

УДК 549.5+552.321.4 (470.5)

© Д.чл. УАГН О.К.Иванов

**ВАРИАЦИИ СОСТАВА ТИТАНОМАГНЕТИТА ПО
РАЗРЕЗУ ОДНОГО ИЗ ПЛАСТОВ КОПАНСКОЙ
РАССЛОЕННОЙ ИНТРУЗИИ, Ю.УРАЛ**

Уральский институт минерального сырья, г.Екатеринбург

© Ivanov O.K.

**THE TITANOMAGNETITE COMPOSITION VARIATION
CROSS ONE LAYER FROM THE KOPANSKAJA LAYERED
INTRUSION, SOUTH URALS**

Автореферат

Изучен химический состав титаномагнетитов по разрезу одного титаномагнетитового пласта в южной части Копанской габбровой расслоенной интрузии. Мощность пласта 80 см. Вверх по разрезу пласта увеличивается содержание Fe^{3+} , Ti и Al и уменьшается содержание Fe^{2+} и Mg. Содержание Cr, Mn, Ni остается стабильным. Вариации состава связываются с гравитационным расслоением рудного расплава по ионной плотности элементов.

Библ. 13. Рис. 3. Табл. 1

Ключевые слова: титаномагнетит, габбро, расслоенная интрузия, Копань.

Кусинско-Копанская расслоенная габбровая интрузия содержит до 5 титаномагнетитовых пластов и зоны повышенной вкрапленности титаномагнетита и ильменита в габброидах. Характерной особенностью расслоенных интрузий являются существование петрографической (обычной и ритмической), минералогической и геохимической (скрытой) расслоенности массива по разрезу интрузии и внутри отдельных слоев (пластов). Скрытая слоистость в хромититовых пластах для Бушвельда и Сарановской интрузии изучена достаточно детально, тогда как для титаномагнетитовых слоев таких доказательств пока очень мало и они недостаточно полные [2-5, 12, 14]. Так, Дж. Уиллемз [13] со ссылкой на Молинэ, показал, что по разрезу титаномагнетитовых пластов Бушвельда, вверх по разрезу увеличивается

содержание TiO_2 от 12.2 – 13.9 до 20% и уменьшается содержание V_2O_5 от 2,2 до 0,4%.

Для Кусинской интрузии еще П.Г.Пантелеев в 1938 г. установил изменение состава рудных тел метаморфизованного Кусинского ильменит-магнетитового месторождения, которые он считал образовавшимися из единого магматического очага. При этом от рудного тела 1 (пласта О.И.) до рудного тела 4 установлено закономерное увеличение содержания железа от 47,4 до 54,5%, уменьшение содержания титана от 14,8 до 13,6% и увеличение содержания хрома от 0,42 до 1,07%, а также уменьшение отношений Ti / Fe и увеличение отношений Cr / Fe [12]. Однако тогда представление о расслоенных интрузиях еще не было разработано и, кроме того, он изучал сильно метаморфизованные руды.

Кусинско-Копанская расслоенная интрузия (пояс) на современном эрозионном срезе имеет длину около 70 км и ширину до 7 км, северо-западное простирание и юго-восточное падение под углом от 30 до 90° (Рис.1). Проведенное в последнее время бурение показало, что интрузия выполаживается к востоку и увеличивается в мощности до 700 м в северной части, с перспективой еще большего увеличения мощности к востоку [1, 7, 13].

Расслоенная интрузия в этой части состоит по А.А. Алексею и другим [1] снизу вверх из зоны габбро-норитов, мощностью около 300м, затем габброидной мощностью 600-750м и верхней диорит-гранитной зоны мощностью до 250м.

На западном контакте или в основании интрузии развиты доломиты, филлиты и кварциты саткинской, бакальской и зигальгинской свит, превращенные в зоне контакта в кальцифиры, скарны, флогопитовые, флогопит-тремолитовые, тремолит-доломитовые породы и фельдшпатизированные кварциты.

Сама расслоенная интрузия неравномерно метаморфизована. В северной части, в районе Кусинского месторождения габброиды метаморфизованы до амфиболитов и гранатовых амфиболитов, а титаномагнетитовые руды превращены в ильменит-магнетитовый агрегат. К югу степень метаморфизма постепенно уменьшается [8, 9, 13]. Наименее изменен метаморфическими процессами Копанский массив, сложенный на современном срезе нормальными лабрадоровыми габбро с подчинен-

ным развитием габбро-норитов, норитов, оливиновых норитов, ильменитовых габбро, горнблендитов, пироксеновых анортозитов, амфиболовых габбро-диоритов и габбро-пегматитов. Небольшое количество титаномагнетитовых пластов картируется в центральной части интрузии. Наблюдается слабая стратифицированность пород и руд, с которой совпадает полосчатость и трахитоидность.

Массивные титаномагнетитовые породы в Копанском массиве образуют пять пластов длиной по простиранию до 10 км и мощностью от десятков сантиметров до 2 м. Пласты сложные, неоднородные с резкими и постепенными границами с габброидами и содержат пропластки безрудных габбро. Пласты сложены массивным среднезернистым полиэдрическим титаномагнетитом с прослоями мелкоовоидных титаномагнетитовых пород. Мелковоидные титаномагнетиты состоят из мелких округлых овоидов диаметром до 1-2 см, равномерно расположенных в массивной титаномагнетитовой породе, сложенной полиэдрическими зернами титаномагнетита размером 2-4 мм. Овоиды сложены клинопироксеном с равномерной или уменьшающейся к центру овоида вкрапленностью изометрических зерен титаномагнетита размером до 1 мм. Овоидная текстура в титаномагнетитовой породе и размерности минералов совершенно идентичны таковым из хромититовых пластов Сарановской расчлененной интрузии, где они в наиболее мощных пластах достигают диаметра 10 см [5].

Титаномагнетит по В.С.Мясникову и О.В.Карповой [9, 10, 11] полностью сложен структурами распада с выделением разноориентированных пластинок ильменита, шпинели, ульвита и диаспора в магнетитовом субстрате. Структура распада от ультратонкой до тонкозернистой, местами с выделением по прожилкам изометрических зерен ильменита. Вместе с тем, форма и первичные размеры индивидов титаномагнетита сохраняются без изменения, что говорит об относительно слабом, по отношению к Кусинскому месторождению, метаморфизме, где аналогичные пласты титаномагнетита полностью замещены мелкозернистым ильменит-магнетитовым агрегатом.

Пробы отбирались в южной части Копанского массива в обнажении на склоне горы Бурилка, расположенной в 3 км к юго-западу от г. Макуриха. В обнажении наблюдались два

сближенных титаномагнетитовых пласта мощностью 45 и 35 сантиметров, разделенных прослоем рудного габбро (рис. 2). Пробы выпиливались из куска пласта, куски постадийно дробились и из них отбирался титаномагнетит двух генераций – полиэдрический и мелкозернистый из овоидов. Затем в тяжелых жидкостях получалась тяжелая фракция без магнитной сепарации. Тяжелая фракция растиралась в «яшмовой», в действительности, туфовой ступке из калканской яшмы и отдавалась на химический анализ в Химическую лабораторию ЦКЛ УГУ в г.Екатеринбурге. Результаты анализа приведены в таблице.

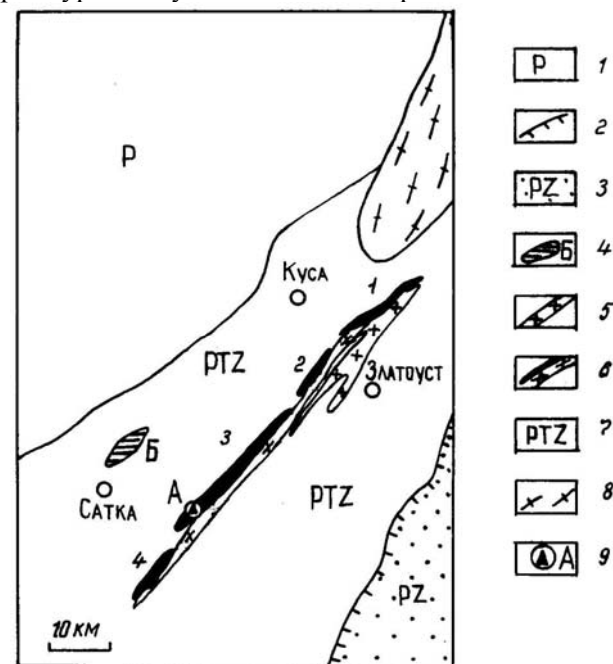


Рис.1. Схематическая карта положения Кусинско-Копанского пояса расслоенных габбровых интрузий.

Условные обозначения: 1 – палеозой западного склона Урала; 2 – Главный Уральский надвиг; 3 – Магнитогорская синклиналь; 4 – Бердяушский массив рапакиви; 5 – гранито-гнейсы Губенского массива; 6 – Кусинско-Копанский пояс, залитое-габбро, косые крестики диорит-гранитоидная зона, номера массивов: 1 – Кусинский, 2 – Медведевский, 3 – Копанский, 4 – Москальский (Маткальский); 7 – протерозойские отложения, 8 – Тараташский метаморфический комплекс; 9 – место изученного титаномагнетитового пласта.

Все анализы показывают присутствие кремнезема и, иногда, повышенные содержания магнезии. Было предположено, что часть кремнезема связана с растриванием титаномагнетита в ступке, часть – примесь силикатов. Отстройка диаграммы содержание кремнезема – содержание магнезии (рис. 3) показала, что частично между этими компонентами есть прямая зависимость при содержания кремнезема выше 1,0 %. Поэтому было принято, что при содержании кремнезема до 1 %, он представляет материал ступки, выше 1 % это примесь какого-то силиката магния. Поскольку, повышенных содержаний кальция и натрия в пробах нет, это должен быть минерал типа энстатита или клиноэнстатита. Исходя из этого, анализы были пересчитаны за вычетом примеси кремнезема и магниевое силиката и пересчитаны на 24 катиона (табл.). Из-за относительно небольшого количества вещества для мелких зерен титаномагнетита в овоидах возможен был лишь частичный анализ на TiO_2 , Cr_2O_3 и V_2O_5 .

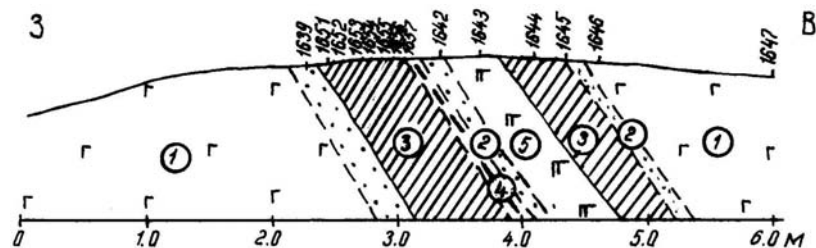


Рис.2. Изученные титаномагнетитовые пласты.

Условные обозначения: 1 – габбро; 2 – рудоносное габбро; 3 – массивная титаномагнетитовая порода; 4 – рудоносное габбро с трахитоидной текстурой; 5 – габбро-пегматит.

Анализы отражают состав первичного титаномагнетита до процессов распада в результате какого-то геологического события, скорее всего, наложенного метаморфизма связанного с гранитоидами.

Результаты пересчета были вынесены на диаграмму, отражающую строение титаномагнетитового пласта (рис. 4). При этом:

Для суммарного железа наблюдается тенденция более или менее стабильного содержания по разрезу с зигзагообраз-

ными колебаниями в нижнем пласте. Для Fe^{3+} четкая тенденция увеличения содержания вверх по разрезу. Для Fe^{2+} наблюдается четкая тенденция уменьшения содержания вверх по разрезу.

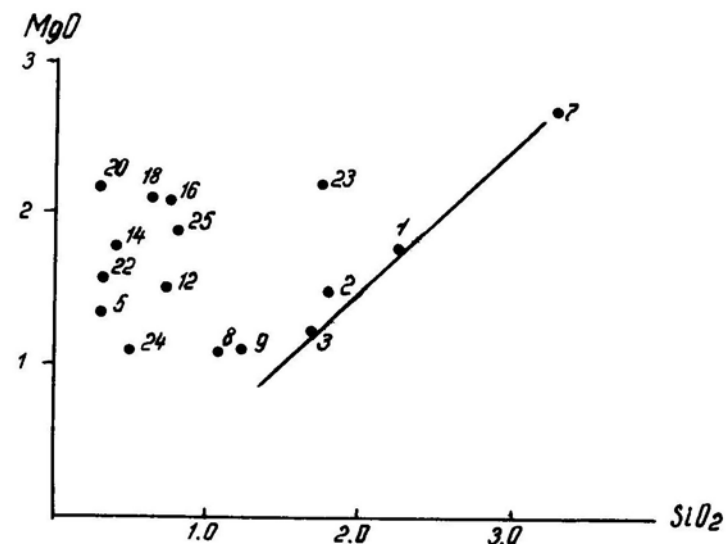


Рис. 3. Соотношение содержаний магнезии и кремнезема в пробах титаномагнетита.

Для титана по всей системе наблюдается сложная картина, тогда как для каждого из пропластков наблюдается увеличение содержаний титана в центральной части пропластков и уменьшение к верхним и нижним контактам.

Для магния, в целом, наблюдается заметное уменьшение содержания снизу вверх, тогда как для нижнего пропластка наблюдается увеличение содержания магния в центральной части и заметное уменьшение в нижнем и верхнем контактах.

Для алюминия наблюдается слабая тенденция увеличения содержания вверх по разрезу, но для нижнего пропластка характерно резкое зигзагообразное изменение содержаний.

Для марганца, никеля, хрома и ванадия четких вариаций содержания по разрезу не устанавливается.

Таким образом, в целом для двух сближенных титаномагнетитовых пластов наблюдаются достаточно четкие тенденции изменения состава титаномагнетита по разрезу с общим

Таблица 1

Химический состав титаномагнетита и его пересчеты										
	К-1639	К-1642а	К-1643	К-1644а	К-1644б	К-1645а	К-1645а	К-1645б	К-1646	К-1647
Компо- ненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Химический состав монофракций титаномагнетита, мас. %										
SiO ₂	2,25	1,80	1,70	-	0,30	-	3,30	1,10	1,20	-
TiO ₂	13,00	14,40	13,80	15,00	14,40	34,50	13,45	14,40	14,20	-
Al ₂ O ₃	1,30	2,85	2,40	-	2,40	-	2,40	2,50	2,50	-
Cr ₂ O ₃	0,34	0,42	0,42	0,25	0,47	0,15	0,27	0,33	0,33	-
Fe ₂ O ₃	48,15	50,54	47,00	-	49,17	-	51,59	50,90	51,74	-
FeO	29,10	27,60	30,15	-	28,70	-	24,60	27,40	26,90	-
MnO	0,24	0,20	0,27	-	0,24	-	0,20	0,20	0,18	-
NiO	0,03	0,02	0,03	-	0,04	-	0,02	0,03	0,03	-
CoO	<0,002	<0,02	<0,002	-	<0,002	-	<0,002	<0,002	<0,002	-
MgO	1,80	1,50	1,25	-	1,35	-	2,70	1,10	1,10	-
CaO	0,20	0,10	0,10	-	0,10	-	0,10	0,10	0,10	-
Na ₂ O	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,05	-
K ₂ O	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,05	-
H ₂ O	0,24	0,08	0,20	-	0,28	-	0,26	0,08	н.о.	-
V ₂ O ₅	0,86	0,82	0,90	0,62	0,80	0,52	0,68	0,75	0,80	-
Сумма	97,61	100,33	98,32	-	98,32	-	99,67	98,98	99,20	-
Пересчет на чистое вещество и на 100%										
TiO ₂	13,84	14,73	14,42	-	14,67	-	14,27	14,76	14,55	-
Al ₂ O ₃	1,38	2,92	2,51	-	2,45	-	2,55	2,56	2,56	-
Cr ₂ O ₃	0,36	0,43	0,44	-	0,48	-	0,29	0,34	0,34	-
Fe ₂ O ₃	51,27	51,70	49,11	-	50,68	-	54,74	52,18	53,02	-
FeO	30,83	28,13	31,41	-	29,24	-	25,81	28,08	27,53	-
MnO	0,26	0,20	0,28	-	0,24	-	0,21	0,20	0,18	-
NiO	0,03	0,02	0,03	-	0,04	-	0,02	0,03	0,03	-
MgO	1,11	1,03	0,87	-	1,38	-	1,39	1,07	0,94	-
V ₂ O ₅	0,92	0,84	0,94	-	0,82	-	0,72	0,77	0,84	-
Сумма	100,00	100,00	100,01	-	100,00	-	100,00	99,99	99,99	-
Пересчет на 24 катиона										
Ti	3,155	3,340	3,271	-	3,342	-	3,241	3,354	3,312	-
Al	0,495	1,038	0,892	-	0,873	-	0,907	0,912	0,913	-
Cr	0,085	0,104	0,106	-	0,115	-	0,065	0,082	0,082	-
Fe ³⁺	11,694	11,733	11,150	-	11,549	-	12,440	11,864	12,075	-
Fe ²⁺	7,813	7,095	7,926	-	7,266	-	6,518	7,095	6,969	-
Mn	0,066	0,052	0,072	-	0,063	-	0,054	0,052	0,047	-
Ni	0,008	0,006	0,008	-	0,009	-	0,006	0,007	0,007	-
Mg	0,502	0,465	0,388	-	0,619	-	0,626	0,480	0,425	-
V	0,182	0,167	0,186	-	0,163	-	0,142	0,153	0,168	-
Σ	24,000	24,000	23,999	-	23,999	-	23,999	23,999	23,998	-

Продолжение таблицы 1

	К-1651а	К-1651б	К-1652а	К-1652б	К-1653а	К-1653б	К-1655а	К-1655б	К-1656а	К-1656б
Компо- ненты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Химический состав монофракций титаномагнетита, мас. %										
SiO ₂	-	0,75	-	0,40	-	0,75	-	0,65	-	0,30
TiO ₂	13,80	14,10	12,00	14,70	15,00	14,80	13,20	14,70	14,50	14,40
Al ₂ O ₃	-	3,65	-	1,00	-	2,35	-	2,40	-	2,40
Cr ₂ O ₃	0,27	0,45	0,35	0,38	0,25	0,52	0,40	0,45	0,35	0,38
Fe ₂ O ₃	-	46,04	-	47,71	-	48,70	-	47,75	-	48,11
FeO	-	31,00	-	30,15	-	29,00	-	29,85	-	30,30
MnO	-	0,27	-	0,33	-	0,26	-	0,30	-	0,23
NiO	-	0,03	-	0,03	-	0,03	-	0,03	-	0,03
CoO	-	<0,002	-	<0,002	-	<0,002	-	<0,002	-	<0,002
MgO	-	1,50	-	1,80	-	2,10	-	2,10	-	2,20
CaO	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	<0,05	-	0,10
Na ₂ O	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05
K ₂ O	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05	-	<0,05
H ₂ O	-	0,02	-	0,20	-	0,10	-	0,12	-	0,02
V ₂ O ₅	0,65	0,85	0,75	0,70	0,62	0,76	0,85	0,75	0,75	0,82
Сумма	-	98,86	-	97,60	-	99,57	-	99,25	-	98,39
Пересчет на чистое вещество и на 100%										
TiO ₂	-	14,40	-	15,18	-	15,02	-	14,95	-	14,56
Al ₂ O ₃	-	3,73	-	1,03	-	2,39	-	2,44	-	2,43
Cr ₂ O ₃	-	0,46	-	0,39	-	0,53	-	0,46	-	0,38
Fe ₂ O ₃	-	47,03	-	49,29	-	49,43	-	48,56	-	48,66
FeO	-	31,67	-	31,15	-	29,44	-	30,36	-	30,65
MnO	-	0,28	-	0,34	-	0,26	-	0,31	-	0,23
NiO	-	0,03	-	0,03	-	0,03	-	0,03	-	0,03
MgO	-	1,53	-	1,86	-	2,13	-	2,14	-	2,26
V ₂ O ₅	-	0,87	-	0,72	-	0,77	-	0,76	-	0,83
Сумма	-	100,00	-	99,99	-	100,00	-	100,01	-	100,03
Пересчет на 24 катиона										
Ti	-	3,224	-	3,442	-	3,376	-	3,357	-	3,267
Al	-	1,308	-	0,367	-	0,842	-	0,859	-	0,854
Cr	-	0,110	-	0,094	-	0,124	-	0,109	-	0,091
Fe ³⁺	-	10,548	-	11,177	-	11,121	-	10,910	-	10,925
Fe ²⁺	-	7,881	-	7,850	-	7,358	-	7,579	-	7,645
Mn	-	0,069	-	0,088	-	0,067	-	0,077	-	0,058
Ni	-	0,007	-	0,007	-	0,007	-	0,007	-	0,007
Mg	-	0,680	-	0,834	-	0,950	-	0,950	-	0,992
V	-	0,172	-	0,142	-	0,154	-	0,150	-	0,163
Σ	-	23,999	-	24,001	-	23,999	-	23,998	-	24,002

Продолжение таблицы 1

	К-1657а	К-1657б	К-1658а	К-1658б
Компоненты	21	22	23	24
Химический состав монофракций титаномагнетита, мас. %				
SiO ₂		0,30	1,75	0,50
TiO ₂	14,00	13,60	13,80	13,60
Al ₂ O ₃		2,40	2,35	2,40
Cr ₂ O ₃	0,33	0,35	0,45	0,18
Fe ₂ O ₃		57,70	55,60	58,30
FeO		30,60	28,70	30,60
MnO		0,27	0,26	0,27
NiO		0,03	0,02	0,03
CoO		<0,002	<0,002	<0,002
MgO		1,60	2,20	1,10
CaO		<0,05	0,10	0,20
Na ₂ O		<0,05	<0,05	<0,05
K ₂ O		<0,05	<0,05	<0,05
H ₂ O		0,12	0,14	0,18
V ₂ O ₅	0,70	0,75	0,90	0,52
Сумма		98,65	98,47	99,02
Пересчет на чистое вещество и на 100%				
TiO ₂		13,87	14,41	13,87
Al ₂ O ₃		2,45	2,45	2,45
Cr ₂ O ₃		0,36	0,47	0,18
Fe ₂ O ₃		49,43	49,72	50,33
FeO		31,20	29,88	31,21
MnO		0,28	0,27	0,28
NiO		0,03	0,02	0,03
MgO		1,63	1,83	1,12
V ₂ O ₅		0,76	0,94	0,53
Сумма		100,01	99,99	100,00
Пересчет на 24 катиона				
Ti		3,125	3,247	3,141
Al		0,865	0,869	0,869
Cr		0,084	0,113	0,041
Fe ³⁺		11,149	11,209	11,402
Fe ²⁺		7,819	7,486	7,859
Mn		0,070	0,070	0,070
Ni		0,007	0,006	0,007
Mg		0,729	0,814	0,504
V		0,151	0,186	0,107
Σ		23,999	24,000	24,000

Примечание:

1 – аксессуарный титаномагнетит из рудного габбро в основании нижнего титаномагнетитового пропластка, обр. К-1639, 2 – мелкие зерна титаномагнетита из густовкрапленного рудного габбро с трахитоидным плагиокла-

Продолжение примечания к таблице 1:

зом, обр. К-1642а, 3 – титаномагнетит из габбро-пегматита, обр. К-1643, 4 – мелководная титаномагнетитовая порода из верхнего пропластка. Мелкие зерна титаномагнетита из овоидов, обр. К-1644а, 5 – тот же образец, крупные зерна из массивной полиэдрической титаномагнетитовой породы, обр. К-1644б, 6 – ильменит из овоидной титаномагнетитовой породы, обр. К-1645а, 7 – то же, мелкие зерна титаномагнетита из овоидов, обр. К-1645а, 8 – крупные зерна из массивной полиэдрической титаномагнетитовой породы, обр. К-1645б, 9 – титаномагнетит из средне и густовкрапленного рудного габбро с трахитоидной текстурой, обр. К-1646, 10–11 – мелкие зерна титаномагнетита из массивной породы на расстоянии 0-5см от основания нижнего пропластка, обр.К-1651а, 12 – тот же образец, крупные зерна из массивной титаномагнетитовой породы, обр. К-1651б, 13 – мелкие зерна титаномагнетита из массивной титаномагнетитовой породы в 5-15 см от основания нижнего пропластка, обр.К-1652а, 14 - крупные зерна из того же образца, обр. К-1652б, 15 – мелкие зерна титаномагнетита из массивной титаномагнетитовой породы в 15-20 см от основания нижнего пропластка, обр. К-1653а, 16 - крупные зерна титаномагнетита из того же образца, обр. К-1653б, 17 – мелкие зерна титаномагнетита из массивного титаномагнетита отобранного в 25-32 см от основания нижнего пропластка, обр. К- 1655а, 18 – крупные зерна из того же образца, обр. К-1655б, 19 – мелкие зерна титаномагнетита из массивного полиэдрического титаномагнетита отобранного на расстоянии 32-38 см от подошвы нижнего пропластка, обр.К- 1656а, 20 – крупные зерна титаномагнетита из того же места, обр. К-1656б, 21 – мелкие зерна титаномагнетита из массивной руды, отобранные на расстоянии 38-45 см от основания нижнего пропластка. Обр. К-1657а, 22 – крупные зерна титаномагнетита отобранные там же, обр. К-1657б, 23 – прослой с пойкилитовой вкрапленностью титаномагнетита в пироксене в 50м на юг по отрогу, обр. К-1658а, 24 – крупные зерна титаномагнетита из того же образца, обр. К- 1658б.

увеличением содержания трехвалентного железа, титана и алюминия и уменьшением, в том же направлении, содержания магния и двухвалентного железа. Это подтверждает геологические выводы о расслоенной природе интрузии и ортомагматическом происхождении титаномагнетитовых пластов. Вместе с тем, вариации состава титаномагнетита гораздо менее четкие, чем для мощных хромититовых пластов и всей их совокупности в Сарановской расслоенной интрузии. Скорее всего, это связано с меньшей мощностью титаномагнетитовых пластов и сложным строением сближенных пропластков.

Причина вариаций состава титаномагнетита связывается, как и для хромититовых пластов с гравитационным расслоением вещества пласта в зависимости от ионной плотности катионов [4, 5].

Литература

1. **Алексеев А.А., Г.В. Алексеева, С.Г. Ковалев.** Кусинско-Копанский расслоенный интрузивный комплекс, новые данные, представления и перспективы. Уфа. ИГ БНЦ. 1992. 20с.

2. **Иванов О.К.** Титаномагнетитовые концентрации в дифференцированных базальтоидных интрузиях// Минералогия и геохимия железорудных месторождений Урала. 1974, С.81-84. (Тр. ИГИГ УНЦ АН СССР. Вып....).

3. **Иванов О.К.** Зависимость состава шпинелидов базальтоидных интрузий от их мощности и степени дифференцированности// Минералогия и геохимия гипербазитов Урала. Минералогический сборник № 13. Свердловск. УНЦ АН СССР. 1977, С.53-57. (Труды ИГИГ УНЦ АН СССР. Вып. 125.).

4. **Иванов О.К.** Изменение состава хромшпинелидов по разрезу хромититовых пластов стратиформных месторождений// Минералогия и геохимия гипербазитов Урала. Минералогический сборник № 13. Свердловск. УНЦ АН СССР. 1977, С.53-57. (Труды ИГИГ УНЦ АН СССР. Вып. 125.).

5. **Иванов О.К.** Расслоенные хромитонесные ультрамафиты Урала. М.: Наука. 1990. 243с.

6. **Карпова О.В.** Титаномагнетитовые руды Южного Урала. М.: Наука. 1974. 152с.

7. **Кравцова А.И.** Геологическое строение и история формирования Копанского габбрового массива на Южном Урала// Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Т.1. Свердловск. УФАН АН СССР. 1963. С.467-480.

8. **Мальшев И.И., П.Г. Пантелеев, А.А. Пэк.** Титаномагнетитовые месторождения Урала. Л.: АН СССР. 1934. 272с.

9. **Мясников В.С.** Некоторые особенности месторождений титаномагнетитовых руд Южного Урала и проявления в них метаморфизма// Геология рудных м-ний. 1959. №2. С....

10. **Мясников В.С., О.В. Карпова.** Состав и условия локализации титаномагнетитов Копанского габбрового массива// Минералогия базитов в связи с вопросами петрогенезиса. М.: Наука. 1970. С.205-218.

11. **Мясников В.С., О.В. Карпова.** К минералогии силикатных и рудных минералов Копанского габбрового массива// Там же . С. 124-133.

12. **Пантелеев П.Г.** К вопросу о геохимии Ti, V, Cr в титаномагнетитах Урала// Изв. АН СССР. 1938. С. 449-464.

13. **Штейнберг Д.С., А.И. Кравцова, А.С. Варлаков.** Основные черты строения Кусинской габбровой интрузии и залегающих в ней рудных месторождений// Тр. ГГИ УФАН АН СССР. 1959. Вып 40. С. 13-40.

14. **Уиллемз Дж.** Ванадистые магнетитовые руды Бушвельдского комплекса// Магматические рудные месторождения. М.: Недра. 1973. С.129-150.

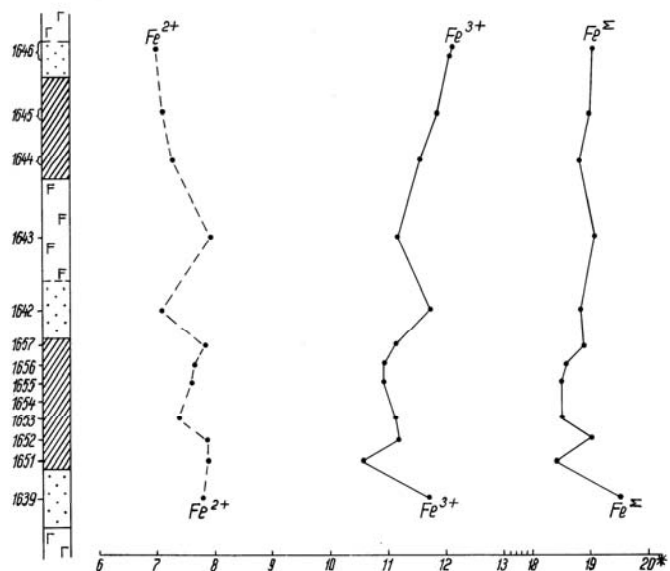


Рис.4а. Вариации состава титаномагнетита по разрезу титаномагнетитового пласта Копанской расслоенной интрузии. Объяснения в тексте. * - Формульные единицы.

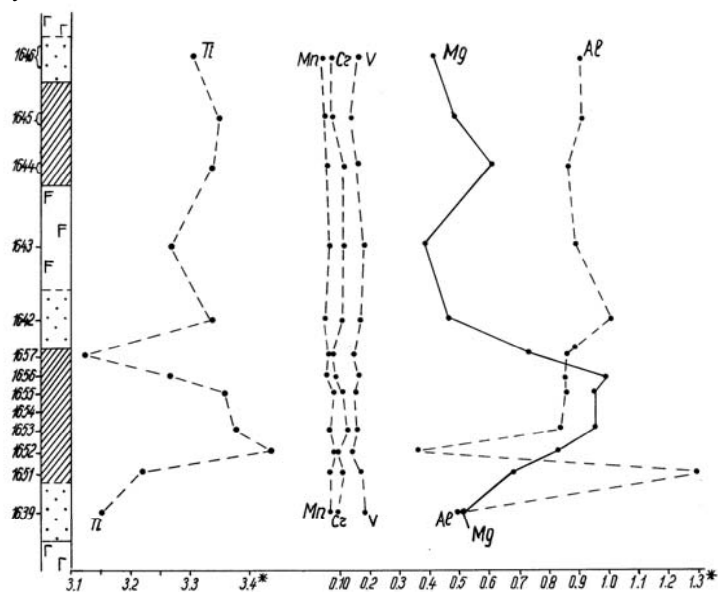


Рис.4б. См. рисунок 4а.