

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ЖИЛЬНОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ

Борисов М.В. (геол. ф-т МГУ)

borisov@geol.msu.ru; тел.: (495) 939-25-59

Ключевые слова: *термодинамические модели, гидротермальное жильное рудообразование*

Общепринято, что одним из важнейших факторов, определяющих локализацию жильных руд, может являться химическое взаимодействие гидротермальных рудоносных растворов с вмещающими (околожильными) породами [1]. Однако, кроме качественного рассмотрения простых реакций, отсутствуют доказательства на количественном уровне для гетерофазных многокомпонентных термоградиентных гидротермальных систем. В настоящей работе оценена роль этого фактора с помощью модели формирования жильных полиметаллических месторождений Северной Осетии, где вмещающие породы имеют различный состав (от терригенных пород и гранитов до амфиболитов). Оценка влияния состава околожильных пород на эффективность процессов рудообразования проведена методами равновесно-динамического моделирования (пакет программ HCh [2], система H-O-K-Na-Ca-Mg-Al-Si-Fe-C-Cl-S-Zn-Pb-Cu).

Структура моделей

Область мобилизации (один реактор) – реакция 10 кг гранита садонского типа, содержащего кларковые количества Zn, Pb, Cu и S, с 30 последовательными порциями безрудного раствора (1 м NaCl, 0.5 м H₂CO₃, 0.1 м HCl, 1 кг H₂O) при 370°C и 1 кбар; область жильного рудообразования – 26 реакторов при понижении температуры от 350 до 100°C с шагом 10°C при 1 кбар (подобные модели описаны в [3, 4], а принятые условия являются реалистичными для эталонных месторождений). Отложение вещества в жиле описано слоевым механизмом [3]. Исследованы модели без реакции с околожильными породами и с введением в каждый из реакторов, представляющих жилу, переменного количества породы. Количество добавляемой породы уменьшается с падением температуры и увеличением времени (порядкового номера волны раствора из области мобилизации) и рассчитывалось по уравнению (А), которое обосновано в работах Д.В.Гричука [5] и дает возможность учитывать изменение скорости реакции с боковыми породами:

$$R = 0.000036k \cdot e^{0.024t} \cdot (\sqrt{w} - \sqrt{w-1}) \quad (A),$$

где R – масса породы в граммах; k – коэффициент, регулирующий необходимое соотношение количеств породы и воды в каждом реакторе; t – температура в °C; w – номер порции (волны) раствора из области мобилизации. Расчеты проведены при значениях k равных 0, 1, 10 и 23. При $k=0$ взаимодействие с околожильными породами не происходит (рудное вещество отлагается только за счет падения температуры). Количества породы, которые вводятся в реакцию с рудоносным раствором при других значениях k , приведены в табл. 1.

Таблица 1

Масса околожильной породы – R (г) при различных значениях k

k	Первая волна			Десятая волна			Сумма породы, г*
	350°C	200°C	100°C	350°C	200°C	100°C	
1	0.16	0.0044	0.0004	0.026	0.0007	0.00006	2.37
10	1.6	0.044	0.004	0.26	0.007	0.0006	23.7
23	3.7	0.1	0.009	0.59	0.016	0.0015	54.1

* - суммарное количество породы, вступившей в реакцию с раствором в 26 реакторах

Исследовано влияние гранита, туфобрекчии, слюдяного и кристаллического сланцев, амфиболита. Предварительные расчеты позволили разделить выбранные породы на две группы по

эффективности отложения сфалерита: первую представляет гранит, вторую – амфиболит. Составы этих пород показаны в табл. 2.

Таблица 2

Составы гранита и амфиболита, мас. %

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	(Na ₂ O+K ₂ O+CaO+MgO)/SiO ₂
Гранит	71.74	13.97	2.227	0.096	0.95	0.65	2.97	4.99	1.62	0.13
Амфиболит	47.61	18.85	8.06	4.18	8.95	6.22	1.81	0.38	2.39	0.36

Состав и свойства рудоносного раствора формируются в области мобилизации. Концентрация Zn в равновесном растворе достигает максимума (1.9E-3 м) на седьмой волне, и он полностью выщелачивается из гранита на восьмой волне. Концентрации Pb и Cu максимальны при $w=11-18$ (1.9E-4 и 2.8E-4 м, соответственно), т.е. после полного выщелачивания цинка (более подробно в [3, 4, 6]). Именно такой изменяющийся рудоносный раствор поступает в область жильного рудообразования.

Результаты

Для оценки эффективности рудообразования не обязательно рассматривать отложение нерудных минералов и удобнее анализировать результаты через молярные количества рудных элементов (за 100% принято количество металла, поступающее из области мобилизации в трещинный канал, где формируется жила). Распределение рудного вещества в модельной жиле при различных значениях k показано на примере сфалерита на рис. 1. и в табл. 3. При $k=0-1$ основная масса ZnS отлагается на интервале 240-100°C (60 мол.% из 93.1% при $k=0$ и 53% из 93.6% при $k=1$) с максимумом у 200°C. Введение во взаимодействие даже очень небольшого количества гранита ($k=1$) приводит к двум эффектам: увеличивается количество сфалерита в высокотемпературных (нижних) участках жилы при уменьшении в области около 200°C, немного увеличивается общий процент отложения Zn по всей модельной жиле. Больше количество добавляемого гранита приводит к радикальному изменению рудообразования: практически весь сфалерит отлагается в самых высокотемпературных реакторах (56.1 % при $k=10$ и 73.4 % при $k=23$ на интервале 350-300°C), исчезает интервал обогащения около 200°C, немного увеличивается полнота отложения Zn до 96.7 и 98.4% (рис. 1 и табл. 3).

Еще более кардинальное воздействие оказывает замена околожильного гранита на амфиболит. В этом случае уже при $k=1$ основное количество сфалерита отлагается в высокотемпературных реакторах (53% на 350-250°C против 40% при реакции с гранитом) и до 94.6% увеличивается суммарная эффективность его отложения.

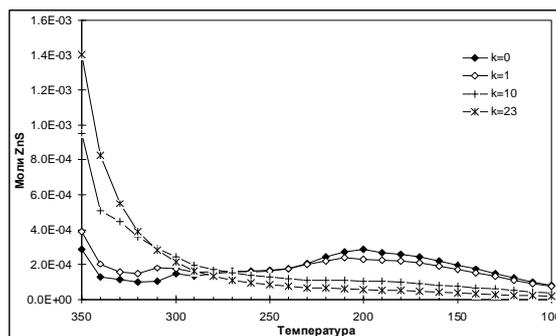


Рис.1. Зависимость распределения сфалерита по восстанию модельной жилы (от высоких температур к низким) от количества гранита (определяется значением k)

Максимальные концентрации Pb в рудоносном растворе достигаются на 11-18 волнах, после полного выщелачивания Zn из гранита в области мобилизации. На этих волнах значительно уменьшается и количество околожильной породы, которая вводится в реакцию с рудоносным раствором в реакторах, описывающих жилу. Поэтому можно ожидать, что отложение сфалерита и галенита будет происходить с разделением их по восстанию модельной жилы. Это подтверждают результаты расчетов при $k=0$ и 10, приведенные на рис. 2.

Таблица 3

Отложение сульфидов рудных элементов по интервалам температур модельной жилы (мол.%) и сумма за 20 волн при различных k (реакция с околожильным гранитом)

Рудные компоненты	k	Интервалы температур, °C					Сумма
		350-300	290-250	240-200	190-150	140-100	
Zn	0	17.53	15.32	23.80	23.95	12.47	93.07
	1	24.94	15.76	21.30	20.49	11.10	93.61
	10	56.08	15.61	11.04	8.91	5.10	96.74
	23	73.36	11.62	6.41	4.51	2.51	98.40
Pb	0	0.51	0.72	21.78	35.89	18.60	77.49
	10	25.49	9.37	17.80	21.50	12.15	86.32
Cu	0	48.42	30.00	16.17	4.50	0.75	99.85
	10	60.63	22.45	12.42	3.73	0.64	99.87

Видно, что без взаимодействия с околожильным гранитом основная масса сфалерита и галенита отлагается при температурах от 240-230°C до 100°C: 60.2% из 93.1% (сумма по всем реакторам) для ZnS и 76.3% из 77.5% для PbS, т.е. формируется единый интервал Pb-Zn оруденения. Если происходит реакция рудоносного раствора с околожильным гранитом ($k=10$, рис. 2), то сфалерит будет отлагаться главным образом в высокотемпературных реакторах и только 25.1% из 96.7% на интервале 240-100°C, а значительная доля галенита продолжает отлагаться при низких температурах (51.5% из 86.8%). При этом отношение Pb/Zn на различных интервалах по восстанию жилы смещается в сторону свинца, но в области высоких температур всегда преобладает цинк, а в области низких температур мольные количества Pb могут преобладать над Zn. Для меди картина распределения изменяется в меньшей степени, т.к. основным интервалом отложения сульфидов меди является 350-250°C (табл. 3).

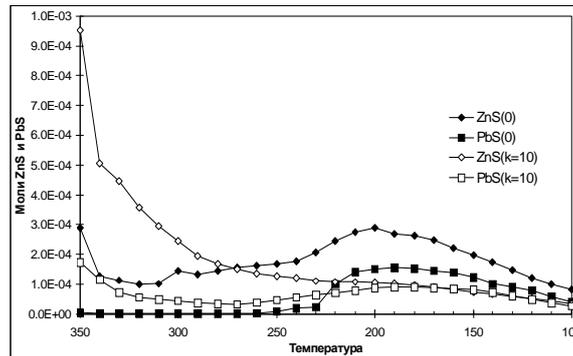


Рис.2. Распределение сфалерита и галенита в модельной жиле в зависимости от количества гранита (при $k=0$ и 10), введенного в реакцию с рудоносным раствором

Причиной влияния алюмосиликатных пород на рудообразование является увеличение pH рудоносных растворов из-за их взаимодействия с породой, которое приводит к росту доли диссоциированных форм сероводорода и, соответственно, степени отложения рудных сульфидов. Чем выше отношение $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ породы, тем выше pH раствора при прочих равных условиях (температура и количество породы).

Выводы

1) Взаимодействие рудоносного раствора с околожильными алюмосиликатными породами в термоградиентной системе вызывает лишь незначительное увеличение отложения рудных сульфидов в жилах. Для Pb общий эффект выше, чем для Zn и Cu.

2) Степень влияния околожильных пород определяется интенсивностью взаимодействия в системе порода-раствор и кислотно-основной характеристикой породы или отношением $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$. При отношении, равном 0.35-0.4, в жиле отлагается больше рудных компонентов, чем при 0.12-0.15 и без взаимодействия (только за счет охлаждения).

3) Реакция с околожильными породами приводит к разделению в пространстве интервалов отложения сфалерита и галенита: в этом случае сфалерит предпочтительно отлагается в высокотемпературных (нижних), а галенит в низкотемпературных (верхних) участках жил.

Финансовая поддержка РФФИ 08-05-00306

Литература

1. Геохимия гидротермальных рудных месторождений // М.: Мир. 1982. 622с.
2. Шваров Ю.В. Алгоритмизация численного равновесного моделирования динамических геохимических процессов // Геохимия. 1999. № 6. С. 646-652.
3. Борисов М.В. Геохимические и термодинамические модели жильного гидротермального рудообразования // М.: Научный мир. 2000. 360с.
4. Borisov M.V. Geochemical and thermodynamic models for the genesis of low - and medium-temperature vein mineralization and metasomatism in the wall rocks // Geochemistry International. 2003. V. 41. Suppl. 2. P. S145-S312.
5. Grichuk D.V. Thermodynamic models of submarine hydrothermal systems // Geochemistry International. 2004. V. 42. Suppl. 2. P. S159-S324.
6. Борисов М.В., Бычков Д.А., Шваров Ю.В. Геохимические структуры полиметаллических жил выполнения и параметры гидротермального рудообразования // Геохимия. 2006. №11. С. 1218-1239.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(27) 2009

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/hydroterm-6.pdf

Опубликовано 1 сентября 2009 г.

© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2009

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна