

(рис. 2б) и тонкими, почти пленочными некристаллическими (?) образованиями (рис. 2в). Подобные минерализованные пленки определяются как следы жизнедеятельности бактерий или цианобактерий [Leonova et al., 2014] и, вероятно, могут указывать на активную роль прокариот в формировании конкреций. Биополимерное вещество, образующееся в процессе жизнедеятельности микробных организмов, может замещаться SiO₂ [Абызов и др., 2002; Орлеанский и др., 2007].

Таким образом, тонкая слоистость отложений, вмещающих конкреции, свидетельствует о спокойной обстановке водной среды в карстовой полости, вода была насыщена Са и СО₂ и имела щелочную реакцию рН и конкреции сингенетичны отложениям карстовой полости. Однако неясным остается накопление в отложениях и конкрециях Al и Fe. Вулканический материал в отложениях не обнаружен. Это станет задачей наших дальнейших исследований.

Литература

Абызов С. С., Велеш М., Вестал Ф., Воробьева Е. А., Гептнер А. Р., Герасименко Л. М., Гиличинский Д. А., Жегалло Е. А., Заварзин Г. А., Звягинцев Д. Г., Орлеанский В. К., Раабен М. Е., Розанов А. Ю., Сергеев В. Н., Соина В. С., Ушатинская Г. Т., Хувер Р., Школьник Э. Л. Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. 187 с.

Орлеанский В. К., Карпов Г. А., Жегалло Е. А., Герасименко Л. М. Биогенно-кремнистые постройки термальных полей и их лабораторное моделирование // Мат. IV междунар. сем. «Минералогия и жизнь: происхождение биосферы и коэволюция минерального и биологического миров, биоминералогия». Сыктывкар: Геопринт, 2007. С. 127–128.

Leonova L. V., Litvinova T. V., Glavatskikh S. P. Specific microaggregates and problematic microfossils as satellites of biogenetic rocks // Paleontological Journal. 2014. Vol. 48 (14). P. 1552–1556.

В. И. Лысенко¹, С. А. Садыков², В. А. Лутай¹

¹ – Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова в г. Севастополе
niagara@mail.ru

² – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

Морфология и изотопный состав сульфидно-карбонатных построек эффузивных пород верхнего триаса юго-западной части Горного Крыма

В настоящее время исследователи уделяют большое внимание изучению сульфидных построек черных и серых курильщиков, которые связаны с гидротермальными полями или современными вулканами дна океанов. В зависимости от глубины водной толщи, тектоники, температурных и физико-химических параметров среды в пределах даже одного поля эти постройки отличаются морфологией и минеральным составом [Богданов и др., 2006]. Подобные постройки найдены на поверхности лавовых потоков и в туфовой толще палеовулкана верхнего триаса, расположенного в юго-западной части Горного Крыма. Они позволили предложить новый вариант реконструкции вулканической деятельности региона в позднем триасе [Лысенко, 2017].

Целью исследований является установление генезиса и условий образования сульфидно-карбонатных, карбонат-кварц-сульфидных и карбонатных построек в эффузивной толще верхнего триаса. В ходе исследования были изучены образцы трубчатых и плоских тел, собранные во время геологического картирования объекта. Для различных по морфологии построек установлен изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{34}\text{S}$ масс-спектрометрическим методом измерения изотопных отношений (IRMS) на приборе Delta^{plus} Advantage (ИМин УрО РАН). Всего проанализировано 25 проб на $\delta^{13}\text{C}$ и 21 проба – на $\delta^{34}\text{S}$.

Изученные выходы эффузивных пород расположены в верхней части прибрежного склона ЮБК над пос. Тессели. Обнажения магматических пород в предгорной полосе образуют три зоны: южную, центральную и северную [Лысенко, 2017]. Сульфидно-карбонатные трубчатые образования встречаются на верхней поверхности лавовых палеопотоков в центральной зоне, а плоские постройки встречаются в туфовой толще в западной ее части.

«Трубчатые» сульфидно-карбонатные постройки имеют резкие контакты с лавами андезитов и вмещающими породами таврической серии. Их рост осуществлялся перпендикулярно поверхности лавового потока и слоистости вмещающей терригенной толщ. Большинство построек представлено вертикальными или слабоизогнутыми трубами длиной до 80 см и диаметром до 20 см. В обнажениях они часто разбиты на отдельные блоки цилиндрической и, реже, шаровидной, эллипсоидной, конусовидной морфологии. Диаметр труб сильно варьирует, а на поверхности боковых наростов появляются боковые конусовидные выходы флюидных каналов. Кроме трубчатых тел, реже наблюдаются постройки, имеющие плоскую эллипсоидную форму и залегающие согласно со слоистостью вмещающей толщ. По результатам изучения полировок контактов сульфидно-карбонатных построек с эффузивной толщей установлено, что местом их зарождения являются понижения на поверхности лавового потока [Лысенко, 2017].

Для сульфидно-карбонатных трубчатых построек характерна зональность, которую подчеркивает разная цветовая гамма карбонатов и сульфидов. С некоторой условностью можно выделить следующие зоны: центральную, промежуточную, боковую и зону бактериального обрастания.

В центральной части построек находится зона осветления флюидного канала с прерывистой сульфидной минерализацией. Поверхность зоны имеет неровное волнистое строение. Она сложена крупно- и среднезернистыми кристаллическими агрегатами антракониита, анкерита или зеленоватого кальцита. В агрегатах карбонатов встречаются вкрапленники мелкозернистого галенита, сфалерита, халькопирита, пирита и псевдоморфозы марказита по пирротину. Промежуточная зона трубки имеет более светлую окраску и сложена, главным образом, сферолитами карбонатов, а также редкими включениями сфалерита, халькопирита, ангидрита, барита, кварца, пирита и гидротермального накрита. В этой же зоне встречаются примазки керита, трубочки червей, замещенные карбонатом и пиритом, а также обломки туфов и пеплового материала. Контакты промежуточной зоны с боковой зоной резкие и прямолинейные.

Боковая зона сложена крупнокристаллическим серовато-черным антракониитом, реже серовато-зеленым полупрозрачным кальцитом. Ее мощность в разных местах постройки меняется от 2 до 20 мм. Сульфидная минерализация в этой зоне представлена вкрапленностью пирита и пирротина. Граница зоны с внешним слоем бактериального обрастания постройки резкая и волнистая. Зона бактериального

обрастания состоит из серо-зеленых и серовато-черных сферолитов карбоната, пространство между которыми заполнено алевритовым веществом. При значительном увеличении хорошо видно, что они представляют собой сгустки микротрубок с округлыми порами диаметром до нескольких микрометров. Их общий вид напоминает перегородки нитчатых бактерий. Можно предположить, что карбонатные сферолитовые образования различных зон построек являются продуктами бактериального хемосинтеза.

Плоские сульфидно-карбонатные постройки напоминают линзовидные жильные тела, занимающие секущее положение относительно туфов. Они имеют резкие, почти прямолинейные контакты с вмещающими породами. Во многих случаях туфы вблизи контактов интенсивно пиритизированы. По минеральному составу постройки подразделяются на кварц-сульфидно-карбонатные, карбонат-кварц-сульфидные и карбонатные. Для них характерно зональное строение, которое подчеркивается полосчатой текстурой.

В сульфидно-карбонатных постройках центральная зона сложена крупнокристаллическим белым кальцитом, в котором встречаются линзы халцедона и опала. Боковые зоны представлены чередованием тонких прослоев темно-коричневого антраконита и белого кальцита. Реже отмечается гребенчатая текстура с чередованием кварца, антраконита и белого кальцита. Фрамбоидальный и колломорфный пирит образует скопления на поверхности микропрослоев, но встречаются и секущие агрегаты. В центральных и боковых зонах построек встречаются раковины моллюсков, гастропод, брахиопод, трубчатых червей, обломков туфов и пеплового материала вулканического стекла. Карбонатный материал фауны замещен пиритом. Внешние поверхности сульфидно-карбонатных построек покрыты миллиметровой почковидно-бугристой корочкой гидроокислов Fe и Mn, под которой обычно находятся сферический почковидный карбонат. Фрамбоидальные и колломорфно-глобулярные агрегаты пирита и марказита и сферолиты карбоната, предположительно, являются продуктом образования прокариот и архей.

Единичные карбонат-кварц-сульфидные постройки найдены в туфах вблизи выходов интенсивно пиритизированных андезитов. Эти образования также характеризуются зональным строением с центральной и боковой зонами. Центральная зона сложена многочисленными выделениями дендритовидного и колломорфного пирита, которые обрастают тонкослоистым халцедоном и карбонатом. В кварц-халцедоновом материале зоны находится большое количество обломков и раковин, гастропод, моллюсков и брахиопод. Их кальцитовый материал полностью замещен пиритом. Боковые зоны характеризуются грубослоистой текстурой, чередованием пирита, карбоната и халцедона. Внешние боковые поверхности этих зон неровные с многочисленными почкообразными холмиками.

Темно-коричневые карбонатные полосчатые агрегаты, похожие на строматолиты, являются своеобразным цементом ракушечного материала брахиопод, которые были жителями биогерма на поверхности лавового потока. Эти карбонатные пленки обрастания имеют мощность до 15 мм. Они имеют невыдержанную ориентировку в пространстве и составляют до 30 % общего материала биогерма. Карбонатные обрастания имеют микрополосчатую, а местами колломорфно-сферическую текстуру с чередованием антраконита и белого кальцита.

На участие в образовании вышеописанных построек процессов гидротермальной деятельности палеовулканизма и хемосинтеза прокариот указывают результаты

изотопных анализов S и C. Содержание $\delta^{13}\text{C}$ в сульфидно-карбонатных трубчатых постройках варьирует от -0.3 до -21.3 ‰, а $\delta^{34}\text{S}$ – от 2.3 до 8.6 ‰. Наблюдаются значительные отличия в изотопном составе разных зон постройки, а также в вертикальном разрезе при удалении от поверхности лав. В нижней части центральной зоны с богатой сульфидной минерализацией $\delta^{34}\text{S}$ варьирует от 2.3 до 5.9 ‰. Более тяжелый изотопный состав S ($\delta^{34}\text{S}$ 5.7 – 6.9 ‰) имеют сульфиды верхней части центральной зоны, что может быть связано с ослаблением процессов гидротермальной деятельности. В боковой зоне в отдельных включениях пирита и пирротина $\delta^{34}\text{S}$ составляет 5.9 – 8.6 ‰. Содержание $\delta^{34}\text{S}$ пирита лавового потока андезитов – 1.72 ‰. Предполагается, что разброс содержаний изотопов S в трубчатых телах связан с импульсным поступлением гидротермальных растворов и неравномерным разбавлением их водой океана Тетис.

Наиболее тяжелый изотопный состав C характерен для центральной зоны постройки, где $\delta^{13}\text{C}$ варьирует от -3.4 до -8.4 ‰. Возможно, часть антраконита и кальцита вблизи флюидного канала имеет гидротермальный генезис. Более легкий состав C наблюдается в промежуточной зоне (от -5.1 до -9.1 ‰) и в боковых зонах (от -8.6 до -14.2 ‰). Низкие содержания $\delta^{13}\text{C}$ (-21.3 ‰) характерны для зоны бактериального обрастания сульфидно-карбонатных построек. Мы предполагаем, что значительная часть карбоната создана прокариотами за счет переработки тяжелых абиогенных углеводородов глубинных флюидов палеовулкана.

Содержание $\delta^{13}\text{C}$ в кальцитовом материале ракушек брахиопод составляет -13.8 ‰. $\delta^{13}\text{C}$ карбонатного материала плоских полосчатых построек, которые цементируют ракушечный материал, варьирует от -20.6 до -21.1 ‰. Органическое вещество брахиопод и бактериальное органическое вещество построек имеют более легкий изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}$ -29.7 и -37.2 ‰, соответственно). Результаты наших исследований подтверждают, что образование карбонатного вещества сообществом прокариот и архей происходило за счет переработки глубинных «холодных» углеводородных газовых флюидов. Данные изотопных анализов $\delta^{13}\text{C}$ указывают на существование симбиоза простейших с биоценозом брахиопод.

Таким образом, образование сульфидно-карбонатных, кварц-сульфидно-карбонатных, карбонат-кварц-сульфидных и карбонатных трубчатых и плоских построек на поверхности эффузивной толщи верхнего триаса связано с процессами хемосинтеза прокариот и флюидной и гидротермальной деятельностью вулкана. Различная морфология гидротермально-бактериальных строений связана с непостоянством состава и температурных характеристик глубинных флюидов. Наличие в них сферолитовых образований карбонатов, колломорфных и фрамбоидальных сростков сульфидов, а также изотопный состав углерода доказывают, что в образовании «строительного» материала построек значительную роль играли сообщества прокариот и архей, участвовавшие в переработке углеводородных флюидов в органическое вещество и карбонат. Формирование трубчатых и плоских построек происходило в период активной деятельности вулканизма, что доказывают контакты строений и наличие в них пеплового материала. По форме и минеральному составу крымские постройки сходны с гидротермальными постройками впадины Гуаймас и вулкана Пийпа [Богданов и др., 2006].

Автор благодарит за консультации и помощь в исследованиях член-корр. РАН В. В. Масленникова (ИМин УрО РАН).

Литература

Богданов Ю. А., Лисицын А. П., Сагалевич А. М., Гурвич Е. Г. Гидротермальный рудогенез океанического дна. М.: Наука, 2006. 527 с.

Лысенко В. И. Находка следов триасового палеовулканизма в западной части южного берега Крыма // Металлогения древних и современных океанов–2017. Дифференциация и причины разнообразия рудных месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 2017. С. 37–42.

М. С. Глухов

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань
gluhov.mikhail2015@yandex.ru

Сравнительный анализ природных и техногенных магнитных микросферул

(научный руководитель д.г.-м.н. Р. Х. Сунгатуллин)

Исследование магнитных микросферул диаметром менее 1 мм продолжительное время привлекает внимание ученых естественных наук [Nordenskjold, 1874; Muggay, 1876; Васильев и др., 1975; Сокол и др., 2001; Осовецкий, Меньшикова, 2006; Карпов, Мохов, 2010; Лукин, 2013; Макаров и др., 2017; Glukhov et al., 2018; Sungatullin et al., 2018]. Микросферулы встречаются как в природных (древние осадочные породы, импактиты, аллювий современных рек, пустыни, снежные покровы и льды), так и в техногенных (металлургические шлаки, золы углей и др.) объектах. Имеются различные критерии природного и техногенного происхождения подобных микрочастиц. Так, например, идеальная сферичность, металлический блеск, наличие текстур на поверхности микросферул, примесей хрома и никеля, а также отсутствие примеси титана могут указывать на их космическое происхождение [Glukhov et al., 2018; Sungatullin et al., 2018]. Однако фиксируется не только разница, но и многие черты сходства в строении (наличие дендритовидных текстур на поверхности) и составе (магнетит и вюстит) микросферул разного происхождения, что затрудняет определение их генезиса [Сокол и др., 2001; Карпов, Мохов, 2010; Лукин, 2013].

Цель настоящей работы – выработка новых критериев для определения генезиса природных и техногенных микросферул. В задачи исследования входило изучение морфологических особенностей внутренней и внешней частей природных и техногенных магнитных микросферул, а также их химического состава. Объектами исследования явились природные микросферулы (диаметр 5–300 мкм) из импактитов кратеров Попига́й (1 обр.) и Рис, Германия (10 обр.), пермских эвапоритов Камско-Устинского месторождения гипса (25 обр.) и Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (27 обр.), 1 микросферула из кунгурских отложений разреза Мечетлино (Предуральский прогиб) и техногенные микросферулы (диаметр 50–1000 мкм) из золы уноса углей Нижне-Турьинской ТЭС (20 обр.) и сварочного шлака (5 обр.).

Объекты для исследований предоставлены автору профессором кафедры геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых УГТУ А. Б. Макаровым (микросферулы из золы уноса углей), научным сотрудником ГЕОХИ РАН