

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ ЖЕЛЕЗА, ТИТАНА И ВАНАДИЯ В МАГНЕТИТОВЫХ РУДАХ И ВМЕЩАЮЩИХ ГАББРОИДАХ СВАРАНЦСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Сваранцское железорудное месторождение магнетитовых руд пространственно и генетически тесно связано с ультраосновными—основными породами Арамаздского интрузивного массива и имеет собственно магматическое происхождение [3].

Нами устанавливается трехфазное образование интрузива, формирование которого протекало в следующие последовательные фазы внедрения с изменением состава пород в направлении от основного к кислому:

- а) первая фаза — породы ультраосновного—основного составов;
- б) вторая фаза — породы монцонитового ряда;
- в) третья фаза — умеренно-кислые гранитоиды кварцево-диоритового и гранодиоритового составов.

Так как магнетитовое оруденение непосредственно связано с породами первой фазы внедрения, то ниже коротко остановимся только на их характеристике.

Первая интрузивная фаза внедрения магмы ультраосновного—основного составов характеризуется глубокой дифференциацией и образованием двух субфаз: ранней—основной и поздней—ультраосновной.

Породы основного ряда представлены оливинowymi габбро, троктолитами, габбро-диабазами, биотитовыми и амфиболизированными габбро, анортозитами, а ультраосновные породы—главным образом магнетитовыми оливинитами и магнетитовыми перидотитами и пироксенитами.

Все ультраосновные и основные породы в пределах Арамаздского массива составляют полосу северо-западного и близширотного направления, шириною, в среднем, 1,5 км и длиною около 6 км.

Как закономерное явление все ультраосновные породы пространственно приурочены к основным породам и морфологически представлены шширами, гнездами, линзочками, жилами, дайкообразными телами. Между прочим, надо отметить, что на Сваранцском месторождении магнетитовые руды представляют собой ультраосновные породы — магне-

титовые оливиниты, богатые магнетитом, ильменомagnetитом*, титаномagnetитом, ильменитом. Рудные выделения представлены в основном редкой и густой вкрапленностью, а также жилами, неправильными полосами, струйками, линзочками, гнездами и шлировыми образованиями.

Исходя из количественного соотношения рудных вкрапленников и нерудных минералов, текстурно-структурных особенностей и среднего содержания железа, титана и ванадия магнетитовые оливиниты (руды) нами делятся на три типа: а) бедная редковкрапленная, б) средняя густовкрапленная и в) богатая массивная магнетитовая руды.

В структурном отношении редко- и густовкрапленные магнетитовые руды характеризуются сидеронитовой, а массивные руды — панидиоморфнозернистой и гипидиоморфнозернистой структурами. Генетическое значение сидеронитовой структуры заключается в том, что с помощью нее хорошо устанавливаются поздние выделения вышеперечисленных рудных минералов по отношению к нерудным — оливину, пироксену и плагиоклазу.

На Сваранцком месторождении рудообразование является заключительным этапом породообразовательного процесса первой фазы внедрения магмы ультраосновного — основного состава Арамаздского массива. Так как магнетитовые руды и вмещающие магнетитовые габбро в отношении минералого-геохимических особенностей имеют много общего и генетически относятся к одной и той же фазе внедрения, то геохимия железа, титана и ванадия в обоих типах руд дается совместно.

Приведенные геохимические особенности железа, титана и ванадия рудных минералов по отношению к нерудным — оливину*, пироксену и плагиоклазу.

Для установления закономерности распределения железа, титана и ванадия в магнетитовых рудах и рудовмещающих магнетитовых габбро ниже рассматриваются их геохимические особенности: типы химического соединения, характер миграции, степень концентрации или рассеяния и физико-химические условия их образования.

Железо является самым характерным, широко распространенным и ведущим элементом магнетитовых руд и вмещающих габброидов Сваранцкого месторождения. Высокая концентрация его установлена в поздних ультраосновных рудных дифференциатах — магнетитовых оливинитах, перидотитах, пироксенитах и сравнительно низкая — в рудовмещающих магнетитовых троктолитах и оливиновых габбро. В этих образованиях железо концентрируется главным образом в виде окисного соединения — магнетита, ильменомagnetита и титаномagnetита. Небольшая часть железа входит в состав силикатов — оливина и пироксена.

На Сваранцком месторождении по генетическому принципу следует различать три разновидности магнетита: сегрегационный, позднематический и постмагматический — вторичный.

* Ильменомagnetитом нами называется магнетит с пластинчатыми выделениями ильменита, являющийся результатом распада твердого раствора, а титаномagnetитом — магнетит с изоморфной примесью TiO_2 до 3,5—4,0%.

Сегрегационный магнетит принадлежит к начальной стадии рудосбразования и представлен главным образом вкрапленным типом оруденения среди рудовмещающих оливиновых габбро и троктолитов. В последних, как правило, сегрегационный магнетит приурочен к оливину и пироксену. Часто с ними ассоциируются серпентин, биотит и флогопит.

Позднемагматический магнетит приурочен к ультраосновным породам, среди которых оруденение представлено вышеотмеченными морфологическими формами.

По А. П. Виноградову [1], ультраосновные породы содержат 9,85% Fe, а основные—8,56% Fe. Как видно из результатов химических анализов, ультраосновные дифференциаты—бедные редковкрапленные и средние густовкрапленные магнетитовые оливиниты Сваранского месторождения, в два-три раза богаче железом по сравнению с аналогичными породами вообще. Так, содержание железа в бедных редковкрапленных магнетитовых оливинитах составляет, в среднем, 18,0—22,0%, в средних густовкрапленных магнетитовых оливинитах—24,0—30,0%, а в массивных магнетитовых рудах—38,0—55,0%.

По данным химических анализов вмещающие габброиды содержат до 12,0—13,0% Fe.

Железо во всех типах магнетитовых руд и вмещающих магнетитовых габбро распределено в определенной закономерности, причем содержание его постепенно возрастает по направлению от вмещающих стратифицированных габброидов, бедных редковкрапленных, средних густовкрапленных магнетитовых оливинитов вплоть до богатых массивных магнетитовых руд. Однако установлено, что вмещающие магнетитовые габбро и позднемагматические магнетитовые оливиниты по времени образования довольно четко различаются. Различия во времени образования вмещающих габбро и позднемагматических магнетитовых руд не могли не отразиться на их химическом составе, степени концентрации железа и его спутников.

Для выяснения физико-химических условий концентрации железа и образования магнетита на каждом отдельном этапе и стадии породо- и рудообразования ультраосновной-основной магмы Арамаздского интрузива, важное значение имеет вещественный состав магнетита, соотношения окисного и закисного железа в магнетите из магнетитовых руд и рудовмещающих магнетитовых габбро. С этой целью химическому и полуколичественному спектральному анализу подвергнут сегрегационный и позднемагматический магнетит. В химическом составе позднемагматического магнетита обнаруживается высокое содержание двуокиси титана до 7,0—8,5% и пятиокиси ванадия—0,62%. Полуколичественные спектральные анализы в магнетитах постоянно показывают также 0,01—0,03% кобальта, а химические—несколько больше (0,04%). При сравнении результатов химических и полуколичественных спектральных анализов (табл. 1, 2) выяснилось, что магнетиты ранне- и позднемагматического этапов отличаются по количественному соотношению содержащих элементов-примесей, т. е. магнетит позднемагматического этапа по-

сравнению с сегрегационным магнетитом отличается повышенным содержанием TiO_2 , V_2O_5 , Al_2O_3 и других компонентов.

Химические анализы показывают, что магнетиты из рудовмещающих магнетитовых габбро и различных магнетитовых руд характеризуются высоким содержанием закисного железа. Коэффициент соотношения окисного и закисного железа ($Fe_2O_3:FeO$) обычно больше единицы и колеблется в пределах от 1,0 до 1,6. Для магнетита из рудовмещающих магнетитовых габбро, бедных редковкрапленными, средних густовкрапленными и богатыми массивными магнетитовыми руд коэффициент соотношения окисного и закисного железа неодинаков и соответственно составляет 1,1; 1,2; 1,6; 1,6. Из полученных данных видно:

Таблица 1

Химический состав магнетитов из магнетитовых руд и рудовмещающих габброндов Сваранцкого железорудного месторождения (по данным химических анализов)

№ проб	Характеристика проб	О к и с л ы									Сумма
		Fe_2O_3	FeO	TiO_2	MgO	V_2O_5	MnO	Cr_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	
10/60	Магнетит из оливинных габбро	52,95	33,40	5,27	0,79	0,15	0,29	0,25	—	5,6	99,43
250/60	Магнетит из богатой массивной магнетитовой руды	51,64	32,06	7,22	2,85	0,62	—	—	3,07	1,01	99,49
1/59	Магнетит из богатой массивной магнетитовой руды	54,70	31,86	8,52	3,38	0,20	0,29	не обн.	—	1,72	99,67

Примечание: Минус (—) означает определение данного элемента не произведено

а) насколько магнетитовая руда богата, настолько коэффициент соотношения окисного и закисного железа высокий, т. е. наблюдается прямая взаимосвязь между абсолютным содержанием железа и его трехвалентным окислом;

б) коэффициенты соотношения окисного и закисного железа магнетитов богатых массивных магнетитовых руд составляют 1,6 вместо 2,2 теоретической формулы, что указывает на избыток закисного железа в составе магнетитов Сваранцкого месторождения;

в) наиболее высокое значение коэффициента соотношения окисного и закисного железа характерно для магнетитов из богатых массивных руд.

Приведенные факты указывают на изменения физико-химической среды в сторону ослабления восстановительных условий, что сопровождается частичным окислением закисного железа в окисное при образовании магнетита. Обычно считают, что в магматических условиях магнетит образуется при участии гидроокисла путем частичного окисления закисного железа до окисного с одновременным освобождением водорода. Как справедливо указывал А. С. Уклонский [5], для образования магнетита при кристаллизации магмы требуется, чтобы часть двухва-

лентного железа перешла в трехвалентное, иначе говоря, необходимо частичное окисление закиси железа до окиси под воздействием гидроокисла. Из всего вышеизложенного следует, что бедные редковкрапленные магнетитовые руды (магнетитовые оливиниты) образовались в более восстановительных условиях, чем средние густовкрапленные, а богатые массивные магнетитовые руды в еще менее восстановительных—слабощелочных условиях. Подтверждением является прогрессирующее значение величины коэффициентов соотношения окисного и закисного железа как в указанных рудах, так и в магнетитах из этих же руд.

Широкое развитие серпентинизации во вкрапленных магнетитовых рудах свидетельствует о том, что рудная магма была богата водой, которая сыграла роль в частичном окислении закисного железа в окисное, необходимого для образования магнетита. Если учесть общепринятое положение о том, что остаточная рудная магма на конечном этапе рудообразования обогащается минерализаторами, в том числе и водой, то можно предположить большое окисляющее значение воды при образовании магнетита в поздней стадии рудного процесса. Оливин, в состав которого входит только закисное железо, образуется в наиболее раннюю стадию рудного процесса. Отсюда вытекает еще один вывод, что на ранних стадиях рудообразования вода не принимала участия в химических реакциях.

Вторичный магнетит. В бедных редковкрапленных, средних густовкрапленных магнетитовых рудах и рудовмещающих магнетитовых троктолитах и оливиновых габбро за счет серпентинизации оливина образуется магнетит (вторичный). В отличие от первичного магнетита (собственно магматического), являющегося результатом кристаллизации остаточного рудного расплава, вторичный магнетит является продуктом разложения оливина под воздействием послемагматических термальных растворов, генетически связанных с теми же ультраосновными образованиями. Серпентинизация происходит в окислительной обстановке. В этих условиях, в результате разложения оливина, часть высвобожденного закисного железа, теряя один электрон, превращается в окисное, образуя вторичный магнетит.

Титан, несмотря на широкую распространенность, до сих пор относится к числу редких элементов. Он является одним из наиболее характерных и распространенных элементов в рудах и породах Сваранцского месторождения. По данным 204 полуколичественных спектральных и 51 химических анализов в составе 27 минералов из различных типов руд и горных пород месторождения установлено высокое содержание титана.

В магнетитовых рудах титан в основном представлен ильменитом. Последний образует как самостоятельные ангедральные зерна в межзерновых пространствах магнетита, так и тонкопластинчатые выделения среди зерен магнетита (ильменомagnetит). Титан в качестве изоморфной примеси входит также в состав магнетита (титаномagnetит), оливина и пироксена.

Таблица 2

Сравнительная характеристика раннемагматических и позднемагматических магнетитов Сваранцкого железорудного месторождения

Этапы	№ проб	Наименование пород и руд	Э л е м е н т ы															
			Si	Al	Mg	Ca	Fe	Mn	Ni	Co	Ti	V	Cr	Zr	Cu	Ag	Ga	Sr
Раннемагматический	10 ^a	Магнетит из амфиболизиров. габбро	5	3,0	1—3	1—3	>10	0,3	0,03	0,01—0,03	3,0	0,1—0,3	—	0,003—0,01	0,1	×	0,1—0,3	×
	10 ^b	Магнетит из амфиболизиров. габбро	1—3	0,3	0,3	0,3	>10	0,3	0,003	0,003	1,0	0,03	0,001	—	0,03	0,0001	0,003	0,003
	28	Магнетит из оливиновых габбро	1—5	0,3	1—3	1—3	>10	0,3	0,01	0,01	1—3	0,1—0,3	0,003	?	0,01	×	0,01	×
Позднемагматический	1/59	Магнетит из массивной руды	0,3—1,0	3,0	3—10	0,03—0,1	>10	0,3	0,1	0,03	3—10	0,3—0,1	0,01—0,03	0,01	0,01—0,03	0,0001—0,0003	0,03	0,001
	231 ^a	Магнетит из богатой массивной руды	1,0	3,0	3—10	0,1	>10	0,3	0,03—0,1	0,01	3,0	0,1—0,3	0,1—0,3	0,001—0,003	0,0003—0,001	—	0,03	0,001
	250	Магнетит из богатой массивной руды	1,0	3—10	3—10	0,03	>10	0,3	0,03	0,01—0,03	3,0	0,3	1,0	0,003	0,001	—	0,03	0,003

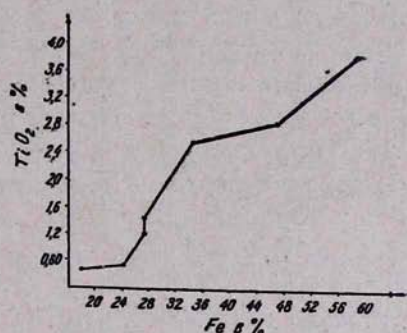
Примечание: „—“ означает, что данный элемент в пробе не обнаружен.

„×“ — данный элемент не определяется по техническим причинам или ввиду помех со стороны других элементов.

Если в магнетитовых рудах месторождения единственным минералом титана является ильменит, то в рудовмещающих магнетитовых габбро развито также его силикатное соединение — сфен, в качестве акцессорного минерала.

По данным химических анализов, среднее содержание двуокиси титана в бедных редковкрапленных магнетитовых рудах составляет 0,8—1,0%, в средних густовкрапленных магнетитовых рудах — 1,5—2,0%, а в богатых прожилково-шлировых и массивных магнетитовых рудах — 2,5—3,8%. При сравнении полученных данных обнаруживается определенная корреляционная связь между содержаниями железа и титана в магнетитовых рудах исследуемого месторождения, т. е. в зависимости от повышения содержания железа повышается и содержание титана (фиг. 1). Наиболее высокое содержание двуокиси титана (7,2%, пр. № 250; 8,52%, пр. № 1/58) характерно для чистоотобранных магнетитов из богатых массивных магнетитовых руд.

При сопоставлении результатов многочисленных химических анализов выясняется, что отношение содержания титана к железу для рудовмещающих магнетитовых габбро, бедных редковкрапленных, средних густовкрапленных и богатых массивных магнетитовых руд — сравнительно постоянная величина и колеблется в пределах от 1:33,3 до 1:14,7 (табл. 3). Как видно из табл. 3, от бедных редковкрапленных к богатым массивным магнетитовым рудам устанавливается постоянное повышение содержания титана в абсолютных цифрах и увеличение относительного содержания титана к железу. В поздней стадии рудного процесса концентрация титана происходит в два с лишним раза интенсивнее железа.



Фиг. 1. Кривая изменения содержания TiO_2 в зависимости от содержания железа в магнетитовых рудах Сваранского месторождения.

Таблица 3

Наименование пород и руд	Компоненты		
	Содержание в ‰		Ti : Fe
	Fe	Ti	
Рудовмещающие магнетитовые габбро (среднее из 13 анализов)	11,38	0,48	1:23,7
Бедная редковкрапленная магнетитовая руда (среднее из 17 анализов)	20,00	0,60	1:33,3
Средние густовкрапленные магнетитовые руды (среднее из 8 анализов)	26,00	1,05	1:24,5
Богатая прожилково-вкрапленная и массивная богатая руда (среднее из 11 анализов)	46,50	3,15	1:14,7

Бедные редковкрапленные магнетитовые руды, являющиеся господствующими среди магнетитовых руд месторождения, характеризуются низким значением отношения титана к железу (1 : 33,3). Это отношение для средних густовкрапленных магнетитовых руд и рудовмещающих габбро очень близко и соответственно составляет 1 : 24,7 и 1 : 23,7. Выявленная прямая зависимость содержания титана от содержания железа в различных типах магнетитовых руд и рудовмещающих магнетитовых габбро, подтверждается опытами магнитных и электромагнитных сепараций.

Полуколичественные спектральные и химические анализы в главных породообразующих минералах (пироксен, оливин, биотит) из рудовмещающих габбро показывают содержание двуокиси титана в количестве 2,1—3,0%. Значит часть титана, установленная в рудовмещающих магнетитовых габбро в качестве изоморфной примеси, связана с силикатными минералами. В отношении титаноносности магнетитовых руд роль силикатов второстепенная. Наиболее интенсивная концентрация титана происходила в последнюю (заключительную) стадию кристаллизации остаточного рудного расплава, по-видимому, богатого минерализаторами, о чем свидетельствует возрастание относительного количества титана к железу, в два с лишним раза большее в богатых массивных магнетитовых рудах, чем в бедных. Таким образом, титан концентрируется в основном в позднюю стадию позднемагматического этапа формирования ультраосновных рудных образований первой фазы внедрения Арамздского интрузивного массива. Наши данные подтверждают исследования И. И. Малышева [2], который многолетними исследованиями убедительно доказывает, что титан накапливается в позднемагматическом этапе формирования интрузивов основного состава, часто давая промышленную концентрацию.

Ванадий — третий элемент группы железа, широко распространен в магнетитовых рудах и рудовмещающих габброидах Сваранцского месторождения. Еще в 1959 г. при минералого-геохимическом исследовании в магнетитовых рудах и вмещающих габброидах нами установлено высокое содержание пятиокиси ванадия [3]. Далее, с целью выяснения закономерности распределения ванадия в отмеченных рудах и породах, химическим и спектральным анализам подвергнуты многочисленные представительные пробы. Выяснилось, что рудовмещающие магнетитовые габбро в среднем содержат 0,01—0,03% V_2O_5 , бедные редковкрапленные магнетитовые руды — 0,03—0,07%, средние густовкрапленные магнетитовые руды — 0,1—0,2%, богатые массивные магнетитовые руды — 0,2—0,4%.

Богатые массивные магнетитовые руды содержат в 15, средние густовкрапленные магнетитовые руды — в 8, редковкрапленные магнетитовые руды в 2—3 раза больше V_2O_5 , чем рудовмещающие магнетитовые габбро.

Рудовмещающие магнетитовые габбро от магнетитовых руд отличаются не только сравнительно низким содержанием пятиокиси ванадия в абсолютных цифрах, но и отношением ванадия к железу. Аналогичная

картина содержаний пятиокси ванадия наблюдается и для магнетитов из рудовмещающих рудных габбро по сравнению с магнетитами из магнетитовых руд.

Согласно данным А. П. Виноградова [1], содержание ванадия в ультраосновных породах меньше (0,014%), чем в основных (0,02%), между тем, как видно из вышеприведенных данных, в аналогичных породах Сваранцкого месторождения наблюдается обратная картина. Эта противоречивость еще раз подтверждает данные о своеобразии и генетическом типе образования ультраосновных рудных дифференциатов и проливает свет на многое новое как в петрологии изверженных пород, так и геохимии ванадия в этих интрузивных образованиях.

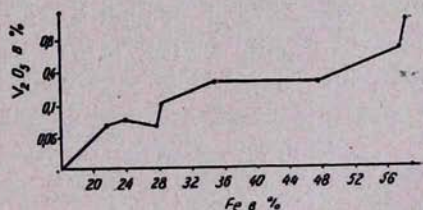
Сущность закономерности распределения ванадия в рудовмещающих магнетитовых габбро и магнетитовых оливинитах вплоть до массивных магнетитовых руд Сваранцкого месторождения заключается в том, что ванадий накапливается в поздней стадии позднемагматического этапа собственно магматического процесса.

Подобная же закономерность распределения ванадия отмечается П. Г. Пантелеевым [4] в аналогичных месторождениях Урала (Качканарское, Первоуральское).

Наблюдаемая закономерность подтверждается также опытом магнитного обогащения. Так, из средних густокрапленных магнетитовых руд (в исходной руде 0,05—0,08% V_2O_5) получен магнитный концентрат, в котором содержание пятиокси ванадия составляет 0,4—0,5%.

В магнетитовых рудах Сваранцкого месторождения подобно титану содержание ванадия повышается с повышением содержания железа; ванадий обнаруживает тенденцию к накоплению в позднюю стадию кристаллизации магматического рудного расплава.

Отсутствие самостоятельных ванадиевых минералов* при наличии относительно высокого содержания ванадия свидетельствует о том, что ванадий в магнетитовых рудах и рудовмещающих магнетитовых габбро распространен в виде изоморфной примеси в кислородных соединениях железа и титана (магнетит, титаномagnetит, ильменомagnetит, ильменит). Из геохимии ванадия известно, что он входит в состав (или в кристаллическую решетку) магнетита и ильменита, изоморфно замещая в них трехвалентное железо и четырехвалентный титан, которые имеют близкие размеры ионных радиусов (для Fe^{3+} 0,67 Å; V^{3+} 0,65 Å; Ti^{4+} 0,64 Å).



Фиг. 2. Кривая изменения содержания V_2O_5 в зависимости от содержания железа в магнетитовых рудах Сваранцкого месторождения.

* Несмотря на тщательное минералогическое изучение нам не удалось в магнетитовых рудах исследуемого месторождения обнаружить минералы ванадия, в частности кульсонит, характерный для магнетитовых руд собственно магматического происхождения.

Наряду с близким ионным радиусом ванадий характеризуется также сходной атомной структурой с железом и титаном, что в свою очередь способствует изоморфному замещению. Следовательно, широкое распространение ванадия в магнетитовых рудах и частично в вмещающих магнетитовых габбро Сваранцкого месторождения объясняется близостью его ионного радиуса и энергетического потенциала с трехвалентным железом и четырехвалентным титаном, которые изоморфно замещаются этим элементом при собственно магматических условиях.

Склонность ванадия к образованию кислородных соединений приводит к накоплению его в позднемагматическом этапе. При этом большое значение имело количественное соотношение кислорода, двухвалентного и трехвалентного железа и дальнейшее изменение их соотношения в магматическом рудном расплаве. Но так как рудная магма характеризуется недостатком кислорода и химическое родство FeO и Fe_2O_3 с кислородом сильнее, чем между последним и ванадием, то возможность образования самостоятельного ванадиевого минерала ограничена.

На основе обобщения результатов проведенных минералого-геохимических исследований магнетитовых руд и вмещающих габброидов необходимо отметить:

1. По направлению от наиболее раннего этапа к позднему в породе и рудообразовательных процессах первой фазы внедрения Арамазского интрузива наблюдается закономерное увеличение абсолютного и относительного содержания суммы окислов железа. С повышением содержания железа наблюдается также и концентрация его спутников — титана и ванадия. Наивысшая концентрация как железа, так и его спутников происходит в поздней стадии рудообразования.

2. Железо, титан и ванадий в магнетитовых рудах и вмещающих магнетитовых габбро Сваранцкого месторождения, несмотря на частичные отклонения, подчиняются общим закономерностям распределения. Выяснилось, что в собственно магматических условиях рудообразования миграция и концентрация титана и ванадия не случайны, они геохимически теснейшим образом связаны с геохимическим поведением железа.

3. Ванадий, а также небольшая часть титана не образуют самостоятельных минералов, а входят в решетки окислов и силикатов железа, изоморфно замещая трехвалентные катионы железа.

4. В различных типах магнетитовых руд и вмещающих габбро месторождения наблюдается определенная прямая корреляционная связь между содержаниями железа, титана и ванадия. Сущность установленной закономерности распределения титана и ванадия в различных типах магнетитовых руд (бедных редковкрапленных, средних густовкрапленных и богатых массивных) и вмещающих магнетитовых габбро заключается в том, что абсолютное содержание этих элементов возрастает с повышением содержания железа.

Коэффициент относительного содержания титана и ванадия к железу в отдельности для отмеченных типов магнетитовых руд и вмещающих габбро является постоянной величиной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. *Геохимия*, № 1, 1956.
2. Малышев И. И. Закономерности образования и размещения месторождений титановых руд. *Госгеолтехиздат*, М., 1957.
3. Межлумян Г. Б. О генезисе Сваранцского железорудного месторождения. *Изв. АН Арм. ССР, сер. геол.-геогр. наук*, т. XIII, № 1, Ереван, 1960.
4. Пантелеев П. Г. К вопросу геохимии титана, ванадия и хрома в титаномагнетитах Урала. *Изв. АН СССР, сер. геол.*, № 3, 1938.
5. Уклонский А. С. К вопросу о геохимии эндогенных месторождений железа. В кн. «Вопросы петрографии и минералогии», т. 1, изд. АН СССР, М., 1953.