

МИНЕРАЛОГИЯ

Академик Д. С. БЕЛЯНКИН и В. В. ЛАПИН

К МИНЕРАЛОГИИ АНОСОВИТА

Название аносовит * было предложено К. Х. Тагировым для искусственного, впервые им обнаруженного так называемого «черного минерала» высокотитанистых шлаков. А. А. Русаков и Г. С. Жданов (1) детально исследовали рентгеноструктуру этого минерала, которому они приписали ромбическую кристаллизацию с постоянными: $a = 3,747 \text{ \AA}$, $b = 9,466 \text{ \AA}$, $c = 9,715 \text{ \AA}$. На основании приведенных данных, в связи с приближенными значениями плотности ** и химического состава минерала, они предложили химическую формулу для него: Ti_3O_5 .

Структура аносовита, согласно нашим авторам, близка к таковой псевдобрукита (Fe_2TiO_5). Сравнение же дебаеграммы его с дебаеграммами Ti_2MgO_5 и Al_2TiO_5 показывает близкое всех их совпадение. Возможно, таким образом, возникновение соответственных твердых растворов из всех перечисленных молекул.

Каких-либо деталей о химико-минералогическом характере аносовитсодержащего шлака, равно как и о химизме самого аносовита, к сожалению, в работе не приводится. Настоящая публикация имеет целью хотя бы частично заполнить означенный пробел.

Микроструктура изученного нами высокотитанистого шлака № 2406 изображена на микрофотографиях рис. 1 А и Б. Светлые порфирированные вкрапления на обоих снимках относятся к аносовиту. Основная масса из тонких скелетов более светлого титанита ($N_{ср} = 1,923$) и более темных стекловатых ($N \cong 1,55 - 1,56$) промежутков между ними лучше распознается на рис. 1 Б. Весьма мелкие более округлые зернышки здесь же принадлежат металлу. Тонкие более светлые анизотропные вросочки в аносовите относятся, возможно, к титаниту. При скрещенных николях в том же отраженном свете выявляется анизотропия аносовита. В прозрачном шлифе кристаллы этого минерала черные непрозрачные, а скелеты титанита груборельефные, яркополяризующие; стекло бесцветно.

Для ориентировки в составе аносовита он выделялся нами по отделимости из двух титанистых шлаков следующего химического состава по анализам ЦНИИЧМ (№ 2289) и ИГН АН СССР (№ 2406) (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав титанистых шлаков

	№ 2289	№ 2406 *
SiO ₂	28,08	32,17
TiO ₂	30,62	31,64
Al ₂ O ₃	не опр.	10,13
FeO	3,10	2,85
MnO	1,17	0,89
MgO	не опр.	3,43
CaO	17,14	18,21
Сумма	—	99,32

* Аналитик Ю. С. Нестерова.

* В честь выдающегося русского металлурга П. П. Аносова.

** Вычисленная плотность аносовита по рентгеновским данным 4,29, а по пикнометрическому определению К. Х. Тагирова она несколько выше, чем 4,19.

Выделение аносовита из шлака производилось отборкой под лупой. Выделенные иголки слегка растирались в агатовой ступке и, после отсеивания пыли, очищались дополнительно от силикатных примесей при помощи жидкости Клеричи. В жидкости Клеричи с уд. в. 4,16 они не оседали при этом и начинали тонуть лишь после добавки некоторого количества воды. Объяснялось это, главным образом, тем, что игольчатые кристаллики аносовита настолько тесно срастаются с силикатной массой, что даже растиранием в ступке не удастся освободить их от примеси и этой последней. В минерале из шлака № 2289 ее осталось 10% (вес.) по подсчету под микроскопом и 13% по расчету химического анализа, а в минерале из шлака № 2406 — 23 и 20%, соответственно.

Таблица 2

Расчет химического состава аносовита, выделенного из шлака 2289

	Вес. %	После расчета 2,24% привеса за счет Ti_2O_3 и FeO		Титанит $CaO \cdot TiO_2 \cdot SiO_2$	Аносовит			Остаток (в стекле)
		вес. %	мол. кол.		мол. кол. вес. %	$Al_2O_3 \cdot TiO_2$	$(Mg, Fe, Mn)O \cdot 2TiO_2$	
				мол. кол. вес. %				мол. кол. вес. %
SiO_2	4,28	4,28	0,0713	$\frac{0,0506}{3,04}$	—	—	—	$\frac{0,0207}{1,24}$
TiO_2	74,97	57,48	0,7194	$\frac{0,0506}{4,04}$	$\frac{0,0455}{3,64}$	$\frac{0,5140}{41,07}$	$\frac{0,4093}{8,73}$	—
Ti_2O_3	—	15,74	0,1094	—	—	—	$\frac{0,4094}{15,74}$	—
Al_2O_3	4,64	4,64	0,0455	—	$\frac{0,0455}{4,64}$	—	—	—
Fe_2O_3	4,92	—	—	—	—	—	—	—
FeO	—	4,43	0,0616	—	—	$\frac{0,0547}{3,93}$	—	$\frac{0,0069}{0,50}$
MnO	0,80	0,80	0,0113	—	—	$\frac{0,0113}{0,80}$	—	—
CaO	2,84	2,84	0,0506	—	—	—	—	—
MgO	7,70	7,70	0,1910	$\frac{0,0506}{2,84}$	—	$\frac{0,1910}{7,70}$	—	—
Сумма	100,15	97,91	—	9,92%	$\frac{8,28\%}{86,25\%}$	$\frac{53,50\%}{86,25\%}$	$\frac{24,47\%}{86,25\%}$	1,74%

Привес при прокаливании 2,24%; в том числе за счет перехода FeO в Fe_2O_3 0,49% и за счет перехода Ti_2O_3 в TiO_2 1,75%.
Аналитик Ю. С. Нестерова.

Результат химического анализа аносовита из этих двух шлаков приведен в табл. 2 и 3, причем там же дается и расчет химических данных на примеси к минералу (титанит и стекло) и на состав его из основных компонентов. В качестве последних мы приняли условно, основываясь на данных (1-3), следующие изоморфные составные части: $(Mg, Fe, Mn)O \cdot 2TiO_2$, $Ti_3O_5 (Ti_2O_3 \cdot TiO_2)$, или $TiO \cdot 2TiO_2$, $Al_2O_3 \cdot TiO_2$. Оказалось при этом, что в минерале из шлака 2406 остается неустроенным значительное количество TiO_2 . В только что названной работе Моора и Сигурдсона указывается, однако, что при сильно восстановительных условиях $(Mg, Fe)O \cdot 2TiO_2$ может принимать в твердый раствор и TiO_2 до предельного молекулярного соотношения $(Mg, Fe)O$

Таблица 3

Расчет химического состава аносовита, выделенного из
шлака 2406

	Вес. %	Аносовит							
		При расчете 2,07% привеса за счет Ti_2O_3 и FeO		Титанит $CaO \cdot TiO_2 \cdot SiO_2$	$Al_2O_3 \cdot TiO_2$	$Ti_2O_3 \cdot TiO_2$	(Fe, Mg, Mn)O · 2TiO ₂	TiO ₂	Остаток SiO ₂ (в стекле)
		вес. %	мол. кол.	мол. кол. вес. %	мол. кол. вес. %	мол. кол. вес. %	мол. кол. вес. %	мол. кол. вес. %	мол. кол. вес. %
SiO ₂ . . .	8,25	8,25	0,1374	$\frac{0,0822}{4,94}$	—	—	—	—	$\frac{0,0552}{3,31}$
TiO ₂ . . .	76,69	61,40	0,7685	$\frac{0,0822}{6,57}$	0,0431	0,0957	0,2484	0,2991	—
Ti ₂ O ₃ . . .	—	13,76	0,0957	—	—	$\frac{0,0957}{13,76}$	—	—	—
Al ₂ O ₃ . . .	4,39	4,39	0,0431	—	$\frac{0,0431}{4,39}$	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃ . . .	5,41	—	—	—	—	—	—	—	—
FeO . . .	—	4,87	0,0678	—	—	—	$\frac{0,0678}{4,87}$	—	—
MnO . . .	0,92	0,92	0,0130	—	—	—	$\frac{0,0130}{0,92}$	—	—
MgO . . .	1,75	1,75	0,0434	—	—	—	$\frac{0,0434}{1,75}$	—	—
CaO . . .	4,61	4,61	0,0822	$\frac{0,0822}{4,61}$	—	—	—	—	—
Сумма	102,02	99,95	—	16,12	7,83	21,41	27,39	23,89	3,31
					80,52				

Привес при прокаливании 2,07%; из них 0,54% за счет перехода FeO в Fe₂O₃ и 1,53% за счет перехода Ti₂O₃ в TiO₂.
Аналитик В. Г. Старостина.

к TiO₂, равного 1:12. Возможно, что подобные же соотношения имеем мы и в случае нашего шлакового аносовита 2406.

В результате наших расчетов получился, таким образом, нижеследующий состав аносовита в двух рассмотренных случаях:

	№ 2289		№ 2406	
	вес. %	мол. %	вес. %	мол. %
(Mg, Fe, Mn)O · 2TiO ₂	62,03	62,39	—	—
Тв. р. TiO ₂ в (Mg, Fe, Mn)O · 2TiO ₂ состава (Mg, Fe, Mn)O · 4,4 TiO ₂	—	—	63,69	75,30
Ti ₂ O ₃ (= Ti ₂ O ₃ · TiO ₂ = TiO · 2TiO ₂)	28,37	26,56	26,59	17,03
Al ₂ O ₃ · TiO ₂	9,60	11,05	9,72	7,67
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00

Преобладающая роль в аносовите принадлежит, как видим, (Mg, Fe, Mn)O · 2TiO₂ или твердому раствору в нем TiO₂.

В связи с этим была произведена рентгеносъемка порошковых препаратов (Н. Н. Слудская) как аносовита из шлака 2289, так и синтезированного по нашей просьбе А. И. Цветковым соединения MgO · 2TiO₂ (см. табл. 4). Синтез осуществлялся спеканием исходных окислов при 1300—1400° (в атмосфере воздуха), причем реакция проходила

легко и нацело. Полученный минерал, по нашим данным, закристаллизовался в форме удлинённых бесцветных призмочек с прямым погасанием, положительным удлинением и светопреломлением: $N_g = 2,32 \pm 0,05$, $N_p = 2,19 \pm 0,03$.

Таблица 4

Межплоскостные расстояния d и интенсивность I для
шлакового аносовита и синтетического $\text{MgO} \cdot 2\text{TiO}_2$
(съемка на Fe-излучении, $d = 0,6$, $2R = 57,9$)

Аносовит из шлака 2289		Синтезиров. $\text{MgO} \cdot 2\text{TiO}_2$ (образец 2392)		$\text{MgO} \cdot 2\text{TiO}_2$ по (3)	
I	d	I	d	I	d
7	3,50	4	3,48	10,0	3,51
				0,9	2,86
7	2,75	5	2,73	6,0	2,75
2 дв.	2,41	1	2,42	{ 1,2	2,45
				{ 1,5	2,42
3 дв.	2,21	1	2,21	1,5	2,22
		1	2,18	2,0	2,19
5	1,965	1	1,968	3,0	1,967
5	1,878	2	1,881	6,0	1,876
	1,852	2	1,852	1,5	1,846
3	1,750	2	1,752	1,5	1,754
		2	1,708		
3	1,667	2	1,663	1,5	1,665
3	1,630	2	1,624	2,0	1,634
4	1,550	4	1,548	3,0	1,551
3	1,536	2	1,535	2,0	1,535
1	1,506	1	1,406		
2 дв.	1,422	1	1,422	0,9	1,424
2	1,383	1	1,372	0,8	1,378
2	1,355	2	1,358	1,5	1,358
		1	1,316	0,8	1,348
3	1,263	2	1,264	1,0	1,265
3	1,241	2	1,246	1,0	1,245
		1	1,109		

Данные табл. 4 свидетельствуют о практически полном сходстве рентгенографических данных для шлакового аносовита, нашего синтезированного $\text{MgO} \cdot 2\text{TiO}_2$ и соединения $\text{MgO} \cdot 2\text{TiO}_2$ по литературным данным (3). Интересно отметить, что прокаливание аносовита при $800-900^\circ$, как показало наше микроскопическое и рентгенографическое (Н. Н. Слудская) исследования, приводит к распаду минерала и появлению в продукте прокаливания значительного количества рутила.

В итоге нашего исследования выявляется:

1. Непостоянство состава аносовита, связанное с явлением твердых растворов в нем (Ti_3O_5 , $\text{MgO} \cdot 2\text{TiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ и пр.).

2. Спорадически довольно высокое содержание в нем окиси магния в форме $\text{MgO} \cdot 2\text{TiO}_2$ (или $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})\text{O} \cdot 2\text{TiO}_2$), как, например, в случае шлака 2289, или твердого раствора TiO_2 в этой молекуле (например, до состава $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})\text{O} \cdot 4,4\text{TiO}_2$ для шлака 2406).

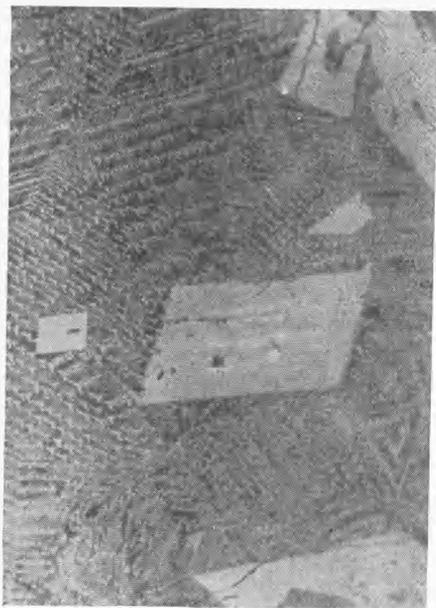
3. Возможность трактовать Ti_3O_5 аносовита в виде как $\text{Ti}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$, так и $\text{TiO} \cdot 2\text{TiO}_2$, причем последняя формула хорошо согласуется с возможным взаимным замещением TiO и MgO (FeO , MnO) в минерале $(\text{Mg}, \text{Ti})\text{O} \cdot 2\text{TiO}_2$.

Необходимо дальнейшее уточнение сложного состава аносовита и выявление возможных пределов колебания этого состава.

Поступило
31 VII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. А. Русаков и Г. С. Жданов, ДАН, 76, № 3 (1951). ² С. Н. Moore and H. Sigurdson, Journ. of Metals, 1, No. 12, 914 (1949). ³ H. Sigurdson and S. S. Cole, ibid., 1, No. 12, 905 (1949).



А



Б

Рис. 1. Микрофотография высокотитанистого шлака № 2406.
Репрод. 7:8 Отраженный свет. $A \times 40$; $B \times 145$.