

УДК 553.3/4.078:553.2:551.73

**ПОСТКИНЕМАТИЧЕСКИЕ ГРАНИТОИДЫ КАЛБА-НАРЫМСКОЙ ЗОНЫ
КАЗАХСТАНА И АЛТАЯ: ПЕТРОЛОГИЯ И ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ**¹Гусев А.И., ²Гусев Н.И., ¹Белозерцев Н.В.¹Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,

e-mail: anzerg@mail.ru;

²Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург

Приведены петрологические данные и флюидный режим посткинематических гранитоидов позднепермско-раннетриасового калбинского комплекса Калба-Нарымской минерагенической зоны Казахстана и Алтая. Гранитоиды по петро-геохимическим параметрам близки анорогенному А-типу. В генерации интрузий и дайковых образований выявлено мантийно-коровое взаимодействие. Расплавы формировались в процессе плавления корового материала типа гранатового амфиболита под воздействием базальтоидных мантийных магм. По соотношениям изотопов стронция и неодима граниты Борисовского массива тяготеют к источнику мантии типа EM II. В долго живущий глубинный очаг происходил подток мантийных трансмагматических флюидов, имевших более восстановленный характер и обогащенных рядом летучих компонентов: углекислотой, фтором, бором, фосфором. Оптимальные параметры флюидного режима создавали благоприятные условия для формирования промышленного оруденения тантала, ниобия, лития, олова, молибдена, вольфрама в пегматитах, апогранитах, грейзенах и жилах.

Ключевые слова: гранитоиды, фазы внедрения, петрология, мантийно-коровое взаимодействие, изотопы стронция и неодима, флюидный режим, фугитивность, парциальное давление, редкие металлы

**THE POSTKINEMATIC GRANITOIDS OF KALBA-NARYMSKAJA ZONE OF
KAZAKHSTAN AND ALTAI: PETROLOGY AND FLUID REGIME**¹Gusev A.I., ²Gusev N.I., ¹Belozertcev N.V.¹The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, anzerg@mail.ru;²Karpinsky A.P. Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg

Petrology data and fluid regime of postkinematic granitoids late Permian – early Triassic kalbinskii complex of Kalba-Narymskaja mineragenic zone of Kazakhstan and Altai lead in paper. The mantle-crust interaction discovered in generation of intrusive and dikes. Melts formed in processes of melting crust material of type granate amphibolite under influence of basaltic mantle magmas. Granites of Borisovskii massif gravitate toward to source mantle type EM II on ratio isotopes of strontium and neodium. Alflux of mantle transmagmatic fluids took place in long time living deep-seated melting spot, having more reduce character and enriched of some volatile components: carbonic acid, fluorine, boron, phosphorus. The optimal parameters of fluid regime created favorable conditions for forming minable ore mineralization of tantalum, niobium, lithium, stannum, molybdenum, tungsten in pegmatites, apogranites, greisens and lodes.

Keywords: granitoids, faze of intrusion, petrology, mantle-crust interaction, isotopes of strontium and niobium, fluid regime, fugacity, partial pressure, rare metals

В ходе проведения геологического доизучения площадей масштаба 1:200 000 (ГДП-200) в 2005-2011 годах установлено, что Калба-Нарымская минерагеническая зона протягивается из Восточного Казахстана на западную территорию Алтайского края [4], что повышает перспективы Российской территории на золотое и редкометальное оруденение. Особенности золотогенерирующих адакитовых гранитоидов этой зоны нами охарактеризованы [3].

Целью настоящего исследования является освещение современных представлений на петрологию и флюидный режим посткинематических гранитоидов, весьма продуктивных на пегматитовое, грейзеновое, апогранитовое и жильное оруденение тантала, ниобия, лития, олова, молибдена, вольфрама. По нашим данным и сведениям предшественников наиболее близкая связь промышленного оруденения указанных металлов обнаруживается с дайками

двуслюдяных гранитов, которые отнесены к третьей фазе становления магматитов калбинского комплекса.

Доминирующую роль в этой зоне играют посткинематические гранитоиды калбинского комплекса позднепермско-раннетриасового возраста, образующие различные по размерам массивы. В составе комплекса выделяются две интрузивные фазы:

1 – гранодиориты, адамеллиты, граниты;

2 – умеренно-щелочные граниты и лейкограниты.

Массивы сопровождаются дайками 2 фаз:

1 – пегматоидных двуслюдяных гранитов и лейкогранитов,

2 – биотитовых лейкогранитов.

Возрастными и вещественными аналогами калбинским гранитоидам в соседних тектонических структурах Алтае-Саянского региона являются постколлизийные гранитоиды Белокурихинского (Торный Алтай)

и тигирекского (Рудный Алтай) комплексов. Представительные анализы указанных пород приведены в табл. 1.

Таблица 1

Составы интрузивных и дайковых фаз калбинских гранитоидов

Оксиды (масс.%) Элементы (г/т)	Интрузивы			Дайки	
	Гранодиориты 1 фазы	Граниты 1 фазы	Лейкограниты 2 фазы	Граниты двуслюдяные 3 фазы	Лейкограниты биотитовые 4 фазы
SiO ₂	66,38	69,89	74,45	70,74	73,78
TiO ₂	0,61	0,40	0,30	0,12	0,17
Al ₂ O ₃	16,01	15,4	13,75	13,68	12,27
Fe ₂ O ₃	0,64	0,99	0,80	0,47	0,61
FeO	2,84	1,98	1,73	2,33	1,24
MnO	0,07	0,07	0,05	0,04	0,04
MgO	1,10	0,76	0,5	0,62	0,68
CaO	3,60	1,90	1,53	1,15	1,91
Na ₂ O	4,13	3,92	3,32	3,87	6,10
K ₂ O	3,88	4,27	4,24	4,20	3,31
P ₂ O ₅	0,15	0,10	0,11	0,06	0,04
Ga	20,2	21,3	30,4	20,8	15,9
Rb	105	154	447	122	13
Sr	296	155	156	109	105
Y	14,4	21,0	39,0	18,5	17,1
Zr	110	125	62	78	12
Nb	9,9	12,2	97,5	15,6	2
Mo	0,9	0,5	1,0	0,6	0,1
Sn	3,5	2,9	2,1	3,4	0,7
Cs	4,5	6,0	9,5	7,4	0,3
Ba	416	491	78	183	80
La	19,9	33,1	12,3	15,1	14,8
Ce	37,4	63,0	31,3	28,1	26,9
Pr	4,7	7,5	2,3	3,7	3,8
Nd	16,4	25,0	7,3	13,5	13,3
Sm	3,3	4,7	2,1	3,0	2,9
Eu	0,5	0,6	0,11	0,4	0,2
Gd	3,1	4,1	2,0	3,0	3,7
Tb	0,5	0,6	0,4	0,5	0,4
Dy	2,5	3,6	3,5	3,2	3,2
Ho	0,5	0,7	0,96	0,6	0,5
Er	1,3	2,0	3,9	1,8	1,7
Tm	0,2	0,3	1,0	0,3	0,2
Yb	1,3	2,0	2,3	1,8	1,6
Lu	0,2	0,3	1,7	0,3	0,2
Hf	3,9	4,2	4,5	3,1	3,0
Ta	1,3	1,3	11,1	1,4	1,1
W	0,7	1,7	1,5	0,9	0,8
Th	11,4	18,1	15,7	7,4	6,5
U	4,4	3,3	9,8	2,1	1,9
(La/Yb) _N	10,2	10,9	9,8	5,6	6,1
Eu/Eu*	0,034	0,030	0,029	0,012	0,014
U/Th	0,38	0,18	0,62	0,28	0,29

Пр и м е ч а н и е . Анализы выполнены в Лаборатории ИГиМ СО РАН (г. Новосибирск). Нормализация некоторых РЗЭ проведена относительно концентраций в хондрите по [5]. Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2.

Отношение нормированных отношений лантана к иттербию $(La/Yb)_N$ свидетельствует о значительном дифференцированном характере лёгких и тяжёлых лантаноидов. Обращает на себя внимание факт самых низких отношений тяжёлых РЗЭ к лёгким в составе третьей фазы, с которыми связано промышленное оруденение редких металлов в регионе. В дайковых образованиях отмечается более низкое отношение Eu/Eu^* , чем в интрузивных фазах. Это может объясняться влиянием двух факторов: 1 – фракционированием полевого шпата в

расплавах и 2 – более высокой флюидонасыщенностью расплавов, генерировавших дайковые фазы, и в особенности фтором.

Из гранитов второй фазы Борисовского массива проанализированы содержания изотопов стронция и неодима. Значения эpsilon неодима показали величины 0,5 и 0,9, а эpsilon стронция дают значительное обогащение, достигая величин 30,5 и 35,1. По соотношениям этих значений изотопов стронция и неодима граниты Борисовского массива тяготеют к обогащённой мантии типа EM II (рисунок).

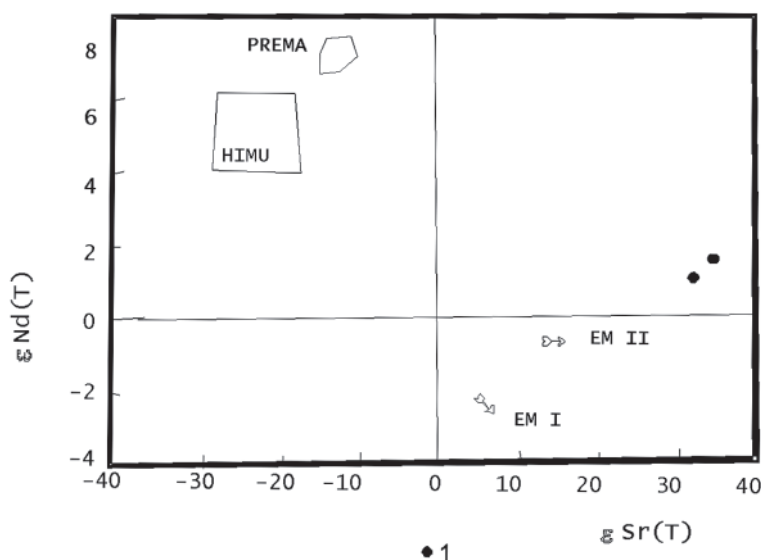


Диаграмма $\epsilon Sr(t) - \epsilon Nd(t)$ для гранитов Борисовского массива калбинского комплекса

Типы мантии по Зиндлеру и Харту [9]: EM I и EM II – обогащённая мантия типов I и II; PREMA – примитивная мантия; HIMU – мантия с высоким изотопным уран-свинцовым отношением. 1 – граниты Борисовского массива

По соотношениям La и Nb все интрузивные и дайковые фазы тяготеют к литосферному коровому источнику.

Соотношения нормализованных соотношений $(La/Yb)_N$ и $(Yb)_N$ для пород первой фазы близко к источнику плавления коры типа гранатового амфиболита, а породные типы второй интрузивной фазы и все дайковые образования попадают в поле плавления источника верхней коры.

По соотношениям La/Nb и Ce/Y все фазовые разновидности обнаруживают признаки смешения первичного расплава с коровым материалом.

В целом гранитоиды калбинского комплекса показали высокие отношения Fe/Mg, $(K + Na)/Al$, K/Na, а также высокие концентрации F, Zr, Nb, Ga, редкоземельных эле-

ментов (РЗЭ), Y, Zr и низкие содержания Mg, Ca, Cr, Ni, что характерно для гранитоидов анорогенного А-типа.

Методика оценки основных параметров флюидного режима (температур кристаллизации магм, фугитивностей и парциальных давлений летучих компонентов) описана в работе [2] с использованием экспериментальных и теоретических работ Д. Уонза и Х. Эйгстера [8], Д. Якобса, В. Пэрри [6], Дж. Манза, С. Лудингтона [7] и других. Режим фтора во флюидах можно определять по геофториметрам (с использованием составов слюд), разработанным А.М. Аксёв [1].

Анализ биотитов по фазам гранитоидов приведены в табл. 2.

От ранних фаз к поздним в биотитах наблюдается закономерное изменение состава: нарастание кремнекислотности, глинозёмистости, железистости и снижение магнезиальности. При этом отмечается нарастание доли октаэдрической составляющей в составе общей глинозёмистости слюды (от 0,34 до 0,52). Для биотита третьей фазы (даек),

с которыми наблюдается связь оруденения характерны наиболее высокие значения фтористости биотита и повышенные значения

таких летучих компонентов, как фтора, бора, хлора и концентраций редких металлов – цезия, рубидия, лития (табл. 2).

Таблица 2

Оксиды и элементы (масс. %) и показатели биотитов	Интрузивные фазы		Дайковые фазы	
	Гранодиорит 1 фазы	Гранит 2 фазы	Двуслюдяной лейкогранит 3 фазы	Биотитовый гранит 4 фазы
SiO ₂	35,80	36,5	36,8	36,9
TiO ₂	3,5	2,9	2,8	2,9
Al ₂ O ₃	16,5	17,8	18,1	18,8
Fe ₂ O ₃	5,4	3,5	4,6	4,5
FeO	18,4	17,0	16,3	16,6
MnO	0,41	0,4	0,3	0,5
MgO	8,1	7,9	5,4	5,1
CaO	0,1	0,3	0,3	0,35
Na ₂ O	0,15	0,11	0,12	0,2
K ₂ O	8,25	8,1	8,0	8,2
P ₂ O ₅	0,40	0,3	0,4	0,2
B ₂ O ₃	0,15	0,20	0,5	0,4
H ₂ O+	2,5	3,9	3,8	3,5
F	0,3	0,45	1,6	1,1
Cl	0,1	0,11	0,3	0,15
Rb ₂ O	0,1	0,11	0,25	0,22
Li ₂ O	0,15	0,15	0,38	0,28
Cs ₂ O	0,14	0,16	0,41	0,31
Сумма	100,45	99,89	100,36	100,21
f	66,01	62,3	71,5	73,1
l	35,3	38,3	39,5	40,4
Al _{IV}	1,92	1,97	1,97	1,94
Al _{VI}	0,34	0,38	0,39	0,52
F _{Бт}	0,03	0,03	0,09	0,07
ОН _{Бт}	0,97	0,97	0,91	0,93

Примечания. f – железистость биотита ($f = 100 \times (Fe / (Fe + Mg))$); l – глинозёмистость биотита ($l = 100 \times (Al / (Al + Si + Fe + Mg))$); Al_{IV} и Al_{VI} – алюминий в тетраэдрической и октаэдрической координации в составе биотитов; F_{Бт} и ОН_{Бт} – доли фтор-биотита и гидроксил-биотита в составе слюды.

Оценки некоторых параметров флюидного режима приведены в табл. 3.

Анализ полученных данных табл. 3 показывает, что кристаллизация гранитоидов протекала в широком диапазоне температур от 740 до 920 °С, а также увеличением кислотности среды, что подтверждается увеличением значения потенциала ионизации биотита от 190,6 в гранитоидах первой фазы и значительно более высокими его значениями во всех остальных более поздних фазах. Обращает на себя внимание значительный скачок температуры кристаллизации от гранитов второй фазы к гранитоидам 3 фазы. Этот скачок объясняется нами подтоком мантийных трансмагматических флюидов в глубокий очаг и отделением из него даек пегма-

тоидных гранитоидов и лейкогранитов. Это подтверждается также резким увеличением восстановленности флюидов, вызванных поступлением в очаг более глубоких восстановленных флюидов. Трансмагматические флюиды оказались обогащены рядом летучих компонентов мантийной природы: углекислотой, фтором, бором, фосфором. Более высокие значения отношений суммы парциальных давлений воды и углекислоты к парциальному давлению воды в обеих фазах дайковых гранитоидов свидетельствуют о более высокой вероятности взрывного характера в их формировании и вскипания пневматолитов и гидротермальных растворов при последующем рудогенном процессе. Об этом же свидетельствуют и более высо-

ких концентраций летучих компонентов (фтора, бора, фосфора, помимо углекислоты) в магматогенных флюидах дайковых образований.

Таблица 3

Параметры флюидного режима гранитоидов калбинского комплекса

Параметры флюидного режима	Гранодиориты 1 фазы	Граниты 2 фазы	Дайки лейкогранитов 3 фазы	Дайки биотитовых лейкогранитов 4 фазы
T °C	800	740	880	920
lg fO ₂	-4,9	-9,5	-3,5	-3,1
fH ₂ O	0,76	0,9	0,8	0,82
pH ₂ O	0,92	2,1	0,98	1,0
pCO ₂	1,08	0,4	1,22	1,3
lgfHF/fHCl	-1,6	-1,4	-0,9	-0,4
M _{HF}	0,73	0,86	0,96	1,29
K _{вос}	0,29	0,35	0,55	0,34
y	190,6	193,06	192,7	192,6
(pH ₂ O+pCO ₂)/pH ₂ O	2,17	1,19	2,24	2,3

Примечания. T, °C – температура кристаллизации; lg fO₂ – логарифм фугитивности кислорода; fH₂O – фугитивность воды; pH₂O, pCO₂ – парциальное давление воды и углекислоты; lg fHF/fHCl – логарифм отношений фугитивностей плавиковой и соляной кислот; K_{вос} – коэффициент восстановленности флюидов; M_{HF} – концентрации плавиковой кислоты во флюидах в моль/дм³ по [1]; y – потенциал ионизации биотита по В.А. Жарикову; (pH₂O + pCO₂)/pH₂O – отношение суммы парциальных давлений воды и углекислоты к парциальному давлению воды.

Флюидный режим даек 4 фазы несколько отличен от такового третьей фазы. Возможно, это связано с ещё одной порцией мантийных трансмагматических флюидов, поступавших в глубинный очаг, создававших такое разнообразие дериватов.

Таким образом, рудогенерирующие посткинematические редкометалльные гранитоиды калбинского комплекса обнаруживают близость по своим петро-геохимическим характеристикам к анорогенным гранитоидам (А-тип). В их генерации прослеживается важная роль мантийно-корового взаимодействия, которое протекало по следующему сценарию:

1 – плавление мантийного источника типа ЕМ II, выявляемое по изотопии стронция и неодима;

2 – плавление корового материала типа гранатового амфиболита в глубинном очаге, выявляемое по соотношениям нормированных к хондриту лантана и иттербия под воздействием базальтоидных мантийных магм;

3 – подток в глубинный очаг нескольких порций мантийных трансмагматиче-

ских флюидов, обогащённых летучими компонентами, создававших благоприятные условия для экстрагирования из глубинных расплавов редких металлов и их переносу и отложению в рудолокализирующих структурах.

Список литературы

1. Аксюк А.М. Петрология. – 2000. – Т.10, №6. – С. 630-644.
2. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во STT, 2003. – 308 с.
3. Гусев А.И., Гусев Н.И. Международный журнал экспериментального образования. – 2010. – № 9. – С. 75-80.
4. Коробейников А.Ф., Гусев А.И., Русанов Г.Г. Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316, № 1. – С. 31-38.
5. Anders E., Greevesse N. Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – Vol. 53. – P. 197-214.
6. Jacobs D.C., Parry W.T. Econ. Geol. – 1979. – Vol. 74, №4. – P. 860-887.
7. Munoz J.L., Ludington S.D. Amer. J. Sci. – 1974. – Vol. 247, № 4. – P. 396-413.
8. Wones R.D., Eugster H.P. Amer. Mineral. – 1965. – Vol. 50, № 9. – P. 1228-1272.
9. Zindler A., Hart. // Ann. Rev. Earth Planet. Sci. – 1986. – Vol. 14. – P.4 93-571.