

УДК 552.14+553.21

ФРАМБОИДЫ ПИРИТА В УГЛЕРОДИСТЫХ ПОРОДАХ СМАГИНСКОЙ АССОЦИАЦИИ П-ОВА КАМЧАТСКИЙ МЫС

© 2013 О.Л. Савельева, Д.П. Савельев, В.М. Чубаров

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006,
e-mail: savelyeva@kscnet.ru*

В тонких углеродистых прослоях, входящих в состав смагинской породной ассоциации, развитой на п-ове Камчатский Мыс (Восточная Камчатка), подробно описаны формы выделения пирита, среди которых преобладают фрамбоиды. Пирит образовывался при диагенезе вследствие бактериальной сульфатредукции в эвксинных условиях. Его выделения приурочены к органическим остаткам. Наблюдается замещение пиритом кремнистых скелетов радиолярий. Высказано предположение о связи накопления платиноидов в углеродистых породах с формированием фрамбоидов пирита.

Ключевые слова: пирит, фрамбоиды, углеродистые породы, элементы платиновой группы.

ВВЕДЕНИЕ

Термин «фрамбоид» впервые был введен Г.В. Растром в 1935 году (Rust, 1935). Этот автор определил фрамбоиды как группы крошечных кубиков и зерен пирита, имеющие сфероидальную форму и похожие на ягоды малины. Дальнейшие исследования в отраженном свете, а также с помощью микросондов и сканирующих электронных микроскопов, обобщенные в работе (Criddle, 1974), выявили множество характеристик фрамбоидов, не отмеченных Растром, и, соответственно, внесли уточнение в данное определение. Было обнаружено, что фрамбоиды сложены многочисленными дискретными, но плотно упакованными изометричными микрокристаллами, приблизительно равными по форме и размеру в пределах одного фрамбоида. Микрокристаллы, как правило, идиоморфны (кубы, октаэды, пентагондодекаэды, их комбинации), но могут представлять собой и микросферы. Иногда наблюдается упорядоченное расположение микрокристаллов, придающее фрамбоиду в целом форму многогранника (Астафьева и др., 2005; Butler, Rickard, 2000; Folk, 2005), и даже объединение фрамбоидов в одиночные идиоморфные кристаллы пирита (Soliman, El Goresy, 2012). Диаметр отдельных фрамбоидов колеблется от менее 1 до 250 мкм, однако, фрамбоиды крупнее 50 мкм редки. В одном фрамбоиде содержится

10^2 - 10^6 микрокристаллов размером от 0.2 до 2 мкм, с отношением диаметров фрамбоида и микрокристалла от 5 до 30 (Criddle, 1974; Soliman, El Goresy 2012). Фрамбоиды обычно сложены пиритом, иногда марказитом, магнетитом и другими минералами.

Необходимо отметить, что в (Геологический..., 1973) фрамбоиды определяются как сфероидальные агрегаты микрокристаллов, без уточнения особенностей строения. Возможно, в связи с этим в отечественной литературе фрамбоидами иногда называют сферолиты с равномернозернистой структурой, сходные с «пиритовой дробью и картечью» (Яблокова, 2012). В данной статье рассматриваются пиритовые фрамбоиды в узком понимании, а именно агрегаты, сложенные индивидуальными дискретно расположенными равновеликими микрокристаллами.

Фрамбоидный пирит весьма часто встречается в осадочных породах различного возраста, образовавшихся в восстановительных условиях (Астафьева и др., 2005; Borkow, Babcock, 2003). Также он описан на мезотермальных золото-кварцевых и золото-сульфидных, эпитеpmальных золото-серебряных, колчеданно-полиметаллических месторождениях (Акимова и др., 2007) и в метеоритах (карбонатных хондритах) (Астафьева и др., 2011). Происхождение пиритовых фрамбоидов до сих пор дискуссионно. Эксперименты

доказали, что агрегаты, сходные с фрамбоидами, могут формироваться в отсутствие биогенного вмешательства (Butler, Rickard, 2000), в том числе осажаться из гидротермальных растворов. В то же время, в природе очень часто пирит (в том числе и фрамбоидный) образуется в местах разложения органики вследствие бактериальной сульфатредукции (Астафьева и др., 2005; Borkow, Babcock, 2003). Иногда округленные микрокристаллы фрамбоидов или же мельчайшие (30-50 нм) сфероиды, обнаруженные на поверхности микрокристаллов, интерпретируются как пиритизированные клетки бактерий (Folk, 2005; Schieber, 2002). Примером доказательства биогенного происхождения фрамбоидов является их присутствие в живых альгобактериальных матах горячих источников о-ва Кунашир (Федорова и др., 1988).

Фрамбоиды пирита образуются на стадии диагенеза или ранее, во время осадконакопления (Астафьева и др., 2005; Berner, 1984). Количество пирита, которое может сформироваться в осадках на стадии диагенеза, ограничено скоростью поступления способного к разложению органического вещества, растворенного сульфата и минералов железа. Наиболее благоприятны для образования пирита морские эвксинные обстановки. Большое количество органики в осадке позволяет развиваться бактериям, которые восстанавливают сульфаты морской воды и выделяют сероводород, реагирующий с железом, что в конечном итоге ведет к образованию пирита (Berner, 1984; Soliman, El Goresy, 2012).

Авторами настоящей статьи фрамбоидный пирит обнаружен в углеродистых породах смагинской ассоциации мелового возраста на п-ове Камчатский Мыс (п-ов Камчатский). Эти породы обогащены многими рудными элементами, в том числе благородными металлами. Мы предполагаем, что накопление платиноидов в углеродистых породах могло быть связано с формированием фрамбоидов пирита.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Смагинская породная ассоциация альбеноманского возраста входит в состав офиолитового комплекса, развитого в южной части п-ова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка) (Хотин, Шапиро, 2006). В состав ассоциации входят железистые аргиллиты (гиалокластиты по (Хотин, 1976)), яшмы, пакеты ритмичного переслаивания яшм и известняков, базальты. Нами подробно изучен карбонатно-кремнистый разрез (координаты: 56°03'21.2" с.ш., 163°00'22.3" в.д.), мощностью около 9 м, вмещающий в средней и верхней части два тонких углеродистых прослоя (мощностью 2 см и 5-7 см соответственно)

(Савельев и др., 2007; Савельева, 2011). Происхождение этих прослоев связано с аноксическими событиями в Тихом океане в меловое время. Углеродистые породы обнаружены еще в трех точках наблюдения вблизи описанного разреза, а также на двух участках в нескольких километрах к югу и юго-востоку в пределах развития смагинской ассоциации. Они залегают среди сильно тектонизированных кремнистых и карбонатно-кремнистых пород, повторяя все их деформации в складках. Содержание органического углерода в этих породах колеблется от 18 до 53%, элементный состав органического вещества (соотношение углерода, водорода и кислорода) говорит о его происхождении из фитопланктона. Элементный состав органического вещества позволяет определить, что степень его преобразования не превышает стадии катагенеза (Савельева, 2009, 2011). Катагенетические преобразования не изменили фрамбоидные выделения пирита, образовавшиеся при диагенезе. Зольность углеродистых пород составляет от 27 до 75%. В золе преобладает кремнезем, иногда образующий округлые скопления – полурасстворенные скелеты радиолярий. В качестве примеси в углеродистых породах присутствуют пирит, костный детрит, барит, а также глинистые минералы. Последние, по-видимому, образовались по вулканическому пеплу (Савельева, 2011). Пирит в углеродистых прослоях распределен неравномерно. В одном из обнажений в интенсивно дислоцированном углеродистом прослое наблюдались редкие стяжения пирита в виде линз протяженностью до 10 см и мощностью до 2 см. Во всех других описанных нами выходах углеродистых пород пирит образует микроскопические выделения.

Для исследования были отобраны образцы, содержащие пирит, как из углеродистых пород, так и из подстилающих и перекрывающих их кремней и кремнистых известняков. Изготовленные из пород шлифовки изучались с помощью рудного микроскопа, микрозонда (САМЕВАХ-244 с энерго-дисперсионным спектрометром «Кевех») и сканирующего электронного микроскопа («VEGA-3» с энергетическим спектрометром X-MAX (Oxford)) в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Электронный микроскоп дал возможность изучить также объемные формы пирита.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фрамбоиды. Содержание пирита в углеродистых породах по результатам пересчета химических анализов составляет от 1 до 10 вес.% (при условии, что вся сера связана в пирите). В значительной мере пирит замещен оксигидрок-

сидами железа. В проанализированных образцах пирит представлен микроскопическими выделениями, среди которых существенную роль играют фрамбоиды. Фрамбоиды представлены сферическими и иногда овальными агрегатами размером от 5 до 60 мкм (преобладающий размер 10-40 мкм) (рис. 1а, 1б). Они сложены микрокристаллами пирита размером 1.3-2.2 мкм. Наиболее свежие, неокисленные микрокристаллы имеют форму октаэдров, судя по срезу в полированном образце (рис. 1в). Окисленные в разной степени

микрокристаллы обладают округленной формой, частично они сложены оксигидроксидами железа. В некоторых фрамбоидах микрокристаллы упакованы очень плотно, в их расположении наблюдается упорядоченность (рис. 1а). В других фрамбоидах микрокристаллы расположены более рыхло, и упорядоченность не так заметна. Матрикс фрамбоидов состоит в основном из углистого вещества и кремнезема. Чаще всего фрамбоиды занимают внутреннюю часть скелетов радиолярий. В некоторых фрамбоидах в

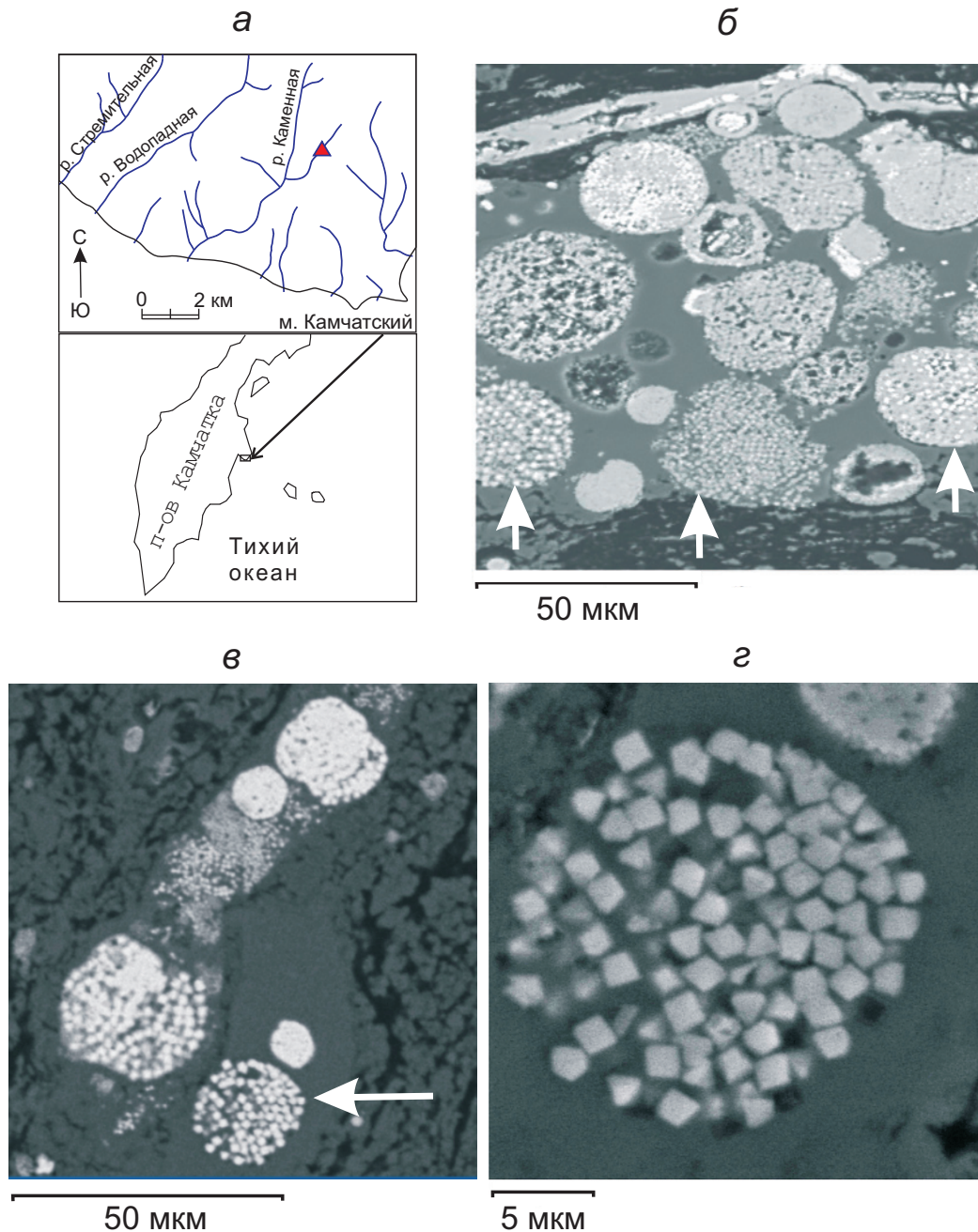


Рис. 1. Фрамбоиды пирита в углеродистых породах смагинской ассоциации и положение изученного разреза. а – схема расположения изученного разреза. Место отбора образцов показано залитым треугольником. б, в – общий вид скоплений фрамбоидов. В отмеченных стрелками фрамбоидах различимы упорядоченно расположенные микрокристаллы. Фрамбоидальный пирит в разной степени окислен. г – относительно свежий пиритовый фрамбоид с микрокристаллами в форме октаэдров (б – микрозонд; в, г – сканирующий электронный микроскоп).

ФРАМБОИДЫ ПИРИТА

пространстве между микрокристаллами присутствует фосфат. Вероятно, в этом случае рост пирита происходил в пределах фекальных пеллет, содержащих костный детрит. Такие пеллеты с костным детритом обнаружены в углеродистых породах при анализе на микрозонде.

По результатам наших наблюдений в шлифах, фрамбоидальные сферы как внутри радиолярий, так и вне их иногда собраны вместе и формируют сферические и субсферические группы. Такие образования принято называть «мультифрамбоидами» (Soliman, El Goresy, 2012). Мультифрамбоиды в углеродистых породах смагинской ассоциации имеют размеры 40-45 мкм, фрамбоиды внутри них – 5-10 мкм, микрокристаллы в пределах фрамбоидов – 0.5-1 мкм (рис. 2а). Приуроченность мультифрамбоидов к остаткам организмов свидетельствует об их образовании в данном случае просто путем одновременного зарождения и роста большого числа индивидуальных фрамбоидов в благоприятных для этого местах. Иногда наблюдаются деформированные мультифрамбоиды, в том числе и в местах их соприкосновения друг с другом (рис. 2б). Такая форма агрегатов пирита говорит о том, что уплотнение породы происходило до роста фрамбоидов, когда вещество находилось еще в коллоидном состоянии, что, в общем, обычно для диагенеза.

Другие морфологические типы пирита. Кроме фрамбоидов, в углеродистых породах можно наблюдать одиночные кубические кристаллы

пирита размером 0.015-0.02 мм, их агрегаты, в которых насчитывается от 2 до 5 кристаллов, а также микрокристаллические выделения неправильной и округлой формы. Очень часто все эти морфологические типы, как и фрамбоиды, приурочены к внутренней части скелетов радиолярий плохой сохранности и образуют изометричные и слегка вытянутые агрегаты размером 0.03-0.15 мм (30-150 мкм), в которых пирит ассоциирует с кремнеземом. Меньшая часть пирита тонко рассеяна в породе. Иногда происходит замещение пиритом скелетов радиолярий. Так, в кремнях, подстилающих в разрезе углеродистый прослой, встречаются срезы ажурных скелетов радиолярий размером 0.1-0.15 мм и их обломков. Кремнистое вещество скелетов замещено пиритом (рис. 3). В одной из точек наблюдения на границе углеродистой породы и кремнистого известняка на поверхности напластования наблюдаются многочисленные скелеты радиолярий сферической формы размером 0.1-0.3 мм. Сохранилась ажурная структура стенки, замещенной пиритом (рис. 4а, 4б); внутренность сфер заполнена кальцитом (рис. 4в).

Процессы формирования пирита. Образование пирита в осадке в морской эвксинной обстановке вполне закономерно. При сульфатредукции образуется существенное количество H_2S , поэтому главный контроль над формированием пирита имеет доступность реакционноспособных минералов железа (Berner, 1984). Углеродистые прослои в изученном нами разрезе обо-

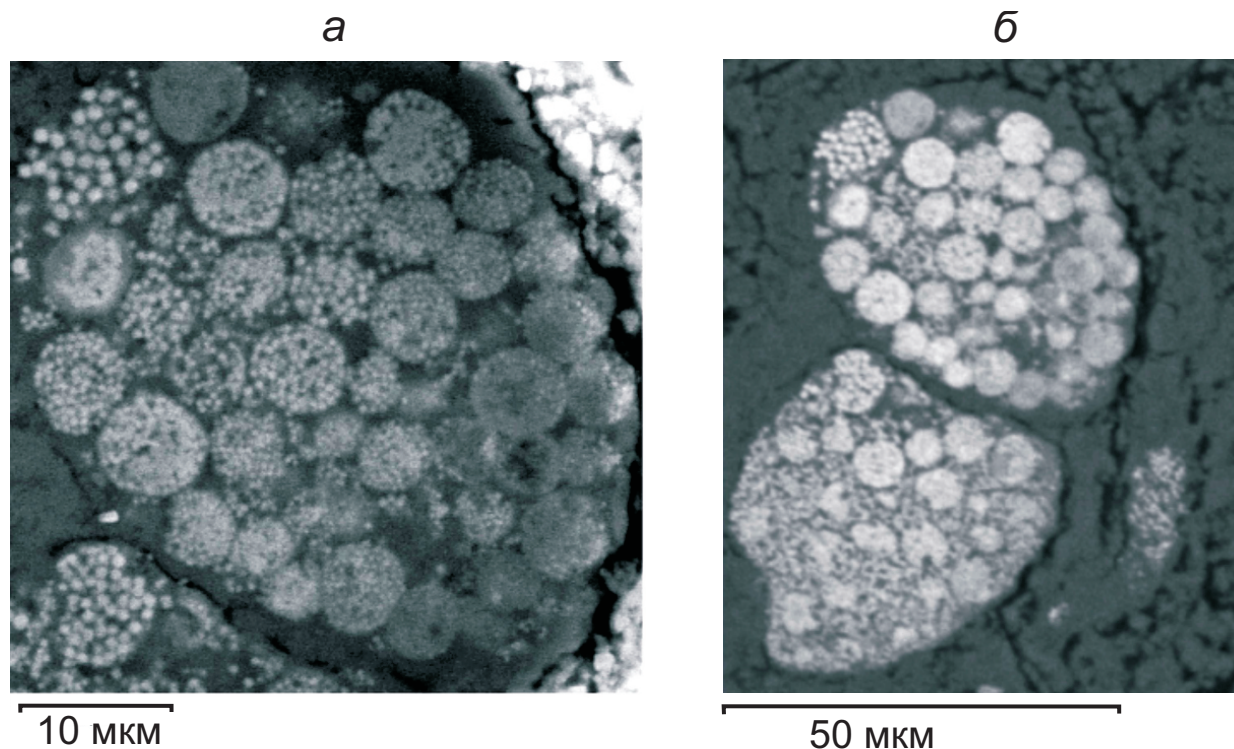
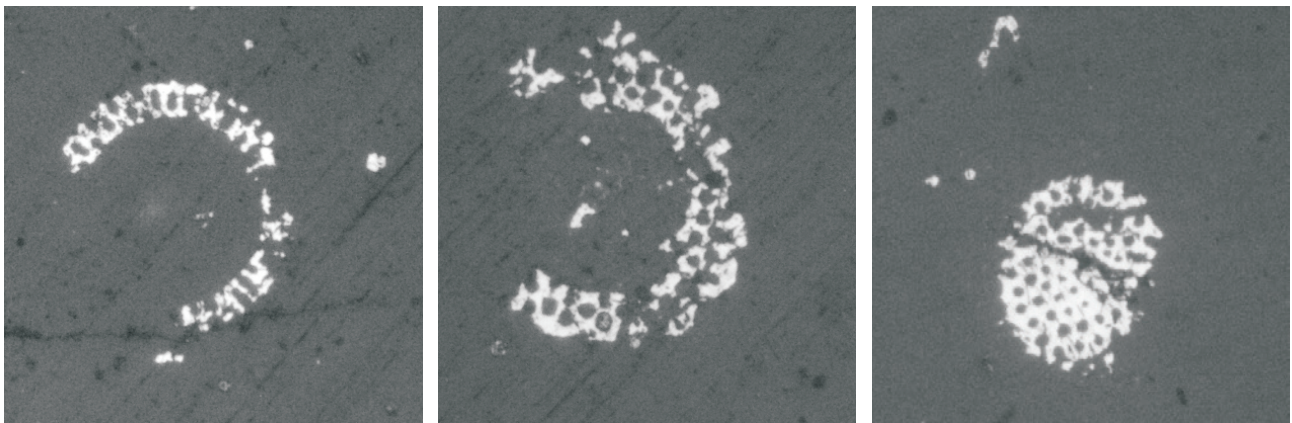


Рис. 2. Мультифрамбоиды пирита. а – общий вид, б – деформация в месте соприкосновения мультифрамбоидов. Сканирующий электронный микроскоп.



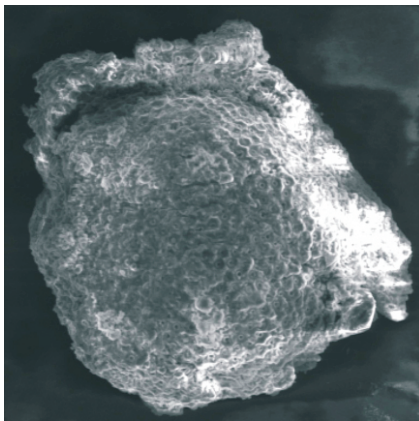
0.1 мм

Рис. 3. Срезы скелетов радиолярий, замещенных пиритом, из кремней, подстилающих углеродистый прослой. Рудный микроскоп.

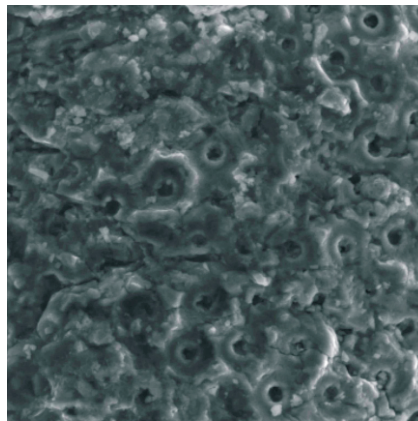
а

б

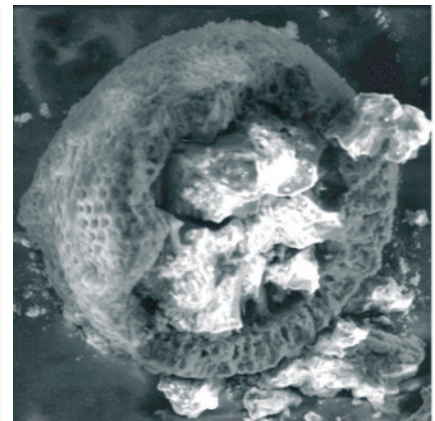
в



100 мкм



25 мкм



100 мкм

Рис. 4. Объемные формы радиолярий, замещенные пиритом, на границе углеродистой породы и кремнистого известняка. а – общий вид; б – поверхность стенки радиолярии в увеличенном виде; в – вскрытый скелет радиолярии, изнутри заполненный кальцитом; видна внутренняя структура стенки. (Сканирующий электронный микроскоп).

гащены железом по сравнению с вмещающими их породами (Савельева, 2011). Источник этого железа может быть как вулканогенный (синхронный осадконакоплению вулканизм), так и гидрогенный (осаждение из воды при участии органического вещества). По-видимому, существенной миграции сульфидов при диагенезе не происходило из-за малой проницаемости кремнистых осадков. Пирит образовывался в основном в местах скопления разлагающейся органики – внутри скелетов радиолярий и в фекальных пеллетах. При дальнейших диагенетических процессах часть пирита перераспределилась внутри углеродистого пласта, сформировав линзы пирита мощностью до 2 см. Сульфатредукция может сопровождаться подщелачиванием поровых растворов (Berner, 1984). Растворение кремнистых скелетов радиолярий, замещение их пиритом и осаждение аутигенного

кальцита во внутренних полостях радиолярий, возможно, связано именно с этим процессом.

Элементы платиновой группы (ЭПГ): возможная связь с пиритом. Углеродистые породы, входящие в состав смагинской ассоциации п-ова Камчатский Мыс, обогащены в 10-100 раз многими микроэлементами (V, Ni, Cu, Zn, Ba, Zr, Mo, Y, As, Cr, U) по сравнению с вмещающими яшмами и известняками. Содержания платиноидов в углеродистых породах также аномальны: в золе углеродистых пород отмечено до 1 г/т Pt и 0.4 г/т Pd (Савельева, 2009), в одном из прослоев выявлена аномальная концентрация иридия 0.009 г/т (Savelyev et al., 2012). Один из возможных механизмов формирования таких аномалий – сорбция платиноидов сульфидами (Zhmodik et al., 2004). Мы попытались проверить эту гипотезу, сделав несколько десятков анализов фрамбоидов на микрозонде с волновыми

спектрометрами. Однако, этот анализ не показал достоверных содержаний платиноидов ни в свежих фрамбоидах пирита, ни в окисленных. Собственных минералов платины также обнаружено не было. Единственный благородный металл, выявленный нами микрозондовым анализом в углеродистых породах – серебро. Сульфид серебра был обнаружен в виде выделений размером несколько микрон в микротрещинах. Это согласуется с результатами нейтронно-активационного анализа, показавшего содержания серебра до 14 г/т в золе углеродистых пород смагинской ассоциации.

Повышенные концентрации микроэлементов, в том числе платиноидов, обычны для углеродистых пород (Волохин, Иванов, 2007; Orberger et al., 2003, 2007 и др.), обогащение может быть как сингенетичным, так и наложенным, механизмы концентрации также различны. Обогащение углеродистых прослоев в составе смагинской породной ассоциации Ba, Ni, Cu, Zn связано непосредственно с жизнедеятельностью планктона, с его высокой продуктивностью (Tribovillard et al., 2006). Обогащение углеродистых прослоев Ti, Al, K, Mg, Nb и Zr можно связать с кратковременными вспышками вулканической деятельности и примесью разложенного гиалокластического материала (Савельев и др., 2008; Савельева, 2011). Источником иридия и других элементов платиновой группы могли быть базальты и гиалокластиты синхронных осадконакоплению извержений. Аноксические условия способствовали обогащению осадка рудными элементами (Savel'yev et al., 2012).

Конкретные механизмы накопления благородных металлов в углеродистых прослоях могут быть связаны с образованием металлоорганических комплексов при сорбировании из морской воды на этапе седиментогенеза (Волохин, Иванов, 2007; Pařava et al., 2007). Сульфиды, ассоциирующие с черными сланцами, также могут концентрировать элементы платиновой группы (ЭПГ) (Sawlowicz, 1993). Например, на границе девона и карбона в штате Оклахома (США) аномалия платиноидов объясняется тем, что эти элементы осаждались из морской воды, контактировавшей с богатыми органикой и сульфидами черными сланцами, которые длительное время экспонировались на дне (Orth et al., 1988). Обогащение элементами платиновой группы сульфидных слоев в черных сланцах среднего-верхнего девона Юконской территории (Канада) и нижнего кембрия южного Китая происходило близко по времени к отложению осадка путем осаждения из морской воды (Xu et al., 2013). Механизм обогащения углеродистых прослоев платиноидами может быть связан с кристаллизацией фрамбоидного пирита при

диагенезе. Например, в девонских отложениях Юконской территории платина присутствует в виде микроскопических включений во фрамбоидном пирите (Orberger et al., 2003), в нижнем кембрии южного Китая платина также обнаружена в пирите и других сульфидах (Orberger et al., 2007). Высказано предположение, что иридий в процессе диагенеза может концентрироваться на поверхности микроконкреций (микрофрамбоидов) пирита (Гаврилов, 2010). Это предположение основано на эксперименте по синтезу сульфидов Fe, Cu, Pb, Zn в присутствии иридия (Zhmodik et al., 2004). Эксперимент показал, что иридий обогащает поверхности индивидуальных крупных кристаллов или поликристаллических агрегатов. Как предположили авторы эксперимента, это происходит в процессе адсорбции (Zhmodik et al., 2004). Формирование фрамбоидов значительно увеличивает площадь поверхности кристаллов пирита (из-за очень малых размеров самих кристаллов). Именно таков может быть механизм возникновения аномальных концентраций платиноидов в изученных нами углеродистых прослоях. Поскольку проведенные нами аналитические исследования не дали в этом вопросе положительного результата, для проверки этого предположения требуются дополнительные работы. Однозначная интерпретация полученных результатов осложняется тем, что распределение ЭПГ в породах очень неравномерно, и при выяснении генетической природы выявленных аномалий необходимы массовые измерения.

ВЫВОДЫ

В углеродистых породах смагинской ассоциации альб-сеноманского возраста п-ова Камчатский Мыс присутствует пирит в виде фрамбоидов и мультифрамбоидов, одиночных кристаллов, микрокристаллических агрегатов неправильной формы и псевдоморфоз по скелетам радиолярий. Образование пирита связано с деятельностью сульфатредуцирующих бактерий в осадке в эвксинных условиях. Существенной миграции сульфидов при диагенезе не происходило, поскольку большая часть выделений пирита находится в местах первоначального образования – внутри скелетов радиолярий и в пределах фекальных пеллет.

Выявленные ранее аномальные содержания платиноидов в углеродистых породах смагинской ассоциации, по нашему мнению, могут быть связаны с формированием пиритовых фрамбоидов. Хотя предположение о том, что платина и другие ЭПГ концентрировались на поверхности микрокристаллов фрамбоидов вследствие адсорбции, не подтвердилось микрозондовыми

исследованиями, этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН № 12-III-A-08-175. Авторы приносят благодарность Т.М. Философовой за помощь в получении изображений на сканирующем электронном микроскопе.

Список литературы

- Акимов А.В., Акимов Г.Ю., Лоренц Д.А., Плотинская О.Ю.* Фрамбоидальный пирит эпitherмальных золоторудных месторождений: условия нахождения и морфологические особенности // Роль минералогии в познании процессов рудообразования. Материалы Годичной сессии МО РМО, посвященной 110-летию со дня рождения академика А.Г. Бетехтина (1897-2007). Москва: ИГЕМ РАН, 2007. С. 20-25.
- Астафьева М.М., Герасименко Л.М., Гептнер А.Р. и др.* Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах / Науч. ред. Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. Москва: ПИН РАН, 2011. 172 с.
- Астафьева М.М., Розанов А.Ю., Хувер Р.* Фрамбоиды: их структура и происхождение // Палеонтологический журнал. 2005. № 5. С. 1-7.
- Волохин Ю.Г., Иванов В.В.* Геохимия и металлоносность углеродистых силицитов триаса Сихотэ-Алиня // Литология и полезные ископаемые. 2007. № 4. С. 406-425.
- Гаврилов Ю.О.* Диагенетическая миграция сульфидов в отложениях различных обстановок седиментации // Литология и полезные ископаемые. 2010. № 2. С. 133-150.
- Геологический словарь. В двух томах. Т. 2. / Отв. ред. К.Н. Паффенгольц. Москва: Недра, 1973. 456 с.
- Савельев Д.П., Ландер А.В., Пронина Н.В., Савельева О.Л.* Первая находка углистых пород в меловых палеоокеанических комплексах Восточной Камчатки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 2. Вып. 10. С. 102-104.
- Савельев Д.П., Савельева О.Л., Карташева Е.В.* Геохимические свидетельства связи мелового аноксического события с вулканизмом в породах смагинского комплекса п-ова Камчатский Мыс. Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 27-29 марта 2008 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2008. С. 236-243.
- Савельева О.Л.* Ритмичность осадконакопления и следы аноксических событий в меловых (альб-сеноманских) отложениях Восточной Камчатки. Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Москва, 2009. 25 с.
- Савельева О.Л.* Меловой палеоклимат. Ритмичность осадконакопления и следы аноксических событий в меловых (альб-сеноманских) отложениях Восточной Камчатки. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co, Saarbrücken, Germany, 2011. 156 с.
- Федорова Т.А., Герасименко Л.М., Бочко Р.А., Заварзин Г.А.* Микроминеральные выделения в термофильных цианобактериальных сообществах // Вулканология и сейсмология. 1988. № 1. С. 101-104.
- Хотин М.Ю.* Эффузивно-туфово-кремнистая формация Камчатского Мыса. М.: Наука, 1976. (Труды ГИН; Вып. 281). 196 с.
- Хотин М.Ю., Шаниро М.Н.* Офиолиты Камчатского Мыса (Восточная Камчатка): строение, состав, геодинамические условия формирования // Геотектоника. 2006. № 4. С. 61-89.
- Яблокова Д.А.* Пирит месторождения Витватерсранд (Южная Африка) // Материалы XI Региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки», 16 апреля 2012 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2012. С. 79-88.
- Berner R.A.* Sedimentary pyrite formation: An update // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1984. V. 48. Iss. 4. P. 605-615.
- Borkow P.S., Babcock L.E.* Turning Pyrite Concretions Outside-In: Role of Biofilms in Pyritization of Fossils // *The Sedimentary Record*. 2003. № 4. P. 4-7.
- Butler I.B., Rickard D.* Framboidal pyrite formation via the oxidation of iron (II) monosulfide by hydrogen sulfide // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2000. V. 64. Iss. 15. P. 2665-2672.
- Criddle A.J.* A preliminary description of microcrystalline pyrite from the nannoplankton ooze at site 251, Southwest Indian ocean / Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. V. 26. Washington, 1974. P. 603-611.
- Folk R.L.* Nannobacteria and the formation of framboidal pyrite: textural evidence // *Journal of Earth System Science*. 2005. V. 114. № 3. P. 369-374.
- Orberger B., Pašava J., Gallien J.P. et al.* Biogenic and abiogenic hydrothermal sulfides: controls of rare metal distribution in black shales (Yukon Territories, Canada) // *Journal of Geochemical Exploration*. 2003. V. 78-79. P. 559-563.
- Orberger B., Vymazalova A., Wagner C. et al.* Biogenic origin of intergrown Mo-sulphide- and carbonaceous matter in Lower Cambrian black shales (Zunyi Formation, southern China) // *Chemical Geology*. 2007. V. 238. P. 213-231.
- Orth Ch.J., Quintana L.R., Gilmore J.S. et al.* Pt-group metal anomalies in the Lower Mississippian of southern Oklahoma // *Geology*. 1988. V. 16. № 7. P. 627-630.

- Pašava J., Sklodowska A., Vymazalova A. et al.* Organometallic complexes from Ni-Mo-PGE black shales in South China – Combination of bioactivities, hydrothermal venting and phosphate deposition during global Cambrian biological explosion // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2007. V. 71. Iss. 15. Supplement. P. A763.
- Rust G.W.* Colloidal primary copper ores at Cornwall Mines, Missouri // *Journal of Geology*. 1935. № 43. P. 398-426.
- Savelyev D.P., Savelyeva O.L., Palechek T.N., Pokrovsky B.G.* Carbon isotope curve and iridium anomaly in the Albian-Cenomanian paleoceanic deposits of the Eastern Kamchatka // *Geophysical Research Abstracts*, V. 14, EGU2012-1940, EGU General Assembly 2012.
- Sawlowicz Z.* Iridium and other Platinum-Group Elements as geochemical markers in sedimentary environments // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1993. V. 104. P. 253-270.
- Schieber J.* Sedimentary Pyrite: A window into the microbial past // *Geology*. 2002. V. 30. № 6. P. 531-534.
- Soliman M.F., El Goresy A.* Framboidal and idiomorphic pyrite in the upper Maastrichtian sedimentary rocks at Gabal Oweina, Nile Valley, Egypt: Formation processes, oxidation products and genetic implications to the origin of framboidal pyrite // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2012. V. 90. P. 195-220.
- Tribovillard N., Algeo T.J., Lyons T., Riboulleau A.* Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update // *Chemical Geology*. 2006. V. 232. P. 12-32.
- Xu L., Lehmann B., Mao J.* Seawater contribution to polymetallic Ni-Mo-PGE-Au mineralization in Early Cambrian black shales of South China: Evidence from Mo isotope, PGE, trace element, and REE geochemistry // *Ore Geology Reviews*. 2013. V. 52. P. 66-84.
- Zhmodik S.M., Shvedenkov G.Yu., Verkhovtseva N.V.* Iridium distribution in hydrothermally synthesized Fe, Cu, Pb, and Zn sulfides // *Canadian Mineralogist*. 2004. V. 42. № 2. P. 405-410.

PYRITE FRAMBOIDS IN CARBONACEOUS ROCKS OF SMAGIN ASSOCIATION IN THE KAMCHATSKY MYS PENINSULA

O.L. Savelyeva, D.P. Savelyev, V.M. Chubarov

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, savelyeva@kscnet.ru

The paper presents the detailed description of pyrite morphology in thin carbonaceous layers of the Smagin rock association, the Kamchatsky Mys Peninsula, Eastern Kamchatka, with prevailing framboids among them. Pyrite was formed during diagenesis due to bacterial sulphate reduction under euxinic conditions. Its aggregates associate with organic remains. The investigation showed that radiolaria is replaced by pyrite. The authors suggest a relation between platinum accumulation in carbonaceous beds and formation of pyrite framboids.

Keywords: pyrite, framboids, carbonaceous rocks, platinum group elements.