

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 553.411:550.42:546.26(571.53)

Е.А. Вагина

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА В РУДАХ
ЗОЛОТОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕРТОВО КОРЫТО (ПАТОМСКОЕ НАГОРЬЕ)

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (ГК № П238 от 23.04.2010 г.).

Изучен изотопный состав окисленного в карбонатах и восстановленного в керогене углерода, кислорода карбонатов из руд золотого месторождения Чертово Кoryто, образованного в раннепротерозойской толще черных сланцев. $\delta^{13}\text{C}$ в керогене сланцев имеет значение $-26,2$ и $-24,6\text{‰}$, в карбонатах березитов изменяется в пределах $-18,5\text{‰}$ – $-18,2\text{‰}$, в карбонатах кварцевых жил $-18,4\text{‰}$ – $-17,4\text{‰}$. Близки и укладываются в интервал $14,2\text{‰}$ – $15,1\text{‰}$ значения $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов из березитов и кварцевых жил. Предполагается, что утяжеление изотопного состава углерода карбонатов обусловлено смешением изотопно легкого углерода керогена в процессе его окисления с изотопно тяжелым углеродом, поступавшим в систему с металлоносными растворами.

Ключевые слова: черные сланцы; золотое месторождение Чертово Кoryто; кероген; карбонаты; изотопный состав; углерод; кислород.

В гидротермальных рудных месторождениях углерод присутствует в карбонатной ($\text{C}_{\text{карб}}$) и некарбонатной ($\text{C}_{\text{нк}}$) формах. $\text{C}_{\text{нк}}$ представлен, как правило, керогеном, имеющим состав от кокса до графита, и битумоидами, различающимися внутренней структурой [1]. $\text{C}_{\text{карб}}$ участвует в кальците, анкерите, сидерите и других карбонатах.

Соотношение стабильных изотопов углерода и других элементов используется для определения возможных источников растворов различных месторождений полезных ископаемых [2]. При этом не всегда результаты поддаются одновариантной интерпретации. Известно, что нефракционированный углерод мантии имеет значение $\delta^{13}\text{C} = -4,5\text{‰}$ [3]. Как правило, данные, существенно отклоняющиеся от него, многими расцениваются как признак немантийного происхождения углерода. С другой стороны, изотопные отношения углерода, отвечающие мантийным меткам, интерпретируются в пользу иного источника элемента. Например, в работах Т.А. Иконниковой [4] приведен изотопный состав углерода в сидерите из сланцев хомолхинской свиты месторождения Сухой Лог, значение которого имеет узкий диапазон ($\delta^{13}\text{C} = -5,7 \pm 0,4\text{‰}$). Изотопные отношения углерода в жильном карбонате имеют более широкий интервал и изменяются в пределах от $-4,6$ до $-9,2\text{‰}$. На основании представленных данных автор делает вывод, что вмещающие терригенно-карбонатные породы являются источником углерода, перетолженного в гидротермально-метасоматическом процессе. Аналогичные результаты приведены в [5].

Возможность смешения изотопов углерода из различных источников предполагается после обобщения данных об изотопном составе алмазов. Установленные на сегодня пределы колебаний величины $\delta^{13}\text{C}$ алмазов изменяются от $-34,4$ до $+2,4\text{‰}$ [6]. Значительный разброс значений объясняют рядом причин, в том числе возможным участием углерода различного происхождения. Позднее в [7] было зафиксировано обогащение углерода графита, содержащегося в ксенолитах мантийных пород (кимберлитах), легким изотопом углерода ($-22,72\text{‰}$). Предполагается фракционирование изотопов углерода во флюиде во время передвижения его в мантии.

Из приведенных данных становится очевидным, что для достоверной интерпретации изотопных отношений углерода целесообразно привлекать независимые факты.

В статье приведены результаты исследований изотопного состава углерода керогена сланцев, углерода и кислорода метасоматического анкерита месторождения Чертово Кoryто, на основании которых сделан аргументированный и другими фактами вывод о вероятном источнике металлоносных растворов.

Краткий очерк геологического строения месторождения. Месторождение расположено на севере Патомского нагорья в бассейне р. Б. Патом. Мощная (до 150 м) рудная залежь образована в раннепротерозойской углеродистой толще терригенных сланцев михайловской свиты и сложена гидротермально измененными сланцами и метасоматитами березит-пропилитовой формации с жильно-прожилково-вкрапленной сульфидно-кварцевой минерализацией. Она приурочена к висячему боку складчато-разломной зоны северо-северо-западного простирания (350°), в которой крутопадающий (60°) на запад-юго-запад взброс оперяет Амандраковский глубинный разлом. Сульфидная минерализация сосредоточена в гидротермально измененных породах и метасоматитах. Преобладают пирит, арсенопирит, пирротин, в качестве незначительной примеси в сульфидно-кварцевых комплексах участвуют галенит, сфалерит, халькопирит, микропримеси кобальтина, самородного свинца, ульманита, теллуровисмутита, валлериита. В кварцевых жилах и прожилках сульфиды встречаются эпизодически. Преобладает свободное золото в кварце. Более подробно строение месторождения описано в [8, 9].

Материал для анализа изотопов углерода и кислорода, методика исследования. Изучен изотопный состав углерода керогена, рассеянного в терригенных породах, и анкерита, присутствующего в осветленных березитах и кварцевых жилах. По заключению аналитика Западно-Сибирского испытательного центра (г. Новокузнецк) Г.М. Тиравкова (устное сообщение), кероген в месторождении имеет неупорядоченную структуру, отвечающую переходу от антрацита до кокса, массовая доля которого составляет от 0,09 до 1,9% [10] (табл. 1).

Для анализа изотопных отношений углерода керогена были выбраны пробы с максимальным содержанием $C_{\text{нк}}$ 1,9 и 1,58%. С целью устранения рассеянной примеси карбоната пробы массой 1 г нагревали в 6% растворе HCl при температуре 50...80°C. Затем образцы промывали тридистиллированной водой и высушивали. Монофракции анкерита из березитов и кварцевых жил отбирались из раздробленных пород под биноклем.

Содержания изотопов углерода и кислорода определялись по стандартным методикам на масс-спектрометре Finnigan MAT-253 в Институте геологии и минералогии Российской академии наук г. Новосибирска (аналитики О.П. Изох и В.А. Пономарчук). Результаты измерений даны в величинах $\delta^{13}\text{C}$ по отношению к стандарту PDB и $\delta^{18}\text{O}$ – к стандарту SMOW и представлены в табл. 2 (точность анализа в пределах $\pm 0,1\%$).

Т а б л и ц а 1

Содержание некарбонатного углерода в породах михайловской свиты

Номер пробы	Массовая доля некарбонатного углерода, % $\pm \Delta$ (%)	Порода
71-84,9	0,32 $\pm$ 0,02	Метопесчаник
85-148,8	0,23 $\pm$ 0,01	
86-20,3	0,17 $\pm$ 0,01	
86-110,7	0,29 $\pm$ 0,02	
192-197,0	0,34 $\pm$ 0,02	
192-217,5	0,33 $\pm$ 0,02	
341-48,9	0,07 $\pm$ 0,02	Метопесчаник
86-33,3	0,26 $\pm$ 0,02	
86-67,9	0,20 $\pm$ 0,02	Метопесчаник
341-45,8	0,13 $\pm$ 0,01	
409-183,4	0,23 $\pm$ 0,01	
409-198,3	0,09 $\pm$ 0,02	
305-121,2	1,58 $\pm$ 0,06	Метопесчаник в контакте с аргиллитом
409-21,5	0,39 $\pm$ 0,02	
71-78,7	0,91 $\pm$ 0,05	Аргиллит
86-41,6	0,53 $\pm$ 0,03	
192-111,0	0,69 $\pm$ 0,04	
192-225,3	1,10 $\pm$ 0,04	
305-39,3	1,90 $\pm$ 0,08	

Т а б л и ц а 2

Изотопный состав углерода в керогене, углерода и кислорода в анкерите

Номер пробы	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰
Кероген из пропилитизированных терригенных пород		
192-225,3	-26,2	
305-121,2	-24,6	
Анкерит из осветленных березитов		
85 (74,1-73,5)	-18,4	14,3
85-73,9	-18,5	14,2
84-67,5	-18,2	14,8
84-66,5	-18,4	14,6
85-73,9	-18,4	14,7
Анкерит из крупных гнездовых выделений в кварцевых жилах		
87-132,0	-17,8	15,1
195-113,2	-17,7	14,6
192-178,9	-17,7	14,2
194-161,5	-18,4	14,5
197-53,7	-17,4	14,5

Результаты исследования, обсуждение, выводы. Изотопные отношения углерода керогена составляют -26,2 и -24,6‰. Утяжеленными значениями $\delta^{13}\text{C}$ характеризуется анкерит из березитов (-18,5...-18,2‰) и кварцевых жил (-18,4...-17,4‰). Изотопные отношения кислорода анкерита укладываются в узкий диапазон $\delta^{18}\text{O}$ (14,2...15,1‰).

При интерпретации полученных изотопных отношений углерода учитывается ряд фактов.

1. Рудная залежь приурочена к висячему боку субмеридионального глубинного разлома, вытянута вдоль него и постепенно, по мере удаления на запад (на расстоянии 500 м), выклинивается. Рудоконтролирующая роль разлома в данном случае реализована через его раствороподводящую функцию [9, 10].

2. Присутствие в рудной залежи внутрирудных даек-флюидопроводников умеренно-щелочных долеритов [8] доказывает функционирование рудообразующего процесса в условиях высокой активности мантийного магматического очага (очагов) и чередующееся во времени внедрение в область рудообразования умеренно-щелочных базальтовых расплавов и металлоносных растворов.

3. В осветленных (без керогена) апосланцевых березитах рудной залежи в ближнем обрамлении рудоконтролирующего разлома зафиксированы контрастные аномалии фемофильных элементов в ассоциации P, Ti, Fe, Mg, Ca, Mn. Ti накапливался в форме рутила и лейкоксона, P – апатита, Mg, Fe, Mn, Ca – карбонатов [11].

4. Изотопный состав серы ранних метасоматических и поздних (в кварцевых жилах) сульфидов руд укладывается в интервал +1,8...+4,7‰, т.е. близок к метеоритному стандарту [12].

Аналогичные факты в их сочетании установлены в соседнем месторождении Сухой Лог и в других образованных в черносланцевом и кристаллическом субстрате мезотермальных золотых месторождениях Северного Забайкалья (Каралонское, Кедровское, Ирокиндинское и др.), Енисейского района (Советском и др.), Западного Узбекистана (Мурунтау, Чармитан и др.) [13–18]. Эти факты служат доказательством уча-

стия в рудообразовании глубинных металлоносных растворов, генерированных в очагах умеренно-щелочных базальтовых расплавов. С этим выводом согласуются также близкие к мантийным меткам изотопные отношения углерода гидротермальных карбонатов, обычные в золоторудных полях, образованных в черносланцевом и кристаллическом субстрате [19] (рис. 1).

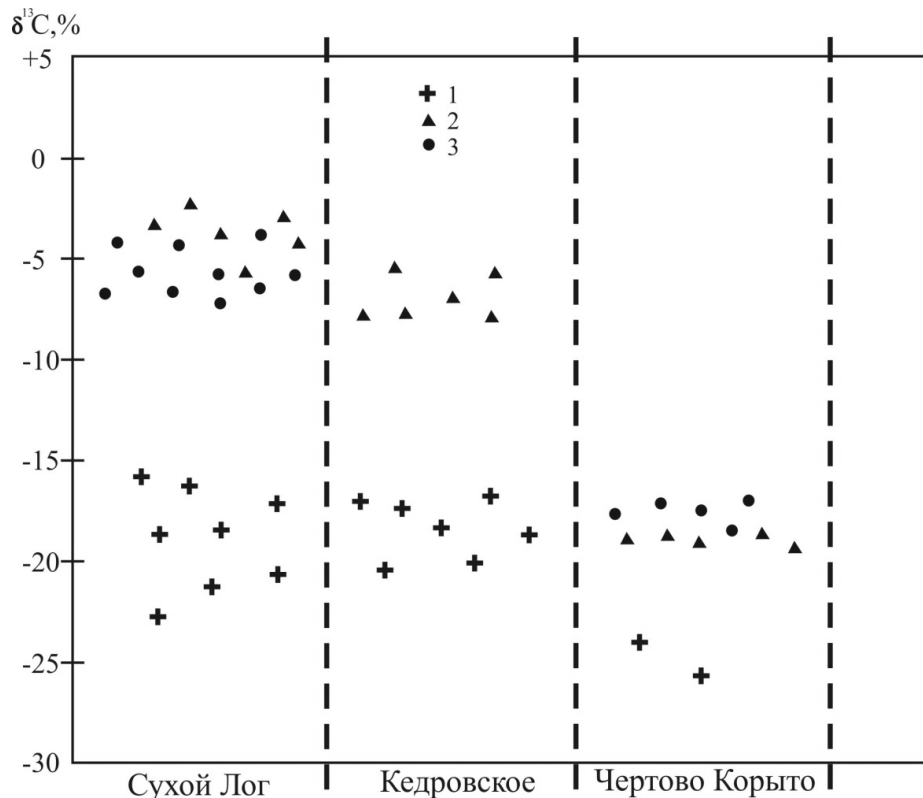


Рис. 1. Изотопные отношения некарбонатного и карбонатного углерода в месторождениях Сухой Лог, Кедровское и Чертово Кoryто: 1 – кероген, рассеянный в породах; 2 – анкерит, рассеянный в пропилитах и безрезитах; 3 – анкерит из кварцевых жил

В анкерите месторождения Чертово Кoryто изотопные отношения углерода соответствуют значениям, промежуточным между изотопно легким углеродом керогена и изотопно тяжелым мантийным углеродом. Вероятно, поступление последнего в область рудообразования происходило с растворами в составе глубинной углекислоты, привнос значительных масс которой доказывается балансовыми расчетами [20] и обычен в процессах безрезитизации-пропилитизации. Если это так, то нарастающее от керогена через ранний анкерит безрезитов к позднему анкериту кварцевых жил и прожилков изотопное утяжеление углерода может быть следствием частичного смешения глубинного окисленного углерода с восстановленным углеродом керогена сланцев в процессе его окисления, сопровождаемого осветлением апочерносланце-

вых безрезитов. Изотопный состав кислорода анкерита при этом обычен в гидротермальных карбонатах. Вместе с тем маловероятно унаследование изотопно тяжелого углерода седиментогенных карбонатов (скажем, кальцита) по причине отсутствия их в рудовмещающей толще черных сланцев. В других мезотермальных месторождениях, например в Сухом Логу, эффект смешения отсутствует, и, в отличие от месторождения Чертово Кoryто, дефицит осветленных (без керогена) безрезитов здесь служит признаком функционирования восстановленных растворов, не способных окислять углерод керогена.

Автор выражает благодарность И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилову за просмотр рукописи и сделанные замечания, устранение которых способствовало улучшению работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Углеродистое вещество в метаморфических и гидротермальных породах / Д.Х. Мартихаева, В.А. Макрыгина, А.Е. Воронцова, Э.А. Развожаева. Новосибирск : Гео, 2001. 127 с.
2. Кулешов В.Н. Изотопный состав и происхождение глубинных карбонатов. М. : Наука, 1986. 128 с.
3. Изотопная геология / под ред. Э. Йегера и И. Хунцикера. М. : Недра, 1984. 333 с.

4. Иконникова Т.А. Поведение стабильных изотопов (О, С, S) в гидротермально-метасоматическом рудообразовании на месторождении Сухой Лог : дис. ... канд. геол.-минер. наук. М., 2010. 123 с.
5. Кряжев С.Г., Устинов В.И., Гриненко В.А. Особенности флюидного режима формирования золоторудного месторождения Сухой Лог по изотопно-геохимическим данным // Геохимия. 2009. № 10. С. 1108–1117.
6. Галимов Э.М. Вариации изотопного состава алмазов и связь их с условиями алмазообразования // Геохимия. 1984. № 8. С. 1091–1115.
7. Галимов Э.М., Соловьев Л.В., Беломестных А.В. Изотопный состав углерода метасоматически измененных пород мантии // Геохимия. 1989. № 4. С. 195–198.
8. Гаврилов В.Ю., Кучеренко И.В., Мартыненко В.Г. и др. Объемная геолого-геохимическая модель мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корято (Патомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 315, № 1. С. 30–43.
9. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верховин А.В. Структурно-динамическая модель золоторудных месторождений образованных в несланцевом и черносланцевом субстрате. Ч. 2: Месторождения Чертово Корято (Патомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 314, № 1. С. 23–38.
10. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верховин А.В. Петролого-геохимические черты рудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Чертово Корято (Патомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 312, № 1. С. 11–20.
11. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верховин А.В. Новые данные о феофильной специализации золотоносных березитов // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 315, № 1. С. 26–29.
12. Вагина Е.А. Изотопный состав серы сульфидов руд золотого месторождения Чертово Корято (Патомское нагорье) // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 353. С. 11–20.
13. Кучеренко И.В. Магматогенное золотое оруденение в структурах допалеозойской складчатости (на примере южного обрамления Сибирской платформы) : дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Томск, 1991. Т. 1. 243 с.
14. Изотопный состав серы сульфидов некоторых золоторудных месторождений зоны БАМ / И.А. Загружина, М.Н. Голубчина, Е.П. Миронюк и др. // Записки Всесоюз. минералогич. об-ва. 1980. Ч. 109, вып. 3. С. 290–300.
15. Кучеренко И.В., Ларская Е.С., Панкина Р.Г. и др. Распределения и источники углерода в околорудных метасоматических ореолах терригенно-сланцевых толщ Байкало-Витимской геосинклинально-складчатой системы // Геохимия. 1990. № 6. С. 797–806.
16. Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Раздолина Н.В. Генезис золото-кварцевого месторождения Чармитан (Узбекистан) // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38, № 3. С. 238–257.
17. Русинова О.В., Русинов В.Л. Метасоматический процесс в рудном поле Мурунтау (Западный Узбекистан) // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45, № 1. С. 75–96.
18. Berger B.R., Drew L.J., Goldfarb R.J., Snee L.W. An epoch of gold riches: the late Paleozoic in Uzbekistan, Central Asia // Newsletter Soc. Econ. Geol. 1994. № 16. P. 7–11.
19. Кучеренко И.В. Металлогения золота: приложение к мезотермальным месторождениям, образованным в несланцевом и черносланцевом субстрате горно-складчатых сооружений Южной Сибири // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых : материалы Междунар. конф. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010. С. 241–256.
20. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю. Явление накопления феофильных элементов в золотоносных березитах и базальтогенная концепция мезотермального рудообразования // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 317, № 1. С. 20–26.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 16 марта 2012 г.