

УДК 549.623.52:552.43+550.42

НЕКОТОРЫЕ ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОНОСНЫХ ГРАНИТОИДОВ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ*А.И.Гусев* (Горно-Алтайская поисково-съёмочная экспедиция), *Е.А.Гусев* (ВНИИОкеан-геология)

Возрастной диапазон золотогенерирующих гранитоидов Алтае-Саянской складчатой области от рифея до мезозоя. Предполагается, что гранитоиды отдельных рудно-магматических систем имеют мантийный источник с различной степенью контаминации корового материала. Для гранитоидов золоторудных месторождений определены параметры флюидного режима: фугитивности кислорода и воды, парциальные давления воды и углекислоты, отношения фугитивностей HF/HCl, коэффициенты восстановленности флюидов. Оптимальное сочетание параметров флюидного режима магматитов играло решающую роль в генерации золотого оруденения.

Алтае-Саянская складчатая область (АССО) в обрамлении Сибирской платформы отвечает крупному Сибирскому перикратонному металлогеническому поясу, специализированному на полиметаллическое, золоторудное, редкометальное, железорудное и другие типы оруденения. Для нее весьма актуальна проблема петрологических реконструкций генерирования эндогенного золотого оруденения, связанного с многочисленными разновозрастными рудно-магматическими системами (РМС) - от позднего рифея до мезозоя включительно.

Петрогенетические типы золотогенерирующих гранитоидов АССО. Золото-скарновое и жильное золото-сульфиднокварцевое оруденение в фанерозойских золоторудных поясах Земли связаны с определенными типами гранитов [11, 13], что характерно для архейских зеленосланцевых поясов. При этом магматические породы проявлены в виде крупных тоналит-грондъемит-гранодиоритовых комплексов, которые также являются энергетическими источниками [9], или мелких окисленных «порфирировых» интрузий, пространственно приуроченных к главным золотоконтролирующим сдвиговым разломам [10]. Кроме того, во многих случаях небольшие интрузии образуют штоки и дайки шошонитовых лампрофиров [15].

Золотое оруденение в АССО во многом обусловлено рудопродуктивным магматизмом. В пределах анализируемого региона развиты различные геолого-промышленные типы золотых руд, из которых главнейшие - жильный золото-сульфидно-кварцевый (месторождения Центральнинское, Бериккульское, Кварцитовая Сопка и др.), золото-медно-скарновый (Синюхинское, Ульменское, Югалинское, Оюкское и др.), золото-скарновый (Чойское, Лог № 26, Тарданское, Ольховское, Федоровское, Натальевское, Майское и др.) и полигенный, выраженный комбинацией кварц-пиритового с золотом в минерализованных зонах, колчеданно-полиметаллического с золотом и гидротермального жильного золото-сульфидно-кварцевого (Зун-Холбинское). В составе РМС этих месторождений важную роль играют массивы гранитоидов и дайки, сосредоточенные преимущественно в габбро-плагиогранитных, габбро-диорит-тоналит-гранодиоритовых ассоциациях [1—3]. В Чойской РМС Горного Алтая золото-теллуридно-скарновое оруденение связано с дайками диабаз-лампрофирового чуйского комплекса, относимого к этапу мезозойской тектономагматической активизации (функциональное мантийной горячей точки). В составе комплекса отмечены керсантиты, минетты, вогезиты, спессартиты, одиниты, которые, со-

гласно классификации Н.Рока [12], принадлежат к шошонитовой серии лампрофиров. Для определения петрогенетических типов гранитоидов и флюидного режима использованы составы биотитов (табл. 1), пересчитанные на кристаллохимические коэффициенты по анионному методу. Биотит во всех интрузиях РМС региона образует крупные таблитчатые, пластинчатые и чешуйчатые выделения темно-коричневой до красно-бурой окраски с варьирующими показателями преломления по N_g от 1,61 до 1,66 и различным набором аксессуарных микровключений (циркон, сфен, рутил, апатит, титаномагнетит, магнетит). По химизму биотит принадлежит к сидеро-филлит-истонитовому ряду.

Различия петрогенетических типов гранитоидов показаны на диаграмме (рис. 1). В качестве координат диаграммы взяты отношения Mg/Fe и F/OH в биотитах, так как первые доминируют в составе катионов в октаэдрической позиции, а вторые являются ведущими летучими ингредиентами в позиции анионного каркаса в структуре слюды. На диаграмме выделяются поля верхнемантийных гранитоидов с различной степенью контаминации коровой материала. Подавляющее большинство золотогенерирующих гранитоидов региона попадает в поля слабо (I-WC) и умеренно (I-MC) контаминированных гранитов и лишь незначительная часть - в поле сильно контаминированных (I-SC). При этом последние объединяют непродуктивные монцодиориты Зубовского участка Гарданской РМС и кварцевые монциты малопродуктивной Ульменской РМС. Поле сильно контаминированных и редуцированных (I-SCR) гранитоидов занимают породы Чойской и Караминской РМС.

Ранее было установлено, что магматиты слабо и умеренно контаминированных гранитоидов Горного Алтая имеют Sr-недеплецированные и Y-деплецированные характеристики, указывающие на их верхнемантийную природу. Этот вывод подтверждается также и соотношениями изотопов стронция $^{87}Sr/^{86}Sr$, варьирующими от 0,70513 до 0,70618 [3]. Такие магмы выплавляются из протолита, обогащенного гранатом [15]. В противоположность этому магматиты Чойской и Караминской РМС, принадлежащие к сильно контаминированным и редуцированным гранитоидам, имеют характеристики Sr-недеплецированных и Y-недеплецированных пород. На состав протолита этих магм влиял плагиоклазсодержащий источник коровой природы или процесс глубинного синтексиса, проявившийся наиболее заметно. Для них характерны повышенные значения от-

ношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,70688). Редуцированность этой группы гранитоидов вызвана контаминацией углеродсодержащего материала из черносланцевых толщ девона, обнаруженного в экзоконтактах массивов и даек. Л.В.Таусон и В.Д.Козлов [6] заключили, что частичная контаминация базальтоидными магмами сиалического материала приводит к формированию плагиогранитов известковощелочного ряда, т.е. анализируемых нами I-типов гранитоидов, сопровождающихся золотым оруденением. Наши данные подтверждают этот вывод и показывают, что интенсивная контаминация базальтоидной магмой сиалического материала отрицательно сказывается на золотогенерирующей продуктивности гранитоидов. Однако незначительная контаминация углеродсодержащего материала обуславливает восстановительную обстановку в отделяющихся флюидах при становлении таких магм и способствует генерации концентрированного золотого оруденения.

Наблюдаемый тренд увеличения отношений F/OH в биотитах (см. рис. 1) от слабо контаминированных к сильно контаминированным гранитам отвечает (помимо возрастания роли контаминации мантийными магмами корового материала) повышению щелочности магм в этом же направлении. По сути, речь идет о двух сериях магм: известково-щелочной и латитовой. Для первой характерны наименее контаминированные магматические образования Зун-Холбинской, Бериккульской, Центральной, Синюхинской и других РМС, для второй - монцититоиды и сиениты Майской, Ульменской, Югалинской и Караминской РМС. Оценить кислотность-основность биотитов можно по условному потенциалу ионизации (y) [5], приведенному в табл. 2. Диаграмма (рис. 2) позволяет следующим образом толковать различие магматических серий (известково-щелочной и латитовой) по соотношению условного потенциала ионизации биотита и содержаниям Fe^{3+} . Концентрация оксида железа и условный потенциал ионизации биотита подчинены линейной зависимости, выразить которую можно в виде двух линий, решив уравнение регрессий способом наименьших квадратов. Линия I показывает, что с увеличением кислотности биотитов в известково-щелочной серии концентрации Fe^{3+} слабо увеличиваются, а в латитовой (линия II) - уменьшаются. При этом абсолютные содержания Fe^{3+} возрастают в биотитах от линии II к линии I. Увеличение концентраций Fe^{3+} с уменьшением кислотности в гранитоидах несколько повышенной

1. Химические составы биотитов золотогенерирующих рудно-магматических систем Алтае-Саянской складчатой области

Рудно-магматические системы, породы	n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	F	Cl	P ₂ O ₅	Сумма
<i>Күзнецкий Алтай</i>																
Беркульская, гранодиориты	7	36,30	3,40	14,30	2,60	18,30	0,50	10,90	0,88	0,30	8,90	3,70	0,31	0,12	0,10	100,11
Федоровская, гранодиориты	6	35,75	4,01	14,20	2,40	18,17	0,52	11,30	0,30	0,20	8,50	3,90	0,30	0,40	0,10	100,05
Натальевская, гранодиориты	8	36,50	3,20	14,70	4,40	16,10	0,50	11,20	0,50	0,12	8,60	3,30	0,50	0,20	0,30	100,12
Центральная, гранодиориты	7	36,10	4,14	14,51	2,53	18,10	0,50	10,68	0,50	0,20	8,38	3,69	0,35	0,11	0,10	99,91
Кварцевые диориты (дайки)	3	35,77	4,23	14,72	2,60	18,28	0,55	10,75	0,40	0,33	8,47	3,75	0,28	1,12	0,15	100,28
<i>Салаир</i>																
Кварцитовая Солка, гранодиориты	5	35,60	3,07	13,42	6,81	12,35	0,20	14,36	0,25	0,26	8,41	3,55	0,51	0,85	0,30	99,94
<i>Горная Шория</i>																
Майская, тоналиты	7	36,13	4,28	14,35	2,81	18,15	0,53	10,48	0,54	0,21	8,21	3,65	0,35	0,35	0,08	100,12
Монзониты (дайки)	3	35,45	4,80	14,10	2,11	18,10	0,40	10,10	0,85	0,25	7,85	3,45	0,95	0,70	0,30	99,60
<i>Тува</i>																
Тарданская, гранодиориты	12	36,99	3,40	13,94	4,90	14,75	0,47	11,74	0,07	0,14	9,40	2,81	0,50	0,60	0,10	99,81
Зубовский участок, монцдиориты	3	36,20	3,90	13,80	4,55	15,20	0,41	13,10	0,60	0,15	8,60	2,10	0,80	0,40	0,20	100,01
<i>Восточный Саян</i>																
Зил-Холбинская, тоналиты	6	38,40	2,26	17,20	3,85	14,10	0,45	10,13	1,60	0,41	6,70	3,10	0,60	0,80	0,10	99,70
Гранит-аплиты (дайки)	4	37,30	3,30	16,31	1,50	19,30	0,20	8,11	0,50	0,30	7,50	3,40	0,90	1,10	0,20	99,92
Ольговская, гранодиориты	9	38,20	2,82	16,30	1,86	20,20	0,40	9,13	0,93	0,34	6,80	2,52	0,40	0,50	0,02	100,42
<i>Горный Алтай</i>																
Силкогинская, гранодиориты	15	35,40	2,95	14,50	6,90	12,10	0,35	13,20	0,95	0,26	8,44	3,80	0,35	0,80	0,26	100,26
Гранодиориты (дайки)	9	35,42	3,02	13,41	6,82	12,36	0,20	14,33	0,24	0,23	8,39	3,85	0,54	1,03	0,22	100,05
Гранодиориты (Арганак)	6	35,21	2,91	14,48	7,16	12,82	0,40	13,41	1,30	0,38	8,41	2,44	0,36	0,51	0,28	100,07
Ульяновская, кварцевые монзониты	8	36,77	4,15	14,34	2,25	16,90	0,31	11,13	1,48	0,31	8,25	2,38	0,48	0,80	0,12	98,88
Слениты	5	36,75	4,18	14,50	2,30	17,10	0,40	11,40	0,70	0,28	8,40	2,66	0,45	0,80	0,31	99,45
Юглинская, монзониты (дайки)	5	37,13	3,65	13,10	8,52	13,24	0,35	10,20	0,40	0,28	9,66	2,70	0,51	0,61	0,10	100,50
Слениты (дайки)	4	36,98	3,81	14,85	5,17	13,40	0,30	12,20	0,80	0,30	8,90	2,25	0,45	0,40	0,13	99,94
Чойская, гранодиориты (дайки)	11	33,64	3,40	14,75	3,95	22,76	1,13	7,80	0,18	0,16	8,10	2,54	0,55	0,84	0,18	99,98
Керсантиты (дайки)	9	35,52	3,30	14,50	4,28	18,50	1,12	8,70	0,80	0,28	8,20	2,84	0,70	1,35	0,33	100,43
Караманская, лейкограниты	8	35,50	3,40	13,80	7,50	19,25	0,52	8,10	0,20	0,20	7,70	3,30	0,80	0,70	0,12	100,59
Гранодиориты (дайки)	6	35,51	3,42	14,10	3,85	19,55	0,53	8,12	0,80	0,20	8,21	3,35	0,85	0,95	0,30	99,98
Слениты (дайки)	3	37,01	3,75	14,01	5,21	13,35	0,25	12,17	0,70	0,33	8,96	2,31	0,50	0,45	0,38	99,98

Пр и м е ч а н и е. n — число проб; анализы выполнены на микрозонде «Sameba» в ОИГиг СО РАН (г. Новосибирск).

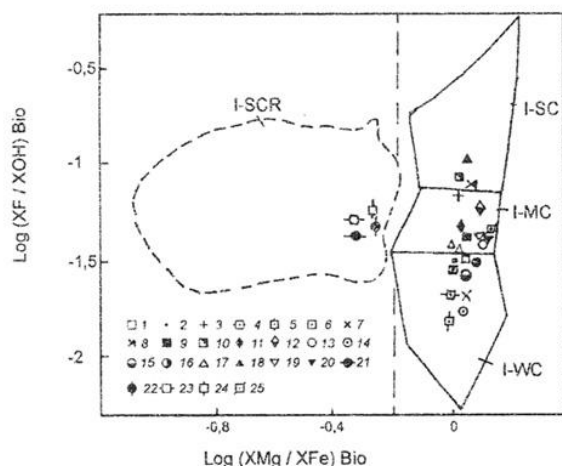


Рис. 1. Диаграмма $\log (XF/XOH) - \log (XMg/XFe)$ в биотитах золотогенерирующих рудно-магматических систем Алтае-Саянской складчатой области:

петрогенетические разновидности гранитоидов I типа: I-WC — слабо контаминированный, I-MC — умеренно контаминированный, I-SC — сильно контаминированный, I-SCR — сильно контаминированный и редуцированный; гранодиориты РМС АССО: 1 — Бериккульской, 2 — Федоровской, 3 — Натальевской, 4 — Центральной, 6 — Кварцитовой Сопки, 9 — Гарданской, 13 — Ольховской, 14 — Синюхинской, 16 — Арганакского участка Синюхинской, 21 — Чойской; тоналиты: 7 — Майской, 11 — Зун-Холбинской; 19 — монзониты Югалинской; 10 — монцодиориты Зубовского участка Гарданской; 17 — кварцевые монзониты Ульяновской; сиениты: 18 — Ульяновской, 20 — Югалинской, 25 — Караминской; 23 — лейкограниты Караминской; дайки: 5 — кварцевых диоритов Центральной, 8 — монзонитов Майской, 12 — гранит-аплитов Зун-Холбинской, 15 — гранодиоритов Синюхинской, 22 — керсантитов Чойской, 24 — гранодиоритов Караминской

щелочнометальности (латитовой серии) соответствует закономерности, выявленной Д.С.Коржинским [8] и выражающейся в том, что повышение щелочности расплава даже при постоянной активности кислорода приводит к возрастанию в нем степени окисленности железа. В условиях низкой щелочнометальности (линия I) в породах известково-щелочной серии увеличение кислотности расплава способствует росту активности амфотерного Fe^{3+} как более слабого основания по сравнению с Fe^{2+} . Эта тенденция приводит к большей доле Fe^{3+} в биотитах известково-щелочной серии и большей их железистости, что, вероятно, благоприятно для выпадения золота, проявляющего сидерофильные свойства. Следовательно, поведение Fe^{3+} в биотитах из золотогенерирующих гранитоидов со слабо различающейся щелочнометальностью при увеличении кислотности (условного потенциала ионизации) различно. Заметно большая золотогенерирующая способность характерна для магм нормальной щелочности (Зун-

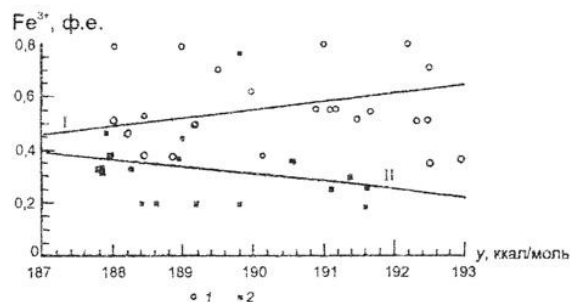


Рис. 2. Диаграмма соотношений условного потенциала ионизации (y) и концентраций оксида железа в биотитах гранитоидов АССО:

1 — гранитоиды известково-щелочной серии (линия I); 2 — гранитоиды латитовой серии (линия II), ф.е. — формульные единицы

Холбинская, Центральнинская, Синюхинская РМС).

Вероятно, меньшая золотоносность латитового магматизма АССО является его спецификой, так как в Забайкалье латитовые магматиты генерируют весьма богатое золотое оруденение в составе Дарасунской РМС, где золотоносность связывается с обильной боронностью флюидов, фиксирующейся в широких ореолах турмалинизации. Отсутствие бора в анализируемых РМС АССО, по-видимому, отрицательно сказывается на их золотогенерирующем потенциале.

Флюидный режим золотогенерирующих гранитоидов. Различные параметры флюидного режима существенно влияют на эволюцию гранитоидных расплавов, определяя процессы кристаллизационной дифференциации, эманационного концентрирования рудогенных элементов и их потенциальную рудогенерирующую способность. Оценка некоторых параметров флюидного режима гранитоидов АССО выполнена по методике Ю.П.Трошина [7] с использованием теоретических и экспериментальных работ Д.Уонза и Х.Эйгстера [14], К.Бэрнхема и др. [8]. Общее давление и температура кристаллизации расплавов определялись по методу Д.Уонза, Х.Эйгстера [14].

Золотогенерирующие гранитоиды АССО формировались при широких вариациях параметров флюидного режима. Основная масса биотитов анализируемых гранитоидов кристаллизовалась в восстановительных условиях и на диаграммах их состав попадает в промежуток между никель-бунзенитовым и магнетит-гематитовым буферами (рис. 3, 4). В этом поле оказались такие крупные золоторудные объекты, как Центральнинское, Зун-Холбинское и др. Причем состав биотитов даек гранит-аплитов Зун-Холбинского месторождения приближается

**2. Параметры флюидного режима золотогенерирующих рудно-магматических систем
Алтае-Саянской складчатой области (фугитивности и парциальные давления приведены в барах)**

Рудно-магматические системы, породы	n	T, °C	lgfO ₂	fH ₂ O	pH ₂ O	pCO ₂	$\frac{\lg fO_2}{fH_2O}$	$\frac{\lg fHF}{fHCl}$	k	y
<i>Кузнецкий Алтай</i>										
Берикульская, гранодиориты	7	780	-14,7	1,7	2,3	1,9	-17,7	-3,5	0,66	193,4
Федоровская, гранодиориты	6	770	-14,3	1,1	1,4	1,6	-17,3	-4,0	0,68	193,2
Натальевская, гранодиориты	8	780	-12,4	0,96	1,2	1,3	-15,5	-3,6	0,37	187,4
Центральнинская, гранодиориты	7	740	-13,5	1,06	1,28	1,22	-16,5	-3,2	0,62	191,6
Кварцевые диориты (дайки)	3	750	-13,6	1,4	1,55	1,83	-16,6	-3,5	0,72	190,3
<i>Салаир</i>										
Кварцитовая Сопка, гранодиориты	5	850	-5,0	0,42	0,51	0,49	-8,2	-3,9	0,12	190,9
<i>Горная Шория</i>										
Майская, тоналиты	7	730	-13,5	2,1	3,2	1,9	-15,1	-3,0	0,60	191,4
Монциты (дайки)	6	725	-13,8	2,5	4,0	3,1	-16,8	-2,9	0,78	191,6
<i>Тува</i>										
Тарданская, гранодиориты	12	705	-11,2	0,42	0,50	0,50	-14,3	-3,6	0,24	189,3
Монцодиориты (Зубовский участок)	3	760	-8,5	0,30	0,31	0,29	-11,5	-3,4	0,21	187,5
<i>Восточный Саян</i>										
Зун-Холбинская, тоналиты	6	800	-10,1	0,76	0,92	1,1	-13,1	-2,9	0,32	193,2
Гранит-аплиты (дайки)	4	720	-15,2	3,45	5,0	2,0	-18,2	-2,3	0,81	199,9
Ольховская, гранодиориты	9	700	-16,1	0,38	0,45	0,35	-19,1	-2,7	0,70	191,0
<i>Горный Алтай</i>										
Синюхинская, тоналиты	15	840	-4,9	0,9	1,1	1,3	-7,9	-3,8	0,12	190,3
Гранодиориты (дайки)	9	845	-4,8	1,2	1,7	1,8	-7,8	-3,9	0,14	190,6
Гранодиориты (Арганак)	6	830	-4,9	0,5	0,7	0,5	-7,9	-3,9	0,10	188,6
Ульменская, кварцевые монциты	8	785	-13,5	3,1	4,5	2,1	-17,5	-3,3	0,70	189,3
Сиениты	5	790	-14,1	3,3	4,8	3,5	-17,1	-3,5	0,72	189,2
Югалинская, монциты (дайки)	5	760	-4,1	1,7	2,7	1,9	-7,1	-2,9	0,09	189,8
Сиениты (дайки)	4	710	-10,5	2,1	3,6	4,4	-13,5	-2,9	0,27	189,1
Чойская, гранодиориты	11	645	-15,0	0,47	0,56	0,55	-18,0	-2,7	0,55	189,0
Керсантиты (дайки)	9	670	-12,5	0,9	1,4	3,6	-15,5	-2,9	0,58	188,7
Караминская, лейкограниты	8	610	-12,4	0,5	0,61	0,87	-17,4	-2,4	0,18	191,8
Гранодиориты (дайки)	6	680	-13,0	0,7	0,85	1,05	-17,0	-2,5	0,57	190,4
Сиениты (дайки)	3	730	-12,1	2,2	2,5	3,7	-15,1	-2,7	0,40	189,8

Примечание. n — число проб биотита; T, °C — температура кристаллизации; lg fO₂ — логарифм фугитивности кислорода; fH₂O — фугитивность воды; pH₂O, pCO₂ — парциальное давление воды и углекислоты соответственно; lg fO₂/fH₂O — логарифм отношений фугитивностей кислорода и воды; lg fHF/fHCl — логарифм отношений фугитивностей плавиковой и соляной кислот; k — коэффициент восстановления флюидов, по Ф.А.Летникову и др. (1981); y — условный потенциал ионизации биотита, по В.А.Жарикову (1967).

к никель-бунзенитовому буферу, что указывает на наиболее восстановительные условия флюидного режима. Меньшая часть слюд золотогенерирующих магматических комплексов локализуется выше магнетит-гематитового буфера и отвечает более окислительным условиям. В это поле попадают биотиты Синюхинской, Карминской, Югалинской РМС. Среди анализируемых объектов АССО в биотитах даек монзонитов Югалинской РМС определены максимальные значения fO_2 и $\lg fO_2/fH_2O$, и в то же время это наименьший объект по запасам золота.

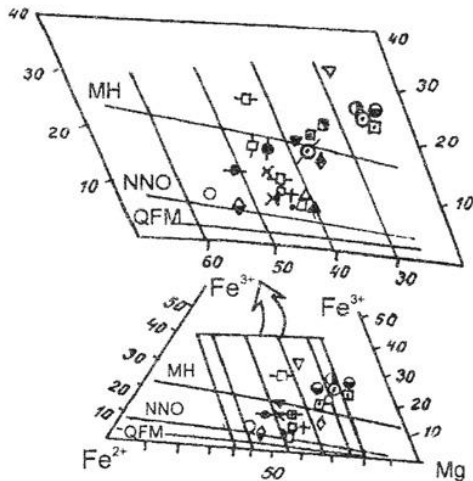


Рис. 3. Диаграмма $Fe^{2+}-Fe^{3+}-Mg$ составов биотитов гранитоидов АССО:

буферы: MH — магнетит-гематитовый, NNO — никель-бунзенитовый, QFM — кварц-фаялит-магнетитовый; остальные усл. обозн. см. рис. 1

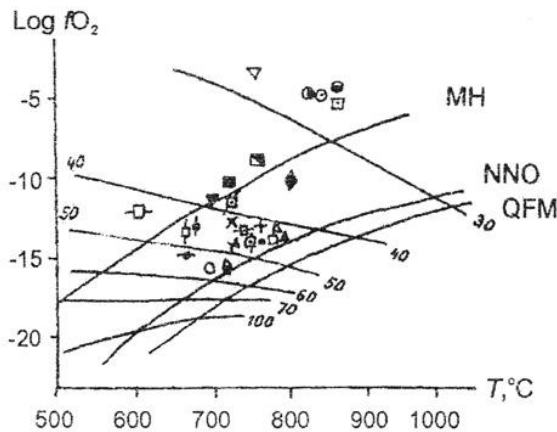


Рис. 4. Диаграмма fO_2-T в биотитах гранитоидов АССО:

fO_2 — фугитивность кислорода; T , °C — температура кристаллизации; остальные усл. обозн. см. рис. 1, 3

При оценке параметров флюидного режима - фугитивности воды, отношений фугитивностей плавиковой и соляной кислот, парциальных давлений воды и углекислоты - получены сложные зависимости между ними и зо-

логенерирующим потенциалом анализируемых гранитоидов (см. табл. 2). Биотиты гранит-аплитов наиболее древнего (поздний рифей) и крупного объекта региона (Зун-Холбинское месторождение) характеризуются самыми высокими значениями фугитивностей и парциальных давлений воды. Эти дайки располагаются непосредственно в Урик-Китойской зоне смятия, а также в промежутке между последней и оперяющими ее разломами второго порядка, служившими рудоподводящими каналами. Аномально высокие значения фугитивностей и парциальных давлений воды во флюидах обусловливали в системах оперяющих разломов в период внедрения даек чередование циклических процессов дилатансного нагнетания, по Р.Сибсону [13]. В основной Урик-Китойской сдвиговой структуре и оперяющих ее разломах второго порядка этот процесс протекал при весьма высоком общем давлении флюидов, превышающем литостатическое.

В случае, когда общее давление флюидов в рудоподводящих разломах становилось меньше литостатического, растворы из вмещающих терригенно-карбонатных и терригенно-вулканогенных пород венда - рифея, обогащенных золотом, устремлялись в оперяющие разломы, где и создавались благоприятные условия для рудоотложения. При наложении заключительных порций флюидов на уже сформированные минерализованные зоны и колчеданные залежи происходило обогащение их золотом. Такой механизм формирования золотого оруденения Зун-Холбинского месторождения подтверждается соотношениями изотопов свинца и серы в сульфидах, указывающими на мантийный и коровый источники сульфидов. Кроме того, биотиты гранит-аплитов характеризуются самым высоким условным потенциалом ионизации, что свидетельствует о более кислотной среде их кристаллизации. В гранит-аплитах коэффициенты восстановленности флюидов максимальные, а значения логарифма отношений фугитивностей плавиковой и соляной кислот самые низкие. Последнее обстоятельство предполагает существенную роль во флюидах соляной кислоты, а следовательно, и гораздо большее значение хлоридных комплексов - одних из главных в переносе золота в гидротермальных растворах. Существенная роль хлоридов в мобилизации халькофильных рудных металлов, а также золота флюидной фазой кислых магматических систем подтверждена многочисленными экспериментальными и теоретическими исследованиями. При этом акцентировалось, что переход хлора во флюидную фазу является функцией режима воды в магма-

тическом процессе. Отделение водной газовой фазы от расплава вследствие очень высоких коэффициентов распределения хлора между расплавом и газовой фазой приводит к интенсивной экстракции хлора из магмы. В случае гранит-аплитов Зун-Холбинского месторождения повышенные фугитивность и парциальное давление воды во флюидах сочетаются с наиболее высокими фугитивностями HCl для этих пород. Это, вероятно, способствовало генерации концентрированного оруденения на месторождении.

В анализируемых РМС дайки второго этапа, сопровождающие рудогенерирующие плутоны, встречаются на всех месторождениях. На некоторых из них они составляют до 40-60% объема разреза (Синюхинская, Центральнинская, Зун-Холбинская, Чойская РМС). При формировании даек существовал более оптимальный режим флюидов, чем при формировании плутонов. Вероятно, остаточные глубинные расплавы, из которых возникали порфировые дайковые комплексы, имели более высокие значения фугитивностей, парциальных давлений воды, углекислоты, HCl и были более благоприятны для экстрагирования металлов из расплавов. Во многих РМС отмечается более тесная связь золотого оруденения с дайками, биотиты которых обогащены золотом, чем с плутонами [3]. Этот вывод подтверждают результаты изучения петрогенезиса гранитоидных пород: отделение гидротермальных флюидов на поздних этапах генерации дериватов из глубинных очагов создает более концентрированные флюидные фазы, обогащенные различными металлами [11].

Следует также обратить внимание на то, что в некоторых РМС с плутонами и дайками латитовой серии отмечаются повышенные парциальные давления углекислоты (см. табл. 2). Ряд исследователей усматривают в высокоуглекислотных флюидах магм наличие мантийной составляющей [10]. В Чойской РМС дайки шо-

шонитовых лампрофиров также характеризуются высокими парциальными давлениями углекислоты. Эпитермальные и порфировые месторождения с золотом, ассоциирующие с лампрофирами шошонитовой серии, обогащены флюидами CO₂ [10]. В случае эпитермальных высоководных, углекислых флюидов золото концентрируется в сульфидах и теллуридах [11]. Вероятно, не только в этих типах, но и в золото-теллуридно-скарновых месторождениях (Чойская РМС), связанных с интрузивами повышенной щелочности и особенно с дериватами шошонитовой серии, флюиды магматической стадии также обогащены CO₂ (см. табл. 2). Однако флюиды этих систем характеризуются значительной восстановленностью, которая, вероятно, и оказывает решающее влияние на повышенную золотоносность, связанную с теллуридами, наложенными на скарны (Чойская РМС).

Для некоторых массивов гранитоидов (Каахемский в Туве, Синюхинский в Горном Алтае) намечается однонаправленный тренд изменения всех параметров флюидного режима от центра к их периферии, где локализуются золоторудные объекты. Так, для Каахемского массива отмечается увеличение фугитивности воды, парциальных давлений воды и углекислоты, коэффициента восстановленности флюидов от безрудного Зубовского участка к Тарданской РМС (см. табл. 2). Аналогичная картина наблюдается и в направлении от безрудного Арганакского участка к Синюхинскому в одноименном массиве гранитоидов в Горном Алтае. Для Синюхинской РМС граница резкого изменения таких параметров, как фугитивность воды, парциальные давления воды и углекислоты, логарифм отношений фугитивностей плавиковой и соляной кислот, коэффициент восстановленности флюидов, совпала с границей рудного поля, определенной по минералогическим и геохимическим данным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабин Л.В. Структурно-формационная и металлогеническая зональность Кузнецкого Алатау. Новосибирск: Наука, 1983.
2. Генезис плутоногенного золотого оруденения в позднем докембрии Саяно-Байкальской складчатой области / Э.Г.Конников, А.Г.Миронов, А.А.Цыганков и др. // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 4. С. 37-52.
3. Гусев Н.И., Гусев А.И. Золотогенерирующие рудно-магматические системы Горного Алтая // Руды и металлы. 1998. № 2. С. 67-78.
4. Жариков В.А. Кислотно-основные характеристики минералов // Геология рудных месторождений. 1967. № 5. С. 75-89.
5. Коржинский Д.С. Зависимость состава магм от щелочности трансмагматических флюидов // Докл. АН СССР. 1977. Т. 235. № 2. С. 454-457.

6. Таусон Л.В., Козлов В.Д. Магматические источники рудного вещества областей вторичной активизации // Закономерности размещения полезных ископаемых. М., 1975. Т. 11. С. 108-114.
7. Флюидный режим формирования гранитоидов различных геохимических типов / Ю.П.Трошин, В.И.Гребенщикова, Л.Ю.Пивоварова, С.М. Бойко // Геохимия. 1984. № 9. С. 1318-1326.
8. Burnham C.W., Holloway J.R., Devis N.F. Thermodynamic properties of water to 1000°C and 1000 bars // Geol. Soc. Amer. Spec. Paper. 1969. Vol. 132. P. 96-115. doi: 10.1130/SPE132
9. Burrows D.R., Spooner E.T.C. Generation of a magmatic H₂O-CO₂ fluid enriched in Mo, Au and W within an Archean sodic granodioritic stock, Mink Lake, north-western Ontario // Economic Geology. 1987. Vol. 82. P. 1931-1957. doi: 10.2113/gsecongeo.82.7.1931
10. Cameron E.M., Hattori K. Archean gold mineralization and oxidized hydrothermal fluids // Econ. Geol. 1987. Vol. 82. P. 1177-1191. doi: 10.2113/gsecongeo.82.5.1177
11. Meinert L.D. Igneous Petrogenesis and Skarn Deposits // Mineral Deposit Modeling. Canada, Ontario. 1995. P. 569-584.
12. Rock N.M.S. The nature and origin of lamprophyres: some definitions and derivations // Earth-Science Reviews. 1977. Vol. 13. N 2. P. 123-169. doi: 10.1016/0012-8252(77)90020-4
13. Sibson R.H., Robert F., Poulsen K.H. High angle reverse faults, fluid pressure cycling and mesothermal gold-quartz deposits // Geology. 1988. Vol. 16. P. 551-555. doi: 10.1130/0091-7613(1988)016<0551:HARFFP>2.3.CO;2
14. Wones D.R., Eugster H.P. Stability of biotite // American Mineralogist. 1965. Vol. 50. N 9. P. 1228-1272.
15. Wyman D., Kerrich R. Archean shoshonitic lamprophyres associated with Superior Province gold Deposits: distribution, tectonic setting, noble metal abundances and significance for gold mineralization // The geology of gold deposits: the perspective in 1988: Economic Geology Monograph 6. 1989. P. 661-667. doi: 10.5382/Mono.06.50

Ссылка на статью:



Гусев А.И., Гусев Е.А. Некоторые петрохимические особенности золотоносных гранитоидов Алтае-Саянской складчатой области // Руды и металлы. 2000. № 5. С. 25-32.