

САМОРОДНЫЕ КОБАЛЬТ-ЖЕЛЕЗО-НИКЕЛЕВЫЕ ФАЗЫ ИЗ КОРЕННЫХ ПОРОД ГИПЕРБАЗИТОВОГО МАССИВА ГАЛЬМОЭНАН (КАМЧАТКА, КОРЯКСКОЕ НАГОРЬЕ)

Е.И. Сандимирова, Е.Г. Сидоров, В.М. Чубаров

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
e-mail: sand@kscnet.ru

Аннотация

В коренных породах гипербазитового массива Гальмоэнан (Корякия, Камчатка) установлены самородные металлы (Fe, Cu, Zn) и интерметаллиды с широким диапазоном содержания железа, кобальта и никеля. Среди интерметаллидов наибольшее распространение имеют железо-никелевые фазы с содержанием никеля от 51,6 до 81,5 мас. % (в том числе минералы октиббегит Ni₃Fe₂ и аваруит Ni₂Fe-Ni₃Fe). Менее распространены кобальт-железистые фазы с содержанием Co 18–50 мас. % (в том числе минерал вайрауит CoFe). Металлы и интерметаллиды ассоциируют с сульфидами и арсенидами железа, кобальта и никеля, а также с другими мало распространенными минералами и минеральными фазами.

Зонально-концентрический базит-гипербазитовый массив Гальмоэнан расположен на юго-западе Ватынско-Вывенского сегмента Олюторской тектонической зоны, которая занимает южную часть Корякского нагорья и представляет собой сложное покровно-складчатое сооружение [1]. Массив интенсивно изучался с конца 80-х годов прошлого века в связи с открытием по его периферии уникальных россыпей платины (Кутыев и др., 1991). При этом основное внимание уделялось вопросам платиноносности массива и изучению минералов платиновой группы [5]. В процессе исследований были установлены сингенетические платиноиды сульфиды, арсениды, самородные металлы (Fe, Cu, Zn) и интерметаллиды разнообразного состава, однако детального изучения этой группы минералов ранее не проводилось. В настоящее время целенаправленное изучение акцессорных рудных минералов в коренных породах массива позволило получить более полные данные по их составу, строению и парагенетическим ассоциациям. В данной статье акцент сделан на результатах изучения самородных металлов, кобальт-железистых и железо-никелевых интерметаллидах.

Морфология, внутреннее строение и вещественный состав минералов изучались с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3, оснащенного аналитической приставкой OXFORD instruments X-MAX 50 с фирменным программным обеспечением AZtec, а также с помощью микрозонда Camebax № 244, укомплектованного энерго-дисперсионным спектрометром X-MAX 80 с фирменным программным обеспечением INCA (ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, аналитик В. М. Чубаров). Исследовались полированные образцы с углеродным напылением.

В породах гипербазитового массива Гальмоэнан встречаются следующие акцессорные рудные минералы: оксиды (вторичный магнетит), сульфиды (пентландит, пирротин, хизлевудит, миллерит, макинавит, сфалерит, халькопирит, шэндит), арсениды (орселит, дигенит, никелин, герсдорфит), железо-никелевые фазы (в том числе октиббегит и аваруит), кобальт-железистые фазы (в том числе вайрауит), самородные железо, медь, цинк. Минералы отлагаются вдоль серпентиновых прожилков, границ и трещин породообразующих минералов. Они образуют самостоятельные мономинеральные зерна разнообразной формы или вытянутые в длину полиминеральные агрегаты размером до 1–3 мм.

Наибольший интерес для исследователей представляют самородные металлы и интерметаллиды. Соединения, которые они образуют, разнообразны по соотношению слагающих их элементов, поэтому высока вероятность обнаружения среди них новых ранее не известных минералов. В породах массива Гальмоэнан эта группа минералов представлена кобальт-железистыми и железо-никелевыми фазами, самородными железом, медью и цинком. За исключе-

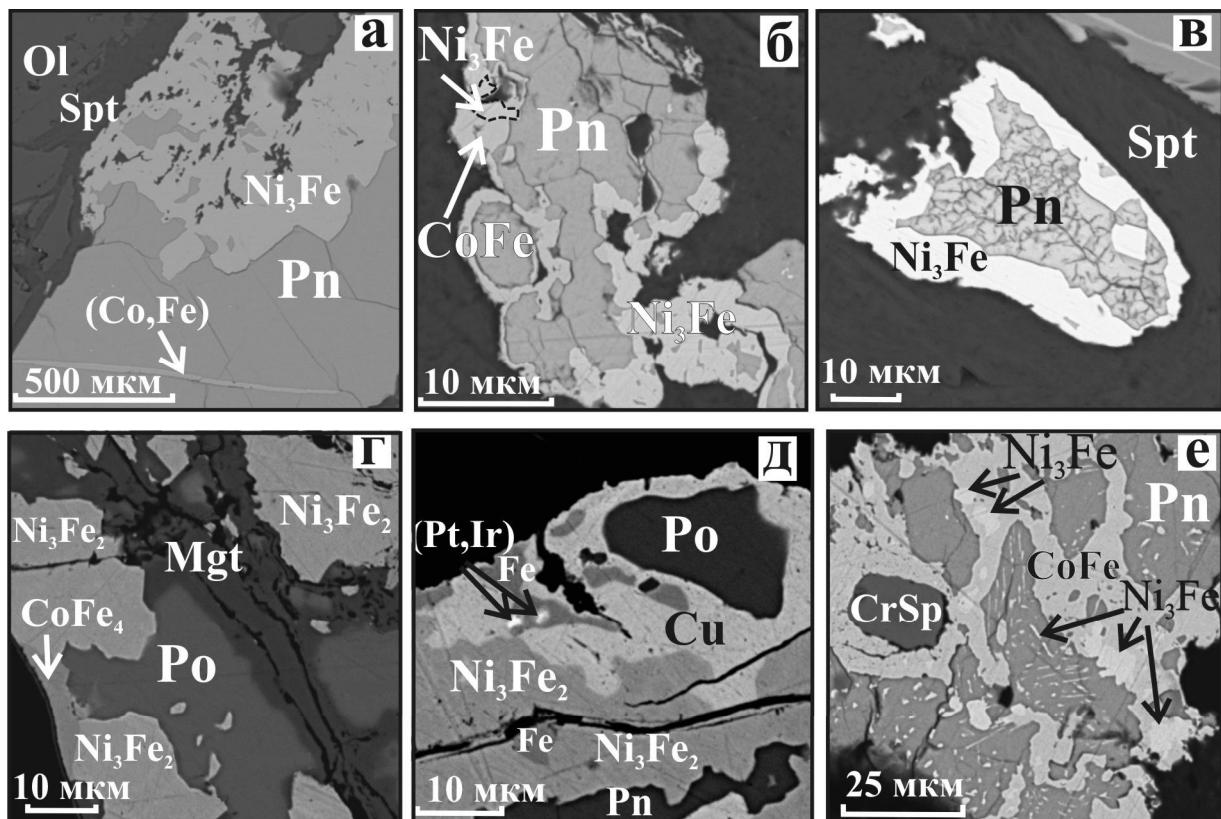


Рис. 1. Аксессорные минералы из гипербазитовых пород массива Гальмоэнан.
а – аварийт (Ni_3Fe) в срастании с пентландитом (Pn), в котором пластинчатое выделение кобальт-железистой фазы ((Co,Fe)); б – пентландит с каймой из аварийта и вайрауита ($CoFe$); в – пентландит с каймой из аварийта; г – пирротин (Po) с каймой из октиббегита (Ni_3Fe_2) и кобальт-железистой фазы ($CoFe_4$); д – пирротин в срастании с медью, железом и октиббегитом. В железе мелкие включения платина-иридьевых фаз. е – структура распада аварийта и вайрауита в пентландите. CrSp – хромшпинель, Mgt – магнетит, Spt – серпентин, Ol – оливин. РЭМ-фото в отраженных электронах.

нием цинка, металлы и интерметаллиды постоянно ассоциируют со всеми выше перечисленными минералами, особенно часто встречаются их сростки с пентландитом и пирротином (рис. 1).

В изученных образцах наблюдается две генерации самородных металлов и интерметаллидов. Минералы первой генерации (кобальт-железистые, железо-никелевые фазы, самородное железо, иногда медь) локализуется по периферии зерен пентландита или пирротина, нередко образуя вокруг них кайму с четкими границами. Следов взаимного замещения не наблюдается. Вероятнее всего, металлы и интерметаллиды отложились раньше сульфидов на стенках полостей, образуя своего рода пленку, а свободное пространство в центре полости позднее было заполнено сульфидами. В сростках между собой металлы и интерметаллиды имеют четкие, заливообразные или плавно изогнутые границы.

Металлы и интерметаллиды второй генерации представлены кобальт-железистыми, железо-никелевыми фазами и самородным железом. Они наблюдаются в виде пластинчатых или эмульсионных структур распада непосредственно в сульфидах (в пентландите или пирротине).

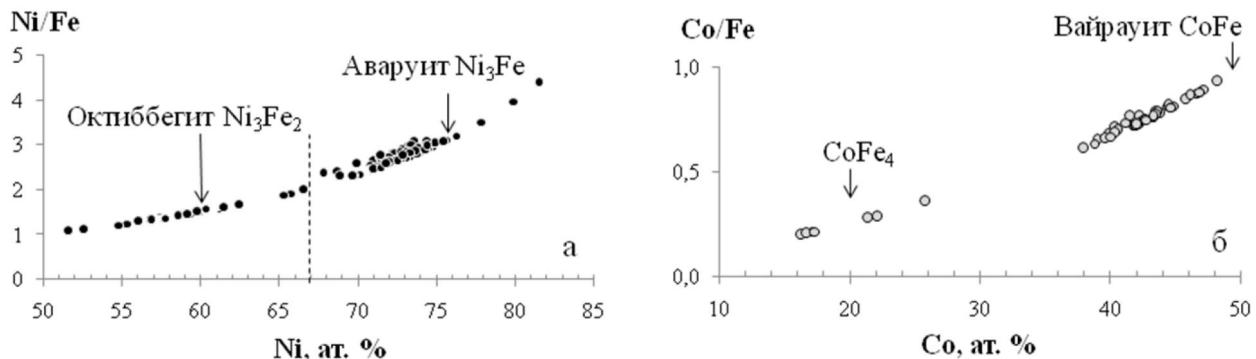


Рис. 2. Соотношение Ni/Fe и Ni в железо-никелевых фазах (а), Co/Fe и Co в кобальт-железистых фазах (б) из гипербазитовых пород массива Гальмоэнан по данным электронно-зондового (ЭДС) анализа.

Особенности химического состава самородных металлов и интерметаллидов

В породах массива Гальмоэнан установлены железо-никелевые фазы с содержанием никеля от 51,6 до 81,5 мас. % (см. табл.). На диаграмме Ni/Fe - Ni они образуют практически непрерывный ряд твердых растворов (рис. 2а). Железо-никелевые фазы с широким диапазоном содержания никеля (55,3–82,3 мас. %) были выявлены нами ранее в одном из гипербазитовых массивов Восточной Камчатки – массиве горы Попутной [4]. Среди фаз с содержанием 67–92 мас. % никеля наибольшую известность имеет минерал аваруит $\text{Ni}_2\text{Fe}-\text{Ni}_3\text{Fe}$ [2], близкие или идентичные с ним разновидности известны под названиями джозефинит, суэзит, бобровит. Среди фаз с содержанием никеля 51,6–67 мас. % известен один минерал – октибегит Ni_3Fe_2 [3]. Чаще всего в породах массива Гальмоэнан встречаются фазы близкие или соответствующие аваруиту и октибегиту. Из примесей во всех железо-никелевых фазах периодически присутствует кобальт до 2,9 мас. %, изредка устанавливается медь до 0,9 мас. %.

Большая часть составов кобальт-железистых фаз близка или соответствует соединению $\text{CoFe}-\text{Co}_2\text{Fe}_3$, то есть вайрауиту (табл.). Соединения, соответствующие формуле CoFe_4 , встречаются редко (рис. 2б). Для кобальт-железистых соединений характерно периодическое присутствие никеля до 4 ат. %. Самородное железо (α - Fe) содержит примеси никеля (до 3,2) и кобальта (до 3,3 мас.%, в редких случаях до 8,6). Иногда в самородном железе наблюдаются включения платина-осмий-иридиевых фаз (рис. 1д). Самородная медь практически не содержит примесей. Самородный цинк встречается редко в тонких каналах-прожилках, выполненных серпентином. Отдельные зерна имеют размер до 20 мкм. По данным электронно-зондового анализа (ЭДС) содержание цинка максимально достигает 95,5 мас. %, присутствуют примеси Fe и Ni.

Образование самородных металлов и интерметаллидов связано с процессом серпентинизации ультраосновных пород, который по многочисленным оценкам протекает при температуре 500–350°C и ниже. Важную роль в этом процессе играют слоистые силикаты – серпентин и хлорит. Они образуются при автометаморфизме гипербазитовых пород и фиксируют пневматолито-гидротермальную стадию рудообразования. Полированная поверхность этих минералов покрыта хаотично расположенным кавернами, порами 0,5–5 мкм, слагающими цепочки и каналы, полые или заполненные серпентином. Эти каналы часто имеют закономерную субпараллельную ориентировку, они нередко группируются в линейные системы с образованием футлярообразных полостей. Внутри трещин и каналов отлагаются самородные металлы, интерметаллиды, разнообразные сульфиды, арсениды и другие минералы и минеральные фазы, в том числе вторичные Pt-Fe соединения – минералы, кристаллизующиеся из серпентинизирующих растворов. В составе серпентина, находящегося в парагенезисе с этими минералами, установлены микропримеси рудных элементов: Cu, Ni, Fe, Zn, Co, Au, In, Bi, Hg и др., которые характеризуют состав серпентинизирующих растворов. В целом взаимоот-

Таблица. Характерные составы кобальт-железистых и железо-никелевых фаз из гипербазитов массива Гальмоэнан по данным электронно-зондового (ЭДС) анализа

Анализ	Fe	Co	Ni	Сумма			
					Fe	Co	Ni
	Вес. %				Ат. %		
1	51,98	47,94	—	99,92	53,36	46,64	—
2	53,30	45,85	—	99,14	55,09	44,91	—
3	55,38	44,52	—	99,89	56,76	43,24	—
4	58,46	40,27	1,36	100,09	59,70	38,97	1,33
5	76,18	22,90	—	99,08	77,83	22,17	—
6	79,55	18,00	1,87	99,43	80,85	17,34	1,81
7	21,29	—	78,71	100,00	22,14	—	77,86
8	23,64	—	76,40	100,04	24,54	—	75,46
9	24,59	—	75,50	100,09	25,50	—	74,50
10	24,67	0,92	74,31	99,90	25,63	0,91	73,46
11	24,86	1,88	73,32	100,06	25,79	1,85	72,36
12	25,83	2,20	71,86	99,89	26,83	2,17	71,01
13	28,36	2,71	68,58	99,65	29,49	2,67	67,84
14	38,65	—	60,99	99,65	39,98	—	60,02

ношение самородных металлов и интерметаллидов с другими акцессорными минералами свидетельствует об изменении восстановительных условий минералообразования на более окислительные с незначительным привносом серы и мышьяка.

Список литературы

1. Астраханцев А.В., Батанова В.Т., Перфильев А.С. Строение Гальмоэнанского клинопироксенит-габбрового массива (Корякское нагорье) // Геотектоника. 1991. № 2. С. 47–62.
2. Борицанская С.С., Виноградова Р.А., Крутов Г.А. Минералы никеля и кобальта. М.: МГУ. 1981. 224 с.
3. Минералы. Т.1. М.: Академия наук СССР. 1960. 616 с.
4. Сандимирова Е.И., Сидоров Е.Г., Чубаров В.М. Акцессорные минералы железа и никеля гипербазитового массива горы Попутной (Восточная Камчатка) // ЗРМО, 2015. Ч. CXLIV. № 2. С. 71–82.
5. Сидоров Е.Г. Платиноносность базит-гипербазитовых комплексов Корякско-Камчатского региона. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. д.г.-м.н. Петропавловск-Камчатский, 2009. 46 с.