

Таким образом, диагенетические преобразования сульфидных обломков поля Семенов-3 привели к образованию новых минералов и минеральных ассоциаций: фрамбоидального, мелкокристаллического овоидального, конкреционного и крупнокристаллического пирита, зональных борнит-халькопиритовых агрегатов, включений пирротина, сфалерита и халькопирита в крупнокристаллическом пирите, гематита, фазы HgS, барита и кварца. Впервые в грубообломочных сульфидных рудах Атлантического океана установлены редкие диагенетические формы пирита – конкреции. Находки обломочных халькопирита и сфалерита в сульфидных брекчиях указывают на возможное присутствие медно-цинковых руд на гидротермальном поле Семенов-3.

Литература

- Масленников В. В.* Морфогенетические типы колчеданных залежей как отражение режимов вулканизма // *Литосфера*. 2012. № 5. С. 96–113.
- Beltenev V., Ivanov V., Rozhdestvenskaya I., Cherkashov G., Stepanova T., Shilov V., Pertsev A., Davydov M., Egorov I., Melekestseva I., Narkevsky E., Ignatov V.* A new hydrothermal field at 13°30' N on the Mid-Atlantic Ridge // *InterRidge News*. 2007. Vol. 16. P. 9–10.
- 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 // *Economic Geology*. 1993. Vol. 88. P. 2037–2068.
- Fairbridge R. W.* Phases of diagenesis and authigenesis // In: *Diagenesis in Sediments*. Larsen G., Chilingar G. V., eds. Elsevier, Amsterdam. 1967. P. 19–89.
- Fouquet Y., Wafik A., Cambon P., Mevel C., Meyer G., Gente P.* Tectonic setting and mineralogical and geochemical zonation in the Snake Pit sulfide deposit (Mid-Atlantic Ridge at 23° N) // *Economic Geology*. 1993. Vol. 88. P. 2018–2036.
- Love L. G.* Early diagenetic iron sulphide in Recent sediments of the Wash (England) // *Sedimentology*. 1967. Vol. 9. P. 327–352.
- Maslennikov V. V., Maslennikova S. P., Large R., Danyushevsky L., Herrington R. J., Ayupova N. R., Zaykov V. V., Lein A. Yu., Tseluyko A. S., Melekestseva I. Yu., Tessalina S. G.* Chimneys in Paleozoic massive sulfide mounds of the Urals VMS deposits: Mineral and trace element comparison with modern black, grey, white and clear smokers // *Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 85. P. 64–106.
- Melekestseva I. Yu., Tret'yakov G. A., Nimis P., Yuminov A. M., Maslennikov V. V., Maslennikova S. P., Kotlyarov V. A., Beltenev V. E., Danyushevsky L. V., Large R.* Barite-rich massive sulfides from the Semenov-1 hydrothermal field (Mid-Atlantic Ridge, 13°30.87' N): Evidence for phase separation and magmatic input // *Marine Geology*. 2014. Vol. 349. P. 37–54.

А. С. Бич¹, А. Ю. Петров²

¹ – ВНИИОкеангеология, г. Санкт-Петербург
As_bich@mail.ru

² – Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Металлоносные осадки как критерии для реконструкции процессов гидротермального рудообразования на примере рудного узла Победа (Атлантический океан)

Рудный узел Победа располагается на восточном склоне рифтовой долины южной части сегмента САХ 17°00'–17°30' с.ш. на глубинах от 2200 до 3000 м. В его состав входят два рудных поля (Победа-1 и Победа-2) и одно рудопроявление

(Победа-3) [Бельтнев и др., 2016ф]. Металлоносные осадки (МО) на площади представлены биогенными карбонатными кокколито-фораминиферовыми илами, которые сложены биогенными (кальцит, арагонит), гидротермальными (гетит) и литогенными (Mg-серпентин, мусковит, каолинит, кварц) компонентами [Бич, Петров, 2018]. Относительно пелагических илов [Лисицын, 1978], эти осадки обогащены Fe (12.28–20.83 %), Cu (0.21–2.30 %), Zn (402–1301 г/т), As (337–660 г/т), V (317–718 г/т) и Cr (153–338 г/т) и обеднены Si (4.66–11.91 %), Al (1.10–3.79 %) и Ti (1231–2292 г/т) [Бич, Петров, 2018].

В настоящей работе уточнены ассоциации элементов, отражающие факторы осадконакопления [Бич, Петров, 2018]. Для минералого-геохимической характеристики гидротермального материала в осадках проведены шлиховой анализ трех образцов из интервалов мощностью до 15 см и опытно-методические работы по получению рудных концентратов из осадков путем растворения карбонатной части в соляной кислоте (3 %) с последующим отмыванием пелитовой фракции и разделением крупной фракции в бромформе. Радиоуглеродным методом (шесть анализов) и методом избыточного тория (восемь образцов) определен возраст осадков рудопроявления Победа-3. Также выполнен анализ распределения ключевых гидротермальных элементов (Fe и Mn) для относительной оценки вклада гидротермальных источников рудных полей в рудный потенциал узла Победа. Шлиховой анализ проводился в литолого-минералогической лаборатории ФГБУ ВНИИОкеангеология (аналитик Л. С. Смирнова), геохронологические исследования – в лаборатории им. Кеппена (СПбГУ).

Статистически значимые парные коэффициенты корреляции V и Cr с Fe ($r = 0.96$ для V–Fe, $r = 0.83$ для Cr–Fe), а также Ni и Co с Mn ($r = 0.78$ для Ni–Mn, $r = 0.87$ для Co–Mn) обусловлены процессами сорбции микроэлементов оксигидроксидами железа и марганца из водной толщи [Trefry, Metz, 1989; German et al., 1991; Гидротермальные..., 1992]. Группа этих микроэлементов отражает вклад гидрогенного фактора в осадконакопление.

Гидротермальная составляющая осадков традиционно представлена гидроокислами Fe и Mn, реже встречаются сульфиды Fe, Cu, Zn и барит [Gurvich, 2006]. Шлиховой анализ осадков поля Победа-2 выявил существенное количество атакамита (до 40 %) в тяжелой крупноалевритовой фракции с уменьшением содержания к нижней части колонки. Известно, что атакамит в гидротермальных системах встречается как вторичный продукт окисления медных руд [Hannington, 1993].

В дополнение к выделенным трем этапам гидротермальной деятельности в пределах рудного узла (I этап – до 29.8–28.2 тыс. лет; II этап – от 29.8–28.2 до 22.1 тыс. лет; III этап – 22.1 тыс. лет по настоящее время [Бич, Петров, 2018]) методом радиоуглеродного датирования установлен возраст начала гидротермальной деятельности – 40.6 тыс. лет. Геохронологические исследования показывают омоложение датировок, полученных радиоуглеродным методом, относительно метода избыточного тория. Для самого глубокого горизонта колонки металлоносных отложений Победа-3 радиоуглеродным методом получен возраст 29.35 ± 0.18 тыс. лет, а методом избыточного тория – 51.1 ± 8.3 тыс. лет. Во всех трех колонках встречены интервалы, радиоуглеродный возраст которых меньше вышележащих с общей тенденцией увеличения возраста с глубиной. Такие несоответствия в определении возрастов объясняются процессами биотурбации [Мурдмаа, 1987], оползневыми явлениями или неточностью радиоуглеродного метода. Однако отсутствие текстурных «следов» гравитационных процессов и существенная разница в химическом составе разновозрастных

(по данным ^{14}C) горизонтов осадков внутри колонок исключает предположение об оползневой природе возникновения геохронологических аномалий.

Относительные значения модуля Fe/Mn в металлоносных осадках могут быть использованы для оценки удаленности источника рудного вещества. Зона обогащения Mn расположена существенно дальше от гидротерм в силу более высокой геохимической активности Mn по сравнению с Fe [Gurvich, 2006; Mills, Elderfield, 1995]. Станция опробования находится в контуре рудного поля Победа-1 в непосредственной близости к зоне разгрузки гидротерм [Бельтнев и др., 2016ф]. Сравнивая распределение Fe/Mn осадков Победа-1 и Победа-2, в пределах последнего отмечается повышение значения этого модуля (табл.), при разности среднего содержания Fe (в пересчете на бескарбонатную основу) в 0.05 %, очевидна дополнительная поставка Mn гидротермами соседних рудных объектов в МО рудного поля Победа-1. В пределах рудопроявления Победа-3 гидротермальная деятельность прекратилась до 22.1 тыс. лет назад [Бич, Петров, 2018]. Стабильно высокое содержание Fe в абиогенной части осадков Победа-2 (>15 %) свидетельствует о непрерывной интенсивной гидротермальной деятельности на протяжении формирования всей колонки, т. е. гидротермы рудного поля Победа-2 за последние 40 тыс. лет проявили наибольшую активность в пределах рудного узла.

Т а б л и ц а

Содержания рудных компонентов и модуля Fe/Mn МО рудного узла Победа

Объект	Средние концентрации рудных компонентов в осадках (абиогенная основа), %				Значение модуля Fe/Mn			Кол-во определений
					мин.	макс.	средн.	
	Fe	Mn	Cu	Zn				
Победа-1	20.77	0.2	0.75	0.06	39	202.3	109.7	63
Победа-2	20.83	0.12	2.32	0.13	29	933.7	387.2	46
Победа-3	12.23	0.18	0.21	0.04	33.5	141.3	66.3	57

Таким образом, в результате исследований элементы гидрогенного фактора осадконакопления выделены в самостоятельную группу и датировано начало первого этапа гидротермальной деятельности. Особенности распределения основных рудных компонентов в металлоносных осадках позволили предположить преимущественную активность и, соответственно, максимальную поставку рудного материала со стороны поля Победа-2 в рудный узел Победа в целом.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-05-00861).

Литература

Бельтнев В. Е., Рождественская И. И., Самсонов И. К. и др. Поисковые работы на площади Российского разведочного района в Атлантическом океане с оценкой прогнозных ресурсов ГПС категории P₂ и P₃ в блоках 31–45. Ломоносов: ПМГРЭ, 2016ф.

Бич А. С., Петров А. Ю. Изучение металлоносных осадков для реконструкции процессов гидротермального рудообразования (на примере рудного узла Победа, САХ) // Металлогения древних и современных океанов–2018. Вулканизм и рудообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2018. С. 89–93.

Гидротермальные сульфидные руды и металлоносные осадки океана / Краснов С. Г., Черкашев Г. А., Айнемер А. И. и др. СПб: Недра, 1992. 278 с.

- Лисицын А. П.* Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
- Мурдмаа И. О.* Фации океанов. М.: Наука, 1987. 303 с.
- German C. R., Campbell A. C., Edmond J. M.* Hydrothermal scavenging at the Mid-Atlantic Ridge: Modification of trace element dissolved fluxes // *Earth and Planetary Science Letters*. 1991. Vol. 107. P. 101–114.
- Gurvich E. G.* Metalliferous sediments of the World Ocean. Berlin Heidelberg: Springer, 2006. 431 p.
- Hannington M. D.* The formation of atacamite during weathering of sulfides on the modern seafloor // *Canadian Mineralogist*. 1993. Vol. 31. P. 945–956.
- Mills R. A., Elderfield H.* Hydrothermal activity and the geochemistry of metalliferous sediment // In: *Physical, Chemical, Biological and Geological interactions within Hydrothermal systems*, eds. S. E. Humphris et al. *Geophys. Monogr. Ser.*, 1995. Vol. 91. P. 391–407.
- Trefry J. H., Metz S.* Role of hydrothermal precipitates in the geochemical cycling of vanadium // *Nature*. 1989. Vol. 342 (6249). P. 531–533.

Д. В. Коршунова¹, А. В. Фирстова², Т. В. Степанова², Г. А. Черкашев^{1,2}

¹ – Санкт-Петербургский государственный университет,

г. Санкт-Петербург

² – ФГБУ ВНИИОкеангеология, г. Санкт-Петербург

daskors@yandex.ru

Минералого-геохимическая характеристика полиметаллических сульфидных руд юго-восточной части задугового бассейна Манус, Тихий океан

Современные гидротермальные сульфидные руды в задуговых бассейнах обогащены медью, цинком, свинцом, золотом, серебром и многими редкими элементами. Вмещающими породами для сульфидных руд являются во многих случаях средние и кислые вулканы, в отличие от базальтов срединно-океанических хребтов. Геологическая позиция и особенности состава сульфидных руд дают возможность рассматривать их в качестве аналогов древних колчеданных месторождений [Масленникова, Масленников, 2007].

Бассейн Манус является активным задуговым бассейном. Он ограничен с юга зоной субдукции Новобританского желоба и с севера – зоной субдукции желоба Манус, который образован в зоне конвергенции Австралийской и Тихоокеанской плит. В 1991 г. в ходе экспедиции НИС «Франклин» в юго-восточной части бассейна Манус были открыты активные высокотемпературные гидротермальные поля с сульфидами, связанные с подводным дацитовым вулканизмом [Binns, Scott, 1993; Богданов и др., 2006]. В настоящее время в этой области реализуется проект Solwara, включающий в себя 19 перспективных участков с различными типами минерализации (сульфидной и сульфатной) [Lipton, 2012].

Фактический материал для настоящей работы представлен образцами сульфидных руд, отобранных из юго-восточной части задугового бассейна Манус в Тихом океане. Образцы предоставлены сотрудниками ФГБУ ВНИИОкеангеология и включают в себя фрагменты массивных сульфидов (30 образцов) и геохимические