

Позднемеловой Право-Кыринский массив щелочно-полевошпатовых гранитов (Верхояно-Колымская орогенная область)

В.А. Трунилина

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия
trunilina40@mail.ru

Аннотация. Рассматривается специфика составов позднемеловых гранитов Право-Кыринского массива щелочно-полевошпатовых гранитов, локализованного на границе Селенняхского синклинория и Тас-Хаяхтахского антиклинория Верхояно-Колымской орогенной области и сопровождающегося редкоземельной минерализацией. Изотопный возраст гранитов 85–94 млн лет. Показано, что граниты принадлежат к А-типу посторогенной геодинамической обстановки. Материнский расплав генерировался в глубоко метаморфизованных субстратах нижней коры под воздействием тепла и флюидов, продуцируемых глубинными мантийными магмами. Граниты характеризуются высокой степенью дифференциации, повышенной щелочностью, сочетанием в составе высокотемпературных, характерных для основных пород, и низкотемпературных, «гранитных», породообразующих и акцессорных минералов; высокой ролью хлора при кристаллизации. По этим признакам и присутствию даек трахидолеритов в контуре массива и его экзоконтактов предполагается наличие в пределах территории погребенного очага основных расплавов, активизация которых в позднем мелу обусловила повторное плавление коровых субстратов.

Ключевые слова: граниты, геодинамическая обстановка, субстраты магмогенерации, типоморфизм минералов, мантийно-коровое взаимодействие.

Благодарности. Работа выполнена по государственному заданию Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН. Автор выражает благодарность всем сотрудникам, проводившим аналитические исследования. Особенно признателен автор С.П. Роеву за помощь в подготовке картографических материалов.

Введение

Граниты А-типа привлекают внимание исследователей как возможные источники редкометалльного и редкоземельного оруденения. Петро- и геохимические особенности этих пород широко варьируют, как и ассоциирующее с ними оруденение. Также разнообразны и дискуссионны представления об их генезисе: синтексис мантийных и коровых расплавов [1, 2], предельная фракционная дифференциация гранитоидных очагов [3], дифференциация мантийных магм [4]. Авторами на северо-востоке Верхояно-Колымской орогенной области установлено широкое распространение гранитов А-типа и выделено несколько их разновидностей со Sn–W-, Ta–Nb-, Li-, Au–U-, REE-оруденением и с возрастом от неопротерозоя до позднего мела [5]. В статье приведены результаты изучения гранитов позднемелового массива, локализованного на границе

Селенняхского синклинория и Тас-Хаяхтахского антиклинория, с ассоциированной редкоземельной минерализацией. Целью исследований являлось установление типоморфных и генетических особенностей и геохимической специализации гранитов. Актуальность исследований определяется необходимостью определения генезиса и типоморфных особенностей позднемеловых гранитов – возможных источников редкоземельной минерализации, что может способствовать поискам подобных образований на территории Верхояно-Колымской орогенной области.

Методика исследований

Методика работ включала: изучение строения массива в полевых условиях, опробование входящих в его состав пород, изучение их петрографического состава, полный силикатный анализ (аналитики Д.А. Кулагина, Г.Н. Охлопкова,

С.Е. Дьяконова), количественный спектральный и атомно-абсорбционный анализы (Н.Н. Олейникова, Н.М. Таюрская, А.С. Васильева, О.Д. Замийская, З.В. Хохрякова); определение составов порообразующих и акцессорных минералов на микроанализаторе Camebax-micro (С.П. Роев, Л.А. Павлова). Изотопный возраст гранитов определен А.И. Зайцевым по валовым пробам Rb–Sr методом по образцам автора. Все эти анализы выполнены в лаборатории физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН. Кроме того, в спектральной лаборатории Института геохимии СО РАН под руководством О.В. Зарубиной проведено определение содержаний элементов-примесей (в том числе редкоземельных элементов) методом ИСП-МС. Расчеты P – T -условий магмогенерации и кристаллизации выполнены в основном по программе GCDkit, программы расчетов составов и параметров кристаллизации темноцветных минералов указаны в примечаниях к таблицам.

Геологическое строение территории

Рассматриваемая территория локализована на границе Селенняхского синклиория и Тас-Хаяхского антиклиория Верхояно-Колымской орогенной области. В ее геологическом строении принимают участие мощные толщи осадочных и метаморфизованных пород нижнего палеозоя – раннего мела. Широко развиты позднеюрские вулканогенные образования Уяндино-Ясачненской энсиалической палеоостровной дуги [6]. Осадочные толщи прорваны многочисленными интрузиями с возрастом от верхнего ордовика до позднего мела (ордовикские метаморфизованные базиты и ультрабазиты, силурийские и раннедевонские силлы и дайки основного состава, позднеюрские массивы и дайки диорит-гранитного состава, массивы ранне- и позднемеловых гранитоидов, позднемеловые дайки трахидолеритов) (рис. 1). Наиболее интенсивным был меловой магматизм, сопровождавшийся многочисленными проявлениями разнообразных полезных ископаемых, основными из которых являются золото, серебро и олово. В пределах и в ореолах Право-Кыринского массива при геолого-поисковых работах установлена редкоземельная минерализация (La, Ce, Yb).

Геологическое строение и состав массива

Право-Кыринский массив интрузирует полого-моноклинально залегающие вулканогенные толщи догдинской свиты поздней юры и перекрывается ими. Эродированные участки наблюдаются

только вдоль тальвега правого притока р. Кыра, прорезающего массив в северо-западном направлении и заложеного вдоль зоны разлома. Массив имеет форму крутопадающего трещинного тела, приуроченного к зоне пересечения этого разлома и разлома северо-восточного простирания, по которому заложена долина р. Кыра.

Массив сложен мелко- и среднезернистыми порфировидными лейкогранитами, с отклонениями к граносиенитам и кварцевым сиенитам в эндоконтактах. В гранитах наблюдаются многочисленные пегматоидные обособления. Нередки миаролы, заполненные крупнокристаллическим кальцитом с вкрапленностью редкоземельных минералов. Вмещающие вулканогенно-терригенные породы пронизаны мелкими апофизами гранит- и граносиенит-порфиров. Жильная фация представлена мелко-среднезернистыми аляскитами и аплитовидными гранитами, приуроченными к системе субширотных и северо-восточных тектонических нарушений, повторные подвижки по которым сопровождаются интенсивной биотитизацией, турмалинизацией и сульфидизацией пород. К северо-восточной системе нарушений приурочены единичные дайки трахидолеритов. Изотопный возраст гранитов 85–94 млн лет.

Петрография и минералогия гранитов

Граниты лейкократовые, с суммой темноцветов не более 5 %, незначительно возрастающей у контактов. Структура их весьма своеобразна. Здесь короткопризматические зерна магнезиоавгита и таблички многозонального андезин-лабрадора с ядрами битовнита или анортита (до 95 % an) образуют обособленные блоки, погруженные в мелкозернистый пегматоидный лейкогранитный или аляскитовый матрикс, что прямо свидетельствует о кристаллизации при смешении магм разного состава. По соотношениям железистости и содержаний TiO_2 и стабильно повышенным содержаниям Cr_2O_3 (табл. 1) магнезиоавгит сопоставим с клинопироксенами пикрит-базальтовых ассоциаций континентов [14].

В окружающем гранитном матриксе первым кристаллизовались санидин или анортитоклаз и находящийся в виде идиоморфных включений в них геденбергит или ферроавгит ($f = 83–86\%$) со стабильным присутствием эгириновой молекулы ($0,7–2,7\%$). Спорадически в санидине отмечаются также округлой формы включения фаялита ($f = 80–90\%$). Во второй этап образовался мезопертитовый кали-натровый полевой шпат с близкими соотношениями пертитов альбита и

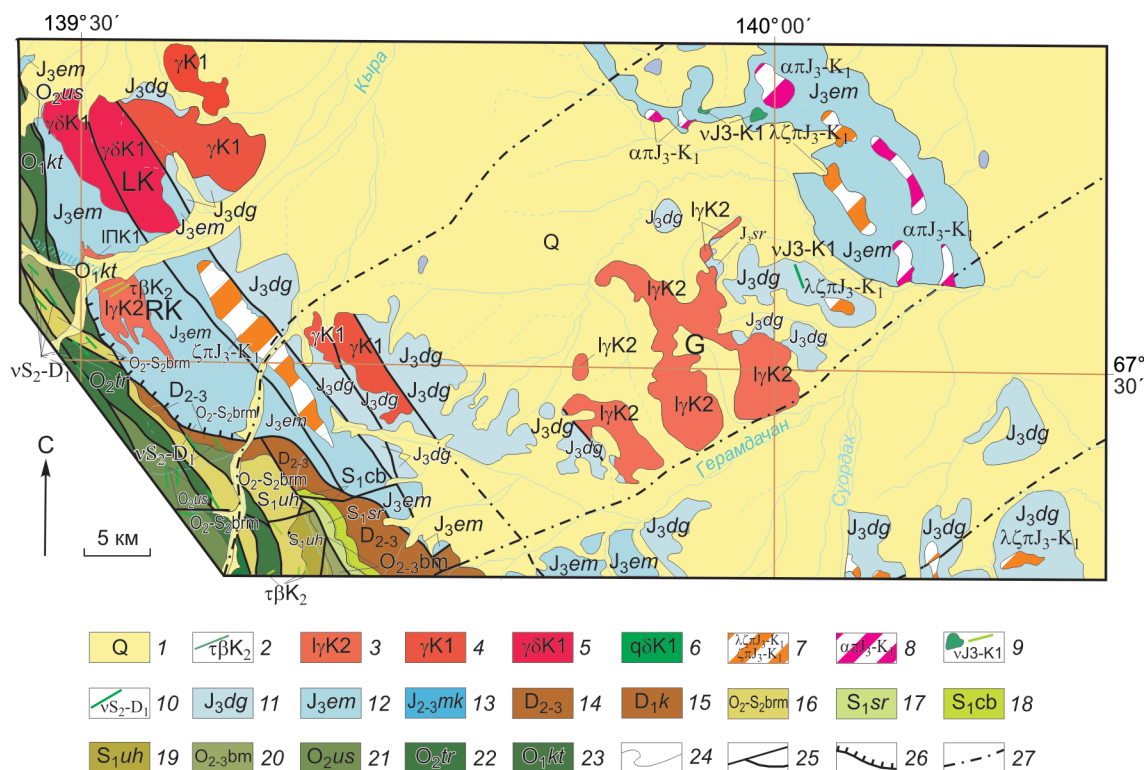


Рис. 1. Геологическая карта зоны сочленения Селеняхского синклиория и Тас-Хаяхтахского антиклинория (Федянин А.Н. и др., 2008 г., с уточнениями авторов).

1 – четвертичные отложения. Интрузивные и субвулканические образования: 2 – трахибазальты и трахидолериты K_2 -Pg, 3 – лейкограниты K_2 , 4 – граниты K_1 , 5 – гранодиориты и кварцевые диориты K_1 , 6 – диориты и кварцевые диориты K_1 , 7 – субвулканические дацитовые и риодацитовые порфиры K_1 , 8 – субвулканические андезит-порфиры J_3 - K_1 , 9 – дайки и малые тела габбро-диоритов и диабазов J_3 - K_1 , 10 – дайки микрогаббро S_2 - D_1 . Стратифицированные образования: 11 – догдинская свита (риолиты, дациты, их туфы, туффиты, алевролиты, углистые аргиллиты), 12 – эмтанжинская свита: андезиты, андезидациты, их туфы, туффиты, редкие пласты андезибазальтов, алевролитов и углистые аргиллиты; 13 – мукдуканская свита (базальты, андезиты), 14 – известняки и мраморы D_1 , 15 – кеберининская толща D_{2-3} : конглобрекции, конгломераты, гравелиты, доломиты, мергели; 16 – O_2 - S_2brm : нерасчлененные биогенно-рифидные массивы, калькарудиты, мергели и карбонатно-глинистые сланцы; 17 – сюрюктяхская свита S_1sr : доломиты, известняки, мергели; 18 – чибагалахская свита S_1cb : коралловые известняки, известковистые алевролиты, рифогенные конглобрекции; 19 – ухватахская свита S_1uh : известняки биоморфные и биокластитовые; глинистые и известково-глинистые сланцы с граптолитами; калькарудиты; 20 – биомикститовая толща O_{2-3bm} : биомикситы алевритодоломитовые и алевритомергелистые, известняки биомикритовые, оолитовые известняки; 21 – усунская свита O_{2us} : известняки, мергели, туффиты, туфоалевролиты; 22 – тарынг-юряхская свита O_{2tr} : биомикситы, известняки биомикриты, оолитовые и пеллоидно-онколитовые известняки, известковистые алевролиты; 23 – кутуканская толща O_{1kt} : калькарудиты, кварц-доломитовые алевролиты, биогенные известняки. 24 – геологические границы; 25 – разломы; 26 – надвиги; 27 – разломы, предполагаемые под покровом рыхлых отложений. Массивы: Герамдачанский (G), Право-Кыринский (R-K), Лео-Кыринский (L-K).

Fig. 1. Geological map of the zone of junction of the Sellenyakh synclinorium and the Tas-Khayakhtakh anticlinorium (Fedyanin et al., 2008, with clarifications by the authors).

1 – Quaternary deposits. Intrusive and subvolcanic formations: 2 – trachybasalts and trachydolerites K_2 -Pg, 3 – leucogranites K_2 , 4 – granites K_1 , 5 – granodiorites and quartz diorites K_1 , 6 – diorites and quartz diorites K_1 , 7 – subvolcanic dacite and rhyodacite porphyry K_1 , 8 – subvolcanic andesite-porphyrity J_3 - K_1 , 9 – small bodies and dikes of gabbro-diorites and diabases J_3 - K_1 ; 10 – dikes of microgabbro S_2 - D_1 . Stratified formations: 11 – Dogdinskaya formation (rhyolites, dacites, their tufts, tuffites, siltstones, carbonaceous claystones); 12 – Emtandzinskaya formation: andesites, andesidacites, their tufts, tuffites, siltstones, carbonaceous claystones; 13 – Mukdukanskaya formation: dasaltes, andesites, 14 – marlstones and marbles D_1 ; 15 – Keberininskaya strata D_{2-3} : breccias-conglomerates, conglomerates, gritstones, dolomites, marlstones; 16 – O_2 - S_2brm : undissected biogenic-reefoid massifs, calcarudites, marlstones and carbonate-clay shales; 17 – Syuryuktyakhskaya formation S_1sr : dolomites, limestones, marlstones; 18 – Chibagalkhskaya formation S_1cb : coral limestones, calcareous siltstones, reef breccia-conglomerates; 19 – Ukhvatskaya formation S_1uh : biomorphic and bioclastic limestones; clay and calcaceous-clay shales with graptolites; calcarudites; 20 – biomixtite strata O_{2-3bm} : biomixyites and silty-dolomite and silty-marl, biomicrite limestones; oolitic limestones; 21 – Usunskaya formation O_{2us} : limestones, marlstones, tuffites, tuff siltstones; 22 – Taryng-Yuryakhskaya formation O_{2tr} : biomixtites, limestones biomicrites, oolitic and peloid-oncolite limestones, calcareous siltstones; 23 – Kutukanskaya strata O_{1kt} : calcarudites, quartz-dolomite siltstones, biogenic limestones, 24 – geological boundaries; 25 – faults; 26 – thrusts; 27 – supposed faults. RK – Right-Kyrinsky massif, LK – left Kyrinsky massif, G – Geramdachansky massif.

Таблица 1

Составы темноцветных минералов гранитов Право-Кыринского массива, мас. %

Table 1

Compositions of dark-colored minerals of granites of the Pravo-Kyrinsky massif, wt. %

Номер образца	Номер анализа	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	H ₂ O	Сумма	f, %	al, %	T, °C	-Log fO ₂	P, ГПа	H ₂ O % in melt
4107/9	1	52,74	0,41	1,81	0,67	1,42	4,61	0,16	17,52	19,68	0,39	0.				99,41	15,8		1199		1,2	
	2	53,34	0,37	2,93	0,76	0,64	6,05	0.	16,48	18,77	0,92	0				100,26	18,4				1,0	
	3	54,07	0,37	2,71	0,80	0	5,42	0	17,59	19,29	0,43	0				100,68	14,7		1287		0,9	
	4	37,19	0,34	8,91	0,02	7,53	24,66	0,19	2,91	10,86	1,62	2,67	3,21	0,06	0,88	100,95	85,7		787		0,5	
	5	38,07	0,33	10,88	0,22	7,59	22,87	0,21	2,98	10,75	1,51	2,32	2,41	0,04	1,13	101,30	84,9		761		0,78	
	6	44,61	0,57	23,80	0	0	17,54	1,70	0,48	0,01	0,04	9,95	0,04	1,20	1,36	101,29	97,3					
	7	35,00	0,31	12,17	0	6,83	28,11	0,09	3,75	0.	0,06	7,90	3,92	0,11	2,56	100,81	83,7	17,2	568	18	0,1	12
	8	37,25	1,35	10,97	0	5,31	22,31	0,09	8,10	0,01	0,03	8,68	1,91	0,64	3,92	100,57	65,2	15,2	504	16,1	0,05	
	9	36,01	0,93	13,04	0	5,17	28,44	0,91	1,71	0.	0.	8,89	1,24	0,58	3,00	99,92	91,6	18,8	594	18,5	0,07	12
4108/9	10	35,99	0,74	13,05	0,02	5,27	28,15	0,97	2,01	0	0.	8,80	1,14	0,68	3,00	99,83	90,2	18,8	630	18,3	0,08	12

Примечания. Анализы выполнены Л.Ф. Павловой и С.П. Роевым в ИГАБМ СО РАН на рентгеновском микроанализаторе Camebax-micro. 1, 3 – магнетит; 4, 5 – гастингситы; 6 – феррихедрит; 7–10 – лепидомеланы. Расчеты: T, °C, – температура и P – давление при кристаллизации минерала. Расчеты пироксенов – [7]. T, P амфиболов [8, 9]; биотитов: H₂O % in melt – содержание воды в расплаве [10]. Определение температур: T, °C [11]; давления P – [12]; log f O₂ – [13]. Незаполненные клетки – элемент не определялся.

Notes. The analyses were performed by L.F. Pavlova and S.P. Roev at IGABM SB RAS using the Camebax-micro x-ray microanalyzer. 1, 3 – magnetite; 4, 5 – hastingsites; 6 – ferrizhedrite; 7–10 – lepidomelans. Calculations: T°C – temperature and P – pressure during crystallization of the mineral. Calculations of pyroxenes – [7]. T, P amphiboles [8, 9]; biotites: H₂O % in melt –water content in the melt [10]. Determination of temperatures: T°C [11]; pressure P – [12]; log f O₂ – [13]. Empty cells – the element was not defined.

высокого или промежуточного ортоклаза и в резко подчиненном количестве – таблички олигоклаз-альбита и изометричные и неправильной формы зерна кварца. Расчеты [15] определяют температуру расплава на этом этапе в 850–856 °С. В третий этап кристаллизовались ксеноморфные зерна кварца либо мелкозернистый пегматит. Амфибол и биотит поздние и постмагматические. Они выполняют интерстиции между зернами силикатных минералов или тонкие прожилковые обособления и несут многочисленные включения рудных минералов, монацита, ортита, ксенотима и недиагностируемые мелкие включения радиоактивных минералов, фиксируемые по плеохроичным дворикам вокруг них. В порфировых породах эндоконтакта первыми кристаллизуются субидиоморфные зерна кварца в срастании и с включениями одноосного санидина. Они образуют относительно крупными зернами высоко ортоклаза с включениями биотита в нем, и уже эти скопления погружены в микропегматитовый или в микрогранитный агрегат.

Амфибол имеет состав железистого гастингсита и характеризуется высоким содержанием щелочей и хлора (см. табл. 1). В протоочках гранитов обнаружены также корродированные зерна

феррижедрита – характерного минерала высоких ступеней метаморфизма. Биотит начинает кристаллизоваться несколько позже амфибола, замещающая его по периферии зерен. В большинстве случаев определяется как лепидомелан. Как и амфибол, обладает аномально высокими содержаниями хлора и кристаллизуется из водонасыщенного расплава при низком потенциале кислорода и высокой активности воды и галогенов (особенно – хлора): $\log f \text{ H}_2\text{O} = 3,0\text{--}3,6$; $\log f \text{ HCl} = 2,9\text{--}3,7$; $\log f \text{ HF} = 1,1$ (расчет по [16]). По соотношениям железистости и содержаний фтора биотит гранитов сопоставим с биотитами поздних дифференциатов габбро-гранитных ассоциаций, а по низким значениям OH/F и высокой железистости – с биотитами шошонитовых гранитов или гранитов А-типа (рис. 2). В зонах дробления гранитов развита более поздняя тонкочешуйчатая генерация биотита – менее железистого ($f = 55\text{--}67\%$), но также интенсивно обогащенного хлором и соответствующего по параметрам состава биотитам производных габбро-гранитных серий.

Характерные акцессорные минералы: ортит, монацит (5–7 % ThO_2), ксенотим, сфен, титаномагнетит (до 14,8 % TiO_2), марганцовистый ильменит (до 7 % MnO), флюорит, зональный цир-

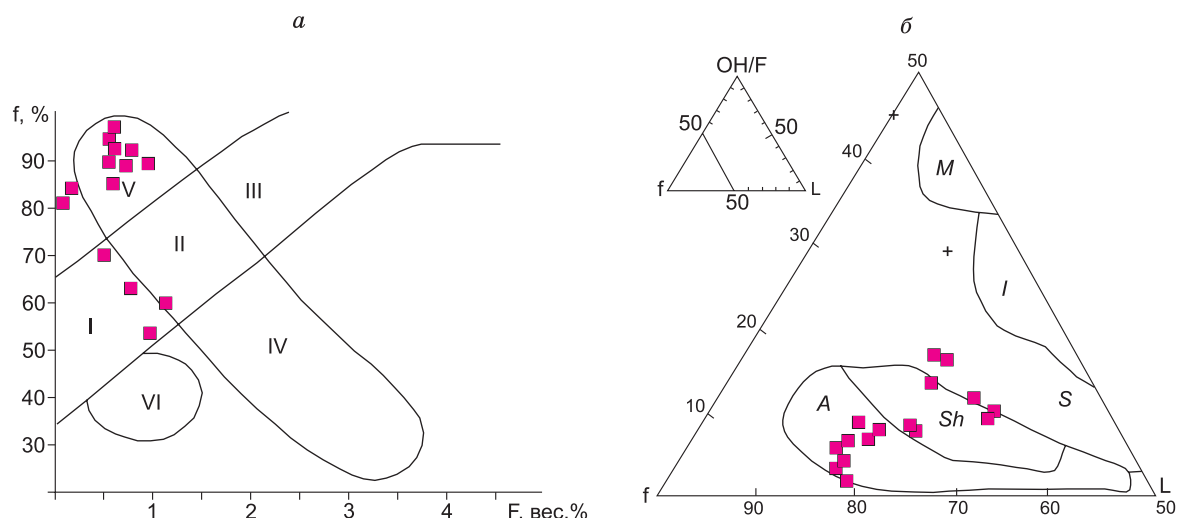


Рис. 2. Параметры составов биотитов гранитов

a – соотношение фтористости и железистости биотитов. Поля диаграммы [17]: I, II, III – производные диорит-гранитных серий; IV, V – производные габбро-гранитных серий; VI – производные мантийных магм. *б* – соотношения фтористости (OH/F), глиноземистости (L) и железистости (f) биотитов. Поля диаграммы – биотиты стандартных типов гранитоидов [18]: I – мантийно-коровые островных дуг, M – мантийные, S – коровые и мантийно-коровые коллизионных обстановок, Sh – постколлизийные шошонитовые, A – анорогенных обстановок.

Fig. 2. Parameters of biotite granite compositions

a – Ratio of fluorinity and ferruginosity of biotites. Diagram fields [17]: I, II, III – derivatives of diorite-granite series; IV, V – derivatives of gabbro-granite series; VI – derivatives of mantle magmas. *б* – Ratio of fluorinity (OH/F), aluminiferousness (L) and ferruginosity (f) of biotites. Diagram fields – biotites of standard types of granitoids [18]: I – mantle-crust island arcs, M – mantle, S – crust and mantle-crust collision conditions, Sh – post-collision shoshonite, A – anorogenic conditions.

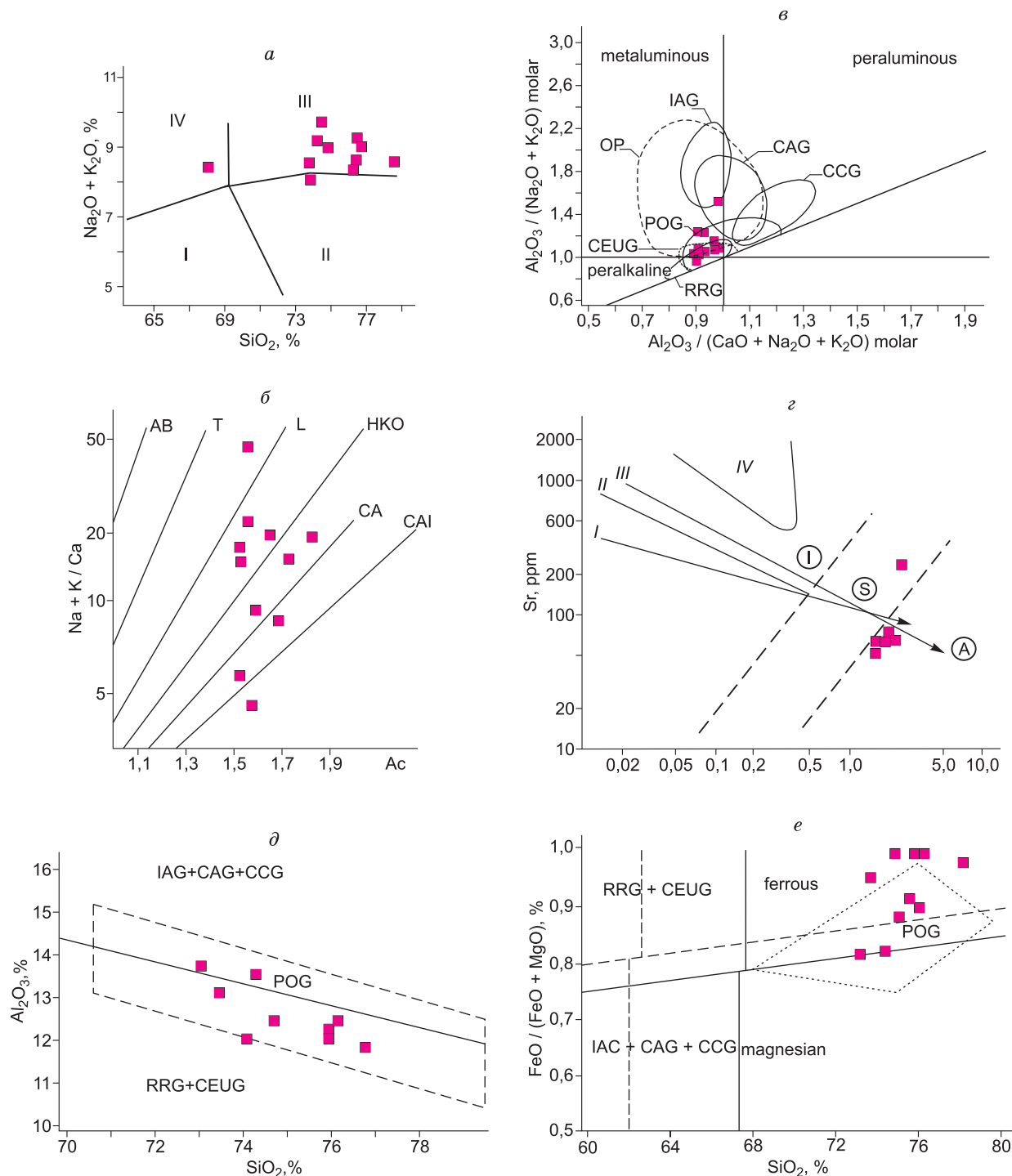


Рис. 3. Параметры химического состава гранитов

a – соотношение $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ в гранитах. Поля диаграммы [20]: I – гранодиориты, II – граниты; III – щелочные граниты, IV – граносиениты и кварцевые сиениты. *б* – магматические серии гранитов: Ac – активность катионов; тренды эволюции: CAI – известковый низкощелочной (островодужный), CA – известково-щелочной (коровый), HKO – высококалийный (орогенный), L – латитовый, T – трахитовый. *в* – глинозистость гранитоидов. Поля диаграммы, гранитоиды [22]: IAG – островодужные, CAG – континентальных дуг, CCG – континентальные коллизионные, POG – посторогенные, CEUG – континентального эпйрогенического воздымания, RRG – рифтогенные. *з* – Соотношения $\text{Sr} - \text{Rb/Sr}$ в гранитах. Тренды дифференциации типовых серий [23]: I – толеитовая островных дуг, II – известково-щелочная островных дуг, III –

ПОЗДНЕМЕЛОВОЙ ПРАВО-КЫРИНСКИЙ МАССИВ ЩЕЛОЧНО-ПОЛЕВОШПАТОВЫХ ГРАНИТОВ

известково-щелочная активны окраин, IV – рифтовых зон континентов; I, S, A – петротипы гранитоидов. δ – соотношения $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$ в гранитах. Поля диаграммы, гранитоиды [22]: IAG – островных дуг, CAG – континентальных дуг, CCG – континентальной коллизии, POG – посторогенные, RRG – рифтогенные, CEUG – континентальных эпигорогенных поднятий. e – соотношение железистости и SiO_2 в гранитах. Поля диаграммы [22].

Fig. 3. Parameters of the chemical composition of granites

a – $\text{SiO}_2\text{--}(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ ratio in granites. Diagram fields [20]: I – granites; II – alkaline granites, III – granosyenites and quartz syenites. δ – Magmatic series of granites. Symbols [21]: As – cation activity; trends of evolution: CAI – calcareous low-alkaline (island-arc), CA – calcareous-alkaline (crustal), HKO – high-potassium (orogenic), L – latite, T – trachite. σ – alumina content of granitoids. Diagram fields, granitoids [22]: IAG – island-arc, CAG – continental arcs, CCG – continental collision, POG – postorogenic, CEUG – continental epirogenic uplift, RRG – riftogenic. z – The ratio of Sr – Rb/Sr in granites. Trends of differentiation of typical series [23]: I – tholeiitic series of island arcs, II – calcareous-alkaline series of island arcs, III – calcareous-alkaline series of active margins, IV – series of rift zones of continents; I, S, A – petrotypes of granitoids. e – $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$ ratios in granites. Diagram fields, granitoids [22]: IAG – island arcs, CAG – continental arcs, CCG – continental collision, POG – postorogenic, RRG – riftogenic, CEUG – continental epirogenic uplifts.

Таблица 2

Химический состав гранитов Право-Кыринского массива, %

Table 2

Chemical composition of granites of the Pravo-Kyrin massif, %

Компонент	Граниты							Аплиты, аляскиты			
	4117/4	4117/11	3066/2	3066/5	3066/6	3068/2	4118/10	4107/5	4108/9	3066/3	4108/4
SiO_2	67,20	73,20	74,06	74,12	74,60	73,02	72,84	76,00	75,72	76,80	75,99
TiO_2	0,53	0,32	0,18	0,37	0,24	0,28	0,35	0,12	0,09	0,12	0,02
Al_2O_3	15,16	13,17	12,09	13,70	12,47	13,63	14,20	12,67	12,28	11,95	12,14
Fe_2O_3	0,97	1,18	0,54	0,62	0,61	0,18	0,57	0	0,49	0,11	0
FeO	3,33	1,53	1,41	1,07	1,54	1,42	1,68	0,99	0,71	0,71	1,27
MnO	0,02	0,06	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02
MgO	0,90	0,12	0,50	0	0,33	0,42	0,90	0,12	0	0,02	0
CaO	2,85	1,20	0,57	0,84	0,87	2,25	2,91	0,69	0,72	0,67	1,28
Na_2O	4,94	4,14	3,28	4,38	3,55	3,84	5,08	4,79	4,19	3,90	3,70
K_2O	3,37	4,20	6,35	4,61	5,78	4,08	0,73	4,32	4,45	4,40	4,58
H_2O^-	Не опр.	0,01	Не опр.	0,10	Не опр.	Не опр.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10
H_2O^+	Не опр.	0,28	Не опр.	0,44	Не опр.	Не опр.	0,58	0,20	0,60	0,53	0,53
P_2O_5	0,08	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,01	0,01	0,01	0
CO_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0,41
F	0,25	0,06	0,02	0,06	0,05	0,02	0,07	0,21	0,18	0,03	0,17
Cl	0,11	0,03	Не обн.	0,06	0,02	0,01	0,03	Не опр.	0,08	0,01	0,07
Li_2O	0,0107	Не опр.	0,0107	0,004	0,008	Не опр.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Rb_2O	0,0109	Не опр.	0,0132	0,0154	0,0154	Не опр.	0,0066	0,008	0,0076	0,007	0,008
S	0	0	0,01	0,03	0,03	0,03	0	0	0,04	0	0,03
Total	99,73	99,54	99,07	100,50	100,17	99,24	100,05	100,17	99,62	99,59	100,33
Fe/Fe+Mg	82,7	95,8	79,6	100	86,7	79,2	71,4	89,2	100	97,6	100
$T, ^\circ\text{C}$	1036	1021	990	1026	1008	1012	1021	949	918	955	813
$P, \text{ГПа}$	0,93	0,49	0,40	0,53	0,40	0,42	0,50	0,34	0,30	0,21	0,27

Примечание: Анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН. Определение температур – [24]; давления – [25].

Notes. The analyses were performed in IGABM SB RAS. Temperature determination – [24]; pressure – [25].

кон (ZrO_2/HfO_2 от 120 до 5). Среди кристаллов последнего преобладают морфотипы D и J, при-
сущие производным высокотемпературных, пре-
имущественно основных расплавов [19]. Они ин-
тенсивно обогащены оксидами U (до 12,2 %),
менее – Th (до 1,1 %), Yb (до 1,8 %) и Y (до 2,6 %).
Распределение примесей крайне неравномерное,
т. е. высокие их содержания обусловлены микро-
включениями соответствующих мине-
ралов, что подтверждается и наличием зерен
собственно торианита ($UO_2 = 65,2$ %, $ThO_2 = 34,7$ %). Апатит и гранат мало распро-
странены. Первый представлен почти исключитель-
но низкотемпературным F- и F–ОН-апатитом.
Редкие зерна акцессорного граната имеют со-
став пироп-альмандина с аномально высо-
ким для гранитоидов содержанием пиропово-
го минала (до 41,6 %). Наряду с ним иногда
встречается ксеногенный альмандин-гроссуляр

(28–36 % alm, 54–65 % gross), типичный для
реститов эклогитов.

Породы жильной фации массивные, мелко-
(аплиты) или мелко- и среднезернистые (лейкогра-
ниты и аляскиты). Структура их аллотриоморфно-
зернистая и микропегматитовая. Характер мине-
ралов идентичен таковому для гранитов массива,
лишь более интенсивно проявлены альбитиза-
ция и грейзенизация, вплоть до преобразования
в альбит-мусковит-кварцевые грейзены.

Петро- и геохимические особенности гранитов

Граниты Право-Кыринского массива харак-
теризуются высококалевой щелочностью, вы-
сокой железистостью, умеренной глиноземисто-
стью (рис. 3, а–в, табл. 2). На дискриминационных
диаграммах точки их составов намечают тренды,
секущие по отношению к трендам нормальной

Таблица 3

Средние составы гранитов Право-Кыринского массива

Table 3

Average compositions of granites of the Pravo-Kyrin massif

Компонент	Граниты <i>n</i> = 7	Аплиты, аляскиты 4	Граниты А-типа [27]	Элементы (г/т, Au – мг/т)	Граниты <i>n</i> = 4	Аплиты, аляскиты <i>n</i> = 2	Кларк для гранитов [33]
SiO ₂	72,72	76,12	73,80	B	22	17	12,5
TiO ₂	0,32	0,09	0,26	Li	49	49	37,0
Al ₂ O ₃	13,49	12,26	12,40	Be	1,97	2,27	3,9
Fe ₂ O ₃	0,67	0,15	1,24	Cu	5,8	8,3	10
FeO	1,71	0,92	1,58	Zn	58	35	39
MnO	0,02	0,03		As	3,36	8,3	1,6
MgO	0,45	0,04	0,20	Rb	99	59	180
CaO	1,64	0,84	0,75	Sr	220	225	150
Na ₂ O	4,17	4,14	4,07	Y	29	28	50
K ₂ O	4,16	4,44	4,65	Zr	460	306	180
H ₂ O ⁻	0,1	0,03		Nb	17	12,4	21
H ₂ O ⁺	0,43	0,47		Mo	0,86	0,85	1,5
P ₂ O ₅	0,05	0,01		Sn	0,5	1,52	3
CO ₂	0	0,17		Sb	0,38	0,46	0,2
F	0,07	0,15		Ag	0,2	0,2	0,038
Cl	0,04	0,05		Au	12	7,5	2,7
K/Na+K	0,38	0,41	0,43	Bi	0,4	0,4	0,01
Ca/Na+K	0,14	0,06	0,12	Ba	1066	220	750
Na+K/Al	0,81	0,94	0,95	Hf	10,8	9,05	3,9
Al/2Ca+Na+K	0,94	0,92	0,95	Dy	9,96	9,64	5,0
Fe/Fe+Mg	0,76	0,93	0,88	Er	7,68	6,4	3,1

эволюции гранитоидных расплавов (рис. 3, а, б). По всем параметрам состава они определяются как посторогенные или рифтогенные граниты А-типа (рис. 3, з–е). Граниты высоко дифференцированные ($DI = 89–84\%$), диопсид-гиперстен-нормативные, с преобладанием нормативного альбита над ортоклазом (в среднем 35 и 27 %) при отсутствии нормативного корунда и величине цветного индекса 1,2–5,5 % (лишь в граносиенитах эндоконта он возрастает до 11 %). Состав нормативного плагиоклаза 2–12 % ап. Температура исходного расплава определена в 920–1030 °C [24] при давлении 0,6–0,9 ГПа [25]. Определенные по программе GCDkit [26] для серии образцов гранитов температуры Zr-, апатит- и REE-насыщения составляли 854–698 °C.

Граниты геохимически специализированы на As, Bi, Sb, Ag, Au (табл. 3). В них также повышены содержания Zr, Hf, Dy и Er. Редкоземельная минерализация (малакон, монацит, ториацит) приурочена в основном к миаролам, выполненным кальцитом. В целом геохимические особенности гранитов отвечают таковым гранитов щелочного ряда и редкометалльных гранитов щелочного ряда (рис. 4), генерация материнских расплавов для которых предполагается в низах коры в областях глубокого метаморфизма из реститовых субстратов под влиянием мощного флюидопотока из поднимающихся диапиров щелочно-базальтоидных магм [30], что согласуется также с представлениями J. Whalen и G.N. Eby о генезисе гранитов А-типа [31, 32].

Обсуждение результатов и выводы

Право-Кыринский массив сформирован в начале позднемеловой эпохи и сложен щелочно-полевошпатовыми лейкогранитами с отклонениями к граносиенитам и кварцевым сиенитам. Типоморфные особенности гранитов: высокая степень дифференцированности, низкие концентрации фосфора, высокие содержания хлора в амфиболах и биотитах, сочетание высокотемпературных, характерных для основных пород, и низкотемпературных, типично гранитных, акцессорных минералов. По всем петро- и геохимическим параметрам породы определяются как посторогенные или рифтогенные граниты А-типа. Расчетные давления при магмогенерации, низкие значения Nb (18–25 %) в отношениях Y–Nb–Ce [32] указывают на коровую природу протолита. В то же время в их составе сочетаются минералы типично сиалических и типично ос-

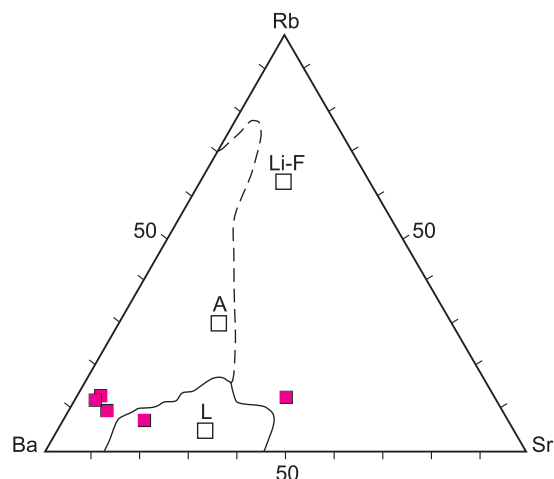


Рис. 4. Типы редкометалльных гранитов
Поля диаграммы [29]: А – редкометалльные щелочные граниты, L – латитовые граниты, Li-F – плюмазитовые литий-фтористые граниты.

Fig. 4. Types of granites.
Diagram fields [29]: A – rare-metal alkaline granites, L – latite granites, Li-F – plumasite lithium-fluoride granites.

новных производных, а по геохимическим параметрам они близки гранитам щелочного ряда и редкометалльных гранитов щелочного ряда корово-мантийного происхождения. Высокие температуры расплавов (920–1030 °C) при относительно небольших давлениях (0,6–0,9 ГПа) могли быть достигнуты только при поступлении на уровни магмогенерации дополнительного тепла из внешнего источника. Присутствие в гранитах клинопироксенов с параметрами клинопироксенов базит-гипербазитовых и пикрит-базальтовых ассоциаций наряду с феррижедритами предполагает присутствие основных и/или ультраосновных пород в высоко метаморфизованных магмоформирующих коровых субстратах или внедрение в эти субстраты производных основных и/или ультраосновных расплавов. На синтексис основного и гранитного расплавов при магмогенерации указывают и неравновесные структуры право-кыринских гранитов. Следствием этого, по-видимому, является и типоморфизм минералов гранитов: соответствие составов биотитов таковому биотитов производных габбро-гранитных серий, преобладание цирконов морфотипов D и J с характерными для основных пород значениями ZrO_2/HfO_2 , стабильное присутствие титаномагнетита. Все это позволяет предполагать наличие в пределах рассматриваемой территории погребенного очага основного расплава, активи-

зация которого в начале позднего мела и обусловила повторное плавление коровых субстратов, что подтверждается наличием даек трахидолеритов в контуре массива и его экзоконтактах.

Заключение

Изученный гранитный массив принадлежит к А-типу гранитов посторогенной или рифтогенной геодинамической обстановки. Материнский расплав генерировался в глубоко метаморфизованных коровых субстратах под воздействием тепла и флюидов, продуцируемых глубинными мантийными магмами. Основными типоморфными особенностями гранитов являются: повышенная щелочность; высокая степень дифференцированности; нестандартный ход эволюции расплава, сочетание высокотемпературных, характерных для основных пород, и низкотемпературных, «гранитных», породообразующих и акцессорных минералов; высокая роль хлора. Редкоземельная минерализация тяготеет к поздне- и постмагматическому этапам становления массива, проходящим при высокой активности воды и галогенов (преимущественно – хлора).

Литература

1. Коваленко В.И., Ярмолюк В.К., Владыкин Н.В. и др. Источники редкометалльных магм Центральной Азии и проблемы плюмов // Глубинный магматизм, магматические источники и проблемы плюмов. Труды 2-го международного семинара. Владивосток, 2002. С. 25–42.
2. Xu X., Zhou X., Wang D. Interaction crust – mantle and genesis of granites on the matter of coastal part of the south-eastern part of China // Geol. I. China Univ. 1999. Vol. 5, No. 3. P. 241–250.
3. Владимиров А.Г., Выставной С.А., Титов А.В., Рудиев С.Н., Дергачев В.Б., Анникова И.Ю., Тукунов Ю.В. Петрология раннемезозойских редкометалльных гранитов юга Горного Алтая // Геология и геофизика. 1998. № 7. С. 901–916.
4. Bonin B. A-type granite ring complexes: Mantle origin through crustal filters and the anortosite-rapakivi magmatism connection // Petrol. and Geochem. Magm. Suites Rocks Contin. and Ocean. Grusts. Bruxelles, 1996. P. 201–217.
5. Трунилина В.А., Орлов Ю.С., Роев С.П., Зайцев А.И. Состав и генетические аспекты формирования гранитов А-типа Верхояно-Колымской складчатой области // Отечественная геология. 2008. № 5. С. 99–109.
6. Трунилина В.А., Роев С.П., Орлов Ю.С. Вулкано-плутонические пояса северо-востока Якутии. Якутск: Сахаполиграфиздат, 2007. 152 с.
7. Yavuz F. Win Pyrox: A Windows program for pyroxene calculation classification and thermobarometry // American Mineral. 2013. Vol. 98. P. 1338–1359.
8. Rudilfi R., Renzulli A. Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1130 °C and 2,2 Gpa. // Contrib. Miner. Petrol. 2012, Vol. 163. P. 877–895.
9. Yavuz F. A revised program for microprobe-derived amphibole analyses using the IMA rules // Computeres Geosciences. 1999. Vol. 25, No. 8. P. 909–927.
10. Brown G.G. A comment on the role of water in the partial fusion of crystal rocks // Earth and Planet. Sci. Lett. 1970, Vol. 9. P. 13–22.
11. Uchida E., Endo S., Makino M. Relationship between solidification depth of granitic rocks and formation of hydrothermal ore deposits // Resource Geology, 2007. Vol. 57, No. 1. P. 47–56.
12. Henry D.A., Guidotti Ch.V., Thompson J.A. The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: implication for geothermometry and Ti-substitution mechanism // Amer. Miner. 2005. Vol. 90. P. 316–328.
13. Трошин Ю.П., Гребенищикова В.И., Антонов А.Ю. Летучие компоненты в биотитах и металлогеническая специализация интрузий // Минералогические критерии оценки рудоносности. Л.: Наука, 1981. С. 73–83.
14. Рябов В.В., Золотухин В.В. Минералы дифференцированных траппов: монография. Новосибирск: Наука, 1977. 387 с.
15. Putirka K.D. Igneous thermometers and barometers based on plagioclase + liquid equilibria: Tesis of some existing models and new calibrations // Amer. Mineral. 2005. Vol. 90. P. 336–346.
16. Wones D.R., Eugster H.P. Stability of biotite: experiment, theory and application // Amer. Mineral. 1985. No. 9. P. 1228–1272.
17. Бушляков И.Н., Холоднов В.В. Галогены в петрогенезисе гранитоидов. М.: Недра, 1986. 192 с.
18. Гусев А.И. Типизация гранитоидов на основе составов биотитов // Успехи современного естествознания. 2009. № 4. С. 54–57.
19. Pupin J.P. Zircon and Granite Petrology // Contrib. to Miner. and Petrol. 1980. Vol. 73. P. 207–220.
20. Wilson M. Igneous petrogenesis. London: Unwin Hayman, 1989.
21. Бородин Л.С. Петрохимия магматических серий. М.: Наука, 1987. 241 с.
22. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geological Society of America Bulletin. 1989. Vol. 101. P. 635–643.
23. Даценко В.М. Петрогеохимическая типизация гранитоидов юго-западного обрамления Сибирской платформы // Материалы Второго Всеросс. петрограф. совещ. Т. 2. Сыктывкар, 2000. С. 270–274.

24. Jung S., Pfander J.A. Source composition and melting temperatures of orogenic granitoids – constraints from CaO/Na₂O, Al₂O₃/TiO₂ and accessory mineral saturation thermometry // *European Journal of Mineralogy*. 2007. No. 1. P. 5–40.
25. Беляев Г.М., Рудник В.А. Формационно-генетические типы гранитоидов. Л.: Недра, 1978. 168 с.
26. Janoušek V., Farrow C. M., Erban V. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCD-kit) // *Journal of Petrology*. 2006. Vol. 47. P. 1255–1259.
27. Ненахов В.М., Иванников В.В., Кузнецов Л.В., Стрик Ю.Н. Особенности изучения и геологического картирования коллизионных гранитоидов. М.: Роскомнедра, 1992. 101 с.
28. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. М.: Недра. 1990. 248 с.
29. Сазонова Л.В., Носова А.А., Докучаев А.Я., Гурбанов А.Г. Латитовый тип позднеколлизийных гранитоидов (Северный Кавказ): геохимические и минералогические особенности // *Докл. РАН*. 2003. Т. 393, № 2. С. 2–5.
30. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 1977. 279 с.
31. Whalen J. A-type granites in New Brunswick // *Geol. Surv. Can. Pap.* 1986. No. 1a. P. 297–300.
32. Eby G.N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications // *Geology*, 1992. No. 20. P. 641–654.

Поступила в редакцию 19.05.2020

Принята к публикации 08.07.2020

Об авторе

ТРУНИЛИНА Вера Аркадьевна, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-0910-2386>, trunilina40@mail.ru.

Информация для цитирования

Трунилина В.А. Позднемеловой Право-Кыринский массив щелочно-полевошпатовых гранитов (Верхояно-Колымская орогенная область) брахиоподам // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2020, Т. 25, № 3. С. 27–39. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-3-3>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-3-3

Late Cretaceous Right-Kyrin massif of alkali-feldspar granites (Verkhoyano-Kolyma orogeny region)

V.A. Trunilina

Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, Russia
trunilina40@mail.ru

Abstract. The article deals with the specific composition of late Cretaceous granites of the Right-Kyrin massif of alkali-feldspar granites localized on the border of the Selennyakh synclinorium and the Tas-Khayakhtakh anticlinorium of the Verkhoyano-Kolyma orogenic region and accompanied by rare-earth mineralization. The isotopic age of granites is 85–94 million years. It is shown that the granites belong to the A-type of post-threshold geodynamic environment. The parent melt was generated in deeply metamorphosed lower crust substrates under the influence of heat and fluids produced by deep mantle magmas. Granites are characterized by a high degree of differentiation, increased alkalinity, a combination of high-temperature, characteristic of the main rocks, and low-temperature, «granite», rock-forming and accessory minerals; and a substantial role of chlorine in crystallization. Based on these features and the presence of trachydolerite dikes in the contour of the massif and its exocontacts, it is assumed that there are main melts within the territory of the buried hearth, the activation of which in the late Cretaceous caused repeated melting of crustal substrates.

Key words: granites, geodynamic environment, magma generation substrates, typomorphism of minerals, mantle-crustal interaction.

Acknowledgements. The author expresses gratitude to all employees who performed analytical research. Special thanks to S.P. Roev for his help in preparing the graphic material for this article.

References

1. Kovalenko V.I., Yarmoluk V.K., Vladykin N.V. et al. Istotchniki redkometallnykh magm Zentralnoi Asii i problemy plumov // Glubinnui magmatism, magmaticheskie istotchniki i problemy plumov. Trudy 2-go mezdunarodnogo seminara. Vladivostok, 2002. P. 25–42.
2. Xu X., Zhou X., Wang D. Interaction crust – mantle and genesis of granites on the matter of coastal part of the south-eastern part of China // Geol. I. China Univ. 1999. Vol. 5, No. 3. P. 241–250.
3. Vladimirov A.G., Vystavnoi S.A., Titov A.V., Rudnev S.N., Dergatchov V.B., Annikova I.Yu., Tikunov Yu.V. Petrologiya rannemezozoiskikh redkometallnykh granitov yuga Gornogo Altaya // Geologiya i geofizika. 1998. No. 7. P. 901–916. (in Russian)
4. Bonin B. A-type granite ring complexes: Mante origin through crustal filters and the anortosite-rapakivi magmatism connection // Petrol. and Geochem. Magm. Suites Rocks Contin. and Ocean. Grusts. Bruxelles, 1996. P. 201–217.
5. Trunilina V.A., Orlov Yu.S., Roev S.P., Zaitsev A.I. Sostav i geneticheskie aspekty formirovaniia granitov A-tipa Verkhoyano-Kolymskoi skladchatoi oblasti // Otechestvennaya Geologiya. 2008. No. 5. P. 99–109.
6. Trunilina V.A., Roev S.P., Orlov Yu.S. Vulkano-plutonitsheskie pojasa severo-vostoka Yakutii. Yakutsk: Sakhapoligrafizdat, 2007. 152 p.
7. Yavuz F. Win Pyrox: A Windows program for pyroxene calculation classification and thermobarometry // American Mineral. 2013. Vol. 98. P. 1338–1359.
8. Rudilfi R., Renzulli A. Calcik ampiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1130 °C and 2,2 Gpa. // Contrib. Miner. Petrol. 2012. Vol. 163. P. 877–895.
9. Yavuz F. A revised program for microprobe-derived amphibole analyses using the IMA rules // Computeres Geosciences. 1999. Vol. 25, No. 8. P. 909–927.
10. Brown G.G. A comment on the role of water in the partial fusion of crystal rocks // Earth and Planet. Sci. Lett. 1970. Vol. 9. P. 13–22.
11. Uchida E., Endo S., Makino M. Relationship between solidification depth of granitic rocks and formation of hydrothermal ore deposits // Resource Geology. 2007. Vol. 57, No. 1. P. 47–56.
12. Henry D.A., Guidotti Ch.V., Thompson J.A. The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: implication for geothermometry and Ti-substitution mechanism // Amer. Miner. 2005. Vol. 90. P. 316–328.
13. Troshin Yu.P., Grebenshikova V.I., Antonov A.Yu. Letutchie komponenty v biotitakh i metallogenitsheskaia speczializaciia intruzii // Mineralogitsheskie kriterii ocenki rudonosnosti. L.: Nauka, 1981. P. 73–83.
14. Ryabov V.V., Zolotukhin V.V. Mineraly differentsirovannykh trappov: monografiia. Novosibirsk: Nauka, 1977. 387 p.
15. Putirka K.D. Igneous thermometers and barometers based on plagioclase + liquid equilibria: Tesis of some existing models and new calibrations // Amer. Mineral. 2005. Vol. 90. P. 336–346.
16. Wones D.R., Eugster H.P. Stability of biotite: experiment, theory and application // Amer. Mineral. 1985. No. 9. P. 1228–1272.
17. Bushlyakov I.N., Kholodnov V.V. Galogeny v petrogenese granitoidov. M.: Nedra. 1986. 192 p.
18. Gusev A.I. Tipizaciia granitoidov na osnove sostavov biotitov // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia. 2009. No. 4. P. 54–57.
19. Pupin J.P. Zircon and Granite Petrology // Contrib. to Miner. and Petrol. 1980. Vol. 73. P. 207–220.
20. Wilson M. Igneous petrogenesis. London: Unwin Hayman, 1989.
21. Borodin L.S. Petrokhimia magmaticheskikh seriy. M.: Nauka, 1987. 241 p.
22. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geological Society of America Bulletin. 1989. Vol. 101. P. 635–643.
23. Daczenko V.M. Petrogeokhimitsheskaia tipizaciia granitoidov yugo-zapadnogo obramleniia Sibirskoi platformy // Materialy Vtorogo Vseross. Petrograf. Sovesh. Vol. 2.: Syktyvkar, 2000. P. 270–274.
24. Jung S., Pfander J.A. Source composition and melting temperatures of orogenic granitoids – constrains from CaO/Na₂O, Al₂O₃/TiO₂ and accessory mineral saturation thermometry // European Journal of Mineralogy. 2007. No. 1. P. 5–40.
25. Belyaev G.M., Rudnik V.A. Formazionno-geneticheskie typy granitoidov. L.: Nedra, 1978. 168 p.
26. Janoušek V., Farrow C. M., Erban, V. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit) // Journal of Petrology. 2006. Vol. 47. P. 1255–1259.
27. Nenakhov V.M., Ivannikov V.B., Kuznezov L.V., Strikh Yu.N. Osobennosti isuzeniya I geologitsheskogo kartirovaniya kollisionnykh graitoidov. M.: Roskomnedra, 1992. 101 p.
28. Ovtchinnikov L.N. Prikladnaia geokhimiia. M.: Nedra, 1990. 248 p.
29. Sasonova L.V., Nosova A.A., Dokuzaev A.Ya., Gubanov A.G. Latitovy typ posdnekollisionnykh granitoidov.

toidov (Severnyi Kavkaz): geokhimitscheskie i mineralogitscheskie osobennosti // Dokl. RAN. 2003. Vol. 393, No. 2. P. 2–5.

30. *Tauson L.V.* Geokhimitscheskie tipy I potencialnaya rudonosnost granitoidov: M.: Nauka, 1977. 279 p.

31. *Whalen J.* A-type granites in New Brunswick // Geol. Surv. Can. Pap. 1986. No. 1a. P. 297 – 300.

32. *Eby G.N.* Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications // Geology, 1992. No. 20. P. 641–654.

About the author

TRUNILINA Vera Arkadievna, doctor of geological and mineralogical sciences, chief researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-0910-2386>, trunilina40@mail.ru.

Citation

Trunilina V.A. Late Cretaceous Right-Kyrin massif of alkali-feldspar granites (Verkhoyano-Kolyma orogeny region) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, No. 3. P. 27–39. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-3-3>