

## МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ

УДК 549.322 (571.511)

© Ю. Д. ГРИЦЕНКО, д. чл. Э. М. СПИРИДОНОВ

### МИНЕРАЛЫ НЕПРЕРЫВНЫХ РЯДОВ РАММЕЛЬСБЕРГИТ—ЛЕЛЛИНГИТ И РАММЕЛЬСБЕРГИТ—САФФЛОРИТ В МЕТАМОРФОГЕННО-ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ЖИЛАХ НОРИЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

*Yu. D. GRITSENKO, E. M. SPIRIDONOV. MINERALS OF CONTINUOUS SERIES  
RAMMELSBERGITE—LOELLINGITE AND RAMMELSBERGITE—SAFFLORITE IN  
METAMORPHIC-HYDROTHERMAL VEINS OF NORILSK ORE FIELD*

*Московский университет, 119992, Москва, Воробьевы горы*

Continuous solid solution series of rammelsbergite  $\text{NiAs}_2$ —loellingite  $\text{FeAs}_2$  has been revealed for the first time. It is developed among metamorphosed Ni-Cu sulphide ores, mainly among carbonate and anhydrite-carbonate veins in association with maucherite, monoarsenides, diarsenides and sulfoarsenides. The rammelsbergite  $\text{NiAs}_2$ —safflorite  $\text{CoAs}_2$  solid solution series was detected to be in association with Ni-Co triarsenides (skutterudite and nickelskutterudite). There were defined mineral formations of three cycles. The first cycle includes 9 mineral complexes of essentially arsenide composition; presence of the high-Co nickeline, Ni-Co diarsenides and triarsenides, and native As is there typical also. The second cycle includes 3 mineral complexes of mainly antimonide composition, with presence of parkerite and native silver. The third cycle, in its turn, includes sulphoarsenides. In the first cycle the diarsenide trend is represented by the rammelsbergite—loellingite row, as well as in the second cycle — by loellingite—rammelsbergite row.

#### ВВЕДЕНИЕ

Диарсениды Ni-Co-Fe распространены в различных гидротермальных месторождениях, особо характерны для месторождений пятиэлементной формации и близких к ним никель-кобальт-арсенидных (Крутов, 1959; Рамдор, 1962; Petruk *et al.*, 1971; Шишкин, 1973; Рудашевский и др., 1978; Чвилева и др., 1988; Виноградова, 2000).

Минералы ряда  $\text{FeAs}_2$ — $\text{CoAs}_2$  распространены шире, чем минералы ряда  $\text{NiAs}_2$ — $\text{FeAs}_2$ . Среди природных диарсенидов известны все промежуточные члены в рядах  $\text{FeAs}_2$ — $\text{CoAs}_2$  и  $\text{NiAs}_2$ — $\text{CoAs}_2$  (Крутов, 1959; Roseboom, 1963; Шишкин, 1973; Рудашевский и др., 1978; Cervilla, Ronsbo, 1990; Виноградова, Бочек, 1980; Воган, Крейг, 1981; Костов, Минчева-Стефанова, 1984; Виноградова, 2000). Ряд минералов раммельсбергит—леллингит до настоящего времени рассматривался как дискретный. Известны единичные находки минералов промежуточного состава: богатый Ni леллингит в хромит-никелиновых рудах месторождения Ла Галега в Испании (Oep, 1971) и в массиве Бени Бушера в Марокко (Cervilla *et al.*, 1996), в метаморфизованных сульфидных никелевых рудах Воронежского кристаллического массива (Буковшин, Чернышов, 1985), в золо-

то-редкометалльных месторождениях Якутии (Гамянин, Лыхина, 2000), богатый Ni и Co леллингит Талнахского месторождения (Дистлер и др., 1975). При изучении антимонидно-арсенидной минерализации Норильского рудного поля нами обнаружены часто встречающиеся здесь диарсениды ряда раммельсбергит—леллингит и ряда раммельсбергит—сафлорит; впервые установлена непрерывная серия твердых растворов в ряду раммельсбергит—леллингит.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИМОНИДНО-АРСЕНИДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НОРИЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Норильское рудное поле расположено в плитном чехле дорифейской Восточно-Сибирской платформы, в зоне краевых дислокаций. Гигантские залежи магматических сульфидных и малосульфидных Ag-Au-Co-Pt-Pd-Ni-Cu руд сопряжены с интрузивами оливиновых габбро-долеритов трапповой формации с возрастом  $245 \pm 5$  Ма (Годлевский, 1959; Генкин и др., 1981, и др.). Антимонидно-арсенидная минерализация Норильского рудного поля, которую предшествующие исследователи рассматривали как производную трапповой формации  $P_2-T_1$  (Годлевский, 1959, и др.), связана с послетрапповым региональным низкоградным метаморфизмом. И трапповая формация, и подстилающие осадочные толщи P, C, D, S, O,  $\epsilon$  и V были захвачены метаморфизмом погружения. Тренд метаморфизма, первая стадия (Rb/Sr возраст 232—212 Ма) протекала в условиях низкотемпературной части цеолитовой фации, вторая стадия (212—196 Ма) — в условиях от высокотемпературной части цеолитовой фации до пренит-пумпеллитовой фации, третья стадия (187—122 Ма) — в условиях от высокотемпературной до самой низкотемпературной части цеолитовой фации (Спиридонов и др., 2000). С процессами метаморфизма первой стадии связана агатовая и датолитовая минерализация; с третьей стадией — медно-цеолитовая формация, месторождения исландского шпата, проявления сульфидов Zn, Cu, Pb, Mn, Cd, Ag, барита, целестина. Rb/Sr возраст апофиллита арсенидно-карбонатных жил Норильского рудного поля — 164 Ма (Спиридонов и др., 2001). Таким образом, арсенидная минерализация моложе трапповой формации на 80 Ма.

Арсениды и антимониды Ni, Fe и Co развиты среди метаморфизованных Ni-Cu сульфидных руд и в ближней периферии их залежей, главным образом в составе карбонатных и ангидрит-карбонатных жил (Изоитко и Вяльсов, 1975; Дистлер и др., 1975; Генкин и др., 1981; Спиридонов и др., 2001). Параметры формирования жил:  $P = 0.9-0.1$  кбар,  $T = 216-127^\circ\text{C}$ , растворы NaCl—MgCl<sub>2</sub> невысокой солёности 1.5% экв. NaCl.

#### МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ АНТИМОНИДНО-АРСЕНИДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

История формирования антимонидно-арсенидной минерализации сложная, многостадийная. Изредка наблюдаются пересечения арсенидно-карбонатных жил различного минерального состава. Чаще брекчированные ранние минеральные агрегаты обрастаются и/или частично замещены более поздними минеральными комплексами. Во многих случаях арсенидно-карбонатные жилы зональны. Зальбанды жил обычно сложены более ранними минеральными ассоциациями, центральные части жил — более поздними. По сумме таких наблюдений и с учетом результатов детальных минералогических исследований выделены три цикла антимонидно-арсенидной минерализации.

Первый цикл — существенно арсенидный, с трендом от моноарсенида Ni к ди- и триарсенидам Ni и Co, завершается образованием самородного мышьяка. Антимо-

нидно-арсенидная минерализация первого цикла развита среди разнообразных метаруд, нередко обогащенных борнитом. Первый цикл включает 9 разновозрастных минеральных комплексов. 1-й комплекс (кобальтин-раммельсбергит-маухерит-никелиновый) представлен бобовинами в жилах белого кальцита и хлорит-кальцитовых жилах, вкрапленностью и бобовинами в метаморфизованных Ni-Cu рудах. 2-й комплекс (маухерит-герсдорфит-никелиновый) представлен зональными почками и бобовинами, которые выросли на агрегаты 1-го комплекса и частью заместили их; характерно сочетание низкосурьмянистого и высокосурьмянистого никелина. 3-й комплекс представлен срастаниями маухерита и брейтгауптита, которые слагают обособленные выделения или выросли на агрегаты 2-го комплекса; они оторочены сурьмянистым никелином и минералами ряда раммельсбергит-леллингит. Агрегаты 4-го раммельсбергит-никелин-брейтгауптитового комплекса выросли на агрегаты 1-го и 3-го комплексов, частью заместили их. 4-й комплекс включает полную серию минералов ряда раммельсбергит-леллингит и ряда никелин-брейтгауптит. 5-й кобальтин-брейтгауптит-маухерит-никелиновый комплекс представлен зональными почками в жилах розового кальцита. Маухерит, брейтгауптит и кобальтистый никелин 6-го минерального комплекса выросли на агрегаты 5-го комплекса. Агрегаты 7-го комплекса сложены минералами ряда раммельсбергит-леллингит, прослоенными никелином. Кальцит-доломитовые жилы 8-го минерального комплекса с триарсенидами Ni-Co секут арсенидно-кальцитовые жилы. Триарсениды 8-го комплекса выросли на раммельсбергит 7-го комплекса. Еще более поздние и относительно распространенные кальцит-ангидритовые и кальцит-апофиллитовые жилы с гнездами и сферолитовыми агрегатами самородного мышьяка и леллингита выделены как 9-й комплекс. Агрегаты 9-го минерального комплекса часто рассекают по центру арсенидно-кальцитовые жилы 7-го комплекса.

Второй цикл — с преобладанием антимонида Ni, с трендом от диарсенидов к антимониду и моноарсениду Ni, характеризуется наличием паркерита, самородных серебра, висмута и свинца, ртутистого серебра, пираргирита, клаусталита, уранинита. Антимонидно-арсенидная минерализация второго цикла развита среди разнообразных метаруд, нередко обогащенных халькозином. Халькозин в основном возник при замещении борнита. Второй цикл включает два минеральных комплекса. Никелин, брейтгауптит, диарсениды Ni и Fe и маухерит 10-го минерального комплекса слагают сложозональные почки. Никелин и брейтгауптит 11-го комплекса слагают зональные почки с самородным серебром и ртутистым серебром, с каймами ульманнита.

Третий цикл — существенно сульфоарсенидный и сульфоантимонидный. Представлен каймами и секущими прожилками по арсенидным почкам — сульфоарсенидов, по существенно брейтгауптитовым почкам — ульманнита, часто в ассоциации с пиритом.

Минералы ряда раммельсбергит—леллингит наиболее, широко распространены в минеральных комплексах первого цикла, реже — второго цикла. Представляется целесообразным дать характеристику диарсенидов Ni-Fe-Co отдельно для конкретных минеральных комплексов.

В работе использована сквозная нумерация анализов минералов для всех образцов. Номера анализов в таблицах и на рисунках одни и те же.

#### МИНЕРАЛЫ РЯДОВ РАММЕЛЬСБЕРГИТ—ЛЕЛЛИНГИТ И РАММЕЛЬСБЕРГИТ—САФФЛОРИТ

**Диарсениды 1-го минерального комплекса.** Ранние образования первого минерального комплекса представлены крупными пластинчатыми кристаллами бессурьмянистого никелина и бобовинами, которые сложены расщепленными кристаллами никелина, сурьмянистым никелином, маухеритом. Пластинчатые кристаллы никелина и маухерит-никелиновые бобовины служат основанием для выросших на них агрегатов расщепленных кристаллов раммельсбергита (рис. 1). Размер кристаллов желе-

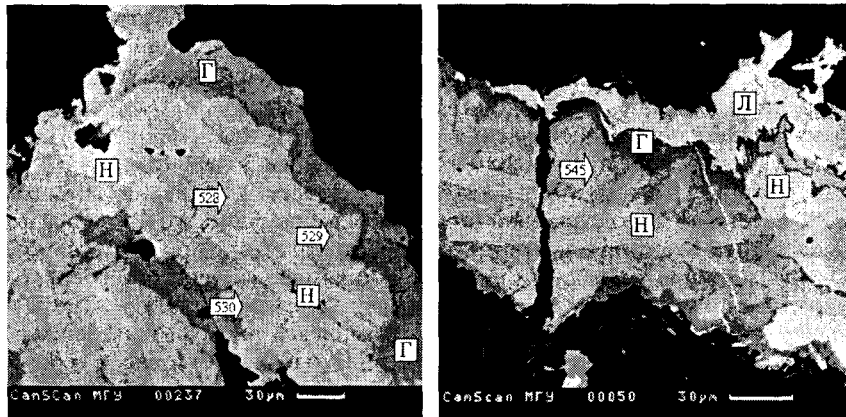


Рис. 1. Агрегаты арсенидов 1-го и 2-го минеральных комплексов.

Пластинчатые кристаллы никелина (Н) и наросшие на них агрегаты расщепленных кристаллов железисто-сернистого раммельсбергита 1-го минерального комплекса (ан. 528—530, 545). Они служат основанием для никелина (Н) и герсдорфита (Г) 2-го минерального комплекса. В отдельных участках на них нарос леллингит (Л) 4-го минерального комплекса (справа). Матрица — кальцит (черное). Таллах, рудник Комсомольский. Здесь и далее фотографии в отраженных электронах.

Fig. 1. Lamellate crystals of nickeline (H) overgrown by aggregates of splitted crystals of Fe-S-rammelsbergite of the 1<sup>st</sup> mineral complex; they form the basement for nickeline (H) and gersdorffite (Г) of the 2<sup>nd</sup> mineral complex; in separate spots they are overgrown by loellingite (Л) of the 4<sup>th</sup> complex. BSE image.

зисто-сернистого раммельсбергита от первых до 20 мкм. Содержание железа в нем составляет 8—10 мас. %, серы 5—8, кобальта 3—5 мас. % (табл. 1).

**Диарсениды 3-го минерального комплекса.** Образования 3-го комплекса — сростания маухерита и брейтгауптита с зоной геометрического отбора в основании входят в состав сложнзональных бобовин. Ближе к краю бобовин брейтгауптит сменяется никелином, на который нарос маложелезистый раммельсбергит (ан. 448, 472), затем высокожелезистый раммельсбергит (ан. 449, 473), далее никелистый леллингит; внешнюю зону слагает низконикелистый леллингит (ан. 453, 485, 508) (рис. 2, А, Б, В). Встречаются обособленные почки диарсенидов, центральные части которых сложены более никелистыми минералами ряда раммельсбергит—леллингит, края — более же-

Т а б л и ц а 1

**Химический состав железисто-сернистого раммельсбергита  
1-го минерального комплекса, мас. %**

**Chemical composition of Fe-S-rammelsbergite of the 1<sup>st</sup> mineral complex (wt %)  
and the formula units calculated for 3 atoms**

№	Ni	Co	Fe	As	Sb	S	Сумма
530	18.80	4.10	7.20	63.05	0.62	7.19	100.97
529	17.41	4.12	8.41	63.41	0.96	5.85	100.15
528	17.22	3.72	9.03	62.64	0.89	5.74	99.24
545	15.38	4.65	10.00	63.29	1.11	7.22	101.65

Коэффициент в формуле

№	Ni	Co	Fe	Сумма	As	Sb	S	Сумма
530	0.604	0.131	0.243	0.979	1.588	0.010	0.423	2.021
529	0.573	0.135	0.291	0.998	1.634	0.015	0.352	2.002
528	0.571	0.123	0.315	1.009	1.628	0.014	0.349	1.991
545	0.429	0.148	0.336	0.976	1.585	0.017	0.422	2.024

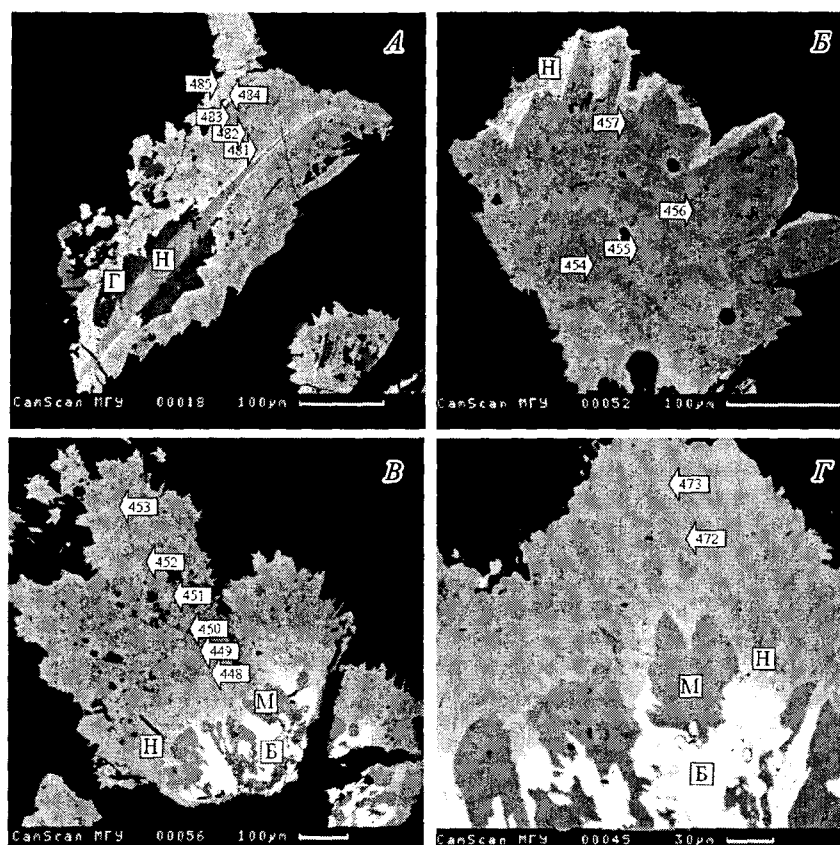


Рис. 2. Агрегаты арсенидов и сульфоарсенидов 1, 2 и 3-го минеральных комплексов в кальците (черное).

*A* — в центре пластинчатый кристалл никелина 1-го комплекса. На него вырос герсдорфит 2-го комплекса (Г). Тот и другой окружены тонкой каймой сурьмянистого никелина (белый). Вокруг них — агрегаты диарсенидов ряда раммельсбергит-леллингит 3-го комплекса (ан. 481—485); *B* — агрегат диарсенидов 3-го комплекса: в центре железистый раммельсбергит, по краям — никелистый леллингит (ан. 454—457). Светлая кайма — сурьмянистый никелин; *B* — агрегат арсенидов 3-го минерального комплекса: в основании сростания брейтгауптита (Б) и маухерита (М), на них — агрегаты кристаллов никелина (Н) и железистого раммельсбергита (ан. 448, 449), которые далее сменяются никелистым леллингитом (ан. 450, 451) и леллингитом (ан. 452, 453); *Г* — агрегат арсенидов 3-го минерального комплекса: в основании сростания брейтгауптита (Б) и маухерита (М), на них — агрегаты расщепленных кристаллов никелина (Н) и железистого раммельсбергита (ан. 472, 473).

Fig. 2. Aggregates of arsenides and antimonides of the 1, 2 and 3<sup>rd</sup> mineral complexes in calcite (black).

лезистыми (рис. 2, *B*). В основании агрегата диарсенидов железистый раммельсбергит образует расщепленные агрегаты с размером субиндивидов 5—10 мкм. Внешние части агрегата диарсенидов сложены более крупными до 50 мкм слабо расщепленными кристаллами никелистого и низконикелистого леллингита, которые образуют характерные тройники в виде шестилучевых звезд (рис. 2, *B*).

3-й комплекс включает минералы непрерывного ряда раммельсбергит—леллингит (табл. 2), в которых содержание серы и кобальта не превышает 3.5 мас. %, т. е. ниже, чем в раммельсбергите 1-го минерального комплекса. Содержание меди в диарсенидах 3-го минерального комплекса достигает 0.6 мас. %. Диарсениды с повышенным содержанием меди обычно малосернистые.

**Диарсениды 4-го минерального комплекса.** Агрегаты минералов 4-го комплекса выросли на образования 1-го и 3-го комплексов и частично их заместили. В боль-

Таблица 2

Химический состав минералов ряда раммельсбергит—леллингит  
3-го минерального комплекса, мас. %Chemical composition of the rammelsbergite—loellingite series minerals of the 3<sup>rd</sup> complex (wt %) and the formula units calculated for 3 atoms

№	Ni	Co	Fe	Cu	As	Sb	S	Se	Сумма
472	23.85	1.62	2.95	0.03	64.53	4.48	1.59	0.42	99.48
448	22.76	1.71	4.33	—	66.24	2.75	1.31	0.38	99.47
455	21.08	0.89	5.07	—	65.76	3.44	1.42	0.41	98.07
473	19.59	1.52	7.35	0.07	67.17	1.40	2.60	0.39	100.09
481	15.04	3.27	10.03	0.03	64.49	4.94	2.09	0.41	100.29
482	13.16	2.14	13.72	0.02	66.69	2.40	1.99	0.38	100.49
483	12.83	1.87	13.29	—	66.66	2.93	2.11	0.35	100.04
451	11.79	1.02	15.36	0.06	65.07	3.92	1.95	0.30	99.46
452	9.45	1.28	16.47	0.10	65.13	5.64	0.74	0.31	99.14
449	8.55	1.44	18.29	0.11	64.73	3.46	2.35	0.29	99.21
450	7.38	1.66	19.10	0.06	64.40	4.06	3.01	0.41	100.08
456	5.06	1.19	19.54	0.43	67.63	3.61	0.25	0.30	98.00
453	5.21	1.31	20.69	0.05	66.68	3.36	1.54	0.40	99.23
457	3.10	0.68	21.75	0.61	68.19	2.52	0.87	0.30	98.02
484	2.99	1.29	23.83	0.01	65.82	0.81	3.35	0.40	98.51
454	1.94	2.18	21.75	0.09	67.15	4.17	0.46	0.31	98.05
485	1.17	1.11	24.70	0.16	66.68	1.43	2.38	0.30	97.94

## Коэффициенты в формуле

№	Ni	Co	Fe	Cu	Сумма	As	Sb	S	Se	Сумма
472	0.846	0.057	0.110	0.001	1.015	1.794	0.077	0.103	0.011	1.985
448	0.804	0.060	0.161	—	1.025	1.834	0.047	0.085	0.010	1.975
455	0.758	0.032	0.192	—	0.982	1.854	0.060	0.094	0.011	2.018
473	0.673	0.052	0.266	0.002	0.993	1.809	0.023	0.164	0.010	2.007
481	0.525	0.114	0.368	0.001	1.008	1.765	0.083	0.133	0.011	1.992
482	0.453	0.073	0.497	0.001	1.024	1.801	0.040	0.125	0.010	1.976
483	0.445	0.065	0.485	—	0.995	1.813	0.049	0.134	0.009	2.005
451	0.413	0.036	0.565	0.002	1.016	1.785	0.066	0.125	0.008	1.984
452	0.340	0.046	0.622	0.003	1.011	1.834	0.098	0.049	0.008	1.989
449	0.297	0.050	0.669	0.003	1.020	1.765	0.058	0.150	0.008	1.980
450	0.253	0.057	0.689	0.002	1.001	1.732	0.067	0.189	0.011	1.999
456	0.184	0.043	0.746	0.014	0.987	1.925	0.063	0.017	0.008	2.013
453	0.183	0.046	0.765	0.002	0.996	1.838	0.057	0.099	0.010	2.004
457	0.111	0.024	0.820	0.020	0.975	1.916	0.044	0.057	0.008	2.025
484	0.102	0.044	0.857	—	1.003	1.763	0.013	0.210	0.010	1.997
454	0.070	0.079	0.829	0.003	0.981	1.907	0.073	0.030	0.008	2.019
485	0.041	0.039	0.907	0.005	0.991	1.824	0.024	0.152	0.008	2.009

шинстве случаев они образуют обособленные почки и бобовины. Интенсивно расщепленные кристаллы никелина слагают центральные части почек, они окружены тонко чередующимися брейтгауптитом и сурьмянистым никелином. На них вырос железисто-сернистый раммельсбергит, который сменяется леллингитом с 5—6 мас. % Ni (рис. 3). В следующей зоне чередуются никелистый леллингит и сурьмянистый никелин (рис. 3, Б), ширина выделений каждого от 10 до 100 мкм. Во внешних частях бобовин развит леллингит, содержащий < 0.1 мас. % Ni.

Содержание кобальта и серы в диарсенидах достигает соответственно 10 и 5 мас.% (табл. 3). Диарсениды, обогащенные кобальтом, содержат повышенное ко-

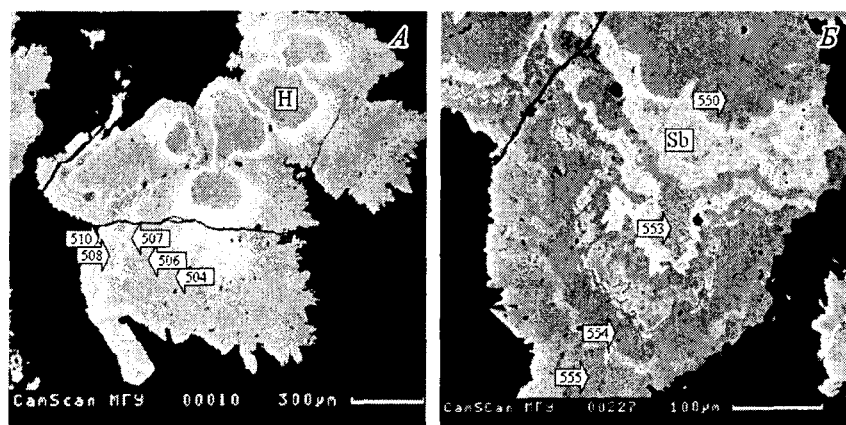


Рис. 3. Агрегаты арсенидов 4-го минерального комплекса в кальците (черное).

*А* — в центре никелин (Н), окруженный сурьмянистым никелином (белый). На них вырос железистый раммельсбергит (ан. 505—507). Внешние части агрегата слагают чередующиеся никелистый леллингит (ан. 508—510) и сурьмянистый никелин (белое); *Б* — внешняя часть агрегата. Многократное чередование никелистого леллингита (ан. 550—555) и сурьмянистого никелина (светло-серый до белого).

Fig. 3. Aggregates of arsenides of the 4<sup>th</sup> mineral complex in calcite (black).

Таблица 3

Химический состав минералов ряда железисто-сернистый раммельсбергит—леллингит  
4-го минерального комплекса, мас. %

Chemical composition of the Fe-S-rammelsbergite—loellingite series minerals of the 4<sup>th</sup> mineral complex (wt %) and the formula units calculated for 3 atoms

№	Ni	Co	Fe	Cu	As	Sb	S	Se	Сумма
504	18.65	2.08	8.56	0.06	64.92	3.28	2.70	0.35	100.61
509	14.55	8.53	6.76	0.07	61.83	3.18	4.86	0.33	100.12
507	5.31	4.11	19.35	0.07	67.48	3.24	1.51	0.34	101.40
550	4.98	0.77	21.50	—	70.47	1.98	1.07	—	100.80
553	4.98	4.92	18.22	—	66.55	3.04	2.65	—	100.40
522	4.81	3.35	20.74	0.03	67.80	1.27	2.45	0.34	100.78
505	3.24	1.45	23.18	0.12	67.72	2.80	1.60	0.43	100.52
508	1.75	0.72	24.84	0.67	68.05	0.92	1.72	0.27	98.93
554	0.95	0.43	25.08	—	71.72	0.26	0.32	—	98.76
510	0.74	0.41	24.15	1.94	69.90	0.22	0.39	0.35	98.10
555	0.05	0.11	26.14	—	71.07	0.59	0.34	—	98.30

Коэффициент в формуле

№	Ni	Co	Fe	Cu	Сумма	As	Sb	S	Se	Сумма
504	0.640	0.071	0.309	0.002	1.022	1.745	0.054	0.170	0.009	1.978
509	0.489	0.285	0.239	0.002	1.015	1.627	0.052	0.299	0.008	1.985
507	0.183	0.141	0.699	0.002	1.025	1.818	0.054	0.095	0.009	1.975
550	0.173	0.026	0.784	—	0.983	1.916	0.033	0.068	—	2.017
553	0.171	0.168	0.657	—	0.996	1.788	0.050	0.167	—	2.004
522	0.163	0.113	0.740	0.001	1.017	1.802	0.021	0.152	0.009	1.983
505	0.112	0.050	0.842	0.004	1.008	1.834	0.047	0.101	0.011	1.992
508	0.061	0.025	0.908	0.021	1.015	1.853	0.015	0.110	0.007	1.985
554	0.034	0.015	0.934	—	0.983	1.992	0.004	0.021	—	2.017
510	0.027	0.015	0.905	0.064	1.010	1.952	0.004	0.025	0.009	1.990
555	0.002	0.004	0.979	—	0.984	1.983	0.010	0.022	—	2.016

Химический состав минералов ряда раммельсбергит—леллингит  
7-го минерального комплекса, мас. %Chemical composition of the rammelsbergite—loellingite series minerals of the 7<sup>th</sup> mineral complex  
(wt %) and the formula units calculated for 3 atoms

№	Ni	Co	Fe	Cu	As	Sb	S	Se	Te	Сумма
251	27.70	1.66	0.06	0.03	69.57	0.06	1.23	0.38	0.08	100.76
252	25.42	3.91	0.21	0.30	68.62	—	1.58	0.45	0.03	100.51
160	29.14	0.32	0.04	0.09	72.95	0.36	0.33	0.19	0.06	103.48
161	21.43	0.69	2.52	1.45	72.60	0.48	0.97	0.21	—	100.35
267	13.31	4.25	11.37	—	65.54	2.46	3.38	0.28	—	100.59
265	11.99	3.08	14.37	—	63.15	3.06	4.66	0.29	0.01	100.60
313	9.43	2.57	16.12	0.03	64.44	3.18	4.26	0.10	0.08	100.20
314	7.07	4.23	17.43	0.03	64.85	2.53	5.04	0.14	0.04	101.34
312	6.57	1.48	20.62	0.04	65.49	2.27	4.93	0.08	0.04	101.51
268	3.86	3.11	19.81	0.61	68.41	1.95	1.47	0.31	—	99.52
269	0.01	2.28	22.38	2.15	71.73	0.62	0.31	0.35	0.02	99.85

## Коэффициент в формуле

№	Ni	Co	Fe	Cu	Сумма	As	Sb	S	Se	Te	Сумма
251	0.960	0.057	0.002	0.001	1.020	1.890	0.001	0.078	0.010	0.001	1.980
252	0.878	0.134	0.008	0.010	1.030	1.858	—	0.100	0.011	—	1.970
160	0.997	0.011	0.001	0.003	1.012	1.956	0.006	0.020	0.005	0.001	1.988
161	0.755	0.024	0.093	0.047	0.920	2.004	0.008	0.063	0.005	—	2.080
267	0.452	0.144	0.405	—	1.001	1.742	0.040	0.210	0.007	—	1.999
265	0.400	0.102	0.504	—	1.006	1.653	0.049	0.285	0.007	—	1.994
313	0.318	0.086	0.572	0.001	0.977	1.705	0.052	0.263	0.002	0.001	2.023
314	0.233	0.139	0.604	0.001	0.977	1.675	0.040	0.304	0.003	0.001	2.023
312	0.218	0.048	0.712	0.001	0.979	1.686	0.036	0.296	0.002	0.001	2.021
268	0.135	0.108	0.728	0.020	0.991	1.874	0.033	0.094	0.008	—	2.009
269	0.000	0.080	0.829	0.070	0.979	1.981	0.011	0.020	0.009	—	2.021

личество серы, коэффициент парной корреляции их содержаний Co-S = + 0.61. Содержание меди до 2 мас. %.

**Диарсениды 7-го минерального комплекса.** Бобовины 7-го минерального комплекса сложены раммельсбергитом и диарсенидами ряда раммельсбергит—леллингит, которые прослоены тонкими 10—30 мкм зонами никелина. Интенсивно расщепленные кристаллы раммельсбергита образуют широкую до 500 мкм, однородную по составу кайму на кристаллах никелина 5-го минерального комплекса.

Центральная часть обособленных бобовин сложена промежуточными членами ряда раммельсбергит—леллингит (табл. 4, ан. 265) и никелистым леллингитом (ан. 267, 312, 313); в их составе соотношение никеля и железа составляет примерно 1 : 1 (Ni 0.40—0.45 форм. ед., Fe 0.40—0.50) (ан. 265, 267) (рис. 4, 5). Никелин образует вокруг них тонкую 10—15 мкм кайму. Ближе к краю бобовин диарсениды обогащаются железом и обедняются никелем (ан. 268), железисто-сернистый раммельсбергит уступает место никелистому леллингиту, внешние зоны слагает малоникелистый леллингит (ан. 269). В других бобовинах диарсениды этого же ритма имеют более железистый состав (ан. 312—314).

Раммельсбергит 7-го минерального комплекса содержит менее 0.5 мас. % Sb, менее 1 мас. % Fe, 2 мас. % S (табл. 4). Содержание кобальта и серы в никелистом леллингите достигает 5 мас. %, сурьмы 3 мас. %, меди 2 мас. %. Обогащенные кобальтом диарсениды обогащены и серой.



