

УДК 553.3/4.078:553.2:551.73

ТИПИЗАЦИЯ И РУДОНОСНОСТЬ ГРАНИТОИДОВ УСТЬ-БЕЛОВСКОГО КОМПЛЕКСА ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукишина, Бийск,
e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены данные о составе, флюидном режиме, мантийно-коровом взаимодействии и рудоносности массивов гранитоидов усть-беловского комплекса среднего-позднего девона в различных тектонических блоках. Выделены 2 подтипа; не загрязненный (рыбалкинский) и умеренно-загрязненный (кудрихинский), различающиеся по комплексу параметров (особенностям состава и контаминации корового материала, флюидному режиму, степени окисленности и восстановленности). Выделенные подтипы подтверждаются также соотношениями изотопов стронция и неодима. В не загрязненном подтипе проявлены 2 типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ (W- и M- тип), обусловленный аномальными параметрами магматического флюидного режима. С умеренно-загрязненным подтипом связано золото-медно-скарновое и жильное золото-сульфидно-кварцевое оруденение.

Ключевые слова: гранитоиды, петрогеохимия, флюидный режим, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, изотопы стронция и неодима, золото, медь

TYPEZATION AND ORE MINERALIZATION OF GRANITOIDS UCT-BELOVSKII COMPLEX OF MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru

Data of composition, fluid regime, mantle-crust interaction and ore mineralization of massifs granitoids ust-belovskii complex Middle-Late Devonian in different tectonic blocks lead. Two subtypes detached: non contamination (rybalkinskii) and moderate contamination (kudrikhinskii), distinguishing on complex parameters (peculiarities of composition and contamination of crust material, fluid regime, degrees of oxidized and reduction). Separated subtypes confirm ratio of isotopes strontium and neodium. The two type tetradic effect fractionation (TEF) of REE (W- and M- type) display in not contamination subtype granitoid, causing anomalous parameters of magmatic fluid regime. The gold-copper-skarn and lode gold-sulfide-quartz ore mineralization related with moderate contamination subtype.

Keywords: granitoids, petrogeochemistry, fluid regime, tetradic effect fractionation of REE, isotopes strontium and neodium, gold, copper

Типизация гранитоидов по петрогеохимическим признакам, мантийно-коровому взаимодействию, их флюидному режиму имеет большое металлогеническое значение [5].

Гранитоиды усть-беловского магматического комплекса средне-позднедевонского возраста (D_{2-3}) распространены в различных тектонических блоках Горного Алтая: Талицком, Бийско-Катунском, Бельгеша-ском, а также на границе с Рудным Алтаем. Их металлогеническая роль в разных блоках различна. Это и определяет актуальность их сравнительного изучения. Цель исследования – провести типизацию гранитоидов усть-беловского комплекса в разных тектонических блоках Горного Алтая и осветить их рудоносность.

Материалы и методы исследования

Силикатные анализы горных пород на главные компоненты выполнены в лаборатории Сибирского Исследовательского Центра (г. Новокузнецк), а на микроэлементы – методом эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой ISP-MS на спектрометре «OPTIMA-4300», для Cu, Zn, Pb, Li, – методом ISP-AES в Лаборатории ИМГРЭ (г. Москва).

Результаты исследования и их обсуждение

В различных тектонических блоках Горного Алтая пространственно и парагенетически с гранитоидами усть-беловского комплекса связаны различные типы оруденения [1-3].

В Башчелакском рудном узле становление жильного золото-сульфидно-кварцевого оруденения связано с гранодиоритами, адамеллитами, аплитовидными гранитами усть-беловского комплекса. Кислые разновидности пород Верхне-Башчелакского массива относятся к I-типу стандартных гранитов Sr-деплементированных и Y-деплементированных. Их генерация предполагает первичный протолит, содержащий плагиоклаз, то есть верхне-коровый материал. Гранодиориты в Башчелакской МРМС относятся к I-типу гранитов умеренно-загрязненному (рис. 1) с низкой фугитивностью кислорода и повышенными значениями парциального давления CO_2 [3]. Такие характеристики параметров флюидного режима благоприятны для генерации жильного золото-сульфидно-кварцевого оруденения.

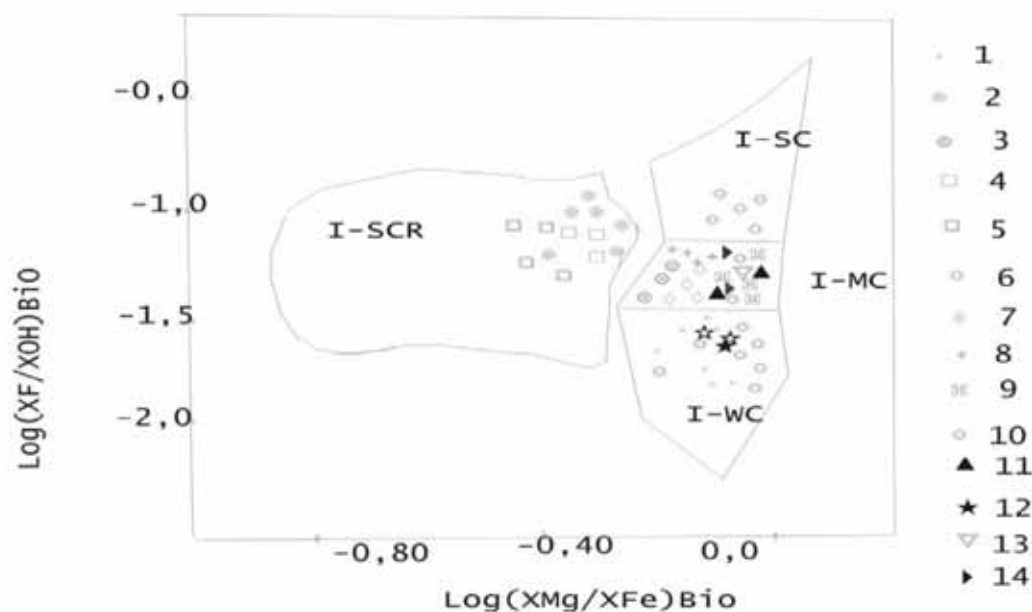


Диаграмма $\text{Log}(X_{\text{Mg}}/X_{\text{Fe}}) - \text{log}(X_{\text{F}}/X_{\text{OH}})$ в биотитах гранитоидов Горного Алтая.

Гранитоиды МРМС региона:

- 1 – Синюхинской, 2 – Чойской, 3 – Лысухинской, 4 – Караминской, 5 – Топольнинской, 6 – Ульменской, 7 – Бацелакской, 8 – Майской, 9 – Синюхинской, 10 – Ашпанакской, 11 – Усть-Беловской, 12 – Рыбалкинской, 13 – Усть-Чуйской, 14 – Чикетаманской

Близкие значения получены и для гранитоидов Кудрихинского массива, относящегося также к усть-беловскому комплексу, с которым связаны проявления золота Верх-Слюдянского участка Усть-Беловского рудного узла (золото-медно-скарновое, жильное золото-сульфидно-кварцевое). Тоналиты и гранодиориты массива кристаллизовались при температурах 700-710 °C и давлениях 1,9-2,3 кбар. На удалении от проявлений золота параметры флюидного режима для некоторых компонентов ниже, чем вблизи золоторудных объектов. В гранодиоритах вблизи золоторудных проявлений значительно выше парциальные давления углекислоты, коэффициент восстановления флюидов, фугитивность воды, что указывает на более обводнённые условия рудогенерирующих гранитоидов и более высокую активность углекислоты в тех местах, где происходило образование золоторудных объектов. Более высокие фугитивности HCl в этих условиях определя-

ются значительно меньшими величинами отношений летучестей плавиковой и соляной кислот. Хлор и его комплексы, как известно, являются основными летучими компонентами, участвующими в переносе золота в гидротермальных растворах.

Гранитоиды Рыбалкинского массива отличаются от ранее описанных значительно меньшими показателями всех параметров флюидного режима, за исключением восстановления флюидов. Коэффициент восстановления флюидов тоналитов массива достигает 0,46. Кислые разности пород Рыбалкинского массива относятся к I- типу гранитов Sr-недеплетированных и Y-деплетированных. Подобные характеристики указывают на то, что формирование гранитоидов происходило путём частичного плавления мантийного протолита, в котором присутствовал гранат. По данным [6] становление гранитоидов Рыбалкинского массива происходило в результате смешения базитовых и обводнённых ан-

дезитоидных магм с последующей дифференциацией в промежуточных очагах. В породах массива указанные авторы отмечают продукты переплавления вещества нижней и средней коры. В контактах Рыбалкинского массива и вблизи него отсутствуют проявления золота, хотя магнезиальные скарны с волластонитом в контакте с ним описаны (Айское месторождение волластонита).

По составам биотитов гранодиоритов и гранитов Эдиганского массива, также расположенного в Бийско-Катунском блоке, по составу биотитов следует относить к сильно контаминированному и редуцированному I-типу (I-SCR). Это связано с тем, что во вмещающей раме массива находятся углеродистые толщи верхней черносланцевой части горноалтайской серии. Углеродистая часть черносланцевой толщи была контаминирована при становлении пород массива. При этом параметры флюидного режима гранитоидов массива реставрируются в следующем виде (в кбар): логарифм фугитивности кислорода – (-13,3), фугитивность воды – (0,65), парциальное давление воды – (0,56), парциальное давление углекислоты – (0,5), логарифм отношений фугитивностей плавиковой и соляной кислот (-3,7). Весьма низкие отношения фугитивностей плавиковой и соляной кислот указывают на преобладание соляной кислоты во флюидах, благотворно сказывающейся на переносе золота. В целом все породные типы Эдиганского массива характеризуются низкой титанистостью, отсутствием ильменита и обилием акцессорных магнетита и гематита, что позволяет их отнести к сильно окисленной магнетитовой серии гранитоидов по С. Ишихара [10, 11]. Для таких гранитоидов устанавливается определённая металлогеническая специализация, охватывающая комплекс месторождений в сульфидной форме, таких как молибденит, халькопирит, борнит, сфалерит, галенит, аргентит и другие. Минерогения Эдиганского массива указывает на продуктивный железо-оксидный медно-золоторудный класс (IOCG) оруденения, обогащённый редкими землями. Близкий тип оруденения отмечен в пространственной связи с гранитоидами усть-беловского комплекса в пределах Северо-Восточной зоны смятия в западной части Горного Алтая (Кузнецовское железорудное месторождение и другие), а также Чинетинская группа скарновых железорудных объектов [8].

Таким образом, в составе усть-беловского комплекса можно выделить два

подтипа: не контаминированный (Рыбалкинский массив) и умеренно-контаминированный (Кудрихинский массив). Эти гранитоиды отличаются содержаниями изотопов стронция и неодима, а также элементами-примесями. В Рыбалкинском массиве значительно меньше концентрации Y, Nb, Zr, но более высокие нормированные к хондриту отношения $(La/Yb)_N$ (табл. 1 и 2). В Рыбалкинском массиве породы явно дифференцированы по редким землям. В породах этого массива проявлены оба типа тетрадного эффекта фракционирования (ТЭФ) РЗЭ: W- и M- тип, а в гранитоидах Кудрихинского массива величины ТЭФ не значимы.

Интерпретация результатов и выводы

Приведенные данные показывают, что в разных тектонических блоках гранитоиды усть-беловского отличаются по многим параметрам: степени окисленности и восатновленности, флюидному режиму, степени мантийно-корового взаимодействия. Контрастно различимы 2 подтипа: не контаминированный (рыбалкинский) и умеренно-контаминированный (кудрихинский). В силу различного флюидного режима магматического этапа в разной степени проявлен тетрадный эффект фракционирования РЗЭ и связанное оруденение [4]. С не контаминированным подтипом значимого оруденения не проявлено. А с контаминированным подтипом связано золото-медно-скарновое и жильное золото-сульфидно-кварцевое оруденение.

К аналогичным выводам приводят и изотопные исследования. На основании изотопии неодима и стронция гранитоиды усть-беловского комплекса можно подразделить по мантийно-коровому взаимодействию на 2 подтипа: контаминированный и умеренно-контаминированный. Гранитоиды Талицкого блока (Кудрихинский массив) имеют отрицательные значения эpsilon неодима $\epsilon(Nd)_t$ (-0,7) – (-1,2) и более высокие отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,706) и относятся к контаминированному подтипу, а гранитоиды Рыбалкинского массива, Макарьевского ареала и Эдиганский массив [1, 3] имеют положительные значения эpsilon неодима (+2,1) – (+1,72) и значительно меньшие величины отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,704) и должны быть отнесены к не контаминированному подтипу.

Таблица 1

Представительные анализы интрузивных пород Рыбалкинского массива
(оксиды масс. %, элементы в г/т)

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	51,3	54,1	57,2	65,5	64,9	66,8	76,1	75,7
TiO ₂	0,93	0,78	0,9	0,51	0,49	0,45	0,1	0,15
Al ₂ O ₃	15,5	15,9	17,3	16,1	16,24	15,7	12,8	12,9
Fe ₂ O ₃ t	10,2	9,33	8,42	5,45	5,15	5,1	1,2	1,3
MnO	0,21	0,20	0,17	0,12	0,11	0,12	0,05	0,06
MgO	8,6	6,5	3,9	2,1	1,97	1,95	0,15	0,2
CaO	9,0	8,9	7,1	4,7	4,6	4,4	0,76	0,8
Na ₂ O	2,6	2,7	3,1	3,15	3,7	3,9	2,9	2,8
K ₂ O	0,9	0,89	1,45	2,05	2,04	1,95	5,5	5,4
P ₂ O ₅	0,18	0,16	0,17	0,13	0,15	0,14	0,04	0,05
Σ	99,42	99,46	99,71	99,81	99,35	100,51	99,6	99,36
Li	9	10	17	22	25	27	4	15
Cs	1,1	1,2	2,1	2,6	2,8	3,0	3,6	4,8
Be	0,7	0,8	0,8	2,1	2,1	2,5	0,8	2,1
Rb	18	17	19	67	55	70	125	130
Sr	290	330	315	440	430	436	90	94
Y	22,6	23,4	26,8	14,8	15,1	15,7	10,5	11,2
Zr	45	49	62	115	98	102	65	70
Nb	5,6	3,3	7,4	8,3	8,7	8,3	6,4	6,2
Ba	367	355	515	941	705	703	180	175
La	23,3	20,5	22,1	29,1	21,1	22,1	23,1	23,0
Ce	31,2	29,3	31,1	32,3	38,4	39,2	20,4	20,5
Pr	5,1	4,2	4,4	4,0	4,1	4,6	4,7	4,8
Nd	13,4	10,7	13,6	13,1	18,3	19,0	6,2	6,6
Sm	4,1	4,3	4,4	3,5	3,2	3,7	1,0	1,2
Eu	1,3	0,97	1,1	0,95	0,94	0,86	0,3	0,28
Gd	2,5	2,3	2,4	2,3	2,4	2,3	2,2	2,1
Tb	0,7	0,66	0,75	0,49	0,41	0,45	0,16	0,2
Dy	3,6	3,7	2,95	2,6	2,5	2,4	1,9	2,0
Ho	1,0	0,92	0,97	0,94	0,9	0,87	0,7	0,8
Er	2,6	2,3	2,4	2,1	2,2	2,3	1,9	2,0
Tm	0,5	0,42	0,62	0,38	0,3	0,32	0,14	0,15
Yb	1,9	1,41	2,55	1,4	1,6	1,5	0,9	1,1
Lu	0,4	0,32	0,5	0,3	0,25	0,24	0,16	0,18
Hf	3,0	3,1	2,3	3,2	3,3	3,4	2,6	2,7
Ta	0,5	0,48	0,43	0,49	0,63	0,7	0,9	1,2
Th	2,2	3,8	3,5	4,8	5,4	6,2	6,8	7,7
U	0,5	1,2	1,05	0,7	0,8	0,9	1,4	1,6
(La/Yb) _N	8,1	9,6	5,72	13,73	8,7	9,73	16,9	13,8
Eu/Eu*	1,17	0,86	0,95	0,97	0,88	0,85	0,61	0,54
TE _{1,3}	1,05	1,11	1,01	0,83	0,85	0,87	0,82	0,84

Примечание. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [7].
Eu* = (Sm_N + Gd_N)/2. TE – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ по Igber [9]. TE_{1,3} – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, как среднее между первой и третьей тетрадами. Породы Рыбалкинского массива: 1 – габбро, 2-3 – диориты, 4-5 – тоналиты, 6 – гранит, 7 – лейкогранит.

Таблица 2

Представительные анализы пород Кудрихинского массива (оксиды масс. %, элементы, г/т)

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	50,9	54,17	55,66	60,40	61,81	65,48	65,65	69,46
TiO ₂	1,2	0,99	0,95	0,72	0,59	0,56	0,62	0,54
Al ₂ O ₃	16,4	16,55	16,37	16,14	15,38	14,77	14,97	14,66
Fe ₂ O ₃ t	10,5	9,61	9,38	7,20	6,35	4,74	5,54	4,40
MnO	0,2	0,17	0,19	0,14	0,11	0,10	0,11	0,09
MgO	6,7	5,18	4,32	2,63	2,36	1,83	2,13	1,44
CaO	8,5	8,03	5,86	4,95	4,92	3,96	4,75	3,36
Na ₂ O	2,4	2,3	3,04	2,42	2,35	2,70	2,45	3,11
K ₂ O	1,2	1,7	1,94	2,46	2,77	3,62	2,87	2,56
P ₂ O ₅	0,2	0,19	0,26	0,14	0,12	0,12	0,13	0,13
Be	1,4	1,57	1,88	1,29	1,65	1,8	1,09	1,44
Sc	43	34	30,0	27,0	19,5	14,1	13,9	11,4
V	241	225	222,0	161,0	123,0	83,0	99,0	75,0
Cr	55	52	25,0	23,0	66,0	78,0	41,0	22,0
Co	35	33	27,0	18,5	14,8	8,1	12,7	10,0
Ni	30	25	15,8	5,8	10,5	43,0	6,9	4,0
Ga	17,1	17,4	17,6	17,3	16,3	13,8	15,1	16,2
Rb	45	48	67,0	70,0	83,0	88,0	79,0	92,0
Sr	275	287	295,0	318,0	240,0	201,0	252,0	159,0
Y	24	25	35,0	26,0	22,0	19,4	27,1	28,2
Zr	128	138	127	130	151	182	194	178
Nb	8,5	7,1	14,0	9,4	9,2	10,4	9,8	8,9
Cs	1,6	1,88	2,4	4,4	1,91	2,9	2,6	4,2
Ba	320	327	362	418	415	471	361	332
La	18,7	19,3	24,0	19,3	19,9	22,0	23,0	19,8
Ce	37,1	41	64,1	41,2	43,1	46,2	48,3	42,2
Pr	5,0	5,2	7,9	4,9	4,9	5,1	6,1	4,5
Nd	19,5	22	34,2	20,7	20,3	20,4	20,5	18,3
Sm	4,1	4,3	7,3	4,2	3,9	3,4	4,3	4,1
Eu	1,5	1,4	1,58	1,12	0,96	0,84	0,96	1,04
Gd	4,9	4,8	6,4	4,5	3,7	3,4	3,9	4,4
Tb	1,0	0,8	1,02	0,74	0,66	0,57	0,72	0,69
Dy	4,9	4,6	6,2	4,4	4,2	3,3	4,2	4,6
Ho	1,1	0,97	1,22	0,94	0,83	0,74	0,87	0,98
Er	2,9	2,7	3,7	2,8	2,3	2,1	2,6	3,0
Tm	0,5	0,41	0,57	0,43	0,37	0,33	0,42	0,49
Yb	2,9	2,6	3,9	2,8	2,5	2,2	2,7	3,1
Lu	0,5	0,4	0,59	0,41	0,36	0,32	0,34	0,47
Hf	3,0	3,8	3,7	3,7	4,2	5,0	5,1	5,3
Ta	0,45	0,49	0,91	0,63	0,71	0,83	0,72	0,96
W	0,3	0,49	0,6	0,91	0,72	0,82	0,81	0,2
Th	4,1	5,4	8,1	6,4	8,1	10,8	10,6	10,1
U	0,9	1,14	1,82	1,79	1,88	2,3	3,1	2,8
(La/Yb) _N	4,26	4,9	4,1	4,55	5,26	6,6	5,63	4,2
Eu/Eu*	1,03	0,95	0,7	0,79	0,77	0,75	0,71	0,75
TE _{1,3}	1,02	0,98	1,05	0,98	1,03	0,99	1,07	0,98

Примечание. Породы Кудрихинского массива: 1 – габбро, 2-3 – диориты, 4-5 – кварцевые диориты, 6-7 – гранодиориты, 8 – меланогранит.

Список литературы

1. Гусев А.И. Эдиганский массив гранитоидов: петрология и минералогия // Природные ресурсы Горного Алтая, 2010. – № 2. – С. 71-80.
2. Гусев А.И., Попов С.В., Дзагоева Е.А. Петрология и рудоносность магмо-рудно-метасоматических систем Талицко-Башелакского района Алтая. – Бийск: БПГУ, 2010. – 205 с.
3. Гусев А.И. Минералогия и полезные ископаемые Алтайского края. – Бийск: Изд-во ГОУВПО АГАО, 2011. – 365 с.
4. 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.
5. Коробейников А.Ф., Ананьев Ю.С., Гусев А.И. Мантейно-коровые рудообразующие системы, концентрирующие благородные металлы. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 262 с.
6. Титов А.В., Крук Н.Н., Поспелова Л.Н. и др. Условия кристаллизации и происхождение магм Рыбалкинского габбро-диорит-тоналитового интрузива // Геология и геофизика, 1997. – Т. 38. – № 12. – С. 1921-1931.
7. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1989. – V. 53. – Pp. 197-214.
8. Gusev A.I., Gusev N.I. The IOCG class deposits of West Altai-Sajan region and lapout territories of Mongolia and China / Алтай: экология и природопользование. Труды IX российско-монгольской научной конференции молодых учёных и студентов. – Бийск, 2010. – С.-6-10.
9. 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. – №3/4. – P. 49-71.
10. Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks // *Min. Geol.* – Tokyo. – 1977. -V.27. – P.293-305.
11. Ishihara S. The granitoid series and mineralization // *Econ. Geology.* – 1981. – 75-th Anniversary Volume. – P.458-484.