

ФАНЕРОЗОЙСКИЕ “ЧЕРНЫЕ КУРИЛЬЩИКИ” КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТАВА РУДОВМЕЩАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ

© 2010 г. В. В. Масленников*, А. Ю. Лейн**, С. П. Масленникова***, Ю. А. Богданов**

*Южно-Уральский государственный университет,
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76

E-mail: mas@mineralogy.ru

**Институт океанологии РАН
117218, г. Москва, ул. Красикова, 23

E-mail: lein@geo.sio.rssi.ru

***Институт минералогии УрО РАН
456317, г. Миасс, Челябинская обл.

E-mail: mas@mineralogy.ru

Поступила в редакцию 24.05.2010 г.

В фанерозойских “черных курильщиках” в ряду от офиолитовых ассоциаций к базальт-риолитовым уменьшается количество высокожелезистых сульфидов и нарастают содержания барита. Индикаторными минералами современных “черных курильщиков”, ассоциирующих с ультрамафитами, являются сульфиды никеля и кобальта, самородное золото, реже встречаются арсениды и теллуриды (СаХ). “Черные курильщики” базальтовых ассоциаций либо обеднены редкими минералами (Кипр, современные СОХ), либо содержат единичные включения теллуридов висмута. Количество и разнообразие теллуридов возрастает в сульфидных трубах “черных палеокурильщиков”, образовавшихся на риолит-базальтовых комплексах палеозойских и мезозойских задуговых и окраинных бассейнов энсиматических островных дуг (Урал, Понтиды, Аппалачи). Золото-барит-борнит-галенит-тетраэдритовая ассоциация является типичной для “курильщиков” палеозойских (Рудный Алтай) и кайнозойских (Хокуроко, Окинава) энсиалических островодужных бассейнов. Элементы-примеси в гидротермальном халькопирите фанерозойских “курильщиков” находятся в зависимости от состава рудовмещающих комплексов, среди которых серпентинитовый отличается повышенными содержаниями Se, Sn, Co, Ni, Au и U; базальтовый – высокими концентрациями Co, Se и низкими Bi и Pb; риолит-базальтовый – высокими содержаниями Te и Bi, иногда Co и умеренными Se; базальт-риолитовый – повышенными As, Sb, Mo, Pb, Bi, иногда Ag, W и низкими концентрациями Co. Содержания Se, Co в халькопирите труб постепенно убывают, а Ba, Bi, Pb, Ag, Sb, Mo, W возрастают по мере увеличения в рудовмещающих комплексах относительного количества кислых вулканитов.

Ключевые слова: *трубы, фанерозойские “черные курильщики”, ультрамафитовые, базальтовые, риолит-базальтовые и базальт-риолитовые комплексы, колчеданные месторождения, ассоциации редких минералов и элементов-примесей, островные дуги, Урал, Понтиды, Хокуроко, Рудный Алтай, Тихий и Атлантический океаны.*

ВВЕДЕНИЕ

Вещественный состав и условия формирования современных “черных курильщиков” в настоящее время интенсивно изучаются [1–5, 9–11, 15–17, 23, 25, 26, 40 и др.]. Гораздо меньше известно о сульфидных трубах “черных курильщиков”, обнаруженных в рудах палеозойских колчеданных месторождениях Урала [12, 13, 27, 32, 33] и Рудного Алтая. До настоящей работы отсутствовали минералогическо-геохимические данные о мезозойских (Понтиды) и кайнозойских (Хокуроко) “черных курильщиках”, обнаруженных авторами в последние годы в рудах колчеданных месторождений Понтийского (мел) и Хокуроко (миоцен) островодужных поясов.

По минералогической зональности сульфидные трубы древних колчеданных месторождений, имеют много общего с гидротермальными трубами со-

временных “черных курильщиков”. Это сходство обусловлено единством механизма центробежно-центростремительного роста труб из высокотемпературных гидротермальных источников в донных условиях [12]. Общая черта “черных курильщиков” – присутствие концентрического слоя друзового халькопирита в каналах труб, который считается индикатором высоких (более 320°C) температур минералообразования [34]. Вариации составов труб на одном и том же гидротермальном поле обусловлены различиями в степени смешения гидротермальных флюидов с морской водой [23]. Вместе с тем, совокупность гидротермальных труб одного месторождения может существенно отличаться от совокупности труб другого месторождения по комплексу минералогическо-геохимических признаков. Вероятно, степень смешения гидротермальных флюидов с морской водой не является един-

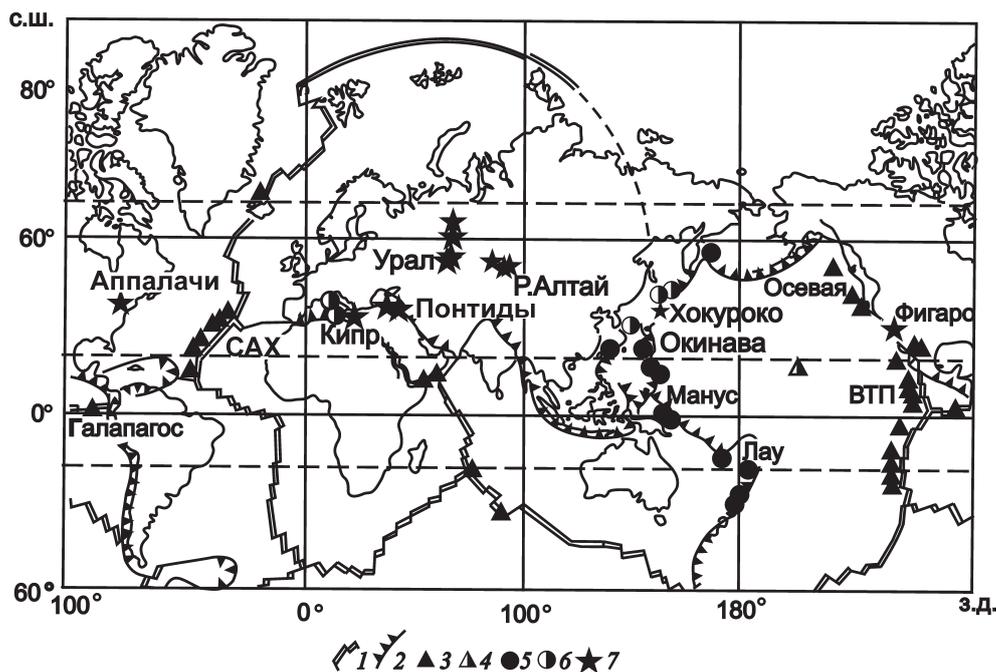


Рис. 1. Позиция находок современных и древних “черных курильщиков”, упомянутых в статье (по [1] с дополнениями).

1 – зоны спрединга; 2 – зоны субдукции; 3–5 – гидротермальные поля: 3 – в рифтовых зонах, 4 – “горячих точек”, 5 – в бассейнах задугового спрединга; 6 – мелководные вулканы островных дуг; 7 – места находок сульфидных труб “черных курильщиков” в рудах древних колчеданных месторождений.

Современные гидротермальные поля: СОХ Атлантического океана (Рейнбоу, Брокен Спур, Лаки Страйк, Снейк Пит, ТАГ “Мир”, Менез Гвен); Тихого океана (Восточно-Тихоокеанское поднятие (ВТП 9° с.ш.), Галапагосский хребет, гора Осеваия хребта Хуан де Фука); задуговые бассейны Лау (Центральный и Северный) и Манус; трог Окинава (Джейд, Миоджиншо). Древние колчеданные месторождения: силур-девон Урала (Яман-Касы, Сафьяновское, Молодежное, Узельга, Юбилейное, Валенторское, Октябрьское, Джусинское, Александринское, Талганское); девон Рудного Алтая (Николаевское, Артемьевское, Заречное); мел Понтид (Кутлулар, Чейли, Лаханос, Киллик, Кизилкая); миоцен Хокуроко (Аинай, Мацумине, Фурутобе, Мацуки, Ханава, Косака), ордовик Аппалачей (Балд Маунтин), юра Кордильер (Фигаро), юра Кипра (Перитерска, Скуриотисса).

ственным фактором разнообразия высокотемпературных сульфидных труб. При равной степени смещения одним из факторов, оказывающих влияние на параметры минералообразующих флюидов, может быть состав рудовмещающих пород. Чтобы выявить эту зависимость необходимо сравнить составы “черных курильщиков”, связанных с различными рудовмещающими формациями. Такое сравнение на настоящий момент становится возможным, если объединить данные по современным и древним “черным курильщикам”.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являлись фрагменты труб фанерозойских “черных курильщиков” различных районов Тихого и Атлантического океанов и колчеданных месторождений континентов (рис. 1).

Изученные образцы современных “черных курильщиков” Срединно-Атлантического хребта (САХ), Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП 9° с.ш.), задуговых бассейнов Манус и Лау собраны Ю.А. Богдановым и А.Ю. Леин во время рей-

сов НИС акад. “М. Келдыш”. Фрагменты древних “курильщиков” Урала, Рудного Алтая, Понтид обнаружены В.В. Масленниковым и С.П. Масленниковой во время работ по проектам Президиума РАН и ЮНЕСКО (IGCP-502). Образцы и пробы сульфидных труб Галапагосского хребта и горы Осеваия (хребет Хуан-де-Фука) переданы авторам для исследований И. Джонассоном. Минералогические исследования сульфидных труб проводились традиционным микрорентгеноспектральным методом в аналитических центрах Института минералогии УрО РАН (г. Миасс), Музея естественной истории (г. Лондон, Великобритания), Фрайбергской горной академии (г. Фрайберг, Германия), Центра по изучению рудных месторождений Университета Тасмании (г. Хобарт, Австралия), Геологической службы Японии (г. Кацуба). Невидимые под микроскопом включения минералов определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерным микропроботборником (ЛА-ИСП-МС) [29, 30, 33]. Для сравнения геохимической специализации вещества труб использовался “сквозной” минерал – гидротермальный халькопирит, по кото-

рому получено 674 ЛА-ИСП-МС анализа. Поскольку содержания большинства химических элементов в изученных выборках подчиняются нормальному закону распределения, подсчитаны средние арифметические содержания и стандартные отклонения от этих средних содержаний (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подрудные колчеданосные комплексы по преобладанию горных пород подразделяются на ультрамафитовые (серпентинитовые), базальтовые, риолит-базальтовые и базальт-риолитовые, каждый из которых характеризуется своими минералогическими особенностями труб “черных курильщиков”.

Ультрамафитовые комплексы

Вещество гидротермальных сульфидных труб, связанных с ультрамафитовыми комплексами (поля Рейнбоу, Логачев, Семенов) образует минералогический ряд от ангидрит-халькопиритовых “черных курильщиков” к пирит-сфалеритовым диффузерам. Оболочки труб сложены последовательно сменяющимися друг друга лимонитовыми, пиритовыми, магнетит-дигенитовыми и борнитовыми микрофациями, иногда содержащими барит и ангидрит. Колломорфный пирит нередко полностью замещен вторичным халькопиритом и лимонитом. Стенки каналов обычно инкрустированы халькопиритом, изокубанитом (и его разновидностями), иногда пирротинном, осевые каналы – вуртцитом или атакамитом.

Халькопирит из дигенит-борнит-халькопиритовых “черных курильщиков” поля Рейнбоу характеризуется высокими содержаниями Se – типичного изоморфного индикатора высокотемпературных восстановительных условий минералообразования [23] (рис. 2). Аномальные концентрации Co (до 0.6%) и Ni (до 0.2%) связаны с включениями кобальт-пентландита и арсенидов кобальта и никеля (см. табл. 1), а Au (до 12 г/т) – с ассоциирующими с ними включениями самородного золота. Умеренно высокие содержания Te вероятно объясняются микро- и нановключениями теллуридов, наличие которых доказывается редкими находками очень мелких зерен, например, колорадоита в дигенит-борнит-халькопиритовых трубах [10]. Высокий восстановительный потенциал обеспечивал концентрацию U (до 4–48 г/т), поступавшего из океанской воды [21].

В “курильщиках-диффузерах”, обогащенных сфалеритом и пиритом, содержания **Se** и **Te** в халькопирите на два порядка ниже, при значительном возрастании количества Sn (с 1 г/т до 0.5%) и Ag (с 0.5 до 421 г/т), вероятно, за счет изоморфного вхождения в структуру в виде (Cu, Ag) (Sn, Fe)S₂ (рис. 2).

В продуктах разрушения “черных курильщиков” древних кобальт-медноколчеданных месторожде-

ний серпентинитовых комплексов Главного Уральского разлома так же, как и в современных “черных курильщиках”, развиты сульфиды, сульфоарсениды и арсениды никеля и кобальта и самородное золото, однако появление их объясняется последующими преобразованиями обломочных сульфидных отложений [6, 7].

Базальтовые комплексы

Для большинства сульфидных труб современных “черных курильщиков”, формирующихся на базальтовом основании СОХ Тихого (поле ВТП 9° с.ш., Галапагос, гора Осевая) и Атлантического (поля ТАГ, Лаки Страйк, Брокен Спур) океанов, характерна такая же простая минералогическая зональность. Наружные части оболочек труб сложены ангидритом или колломорфным пиритом, марказитом, реже – сфалеритом. По мере перехода к внутренним частям оболочек появляются эвгедральные кристаллы пирротина, частично замещенные марказитом и сфалеритом. Во внутренних частях оболочек труб преобладают эвгедральные кристаллы пирита, сцементированные халькопиритом или сфалеритом. Стенки каналов труб инкрустированы друзовидными агрегатами халькопирита и изокубанита. Осевые части каналов либо полые, либо заполнены вуртцитом, марказитом и пиритом.

Древние аналоги “черных курильщиков” представлены, главным образом, в рудах месторождений кипрского рудно-формационного типа (Перистерка на Кипре, Фигаро в Калифорнии), ассоциирующего с мезозойскими задуговыми или субкеаническими офиолитовыми комплексами [31, 36]. Оболочки изученных нами медноколчеданных труб сложены колломорфным пиритом и марказитом. Внутренние стенки инкрустированы халькопиритом, иногда изокубанитом. На месторождении Скуриотисса (Кипр) авторами обнаружены многочисленные фрагменты труб “курильщико-диффузеров”, состоящих из пористого колломорфного и зернистого пирита.

“Видимые” под микроскопом акцессорные минералы в медноколчеданных и медно-цинково-колчеданных трубах действующих “черных курильщиков” в “молодых” гидротермальных полях (например, ВТП 9° с.ш.) встречаются крайне редко. В халькопирите сфалерит-пирит-халькопиритовых труб гидротермальных полей Брокен Спур и Галапагосского хребта в ассоциации с включениями эвгедрального пирита методом ЛА-ИСП-МС обнаружены невидимые под микроскопом ультрамикровключения теллуридов висмута. Судя по корреляции Вi и Te, незначительное количество теллуридов висмута рассеяно в халькопирите из ВТП 9° с.ш. Теллуриды висмута, наряду с висмутином, обильными сульфоарсенидами и арсенидами железа и кобальта, а также Cu-Ag-Pb сульфосолями достоверно опреде-

Таблица 1. Средние содержания в г/т (x) и стандартные отклонения (s) содержаний элементов-примесей в халькопирите сульфидных труб современных и древних “черных курильщиков”

№	Месторожд.	Ф		n	Co	Ni	As	Se	Mo	Ag	Sn	Sb	Te	Ba	W	Au	Tl	Pb	Bi	U
1	Рейнбоу	С	x	83	2423	525	27.2	540	5.8	132	819	25.6	39.4	0.3	0.52	2.40	0.11	20.9	5.50	1.47
					s	1804	629	103.7	561	14.0	161	1483	73.3	43.0	0.6	0.89	4.21	0.21	44.7	12.84
3	Бр. Спур	Б	x	30	234	0.7	5.9	2201	18.8	27	6.6	0.7	129.2	0.3	0.03	0.11	0.20	3.5	7.70	0.045
					s	223	0.8	7.9	911	47.0	29	4.6	1.3	68.7	0.5	0.03	0.12	0.51	5.3	12.91
4	Снейк Пит	Б	x	35	1350	0.4	8.5	386	0.1	272	149.7	2.9	17.0	0.2	0.03	0.09	0.01	4.0	4.60	0.003
					s	1559	0.4	23.9	315	0.1	128	271.8	10.8	12.8	0.6	0.09	0.09	0.02	13.5	8.84
5	Лаки Страйк	Б	x	15	28.3	0.2	35.0	928	8.4	16	4.1	1.1	0.4	0.4	0.20	0.04	0.84	12.6	0.01	0.039
					s	48.1	0.2	76.5	379	17.8	9	2.2	2.2	0.3	0.8	0.29	0.04	1.68	18.1	0.03
6	Менез Гвен	Б	x	30	8.1	0.2	10.1	1517	69	83	4.5	9.1	0.5	0.6	0.03	0.18	0.76	34.2	0.04	0.009
					s	15.6	0.6	30.3	1160	185	110	5.0	24.0	1.5	1.4	0.1	0.5	2.3	91.6	0.1
7	ТАГ-МИР	Б	x	15	0.02	0.6	3.5	3	51	54	7.3	19.4	0.1	4.4	0.01	24.2	0.15	13.0	0.05	0.063
					s	0.02	1.0	3.4	3	116	37	7.5	15.6	0.2	9.5	0.01	55.8	0.22	13.3	0.06
8	ВТП 9 с.ш.	Б	x	30	11.0	0.3	50.6	851	179	94	45.0	24.2	15.7	0.6	0.07	0.05	0.24	50.9	9.12	0.12
					s	12.8	0.4	97.5	428	410	47	36.4	68.1	11.6	1.3	0.11	0.06	0.65	73.6	18.37
9	Галапаго- ский хр.	АБ	x	49	41.8	0.2	1.0	864	1.2	67	77.1	0.6	0.7	0.1	0.02	0.01	0.02	1.0	0.97	0.005
					s	63.8	0.3	3.4	1054	3.2	74	68.7	2.4	1.6	0.4	0.03	0.02	0.04	2.2	4.34
10	г. Осевая	Б	x	14	35.4	0.5	26.1	1260	19.8	125	8.1	3.7	1.3	2.1	0.01	0.07	0.17	22.4	0.01	0.027
					s	39.2	0.5	61.3	847	35.3	104	6.5	7.0	1.5	3.7	0.01	0.10	0.36	47.6	0.02
11	Манус	ДБ	x	12	2.5	0.1	0.9	27	0.4	130	65.6	0.1	0.2	0.1	0.04	0.06	0.02	6.2	0.003	0.003
					s	0.8	0.1	1.2	3	0.8	11	14.7	0.2	0.2	0.1	0.13	0.04	0.02	11.0	0.002
12	Лау Сев.	РБ	x	16	0.02	0.1	0.3	6	0.1	19	15.3	0.05	0.2	0.2	0.02	0.01	0.03	0.1	0.009	0.005
					s	0.04	0.1	0.3	2	0.1	2	8.8	0.04	0.2	0.7	0.02	0.01	0.06	0.2	0.012
13	Лау Центр.	РБ	x	5	7.9	2.2	0.9	17	0.1	254	32.9	0.1	0.1	1.7	0.005	0.21	0.01	0.3	0.001	0.002
					s	1.4	4.1	1.7	3	0.1	14	11.5	0.1	0.2	3.1	0.008	0.06	0.02	0.5	0.002
14	Сафьянов- ское	РБ	x	35	51	0.3	137	1055	51	70	111	39	22	0.9	0.10	0.44	1.90	5991	42	0.011
					s	130	0.9	291	745	230	57	151	100	37	1.9	0.20	1.46	3.14	7252	59
15	Яман-Касы	РБ	x	136	84	1.0	1069	60	16.6	570	58	358	5012	6.2	1.55	104.2	1.95	2485	605	0.014
					s	481	2.7	2879	42	37.4	1122	130	754	12279	17.6	4.30	326.7	4.60	4960	2902
16	Молодеж- ное	РБ	x	32	339	1.9	969	471	6.2	170	293	62	696	24.8	7.29	9.8	0.36	5521	23	0.006
					s	405	3.0	1126	405	9.7	243	1036	53	718	69.5	36.36	9.8	0.30	10973	21
17	Узельга	РБ	x	28	2.4	3.7	24.1	563	4.2	114	25.4	5.2	150	2.2	0.05	1.15	0.02	2994	2.80	0.022
					s	8.4	13.2	54.6	464	17.8	305	6.1	17.6	445	7.1	0.12	4.07	0.04	4726	3.65
18	Талган	БР	x	6	0.1	0.1	19.8	21	105	14	10.9	13.3	1.5	0.2	0.06	0.08	0.13	175	30.96	0.088
					s	0.1	0.2	14.9	10	255	9	1.6	22.0	0.7	0.3	0.05	0.10	0.23	263	66.21
19	Валентор- ское	БР	x	56	0.2	1.7	26.1	132	24.6	68	36.4	5.7	131	1.2	0.70	1.13	0.98	1944	96	0.16
					s	0.4	4.8	35.7	81	52.3	105	16.1	5.7	452	6.2	1.81	2.16	1.49	3665	324
20	Алексан- дринское	БР	x	27	0.3	1.2	498	37	22.9	9	3.1	178	8.7	12.0	0.95	0.13	0.11	368	2.89	0.010
					s	1.3	3.8	1980	52	71.1	20	1.8	749	30.2	32.7	1.89	0.40	0.31	1000	7.91
21	Николаев- ское	РБ	x	79	249	0.3	897	1313	0.4	168	142.3	929	11.9	1.0	0.49	0.45	4.80	2520	421	0.002
					s	1072	0.9	2936	717	1.2	277	101.8	5020	16.2	5.1	3.59	2.20	13.7	7503	726
22	Артемьев- ское	БР	x	41	16.4	4.8	2940	9.7	3.3	124.6	116.0	2138	0.3	1859	0.7	0.8	1.2	5283	321	0.74
					s	67.5	14.2	8527	15.2	7.6	257.0	115.3	6366	0.5	9581	2.1	3.0	3.3	14206	1319
23	Заречное	БР	x	10	4.7	17.6	5024	2	10.3	160	0.1	8608	0.2	7719	2.84	0.005	0.46	10006	0.01	3.04
					s	6.7	25.1	6190	2	12.5	89	0.1	10889	0.3	18912	3.60	0.02	0.27	20387	0.01
24	Кутлулар	РБ	x	9	0.2	0.1	6.9	285	440	13	19.4	2.2	130.5	2.9	0.03	0.35	1.41	117	321	0.005
					s	0.3	0.1	5.4	47	795	18	7.1	2.5	324.9	4.8	0.05	0.48	2.50	186	587
25	Чейли	БР	x	51	0.6	8.9	510	156	153	81	32.3	575	35.3	1.1	0.23	0.22	3.06	1445	49	0.005
					s	1.8	41.9	1504	116	588	195	30.0	2102	69.2	5.8	0.81	0.50	11.0	4581	90
26	Мацумине	БР	x	42	0.02	0.1	289	35	21.1	21.2	4.9	185	0.6	4.6	0.4	0.1	0.3	467	64	0.021
					s	0.02	0.1	1291	38	120.4	26.9	4.0	857	1.5	25.1	1.5	0.2	0.5	2631	247
27	Аинай	БР	x	4	0.00	0.0	10.4	4	22.8	120	9.6	43.7	0.2	29.0	0.02	0.10	0.12	6303	78	0.009
					s	0.01	0.0	7.7	2	36.3	41	0.4	55.2	0.2	30.3	0.02	0.09	0.13	8243	81
28	Фурутобе	БР	x	5	0.03	0.1	7.7	4	3.3	11	3.3	12.4	0.1	0.5	0.00	0.02	0.02	11.7	0.21	0.001
					s	0.03	0.1	13.0	3	3.7	7	0.9	22.1	0.1	0.9	0.01	0.01	0.01	19.0	0.25
29	Ханава	БР	x	7	0.13	0.4	1.3	13	0.1	148	2.0	11.3	0.2	2.1	0.02	0.02	0.72	14.9	0.03	0.003
					s	0.28	0.7	1.7	7	0.2	30	0.2	16.4	0.2	3.4	0.02	0.02	1.54	20.3	0.04
30	Косака	БР	x	28	0.89	0.2	5.5	10	15.0	47	3.3	8.4	0.2	23.3	0.26	0.06	0.23	123	33	0.12

бах диффузеров поля Снейк Пит. Особенностью других “старых” гидротермальных полей является появление барит-колчеданно-полиметаллических труб с золото-галенит-сульфосольной минерализацией, более устойчивой в морской воде по сравнению с теллуридами. В обломках пирит-барит-борнит-сфалеритовых труб поля Менез Гвен обнаружены крупные (до 100 мкм) включения блеклых руд и признаки нановключений самородного золота. В барит-пирит-халькопирит-сфалеритовых трубах гидротермального поля горы Осевая достоверно определена Pb-As-Sb сульфосольная минерализация, ассоциирующая с галенитом [26].

Селен в халькопирите сульфидных труб показывает распределение, аналогичное предыдущему: выделяются два поля – одно с повышенными содержаниями, характерное для “черных курильщиков”, богатых халькопиритом, другое – с пониженными содержаниями, более свойственно диффузерам полей Снейк Пит (рис. 2). Исключением является фрагмент пирит-сфалерит-борнит-халькопиритовой золотосодержащей трубы с потухшей постройки “Мир” поля ТАГ, где концентрации Se в халькопирите показывают минимальные значения (табл. 1). Аналогичное распределение свойственно Te. Халькопирит “черных курильщиков”, сформированных на базальтовом основании, отличается низкими содержаниями Ni – индикаторного химического элемента ультрамафитовых комплексов. Однако, средние содержания Co остаются высокими, что соответствует кларку этого элемента в базальтах. Повышенные средние содержания Au и Ag связаны лишь с борнит-содержащими трубами “черных курильщиков” полей Менез Гвен (до 2 г/т) и постройки “Мир” (до 100–250 г/т). На других полях средние содержания золота в халькопирите “черных курильщиков” редко превышают 0.1 г/т.

Риолит-базальтовые комплексы

Подрудные толщи этих комплексов характеризуются преобладанием основных вулканитов над кислыми или равным их соотношением и обычно связаны с окраинными морями, задуговыми и междуговыми бассейнами энзиматических островных дуг. Современными аналогами, вероятно, являются некоторые поля задуговых бассейнов Манус и Лау западной части Тихого океана, где наряду с базальтами встречаются риолиты и дациты. Характерная особенность сульфидных труб – появление барита, теннантита, галенита, борнита, сульфосолей серебра и сурьмы [4, 9, 11, 20]. Гораздо реже встречается пирротин (Центральный Лау). Особенно много барита в трубах южных гидротермальных полей бассейна Лау, сближенных с островной дугой [1]. Оболочка изученной многоканальной трубы междуугового бассейна Манус сложена опалом и колломорфным пиритом, которые во внутренней части полностью за-

мещаются сфалеритом. Стенки каналов трубы обросли тонкими слоями халькопирита и вюртцита. Методом ЛА-ИСП-МС в вюртците установлены признаки нановключений золота и Pb-Sb-As сульфосолей. Хотя включений и повышенных содержаний самородного золота в изученной нами трубе не обнаружено, в некоторых образцах сульфидных отложений бассейна Северный Манус содержания Au достигают 20–44 г/т [1]. В трубах, богатых халькопиритом, встречается высокопробное золото в ассоциации с борнитом, теннантитом и ковеллином [35]. В отличие от “черных курильщиков”, формирующихся на базальтовом основании СОХ, халькопирит изученных нами труб бассейна Манус и Лау характеризуется более низкими на два-три порядка содержаниями Se, Co и других элементов-примесей, иногда за исключением Ag (табл. 1). Вместе с тем, по другим данным, содержания Co в некоторых пробах достигали 70–210 г/т [1].

На палеозойских медно-цинково-колчеданных месторождениях (Яман-Касы, Молодежное, Узельга, Валенторское, Юбилейное, Сафьяновское на Урале, Николаевское на Рудном Алтае, а также Балд Маунтин в Аппалачах) “черные курильщики” представлены, в основном, медно-колчеданными и медно-цинково-колчеданными разновидностями труб, содержащими колломорфный пирит и марказит, а также псевдоморфозы пирита по пирротину [12, 13, 38]. Гораздо реже встречаются колчеданно-барит-полиметаллические разновидности труб. Крустификационный халькопирит несет признаки решетчатых продуктов распада твердых растворов (ПТР). Однако, в отличие от изокубанита, свойственного “черным курильщикам” СОХ, ПТР уральских “черных курильщиков” характеризуются повышенными содержаниями цинка. Цинковистые разновидности ПТР отмечались ранее в трубах современных “курильщиков” задугового бассейна Лау [4]. В халькопирите “черных курильщиков” уральских и понтийских колчеданных месторождений доминируют теллуриды Fe, Co Au, Ag, Hg, Bi, Pb, иногда самородный теллур. В меньшем количестве распространены сульфоарсениды Co и Fe, мышьяковые и теллуриды сульфосоли Ag, Cu, Pb и Hg, а также самородное золото [13]. Установлена смена сульфоарсенидных, арсенидных и теллуридных ассоциаций золото-галенит-сульфосольными в ряду от медноколчеданных труб к медно-цинково-колчеданным и колчеданно-полиметаллическим по мере нарастания в них количества сфалерита, кварца и барита.

Колчеданно-полиметаллические трубы гораздо чаще встречаются на месторождениях, залегающих в верхних частях риолит-базальтовых комплексов внутриуговых бассейнов Урала, там, где преобладают вулканиты среднего и кислого составов (Талганское, Октябрьское, Джусинское, Таш-Тау, Александринское). Эти месторождения, напоминающие по составу месторождения рудно-формационного

типа куроко, иногда относятся к особому баймакскому подтипу [18, 19, 37]. Оболочки таких труб сложены сфалеритом, каналы заполнены слоями халькопирита, сфалерита и барита или карбоната. Теллуриды в этих трубах встречаются гораздо реже и обычно в сфалерите, заполнившим каналы труб. На некоторых месторождениях (Александринское, Октябрьское) встречается гессит в ассоциации с самородным золотом, галенитом и теннантитом.

Содержания **Se** в халькопирите медноколчеданных и медно-цинково-колчеданных труб месторождений уральского типа обычно лишь немного ниже, чем в трубах современных “курильщико” (рис. 2). Обилие теллуридов сказывается на аномальных содержаниях **Te**, нередко даже более высоких, чем содержания **Se** (табл. 1). Теллуриды обеспечивают аномальные содержания **Co**, **Au**, **Ag**, **Hg**, **Bi** и **Pb**. **Арсенопирит, глаукоdot, кобальтин, блеклые руды** и энаргит дают повышенные концентрации **As** и **Sb**. Повышенные количества **Bi**, **Pb**, **As** и **Sb**, наряду с **Te** в большей степени, чем другие элементы-примеси, отличают изученные палеозойские “черные курильщико” от современных аналогов (табл. 1). Доля **Te** и особенно **Se** снижается в халькопирите колчеданно-полиметаллических труб некоторых месторождений баймакского подтипа (Александринское, Талганское). По общим невысоким содержаниям элементов-примесей в халькопирите они более напоминают изученные сульфидные трубы бассейна Манус и Ляу (см. табл. 1).

Мезозойские “черные курильщико” колчеданных месторождений Понтийского внутридугового бассейна сформированы на риолит-базальтовом основании мозаичной коры [8]. По умеренно высоким концентрациям элементов-примесей (**Se**, **Te**, **Bi** и **Pb**) они занимают промежуточное положение между курильщико месторождений уральского и куроко типов (табл. 1 и рис. 2). Оболочки большинства труб сложены колломорфным пиритом и сфалеритом, что более характерно для сульфидных труб колчеданных месторождений уральского типа. Однако, псевдоморфозы пирита по пирротину встречаются только на месторождении Кутлулар, где в подрудной части разреза преобладают базальты. Повышенные содержания **Te** связаны с микровключениями теллуровисмутита (Кутлулар, Лаханос) и гессита (Лаханос, Чейли). Галенит-тетраэдритовая минерализация, рассеянная в халькопирите труб месторождений Лаханос, Киллик, Чейли, Кизилкая, обеспечивает повышенные содержания **Pb**, **Bi**, **Sb** и **As**. В халькопирите многих труб отмечаются самые высокие концентрации **Mo** (до 0.4%) по сравнению с таковыми в трубах других месторождений. Содержания **Au** в халькопирите не высокие, встречается оно крайне редко в ассоциации с борнитом и, возможно, имеет субмаринное гипергенное происхождение. Обильное самородное золото в сростании с галенитом обнаружено в сфалерите, заполнившим

гидротермальные каналы на месторождении Чейли [39]. По низким концентрациям **Co** халькопирит понтийских “курильщико” напоминает халькопирит в сульфидных трубах из месторождений куроко типа (и баймакского подтипа), и соответственно резко отличается от халькопирита “черных курильщико” **COX** и Урала.

Базальт-риолитовые комплексы

Эти комплексы отличаются ограниченным распространением базальтов в подрудных толщах при преобладании средних и кислых вулканитов. С базальт-риолитовыми комплексами, которые известны так же, как базальт-андезит-дацит-риолитовые или андезит-дацитовые, обычно ассоциируют колчеданно-полиметаллические месторождения куроко или алтайского типов. Большинство месторождений этих типов связано с внутридуговыми и задуговыми бассейнами энсиалических островных дуг (Хокуроко, Рудный Алтай). Современные аналоги известны в задуговых и внутридуговых бассейнах энсиалических островных дуг западной части Тихого океана (трог Окинава), задуговом бассейне, сформировавшемся на континентальной коре [22].

В трог Окинава “черные курильщико” развиты, в основном, на поле Джейд. Сульфат-сульфидные трубы сложены халькопиритом, изокубанитом, сфалеритом, баритом, в меньшей степени, марказитом и пиритом. Второстепенные минералы представлены галенитом, реальгаром, аурипигментом, самородной серой, тетраэдритом, теннантитом, **Pb**-сульфосолями и самородным мышьяком. Теллуриды и сульфоарсениды не обнаружены. Возможно, теллуриды отлагались на некоторой глубине в штокверковой зоне так же, как и в другой аналогичной кальдере (Миоджиншо) дуги Ицу-Огасавара, где обнаружены прожилки пирита с вкрапленностью теллуровисмутита [24, 28]. “Черные курильщико” поля Джейд по содержаниям барита напоминают курильщико некоторых задуговых или внутридуговых бассейнов западной части Тихого океана. Однако, большинство сульфидных труб существенно отличаются от “черных курильщико” **COX** и других задуговых бассейнов (Манус, Ляу) аномально высокими средними содержаниями **Pb** (9.3%), **As** (1.5%), **Sb** (0.3%), **Ag** (1900 г/т) и **Au** (4.8 г/т) [22].

Аналогами поля Джейд считаются миоценовые колчеданно-полиметаллические месторождения провинции, располагающейся к северу от о. Хонсю. Основное отличие виделось в отсутствии труб курильщико на этих месторождениях [22]. В последние годы авторами были обнаружены трубы “черных курильщико” на месторождениях куроко типа – Мацумине, Мицуки, Ханава, Фурутобе, Эзури (провинция Хокуроко) [14]. Оболочка большинства труб сложена сфалеритом и баритом, обо-

гашенными галенитом. Пирит имеет ограниченное распространение и встречается, главным образом, в виде колломорфных глобулей, фрамбоидов или эвгедральных кристаллов. Каналы труб последовательно запечатаны халькопиритом, сфалеритом, галенитом и баритом. В халькопирите распространены сростания борнита, тетраэдрита, сфалерита, галенита и электрума. Редко встречаются сульфосоли Pb и Ag. Теллуриды и сульфоарсениды, пирротин или псевдоморфозы пирита по пирротину, характерные для “черных курильщиков” серпентинитовых, базальтовых и риолит-базальтовых комплексов, не были обнаружены.

Фрагменты аналогичных труб курильщиков установлены в рудах колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая (Артемьевское, Заречное). Оболочки труб сложены, в основном, сфалеритом с вкрапленностью галенита, халькопирита и барита. На стенках каналов последовательно отлагались слои халькопирита, сфалерита и барита. Пирит представлен либо эвгедральными, либо фрамбоидальными разновидностями. Халькопирит содержит вкрапленность сфалерита, серебросодержащего тетраэдрита и галенита в сростании с электрумом и самородным висмутом. В некоторых трубах встречаются более поздние субгедральные кристаллы арсенида пирита, выросшие на включениях блеклых руд.

Для халькопирита сульфидных труб Хокуроко и Рудного Алтая свойственны высокие содержания Pb, Bi, Ba, при низких концентрациях других элементов-примесей, в том числе таких как Co и Se – индикаторных для ультрамафитовых, базальтовых и риолит-базальтовых комплексов (рис. 2, табл. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К настоящему времени стало очевидным, что современные и древние “черные курильщики” представляют собой единую группу донных гидротермальных халькопирит-содержащих труб, объединенных близкими механизмами формирования. Установлено, что основные различия в минеральном составе отдельных гидротермальных труб в пределах одного и того же поля (месторождения) находятся в зависимости от степени смещения гидротермальных флюидов с морской водой (например, [1, 13]). Вместе с тем, трубы каждого из гидротермальных полей (месторождений) имеют свои специфические минералогические особенности, которые во многом коррелируют с составами рудовмещающих комплексов.

В офиолитовых комплексах задуговых бассейнов и СОХ преобладают “черные курильщики”, сложенные сульфидами железа, меди, в меньшей степени, цинка. Гораздо реже встречаются барит-содержащие трубы. В базальт-риолитовых комплексах энсиалических островных дуг встречаются барит-полиметаллические, возможно “серые ку-

рильщики” (Рудный Алтай, а также Хокуроко Японии). В энсиалических островных дугах, развитых на риолит-базальтовой коре (Урал и Понтиды), присутствуют все минералогические разновидности “курильщиков”. Устанавливается зависимость составов “курильщиков” различных полей (месторождений) от составов рудовмещающих комплексов: по мере уменьшения количества ультрабазитов и базитов и увеличения количества кислых вулканитов в сульфидных трубах убывает доля железистых минералов (пирротина, пирита, марказита), возрастает значение сфалерита, появляются значительные объемы галенита, блеклых руд и барита. Это находит свое объяснение, поскольку магнезиально-железистые силикаты базитов и ультрабазитов являются основным источником Fe, необходимого для формирования высокожелезистых сульфидов, а полевые шпаты, преобладающие в кислых вулканитах, являются основными поставщиками Ba и Pb.

Эта закономерность имеет свои исключения. Некоторые “черные курильщики”, сформированные на базальтовом основании СОХ, содержат значительное количество сфалерита, барита, галенита и блеклых руд (например, Менез Гвен, гора Осевая). Такой минеральный состав наводит на мысль о наличии в разрезе кислых вулканитов. Однако, другое объяснение связано с различиями в “зрелости” гидротермальных систем. В недрах гидротермальных систем последовательно выщелачиваются пироксены и оливины – основные источники Fe, Cu, Zn, затем – роговые обманки, хлориты и шпинелиды (источники Zn, Bi), и, наконец, полевые шпаты, поставляющие Pb и Ba. Затухающие гидротермальные системы полей Менез Гвен и горы Осевая, вероятно, являются более “зрелыми” по сравнению с системами “черных курильщиков” молодых гидротермальных полей. В недрах “зрелых” гидротермальных систем, очевидно, происходит разложение не только темноцветных минералов, но и полевых шпатов.

Индикаторными минералами современных “черных курильщиков”, ассоциирующих с ультрамафитами, являются сульфиды никеля и кобальта, самородное золото, реже встречается арсениды и теллуриды. “Черные курильщики” базальтовых ассоциаций либо обеднены редкими минералами, либо содержат единичные включения теллуридов висмута. Количество и разнообразие теллуридов возрастает в сульфидных трубах “черных курильщиков”, образовавшихся на риолит-базальтовых комплексах палеозойских и мезозойских задуговых и окраинных бассейнов энсиалических островных дуг (Урал, Понтиды, Аппалачи). Вместе с тем, теллуриды и сульфоарсениды в трубах сменяются золото-галенит-теннантитовой ассоциацией по мере нарастания в разрезе количества кислых вулканитов. Золото-барит-галенит-тетраэдритовая ассоциация является типичной для курильщиков энсиалических островных дуг (Рудный Алтай, Хокуроко).

Ассоциации элементов-примесей в гидротермальном халькопирите фанерозойских “курильщико́в”, в основном, коррелируют с изменениями минерального состава труб и отражают геохимическую специализацию рудовмещающих формаций: 1) серпентинитовая – повышенные содержания Se, Co, Ni, Au и U, иногда Ag и Sn; 2) базальтовая – высокие концентрации Co, Se и низкие содержания Bi и Pb; 3) риолит-базальтовая – высокие Te и Bi, иногда Co и средние концентрации Se; 4) базальт-риолитовая – повышенные As, Sb, Mo, Pb, Bi, иногда Ag, W и низкие содержания Co. В рудно-формационном ряду от месторождений кипрского типа к месторождениям типа куроко содержания Se, Co в халькопирите труб постепенно убывают, а Ba, Bi, Pb, Ag, Sb, Mo, W – **возрастают по мере увеличения** в разрезе относительного количества кислых вулканитов.

В целом, установленные зависимости открывают перспективы для определения состава глубинных частей рудовмещающих комплексов и зрелости гидротермальных систем по минералого-геохимическим особенностям “черных курильщико́в”.

Авторы благодарны А.П. Лисицыну, В.А. Коротееву, В.В. Зайкову, В.А. Котлярову, Р. Ларжу, Л. Данишевскому, И. Джонассону, Р.Д. Ишияме за помощь в проводимых исследованиях.

Работы выполнялись в рамках реализации ФЦП Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы (НК– 544П/14) и программы Президиума РАН № 17 (№ 09-П-5-1023).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалеви́ч А.М., Гурвич Е.Г. Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.
2. Бородаев Ю.С., Мозгова Н.Н., Габлина И.Ф. и др. Зональные трубки “черных курильщико́в” из гидротермального поля Рейнбоу (САХ, 36°14' с.ш.) // Вестн. МГУ. Серия 4. Геология. 2004. № 3. С. 35–48.
3. Бортников Н.С., Викентьев И.В. Современное сульфидное минералообразование в мировом океане // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47, № 1. С. 16–50.
4. Бортников Н.С., Федоров Д.Т., Муравьев Г.К. Минеральный состав и условия образования сульфидных построек бассейна Лау (юго-западная часть Тихого океана) // Геология рудных месторождений. 1993. Т. 35, № 6. С. 528–543.
5. Викентьев И.В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных месторождений Урала. М.: Научный мир, 2004. 344 с.
6. Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю. Ишкининское кобальт-медноколчеданное месторождение в ультрамафитах Главного Уральского разлома (Южный Урал) // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48, № 3. С. 179–204.
7. Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю. Кобальт-медноколчеданное оруденение в ультрамафитах аккреционной призмы западно-Магнитогорской палеоостровной дуги // Литосфера. 2005. № 3. С. 73–98.
8. Колчеданные месторождения мира / М.Б. Бородаевская, Д.И. Горжевский, А.И. Кривцов и др.. М.: Недра, 1979. 284 с.
9. Леин А.Ю., Ульянова Н.В., Гриненко В.А. Минералого-геохимические особенности гидротермальных сульфидных руд бассейна Манус (море Бисмарка) // Геохимия. 1993. № 4. С. 524–537.
10. 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.
11. Лисицын А.П., Богданов Ю.А., Гурвич Е.Г. Гидротермальные образования рифтовых зон океана. М.: Наука, 1990. 256 с.
12. Масленников В.В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
13. Масленникова С. П., Масленников В.В. Сульфидные трубы палеозойских “черных курильщико́в” (на примере Урала). Екатеринбург–Миасс: УрО РАН, 2007. 312 с.
14. Масленникова С.П., Масленников В.В. Первые данные о сульфидных трубах миоценового возраста из колчеданно-полиметаллических месторождений куроко типа (Япония) // Минералогический сборник. № 15. Миасс: ИМин УрО РАН, 2008. С. 85–90.
15. 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. 293–319.
16. Мозгова Н.Н., Бородаев Ю.С., Ефимов А.В. и др. Минералы серебра в океанических гидротермальных рудных образованиях (бассейны Манус и Вудларк, район Папуа-Новая Гвинея) // Геология рудных месторождений. 1993. Т. 35, № 4. С. 333–343.
17. Мозгова Н.Н., Краснов С.Г., Бородаев Ю.С. и др. Строение, минеральные ассоциации и благородные металлы океанской рудной постройки Мир гидротермального поля ТАГ (Срединно-Атлантический хребет, 26° с.ш.) // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40, № 3. С. 256–277.
18. Серавкин И.Б. Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. М.: Наука, 1986. 268 с.
19. Серавкин И.Б. Вулканогенные колчеданные месторождения Южного Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 638–669.
20. Binns R.A., Scott S.D. Actively forming polymetallic sulphide deposits associated with felsic volcanic rocks in the Eastern Manus back-arc basin, Papua New Guinea // Econ. Geol. 1993. V. 88. P. 2226–2236.
21. Butler I.B., Nesbitt R.W. Trace element distributions in the chalcopyrite wall of black smoker chimney: insights from laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LA-ICP-MS) // Earth Planet. Sci. Lett. 1999. V. 167. P. 335–345.
22. Glasby G.P., Notsu K. Submarine hydrothermal mineralization in the Okinawa Trough, SW of Japan: an overview // Ore Geology reviews. 2003. V. 23. P. 299–339.
23. Halbach P.E., Tunncliffe V., Hein J.R. Energy and mass transfer in marine hydrothermal systems // 89th Dahlem Workshop. Berlin, 2003. 365 p.

24. *Hannington M.D., de Ronde C.E.J., Petersen S.* Sea-floor tectonics and submarine hydrothermal systems // *Econ. Geol.* 100th Anniversary Volume. 2005. P. 111–141.
25. *Hannington M.D., Herzig P.M., Scott D. et al.* Comparative mineralogy and geochemistry of gold-bearing sulfide deposits on the mid-ocean ridges // *Marine Geology*. 1991. V. 101. P. 217–248.
26. *Hannington M.D., Scott S.D.* Mineralogy and geochemistry of hydrothermal silica-sulfide-sulfate spire in the Caldera of Axial Seamount, Juan de Fuca Ridge // *Canad. Mineralogist*. 1988. V. 26. P. 603–625.
27. *Herrington R. J., Maslennikov V.V., Spiro B. et al.* Ancient vent chimneys structures in the Silurian massive sulphides of the Urals // *Modern Ocean Floor Processes and the Geol. Records*. 1998. V. 148. P. 241–257.
28. *Izasa K., Yuasa M., Yokota S.* Mineralogy and geochemistry of volcanogenic sulfides from the Myojinsho submarine caldera, the Shichito-Iwojima Ridge, Izu-Ogasavara Arc, north-western Pacific // *Marine Geology*. 1992. V. 108. P. 39–58.
29. *Large R.R., Danyushevsky, Maslennikov V.V. et al.* Gold and trace element zonation in pyrite using a laser imaging technique: implication for timing of gold in orogenic and carlin-style sediment-hosted deposits // *Econ. Geol.* 2009. V. 104. P. 635–668.
30. *Large R.R., Maslennikov V.V., Robert F. et al.* Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia // *Econ. Geol.* 2007. V. 102. P. 1233–1267.
31. *Little C.T.S., Herrington R.J., Haymon R.M., Danielian T.* Early Jurassic hydrothermal vent community from the Franciscan Complex, San Rafael Mounains, California // *Geology*. 1999. V. 27, № 2. P. 167–170.
32. *Little C.T.S., Herrington R.J., Maslennikov V.V. et al.* Silurian high-temperature hydrothermal vent community from the Southern Urals, Russia // *Nature*. 1997. V. 385. № 9. P. 3–6.
33. *Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Large R.R., Danyushevskiy L.V.* Study of Trace element zonation in vent chimneys from the Silurian Yaman-Kasy volcanic-hosted massive sulfide deposits (Southern Urals, Russia) using laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) // *Econ. Geol.* 2009. V. 104. P. 1111–1141.
34. *Metz S., Trefry J.H.* Chemical and mineralogical influences on concentration of trace metals in hydrothermal fluids // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2000. V. 64. P. 2267–2279.
35. *Moss R., Scott S.D.* Geochemistry and mineralogy of gold-rich hydrothermal precipitates from eastern Manus basin, Papua New Guineu // *Canad. Mineralogist*. 1996. V. 39. P. 957–978.
36. *Oudin E., Constantinou G.* Black smoker chimney fragments in Cyprus sulphide deposits // *Nature*. 1984. V. 308. P. 349–353.
37. *Prokin V.A., Buslaev F.P.* Massive copper-zinc sulphide deposits in the Urals // *Ore Geology Reviews*. 1999. V. 14. P. 1–69.
38. *Slack J. F., Foose M.P., Flohr J.H. et al.* Exhalative and subseafloor replacement processes in formation of the Bald Mountin massive sulfide deposit, northern Main // *Economic Geology Monograph*. 2003. V. 11. P. 513–547.
39. *Zaykov V., Novoselov C., Kotlyarov V.* Native gold and tellurides in the Murgul and Cayeli volcanogenic Cu deposits (Turkey) // *Au-Ag-Te-Se deposits. Proceedings of the 2006 Field Workshop. Izmir, 2006*. P. 167–172.
40. *Zierenberg R.A., Koski R.A., Morton J.L. Bouse R.M.* Genesis of massive sulfide deposits on a sediment-covered spreading center, Escanaba trough, Southern Gorda Ridge // *Econ. Geol.* 1993. V. 88, № 8. P. 2069–2099.

Рецензент К.К. Золоев

Phanerozoic “black smokers” as indicator of host rocks composition

V. V. Maslennikov*, A. Yu. Lein**, S. P. Maslennikova***, Yu. A. Bogdanov**

*Southern Ural State University

**Institute of Oceanology of RAS

***Institute of Mineralogy, Urals Branch of RAS

Phanerozoic “black smokers” show the depletion in Fe-rich sulfides and elevation in barite in the range from ophiolite to rhyolite-rich associations. Ni-Co sulfides, arsenides and rare tellurides are characteristic mineral assemblages in “black smokers” of ultramafic units. The lack of rare minerals with exception of very rare Bi-tellurides are found in “black smokers” formed on basalt units (Cyprus, MOR). Abundance of diverse tellurides and sulfoarsenides are revealed in “black smokers” of mafic bimodal series in ensimatic arc basins (Urals, Pontides, Appalachians). Gold-barite-galena-tetrahedrite assemblages are typical of bimodal felsic series in Paleozoic (Rudniy Altay) and Cenozoic (Hokuroko, Okinawa) ensialic arc basins. The grades of trace-elements in chalcopyrite of the phanerozoic “black smokers” depends on composition of host suites: ultramafic – high Se, Sn, Co, Ni, Au и U, mafic – high Co, Se and low – Bi и Pb, bimodal mafic – high Te and Bi, Co, and moderate Se, bimodal felsic – high As, Sb, Mo, Pb, Bi, elevated Ag, W and lower Co. In chalcopyrite of the chimneys studied the contents of Ba, Bi, Pb, Ag, Sb, Mo, W versus Se and Co increase in the range from ultramafic and mafic to bimodal series.

Key words: *chimneys, phanerozoic “black smokers”, ultramafic, mafic, felsic, bimodal series, massive sulfide deposits, rare mineral and trace elements assemblages, island arc, Urals, Pontides, Hokuroko, Rudniy Altay, Atlantic and Pacific oceans.*