

и цирконосиликаты семейств ловозерита, ломоносовита и келдышита, характерные для зон эпитермального и гипергенного изменения ультраапатитовых пород (Хомяков, 1980).

Шафрановскит — один из самых богатых щелочными металлами природных силикатов марганца и железа. Он представляет собой продукт кристаллизации остаточных ультращелочных силикатно-солевых жидкостей — поздних дериватов апатитовых нефелин-сиенитовых магм. Следует ожидать, что дальнейшее исследование этого минерала и его аналогов явится важным шагом на пути решения общей проблемы типоморфизма минералов щелочных пород и связанных с ними месторождений.

Эталонные образцы шафрановскита переданы в минералогические музеи Академии наук СССР (Москва), Горного института (Ленинград) и Кольского филиала АН СССР (Апатиты).

Литература

Звягин Б. Б. (1964). Электронография и структурная кристаллография глинистых минералов. «Наука».

Хомяков А. П. (1980). Типоморфизм минералов ультраапатитовых пегматитов. В кн.: Научные основы и практическое использование типоморфизма минералов. Мат. XI съезда ММА. «Наука».

Хомяков А. П., Быкова А. В., Малиновский Ю. А. (1980). Олимпит Na_3PO_4 — новый минерал. ЗВМО, вып. 4.

Zvyagin B. B. (1967). Electron diffraction analysis of clay minerals structures. N. Y., Plenum Press.

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ),

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ)
АН СССР, Москва.

УДК 549.01

Д. члены Н. С. РУДАШЕВСКИЙ, Ю. П. МЕНЬШИКОВ, А. А. ЛЕНЦИ,
Н. И. ШУМСКАЯ, А. Б. ЛОБАНОВА, Г. Н. ГОНЧАРОВ, А. Г. ТУТОВ

ВОЖМИНИТ — $(\text{Ni}, \text{Co})_4(\text{As}, \text{Sb})\text{S}_2$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ¹

В серпентинитах Вожминского массива (Северо-Восточная Карелия) во вкрапленном сульфидном, так называемом хизлевудитовом (Кайряк и др., 1978), оруденении обнаружен новый сульфид химического состава, отвечающего формуле $(\text{Ni}, \text{Co})_4(\text{As}, \text{Sb})\text{S}_2$, не имеющий структурных аналогов среди известных минералов. Минерал по месту находки — рудопроявление Вожма — назван вожминитом (vozhminite).

Вожминский массив представляет собой линейно вытянутое крутопадающее тело длиной около 20 км при ширине 1000—1200 м, сложенное апооливинитовыми и аповерлитовыми серпентинитами. Серпентиниты в восточной части массива содержат бедную неравномерную вкрапленность сульфидов никеля и магнетита (Попов и др., 1976; Кайряк и др., 1978).

Среди рудных минералов здесь преобладают магнетит и хизлевудит, присутствуют также пентландит, миллерит, годлевскит, виоларит, брайтгаутит, орселит, тучекит, хромпикотит, самородные никель и медь, а также геверсит.

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 17 февраля 1981 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 19 октября 1981 г.

Вожминит обнаружен [в керне одной из скважин на глубине 106.5 м в составе полиминеральных рудных вкрапленников раз-



Рис. 1. Каймы вожминита (светло-серое) и магнетита (темно-серое) вокруг хизлевудита (белое) в серпентините (черное). Полированный шлиф. Увел. 125.

мером 1—4 мм. Центральная часть таких вкрапленников в изученных образцах всегда сложена хизлевудитом, который к краям агрегата замещается последовательно нарастающими тучекитом, вожминитом (каймы 5—300 мкм) и магнетитом. В некоторых вкрапленниках хизлевудит замещается либо только тучекитом, либо только вожминитом (рис. 1). В ассоциации с новым минералом встречаются еще самородные никель и медь, а также геверсит.

Вожминит образует зернистые агрегаты (размер зерен 5—50 мкм), отдельные зерна имеют неправильную или изометричную форму. Цвет минерала желтый с коричневым оттенком, черта черная, блеск металлический.

В отраженном свете в полированных шлифах при наблюдении с вольфрамовой лампой вожминит имеет розовато-оранжевый цвет, более светлый, чем у тучекита. Оттенок цвета не меняется при изменении направления колебаний света, но при этом, хотя и слабо, меняется насыщенность оттенка и величина отражения (табл. 1), что в целом обуславливает слабое двуотражение минерала. Анизотропия ясная, в буроватых тонах.

Таблица 1
Оптические свойства вожминита

Длина волны, нм	Отражение, %	
	Re	Ro
420	41.2	35.0
440	43.0	37.0
460	45.0	39.2
480	47.0	41.7
500	48.6	44.0
520	49.8	45.9
540	50.9	47.5
560	51.9	48.9
580	52.7	50.2
600	53.3	51.1
620	54.2	52.1
640	55.0	52.8
660	55.8	53.4
680	56.6	53.7
700	57.1	54.1
720	57.7	54.6
740	58.2	54.9

Параметры цвета по источнику А

Координата цвета Y	52.2	49.3
Координаты цветности		
x	0.461	0.468
y	0.412	0.414
Доминантная длина волны в цвете образца, λ_d , нм	588	588
Ее насыщенность, P, %	15	18

Примечание. Двухлучевой микроспектрофотометр МСФП-1, эталон — кремний, увеличение 21.

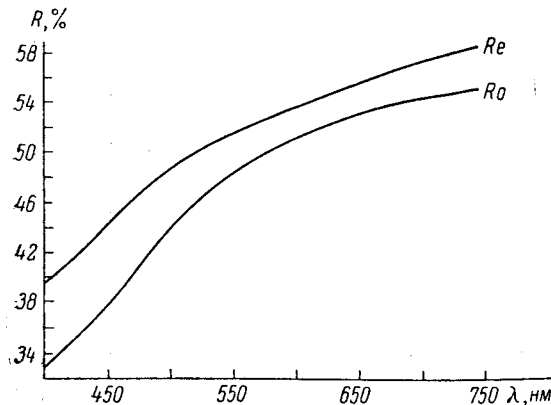
Таблица 2

Химический состав вожминита

Анализ	Ni	Co	Fe	Sb	As	S	Сумма
1	51.4	6.39	0.04	11.6	13.2	15.5	98.13
2	49.5	9.09	0.04	11.9	13.1	15.9	99.53
3	49.4	9.03	0.03	11.8	13.1	15.8	99.16
4	48.9	9.13	0.03	11.3	12.8	17.0	99.16
5	50.2	7.82	0.04	11.3	12.9	17.2	99.46
6	54.2	3.75	0.03	11.4	13.2	17.0	99.58
7	49.8	8.66	0.13	11.4	13.1	16.8	99.89
8	55.5	3.28	0.06	11.2	13.0	16.9	99.94
9	57.1	1.95	0.03	11.4	13.1	16.7	100.28
10	56.0	1.78	0.03	11.5	12.9	16.5	98.71
11	52.9	5.59	0.01	11.4	13.1	17.0	100.0
12	51.8	6.28	0.05	11.3	13.4	17.1	99.93
13	51.6	6.82	0.06	11.2	13.1	17.1	99.88
14	52.6	5.52	0.06	11.4	13.0	17.2	99.78
15	55.4	2.99	0.01	11.2	13.1	17.1	99.80
16	53.0	5.06	0.01	11.1	13.1	17.0	99.27
17	51.3	6.98	0.04	11.1	13.1	17.3	99.82
18	50.9	7.24	0.11	11.8	13.2	17.1	100.35
19	51.8	6.33	0.36	11.3	12.8	17.4	99.99
20	56.0	2.81	0.02	11.1	13.0	16.8	99.73
21	55.0	2.79	0.01	10.8	12.9	16.7	98.20
22	55.5	3.04	0.01	10.8	13.0	16.4	99.75
Среднее	52.7 ± ±1.1	5.56 ± ±1.06	0.05 ± ±0.03	11.3 ± ±0.12	13.1 ± ±0.06	16.8 ± ±0.22	99.51

Примечание. Ан. 1—19 — обр. 1, ан. 20—22 — обр. 2. Условия анализа: MS-46 «Камака», ускоряющее напряжение 20 кВ, ток образца 20—25 нА, диаметр зонда 1—2 мкм; эталоны — Ni, Co, Fe, As и Sb металлические, пирит и трюлит известного химического состава; пересчет относительных интенсивностей на концентрации выполнен методом последовательных приближений на ЭВМ М-222 по программе тип ZAF с массовыми коэффициентами ослабления К. Ф. Хейриха.

Величина отражения выше средней (табл. 1). Обе спектральные кривые (рис. 2) простые, аномального характера: отражение резко возрастает от длины волны в 400 нм до 550 нм, далее кривые становятся более пологими. Степень крутизны кривых неодинаковая, вследствие чего в области 600—650 нм они сближены. В разрезах, близких к изотропным, кривые пересекаются, в зависимости от разреза зерна точка пересечения может перемещаться от 450 до 600 нм. Вожминит оптически одноосный, положительный



одноосный, положительный

Рис. 2. Спектры отражения вожминита.

минерал (во всех разрезах неизменной является кривая меньшего показателя, соответствующая направлению колебаний обыкновенного луча).

Твердость микровдавливания вожминита (измерена на приборе ПМТ-5 с автоматизированным индентором при нагрузке в 100 гс) варьирует в зависимости от ориентировки зерен от 240—300 ($H_{cp} = 270 \pm 40$, $n=4$) кгс/мм² до 376—480 ($H_{cp} = 436 \pm 30$, $n=7$) кгс/мм².

Результаты расчета дебаеграммы вожминита

I	$d_{изм}$	$d_{расч}$	hkl	I	$d_{изм}$	$d_{расч}$	hkl
10	8.7	8.72	11 $\bar{2}$ 0	10 ш.	1.776	1.768	81 $\bar{9}$ 0
1	3.60	3.60	0002	< 1	1.747	1.745	5.5. $\bar{1}$ 0.0
9	3.07	3.06	30 $\bar{3}$ 2	1	1.707	1.704	54 $\bar{9}$ 2
2	3.02	3.02	50 $\bar{5}$ 0	< 1	1.687	1.685	6.4. $\bar{1}$ 0.1
2	2.92	2.91	33 $\bar{6}$ 0	2 р.	1.566	1.567	7.4. $\bar{1}$ 1.0
2	2.77	2.78	22 $\bar{4}$ 2	1	1.538	1.537	7.3. $\bar{1}$ 0.2
6	2.717	2.714	51 $\bar{6}$ 0	3	1.515	1.511	10.0. $\bar{1}$ 0.0
3	2.555	2.539	51 $\bar{6}$ 1	< 1	1.478	1.478	10.0. $\bar{1}$ 0.1
3	2.510	2.518	60 $\bar{6}$ 0	2 р.	1.451	1.449	9.1. $\bar{1}$ 0.2
3	2.421	2.419	52 $\bar{7}$ 0	3 р.	1.359	1.359	8.2. $\bar{1}$ 0.3
7	2.303	2.304	61 $\bar{7}$ 0	< 1	1.318	1.317	54 $\bar{9}$ 4
2	2.259	2.262	33 $\bar{6}$ 2	3 р.	1.256	1.256	7.6. $\bar{1}$ 3.2
9	2.111	2.102	22 $\bar{4}$ 2	3 р.	1.174	1.174	8.6. $\bar{1}$ 4.2
2	2.018	2.012	62 $\bar{8}$ 1	3 р.	1.161	1.162	13.0. $\bar{1}$ 3.0
2	1.996	2.001	71 $\bar{8}$ 0	4 р.	1.125	1.124	11.3. $\bar{1}$ 4.2
5	1.936	1.934	54 $\bar{9}$ 0	1 р.	1.097	1.097	12.2. $\bar{1}$ 4.2
4	1.902	1.903	63 $\bar{9}$ 0	1 р.	1.078	1.077	12.1. $\bar{1}$ 3.3
1	1.861	1.865	44 $\bar{8}$ 2	2 р.	1.066	1.065	11.5. $\bar{1}$ 6.0
5	1.823	1.827	80 $\bar{8}$ 1	2 р.	1.057	1.059	9.4. $\bar{1}$ 3.4
1	1.800	1.800	0004	1 р.	1.006	1.006	12.4. $\bar{1}$ 6.2

Примечание. Условия съемки: УРС-55, трубка БСВ-2, РКУ-114.6, FeK_{α} излучение, 45 кВ, 16 мА, экспозиция 12 ч.

При измерении твердости у вожминита проявляется ясная спайность в одном направлении: у углов отпечатка от алмазной пирамидки обычны системы параллельных трещин, в пределах одного зерна ориентированных в одном направлении.

Качественный микрозондовый анализ (рис. 3) показывает, что вожминит в пределах одного образца однороден по концентрации серы, мышьяка и сурьмы, но резко неоднороден по содержаниям кобальта и никеля. Поэтому количественный анализ его проводился в различных точках двух образцов так, чтобы интенсивности характеристических рентгеновских линий всех минералообразующих элементов измерялись по возможности в одной точке (в два этапа по 3 элементам одновременно, точность установки в анализируемую точку контролировалась по нагару и составляла ~ 1 мкм).

Результаты количественных анализов (табл. 2) также демонстрируют отмеченную выше особенность химического состава вожминита: содержание кобальта в различных зернах двух изученных образцов меняется в пределах 1.8—9.1 мас.%. Все анализы нового минерала рассчитываются на относительно простую эмпирическую формулу. Так, для среднего состава получаем $(Ni_{2.43}Co_{0.36})_{3.79}(As_{0.67}Sb_{0.35})_{1.02}S_{2.00}$ или после округления в общем виде $(Ni,Co)_4(As,Sb)S_2$.

Следует отметить, что по особенностям химического состава вожминит — сложный сульфид никеля, величина атомного отношения сумма металлов—сера значительно больше единицы (2.5), — как и ассоциирующие с ним недавно открытый сложный сульфид никеля тучекит $(Ni,Co)_6(Sb,As)_2S_8$ (Yust, Feather, 1978) и хизлевудит Ni_3S_2 , видимо, относятся к минеральной группе маухерита $Ni_{11}As_8$ (Костов, 1971), а по типу формулы (величине

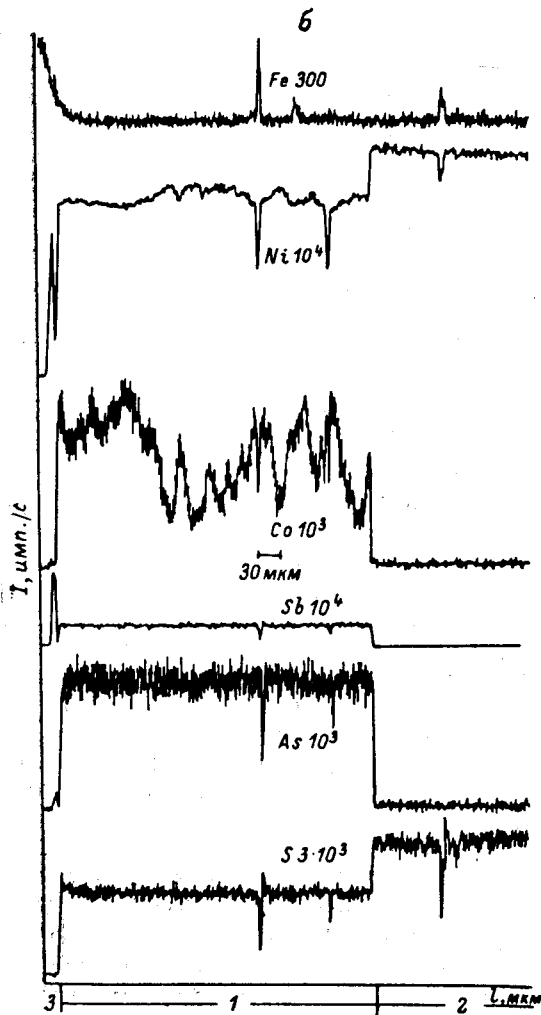
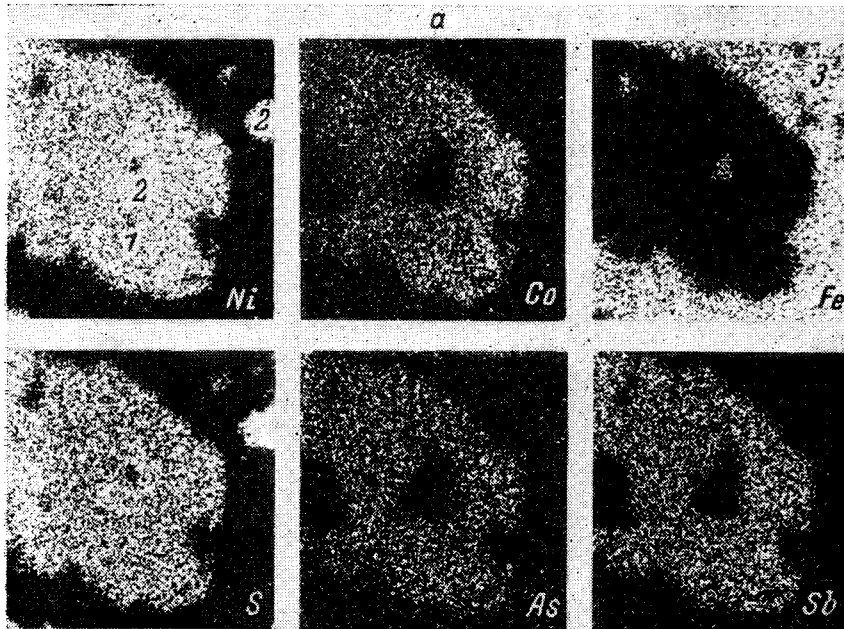


Рис. 3. Растровые картины (а, 150×150 мкм) и концентрационные кривые распределения минералообразующих элементов (б) в вожмините.

1 — вожминит, 2 — хизлеудит 3 — магнетит.

атомного отношения суммы металлов к сере) аналогичен шандиту $Ni_3Pb_2S_2$ и паркериту $Ni_3(Bi,Pb)_2S_2$.

Рентгеновские исследования вожминита из-за малого размера его мономинеральных агрегатов и невозможности отбора монокристалла ограничили съемкой его дебаеграмм из материала, отобранного с помощью ультразвукового диспергатора (Ковачев, Страшимиров, 1979). Применение этого метода с локальностью отбора проб в пределах первых десятков микрон обеспечило мономинеральность исследованных проб. Получены три рентгенограммы из трех мономинеральных участков вожминита. Все дебаеграммы оказались идентичными. Данные расчета одной из них приведены в табл. 3. Аналогов вожминита по дебаеграмме не обнаружено.

В связи с этим индцирование дебаеграмм нового минерала проводилось следующим образом: графическим методом (по графикам Бьестрема — Миркин, 1961) индцировались первые 8—10 линий рентгенограммы. Затем по определенным таким образом индексам на ЭВМ «Наири-2» рассчитывались параметры элементарной ячейки, производилось полное индцирование и последующее уточнение параметров до минимального расхождения измеренного и расчетного Θ . С учетом условий съемки максимальная погрешность измерений Θ не должна превышать 0.1° . При отклонении $\Theta_{\text{расч}}$ от $\Theta_{\text{изм}}$ на большую величину линия считалась неиндцирующей, и вариант индцирования исключался.

Удовлетворительная сходимость расчетных и измеренных величин d/n была достигнута при индцировании порошкограмм, исходя из предположения о гексагональной элементарной ячейке вожминита с параметрами $a_0 = 17.46 \pm 0.04 \text{ \AA}$ и $c_0 = 7.20 \pm 0.01 \text{ \AA}$, $V_0 = 1900.8 \text{ \AA}^3$. Расчетная рентгеновская плотность нового минерала при $Z=18$ равна 6.2 г/см^3 . Такой вариант индцирования рентгенограммы вожминита (табл. 3) подтверждается и отмеченными выше оптическими свойствами минерала, позволяющими отнести его к средней категории сингоний.

Анализ особенностей парагенезисов рудных минералов хизлеводитового оруденения Вожминского массива позволяет прийти к выводу о том, что это оруденение сформировалось на поздних стадиях процесса серпентинизации пород массива, причем источником никеля являлись главным образом первичные силикаты этих пород.

Полированный шлиф, содержащий вожминит, передан в Горный музей Ленинградского горного института.

Литература

Кайряк А. И., Гриб В. П., Болгурцев Н. Н. (1978). Никеленосность юго-западной части Балтийского щита. В кн.: Всесоюзный симпозиум: Петрологические основы формирования медно-никелевых месторождений и критерии их прогноза. (Тез. докл.). Петрозаводск.

Ковачев В., Страшимиров С. (1979). Новый метод и устройство для получения микропроб на рентгеноструктурный анализ. Геология и разведка, № 7.

Костов И. (1971). Минералогия. «Мир».

Миркин Л. И. (1961). Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. Физматгиз.

Попов М. Г., Богачев А. И., Морозов С. А., Кайряк А. И. (1976). Вожминский базит-ультрабазитовый массив. В кн.: Интрузивные базит-ультрабазитовые комплексы докембрия Карелии. «Наука».

Yust J., Feather C. E. (1978). Tučekite, a new antimony analogue of hauchecornite. Miner. Mag., v. 42, № 322.