

КАРЫСНЫЯ ВЫКАПНІ

УДК 553.31:550.812(476)

РУДНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ НОВОСЕЛКОВСКОГО ИЛЬМЕНИТ-МАГНЕТИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНЫЙ ФЛАНГ БЕЛОРУССКО-ПРИБАЛТИЙСКОГО ГРАНУЛИТОВОГО ПОЯСА)

М.П. Гуринович, А.А. Толкачикова, В.В. Солодилова

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
 Филиал «Институт геологии»
 ул. Купревича, 7, 220141, Минск, Беларусь
 E-mail: marfap88@mail.ru

Приводятся петрографическая и геохимическая характеристики рудных минералов Новоселковского месторождения ильменит-магнетитовых руд. Дано описание выявленных новых разновидностей сульфидных минералов – виоларита-зигенита и грейгита. С учетом минеральных равновесий выделены четыре стадии рудной минерализации.

ВВЕДЕНИЕ

Новоселковское ильменит-магнетитовое месторождение находится в центральной части Кореличской структурно-металлогенической зоны кристаллического фундамента, обрамляющей с востока Белорусско-Прибалтийский гранулитовый пояс. Все железорудные объекты, выявленные в этой зоне – месторождение Новоселковское, проявления: Долгиновское, Южное, Щорсы, Кольчицкое, Большепушское принадлежат к ильменит-магнетитовой формации магматогенного класса. Они генетически связаны с габброидами кореличского комплекса, выделенного Г.Г. Доминиковским в 1974 г. Породы комплекса представлены в основном габброноритами, габбро, лейкократовыми габбро, реже норитами, пироксенитами, габбро-амфиболитами и слагают небольшие массивы, линзовидные и пластовые тела, размером от 0,5 до 2–5, редко до 10 кв. км, залегающие среди метаморфических пород щучинской серии. Абсолютный возраст пород кореличского комплекса, полученный Pb-Pb кинетическим методом по циркону [7], оценивается в 2,0 млрд лет.

Новоселковское месторождение, вскрытое на глубинах 150–180 м от поверхности фундамента, имеет субизометрическую форму размером 2100×1500 м. Месторождение приурочено к

одноименному массиву габброидов, которое имеет сложное внутреннее строение. В его составе выделяются пироксениты, вебстериты, горнблендиты, нориты, метагаббронориты, габбронориты, амфиболовое габбро, габбро-амфиболиты и метадиабазы. На месторождении по текстурным особенностям выделяются три типа руд: вкрапленные (содержание рудных минералов до 10–20%), гнездово-вкрапленные (до 30–50%) и массивные (до 70%).

Для геохимической характеристики рудных минералов использованы результаты аналитических исследований, выполненных в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (Иркутск), ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург), Институте экспериментальной минералогии РАН (Черноголовка), а также данные химических и микрозондовых анализов, выполненные предыдущими исследователями [9].

ГЕОХИМИЯ РУДНЫХ МИНЕРАЛОВ

Рудная минерализация на Новоселковском месторождении характеризуется относительным однообразием состава и представлена преимущественно магнетитом и ильменитом. Кроме основных минералов в рудах присутствуют шпинель и сульфиды (пирит, пирротин, реже – халькопирит,

очень редко – пентландит, сфалерит и некоторые другие) (рис. 1–2). Количество рудных минералов, размерность их зерен и распределение в породе, а также текстуры и структуры пород являются крайне изменчивыми. Соотношение магнетит/ильменит изменяется от 2,7:1 до 1,7:1. Характерна почти постоянная примесь зеленой шпинели, часто апатита. Среди нерудных минералов наблюдаются пироксены, плагиоклаз, амфибол, биотит, хлорит, амфибол, скаполит, редко – гранат [6].

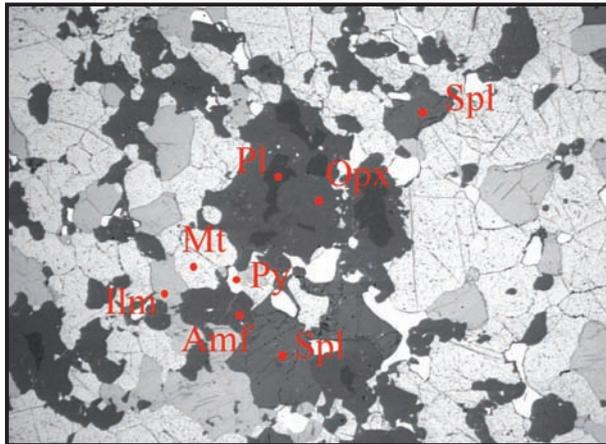


Рисунок 1 – Габбронорит рудный, скв. 8н – 594,5 м (размер фото 10×7,5 мм)

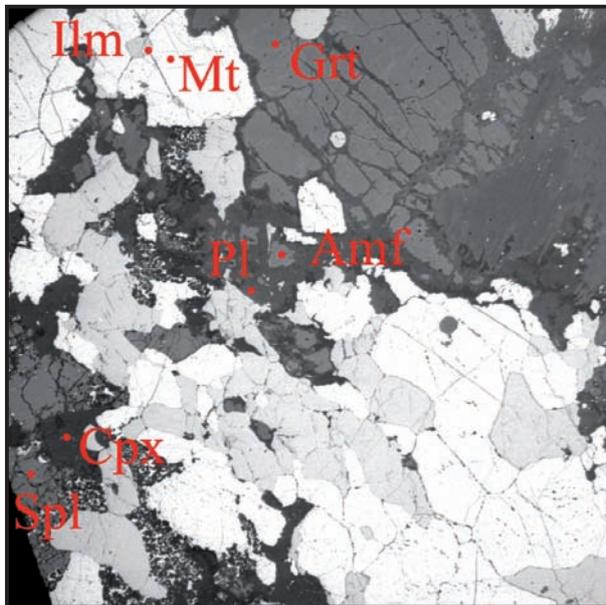


Рисунок 2 – Габбронорит рудный, скв. 8н – 604,8 м (размер фото 8×8 мм)

Магнетит. Содержание магнетита в рудах Новоселковского месторождения колеблется от 5% в бедных вкрапленных рудах до 50% в богатых массивных. Макроскопически магнетит имеет черный с серовато-стальным отливом цвет, в отраженном

свете – серый с коричневатым оттенком. Зерна его имеют различную форму: таблитчатую, трапециевидную, ксеноморфную, располагаются в интерстициях силикатных минералов и замещают их. Обычно размеры зерен колеблются от 0,1 мм до 1,0–1,2 мм, но иногда наблюдаются довольно крупные полигональные кристаллы размером до 2–3 мм или агрегатные скопления размером до 5 мм. Магнетит часто обнаруживает неоднородное строение и содержит многочисленные закономерно ориентированные пластинчатые включения ильменита шириной до 0,01 мм и шпинели. Магнетит замещается более поздними сульфидами.

В оруденелых метагабброидах магнетит содержится в количестве от нескольких зерен до 7–8%. Размеры зерен колеблются от < 0,01 до 0,3 мм во вкрапленниках и от 0,1 до 0,5 мм в агрегатах. Большинство зерен имеет неправильную, округлую или неправильно-таблитчатую форму.

Химический состав и кристаллохимические формулы магнетитов приведены в табл. 1. Колебания содержаний Fe_2O_3 в магнетитах составляют около 0,4%. Среднее содержание ванадия в магнетитах из массивных, гнездово-вкрапленных рудах и оруденелых габбро практически одинаково (около 1%), но снижается до 0,5% в бедных рудах. Максимальное содержание хрома в среднем до 0,6% отмечено в массивных рудах. Для микроэлементного состава магнетитов характерны повышенные содержания Ti, V, Zn и Mn (табл. 2).

Ильменит. В ильменит-магнетитовых рудах Новоселковского месторождения ильменит является вторым по значению после магнетита рудным минералом. Его содержание в рудах колеблется в широких пределах от 5 до 40%, редко более. В массивных рудах его содержание редко опускается ниже 14–15%, обычно составляя 25–30%; в гнездово-вкрапленных рудах содержание ильменита находится в пределах 5–10%, во вкрапленных – 3–7%.

Зерна ильменита в рудах имеют размеры от 0,02–0,20 до 1,0–1,2, редко до 1,5 мм. Характерна преимущественно неправильно-изометричная, несколько реже неправильно-таблитчатая форма зерен; в подчиненном количестве встречаются зерна овальной или таблитчатой формы. Вкрапленников сравнительно немного, преобладают агрегаты ильменита, находящиеся среди массы зерен магнетита; обычно агрегаты ильменита образованы несколькими зернами (до 15–20 зерен); размеры агрегатов достигают 2,5–2,8 мм (в редких случаях до 4,0 мм). Во вкрапленных рудах ильменит часто содержит мелкие включения силикатных минералов. Изредка в нем присутствуют субпараллельно

РУДНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ НОВОСЕЛКОВСКОГО ИЛЬМЕНИТ-МАГНЕТИТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ...

Таблица 1 – Средний химический состав (мас. %) и кристаллохимические формулы магнетитов и ильменитов

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	Формула
Магнетит									
<i>Массивная (богатая) руда, n = 36</i>									
0,26 (7)	0,18 (13)	0,50 (26)	0,95	0,57 (7)	65,51	32,75	0,06 (5)	0,26 (6)	$(\text{Fe}^{3+}_{1.95}\text{Ti}_{0.001}\text{V}_{0.02}\text{Cr}_{0.004}\text{Al}_{0.02}\text{Si}_{0.002})_{2.00}(\text{Fe}^{2+}_{1.00}\text{Mg}_{0.01})_{1.01}\text{O}_{4.00}$
<i>Гнездово-вкрапленная (средняя) руда, n = 16</i>									
-	-	-	1,06	-	65,89	32,95	-	-	$(\text{Fe}^{3+}_{1.96}\text{Ti}_{0.001}\text{V}_{0.03}\text{Cr}_{0.002}\text{Al}_{0.003})_{2.00}\text{Fe}^{2+}_{1.00}\text{O}_{4.00}$
<i>Вкрапленная (бедная) руда, n = 19</i>									
-	0,26 (2)	0,62 (12)	0,54 (14)	0,22 (7)	65,89	32,95	-	0,26 (2)	$(\text{Fe}^{3+}_{1.96}\text{Ti}_{0.01}\text{V}_{0.01}\text{Cr}_{0.005}\text{Al}_{0.02})_{2.00}(\text{Fe}^{2+}_{1.01}\text{Mg}_{0.01})_{1.02}\text{O}_{4.00}$
<i>Оруденелое габбро, n = 14</i>									
-	0,78 (3)	0,68 (5)	1,07 (7)	-	65,85	32,93	-	-	$(\text{Fe}^{3+}_{1.96}\text{Al}_{0.04})_{2.00}\text{Fe}^{2+}_{1.01}\text{O}_{4.00}$
Ильменит									
<i>Массивная руда, n = 30</i>									
0,41 (8)	50,03	0,20 (8)	0,82 (21)	0,55 (8)	-	46,58	1,41	1,40	$(\text{Fe}^{2+}_{0.93}\text{Mg}_{0.04}\text{Mn}_{0.03})_{1.00}(\text{Fe}^{3+}_{0.06}\text{Ti}_{0.96}\text{V}_{0.01}\text{Cr}_{0.003}\text{Al}_{0.002}\text{Si}_{0.002})_{1.03}\text{O}_3$
<i>Гнездово-вкрапленная руда, n = 9</i>									
-	51,25	-	0,68 (3)	-	-	45,50	1,47	1,42 (6)	$(\text{Fe}^{2+}_{0.92}\text{Mg}_{0.08}\text{Mn}_{0.03})_{1.00}(\text{Fe}^{3+}_{0.04}\text{Ti}_{0.98}\text{V}_{0.005}\text{Cr}_{0.005})_{1.03}\text{O}_3$
<i>Вкрапленная руда, n = 24</i>									
0,33 (6)	50,69	0,23 (5)	0,64 (11)	0,41 (2)	-	46,17	1,56	1,29	$(\text{Fe}^{2+}_{0.93}\text{Mg}_{0.04}\text{Mn}_{0.03})_{1.00}(\text{Fe}^{3+}_{0.05}\text{Ti}_{0.97}\text{V}_{0.005}\text{Cr}_{0.001}\text{Al}_{0.001}\text{Si}_{0.002})_{1.03}\text{O}_3$
<i>Оруденелое габбро, n = 8</i>									
-	49,09	-	-	-	-	48,15	1,86	0,89	$(\text{Fe}^{2+}_{0.93}\text{Mg}_{0.03}\text{Mn}_{0.04})_{1.00}(\text{Fe}^{3+}_{0.11}\text{Ti}_{0.95})_{1.06}\text{O}_3$

Примечание: Расчет формул проводился исходя из стандартного отношения в магнетите оксидов Fe₂O₃ и FeO равного 2:1. Трехвалентное железо в ильмените рассчитано как избыточное по отношению к двухвалентному в стандартной формуле ильменита (Fe, Mg, Mn) TiO₃. Проверка – содержание ниже чувствительности метода. В скобках – количество анализов, отличное от общего количества.

Таблица 2 – Содержание элементов-примесей в магнетитах в г/т

Элементы	Ст 4 – 387,0	Ст 4 – 394,5	Ст 4 – 444,3	Ст 4 – 480,3	Ст 18 – 299,5	Ст 18 – 312,8	Ст 18 – 330,0	Ст 18 – 360,0	Ст 19 – 327,0	Ст 19 – 386,0	Ст 19 – 715,0	Ст 49 – 227,0
Ti	2 000	5 000	10 000	6 000	6 600	6 000	1 000	1 200	500	800	10 000	2 000
V	800	1 000	200	1 000	6 000	2 000	800	4 800	600	400	3 300	800
Cr	40	150	50	10	36	60	10	900	-	20	150	10
Ni	10	10	20	6	84	30	30	210	6	6	135	5
Co	10	20	20	100	66	50	30	45	10	20	165	30
Cu	20	50	50	50	-	150	80	-	10	8	-	50
Pb	6	8	10	6	-	8	-	-	-	-	-	6
Zn	300	1 000	1 000	300	-	600	800	-	300	1 000	-	1 000
Mo	5	10	20	5	-	10	3	-	3	2	-	5
Ga	15	15	15	15	75	15	-	75	8	3	75	8
Sr	-	-	-	-	300	-	-	255	-	-	270	6
Ba	-	-	-	-	300	-	-	180	-	-	150	-
Mn	200	500	600	200	1 200	300	100	600	200	100	1 200	200

ориентированные пластинки магнетита толщиной 0,01–0,02 мм. В отличие от магнетита для ильменита не характерно замещение сульфидами.

В метагабброидах с бедной рудной минерализацией ильменит содержится в количестве от нескольких зерен до 4% или же полностью отсутствует. Размеры зерен колеблются от 0,03 до 0,30, реже до 0,50 мм во вкрапленниках и от 0,1 до 0,8, реже до 1,2 мм в агрегатах. Преобладают неправильные и неправильно-таблитчатые зерна, более редки таблитчатые зерна, редко наблюдаются субизометричные угловатые или овальные зерна. Часто встречаются небольшие ксеноморфные агрегаты с магнетитом, в которых обычно преобладает магнетит.

Химический состав ильменитов приведен в табл. 1. Среднее содержание оксида титана во всех типах руд практически одинаково и обычно находится на уровне около 50%, содержание ванадия закономерно понижается от массивных (в среднем 0,82%) к гнездово-вкрапленным (0,68%) и вкрапленным (0,64%) рудам. В количествах от 0,25 до 1,05% спорадически присутствует хром (чаще в массивных рудах). Характерно присутствие во всех пробах марганца (от 0,94 до 2,32%, в среднем 1,4–1,6%), а также в большинстве проб магния (от 0,83 до 1,75%, в среднем 1,3–1,4% MgO). Из числа более редких примесей можно отметить кремнезем, алюминий и кальций, присутствующие в количествах, не превышающих несколько десятых долей процента.

Микроэлементный состав ильменита характеризуется постоянным присутствием ванадия, кобальта, цинка, меди, скандия и олова (табл. 3). Ильменит как и магнетит является концентратом цинка, содержание которого достигает в некоторых пробах 1000 г/т, что почти в 10 раз превышает региональный кларк этого элемента в основных породах фундамента Беларуси [9]. Содержания ванадия и олова близки к кларковым (только в одном случае содержание олова превышает кларк в три раза). Кобальт обычно содержится в ильменитах в количествах в 5–15 раз ниже регионального кларка; содержание молибдена и меди колеблется вблизи кларка; скандий обычно содержится в количествах в 1,5–8,0 раз ниже кларка. Такие элементы, как хром, никель, свинец, галлий отмечены не во всех пробах и характеризуются низким содержанием.

Сульфиды. Сульфиды являются неизменным второстепенным рудным минералом магнетитовых руд Новоселковского месторождения. Содержание их варьируется в широких пределах

Таблица 3 – Содержание элементов-примесей в ильменитах в г/т

Элементы	Ст 4 – 480,3	Ст 18 – 356	Ст 19 – 327	Ст 19 – 715	Ст 49 – 275
V	150	200	300	300	150
Cr	30	–	–	–	20
Ni	–	–	–	–	5
Co	50	10	3	10	8
Sc	10	30	10	15	8
Cu	80	30	50	40	100
Pb	–	6	20	–	2
Zn	800	400	600	1 000	–
Mo	1,5	0,5	2	1	1
Sn	3	2	10	5	2
Ga	6	–	3	6	5

от редких зерен до 8–10%. В аксессуарных количествах сульфиды присутствуют во вмещающих руды габброидах и горнблендитах. Наиболее распространены пирит, пирротин и халькопирит; редко встречаются сульфиды цинка (сфалерит), никеля и кобальта (виоларит-зигенит), грейгит (?). Содержание всех наиболее распространенных в составе пород и руд месторождения сульфидов (то есть пирита, пирротина и халькопирита) имеет одноподобный тренд при переходе от слабо оруденных габброидов к бедным (вкрапленным), затем средним (гнездово-вкрапленным) и, наконец, к богатым (массивным) рудам. Для всех сульфидов характерно довольно высокое содержание в габброидах, затем максимально высокое – во вкрапленных рудах, потом постепенное снижение в гнездово-вкрапленных и, наконец, в массивных рудах. В массивных рудах содержание всех сульфидов или близко к содержанию во вмещающих породах, или заметно ниже по сравнению с последними.

Пирит имеет стандартный состав с небольшими вариациями содержания железа (0,93–1,06 ф.е.) (табл. 4) и практически лишен примесей. В единичных случаях в нем присутствуют никель (0,30–1,80%) и медь (0,40%). Пирит из руд сважины Ст 15 на глубине 204,3 м содержит молибден (5–8%), присутствующий, очевидно, в виде микровключений MoS.

Пирротин по химическому составу (см. табл. 4) близок к составу пирротина из основных магматических пород. Для него характерен некоторый дефицит железа по сравнению со стехиометрическими соотношениями в стандартной формуле пирротина – FeS. В большинстве случаев формула имеет вид Fe_{1-x}S, где x колеблется от 0 до

Таблица 4 – Химический состав (мас. %) и кристаллохимические формулы сульфидов

Руда, порода	Fe	S	Ni	Co	Cu	Mo	Pb	Ga	Zn	Формула
Пирит										
Массивная руда, n = 4	45,86	52,78	–	–	–	–	–	–	–	Fe _{1,00} S _{2,00}
То же, n = 1	45,53	53,26	1,22	–	–	–	–	–	–	Fe _{0,98} Ni _{0,025} S _{2,00}
–«, n = 1	43,75	54,02	1,83	–	0,40	–	–	–	–	Fe _{0,93} Ni _{0,04} Cu _{0,01} S _{2,00}
Гнездово-вкрапленная, n = 7	46,65	52,95	–	–	–	–	–	–	–	Fe _{1,01} S _{2,00}
Вкрапленная, n = 13	45,49	52,23	–	–	–	–	–	–	–	Fe _{1,00} S _{2,00}
То же, n = 1	45,85	53,46	0,29	–	0,40	–	–	–	–	Fe _{0,98} Ni _{0,01} Cu _{0,01} S _{2,00}
Габбро оруденелое, n = 3	44,11	48,88	–	–	–	6,94	–	–	–	Fe _{1,03} Mo _{0,09} S _{2,00}
Пирротин										
Массивная руда, n = 19	60,01	39,16	–	–	–	–	–	–	–	Fe _{0,89} S _{1,00}
То же, n = 6	60,26	38,90	0,29	–	–	–	–	–	–	Fe _{0,96} Ni _{0,006} S _{1,00}
Гнездово-вкрапленная, n = 9	59,84	39,66	–	–	–	–	–	–	–	Fe _{0,87} S _{1,00}
Вкрапленная, n = 2	59,68	40,29	–	–	–	–	–	–	–	Fe _{0,85} S _{1,00}
Габбро оруденелое, n = 4	59,64	40,36	–	–	–	–	–	–	–	Fe _{0,86} S _{1,00}
То же, n = 10	58,81	40,42	–	0,26	–	–	–	–	–	Fe _{0,83} Co _{0,003} S _{1,00}
Халькопирит										
Массивная руда, n = 15	30,95	35,03	–	–	34,02	–	–	–	–	Cu _{0,98} Fe _{1,02} S _{2,00}
Гнездово-вкрапленная, n = 12	30,48	35,09	–	–	34,42	–	–	–	–	Cu _{0,99} Fe _{1,01} S _{2,00}
Вкрапленная, n = 2	30,34	35,35	–	–	34,31	–	–	–	–	Cu _{0,98} Fe _{0,99} S _{2,00}
Габбро оруденелое, n = 2	30,05	35,64	–	–	34,13	–	–	–	–	Cu _{0,97} Fe _{0,83} S _{2,00}
Сфалерит										
Массивная руда, n = 2	3,34	32,15	–	–	–	–	–	–	64,50	Zn _{0,98} Fe _{0,06} S _{1,00}
То же, n = 1	6,46	32,17	–	0,33	–	–	–	–	60,61	Zn _{0,92} Fe _{0,12} Co _{0,01} S _{1,00}
–«, n = 1	2,47	32,70	–	–	–	–	2,27	1,42	60,77	Zn _{0,91} Fe _{0,04} Pb _{0,01} Ga _{0,02} S _{1,00}
Габбро оруденелое, n = 1	4,48	32,41	–	–	–	–	–	–	63,11	Zn _{0,95} Fe _{0,08} S _{1,00}
Виоларит-зигенит										
Массивная руда, n = 1	14,35	42,18	24,93	18,54	–	–	–	–	–	Co _{0,96} (Ni _{1,29} Fe _{0,78}) _{2,07} S _{4,00}
То же, n = 1	10,22	38,85	27,73	23,45	–	–	–	–	–	Co _{1,31} (Ni _{1,56} Fe _{0,60}) _{2,16} S _{4,00}
Грейзит (?)										
Массивная руда, n = 1	54,16	46,14	–	–	–	–	–	–	–	Fe _{2,70} S _{4,00}

0,125 [3]. В пирротине Новоселковского месторождения наблюдаются несколько более широкие вариации содержания железа – от 0,81 до 0,98 ф.е., не зависящие от минерального состава содержащих их пород и руд. По сравнению с пиритом пирротин содержит больше примесей, среди которых установлены никель (0,2–1,0%) и кобальт (0,20–0,33%). Считается, что пирротин образуется позже пирита в условиях понижающегося парциального давления серы.

Халькопирит встречается в виде мелких зерен, а также образует тонкие каемки вокруг зерен пирита и выполняет тончайшие трещины, рассекающие зерна магнетита и шпинели. Химический состав халькопирита (см. табл. 4) отвечает теоретическому (CuFeS₂) с небольшими отклонениями от стехиометрии и отсутствием каких-либо примесей. Отклонения выражаются в незначительных колебаниях содержания меди (0,91–1,07 ф.е.) и железа (0,97–1,19 ф.е.). Избыток железа

(до 1,10–1,19 ф.е.) наблюдается преимущественно в халькопирите из массивных руд, что может быть обусловлено присутствием в нем примеси пирита. Из 27 анализов халькопирита лишь в 1 выявлена примесь, представленная никелем (0,22%). В халькопирите из рудных горизонтов, кроме того, присутствует примесь Co, Pb, Ga.

Сфалерит определен микронзондовым анализом в оруденелых габброноритах, апогаббровых амфиболитах и массивных рудах. Особенностью его состава является постоянная примесь железа в количестве от 2,5 до 6,5% (см. табл. 4).

Виоларит-зигенит – сульфид Ni, Co и Fe из группы линнеита – встречается обычно в сульфидных месторождениях в виде мальчайших зернистых агрегатов, замещающих пирротин и пентландит. В Новоселковском месторождении он обнаружен в оруденелых апогаббровых амфиболитах и массивных рудах. Химический состав его (см. табл. 4) промежуточный между составом зи-

генита – CoNi_2S_4 и виоларита – FeNi_2S_4 . Характерно значительное обогащение кобальтом (до 18–23 мас. %) по сравнению с литературными данными [1]. Фигуративные точки химического состава минерала располагаются между теоретическими составами виоларита и зигенита (см. рис. 3). Состав виоларита-зигенита из рудного горизонта (скв. Ст 13, гл. 557,9 м) существенно отклоняется от стехиометрического состава, что выражается в избытке металлов – Ni и Co – и недостатке серы. Такие соотношения рассматриваются как признак гипергенной природы минерала, образующегося в результате замещения высококобальтового пентландита [5]. Однако пока среди проанализированных сульфидных минералов пентландит не был обнаружен.

Грейгит (?) обнаружен микронзондовым анализом в рудном горизонте (скв. Ст 13, гл. 224,0 м). Химический состав его (см. табл. 4) отличается от теоретического Fe_3S_4 недостатком железа (2,7 ф.е.) по отношению к сере, что позволяет предполагать кристаллизацию его в условиях повышенного потенциала серы.

СТАДИИ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Исследования различных частей рудоносного массива и наблюдения взаимоотношений между минералами позволили реконструировать последовательные стадии минерализации на месторождении. По результатам изучения минеральных равновесий, химического и микроэлементного состава минералов из вмещающих пород и руд Новоселковского месторождения выделены четыре стадии его формирования: магматическая, эпимагматическая, метаморфическая и гидротермальная.

В **магматическую** стадию образовались сингенетичные вкрапленные руды. Они формировались на поздней стадии кристаллизации высоко-железистых габброидов ранней фазы в верхней части магматического очага под воздействием летучих компонентов, особенно кислорода. Обогащенные железом и титаном расплавы, кристаллизуясь в интерстициях ранее образовавшихся плагиоклаза и пироксена, создавали сидеронитовые структуры, образуя вкрапленные и гнездово-вкрапленные руды. Температура этого процесса оценивается по экспериментальным данным в 700–750°C, а рудные минералы обычно представлены титаномagnetитом и шпинелью.

В **эпимагматическую** стадию под воздействием продолжавшегося некоторое время потока глубинных мантийных флюидов, то есть при участии

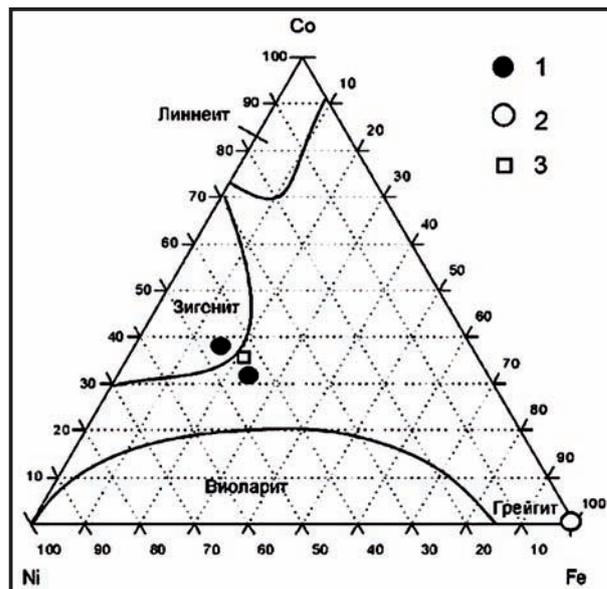


Рисунок 3 – Положение фигуративных точек сульфидов группы линнеита Новоселковского месторождения на диаграмме Ni – Co – Fe
1 – виоларит-зигенит; 2 – грейгит;
3 – теоретический состав виоларита-зигенита по [1]

«мантийного метасоматоза», формировались богатые рудные тела, так называемые «сплошные руды» с реликтами габброидов. По ильменит-магнетитовому геотермометру кристаллизация этой фазы происходила при температурах 550–650°C [4]. Разубоженные рудным веществом расплавы внедрялись и кристаллизовались в виде лейкократовых габбро.

В стадию **регионального метаморфизма** рудоносные габброиды испытали существенную метаморфическую перекристаллизацию, обусловившую распад первичных титаномagnetитов на ильменит и малотитанистый магнетит, что является благоприятным фактором при оценке месторождений, так как значительно облегчает процесс обогащения руд. Доля титаномagnetита в составе руд Новоселковского месторождения очень невелика. **Регрессивная стадия** регионального метаморфизма соответствовала высокотемпературной амфиболитовой фации. Она проявлена в интенсивной, но неравномерной амфиболитизации metabазитов. Рассчитанные А.А. Архиповой по амфибол-биотитовому и амфибол-плагиоклазовому термометрам температуры регрессивного преобразования габброидов составляют 490–630°C. В ослабленных тектонических зонах под воздействием постметаморфических флюидов наблюдается **метасоматическое** преобразование и обогащение габброидов и руд вследствие неустойчивости железа при кислотном выщелачивании. Оно перено-

сится растворами преимущественно в закисной форме, а окисление происходит непосредственно при кристаллизации магнетита с ассимиляцией воды [2]. Низкое содержание титана в магнетитах Новоселковского месторождения соответствует температурам кристаллизации при 340–450°C, что характерно, видимо, для конца регрессивной стадии метаморфизма.

В пределах рудных зон часто фиксируются долгоживущие ослабленные тектонические зоны, видимо, подновлявшиеся в периоды тектоно-магматической активизации, с которыми связаны брекчирование пород и руд, гранитоидные прожилки и признаки **гидротермальной деятельности**, в связи с которыми наблюдается актинолитизация и хлоритизация роговой обманки и альбитизация плагиоклаза. Благодаря этой деятельности формируются кварц-альбитовые породы или альбититы, как это наблюдается на других месторождениях [8]. Примесь акцессорного магнетита в таких породах не превышает 3–5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно предположить, что ильменит-магнетитовое и сульфидное оруденение имеют разный возраст, поскольку если тела ильменит-магнетитовых руд слагают горизонты, согласные с пластовыми телами метагабброидов, то сегрегации и скопления сульфидов обычно приурочены к несогласным с общей ориентировкой рудных тел зонками метасоматически измененных разностей метагабброидов (в строении которых участвуют преимущественно минералы группы хлорита или

хлорит-серпентина). Нередко наблюдается приуроченность сульфидов к часто встречающимся в породах трещинкам. Все эти признаки свидетельствуют о более позднем возрасте сульфидного оруденения.

В процессе исследования выявлены новые сульфидные минералы – виоларит-зигенит и грейгит, а также уточнен состав уже известных рудных минералов, таких как магнетит, ильменит, пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит; определены физические и химические характеристики, формулы всех рудных минералов.

Таким образом, благодаря новым исследованиям было установлено, что ильменит-магнетитовые руды Новоселковского месторождения имеют длительную историю формирования и полихронный генезис. С учетом изученных минеральных равновесий выделены четыре стадии формирования рудных тел на месторождении:

1. *Магматическая и эпимагматическая*, во время которой формировались титаномангнетит, ильменит, шпинель, пирротин, гиперстен, авгит, лабрадор-битовнит при температурах 600–750°C.

2. *Метаморфическая* – магнетит, ильменит, шпинель, пирротин, пирит, салит, роговая обманка, андезин, апатит, гранат при температурах 490–600°C.

3. *Метасоматическая* – магнетит, ильменит, пирит, пирротин, пентландит, сфалерит, халькопирит, андезин-олигоклаз, роговая обманка, биотит, апатит при температурах 340–450°C.

4. *Гидротермальная* – пирит, магнетит, халькопирит, халькозин, гематит, марказит, актинолит, хлорит, альбит при температурах < 400°C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боришанская, Б. С.** Минералы никеля и кобальта / Б. С. Боришанская, Р. А. Виноградова, Г. А. Крутов. – Москва : Изд-во МГУ, 1981. – С. 39–46.
2. **Бушмин, С. А.** Подвижность петрогенных элементов и химическая специализация метаморфических и метасоматических флюидов / С. А. Бушмин, П. Я. Азимов // *Материалы международного петрографического совещания «Петрография XXI века»*. – 2005. – Т. 4. – С. 64–66.
3. **Дир, У. А.** Породообразующие минералы / У. А. Дир, Р. Ф. Хауи, Дж. Зусман. – Москва : Мир, 1966. – Т. 4. – 482 с.
4. **Доминиковская, Д. А.** Петрология и проблемы генезиса ильменит-магнетитовых руд Белоруссии / Д. А. Доминиковская, В. Г. Фоминых. – Минск : Наука и техника, 1986. – 113 с.
5. **Мелекесцева, И. Ю.** Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах палеоостроводужных структур / И. Ю. Мелекесцева. – Москва : Наука, 2007. – 245 с.
6. **Минералогия** пород рудоносного Новоселковского массива / А. А. Толкачикова [и др.] // *Литасфера*. – 2015. – № 1 (42). – С. 45–63.
7. **Найденков, И. В.** Тектоническая история кристаллического фундамента Беларуси по данным геохронологических исследований / И. В. Найденков, А. А. Архипова, Ю. А. Деревянкин // *Литасфера*. – 1994. – № 1. – С. 94–104.

8. Павлов, А. Л. Физико-химическое моделирование процессов магматогенного магнетитового оруденения / А. Л. Павлов // Генетические модели эндогенных рудных месторождений. – Новосибирск : Наука, 1983. – Т. 1. – С. 93–99.

9. Химический состав породообразующих минералов кристаллического фундамента Беларуси / А. А. Архипова [и др.]. – Минск : ИГН НАН Беларуси, 1997. – 168 с.

Статья поступила в редакцию 15.10.2019

Рецензент В.Н. Бурмистров

**РУДНАЯ МІНЕРАЛОГІЯ НАВАСЁЛКАЎСКАГА
ІЛЬМЯНІТ-МАГНЕТЫТАВАГА РАДОВІШЧА
(УСХОДНІ ФЛАНГ БЕЛАРУСКА-ПРЫБАЛТЫЙСКАГА ГРАНУЛІТАВАГА ПОЯСУ)**

М.П. Гурыновіч, А.А. Талкачыкава, В.В. Саладзілава

Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»
Філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Купрэвіча, 7, 220141, Мінск, Беларусь
E-mail: marfapk88@mail.ru

Прыводзяцца петраграфічная і геахімічная характарыстыкі рудных мінералаў Навасёлкаўскага радовішча ільмянит-магнетытавых руд. Дадзена апісанне выяўленых новых разнавіднасцей сульфідных мінералаў – віаларыта-зігеніта і грэйгіта. З улікам мінеральных раўнаваг вылучаны чатыры стадыі руднай мінералізацыі.

**ORE MINERALIZATION OF THE NOVOSELKI ILMENIT-MAGNETITE DEPOSIT
(EAST OF THE BELORUSSIAN-BALTIC GRANULITE BELT)**

M. Hurynovich, A. Tolkachikova, V. Solodilova

State Enterprise «Research and Production Center for Geology»
Branch «Institute for Geology»
7, Kuprevicha str., 220141, Minsk, Belarus
E-mail: marfapk88@mail.ru

The article provides the petrographic and geochemical characteristic of ore minerals of the Novoselki deposit of ilmenit-magnetite ores. The description of the revealed new varieties of sulfide minerals (violarite-zigenite and greigite) is given. In view of mineral equilibria, four stages of ore mineralization are distinguished.