASI – SiO_2 (в) для гранитоидов саханьинского, омчикандинского и арга-эмнекенского комплексов. 1–3 — гранитоиды: 1 — саханьинского, 2 — омчикандинского, 3 — арга-эмнекенского комплексов.

лейкогранитам (табл. 1S; дополнительные материалы размещены в электронном виде по DOI статьи). Гранитоиды арга-эмнекенского комплекса отличаются более широким набором пород нормальной и низкой щёлочности от диоритов кварцевых диоритов до гранитов, лейкогранитов. Гранитоиды омчикандинского и саханьинского комплексов являются преимущественно высококалиевыми породами, а гранитоиды арга-эмнекенского — умеренно- и высококалиевыми. По нормативному составу породы омчикандинского и саханьинского комплексов являются корунд-нормативными, а породы арга-эмнекенского — диопсид-нормативными.

Согласно классификации Б.Р. Фроста с соавторами (2001), гранитоиды омчикандинского и саханьинского комплексов относятся к магнезиальным и железистым ($Fe^* = 0.62–0.93$), известковым и известково-щелочным образованиям, характеризуются преимущественно повышенной глинозёмистостью ($ASI = 1.00–1.32$) (рис. 3). Гранитоиды арга-эмнекенского комплекса соответствуют преимущественно магнезиальным ($Fe^* = 0.61–0.78$), известковым и известково-щелочным образованиям, для них характерна как низкая, так и повышенная глинозёмистость ($ASI = 0.92–1.16$) (рис. 3).

Граниты и лейкограниты омчикандинского комплекса имеют фракционированные

распределения РЗЭ с обогащением ЛРЗЭ, горизонтальным распределением ТРЗЭ, ($La_N/Yb_N = 4.02–14.46$; $Gd_N/Yb_N = 1.08–1.70$) и отрицательной Eu-аномалией ($Eu/Eu^* = 0.14–0.57$) (рис. 4 а). Распределение РЗЭ сходно с таковым для коллизионных гранитоидов [2]. Распределение РЗЭ гранитов и лейкогранитов саханьинского комплекса отличается более глубокой отрицательной Eu-аномалией ($Eu/Eu^* = 0.05–0.64$) (рис. 4б), отражающей процесс фракционирования плагиоклаза. Гранитоиды арга-эмнекенского комплекса характеризуются фракционированным распределением РЗЭ ($La_N/Yb_N = 6.04–20.9$) с обогащением ЛРЗЭ, деплетированием ТРЗЭ и слабо выраженной отрицательной Eu-аномалией ($Eu/Eu^* = 0.68–0.93$) (рис. 4в), сходным с таковым субдукционных гранитоидов [2].

Спайдер-диаграммы гранитов и лейкогранитов омчикандинского и саханьинского комплексов характеризуются обогащением крупноионными литофильными элементами (КИЛ) относительно высоkozарядных и минимумами Ba, Nb, Ta, Sr, P, Ti (рис. 4 г, д). Спайдер-диаграммы гранитоидов арга-эмнекенского комплекса отличаются меньшей степенью обогащения КИЛ-элементами и менее глубокими минимумами по тем же элементам (рис. 4 е). Граниты и лейкограниты омчикандинского и саханьинского

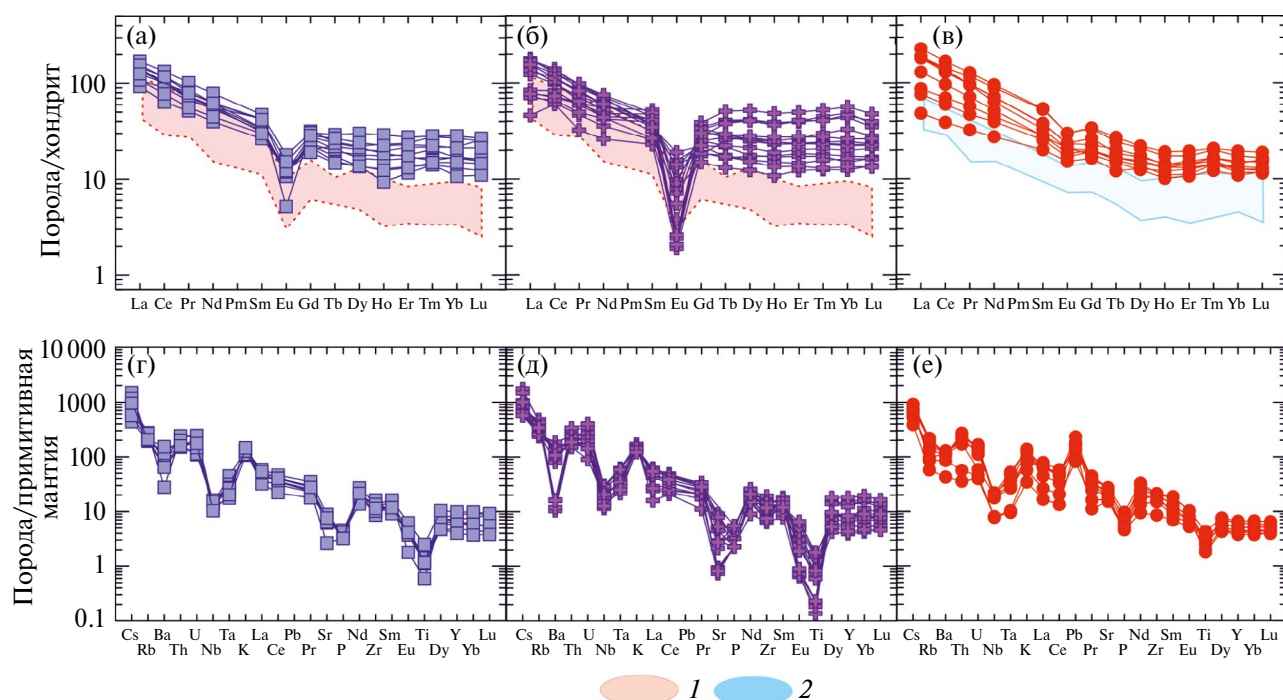


Рис. 4. Хондрит-нормализованные распределения РЗЭ (а–в) и спайдерграммы редких элементов, нормированных на состав примитивной мантии, (г–е) гранитоидов саханьинского, омчикандинского и арга-эмнекенского комплексов. 1, 2 — гранитоиды по [1]: 1 — коллизионные, 2 — субдукционные.

комплексов имеют более высокие отношения Rb/Zr и Rb/Hf , чем гранитоиды арга-эмнекенского комплекса, свойственные коллизионным гранитам.

На диаграмме $F1-F2$ [2], разделяющей гранитоиды в связи с геодинамической обстановкой формирования точки составов гранитоидов всех комплексов расположены преимущественно в поле коллизионных гранитов (рис. 5а). На аналогичных диаграммах $Hf-Rb/30-Ta*3$ и $Rb-Y+Nb$ точки составов гранитов и лейкогранитов омчикандинского и саханьинского комплексов приурочены к границе полей син- и

постколлизийных гранитов, а гранитоиды арга-эмнекенского комплекса — к полям островодужных и постколлизийных (рис. 5 б, в).

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ Sr И Nd

Изотопный состав Sr и Nd был определён в Центре изотопных исследований ФГБУ Всероссийского научно-исследовательского института им. А.П. Карпинского на термоионизационном масс-спектрометре TRITON.

Гранитоиды всех комплексов характеризуются отрицательными рассчитанными значениями

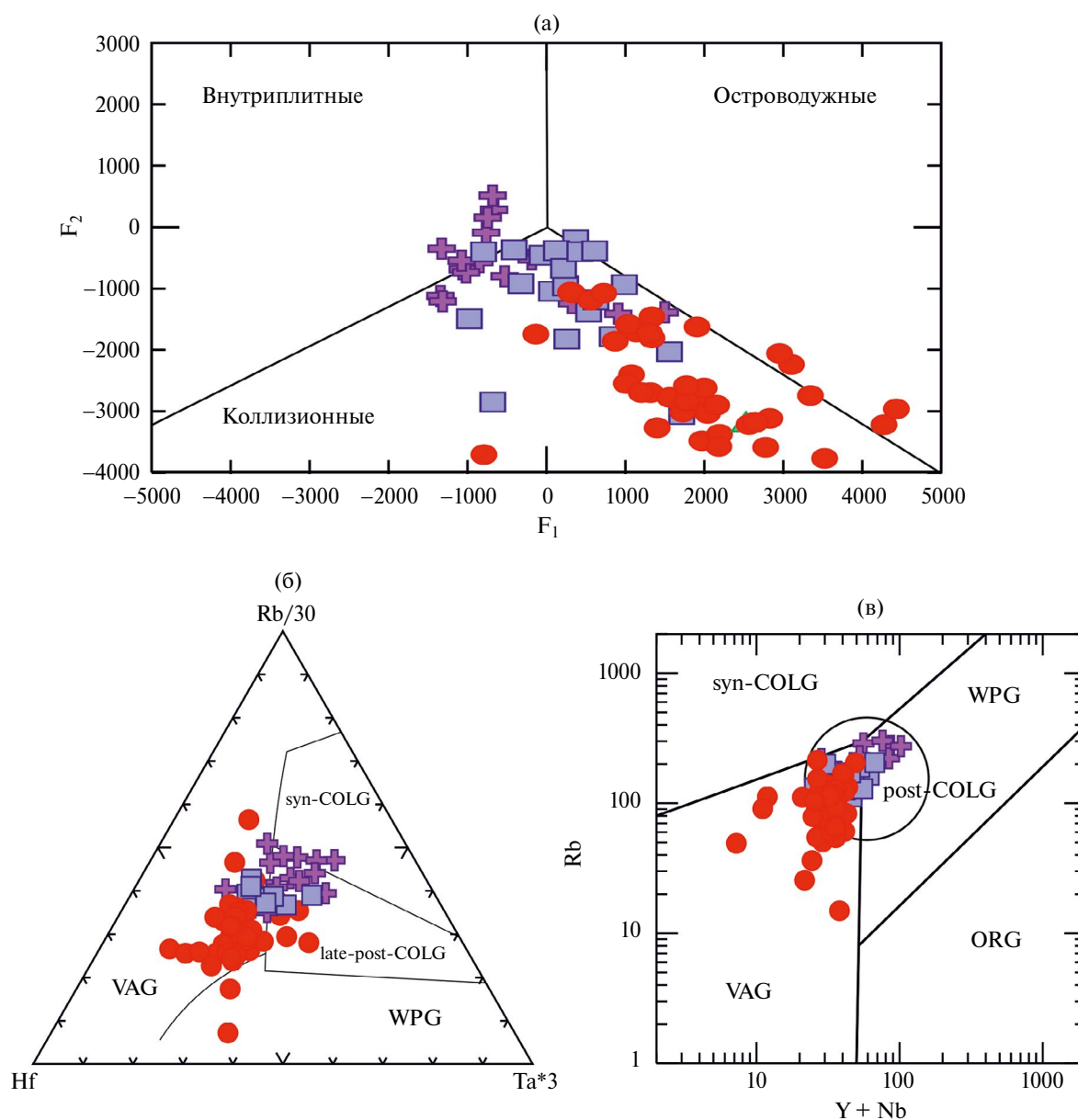


Рис. 5. Диаграммы $F1-F2$ (а) [2], $Hf-Rb/30-Ta*3$ (б), $Rb-Y+Nb$ (в) для гранитоидов саханьинского, омчикандинского и арга-эмнекенского комплексов. Условные обозначения см. рис. 3.

$\epsilon_{Nd}(T)$ в интервале от -0.95 до -4.15 , за исключением лейкогранита саханьинского комплекса, имеющего значение $\epsilon_{Nd}(T) -11.58$ и гранодиорита арга-эмнекенского комплекса с небольшим положительным значением $\epsilon_{Nd}(T) 0.24$ (табл. 2). $T_{Nd}(DM-2st)$ -модельные возрасты для гранитоидов саханьинского, омчикандинского и арга-эмнекенского комплексов близки, составляют 951–1219, 981–1190; 920–1287 млн лет и отвечают неопротерозою–мезопротерозою. Единственный палеопротерозойский $T_{Nd}(DM-2st)$ -модельный возраст имеет упомянутый выше лейкогранит саханьинского комплекса. Рассчитанные первичные отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в гранитоидах можно использовать только для тех образцов, в которых отношение $^{87}Rb/^{86}Sr$ не превышает 1.0; они варьируют от 0.70607 до 0.70706 (табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Новые U–Pb-оценки возраста по цирконам, в совокупности с полученными ранее, для гранитоидов омчикандинского, саханьинского и арга-эмнекенского комплексов показывают, что они внедрялись в валанжин-готеривское время (131–140 млн лет), соответствующее завершающему этапу коллизии Колымо-Омолонского микроконтинента и Сибирского континента [3].

Сопоставление изученных гранитоидов с петро-геохимическими типами гранитов показывает, что граниты и лейкограниты омчикандинского и саханьинского комплексов имеют

ряд черт, характерных для гранитов S-типа, такие как высокая глинозёмистость, отсутствие роговой обманки среди темноцветных минералов, наличие нормативного корунда, высокие содержания Rb и низкие Sr, при варьирующих содержаниях P_2O_5 , Rb/Zr, Rb/Hf, соотношение индикаторных CaO/Na_2O и Al_2O_3/TiO_2 [19]. Однако в них отсутствуют мусковит и кордиерит, поэтому правильнее относить их к I-S типу гранитов, учитывая рассмотренные ниже изотопные характеристики. Гранитоиды арга-эмнекенского комплекса сопоставляются с гранитами I-типа. Они отличаются широким рядом пород от кварцевых диоритов до гранитов, являются преимущественно магнезиальными, мета- или умеренно-глинозёмистыми, имеют роговую обманку и редко пироксен среди темноцветных минералов, для них характерны высокие содержания CaO, Sr, Ba, V, Cr, умеренные и пониженные Zr, Nb.

Составы биотитов из гранитоидов всех комплексов также подчеркивают различие гранитов и лейкогранитов омчикандинского, саханьинского комплексов и гранитоидов арга-эмнекенского комплекса. Первые имеют сходство с биотитами перглинозёмистых гранитов, включающих граниты S-типа, а вторые — с биотитами известково-щелочных гранитов I-типа (рис. 6 а, б).

Особенности химического состава гранитоидов и анализ диаграмм с использованием главных и редких элементов для оценки возможного протолита гранитоидных магм, позволяют

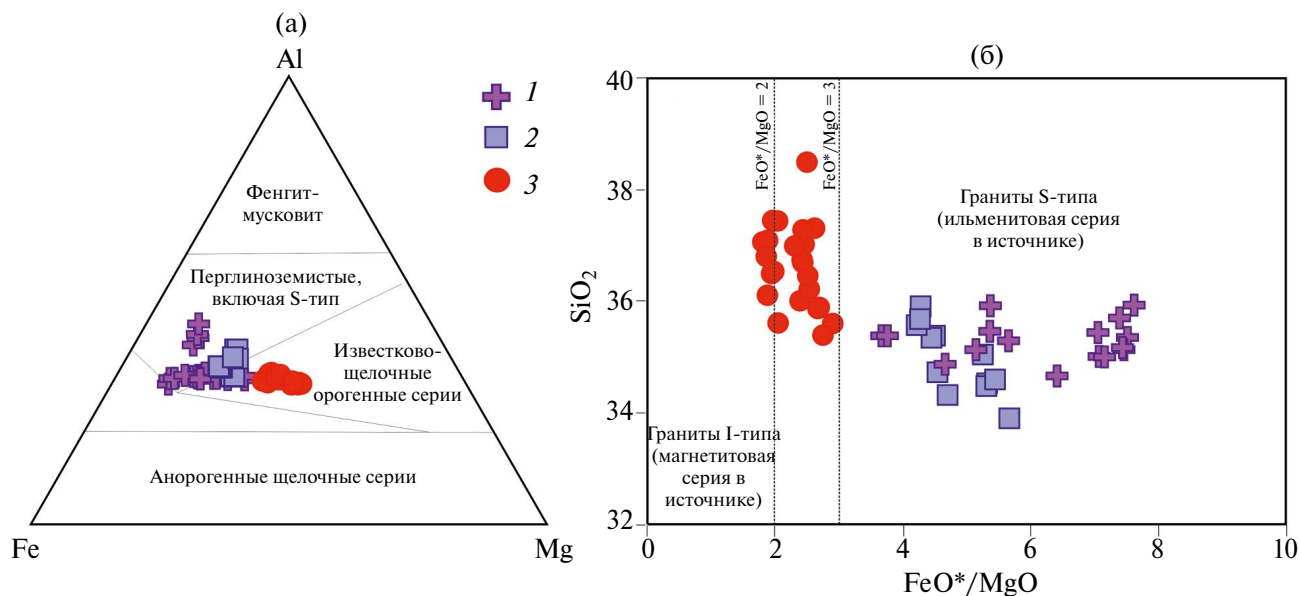


Рис. 6. Диаграммы Fe–Al–Mg ф.е.(а) [11] и SiO_2 – FeO^*/MgO мас. % (б) [17] для биотитов из гранитоидов саханьинского, омчикандинского и арга-эмнекенского комплексов. Условные обозначения см. рис. 3.

предполагать метаосадочный источник для гранитов и лейкогранитов омчикандинского и саханьинского комплексов и метамагматический (амфиболитовый) для гранитоидов арга-эмнекенского комплекса (рис. 7 а, б). Исходя из различных соотношений Rb/Sr и Rb/Ba в гранитах и лейкогранитах саханьинского комплекса метаосадочный источник мог быть как обогащённый глинистыми минералами, так и обеднённый ими; для гранитов омчикандинского комплекса предполагается обеднённый глинистыми минералами метаосадочный источник (рис. 7 г). Частичное плавление метаосадочного протолита (биотитовых гнейсов) могло происходить в водонасыщенных условиях (рис. 7 в).

Преимущественно отрицательные величины $\epsilon_{Nd}(T)$ для гранитоидов всех комплексов в

интервале от -0.95 до -4.15 , умеренные величины первичных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, пограничные между характерными для гранитов I- и S-типов, нео-мезопротерозойские модельные возрасты гранитоидов свидетельствуют о том, что они выплавлялись из различных коровых источников с разной долей зрелого материала континентальной коры. Наиболее низкие отрицательные величины $\epsilon_{Nd}(T)$ -11.58 , полученные для лейкогранита саханьинского комплекса могут свидетельствовать о метapelитовом источнике для части гранитов этого комплекса.

Таким образом, совокупность полученных данных для гранитоидов омчикандинского, саханьинского и арга-эмнекенского комплексов позволяет предполагать коллизионную обстановку

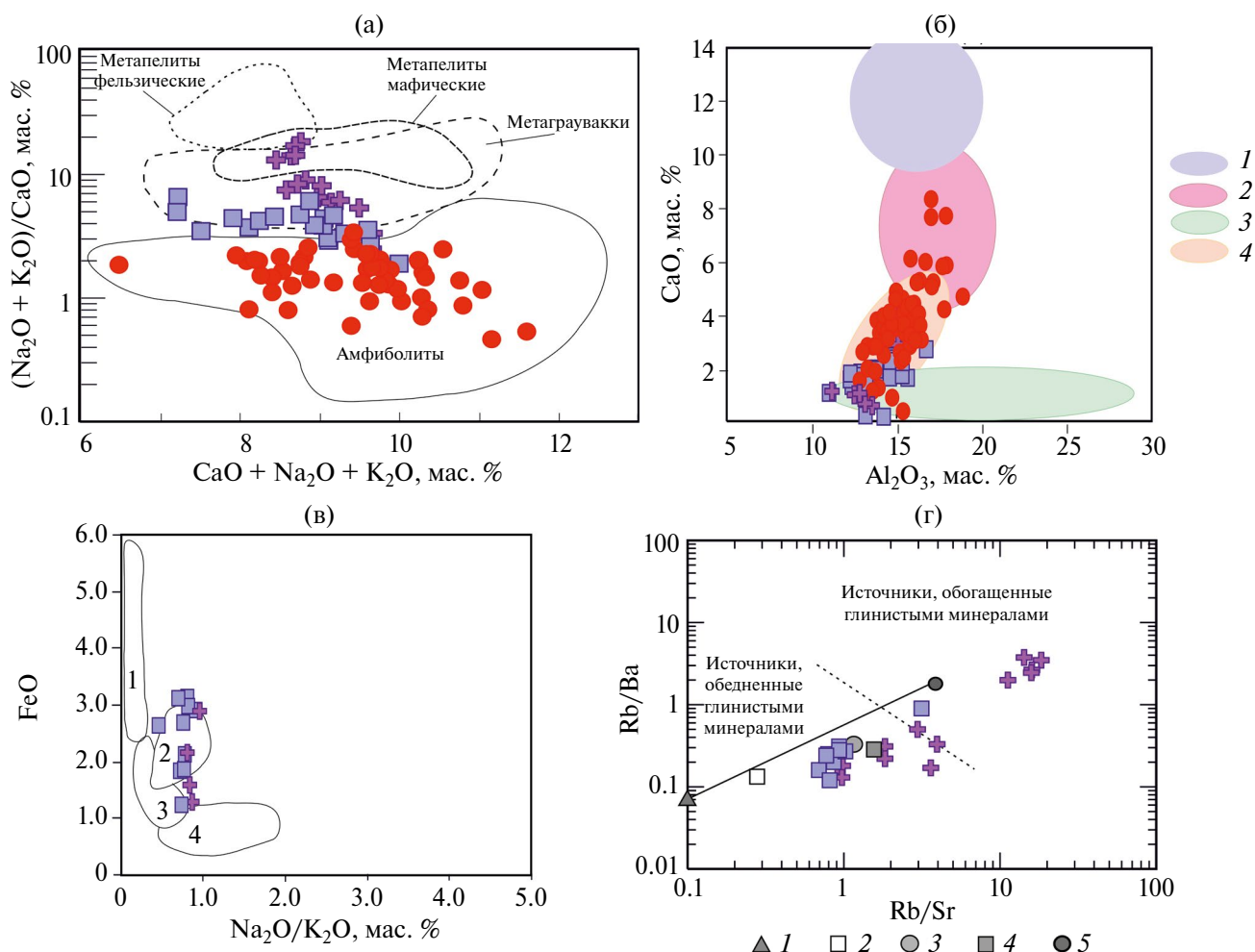


Рис. 7. Диаграммы $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{CaO} - \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ мас. % (а) [14], $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ (б) [20], $\text{FeO} - (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ мас. % (в) [20], $\text{Rb}/\text{Ba} - \text{Rb}/\text{Sr}$ (г) [19]. б) источники гранитоидов: 1 — базальты, 2 — богатые щелочами мафические породы, 3 — метаосадки, 4 — метамагматические породы; в) 1, 2 — поля экспериментальных продуктов водонасыщенного плавления: 1 — метapelитов, 2 — биотитовых гнейсов; 3, 4 — поля экспериментальных продуктов дегидратационного плавления: 3 — биотитовых гнейсов, 4 — биотит-мусковитовых гнейсов, г) Рассчитанные составы: 1 — базальта, 2 — граувакки, 3 — сланца; 4, 5 — составы расплава, полученные при плавлении: 4 — псаммитового источника, 5 — пелитового источника.

их формирования на завершающем готерив-барремском этапе коллизии Колымо-Омолонского микроконтинента и Сибирского континента в отличие от окраинно-континентальной для позднеюрских (150 млн лет) гранитоидов центральной части Главного батолитового пояса [6, 14] и постколлизийных баррем-аптских (121–125 млн лет) гранитоидов Северного вулкано-плутонического пояса (северо-западная ветвь Северного батолитового пояса) [7]. В процесс плавления вовлекались различные коровые источники, в том числе магматические субдукционного происхождения, что выразилось в наличии надсубдукционных признаков у гранитоидов арга-эмнекенского комплекса.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность анонимным рецензентам за конструктивные замечания и рекомендации, позволившие улучшить статью.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена за счёт Российского научного фонда, проект № 20-17-00197-П.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акинин В. В., Прокопьев А. В., Торо Х., Миллер Э. Л., Вуден Дж., Горячев Н. А., Альшевский А. В., Бахарев А. Г., Трунилина В. А. U-Pb SHRIMP-возраст гранитоидов Главного батолитового пояса (Северо-Восток Азии) // ДАН. 2009. Т. 426. № 2. С. 216–221.
2. Великославинский С. Д. Геохимическая типизация кислых магматических пород ведущих геодинамических обстановок // Петрология. 2003. Т. 11. № 4. С. 363–380.
3. Герцева М. В., Лучицкая М. В., Сысоев И. В., Соколов С. Д. Этапы формирования Главного батолитового пояса Северо-Востока России: U-Th-Pb SIMS и Ar-Ar геохронологические данные // Докл. РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 499. № 1. С. 5–10.
4. Котов И. А., Борисова Т. П., Герцева М. В. и др. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист R-55–Чокурдах. Объяснительная записка. 2022.
5. Лучицкая М. В., Ганелин А. В., Маскаев М. В., Алексеев Д. В., Травин А. В. Возраст, особенности состава и геодинамическая обстановка формирования гранитоидов Чималгинского массива Главного батолитового пояса, Верхояно-Колымский складчатый пояс // Геотектоника. 2022. № 1. С. 79–100.
6. Лучицкая М. В., Герцева М. В., Сысоев И. В. Геодинамика и раннемеловой магматизм Северного вулкано-плутонического пояса Верхояно-Колымской складчатой области (Северо-Восток России) // Геотектоника. 2023. № 5. С. 96–120.
7. Оксман В. С. Тектоника коллизионного пояса Черского. М.: ГЕОС, 2000. 268 с.
8. Парфенов Л. М., Берзин Н. А., Ханчук А. И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41.
9. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв. ред. Парфенов Л. М., Кузьмин М. И. М.: Наука/Интерпериодика, 2001. 571 с.
10. Трунилина В. А., Роев С. П., Орлов Ю. С., Оксман В. С. Магматизм различных геодинамических обстановок (зона сочленения Верхоянской окраины Сибирского континента и Колымо-Омолонского микроконтинента). Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1999. 152 с.
11. Цыганков А. А., Горячев Н. А., Хубанов В., Бурмакина Г. Новые изотопно-геохимические данные по гранитоидам юго-восточного фланга Главного Колымского батолитового пояса / Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 8–10 апреля 2020 г., г. Якутск. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2020. С. 308–310.
12. Abdel-Rahman A-F. M. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas // J. Petrology. 1994. V. 35. Pt. 2. P. 525–541.
13. Akinin V. V., Miller E. L., Toro J., Prokopiev A. V., Gottlieb E. S., Pearce S., Polzunenkov G. O., Trunilina V. A. Episodicity and the dance of late Mesozoic magmatism and deformation along the northern circum-Pacific margin: north-eastern Russia to the Cordillera // Earth-Science Reviews. 2020. V. 208. P. 103272.
14. Altherr R. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) // Lithos. 2000. V. 50. P. 51–73.
15. Hoskin P. W. O., Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2003. V. 53. № 1. P. 27–62.
16. Larionov A. N., Andreichev V. A., Gee D. G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U–Pb zircon ages of gabbros and syenite / In: The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Ed. by D. G. Gee, V. L. Pease. Geol. Soc. London. Mem. 2004. V. 30. P. 69–74.

Таблица 1. Результаты U–Th–Pb SIMS геохронологических исследований циркона из гранитоидов омчикандинского, арга-эмнекенского и саханьинского комплексов

Точка анализа	Pb _c , %	U, г/г	Th, г/г	Pb*, г/г	²³² Th/ ²³⁸ U	Возраст, млн лет		Отношения изотопов					коэфф. корр.	
						²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±σ	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U		±%
Арга-эмнекенский комплекс														
6011 – кварцевый диорит; 133±1 млн лет; Элин-Эмнекенский массив; 69° 29'17.88", 142° 9'53.28"														
6011_1.1	0.62	240	65	4.4	0.28	135	±2	0.047	7.7	0.138	7.8	0.021	1.5	0.2
6011_10.1	0.50	420	150	7.61	0.37	134	±2	0.048	6.0	0.139	6.1	0.021	1.4	0.2
6011_11.1	0.00	422	127	7.77	0.31	136	±2	0.050	3.3	0.148	3.5	0.021	1.3	0.4
6011_12.1	0.00	335	98	6.05	0.30	134	±2	0.049	3.8	0.141	4.0	0.021	1.4	0.3
6011_13.1	0.46	345	213	6.05	0.64	130	±2	0.047	6.1	0.131	6.2	0.020	1.4	0.2
6011_2.1	0.00	222	68	4.02	0.32	135	±3	0.048	4.6	0.140	5.2	0.021	2.4	0.5
6011_3.1	0.00	349	119	6.4	0.35	136	±2	0.049	3.5	0.144	3.8	0.021	1.3	0.4
6011_4.1	0.65	332	163	5.94	0.51	132	±2	0.047	8.1	0.135	8.2	0.021	1.4	0.2
6011_5.1	0.40	519	316	9.47	0.63	136	±2	0.046	5.4	0.133	5.5	0.021	1.3	0.2
6011_5.2	0.58	271	79	4.77	0.30	130	±2	0.048	7.2	0.136	7.4	0.020	1.5	0.2
6011_6.1	0.00	270	91	4.74	0.35	130	±2	0.053	4.1	0.148	4.3	0.020	1.4	0.3
6011_7.1	0.50	289	138	5.2	0.49	133	±2	0.047	6.4	0.135	6.6	0.021	1.4	0.2
6011_7.2	0.47	320	93	5.81	0.30	135	±2	0.046	6.3	0.134	6.5	0.021	1.4	0.2
6011_8.1	0.61	236	73	4.34	0.32	136	±2	0.046	7.8	0.134	7.9	0.021	1.6	0.2
6011_9.1	0.85	179	57	3.16	0.33	129	±2	0.054	8.9	0.152	9.1	0.020	1.6	0.2
6010/29 – кварцевый диорит; 133±1 млн лет; Элин-Эмнекенский массив; 69° 29'26.88", 142° 9'8.28"														
6010_29_1.1	0.69	266	98	4.78	0.38	133	±2	0.045	9.5	0.128	9.6	0.021	1.4	0.15
6010_29_2.1	0.00	275	146	5.05	0.55	135	±2	0.054	5.2	0.159	5.4	0.021	1.3	0.25
6010_29_3.1	0.21	892	304	15.8	0.35	131	±1	0.049	3.7	0.138	3.8	0.021	0.8	0.21

Продолжение таблицы 1

6010_29_4.1	4.06	303	143	5.46	0.49	133	±2	0.018	79	0.051	79	0.020	2.1	0.03
6010_29_5.1	0.18	627	409	11.4	0.67	135	±1	0.047	4.5	0.136	4.6	0.021	0.8	0.18
6010_29_6.1	5.90	375	227	6.99	0.63	135	±1	0.021	69	0.059	69	0.020	2.0	0.03
6010_29_7.1	1.41	475	150	8.68	0.33	135	±1	0.039	13	0.113	13	0.021	1.1	0.09
6010_29_8.1	2.12	296	79	5.32	0.28	134	±2	0.030	30	0.085	30	0.020	1.6	0.05
6010_29_9.1	1.48	222	148	4.09	0.69	136	±2	0.040	19	0.116	19	0.021	1.6	0.09
6010_29_10.1	3.79	218	126	3.92	0.60	133	±2	0.018	80	0.051	80	0.020	2.3	0.03
<i>A-1-2015 - гранодиорит; Арга-Эмнекенский массив; 132±1 млн лет; 69°31'40.8", 141°14'56.4"</i>														
A-1-2015_1.1	0.00	351	148	6.06	0.44	128	±1	0.051	3.1	0.141	3.3	0.020	1.0	0.30
A-1-2015_2.3	0.43	329	101	5.74	0.32	129	±1	0.048	5.4	0.134	5.4	0.020	0.9	0.16
A-1-2015_5.1	0.46	433	145	7.65	0.35	131	±1	0.045	5.9	0.126	5.9	0.020	0.8	0.14
A-1-2015_4.1	0.50	309	122	5.46	0.41	131	±1	0.050	5.8	0.141	5.9	0.020	0.9	0.16
A-1-2015_2.2	0.00	346	106	6.12	0.32	131	±1	0.050	3.2	0.141	3.3	0.021	0.9	0.26
A-1-2015_3.1	0.93	454	208	8.17	0.47	132	±1	0.051	9.0	0.147	9.0	0.021	1.0	0.11
A-1-2015_6.1	0.30	496	229	8.89	0.48	133	±1	0.047	4.0	0.135	4.1	0.021	0.8	0.18
A-1-2015_1.2	0.44	515	188	9.31	0.38	134	±1	0.047	5.2	0.134	5.2	0.021	0.8	0.14
A-1-2015_2.1	0.51	268	133	5.2	0.51	143	±2	0.044	6.7	0.137	6.8	0.022	1.1	0.17
A-1-2015_1.1	0.00	351	148	6.06	0.44	128	±1	0.051	3.1	0.141	3.3	0.020	1.0	0.30
<i>Омчикандинский комплекс</i>														
<i>A-2-2015 - гранит; Омчикандинский массив 131 ± 1 млн лет; 69°38'31.2", 141°39'21.6"</i>														
A-2-2015_3.1	0.00	1249	419	21	0.35	125	±1	51.20	0.6	0.1308	2.1	0.01953	0.6	0.29
A-2-2015_10.1	0.15	1347	1358	23.4	1.04	129	±1	49.42	0.6	0.1343	2.9	0.02024	0.6	0.22
A-2-2015_6.1	0.00	1273	289	22.3	0.23	130	±1	48.97	0.7	0.1366	2.5	0.02042	0.7	0.29
A-2-2015_8.1	0.87	365	115	6.5	0.33	131	±2	48.68	1.3	0.1440	9.6	0.02054	1.3	0.14
A-2-2015_5.1	0.00	819	179	14.5	0.23	131	±2	48.65	1.3	0.1386	2.8	0.02056	1.3	0.47
A-2-2015_11.1	0.12	1987	443	35.2	0.23	131	±1	48.55	0.6	0.1377	2.3	0.02060	0.6	0.27

Окончание таблицы 1

A-2-2015_1.1	0.23	1030	526	18.4	0.53	132	±1	48.28	0.6	0.1371	3.2	0.02071	0.6	0.18
A-2-2015_2.1	0.52	421	124	7.6	0.30	133	±1	47.85	0.9	0.1350	6.4	0.02090	0.9	0.13
A-2-2015_7.1	0.64	336	90	6.09	0.28	134	±1	47.74	1.0	0.1330	8.0	0.02095	1.0	0.12
A-2-2015_9.1	0.00	51	31	1.14	0.62	165	±3	38.49	1.6	0.1910	6.8	0.02598	1.6	0.24
A-2-2015_4.1	0.07	162	129	42.5	0.82	1714	±11	3.28	0.7	4.4300	1.3	0.30460	0.7	0.56
<i>3176-8 - гранит; 131 ± 1 млн лет; 69° 36' 28.8", 142° 1' 22.8"</i>														
3176-8_4.1	0.20	602	171	10.5	0.29	129	±2	0.049	3.2	0.136	3.4	0.020	1.3	0.4
3176-8_7.1	0.66	310	86	5.44	0.29	130	±2	0.047	7.6	0.131	7.7	0.020	1.5	0.2
3176-8_1.1	0.43	388	139	6.8	0.37	130	±2	0.048	5.5	0.134	5.7	0.020	1.4	0.3
3176-8_10.1	0.17	1088	318	19.1	0.30	130	±2	0.048	2.6	0.135	2.9	0.020	1.3	0.4
3176-8_8.1	0.22	559	268	9.8	0.50	130	±2	0.047	3.5	0.133	3.8	0.020	1.4	0.4
3176-8_9.1	0.15	1089	229	19.1	0.22	130	±2	0.048	2.4	0.135	2.8	0.020	1.3	0.5
3176-8_3.1	0.00	175	55	3.11	0.33	131	±2	0.052	4.4	0.149	4.7	0.021	1.6	0.3
3176-8_5.1	0.15	1569	295	28	0.19	132	±2	0.048	2.1	0.138	2.5	0.021	1.2	0.5
3176-8_2.1	0.00	130	38	2.33	0.30	133	±2	0.047	5.3	0.134	5.6	0.021	1.8	0.3
<i>AB1120 - гранит; 134 ± 1 млн лет; 68° 7' 11.28", 140° 27' 32.04"</i>														
AB1120.1.1	2.28	160	74	2.97	0.48	136	±3	0.037	24	0.108	24	0.021	2.1	0.01
AB1120.2.1	7.41	916	231	20.8	0.26	141	±2	0.128	7.1	0.434	7.3	0.025	1.9	0.26
AB1120.3.1	0.88	800	304	15.3	0.39	140	±2	0.055	6	0.168	6.2	0.022	1.5	0.25
AB1120.4.1	0.19	543	224	9.95	0.43	136	±2	0.047	4	0.139	4.3	0.021	1.6	0,6
AB1120.6.1	2.00	1206	598	23.1	0.51	138	±2	0.370	7.2	1.43	7.6	0.028	2.6	0.34
AB1120.7.1	5.85	1892	544	38.5	0.30	141	±2	0.057	11	0.170	11	0.022	1.5	0.14
AB1120.8.1	0.50	405	174	7.42	0.44	136	±2	0.054	10	0.166	10	0.022	1.5	0.14
AB1120.9.1	4.94	1386	750	26.8	0.56	136	±2	0.046	7.3	0.135	7.5	0.021	1.7	0.23
AB1120.10.1	0.19	557	223	10.2	0.41	136	±2	0.054	7.4	0.159	7.6	0.021	1.5	0.20
AB1120.11.1	0.43	520	136	9.65	0.27	137	±2	0.050	4.5	0.148	4.8	0.021	1.6	0.33

Примечание. Ошибка на уровне 1-сигма; Pb_c и Pb* - природный и радиогенный свинец соответственно. Номера анализов в табл. 2S соответствуют номерам зерен на рис. 2 а.

Таблица 2. Sr–Nd-изотопный состав гранитоидов омчикандинского, саханьинского и арга-эмнекенского комплексов

Образец	Массив	Rb, г/г	Sr, г/г	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	±2σ, %	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	±2σ, abs.	Sm, г/г	Nd, г/г	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	±2σ%	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	±2σ, abs.	Sr!	(¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd)!	^ε Nd(T)	T _{Nd} (DM)	T _{Nd} (DM-2st)
D29-5039/44	Сахань-инский	185	237	2.267	0.262	0.709901	0.000007	6.28	35.8	0.1059	0.43	0.512505	0.000002	0.705550	0.512415	-1.08	914	1031
P33-1120	Сахань-инский	184	80.7	6.611	0.351	0.718331	0.000005	6.91	38.0	0.1101	0.50	0.512558	0.000003	0.705645	0.512464	-0.12	873	951
1154	Сахань-инский	135	41.8	9.326	0.276	0.726485	0.000007	10.1	56.5	0.1079	0.71	0.511969	0.000003	0.708590	0.511877	-11.58	1700	1902
5088/2	Сахань-инский	88	303	0.841	0.0084	0.708634	0.000009	5.90	26.0	0.1365	0.29	0.512449	0.000009	0.707057	0.512468	-3.31	1385	1165
4318/1	Омчикандинский	131	256	1.479	0.245	0.709103	0.000006	4.22	20.6	0.1241	0.44	0.512527	0.000003	0.706266	0.512421	-0.97	1063	1022
4336/2	Омчикандинский	141	211	1.933	0.226	0.709911	0.000006	5.16	23.8	0.1311	0.27	0.512565	0.000003	0.706203	0.512454	-0.33	1082	970
4338	Омчикандинский	163	224	2.103	0.260	0.710298	0.000006	7.54	41.9	0.1089	0.53	0.512539	0.000003	0.706263	0.512446	-0.48	892	981
3177/2	Илин-Эмнекенский	183	169	3.137	0.031	0.712937	0.000013	5.80	26.8	0.1297	0.31	0.512428	0.000009	0.707364	0.512428	-4.10	1313	1190
6010/29	Илин-Эмнекенский	121	203	1.718	0.017	0.711012	0.000015	5.10	21.7	0.1423	0.28	0.512435	0.000009	0.707741	0.512435	-3.96	1529	1197
5177/3	Илин-Эмнекенский	123	211	1.695	0.226	0.710949	0.000005	5.59	26.6	0.1270	0.35	0.512366	0.000003	0.707696	0.512258	-4.15	1380	1287
5188	Илин-Эмнекенский	106	329	0.934	0.212	0.707916	0.000007	5.21	27.6	0.1140	0.36	0.512519	0.000003	0.706123	0.512422	-0.95	967	1020
5193	Илин-Эмнекенский	83.0	286	0.840	0.186	0.708310	0.000006	5.21	30.0	0.1051	0.38	0.512535	0.000002	0.706698	0.512446	-0.49	866	982
5195	Сахань-инский	94.9	304	0.905	0.191	0.707805	0.000005	5.96	43.7	0.0825	0.50	0.512553	0.000002	0.706069	0.512483	0.24	695	920

Примечание. Для нормализации использовались значения ⁸⁸Sr/⁸⁶Sr = 8.375209 и ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0.7219. Величина измеренных международных стандартов со-ответствовала: JNdi-1 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.512108±2; NBS-987 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0.710255±8. Погрешность соответствующего изотопного отношения в таблице приведена при 95% уровне значимости в абсолютных величинах (2s, abs) или процентах (2s, %). Sr!, (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)! соответствуют величинам изотопного состава на время 134 млн лет. Модельные возрасты T_{Nd}(DM) и T_{Nd}(DM-2st) вычислены с использованием следующих характеристик обеднённого мантийного резервуара (DM): ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd = 0.2136 и ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.513151, а для континентальной коры принята величина ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd = 0.12.

17. *Lager P.W., Newberry R., Fujita K., Parfenov L., Trunilina V., Bakharev A.* Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, northeast Russia, based on $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology and trace element geochemistry // *Geology*. 2001. V. 29. № 2. P. 167–170.
18. *Samadi R., Torabi G., Kawabata H., Miller N.R.* Biotite as a petrogenetic discriminator: chemical insights from igneous, meta-igneous and meta-sedimentary rocks in Iran // *Lithos*. 2021. V. 386–387. P. 106016.
19. *Sylvester P.J.* Post-collisional strongly peraluminous granites // *Lithos*. 1998. V. 45. P. 29–44.
20. *Trunilina V.A., Prokopiev A.V.* Ore-bearing magmatic systems with complex Sn-Au-Ag mineralization in the North-Eastern Verkhoyansk-Kolyma orogenic belt, Russia // *Minerals*. 2021. V. 11. P. 266.
21. *Weinberg R.F., Hasalová P.* Water-fluxed melting of the continental crust: a review // *Lithos*. 2015. V. 212–215. P. 158–188.

GRANITOID MAGMATISM OF THE JOINT AREA BETWEEN SEVERNY AND GLAVNY BATHOLITH BELTS OF THE VERKHOYAN-KOLYMA FOLD AREA

M. V. Luchitskaya^{a, #}, M. V. Gertseva^b,

Corresponding Member of the RAS S. D. Sokolov^a, I. V. Sysoyev^b,

^a*Geological Institute, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation*

^b*A.P. Karpinsky All-Russian Scientific Research Geological Institute,
Moscow Department, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: luchitskaya@ginras.ru*

New U–Th–Pb (SIMS)-geochronological, petro-geochemical and Sr–Nd isotopic data for granitoids of three plutonic complexes (sakha, omchik and arga-emneken), located in the joint area of the two large batholith belts of the Verkhoyan-Kolyma fold area, Glavny and Severny are presented. The Valanginian-Hauterivian age of the granitoids of all three complexes is established. The similarity of the granites and leucogranites of the omchik and sakha complexes to the I-S-type granites, and similarity of the arga-emneken granitoids to the I-type granites are shown. Petro-geochemical peculiarities of the granitoids composition indicate metasedimentary source for the granites and leucogranites of the omchik and sakha complexes and metamagmatic (amphibolitic), for granitoids of arga-emneken complex. Sr–Nd isotopic data show, the granitoids were melted from different crustal sources, in which various proportions of mature material of continental crust. Totality of geological and new obtained geochronological, petro-geochemical and isotopic data allow to suppose collisional setting of their formation in the terminating Valanginian-Hauterivian stage of collision between Kolyma-Omolon microcontinent and Siberian continent.

Keywords: granitoids, Glavny and Severny batholith belts, zircon, collision, Kolyma-Omolon microcontinent, Siberian continent, Verkhoyan-Kolyma fold area, Early Cretaceous