

Часть 1. ГЕОЛОГИЯ, ГЕОДИНАМИКА И МЕТАЛЛОГЕНИЯ ОКЕАНИЧЕСКИХ И ПАЛЕООКЕАНИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК

**В. В. Масленников^{1,2}, С. П. Масленникова¹, В. А. Котляров¹,
А. Ю. Леин³, Д. Ишияма⁴, Т. Урабе⁵, Р. Р. Ларж⁶, Л. В. Данюшевский⁶**

¹ – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

² – Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе
maslennikov@mineralogy.ru

³ – Институт океанологии РАН, г. Москва

⁴ – Университет Акита, г. Акита, Япония

⁵ – Университет Токио, г. Токио, Япония

⁶ – Университет Тасмании, центр CODES, г. Хобарт, Австралия

Древние и современные гидротермальные «курильщики» Западно-Тихоокеанского островодужного пояса

В последние годы в Институте минералогии УрО РАН, благодаря сотрудничеству с научными сотрудниками Института океанологии РАН, университетов Акиты, Токио и Тасмании, проводится изучение минералого-геохимических особенностей миоценовых (рудный район Хокуроко) и современных гидротермальных «курильщиков» Западно-Тихоокеанского островодужного пояса (рис.). Кроме традиционной микрозондовой диагностики минералов в Институте минералогии УрО РАН, авторами в университете Тасмании получены данные по типохимизму сульфидов гидротермальных труб методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией (ЛА-ИСП-МС).

Сульфидные трубы, собранные нами на медноколчеданно-полиметаллических месторождениях района Хокуроко, образуют ряд от халькопиритовых и сфалерит-халькопиритовых разновидностей к сфалерит-баритовым и баритовым. Оболочка многих халькопиритсодержащих труб (месторождения Матсумайн, Матсуки, Ханава, Фурутобе) состоит из сфалерита или барита с примесью галенита, тетраэдрита и эвгедрального пирита. Каналы последовательно сложены халькопиритом, сфалеритом и баритом в ассоциации с галенитом, теннантитом или борнитом. Вместо изокубанита, характерного для современных «черных курильщиков» СОХ, встречаются халькопирит-борнитовые решетчатые сростания. Характерная особенность сульфидных труб из месторождений куроко типа – широкое развитие электрум-галенит-блекловорудной ассоциации, иногда с сульфосолями Ag, сульфидами Ag и Bi. Баритовые трубы, обнаруженные среди пиритовых руд рудника Тсутсумизава (Ханаока) и Ушиногаи-Ниши (Косака) [Shimazaki, Horikoshi, 1990; Shikazono, Kusakabe, 1999], образованы пластинчатými агрегатами барита, содержащего микровключения фрамбоидального пирита, сфалерита и галенита, а также эвгедральных кристаллов кварца. Гораздо реже встречаются ангидрит и халькопирит.

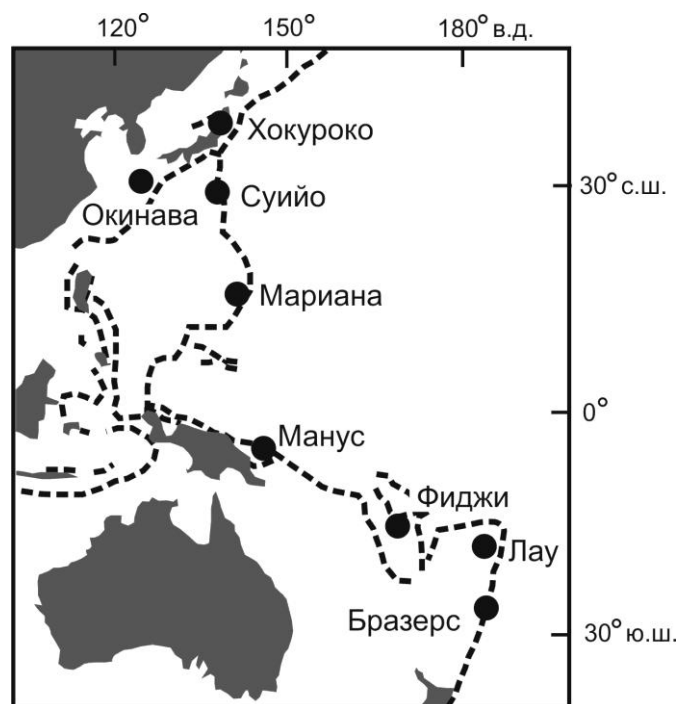


Рис. Схема расположения гидротермальных районов и полей в Западно-Тихоокеанском поясе.

По геологической позиции гидротермальные поля современных «курильщико» Западно-Тихоокеанского островодужного пояса подразделяются на четыре типа: 1) на базальтовом основании в задуговых бассейнах; 2) на дацит-андезит-базальтовом основании в околодуговых рифтах; 3) на дацитах в кальдерах внутридуговых вулканов центрального типа; 4) на осадочно-риолитовом основании в задуговых окраинно-континентальных рифтах [Богданов и др., 2006].

К *первому* типу относятся гидротермальные поля задуговых бассейнов Марианского трога, Северный Манус, Северный Лау и Центральный Лау, а также Северный Фиджи. Несмотря на то, что гидротермальные трубы этих полей образованы на островодужных толетах, по составу они подразделяются на две минеральные разновидности. К первой разновидности относятся ангидрит-пирит-халькопирит-сфалеритовые трубы бассейнов Северный Фиджи и Центральный Лау. По последовательности минералообразования, присутствию пирротина и ангидрита эти трубы напоминают «черные курильщико» СОХ за исключением более высоких содержаний свинца и золота [Бортников и др., 1993]. Вторая разновидность представлена халькопирит-барит-сфалеритовыми трубами гидротермального поля Венский Лес (Северный Манус) и полей бассейна Северный Лау и Марианского трога. Основными рудными минералами, слагающими гидротермальные отложения полей бассейна Северный Манус, являются сфалерит, вюртцит, барит, пирит, марказит и халькопирит, реже встречаются галенит и сульфосоли серебра и сурьмы.

Типичными представителями гидротермальных полей *второго* типа, сформированных в проксимальных задуговых центрах спрединга, являются поля хребтов Валу-Фа (поля Ваи Лили, Уайт Черч, Хине Хина) и Пуал (поле Пакманус). В пределах полей развиты вулканы среднего и кислого составов. В южной части бассейна Лау, в пределах хребта Валу-Фа, обнаружены три формирующиеся халькопирит-барит-сфалеритовые, пирит-марказитовые и сфалерит-баритовые трубы, обогащенные самородным золотом, борнитом, теннантитом, галенитом и сульфосолями Pb-As [Fouquet et al., 1993].

Гидротермальные поля *третьего* типа, формирующиеся в кальдерах внутридуговых вулканов, по ассоциации с дацитами и составу «черных курильщиков» напоминают предыдущий тип. Типичными представителями являются поля вулканов Суйо и Бразерс.

Вулкан Суйо располагается в пределах внутридугового бассейна Идзу-Бонинской океанической островной дуги. Характерная особенность сульфидных труб – обилие не только пирита, но и халькопирита и барита при подчиненном количестве сфалерита. Электронно-микроскопический анализ выявил минералы мышьяка: реальгар, аурипигмент и миметезит ($Pb_5(AsO_4)_3Cl$), при повышенных содержаниях золота (до 162 г/т) [Magumo et al., 2008]. В изученной нами трубе, наряду с этими минералами, в незначительном количестве присутствуют теннантит, галенит, аурипигмент, ангидрит и борнит. Гидротермальные трубы вулкана Бразерс подразделяются на барит-ангидрит-халькопиритовые, барит-борнит-халькопиритовые, халькопирит-барит-сфалеритовые и барит-сфалеритовые. В этом же ряду нарастает роль барита, второстепенных реальгара и аурипигмента, исчезают теллуриды висмута и золота, самородные висмут и теллур, пирротин, гематит и иорданит. Во всех трубах широко представлены теннантит и галенит. В борнит-халькопиритовых трубах присутствует энаргит [Berkenbosch et al., 2012]. Восточнее поля Пакманус на гидротермальном поле Сюзетта, сформированном на вершине околодугового вулкана Сусу Нол, встречаются аналогичные разновидности труб, богатые халькопиритом и борнитом. В трубах, кроме пирита, барита, марказита, сфалерита, галенита, теннантита и самородного золота, нами обнаружены многочисленные микровключения теллуровисмутита, гессита и самородного теллура.

Типичным представителем обстановок *четвертого* типа является трог Окинава, который возник в результате субдукции Филиппинской океанической плиты под Евразийский континент. Считается, что трог Окинава представляет собой тектонически активный межконтинентальный задуговой бассейн [Halbach et al., 1993]. Наиболее известными являются поля Джейд и Хакурей, расположенные в 3 км друг от друга в кальдере Изена. Сульфидные постройки формируются на алевропелитовом осадочном основании, содержащем дотретичные карбонатно-черносланцевые комплексы, а также молодые вулканы бимодальных серий, представленные базальтовыми андезитами, дацитами и риолитами [Shinjo, Kato, 2000; Kawagucci et al., 2010]. На полях распространены барит-колчеданно-полиметаллические постройки «черных курильщиков» и диффузеров. Минеральная зональность сульфидных труб поля Джейд наиболее детально изучена П. Хальбахом и др. [Halbach et al., 1993]. Во внешнем кольце труб мощностью 1–10 см с относительно широкими концентрическими полосками развиты барит и аморфный кремнезем. Вблизи центра канала рудный материал более плотный и состоит из мелко- и крупнозернистого сфалерита с галенитом, иногда образующих тонкие прорастания (что свидетельствует об одновременном осаждении), при подчиненном количестве пирита и халькопирита (в виде «халь-

копиритовой болезни»). Барит, сфалерит и, в меньшей степени, халькопирит, преобладают над другими сульфидными минералами. В качестве второстепенных и редких встречаются стибнит, реальгар, аурипигмент, колломорфный марказит и фрамбoidalный пирит, ковеллин, галенит, Pb-As сульфосоли, киноварь, пирротин, замещенный марказитом, теннантит-тетраэдрит, дендриты серебра. В опал-баритовой оболочке изученного нами халькопирит-барит-сфалеритового диффузера из постройки поля Хакурои доминируют включения марказита, колломорфного реальгара и радиально-лучистого аурипигмента, серебристого тетраэдрита в сростании с галенитом. Количество друзовых агрегатов и сростаний галенита, халькопирита и тетраэдрита возрастает к каждому из многочисленных каналов.

По данным ЛА-ИСП-МС халькопирит изученных современных и древних «курильщико» Западной Пацифики отличается от халькопирита «черных курильщико» СОХ на один-два порядка меньшими содержаниями Se (3–147 г/т) и Co (0.02–8 г/т) при гораздо более высоких содержаниях Ag (до 254 г/т и более). В халькопирите некоторых труб района Хокуроко и Восточного Мануса (поле Сюзетта), в отличие от «черных курильщико» СОХ, концентрируется Вi. Однако в трубах поля Сюзетта появление Вi связано с теллурувисмутитом, тогда как в «палеокурильщико» района Хокуроко носителем Вi является, в основном, виттихенит.

В сфалерите изученных «курильщико» на порядок меньше Fe (0.5–2 мас. %) и на два-три порядка ниже содержания Co (0–35 г/т) и Sn (1–3 г/т) по сравнению с вюртцитом современных «черных курильщико» СОХ.

Таблица

Средние содержания элементов-примесей в колломорфном пирите гидротермальных труб «курильщико» Западно-Тихоокеанского пояса (г/т)

Поле		n	V	Mn	Co	Ni	As	Ag	Sb	Te	Au	Tl	Pb	Bi
Лау Центр	Б	7	1	109	0.05	6	120	65	5	0.03	2.2	77	483	0.001
		σ	0	33	0.04	6	84	41	6	0.03	1.7	68	367	0.000
Лау Север	Б	17	12	9955	0.10	27	1199	60	37	0.07	0.5	1271	1399	0.002
		σ	19	3695	0.06	22	897	13	32	0.12	0.2	841	869	0.002
Венский лес	Б	20	3	2186	0.30	11	770	76	2	0.09	4.4	655	1496	0.002
		σ	1	1371	0.48	3	676	113	3	0.12	5.5	787	1322	0.002
Пакманус	Д	11	1	492	25	12	10322	87	65	0.08	3.4	2346	1327	0.002
		σ	1	309	36	6	5299	255	97	0.10	7.6	1661	1132	0.003
Сюзетта	А	36	1	263	7	11	6756	268	204	0.32	25.7	1488	3111	0.85
		σ	1	165	22	10	5742	491	471	0.49	43.5	3431	5681	3.50
Суйо	Д	7	3	2624	7	70	4250	123	12	0.12	3.9	1512	1155	0.16
		σ	1	1622	7	56	1276	212	4	0.13	2.0	432	350	0.09
Хокуроко	Д	16	4	568	21	34	7991	2304	675	0.64	10.9	1372	10889	244
		σ	5	482	38	53	6773	3048	1037	0.85	10.3	1652	13799	556

Примечание. А – андезиты, Б – базальты, Д – дациты; n – количество проб; σ – стандартное отклонение.

Колломорфный пирит из оболочки труб содержит гораздо больше Pb, Tl, Ag, Au, Sb и As по сравнению с колломорфным пиритом «черных курильщиков» СОХ. Содержания этих элементов возрастают по мере увеличения количества кислых вулканитов относительно базальтов. Максимальные содержания этих элементов установлены для колломорфного пирита гидротермальных труб района Хокуроко и поля Сюзетта (табл.).

Несмотря на разнообразие локальных геологических обстановок, большинство изученных труб характеризуется близкими минералого-геохимическими особенностями, которые можно объединить в единую группу барит-полиметаллических «курильщиков» вне зависимости от состава вмещающих пород. Вместе с тем, следует отметить, что обнаружение теллуридов в трубах «курильщиков» полей Сюзетта и Бразерс наводит на мысль о сходстве их с «курильщиками» колчеданных месторождений уральского или, скорее всего, понтийского типов, также сформированных на вулканитах энсиматических островных дуг. Теллуриды в трубах месторождений Хокуроко пока не обнаружены. Другие «курильщики» (поля бассейна Северный Лау) по присутствию пирротина и низким содержаниям Tl напоминают «черные курильщики» СОХ. «Курильщики» поля Хакурей по составу и геологической позиции сопоставимы с барит-полиметаллическими трубами колчеданных месторождений алтайского типа.

Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ (№ 14-05-00630).

Литература

- Богданов Ю. А., Лисицын А. П., Сагалевиц А. М., Гурвич Е. Г.* Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.
- 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.
- Berkenbosch H. A., de Ronde C. E. J., Gemmel B. J. B. et al.* Mineralogy and formation of black smoker chimneys from Brothers submarine volcano, Kermadec Arc // *Economic Geology*. 2012. Vol. 107. P. 1613–1633.
- Fouquet Y., Von Stackelberg U., Charlou J.-L. et al.* Metallogenesis in back-arc environments: the Lau Basin example // *Economic Geology*. 1993. Vol. 88. P. 2154–2181.
- Halbach P., Pracejus B., Marten A.* Geology and mineralogy of massive sulphide ores from the Central Okinawa Trough, Japan // *Economic Geology*. 1993. Vol. 88. P. 2210–2225.
- Kawagucci S., Shirai K., Lan T. F., Takanata N., Tsunogai U., Sano Y., Gamo T.* Gas geochemical characteristics of hydrothermal plumes at the Hakurei and Jade vent site, the Izena Cauldron, Okinawa Trough // *Geochemical Journal*. 2010. Vol. 44. P. 507–518.
- Marumo K., Urabe T., Gamo A. et al.* Mineralogy and isotope geochemistry of active submarine hydrothermal field at Suiyo Seamount, Izu-Bonin ARC, WEST Pacific Ocean // *Resource Geology*. 2008. Vol. 58. No. 3. P. 220–248.
- Shikazono N., Kusakabe M.* Mineralogical characteristics and formation mechanism of sulfate-sulfide chimneys from Kuroko area. Mariana Trough and Mid-Ocean ridges // *Resource Geology Special Issue*. 1999. № 20. P. 1–11.
- Shimazaki H., Horikoshi E.* Black ore chimney from the Hanaoka Kuroko deposits, Japan // *Mining Geology*. 1990. Vol. 40. № 5. P. 313–321.
- Shinjo R., Kato Y.* Geochemical constrains on the origin of bimodal magmatism at the Okinawa Trough. An incipient back arc basin // *Lithos*. 2000. Vol. 54. P. 117–137.