
НОВЫЕ ВЕЩЕСТВА,
МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ

УДК 661.882.22-14.022.1

ПОЛУЧЕНИЕ ПИГМЕНТНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА ИЗ ИЛЬМЕНИТА АРИАДНЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИМОРСКОГО КРАЯ¹

© 2025 г. П. С. Гордиенко^a, Д. В. Достовалов^a, С. Б. Ярусова^{a,*}, Д. П. Опра^a,
Д. В. Андросов^b, И. Г. Жевтун^a, В. В. Суховой^a, С. И. Иванников^a

^a Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук,
пр. 100-летия Владивостока, 159, г. Владивосток, 690022 Россия

^b Дальневосточный геологический институт ДВО РАН,
пр. 100-летия Владивостока, 159, г. Владивосток, 690022 Россия

*e-mail: yarusova_10@mail.ru

Поступила в редакцию 25.08.2024 г.

После доработки 29.11.2024 г.

Принята к публикации 17.02.2025 г.

В работе представлены результаты исследований по получению из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения (Приморский край) диоксида титана гидрофторидным способом. Получены данные по элементному, фазовому составу, диоксида титана при пирогидролизе оксопентатитаната аммония из ильменитового концентрата, в том числе при совместном пиро-гидролизе с аморфным диоксидом кремния. Проведен сравнительный анализ по величинам коэффициентов белизны полученных образцов диоксида титана с образцами широко применяемых марок пигментов, выпускаемых известными мировыми производителями. Установлено, что по сравнению с коммерческими аналогами образцы, полученные из ильменитового концентрата, сопоставимы по белизне или превышают ее значения.

Ключевые слова: диоксид титана, пигменты, ильменитовый концентрат, Ариадненское месторождение, гидрофторидный способ, пирогидролиз, коэффициент отражения, белизна

DOI: 10.31857/S0044185625010076 EDN: LDHKRC

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что 90–95% титанового сырья в мире ежегодно используются для получения пигментного диоксида титана, главным потребителем которого является лакокрасочная промышленность (получение белил, эмалей, красок). В меньшем количестве диоксид титана используется в качестве белого наполнителя в резиновой

и бумажной промышленности, в производстве линолеума, пластмасс, огнеупоров, керамических изделий, волокнистого стекла и в полиграфии [1].

В настоящее время спрос на диоксид титана в РФ составляет примерно 160–180 тыс. т/год, а по прогнозам к 2030 г. эта цифра составит 220–260 тыс. т/год. Рынок диоксида титана в России остается импортозависимым, и многие предприятия испытывают дефицит диоксида титана, особенно остро после введения санкций и разрыва логистических цепочек, что говорит о необходимости разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем для последующей организации нового производства, работающего на отечественной сырьевой базе [2, 3].

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии ДВО РАН, № 0205-2025-0002, тема 2, раздел 3. Исследования проведены с использованием оборудования ЦКП “Дальневосточный центр структурных исследований ИХ ДВО РАН” и на оборудовании ЦКП “Приморский центр локального, элементного и изотопного анализа ДВГИ ДВО РАН”.

В настоящее время производство диоксида титана осуществляется двумя основными способами — сернокислотным (сульфатным) и хлоридным, масштабы применения которых в мире примерно одинаковы. Достоинства и недостатки данных способов производства пигментной двуокиси титана достаточно давно и подробно описаны в научно-технической литературе [4–6]. Внимание уделяется и фторидным способам получения диоксида титана из различного титаносодержащего исходного сырья [7, 8].

В Институте химии ДВО РАН разработаны физико-химические основы и обоснована технологическая схема экологически приемлемого безотходного гидрофторидного способа переработки ильменитовых концентратов с получением пигментов на основе диоксида титана и оксидов железа с возвратом в технологическом цикле реагентов вскрытия (фтораммонийных солей) и с минимальным водопотреблением. Гидрофторидный метод апробирован в лабораторных условиях на многих образцах ильменитовых концентратов из различных месторождений РФ, Украины, Новой Зеландии, Китая, а также на концентрате перовскита [9].

Качество пигментного диоксида титана (по таким техническим показателям, как белизна, дисперсность, укрывистость) значительно влияет на качество конечной продукции и ее конкурентоспособность на потребительском рынке. Так, к титановым пигментам для лакокрасочной промышленности, используемым в красочных составах на основе различных пленкообразующих компонентов, предъявляются определенные требования по сочетанию хороших оптических свойств и продолжительного срока службы [10].

Химические, фотохимические и физические характеристики в основном определяются размером частиц и химическим составом его поверхности. Поэтому для улучшения таких важнейших характеристик, как диспергируемость в воде и органических средах, укрывающая способность, сопротивление тепловой и фотоокислительной деструкции, большинство выпускаемых марок диоксида титана имеют поверхностную обработку неорганическими (оксиды алюминия, циркония, кремния) или органическими соединениями. В [11] проведено сравнительное исследование технических характеристик диоксида титана различных марок с учетом поверхностной обработки и сравнительный анализ белизны разноточных эмалей, полученных на основе TiO_2 .

Авторы [12] при исследовании параметров дисперсности двух марок пигментного диоксида

титана из дорогого и доступного ценовых диапазонов методом лазерной дифракции отмечают, что производители лакокрасочных материалов при выборе белого пигмента принимают во внимание само наличие технической документации на него, а не на значения перечисленных технических параметров, так как уровень их близок у разных производителей. Решение о выборе того или иного пигмента в большинстве случаев основывается на балансе между стоимостью, брендом и степенью доверия к нему, а также сложившимися отношениями между производителями пигмента и краски. Однако необходимы критерии, позволяющие оценить качество пигмента, помимо доверия к бренду и вере на слово производителю. В качестве такого критерия авторы указывают на преимущество развернутой характеристики дисперсности пигмента, т.к. именно она во многом определяет и реологию композиции, и укрывистость краски, и декоративные свойства и долговечность покрытия.

Однако сравнительные исследования пигментного диоксида титана по основным техническим параметрам, в зависимости от способа и технологии его получения, режимов и способов поверхностной обработки, в современной литературе встречаются в ограниченном количестве.

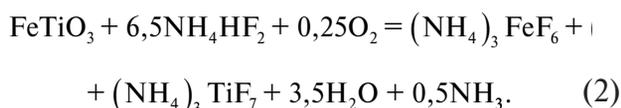
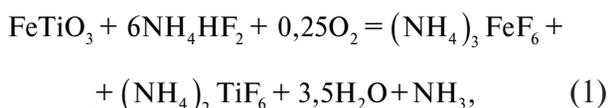
В данной работе проведен сравнительный анализ по величинам коэффициентов белизны образцов диоксида титана, полученных по гидрофторидной технологии из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения (Приморский край РФ), с образцами широко применяемых марок пигментов, выпускаемых известными мировыми производителями.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве исходного сырья для получения диоксида титана был использован ильменитовый концентрат с Ариадненского месторождения (Приморский край, РФ), представляющий собой сыпучий материал черного цвета с размером частиц не более 0.5 мм.

Химический состав ильменитового концентрата Ариадненского месторождения определяли с использованием следующего оборудования: атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой Optima-4300 DV (Perkin-Elmer, США); рентгенофлуоресцентный волновой спектрометр MagiX PRO (PANalytical, Голландия); спектрофотометр ПЭ-5400В (ПромЭкоЛаб, Россия); анализатор углерода и серы SC-144DR (Leco, США).

Для получения фтораммонийных солей титана и железа с целью их последующего пирогидролитического разложения и получения оксидов, пригодных в качестве пигментов, ильменитовый концентрат профторирован кислой фтораммонийной солью NH_4HF_2 (марка “ч.”, ГОСТ 9546-75, производитель АО “АМК-групп”, г. Санкт-Петербург). Соотношение (весовое) ильменита и соли составляло 1 : 2.4, согласно стехиометрическому соотношению уравнения (1) или (2) (с некоторым увеличением реагента вскрытия при наличии примесей в концентрате):



Фторирование проведено в закрытом реакторе при температуре 140°C с утилизацией газовых продуктов реакции. Время фторирования 4 ч.

Выделенную из спека при выщелачивании раствором NH_4F фтораммонийную соль $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$ с примесью соли железа $(\text{NH}_4)_3\text{FeF}_6$ очищали при аммиачном гидролизе от солей железа путем высаливания соли железа и образующейся при аммиачном гидролизе соли $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$ соли $(\text{NH}_4)_3\text{TiOF}_5$, которая изоструктурна соли $(\text{NH}_4)_3\text{FeF}_6$ [13].

Полученную соль титана $(\text{NH}_4)_3\text{TiOF}_5$ из ильменитового концентрата с Ариадненского месторождения подвергали пирогидролитическому разложению при различных режимах и температурах.

Конечными продуктами пирогидролитического разложения являются диоксид титана, аммиак и гидрофторид. Аммиак и гидрофторид необходимо собирать в абсорбере для последующего использования в технологическом процессе.

Также проводили совместный пирогидролитический процесс с диоксидом кремния (РА). Мольное соотношение титана и кремния в исходной шихте с небольшим избытком кремния $\text{Ti}/\text{Si} = 1 : (1.1-1.2)$. Диоксид кремния (РА) с удельной поверхностью 57 м²/г синтезирован при аммиачном гидролизе соли $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$. Гексафторсиликат аммония, в свою очередь, синтезирован с использованием окиси кремния (IV) вод., ч., ГОСТ 4214-78 и аммония фтористого кислого. Диоксид кремния (РА), используемый в экспериментах в составе шихты, представляет собой рентгеноаморфный

нанодисперсный порошок из сферических частиц диаметром до 250 нм.

В качестве образцов сравнения по коэффициенту белизны исследованы марки титановых пигментов следующих производителей: KRONOS 2190 (сульфатная технология, рутильная модификация оксида, производство Германия); P-02 (сульфатная технология, рутильная модификация оксида, ГОСТ 9808-84, производство “Крымский титан”, Россия); TIKON TR-33 (сульфатная технология, рутильная модификация оксида, производитель фирма Jiangxi Tikon Titanium Products Co., Ltd., КНР); ТИОКСИД® TR90 (рутильная модификация оксида, производство США); ТИОКСИД R-TC30, R-TC-90 (хлоридная технология, рутильная модификация оксида, Venator (бывш. Huntsman P&A), производство Великобритания). Все образцы пигментов представляют собой мелкодисперсные порошки диоксида титана, обработанные солями алюминия, циркония или кремния. Данные о производителях, модификации, технологии получения взяты из сопроводительных документов и сертификатов к пигментам.

Рентгенограммы осадков снимали на автоматическом дифрактометре D8 ADVANCE (Германия) с вращением образца в CuK_α -излучении. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили с использованием программы поиска EVA с банком порошковых данных PDF-2.

Определение активности природных радионуклидов в концентрате проводилось методом гамма-спектрометрии на полупроводниковом германиевом детекторе GC2018 (Canberra, США).

Для количественного определения элементного состава образцов применен энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный метод с использованием спектрометра Shimadzu EDX 800 HS (Япония). Анализ проводили в порошках без запрессовки в таблетки.

Изучение морфологических характеристик и подтверждение локального элементного состава выполнено на электронном микроскопе высокого разрешения Hitachi S5500 (Япония).

Оптические характеристики образцов изучали с помощью метода спектрофотометрии на спектрофотометре Shimadzu 2600 (Япония) с приставкой ISR-2600Plus для работы в режиме диффузного отражения при комнатной температуре в диапазоне длин волн 200–800 нм со спектральной шириной щели 1 нм и шагом сканирования 1 нм. В роли непоглощающего стандарта действовали сульфат бария (ос.ч., Nacalai Tesque, Япония).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены данные по химическому составу концентрата Ариадненского месторождения.

Согласно данным РФА, фазовый состав ильменита Ариадненского месторождения характеризуется наличием ильменита FeTiO_3 , следов кварца SiO_2 , рутила TiO_2 и следов неизвестной фазы. Согласно данным гамма-спектрометрического анализа, рассчитанная величина удельной эффективной активности естественных радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) для исследуемого ильменитового концентрата составляет 32.1 Бк/кг, что позволяет применять данный материал в любых строительных, химических, технологических процессах и изделиях.

Элементный состав исходного концентрата ($A_{\text{и}}$) и продуктов, полученных после фторирования ($A_{\text{ф}}$), приведен в табл. 2.

Таблица 1. Химический состав ильменитового концентрата Ариадненского месторождения

Компонент	Содержание, мас. %
MgO	2.93
Al ₂ O ₃	0.31
SiO ₂	2.18
K ₂ O	0.08
CaO	0.62
TiO ₂	53.07
V	0.21
Cr ₂ O ₃	0.22
MnO ₂	0.68
Fe _{общ}	34.73
S _{общ}	0.02
P ₂ O ₅	<0.01
Zr	0.02
Nb	0.02

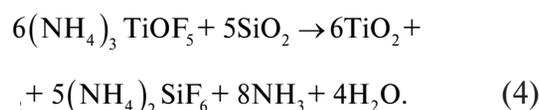
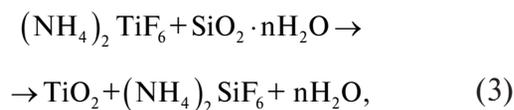
Таблица 2. Элементный состав образцов ильменитового концентрата Ариадненского месторождения до и после фторирования

Образец	Содержание элемента, мас. %										
	Ti	Fe	Nb	Mg	Mn	Si	Ca	Cr	Al	K	Zr
A _ф	35.3	59.9	0.05	2.13	0.93	0.78	0.28	0.25	0.17	0.08	0.08
A _и	41.1	52.9	0.04	2.09	0.97	1.63	0.58	0.26	0.34	0.03	0.05

По данным РФА, в составе спека (профторированного ильменитового концентрата) имеются кристаллические фазы: гексафтороферрат аммония $(\text{NH}_4)_3\text{FeF}_6$; гексафторотитанат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$; смешанная соль $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 \cdot \text{NH}_4\text{F}$.

Для очистки фтораммонийной соли титана от соли железа использовали их различие в величинах растворимости в водных растворах фторида аммония. В [14, 15] было установлено, что растворимость гексафторотитаната аммония в водных растворах фторида аммония значительно больше, чем соли железа и зависит от концентрации солевого фона по NH_4F . При pH раствора 7–7.5 выпадает осадок с концентрацией железа по отношению к титану в десятки раз выше, чем в растворе. При увеличении концентрации NH_4F в растворе до 18–20% отношение титана к железу увеличивается до нескольких тысяч. Из раствора, очищенного от железа до заданной концентрации, выделяли соль $(\text{NH}_4)_3\text{TiOF}_5$, которую использовали для получения диоксида титана.

В [16] было показано, что диоксид кремния связывает продукты пирогидролитического гидролиза (NH_3 , HF) с образованием соли $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$, которая конденсируется при температуре в пределах 250–300°C, согласно уравнениям (3), (4):



Согласно данным термогравиметрического анализа, диоксид кремния (РА) влияет на кинетику процесса пирогидролитического гидролиза солей, снижая конечную температуру процесса замещения фтора кислородом, и снижает коррозионную активность продуктов пирогидролитического гидролиза на материалы внутренней футеровки пирогидролитической печи.

В табл. 3 приведены данные по элементному составу образцов диоксида титана, полученных при пирогидролизе оксопентафторотитаната аммония из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения, в том числе при совместном пирогидролизе с аморфным диоксидом кремния (РА).

Из анализа элементного состава следует, что в составе образцов мелкодисперсных порошков диоксида титана из оксопентафторотитаната аммония присутствуют элементы, окислы которых должны влиять на коэффициенты отражения электромагнитного излучения солнца в области длин волн видимого спектра. Установлено некоторое отличие в величинах примесных элементов в образцах диоксида титана (табл. 3). По предварительным данным, это следует отнести к различным условиям получения образцов оксопентафторотитаната аммония № 1 и 2, 4, 5, 6 из водных растворов NH_4F с концентрацией 7.5 и 13% соответственно, при выщелачивании профторированного ильменита при $\text{T} : \text{Ж} = 1 : 5$, и образца № 3 из раствора с $\text{T} : \text{Ж} = 1 : 3$ с концентрацией NH_4F 13%. Образец № 6 получен при пирогидролизе смеси оксопентафторотитаната

аммония и диоксида кремния взятого с избытком более 15% от необходимого по стехиометрии в соответствии с уравнением (4).

Белизна диоксида титана

Одним из основных параметров, предъявляемых к диоксиду титана, как к пигментному материалу, является белизна. Согласно принятым представлениям, белизна материала определяется соотношением коэффициентов отражения на определенных участках спектрофотометрического спектра. В [4] приведены наиболее распространенные формулы расчета относительной белизны пигментов по разности коэффициентов отражения в двух участках спектра:

$$W = R_{430} - (R_{670} - R_{430}) = 2R_{430} - R_{670}, \quad (\text{I})$$

или
$$W = 100 - (\rho_{670} - \rho_{430}), \quad (\text{II})$$

где W — белизна; R_{430} и R_{670} — коэффициенты отражения для $\lambda = 430$ нм и $\lambda = 670$ нм соответственно.

Таблица 3. Элементный состав образцов диоксида титана из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения

№ п/п	Название образца и режим получения (температура пирогидролиза)	Ti	Fe	Si	Nb	Cu	S	K	Zr	Mn
1	С дошихтовкой РА, 700°C	99.84	0.04	0.03	0.03	—	—	—	—	—
2	Без дошихтовки, 700°C	99.47	0.2	0.27	0.03	—	—	—	0.03	—
3	Без дошихтовки	98.13	0.08	1.56	0.08	0.03	0.09	—	0.02	—
4	Без дошихтовки	98.59	0.04	0.6	0.01	—	0.53	0.19	0.01	0.03
5	Без дошихтовки	99.1	0.04	0.5	0.02	—	0.3	—	0.01	—
6	С дошихтовкой РА, 700°C, 3 ч	83.8	0.08	15.3	0.08	—	0.6	—	0.02	0.09

В табл. 4 приведены данные элементного состава образцов сравнения (титановых пигментов различных производителей), с использованием метода РФА порошков (не спрессованных, а помещенных в кювету).

Известно, что наличие незначительного количества примесей окислов в диоксиде титана, особенно окислов переходных металлов и ванадия, приводит к изменению его окраски, но на окраску пигментных материалов влияют не только примеси, но и их химический состав, структура, морфология и дисперсность материала. Очистка исходного состава вещества от примесей (Cr_2O_3 , CoO , CeO_2 , CuO , Fe_2O_3 , MnO , V_2O_5 , PbO), из которого получают диоксид титана, по имеющимся литературным данным, должна быть до сотых и тысячных долей процентов, в зависимости от элемента.

В образцах сравнения (табл. 4) пигментов не обнаружены элементы вышеуказанных примесей, но в образцах пигментов P-02 присутствует сурьма, ниобий, а в KRONOS-2190, TIKON TR-33, ТИОКСИД® TR90 – ниобий. Валентность этих элементов неизвестна, но если она больше четырех, то такие примеси в диоксиде титана должны придавать пигменту синеватый оттенок. Такое же влияние на изменение окраски диоксида титана оказывают и другие ионы с валентностью более 4 (Sb^{5+} , Ta^{5+} , W^{5+} , Mo^{5+}), внедряемые в решетку диоксида титана и приводящие к образованию ионов трехвалентного титана [4]. В табл. 3 приведены данные по элементному составу полученных из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения образцов диоксида титана. Как следует из табл. 3, в составе образцов присутствуют примесные элементы, которые, согласно литературным

данным, влияют на белизну, но как это проявится на образцах пигмента, полученных из фторидных систем, предстоит изучить.

В табл. 5 приведены данные по коэффициентам отражения для длин волн $\lambda = 430$ нм и $\lambda = 670$ нм и рассчитанная, согласно формулам (I) и (II), белизна образцов сравнения и образцов диоксида титана, полученных пирогидроллизом из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения.

По литературным данным, величина белизны, рассчитанная по уравнению (I), дает лучшее совпадение с визуальной оценкой, и в данной работе сравнительный анализ величин белизны проведен по этим значениям. Согласно представленным результатам, величина белизны эталонов изменяется от 68.43% для P-02 до 73.65% для TIOXIDE R-TC30. Для образцов из ильменитового концентрата более высокие значения белизны от 81.96 до 84.25% имеют образцы № 7 и № 12, полученные из шихты “оксопентафтортитанат аммония + диоксид кремния PA” при нагреве до 700°C и при выдержке 3 ч. Увеличение времени пирогидролиза при температуре 700°C (образец № 6) до 6 ч приводит к уменьшению величины белизны. Можно сделать предположение, что это связано с раскристаллизацией частиц диоксида титана анатазной модификации и зарождением рутильной фазы.

На рис. 1 и 2 приведены оптические спектры отражения образцов сравнения и образцов диоксида титана, полученных пирогидроллизом из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения.

Во всем видимом спектре коэффициент отражения образцов, полученных из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения,

Таблица 4. Элементный состав титановых пигментов различных производителей

Образец	TiO ₂	Al	Zr	P	Ca	S	Si	Zn	Nb	Sb
KRONOS-2190	96.58	2.53	0.44	0.18	0.08	0.08	0.06	0.03	0.02	
P-02	97.3	1.48	0.01			0.15	0.43	0.17	0.24	0.22
TIKON TR-33	96.74	2.43	0.29	0.21		0.07		0.09	0.17	
ТИОКСИД® TR90	96.5	2.08	0.56	0.32		0.1	0.05		0.39	
TIOXIDE R-TC30	95.82	3.23	0.03	0.02	0.06	0.08	0.76			
TIOXIDE R-TC90	96.34	2.81	0.05	0.05		0.16	0.59			

Таблица 5. Данные по коэффициентам отражения для длин волн $\lambda = 430$ нм и $\lambda = 670$ нм и рассчитанная белизна образцов диоксида титана, полученных из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения

№ п/п	Образцы	Коэффициент отражения ρ для длины волны λ , нм		$W = 2\rho_{430} - \rho_{670}$	$W = 100 - (\rho_{670} - \rho_{430})$
		430	670		
1	KRONOS-2190	70.42	71.96	68.88	98.46
2	P-02	71.63	74.83	68.43	96.80
3	TIKON TR-33	72.04	72.04	72.04	100
4	ТИОКСИД ® TR90	71.56	72.19	70.93	99.37
5	TIOXIDE R-TC30	73.31	72.97	73.65	99.66
6	С дошихтовкой PA (двойной нагрев до 700°C)	77.48	83.05	71.91	94.43
7	С дошихтовкой PA, 700°C (образец № 1 в табл. 3)	84.20	86.44	81.96	97.76
8	С дошихтовкой PA, 800°C	78.19	79.50	76.88	98.69
9	С дошихтовкой PA, 700°C	82.16	84.52	79.80	97.64
10	Без дошихтовки, 800°C	80.54	82.34	78.74	98.20
11	Без дошихтовки, 700°C (образец № 2 в табл. 3)	78.19	79.50	76.88	98.69
12	С дошихтовкой PA, 700°C, 3 ч (образец № 6 в табл. 3)	83.10	81.95	84.25	98.85
13	Без дошихтовки (образец № 5 в табл. 3)	79.40	82.40	76.40	97.00
16	BaSO ₄ (запресован)	102.00	102.00	102.00	100*
17	BaSO ₄ (кювета)	82.69	79.69	85.69	103*
18	MgO (реактив 1)	86.09	85.11	87.07	100.98*
19	MgO (ч.д.а.)	83.16	83.32	83.00	99.84

превышает значения, полученные для образцов сравнения в виде коммерческих аналогов (рис. 1, 2). По сравнению с коммерческими аналогами образцы, полученные из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения, в некоторых случаях сопоставимы по белизне

или же несколько превышают ее значения (как в случае с образцом P-02). Максимальные значения белизны зарегистрированы для образцов 7 (81.96%), 9 (79.8%), 12 (84.25%). Для образцов, полученных при температурах пирогидролиза выше 700°C, значения белизны снижаются.

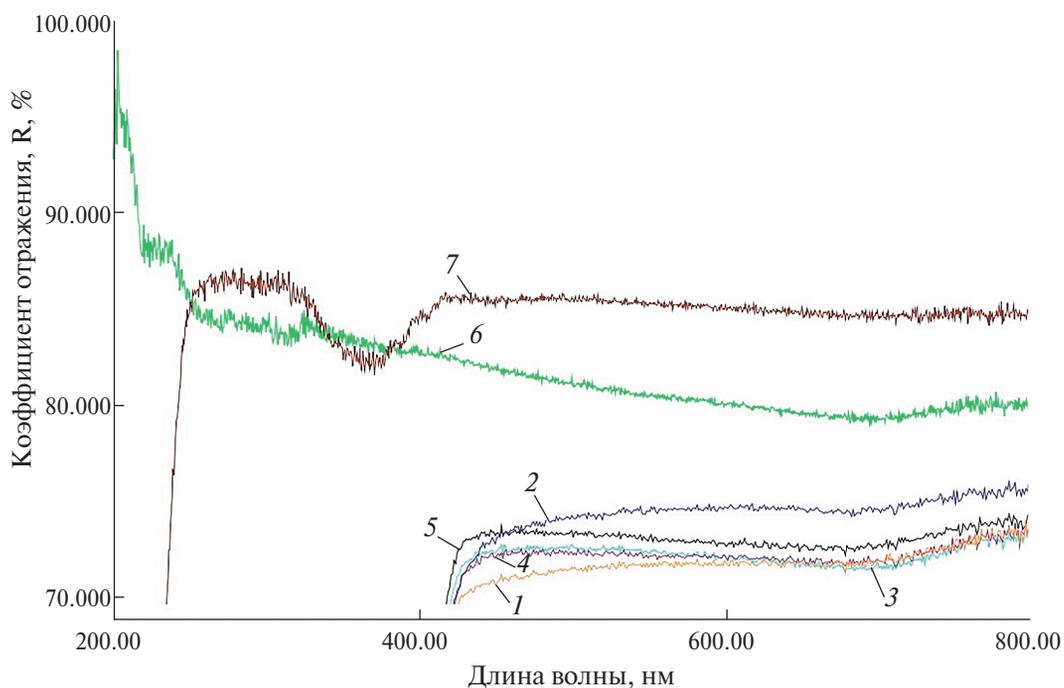


Рис. 1. Оптические спектры отражения образцов сравнения (коммерческих образцов диоксида титана): 1 – KRONOS-2190, 2 – P-02, 3 – TIKON TR-33, 4 – ТИОКСИД® TR90, 5 – ТИОХИД R-ТС30, 6 – BaSO₄ в кювете, 7 – MgO ч (реактив 1).

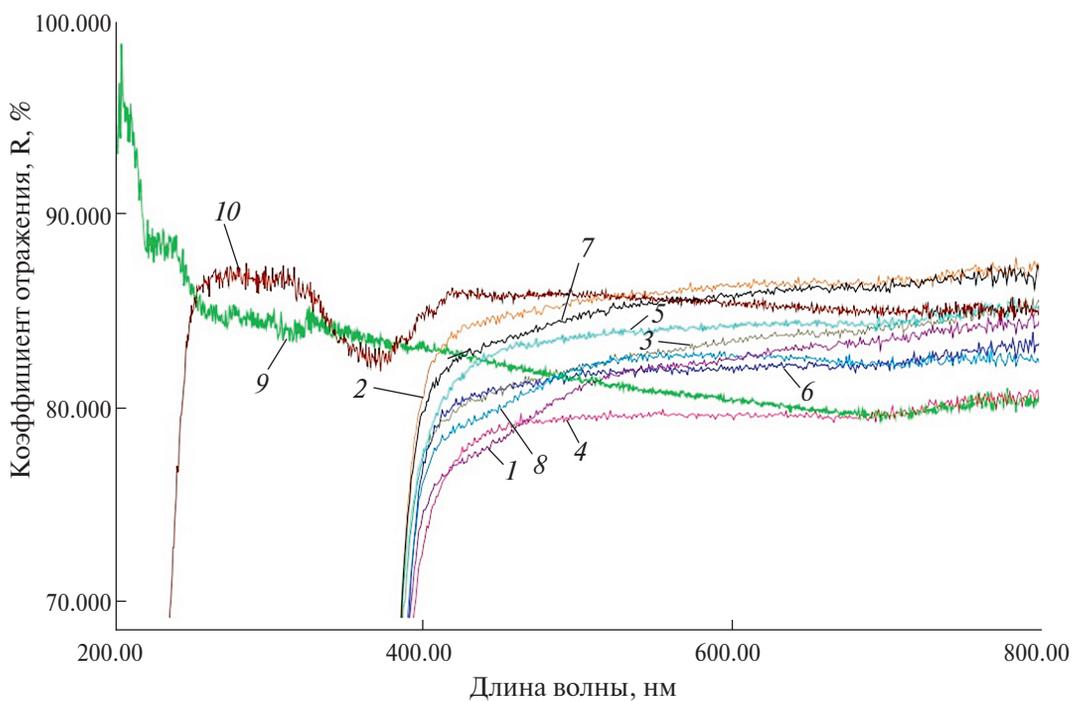


Рис. 2. Оптические спектры отражения образцов диоксида титана, полученных из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения (нумерация образцов в соответствии с табл. 5): 1 – образец 6, 2 – образец 7, 3 – образец 8, 4 – образец 11, 5 – образец 9, 6 – образец 10, 7 – образец 12, 8 – образец 13, 9 – BaSO₄ в кювете, 10 – MgO ч (реактив 1).

ВЫВОДЫ

Таким образом, при различных временных и температурных режимах получена серия образцов диоксида титана из ильменитовых концентратов Ариадненского месторождения. Получены данные по элементному и фазовому составу образцов диоксида титана при пирогидролитическом оксопентафтортитаната аммония из ильменитового концентрата, в том числе при совместном пирогидролитическом с аморфным диоксидом кремния. Из полученных данных следует, что белизна диоксида титана полученного по гидрофторидной технологии, несмотря на наличие обнаруженных некоторых красящих примесей в пределах сотых долей процентов, превышает подобный параметр образцов сравнения.

В дальнейших исследованиях планируется провести более детальный сравнительный анализ образцов диоксида титана, полученных по гидрофторидной технологии из ильменитовых концентратов Ариадненского месторождения с дошихтовкой и без дошихтовки аморфным диоксидом кремния, и из модельной системы (в виде реактива фтораммонийной соли титана $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$, не содержащей красящих примесей) при пирогидролитическом при различных временных и температурных режимах, в том числе при дискретном нагреве, и с исследованием влияния морфологии, дисперсности и фазового состава образцов на изучаемые свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архипов Г.И.* Минеральные ресурсы горнорудной промышленности Дальнего Востока. Обзор состояния и возможности развития. М.: Издательство "Горная книга", 2011. 830 с.
2. *Николаева О.А.* // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2019. № 4 (66). С.129–145.
<https://doi.org/10.25702/KSC.2220-802X-4-2019-66-129-145>
3. В Крыму возобновил работу завод по производству диоксида титана: [сайт].
URL: <https://ria.ru/20220419/titan-1784301878.html>
(дата обращения: 10.07.2024)
4. *Беленький Е.Ф., Рискин И.В.* Химия и технология пигментов. Л.: Химия, 1974. 656 с.
5. *Добровольский И.П.* Химия и технология оксидных соединений титана. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 178 с.
6. *Хазин Л. Г.* Двуокись титана. Л.: Химия, 1970. 176 с.
7. *Гордиенко П.С., Щека С.А., Бакеева Н.Г. и др.* // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельный выпуск. 2010. ОВ № 4. С. 278–288.
8. *Дмитриев А.Н., Смороков А.А., Кантаев А.С. и др.* // Известия вузов. Черная металлургия. 2021. Т.64. № 3. С. 178–183.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-3-178-183>
9. *Gordienko P.S., Yarusova S.B., Pashnina E.V. et al.* // Process Engineering Journal. 2017. Vol. 1. P. 31–34.
10. *Павлуценко Л.Е., Губа Л.Н.* // Строительство и техногенная безопасность. 2013. № 46. С. 56–62.
11. *Тур Э.А., Голуб Н.М., Басов С.В.* // Вестник Брестского государственного технического университета. 2015. № 2. С. 96–98.
12. *Фомина Н.Н., Исмаилов А.Р., Фомин В.Г.* // Строительные материалы и технологии. 2020. № 2. Т. 88. С. 136–142.
<https://doi.org/10.33979/2073-7416-2020-88-2-136-142>
13. *Laptash N.M., Maslennikova I.G., Kaidalova T.A.* // Journal of Fluorine Chemistry. 1999. V. 99. №. 2. P. 133–137.
14. *Бакеева Н.Г., Гордиенко П.С., Пашнина Е.В.* // Химическая технология. 2007. С. 389–391.
15. *Бакеева Н.Г., Гордиенко П.С., Пашнина Е.В.* // Журнал общей химии. 2009. Т. 79. № 1. С. 3–8.
[*Bakeeva N.G., Gordienko P.S., Pashnina E.V.* // Russian journal of general chemistry. 2009. Vol. 79. P. 1–6.
<https://doi.org/10.1134/S1070363209010010>]
16. *Гордиенко П.С., Пашнина Е.В., Буланова С.Б. и др.* // Химическая технология. 2021. Т. 22. № 12. С. 530–542.
<https://doi.org/10.31044/1684-5811-2021-22-12-530-542>
[*Gordienko P.S., Pashnina E.V., Bulanova S.B. et al.* // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2022. V. 56, № 5. P. 819–829.
<https://doi.org/10.1134/S0040579522050062>]