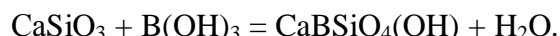


ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА ПРИ ОБРАЗОВАНИИ КАЛЬЦИТА ДАЛЬНЕГОРСКОГО СКАРНОВО-ДАТОЛИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

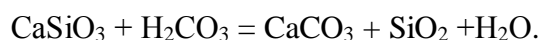
В. Н. Анфилов, С. А. Садыков

Институт минералогии УрО РАН, anfilov@mineralogy.ru

Дальнегорское датолитовое месторождение локализовано в крупном скарном массиве, образованном при скарнировании блока прибрежно-морских рифовых известняков. Основной объем скарного тела сложен волластонитом и геденбергитом. Датолит образуется по волластониту при его взаимодействии с бор содержащим гидротермальным раствором:



Основная масса кальцита и кварца образуется в гипергенных условиях при разложении волластонита при его взаимодействии с насыщенными углекислотой подземными водами:



На месторождении были отобраны пробы из блоков известняка, в которых залегают тела скарнов и датолита и кристаллы разных генераций кальцита, четко различающиеся по морфологии. Изотопные отношения в известняке варьируют от $\delta^{13}\text{C} = -1.90$ до $+0.41$ ‰, PDB.

В кальците разных генераций и морфологических форм установлен следующий изотопный состав:

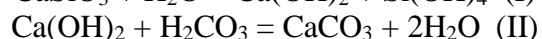
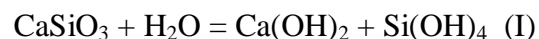
Образец № 1 представляет собой гексагональную призму {11-20} значения $\delta^{13}\text{C}$ меняются от -14.97 до -11.04 ‰, PDB; в головке кристалла на гранях разброс значений составляет от -17.28 до -12.33 ‰, PDB. Среднее значение по образцу -13.34 ‰, PDB.

Образец № 2 – крупный кристалл розоватого цвета размером 6?3 см в виде гексагональной призмы со сколами по спайному ромбоэдру. Разброс значений $\delta^{13}\text{C}$ составляет от -15.53 до -10.42 ‰, PDB. Среднее значение по образцу -13.27 ‰, PDB.

Образец № 3 – бесцветный кристалл размером 4?0.7 см представляет собой комбинацию гексагональной призмы, скаленоэдра {32-51} и тупого ромбоэдра {04-41}. Среднее значение по образцу -17.38 ‰, PDB.

Образец № 18 представлен агрегатом, в котором наблюдается совместное срастание папиришпата и кварца. Пробы были взяты из головки кальцит-кварцевого агрегата и противоположной части – основания образца. Величина $\delta^{13}\text{C}$ равна для головки -10.84 ; для основания -11.84 ‰, PDB.

Результаты изучения изотопного состава углерода свидетельствуют о том, что кальцит датолитового месторождения значительно обогащен легким изотопом углерода. Это обогащение намного превышает содержание ^{12}C в известняке, по которому образовались скарные минералы. Оно значительно выше содержания ^{12}C в атмосфере и в подземных водах [Галимов, 1968]. В связи с этим мы высказали предположение о том, что фракционирование изотопов углерода связано с спецификой процесса образования кальцита при разложении волластонита. Мы предположили, что этот процесс идет в две стадии:



и, что фракционирование изотопов углерода происходит на второй стадии.

Для проверки этого предположения нами был проведен следующий опыт. Исходный известняк был прокален при температуре 1100 °C до полного удаления CO_2 . Полученный оксид кальция был «погашен» водой и переведен в форму Ca(OH)_2 . Водная суспензия Ca(OH)_2 была нанесена на стеклянную пластинку, которая была выдержана на воздухе в течение 700 часов. Полученный таким способом карбонат кальция оказался резко обогащенным легким изотопом: от -26 до -34 ‰, PDB, в зависимости

от времени выдержки пластинки на воздухе [Садыков, 2007; Садыков и др., 2009]. Полученные значения $\delta^{13}\text{C}$ оказались значительно выше углекислоты $\delta^{13}\text{C}$ воздуха [-7 ? -10 ‰, PDB, Галимов, 1968; Галимов, 1984; Кулешов, 1986].

Таким образом, при кристаллизации кальцита Дальнегорского датолитового месторождения действовали, по крайней мере, три источника углерода: 1 – углерод из известняка, имеющий $\delta^{13}\text{C} = -1.90 - +0.41$ ‰, PDB; 2 – углерод подземных вод, имеющий $\delta^{13}\text{C} = -2$ ‰, PDB; 3 – углерод, обогащенный легким изотопом углерода, полученный при разложении волластонита. В зависимости от направления и режима движения раствора в зоне роста кристаллов кальцита вклад этих источников может меняться, в результате чего изотопные отношения в кальците варьируют в широких пределах.

В связи с тем, что при росте кристаллов кальцита углерод поступает из разных источников, представляет интерес изучить распределение изотопов углерода в объеме одного монокристалла. Для этого был выбран монокристалл низкотемпературного кальцита размером 2.3×3.0 см толщиной около 2 мм, имеющий форму таблитчатой шестигранной призмы, рис. 1. В кристалле наблюдаются 4 зоны: I – центральная мутная часть (затравка), II – прозрачная зона вокруг затравки, III – белая непрозрачная зона, IV – прозрачная периферическая зона. Пробы были отобраны с поверхности пинакоида по секторам, отвечающим разным граням призмы для каждой из четырех зон. На рис. 2 приведено изменение значений отношений изотопов углерода во внешней 4-й зоне на разных гранях.

Приведенные результаты показывают, что в процессе роста кристаллов соотношение изотопов углерода в кристалле может изменяться от $\delta^{13}\text{C} = -7.61$ ‰, PDB до -9.89 ‰, PDB. Скорее всего, это обусловлено изменением направления движения потока раствора, поступающего к растущему кристаллу, в результате чего меняется и отношение изотопов, поступающих в раствор из разных источников. Наиболее наглядно это видно для IV зоны, у которой легким изотопом обогащены грани 1, 2 и 6, а тяжелым – противоположные им грани 3, 4 и 5 (рис. 2). Это позволяет сделать вывод, что питающий раствор двигался в направлении, перпендикулярном граням 1 и 4.

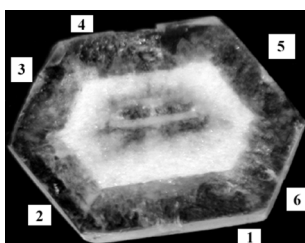


Рис. 1. Образец кальцита, месторождение «Бор» (Дальнегорск, Приморский край). Цифрами обозначены грани, по которым производился отбор проб для определения отношения $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$.

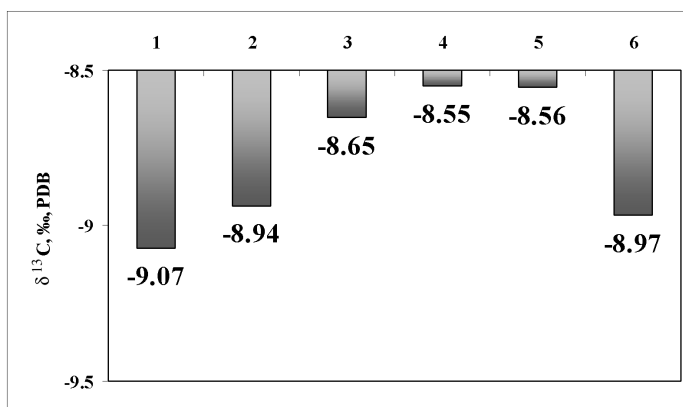


Рис. 2. Распределение значений $\delta^{13}\text{C}$ в кристалле гипергенного кальцита в зоне IV. Нумерация граней соответствует рис. 1.

Литература

- Галимов Э. М. Биологическое фракционирование изотопов. 1984. 261 с.
 Галимов Э. М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 1968. 226 с.
 Кулешов В. Н. Изотопный состав и происхождение глубинных карбонатов. М.: Наука, 1986. 128 с.
 Садыков С. А. Изотопное фракционирование углерода: модели и реальность // V Всероссийское совещание «Минералогия Урала–2007», Миасс–Екатеринбург, 2007. С. 300–304.
 Садыков С. А., Осипов А. А., Анфилогов В. Н. Влияние магнитного поля на фракционирование изотопов углерода при взаимодействии $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с углекислотой воздуха // ДАН, 2009. Т. 428, № 6. С. 774–776.