

УДК 553.661.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЛЬФИДНЫХ СФЕРОЛОИДОВ ЗОЛОТОНОСНЫХ КОНГЛОМЕРАТОВ ВИТВАТЕРСРАНДА (ЮАР) И СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ КАМЧАТКИ

© 2013 В.М. Округин^{1,2}, Д.А. Яблокова^{1,2}

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;

²Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,
Петропавловск-Камчатский, 683032; e-mail:okrugin@kscnet.ru

Приведены результаты сравнительно-сопоставительных исследований сферолоидов дисульфидов железа («пиритовой дробь») из всемирно известных золотоносных конгломератов Витватерсранда и сульфидных сферолоидов, образующихся при реакциях взаимодействия природный гидротермальный раствор – вулканическая порода в современных действующих гидротермальных системах Камчатского края (Двухъярточная, Мутновская). Полученные данные свидетельствуют об участии гидротермальных процессов в формировании месторождений Витватерсранда.

Ключевые слова: сферолоиды, Двухъярточная, Мутновская гидротермальные системы, золотоносные конгломераты, Витватерсранд.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы генезиса золотоносных конгломератов Витватерсранда (ЮАР) продолжают волновать геологов на протяжении более чем ста лет, прошедших с момента открытия этих уникальных месторождений (Константинов, 2006; Кренделев, 1974; Портнов, 1978). Одним из наиболее дискуссионных остается вопрос о происхождении сульфидов с формой от округлой овальной до изометричной сферической или, как принято в данной статье, – сферолоидов (рис. 1). Такие минеральные агрегаты в зависимости от их размеров получили названия «пиритовая дробь» и «пиритовая картель» (Портнов, 1978; Шило, Сахарова, 1986; Щеглов, Шумская, 1995). Их специфическая морфология ассоциирует с привычным понятием «окатанная» и трудно освободиться от мысли, что она могла быть приобретена не только в результате «окатывания» аллювия при формировании различных типов россыпей в долинах рек (рис. 1д).

Конвергенция признаков сыграла здесь в очередной раз не лучшую свою шутку.

Первыми, кто усомнился в общепринятом осадочном генезисе «пиритовой дробь» и подобных ей образований среди рудных и нерудных минералов, слагающих как обломки,

так и цемент конгломератов, были Н.А.Шило, М.С. Сахарова и А.Д. Щеглов (Шило, Сахарова, 1986; Щеглов, 1993).

Н.А. Шило – один из выдающихся знатоков геологии и генезиса россыпных месторождений – прекрасно разобрался в особенностях морфологии и микроструктуры минералов различных фракций шлихов. Он вместе с М.С. Сахаровой обратили внимание на «странную» для аллювиальных отложений форму пирита и после проведенных исследований пришли к выводу, что она могла иметь иную – гидротермальную природу. В пользу этого они привели следующие доводы:

1. Физические свойства пирита (твердость, хрупкость) не способствуют формированию в процессах россыпеобразования округлых «окатанных» форм. Дисульфид железа при транспортировке в водно-аллювиальной среде дробится, крошится, сохраняя, как правило, элементы первичного кристаллического («угловатого») габитуса;

2. Отсутствие типоморфных для пирита осадочного происхождения примесей, в частности, таких как ванадий;

3. Обычный для гидротермальных парагенезисов спектр минералов, с которыми ассоциируют данные дисульфиды (Шило, Сахарова, 1986).

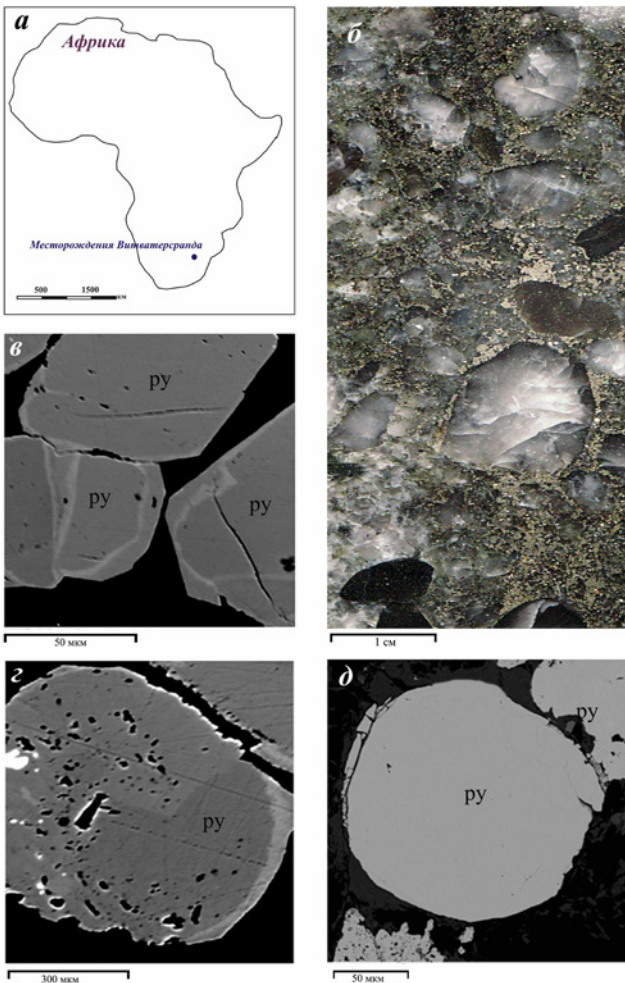


Рис. 1. Месторождения Витватерсранда: *а* – местоположение; *б* – золотоносные конгломераты с агрегатами дисульфидов железа Витватерсранда, общий вид, «белое» – кварцевая галька, темное – галька окварцованных (до микрокварцитов) осадочных пород, светло-серое – «пиритовая дробь», kern; *в, з* – неоднородное (зональное) строение сферолоидов и кристаллов пирита (светлые участки содержат максимальные количества Ni и As); *д* – «стехиометричный» сферолоид пирита; *в, з, д* – фото в обратно рассеянных электронах; ру – пирит.

Минеральные образования сферической формы известны среди продуктов реакций водопорода современных гидротермальных систем мира и, Камчатки, в частности. Большинство исследователей согласны с гидротермальной природой таких сферолоидов (Прохоров, 1970; Щеглов, 1993, 1994).

В данной работе приводятся результаты сравнительно сопоставительных минералогеохимических исследований дисульфидов железа, образующихся в условиях архейских золотоносных конгломератов из месторождений Витватерсранда и таких современных активных гидротермальных систем Камчатского края как Двухъярточная, Мутновская (рис. 1-3). Почему выбраны именно эти две камчатские системы? Потому что, во-первых, ни у кого не вызывает

сомнения, что это современные природные гидротермальные растворы, отличающиеся своим составом и температурами (Двухъярточная – 75-78°C и Мутновская – до 245°C и более); во-вторых, в результате взаимодействия вода (гидротермальный раствор) – порода (вулканиды) происходит отложение дисульфидов железа, форма и размеры которых сопоставимы с архейской «пиритовой дробью» Витватерсранда. Мы применили принцип актуализма Ч. Лайеля, чтобы с помощью наблюдаемого сегодня природного события попытаться объяснить то, что случилось миллиарды лет тому назад.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Месторождения Витватерсранда (ЮАР) – крупнейшая золотоносная провинция, сыгравшая феноменальную роль в истории мировой золотодобычи. Формирование золоторудных месторождений Витватерсранда связывают с проявлением на жестком субстрате Каапвальского кратона одних из наиболее древних (3.7-2.5 млрд. лет) на Земле позднеархейских процессов тектоно-магматической активизации. В структурном отношении они приурочены к крупному прогибу, вытянутому в северо-восточном направлении на 500 км при ширине около 100 км. Витватерсранд представляет собою горизонты («риффы») золотоносных конгломератов различной мощности, залегающие среди кварцитов, реже – метаморфических сланцев. Прослои конгломератов в разрезе толщи, достигающей семи и более км, составляют не более 0.2 % ее мощности. В конгломератах часто встречаются гальковидные образования кварца и пирита, имеющие различные размеры – «пиритовая карточка и пиритовая дробь» (рис. 1б). Именно с площадями развития пирита связаны повышенные концентрации золота (Константинов, 2006; Кренделев, 1974; Щеглов, 1993, 1994).

Авторам для изучения были любезно предоставлены образцы с агрегатами дисульфидов железа различной морфологии золотоносных конгломератов Витватерсранда из коллекций Института геологии и природных ресурсов Нижней Саксонии (Ганновер, Германия) и Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана, РАН.

Двухъярточная гидротермальная система (Центральная Камчатка) располагается в 85 км к востоку от пос. Ключи в троговой долине (рис. 2а).

По своему химическому составу и физико-химическим параметрам гидротермы относятся к азотным сульфатно-хлоридно-натровым, кремнистым (H_2SiO_3 – 130-59 ppm), борным (H_3BO_3 – 80-95 ppm), мышьяковистым

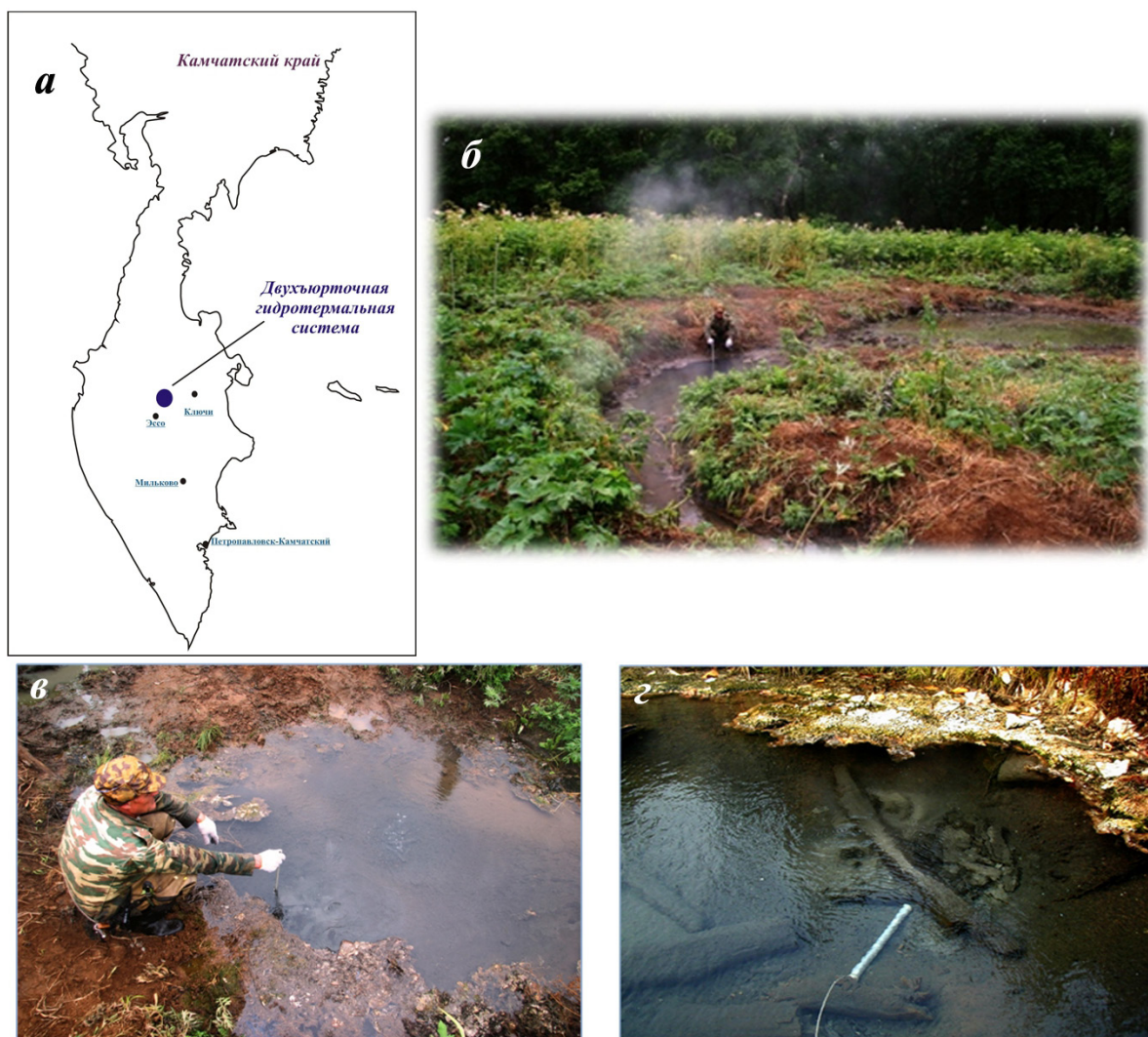


Рис. 2. Двухъярточники: *а* – местоположение; *б* – общий вид Западной группы; *в* – фрагмент – гидротермальная воронка с пузырьками газа на поверхности; *г* – деталь – остатки растений на дне термальной воронки и карбонатные отложения по ее краям.

(As – 0.25-3.8 до 8.5 ppm) высокотемпературным (максимальная температура 78°C), слабо щелочным (pH 8.0). Это типичные инфильтрационные термы атмосферного происхождения, катионно-анионный состав которых обусловлен взаимодействием вода – вулканическая порода в зонах выщелачивания (Карта..., 1999). Из этих вод происходит отложение различных минералов, в том числе и сульфидных сферолоидов. Они стали предметом многолетних исследований (Озерова и др., 1970; Яблокова, 2012). В этих сферолоидах авторами обнаружены высокие концентрации ртути (150-1000 ppm), мышьяка (200-800 ppm), сурьмы (50-150 ppm).

Источники пользуются повышенным вниманием медведей, что, вероятно, связано с бальнеологическими свойствами термальных вод и биоматов (сложная экологическая система, включающая в себя растительность, микроорганизмы, почвы, гидротермальные новообразования).

Один из горячих источников Западной группы представляет собой термальную площадку до 30 м², в центральной части которой располагается своеобразная воронка с размерами 1.5×2.0 м при глубине до 0.8-1.2 м, заполненная водой с температурой 75-78°C (рис. 2б). Водная поверхность осложняется многочисленными пузырьками за счет газифицирующих грифонов (рис. 2в). Газовый состав – азот (99.42 %) при незначительных количествах углекислоты (0.58 %). Вода в центральной части имеет серый цвет за счет глинистых минералов с большим количеством сферолитоподобных дисульфидов железа (рис. 2г).

Мутновская гидротермальная система – одна из наиболее мощных и продуктивных систем Курило-Камчатской островной дуги и северо-западной части зоны перехода континент-океан, в целом. Она располагается в 70-75 км к юго-востоку от г. Петропавловск-Камчатский на вулканическом плато с высотами +700 - +900 м

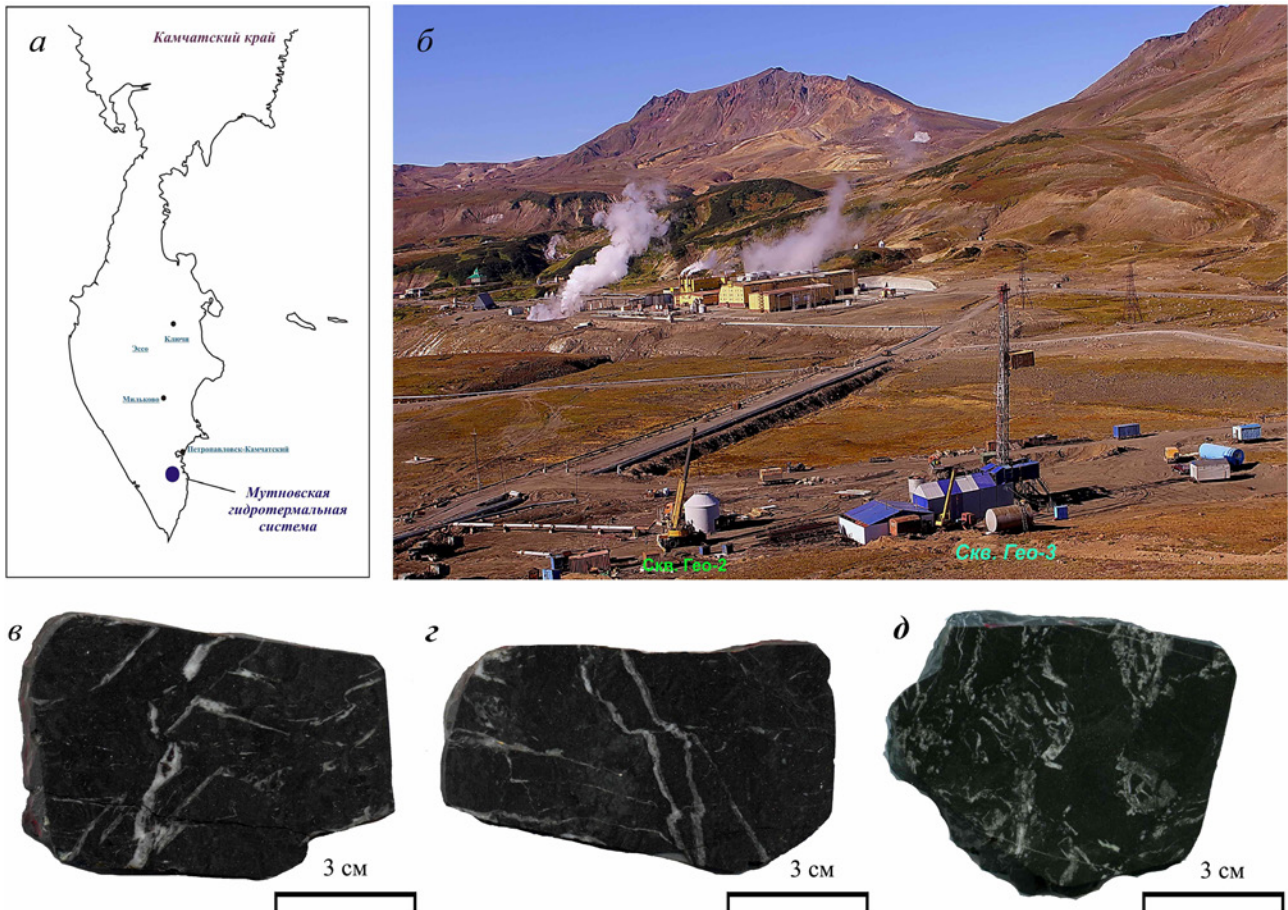


Рис. 3. Мутновская гидротермальная система: *а* – местоположение; *б* – общий вид геотермального комплекса. На переднем плане эксплуатационные скважины, пройденные в 2011-2012 гг.; *в*, *з*, *д* – туфогенно-осадочные породы – литологический экран, своеобразная шляпа или сиргоск геотермального резервуара, обогащенные агрегатами дисульфидов железа.

и в структурном отношении приурочена к долгоживущему Мутновско-Асачинскому вулканогенно-рудному центру, входящему в состав Восточно-Камчатского вулканического пояса (Округин, 2006, рис. 3а). Главные продуктивные зоны этой системы – известны под названием Мутновское месторождение парогидротерм, две ГеоТЭС (Пилотная Верхне-Мутновская – 12МВт и Главный энергетический модуль – 50 МВт) которого обеспечивают до 25 – 30 % потребностей Петропавловск-Елизовской городской агломерации в электрической энергии. На месторождении ведется бурение новых скважин для растущих потребностей геотермального комплекса (рис. 3б). Современные технологии бурения и эксплуатации позволяют получать информацию о составе теплоносителя (геотермального флюида) и строении ореолов гидротермальных изменений в широком интервале глубин (до 1500 м), температур (до 245°С) и давлений (более 45 атм.).

Мутновское месторождение парогидротерм представлено двумя типами вод: нижние горизонты – хлоридно-натриевые, конденсат верхней зоны имеет гидрокарбонатно-сульфатный

состав. На дневной поверхности оно выражено многочисленными выходами паровых струй и горячих вод, наиболее крупные из которых известны под названием Активная, Медвежья, Утиная, Южная. Они достаточно полно охарактеризованы в работах (Вакин и др. 1986; Кирюхин, 2002). Основные катионы: Na – 12.2 мг/л, Ca – 7.6 мг/л. В анионной части преобладают SO_4^{2-} (61 мг/л) над Cl (19.9 мг/л). Воды кислые (рН 3.8), характеризуются довольно низкой минерализацией (около 120 мг/л), отличаются значительными вариациями состава, температуры и дебита (Чудаев и др., 2000).

Среди отложений источников и в зонах гидротермальных изменений, вскрытых скважинами, присутствуют в заметных количествах дисульфиды железа (главным образом, пирит). Они имеют как классический кристаллический габитус (кубики, значительно реже ромбододекаэдры и пентагон-додэкаэдры), так и изометричную близкую к сферической форму (рис. 3в, з). При этом на дневной поверхности преимущественным развитием пользуются кристаллические агрегаты (более 90%). Отдельные кристаллы ожелезнены за счет окисления. С глубиной (по

разрезам скважин) степень ожелезнения резко уменьшается и возрастает количество агрегатов сферолитоподобной формы.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение морфологии и микроструктуры, химического состава, особенностей распределения элементов-примесей сульфидных сферолоидов проводилось с использованием следующих методов: – классической минералогии и минераграфии (прецизионные автоматизированные микроскопы Axioskop 40, SteREO Discovery.V12, Carl Zeiss); – локального физико-химического анализа (рентгеноспектральный с электронным зондом микроанализатор Camebax, укомплектованный новейшим энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-max 80); – аналитической сканирующей электронной микроскопии (SEM Vega 3 Tescan) в лаборатории вулканогенного рудообразования Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Образцы пирита месторождений Витватерсранда представлены: – сферическими образованиями почти правильной округлой, реже – каплевидной формы; – единичными кристаллами и их агрегатами преимущественно в виде сростков кубического габитуса (рис. 1*в*, 1*г*, 1*д*). Химический состав сферолоидов и кристаллических сростков идентичен. По данным рентгеноспектрального с электронным зондом микроанализа в обеих морфологических группах пирита установлены такие элементы-примеси как мышьяк, никель, кобальт с максимальными концентрациями 2.96, 1.56 и 1.38 % соответственно. Следует отметить, что на уровне чувствительности микрозондового анализа не обнаружен ванадий – типоморфный химический элемент для дисульфидов железа осадочного происхождения (Шило, Сахарова, 1986). Внимания заслуживает и тот факт, что и у сферолоидов, и у кристаллов, не смотря на их столь «почтенный» возраст (почти 2.5 миллиарда лет) отсутствуют признаки окисления (ожелезнение, гематитизация). Их современные гомологи – сферолоиды действующих гидротермальных систем Камчатки (Двухъярточная и недра Мутновской) обладают сходными свойствами.

Со дна термальной воронки одного из горячих источников Двухъярточной гидротермальной системы были подняты с помощью обычного кухонного ковши агрегаты глинистых минералов с многочисленными сферолоидами (глобулями) дисульфидов железа (рис. 4). Форма глобулей – округлая, овальная до эллипсоид-

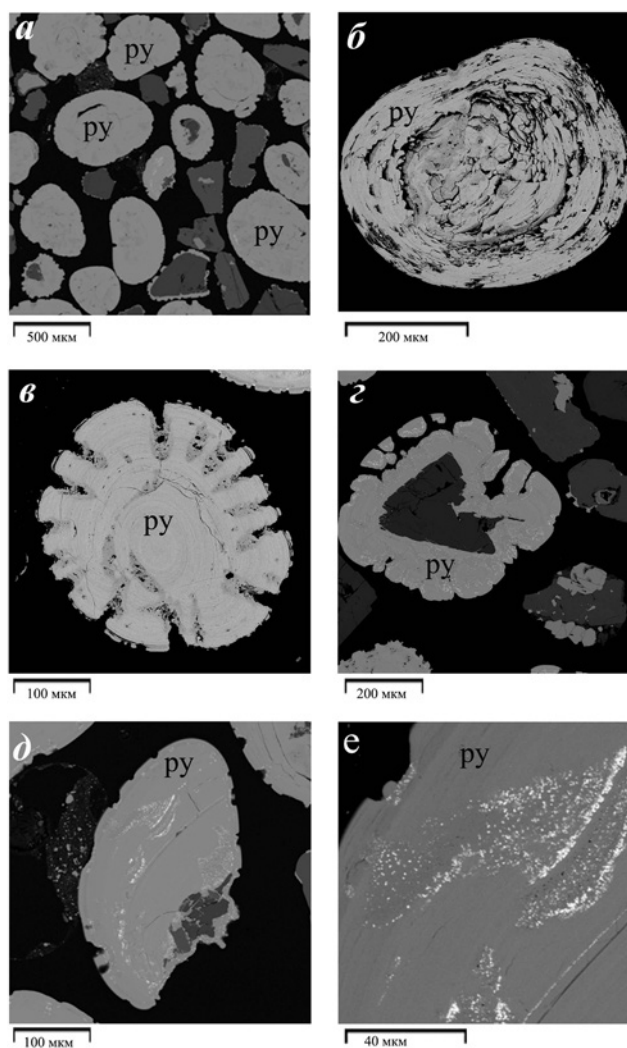


Рис. 4. Морфология дисульфидов железа из отложений Западной группы Двухъярточных источников: *а* – общий вид; *б* – структура типа «среза кочана капусты»; *в* – кристаллический агрегат пирита – затравка для нарастающего сложной формы сферолоида; *г* – каемка сульфидных микросферолитов вокруг обломка вулканитов; *д* – неоднородное строение сферолоида, обусловленное локальным обогащением отдельных микронзон (белое) мышьяком и ртутью; *е* – фрагмент аномальной зоны. Фото в обратно рассеянных электронах, py – пирит.

ной с размерами от первых сотен мкм до 2-3 мм. Встречены единичные экземпляры величиной до 5 мм. Во внутренних частях присутствуют иногда обломки породообразующих силикатов, самих вулканитов или идиоморфные кристаллы пирита с размерами 50-100 мкм. Они играют в данном случае роль своеобразных кристаллизационных затравок (рис. 4*в*, 4*г*).

Термальная воронка окружена обильной растительностью (рис. 2). Стебли, ветки при сезонных колебаниях оказываются в условиях гидротермального воздействия, вследствие чего на их поверхности отлагаются почти такие же сферолоиды дисульфидов железа с размерами от 0.5 до 2.0 мм (рис. 5).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Сульфидные сферолоиды отличаются сложным внутренним, как правило, неоднородным, концентрически зональным строением. Оно напоминает структуру «среза кочана капусты», где вместо отдельных листочков капусты – микрослойки дисульфидов железа (рис. 4б). При этом такая структурно-морфологическая неоднородность коррелируется химической, а именно – каждый «микрослой» отличается своим спектром элементов-примесей (ртуть, мышьяк и сурьма, рис. 4д, 4е). В отдельных случаях концентрации ртути, мышьяка и сурьмы в них достигают 19.8, 6.7 и 2.3 % соответственно.

Авторами был проведен эксперимент, суть которого заключалась в следующем. В пластиковые контейнеры (упаковка фотопленки) с отверстиями 1–2 мм был загружен на 0.5 объема искусственный кварц (фракция 0.1–0.25 мм).

Контейнеры закрыли крышками, погрузили на дно источника и зафиксировали с помощью полиэтиленового шнура по периметру воронки. Девять месяцев продолжался опыт. Когда пришло время извлекать контейнеры, то оказалось, что восемь из девяти были изъедены постоянными посетителями источников лесными обитателями. Поверхность сохранившегося контейнера и полиэтиленовый шнур были покрыты тонкой золотистой сульфидной пленкой. А в контейнере оказались сульфидные сферолоиды. По своим размерам, оптическим свойствам и химическому составу они сопоставимы с таковыми со дна источников. Отличия заключаются в следующем: – размеры не превышают 1.0–2.0 мм; – значительно сложнее микроморфология, внутреннее строение и минеральный состав (отдельные участки агрегатов состоят из марказита); – сравнительно «свежий» облик. Они

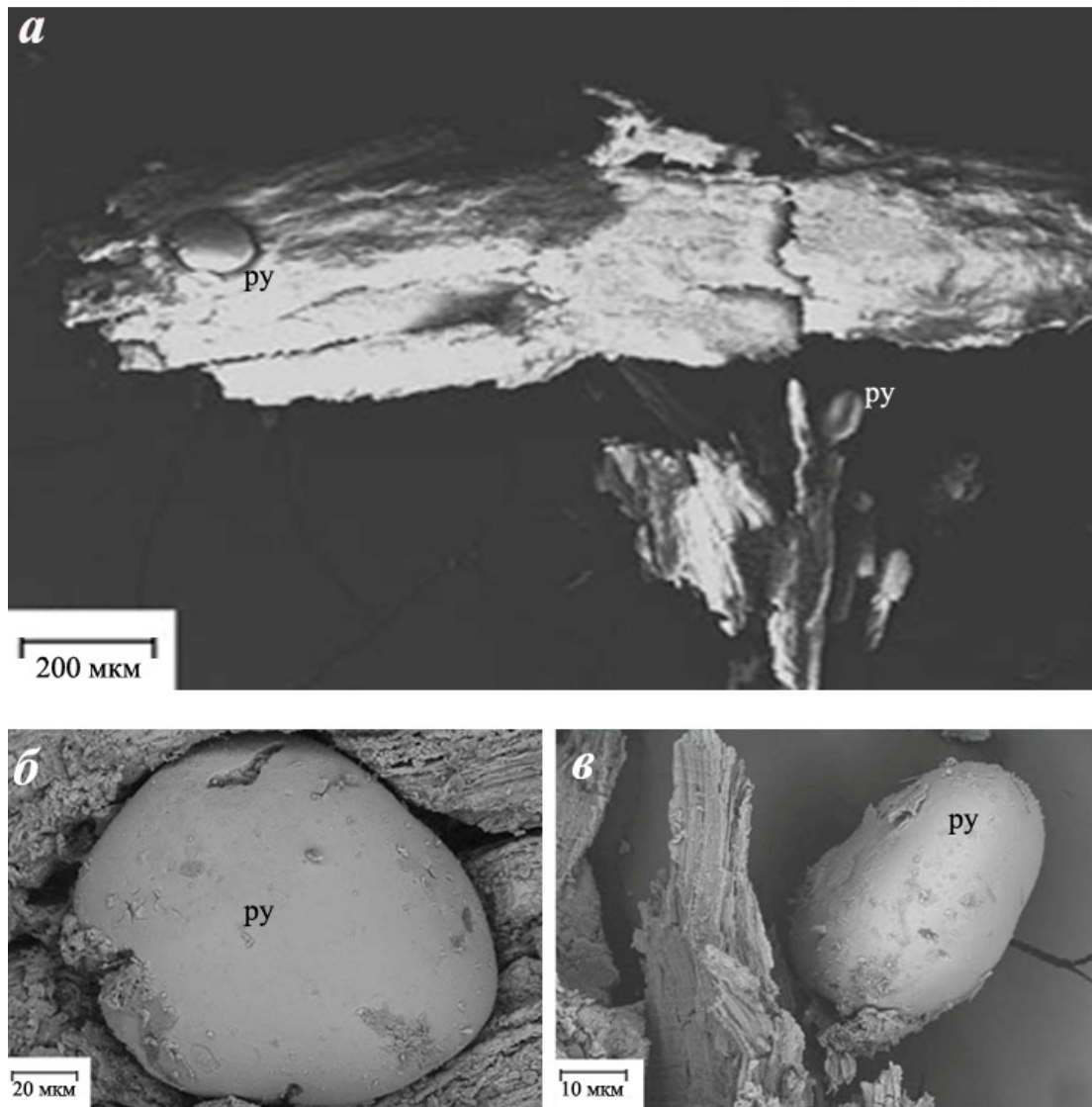


Рис. 5. Сульфидные сферолоиды, отлагающиеся на растительных остатках: *а* – стебли шеломайника со сферолоидами пирита (общий вид); *б, в* – фрагменты удивительных форм дисульфидов железа. Фото во вторичных электронах, ру – пирит, Западная группа, Двухъярочные источники.

как бы еще не прошли стадию «первичной литификации» и часть из них находится в состоянии своеобразной коацервации – отдельные мелкие близкие к наночастицам сферолоиды слипаются друг с другом, как сульфидные капли при ликвации. Происходит их слияние с формированием более крупных сферических форм и перераспределение элементов-примесей (рис. 6).

Дисульфиды железа Мутновской гидротермальной системы отличаются значительным разнообразием форм и размеров. В приповерхностных условиях, руслах водотоков, дренирующих грифонах и воронках горячих источников они, как правило, образуют не только единичные идиоморфные кристаллы (кубики, пентагон-додекаэдры), но и сложные агрегаты корродированных, катаклазированных, часто окисленных зерен. Их размеры меняются от первых сотен мкм до 2-5 мм (агрегаты кристаллов).

Сферолоиды встречаются на поверхности в исключительных случаях. Как правило, они появляются на значительной глубине в зонах вторичных изменений, связанных геотермальными резервуарами (рис. 3б, 3в). Это типичные сульфидные сферолиты исключительно небольших размеров – от микрона и менее. В отдельных случаях они концентрируются в виде микрогнездышек и микролинз с размерами до 20-50 мкм, напоминающих икринки земноводных (рис. 7а, 7б, 7д). В других – образуют агрегатные срастания с пиритом, имеющим четкое кристаллическое строение (рис. 7в). И те, и другие обнаруживают неоднородное строение по своему химическому составу за счет локального обогащения отдельных зон мышьяком, количество которого достигает 5.5 %.

В настоящее время в приповерхностных условиях и недрах современных действующих гидротермальных систем Камчатки происходит формирование агрегатов дисульфидов железа сферической формы (как это имеет место быть на Двухъярточной и Мутновской). Сферолоиды отличаются сложным внутренним строением и отлагаются совместно с кристаллическими формами. Среди наиболее распространенных элементов-примесей, обуславливающих неоднородное внутреннее строение как сферолоидов, так и кристаллов установлены аномальные концентрации мышьяка, ртути, сурьмы и не встречен ванадий. По совокупности своих типоморфных признаков эти минеральные сообщества практически неотличимы от таковых из золотоносных конгломератов Витватерсранда (Округин, Яблокова, 2013).

Такое совпадение форм, размеров, микроморфологии и микростроения сульфидных сферолоидов золотоносных конгломератов с глобулями (сферолоидами) современных гидротермальных систем Камчатки (Двухъярточная, Мутновская) трудно объяснить случайным совпадением.

Современный облик руд Витватерсранда – результат более чем двухмиллиардной геологической эволюции. Вполне вероятно, что в таком временном интервале могли иметь место процессы подобные тем, что происходят сейчас на Двухъярточной и Мутновской гидротермальных системах Камчатки.

Авторы выражают благодарность коллегам лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН В.М. Чубарову, С.В. Москалевой,

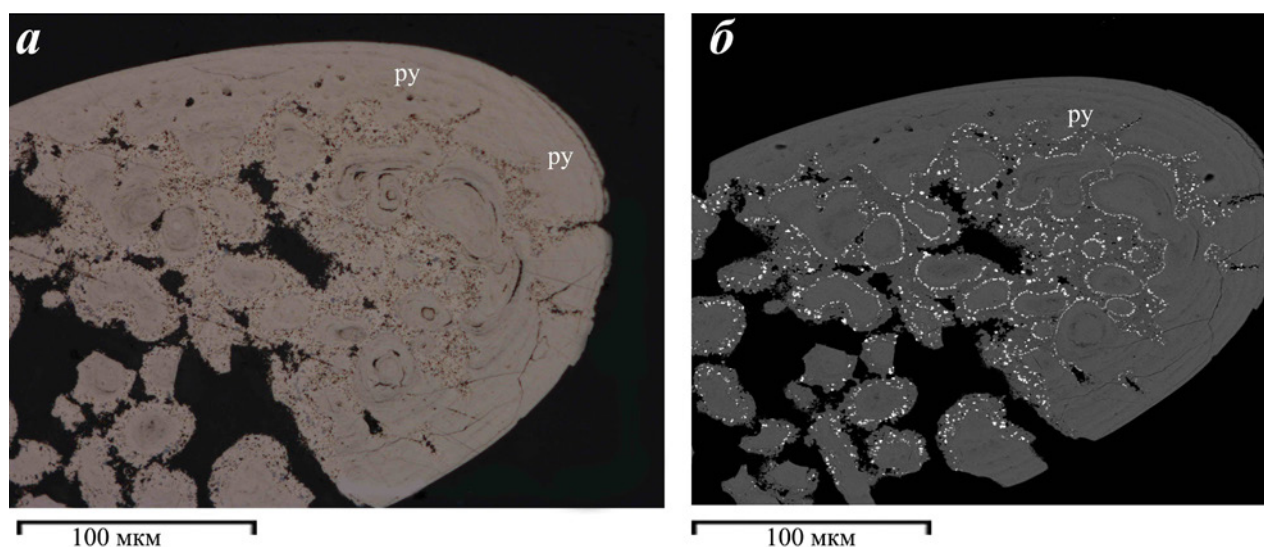


Рис. 6. Особенности внутреннего строения сферолоидов пирита – элементы грануляции (экспериментальные образцы). Фото: *а* – отраженный свет; *б* – обратно рассеянные электроны, белые точки – участки, обогащенные ртутью, мышьяком и сурьмой, *py* – пирит, Западная группа, Двухъярточные источники.

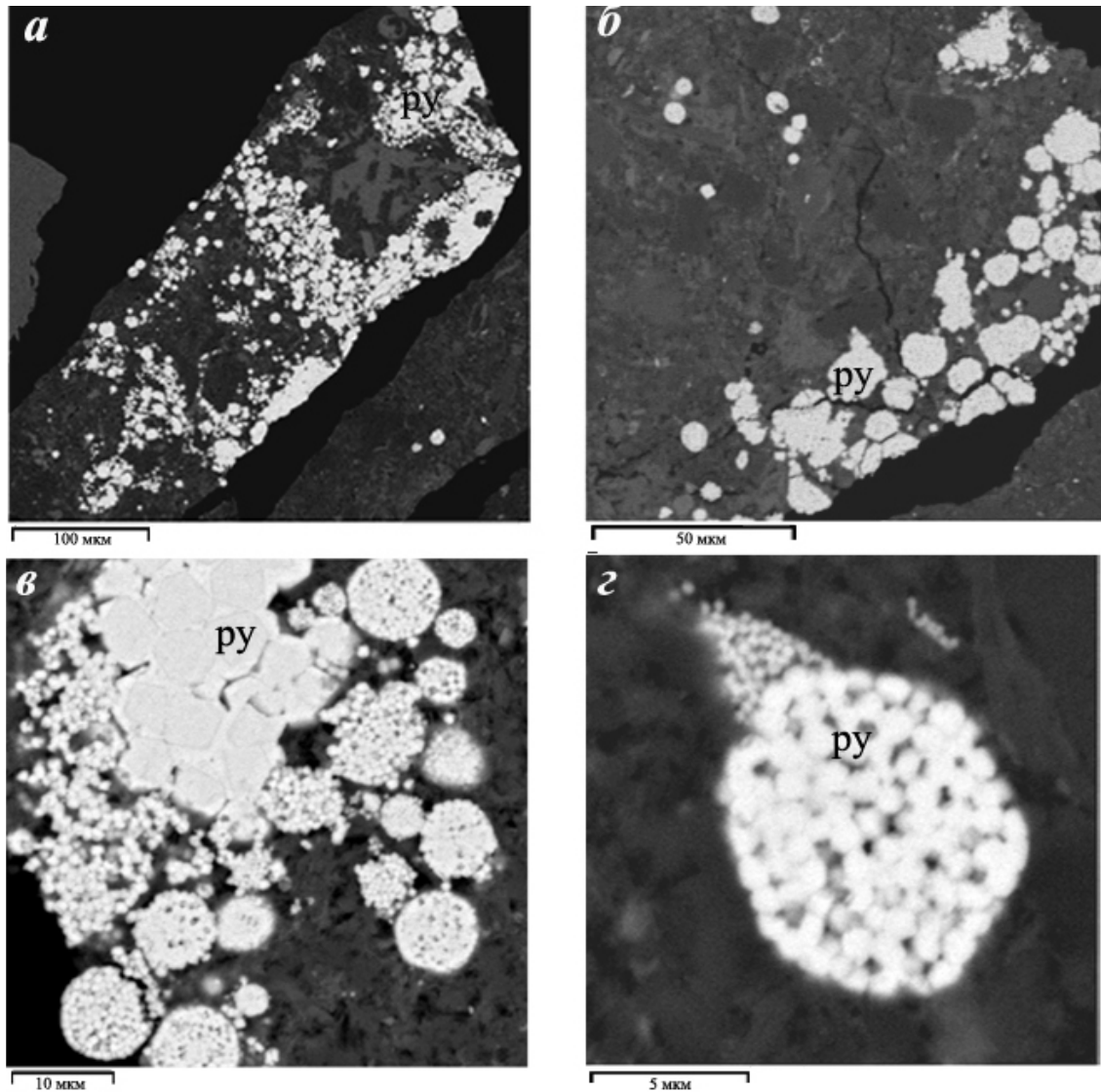


Рис. 7. Кристаллические и сферолоидные агрегаты пирита из гидротермально измененных пород над зоной поглощения Мутновского геотермального месторождения: *a, б* – микрогезда и микролинзы; *в* – взаимоотношение кристаллических и сферолитоподобных агрегатов пирита; *г* – «каметопоподобная» форма строения агрегатов сферолитов железа. Фото в обратно рассеянных электронах; ру – пирит.

Т.М. Философовой, В.В. Куликову, С.В. Полушину; сотрудникам Института геологических наук и природных ресурсов Нижней Саксонии (Ганновер, Германия) и Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН за предоставление образцов золотоносных конгломератов месторождений Витватерсранда; И.И. Черневу (ОАО «Геотерм»), В.П. Ребрикову (ООО «Утдгард») за помощь в организации и проведении полевых работ; А.В. Некрасову (ИЭМ РАН), В.Е. Кириченко (КО ТИГ ДВО РАН) всемерно способствовавшим выполнению исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (Программа стратегического развития ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012-2016 гг.) и проекта ДВО РАН (№ 13-III-08-053).

Список литературы

- Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф., Сугробов В.М.* Общая характеристика Мутновского месторождения и прогнозная оценка его ресурсов // Геотермические и геохимические исследования высокотемпературных гидротерм. М.: Наука. 1986. С. 6-41.
- Карта полезных ископаемых Камчатской области масштаба 1: 500 000. Краткая объяснительная записка. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализаций и ореолов рассеяния полезных ископаемых // Главные редакторы: А.Ф. Литвинов, М.Г. Патока (Камчатгеолком), Б.А. Марковский (ВСЕГЕИ). Петропавловск-Камчатский: Изд-во СП КФ ВСЕГЕИ, 1999. 560 с.

- Кирюхин А.В.* Моделирование эксплуатации геотермальных месторождений. Владивосток: Дальнаука, 2002. 216 с.
- Константинов М.М.* Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир, 2006. С. 22-25.
- Кренделев Ф.П.* Металлоносные конгломераты мира. Новосибирск: Наука, 1974. 238 с.
- Озерова Н.А., Бородаев Ю.С., Кирсанова Т.П. и др.* Ртутьсодержащий пирит из Двухъярточных источников на Камчатке // Геология рудных месторождений, 1970. № 1. С. 73-78.
- Округин В.М.* Мутновское серебро-полиметаллическое месторождение // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 712-716.
- Округин В.М., Яблокова Д.А.* О возможной гидротермальной природе сульфидных сферолитов золотоносных конгломератов Витватерсранда // Материалы Всероссийской конференции «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений». 29 октября - 1 ноября 2013, г. Москва. М.: ИГЕМ РАН, 2013. С. 151.
- Портнов А.М.* О возможном гипогенном происхождении конгломератов Витватерсранда // ДАН. 1978. Т. 239. № 3. С. 664-667.
- Прохоров В.Г.* Пирит (к геохимии, минералогии, экономике и промышленному использованию) // Труды СНИИГГИМС. Вып. 102. 1970. 188 с.
- Чудаев О.В., Чудаева В.А., Карпов Г.А. и др.* Геохимия вод основных термальных геотермальных районов Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2000. 162 с.
- Шило Н.А., Сахарова М.С.* Природа пиритовых образований из отложений Витватерсранда // Геология рудных месторождений. 1986. № 2. С. 85-89
- Щеглов А.Д.* Идеи академика В.И. Смирнова о полигенной природе рудообразования и месторождения золота Витватерсранд // Смирновский сборник-94. М.: ВИНТИ, 1994. С. 77-94.
- Щеглов А.Д.* О генезисе золоторудных месторождений района Витватерсранда (ЮАР) // ДАН. 1993. Т. 333. № 1. С. 79-82.
- Щеглов А.Д., Шумская Н.И.* О природе «галек» пирита из золоторудных месторождений Витватерсранда (ЮАР) // ДАН. 1995. Т. 340. № 5. С. 667-671.
- Яблокова Д.А.* Пирит месторождения Витватерсранд // Материалы XI региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». 16 апреля 2012 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2012. С. 80-89.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SULFIDE SFEROLOIDOV GOLD-BEARING CONGLOMERATES OF THE WITWATERSRAND IN SOUTH AFRICA AND MODERN HYDROTHERMAL SYSTEMS IN KAMCHATKA

V.M. Okrugin^{1,2}, D.A. Yablokova^{1,2}

¹Institute of Volcanology and Seismology Far East Branch RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia;

²Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia; e-mail:okrugin@kscnet.ru

The paper presents results from comparative study of spheroids iron disulfides («pyrite fraction») from the world-famous gold-bearing conglomerates of the Witwatersrand and spheroids sulfides formed in reactions of interaction between natural hydrothermal solution and volcanic rocks in modern active hydrothermal systems in Kamchatka Region (Dvuhyartochnaya and Mutnovskaya). The obtained data show that hydrothermal processes are involved in the formation of the Witwatersrand deposits.

Keywords: spheroids, Dvuhyartochnaya, Mutnovskaya hydrothermal systems, gold-bearing conglomerates, Witwatersrand.