

ПЕТРОЛОГИЯ И РУДОНОСНОСТЬ БЕЛОКУРИХИНСКОГО ПЛУТОНА

Е. В. Волбенко, А.И. Гусев¹

Бийский государственный педагогический университет, г. Бийск

¹ ОАО «Горно-Алтайская экспедиция», с. Малоенсейское

Гранитоиды Белокурихинского плутона площадью около 500 км² развиты в междуречье Ануй-Песчаная и включают более мелкие Осокинский, Сосновский, Точильный, Курановский штоки и восточную часть петротипического Белокурихинского массива одноименного очагового ареала. В составе белокурихинского комплекса выделяются три фазы внедрения: 1) меланограниты, гранодиориты; 2) биотитовые граниты; 3) биотитовые и двуслюдяные лейкограниты, умеренно-щелочные лейкограниты. По геологическим и геофизическим данным батолит имеет лакколитообразную форму с толщиной тела порядка 2-3 км.

Цель исследований заключалась в реставрации петрологии магматитов, их флюидного режима и выявления возможных процессов фракционирования в магматическом глубинном очаге, их роли в рудогенерирующем потенциале.

Меланограниты и подчиненные гранодиориты первой фазы слагают небольшие (общей площадью менее 1 км²) тела в приустьевой части руч. Спирина, прорывающие гранитоиды усть-беловского комплекса. Это средне-крупнозернистые порфировидные породы с вкрапленниками калишпата и слабозонального альбита (до 3-5 см), состоящие из микроклин-пертита, плагиоклаза, кварца, биотита сидерофиллит-аннитового ряда (рис. 1) с повышенным содержанием TiO₂ и F ($f = 46-49\%$), роговой обманки ($f = 52\%$), аксессуарных сфена, апатита, циркона и магнетита. В гранодиоритах отмечаются биотиты с более высокими концентрациями магния, а в гранитах – алюминия и меньшими содержаниями магния (рис. 1). Основная масса гипидиоморфнозернистая с элементами мирмекитовой. Породы характеризуются повышенной щелочностью с преобладанием K₂O (6%) над Na₂O (2,6%), высокой глиноземистостью, низкой известковистостью (0,18). От гранодиоритов к гранитам уменьшаются содержания Sr, Ba, La, Pr, Nd, Sm, Gd, Ho, Er, Yb, Y, Zr, Nb, возрастают - Rb, уменьшается сумма P3Э, увеличивается европиевый минимум (от 2,1 до 0,9 г/т), возрастает степень фракционирования P3Э (Ce/Yb – 25-40). Химические составы пород комплекса приведены в табл. 1.

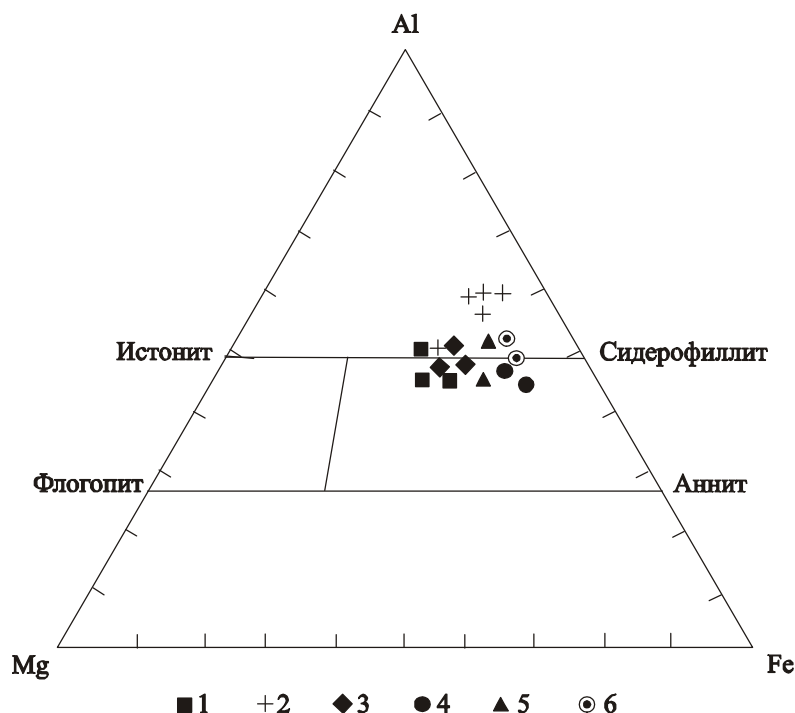


Рис. 1. Классификационная диаграмма составов слюд группы биотита-флогопита в координатах Al – Fe – Mg.

Белокурихинский массив: 1- гранодиориты, 2- граниты, 3- лейкограниты; Курановский шток: 4- граниты, 5- лейкограниты; Осокинский шток: 6- лейкограниты.

С породами первой фазы ассоциированы дайки калиевых гранитов и лейкогранитов, прорывающие гранитоиды Сосновского массива и меланограниты. Это неравномернозернистые породы с вкрапленниками зонального плагиоклаза и калишпата, редко округлого кварца, содержащие умеренно-железистый ($f = 52-53\%$) биотит (до 10% в гранитах и 4% в лейкогранитах), амфибол, аксессуарные сфен, апатит, ортит, циркон и магнетит. Характерно резкое преобладание K₂O (6,6% - в гранитах и 6,4% - в лейкогранитах) над Na₂O (2,7% и 2,8% - соответственно). Состав биотитов гранитоидов попадает в область A₁ – типа и в поля рудоносных гранитов (W, Mo и другие металлы), которые перекрываются полем литий-тантал-ниобиевых (Li-F) гранитов (рис.2).

1. Представительные химические составы пород в массивах Белокурихинского комплекса

Компо- ненты	Белокурихинский			Курановский		Осокинский		Точильный
	Граноди- орит 1 ф	Мелано- гранит 1 ф	Гранит 2 фазы	Гранит 2 фазы	Лейко- гранит 3 фазы	Лейко- гранит 3 фазы	Аплит, дайка	Лейко- Гранит 3 фазы
SiO ₂	65,75	69,14	72,94	72,57	74,12	74,56	78,5	77,15
TiO ₂	0,96	0,47	0,22	0,25	0,13	0,16	0,02	0,08
Al ₂ O ₃	14,85	14,96	14,38	13,68	13,56	13,90	12,34	12,55
Fe ₂ O ₃	2,76	1,56	0,96	1,2	0,78	0,69	0,12	0,48
FeO	2,63	1,67	0,78	1,02	0,81	0,72	0,16	0,52
MnO	0,12	0,13	0,12	0,05	0,10	0,05	0,13	0,04
MgO	1,45	0,78	0,26	0,41	0,36	0,18	0,03	0,14
CaO	3,18	1,98	0,33	1,23	1,32	0,70	0,35	0,44
Na ₂ O	2,95	2,64	2,72	2,82	2,78	2,83	2,85	2,11
K ₂ O	4,54	6,03	6,14	5,49	5,65	5,41	4,02	5,92
P ₂ O ₅	0,38	0,25	0,53	0,97	0,66	0,69	0,28	0,55
П.п.п.	0,36	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,04
сумма	99,93	99,76	99,50	99,79	99,97	99,90	98,84	100,02
Li	48	49	132	134	61	80	13	60,7
Cs	4,2	4,5	14	16,1	6,6	9	6	6,29
Rb	158	167	438	272	242	285	513	243
Sr	345	336	127	156	14	16	13	16
Ba	765	721	265	381	6	23	21	6
La	57,3	54,2	32,1	37,81	4,5	5,2	7,4	4,5
Ce	87,1	86,2	70,8	83,2	12,1	12,5	17,3	11,1
Pr	2,5	2,4	2,1	1,9	0,98	0,97	0,86	1,1
Nd	38,7	37,4	29,5	30,4	5,2	10,6	11,5	4,42
Sm	6,63	6,52	5,81	4,51	0,98	1,2	3,5	0,97
Eu	1,55	1,59	0,61	0,82	0,46	0,48	0,08	0,46
Gd	5,6	5,3	4,52	4,68	0,83	0,49	4,8	0,81
Tb	0,65	0,61	0,68	0,70	0,13	0,16	1,02	0,14
Dy	2,5	2,3	2,1	1,9	0,89	0,85	0,88	0,89
Ho	0,31	0,29	0,25	0,24	0,19	0,21	0,20	0,19
Er	1,16	1,12	1,09	0,97	0,66	0,65	0,67	0,68
Tm	0,55	0,54	0,49	0,44	0,13	0,12	0,11	0,13
Yb	1,82	1,71	1,44	1,30	1,1	1,3	7,3	1,0
Lu	0,30	0,30	0,23	0,21	0,16	0,18	1,23	0,17
Y	23,3	22,5	20,8	23,2	4,8	5,8	115	4,8
Zr	176	189	138	134	45	38	40	45
Nb	33,2	34,4	27,3	29	15	19	167	15,1
Hf	6,3	6,2	4,5	5,4	2,7	2,8	5,5	2,62
Ta	0,7	0,9	2,2	2,1	2,2	2,1	21,3	2,22
Th	19,5	23,1	20,1	23,4	4	5	14	5
U	2,6	2,3	2,5	10,1	2	2	23	1,5
U/Th	0,13	0,10	0,13	0,43	0,5	0,4	1,64	0,3
La/Yb _N	32,5	31,75	22,1	23,4	4,5	4,4	1,1	4,4
Eu/Eu*	0,47	0,48	0,30	0,23	0,53	0,51	0,13	0,53
Σ REE	191,4	188,3	145,2	162,4	27,3	43,7	54,1	25,9

Примечание. Главные компоненты - в мас.%, редкие элементы - в г/т. Анализы выполнены в лаборатории ОИГГМ СО РАН (г. Новосибирск). Отношения лантана к иттербию нормированы по хондриту.

Биотитовые порфириновые граниты второй фазы пользуются наибольшим распространением в петротипическом Белокурихинском массиве. В структурно-тектоническом плане массив приурочен к одноименному аллохтону и фрагментарно прорывает тектонически сопряженные с ним карбонатно-терригенные отложения Ануевского блока. Он выделяется в гравитационном поле отрицательной аномалией с относительной амплитудой до 12 мГл и соответствующей ей в магнитном поле отрицательной региональной аномалией. Форма тела лакколитообразная, по результатам моделирования его мощность составляет 2-3 км, за исключением корневой части (водораздел рек Соновка и Белокуриха), где она превышает 10 км. В районе р. Баранча контакт массива круто падает на северо-запад, а в северо-западной краевой части - полого погружается на восток.

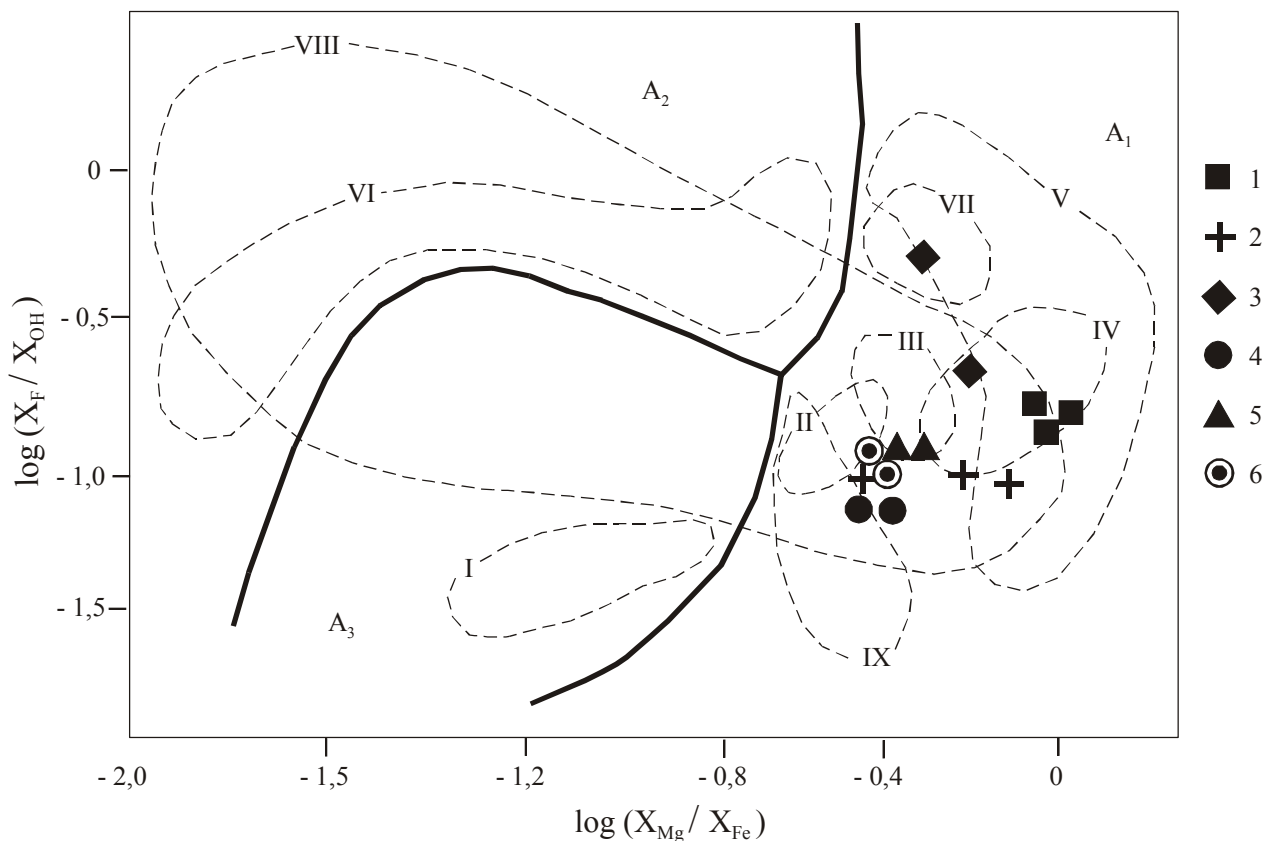


Рис.2. Диаграмма $\log(X_{Mg}/X_{Fe}) - \log(X_F/X_{OH})$ в биотитах гранитоидов белокурихинского ареала.

Поля гранитоидов по [4]: A_1 - внутриконтинентальных рифтов, активных и трансформных континентальных окраин, горячих точек и мантийных плюмажей; A_2 - постколлизийных обстановок; A_3 - активизации кратонных стадий древних платформ. Поля биотитов рудоносных гранитоидов по [4]: I- олова, II- олово-вольфрамовых, III- вольфрамовых, IV- вольфрам-молибденовых, V- молибденовых, VI- тантал-ниобиевых, VII- свинцово-цинковых жильных, VIII- литий-тантал-ниобиевых (литий фтористых гранитов), IX- золото-редкометалльных. Остальные условные обозначения на рис.1.

Восточная часть массива сложена розовато-серыми порфирированными средне- и крупнозернистыми гранитами, в эндоконтакте наблюдаются мелкозернистые, относительно равномернозернистые разности, со шлирами переработанных боковых пород. Граниты состоят из решетчатого микроклин-пертита (40-55%), слабозонального олигоклаза (20-30%), кварца (25-30%) и биотита (2-8%). Вкрапленники калишпата достигают размеров 5 см по удлинению, часто характеризуются неоднородным пятнистым угасанием и тенями замещенных полисинтетических двойников плагиоклаза. Структура основной массы гипидиоморфнозернистая. Породы характеризуются нормальной щелочностью с преобладанием K_2O над Na_2O (4,7 и 2,9% при $SiO_2 = 72,5-72,9\%$), повышенной окисленностью железа ($Fe^3/Fe^2+Fe^3 = 0.36$), высокой глиноземистостью. По содержанию V, Co, Ni, Cr, Sr, Rb граниты относятся к стандартному типу, но повышенные концентрации лития (131 г/т) и цезия (13 г/т) приближают их к редкометальным лейкогранитам плюмазитового типа.

Лейкограниты и субщелочные лейкограниты третьей фазы слагают Осокинский и Точильный массивы, расположенные на водоразделе рек Даниловка и Поперечка. Реже они отмечаются в составе Белокурихинского массива. Осокинский массив представляет вытянутое в широтном направлении неправильной формы тело (25 км²), прорывающее гранитоиды усть-беловского комплекса, кристаллосланцы и гнейсы протерозоя, терригенно-карбонатные и вулканогенные образования девона и гранитоиды первой фазы. Контакты пологие, извилистые с апофизмами и ксенолитами вмещающих пород. В центральной части массива наблюдается останец гранодиоритов усть-беловского комплекса (1 км²), отвечающий Макарьевской магнитной аномалии (скважинами в гранодиоритах выявлена вкрапленность магнетита до 3%). Контактные изменения наиболее широко (от первых сотен метров до 1-2 км) проявлены в отложениях девона, обрамляющих массив с юга и востока. Роговики амфибол-роговиковой фации подразделяются на биотит-кварцевые, кордиерит-биотит-плагиоклазовые и кварц-эпидот-актинолитовые разности массивной, пятнистой и пятнисто-сланцеватой текстуры. В известняках отмечаются гранатовые, пироксен-гранатовые и везувиан-пироксеновые скарны.

Лейкограниты и умеренно-щелочные лейкограниты - розовато-серые средне-крупнозернистые биотитовые, реже мусковит-биотитовые порфирированные и равномернозернистые породы, состоящие из решетчатого микроклина (35-50%), олигоклаза-андезина № 18-32 (15-30%), кварца (25-30%), биотита (1-5%), мусковита (1-2), вторичных альбита, мусковита, серицита, хлорита, аксессуарных (г/т) апатита (3,5), циркона (7), магнетита (463) и сфена. Биотиты лейкогранитов всех массивов отличаются меньшей магниальностью (рис. 1). Мусковит отмечается в двух генераци-

ях: постмагматический мелкочешуйчатый, развивающийся по спайности в калишпате, и первичномагматический - в крупных кристаллах, находящихся в равных структурных взаимоотношениях с биотитом. Вкрапленники микроклина (5-7 см) составляют до 28% объема породы, содержат многочисленные включения биотита, кварца, плагиоклаза. Структура основной массы гипидиоморфнозернистая. Породы характеризуются высокой и повышенной щелочностью с заметным преобладанием K_2O над N_2O (соответственно 4,6 и 3,0%; 5,2 и 3,2% при SiO_2 74,4% и 74,7%), высокой глиноземистостью и апгаитностью (0,8), низкой известковистостью (0,08). Для них характерны низкие содержания (г/т) сидерофильных элементов (Co - 5, Cr - 50, Ni - 20), резкое снижение концентраций стронция, рубидия по сравнению с другими породами комплекса, обогащение LIL-элементами (г/т): Rb = 197, Li = 80, Th = 39, U = 10,5, а также легкими лантаноидами (Ce/Yb = 13,2) при сумме РЗЭ = 6,6 г/т. Дефицит Eu обусловлен фракционированием плагиоклаза в ходе кристаллизационной дифференциации магмы. Отношение Rb/Sr варьирует от 2,05 до 4,34.

В целом для гранитоидов Белокурихинского массива от ранних фаз к поздним происходит закономерное снижение концентраций европия, где в конечных фазах наблюдается U-образный спектр распределения РЗЭ, вызванный фракционированием плагиоклаза в расплаве. Одновременно наблюдается снижение отношений лёгких РЗЭ к тяжёлым (La/Yb_N) от 32,5 до 22,1 (табл. 1) при параллельном снижении уровней концентраций суммы РЗЭ. Такое поведение лантаноидов в Белокурихинском массиве, вероятно, связано с особенностями флюидного режима и влиянием тетрадного эффекта при дифференциации по [6]. Для проверки возможного проявления тетрадного эффекта при фракционировании РЗЭ в расплаве глубинного очага Белокурихинского массива проведены расчёты по методике В. Ирбер [6]. Исходные данные для таких расчётов и значения тетрадного эффекта приведены в табл. 2.

2. Отношения некоторых РЗЭ и значения тетрадного эффекта в породах Белокурихинского массива

Параметры	Белокурихинский массив			Курановский шт.		Осокинский шт.		Точильный	В хондрите
	Гранодиорит	Мелано-гранит	Гранит 2 фазы	Гранит 2 фазы	Лейко-гранит 3 фазы	Лейко-гранит 3 фазы	Аплит	Лейко-гранит 3 фазы	
Y/Ho	75,1	77,6	83,2	96,6	25,3	27,6	575	25,3	24,6
Eu/Eu*	0,47	0,48	0,30	0,23	0,53	0,51	0,13	0,53	0,27
Sr/Eu	222,6	211,3	208,2	190,2	30,4	33,3	162,5	34,8	83,4
La/Lu	191,0	180,7	139,6	180,0	28,1	28,9	6,0	26,5	9,55
TE _{1,3}	1,55	1,60	1,62	-	-	-	-	-	-

Примечание. TE_{1,3} – тетрадный эффект по [6]. $Eu/Eu^* = (Sm_N + Gd_N)/2$.

Анализ таблицы 2 показывает, что значения TE_{1,3} в породах Белокурихинского массива возрастают от 1,55 в гранодиоритах до 1,62 в гранитах 2 фазы. Сравнение частных величин отношений Y/Ho, Eu/Eu*, Sr/Eu, La/Lu для пород Белокурихинского массива с таковыми для хондрита однозначно указывает на значительный фракционированный эффект распределения РЗЭ в эволюции глубинного очага. Значения TE_{1,3}, превышающее величину 1,10 надёжно указывают на проявление тетрадного эффекта в распределении РЗЭ [6].

В гранитоидах широко проявлены аутометасоматические изменения. Апограниты тяготеют к краевым и апикальным частям юго-восточного эндоконтакта. Это светло-серые средне- и мелкосреднезернистые породы, состоящие из альбита (№7-9) (60%), кварца (до 45%) и мусковита (до 10%) с тем или иным количеством микроклина, прожилковидного турмалина, реже - граната, флюорита и шеелита. Среди этих пород развиты зоны грейзенизации, а в районе Батунковского вольфрамового месторождения - грейзены мусковит-кварцевого состава с турмалином, флюоритом (до 10%), бериллом, гранатом.

В северо-восточном экзоконтакте массива, сложенном кристаллосланцами протерозоя, широко развиты дайки аплитов, линзо- и жилообразные пегматиты. Последние образуют рой тел различной мощности и длины. В центральных частях некоторых пегматитов развиты кварц-слюдистые грейзены, иногда с минерализацией сульфидов, берилла и колумбита.

Формирование комплекса происходило в мезоабиссальных условиях. На это указывают: широкое развитие крупнозернистых порфириовидных разностей с мегакристаллами микроклина, обилие пегматитов, отсутствие зон закалки и мощные контактовые ореолы амфибол-роговиковой фации. Наименьшим эрозионным срезом обладает Осокинский шток, в пределах которого наблюдаются останцы кровли.

Согласно новой шкале геологического времени [5] среднетриасовый возраст белокурихинского комплекса устанавливается на основании определений U-Pb-методом по цирконам из гранитов второй фазы: 233 ± 12 млн. лет. По валовой пробе из всех разновидностей гранитоидов первой фазы Rb/Sr-метод дает 237 ± 4 млн. лет [2], возраст лейкогранитов Курановского и Осокинского штоков - $236 \pm 3,3$ млн. лет [7].

Вещественный состав и условия залегания гранитоидов типичны для гранит-лейкогранитовой формации (пералюминиевые А-граниты) [2]. С породами заключительной фазы связаны месторождения вольфрама, проявления молибдена. К жильным пегматитам приурочены проявления бериллия, лития и тантало-ниобиевая минерализация. Параметры флюидного режима гранитоидов приведены в табл. 3.

3. Некоторые параметры флюидного режима гранитоидов и пегматитов белокурихинского комплекса

Породы	T° C	Lg fO ₂	K _{вос}	f	l	Al _{VI}	M _{HF}
Белокурихинский массив							
Гранодиориты	790	-1,0	0,03	55,3	30,2	0,04	0,0068
Граниты	760	-1,8	0,04	61,7	31,4	0,05	0,013
Лейкограниты	730	-2,0	0,07	60,0	19,0	-0,04	0,082
Пегматиты	540	-13,8	0,39	64,3	17,8	-0,23	0,521
Курановский шток							
Граниты	650	-4,5	0,04	66,0	25,0	0,39	0,061
Лейкограниты	640	-4,8	0,06	64,0	23,0	0,35	0,087
Осокинский шток							
Лейкограниты	660	0,5	0,03	65,0	24,0	0,34	0,014

Примечание. TС – температура кристаллизации в градусах; Lg fO₂ – логарифм фугитивности кислорода; K_{вос} – коэффициент восстановленности флюидов; f – железистость биотита; l – глинозёмистость биотита; Al_{VI} – алюминий в октаэдрической позиции в структуре биотита; M_{HF} – концентрации плавиковой кислоты во флюиде (моль/дм³) по [1].

P-T условия кристаллизации гранитоидов свидетельствуют о том, что в начальных фазах становления Белокурихинского массива (гранодиориты, граниты) температуры кристаллизации были относительно повышенными (790-760° C) при максимально низких концентрациях фтора в магматогенных флюидах и их низкая восстановленность. Для биотитов этих гранитоидов характерны пониженная железистость и повышенная глинозёмистость. В структуре биотитов наблюдаются низкие показатели алюминия октаэдрической координации (табл.3). Общие давления в период солидуса ранних фаз гранитоидов не превышали 1-3 Мпа (по соотношению Al_{IV} и Al_{VI} роговой обманке гранодиоритов и меланогранитов). В целом породы Белокурихинского ареала кристаллизовались в чрезвычайно окислительных условиях и их солидус осуществлялся выше магнетит-гематитового буфера (рис.3).

Умеренно-щелочные граниты и лейкограниты Осокинского и Курановского штоков кристаллизовались при значительно более низких температурах (640-660° C), в магматогенных флюидах лейкогранитов значительно более высокие концентрации плавиковой кислоты, которая, вероятно, и ответственна за снижение температуры солидуса этих пород, а также потенциальной рудоносности. Известна высокая роль фтористых лигандов и комплексов в переносе таких металлов как вольфрам, молибден, бериллий, рубидий и другие. В составе биотита характерны высокие концентрации алюминия октаэдрической координации (0,34-0,39). В отличие от них в биотитах лейкогранитов Белокурихинского массива наблюдается дефицит алюминия октаэдрической координации (до -0,04). Ещё больший дефицит октаэдрического алюминия наблюдается в пегматитах. В последних произошла контрастная инверсия восстановленности флюидов (0,39). В них же на порядок увеличилась концентрация HF во флюидах. Лейкограниты Осокинского массива кристаллизовались при самых высоких окислительных условиях.

Обсуждение результатов и выводы. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что эволюция становления магматических образований Белокурихинского плутона протекала в сложных условиях при меняющихся параметрах флюидного режима магматогенного этапа. Температуры солидуса кристаллизации всех разновидностей пород происходили выше магнетит-гематитового буфера при сильно окислительных условиях. По С. Ишихара гранитоиды белокурихинского плутона и штоков относятся к магнетитовой серии. Изменение концентраций летучих компонентов, в первую очередь фтора, играли важную роль в процессах дифференциации глубинного магматического очага. Ранее нами установлено, что гранитоиды Белокурихинского массива и ассоциирующих с ним штоков (Курановского, Осокинского, Точильного) относятся к пералюминиевым гранитоидам с характерным редкометалльным оруденением [3]. В таких гранитоидах эволюция становления массивов и их петрологическая особенность сопровождается

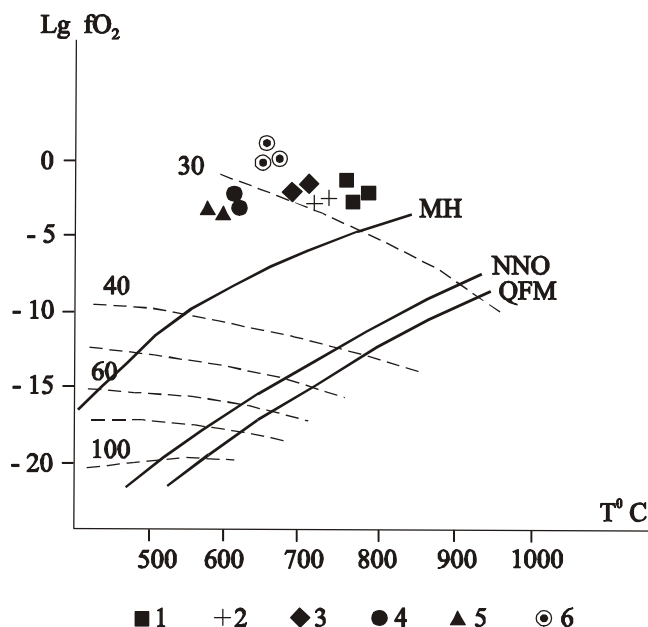


Рис.3. Диаграмма fO₂- T° C условий формирования биотитов гранитоидов белокурихинского ареала.

Окислительно-восстановительные буферы: MN- магнетит-гематитовый, NNO – никель-бунзениновый, QFM- кварц-фаялит-магнетитовый; Lg fO₂- логарифм фугитивности кислорода, T° C- температура кристаллизации гранитоидов в градусах. Отсальные условные обозначения на рис. 1.

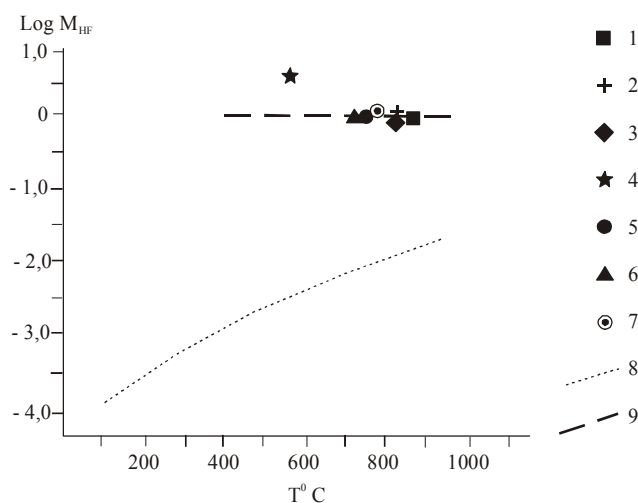


Рис. 4. Диаграмма $Lg M_{HF} - T^{\circ} C$ для гранитоидов и пегматитов Белокурихинского плутона.

Белокурихинский массив: 1- гранодиориты, 2- граниты, 3- лейкограниты, 4- пегматиты; Курановский шток: 5- граниты, 6- лейкограниты; Осокинский шток: 7- лейкограниты; 8 – низкофтористый тренд, 9- высокофтористый тренд по [1].

чим компонентам указывают на подток трансмагматических флюидов мантийного происхождения. Наличие в этой части массива пологих надвигов и относительно мощный линейный ареал флюидопотока, обогащённого фтором, при оптимальных параметрах геологической среды могло создать условия для образования концентрированного оруденения редких металлов не только пегматитового промышленного типа. Не меньшими перспективами обладает юго-восточная часть Белокурихинского плутона, инъецированная поздними штоками лейкогранитов, характеризующимися также аномальными параметрами флюидного режима. Кроме того, в юго-восточной части плутона имеются куполовидные выступы, в которых отмечаются повышенные концентрации флюидов с ведущей ролью фтора. В этой части плутона имеются месторождения и многочисленные проявления грейзенового, жильного типов, а в экзоконтакте - скарны с вольфрамом и молибденом.

Литература

1. Аксюк А.М. Экспериментально обоснованные геофториметры и режим фтора в гранитных флюидах // *Петрология*, 2002, т.10, №6, с. 630-644.
2. Владимиров А.Г., Пономарёва А.П., Шокальский С.П. и др. Позднепалеозойский-раннемезозойский гранитоидный магматизм Алтая // *Геология и геофизика*, 1997, т.38, №4, с. 715-729.
3. Гусев А.И. Пералюминиевые гранитоиды Горного Алтая: петрология и рудоносность // *Природные ресурсы Горного Алтая. Горно-Алтайск*, 2004, №1, с. 33-35.
4. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. Томск, 2003, изд-во STT, 308 с.
5. Гусев Н.И., Гусев А.И., Гутак Я.М., Федак С.И. Новая геологическая шкала времени-2004 // *Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, экология, минеральные, водные и лесные ресурсы Алтая. Горно-Алтайск*, 2005, №1, с. 10-14.
6. 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. Cosmochim. Acta*. 1999, v. 63, p. 489-508.
7. Vladimirov A.G., Babin G.A., Rudnev C.N. et al. *Geology, Magmatism and Metamorphism of Western Part of Altai-Sayan Fold Region: Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia*. Novosibirsk, 2001, 140 p.

процессами фракционирования минералов и РЗЭ [6]. По нашим данным становление Белокурихинских гранитоидов сопровождалось активными процессами изменения флюидного режима при существенно окислительных условиях и нарастании концентраций и активности HF в магматогенных флюидах. Резкая смена окислительно-восстановительных условий флюидного режима произошла во время формирования пегматитов, доминирующая масса которых сосредоточена в северной части Белокурихинского плутона. Такая комбинация процессов фракционирования и трансформации флюидного режима привели к формированию редкометалльного оруденения, среди которого важное значение имеют вольфрам, молибден, бериллий, рубидий, тантал, ниобий, уран. В целом формирование всех пород Белокурихинского плутона осуществлялось в условиях, близких к высокофтористым системам (рис. 4) типа Акчатау в Казахстане, характеризующихся высокой продуктивностью оруденения [1]. Положение пегматитового роя на севере массива трассирует область наиболее мощного потока фтористых флюидов, указывая однозначно на значительные перспективы этой полосы Белокурихинского массива. Повышенная восстановленность флюидов при формировании пегматитов и открытость системы по фтору и другим летучим