

Л.А. КУДИНОВА, Д.А. ДОМИНИКОВСКАЯ, В.С. МАЛОВ

ОСОБЕННОСТИ МАГНЕТИТА НОВОСЕЛКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (Белорусский кристаллический массив)

Ильменит-магнетитовые руды Новоселковского массива пространственно и генетически связаны с мафитами и ультрамафитами Кореличской рудной зоны Белорусского массива. Зона приурочена к одноименной синклинальной структуре, которая протягивается на 50 км в северо-восточном направлении от г. Барановичи на юге до г. Молодечно на севере.

Новоселковский массив мафитов имеет пластообразно-линзовидную форму длиной 1250 м при ширине в центральной части 510 м. Внутреннее строение массива неоднородно. Центральная часть его сложена габбро и габбро-норитом с прослоями пироксенита и массивных ильменит-магнетитовых руд, периферическая — амфиболовым габбро и габбро-норитом, габбро-амфиболитом. Офитовая и пойкилоофитовая структура габбро и габбро-норита нередко затушевана наложенным процессом более позднего метаморфизма. Слабо измененные породы сложены гиперстеном, клинопироксеном диопсид-авггитового ряда ($f = 25-30\%$), плагиоклазом основного состава (лабрадор № 50—56), роговой обманкой; содержание этой роговой обманки значительно увеличивается в метаморфически преобразованных исходных породах и в амфиболовом габбро и габбро-амфиболитах. Обыкновенная роговая обманка ($f = 55-60\%$), возникающая за счет орто- и клинопироксена, является главным темноцветным минералом.

Ильменит и магнетит в габброидах Новоселковского массива образуют прожилки различной протяженности и мощности, линзообразные и пластообразные тела сплошных руд или рассредоточены в виде равномерной вкрапленности по всей массе породы. Поэтому ильменит-магнетитовые руды этого месторождения разделены на вкрапленные, гнездово-вкрапленные и сплошные. Преобладают вкрапленные руды, представляющие собой оруденелое габбро и габбро-норит, рудный материал в которых распределен относительно равномерно по всему объему. Гнездово-вкрапленные и сплошные руды, как правило, залегают среди вкрапленных в виде согласных пластообразных и линзовидных тел, размеры которых составляют от 7 до 90 м. Сплошные руды почти целиком сложены полнокристаллическим агрегатом ильменита и магнетита, среди которого отмечаются гнезда пустой породы, имеющие различные размеры и конфигурацию. Последние сложены амфиболом или агрегатом амфибола, пироксенов и плагиоклаза.

Главные рудообразующие минералы всех трех типов руд — ильменит и магнетит, содержание которых колеблется от нескольких до 15—20%, встречаются также массивные руды. Среди рудных минералов преобладает магнетит. Оба минерала образуют самостоятельные выделения или находятся в сростании друг с другом, образуя ильменит-магнетитовые агрегаты (рис. 1).

Ильменит встречается в самостоятельных зернах, изолированных или в сростании с магнетитом. Размеры зерен от $0,1 \times 0,2$ до $1,5 \times 2,5$ мм. Формы выделений изометричные и ксеноморфные. По границе с зернами магнетита образуется реакционная кайма, которая состоит из вновь сформированных ильменита и шпинели и остаточных зерен магнетита. В состав шпинели включаются унаследованные химические элементы, в частности алюминий, вхождение которого в решетку ильменита менее предпочтительно по сравнению с магнетитом.

Ильменит в рудах Новоселковского месторождения чаще всего однороден. В некоторых индивидах при травлении концентрированной соляной кислотой обнаруживаются редкие пластинки магнетита и гематита как продукты распада твердого раствора. В отдельных зернах встречаются выделения шпинели. Зерна ильменита трещиноваты, трещины заполнены обычно вторичными силикатными минералами. В каждом зерне видны двойниковые пластинки, причем большинство из них изогнуты и смещены от-

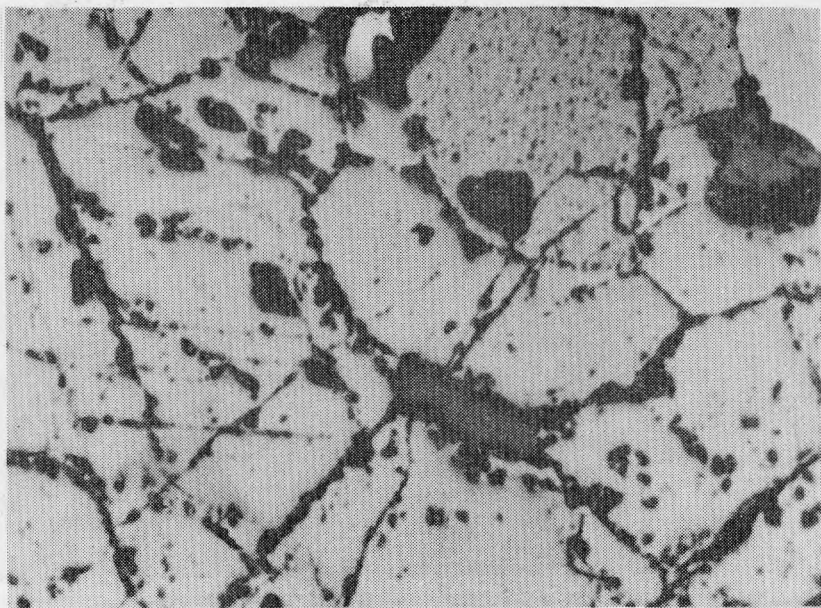


Рис. 1. Характер выделения рудных минералов в массивной руде. Полированный шлиф, увел. 60

носителю трещин. В рудных породах массива наблюдаются две разновидности ильменита, не включая структуры распада: полигональные изометричные зерна размером 0,3—0,5 мм, которые располагаются между зернами магнетита, и ильменит неправильной и округлой формы, располагающийся по границам зерен магнетита, в микротрещинах, размером от 0,01 до 0,12 × 0,05 мм. Образование второй разновидности ильменита связано, вероятно, с процессом перекристаллизации магнетита, в частности за счет преобразования ильменитовых пластинок в условиях метаморфизма, в результате которого происходит природное обогащение породы ильменитом.

Магнетит встречается в зернах неправильной или изометричной формы с одной или двумя хорошо развитыми гранями. Размер зерен этого минерала колеблется от 0,5 × 0,1 до 3 × 5 мм. Часто наблюдаются сростания магнетита с ильменитом. Границы сростаний прямолинейные, реже плавноизогнутые; причем границы двух зерен магнетита или двух зерен ильменита ровные, не измененные, а граница зерен магнетита с ильменитом обычно корродирована и вдоль нее развита цепочка мелких выделений шпинели. В магнетите руд Новоселковского месторождения обнаружены характерные структуры распада твердого раствора в виде закономерно ориентированных пластинчатых выделений ильменита и шпинели. По взаимному расположению их относительно друг друга видно, что шпинель выделялась позднее ильменита.

Ильменит как продукт распада твердого раствора встречается в небольшом количестве. Образует редкие узкие пластинки, ориентированные большей частью параллельно {111} магнетиту [8]. По границе ильменитовых пластинок с магнетитом наблюдаются мелкие зерна шпинели, иногда сульфидов, появление которых связано, вероятно, с замещением магнетита. Кроме указанных пластинок ильменита, проходящих обычно через все зерно, развиты более мелкие узкие пластинки, расположенные под углом 120° друг к другу и образующие характерную структуру распада твердого раствора (рис. 2,а).

Шпинель как продукт распада твердого раствора также встречается во всех зернах магнетита в значительном количестве. Большой частью образует пластинчатые и дискообразные выделения, располагающиеся в магнетите параллельно граням куба. Поэтому наблюдаемая сетка пластинчатых выделений шпинели не совпадает обычно с сеткой, образованной вростками ильменита. Наряду с пластинчатыми выделениями развиты мелкие, изометричные, большей частью округлые зернышки, которые либо беспоря-

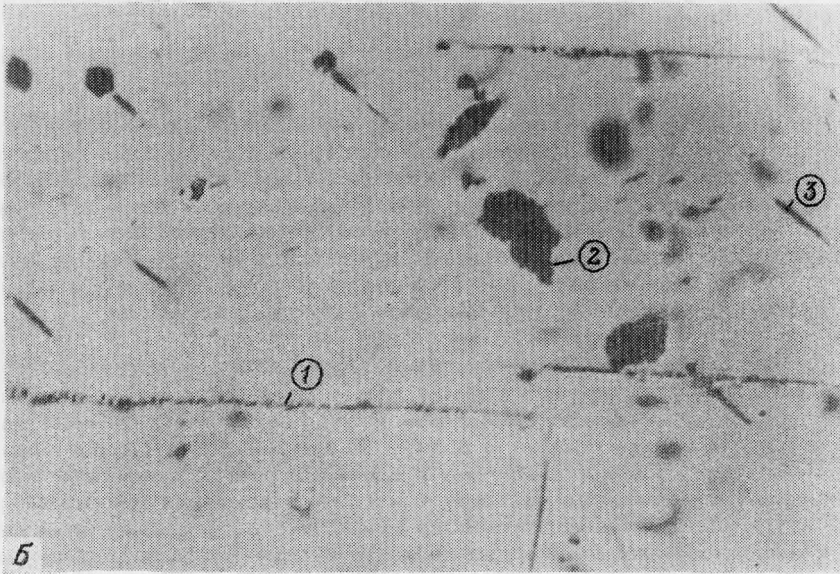
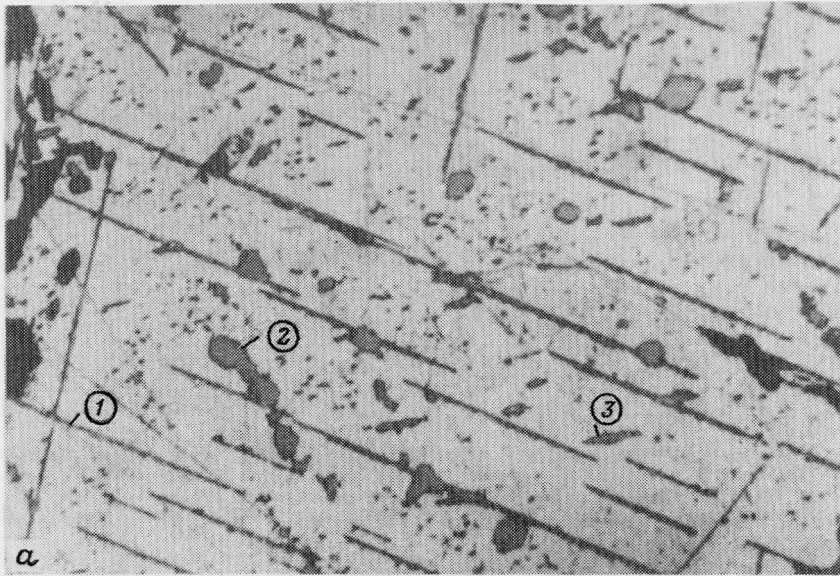


Рис. 2. Продукты распада твердого раствора

а — полированный шлиф, протравлен HCl, увел. 260; *б* — полированный шлиф, увел. 640; 1 — пластинки ильменита с выделениями шпинели на них; 2 — неправильные и изометричные зерна шпинели; 3 — мелкие дисковидные выделения шпинели

дочно рассеяны в магнетите, либо собираются в цепочки, расположенные между пластинками ильменита. В зависимости от сечения зерна встречаются звездообразные скелетные формы. Наиболее крупные выделения шпинели — зерна неправильной формы, которые развиваются без определенной закономерности в зернах магнетита. Вероятно, шпинель, как и ильменит, выделялась на протяжении длительного периода формирования руд и их преобразования под влиянием метаморфизма. Поэтому по морфологии шпинели можно разделить на три разновидности, отвечающие разным временным периодам ее выделения. К первой разновидности относятся наиболее крупные изометричные или неправильные зерна, расположенные беспорядочно в магнетите (см. рис. 2), ко второй — мелкие пластинчатые дисковидные выделения, образующие характерную

Таблица 1

Химический состав магнетитов (в мас.%)

Компоненты	1	2	3	4	5
SiO ₂	1,27	1,30	1,10	0,11	1,04
TiO ₂	1,35	1,53	0,63	0,22	11,82
Al ₂ O ₃	1,25	1,30	1,20	1,13	4,47
Fe ₂ O ₃	62,51	62,50	63,60	—	47,09
FeO	31,77	31,89	31,80	94,07	33,08
MnO	0,08	0,11	—	—	0,26
MgO	0,48	0,28	0,40	0,12	1,78
CaO	0,28	0,38	0,14	—	—
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	—	0,03	0,21
V ₂ O ₅	0,51	0,50	0,90	0,75	0,44
S	—	—	1,06	—	0,14
H ₂ O	0,58	0,30	—	—	—
С у м м а	100,09	100,10	100,83	96,43	100,33
—O-S	—	—	0,53	—	0,07
С у м м а	—	—	100,30	—	100,26
Данные пересчета анализов на минералы					
Магнетит	92,19	91,59	94,12	98,52	59,34
Ульвошпинель	3,37	2,79	1,28	—	1,82
Ильменит	0,61	1,69	0,59	0,44	28,29
Герцинит	1,46	2,21	2,04	—	1,71
Mg-шпинель	1,45	0,68	0,76	0,39	7,23
Кульсонит	0,66	0,66	1,16	0,65	0,49
Якобсит	0,26	0,38	—	—	0,75
Хромит	—	—	—	—	0,37

П р и м е ч а н и е. 1, 2, 3 — Новоселковское месторождение, 1, 2 — аналитик Г.А. Осолодкина, 3 — [6]; 4 — микрорентгеноспектральный анализ; при пересчете анализа Fe пересчитан в форме FeO; 5 — Цагинский массив, Кольский п-ов [5]. В 3 также P₂O₅ — 0,016, Co₂ — 0,05, K₂O — 0,10, Na₂O — 0,25, п.п.п. — 0,26.

для шпинели структуру распада твердого раствора (см. рис. 2). Кроме того, обычные скопления мельчайших зерен шпинели по краям ильменитовых пластинок и на границе зерен магнетита и ильменита. Появление этой шпинели связано с преобразованием породы, замещением магнетита и ильменита, которое происходит при более низкой температуре. Эта шпинель отнесена к третьей разновидности.

Химический состав магнетита (табл. 1) характеризуется низким содержанием титана (0,63—1,53% TiO₂) и высоким содержанием ванадия (0,50—0,90% V₂O₅). Редкие узкие пластинки ильменита в магнетите как продукт распада твердого раствора определяют малое количество TiO₂ в магнетите. Это резко отличает его от типичных титаномагнетитов с высоким содержанием TiO₂, характерных для докембрийских массивов мафитов и ультрамафитов (табл. 1, ан. 5).

Ильменит-магнетитовые руды Новоселковского месторождения испытали динамометаморфизм, оказавший влияние на состав этих руд. Повсеместно наблюдается амфиболитизация пород и развитие более позднего магнетита в виде микровкрапленности и сульфидов. Произошла перегруппировка рудного вещества, разрушение ильменитовых пластинок, их обособление в самостоятельные небольшие зерна, которые образовались на границе с зернами магнетита. Явление природного обогащения пород ильменитом развито широко и встречается на многих титаномагнетитовых, ильменит-магнетитовых месторождениях Кольского полуострова, Урала и др. Редки узкие пластинки ильменита, наблюдаемые в магнетите, вероятно, продукт более позднего распада твердого раствора при более низкой температуре, и поэтому по ним нельзя судить о температуре образования ильменит-магнетитовых руд в целом. В то же время магнетит Новоселковского месторождения обогащен ванадием, что дает основание отнести его к магматогенным магнетитам, образовавшимся при довольно высокой температуре. В данном случае ванадий является более характерным и стабильным индикатором, чем титан, так как первый сохраняется в магнетите, а второй выносятся, концентрируясь в ильмените.

Таблица 2

Химический состав шпинели (в мас.%)

Компоненты	Зерно		
	1	2	3
SiO ₂	0,15	0,15	0,12
TiO ₂	0,05	0,05	0,03
Al ₂ O ₃	63,50	63,24	65,48
Fe ₂ O ₃	3,58	3,77	1,50
FeO	21,56	21,52	21,48
MnO	0,44	0,48	0,02
MgO	12,50	12,44	12,70
V ₂ O ₅	0,16	0,08	0,05
Cr ₂ O ₃	—	—	0,01
ZnO ₂	0,60	0,67	0,43
CaO	—	0,03	—
С у м м а	102,54	102,43	101,82
Данные пересчета анализов на минералы			
Ильменит	0,15	0,09	—
Якобит	0,95	1,03	0,61
Франклинит	1,12	1,27	0,76
Магнезиоферрит	,171	2,92	0,15
Mg-шпинель	45,88	44,39	47,78
Герцинит	50,04	49,91	50,09
Прочие	0,15	0,39	0,61
С у м м а	100,0	100,0	100,0
Формула минерала:			
1. (Mg _{0,49} Fe _{0,47} ²⁺ Mn _{0,01} Zn _{0,01}) _{0,98} (Al _{1,95} Fe _{0,07} ³⁺) _{2,02} O ₄ .			
2. (Mg _{0,48} Fe _{0,47} ²⁺ Mn _{0,01} Zn _{0,01}) _{0,97} (Al _{1,94} Fe _{0,07} ³⁺) _{2,01} O ₄ .			
3. (Mg _{0,49} Fe _{0,46} ²⁺ Mn _{0,01} Zn _{0,01}) _{0,97} (Al _{1,99} Fe _{0,03} ³⁺) _{2,02} O ₄ .			

В магнетите установлено также небольшое количество алюминия и магния (1,20—1,30% Al₂O₃, 0,28—0,68% MgO), которые входят в состав разнообразных выделений шпинели, повсеместно встречающейся в зернах магнетита.

Для сравнения с химическим приведен микрорентгеноспектральный анализ магнетита Новоселковского месторождения, в котором установлены низкие содержания кремния, титана, магния. Такие окислы, как SiO₂, CaO, являются посторонними примесями, включениями силикатных минералов в магнетите, TiO₂, Al₂O₃, MgO, MnO входят в состав продуктов распада твердого раствора, о чем отмечалось выше. Высокое содержание Al₂O₃ в магнетите, установленное как химическим, так и микрозондовым анализом, связано, вероятно, с микровключениями герцинита. Ванадий (0,75 V₂O₅) входит в состав магнетита как изоморфная примесь, обычно замещая Fe³⁺.

Шпинель, как отмечалось выше, в магнетитах Новоселковского месторождения встречается в разнообразных формах выделения. Формирование ее происходило в изменяющихся физико-химических условиях, и поэтому она отличается не только формами выделения, но и химическим составом.

С помощью микрорентгеноспектрального анализатора "Сатеса MS-46" был определен химический состав шпинели (табл. 2). Измерялись зерна неправильной и изометричной формы, которые являются наиболее крупными выделениями этой минеральной фазы. На рис. 3 приведены картины сканирования в характеристическом излучении железа, титана, магния, алюминия, цинка в шпинелевой фазе магнетита. По содержанию алюминия, железа, магния и характеру распределения основных элементов между собой шпинель относится к переходной разности между герцинитом и плеонастом. Пересчет химических анализов на минералы показал близкие содержания шпинелевой и герцинитовой составляющих (соответственно 44—47 и 49—50%).

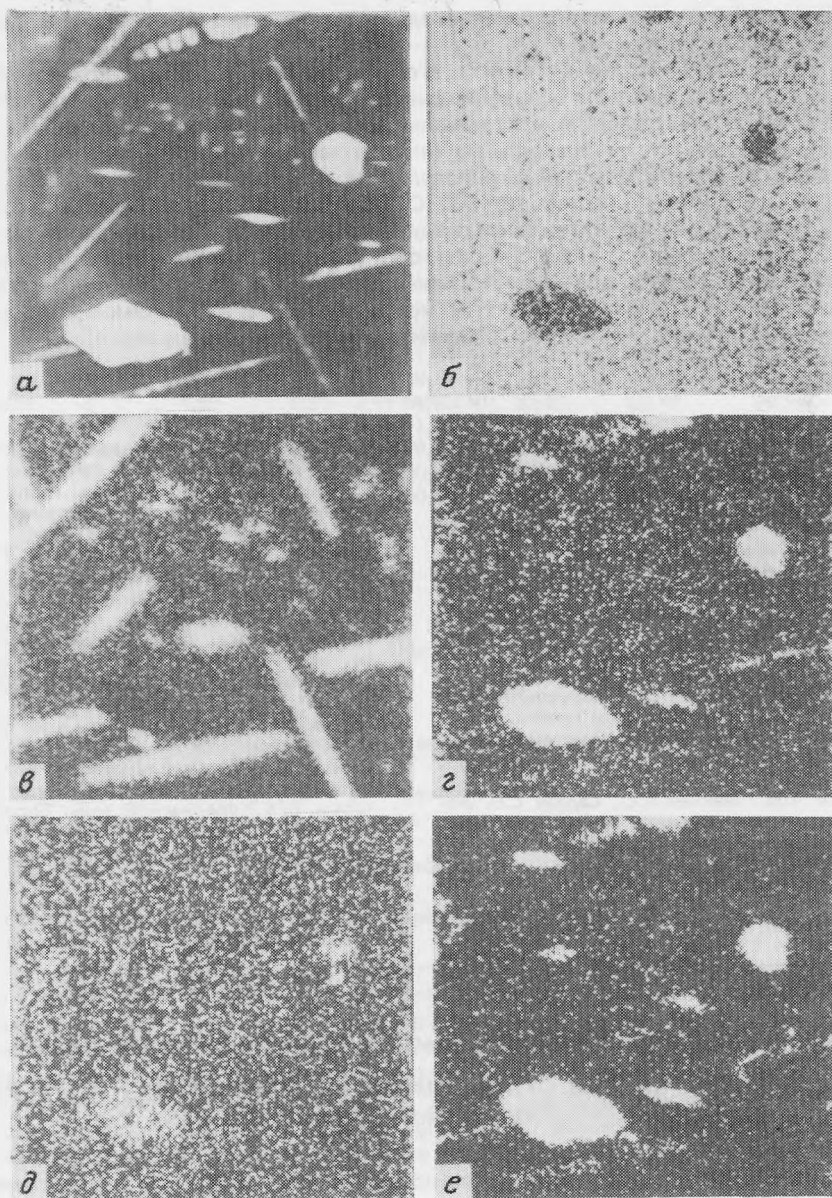


Рис. 3. Растровые картины участка полированного шлифа магнетита с ильменитом и шпинелью (100 X 100 мкм) в отраженных электронах (а) и в характеристическом рентгеновском излучении $Fe_{k'}$, $Ti_{k'}$, $Mg_{k'}$, $Zn_{k'}$, $Al_{k'}$ (б-е)

Более мелкие выделения шпинели, отнесенные нами ко второй разновидности, полностью исследовать не удалось. Рентгеновским микроанализатором установлено более низкое содержание алюминия и более высокое — железа. Цинк в данной минеральной фазе отсутствует. Следовательно, шпинель второй разновидности более железистая, ближе к герциниту. Можно предположить, что мелкие дисковидные образования шпинели — более поздние и более низкотемпературные фазы, чем более крупные изометричные зерна.

Особенности магнетита Новоселковского месторождения определяются условиями его формирования. Высказывалось несколько точек зрения на образование руд этого

месторождения: их рассматривали как позднемагматические [2, 3, 9], послемагматические [4], метаморфические [7].

Проведенное исследование магнетита, его минералогических особенностей, фазового и химического состава дает основание считать магнетит Новоселковского месторождения первично-магматическим образованием, который затем был подвергнут метаморфизму. В результате метаморфизма он был частично преобразован. Температура преобразования магнетитовых руд, определенная по магнетит-ильменитовому геотермометру, по данным [9], составляет 500°С. Образование руд происходило при более высокой температуре. Об этом свидетельствует наличие высокотемпературной шпинели как продукта распада твердого раствора, высокое содержание ванадия в магнетите, характерное только для магматогенных высокотемпературных магнетитов [1]. Низкое содержание титана определяется наложенным метаморфизмом, при котором произошло обособление магнетита и ильменита в самостоятельные зерна.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Борисенко Л.Ф., Щербина В.В.* Закономерности распределения скандия и ванадия в изверженных горных породах и слагающих их минералах. — В кн.: Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенезиса М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 9–16.
2. *Вахрушев В.А.* Ильменит-титаномагнетитовые руды кристаллического фундамента Белоруссии. — Геология руд. месторождений, 1981, № 2, с. 34–43.
3. *Доминиковская Д.А.* Типоморфизм и особенности формирования рудных минералов Кореличского комплекса Белорусского массива. — В кн.: Материалы по геологии кристаллического фундамента и осадочного чехла Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1981, с. 22–38.
4. *Дымкин А.М., Махнач А.С., Сераев С.В.* Железоруденение в условиях гранулитовой фации метаморфизма. Новосибирск: Наука, 1979. 184 с.
5. *Кавардин Г.И.* К минералогии сплывших титаномагнетитовых руд Цагинского месторождения. — В кн.: Вопросы геологии и минералогии Кольского полуострова. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960, с. 229–244.
6. *Махнач А.С., Доминиковский Г.Г., Пасюкевич В.И.* и др. Железорудные формации докембрия Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1974. 144 с.
7. *Островский В.Е.* О генезисе ильменит-магнетитовых руд Белорусского кристаллического массива. — Докл. АН СССР, 1972, т. 16, № 3, с. 252–255.
8. *Рамдор П.* Рудные минералы и их сростания. М.: Изд-во иностр. лит., 1962.
9. *Фоминых В.Г., Доминиковская Д.А.* О температурах формирования магнетит-ильменитовых руд Кореличской зоны Белорусского массива. — Докл. АН БССР, 1977, т. 21, № 8, с. 745–747.

УДК 549.352 (571.6)

А.Н. НЕКРАСОВА, М.М. БОТОВА, С.М. САНДОМИРСКАЯ, Д.И. ТРОИЦКИЙ

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СУЛЬФОАНТИМОНИТОВ СВИНЦА И СЕРЕБРА ИЗ ОЛОВО-СЕРЕБРЯНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ВОСТОКА СССР

Сульфоантимониты свинца и серебра, представленные большим числом минеральных видов с различными количественными соотношениями основных компонентов, относятся к числу довольно редких минералов. Наиболее сложный состав имеют минералы группы андорита, которые ряд исследователей рассматривают как упорядоченные соединения, образующие последовательный гомологический ряд продуктов распада твердого раствора [1, 4]. Среди минералов этой группы наиболее часто встречается андорит, для других же сульфосолей (физелиит, рамдорит, накасеит) известны лишь единичные находки. К этой же группе относится "минерал МК", впервые установленный У. Моёло [3] и не получивший пока названия. Приведенные в настоящей работе новые данные о сульфоантимонитах свинца и серебра — физелиите, "минерале МК", андорите с повышенным содержанием меди и диафорите — представляют интерес для понимания особенностей химического состава этой еще недостаточно изученной группы минералов. Находка же "минерала МК" в олово-серебряных рудах является второй находкой этого минерала в мире и первой — в СССР.

Минералы из группы свинцово-серебряных сульфосолей были установлены нами