

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОНОСНЫХ МАГНЕТИТ-ХЛОРИТ-КАРБОНАТНЫХ ПОРОД (КАРАБАШСКИЙ МАССИВ, Ю. УРАЛ)**Чудненко К.В.¹, Мурзин В.В.², Пальянова Г.А.³**¹*Институт геохимии СО РАН, Иркутск, Россия, E-mail: chud@igg.irk.ru*²*Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, E-mail: murzin@igg.uran.ru*³*Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия, E-mail: palyan@igm.nsc.ru*

АННОТАЦИЯ: В работе рассмотрены результаты термодинамического моделирования условий формирования золотоносных магнетит-хлорит-карбонатных пород и хлоритолитов. Для расчетов использована модель резервуарной динамики, реализованная в программном комплексе «Selektor-C». Образование этой ассоциации пород происходит из флюида, сгенерированного при взаимодействии глубинной воды с ультраосновными и основными породами в нижней коре (700°C, 10 кбар). Магнетит-хлорит-карбонатная порода образуется при разгрузке флюида при более низких P-T условиях в верхней коре (500°C, 3 кбар). Хлоритолит образуется при дальнейшем взаимодействии флюида с серпентинитом при снижении P и T до 300°C и 1 кбар.

1. ВВЕДЕНИЕ

Магнетит-хлорит-карбонатные породы Карабашского массива гипербазитов (Южный Урал) несут золото-редкометалльно-редкоземельную минерализацию [3, 4]. Эти породы локализованы в хлоритолитах зон рассланцевания в антигоритовых серпентинитах. Протяженность зон рассланцованных серпентинитов достигает несколько сотен метров, а мощность – 1-2 метра. Линзообразные тела существенно карбонатного состава имеют самые различные размеры – от первых сантиметров до первых метров. Существует несколько точек зрения на генезис магнетит-хлорит-карбонатных пород. Одни исследователи относят их к карбонатитам [5]. Основанием для данного заключения служат факты наличия индукционных поверхностей совместного роста всех основных минералов в породе, повышенного содержания редкоземельных элементов и присутствия в массиве тел щелочных кварц-рибекитовых пород. Предлагается также модель, в которой сначала внедренные в зону серпентинового меланжа известняки (или мрамора) под действием "водной составляющей гипербазитов", а позднее на доломитовые породы накладывается "вторичная" рудная минерализация, в том числе золото [2].

Цель данной работы – разработать физико-химическую модель образования золото-редкометалльно-редкоземельной минерализации магнетит-хлорит-карбонатных пород, используя результаты термобарогеохимических исследований, изотопных данных об источниках флюидах и рудного вещества, и базируясь на существующие и новые гипотезы генезиса маг-

нетит-хлорит-карбонатных и других генетически связанных с ними пород.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для расчетов использована модель резервуарной динамики (reactive transport), реализованная в программном комплексе «Selektor-C» [6]. Моделирование проводилось для системы Na–K–Mg–Ca–Al–Si–Ti–Fe–Cl–C–H–O при стартовых T и P, характеризующих условия нижней коры – 700°C, 10 кбар. Дальнейшая эволюция раствора при последовательном его перетекании через систему резервуаров до полной разгрузки происходит при снижении T до 300°C и P до 1 кбар.

В модель заложена 4-х резервуарная схема расчетов (рис. 1). В 1 резервуаре при 700°C, 10 кбар 1 кг исходного раствора реагирует со 100 г. породы в пропорции 80% гарцбургита + 20% габбро, обогащаясь компонентами этих пород. В последующих резервуарах имитируется зона разгрузки в результате перемещения флюида в верхние горизонты (T = 450 °C и P = 3 кбар) при различных сценариях: во 2 резервуаре предполагается взаимодействие раствора с серпентинитом (100 г), в 3-м – с известняком (5 г) и серпентинитом (0.5 г). В последнем резервуаре раствор реагирует с серпентинитом (100 г) при понижении T и P до 300 °C, 1 кбар.

Количество порций раствора в расчетах от 1 до 50. Модельный состав исходного глубинного флюида: хлоридно-натровый слабо углекислотный раствор с небольшим количеством водорода. Рудные компоненты во флюиде задаются согласно данным Н.А. Григорьева по содержанию Cu, Ag, Au, Hg в ультрабазитах (г/т): 7, 0.14, 0.006, 0.002 [1].

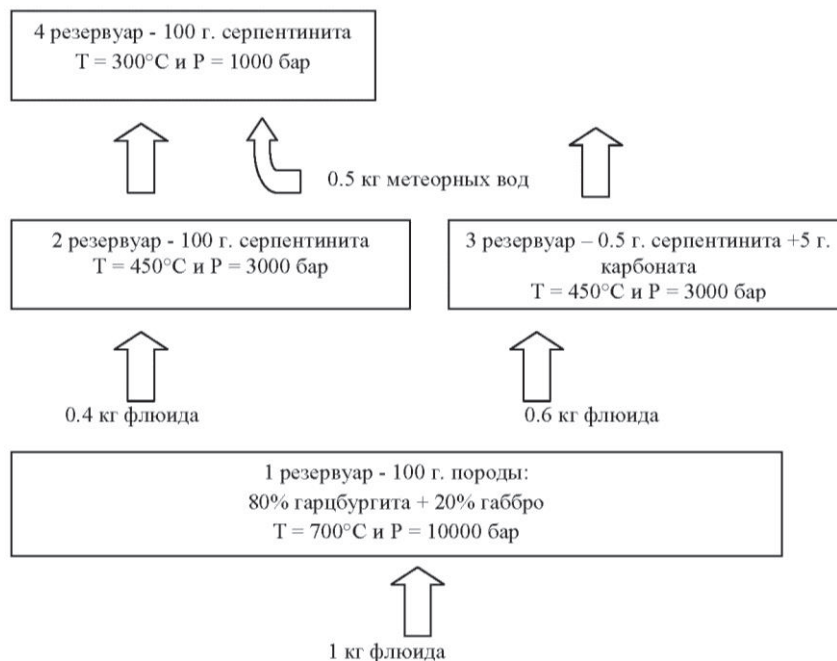


Рис. 1. Схема 4-х резервуарной модели.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Слабокислотный флюид по мере взаимодействия с породами 2 и 3 резервуаров увеличивает минерализацию до 100 г/л, становясь слабощелочным ($pH = 7.5$), а затем, после разбавления метеорной водой, стабилизируется на уровне 50 г/л и $pH = 7.4$.

Формы переноса золота в модельном гидротермальном растворе показаны на рис. 2.

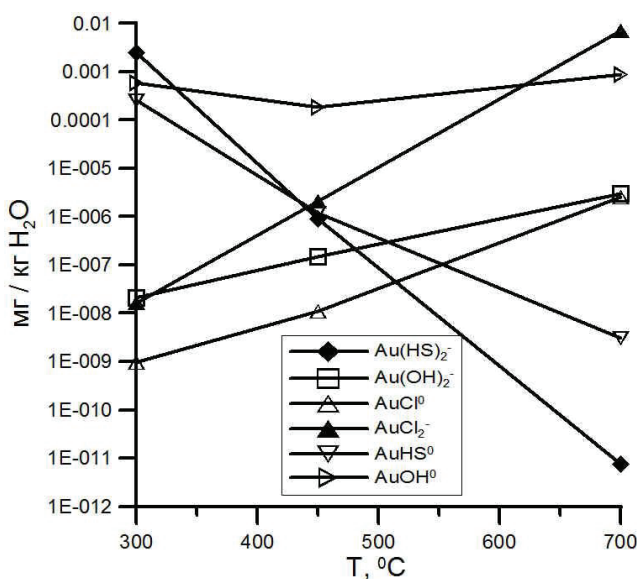


Рис. 2. Моляльность Au во флюиде.

Хлоридно-натровый глубинный флюид определяет преобладание хлоридных комплексов Au в 1-3 резервуарах. Существенное значение

имеют также гидроксидный комплекс $AuOH^0$. Только снижение температуры до 300 °C и разбавление флюида за счет поступления метеорных вод (4 резервуар) являются причиной возрастания роли сульфидных комплексов золота в гидротермальном растворе.

Минеральные составы резервуаров модели видоизменяются в процессе воздействия флюида. Первый резервуар отвечает породам нижней коры и имеет стабильный набор минералов, основными из которых являются оливин, гранат, магнетит, хлорит. Второй резервуар, имитирующий толщу серпентинитов, через которую просачивается глубинный флюид, в качестве сопутствующих минералов включает магнетит (менее 10%) и карбонат (менее 3%), а также на разных стадиях процесса пироксен, тальк и тремолит. Через 3-й резервуар флюид идет в проточном режиме, взаимодействуя с малым количеством породы, что можно интерпретировать как разгрузку флюида в открытой трещине с взаимодействием с ее стенками. Здесь происходит формирование магнетит-хлорит-карбонатовой породы (рис. 3). В 4-м резервуаре минералообразование идет в закрытой системе, где по изначально заданному серпентиниту образуется хлоритолит, состоящий из хлорита (до 90%) и небольших количеств талька и карбонатов. В качестве аксессуарных минералов во всех резервуарах отмечены ильменит и гидроксипатит. Кроме того, в 4-м резервуаре образуется халькопирит.

Золото в виде твердого раствора Au-Ag-Cu образуется на всех этапах взаимодействия поро-да-вода при формировании магнетит-хлорит-карбонатной породы (3 резервуар). Состав твердого раствора Au-Ag-Cu включает до 70 мас. % Au, 30 мас. % Ag и 2 мас. % Cu.

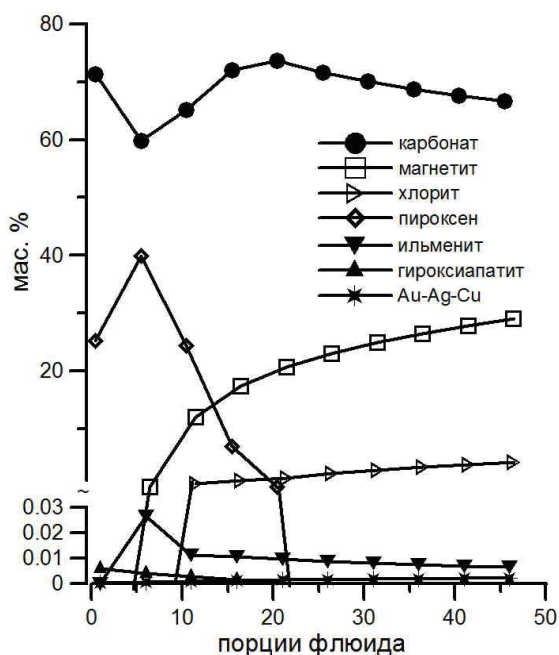


Рисунок 3. Минеральный состав 3-го резервуара.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные моделирования позволяют связывать малообъемные тела магнетит-хлорит-карбонатных пород в Карабашском массиве с гидротермально-метасоматическими процессами по механизму выполнения свободного пространства с метасоматизирующим воз-

действием флюида на серпентиниты с образованием хлоритолитов.

В качестве источника петрогенных и рудных компонентов и рудоносных флюидов при формировании магнетит-хлорит-карбонатных пород могут рассматриваться океанические серпентиниты, габброиды и известняки, а также глубинные флюиды.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту IX.130.3.2. (0350-2016-0033) и при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-05-00407а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 382 с.
2. Иванов К.С., Вализер П.М., Ерохин Ю.В., Погромская О.Э. О генезисе карбонатитов складчатых поясов (на примере Урала) // ДАН – Т. 435. – 2010. – С. 218-222.
3. Мурзин В.В. Происхождение флюида при формировании золотоносных родингитов по изотопным данным (на примере Карабашского массива альпинотипных гипербазитов, Южный Урал) // ДАН. – Т. 406. – 2006. – С. 683-686.
4. Мурзин В.В., Варламов Д.А., Пальянова Г.А. Условия образования золотоносных магнетит-хлорит-карбонатных пород Карабашского массива гипербазитов (Южный Урал) // Геология и геофизика – Т. 58. – 2017. – С. 1006-1020.
5. Попов В.А. О карбонатитах в скарновых объектах Урала // Литосфера. – 2017. № 1. – С. 126-134.
6. Чудненко К.В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Новосибирск: Изд-во ГЕО, 2010. – 287 с.

PHYSICO-CHEMICAL MODELING OF THE FORMATION OF GOLD-BEARING MAGNETITE-CHLORITE-CARBONATE ROCKS (KARABASH MASSIF, SOUTH URALS)

Chudnenko K.V.¹, Murzin V.V.², Palyanova G.A.³

¹Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia, E-mail: chud@igc.irk.ru

²Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, Ekaterinburg, Russia, E-mail: murzin@igg.uran.ru

³Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia, E-mail: palyan@igm.nsc.ru

ABSTRACT: The results of thermodynamic modeling of the conditions for the formation of gold-bearing magnetite-chlorite-carbonate rocks and chloritoidites are discussed. For calculations, a model of reactive transport implemented in the “Selektor-C” software package was used. The formation of this rock association comes from a fluid generated by the interaction of deep water with ultrabasic and basic rocks in the lower crust (700°C, 10 kbar). Magnetite-chlorite-carbonate rock is formed when the fluid is discharged at lower P-T conditions in the upper crust (500°C, 3 kbar). Chloritoidite is formed by further interaction of the fluid with serpentinite with decreasing P and T up to 300°C and 1 kbar.