

УДК 550.4:551.2; 553.3/4

ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ ОКИСЛЕННЫХ И ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЗОЛОТОНОСНЫХ ГРАНИТОИДНЫХ СИСТЕМ

Гусев А.И.

Алтайская государственная академия образования

им. В.М. Шукшина, Бийск,

e-mail: anzerg@mail.ru

Рассчитаны фугитивности, парциальные давления O_2 , H_2O , CO_2 , HCl и HF , коэффициент восстановления флюидов. Выявлены окисленные и восстановленные магматогенные флюидные системы. Сопоставлены некоторые параметры флюидного режима магмо-рудно-метасоматических систем Алтайского региона с таковыми крупных и гигантских золоторудных месторождений мирового класса: Мурунтау, Кирклей-Лэнд и другие. Окисленные магматогенные флюиды золотоносных гранитоидов генерируют проявления, мелкие и средние по запасам золота месторождения. Восстановленные магматогенные флюиды способствуют образованию крупных и супергигантских месторождений золота.

Ключевые слова: интрузивный магматизм, биотит, гранитоиды, флюидный режим, парциальное давление, фугитивность, температура, восстановленность и окисленность флюидов

FLUID REGIME OF OXIDIZED AND REDUCED AURIFEROUS GRANITOID SYSTEMS

Gusev A.I.

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

Fugacities, partial pressure of O_2 , H_2O , CO_2 , HCl and HF , coefficient of reduced of fluid calculated. The oxidized and reduced magmatic fluid systems discovered. Some parameters of fluid regime magmo-ore-metasomatic systems Altai region compared with so of large and giant gold ore deposits world class: Muruntau, Kircklay-Land and other. Oxidized magmatic fluids of auriferous granitoids generated manifestation, little and mean deposits on assay value of gold. Reduced magmatic fluids promoted formation large and supergiant deposits of gold.

Keywords: intrusive magmatism, biotite, granitoids, fluid regime, partial pressure, fugacity, temperature, reduced, oxidized of fluids

Теоретические аспекты магматогенных флюидов являются одними из актуальных фундаментальных проблем геологии. Магматогенные флюиды играют важнейшую роль в генерации различных магматитов и связанных с ними рудных полезных ископаемых [3-5]. К числу важнейших характеристик магматогенных флюидов относятся температура, флюидное давление кристаллизации конкретных массивов, с которыми связаны пространственно и парагенетически различные типы оруденения, а также фугитивность кислорода, углекислоты, фтора, хлора, парциальные давления воды, углекислоты, восстановленность и окисленность флюидов и другие параметры.

Методика оценки основных параметров флюидного режима (температур кристаллизации магм, фугитивностей и парциальных давлений летучих компонентов) описана в работе [3, 4] с использованием экспериментальных и теоретических работ Д. Уонза и Х. Эйгстера [14], Д. Якобса, В. Пэрри [12], Дж. Манза, С. Лудингтона [13] и других. Режим фтора во флюидах можно определять по геофториметрам (с использованием составов слюд), разработанным

А.М. Аксюк [1]. Указанные параметры флюидного режима золотоносных систем определены для гранитоидов различных типов золотого оруденения России и других регионов мира по авторским и опубликованным данным [8, 11].

Цель исследования – оценить сравнить параметры флюидного режима окисленных и восстановленных гранитоидных систем, с которыми связано золотое оруденение.

Флюидный режим окисленных гранитоидных систем

Ранее нами детально рассмотрены геологические аспекты, особенности флюидного режима гранитоидов Синюхинского массива и даек и установлена важная роль летучих компонентов, и в первую очередь, хлора, как активного переносчика золота в магматогенных флюидах [2, 3]. Получены новые данные о не менее важной роли в становлении золото-генерирующих гранитоидов Горного Алтая и Синюхинской МРМС и плавиковой кислоты.

Весьма важный вывод из анализа диаграммы (рисунок) сводится к тому, что некоторые МРМС (Синюхинская, Майская,

Лога № 26, Чуринская, Кульбичская) показывают резкое увеличение концентраций HF во флюидах поздних даек, формировавшихся из остаточных расплавов глубинных

магматических очагов, в которые поступали дополнительные порции мантийных базальтоидных магм и трансмагматических флюидов.

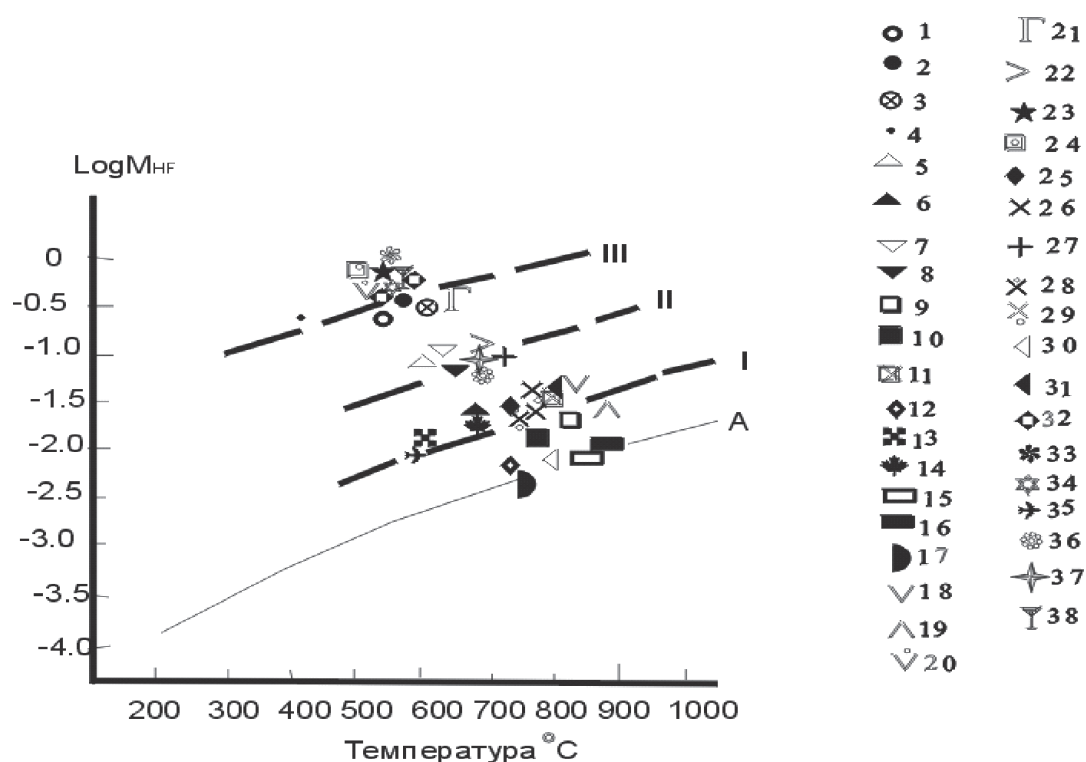


Диаграмма $\log M_{HF} - T^{\circ}C$ по А.М. Аксюк [1] во флюидах золотогенерирующих гранитоидов Горного Алтая и юга Горной Шории (построена автором):

A – низкофтористый тренд для медно-молибден-порфировых месторождений (Аксуг, Шахтама, Санта Рита и др.).

Тренды для региона: I – низко фтористый, II – умерено фтористый, III – высоко фтористый.

Породы региона: I – гранит Тавдушинской интрузии (P_2-T_1);

Атуркольский массив (P_2-T_1): 2 – лейкогранит, 3 – гранит, 4 – грейзен; Рыбалкинский массив (D_3): 5 – лейкогранит умеренно щелочной, 6 – тоналит; 7 – адамеллит Верхне-Бацелакского массива;

8 – гранодиорит Кудрихинского массива (D_2);

ульменский комплекс (E_2): 9 – кварцевый монцонит, 10 – гранодиорит (дайка),

11 – сиенит (дайка); 12 – гранодиорит барангольского комплекса (E_2); Топольнинский массив (D_2): 13 – гранит, 14 – гранодиорит;

Синюхинский комплекс (D_1): 15 – гранодиорит, 16 – гранит-порфир, 17 – габбро;

Кульбичский комплекс (D_2): 18 – лейкогранит, 19 – кварцевый диоритовый порфирит (дайка),

20 – гранодиорит-порфир (дайка); 21 – плагиогранит (дайка баранчинского комплекса – D_2);

Байгольский комплекс (D_2): 22 – лейкогранит, дайки: 23 – кварцевый монцодиорит (Чуря),

24 – граносиенит (Чуря);

Садринский комплекс: Майский массив (E_2): 25 – монцодиорит, 28 – тоналит, 29 – гранодиорит, дайки: 26 – кварцевый монцонит, 27 – кварцевый сиенит; синюхинский комплекс (D_1):

Каратурукский массив (Оюкское месторождение): 30 – тоналит, 31 – гранодиорит; байгольский комплекс (D_2): Майско-Семёновский участок, дайки: 32 – гранит-порфир, 33 – кварцевый сиенит;

куяганский комплекс (D_2), дайки: 34 – гранит-порфиры;

Топольнинский комплекс (D_2): Мало-Топольнинская интрузия (месторождение Лог № 26):

35 – лейкогранит, 36 – гранодиорит, 37 – гранит, 38 – дайка кварцевого сиенита

Повышенная фтороносность заключительных фаз и дифференциатов магматических систем реализовывалась в появлении редкометалльного оруденения на юге Синюхинского рудного поля, на востоке Чойского рудного поля, в поздних стадиях гидротермального процесса в составе руд месторождения Лога № 26 (шеелит, касситерит, молибденит).

По данным А.М. Аксюк [1] это свойственно открытым системам по фтору в ходе дифференциации магматического очага и его концентрации поддерживались потоком богатого фтором трансмагматического флюида. Повышенная фтороносность заключительных фаз и дифференциатов магматических систем реализовывалась,

не только в становлении золотого и медного оруденения, но и в появлении редкометалльного оруденения на юге Синюхинского рудного поля, на востоке Чойского рудного поля, в поздних стадиях гидротермального процесса в составе руд месторождения Лога № 26 (шеелит, касситерит, молибденит, молибдошеелит). В табл. 1 приведены параметры флюидного режима гранитоидов Горного Алтая и Горной Шории. Окисленные МРМС имеют весьма низкий показатель коэффициента восстановленности. В окисленных системах этот коэффициент не превышает значения 0,2 (Синюхинская, Топольнинская, Таджилинская, Актуринская, Усть-Чуйская). В них основную роль в переносе золота играли комплексы хлора.

Таблица 1

Параметры флюидного режима некоторых золотогенерирующих гранитоидов Рудного, Горного Алтая и Горной Шории (фугитивность и давление даны в 10² кПа)

Магмо-рудно-метасоматические системы, породы	Типы гранитоидов	T° C	lg fO ₂	fH ₂ O	pH ₂ O	pCO ₂	lg fO ₂ /fH ₂ O	lg fHF/fHCl	K _{вос}	(pH ₂ O+pCO ₂)/pH ₂ O
Змеиногорско-Зареченская: гранодиориты	I-МС	685	-10,6	0,68	0,82	0,9	-13,6	-3,0	0,2	2,10
Синюхинская: тоналиты гранодиориты	I-WC	840	-4,9	0,9	1,1	1,3	-7,9	-3,8	0,12	2,20
	I-WC	845	-4,8	1,2	1,7	1,8	-7,8	-3,9	0,14	2,10
Топольнинская: гранодиориты	I-SC	560	-12,5	0,77	0,93	1,2	-15,6	-2,6	0,15	2,3
Башелакская: гранодиориты	I-МС	620	-11,0	0,66	0,81	0,89	-13,9	-3,1	0,19	2,09
Актуринская: гранодиориты Усть-Чуйская: гранодиориты	I-WC	800	-5,6	0,41	0,43	0,42	-8,6	-3,55	0,13	1,97
	I-WC	750	-4,2	0,35	0,48	0,42	-7,2	-3,41	0,11	1,87

Примечание. T°С – температура кристаллизации; lg fO₂ – логарифм фугитивности кислорода; fH₂O – фугитивность воды; pH₂O, pCO₂ – парциальное давление воды и углекислоты; lg fO₂/fH₂O – логарифм отношений фугитивностей кислорода и воды; K_{вос} – коэффициент восстановленности флюидов. Типы гранитоидов: I-WC – I-тип слабо контаминированный; I-МС – I-тип умеренно контаминированный; I-SC – I-тип сильно контаминированный; I-SCR – I-тип сильно контаминированный и редуцированный.

Флюидный режим восстановленных гранитоидных систем

Весьма специфичен флюидный режим восстановленных гранитоидных систем. Параметры флюидного режима для рудогенерирующих гранитоидов типичных представителей золото-черносланцевого оруденения и жильного золото-сульфидно-кварцевого, приуроченного к зеленокаменному поясу Абитибя приведены в табл. 2.

Для обоих типов МРМС реставрируются очень высокие значения общего давления при их кристаллизации, а также флюидов, что свойственно абиссальной фации глубинности становления рудогенерирующих гранитоидов. Характерны более высокие значения восстановленности флюидов и концентрации M_{HF} в постгранитных дайках, указывающие на подток более глубоких трансмагматических флюидов при их формировании.

Таблица 2

Некоторые параметры флюидного режима гигантских золоторудных МРМС
(фугитивность и давление даны в 10^2 кПа)

Параметры флюидного режима	1	2	3	4	5
$T^{\circ}\text{C}$	910	920	900	890	900
$f\text{O}_2$	-13,3	-14,8	-12,4	-13,6	-14,3
$f\text{H}_2\text{O}$	2355	2456	3225	3116	3872
$p\text{H}_2\text{O}$	2450	2345	2820	2610	3550
$p\text{CO}_2$	2560	3100	2950	2390	3728
$\lg f\text{HF}/\lg f\text{HCl}$	-2,1	-1,7	-2,25	-2,14	-1,55
$K_{\text{вос}}$	0,65	0,67	0,71	0,77	0,85
M_{HF}	0,012	0,076	0,023	0,084	0,112

Примечание. $T^{\circ}\text{C}$ – температура кристаллизации; $\lg f\text{O}_2$ – логарифм фугитивности кислорода; $f\text{HF}$, $f\text{H}_2\text{O}$ – фугитивности плавиковой кислоты и воды; $p\text{H}_2\text{O}$, $p\text{CO}_2$ – парциальное давление воды и углекислоты; $K_{\text{вос}}$ – коэффициент восстановленности флюидов; M_{HF} – концентрации плавиковой кислоты во флюидах в моль/дм³ по [1]; МРМС Киркленд Лейк: 1 – Интрузия, 2 – дайка гранит-порфира; МРМС Мурунтау: 3 – гранодиориты Сардаринского массива, 4 – дайка сиенитов, 5 – дайка гранодиорит-порфира.

Таким образом, для формирования гигантских магмо-рудно-метасоматических золоторудных систем важное значение имели не только показатели восстановленности среды, но и степень контаминации корового материала, протекавших в глубинных условиях. В случае плюмовой природы в системах наблюдаются резкие колебания изотопов стронция и неодима, вызванные неоднократным подтоком более глубинных и восстановленных флюидов. По этой же причине в поздних дайках наблюдаются более высокие значения восстановленности флю-

идов и высокие концентрации плавиковой кислоты.

Расшифровка флюидного режима интрузивных образований золоторудного поля Мурунтау (табл. 3) показывает, что гранитоиды Сардаринского массива и дайки гранодиорит-порфира характеризуются очень высокими давлениями ($9\div 6$ МПа) (по соотношениям Al^{VI} к Al^{IV} в биотитах) и температурами ($890\text{--}900^{\circ}\text{C}$) при кристаллизации, что отвечает условиям абиссальной фации. Во флюидном режиме гранитоидов отмечены высокие значения фугитивностей и парциальных давлений HCl , H_2O и CO_2 (табл. 3).

Таблица 3

Некоторые параметры флюидного режима дифференциатов МРМС Мурунтау

Параметры флюидного режима	Граниты Сардаринского массива	Аляскитовые граниты Мурунской интрузии	Дайки		
			Сиенит-порфира	Гранодиорит-порфира	Керсантитов
$T^{\circ}\text{C}$	900	870	890	900	910
$f\text{O}_2$	-12,4	-13,1	-13,6	-14,3	-14,8
$f\text{H}_2\text{O}$	3225	2350	3116	3872	3125
$p\text{H}_2\text{O}$	2820	2950	2610	3550	2810
$p\text{CO}_2$	2950	3100	2390	3728	4245
$\lg f\text{HF}/\lg f\text{HCl}$	-2,25	-2,1	-2,14	-1,55	-1,2
$K_{\text{вос}}$	0,71	0,72	0,77	0,85	0,88
y	186,3	187,2	188,4	190,8	191,2
M_{HF}	0,023	0,105	0,084	0,112	0,136

Примечание. $T^{\circ}\text{C}$ – температура кристаллизации пород; $f\text{O}_2$, $f\text{H}_2\text{O}$ – фугитивности кислорода и воды, соответственно, в 10^2 кПа; $p\text{H}_2\text{O}$, $p\text{CO}_2$ – парциальные давления воды и углекислоты, соответственно, в 10^2 кПа; $K_{\text{вос}}$ – коэффициент восстановленности флюидов по Ф.А. Летникову; y – потенциал ионизации биотитов по В.А. Жарикову; M_{HF} – концентрации плавиковой кислоты во флюидах в моль/дм³ по [1].

Характерны более высокие параметры парциальных давлений воды и углекислоты во флюидах аляскитовых гранитов Мурунской интрузии по сравнению с гранитами

Сардаринского штока. Флюиды характеризовались высокой восстановленностью ($K_{\text{вос}}$). Магматогенные флюиды имели низкие летучести кислорода и повышенные значения

восстановленности флюидов в дайковых образованиях, а также заметно были обогащены водой, углекислотой и хлором (табл. 3). Характерны более высокие значения восстановленности флюидов и концентрации фтора (M_{HF}) в постгранитных дайках, особенно в керсантитах, указывающие на подток более глубоких трансмагматических флюидов при их формировании. Возможно, что этот источник был глубже астеносферного, так как формирование комплексной рудной системы Мурунтау происходило в постколлизивной обстановке, инициированной плюмтектоникой [6]. Вероятно, формирование МРМС Мурунтау происходило в результате высокотемпературных сверхглубинных флюидов, характеризующихся повышенной магнезиальностью (широкий и мощный ореол флогопитовых метасоматитов) и обогащённостью S, Ni, Co, Au, Ag, Mo, Pt, Pd, Bi и другими, халькофильными элементами, имеющими первичную плюмовую природу, как это считает Ф.А. Летников [10]. Высоко редуцированное состояние расплавов создаёт условия для кристаллизации таких аксессуариев, как ильменит и пирит. Известно, что в сильно восстановленных магмах сера присутствует в виде HS^- , которая более растворима в силикатных расплавах и способствует образованию сульфидных глобул, селекционирующих золото из расплава [9]. Главной геохимической отличительной особенностью восстановленных золоторудных систем от окисленных интрузивно-связанных является ассоциация золота с вольфрамом и отсутствие аномалий меди. Вольфрам в скарновых месторождениях (Рэй Галч вольфрамовый скарн на Дублин Галч (Аляска), Чойское скарновое золото-теллуридное месторождение Горного Алтая) пространственно обособлен от золота. Как правило, золото на таких объектах накладывается в составе сложных прожилков на вольфрамовые скарны.

Интерпретация результатов

Приведенные результаты показывают, что в Горном Алтае распространены золотоносные гранитоиды окисленного типа. Для них характерны коэффициент восстановленности флюидов, не превышающих значения 0,2. В них основную роль в переносе золота играли комплексы хлора. Такие МРМС малопродуктивны. Они формируют проявления, мелкие и средние по запасам месторождения. Несколько более продуктивными являются системы, в которых отмечается открытость систем по фтору.

МРМС, характеризующиеся восстановленным режимом магматогенных флюидов, высокими парциальными давлениями воды, углекислоты. Для них характерны значения коэффициента восстановленности флюидов более 0,5. Перечисленные летучие компоненты наряду с комплексами хлора, бора, HS^- имеют важнейшее значение в переносе золота магматогенными флюидами [3, 4, 6, 8].

Заключение

В окисленных и восстановленных магматогенных флюидах золотоносных гранитоидов селекционирование из расплавов и перенос золота осуществляют различные летучие компоненты. Природные восстановленные системы подтверждают экспериментальные данные о предпочтительной редуцированной обстановке для экстракции золота из фельзических расплавов, их переносе хлоридными и HS^- комплексами в составе магматогенных флюидов к местам рудолокализации. В окисленных и восстановленных системах важное значение имеет открытость систем по фтору. Более крупные по запасам золота дают восстановленные золоторудные системы.

Список литературы

1. Аксюк А.М. Экспериментально обоснованные геофториметры и режим фтора в гранитных флюидах // Петрология, 2002. – Т.10. – № 6. – С. 630-644.
2. Гусев А.И. Интрузивный магматизм Синохинского золоторудного узла // Геология и геофизика, 1994. – № 11. – С. 28-40.
3. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во СТУ, 2003. – 308 с.
4. Гусев А.И., Гусев Н.И. Магмо-флюидодинамическая концепция эндогенного рудообразования на примере Горного Алтая и других регионов // Региональная геология и металлогения, 2005. – № 23. – С. 119-129.
5. Гусев А.И. Эпитермальное оруденение благородных металлов Горного Алтая и Горной Шории // Известия Томского политехнического университета. Томск. – 2005. – Том 308, № 3. – С. 32-35.
6. Гусев А.И., Гусев Н.И. Флюидный режим и петрология шошонитовых гранитоидов супергигантского золоторудного месторождения Мурунтау // Фундаментальные исследования, 2012, № 6 (часть 1). – С. 13-18.
7. Гусев А.И., Гусев А.А. Шошонитовые гранитиды: петрология, геохимия, флюидный режим и оруденение. – М.: Изд-во РАЕ, 2011. – 128 с.
8. Гусев А.И. Петрология золотогенерирующего магматизма. – М.: Изд-во РАЕ, 2012. – 160 с.
9. Коробейников А.Ф., Гусев А.И. Поведение золота в расплавах и особенности его фракционирования // Известия Томского политехнического университета, 2013. – № 1. Т.323. – С. 142-148.
10. Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // Геология рудных месторождений, 2001. – Т. 43. – № 4. – С. 291-307.
11. Gusev A.I. The petrology of gold-generating granitoids of Russia // International journal of applied and fundamental research, 2008. – № 3. – P. 58-61.
12. Jacobs D.C., Parry W.T. Geochemistry of biotite in the Santa Rita Porphyry Copper Deposit, New Mexico // Econ. Geol., 1979. – V. 74. – № 4. – P. 860-887.
13. Munoz J.L., Ludington S.D. Fluoride-Hydroxyl exchange in biotite // Amer. J. Sci., 1974. – V. 247. – № 4. – P. 396-413.
14. Wones R.D., Eugster H.P. Stability of biotite // Amer. Mineral., 1965. – V. 50. – № 9. – P. 1228-1272.