

УДК 553.24:552.14:552.46:550.86

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО СУЛЬФИДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ В РАЙОНЕ 19°15'–20°08' с.ш. СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА

© 2012 г. И. Ф. Габлина, И. Г. Добрецова, В. Е. Бельтнев,
А. Д. Люткевич, Е. В. Наркевский, А. Н. Густайтис

Представлено академиком М.А. Федонкиным 24.06.2011 г.

Поступило 24.06.2011 г.

Массивные сульфидные руды, изучавшиеся в Мировом океане, представляют собой трубообразные рудные постройки, сформированные под воздействием высоконапорных гидротермальных флюидов, поступающих в морскую воду на дне океанов (“черные курильщики”) в различных геологических обстановках, главным образом в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов. Значительно менее изучены пластовые сульфидные руды, залегающие в современных осадках и расположенные преимущественно вблизи континентов (впадина Гуаймас, Калифорнийский залив; Мидл-Вэлли, Тихий океан). В то же время колчеданные месторождения – древние аналоги современных океанических “массивных сульфидных руд”, представляющие собой мощные стратиформные образования, как правило, залегают в осадочных и вулканогенно-осадочных породах [1]. То же относится к другому типу месторождений, формирующихся под воздействием рудоносных растворов иного генезиса (пластовых подземных вод), но также поступающих в донные осадки морских акваторий, – медистым песчаникам и сланцам [2, 3]. Оба типа характеризуются высокой концентрацией меди, свинца, цинка, редких элементов и относятся к основным источникам добычи этих металлов. Их обогащенность полезными компонентами объясняется длительным поступлением рудоносных флюидов в осадки, служащие барьером для полезных компонентов [4], тогда как поступление рудоносных растворов в морскую воду приводит к их рассеянию по акватории. Лишь часть металлов (менее 5% в начальной стадии и до 50% в дальнейшем) осаждаются в составе сульфидных построек, формирующихся на поверхности дна в местах выхода гидротерм [5, 6]. Сразу после образования массивных сульфидных руд на дне океана начинается

их разрушение под воздействием окружающей морской воды, в которой сульфиды неустойчивы [7, 8].

На основе исследований, проведенных нами в рейсе № 33 нис “Профессор Логачев”, впервые установлены сульфидные постройки нового для срединно-океанических хребтов типа, сформированные в осадках под воздействием диффузных гидротермальных растворов, поступающих по трещинам в базальтах в осадки на склонах Срединно-Атлантического хребта.

Рейс № 33 проводился ФГУНПП “Полярная морская геолого-разведочная экспедиция” в 2010 г. в пределах 19°15'–20°08' с.ш. Срединно-Атлантического хребта. Объектами изучения были рудное поле Зенит-Виктория (20°08' с.ш.), открытое в 31-м рейсе нис “Профессор Логачев”, и рудное поле Петербургское (19°52' с.ш.), установленное в рейсе № 33. Оба поля расположены за пределами рифтовой долины, на ее склонах (рис. 1).

В ходе рейса нами были изучены строение и минеральный состав гидротермальных сульфидных построек и вмещающих их донных осадков, поднятых с помощью телегрейфера и коробчатого пробоотборника, проведено изучение физико-химических свойств осадков с помощью потенциометра Эксперт-001 и гидрофизическое исследование придонных вод.

Гидротермальное поле Зенит-Виктория расположено на склоне восточного борта рифтовой долины, в диапазоне глубин 2390–2750 м, в зоне краевого глубинного разлома (рис. 1) [9, 10]. Оно вытянуто субмеридионально по склону на 2550 м, расширяясь с юга на север от 100–150 до 800–1000 м, и пространственно связано с базальтами. Поле состоит из трех рудных тел, оруденелых базальтов, рудоносных и карбонатных фораминиферово-кокколитовых, кокколитово-фораминиферовых донных осадков нередко с прослоями птероподовых отложений. Рудные тела представляют собой разрозненные группы гидротермальных сульфидных построек и гидроксидно-железистых (с Mn) образований в осадках. Самое крупное рудное тело I (600 × 1300 м)

*Геологический институт
Российской Академии наук, Москва
Полярная морская геолого-разведочная экспедиция,
Санкт-Петербург*

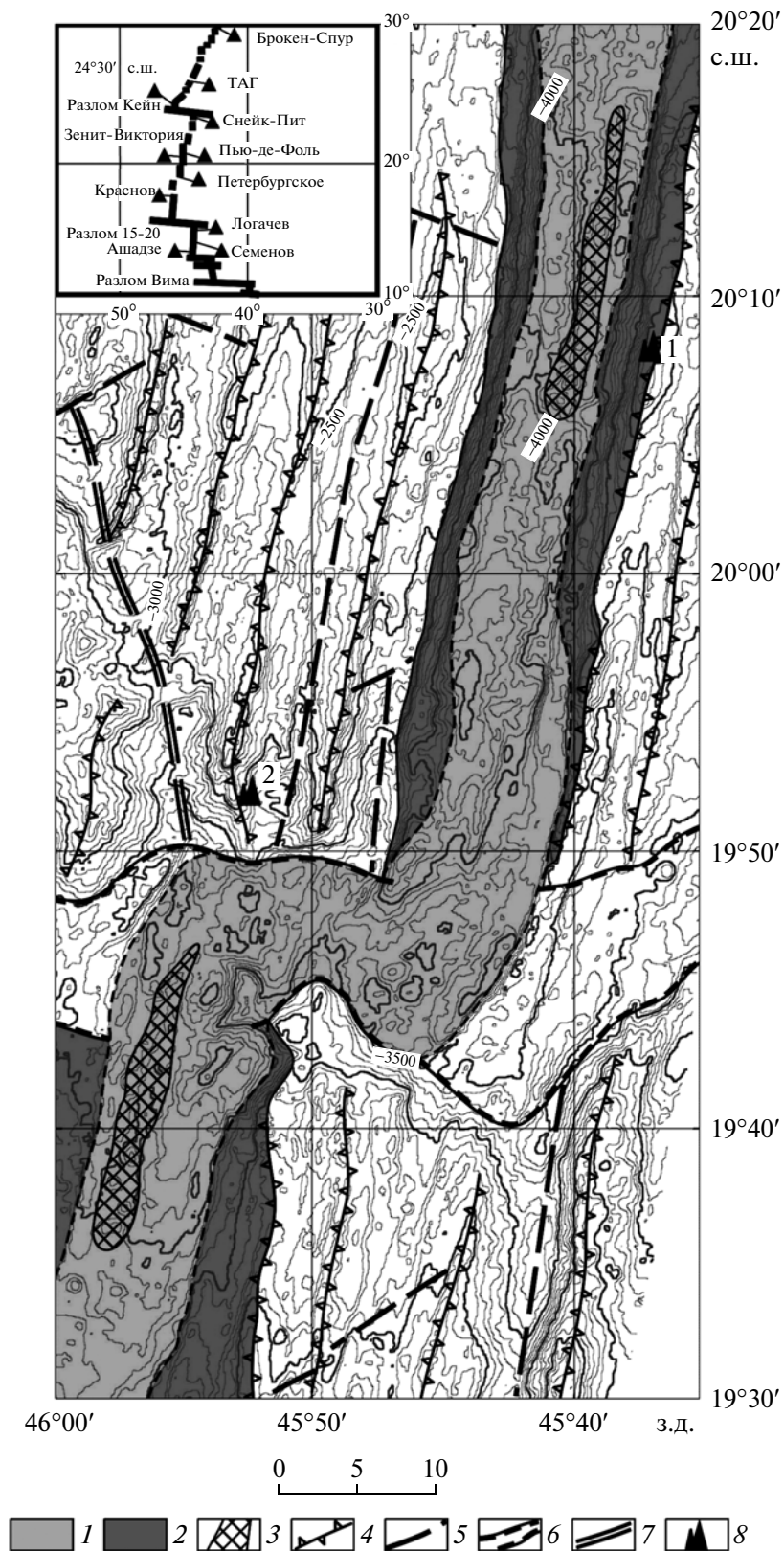


Рис. 1. Схема расположения гидротермальных полей в районе 19°30'–20°10' с.ш. САХ [10]. 1 – днище рифтовой долины; 2 – склоны рифтовой долины; 3 – осевые неовулканические поднятия; 4 – оси вершинных поверхностей рифтовых гряд на флангах САХ; 5 – основные тектонические нарушения; 6 – зона разлома 19°47' с.ш.; 7 – крупный разлом-грабен; 8 – положение гидротермальных полей: 1 – Зенит-Виктория, 2 – Петербургское.

занимает всю северную половину рудного поля. Возраст сульфидных руд, определенный Th/U-методом по 12 пробам, колеблется в интервале от 59.5 ± 7.5 до менее 2.0 тыс. лет [9]. Донные осадки распространены неравномерно и занимают около 40% площади рудного поля. Их мощность составляет от 10 до 60 см (вблизи рудных тел), редко до 100–140 см (на флангах рудного поля).

Поле слабо активно – на его северо-восточном фланге выявлены гидрофизические аномалии (по температуре, солености и плотности) и повышенные содержания растворенных форм Mn, связанные с диффузной гидротермальной деятельностью.

Гидротермальное поле Петербургское находится на выровненном участке (на глубинах 2800–3100 м), расположенном на южном замыкании террасы второй рифтовой гряды западного борта долины, на границе с крупным нетрансформным разломом $19^{\circ}47'$ с.ш. (рис. 1). Оно вытянуто вдоль склона на 1400 м, имеет ширину 800 м и состоит из 6 мелких (от 50×100 до 100×280 м) рудных тел. Одно из рудных тел – V (ст. 159) представлено богатыми медными рудами; рудные тела I–IV – железомарганцевыми образованиями и металлоносными осадками. Рудное тело VI установлено по данным электроразведки. Рудные тела окружены карбонатными отложениями вскрытой мощностью до 150 см, состоящими из птероподовых, фораминиферовых, кокколито-фораминиферовых, фораминиферово-кокколитовых илов и песков, в основании нередко с эдафогенным материалом. Местами карбонатные отложения литифицированы. Металлоносные отложения представлены сильно окисленными бурыми осадками мощностью до 50 см с плохо сохранившейся микрофауной и эдафогенным материалом в основании разреза. Физико-химические параметры (Eh и pH) рудоносных осадков вблизи сульфидных построек и карбонатных фоновых резко различаются. Фоновые осадки, изученные в 36 колонках за пределами гидротермальных полей, характеризуются довольно стабильными значениями pH от 7.4 до 7.8. Значения Eh всегда положительные и колеблются от +235 до +267 мВ. Данная характеристика распространяется на всю глубину фоновых колонок (до 1.5 м). Вблизи сульфидных построек рудного тела V эти параметры резко меняются с глубиной в сторону снижения восстановительного потенциала (до –130 мВ) и возрастания кислотности до pH 6.8.

По результатам изучения комплексов планктонных фораминифер возраст осадков составляет 0–128 тыс. лет (голоцен–поздний плейстоцен) [10]. Базальты, подстилающие осадки в районе рудных тел, обычно интенсивно изменены, часто превращены в рыхлые кварц-хлоритовые породы.

По минеральному составу выделены следующие типы руд: пирит-марказитовые, халькопирит-пирит-марказитовые, пирит-марказит-халькопиритовые, пирит-марказит-сфалерит-халькопиритовые и пирит-марказит-халькопиритовые с сульфидами меди и борнитом. Во всех типах руд в различных количествах присутствуют гидроксиды железа, реже – марганца, ярозит, минералы группы атакамита. Из нерудных гидротермальных образований наибольшим распространением пользуются опал, самородная сера, барит, хлорит, реже встречается арагонит. Преобладающим является халькопирит-пирит-марказитовый тип оруденения. Сфалерит в рудах установлен только в пределах рудного тела I гидротермального поля Зенит-Виктория.

В распределении минеральных типов поля Зенит-Виктория наблюдается зональность. Пирит-марказит-сфалерит-халькопиритовые руды развиты в восточной части рудного тела I, где они занимают наиболее высокий привершинный участок, вытянутый вдоль склона в меридиональном направлении и совпадающий с областью гидрофизических аномалий. На остальном пространстве преобладают халькопирит-пирит-марказитовые руды (иногда с примесью сульфидов меди), разделенные карбонатными осадками, в которых присутствуют гидроксидно-железистые образования с Mn. Зональность рудного поля Петербургское выражена в наличии зоны богатых сульфидных медных руд в юго-западной части поля (рудное тело V), окруженной гидроксидно-железистыми образованиями, рудоносными и карбонатными осадками.

Большая часть поднятого сульфидного материала обоих изученных полей представляет собой индивидуальные гидротермальные постройки с характерными размерами и формами, среди которых выделено несколько типов. По размеру выделяются мелкие – высотой 10–12 см (редко мельче) и крупные – высотой от 30 до 60 см, редко до 70 см. Обломки построек встречаются редко и представлены обычно фрагментами сильно выщелоченных и окисленных сульфидных образований, в значительной степени (20–80%) замещенных гидроксидами железа. По форме выделяются секущие и стратиформные типы построек. Секущие постройки имеют обтекаемую грушевидную или грибовидную, стратиформные – пластинообразную, линзовидную или караваеобразную форму (рис. 2а–г). Для тех и других характерно отсутствие сквозных полых каналов, обилие на поверхности следов выходов каналов в виде круглых или шелевидных кратеров, почти всегда запечатанных. Поверхность неразрушенных построек покрыта налетом гидроксидов железа и часто – опаловой пленкой по ним.

Внутреннее строение построек единообразно. Это многоканальные образования массивно-по-

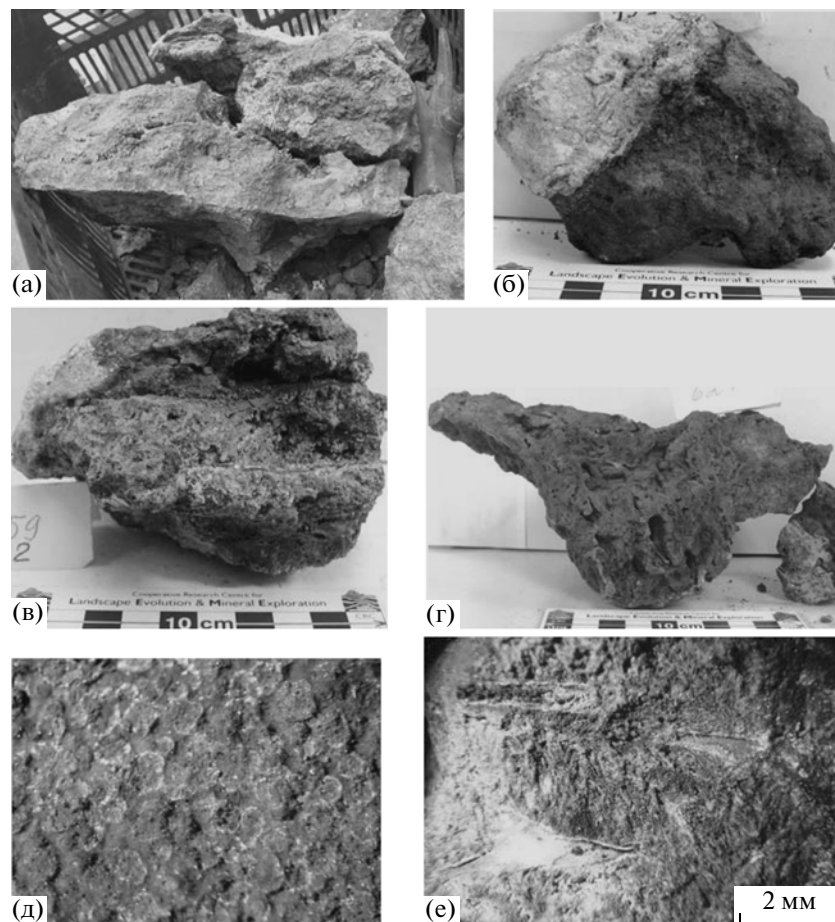


Рис. 2. Морфология и внутреннее строение сульфидных построек. а–в – поле Петербургское, рудное тело V, ст. 159: а – фрагмент караваобразной постройки размером 50 см в длину, мощностью 12–13 см в центральной части, с коротким узким каналом в основании и коркой литифицированных осадков в кровле, б – грибовидная асимметричная мелкая постройка с коркой литифицированных осадков в кровле, в – слоистое строение сульфидной постройки стратиформного типа (фрагмент); г–е – поле Зенит-Виктория, рудное тело I: г – грибовидная мелкая постройка с реликтами каналов в основании, д – псаммитовая структура руд постройки, сформированной по фораминиферовым пескам, диаметр “шариков” около 0.25 мм, состав – марказит, пирит, гидроксиды железа, сульфиды меди, ст. 61, е – отпечатки птеропод в пирит-халькопирит-сфалеритовых рудах, ст. 69.

ристых руд, более раскристаллизованных в нижней (суженной) и центральной частях построек и почти афанитовых, со скорлуповатой отдельностью в кровле и вдоль боковых стенок, сложенных обычно сливным серебристым марказитом. Центральные каналы не сохранились. Их реликты представлены субвертикально расположенными замкнутыми линзовидными пустотами (см. рис. 2г), инкрустированными пиритом, халькопиритом и другими рудообразующими и нерудными гидротермальными минералами. От центральной зоны ответвляются многочисленные, разно ориентированные боковые каналы. Вдоль боковых стен построек прослеживаются периферические каналы, концентрически окаймляющие ядро постройки. Они представлены линзовидными пустотами, ориентированными параллельно стенкам и чередующимися с зонами сливного марказита.

Минеральная зональность построек обычно связана с пористостью. Каркас постройки создается марказитовыми, марказит-пиритовыми рудами, а в наиболее пористых участках (реликтах каналов) по ним развиваются халькопирит, сульфиды меди. Для Cu-Zn-Fe-руд характерно участие основного рудообразующего минерала – сфалерита – как в строении тонко-микросталлического каркаса сульфидной постройки вместе с марказитом, так в заполнении полостей.

Сульфидные руды в постройках, особенно в постройках стратиформного типа, часто наследуют слоистую текстуру вмещающих осадков (рис. 2в), а иногда – и псаммитовую структуру фораминиферовых песков (рис. 2д).

Отличительной особенностью сульфидных образований изученного района является их тесный парагенез с осадками. При изучении взаимоотно-

шений сульфидных построек с вмещающими осадками выявлены следующие закономерности: 1) высота сульфидных построек соответствует мощности осадков — она, как и мощность осадков вблизи построек, не превышает 60 см, в редких случаях достигает 65–70 см; 2) сульфидные постройки содержат реликты осадочных текстур и структур (рис. 2в, д); 3) в сульфидных рудах присутствуют включения замещенных сульфидами и другими гидротермальными минералами раковин фораминифер и (или) птеропод, в зависимости от состава микрофауны окружающих органогенных осадков (рис. 2д, е); 4) на поверхности (обычно в кровле) построек, как правило, присутствует 1–2-сантиметровая корка литифицированных осадков (рис. 2а–в); 5) рудоносные осадки, поднятые вместе с сульфидными постройками, гидротермально изменены.

Все изложенное выше свидетельствует о формировании описанных сульфидных руд за счет метасоматического замещения сульфидами карбонатных осадков. Большая часть поднятых сульфидных образований является индивидуальными постройками, сформированными под воздействием диффузных источников гидротермальных флюидов, исходящих из трещин в базальтах. Формирование сульфидных руд сопровождалось существенной гидротермальной переработкой вмещающих оруденение осадков, выраженной в их уплотнении, литификации, иногда до состояния песчаников (см. рис. 2д), растворении органогенного карбонатного материала и замещении его гидроксидами железа, опалом, а в самих сульфидных постройках — сульфидами, в формировании корок закалки осадков в кровле построек. Эти данные, а также текстуры и структуры руд, нередко унаследованные от вмещающих осадков, являются прямыми свидетельствами формирования сульфидных построек в результате проникновения гидротерм в осадок. Признаки современной гидротермальной деятельности, установленные по гидрофизическим данным, свидетельствуют о том, что рудообразование продолжается до настоящего времени. Воздействие гидротерм на осадки выражается в околорудных преобразованиях и

изменении физико-химических параметров поровых вод осадков вблизи сульфидных построек. Резкое изменение Eh и pH с глубиной в сторону снижения восстановительного потенциала (до отрицательных значений) и возрастания кислотности убедительно свидетельствует о влиянии на осадки кислых восстановительных гидротермальных флюидов, поступающих снизу.

Таким образом, впервые установлен новый для срединно-океанических хребтов тип оруденения, сформированный под воздействием слабо напорных гидротермальных растворов, поступающих по трещинам в базальтах в карбонатные органогенные донные осадки на склонах Срединно-Атлантического хребта.

Рейс № 33 финансировался Федеральным агентством по недропользованию Министерства природных ресурсов и экологии РФ при поддержке РФФИ (грант № 08–05–00799).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масленников В.В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: Имин УрО РАН, 2006. 384 с.
2. Лурье А.М., Габлина И.Ф. // Геохимия. 1972. № 1. С. 75–88.
3. Лурье А.М. Генезис медистых песчаников и сланцев. М.: Наука, 1988. 182 с.
4. Габлина И.Ф. // Геология руд. месторождений. 1997. Т. 39. № 4. С. 372–386.
5. Рона П. Гидротермальная минерализация областей спрединга в океане. М.: Мир, 1986. 160 с.
6. Гурвич Е.Г. Металлоносные осадки Мирового океана. М.: Науч. мир, 1998. 340 с.
7. Гидротермальные сульфидные руды и металлоносные осадки океана / Под ред. И.С. Грамберга, А.И. Айнемера. 1992. СПб.: Недра, 278 с.
8. Габлина И.Ф., Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С. и др. // Геология руд. месторождений. 2000. Т. 42. № 4. С. 329–349.
9. Шилов В.В., Марков В.Ф., Самоваров М.Л. и др. Геология морей и океанов: Материалы XVIII Международной конференции (Школы) по морской геологии. М.: Геос, 2009. Т. 2. С. 202–203.
10. Шилов В.В., Бельтнев В.Е., Иванов В.Н. и др. // ДАН. 2012. Т. 442. № 3.