

УДК 553.493.5(571.15)

ГРАФИТЫ КАЛГУТИНСКОГО РЕДКОМЕТАЛЬНОГО ГРЕЙЗЕНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

© 2004 г. А. А. Поцелуев, В. И. Котегов, В. А. Акимцев

Представлено академиком Ф.А. Летниковым 23.03.2004 г.

Поступило 29.03.2004 г.

В последние годы появилось большое число работ, посвященных оценке роли углерода в процессах развития глубинных флюидно-магматических систем. Эта проблема приобрела новое значение в связи с обсуждением роли сверхглубинных ядерно-мантийных плюмов, их влиянием на процессы формирования и эволюции земной коры в целом и рудогенеза в частности [1 и др.]. Поэтому весьма интересен факт выявления графита и особенности его минералогии и геохимии в рудных жилах Калгутинского редкометального грейзенового месторождения.

Калгутинское месторождение является типичным представителем месторождений молибден-редкометально-вольфрамовой рудной формации, которые широко распространены в пределах Горного Алтая. Месторождение приурочено к одноименному массиву лейкократовых редкометальных позднегерцинских гранитов, который в свою очередь прорывает девонские вулканогенные образования кислого состава.

Оруденение представлено серией крутопадающих вольфрамит-молибденит-кварцевых жил с халькопиритом, висмутином, бериллом. Вертикальная амплитуда оруденения превышает 500 м. Наряду с рудоносными кварцевыми жилами и грейзенами встречаются дайки аплитов, микрогранитов и калгутитов (онгонитов). Отмечается сложный характер взаимоотношения даек калгутитов с рудными жилами и грейзеновыми телами, указывающий на близкое время их формирования. Редкометальная и изотопная ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) характеристики калгутинских гранитов, калгутитов [2] и другие данные подчеркивают значительную роль мантийных процессов в формировании флюидно-магматической системы месторождения.

В процессе комплексной оценки месторождения [3] детальными минералогическими исследованиями в рудных жилах месторождения выявлен графит. Зерна графита (<0.5 мм) встречаются в сростках с кварцем и сульфидами. В самих зернах

отмечаются включения и микропрожилки халькопирита, пирита, висмутина, Ви-теннантита. Графит входит в состав поздних минеральных ассоциаций (сфалерит-молибденит-халькопирит-кварцевой и сульфосольной), формирующихся в сульфосольно-сульфидно-кварцевую стадию основного этапа рудообразования.

Спектр комбинационного рассеяния света (КРС) двух зерен графита в области интенсивных колебаний C–C-связей представлен линиями сложного контура, значительно отличающимися от спектра кристалла типичного пиролитического графита (рис. 1). Спектры КРС выявленного графита не воспроизводят узкий хорошо выраженный пик 1580 см^{-1} монокристаллического графита, а только повторяют его спектральные характеристики в виде широких пиков с центрами на 1350 (*D*-полоса) и 1590 (*G*-полоса) см^{-1} . Такие спектры характерны для разупорядоченного, поликристаллического состояния вещества, т.е. переходного к полнокристаллическому состоянию графита. Спектр первого зерна отвечает более аморфному, а второго – более кристаллическому состоянию. Размер микрокристаллов графита, оцененный по соотношению интегральной интенсивности спектров на участках 1350 и 1580 см^{-1} и размеру кристаллов, определяемых рентгеновской дифракцией [4], составляет 4–6 нм.

Выявленные в исследованных образцах КР-спектральные полосы *D* и *G* имеют различную интенсивность и полуширину. Смещение к 1590 см^{-1} и значительное уширение основной полосы *G* изученного графита может быть вызвано наличием разупорядоченных структур, возникших в результате внедрения различных ионов между графитовыми слоями [5].

Методом кулонометрического титрования в бороздовых пробах, отобранных по основной рудной жиле (№ 87), было определено содержание углерода ($C_{\text{орг}}$) и особенности его пространственного распределения. Среднее содержание элемента в пробах составляет $0.035 \pm 0.01\%$, что значительно выше кларка углерода (0.02%), при этом отмечаются значительные вариации концентраций от 0.02 до 0.12% .

Томский политехнический университет

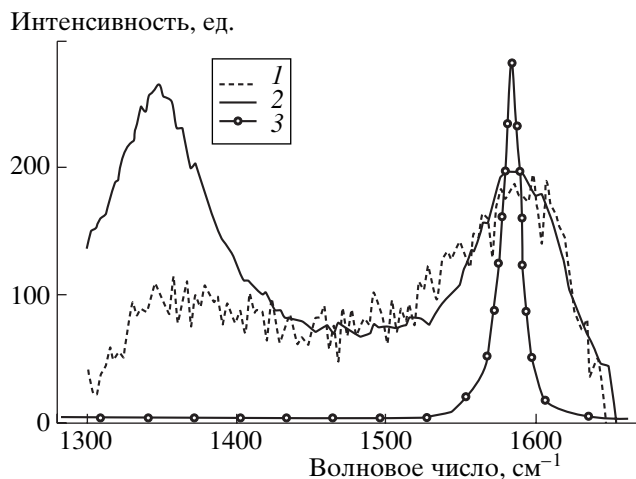


Рис. 1. Спектры КР графитов Калгутинского месторождения. Спектрометр “Romanor U1000”, возбуждение линией 514.5 нм (мощность 150 мВ) излучением Ar-лазера (аналитик А.П. Шабанин, ОИГМ СО РАН, г. Новосибирск). 1, 2 – зерна графита 1 (1) и 2 (2), 3 – эталон пиролитического кристалла графита.

С глубиной в жиле (изучено 3 штольневых горизонта через 60 м) содержание $C_{\text{орг}}$ стабильно растет от 0.025% на верхнем горизонте до 0.049 на нижнем. Таким образом, в ряду зональности жилы № 87 $C_{\text{орг}}$ находится в одной группе с некоторыми основными рудообразующими элементами (Be, Mo, W), благородными металлами (Pt, Pd) и Cr, Sb, Pb [6].

В зернах графита установлены высокие концентрации многих металлов – Au, Ag, Hg, Te, Sb, Bi, Cu, Pb, Zn, Fe, S (табл. 1). Необходимо подчеркнуть, что Cu, Bi и S являются основными компонентами руд, где они характеризуются подобными кон-

центрациями, а содержания остальных элементов (кроме Fe) в графите на 1–2 порядка и более (особенно Au, Ag) превосходят их концентрации в рудах. Также отмечаются значительные отличия геохимического спектра зерен минералов, образующих включения в графите (“графитовая” ассоциация), от зерен тех же минералов, но более ранней ассоциации. В зернах минералов “графитовой” ассоциации значительно выше содержание Ag и более низкое содержание Sb.

Высокие содержания металлов в зернах графита могут быть обусловлены микровключениями собственных минералов, размер микрокристаллов которых по аналогии с графитом может составлять первые единицы нанометров. В первую очередь это относится к Cu, Bi и S. Вместе с тем, как показывают результаты КРС-спектроскопии, между графитовыми слоями могут присутствовать разупорядоченные структуры, возникшие за счет внедрения различных ионов. В данном случае можно предположить, что такие ионы могут образовывать Au, Ag, Hg, Te.

Анализ изотопных характеристик, выполненный на масс-спектрометре “DELTA” в ОИГМ СО РАН (аналитик В.А. Пономарчук), показал “легкий” состав углерода. Значение $\delta^{13}\text{C}$ изменяется в узком диапазоне от $-26.3 \pm 0.4 \text{‰}$ до $-26.6 \pm 0.3 \text{‰}$. Известно, что близким составом характеризуются различные образования – хондриты, лунные породы, окрашенные алмазы Якутии, карбонаты из черных сланцев, изверженные породы. По мнению Фора Г. [7] такие изотопные соотношения в первую очередь характерны для восстановленной формы углерода, чем в данном случае и является графит. Вместе с тем “легкие” изотопные характеристики углерода могут быть результатом высокой степени дифференциации веществ-

Таблица 1. Среднее содержание элементов (мас. %) в минералах по данным анализа на микрозонде “Camebax”

Минерал	Bi	Cu	Pb	Fe	Zn	Ag	Sb	Te	S	Au	Hg
Графит	1.95	1.05	0.29	0.35	0.19	0.08	0.14	0.20	2.07	0.01	0.01
Включения в графите											
Bi-теннантит	63.8	13.2	0.26	0.48	0.16	0.74	0.03	<0.01	19.0	<0.01	<0.01
Висмутин	79.6	0.50	0.12	<0.01	<0.01	0.88	<0.01	0.05	17.5	<0.01	<0.01
Халькопирит	0.04	34.2	<0.01	30.3	0.10	0.05	Не опр.	0.01	34.8	<0.01	<0.01
Минералы более ранней ассоциации											
Bi-теннантит	39.0	24.3	<0.01	0.77	3.65	0.09	10.3	0.01	21.5	<0.01	<0.01
Висмутин	77.5	0.67	3.05	<0.01	0.01	0.08	0.04	0.01	18.2	<0.01	<0.01
Халькопирит	0.07	33.7	<0.01	31.3	0.1	<0.01	0.06	0.1	35.1	<0.01	<0.01
Содержание элементов в жиле	0.11	0.58	0.01	4.9	0.04	0.001	0.003	Не опр.	2.53	15×10^{-7}	Не опр.

Примечание. Содержание элементов в жиле определено по данным анализа бороздовых проб. Аналитик О.С. Хмельникова, ОИГМ СО РАН, Новосибирск.

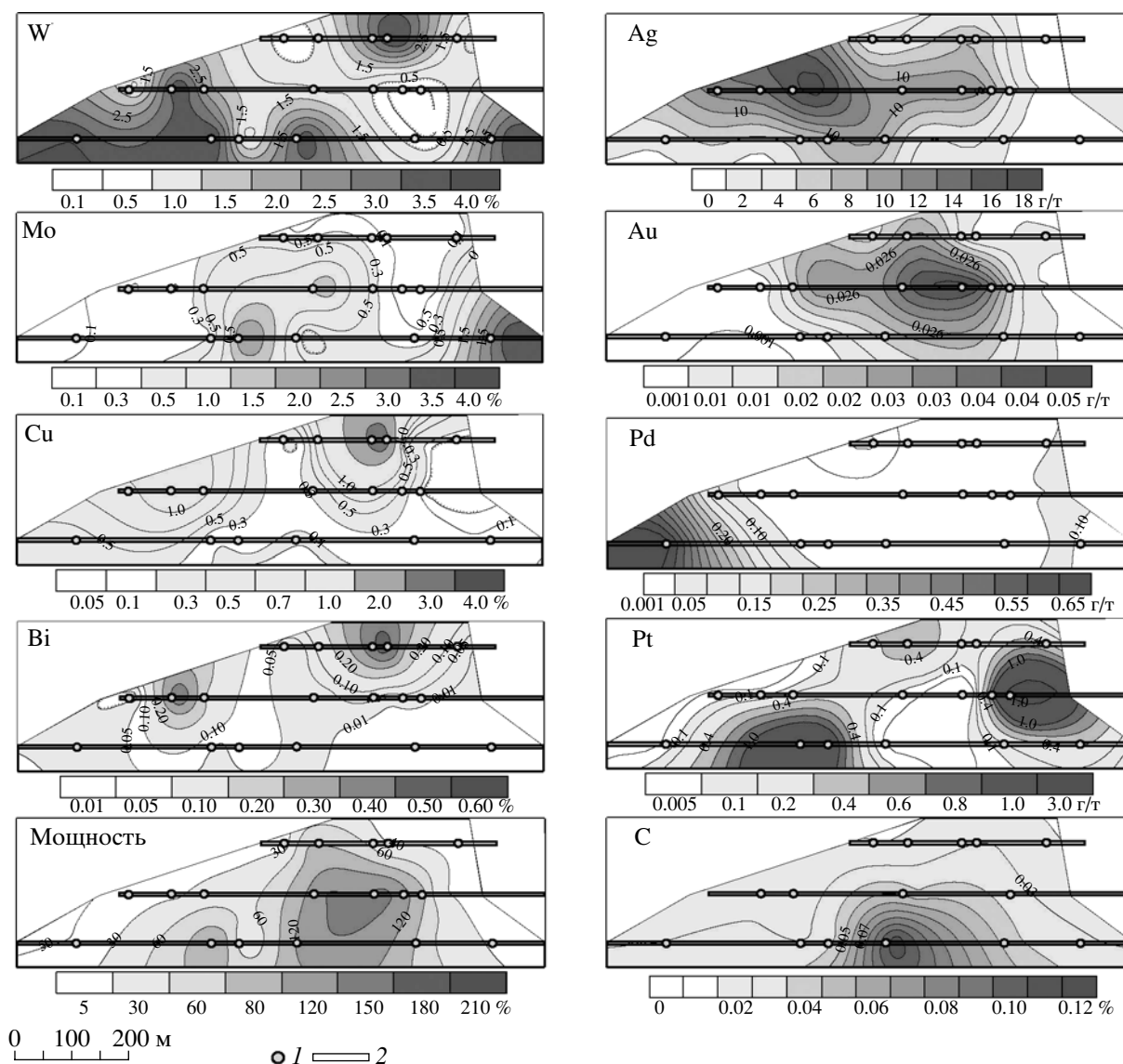


Рис. 2. Распределение углерода, благородных и основных рудных элементов в жиле № 87 (проекция на вертикальную плоскость). 1 – места опробования, 2 – штольневые горизонты.

ва в процессе перемещения глубинного флюида в область рудообразования.

Распределение $C_{орг}$ в пределах жилы № 87 имеет закономерный, концентрически зональный характер (рис. 2). На вертикальной проекции наблюдается увеличение концентрации элемента от верхней и периферической частей жилы вниз и к центру. При этом просматривается отчетливая закономерность в распределении углерода и благородных металлов. Участки с наиболее высоким содержанием Pt и Pd располагаются вблизи изолинии с концентрацией $C_{орг}$, равной 0.03%, а зона с высоким содержанием Au (>20 мг/т) в виде “шапки” располагается над изолинией $C_{орг}$, равной 0.08%. В распределении Ag есть видимые отличия, которые связаны с тем, что значительная

часть элемента входит в состав сульфидов и сульфосолей Bi и Cu [3]. Отмечается также закономерность в распределении $C_{орг}$, изменении мощности жилы и в распределении участков с богатыми концентрациями W, Mo и Si.

Присутствие графита в рудных жилах согласуется с данными по изучению содержания воды и углекислоты в кварцах вольфрамовых месторождений Горного Алтая. Так, в работе В.Б. Дергачева и Е.И. Никитиной [8] показано, что кварц из жил и грейзенов Калгутинского месторождения характеризуется более низким содержанием углекислоты (0.002–0.008%) и воды (0.006–0.20%), по сравнению с кварцами других месторождений (0.003–0.016 и 0.015–0.33% соответственно).

Графит образует единую ассоциацию с кварцем и сульфидами (халькопирит, пирит, висмутин, Вi-теннантит), входящими в состав поздних минеральных ассоциаций основного этапа рудообразования.

Полученные данные свидетельствуют об активном участии углерода в процессе рудообразования. Источником углерода, очевидно, являлись глубинные металлоносные флюиды, имеющие восстановленный характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Летников Ф.А.* // Геология руд. месторождений. 2001. Т. 43. № 4. С. 291–307.
2. *Владимиров А.Г., Выставной С.А., Титов А.В. и др.* // Геология и геофизика. 1998. № 7. С. 901–916.
3. *Поцелуев А.А., Котегов В.И.* В сб.: Материалы Всерос. симп. “Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов”. М.: Связь-Принт, 2002. С. 206–210.
4. *Dresselhaus M.S., Pimenta M.A., Eklund P.S.* In: Raman scattering in materials science. Springer Series in Materials Science. N.Y.: Springer-Verlag, 2000. V. 42. P. 314.
5. *McCulloch D.G., Gerstner E.G., McKenzie D.R. et al.* // Phys. Rev. B. 1995. V. 52. P. 850.
6. *Поцелуев А.А., Котегов В.И.* // Изв. вузов. Геология и разведка. 2002. № 4. С. 59–66.
7. *Фор Г.* Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989. 590 с.
8. *Дергачев В.Б., Никитина Е.И.* В сб.: Минералогия и петрография пород и руд главнейших рудных районов Сибири. Новосибирск, 1983. С.18–27.