

УДК 550.93:551.793 (571.54)

ХРОНОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПРЕДЕЛАХ ПОЛЯ “ЮБИЛЕЙНОЕ” (СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКИЙ ХРЕБЕТ, 20°08' с.ш.)

© 2018 г. В. Ю. Кузнецов^{1,*}, Э. В. Табунс¹, К. А. Кукса^{1,**}, Г. А. Черкашён^{1,2},
В. Е. Бельтенёв³, Х. А. Арсланов¹, Ф. Е. Максимов¹, Л. И. Лазарева³,
А. И. Журавлева¹, А. Ю. Петров¹, В. А. Григорьев¹

Представлено академиком РАН А.П. Лисицыным 02.04.2016 г.

Поступило 10.05.2016 г.

Представлены результаты применения комплекса геохронологических и геохимических методов изучения руд и металлоносных отложений поля “Юбилейное”. Эти исследования дали возможность выполнить взаимное тестирование достоверности результатов ²³⁰Th/U-датирования рудных формаций, ²³⁰Th, ¹⁴C-датирования, фораминиферового анализа осадков и реконструировать на их основе временную продолжительность гидротермальной деятельности. Установлено, что процессы рудообразования в пределах поля начались ~100–123 тыс. лет назад и возобновлялись 4–5 раз с периодичностью ~10–20 тыс. лет. Это привело к формированию комплекса серно-, медно- и цинково-колчеданных сульфидных руд и ассоциирующих с ними металлоносных и рудоносных осадков соответствующей геохимической специализации. Результаты также показали, что выполнение совместных геохронологических и геохимических исследований руд и осадков открывает перспективу получения более полной информации об эволюции гидротермального рудообразования в пределах отдельных участков и для всего Срединно-Атлантического хребта (САХ).

DOI: 10.7868/S0869565218160132

Всестороннее изучение открытых в конце 1970-х годов океанских гидротермальных систем имеет несомненный научный и практический интерес: природные лаборатории современных геологических процессов и будущие источники минерального сырья. Один из аспектов изучения сульфидных руд – исследования, направленные на реконструкцию во времени процессов гидротермального рудообразования, имеющего дискретно-эпизодический характер [1, 2, 5, 6].

В нашей работе представлены первые данные о возрасте и составе гидротермально-осадочных отложений и руд поля “Юбилейное”, расположенного в районе 20°08' с.ш. САХ. Эти данные позволяют детально реконструировать эволюцию процесса гидротермального рудообразования в данном районе [15].

Гидротермальное рудное поле “Юбилейное” открыто в 35-м рейсе нис “Профессор Логачев” (2012 г.) и описано в [3]. В общей сложности нами исследовано 24 образца руд с семи станций и осадочная колонка 35 л 158 длиной 78,5 см, отобранная на расстоянии 150–200 м к северо-западу от рудного тела 1.

Возраст, химический состав руд и осадков определяли методами радиоизотопной геохронологии, микропалеонтологии, рентгено-флуоресцентным анализом по стандартным методикам [4, 7–10].

Полученные оценки возрастов и состава различных типов руд гидротермального поля “Юбилейное” в табл. 1. Общий диапазон формирования руд поля ~100 – ~2,5 тыс. лет назад (т.л.н.). Руды достаточно однородного состава и сложены преимущественно пиритом, марказитом. В ряде образцов присутствуют халькопирит, сфалерит, опал, кварц. Среди остальных рудных минералов встречаются халькозин, изокубанит, борнит, гематит. Результаты химического анализа руд отражают их минеральный состав: основные компоненты Fe, Cu. Cu 0,07–15,16, Zn 0,02–13,17%.

В разрезе осадков колонки 35 л 158 было выделено три зоны: (1) зона Z (3–7 см, возрастные границы 0–11 т.л.), (2) зона Y (8–14 – 51 см, возрастные

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга, Санкт-Петербург

³ Полярная морская геологоразведочная экспедиция, Ломоносов, Санкт-Петербург

*E-mail: v.kuznetsov@spbu.ru

**E-mail: kkuksa@gmail.com

Таблица 1. Состав и датировки сульфидных руд поля “Юбилейное” (последовательность приведённых данных соответствует удревнению их возраста)

Номер образца (лаб. №)	Тип руды		Fe, мас. %	Cu+Zn, мас. %	Минеральный состав	²³⁰ Th/U возраст, тыс. лет
	Морфологический	Геохимический				
121-М-1 (ЛУУ-887)	Массивные	Серно-колчеданный	23,3	0,53	Py, Mc, Op, [Sph]	2,6 ± 0,8
126-М-1 (ЛУУ-851)	Массивные	Медно-колчеданный	Н.о.	Н.о.	Py, Chp, [Sph], [Op]	5,8 ± 0,3
59-М-3Д (ЛУУ-834R)	Массивные	Медно-колчеданный	37,5	11,36	Chp, Iso, Cc, Bn, Py, Mc	6,7 ± 3,5
122-М-2 (ЛУУ-886)	Массивные	Медно-колчеданный	39,5	13,98	Py, Chp, [Iso], [Shp], [Op]	7,3 ± 6,6
120-М-6 (ЛУУ-850)	Массивные	Серно-колчеданный	Н.о.	Н.о.	Mc, Py, [Sph], [Op]	7,5 ± 0,7
120-М-2 (ЛУУ-884)	Массивные	Цинково-колчеданный	24,9	17,51	Sph, Py, [Mc], [Op]	≤8,3
123-М-1 (ЛУУ-889)	Массивные	Серно-колчеданный	20,9	0,61	Mc, Py, [Op]	8,3 ± 0,4
121-М-2 (ЛУУ-885)	Массивные	Цинково-колчеданный	24,2	9,91	Py, Sph, [Mc], [Op]	8,4 ± 0,8
122-М-1 (ЛУУ-818)	Массивные	Серно-колчеданный	33,8	0,55	Mc, Py, [Op], [Chp]	8,5 ± 0,4
123-Б-2 (ЛУУ-804)	Брекчия	Серно-колчеданный	20,8	0,51	Mc, Py, [Op], [Qtz]	8,5 ± 0,6
123-Б-1 (ЛУУ-862)	Брекчия	Серно-колчеданный	20,4	0,75	Mc, Py, [Op], [Qtz]	8,5 ± 0,6
120-М-6 (ЛУУ-874)	Массивные	Серно-колчеданный	21,8	0,82	Mc, Py, [Sph], [Op]	9,6 ± 0,7
59-М-3 (ЛУУ-861)	Массивные	Серно-колчеданный	Н.о.	Н.о.	Mc, Py, [Sph], [Chp]	≤10,1
120-М-2Д (ЛУУ-870)	Массивные	Цинково-колчеданный	19,2	13,53	Sph, Py, [Mc], [Op]	11,7 ± 7,2/6,7
59-М-5 (ЛУУ-871)	Массивные	Медно-колчеданный	38,9	17,65	Chp, Iso, Cc, Bn, Py, Mc	13,4 ± 4,3/4,2
59-М-4 (ЛУУ-819)	Массивные	Серно-колчеданный	21,4	0,79	Mc, Py, [Sph], [Chp]	20,0 ± 2,1
122-Д (ЛУУ-803)	Массивные	Серно-колчеданный	33,7	0,66	Mc, Py, [Sph], [Op], [Chp]	21,9 ± 1,4
60-М-2 (ЛУУ-883)	Массивные	Серно-колчеданный	15	0,11	Mc, Py, [Op], [Sph]	24,3 ± 11,3/10,1
120-М-4 (ЛУУ-835)	Массивные	Медно-колчеданный	27	0,96	Py, Chp, [Iso], [Bn]	31,0 ± 12,5
60-М-1 (ЛУУ-882)	Массивные	Серно-колчеданный	Н.о.	Н.о.	Mc, Py, [Op], [Sph]	41,5 ± 23,5/18,7
125-М-1 (ЛУУ-872)	Массивные	Серно-колчеданный	34,9	0,55	Mc, Py, [Op], [Hem]	49,9 ± 5,8/5,4
127-М-2 (ЛУУ-805)	Массивные	Серно-колчеданный	16,6	0,26	Mc, Py, [Op], [Hem]	67,5 ± 9,3/8,3
59-М-28-1 (ЛУУ-892)	Массивные	Медно-колчеданный	29,2	14,95	Chp, Iso, Cc, Bn, Py, Mc	84,0 ± 17,7/15,0
127-М-1 (ЛУУ-888)	Массивные	Серно-колчеданный	29,7	0,52	Mc, Py, [Op], [Hem]	101,2 ± 43,7/29,2

Примечание: Py – пирит; Bn – борнит; Iso – изокубанит; Cc – халькозин; Mc – марказит; Sph – сфалерит; Op – опал; Qtz – кварц; Hem – гематит; [] – второстепенные минералы, Н.о. – не определяли.

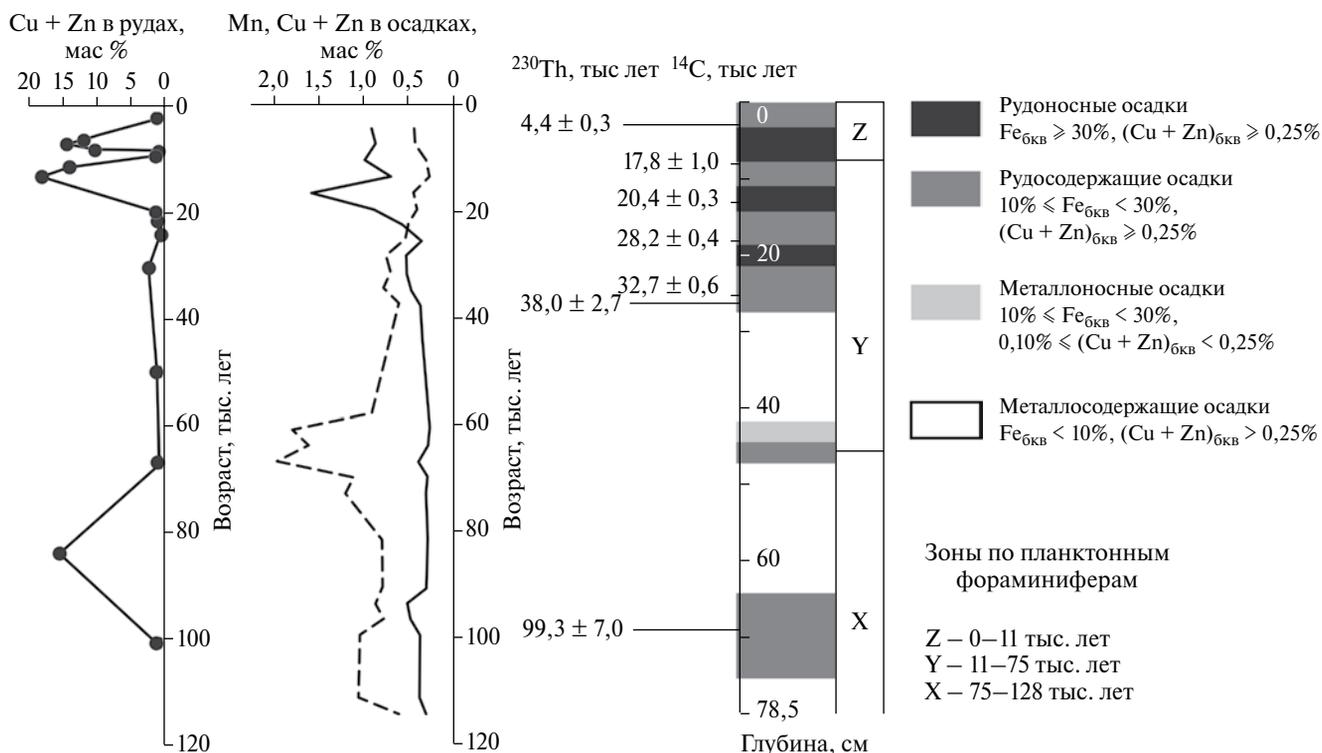


Рис. 1. Результаты комплексного исследования осадочной колонки 35л158. Слева приведены данные по суммарному содержанию Cu и Zn в рудах.

границы 11–75 т.л.), (3) зона X (с глубины 52 см и ниже, возрастные границы 75–128 т.л.).

Радиоуглеродный анализ материала колонки 35 л 158 позволил получить 4 конечные ^{14}C -датировки в диапазоне $17\,800 \pm 900$ лет cal BP (слой 8–9 см) – $49\,200 \pm 600$ лет cal BP (слой 41–43 см), рис. 1. Средняя скорость седиментации, рассчитанная по конечным ^{14}C датам, составила $0,64 \pm 0,03$ см/т.л.

Установленное в профиле осадков близкое к экспоненциальному понижение удельной активности $^{230}\text{Th}_{\text{изб}}$ с глубиной позволило использовать метод избыточного ^{230}Th [4] для их датирования. Для трёх горизонтов получены возрасты, т.л.: $4,4 \pm 0,3$ (3 см), $38,0 \pm 2,7$ (24–26 см), $99,3 \pm 7,0$ (66–68 см). Рассчитанная по этим данным средняя скорость осадкообразования составила $0,68 \pm 0,05$ см/т.л., что хорошо согласуется со значением, полученным по ^{14}C -датировкам.

Результаты химического анализа осадочной колонки 35 л 158 показывают наличие в ней 4-х типов осадков в зависимости от содержания Fe, Cu, Zn: металлосодержащих, металлоносных, рудосодержащих, рудоносных (рис. 1). Доля Fe в осадках (в пересчёте на бескарбонатное вещество) 8,7–50,7 мас. %, содержания $(\text{Cu} + \text{Zn})_{\text{бкв}}$ 0,23–1,55%. Верхняя часть колонки в интервале глубин 3–26 см в наибольшей степени обогащена Cu, Zn,

Fe. Далее по глубине наблюдается заметное уменьшение содержаний этих элементов, а с горизонта 63 см – повышение концентраций $\text{Fe}_{\text{бкв}}$ до 16,7%, $(\text{Cu} + \text{Zn})_{\text{бкв}}$ до 0,47%.

По глубине осадочной колонки наблюдается хронологическая последовательность ^{14}C -, ^{230}Th -датировок, которые, в свою очередь, укладываются в возрастные границы биозон, подтверждая тем самым достоверность полученных изотопно-геохронологических данных. Исходя из значений средней скорости седиментации $0,64$ – $0,68$ см/т.л., время формирования осадочной колонки 35л158 оценивается в ~ 112 – 123 т.л. и согласуется в целом со временем начала рудоотложения ~ 100 т.л.н. по данным $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования руд ($101,2 \pm 43,7/29,2$ т.л.). При этом все датировки руд попадают (с учётом ошибки определения возраста) в интервалы времени накопления разных типов осадков – от металлосодержащих до рудоносных (табл. 2; рис. 1).

На основе полученных значений средней скорости осадконакопления и датировок сульфидных руд достаточно уверенно выделяются как минимум четыре этапа гидротермальной активности. Наиболее ранний имеет возрастные границы ~ 100 – 80 т.л. На этом этапе происходило формирование серно-, медно-колчеданных руд, а также

Таблица 2. Сравнительные данные по возрасту руд и осадков поля “Юбилейное”

Интервал, см	Тип осадков	Время формирования осадков ^(*) , тыс. лет	Время формирования осадков ^(**) , тыс. лет	²³⁰ Th/U возраст руд, тыс. лет
0–26	Чередование рудосодержащих и рудоносных слоев	~(0–38)	~(0–41)	~(2.5–41.5)
27–41	Металлосодержащие	~(40–60)	~(42–64)	~50
42–46	Металлоносные и рудосодержащие	~(62–68)	~(66–72)	~67.5
47–62	Металлосодержащие	~(69–91)	~(73–97)	~84
63–75	Рудосодержащие	~(93–110)	~(98–117)	~101
76–78,5	Металлосодержащие	~(112–115)	~(119–123)	

Примечание: Время формирования слоев рассчитано из средней скорости седиментации, определенной по данным ²³⁰Th^(*) и ¹⁴C^(**) датирования осадков.

отложение рудосодержащих осадков в интервале 75–63 см, обогащённых Cu, Zn (табл. 2).

Ко второму возрастному этапу (~40–30 т.л.) относятся руды серно- и медно-колчеданного типов и рудосодержащие осадки с глубин 26–19 см (~40–28 т.л.).

Руды третьего этапа с возрастом ~25–11 т.л. представлены всеми тремя геохимическими типами: серно-, медно-, цинково-колчеданными. Их образование сопровождалось отложением рудосодержащих и рудоносных осадков в интервале 18–12 см (~28–18 т.л.).

Четвёртый, самый молодой, этап имеет возрастные границы ~8,5 – ~2,5 т.л. К его проявлению приурочены рудосодержащие и рудоносные осадки, представленные в первых 11 см колонки (≤17–16 т.л.).

Для возрастного интервала 70–40 т.л. следует отметить отсутствие медных и/или цинковых колчеданов. Однако в составе осадков того же возраста (интервал в колонке 27–46 см) наблюдается слабо выраженная аномалия этих элементов, которая сопровождается максимальными концентрациями Mn (до 1,5–2%) (рис. 1). Это позволяет предполагать наличие в данном временном диапазоне (между первым и вторым этапами) проявлений гидротермальной активности преимущественно железомарганцевой специализации.

В заключение надо отметить следующее. Применение комплекса геохронологических и геохимических методов изучения руд и металлоносных отложений поля “Юбилейное” дало возможность выполнить взаимное тестирование достоверности результатов ²³⁰Th/U-датирования сульфидов,

²³⁰Th-, ¹⁴C-датирования и фораминиферового анализа осадков и подтвердить этим полученные возрастные данные, а также использовать их для последующих реконструкций. Гидротермальная активность в пределах поля имела дискретно-эпизодический характер и началась, предположительно ~100–123 т.л. назад, возобновляясь затем 4–5 раз с периодичностью ~10–20 т.л. Это привело к формированию комплекса серно-, медно-, цинково-колчеданных руд и ассоциирующих с ними металлоносных и рудоносных осадков соответствующей геохимической специализации. Таким образом, выполнение совместных геохронологических, геохимических исследований руд и осадков открывает перспективу получения более полной информации об эволюции гидротермального рудообразования в пределах отдельных участков и для всего Срединно-Атлантического хребта.

Работа выполнена при поддержке проектов СПбГУ № 3.37.135.2014 и 18.37.141.2014 и гранта РФФИ № 18–05–00861.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cherkashev G.A.* Hydrothermal input into sediments of the Mid-Atlantic Ridge. Hydrothermal Vents and Processes // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1995. V. 87. P. 223–229.
2. *Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевич А.М., Гурвич Е.Г.* Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.
3. *Бельтнев В.Е., Лазарева Л.И., Черкашёв Г.А., Иванов В.Н., Рождественская И.И., Кузнецов В.Ю., Лайба А.А., Наркевский Е.В.* Новые гидротермальные рудные поля на Срединно-Атлантическом

- хребте: “Юбилейное” (20°08' с.ш.), “Сюрприз” (19°52' с.ш.) // ДАН. 2015. Т. 476. № 3. С. 305–310.
4. Кузнецов В.Ю., Максимов Ф.Е. Методы четвертичной геохронометрии в палеогеографии и морской геологии. СПб.: Наука, 2012. 191 с.
 5. Kuznetsov V., Tabuns E., Kuksa K., Cherkashov G., Maksimov F., Bel'tenev V., Lazareva L., Zherebtsov I., Grigoriev V., Baranova N. The Oldest Seafloor Massive Sulfide Deposits at the Mid-Atlantic Ridge: $^{230}\text{Th}/\text{U}$ Chronology and Composition // *Geochronometria*. 2015. V. 42. P. 100–106.
 6. Богданов Ю.А., Леин А.Ю., Лисицын А.П. Полиметаллические руды в рифтах Срединно-Атлантического хребта (15–49 градусов с.ш.): минералогия, геохимия, генезис. М.: Геос, 2015. 255 с.
 7. Арсланов Х.А. Радиоуглерод: Геохимия и геохронология. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 300 с.
 8. Бараш М.С. Четвертичная палеоокеанология Атлантического океана. М.: Наука, 1988. 272 с.
 9. Ericson D.B., Ewing M., Wollin G., Heezen B.C. Atlantic Deep-Sea Sediment Core // *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1961. V. 72. P. 193–286.
 10. Ericson D.B., Ewing M., Wollin G. Pliocene-Pleistocene Boundary in Deep Sea Sediments // *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1963. V. 139. P. 727–737.