

РУДЫ НОВОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО СУЛЬФИДНОГО УЗЛА СЕМЕНОВ (13°31' С.Ш.), СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКИЙ ХРЕБЕТ

© 2010 г. И. Ю. Мелекесцева*, В. А. Котляров*, В. Н. Иванов**, В. Е. Бельтенева**, И. Г. Добрецова**, П. Нимис***

*Институт минералогии УрО РАН

456317, Челябинская обл., г. Миасс

E-mail: melestseva-irina@yandex.ru

**ФГУНПП "Полярная морская геологоразведочная экспедиция"

198412, С.-Петербург – Ломоносов, ул. Победы, 24

***Университет г. Падуа

35137, Италия, г. Падуа, ул. Гарибальди, 37

Поступила в редакцию 05.06.2009 г.

В статье описаны руды крупнейшего в Срединно-Атлантическом хребте гидротермального узла Семенов (13°31' с.ш.), состоящего из нескольких гидротермальных полей. Руды полей Семенов-1, -3 и -4 представлены серно-колчеданными (марказит-пиритовыми) разновидностями, характеризующимися тонкозернистыми, колломорфными, обломочными и прожилково-вкрапленными текстурами. Руды поля Семенов-2 характеризуются медно-цинковой (изокубанит-халькопирит-сфалерит-вюртцитовой) специализацией и тонкокристаллическими сростаниями рудных минералов. Кроме того, руды этого поля отличаются высокими содержаниями золота (до 188 г/т) и серебра (до 1787 г/т). По текстурно-структурным особенностям выделяются несколько рудных фаций: придонная гидротермальная, донная гидротермальная и кластогенная, каждая из которых отличается по механизму рудоотложения. К придонной гидротермальной фации, образующейся ниже поверхности дна одновременно с донными гидротермальными процессами, относятся прожилково-вкрапленные руды полей Семенов-2 и -4. Донная гидротермальная фация, образующаяся на поверхности морского дна в толще воды вблизи устьев гидротермальных источников, представлена тонкозернистыми и колломорфными рудами полей Семенов-1 и -2. Кластогенная фация, образующаяся в результате разрушения твердых гидротермальных сульфидных руд, представлена коллювиальными брекчиями на поле Семенов-3. Текстурно-структурные и минералогические характеристики рудных фаций гидротермального узла Семенов сходны с таковыми из рудных фаций колчеданных месторождений Урала.

Ключевые слова: *Срединная Атлантика, Урал, сульфидные гидротермальные поля, колчеданные месторождения, ультрамафиты, базальты, руды, рудные фации, сульфиды, золото.*

ВВЕДЕНИЕ

В 2007 г. в 30-м рейсе российского научно-исследовательского судна "Профессор Логачев" ФГУНПП "Полярная морская геологоразведочная экспедиция" совместно с ФГУНПП "ВНИИОкеанология" был открыт новый гидротермальный сульфидный узел в центральной части Срединно-Атлантического хребта (13°31' с.ш.) (рис. 1), впоследствии названный по имени геолога ПМГРЭ Ю.П. Семенова, ушедшего из жизни летом 2008 г. [2, 27]. Рудный узел Семенов в настоящее время является крупнейшим скоплением сульфидов в Атлантике. По предварительным оценкам ресурсы рудной массы оцениваются в 40 млн. т. Гидротермальный узел находится между разломами Зеленого мыса и Марафон и состоит из пяти гидротермальных полей: Западного, Северо-Западного, Северо-Восточного, Восточного и Центрального, впоследствии названных Семенов-1, -2, -3, -4 и -5 соответственно [28].

В результате работ были драгированы образцы различных руд, исследование текстурно-структурных особенностей которых и сравнение их с рудными фациями уральских колчеданных месторождений, стало целью настоящей работы.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ УЗЕЛ СЕМЕНОВ

Гидротермальный узел Семенов располагается в западном борту рифтовой долины на глубинах от 2400 до 2950 м на подводной горе, вытянутой по широте примерно на 10 км при ширине около 4.5 км (рис. 2) [9]. Гора имеет сложное геологическое строение: с океанского дна были подняты серпентинизированные ультрамафиты, габброиды, базальты, метабазальты и плагиограниты.

Поле Семенов-1 расположено в подножии горы на глубинах 2570–2620 м и представляет собой единый холм (возможно, серию рудных холмов) и продуктов их разрушения [9]. В районе поля Семенов-1 драгированы серпентинизированные перидотиты и

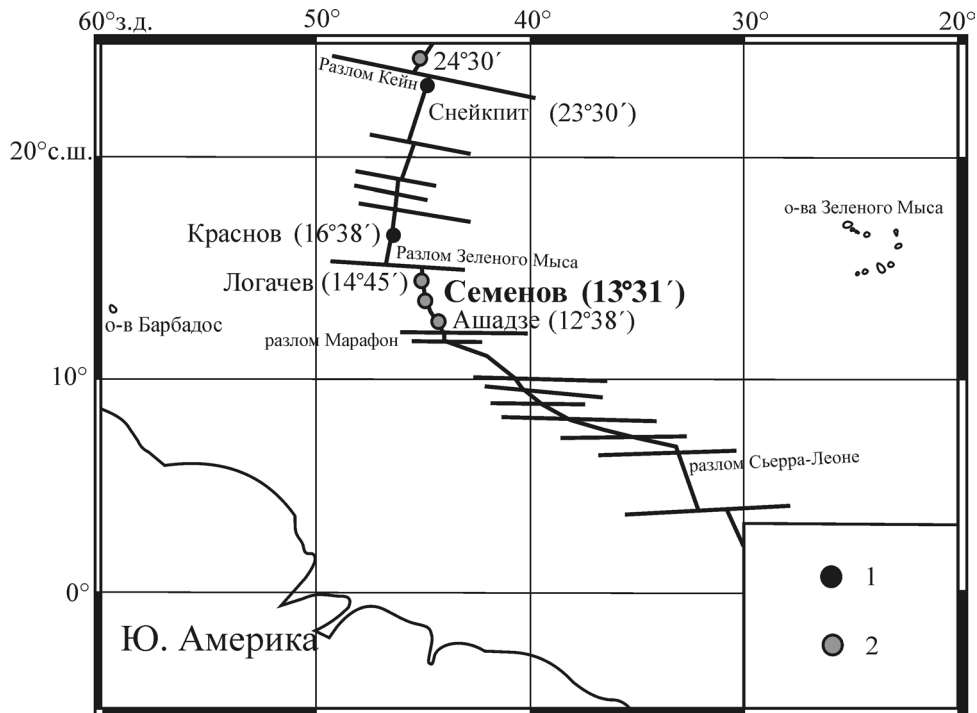


Рис. 1. Положение гидротермального узла Семенов в Срединно-Атлантическом хребте, составлено по [1, 3, 7, 27, 29, 30].

Гидротермальные поля, ассоциирующие с: 1 – базальтами, 2 – базальтами, ультрамафитами, габбро.

базальты (рис. 2). Максимальная наблюдаемая протяженность рудных образований составляет около 175–200 м. Сульфидный материал, поднятый на ст. 30Л186 и 30Л292 (рис. 2), представлен серноколчеданными рудами с большим количеством барита (до 20%). Содержания основных металлов в изученных образцах руд составляют (в %): Cu – 0.084–0.112, Zn – 0.035–0.11, Au – 0.35–1.53 г/т, Ag – 11.4–33.3 г/т.

Поле Семенов-2 расположено на склоне горы на глубинах 2480–2750 м [9]. Здесь были драгированы базальты (рис. 2). На ст. 30Л287 подняты массивные халькопирит-сфалеритовые руды с большим количеством опала (35–40%). Содержания металлов в рудах варьируют (в %): Cu – 11.37–19.33, Zn – 5.89–18.32, Au – 22–188 г/т, Ag – 127–1787 г/т. В рейсе 2009 г. было установлено, что поле Семенов-2 активно [2]. Выявлено 2 зоны активности с трубами “черных курильщиков” и гидротермальной фауной, представленной двустворчатыми моллюсками, гастроподами, крабами и креветками. Обнаруженное оруденение представлено богатыми медноколчеданными и медными рудами.

Поле Семенов-3, расположенное на базальтах, опробовано на склоне горы одной драгой (ст. 30Л284, (рис. 2)) на глубинах 2400–2600 м [9]. Было поднято большое количество сульфидных брекчий с кварцевым цементом, содержание которого варьирует от 5 до 40%. Содержания в рудах (в %):

Cu – 0.12–0.21, Zn – 0.06–0.16, Au – 0.29–0.63 г/т, Ag – 6.3–17.4 г/т.

Поле Семенов-4, ассоциирующее с базальтами, по данным теленаблюдений, находится на глубинах 2580–2950 м как на склоне, так и у подножия горы [9]. Сульфиды слагают протяженные тела, условно подразделяемые на северную и южную группы и разделенные между собой выходами коренных пород. Северная группа состоит из трех (?) рудных тел размерами 210 × 100 м², 525 × 200 м² и 100 × 200 м²; южная группа представлена четырьмя (?) телами размером 200 × 100 м², 700 × 75 м², 150 × 150 м² и 50 м. На двух телепрофилях сульфидные тела непрерывно наблюдались на протяжении более 1500 м. Сульфиды, поднятые на двух станциях (ст. 30Л145 и 30Л153, рис. 2), представлены серноколчеданными массивными и прожилково-вкрапленными рудами в измененных базальтах. Содержания металлов в массивных рудах (в %): Cu – 0.16–1.26, Zn – 0.06–0.18, Au – 0.13–0.86 г/т, Ag – 3.7–18.7 г/т, в прожилково-вкрапленных рудах (в %): Cu – 0.04–0.45, Zn – 0.025–0.033, Au – 0.13–0.19 г/т, Ag – 2.2–3.5 г/т.

Поле Семенов-5, расположенное в интервале глубин 2160–2340 м, вероятно связано как с базальтами, так и ультрамафитами [2]. Поднятый с двух станций гидротермальный материал сильно отличается друг от друга: были драгированы как медноколчеданные, так и серноколчеданные руды.

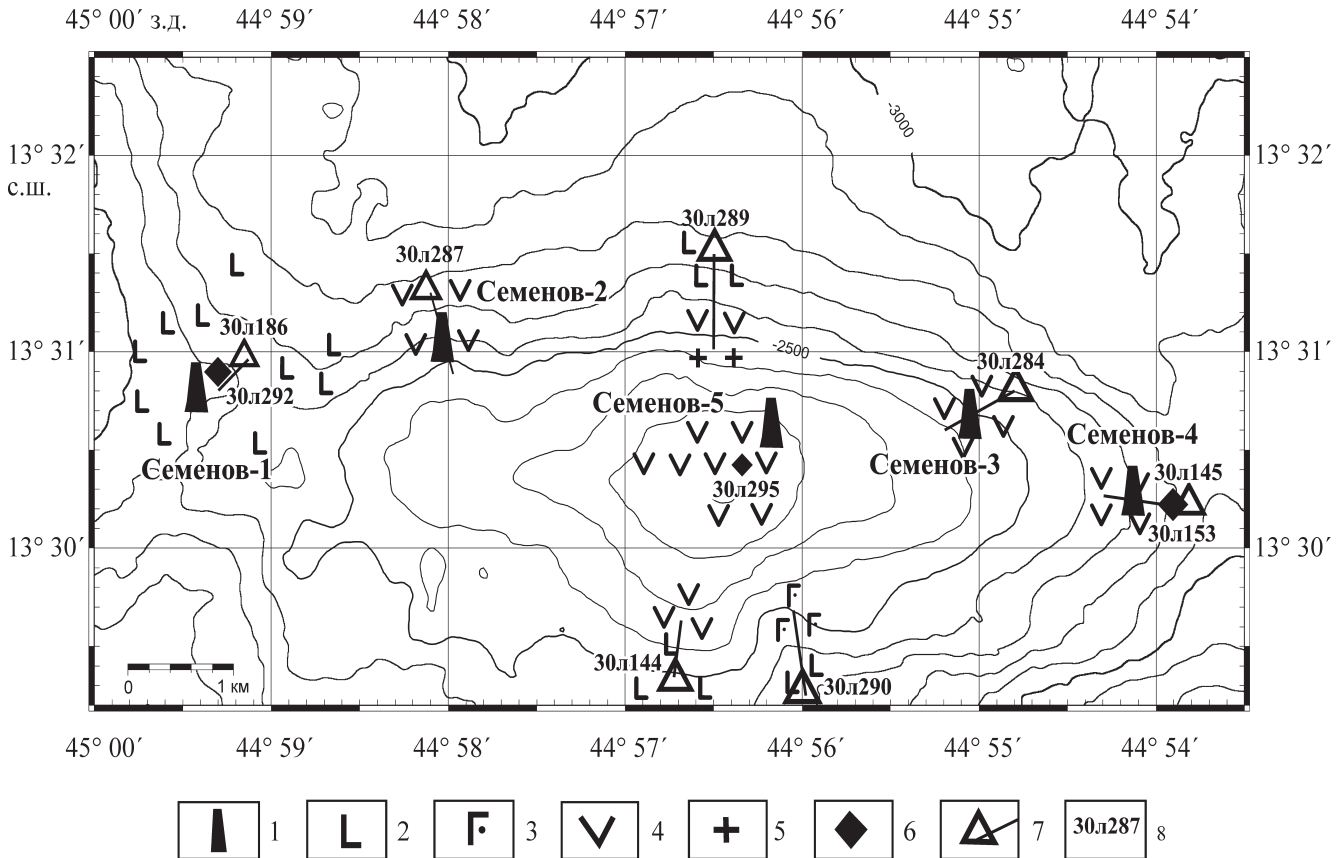


Рис. 2. Положение гидротермальных сульфидных полей в районе узла Семенов по [9, 28].

1 – гидротермальные рудопроявления, 2 – серпентинизированные перидотиты, 3 – габброиды, 4 – базальты и metabазальты, 5 – плагиограниты; 6, 7 – станции опробования: 6 – телеграфейфер, 7 – скальная дрота; 8 – номера станций. Изобаты проведены через 100 м.

РУДЫ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО УЗЛА СЕМЕНОВ

Непосредственно на борту НИС “Профессор Логачев” в 2007 г. И.Ю. Мелекесцевой были отобраны образцы руд из полей Семенов-1, -2, -3 и -4, главным методом изучения которых стал текстурно-структурный анализ.

Поле Семенов-1. Образцы станции 30л186 представлены тонкозернистыми марказит-пиритовыми рудами с баритом и кварцем. Иногда на поверхности образцов наблюдаются почковидные марказит-пиритовые агрегаты с размером отдельных почек до 3 мм (рис. 3а). Пирит представлен двумя генерациями. Пирит-I образует тонкокристаллические (около 0.01 мм) сростания с кварцем, тогда как пирит-II в виде более крупнокристаллических агрегатов нарастает на пирит-I и рассекает его агрегаты с кварцем (рис. 3б). Марказит обрастает пирит в виде агрегатов из копьевидных кристаллов размером до 0.08 мм. Таблитчатые четырех- и шестигранные кристаллы барита образуют гнезда и жилки с радиально-лучистыми агрегатами размером до 0.5 см, на которые нарастают пирит, марказит и кварц. Кварц обрастает сульфиды в виде очень тонкой каймы мощностью до 0.02 мм.

Аксессуарный *сфалерит* приурочен к порам в пирите либо барите и образует ксеноморфные зерна округлой или удлиненной формы размером от нескольких до десятков микрон. Редкие овальные, каплевидные и вытянутые зерна *галенита* размером до 20 мкм были найдены в кристаллах барита.

Образцы марказит-пиритовых руд станции 30л292 характеризуются колломорфными, кружевными, ажурными, почковидными, очень пористыми и, местами, полосчатыми агрегатами (рис. 3в). В них были обнаружены мелкие (2–3 см длиной и 0.5 см в ширину) марказит-пиритовые трубки, расположенные на стенках многочисленных пор. Пирит здесь также представлен двумя морфологическими разновидностями, которые соответствуют разным генерациям. Пирит-I встречается в виде мельчайших (около 1 мкм) глобулей, соединенных во фрамбоиды размером до 20 мкм в диаметре (рис. 3г). Фрамбоиды пирита, местами образующие слои, замещаются кристаллическим пиритом-II с размером отдельных кристаллов до 20 мкм. Пирит-III в виде тонких кристаллических кайм нарастает на более поздние почки марказита. Марказит нескольких генераций встречается в виде ко-

псевидных, пирамидальных, реже таблитчатых кристаллов (от 10 мкм до 1 мм) и их агрегатов, часто радиально-лучистых сростков. Ранняя генерация марказита, представленная остроугольными кристаллами, обрастает округлые агрегаты кварца (рис. 3д), а также встречается вместе с пиритом в концентрически-зональных агрегатах. Более поздний марказит образует почки из шестоватых кристаллов, покрытые каймой пирита-III и растущие на радиально-лучистых баритовых агрегатах.

Галенит в образцах станции 30Л292 был найден в порах пирит-марказитовых агрегатов в виде редких мелких (5–40 мкм) гипидиоморфных зерен (рис. 3е). *Сфалерит* редко наблюдается в виде мелких (до 20 мкм) тетрагональных кристалликов и их сростков, растущих между зонами в пирит-марказитовых агрегатах. Ксеноморфные включения *пирротина* (до 8 мкм) также встречаются на границах пирита и марказита в зональных агрегатах. *Гематит* псевдоморфно замещает пиритовые и марказитовые кристаллы, образует тонкие каемки, 2–4 мкм толщиной, на сульфидах и заполняет центральные части пирит-марказитовых агрегатов. Четырехугольные таблитчатые кристаллы *барита* (до 1 мм) образуют микродрузы и щетки на поверхности сульфидов. В сульфидах также встречаются тени радиальных агрегатов или отдельных удлиненных таблитчатых кристаллов до 20 мкм толщиной и до 200 мкм длиной, возможно, являющихся реликтами *ангидрита* (?). *Ярозит* замещает позднюю генерацию пирита в виде изогнутых ксеноморфных агрегатов мощностью до 100 мкм.

Поле Семенов-2. Образцы этого поля (станция 30Л287) значительно отличаются от других руд, драгированных в районе узла Семенов. Сульфидная руда, возможно, представляет фрагменты труб “черных курильщиков” и характеризуется изокубанит-халькопирит-сфалерит-вюртцитовой минеральной ассоциацией с тонкозернистыми сростаниями (рис. 3ж). Главными минералами здесь являются халькопирит, изокубанит, вюртцит и опал, второстепенными – сфалерит, марказит, пирит, ковеллин и яроуит(?), редкими – галенит, пирротин, самородное золото, недиагностированный теллурид серебра, барит и арагонит.

Сульфиды меди, представленные *халькопиритом* и *изокубанитом*, тесно ассоциируют друг с другом и образуют кристаллические агрегаты размером до 0.5 см. Реже под биноклем в мелкозернистой сульфидной массе обнаруживаются отдельные гексагональные кристаллы изокубанита и тетрагональные кристаллы халькопирита размером до 1 мм. Халькопирит часто замещает изокубанит, развиваясь по краям изокубанитовых зерен (рис. 3з), а также образует тонкие (несколько мкм) различно ориентированные ламеллы, формирующие решетчатую структуру в изокубаните и, возможно, являющиеся продуктом распада твердого раствора [20]. При полном развитии халькопирита по изокубаниту могут оставаться реликты решетчатой

структуры. Часто в изокубанит-халькопиритовых агрегатах наблюдается промежуточная зона шириной до 0.1 мм, которая характеризуется кремовым цветом, сильной шагреновой поверхностью и повышенным рельефом и которая иногда служит матрицей для ламелл халькопирита. Нередко кристаллы и зерна изокубанита полностью замещены этим материалом. Несмотря на внешне неоднородную поверхность, состав этой зоны отвечает халькопириту.

Сульфиды цинка представлены *вюртцитом* и *сфалеритом*, различия между которыми подтверждаются рентгенофазовым анализом. Основные межплоскостные расстояния вюртцита (d , Å (I)): (3.317 (39), 3.125 (43), 2.932 (2), 2.278 (0), 1.916 (100), 1.769 (2), 1.659 (10), 1.633 (4), 1.604 (2), 1.565 (2); сфалерита (рентгенограмма получена из смеси с халькопиритом и ковеллином): 3.06 (9), 1.875 (4) (Южно-Уральский центр коллективного пользования по исследованию минерального вещества, дифрактометр ДРОН-2.0, **Си-анод, графитовый монохроматор**, шаг сканирования 0.02° , время стояния счетчика 1 с, внутренний эталон – **Si, аналитики П.В. Хворов и Т.М. Рябухина**). Расчет данных рентгенофазового анализа методом постоянных коэффициентов показывает, что отношение вюртцита к сфалериту составляет ~6 : 1. Вюртцит присутствует в виде гексагональных таблитчатых кристаллов размером до 0.5 мм. Сфалерит чаще представлен зернистыми агрегатами, но также встречаются и тетраэдрические кристаллы размером около 0.5 мм. В отраженном свете различия между сульфидами цинка не выявляются. Травление их парами царской водки не выявляет их внутренней структуры. Под микроскопом отчетливо видно, что сульфиды цинка обрастают, замещают и рассекают сульфиды меди (рис. 3и). В сульфидах цинка часто наблюдаются включения халькопирита размером до 50 мкм и реже – эмульсионная вкрапленность халькопирита размером первые микрометры.

Пирит представлен двумя морфологическими разновидностями: пирит-1 встречается в виде концентрических почковидных агрегатов до 250 мкм в диаметре; пирит-2 образует гипидиоморфные, иногда грубозональные кристаллы размером около 100 мкм, которые обрастают радиально-лучистые агрегаты арагонита. Кристаллы пирита нарастают на стенки пор в изокубанит-халькопиритовых агрегатах, и их рассекают тончайшие (мощностью до 20 мкм) прожилки позднего халькопирита. *Марказит* представлен двумя генерациями. **Марказит-I образует тончайшие (около 1 мкм) просечки в изокубанит-халькопиритовых агрегатах, не продолжающиеся в окружающий сфалерит. Марказит-II наблюдается в виде радиальных агрегатов, состоящих из копьевидных кристаллов около 0.1 мм и нарастающих на кристаллы пирита-2. Многие агрегаты марказита замещены опалом.**

Минералы системы Си-S интенсивно замещают изокубанит-халькопиритовые и сфалеритовые зерна по трещинкам и краям, часто сохраняя реликто-

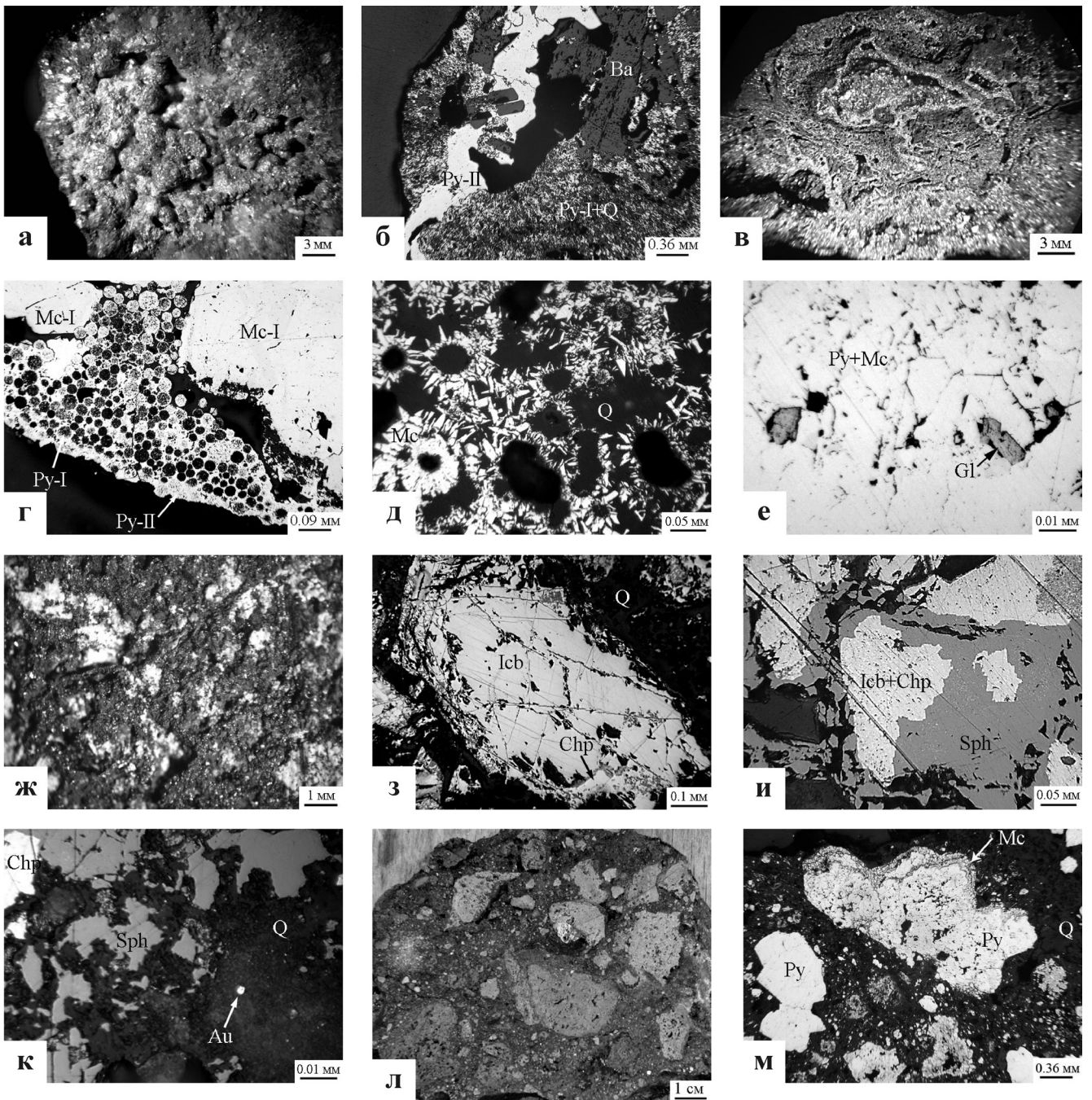


Рис. 3. Текстурно-структурная характеристика руд гидротермального узла Семенов.

а – почки пирита в тонкозернистых опал-марказит-барит-пиритовых рудах, ст. 30Л186; б – тесное срастание тонкокристаллического пирита первой генерации (Py-I) с кварцем, рассекаемое прожилком пирита второй генерации (Py-II) с кристаллами барита, ст. 30Л186; в – колломорфная марказит-пиритовая руда, ст. 30Л292; г – фрамбонды пирита-I, замещаемые микрокристаллическим пиритом-II и более поздним крупнокристаллическим марказитом-I (Mc-I), ст. 30Л292; д – радиально-лучистые агрегаты марказита в опале (Q), ст. 30Л292; е – кристаллы галенита (Gl) в поровом пространстве марказит-пиритовых агрегатов, ст. 30Л292; ж – тонкозернистые срастания сульфидов цинка и меди (темное), барита и опала (белое), ст. 30Л287; з – зерно изокубанита (Icb), по краям замещаемое халькопиритом (Chp), светло-серые каймы между изокубанитом и халькопиритом – вторичные сульфиды меди, ст. 30Л287; и – сфалерит (Sph) с эмульсионной вкрапленностью халькопирита, рассекающий и обрастающий агрегаты сульфидов меди, ст. 30Л287; к – зерно золота (Au) в опале, ст. 30Л287; л – сульфидная брекчия, ст. 30Л284; м – срезание колломорфно-зонального текстурного рисунка в марказит-пиритовом обломке, ст. 30Л284.

Снимки а, в, ж – снято под бинокуляр, л – штуп, остальные – отраженный свет.

вую решетчатую структуру изокубанита с халькопиритом. Многие мелкие зерна халькопирита, изокубанита и сфалерита полностью замещаются вторичными сульфидами меди. По данным рентгенофазового анализа минерал системы **Cu-S** представлен ковеллином (d , Å (I)): 3.273 (1), 3.216 (1), 2.715 (7), 1.915 (71), 1.894 (6), 1.734 (1). Предполагается также присутствие в небольших количествах яррорита(?), поскольку на дифрактограмме имеется характерное для него отражение в области 2.762 (4).

Галенит был найден в ксеноморфном пористом сфалеритовом зерне в виде удлиненного агрегата из изогнутых гипидиоморфных зерен размером 10×20 мкм². *Пирротин* также приурочен к порам в сфалерите и представлен таблитчатыми зернами и ламеллами длиной до 50 и шириной до 25 мкм.

Опал заполняет интерстиции между сульфидами и также нарастает на сульфиды, образуя корки и "сталактиты" до 0.5 мм в длину. *Барит* встречается редко, нарастает на сульфиды и опал в виде таблитчатых кристаллов размером около 0.5 мм и формирует радиально-лучистые агрегаты. *Арагонит* образует метельчатые агрегаты из шестоватых кристаллов, на которые нарастают кристаллы пирита-2 и марказита-II.

Главной особенностью этих руд являются высокие содержания в них золота и серебра (22–188 и 127–1787 г/т соответственно) [9]. При микроскопическом изучении полированных шлифов были найдены собственные минералы этих металлов в: 1) опале, 2) сфалерите и 3) порах изокубанит-халькопирит-сфалеритовых агрегатов.

Наибольшее количество *самородного золота* было обнаружено в опале, заполняющем интерстиции между сульфидами цинка, в виде субизометричных зерен размером до 9 мкм, в основном, причудливой морфологии с извилистыми краями, реже – дендритовидной или с кристаллическими очертаниями (рис. 3к). Два зерна золота были обнаружены в сфалерите: одно зерно овальной морфологии располагается непосредственно в сфалерите, второе зерно угловатой морфологии находится на контакте сфалерита и опала. Размер зерен золота не превышает 8 мкм по удлиненной оси. В изокубанит-халькопирит-сфалеритовом агрегате *самородное золото* было обнаружено в поре в виде удлиненно-го зерна размером 2×5 мкм².

Минерал серебра и теллура был найден в виде удлиненного зерна размером 2×4 мкм² в поре изокубанит-халькопирит-сфалеритового агрегата. В его энергодисперсионном спектре отмечаются линии теллура и серебра, а также сильное наложение линий сульфидов, мешающих прецизионному анализу.

Поле Семенов-3. Здесь драгой были подняты глыбы пиритовых брекчий (станция 30Л284). Угловатые обломки от щебнистого (от 2 мм до 10 см) до глыбового (10–20 см в поперечнике) размера пред-

ставлены пиритовыми рудами, которые характеризуются колломорфной, концентрически-зональной, массивной и пористой текстурами и заключены в сульфидно-кварцевом песчано-гравийном цементе с обломками вулканитов (рис. 3л). Повсеместно в обломках и цементе развиты многочисленные трещины и пустоты со щетками барита мощностью до 0.5 см, сложенными агрегатами в виде роз и розеток с размером отдельных кристаллов до 1 мм. Кристаллы имеют таблитчатую гексагональную и, реже, четырехугольную форму и характеризуются секториально-зональным строением. Под биноклем местами отмечается халькопирит, который нарастает на пирит и иногда ассоциирует с баритом. Главными минералами в рудах являются пирит, марказит, кварц и барит, второстепенными – халькопирит, гематит, редкими – борнит, сфалерит, пирротин, ковеллин, ярозит.

Пирит в обломках представлен несколькими морфологическими разновидностями – колломорфными почковидными агрегатами пористого дендритовидного пирита, а также кристаллических агрегатов зонального пирита, который обрастает пористый. Структурное травление показывает, что пирит-1 представлен сростками мелких (около 10 мкм) изометричных кристалликов, тогда как пирит-2 – кристаллами с различными сечениями размером до 0.5 мм. *Марказит* образует радиально-лучистые агрегаты копьевидных кристаллов длиной до 1 мм, местами – сростки зональных кристаллов с ромбическими сечениями. Пирит и марказит тесно ассоциируют друг с другом, образуя чередующиеся зоны в концентрически-зональных агрегатах, при этом чаще всего марказитовые зоны завершают образование таких сростаний. Пирит-марказитовые обломки с колломорфными и концентрически-зональными микротекстурами также характеризуются срезанием текстурного рисунка (рис. 3м). Многие марказитовые почковидные агрегаты замещены более поздним кварцем.

Халькопирит встречается в цементе в виде расщепоченных зерен округлой формы 20–30 мкм в поперечнике, местами с кристаллическими очертаниями шестиугольной формы, и ксеноморфных агрегатов. Округлые зерна халькопирита наблюдаются в трещинах и порах марказит-пиритовых обломков. *Борнит* представлен мелкими субизометричными зернами размером от 5 мкм до 0.1 мм, он ассоциирует с халькопиритом и часто образует зональные сростки, в центре которых находится борнит, а халькопирит его окружает. *Ковеллин* в виде тончайших каемок мощностью несколько микрометров развивается по краям халькопирита. *Сфалерит* и *пирротин* встречаются редко в виде мелких (до 10 мкм) субизометричных включений в пиритовых обломках. Их приуроченность к трещинам и порам говорит в пользу их более позднего образования по отношению к пириту.

Кварц формирует сплошную ткань в цементе и обрастает пиритовые обломки и барит в виде каемок до 0.1 мм. Изредка в кварцевых каемках наблюдаются халькопирит-борнитовые изометричные сростки. *Барит* представлен удлиненными кристаллами прямоугольной формы размером до 0.4 мм, нарастающими на марказит-пиритовые обломки. Он также распространен в цементе. *Гематит* наблюдается в виде тонкораспыленных зерен в каемках кварца вокруг пирита или в виде субизометричных зерен размером 10–20 мкм, нарастающих на сульфиды. *Ярозит* развивается в краевых частях обломков почковидных марказитовых и пиритовых агрегатов в виде зон мощностью до 50 мкм, а также встречается ближе к центральным частям обломков.

Поле Семенов-4. Образцы, драгированные на станциях 30Л145 и 30Л153 представлены массивными и прожилково-вкрапленными пиритовыми рудами в базальтах, гидротермально измененных в различной степени. Минеральный состав руд прост: пирит в них является главным минералом; халькопирит, марказит, сфалерит, пирротин, гематит и ковеллин менее распространены. Образцы станции 30Л145 содержат больше медной минерализации по сравнению с образцами станции 30Л153. Взаимоотношения между рудными минералами и общая последовательность их образования (сульфиды железа → сульфиды цинка и меди → вторичные сульфиды меди) подобны таковым, описанным на других гидротермальных полях узла Семенов.

Пирит представлен мелкими (0.5 мм и менее) кристаллами кубического габитуса, равномерно распределенными в породе, а также прожилками мощностью до 0.5 см и гнездами такого же размера. Крупные (до 3 мм) кубические и пентагон-додекаэдрические пиритовые кристаллы заполняют трещины в породе и образуют сеть жил. Иногда кристаллы пирита формируют почковидные агрегаты на стенках трещин. На пирит нарастают таблитчатые четырехугольные и гексагональные кристаллы *барита* размером до 1 мм. Пространство между кристаллами пирита часто характеризуется красным цветом из-за призматических двухголовых кристаллов *кварца* размером до 0.5 мм с колломорфными сгустками *гематита* внутри. Редкие ксеноморфные агрегаты *халькопирита* до 1 мм в поперечнике заполняют интерстиции между кристаллами пирита. Микроскопические наблюдения показывают присутствие микрокристаллического *марказита* с размером кристаллов около 20 мкм. Мельчайшие кристаллы *сфалерита* (около 4 мкм) и их сростки до 8 мкм, а также мелкие (8–10 мкм) удлиненные включения *пирротина* приурочены к порам в кристаллах пирита. *Минералы системы Си-S* замещают халькопирит по краям и образуют тонкие (2–4 мкм, редко до 8 мкм) каймы.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ УЗЛА СЕМЕНОВ

Пирит, марказит. Дисульфиды железа в рудах гидротермальных полей узла Семенов не характеризуются какими-либо примесями, их состав стехиометричен (табл. 1).

Пирротин был проанализирован из руд поля Семенов-2, его состав характеризуется примесью цинка (до 1.56 мас. %) (табл. 1). Примесь цинка также отмечена в пирротине из гидротермальных полей Ашадзе (до 1.50 мас. %) [40] и Рейнбоу (до 0.36 мас. %) [4], ассоциирующих с ультрамафитами САХ, а также в пирротине из сульфидных руд поля Бент Хилл в рифте Хуан-де-Фука, заполненном осадками, – до 0.12 мас. % [32].

Халькопирит. Составы халькопирита были определены для руд гидротермальных полей Семенов-2 и 3. Халькопирит из сульфидных брекчий поля Семенов-3 практически не содержит в своем составе существенных примесей, за исключением селена (табл. 1, ан. 26–30 и примечание), тогда как халькопирит из медно-цинковых руд поля Семенов-2 характеризуется примесью цинка до 5.18 мас. % (табл. 1, ан. 31–38), содержания которого обратно пропорциональны содержаниям меди. Примесь цинка является обычной для халькопирита из гидротермальных полей океана [4, 6, 11, 32], однако чаще всего она не превышает 1–2 мас. %.

В целом, состав халькопирита поля Семенов-2 колеблется от стехиометричного (табл. 1, ан. 31, 32), в единичных случаях – с пониженными содержаниями меди (0.84 к.ф.) (табл. 1, ан. 33), до такого с сильным недостатком меди (0.69 к.ф.) и небольшим избытком железа (1.03–1.19 к.ф.) (табл. 1, ан. 34–37). Состав халькопиритовых ламелл практически стехиометричен со слабым избытком меди и недостатком железа (табл. 1, ан. 38).

Несмотря на внешне неоднородную поверхность промежуточных зон между халькопиритом и изокубанитом с шагреновой поверхностью, ее состав отвечает халькопириту и подобно оптически однородному халькопириту колеблется от стехиометричного (табл. 1, ан. 40, 41, 45) до такого с некоторым недостатком меди (0.83 к.ф.) и избытком (1.06–1.11 к.ф.) либо недостатком (0.97 к.ф.) железа (табл. 1, ан. 39, 42–44). Ранее уже были описаны фазы, рассчитывающиеся на халькопирит, но отличающиеся от него оптически: в рудах гидротермальных полей Рейнбоу (легкоокисляющийся халькопирит) и Логачев-1 и 2 (фаза X – аномальный халькопирит), ассоциирующих с ультрамафитами САХ [20].

Изокубанит поля Семенов-2 содержит в химическом составе цинк (до 1.35 мас. %), и в этом он сходен с составами изокубанита гидротермальных полей Логачев, Рейнбоу [4, 11, 20], Бент Хилл [32], полей на базальтах в бассейне Лау [6]. В целом,

Таблица 1. Химический состав сульфидов гидротермального узла Семенов (мас. %)

№ п/п	№ ан.	Fe	Cu	Zn	Pb	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
Пирит								
1	186-1-1a-1	47.73	–	–	–	50.28	98.01	$Fe_{1.09}S_2$
2	186-1-1a-2	48.33	–	–	–	50.74	99.07	$Fe_{1.09}S_2$
3	186-1-1a-3	48.19	–	–	–	50.57	98.77	$Fe_{1.09}S_2$
4	186-1-1a-4	47.98	–	–	–	50.62	98.60	$Fe_{1.09}S_2$
5	284-3-5-1	47.75	–	–	–	53.18	100.93	$Fe_{1.03}S_2$
6	284-3-5-2	47.90	–	–	–	53.24	101.13	$Fe_{1.03}S_2$
7	284-3-5-3	47.85	–	–	–	53.12	100.97	$Fe_{1.03}S_2$
8	284-3-7-13	47.21	–	–	–	53.47	100.68	$Fe_{1.01}S_2$
9	153-2-1	48.04	–	–	–	53.17	101.21	$Fe_{1.04}S_2$
Марказит								
10	15118c	46.65	н.о.	н.о.	–	53.01		$Fe_{1.01}S_2$
Пирротин								
11	15118i	59.75	н.о.	0.83	–	39.16		$(Fe_{0.88}Zn_{0.01})_{0.89}S_1$
12	15118j	59.64	н.о.	1.39	–	38.91		$(Fe_{0.88}Zn_{0.02})_{0.90}S_1$
13	15118k	58.66	н.о.	1.56	–	39.32		$(Fe_{0.86}Zn_{0.02})_{0.89}S_1$
Сфалерит ¹								
14	186-1-1a-1	23.86	0.79	41.02	0.16	32.83	98.66	$(Zn_{0.61}Fe_{0.42}Cu_{0.01})_{1.03}S_1$
15	186-1-1a-2	19.63	0.28	46.09	0.00	33.46	99.46	$(Zn_{0.68}Fe_{0.34})_{1.01}S_1$
16	186-1-1a-5	17.62	0.16	48.59	0.00	33.28	99.65	$(Zn_{0.72}Fe_{0.30})_{1.02}S_1$
17	186-1-1a-6	25.28	2.61	37.47	0.31	34.21	99.88	$(Zn_{0.54}Fe_{0.42}Cu_{0.04})_{0.96}S_1$
18	186-1-1a-8	17.15	0.12	49.04	0.00	33.33	99.63	$(Zn_{0.72}Fe_{0.30})_{1.02}S_1$
19	186-1-1a-9	12.24	0.11	53.76	0.00	33.48	99.60	$(Zn_{0.79}Fe_{0.21})_{1.00}S_1$
20	15117	16.50	1.10	49.15	–	33.32	100.07	$(Zn_{0.72}Fe_{0.28}Cu_{0.02})_{1.02}S_1$
21	15117a	13.52	0.29	53.06	–	33.07	99.94	$(Zn_{0.79}Fe_{0.23})_{1.03}S_1$
22	15117b	14.32	0.12	51.91	–	33.49	99.84	$(Zn_{0.76}Fe_{0.25})_{1.01}S_1$
23	16178b	15.59	0.34	50.31	–	33.36	99.60	$(Zn_{0.74}Fe_{0.27})_{1.01}S_1$
Галенит ²								
24	186-1-1a-12	0.13	0.03	0.00	85.67	13.38	99.22	$Pb_{0.99}S_1$
25	186-1-1a-13	0.10	0.00	0.00	85.41	13.12	98.62	$Pb_{1.01}S_1$
Халькопирит ³								
26	284-3-7-1	29.92	33.05	–	–	35.08	98.04	$Cu_{0.95}Fe_{0.98}S_2$
27	284-3-7-8	30.09	33.26	–	–	34.79	98.14	$Cu_{0.96}Fe_{0.99}S_2$
28	284-3-7-9	30.11	33.77	–	–	34.98	98.87	$Cu_{0.97}Fe_{0.99}S_2$
29	284-3-7-22	30.05	34.21	–	–	34.90	99.16	$Cu_{0.99}Fe_{0.99}S_2$
30	284-3-7-23	30.36	33.96	–	–	34.69	99.01	$Cu_{0.99}Fe_{1.00}S_2$
31	16173k	30.83	34.14	0.43	–	34.65	100.05	$(Cu_{0.99}Zn_{0.01})_{1.00}Fe_{1.02}S_2$
32	16173l	30.62	33.49	0.73	–	35.16	100.00	$(Cu_{0.96}Zn_{0.02})_{0.98}Fe_{1.00}S_2$
33	16173j	33.45	29.61	1.27	–	35.61	99.94	$(Cu_{0.84}Zn_{0.03})_{0.87}Fe_{1.08}S_2$
34	15117c	36.75	23.43	5.18	–	34.41	99.77	$(Cu_{0.69}Zn_{0.15})_{0.84}Fe_{1.23}S_2$
35	15120h	34.53	26.73	н.о.	–	38.56	99.82	$Cu_{0.70}Fe_{1.03}S_2$
36	15120b	36.22	28.58	н.о.	–	35.06	99.86	$Cu_{0.82}Fe_{1.19}S_2$
37	15120e	34.12	29.66	н.о.	–	35.94	99.72	$Cu_{0.83}Fe_{1.09}S_2$
38	15120j	29.63	35.44	0.25	–	34.64	99.96	$(Cu_{1.03}Zn_{0.01})_{1.04}Fe_{0.98}S_2$
Промежуточные зоны между халькопиритом и изокубанитом с шагренью и рельефом								
39	15120k	31.51	30.70	0.45	–	37.18	99.84	$(Cu_{0.83}Zn_{0.01})_{0.84}Fe_{0.97}S_2$
40	15120m	30.59	33.89	0.86	–	34.67	100.01	$(Cu_{0.99}Zn_{0.02})_{1.01}Fe_{1.01}S_2$
41	15120n	29.86	34.09	0.55	–	34.95	99.45	$(Cu_{0.98}Zn_{0.02})_{1.00}Fe_{0.98}S_2$
42	16173g	32.78	30.71	0.38	–	35.42	99.29	$(Cu_{0.87}Zn_{0.01})_{0.88}Fe_{1.06}S_2$
43	16173h	33.80	29.53	1.14	–	35.18	99.65	$(Cu_{0.85}Zn_{0.03})_{0.88}Fe_{1.10}S_2$
44	16173i	34.15	29.48	0.89	–	35.39	99.91	$(Cu_{0.84}Zn_{0.02})_{0.86}Fe_{1.11}S_2$
45	16173f	30.94	32.99	1.07	–	34.83	99.83	$(Cu_{0.96}Zn_{0.03})_{0.99}Fe_{1.02}S_2$

Таблица 1. Окончание

№ п/п	№ ан.	Fe	Cu	Zn	Pb	S	Сумма	Кристаллохимическая формула
Изокубанит								
46	15120i	42.82	21.82	0.39	–	34.83	99.86	$(\text{Cu}_{0.95}\text{Zn}_{0.02})_{0.97}\text{Fe}_{2.12}\text{S}_3$
47	15120a	43.13	21.58	0.00	–	35.20	99.91	$\text{Cu}_{0.93}\text{Fe}_{2.11}\text{S}_3$
48	15120c	42.62	21.76	0.00	–	35.50	99.88	$\text{Cu}_{0.93}\text{Fe}_{2.07}\text{S}_3$
49	15120l	39.57	25.61	0.44	–	34.34	99.96	$(\text{Cu}_{1.13}\text{Zn}_{0.02})_{1.15}\text{Fe}_{1.98}\text{S}_3$
50	16173a	42.03	21.20	1.35	–	35.37	99.95	$(\text{Cu}_{0.91}\text{Zn}_{0.06})_{0.97}\text{Fe}_{2.05}\text{S}_3$
51	16173b	41.24	22.03	1.09	–	35.19	99.55	$(\text{Cu}_{0.95}\text{Zn}_{0.05})_{1.00}\text{Fe}_{2.02}\text{S}_3$
52	16173c	42.09	21.72	0.78	–	35.34	99.93	$(\text{Cu}_{0.93}\text{Zn}_{0.03})_{0.96}\text{Fe}_{2.05}\text{S}_3$
53	16173d	41.50	22.12	0.99	–	35.25	99.86	$(\text{Cu}_{0.95}\text{Zn}_{0.04})_{0.99}\text{Fe}_{2.03}\text{S}_3$
54	16173e	41.01	22.37	1.06	–	35.14	99.58	$(\text{Cu}_{0.96}\text{Zn}_{0.04})_{1.00}\text{Fe}_{2.01}\text{S}_3$
55	16179b	38.57	25.41	0.66	–	35.23	99.87	$(\text{Cu}_{1.09}\text{Zn}_{0.03})_{1.12}\text{Fe}_{1.89}\text{S}_3$
Борнит ⁴								
56	284-3-7-18	14.99	49.02	–	–	33.92	97.93	$\text{Cu}_{2.92}\text{Fe}_{1.01}\text{S}_4$
57	284-3-7-19	14.39	49.45	–	–	34.38	98.23	$\text{Cu}_{2.90}\text{Fe}_{0.96}\text{S}_4$
58	284-3-7-20	14.40	49.40	–	–	34.24	98.04	$\text{Cu}_{2.91}\text{Fe}_{0.97}\text{S}_4$
Ковеллин								
59	15120o	1.73	64.59	0.51	–	32.84	99.67	$(\text{Cu}_{0.99}\text{Fe}_{0.03}\text{Zn}_{0.01})_{1.03}\text{S}_2$
60	16178a	н.о.	65.86	н.о.	–	33.47	99.33	$\text{Cu}_{0.99}\text{S}_2$
61	16179c	6.06	60.36	н.о.	–	33.47	99.89	$(\text{Cu}_{0.91}\text{Fe}_{0.10})_{1.01}\text{S}_2$
62	16179a	8.79	57.88	н.о.	–	33.23	99.90	$(\text{Cu}_{0.88}\text{Fe}_{0.15})_{1.03}\text{S}_2$

Примечание. Анализы выполнены: №№ 1–9, 14–19, 24–30, 56–58 на рентгеноспектральном микроанализаторе Camebax, аналитики Р. Карампин и И.Ю. Мелекесцева (Университет г. Падуа, Италия); №№ 10–13, 20–23, 31–55, 59–62 – в Южно-Уральском центре коллективного пользования по исследованию минерального вещества на электронном микроскопе РЭММА-202М с энергодисперсионной приставкой, аналитик В.А. Котляров (Институт минералогии УрО РАН). Прочерк – элемент не определялся; н.о. – не обнаружен. Гидротермальные поля: Семенов-1 – анализы 1–4, 14–19, 24, 25; Семенов-2 – 10–13, 20–23, 31–55, 59–62; Семенов-3 – 5–8, 26–30, 56–58; Семенов-4 – 9.

¹ в сфалерите поля Семенов-1 локально также отмечены примеси Ag (0.02–0.17 мас. %), Cd (0.03–0.08 мас. %), Sb (0.04–0.12 мас. %), Hg (0.26, 0.33 мас. %) и Bi (0.44 мас. %);

² в галените поля Семенов-1 зафиксированы примеси Se (0.05, 0.09 мас. %), Ag (0.14, 0.24 мас. %); Sb (0.16, 0.19 мас. %), Hg (0.16 мас. %) и Bi (0.13, 0.18 мас. %);

³ в халькопирите поля Семенов-4 иногда отмечается Se (0.04–0.08 мас. %);

⁴ в борните поля Семенов-4 определены примеси Se (0.05–0.34 мас. %) и Au (0.02–0.12 мас. %).

Кристаллохимические формулы рассчитаны: пирита, халькопирита и ковеллина – на 2 атома серы, изокубанита – на 3 атома, борнита – на 4 атома, пирротина, сфалерита и галенита – на 1 атом.

изокубанит характеризуется практически стехиометрическим составом (табл. 1).

При оптической однородности сульфиды меди и железа характеризуются присутствием промежуточных составов между халькопиритом и изокубанитом с содержаниями меди ~25–29 мас. % и железа ~33–38 мас. % (табл. 1, ан. 33, 35, 36, 37, 43, 44, 49, 55). Подобные составы были также описаны в рудах гидротермальных полей Рейнбоу и Логачев-2 как фаза Y, которая может быть рассчитана на формулу $\text{Cu}_2\text{Fe}_3\text{S}_5$ [20].

Борнит поля Семенов-4 характеризуется нестехиометрическим составом с сильным недостатком металлов и избытком серы (табл. 1), а также примесью селена (примечание к табл. 1). Сильные вариации в основных химических элементах борнита объясняются его широким изоморфизмом с другими минералами систем Cu–Fe–S и Cu–S [24]. Широкие вариации химического состава борнита на-

блюдаются также и в океанских рудах, например, в рудах полей Логачев и Рейнбоу. Так, содержания меди здесь варьируют от 53.05 до 67.77 мас. %, железа – от 8.86 и до 15.12 мас. % и серы – от 24.11 до 32.15 мас. % [20]. При этом, содержания меди, железа и серы различны в борнитах разных цветов. Наиболее высокосернистые и низкомедистые борниты характеризуются оранжевым цветом, что соответствует изученному борниту на поле Семенов-4.

Сфалерит. Химический состав этого минерала был изучен в рудах полей Семенов-1 и Семенов-2. Сфалерит в серноколчеданных рудах поля Семенов-1 характеризуется высокими содержаниями железа – до 25.28 мас. % (табл. 1), иногда в нем отмечаются содержания свинца, а также серебра, кадмия, сурьмы, ртути и висмута (примечание к табл. 1). Сфалерит из медно-цинковых руд поля Семенов-2 имеет более низкие концентрации железа – до 16.50 мас. % (табл. 1). Содержания железа в сфа-

Таблица 2. Состав самородного золота из руд гидротермального поля Семенов-2, станция 287 (мас. %)

№ п/п	№ анализа	Au	Ag	Cu	Zn	Fe	Сумма	Формула
Золото в опале								
1	15117е-ц	96.52	0.31	1.07	1.33	0.48	99.71	$Au_{0.91}Ag_{0.01}Zn_{0.04}Cu_{0.03}Fe_{0.02}$
2	15117д-к	91.62	4.01	1.15	1.79	0.63	99.20	$Au_{0.83}Ag_{0.07}Zn_{0.05}Cu_{0.03}Fe_{0.02}$
3	15119а	84.77	9.69	–	4.37	0.48	99.31	$Au_{0.72}Ag_{0.15}Zn_{0.11}Fe_{0.01}$
4	15119б	86.87	8.16	–	4.17	0.65	99.85	$Au_{0.74}Ag_{0.13}Zn_{0.11}Fe_{0.02}$
5	15119с-к	92.60	4.72	–	1.81	0.38	99.51	$Au_{0.86}Ag_{0.08}Zn_{0.05}Fe_{0.01}$
6	15119д-ц	97.24	1.17	–	1.13	0.12	99.66	$Au_{0.94}Zn_{0.03}Ag_{0.02}$
7	15119е-к	94.24	4.02	–	1.19	0.40	99.85	$Au_{0.88}Ag_{0.07}Zn_{0.03}Fe_{0.01}$
8	16175а	77.09	22.28	–	–	–	99.37	$Au_{0.65}Ag_{0.35}$
9	16175б	84.48	14.75	–	–	–	99.23	$Au_{0.76}Ag_{0.24}$
10	16176а	80.09	19.31	–	–	–	99.4	$Au_{0.69}Ag_{0.31}$
11	16176б-ц	79.24	19.91	–	–	–	99.15	$Au_{0.69}Ag_{0.31}$
12	16176с-к	76.74	23.07	–	–	–	99.81	$Au_{0.65}Ag_{0.35}$
13	16177а-к	97.27	2.09	–	–	–	99.36	$Au_{0.96}Ag_{0.04}$
14	16177б-ц	99.17	0.37	–	–	–	99.54	$Au_{0.99}Ag_{0.01}$
15	16177с-к	96.02	3.66	–	–	–	99.68	$Au_{0.93}Ag_{0.07}$
Золото в сфалерите								
16	15118д	89.93	9.72	–	–	–	99.65	$Au_{0.84}Ag_{0.16}$
17	15118е	88.28	11.58	–	–	–	99.86	$Au_{0.81}Ag_{0.19}$
18	15118ф	90.15	9.04	–	–	–	99.19	$Au_{0.85}Ag_{0.15}$
19	15118г	87.32	12.07	–	–	–	99.39	$Au_{0.80}Ag_{0.20}$
Золото в поре изокубанит-халькопиритового агрегата								
20	15118а	84.02	15.55	–	–	–	99.57	$Au_{0.75}Ag_{0.25}$
21	15118б	86.27	13.49	–	–	–	99.76	$Au_{0.78}Ag_{0.22}$

Примечание. Анализы выполнены в Южно-Уральском центре коллективного пользования по исследованию минерального вещества на электронном микроскопе РЭММА-202М с энергодисперсионной приставкой, аналитик В.А. Котляров (Институт минералогии УрО РАН). Прочерк – элемент не обнаружен, ц – центр зерна, к – край зерна. Кристаллохимическая формула золота рассчитана по сумме металлов, равной 1.

лерите гидротермального узла Семенов сопоставимы с таковыми из сфалеритов гидротермальных полей Логачев, Рейнбоу, Ашадзе, Бент Хилл, сульфидов в трог Эсканаба, Джейд (трог Окинава) [11, 32, 34, 39, 40, 43]. Однако они существенно выше содержания железа в сфалерите из сульфидных руд в задуговых бассейнах Манус (до 9.06 мас. %) [25] и Лау (до 5.42 мас. %, один анализ – 16.03 мас. %) [6].

Состав *галенита* поля Семенов-1 не характеризуется какими-то существенными примесями.

Ковеллин характеризуется примесью железа до 8.79 мас. % и, в единичном случае, цинка (см. табл. 1), что также характерно для минералов системы Cu-S из гидротермальных полей океана [20, 39].

Золото. Состав золота в опале меняется от высокопробного (с содержаниями серебра до 4.72 мас. %) до серебристого (с содержаниями серебра от 8 до 23 мас. %) (табл. 2). Оно также содержит повышенные количества цинка (до 4.37 мас. %) и небольшую примесь железа (до 0.65 мас. %). В некоторых субизометричных зернах золота была отмечена зональность, выраженная в повышении содержания серебра от центра к краю зерен (мас. %): (зерно 1: центр – Au 96.52, Ag 0.31; край – Au 91.62,

Ag 4.01; зерно 2: центр – Au 97.24, Ag 1.17; край – Au 92.60, Ag 4.72; зерно 3: центр – Au 79.24, Ag 19.91, край – Au 76.74, Ag 23.07; зерно 4: центр – Au 99.17, Ag 0.37, край – Au 96.02, Ag 3.66). Подобная зональность была отмечена в золоте из необычных сульфид- и золотосодержащих жил аморфного кремнезема в базальтах подводного вулкана Коникал Симаунт (Новоирландская островная дуга, западная часть Тихого океана) [42], однако эта особенность не описана применительно к золоту непосредственно из сульфидных руд гидротермальных полей [11, 36–38, 41].

Химический состав золота в сфалерите характеризуется “средними” содержаниями серебра – от 9.04 до 12.07 мас. %; в изокубанит-халькопиритовом агрегате – только примесью серебра – 13.49–15.55 мас. %.

Составы золота гидротермального поля Семенов-2 по содержанию серебра обнаруживают сходство с составами золота из полей Логачев и Рейнбоу [11, 41], но по разбросу содержания серебра изученное золото наиболее схоже с золотом из поля Логачев-2 (Ag – от 8.2 до 32.1 мас. %). Содержания цинка в золоте поля Семенов-2 также наиболее схожи с золотом поля Логачев-2, где количество цинка составляет от 1.1 до 5.2 мас. % [11]. Содержания меди и железа в золоте поля

Логачев-2 повышены и составляют для меди от 0.8 до 5.0 мас. % и железа – 2.1 мас. % (единичный анализ).

Руды гидротермального поля Семенов-2 отличаются от других полей Мирового океана экстремально высокими содержаниями золота (до 188 г/т) [9]. Так, руды гидротермальных сульфидных полей, ассоциирующих с базальтами срединно-океанических хребтов, в целом, характеризуются невысокими содержаниями золота – до 6 г/т, редко – до 20.75 г/т [5, 11, 21 и ссылки в 33, 35 и др.]. Повышенные содержания золота обнаруживаются локально: так, содержания золота в “белых курильщиках” поля ТАГ достигают 42 г/т [36].

Высокие содержания золота и серебра более характерны для сульфидных руд, ассоциирующих с кислыми вулканическими задуговых бассейнов западной части Тихого океана (например, гидротермальные поля бассейна Лау – до 28.7 г/т Au [37], поле ПАКМАНУС в бассейне Манус – до 57 г/т [38]) и Идзу-Бонинской островодужной системы (например, поле Джейд в одной из кальдер трога Окинава – до 24 г/т Au [34]).

Открытие гидротермальных сульфидных полей на ультрамафитовом субстрате – Логачев, Рейнбоу, Ашадзе [1, 27, 29, 31] показало, что высокие содержания золота и серебра также характерны и для этих руд. Средние содержания золота в рудах таких гидротермальных полей, как Логачев-1 и -2 составляют 9.13 и 23.8 г/т соответственно, достигая 56 г/т [11, 41]. В рудах гидротермального поля Рейнбоу содержания золота составляют 5 г/т [11].

При этом обогащение благородными металлами руд, ассоциирующих с ультрамафитами, по сравнению с таковыми на базальтах согласуется с тем, что ультраосновные породы обогащены золотом и серебром (Au – 0.007, Ag – 0.05 г/т) по сравнению с океаническими базальтами (Au – 0.00023 г/т, Ag – 0.03 г/т) [23], П. Мерфи и Г. Мейер [41] также указывают на связь обогащения золотом с ультрамафитовым субстратом поля Логачев-1.

В этом аспекте руды ассоциирующего с базальтами гидротермального поля Семенов-2 с высокими содержаниями золота и серебра сильно отличаются от руд гидротермальных полей на базальтах Срединно-Атлантического хребта. Это отличие дает возможность предполагать влияние ультрамафитовых пород на обогащение благородными металлами, которые, в частности, были драгированы в 1.5 км к западу в районе гидротермального поля Семенов-1.

РУДНЫЕ ФАЦИИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО УЗЛА СЕМЕНОВ И ИХ СРАВНЕНИЕ С РУДНЫМИ ФАЦИЯМИ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА

Текстурно-структурный анализ руд гидротермального узла Семенов позволил диагностировать рудные фации – минеральные скопления со сход-

ными текстурно-структурными и вещественными признаками, свойственными близким обстановкам и процессам минералообразования [8, 14]. В результате исследований были диагностированы руды придонной гидротермальной, донной гидротермальной и кластогенной фаций.

Для сравнительного анализа были использованы типичные рудные фации некоторых колчеданных месторождений Урала (Ишкининское, Ивановское, Дергамышское, Вишневецкое, Яман-Касинское, Сафьяновское), хорошо изученных с позиций рудно-фациального анализа [8, 12, 15, 17, 19, 22].

Руды **придонной гидротермальной фации** образуются ниже поверхности дна одновременно с донными гидротермальными и гидротермально-осадочными процессами и включают гидротермальные жилы, трубчатые рудоподводящие каналы (“кондуиты”), разнообразные по составу массивные и прожилково-вкрапленные гидротермально-метасоматические руды [14]. Главным отличием придонной гидротермальной фации является образование руд по субстрату вмещающих пород, реликты которого устанавливаются в рудах (рис. 4а, в). Образцы этой фации диагностированы на полях Семенов-2 (ст. 30Л287) и Семенов-4 (станции 30Л145 и 30Л153) и представлены в различной степени измененными до кварц-хлоритовых пород базальтами с мелко- до крупнокристаллических сульфидными жилами, прожилками и вкрапленностью.

Руды этой фации, представленные субфацией гидротермально-метасоматических руд, широко распространены на многих древних колчеданных месторождениях, по сути, представляя собой сульфидный штокверк [10, 14, 16]. Эти руды главным образом представлены жилами (рис. 4б) и вкрапленностью (рис. 4г) различных рудных минералов, в данном случае – пирита, во вмещающих породах.

Сульфидные отложения **донной гидротермальной фации** образуются на поверхности морского дна в толще воды вблизи устьев гидротермальных источников и включают субфации труб “черных курильщиков”, “диффузеров”, а также плит, корок и гидротермально-осадочных слоев [14]. Отсутствие фрагментов вмещающих пород в рудах, зональные, пористые, колломорфные и полосчатые сульфидные агрегаты являются главными отличительными чертами этих образований. На поле Семенов-1 (ст. 30Л186 и 30Л292) и были диагностированы руды, по своим текстурно-структурным особенностям возможно представляющие гидротермальные плиты и корки, которыми часто сложены склоны и цоколь современных гидротермальных сульфидных построек. Образцы руд поля Семенов-2 (ст. 30Л287) по минеральной ассоциации главных сульфидов (сфалерит, вюртцит, изокубанит, халькопирит) схожи с таковой из труб “черных курильщиков” таких полей как Логачев, Рейн-

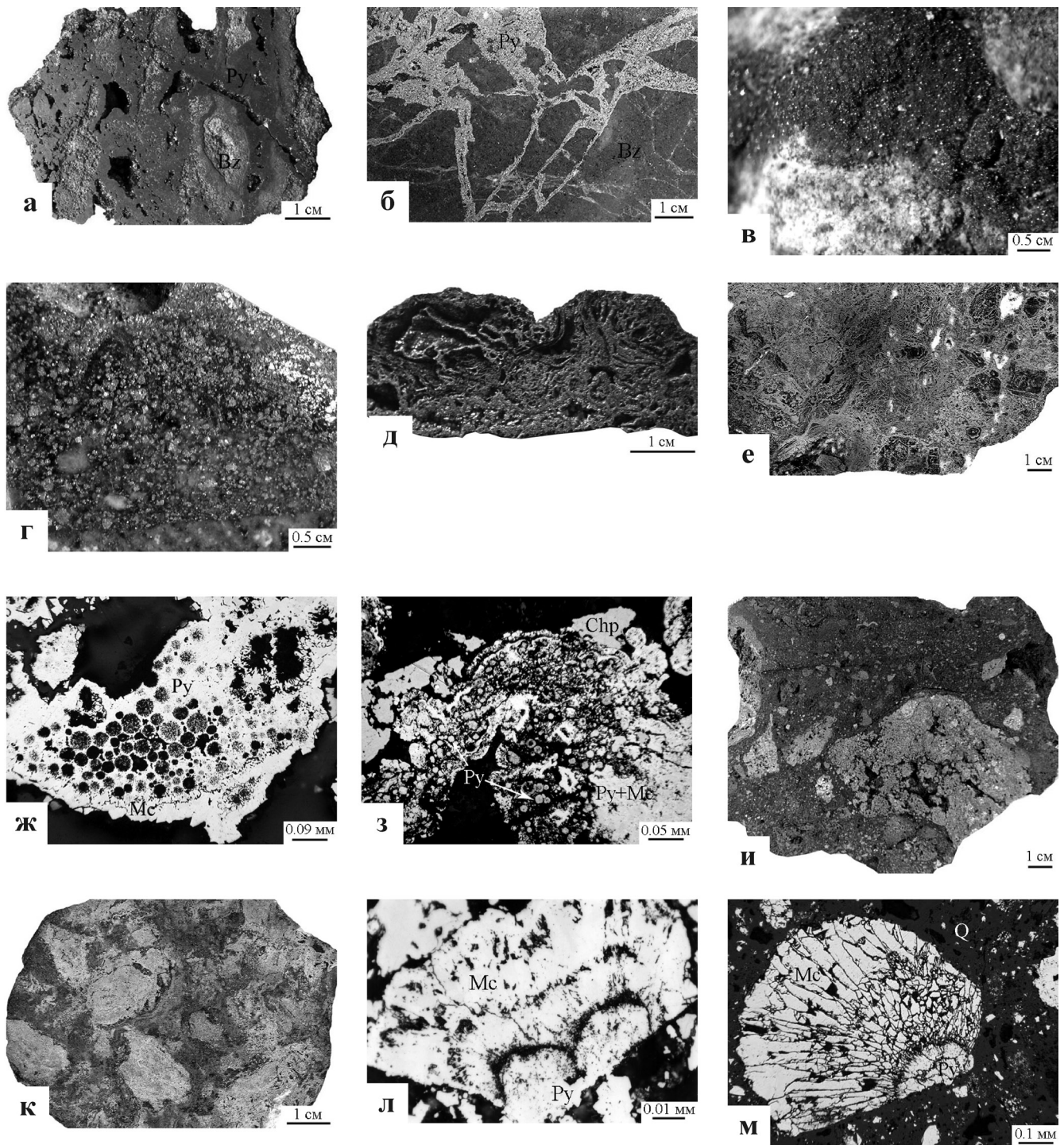


Рис. 4. Текстурно-структурные особенности рудных фаций гидротермального узла Семенов в сравнении с рудными фациями уральских медноколчеданных месторождений.

а, б – жилы кристаллического пирита в гидротермально измененных базальтах: а – поле Семенов-4, штуф, обр. 153-1; б – Ивановское месторождение, спил керна, обр. 195/126.6; в, г – вкрапленность пирита в гидротермально измененных базальтах: в – поле Семенов-2, штуф, обр. 287, белое – опал, г – Вишневокское месторождение, спил керна, обр. 4576/170; д, е – колломорфные руды: д – поле Семенов-1, штуф, обр. 292, е – Сафьяновское месторождение, штуф, обр. Saf7-1g, фото Н.П. Сафиной; ж, з – фрамбоидальный пирит, замещаемый кристаллическими марказит-пиритовыми агрегатами: ж – поле Семенов-1, обр. 292-7-1, з – Дергамышское месторождение, обр. D1/46.3; и, к – коллювиальные брекчи с обломками колломорфного пирита: и – поле Семенов-3, штуф, обр. 284, к – Сафьяновское месторождение, по [22, рис. 1.11в]; л, м – срезание текстурного рисунка концентрически-зональных пирит-марказитовых почек в обломочных рудах: л – поле Семенов-3, обр. 284-12; м – Дергамышское месторождение, обр. D1/46.3.

Снимки а, б, г, д, е, и – штуфы, в – снято под бинокляром, остальные – отраженный свет.

боу [5], Ашадзе [40]. Однако, нами не была отмечена какая бы то ни было зональность, характерная для труб “черных курильщиков”, возможно, вследствие малого количества отобранного материала.

Одним из основных текстурно-структурных сходств руд этой фации узла Семенов и древних колчеданных месторождений являются широко распространенные колломорфные, ажурные, пористые руды (рис. 4д, е). Одной из особенностей руд этой фации являются сгустки фрамбоидального пирита, которые подвергаются замещению более поздними генерациями пирита и марказита (рис. 4ж, з). В результате в марказит-пиритовых кристаллических агрегатах остаются округлые формы, которые являются реликтами фрамбоидов и замещены кварцем в древних и опалом в современных рудах. Для ранних марказит-пиритовых руд также характерно развитие более поздней сфалерит-халькопиритовой ассоциации: в порах марказит-пиритовых агрегатов сначала кристаллизуются мелкие кристаллы сфалерита с эмульсионной вкрапленностью халькопирита, на которые нарастает халькопирит.

Обломочные руды **кластогенной фации** образуются в результате разрушения твердых сульфидных руд и формируют последовательный литолого-фациальный ряд по мере удаления от сульфидного холма [14]. Они подразделяются на субфации рудного элювия и коллювия, проксимальных и дистальных рудных турбидитов. Обломочные руды поля Семенов-3 (ст. 30Л284) представлены коллювиальными (перемещенными на некоторое расстояние от места разрушения) брекчиями. Их главными отличительными особенностями являются: 1) изолированные и, реже, точечные контакты обломков, что говорит о перемещении их от места разрушения; 2) срезание их текстурного рисунка и зональности, свидетельствующее о разламывании твердой руды, а также 3) совместное нахождение сульфидов различных текстурных разновидностей и вмещающих пород, показывающее одновременное разрушение руд и пород на морском дне.

Руды этой фации поля Семенов-3 обладают ярко выраженными чертами макроскопического сходства, например, с коллювиальными пиритовыми брекчиями Яман-Касинского и Сафьяновского месторождений (рис. 4и, к) [14, 22]. На микро-текстурном уровне необходимо отметить сходство марказит-пиритового состава руд с многочисленными обломками концентрически-зональных почек (рис. 4л, м), а также развитие позднего халькопирита по обломкам и цементу.

Необходимо также отметить, что кластогенные руды поля Семенов-3 испытали гидротермальное воздействие уже после цементации, что показывает изучение флюидных включений в позднем барите [18]. Температуры эвтектики показали, что барит

кристаллизовался из существенно водных растворов с преобладанием хлорида натрия (5–9 мас. % NaCl-экв.), что фиксируется по температурам плавления льда во включениях в интервале от -3.0 до -6.0°C . Температуры гомогенизации флюидных включений в барите составляют $260\text{--}300^{\circ}\text{C}$. С учетом глубин обнаружения кластогенных руд (от 2400 до 2950 м) и соответствующих давлений (240 и 300 бар), поправка к температурам гомогенизации составляет, в среднем, 20°C . Истинные температуры минералообразования равны $280\text{--}320^{\circ}\text{C}$.

ВЫВОДЫ

Таким образом, изучение текстур и структур в рудах современных гидротермальных полей рудного узла Семенов в Центральной Атлантике позволило диагностировать рудные фации, свойственные определенным обстановкам рудообразования, и провести их сравнительный анализ с рудными фациями из древних колчеданных месторождений Урала. Сравнение рудных фаций показывает общность рудообразующих процессов, происходивших на древних колчеданных месторождениях, с протекающими в настоящее время на современных гидротермальных полях.

Изучение сульфидных руд с позиций рудно-фациального анализа открывает новые перспективы как сравнительного анализа с древними аналогами, так и обнаружения новых современных залежей.

Так, сходство обломочных руд поля Семенов-3 в гидротермальном узле Семенов с субфацией коллювиальных брекчий кластогенной фации палеозойских колчеданных месторождений Урала, может служить одним из поисковых критериев на массивные руды. Обычно коллювиальные брекции на колчеданных месторождениях Урала с реконструированными сульфидными холмами удалены не более, чем на 200 м от их гипотетического центра [13]. Учитывая, что поле Семенов-3 располагается на склоне подводной горы на глубинах 2400–2600 м, можно предполагать существование сульфидного холма выше этих глубин на склоне подводной горы. Сходство обломков в рудах кластогенной фации поля Семенов-3 по составу (существенно марказит-пиритовому) и текстурам (пористым, колломорфным, ажурным) с рудами донной гидротермальной фации поля Семенов-1, говорит о том, что предполагаемые руды в сульфидном холме будут представлены серно-колчеданными разновидностями донной гидротермальной фации.

Медно-цинковая специализация руд поля Семенов-2 сближает его с рудами полей Логачев-2 и Рейнбоу. При этом аномальное обогащение золотом и серебром руд является уникальным и больше характерно для гидротермальных полей САХ, ассоциирующихся с ультрамафитами [11, 26, 40, 41], нежели с базальтами [5, 21, 33–35, 37, 38]. Драгирование в 30-м рейсе НИС “Профессор Логачев” выявило рас-

пространение базальтов в пределах поля Семенов-2, однако вышеупомянутые факты свидетельствуют о сильном влиянии ультрамафитового субстрата.

Авторы благодарны сотрудникам Института минералогии УрО РАН – В.В. Зайкову, В.В. Масленникову, Е.В. Белогуб, Н.П. Сафиной, Н.Р. Аюповой и К.А. Новоселову за консультации и обсуждения в ходе исследований, а также рецензенту за конструктивные замечания к статье.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-996.2008.5, программы Президиума РАН № 17, и темплана ЮУрГУ. Выполненные микрозондовых анализов частично было поддержано Progetto di Ateneo (2006) и Progettino di Cooperazione Internazionale (2007), Университета г. Падуа, Италия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батуев Б.Н., Кротов А.Г., Марков В.Ф. и др. Новое гидротермальное поле в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта (14°45' с.ш.) // Докл. АН. 1995. Т. 343, № 1. С. 75–79.
2. Бельтнев В.Е., Иванов В.Н., Рождественская И.И. и др. Новые данные о строении гидротермальных полей в районе 13°31' с.ш. (рудный узел “Семенов”) // Геология морей и океанов: Мат-лы XVIII Междунар. научн. конф. М.: Геос, 2009. Т. II. С. 133–136.
3. Богданов Ю.А. Гидротермальные рудопроявления рифтов Срединно-Атлантического хребта. М.: Научный мир, 1997. 166 с.
4. Богданов Ю.А., Бортников Н.С., Викентьев И.В. и др. Минералого-геохимические особенности гидротермальных сульфидных руд и флюида поля Рейнбоу, ассоциированного с серпентинитами, Срединно-Атлантический хребет (36°14' с.ш.) // Геология рудных месторождений. 2002. Т. 44, № 6. С. 510–542.
5. Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевиц А.М., Гурвич Е.Г. Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.
6. Бортников Н.С., Федоров Д.Т., Муравьев К.Г. Минеральный состав и условия образования сульфидных построек бассейна Лау (юго-западная часть Тихого океана) // Геология рудных месторождений. 1993. Т. 35, № 6. С. 528–543.
7. Гидротермальные системы и осадочные формации срединно-океанических хребтов Атлантики / А.П. Лисицын, Ю.А. Богданов, В.В. Гордеев и др. М.: Наука, 1993. 256 с.
8. Зайков В.В., Масленников В.В., Зайкова Е.В., Херрингтон Р. Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. 315 с.
9. Иванов В.Н., Бельтнев В.Е., Степанова Т.В. и др. Сульфидные руды нового рудного узла 13°31' с.ш. САХ // Металлогения древних и современных океанов-2008. Рудоносные комплексы и рудные фации. Миасс: ИМин УрО РАН, 2008. С. 19–22.
10. Контарь Е.С., Либарова Л.Е. Металлогения меди, цинка и свинца на Урале. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 233 с.
11. Леин А.Ю., Черкашев Г.А., Ульянов А.А. и др. Минералогия и геохимия сульфидных руд полей Логачев-2 и Рейнбоу: черты сходства и различия // Геохимия. 2003. № 3. С. 304–328.
12. Масленников В.В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданоносных палеогидротермальных полей. Миасс: Геотур, 1999. 348 с.
13. Масленников В.В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
14. Масленников В.В., Зайков В.В. Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений. Челябинск: Южно-Уральский госуниверситет, 2006. 224 с.
15. Масленникова С.П., Масленников В.В. Сульфидные трубы палеозойских “черных курильщиков”. Екатеринбург-Миасс: УрО РАН, 2007. 242 с.
16. Медноколчеданные месторождения Урала. Геологическое строение / В.А. Прокин, Ф.П. Буслаев, М.И. Исмагилов и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 241 с.
17. Мелекесцева И.Ю. Гетерогенные кобальт-медно-колчеданные месторождения в ультрамафитах палеоостроводужных структур. М.: Наука, 2007. 245 с.
18. Мелекесцева И.Ю., Анкушева Н.Н. Условия образования барита из кластогенных руд Северо-Восточного поля в гидротермальном узле Семенов (13°31' с.ш. САХ) // Тез. докл. XVIII Междунар. Школы по морской геологии. М.: Геос, 2009. С. 179–182.
19. Мелекесцева И.Ю., Зайков В.В., Котляров В.А. Богороднометальная минерализация в рудных фациях Вишневого колчеданного месторождения, Южный Урал // Металлогения древних и современных океанов-2008. Рудоносные комплексы и рудные фации. Миасс: ИМин УрО РАН, 2008. С. 94–98.
20. Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Габлина И.Ф. и др. Минеральные ассоциации как показатели степени зрелости океанских гидротермальных сульфидных построек // Литология и полез. ископаемые. 2005. № 4. С. 339–367.
21. Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Степанова Т.В. и др. Богородные металлы в сульфидных ассоциациях глубоких частей активной постройки ТАГ (Срединно-Атлантический хребет) // Литология и полез. ископаемые. 2000. № 1. С. 5–24.
22. Сафина Н.П., Масленников В.В. Рудокластиты колчеданных месторождений Яман-Касы и Сафьяновское (Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 2009. 260 с.
23. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, А.Я. Архипов, В.А. Бугров и др. М.: Недра, 1990. 335 с.
24. Чвилева Т.Н., Безсмертная М.С., Спиридонов Э.М. и др. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. Л.: Недра, 1988. 503 с.
25. Шадлун Т.Н., Бортников Н.С., Богданов Ю.А. и др. Минеральный состав, текстуры и условия образования современных сульфидных руд в рифтовой зоне бассейна Манус // Геология рудных месторождений, 1992. № 5. С. 3–21.
26. Awaji S., Nakamura K., Kato Y., Tamaki K. A rapid and precise determination of 61 elements in hydrothermal deposits by ICP-MS // Deep-Sea Mining of Seafloor Massive Sulfides: A Reality for Science and Society in the 21st Century. Science and Policy Workshop, Woods Hole, Massachusetts, USA, 2009. P. 24 (http://www.interridge.org/files/interridge/abstract_booklet_Morss_workshop_FINAL_no_email.pdf).

27. *Beltenev V., Ivanov V., Rozhdestvenskaya I. et al.* A new hydrothermal field at 13°30' N on the Mid-Atlantic Ridge // *InterRidge News*. 2007. V. 16. P. 9–10.
28. *Beltenev V., Ivanov V., Rozhdestvenskaya I. et al.* New data about hydrothermal fields on the Mid-Atlantic Ridge between 11°–14° N: 32nd cruise of R/V Professor Logatchev // *InterRidge News*. 2009. V. 18. P. 14–18.
29. *Beltenev V., Nescheretov A., Shilov V. et al.* New discoveries at 12°58' N and 44°52' W MAR: initial results from the Professor Logatchev-22 cruise // *InterRidge News*. 2003. 12 (1). P. 13–15.
30. *Beltenev V., Shagin A., Markov V. et al.* A new hydrothermal field at 16°38.4' N, 46°28.5' W on the Mid-Atlantic Ridge // *InterRidge News*. 2004. V. 13. P. 5–6.
31. *Fouquet Y., Barriga F., Charlou J. L. et al.* FLORES diving cruise with Nautile near the Azores – First dives on the Rainbow field: hydrothermal seawater/mantle interaction // *InterRidge News*, 1998. V. 7 (1). P. 24–28.
32. *Goodfellow W.D., Franklin J.M.* Geology, mineralogy, and chemistry of sediment-hosted clastic massive sulfides in shallow cores, Middle Valley, northern Juan de Fuca Ridge // *Econ. Geol.* 1993. V. 88. P. 2037–2068.
33. *Halbach P., Blum N., Munch U. et al.* Formation and decay of a modern massive sulphide deposit in the Indian Ocean // *Mineral. Dep.* 1998. V. 33. P. 302–309.
34. *Halbach P., Pracejus B., Marten A.* Geology and mineralogy of massive sulphide ores from the Central Okinawa Trough, Japan // *Econ. Geol.* 1993. V. 88. P. 2210–2225.
35. *Hannington M.D., Peter J.M., Scott S.D.* Gold in sea-floor polymetallic sulfide deposits // *Econ. Geol.* 1986. V. 81. P. 1867–1883.
36. *Hannington M.D., Tivey M.K., Larocque A.C. et al.* The occurrence of gold in sulfide deposits on the TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge // *Can. Miner.* 1995. V. 33. P. 1285–1310.
37. *Herzig P.M., Hannington M.D., Fouquet Y. et al.* Gold-rich polymetallic sulfides from the Lau back arc and implications for the geochemistry of gold in sea-floor hydrothermal systems of the Southwest Pacific // *Econ. Geol.* 1993. № 88. P. 2182–2209.
38. *Ihle T., Petersen S., Herzig P.M., Hannington M.D.* Siting of gold and characteristics of gold-bearing massive sulfides from the interior of the felsic-hosted PAC-MANUS massive sulfide deposit, eastern Manus basin (PNG) // *Mineral Deposit Research – Meeting the Global Challenge / Y. Mao and F.P. Bierlein, eds., Proceedings of the 8th Biennial SGA Meeting, Beijing. Springer-Verlag, 2005. P. 623–626.*
39. *Mozgova N.N., Efimov A.V., Borodaev Yu.S. et al.* Mineralogy and chemistry of massive sulphides from the Logatchev hydrothermal field (14°45' N Mid-Atlantic Ridge) // *Explor. Mining Geol.* 1999. V. 3, № 3-4. P. 379–395.
40. *Mozgova N.N., Trubkin N.V., Borodaev Yu.S. et al.* Mineralogy of massive sulfides from the Ashadze hydrothermal field, 13° N, Mid-Atlantic Ridge // *Can. Miner.* 2008. V. 46. P. 545–567.
41. *Murphy P.J., Meyer G.* A gold-copper association in ultramafic-hosted hydrothermal sulfides from the Mid-Atlantic Ridge // *Econ. Geol.* 1998. V. 93. P. 1076–1083.
42. *Petersen S., Herzig P.M., Hannington M.D. et al.* Submarine Gold Mineralization near Lihir Island, New Ireland Fore-Arc, Papua New Guinea // *Econ. Geol.* 2002. V. 97. P. 1795–1813.
43. *Zierenberg R.A., Koski R.A., Morton J.L. et al.* Genesis of massive sulfide deposits on a sediment-covered spreading center, Escanaba Trough, southern Gorda Ridge // *Econ. Geol.* 1993. V. 88. P. 2069–2098.

Рецензент И.В. Викентьев

Massive sulfides of the new hydrothermal sulfide cluster Semyenov (13°31' N), Mid-Atlantic Ridge

I. Yu. Melekestseva*, V. A. Kotlyarov*, V. N. Ivanov**, V. E. Beltenev**,

I. G. Dobretsova**, P. Nimis***

* *Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS*

** *Polar Marine Geosurvey Expedition*

*** *Padova University, Padova, Italy*

Ores of the new largest hydrothermal sulfide cluster Semyenov (Mid-Atlantic Ridge, 13°31' N) which composed of several hydrothermal fields are described in the paper. Ores of the Semyenov-1, -3 and -4 hydrothermal fields show marcasite-pyrite composition with fine-grained, colloform, clastic and veined textures. Ores of the Semyenov-2 hydrothermal site are characterized by isocubanite-chalcopyrite-sphalerite-wurtzite mineral assemblage with fine-grained aggregates. Moreover, they are uniquely enriched in Au (up to 188 ppm) and Ag (up to 1787 ppm) and have visible gold associated with opal, sphalerite and chalcopyrite. Ore textural analyses of the Semyenov hydrothermal sulfide cluster let us reveal several ore facies: subseafloor hydrothermal, seafloor hydrothermal and clastic. Veinlet-disseminated ores in basalts of the Semyenov-2 and -4 hydrothermal fields belong to the subseafloor hydrothermal facies which is formed below the seafloor simultaneously with seafloor hydrothermal processes. Seafloor hydrothermal facies, forming on the seafloor surface near the hydrothermal vents, was found at Semyenov-1 and -2 hydrothermal sites which represented by fine-grained and colloform ores. Clastic facies, forming as a result of destruction of hard hydrothermal sulfide ores, occurs in the Semyenov-3 field as colluvial pyrite breccia. Textural and mineralogical peculiarities of ore facies from the hydrothermal Semyenov cluster are comparable with those from massive sulfide deposits of the Urals.

Keywords: *Central Atlantic, Urals, sulfide hydrothermal fields, massive sulfide deposits, ultramafic and mafic rocks, ores, ore facies, sulfides, gold.*