

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ужженов Б.С. и др. Минерально-сырьевая база меди, свинца, цинка, золота Республики Казахстан. Состояние. Прогноз развития // Сырьевая база свинца и цинка, меди, золота Казахстана: Материалы совещ. — Алматы: Казахстанское геологическое общество «КазГЕО», 2002. — С. 4–5.
2. Попов В.В. Региональные палеотектонические факторы образования крупных полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Геология рудных месторождений. — 1998. — Т. 40. — № 4. — С. 370–378.
3. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана / под ред. С.Ж. Даукеева, Б.С. Ужженова, А.А. Абдулина и др. — Алматы: РГП ИАЦ РК, 2002. — Т. 1. — 224 с.; Т. 2. — 272 с.
4. Щерба Г.Н., Дьячков Б.А., Нахтигаль Г.П. Металлогения Рудного Алтая и Калбы. — Алма-Ата: Наука, 1984. — 240 с.
5. Рафаилович М.С., Смирнов А.В., Федоренко О.А. и др. Крупные месторождения Казахстана: новая геодинамическая и формационная систематика // Геология и охрана недр. — 2006. — № 1. — С. 2–10.
6. Кузбный В.С., Стучевский Н.И., Пономарев Э.С. Вулканогенные формации и металлогеническое районирование юго-западного Алтая // Вулканизм и металлогения геосинклиналей / под ред. И.Б. Серавкина. — Уфа: БФАН СССР, 1986. — С. 24–35.
7. Кузбный В.С., Павлов А.Л., Ананьев Ф.М. и др. Флюидный режим Земли и проблема крупномасштабного рудообразования (на примере халькофильных металлов). — Новосибирск: Наука, 1991. — 161 с.
8. Дистанов Э.Г. Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. — Новосибирск: Наука, 1977. — 351 с.
9. Кузбный В.С. Магматические формации Юго-Западного Алтая и их металлогения. — Алма-Ата: Наука, 1975. — 342 с.
10. Назаров В.Н., Гаврилец В.Н. Структурные условия локализации колчеданно-полиметаллических руд Зырянского и Малеевского месторождений (Рудный Алтай) // Геология рудных месторождений. — 1982. — Т. 24. — № 2. — С. 91–96.
11. Аэрокосмические методы геологических исследований / под ред. А.В. Перцова. — СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2000. — 316 с.
12. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Житков В.Г., Назаров В.Н., Кузнецов А.С. Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска полезных ископаемых (на примере Рудного Алтая). — Томск: СТТ, 2007. — 228 с.
13. Ваганов В.И., Иванкин П.Ф., Кропоткин П.Н. и др. Взрывные кольцевые структуры щитов и платформ. — М.: Наука, 1985. — 200 с.
14. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М. Космические методы при прогнозе и поисках месторождений алмазов. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. — 198 с.
15. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Анникова И.Ю. и др. Космоструктурная модель района Калгутинского редкометалльного месторождения (Горный Алтай) // Известия Томского политехнического университета. — 2007. — Т. 311. — № 1. — С. 45–53.

Поступила 23.12.2009 г.

УДК 55(1/9):552.1

ПЕТРОЛОГИЯ И ЗОЛОТОНОСНОСТЬ АДАКИТОВЫХ ГРАНИТОИДОВ КАЛБЫ

А.Ф. Коробейников, А.И. Гусев*, Г.Г. Русанов*

Томский политехнический университет,

*Бийский педагогический государственный университет им. В.М. Шукшина

E-mail: lev@tpu.ru; anzerg@mail.ru; gapse@biysk.mail.ru

Впервые приводится обоснование отнесения кислых разностей кунушского комплекса Калбы (Казахстан) к высокремнистым адакитовым гранитоидам. Предложена комбинированная модель формирования адакитовых гранитоидов региона в результате плавления субдущирующего слэба, в котором отмечается переход от процесса дегидратации слэба к частичному плавлению и значительная роль метасоматизирующих флюидов мантийного клина. Показана высокая золотоносность комплекса в целом и особенно даек заключительных фаз внедрения.

Ключевые слова:

Адакитовые гранитоиды, петрология, рудоносность, флюидный режим, мантийно-коровое взаимодействие, золото.

Key words:

Adakite granitoids, petrology, ore content, fluid regime, mantle-crust interaction, gold.

К адакитовому типу гранитоидов относятся специфические кислые интрузивные породы, обнаруживающие сходство с эффузивными адакитами. К числу таких признаков относятся очень низкие концентрации иттрия (менее 18 г/т), иттербия (менее 1,8 г/т) [1, 2], повышенные содержания ванадия и хрома, высокие нормированные к хондриту отношения лантана к иттербию (более 8...10), указывающие на сильно дифференцированный тип распре-

деления РЗЭ в породах. К адакитовым гранитоидам в регионе относятся кислые разности кунушского комплекса (C₂) Калбинского хребта Казахстана.

Актуальность изучения этих образований более чем очевидна, так как пространственно и парагенетически с ними связаны многочисленные месторождения и проявления золота, в том числе объект мирового класса золото-черносланцевого типа — Бакырчик.

Геологическая позиция и возраст

Интрузии кунушского (C_2) комплекса объединяют малые тела (0,1...3,0 км) в поперечнике и плитообразные крутопадающие дайки (мощностью 1...12 м длиной от 50 м до 3 км тоналитов, плагиогранитов, плагиогранит-порфиров. Чаще всего малые тела кунушского комплекса входят совместно с гранитоидами калбинского (P_1) комплекса в состав крупных батолитов сложного состава (Жиландинского, Кунушского, Борисовского и других). Они образуют интрузивный пояс (120 ± 25 км), контролируемый протяжённой глубоко проникающей зоной разломов СЗ простирания. Интрузии кунушского комплекса согласны с общим планом складчатых структур и срезаются гранитами и дайками калбинского комплекса [3, 4].

Петротипический Кунушский массив расположен на ЮВ Калба-Нарымского террейна, возле пос. Чердож. Массив представляет собой внутриформационную залежь мощностью 150...180 м, длиной 1050 м и шириной 190 м, вытянутую в СЗС направлении, и падающую на СВ, согласно с вмещающими породами такырской свиты (D_3-C_1), но имеющими с ними интрузивные контакты [5]. Интрузивное тело сложено милонитизированными плагиогранитами, которые прорываются мелкими телами плагиогранит-порфиров. Этот факт указывает на то, что формирование малых тел тоналитов и плагиогранитов входит в состав I фазы внедрения, а дайки плагиогранит-порфиров — во вторую фазу.

Возраст кунушского комплекса определен на территории Казахстана, где установлено прорывание массивами и дайками плагиогранитного состава отложений среднего карбона и пересечение их гранитами калбинского комплекса, а также приведена датировка уран-свинцовым методом (311 ± 11 и $306,7 \pm 8,7$ млн л) [6]. Наряду с тем, данная породная ассоциация в формационном плане и по составу сопоставляется с породами второй и третьей фаз волчихинского комплекса Рудно-Алтайской СФЗ. U-Pb изотопный возраст цирконов из плагиогранитов Жиландинского и Точкинского массивов кунушского комплекса демонстрируют даты $306 \pm 8,7$ и $299 \pm 2,3$ млн л, соответственно (SHRIMP-II) [7].

Петро-геохимическая характеристика

Тоналиты средне-крупнозернистые, гнейсовидные, местами проявляют порфировидность (чаще всего на контактах с вмещающими породами). Структура гипидиоморфнозернистая. Плагиоклаз чаще всего зональный с андезином (41...46 % аноритового минала) в ядерной части и олигоклазом (25...33 % анортита) по периферии. Калиевый полевой шпат резко ксеноморфен (2...3 %) и соответствует ортоклазу ($2V=52...57^\circ$). Из темноцветных преобладает биотит, встречающийся в виде мелко-чешуйчатых и крупных листоватых обособлений. По химическому составу варьирует от магнезиального лепидомелана до железистого биотита. Амфибол образует зёрна размерами от 0,2 до 1,2 мм, име-

ет буровато-зелёный цвет и диагностируется обыкновенной роговой обманкой. Аксессуары представлены ильменитом, сфеном, ортитом, апатитом, цирконом, редко — магнетитом и сульфидами. Они относятся к весьма высокоглинозёмистым ($Al_2O_3 = 17,23$ %) породам нормального ряда натровой серии ($Na_2O:K_2O=6,69$). В них высокое отношение Sr/Y (126), Cr/Ni (2,99), повышенный коэффициент магнезиальности ($Mg\#=0,53$), нормированное относительно хондрита отношение $(La/Yb)_N$ высокое и достигает 8,75 (табл. 1), указывающее на сильно дифференцированный тип распределения РЗЭ в тоналитах.

Плагиограниты в отличие от тоналитов не содержат амфибола. В них больше кварца и калиевого полевого шпата. Они характеризуются как весьма высокоглинозёмистые породы нормального ряда натровой серии ($Na_2O:K_2O=4,78$) и низко плюмазитовой апаитности ($Ka=0,62$). Для плагиогранитов характерны широкие вариации отношений Sr/Y (от 27,9 до 176,6), Cr/Ni (от 0,74 до 2,87), коэффициента магнезиальности ($Mg\#$ от 0,20 до 0,60), нормированного относительно хондрита отношение $(La/Yb)_N$ от 8,1 до 21,45.

Представительные анализы породных разновидностей различных массивов и даек адакитовых гранитоидов кунушского комплекса приведены в табл. 1.

По данным [8, 9] плагиограниты и тоналиты кунушского комплекса характеризуются повышенными концентрациями многих элементов в сравнении с породными других комплексов Восточного Казахстана: хрома, кобальта, никеля, цинка, свинца, меди. По двум монофракциям акцессорного пирита из Меридиональной дайки месторождения Бакырчик отмечаются повышенные концентрации мышьяка (от 100 до 150 г/т), золота (от 0,05 до 0,7 г/т), серебра (от 2 до 9 г/т), указывающие на специализацию указанных магматитов на золото.

В целом плагиограниты и тоналиты характеризуются типичными чертами адакитовых гранитоидов — в них весьма низкие концентрации иттрия и иттербия, повышенные содержания мантийных элементов: хрома, ванадия, никеля, кобальта. Нормированные к хондриту отношения лантана к иттербию варьируют от 8,1 до 21,45 и указывают на сильно дифференцированный тип распределения РЗЭ в породах. В них высокие отношения стронция к иттрию, которые варьируют от 27,9 до 176,6. Магнезиальное число колеблется от 0,25 до 0,6. Мультиэлементные спектры адакитовых гранитоидов Калбы демонстрируют обеднение более когерентными тяжёлыми РЗЭ, минимумы по U, Th, Be, Ta, Nb, максимумы по Zr, Hf, Cs, Ba (табл. 1).

На диаграмме Sr — K/Rb — (SiO_2/MgO)-100 адакитовые гранитоиды Калбы попадают в поле высококремнистых адакитов (рис. 1), показывая низкостронциевый состав, относительную деплетированность рубидием, высокие концентрации SiO_2 и низкие отношения калия к рубидию [1, 2, 10, 11].

Таблица 1. Представительные анализы адакитовых гранитоидов Калбы (Казахстан и Алтайский край) (оксиды в мас. %, элементы – в г/т)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	70,48	69,63	69,98	68,31	71,16	70,18	70,84	68,78	70,36	67,71
TiO ₂	0,44	0,25	0,24	0,13	0,23	0,51	0,42	0,36	0,43	0,22
Al ₂ O ₃	14,83	16,35	15,99	18,36	15,96	14,95	14,75	14,70	14,8	17,23
Fe ₂ O ₃	0,57	0,50	0,57	0,40	0,37	0,58	0,52	1,35	0,55	0,60
FeO	2,71	1,83	1,97	1,51	1,3	2,73	2,69	1,45	2,74	1,73
MnO	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,06	0,05	0,04	0,05	0,02
MgO	0,56	1,15	1,19	0,99	1,16	0,61	0,52	0,85	0,54	1,14
CaO	2,82	2,93	3,03	4,12	3,27	2,82	2,77	2,38	2,79	3,24
Na ₂ O	4,39	4,85	4,84	4,5	4,79	4,41	4,42	4,90	4,37	5,02
K ₂ O	1,91	1,25	1,53	0,7	1,22	1,88	1,91	1,95	1,93	0,75
P ₂ O ₅	0,16	0,07	0,06	0,04	0,06	0,18	0,17	0,11	0,16	0,10
Li	16,2	10,7	11,4	8,4	13,7	15,1	15,8	14,9	16,1	7,5
Be	3,1	1,9	1,7	2,0	2,5	2,3	2,4	2,1	3,3	1,7
Sc	6,5	7,1	7,4	8,3	8,0	6,0	5,9	6,3	6,7	9,3
V	50,4	53,1	54,2	55,1	50,1	51,0	50,0	52,4	51,1	57,3
Cr	32,2	33,1	34,4	39,4	21,2	32,0	31,0	20,7	32,3	41,2
Co	6,7	8,7	9,3	10,1	4,5	4,1	4,0	7,2	6,8	12,1
Ni	43,2	12,2	13,4	13,7	11,1	12,0	11,9	10,9	42,9	13,8
Cu	23,4	45,4	40,2	44,3	13,2	12,8	12,7	65,1	28,8	14,7
Zn	106,8	185	177	172	187	211	210	57,8	110,7	177
Ga	20,2	19,7	20,4	20,1	22,4	21	22,1	21,3	20,0	19,8
Rb	102,1	25	28	22	21	105	104	103	102	21
Sr	349,2	731	618	565	682	352	350	351	349	567
Y	12,5	4,9	6,3	3,2	4,8	11,9	12,2	12,3	12,5	4,5
Zr	182	103	101	69	86	180	182	182	181	65
Nb	12,8	1,7	2,4	1,5	1,6	12,7	13,0	12,8	12,9	1,4
Cs	8,1	5,8	4,3	7,7	8,1	7,8	8,1	8,0	8,0	7,3
Ba	386	258	291	203	254	391	395	392	385	201
La	39,1	7,9	10,5	3,2	7,8	38	37	40	39,0	3,3
Ce	70,3	16,1	22,4	6,0	17,0	69	71	72	70,0	5,8
Pr	7,7	2,3	3,1	0,9	2,4	7,9	7,9	8,0	7,8	0,8
Nd	25	8,8	11,9	3,8	9,4	24	24	23	25	3,7
Sm	4,2	1,7	2,38	0,86	1,76	4,2	4,3	4,2	4,1	0,85
Eu	0,79	0,59	0,5	0,29	0,55	0,9	0,7	0,8	0,8	0,35
Gd	3,3	1,33	1,63	0,7	1,28	3,5	3,4	3,4	3,3	0,65
Tb	0,5	0,2	0,2	0,11	0,17	0,6	0,5	0,6	0,5	0,1
Dy	2,2	0,93	1,11	0,53	0,79	2,4	2,3	2,2	2,3	0,52
Ho	0,4	0,16	0,2	0,1	0,16	0,42	0,5	0,51	0,4	0,1
Er	1,1	0,46	0,6	0,26	0,43	1,2	1,2	1,3	1,1	0,24
Tm	0,2	0,1	0,11	0,04	0,07	0,3	0,3	0,3	0,2	0,04
Yb	1,2	0,4	0,61	0,26	0,39	1,3	1,2	1,3	1,2	0,25
Lu	0,2	0,1	0,12	0,04	0,06	0,3	0,25	0,3	0,2	0,03
Hf	5,5	2,9	3,1	2,0	2,4	5,5	5,3	5,5	5,4	1,8
Ta	1,5	0,15	0,23	0,14	0,12	1,6	1,5	1,6	1,5	0,12
Pb	22	16	14	10,1	20,8	30	21	10,3	23	9,6
Th	8,3	1,8	2,1	0,7	1,9	8,5	8,3	8,4	8,4	0,7
U	5,3	0,5	0,5	0,5	0,5	5,3	5,2	5,3	5,4	0,4
Mo	8,6	7,5	6,8	6,3	8,7	8,3	8,0	8,1	8,6	6,1
Sn	2,1	1,4	1,3	1,4	2,5	2,0	2,0	2,1	2,1	1,2
W	1,9	1,7	1,4	1,3	2,2	1,8	2,0	2,1	1,9	1,1
Sr/Y	27,9	149,2	98,1	176,6	142	29,6	28,7	28,5	27,8	126
Mg#	0,25	0,28	0,25	0,48	0,6	0,28	0,25	0,50	0,26	0,53
Th/U	1,54	1,6	1,6	1,4	3,8	1,6	1,6	1,6	1,55	1,75
(La/Yb) _N	21,44	14,4	12,5	8,1	13,0	19,5	20,2	20,5	21,45	8,75
Eu/Eu*	0,047	0,05	0,039	0,081	0,079	0,05	0,039	0,045	0,047	0,1

Анализы выполнены в лаборатории ИМГРЭ (г. Москва). 1 – биотитовый плагиогранит Кунушского массива; 2, 3 – биотитовые плагиограниты Жиландинского массива; 4, 5 – порфировидные биотитовые плагиограниты массива Точка; 6–8 – биотитовые плагиогранит-порфиры Меридиональной дайки месторождения Бакырчик; 9 – биотитовый плагиогранит Борисовского плутона; 10 – дайка тоналита Манатского дайкового пояса.

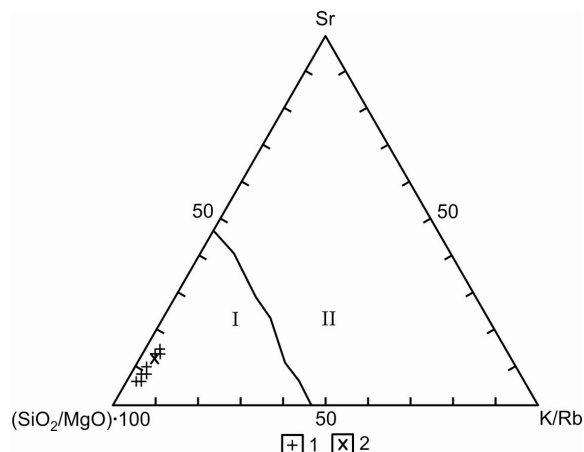


Рис. 1. Диаграмма $Sr - K/Rb - (SiO_2/MgO) \cdot 100$ по Х. Мартину и др. [2] для адakitовых гранитоидов Калбы. Поля адakitов: I – высококремнистых, II – низкокремнистых. 1) плагиограниты, 2) тоналиты

Петрология и флюидный режим

На диаграмме молекулярных отношений $(4[Ca+Na]+0,5[Fe+Mg])/Zr - (Si+Al)/Zr$ по Т. Бредшоу [12] адakitовые гранитоиды Калбы локализу-

ются параллельно основному тренду фракционирования главных породообразующих минералов (клино- и ортопироксена, плагиоклаза, калиевого полевого шпата) (рис. 2). При этом тоналиты и плагиограниты близки к значениям умеренной степени частичного плавления родоначального субстрата (порядка 3...5 %).

На диаграмме соотношений $K_2O - MgO$ по [13] все фигуративные точки составов адakitовых гранитоидов тяготеют к тренду низкокальевой фракционной кристаллизации при небольшой степени частичного плавления шпинелевого перидотита (рис. 3).

На спайд-диаграмме и тоналиты, и плагиограниты показывают Sr – не деплетированный и Y – деплетированный тип распределения химических элементов (рис. 4). Формирование таких гранитоидов предполагает верхнемантийный источник и исключает их чисто островодужную или окраинно-континентальную природу. Выплавление таких магм происходит из источника, обогащенного гранатом, что подтверждается их деплетированностью на иттрий, и, вероятно, связано с активностью мантии, инициированной плюмтектоникой.

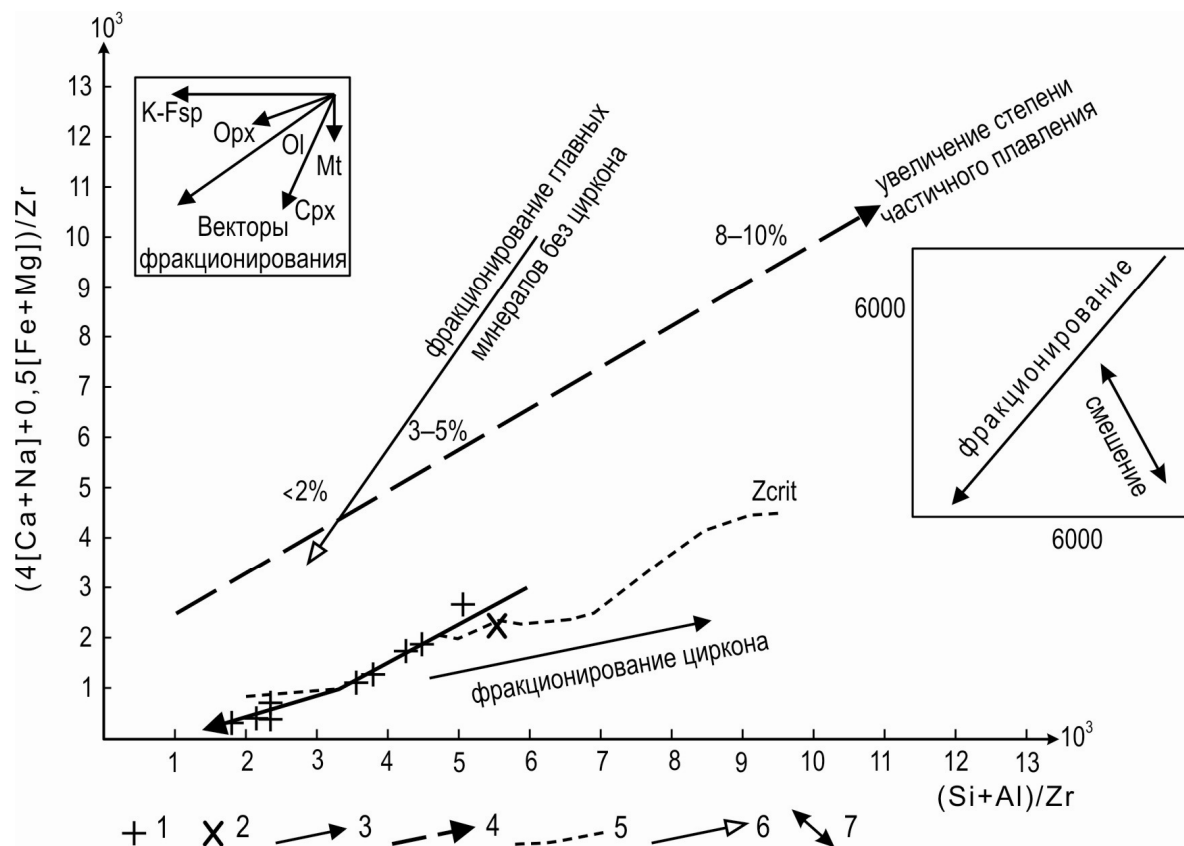


Рис. 2. Диаграмма молекулярных отношений $(4[Ca+Na]+0,5[Fe+Mg])/Zr - (Si+Al)/Zr$ по Т. Бредшоу [12] для адakitовых гранитоидов Калбы: 1) плагиограниты; 2) тоналиты; 3) эволюционные тренды фракционирования; 4) тренд увеличения степени частичного плавления; 5) критическая линия раздела фракционирования главных минералов и циркона (при 68 мас. % SiO_2); 6) частный эволюционный тренд для адakitовых гранитоидов Калбы; 7) тренды смешения расплавов

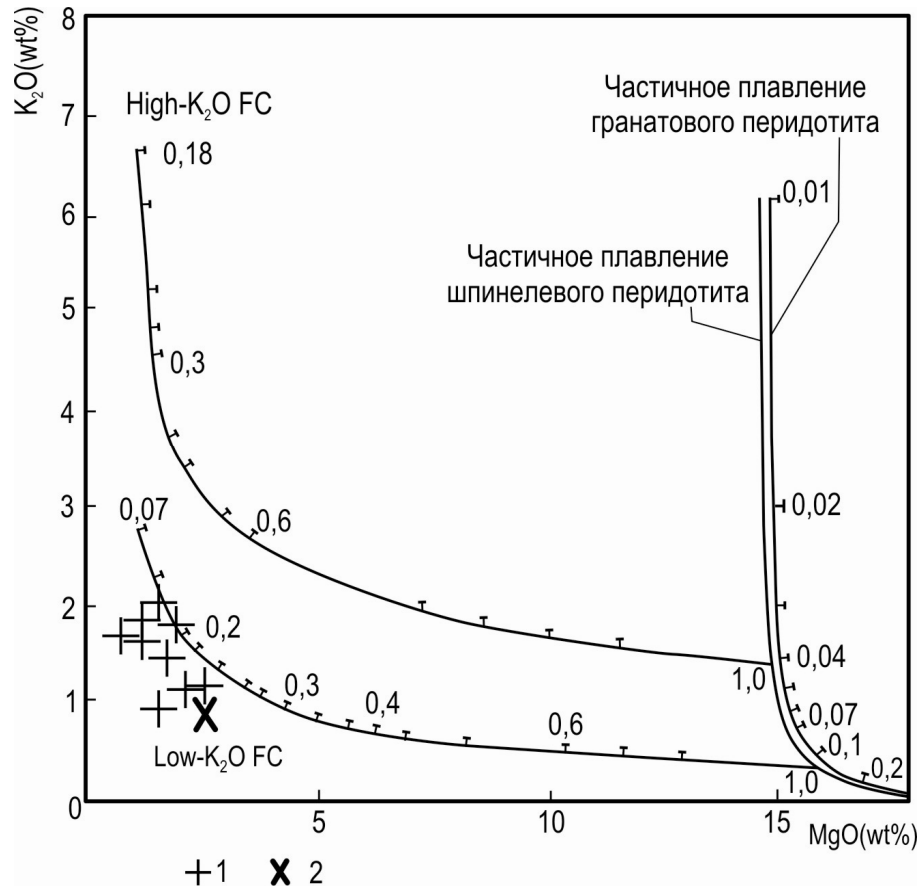


Рис. 3. Диаграмма $K_2O - MgO$ по [13] для адакитовых гранитоидов Калбы. Вертикальные линии справа показывают результаты частичного плавления перидотитов, основанных на средних составах ксенолитов с отметками фракционирования при частичном плавлении. Жирные линии показывают тренды фракционной кристаллизации (оливин+плагиоклаз+клинопироксен, обусловленных оливином+плагиоклазом+клинопироксеном+амфиболом±апатитом): высококалийевый и низкокалийевый. Все вариации K_2O объясняются вариациями степени частичного плавления перидотитов, вызванных фракционной кристаллизацией, но не обогащением или деплетированием мантийного источника. Адакитовые гранитоиды Калбы: 1) плагиограниты, 2) тоналиты

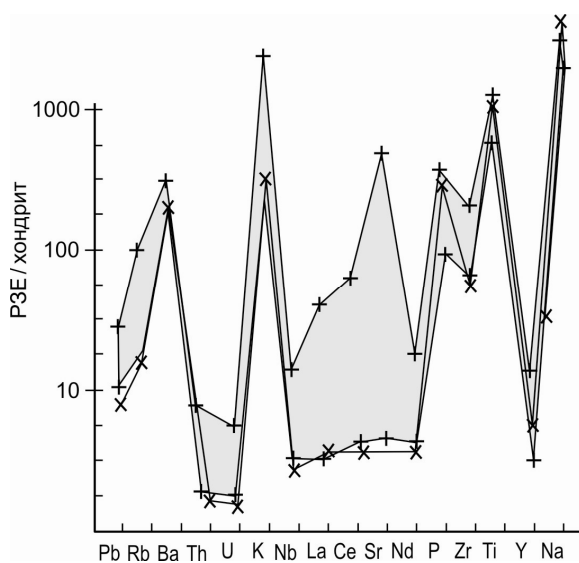


Рис. 4. Спайд-диаграммы по [1] для адакитовых гранитоидов Калбы: 1) плагиограниты; 2) тоналиты

По составу адакитовые гранитоиды Калбы относятся к тоналит-гранодиоритовой серии магматитов, для которых применима метабазитовая модель формирования, предусматривающая возможность образования тоналит-плагиогранитоидных магм при дегидратированном плавлении мафических субстратов в диапазоне давлений от 3 до 25 кбар и температурах 900...1100 °C. По изотопно-геохимическим данным плагиогранитоиды кунушского комплекса относятся к $+ \epsilon_{Nd}$ -типу ($\epsilon_{Nd}(0)=+3,8$; $\epsilon_{Nd}(T)=+6,7$) [6, 7], а по петрогеохимическим — к высокоглинозёмистым плагиогранитам [6]. Необходимым условием генерации плагиогранитоидов такого типа служит высокое давление (больше или равное 10...12 кбар) и равновесие расплава с гранатсодержащим реститом.

Особенности флюидного режима (температур кристаллизации магм, фугитивностей и парциальных давлений летучих компонентов) определены по методике, описанной в работе [14] с использованием экспериментальных и теоретических работ

Д. Уонза и Х. Эйгстера, Д. Якобса, В. Пэрри, Дж. Манза, С. Лудингтона и других. Режим фтора во флюидах определён по геофториметрам (с использованием составов слюд), разработанным А.М. Аксюк [15]. Составы биотитов и некоторые параметры флюидного режима адакитовых гранитоидов изучаемого региона приведены в табл. 2.

Анализ приведенных данных показывает, что температурный режим формирования гранитоидов был высок и варьировал от 805 до 910 °С. Все без исключения проанализированные биотиты характеризуются аномальными составами и параметрами флюидного режима, характерного для золотогенерирующих гранитоидов [14]. В составе биотитов Меридиональной дайки месторождения Бакырчик наблюдается значительное увеличение всех летучих компонентов (F, Cl, H₂O, P₂O₅ и других), что отразилось на основных параметрах флюидного режима магматитов. Обращает на себя внимание

резкое увеличение значений таких параметров, как парциальные давления углекислоты и воды, а также фугитивностей HCl и HF (табл. 2) в Меридиональной дайке месторождения Бакырчик. На фоне более высоких значений коэффициента восстановления флюидов (κ) для Бакырчикских плагиогранитов характерны более высокие содержания плавиковой кислоты во флюидах и низкие значения потенциала ионизации биотитов, указывающего на снижение кислотности среды минералообразования при формировании более поздних даек, с которыми парагенетически и пространственно связывается оруденение золота. Такая картина увеличения роли летучих компонентов в дайковых образованиях интерпретируется открытостью системы (глубинного очага) по фтору и подтоком более глубоких мантийных высоко восстановленных флюидов на момент отделения более поздних дайковых дериватов из глубинного очага [15].

Таблица 2. Составы биотитов и параметры флюидного режима адакитовых гранитоидов некоторых массивов Калбы

Компоненты, мас. % и термодинамические параметры	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	35,82	36,76	35,81	35,87	36,32	37,05	35,92	36,02
TiO ₂	2,98	2,75	3,11	2,73	3,55	2,69	3,11	3,03
Al ₂ O ₃	14,71	17,81	14,67	14,76	17,69	17,54	14,64	14,57
Fe ₂ O ₃	6,28	0,85	6,23	5,81	5,36	2,73	6,21	5,87
FeO	12,22	17,59	12,21	12,50	14,60	15,31	12,20	12,31
MnO	0,27	0,21	0,26	0,26	0,31	0,25	0,21	0,19
MgO	13,11	10,75	13,03	12,73	8,35	10,49	13,04	13,13
CaO	0,43	0,06	0,39	0,41	1,01	0,54	0,4	0,21
Na ₂ O	0,11	0,18	0,12	0,26	0,25	0,21	0,13	0,11
K ₂ O	9,63	7,63	9,61	9,22	8,20	8,56	9,57	9,52
P ₂ O ₅	0,28	0,12	0,27	0,23	0,32	0,34	0,76	0,81
F	1,18	0,43	1,21	0,25	0,18	0,21	2,11	2,09
Cl	0,75	0,66	0,69	0,59	0,54	0,53	0,98	1,02
H ₂ O	2,3	1,62	2,51	2,21	1,1	2,0	2,4	2,56
T°С	810	805	830	820	870	860	910	905
lg fO ₂	-14,9	-4,8	-15,1	-14,87	-14,65	-9,7	-13,2	-13,1
fH ₂ O	1170	1230	1360	1270	1350	1400	1570	1550
pH ₂ O	1550	1580	1430	1310	1420	1440	1620	1680
pCO ₂	1490	1510	1570	1460	1470	1490	1830	1900
fHF	0,07	0,09	0,08	0,08	0,09	0,10	0,33	0,31
fHCl	34,1	34,3	39,7	37,7	37,8	36,6	45,9	46,2
M _{HF}	0,124	0,11	0,137	0,08	0,07	0,06	0,43	0,42
κ	0,67	0,23	0,67	0,69	0,68	0,41	0,77	0,78
у	182,3	183,1	181,6	182,2	183,1	183,3	180,3	180,1

Плагиограниты: 1) Борисовского плутона; 2) Кунушского массива; 3, 4) Жиландинского массива; 5, 6) Точкинского массива; плагиогранит-порфиры: 7, 8) Меридиональной дайки месторождения Бакырчик. T°С – температура кристаллизации пород в градусах Цельсия; lg fO₂ – логарифм фугитивности кислорода; fH₂O, fHF, fHCl – фугитивности воды, плавиковой и соляной кислот, соответственно, в барах; pH₂O, pCO₂ – парциальные давления воды, углекислоты, в барах; M_{HF} – концентрации плавиковой кислоты в магматогенных флюидах (моль/дм³) по [15]; κ – коэффициент восстановления флюидов; у – потенциал ионизации биотитов

Золотоносность

В Западно-Калбинском поясе, в пределах которого наиболее распространены малые интрузии и дайковые пояса адакитовых гранитоидов, известно более 450 золоторудных месторождений и проявлений, которые локализуются, в основном, в Мукурском, Бакырчикском и Кулунджунском рудных районах. Ведущая магмо- и рудоконтролирующая роль принадлежит системе глубинных разломов ЗСЗ простирания, фиксируемых зонами брекчирования, смятия и гидротермальной минерализации, а также цепочками золотоносных малых интрузий и даек плагиогранитов и тоналитов.

К ведущим геолого-промышленным типам оруденения относятся золото-мышьяково-углеродистый (бакырчикский), золото-сульфидно-кварцевый апокарбонатный (суздальский) и золото-кварцевый (кулунджунский) [5].

Золото-мышьяково-углеродистый тип месторождений (бакырчикский) фиксируется в среднегерцинском рудоносном уровне (C_2-C_3) и объединяет молассовые лимнические толщи буконьской свиты (C_{2-3}). В состав последней входят наземные сероцветные молассы, флювиолимнические и болотные углеродистые черносланцевые литофации, являющиеся благоприятной рудовмещающей средой для концентрации золотого оруденения. В Бакырчикском рудном поле основные месторождения (Бакырчик, Большевик, Глубокий Лог и другие) контролируются Кызыловской зоной смятия широтного простирания. На месторождении Бакырчик в рудовмещающем юните выделяется 4 рудоносных горизонта микститов, обогащённых углисто-глинистым веществом и растительными остатками. Рудная зона, по данным разведочных работ, имеет пологое залегание и прослежена по падению на 1 км, при ширине 150...200 м. Рудные тела представлены линзовидными и лентовидными залежами гидротермально-изменённых алевролитов, сланцев и песчаников с прожилково-вкрапленным оруденением. Золото образует несколько морфологических разновидностей, преобладает тонкодисперсная вкрапленность в пирите и арсенопирите. По разведанным запасам (сотни тонн) и прогнозным ресурсам Бакырчик относится к крупным объектам мирового класса.

Золото-сульфидно-кварцевый апокарбонатный тип приурочен к раннегерцинскому (суздальскому) рудоносному уровню (D_3-C_1). Крупное Суздальское месторождение представлено первичными золото-сульфидно-кварцевыми рудами (среднее содержание золота 10 г/т) и золотоносными корами выветривания мезозойского возраста.

Золото-кварцевый тип оруденения отражает раннегерцинский рудоносный уровень (кулунджунский), широко представленный морскими малоуглеродистыми граувакками, отложениями междугорных прогибов (аганактинская свита, C_1). В них развиты многочисленные, преимущественно, мел-

кие месторождения и проявления золото-кварцевого и золото-сульфидно-кварцевого типов, парагенетически связанных с адакитовыми гранитоидами кунушского комплекса (Кулуджун, Баладжал, Лесть, Сенташ, Джумба, Лайлы и др.). Золоторудные кварцевые жилы и зоны минерализации контролируются разрывными нарушениями и приурочены к контактам массивных песчаников и углисто-глинистых алевролитов. Сульфиды кварцевых жил представлены пиритом, арсенопиритом, редко халькопиритом, сфалеритом. Золото на 95 % самородное с размером золотин от 0,05 до 0,5 мм, реже более 1 мм. В пирите и арсенопирите содержится до 5 % тонкодисперсного золота размерами 10...20 мкм. Видимое золото пробы 803...959 связано с жильным кварцем и образует выделения в микротрещинках, интрестициях его зёрен, в сульфидных агрегатах. Часто оно образует «пылеватые» скопления в синем кварце («синяк») [8]. В жилах выявлены самородки размерами 1...3 см.

Интерпретация полученных результатов и выводы

Ранее выделявшиеся плагиогранитоиды кунушского комплекса в пределах Западной Калбы классифицируются адакитовыми гранитоидами, имеющими типичные черты химизма эффузивных адакитов высокремнистого типа.

Генерация адакитовых магм вызывает в настоящее время неоднозначную трактовку. На генезис адакитовых пород существуют 4 точки зрения. Первая из них трактует образование адакитовых пород путём плавления подплитных базальтов [2]. Вторая точка зрения рассматривает адакиты как результат плавления субдуцированного слэба на небольших глубинах [16]. Третья точка зрения отражает модель возрастающего плавления субдуцирующего слэба, в котором отмечается переход от процесса дегидратации слэба к частичному плавлению [16]. На основе изучения изотопных характеристик пород адакитового и близкого составов предложена модель образования адакитовых лав надсубдукционных комплексов в результате плавления флюид-метасоматизированного мантийного клина [1]. На основании моделирования определены условия образования адакитовых магм путём частичного плавления слэба. Установлено, что адакитовые магмы образуются на глубинах 25...90 км при давлениях ниже стабильности граната (6...28 ГПа) и температурах от 650 до 1050 °C [11]. При этом придаётся важное значение восходящему мантийному потоку.

Данные по адакитовым гранитоидам Калбы позволяют склониться к комбинированному механизму их генерации. Ближе всего комбинация третьей и четвёртой точек зрения — модели возрастающего плавления субдуцирующего слэба, в котором отмечается переход от процесса дегидратации слэба к частичному плавлению и значительной роли метасоматирующих флюидов мантийного

клина в формировании адакитовых гранитоидов. Такими флюидами могли быть трансмагматические флюиды, участвовавшие в генерации поздних фаз становления глубинных магматических очагов в виде дайковых образований, подтоку более восстановленных флюидов, игравших важную роль в формировании наиболее концентрированного и масштабного оруденения бакайричского типа.

Полученные данные не противоречат формированию адакитовых гранитоидов и парагенетически с ними связанного золотого оруденения в рамках магмо-флюидодинамической концепции рудообразования, обязанной функционированию плюм-тектоники [14]. Значительное деплетирование HREE в адакитовых гранитоидах Калбы указывает на то, что в их образовании важную роль играли минералы, у которых коэффициент распределения

($K_{\text{HREE}}^{\text{min/liq}}$) в системе минерал/расплав выше 1. Таким минералом является гранат, который стабилен в перидотитах при высоком давлении. Гранат является главной мантийной фазой, которая может обогащать магму лёгкими РЗЭ и деплетировать тяжёлыми.

Адакитовые гранитоиды Калбы и углеродисто-терригенные толщи, вмещающие золото-черносланцевые объекты Казахстана, зарегистрированы на территории Алтайского края, указывая на перспективы обнаружения подобных золоторудных объектов и в Российской части погружённого Калбинского хребта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, проект № 2.1.1/1008.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Defant M.J., Drummond M.S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere // *Nature*. – 1990. – V. 347. – № 4. – P. 662–665.
- Martin H. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids // *Lithos*. – 1999. – V. 46. – P. 411–429.
- Большой Алтай: (геология и металлогения). В 3 кн. Кн. 2. Металлогения // Г.Н. Щерба, Х.А. Беспяев, Б.А. Дьячков и др. – Алматы: РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.
- Большой Алтай: (геология и металлогения). В 3 кн. Кн. 1. Геологическое строение (Г.Н. Щерба, Б.А. Дьячков, Н.И. Стучевский и др.). – Алматы: Фылым, 1998. – 304 с.
- Дьячков Б.А., Титов Д.В., Сапаралиев Е.М. Рудные пояса Большого Алтая и оценка их перспектив // *Геология рудных месторождений*. – 2009. – Т. 51. – № 3. – С. 222–238.
- Куйбида М.Л., Крук Н.Н., Владимиров А.Г. и др. U-Pb-изотопный возраст, состав и источники плагиигранитов Калбинского хребта (Восточный Казахстан) // *Доклады РАН*. – 2009. – Т. 424. – № 1. – С. 84–88.
- Наумов Е.А., Ковалёва К.Р., Борисенко А.С. и др. Возраст золотого оруденения в структурах сочленения каледонид и герцинид Западной Сибири и Восточного Казахстана // *Изотопные системы и время геологических процессов*. – СПб., 2009. – С. 125–127.
- Коробейников А.Ф., Масленников В.В. Закономерности формирования и размещения месторождений благородных металлов Северо-Восточного Казахстана. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1994. – 337 с.
- Коробейников А.Ф., Масленников В.В., Ермоленко А.Е. Золотоносные интрузивные комплексы черносланцевых толщ Северо-Восточного Казахстана // *Геология и геофизика*. – 1999. – № 4. – С. 475–485.
- Barker F. Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks. – Amsterdam; Oxford; N.Y.: Elsevier Sci., 1979. – 488 p.
- Thorkelson D.J., Breitsprecher K. Partial melting of slab window margins: genesis of adakitic and non-adakitic magmas // *Lithos*. – 2005. – V. 79. – P. 25–41.
- Bradshaw T.K. The adaptation of Pearce element ratio diagrams to complex high silica systems // *Contrib. Mineral. Petrology*. – 1992. – V. 109. – P. 450–458.
- Putirka K., Busby C.J. The tectonic significance of high-K₂O volcanism in the Sierra Nevada, California // *Geology*. – 2007. – V. 35. – P. 923–926.
- Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во STT, 2003. – 308 с.
- Аксюк А.М. Экспериментально обоснованные геофториметры и режим фтора в гранитных флюидах // *Петрология*. – 2002. – Т. 10. – № 6. – С. 630–644.
- Martin H., Smithies R.H., Rapp R., et al. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution // *Lithos*. – 2005. – V. 79. – P. 1–24.

Поступила 07.12.2009 г.