

Раздел 2

ГЕОЛОГИЯ

Section 2

GEOLOGY

УДК 553.3/4:553.2:550.4

КУЛАДИНСКИЙ МАССИВ ГОРНОГО АЛТАЯ: АБСОЛЮТНЫЙ ВОЗРАСТ И ПЕТРОГЕОХИМИЯ

А.И. Гусев, А.А. Алексеенко, С.Я. Кончакова

Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукинина, г. Бийск,

E- mail: anzerg@mail.ru

В статье приведены новые данные по оруденению, составу, петрологии, возрасту и геодинамической обстановке формирования щелочных гранитоидов Куладинского массива Горного Алтая. Выделены две фазы внедрения: 1 – эгирин-рибекитовые гранит-порфиры, 2–рибекитовые лейкограниты. Абсолютный возраст эгирин-рибекитовых гранит-порфиров главной фазы внедрения массива (U-Pb методом по циркону SHRIMP II) составил 341–348 млн. лет, что соответствует раннему карбону. Некоторые цирконы показали и более древний возраст (вплоть до 401 млн. лет), связанный с ассимиляцией расплавом девонских пород, захваченных в процессе становления массива. Выявлены признаки высокой активности фтор-комплексов в магматогенных флюидах, обусловивших проявление тетрадного эффекта фракционирования (ТЭФ) РЗЭ М- типа. Увеличение значений ТЭФ РЗЭ позитивно коррелируется с повышением кислотности среды минерало- и пороодообразования. Соотношение изотопов стронция и неодима указывает на участие верхнемантийных компонентов в генерации расплава и формирования пород Куладинского массива. Геодинамическая обстановка генерации щелочных гранитоидов массива определена как рифтогенная. В пространственной и парагенетической связи с гранитоидами массива, претерпевшими фельдшпатизацию, связаны проявления и интенсивные аномалии Zr, Nb, Ta, Hf, редких земель, имеющих стратегическое значение. Для Шибеликского рудного узла оценены прогнозные ресурсы категории Р₃.

Ключевые слова: Горный Алтай, щелочные граниты, эгирин-рибекитовые гранит-порфиры, эгириновые лейкограниты, фельдшпатитовые метасоматиты, рифтогенная обстановка.

DOI: 10.24412/2410-1192-2023-17202

Дата поступления: 5.01.2024. Принята к печати: 29.01.2024

Щелочные гранитоиды имеют важное металлогеническое значение и являются показателями определённых геодинамических обстановок формирования [Chen et al., 2017; Wang et al., 2017]. Шибеликские рибекитовые граниты образуют кучный кластер массивов (в том числе и Куладинский) в пределах рифтогенного прогиба, в пространственной связи с которыми ассоциирует

цирконий-редкоземельное оруденение и комплексные аномалии Zr, TR и других металлов, имеющих стратегическое значение. Известно, что щелочные породы обычно имеют верхне-мантийное происхождение [Ren, 2003]. Эти породы главным образом являются анорогенными и контролируются внутриплитными или рифтогенно-связанными геодинамическими обстановками [Currie, 1970; Zhao et al., 1993; Coulson et al., 1999; Coulson, 2003; Goodenough et al., 2003]. В последние годы (2019–2022) в процессе проведения экспедиций РГО (Барнаульского и Бийского отделений) получены новые данные по геологии и полезным ископаемым Рудного и Горного Алтая. В этих же экспедициях проводились маршруты и отборы проб для определения возраста, вещественного состава, в том числе и в породах Куладинского массива Алтая.

Актуальность изучения этих гранитоидов не вызывает сомнений и определяется их главной рудогенерирующей ролью в формировании цирконий-редкоземельного оруденения [Гусев, Гусев, 2014], относящегося к стратегическим металлам и остродефицитным в России. Цель исследования – осветить петрологические и геохимические особенности Куладинских гранитоидов, определить абсолютный возраст, осуществить их типизацию и определить геодинамическую обстановку формирования и перспективы рудоносности.

Аналитические методы исследования

ICP-MS анализ проведен в ЦЛ ФГУП «ВСЕГЕИ»; определения редких

элементов в горных породах выполнены эмиссионной спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «ОПТИМА-4300», для Cu, Zn, Pb, Li – методом ISP-AES (г. Санкт-Петербург); U–Pb изотопное датирование (SHRIMP II) для определения абсолютного возраста пород Куладинского массива. При выборе в цирконах участков для анализа использовались оптические и катодолюминесцентные наблюдения. U–Pb отношения были нормированы на значение 0.0668 по соответствующему стандарту «Темога». Погрешность измерений единичных анализов в пределах 1s, для расчетных конкордантных возрастов и их пересечений с конкордией – 2s. Графики строились с использованием программы ISOPLOT/EX. Масс-спектрометрическое определение изотопного состава Sr и Sm–Nd – в Центре изотопных исследований выполнено ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

Результаты и их обсуждение

На основе исследований предшественников, проведения авторских полевых работ и анализа полученных данных ниже приводится описание геологического строения участка, определения абсолютного возраста и петрогеохимических особенностей магматических пород Куладинского массива и его рудоносности.

Геологическое строение и петрогеохимия пород Куладинского массива

Куладинский массив расположен в Куратинском прогибе (рис. 1) и относится к шибеликскому комплексу.

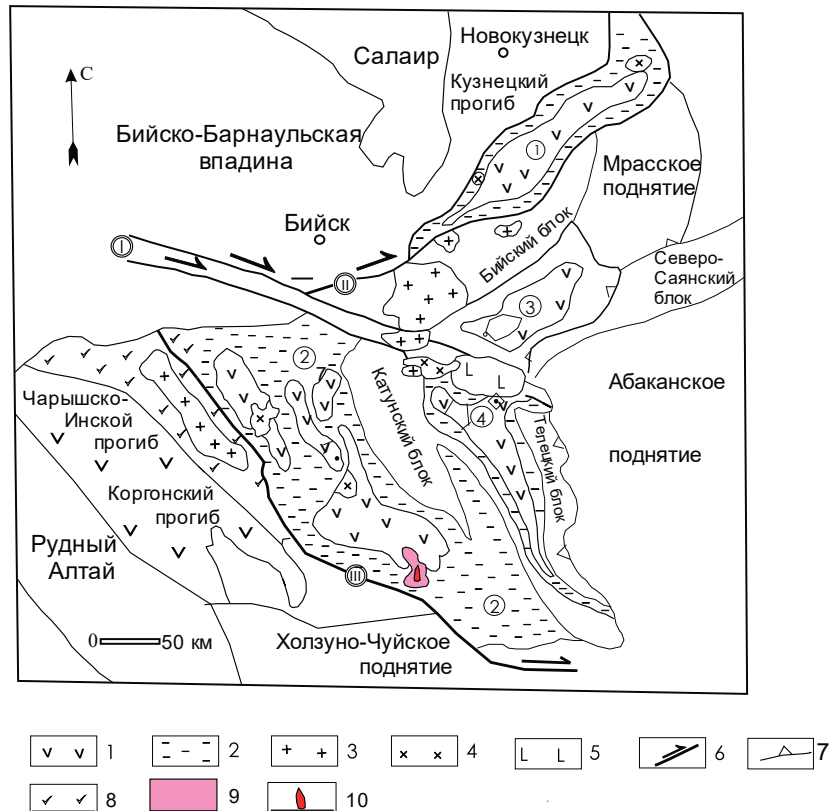


Рис. 1. Положение Куладинского массива на структурно-тектонической схеме западной части Алтае-Саянской складчатой области на этапе O1 – P1

(составлена А.И. Гусевым с использованием материалов С.П. Шокальского и др. [2000]).

Структурно-вещественные комплексы активной континентальной окраины: 1 – вулканогенные образования нижнего-среднего девона (базальты, трахибазальты, андезиты, риолиты и их туфы, игнимбриты); 2 – туфогенные образования ордовика-нижнего девона (конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты); коллизионные комплексы: 3 – граниты, умеренно-щелочные граниты (I-типа), кварцевые сиениты среднего девона; 4 – габбро, диориты, тоналиты, граниты (I-типа) раннего силура-нижнего девона; 5 – габбро, плагиограниты среднего кембрия; 6 – глубинные разломы; 7 – надвиги; наименование прогибов: 1 – Тельбесский, 2 – Ануйско-Чуйский, 3 – Лебедской, 4 – Уйменский; названия глубинных разломов: I – Бийский, II – Тельбесский (ответвление Бийского), III – Чарышско-Теректинский; 8 – кремнисто-метабазальтовые океанические образования (C3-O); 9 – Куратинский прогиб; 10 – Куладинский массив

Fig. 1. Position of Kuladinskiy massif on the structural-tectonic scheme of west part Altay-Sayan folded region on phase O1 – P1 (composed A.I. Gusev with using materials of S.P. Schokalskiy et al. [2000]).

Structural-corporeal complexes of active continental remote area: 1- volcanogenic formations Lower-Middle Devonian (basalts, trachi-basalts, andesites, rhyolites and its tufts, ignimbrites); 2 – tuft formations Ordovician – Early Devonian (conglomerates, sandstones, argillites, aleurolites); collisional complexes: 3- granites, moderate alkaline granites (I-type), quartz sienites of Middle Devonian; 4 – gabbro, diorites, tonalities, granites (I-type) Lower Silurian-Early Devonian; 5 – gabbro, plagiogranites of Middle Cambrian; 6 – deep fault; 7 – thrust fault; name of troughs: 1 – Telbess, 2 – Anuy-Chuiskiy, 3 – Lebedskoy, 4 – Uymenskiy; names of deep faults: 1- Biyskiy, II – Telbesskiy (spur of Biyskiy), III- Charyshsko-Terectinskiy; 8 – cherty-metabasaltic ocean formations (C3-O); 9 – Kuratinskiy trough; 10 – Kuladinskiy massif

Последний объединяет небольшие интрузивные тела щелочных гранитоидов, развитых в центральной части Горного Алтая и размещенные в пределах изученной площади – петротипический Шибеликский, Куладинский и Шашикманский массивы.

Все три массива локализованы в Куратинском прогибе (в центре и на флангах Каракольской синклинали), где прорывают отложения позднедевонской бичиктубомской (Шибеликский и Куладинский интрузивы) и среднедевонской

куратинской (Шашикманский) свит. В плане Куладинский массив вытянут в субмеридиональном направлении согласно общей ориентировке Куратинского прогиба и контролируется сдвиговыми нарушениями Каирлык-Семинской тектонической зоны.

В составе комплекса выделяется две интрузивные фазы с дополнительной дайковой серией: первая фаза – эгирин-рибекитовые гранит-порфиры; вторая – рибекитовые лейкограниты; дайки эгирин-рибекитовых гранит-порфиров и микрогранитов. Породы главной фазы представлены в основном мелко- и среднезернистыми обычно порфиroidными гранитами с массивной, реже такситовой текстурой. Последняя представляет собой участки породы с «теньвыми» включениями захваченных в расплав ксеногенных пород девона. Изредка в гранит-порфирах отмечаются меланократовые микровключения размерами от 0.5×1.8 до 2×5 см вблизи эндоконтакта. Нередко отмечаются микропегматитовые и миароловые разновидности. Переходы между разными текстурными и структурными типами постепенные. Внешне породы имеют синевато-, розовато- и желтовато-серую окраски, меняющиеся в зависимости от соотношения мафических и салических минералов. Под микроскопом устанавливаются гранитовая, гранофировая структуры. Минеральный состав: главные – кварц, калишпат-микрпертит, кислый плагиоклаз и рибекит; аксессуарные – апатит, циркон, титанит, гранат, эпидот, ксенотим, монацит, ярозит, пирит, тур-

малин, шеелит, рутил, анатаз, магнетит, ильменит, флюорит, алланит. Содержания главных минералов варьируют в широких пределах. В порфиroidных разновидностях они развиты как во вкрапленниках (размером до 0.5–1.0 см), так и в основной массе породы. В целом, чаще преобладает микропертит (до 60%), в подчиненных количествах представлены кварц (до 30–35%), плагиоклаз (до 20%), рибекит (до 20%). Рибекит проявлен в виде скелетных обособлений (порфиroidные выделения) и длиннопризматических и игольчатых кристаллов (основная масса), часто образуя шпировидные скопления. По своим оптическим свойствам (резкий плеохроизм от черно-синего по Np' до буровато-зеленовато-желтоватого по Ng' ; преломление по $Np = 1.687–1.690$, по $Ng = 1.697–1.700$) и химическому составу (%) ($SiO_2 - 46.3$, $TiO_2 - 1.50$, $Al_2O_3 - 1.90$, $Fe_2O_3 - 20.04$, $FeO - 17.89$, $MnO - 0.99$, $MgO - 0.14$, $CaO - 2.88$, $Na_2O - 5.32$, $K_2O - 0.53$, $H_2O - 1.73$, $F - 0.56$), амфибол отнесен к ряду арфведсонит-рибекит. Пересчёт на структурную формулу химического состава амфибола показал, что по величине катионной группы ($X=2.01–2.1$) он близок к рибекиту (для рибекита $X=2$, а для арфведсонита $X=3$).

Лейкограниты более мелкокристаллические породы, чем гранит-порфиры ранней фазы, и в них рибекит присутствует в объёме 1–2 %. Лейкограниты в Куладинском массиве весьма редки и не превышают по объёму 3–5 %. Контакты лейкогранитов и гранит-порфиров термостатированные в силу того, что расплавы разных фаз внедрялись близко

одновременно и кислотность пород была близка, что приводило к неконтрастным границам разнофазовых внедрений, иногда создавая эффект постепенного перехода гранит-порфиоров к лейкогранитам. Такие термостатированные контакты разных фаз наблюдались нами в Турочакском массиве северо-восточного Алтая [Гусев, Гусев, 2014].

По содержаниям кремнезема породы ранней фазы внедрения отвечают гранитам ($\text{SiO}_2 = 71.6\text{--}72.6\%$). Сумма щелочей в целом невысокая ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7.5\text{--}8.3\%$), но при низких содержаниях глинозема ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 9.95\text{--}10.90\%$) коэффициент агпаитности близок или превышает единицу ($\text{Кагп} = 0.96\text{--}1.12$) (табл. 1). По соотношению $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ составы гранитов Куладинского массива относятся к нормальным по щелочности породам, тяготея к границе с областью умеренно-щелочных производных. По соотношению щелочей ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0.8\text{--}1.1$) граниты относятся к калиево-натриевым, а по уровню глиноземистости ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 9.95\text{--}10.90$; индекс Шенда <1) – к щелочным и переходным к метаглиноземистым. Для пород массива характерны высокие величины $\text{FeO}_{\text{общ}} / (\text{FeO}_{\text{общ}} + \text{MgO}) = 0.9\text{--}1.0$ и $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO} = 6.8\text{--}8.1$, что соответствует железистым щелочным типам гранитоидов анорогенного типа.

В редкоэлементном составе куладинских гранитов устанавливаются повышенные концентрации HFS-элементов, особенно Zr (1040–1740 г/т), Hf (25–43), Nb (93–160), Y (121–147), Ce (111–236), при относительно пониженных содержаниях LIL-элементов: Rb (82–160),

Ba (17–68), Cs (<1), Sr (9.24). В химическом составе пород отмечаются пониженные концентрации Ba-, Sr-, P-, Ti-минимумы, что свойственно щелочным гранитоидам. В спектре редких земель при общем высоком уровне содержаний TR (279–606 г/т) и слабодифференцированном профиле ($\text{La}_N/\text{Yb}_N = 0.92\text{--}3.8$) отмечается отчетливая отрицательная Eu-аномалия ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.21\text{--}0.27$), связанная, вероятно, с более ранним фракционированием плагиоклаза, учитывая обедненность пород Sr и Ba. Из других геохимических особенностей можно отметить весьма низкие концентрации фосфора ($\text{P}_2\text{O}_5 < 0.1\%$) и относительную обогащенность хромом (в основном 50–65 г/т), тяжёлыми редкоземлями (Yb, Er). Отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в эгирин-рибекитовых гранитах весьма низкие (0.704502 и 0.704501) и близки к смешанному резервуару валового состава Земли [Скляров и др., 2001].

В целом по петрогеохимическим показателям граниты Куладинского массива сопоставляются с типичными щелочными гранитоидами А-типа (гиперсольвусным и трансольвусным) и могут быть отнесены к агпаитовым редкометалльным гранитам или проявлениям щелочно-гранитовой формации. На дискриминационных диаграммах составы куладинских гранитов размещаются в полях внутриплитных гранитоидов, что позволяет связывать формирование комплекса с рифтогенной обстановкой. Вместе с тем, по соотношениям Y-Nb-Ce породы тяготеют к анорогенным гранитам A_1 и A_2 . Полученные результаты позволяют рассматривать гранитоиды Куладинского массива постколлизийными образованиями.

Таблица 1

Представительные анализы пород Куладинского массива (оксиды в %, элементы в г/т)

Table 1

Chemical composition of rock types of Kuladinskiy massif (oxides in %, elements in ppm)

Компоненты	Номера проб							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	71.4	71.6	71.7	71.8	72.1	74.7	75.3	75.5
TiO ₂	0.5	0.47	0.48	0.49	0.45	0.21	0.2	0.15
Al ₂ O ₃	10.7	10.4	10.9	10.1	10.1	10.7	10.6	10.2
Fe ₂ O ₃	4.33	5.6	3.65	4.9	4.86	2.26	2.25	2.21
FeO	2.86	2.4	3.24	2.7	3.02	2.18	2.18	2.10
MnO	0.14	0.07	0.12	0.06	0.07	0.09	0.082	0.08
MgO	0.85	0.34	0.76	0.42	0.45	0.27	0.28	0.25
CaO	0.73	0.46	0.64	0.44	0.46	0.42	0.43	0.42
Na ₂ O	3.9	3.44	4.1	3.9	4.01	3.86	3.81	3.83
K ₂ O	3.61	4.12	3.7	4.4	4.32	4.05	4.07	4.03
P ₂ O ₅	0.03	0.02	0.02	0.05	0.06	0.02	0.025	0.02
ппп	0.55	0.6	0.29	0.45	0.1	0.21	0.25	0.2
Сумма	100	99.9	99.9	100	100	99.9	99.7	99.8
V	6.4	6.31	7.59	4.55	5.1	5.5	5.46	5.4
Cr	54.3	53.3	63.9	55.0	55.3	51.6	53.3	51.2
Co	6.1	6.66	6.28	6.6	6.4	4.2	4.01	4.0
Ni	12.3	15.1	21.7	6.9	7.3	8.0	8.99	8.04
Rb	82.3	116	92.8	140	140	155	160	150
Sr	21.3	19.2	21	8.9	9	15.7	16.3	15.1
Zr	1055	1557	1040	1713	1675	1608	1580	1595
Nb	110	121	103	124	123	97.8	93.5	96.3
Y	131	130	126	142	145	127	121	124
Ga	30.5	31.4	33.6	32.9	31.8	29.7	30.1	29.6
Cs	0.75	0.68	0.99	0.9	0.9	0.5	0.6	0.5
Ba	67.3	19.5	45.7	21.8	22.1	50.9	51.5	50.3
La	89.3	29.9	85.6	24.9	25.3	54	51	52
Ce	200.3	110	189	180	184	143	137	139
Pr	22.2	9.6	20.8	6.8	8.9	20.3	16.5	18.3
Nd	91.4	42.5	81.8	26.6	27.9	74.1	72.9	71.3
Sm	21.4	11.9	16.6	6.8	7.8	19.4	18.5	17.4
Eu	1.65	1.1	1.35	0.63	0.66	1.3	1.45	1.4
Gd	19.1	13.1	17.8	9.3	9.7	17.6	17.9	17.1
Tb	3.5	2.7	3.11	2.6	2.7	3.4	3.4	3.3
Dy	22.2	19.1	20.1	19.7	19.1	23	23	22
Ho	5.3	5.1	4.84	5.3	6.3	5.6	5.58	5.5
Er	14.1	14.0	13.5	15.1	15.4	15.0	15.3	15.1
Tm	2.1	2.3	1.95	2.6	2.6	2.4	2.55	2.5
Yb	16.3	17.1	15	16.8	18.2	18.8	19.8	18.4
Lu	2.2	2.3	2.16	2.45	2.5	2.6	2.69	2.6
Hf	26.9	35.8	25.6	40.2	42.3	43.0	43.1	43.2
Ta	6.4	8.3	6.24	8.5	8.7	7.3	7.31	7.32
Pb	14.1	20	13.2	22	22.4	22.2	23.9	22.4
Th	19.7	22.4	19	24.8	24.9	25.1	24.8	25.5
U	5.9	6.5	5.31	4.9	5.3	6.7	6.65	6.6
Sc	0.5	0.35	0.44	0.1	0.1	0.9	0.92	0.9
Li	32.1	24.5	14.3	16.7	7.1	41.8	40.5	41.3
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.704502	0.704501	-	-	-	-	-	-
K _{ам}	0.96	0.96	0.99	1.11	1.12	1.02	1.01	1.05
(La/Yb) _N	3.6	1.15	3.8	0.98	0.92	1.9	1.7	1.87

Примечание. N – содержания элементов нормализованы по хондриту [Mc Donough, Sun, 1995].
 Кагп – коэффициент агаитности. Породы Куладинского массива шибеликского комплекса: 1–5 – гранит-порфиры эгирин-рибекитовые, 6–8 – лейкограниты рибекитовые

В краевых частях Куладинского массива отмечены фельдшпатоиды с прожилками кварца и вкрапленностью флюорита, циркона (малакона), монацита, ксенотима, алланита, синхизита и колумбита. Параметры таких зон варьируют по ширине от 20 до 35 м и по протяжённости от 120 до 260 м. Концентрации элементов в них составляют (%): циркония – от 0.1 до 1.4, гафния – от 0.05 до 0.3, ниобия – от 0.05 до 0.4, тантала – от 0.01 до 0.2, сумма TR – от 0.2 до 0.6%, Sc от 20 до 125 г/т. Указанные проявления фельдшпатоидов с редкоземельным оруденением имеют повышенные концентрации и требуют доизучения и постановки поисково-оценочных работ на редкометалльное и редкоземельное оруденение. Оценены прогнозные ресурсы редких металлов категории Р₃ для Шибеликского рудного узла, в который входит и Куладинский массив, в объёме (тыс. тонн): ΣTR_2O_3 – 2647, ZrO_2 – 6435, HfO_2 – 269, Nb_2O_5 – 5493, Ta_2O_5 – 3470.

В некоторых породах массива проявлен тетрадный эффект фракционирования (ТЭФ) РЗЭ М-типа от 1.13 до 1.58 (значимые величины превышают 1.1). Следует отметить, что отношения элементов, приведенных в табл. 2, имеют различные отклонения от хондритовых. Отношения Y/No, La/Ta, La/Nb, Sr/Eu, Eu/Eu* значительно ниже хондритовых величин, а отношения Zr/Hf очень близки к хондритовым или превышают их. Это свидетельствует о значительной трансформации элементов в гранитоидах комплекса. Обращает на себя внимание негативная корреляция нормированных отношений $(La/Yb)_N$ и высоких величин тетрадного эффекта фракционирования М-типа (табл. 2). Последний проявлен чаще всего в высоко эволюционированных гранитных расплавах в связи с высокой насыщенностью магматогенных флюидов фтором [Гусев, Гусев, 2011].

Таблица 2

Величины тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ и отношения некоторых элементов в гранитоидах Куладинского массива

Table 2

Values of tetradic effect fractionation of REE and ratio of some element in granitoids of Kuladinskiy massif

Отношения элементов и величины ТЭФ	Номера проб								Отношения в хондритах
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Zr/Hf	39.2	43.5	40.6	42.6	39.6	37.4	36.6	36.9	36.0
Y/No	24.7	25.5	26.0	26.8	23.0	22.7	21.7	22.5	29.0
La/Nb	0.81	0.25	0.83	0.2	0.21	0.55	0.54	0.54	17.2
La/Ta	13.9	3.6	13.7	2.9	2.9	7.4	7.0	7.1	16.8
Sr/Eu	12.9	17.4	15.6	14.1	13.6	12.1	11.2	10.8	100.5
Eu/Eu*	0.25	0.27	0.24	0.24	0.23	0.21	0.2	0.25	1.0
TE _{1,3}	0.99	1.13	1.0	1.52	1.58	1.09	1.04	1.07	-

Примечание. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ как среднее между первой и третьей тетрадами по [Irber, 1999]. Eu* = (SmN+GdN)/2. Породы Куладинского массива шибеликского комплекса: 1–5 – гранит-порфиры эгирин-рибекитовые, 6–8 – лейкограниты рибекитовые

В Легенде Алтайской серии шибеликских гранитоидов предположительно позднедевонский (D_3 ?) [Шокальский и др., 2000].

Проведено современное геохронологическое исследование (U-Pb метод по цирконам, SHRIMP II) по граниту Куладинского массива. В результате по 11 зернам циркона значения возраста составили 341–404 млн лет (ранний карбон – ранний девон), причем без какой-либо отчетливой статистической предпочтительности (табл. 3). Исходя из этой неопределенности, на данном этапе изучения следует принять возраст Куладинского массива цифрами 341–348 млн. лет, то есть, ранним карбоном (C_1). Все остальные цирконы, вероятно, являются ксеногенными, захваченными в процессе продвижения расплава из девонских толщ.

Интерпретация результатов

Известно, что отношение циркония к гафнию является чувствительным индикатором фракционирования эле-

ментов в гранитоидах, и что увеличение отношений Zr/Hf происходит с увеличением кремнекислотности среды согласно рядам кислотности-щёлочности в водных и водно-сероводородных флюидах при стандартных условиях по [Маракушев, 1976]. Следовательно, увеличение величины тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ М-типа в породах позитивно коррелируется с увеличением кислотности среды.

По соотношениям Zr/Hf – SiO₂ породы Куладинского массива локализуются вблизи кривой фракционирования элементов в гранитоидах и располагаются в поле апогранитных цирконий-редкоземельных месторождений (рис. 2б).

На диаграмме соотношений Zr/Hf – TE_{1,3} фигуративные точки составов пород показывают слабое увеличение отношений Zr/Hf с увеличением тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ (рис. 3), что указывает на значительную роль фтор-комплексов в формировании породных типов Куладинского массива.

Таблица 3

Результаты определения радиологического возраста гранитов Куладинского массива

Table 3

Results of definition radiogenic age of granites Kuladinskiy massif

Номер зерна циркона	U, г/т	Th, г/т	²³² Th/ ²³⁸ U	(1) ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U возраст	% Дискордия	(1) ²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	±%	(1) ²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	±%	Ошибка
1095_1.1	179	65	0.37	372.9±4.6	-21	0.429	9.7	0.05956	1.3	.130
1095_2.1	425	201	0.49	348.6±2.4	7	0.414	1.6	0.05557	0.71	.447
1095_3.1	193	54	0.29	383.9±3.2	-1	0.459	2.2	0.06136	0.86	.387
1095_4.1	363	267	0.76	392.2±2.9	-5	0.4674	1.7	0.06272	0.76	.436
1095_5.1	1180	939	0.82	401.6±2.5	2	0.4865	1.1	0.06428	0.64	.591
1095_6.1	421	227	0.56	392.7±2.9	1	0.4726	1.9	0.0628	0.75	.407
1095_7.1	687	411	0.62	373.5±2.6	-4	0.442	2.6	0.05965	0.71	.274
1095_8.1	309	156	0.52	341.3±8.1	-3	0.398	5.1	0.0544	2.4	.476
1095_9.1	206	67	0.34	403.7±3.6	7	0.494	2.2	0.06462	0.91	.409
1095_10.1	349	174	0.51	391.6±3.1	7	0.476	4.5	0.06263	0.81	.183
1095_11.1	799	552	0.71	368.9±2.7	-2	0.4368	1.5	0.0589	0.76	.490

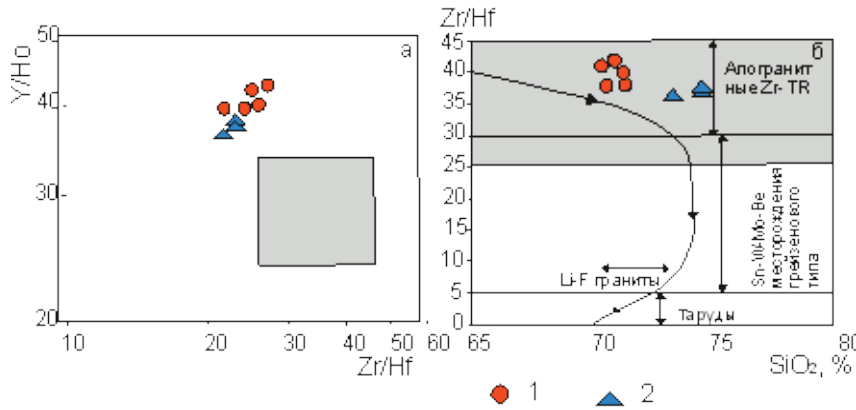


Рис. 2. Диаграммы соотношений Y/Ho – Zr/Hf по [Bau, 1996] и Zr/Hf – SiO₂ по [Гусев, 2015; Зарайский, Аксюк, 2009] для пород Куладинского массива.

Серым фоном на рисунках а и б показано поле HARAC (CHArge-and-Radius-Controlled) по [Bau, 1996]. На рис. б дугообразная линия со стрелками – кривая фракционирования расплавов редкометалльных гранитов и поля металлогенической специализации по [Зарайский, Аксюк, 2009; Гусев, 2015]; поле апогранитных цирконий-редкоземельных месторождений выделено автором по апаитовым гранитоидам Центрально-Азиатского орогенного пояса. 1 – эгирин-рибекитовые гранит-порфиры, 2 – рибекитовые лейкограниты

Fig. 2. Plot of ratio Y/Ho – Zr/Hf after [Bau, 1996] and Zr/Hf – SiO₂ after [Gusev, 2015; Zarayskiy, Aksjuk, 2009] for rocks of Kuladinskiy massif.

Gray background on fig a and b show field HARAC (CHArge-and-Radius-Controlled) after [Bau, 1996]. On fig b arcuate line with pointers – curve of fractionation melts of rare metals granites and fields of metallogenetic specialization after [Zarayskiy, Aksjuk, 2009; Gusev, 2015]; field apogranitic zirconium-rare earth elements deposits detached by author on apaiten granitoids of Central-Asian orogenic belt. 1 – granite-porphyras egirine-rhybecite, 2 – leucogranites rhybecite

Соотношение Y/Ho – Zr/Hf показывает, в сторону уменьшения Zr/Hf от ранних что все анализы демонстрируют поведение фаз к поздней, что подтверждает их типа “Non-HARAC” (CHArge - and - Radius- Controlled) [Bau, 1996], когда элементы с происхождение из магматической системы с одинаковым ионным радиусом и зарядом с влиянием внешнего F-обогащённого водного флюида, который характеризовался высокой фторо-насыщенностью и не когерентны и не остаются вблизи образованием активных фтор-комплексов хондритового отношения. Фигуративные (рис. 2а). Такие гранитоиды следует точкой составов пород выходят за пределы относить к высоко фракционированным поля HARAC и дают эволюционный тренд гранитоидам.

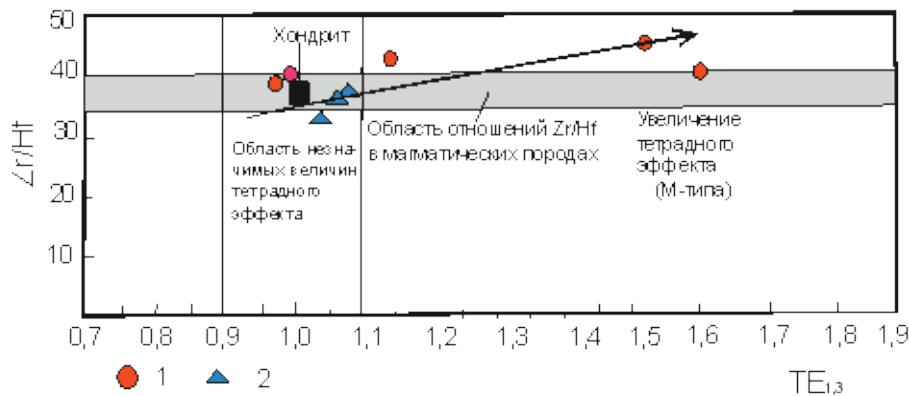


Рис. 3. Диаграмма соотношений Zr/Hf и TE_{1,3} для пород Куладинского массива.

1 – эгирин-рибекитовые гранит-порфиры, 2 – рибекитовые лейкограниты

Fig. 3. Plot of ratio Zr/Hf and TE_{1,3} for rocks of Kuladinskiy massif.

1 – granite-porphyras egirine-rhybecite, 2 – leucogranites rhybecite

Для пород Куладинского массива определены изотопы стронция и неодима, показанные в табл. 4.

Концентрации самария и неодима в эгирин-рибекитовых гранитах составляют (Sm 4.99 и 5.1), (Nd 22.7 и 23.2), что в 33.2–34 и 54.5–55.7 раз больше содержаний этих элементов в хондрите C1 (0.15 Sm и 0.416 Nd).

Эпсилон Nd в анализируемых гранитоидах составляет +10.4 и +8.1, что несколько выше аналогичных значений для интрузий Алтая среднепалеозойской

консолидации. Nd-модельный возраст протолита эгирин-рибекитовых гранитов Куладинского массива составляет 1107 и 1171 млн. лет, близкий для транзитной зоны перехода от средне-палеозойской консолидации к Алтае-Монгольскому террейну [Kruck et al., 2001].

На диаграмме $\epsilon Nd(T) - {}^{147}Sm/{}^{144}Nd$ составы пород Куладинского массива располагаются выше состава хондритовых метеоритов и далеко от поля синорогенных гранитоидов, тем самым подтверждая их анорогенную природу (рис. 4).

Таблица 4

Определения изотопов самария, неодима и модельного возраста протолита эгирин-рибекитовых гранитов

Table 4

Definition of isotopes samarium, neodium and model age of protolite granite-porphyrates egirine-rhybecite

№ п/п	Названия пород	Возраст, млн. лет	Sm, г/т	Nd, г/т	${}^{147}Sm/{}^{144}Sm$	${}^{143}Nd/{}^{144}Nd$	+/- 2S	$\epsilon Nd(T)$	$\epsilon Sr(T)$	TDM	TDM2
1	Эгирин-рибекитовый гранит-порфир	341	4.99	22.7	0.1502	0.512784	6	+10.4	+5.1	1107	1074
2	Эгирин-рибекитовый гранит-порфир	343	5.1	23.2	0.1511	0.512581	6	+8.1	+4.8	1171	1106

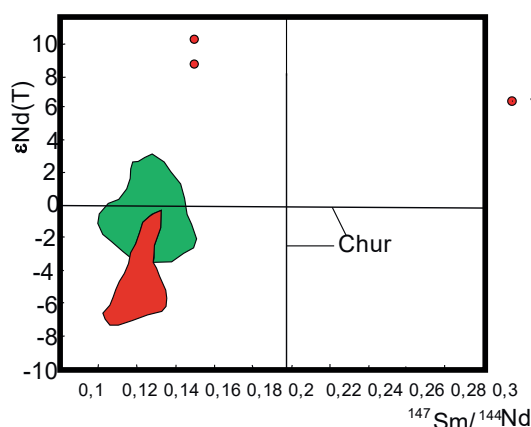


Рис. 4. Диаграмма $\epsilon Nd(T) - {}^{147}Sm/{}^{144}Nd$ для эгирин-рибекитовых гранитов Куладинского массива. Линии Chur – составы хондритовых метеоритов; зелёное поле – синорогенные гранитоиды и красное поле – ранне-среднепалеозойские метаосадочные породы по [Rollinson, 1993; Chen, Jahn, 2001].

1 – эгирин-рибекитовые граниты

Fig. 4. Plot of $\epsilon Nd(T) - {}^{147}Sm/{}^{144}Nd$ for egirine-rhybecite granites of Kuladinskiy massif. Line Chur – compositions of chondritic meteorites; green field – sinorogenic granitoids and red field – Lower-Middle Paleozoic metasedimentary rocks after [Rollinson, 1993; Chen, Jahn, 2001].

1 – egirine-rhybecite granites

В координатах $\epsilon\text{Nd}(T) - \epsilon\text{Sr}(T)$ изотопного состава эгирин-рибекитовых гранитов фигуритивные точки локализуются между полями деплетированной мантии MORB и умеренно-деплетированная мантия плюмов (рис. 5).

Эти данные указывают на значительную роль мантийных компонентов в формировании пород массива и генерацию в рифтогенной геодинамической обстановке. По времени внедрение щелочных гранитов Куладинского массива происходило раньше проявления пермско-триасовых Таримского и Сибирского плюмов, что указывает на ещё более раннюю прежде неизвестную плюмовую обстановку, сформировавшую и магматизм, и ассоциирующее редкометалльно-редкоземельное оруденение в Алтайском регионе.

Следует отметить определённое сходство гранитоидов Куладинского массива с рибекитовыми щелочными гранитоидами майорского и елиновского массивов среднего девона Горного Алтая, с которыми также связано редкометалльно-редкоземельное оруденение. Шибеликский рудный узел с анорогенными щелочными гранитоидами и редкометалльно-редкоземельной минерализацией накладывается на девонский стиль субширотной горно-алтайской ориентировки субмеридиональным трансгорно-алтайским вектором, указывающим на новый тектоно-магматический и металлогенический этапы развития Алтая, происходившим в поздне-герцинский тектоно-магматический цикл (бретонская фаза складчатости).

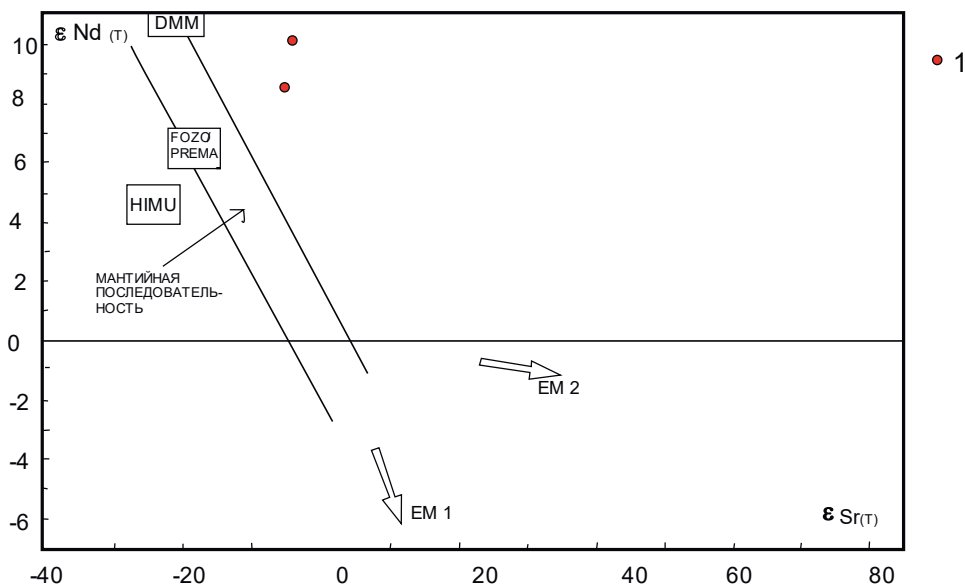


Рис. 5. Диаграмма Nd-Sr изотопного состава по [Rollinson, 1993] для эгирин-рибекитовых гранитов Куладинского массива. Изотопные резервуары (источники плавления): DMM – деплетированная мантия MORB – типа; FOZO/PREMA – умеренно-деплетированная мантия плюмов; HIMU – мантия плюмов с высоким изотопным отношением $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$; EM1 и EM2 – обогащённая мантия первого и второго типов

Fig. 5. Plot of Nd-Sr isotope composition after [Rollinson, 1993] for egirine-ribeckite granites of Kuladinskiy massif. Isotope reservoir (sources of melting): DMM – depletion mantle MORB – type; FOZO/PREMA – moderate depletion mantle of plums; HIMU – mantle of plums with high isotope ratio of $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$; EM1 and EM2 – rich mantle first and second types

Выводы

1. Гранитоиды Куладинского массива сложены двумя фазами внедрения (1 – эгирин-рибекитовыми гранит-порфирами и 2 – эгириновыми лейкогранитами) относящимися к агпаитовому типу сильно фракционированному, испытавшему приток флюидов, обогащённых фтор-комплексами.

2. В них проявлены очень высокие значения ТЭФ РЗЭ М- типа и отсутствие заряд-радиус контролируемого поведения химических элементов.

3. Абсолютный возраст становления гранитоидов Куладинского массива оценивается в 341–348 млн. лет назад (ранний карбон).

4. По соотношению изотопов стронция установлено, что генерация гранитоидов происходила с участием мантийных компонентов.

5. Изотопно-геохимические данные указывают на мантийно-коровое взаимо-

действие при формировании Куладинского массива и связанного с ним оруденения.

6. Геодинамическая обстановка формирования Куладинского массива определяется как рифтогенная в постколлизийный этап герцинского тектогенеза (бретонская фаза складчатости) и знаменует собой ранее не выделявшийся на Алтае металлогенетический таксон с редкометалльно-редкоземельным оруденением, сформированным в плюмовой обстановке.

7. Пространственно и парагенетически с гранитоидами Куладинского массива и других массивов Шибеликского комплекса, претерпевшим фельдшпатизацию, связано редкометалльно-редкоземельное оруденение, имеющее промышленные концентрации. Набор редкоземельных элементов, имеющих стратегическое значение, потенциально перспективен на выявление промышленного оруденения. Это подтверждается и оценкой прогнозных ресурсов металлов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests

Список литературы

Гусев А.И., Гусев А.А. Тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов и его использование в решении проблем петрологии гранитоидов // Успехи современного естествознания. 2011. № 5. С.45–49.

Гусев А.И., Гусев Н.И. Анорогенные гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим. Бийск: Изд-во АГАО, 2014. 202 с.

Гусев А.И. Агпаитовые редкометалльные гранитоиды Алтая и их рудоносность // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 11 (часть 1). С.76–80.

Зарайский Г.П., Аксюк А.М., Девятова В.Н. Цирконий–гафниевый индикатор фракционирования редкометалльных гранитов // Петрология. 2009. № 1. С. 28–50.

Маракушев А.А. Термодинамические факторы образования рудной зональности скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений.

М.: Наука, 1976. С. 36–51.

Скляров Е.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Иванов А.В., Летникова Е.Ф., Митровнов А.Г., Бараш И.Г., Буланов В.А., Сизых А.И. Интерпретация геохимических данных. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.

Шокальский С.П., Бабин Г.А., Владимиров А.Г., Борисов С.М. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. 187 с.

Vau M. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect // *Contrib. Miner. Petrol.* 1996. Vol. 123. P. 323–333.

Chen B., Jahn B.M. Geochemical and isotopic study of sedimentary and granitic rocks from the Altai orogeny (NW China) and tectonic implications // *Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia*. Novosibirsk., Publishing House of SB RAS. Department “GEO”, 2001. P. 14–17.

Chen N.H.C., Zhao G.C., Jahn B.M., Zhou H., Sun M. Geochemistry and geochronology of the delinggou intrusion: implications for the subduction of the Paleo-Asian Ocean beneath the North China Craton // *Gondwana Research*. 2017. Vol. 43. P. 178–192.

Coulson I.M., Russell J.K., Dipple G.M. Origins of the Zippa Mountain pluton: a Late Triassic, arc-derived, ultrapotassic magma from the Canadian Cordillera // *Can J Earth Sci.* 1999. Vol. 36. P. 1415–1434.

Coulson I.M. Evolution of the North Qôroq centre nepheline syenites, South Greenland: alkali- mafic silicates and the role of metasomatism // *Mineral Mag.* 2003. Vol. 67. P. 873–892.

Currie K.L. A hypothesis on the origin of alkaline rocks suggested by the tectonic setting of the Monteregian Hills // *Can. Mineral.* 1970. Vol. 10. P. 411–420.

Goodenough K.M., Coulson I.M., Wall F. Intraplate alkaline magmatism: mineralogy and petrogenesis // *Mineral.Mag.* 2003. Vol. 67. P. 829–830.

Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // *Geochim Comochim Acta.* 1999. Vol. 63. №3/4. P. 489–508.

Kruk N.N., Rudnev S.N., Vystavnoi S.A., Palrskiy S.V. Sr-Nd isotopic systematics of granitoids and evolution of continental crust of the western part of Altai-Sajan fold region // *Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia*. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS. Department “GEO”, 2001. P. 68–72.

Mc Donough W.F., Sun S. The composition of the Earth // *Chem. Geol.* 1995. Vol. 120. P. 223–253.

Ren K.X. Study progress of the alkaline rocks: a review // *Geol Chem Miner.* 2003. Vol. 25. P. 151–163.

Rollinson H. Using geochemical data evaluation presentation, interpretation. London, 1993. 245 p.

Wang L., Wang G.H., Lei S.B., Qing M., Jia L.Q., Chang C.J., Kang J.K., Hou W.R. The Early Carboniferous Xiaomiaogou granite porphyry dykes in the northern margin of the North China Craton: implication for crust-mantle interaction and intraplate magmatism // *Geological Journal*. 2017. Vol. 52. P. 489–509.

Zhao Z.H., Wang Z.G., Zou T.R., Masuda A. Progress of solid-earth sciences in northern Xinjiang. Beijing; Science Press, 1993. P. 239–266.

References

Gusev A.I., Gusev A.A. Tetradnyj effekt frakcionirovaniya redkozemel'nyh elementov i ego ispol'zovanie v reshenii problem petrologii granitoidov [Tetrad effect of fractionation of rare earth elements and its use in solving problems of granitoids petrology] // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in modern natural science]*. 2011. No. 5. P.45–49. (In Russian).

Gusev A.I., Gusev N.I. Anorogennye granitoidy: petrologiya, geohimiya, flyuidnyj rezhim [Anorogenic granitoids: petrology, geochemistry, fluid regime]. Bijsk: Izd-vo AGAO, 2014. 202 p. (In Russian).

Gusev A.I. Agpaitovye redkometall'nye granitoidy Altaya i ih rudonosnost' [Agpaitic rare-metal granitoids of Altai and their ore-bearing] // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]*. 2015. No. 11 (part 1). P. 76–80. (In Russian).

Zarajskij G.P., Aksyuk A.M., Devyatova V.N. Cirkonij–gafnievyj indikator frakcionirovaniya redkometal'nyh granitov [Zirconium-hafnium indicator of rare-metal granites fractionation] // *Petrologiya [Petrology]*. 2009. No. 1. P. 28–50. (In Russian).

Marakushev A.A. Termodinamicheskie faktory obrazovaniya rudnoj zonal'nosti skrytogo orudneniya na osnove zonal'nosti gidrotermal'nyh mestorozhdenij [Thermodynamic factors of ore formation of hidden mineralisation on the basis of zonality of hydrothermal deposits]. M.: Nauka, 1976. P. 36–51. (In Russian).

Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Ivanov A.V., Letnikova E.F., Mitrovnov A.G., Barash I.G., Bulanov V.A., Sizyh A.I. Interpretaciya geohimicheskikh dannyh [Interpretation of geochemical data]. M.: Internet Inzhiniring, 2001. 288 p. (In Russian).

Shokal'skij S.P., Babin G.A., Vladimirov A.G., Borisov S.M. Korrelyaciya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov zapadnoj chasti Altae-Sayanskoj skladchatoj oblasti [Correlation of magmatic and metamorphic complexes of the western part of the Altai-Sayan folded region]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, filial «Geo», 2000. 187 p. (In Russian).

Bau M. Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect // *Contrib. Miner. Petrol.* 1996. Vol. 123. P. 323–333.

Chen B., Jahn B.M. Geochemical and isotopic study of sedimentary and granitic rocks from the Altai orogeny (NW China) and tectonic implications // *Continental Growth in the Pha-*

nerozoic: Evidence from Central Asia. Novosibirsk., Publishing House of SB RAS. Department "GEO", 2001. P. 14–17.

Chen N.H.C., Zhao G.C., Jahn B.M., Zhou H., Sun M. Geochemistry and geochronology of the delinggou intrusion: implications for the subduction of the Paleo-Asian Ocean beneath the North China Craton // *Gondwana Research*. 2017. Vol. 43. P. 178–192.

Coulson I.M., Russell J.K., Dipple G.M. Origins of the Zippa Mountain pluton: a Late Triassic, arc-derived, ultrapotassic magma from the Canadian Cordillera // *Can J Earth Sci*. 1999. Vol. 36. P. 1415–1434.

Coulson I.M. Evolution of the North Qôroq centre nepheline syenites, South Greenland: alkali-mafic silicates and the role of metasomatism // *Mineral Mag*. 2003. Vol. 67. P. 873–892.

Currie K.L. A hypothesis on the origin of alkaline rocks suggested by the tectonic setting of the Monteregian Hills // *Can. Mineral*. 1970. Vol. 10. P. 411–420.

Goodenough K.M., Coulson I.M., Wall F. Intraplate alkaline magmatism: mineralogy and petrogenesis // *Mineral.Mag*. 2003. Vol. 67. P. 829–830.

Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // *Geochim Comochim Acta*. 1999. Vol. 63. №3/4. P. 489–508.

Kruk N.N., Rudnev S.N., Vystavnoi S.A., Palrskiy S.V. Sr-Nd isotopic systematics of granitoids and evolution of continental crust of the western part of Altai-Sajan fold region // *Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia*. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS. Department "GEO", 2001. P. 68–72.

Mc Donough W.F., Sun S. The composition of the Earth // *Chem. Geol*. 1995. Vol. 120. P. 223–253.

Ren K.X. Study progress of the alkaline rocks: a review // *Geol Chem Miner*. 2003. Vol. 25. P. 151–163.

Rollinson H. Using geochemical data evaluation presentation, interpretation. London, 1993. 245 p.

Wang L., Wang G.H., Lei S.B., Qing M., Jia L.Q., Chang C.J., Kang J.K., Hou W.R. The Early Carboniferous Xiaomiaogou granite porphyry dykes in the northern margin of the North China Craton: implication for crust-mantle interaction and intraplate magmatism // *Geological Journal*. 2017. Vol. 52. P. 489–509.

Zhao Z.H., Wang Z.G., Zou T.R., Masuda A. Progress of solid-earth sciences in northern Xinjiang. Beijing; Science Press, 1993. P. 239–266.

KULADINSKIY MASSIF OF GORNYYY ALTAY: ABSOLUTE AGE AND PETRO-GEOCHEMISTRY

A.I. Gusev, A.A. Alekseenko, S.Ya. Konchakova

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk,

E-mail: anzerg@mail.ru

New data on geological building, ore mineralization, composition, petrology, age and geodynamic of forming alkaline granitoids of Kuladinskiy massif lead in paper. Two phases of intrusion detached: 1- aegirine-riebeckite granite-porphyrtes, and 2- riebeckite leucogranites. Absolute age of aegirine-riebeckite granite-porphyrtes basic phase intrusion (U-Pb method on zircon SHRIMP II) composed 341–348 mln yers, that it corresponds Early Carboniferous. Some zircons show and more ancient age (even to 401 mln years), related with assimilation by melt of Devonian rocks, grasping in process turning of massif. Signs of high activity of fluor-complexes in magmatic fluids reveal causing of manifestation of tetradic effect fractionation REE M-type. Increasing of values TEF REE positivity correlated with rise acidic environment of mineral-forming and rock-forming. Ratio of isotopes strontium and neodiu show on take part of upper-mantle of components in generation of melt and forming of rocks Kuladinskiy massif. Geodynamic setting of forming alkali rocks of massif determine as riftogenic. Manifestations and intensive anomaly of Zr, Nb, Ta, Hf, rare earth elements, has strategic meaning related in space and paragenetic with granitoids of massif that it suffered feldspathization. An extension ore of category P₃ estimated for Shibelik ore district.

Key words: Gornyy Altay, alkali granites, aegirine-riebeckite granite-porphyrtes, riebeckite leucogranites, feldspathid methasomatics, riftogenetic setting.

Received January 5, 2024. Accepted: January 29, 2024

Сведения об авторах

Гусев Анатолий Иванович – доктор геолого-минералогических наук, профессор Алтайского государственного гуманитарно-педагогического университета им. В.М. Шукшина. Россия, 659300, г. Бийск, ул. Советская, д. 5. ORCID: 0000-0001-7840-0272. E-mail: anzerg@mail.ru.

Алексеенко Анна Александровна – научный работник Лаборатории петрологии и металлогении золота Алтайского государственного гуманитарно-педагогического университета им. В.М. Шукшина. Россия, 659300, г. Бийск, ул. Советская, д. 5.

Кончакова Софья Ярославна – научный работник Лаборатории петрологии и металлогении золота Алтайского государственного гуманитарно-педагогического университета им. В.М. Шукшина. Россия, 659300, г. Бийск, ул. Советская, д. 5.

Information about the author

Gusev Anatolij Ivanovich – Doctor geology-mineralogical sciences, professor of Shukshin Altai State University for Humanities and Pedagogy. 5, Sovetskaya St., 659300 Biisk, Russia. ORCID: 0000-0001-7840-0272. E-mail: anzerg@mail.ru.

Alekseenko Anna Aleksandrovna – science worker of Laboratory petrology and metallogeny of gold of Shukshin Altai State University for Humanities and Pedagogy. 5, Sovetskaya St., 659300 Biisk, Russia.

Konchakova Sofja Yaroslavna – science worker of Laboratory petrology and metallogeny of gold of Shukshin Altai State University for Humanities and Pedagogy. 5, Sovetskaya St., 659300 Biisk, Russia.