

Alt J. C., Shanks W. C. Serpentinization of abyssal peridotites from the MARK area, Mid-Atlantic Ridge: Sulfur geochemistry and reaction modeling // Geoch. et Cosmoch. Acta, 2003. Vol. 67. №. 4. P. 641–653.

Palandri J. L., Reed M. H. Geochemical models of metasomatism in ultramafic systems: Serpentinization, rodingitization, and sea floor carbonate chimney precipitation // Geoch. et Cosmoch. Acta, 2004. Vol. 68. №. 5. P. 1115–1133.

*Д. А. Артемьев, Н. Н. Анкушева
Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
artemyev@ilmeny.ac.ru*

Типы и условия образования офикальцитов из рудоносных систем Главного Уральского разлома

На южном фланге зоны Главного Уральского разлома локализовано несколько кобальт-медноколчеданных месторождений и рудопроявлений, приуроченных к ультрамафитам. Наиболее крупными объектами этого типа являются Ишкининское, Ивановское и Дергамышское месторождения [Зайков, Мелекесцева, 2005]. Они перекрываются олистостромами нижне-среднедевонского возраста, характеризующимися сложным тектоно-гравитационным генезисом и содержащими небольшие тела серпентинитов и офикальцитов. Офикальциты являются закономерными элементами офиолитовых разрезов сутурных зон мира, где они часто залегают в кровле серпентинитовых массивов. Они представляют собой серпентинит-карбонатные брекчии, сложенные угловатыми обломками серпентинитов, карбонатов, размером до 5 см, сцементированными карбонатным матриксом и разбитыми сетью карбонатных жил и прожилков [Книппер и др., 1978].

Целью работы стало установление условий образования различных типов офикальцитов, известных на рудных полях колчеданных месторождений Главного Уральского разлома, по данным газово-жидких флюидных включений в кальците из цемента брекчий.

На Дергамышском рудном поле блоки офикальцитов размером до 15 м известны возле с. Байгускарово, где слагают разрез, представленный чередующимися пластинами базальтов, кремней и серпентинитов, а также вскрыты скважиной недалеко от дер. Казанка, где чередуются с пластинами серпентинитов, базальтов, ксенолавокластитов и полимиктовых песчаников.

На Ишкининском рудном поле офикальциты сосредоточены вблизи границы вулканомиктовой и кремнистой пачек олистостромы, где представлены несколькими блоками поперечником 2–4 м, часть которых располагается в кремнистом субстрате, часть – среди вулканомиктовых брекчий. Офикальциты сложены угловатыми (реже округлыми) обломками апогарцбургитовых и аподунитовых серпентинитов, апосерпентинитовых тальк-карбонатных пород, карбонатов, переотложенных офикальцитов и др., сцементированы гематит-кальцитовым и гематит-кварц-кальцитовым матриксом, содержащим незначительное количество арагонита, магнезита и сидерита. Отличительной особенностью офикальцитов является наличие в некоторых из них значительных скоплений новообразованных гранатов, размером до 0.3 мм, представленных спессартином и гидрогроссуляром.

В центральной части рудного поля в зонах тальк-карбонатных метасоматитов также находятся крупные карбонатные жилы мощностью до 3 м, сложенные преимущественно кальцитом и содержащие обломки карбонатизированных серпентинитов размером до 20 см. Исследование их геологии и геохимических особенностей позволяет сделать вывод о том, что данные образования являются подводными каналами для гидротермальных растворов, формировавших в кровлях серпентинитовых массивов офикальциты.

Среди обширного многообразия офикальцитов, известных на колчеданосных рудных полях Главного Уральского разлома, по составу обломков и цементу были выделены 4 основных типа (табл.).

Т а б л и ц а

Типы офикальцитов колчеданосных полей Главного Уральского разлома

Тип	Описание	Отнош. обломки/цемент	Состав обломков	Состав цемента	Особенности
I	Серпентинит-карбонатные брекчии с обломками серпентинитов и кальцитовым матриксом	3:2–1:1	серпентиниты (80–100 %), тальк-карбонатные метасоматиты (5–10 %), другие (менее 1 %)	кальцитовый и гематит-кальцитовый	гранат отсутствует
II	Серпентинит-карбонатные брекчии с обломками серпентинитов и карбонатов (часто биогенных) с гематит-карбонатным матриксом	3:2–2:3	серпентиниты (60–80 %), тальк-карбонатные метасоматиты (20–30 %), карбонаты (в т.ч. биогенные) (5–10 %), другие (менее 1 %)	гематит-кальцитовый	единичные зерна граната
III	Серпентинит-карбонатные брекчии с обломками серпентинитов, карбонатов и ранних брекчий с гематит-кварц-карбонатным матриксом	1:1–1:3	серпентиниты (30–60 %), тальк-карбонатные метасоматиты (20–40 %), карбонаты (в т.ч. биогенные) (15–25%), офикальциты (20–30 %), другие (менее 1 %)	гематит-кварц-карбонатный	значительное количество граната
IV	Серпентинит-карбонатные брекчии с обломками серпентинитов, карбонатов, ранних брекчий и силицитов в кварц-гематит-карбонатном матриксе	1:1–1:2	серпентиниты (15–30 %), тальк-карбонатные метасоматиты (20–30 %), офикальциты (30–40 %), кремни (10–20 %), карбонаты (5–10 %), другие (менее 1 %)	гематит-кварц-карбонатный и гематит-карбонатный	значительное количество граната

Хромшпинелиды из обломков серпентинитов по геохимическим параметрам соответствуют таковым из серпентинитов рудоносных зон и характерны для надсубдукционных перидотитов. В карбонатном цементе офикальцитов зафиксированы повышенные содержания Со (в 5 раз), не характерные для биогенного карбоната, что указывает на их связь с гидротермальным колчеданным оруденением. Исследования изотопных соотношений $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в кальците из цемента офикальцитов показали значения $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в интервале $-6...-11$ ‰, (PDB) и значения соотношений изотопов $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в интервале $+8...+14$ ‰ (SMOW), которые характерны для карбонатов гидротермального происхождения [Артемьев и др., 2005].

Для установления условий образования офикальцитов были проведены термобарогеохимические исследования флюидных включений в кальците из карбонатных жил и офикальцитов с использованием микрокриотермостолика THMSG-600 (LINKAM), позволяющего производить измерения температур фазовых переходов в интервале -196 до $+600$ °С, с микроскопом Olympus (объектив $50\times$). Управляющее программное обеспечение LinkSys V-2.39. Точность измерений ± 0.1 °С в интервале температур $-20...+80$ °С и ± 1 °С за пределами этого интервала. Солевой состав гидротермальных растворов во включениях оценивался по температурам эвтектик [Борисенко, 1977]. Температуры гомогенизации фиксировались в момент исчезновения газового пузырька при нагревании препарата в термокамере и приняты за минимальные температуры процесса минералообразования [Реддер, 1987]. Концентрации солей в растворах рассчитывались по температурам плавления последних кристаллических фаз [Vodnar, Vityk, 1994]. Исследования проводились в лаборатории термобарогеохимии на геологическом факультете ЮУрГУ (Миасс).

Для исследований использовались двухфазные включения в кальците размером $5-12$ мкм, состоящие из водного раствора и газового пузырька, часто имеющие форму отрицательных кристаллов. Выбранные включения не имеют видимой связи с залеченными трещинами и, скорее всего, являются первичными. Солевой состав растворов преимущественно хлоридно-натриевый. Соленость растворов составляет, в среднем, $3-5$ мас. % NaCl-экв. (достигая 7 мас. %), что близко солености морской воды.

По температурам гомогенизации флюидных включений установлено, что наиболее высокотемпературными являются офикальциты I типа, установленные на Ишкининском месторождении ($T_{\text{гом}} = 240-280$ °С) и выявленные на Казанском участке, формировавшиеся, вероятно, под поверхностью морского дна. К ним относятся небольшие блоки серпентинит-карбонатных брекчий, которые в верхней части массивов постепенно сменяют многочисленные карбонатные жилки и прожилки в серпентинитах.

Офикальцитовые постройки, отлагавшиеся на морском дне, и представленные II и III типами, формировались при более низких температурах ($T_{\text{гом}} = 100-180$ °С). Их подводные каналы, выраженные в настоящее время крупными карбонатными жилами, имели схожие температуры формирования ($T_{\text{гом}} = 170-190$ °С) (рис. 1). Сходство их минералогических и термобарогеохимических особенностей позволяет говорить об их генетическом родстве.

Полученные данные сходны с результатами ранее проведенных термобарогеохимических исследований флюидных включений в минералах сульфидных кварц-карбонатных жил на рудных полях ГУРа. Концентрации солей в растворах, формировавших сульфидную минерализацию (в сростаниях с кварцем и кальцитом) на Ишкининском и Ивановском месторождениях составили $1.3-4.5$ мас. % NaCl-экв. Температуры гомогенизации включений $130-200$ °С [Юминов и др., 2002; Анкушева, 2006].

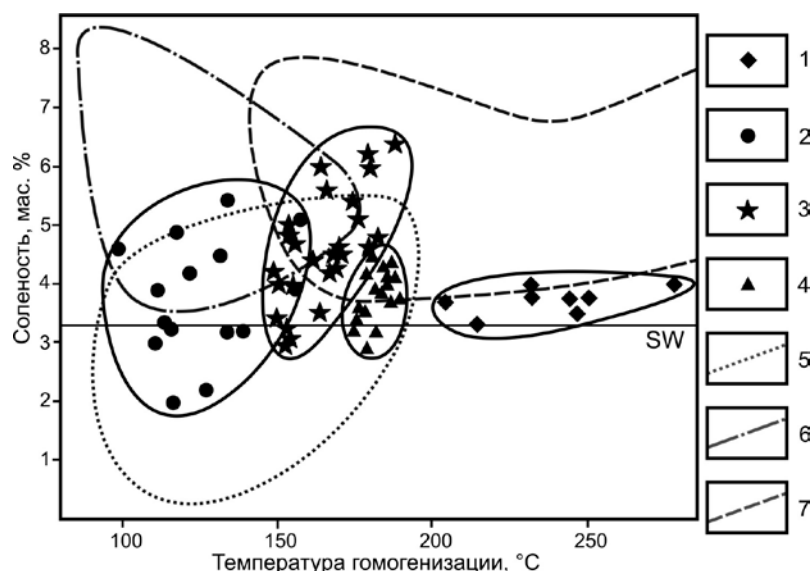


Рис. 1. Соотношение солености раствора во включениях и температур их гомогенизации из карбоната офикальцитов: 1–4 – офикальциты ГУРа: 1 – I тип (Ишкининское месторождение); 2 – II тип (Ишкининское и Дергамышское месторождения); 3 – III тип (Ишкининское месторождение); 4 – карбонатные жилы (Ишкининское месторождение); 5 – карбонатные прожилки с сульфидной минерализацией Ишкининского месторождения [Юминов и др., 2002]; 6 – карбонатный матрикс офикальцитов Квебекских Аппалач [Chi, Lavoie, 2000]; 7 – ангидрит-сульфидная минерализация гидротермального поля Рейнбоу в ультрамафитах [Бортников и др., 2004]. SW – соленость морской воды при нормальных условиях (25 °C).

По результатам проведенных исследований были выделены 4 уровня образования офикальцитов: 1) брекчии, формировавшиеся в кровле массивов под морским дном; 2) первичные карбонатные постройки на морском дне; 3) переотложенные брекчии и постройки с гидротермальным цементом; 4) переотложенные карбонатные брекчии с осадочным иловым цементом. С 3 уровнем связано формирование гранатов (андрадита и гидрогроссуляра), ассоциирующихся с обломками тальк-карбонатных пород в офикальцитах и появление кварцевых прожилков в цементе. Формирование гранатов в офикальцитах, исходя из их приуроченности к определенному типу брекчий, происходило при температурах 150–180 °C, что аналогично таковым из офикальцитов Апеннин и Альп.

Офикальциты являются одним из элементов гидротермальной системы, функционировавшей в девоне в островодужной системе Уральского палеоокеана и формировавшей колчеданные месторождения. Формирование офикальцитов происходило в нижнем девоне в придонных условиях в устьях затухающих гидротермальных источников на поздних стадиях колчеданного рудоотложения. Их генезис связан с образованием в кровле серпентинитовых массивов гидротермальных серпентинит-карбонатных брекчий и карбонатных построек, которые разрушались, переотлагались и цементировались новыми порциями растворов; стадийность этих процессов отражена в формировании нескольких типов (рис. 2). При последующих тектоно-гравитационных процессах они в виде олистолитов попадали в олистостромы.

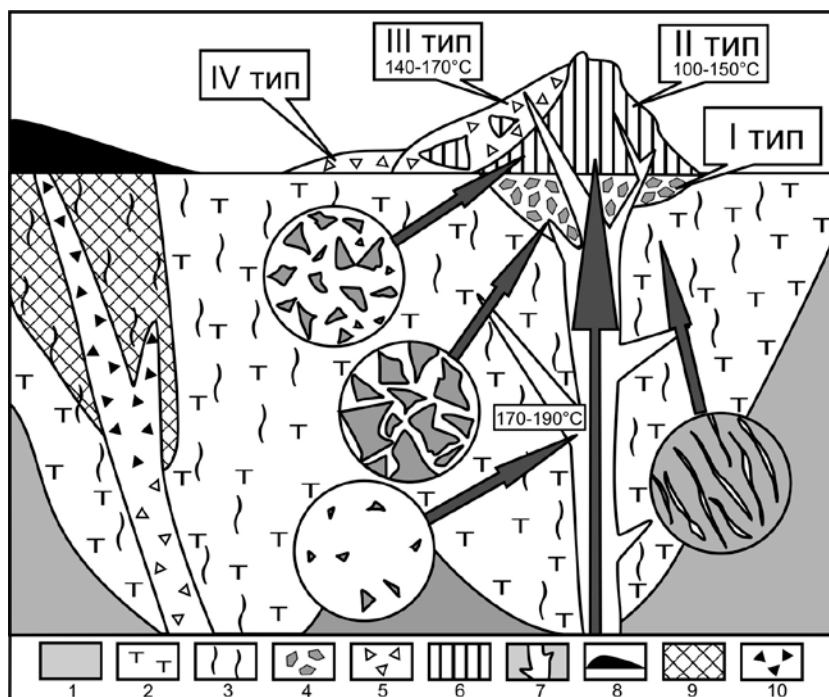


Рис. 2. Модель образования различных типов офикальцитов на колчеданных месторождениях Главного Уральского разлома: 1 – серпентиниты; 2 – зоны тальк-карбонатных метасоматитов; 3 – карбонатные прожилки в серпентинитах и метасоматитах; 4–6 – офикальцитовые брекчии: 4 – под поверхностью морского дна, 5 – перестроенные, 6 – постройки; 7 – карбонатные жилы; 8–10 – колчеданные руды: 8 – массивные; 9 – прожилково-вкрапленные; 10 – сульфидно-серпентинит-карбонатные брекчии.

Офикальциты во многом сходны с низкотемпературными карбонатными постройками и брекчиями, установленными на современных гидротермальных полях [Вонпати et al., 1974 и др.]. Состав, соленость и температурный режим гидротермальных растворов, формировавших офикальциты ГУРа, близки растворам, приводившим к формированию колчеданных залежей и составляют порядка 100–200 °С. Основной составляющей гидротермальных растворов, формировавших офикальциты и карбонатные жилы, являлась морская вода.

Исследования поддержаны РФФИ (07-05-00260-а), грантом молодых ученых УрО РАН, интеграционным проектом ученых УрО–СО РАН и ЮУрГУ.

Литература

Анкушева Н. Н. Физико-химические условия формирования сульфидно-кварцевой минерализации Ивановского рудного поля (Южный Урал) // *Металлогения древних и современных океанов–2006. Условия рудообразования.* Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. С. 233–237.

Артемьев Д. А., Садыков С. А., Юминов А. М. Изотопия углерода и кислорода гидротермальных и седиментационных карбонатов Ишкининского кобальт-медно-

колчеданного месторождения (Ю. Урал) // *Металлогения древних и современных океанов–2005. Формирование месторождений на разновозрастных океанических окраинах*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2005. Т. 2. С. 77–82.

Борисенко А. С. Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // *Геология и геофизика*, 1977. № 8. С. 16–28.

Бортников Н. С., Симонов В. А., Богданов Ю. А. Флюидные включения в минералах из современных сульфидных построек: физико-химические условия минералообразования и эволюция флюида // *Геология рудных месторождений*, 2004. № 1. Т. 46. С. 74–87.

Зайков В. В., Мелекесцева И. Ю. Кобальт-медноколчеданное оруденение в ультрамафитах аккреционной призмы западно-Магнитогорской палеоостровной дуги // *Литосфера*, 2005. № 3. С. 73–98.

Книппер А. Л. Офикальциты и некоторые другие типы брекчий, сопровождающие доорогенное становление офиолитового комплекса // *Геотектоника*, 1978. № 2. С. 50–66.

Реддер Э. Флюидные включения в минералах: в 2-х т. Т. 1. Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 560 с.

Юминов А. М., Симонов В. А., Зайков В. В. Физико-химические параметры гидротермальных процессов на Ишкининском колчеданном месторождении (Южный Урал) // *Уральский минералогический сборник № 12*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2002. С. 98–110.

Vodnar R. J., Vityk M. O. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions // *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Pontignana-Siena, 1994. P. 117–130.

Bonatti E., Emiliani G., Ferrara G., Honnorez J., Rydell H. Ultramafic-carbonate breccias from the Equatorial Mid Atlantic Ridge // *Marine Geol.* 1974. Vol. 16. P. 83–102.

Chi G., Lavoie D. A combined fluid-inclusion and stable isotope study of Ordovician ophicalcite units from Southern Quebec Appalachians, Quebec // *Geological Survey of Canada*, 2000. 9 p.

В. А. Симонов¹, Т. В. Шилова¹, В. В. Масленников², И. Р. Джонассон³

¹ – *Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск*
simonov@uiggm.nsc.ru

² – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс*

³ – *Геологическая служба Канады, г. Оттава, Канада*

Флюидные включения в минералах «черных курильщиков» Галапагосского рифта, Тихий океан

Активные исследования дна Тихого океана позволили установить целый ряд гидротермальных полей с сульфидными рудами. Большинство гидротерм приурочено к структурам Восточно-Тихоокеанского поднятия. В то же время, к востоку от него в приэкваториальной зоне находится Галапагосский рифт, для которого также характерны гидротермальные руды. Здесь найдены крупные тела (протяженностью сотни метров и мощностью до 35 метров) массивных сульфидов, а также отдельные сульфидные постройки [Рона, 1986; Malahoff, 1982; Skirrow, Coleman, 1982 и др.].