

М. Б. ЧИСТЯКОВА, М. Е. КАЗАКОВА

**ИЛЬМЕНИТ И ПРОДУКТЫ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ
ИЗ ХРУСТАЛЕНОСНЫХ ПЕГМАТИТОВ КЕНТА
(ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)**

Ильменит является характерным акцессорным минералом многих хрусталеносных пегматитов. На Кентском месторождении он встречается во всех известных телах, при чем количество его растет пропорционально интенсивности гидротермальной переработке тел. Наибольшего развития он достигает в пегматитах, подвергшихся воздействию не связанных с собственно пегматитовым процессом гидротермальных растворов, деятельность которых привела к образованию самостоятельных грейзеновых проявлений в кентском массиве (Чистякова, 1974).

В пегматитовых телах ильменит располагается, главным образом, в пегматоидной и полевошпатовой зонах и в хрусталеносных полостях. Парагенетические ассоциации минералов, в которых наблюдается ильменит в телах без наложения грейзенозирующих растворов и в телах, испытавших воздействие их, различны. В первых он ассоциирует с колумбитом, цирконом, пирохлором, торитом, магнетитом; во вторых, кроме того, с флюоритом, монацитом, ксенотимом, флюоцеритом, апатитом.

Для ильменита характерно тесное срастание с ассоциирующими с ним минералами. В виде включений в нем наблюдаются мелкие кристаллы колумбита, циркона. Иногда встречаются кристаллы ильменита, периферическая часть которых сростается с кристаллами монацита, ксенотима, флюорита. Индукционный характер поверхности раздела этих минералов свидетельствует об одновременном их росте.

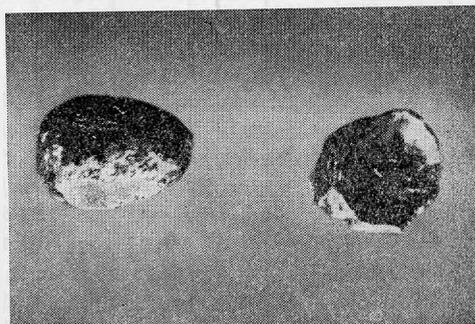
Ильменит образует кристаллы различных размеров и габитуса. В краевых зонах наблюдаются пластинчатые кристаллы. Обычно размеры их невелики, но иногда встречаются выделения до 10—15 см в плоскости {0001}, причем по оси *c* они достигают лишь 0,1—0,2 см. В прожилках образуются таблитчатые, плохо оформленные кристаллы размером до 8—10 см в плоскости {0001} и 1—2 см по оси *c*. В хрусталеносных полостях встречаются хорошо ограненные кристаллы таблитчатого габитуса размером от долей мм до 4—5 см. На наиболее крупных и хорошо образованных кристаллах из полостей с помощью прикладного гониометра обнаружены формы $c\{0001\}$, $n'\{2243\}$, $s\{0221\}$, $\chi\{44\bar{8}3\}$, $\pi\{1123\}$.

Цвет ильменита черный, иногда со стально-серым оттенком. Цвет черты от коричневого до коричневатого и зеленоватого-серого. Непрозрачен. Блеск металлический. Излом раковнистый. Иногда у кристаллов ильменита наблюдается крупнораковнистый излом, участками переходящий в скорлуповатую, а местами и в сферическую отдельность. В таких

кристаллах происходит увеличение «крутизны» скорлуповатых участков, в центре которых располагается сфероид шаровидной или эллипсоидальной формы (рис. 1). Кроме того, для всех ильменитов месторождения характерна обычная для этого минерала отдельность по (0001). Этой отдельностью неизменный или слабоизмененный ильменит обычно бывает разбит на несколько толстых пластин, внутри которых наблюдается скорлуповатая и сферическая отдельность. Удельный вес колеблется в пределах 4,59—4,62. Микротвердость 541—802 кг/мм².

Под микроскопом в полированных шлифах ильменит серовато-белый со слабым коричневатым оттенком. Анизотропен. Двухотражения, практически, нет. Внутренние рефлексы красного цвета наблюдались лишь

Рис. 1. Сфероидальная отдельность в ильмените. Увел. 10



в одном образце. Все просмотренные ильмениты в том или ином количестве содержат включения других минералов. Даже в макроскопически неизменных образцах содержатся мелкие выделения рутила и гематита. Рутил наблюдается либо в виде единичных зерен неправильной формы, либо в виде серии мелких удлиненных включений, ориентированных параллельно друг другу. Гематит образует также включения неправильной формы или присутствует в виде тонких прожилков. В редких случаях наблюдались мелкие включения пирита.

Ильмениты Кента очень разнообразны по составу. По данным спектрального анализа (табл. 1), здесь наблюдаются как близкие к крайним членам железистые ильмениты, так и марганцовистые разновидности этого минерала. Почти все ильмениты Кента характеризуются повышенным содержанием ниобия. Во многих образцах количество его измеряется несколькими процентами. Менее значительны примеси Zr и Pb. Как уже указывалось выше, среди включений в ильмените обнаружены лишь рутил, гематит и пирит.

Химический анализ сделан для двух образцов ильменита из разных пегматитовых тел месторождения (образец № 1 из прожилка в пегматондной зоне и образец № 2 из хрусталеносной полости).

Как видно из данных анализов (табл. 2), состав ильменитов сходен. Отличие заключается, в основном, в высоком содержании в образце 1 ниобия. Соотношения MnO : FeO_{общ} идентичны для обоих анализируемых образцов, отношения же FeO : Fe₂O₃ резко различны. По-видимому, условия кристаллизации образца 2 характеризовались более высоким окислительным потенциалом.

Расчет анализов по формуле велся с учетом возможности вхождения Fe³⁺ в структуру ильменита и положения его как в позиции двухвалентных катионов, так и в позиции титана (Михеев, 1961). При этом были получены близкие к стехиометрическим формулы

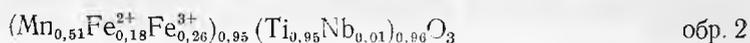


Таблица 1
Спектральные анализы ильменитов *

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Be	$1 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-4}$		$n \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$		$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-3}$
As								$n \cdot 10^{-2}$			
Sc	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$		$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-4}$	
P											$0, n^-$
Mn	n^+	n	n^-	3%	n	n^-	n^-	$0, n^-$	$0, n^-$	n^+	$0, n^-$
Pb	$n \cdot 10^{-2}$	$0, n^-$	$n \cdot 10^{-3}$		$0, n^+$			$n \cdot 10^{-3}$		$0, n$	$n \cdot 10^{-3}$
Sn	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-3}$	$0, n$	$0, n$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$
Nb	n^-	$0, n^-$	$0, n^-$	$0, n$	n^-	$0, n$	$0, n$	$0, 1$	n	n^-	$n \cdot 10^{-2}$
Mo								$1 \cdot 10^{-4}$			
V		$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-3}$			$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$		$1 \cdot 10^{-3}$
Cu	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-4}$		$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Zn	$0, n^-$	$0, n$	n^+	$0, 1$	1%	$n \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$		n	$n \cdot 10^{-2}$
Ti	n^+	n^+	$n \cdot 10^{-3}$	n^+	n^+	n^+	n^+	n	n^+	n^+	n^-
Mg	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$0, n^-$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$
Si	$0, n^-$	$0, n^-$	$0, n^-$	$0, n^-$	$0, n^+$	$0, 10^{-2}$	$0, n^-$	$0, 1$	$0, 1^-$	$0, n^-$	$0, n$
Al	$0, n$	$0, n^-$	$0, n^-$	$0, n$		$0, n^-$	$0, n^-$	$0, n^-$	$0, 3$	$0, n^-$	$0, n$
Fe	n^+	n	n^+	n	n	n^+	n/n^+	n	n/n^+	n/n^+	n^+
Ca	$0, n^-$	$n \cdot 10^{-2}$	$0, n^-$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-1}$	$n \cdot 10^{-2}$
Ca											
Bi	$n \cdot 10^{-3}$							$n \cdot 10^{-3}$			

Аналитик А. С. Дудькина (ИГЕМ АН СССР)

* $n^+ = 7-9$; $n = 4-6$; $n^- = 1-3$ в любом знаке.

Таблица 2
Химические анализы ильменита и продуктов его изменения

Оксиды	Ильменит № 5	Ильме-нит № 2	Продукты изменения ильменита № 2					Анализ
			рутил-I черный	рутил-I красный	рутил-II (лейкоксен)	брукит-I черный	брукит-солом.-желтый	
MnO	26,70	24,37	сл.	0,03	0,11	0,34	0,03	0,08
FeO	18,40	8,68	3,55	4,06	1,70	3,20	4,72	1,48
Fe ₂ O ₃	6,43	14,02			3,84	не обн.		
TiO ₂	43,20	51,60	89,35	92,23	91,54	96,05	91,06	95,53
Nb ₂ O ₅	5,11	0,50	7,13	3,29	2,74	0,50	3,36	2,31
Ta ₂ O ₅	не обн.		0,23	0,01		сл.	0,30	0,27
Сумма	99,84	99,17	100,26	99,67	99,93	100,09	99,47	99,67
MnO:FeO _{общ}	1,07	1,07						
FeO:Fe ₂ O ₃	2,86	0,62						
Уд. вес	4,62	4,59	4,19	4,18	4,11	4,07	4,16	3,98

Аналитик М. Е. Казакэва.

По составу описываемые ильмениты относятся к средним членам ряда ильменит-пирофанит. Ильменит такого состава в литературе не описан. По классификации Дэна (1951) его следует считать железистым пирофанитом, по А. Н. Жердевой и В. К. Абулевич (1964) — манганильменитом.

Как правило, ильменит на месторождении слабо подвергается процессам изменения и в большинстве пегматитовых тел свежий. Однако в некоторых телах, особенно в пегматитах, претерпевших воздействия наложенных гидротермальных растворов, встречаются сильно измененные образцы. Иногда здесь наблюдаются полные псевдоморфозы вторичных продуктов по ильмениту.

В начальный период изменения ильменит обычно теряет блеск и приобретает зернистое строение. Затем начинается развитие по нему вторичных продуктов. Нередки случаи развития новообразований и по совершенно неизменному ильмениту.

Первым из вторичных минералов развивается рутил I. В большинстве случаев он представлен достаточно крупными (до 2—4 мм) кристаллами темно-красного и черного цвета. Реже встречаются мелкие (доли мм по длинной оси), окрашенные в зеленый цвет и нарастающие на крупные кристаллы рутила.

Образование рутила I начинается по трещинам отдельности, параллельным {0001} ильменита. В некоторых случаях он развивается от периферии внутрь кристалла ильменита, причем поверхность кристалла при этом может не нарушаться. Внешне такой кристалл кажется неизменным и лишь на изломе обнаруживается его замещение рутилом. В других случаях рутил развивается непосредственно на поверхности кристаллов ильменита.

В незначительной части изученных образцов процесс замещения на этом заканчивается. Но в основной массе измененных ильменитов он протекал дальше, причем после образования крупнокристаллического рутила происходило, по-видимому, более быстрое замещение ильменита с образованием тонко- и скрытокристаллического рутила (рутилового лейкоксена). Он представляет собой плотную глиноподобную массу светло-коричневого, желтого, охристого, участками черного цвета, сохраняющую оба вида отдельности, присущие ильмениту. Рентгенограммы его дали четкую картину рутила без диффузных линий. Этот рутил (II) присутствует в большинстве псевдоморфоз по ильмениту и часто составляет основную массу продуктов замещения.

В дальнейшем течении процессов изменения ильменита по рутилу I и II образуется брукит.

Как и рутил, брукит на месторождении представлен разностями, отличающимися морфологией и цветом. По кристаллам рутила I развиваются пластинчатые кристаллы брукита, причем ориентация их $\sim \perp$ оси *c* кристаллов рутила. По рутилу черного цвета развиваются кристаллы брукита черного и темно-зеленого цвета. По красному— соломенно-желтого цвета. Рутил II (лейкоксен) также подвергается замещению брукитом. В тех участках, где сохранилась отдельность ильменита, параллельна {0001}, развиваются мелкие (до 0,1 мм) удлиненные кристаллы брукита неправильной формы, вытянутые, главным образом, вдоль трещин отдельности. Размер кристаллов брукита не превышает долей мм. Цвет, преимущественно, черный. Такие участки псевдоморфоз легко расщепляются в направлении {0001}. В других местах, где выражена скорлуповатая и сфероидальная отдельность, брукит развивается преимущественно внутри «сфероидальных» участков псевдоморфозы (рис. 2). Обычно кристаллизация брукита происходит от периферии «сфероида» к центру. При этом возникают сноповидные и радиальнолучистые сростки мелких тонковолокнистых кристаллов брукита. В центре таких образований происходит укрупнение кристаллов брукита. Иногда центральная часть сфероида выполнена более крупными пластинчатыми кристаллами брукита, не имеющими определенной ориентировки (рис. 3).

Гораздо реже образуются концентрически зональные сферолиты, зоны которых сложены радиально-лучистым агрегатом волокнистых кристаллов брукита. Зоны разделяются тонкими прослойками скрыто-

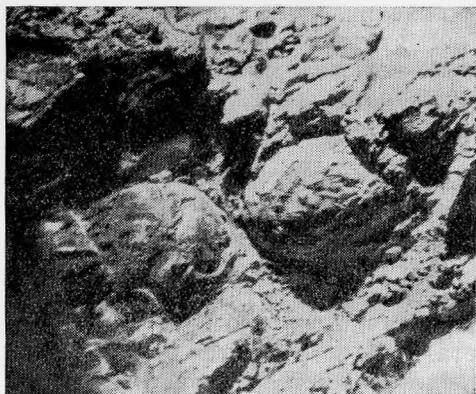
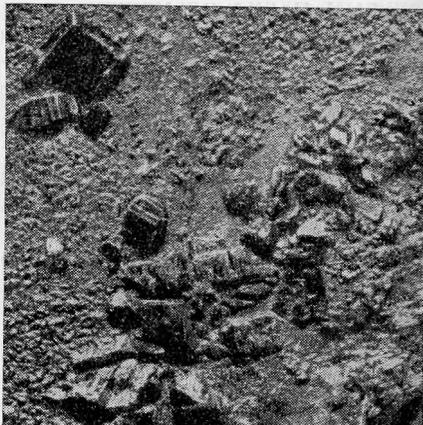
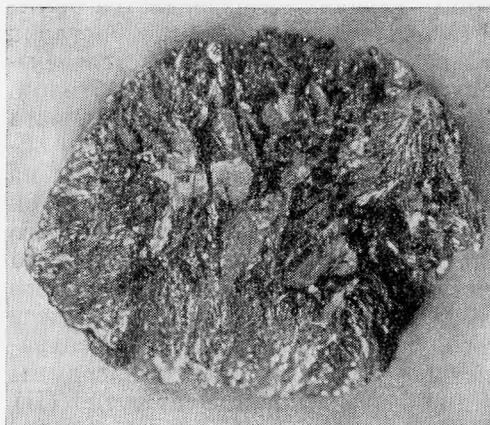


Рис. 2. Сферолиты брукита по ильмениту. Увел. 7

Рис. 3. Строение сферолита брукита, образовавшегося по ильмениту со скорлуповатой и сфероидальной отдельностью. Увел. 15

Рис. 4. Кристаллы анатаза, развивающиеся на поверхности кристаллов ильменита. Увел. 6



кристаллического рутила II, который в этих случаях иногда приобретает серовато-зеленый цвет. В центре некоторых сферолитов наблюдались более крупные кристаллы черного брукита, ориентированные $\parallel (0001)$ замещаемого кристалла ильменита.

Брукит, развивающийся по рутилу II, как правило, окрашен в черный, реже в темно-зеленый цвет. Однако в конечный период процесса кристаллизации брукита псевдоморфозы развиваются сеть тончайших трещин, по которым происходит перекристаллизация брукита, сопровождающаяся в отдельных участках его осветлением. Неправильной формы выделения брукита и мелкие кристаллы его в участках с отдельностью $\parallel (0001)$ в это время укрупняются и приобретают бутылочно-зеленый, а затем соломенно-желтый цвет. При этом кристаллы ориентируются в основном перпендикулярно трещинам, вдоль которых происходит перекристаллизация и осветление. В сферолитах осветление происходит с периферии и не всегда проявляется в центре.

В редких случаях наблюдались псевдоморфозы по ильмениту, нацело сложенные радиально-лучистыми и сноповидными агрегатами тонковолокнистого брукита соломенно-желтого цвета. Лишь участками в таких псевдоморфозах наблюдались скопления пластинчатых кристаллов брукита, также окрашенного в соломенно-желтый цвет. Длина кристаллов волокнистого брукита не превышает 1 мм. Агрегаты такого брукита обладают шелковистым блеском. Соломенно-желтый брукит в псевдоморфозах развивается, по-видимому, не только по ранее образовавшемуся черному брукиту, но и непосредственно по скрыто-кристаллическому рутилу II.

Самым поздним минералом, образующимся в составе псевдоморфоз по ильмениту, является анатаз. Наблюдается он реже, чем рутил и брукит. Обычно он нарастает на пластинчатый брукит, а также наблюдается среди радиально-лучистых агрегатов тонковолокнистого брукита. В очень редких случаях наблюдалось развитие анатаза непосредственно по ильмениту (рис. 4).

Интересно, что в случае развития анатаза в составе сложных псевдоморфоз, выделения его связаны в большинстве случаев с образованиями соломенно-желтого брукита. Гораздо реже он наблюдается совместно с темными разностями брукита. Так, например, в радиально-лучистых агрегатах брукита анатаз наблюдается только в периферической осветленной части сферолита. Возможно, что при перекристаллизации брукита и осветлении его, красящие компоненты поглощались образующимся вслед за этим процессом анатазом.

Ниже приводятся более подробные описания титановых минералов, развивающихся по ильмениту.

Рутил является наиболее распространенным минералом, образующимся по ильмениту. На месторождении наблюдаются две генерации его.

Рутил I образуется в составе псевдоморфоз по ильмениту и лишь в очень редких случаях наблюдается в виде самостоятельных выделений. Последние наблюдались в виде включений в горном хрустале (кварц IV), а также в ассоциации с радиально-лучистым фенакитом II. Рутил I образует кристаллы призматического и длиннопризматического габитуса. Призматические кристаллы нередко образуют колеччатые двойники. Редко встречающиеся длиннопризматические кристаллы встречены в виде сагенитовых сростков. Размер самых крупных кристаллов достигает 0,8—1,0 см по длинной оси. Цвет кристаллов рутила черный, реже красный. Наблюдались выделения неправильной формы пятнистой окраски. В сагенитовых сростках обнаружены кристаллы зеленого цвета. Блеск рутила алмазный.

Как показал химический анализ (табл. 2), черный и красный рутилы значительно отличаются по составу. Черный рутил содержит гораздо большее количество ниобия и тантала и является по сути ильменорутилом; красный — содержит несколько большее количество железа и марганца и по составу ближе к собственно рутилу, чем к ильменорутилу. Возможно, именно присутствием значительного количества ниобия и обусловлен цвет черного рутила. Пятнистая окраска некоторых выделений рутила, вероятно, связана с избирательной способностью различных граней поглощать изоморфные примеси (Леммлейн, 1948). В результате расчетов получены формулы черного и красного рутизов, близкие к стехиометрическим:



По составу черный рутил близок к ильменорутилу Восточного Коунрада (Чухров, 1960), д. Селянкино («Минералы» II—II, 262), Джиды (Повилайтис, 1960). Красный рутил близок к ильменорутилу из В. Коунрада (Чухров, 1960). Спектральный анализ (табл. 3) показывает значительное число примесей, не превышающих, однако, значений доли процента.

Параметры элементарной ячейки рутила I черного цвета $a_0 = 4,59 \pm \pm 0,005 \text{ \AA}$; $c_0 = 2,95 \pm 0,006 \text{ \AA}$; рутила I красного цвета: $a_0 = 4,59 \pm 0,00 n \text{ \AA}$, $c_0 = 2,96 \pm 0,008 \text{ \AA}$.

Рутил II образуется, по-видимому, сразу после кристаллизации рутила I. От последнего он отличается, главным образом, морфологией. Рутил II образует скрытокристаллический агрегат. Внешне представляет собой плотную глиноподобную массу, сохраняющую отдельность заме-

Таблица 3

Спектральные анализы рутила, брукита и анатаза

Элементы	Рутил I	Рутил II	Брукит			Анализ
	пятнистый	скрыто-кристаллич. (лейкоксен)	черный по ильмениту	черный из сферолитов	желтый из сферолитов	по ильмениту
Be	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-4}$	$n^+ \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-4}$
Sc	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$
Ta	?	$n \cdot 10^{-2}$		$n \cdot 10^{-2}$		$n \cdot 10^{-2}$
Mn	$0 \cdot n^-$	$0 \cdot n^-$	$0 \cdot n^-$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$0 \cdot n^-$
Pb	$n \cdot 10^{-3}$	$0 \cdot n^-$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$
Sn	$0 \cdot n^-$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$
Nb	n^-	$0 \cdot n^+$	$0 \cdot n^-$	$0 \cdot n^-$	$0 \cdot n^-$	$0 \cdot n$
W	$n \cdot 10^{-2}$	n^-	$n \cdot 10^{-2}$	$0 \cdot 10^{-2}$	$0 \cdot n^-$	$n \cdot 10^{-2}$
V	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	—	—	—	—
Cu	$n \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-4}$
Zn	—	$n \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$
Mg	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-3}$
Si	$0 \cdot n^+$	$0 \cdot n$	$0 \cdot n^-$	$0 \cdot n^-$	$0 \cdot n^-$	$0 \cdot n^-$
Al	$0 \cdot n^-$	$0 \cdot n^+$	$0 \cdot n^-$	$0 \cdot 1$	$0 \cdot 1$	$0 \cdot n^-$
Fe	n^-	n^-	n^-	n^-	1%	1%
Ca	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$
Ti	n^+	n^+	n^+	n^+	n^+	n^+
Y			$1 \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-2}$	

щаемого ильменита. Рутил II образуется непосредственно по ильмениту и иногда полностью слагает псевдоморфозу. Цвет агрегатов скрытокристаллического рутила II варьирует от черного (редко) до охристого и желто-коричневого. Матовый, однако, в участках, сохранивших скорлуповатую отдельность, и на поверхности отдельных «сфероидов» обладает стекляннм блеском.

Под микроскопом рутил II непрозрачен и не реагирует на поляризованный свет.

Химический анализ приведен в табл. 2. Формула, полученная при расчете его — $(\text{Ti}_{0,92}\text{Fe}^{3+}_{0,04}\text{Fe}^{2+}_{0,02}\text{Nb}_{0,02})_{1,00}\text{O}_2$. По сравнению с рутилом I, он содержит меньшее количество ниобия, приближаясь по составу к собственно рутилу, и несколько большее количество железа и марганца.

Спектральный анализ рутила II (табл. 3) сходен с анализом рутила I. Несколько большие содержания в нем W и Pb не подтвердились химическим анализом. Межплоскостные расстояния идентичны таковым для рутила I. Размер элементарной ячейки не отличается от размеров ее у рутила I ($a_0 = 4,59 \pm 0,00n$ Å; $c_0 = 2,96 \pm 0,010$ Å).

Брукит, так же как и рутил, встречается почти исключительно в псевдоморфозах по ильмениту. В единичных случаях наблюдался в виде включений в мелких кристаллах горного хрусталя вблизи псевдоморфоз. Как и рутил, образуется в виде нескольких морфологических разновидностей, отличающихся по времени образования.

Брукит I развивается как по кристаллам рутила I, так и по тонкозернистой массе рутила II. Образует выделения неправильной формы и пластинчатые кристаллы размером 0,1—0,15 см. Цвет брукита I черный, темно-зеленый и соломенно-желтый. Блеск алмазный. Химический анализ черного брукита приведен в табл. 2. Формула — $(\text{Ti}_{0,96}\text{Fe}_{0,04})_{1,00}\text{O}_{2,00}$. Спектральный — в табл. 3.

Брукит II развивается по рутилу II и по брукиту I в результате перекристаллизации последнего. Образует, так же как и брукит I, пластин-

чатые кристаллы и, кроме того, интересную морфологически тонковолокнистую разность. Пластинчатые кристаллы не отличаются от кристаллов брукита I, развивающихся по ильменорутилу и рутилу I. Они лишь в большинстве своем светлоокрашены и достигают несколько больших размеров. Тонковолокнистая разность брукита развивается исключительно только по скрытокристаллическому рутилу II и образует радиально-лучистые агрегаты. Длина отдельных волокон не превышает 0,1—0,15 см, толщина измеряется микронами. Цвет таких агрегатов, главным образом, соломенно-желтый, реже зеленый и черный. Блеск шелковистый.

Под микроскопом агрегат тонковолокнистого брукита не действует на поляризованный свет (как и тонкокристаллический рутил II).

Химический анализ тонковолокнистого брукита соломенно-желтого цвета приведен в табл. 2. Формула его — $(\text{Ti}_{0,93}\text{Fe}_{0,05}\text{Nb}_{0,02})_{1,00}\text{O}_{2,00}$.

При сравнении состава черного брукита I и соломенно-желтого брукита II оказалось, что последний содержит гораздо больше Nb, Ta и Fe при меньшем количестве Mn.

Следует отметить, что кентские брукиты (особенно волокнистая разность) характеризуются очень высоким содержанием ниобия. До сих пор такое количество Nb_2O_5 отмечалось лишь в брукитах из пегматитов щелочных ультраосновных пород (Магнет-Ков, Арканзас) (Freiklund а. о., 1954).

Результаты спектральных анализов брукитов различного цвета и габитуса приведены в табл. 3. Они весьма сходны.

Межплоскостные расстояния волокнистого брукита аналогичны эталонным.

Анализ — наиболее редкая модификация TiO_2 на месторождении. Так же, как и более ранние, встречается, главным образом, среди продуктов замещения ильменита. В очень редких случаях наблюдается в виде включений в мелких кристаллах горного хрусталя, располагающихся в участках развития псевдоморфоз.

Анализ образуется в виде выделений неправильной формы, а также в виде хорошо ограненных кристаллов. Габитус кристаллов очень разнообразен — от вытянутых вдоль оси с дипирамидальных кристаллов до изометричных и пластинчатых. Часто наблюдаются сростки пластинчатых кристаллов, причем срастание происходит как по пинакоиду (001), так и по граням дипирамиды. Неправильной формы выделения анатаза наблюдаются среди радиально-лучистого брукита II. Хорошо ограненные кристаллы в основном пластинчатого по (001) габитуса, наблюдаются в пустотах в участках пластинчатого брукита, подвергшегося перекристаллизации. В некоторых случаях наблюдалось нарастание кристаллов анатаза на брукит. Однако взаимные прорастания такого брукита и анатаза не дают возможности с уверенностью говорить о более позднем образовании анатаза.

Цвет анатаза черный. Цвет черты темно-серый. Непрозрачен. Блеск алмазный. Иногда наблюдается побегалось в синих и золотистых тонах. Химический анализ приведен в табл. 2.

Как и более ранние модификации TiO_2 , анализ характеризуется присутствием ниобия. Формула минерала — $(\text{Ti}_{0,98}\text{Fe}_{0,01}\text{Nb}_{0,01})_{1,00}\text{O}_{2,00}$.

Спектральный анализ — в табл. 3. Рентгенограмма описываемого анатаза не отличается от эталонной. Размеры элементарной ячейки: $a_0 = 3,79 \pm 0,01$ Å, $c_0 = 9,47 \pm 0,01$ Å.

При сравнении состава ильменита и продуктов его изменения (табл. 2) легко заметить, что при процессе замещения выносятся большое количество Fe и практически весь Mn. Наряду с этим происходит накопление Nb и Ta, которые в различных количествах присутствуют во всех структурных и морфологических разностях TiO_2 и почти не содержатся в ильмените № 2.

Если проследить изменение состава последовательно образующихся продуктов замещения ильменита, то обнаруживается, что от ранних модификаций TiO_2 к поздним уменьшается количество примесей в минералах. При этом среди элементов-примесей несколько увеличивается роль железа и уменьшается ниобия. Возрастает Ta/Nb (табл. 4)

Таблица 4

Соотношения элементов-примесей в различных модификациях TiO_2

Минерал	Ta/Nb	Fe		Минерал	Ta/Nb	Fe	
		Σ (Nb, Ta, Mn)				Σ (Nb, Ta, Mn)	
Рутил I (черный)	0,017	0,92:1		Брукит I (черный)	0,051	5,29:1	
Рутил I (красный)	0,016	2,29:1		Брукит II (желтый)		2,46:1	
Рутил II (лейкоксен)		3,24:1		Анализ	0,070	1,04:1	

Последовательную смену модификаций TiO_2 друг другом в какой-то степени можно объяснить резким снижением давления в конце гидротермального процесса, при котором более плотные модификации сменяются менее плотными: рутил $-\alpha = 4,18-4,59$; брукит $-\alpha = 4,07-4,16$; анатаз $-\alpha = 3,98$ (Щербина, 1967).

ЛИТЕРАТУРА

- Дэна. Система минералогии, т. 1, полутом 2, 1951.
- Жердева А. Н., Абулевич В. К. Минералогия титановых россыпей. Труды ВИМС, 1964, вып. 11.
- Михеев В. И., Калинина А. И. Сопоставление магнитных свойств, удельного веса и параметров элементарной ячейки ильменитов.— Записки Ленинград. горн. ин-та, 1961, 38, вып. 2.
- Повилайтис М. М. Основные черты минералогии Джидинского вольфрамового месторождения. Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 24, 1960.
- Чухров Ф. В. Минералогия и зональность Восточного Коунрада. Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 50, 1960.
- Щербина В. В. Об изменении химических свойств элементов при высоких давлениях.— Докл. АН СССР, 1967, 173, № 5.
- Чистякова М. Б. Минералогия и генетические особенности хрусталеносных пегматитов Кента. Труды Минерал. музея им. А. Е. Ферсмана, вып. 23, 1974.
- Freyklund V. C., Harner R. C., Keiser E. P. Niobium and titanium at Magnet Cove and Potasch sulfur springs, Arkansas.— U. S. Geol. Surv. Bull., 1954, N 1015-B.