



# Направления исследований в области комплексной переработки минерального и техногенного сырья Приморского края

Ярусова Софья Борисовна, к.х.н., доцент, с.н.с.  
Лаборатории защитных покрытий и морской  
коррозии Института химии ДВО РАН

Гордиенко Павел Сергеевич, д.т.н., профессор,  
зав. лабораторией защитных покрытий и  
морской коррозии Института химии ДВО РАН

г. Владивосток  
E-mail: [yarusova\\_10@mail.ru](mailto:yarusova_10@mail.ru)



# Развитие минерально-сырьевой базы Дальневосточного региона РФ

**Перечень поручений по результатам проверки исполнения законодательства и решений Президента, направленных на развитие перспективной минерально-сырьевой базы (от 28.06.2022 г. № Пр-1130) Правительству Российской**

Федерации - разработка и реализация комплекса первоочередных мероприятий по формированию спроса на отечественные твердые полезные ископаемые в отдельных критически важных секторах экономики (металлургия, ОПК, химическая, медицинская промышленность, строительство).

**2022 г. - создание Дальневосточного научно-образовательного консорциума «Морская горная отрасль» - объединение усилий участников в научно-образовательной сфере для развития освоения минерально-сырьевых ресурсов прибрежных территорий, континентального шельфа и международного района морского дна.**

**2023 г. – Постановление Президиума РАН № 70 от 11.04.2023 г. «О состоянии и перспективах развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации» - разработка Паспорта «Комплексной научно-технической программы освоения твердых полезных ископаемых окраинных морей и прилегающих к ним континентальных территорий Дальнего Востока России.**



11 апреля 2023 г.

Москва

№ 70

О состоянии и перспективах развития  
минерально-сырьевой базы Российской  
Федерации

2.4. Дальневосточному отделению РАН (академик РАН Кульчин Ю.Н.)  
совместно с профильными объединенными учеными советами  
Дальневосточного отделения РАН и профильными отделениями РАН  
разработать Паспорт «Комплексной научно-технической программы освоения  
твердых полезных ископаемых окраинных морей и прилегающих к ним  
континентальных территорий Дальнего Востока России».



# Развитие минерально-сырьевой базы Дальневосточного региона РФ

Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук создан по постановлению Президиума Академии наук СССР 1 июля 1971 года на базе Отдела химии Дальневосточного филиала Сибирского отделения АН СССР. Специфика минеральных ресурсов Дальнего Востока и Тихого океана, почти полное отсутствие горно-химической и химической промышленности в этом богатейшем регионе, перспективы его развития предопределили основное научное направление института: **"Разработка физико-химических основ углубленной переработки минеральных ресурсов, включая ресурсы моря, и на этой основе синтез, изучение строения и свойств материалов с заданными функциональными свойствами, в том числе перспективных для морских технологий и техники."**



# Фторсодержащее минеральное сырье и отходы его переработки



В Приморском крае имеется несколько месторождений плавикового шпата (Вознесенский рудный район) где наряду с флюоритом в рудах находятся соединения бериллия, рубидия, лития, цезия.

Рядом с Вознесенским находится Пограничное месторождение, представленное редкометально-флюоритовой минерализацией слюдисто-флюоритового и топаз-флюоритового типов, с содержанием флюорита до 42%. В рудах Пограничного месторождения кроме флюорита, бериллия, редких щелочных металлов содержатся тантал, ниобий, цинк.

**Средние содержания флюорита, оксидов бериллия, лития, рубидия и цезия (%) в рудах и отвальных продуктах Вознесенского и Пограничного месторождений [Архипов Г.И., 2011]**

Компонент	Руды Вознесенского месторождения	Отвальные хвосты Вознесенского месторождения	Балансовые руды Пограничного месторождения, 1963 г.	Забалансовые руды глубоких горизонтов Пограничного месторождения, 2004 г.
BeO	0,06	0,14	0,247	0,37
Li <sub>2</sub> O	0,45	0,67	0,17	0,164
Rb <sub>2</sub> O	0,26	0,39	0,14	0,09
Cs <sub>2</sub> O	0,02	0,018	0,01	-
CaF <sub>2</sub>	38,33	14,3	39,94	38,66

При обогащении флюоритсодержащих руд и производстве плавиковошпатовых концентратов после флотационных процессов накапливаются так называемые техногенные отходы со средним содержанием в них CaF<sub>2</sub> до 15–20%. По данным Отдела геологии и лицензирования департамента по недропользованию по Дальневосточному федеральному округу, в хвостохранилищах Ярославского ГОКа по состоянию на 01.01.2014 г. учтено 28049,2 тыс. т отходов флотации флюоритового концентрата, в которых содержится 0,1281% (~35,9 тыс. т) оксида бериллия, 0,4492% (~126 тыс. т) оксида лития, 0,2499% (~70,1 тыс. т) оксида рубидия, 0,0123% (~3,456 тыс. т) оксида цезия. И это только некоторые наиболее важные соединения.

# Фторсодержащее минеральное сырье и отходы его переработки

## Содержание основных компонентов в пробах руд, перерабатываемых на Ярославском ГОКе

№ п/п	Руда	Содержание основных компонентов, масс. %		
		CaF <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
1	Слюдисто-флюоритовая руда (СФР-1)	15,21	0,86	43,88
2	Слюдисто-флюоритовая руда (СФР-2)	39,81	4,32	18,0
3	Кварц-топазовая флюоритовая руда (КТФР-3)	41,57	0,89	21,12
4	Флюорит-топазовая руда (ФТР-4)	31,42	0,74	29,38

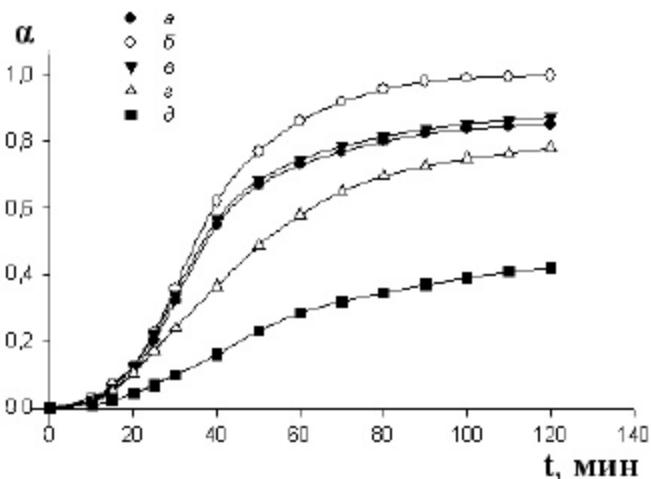
## Данные химического анализа отходов Ярославского ГОКа

Компонент	Содержание, масс. %	
	Данные Института химии ДВО РАН	Данные заводской лаборатории Ярославского ГОКа
CaF <sub>2</sub>	26,48	29,6
CaCO <sub>3</sub>	10,66	10,3
SiO <sub>2</sub>	29,82	24,9

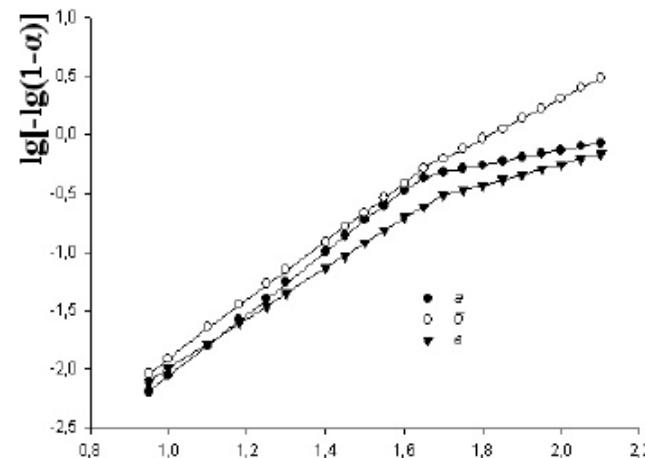
## Результаты определения содержания элементов в отходах Ярославского ГОКа методом ИСП-МС

Элемент	Содержание, г/т	Элемент	Содержание, г/т
Ве	727,8	Се	7,78
Sc	3,25	Pr	1,09
V	25,63	Nd	4,70
Cr	25,68	Sm	1,16
Co	3,40	Eu	0,20
Ni	9,37	Gd	1,12
Cu	89,37	Tb	0,20
Zn	2402	Dy	1,30
Ga	19,88	Ho	0,29
Rb	1059	Er	0,86
Sr	912	Tm	0,12
Y	8,52	Yb	0,76
Zr	17,98	Lu	0,10
Nb	20,92	Hf	3,34
Mo	11,20	Ta	10,96
Cd	6,82	W	146,8
Sn	446,7	Pb	699,9
Cs	24,92	Th	12,21
Ba	112,4	U	3,25
La	3,56		

# Сернокислотное разложение флюорита в присутствии $\text{SiO}_2$



Зависимость степени извлечения фтора  $\alpha$  от времени  $t$  (мин) при сернокислотном разложении флюорита при температуре 120°C: а – минерал флюорит; б – минерал флюорит (или ФК-92) в присутствии  $\alpha$ -кварца; в – флюоритовый концентрат ФК-92; г – минерал флюорит в присутствии 18% слюды; д – слюдисто-флюоритовая руда СФР



Логарифмическая зависимость степени извлечения фтора  $\lg[-\lg(1-\alpha)]$  от времени  $\lg t$  (мин) при сернокислотном разложении флюорита при температуре 120°C:  
 а – минерал флюорит; б – минерал флюорит в присутствии  $\alpha$ -кварца;  
 в – минерал флюорит в присутствии 18% слюды

Порядок реакции ( $n$ ) и константы скорости ( $k$ ) сернокислотного разложения исследуемых образцов

Образец	$\alpha_{1\text{макс.}}$	$n_1$	$k_1, \text{мин}^{-1}$	$\alpha_{2\text{макс.}}$	$n_2$	$k_2, \text{мин}^{-1}$
Ф	0,65	2,65	0,06030	0,857	0,65	0,00363
Ф + $\alpha$ -кварц	0,77	2,50	0,05920	0,999	1,70	0,01580
Ф + 18% слюды	0,49	2,14	0,05754	0,786	0,91	0,00195

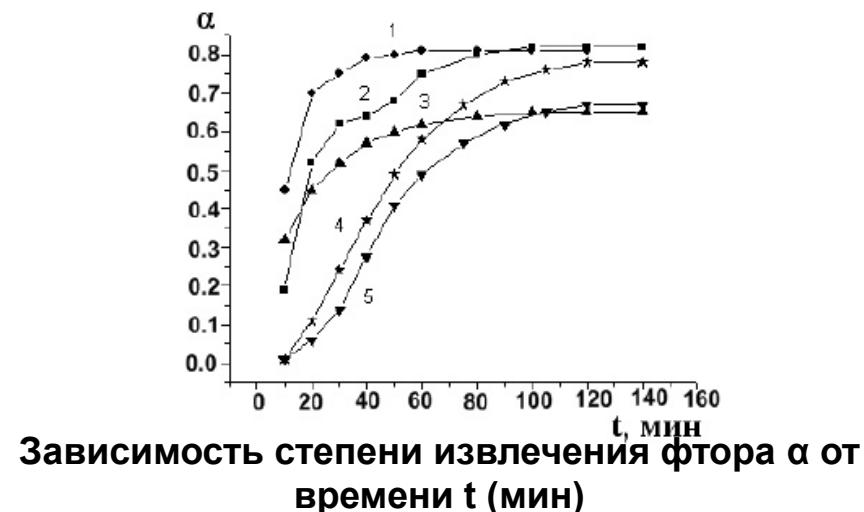
# Выделение щелочных металлов при сернокислотном разложении флюоритсодержащего сырья и техногенных отходов Ярославского ГОКа

## Содержание основных компонентов и фазовый состав исходных образцов

Образец	Содержание, mass. %			Данные рентгенофазового анализа
	CaF <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
СФР	39,8	4,3	18	CaF <sub>2</sub> , $\alpha$ -кварц, мусковит (KAl <sub>2,20</sub> (Si <sub>3</sub> Al) <sub>0,975</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>1,72</sub> O <sub>0,2</sub> 8), ортоклаз (K <sub>4</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>12</sub> O <sub>32</sub> )
ФО-1	29,6	10,3	24,9	CaF <sub>2</sub> , кварц, CaCO <sub>3</sub> , аортит (CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )
ФО-2	15,4	26,5	31,1	CaF <sub>2</sub> , $\alpha$ -кварц, мусковит (KAl <sub>2,20</sub> (Si <sub>3</sub> Al) <sub>0,975</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>1,72</sub> O <sub>0,2</sub> 8), кальцит, сфалерит

## Содержание элементов в пересчете на оксиды в фильтрате после сернокислотного вскрытия флюоритовых отходов

Элемент	Содержание, mass. %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,6
CaO	6,5
MgO	2,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,7
ZnO	0,22
K <sub>2</sub> O	2,3
Na <sub>2</sub> O	0,97
Rb <sub>2</sub> O	0,147
Cs <sub>2</sub> O	0,025
Li <sub>2</sub> O	0,351



Зависимость степени извлечения фтора  $\alpha$  от времени  $t$  (мин)

при сернокислотном разложении при температуре 155 оС: 1 – минерал флюорит; 2 – отходы с добавлением флюорита; 3 – отходы; 4 – слюдисто-флюоритовая руда; 5 – слюдисто-флюоритовая руда с добавлением кварца

# Переработка побочных продуктов сернокислотного вскрытия флюоритсодержащего минерального сырья

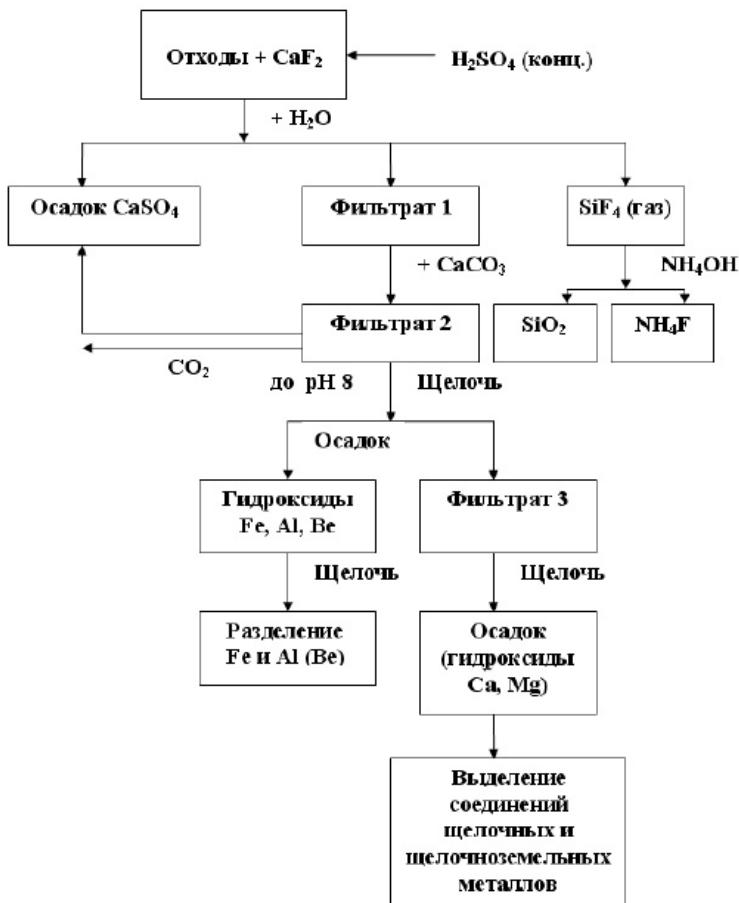
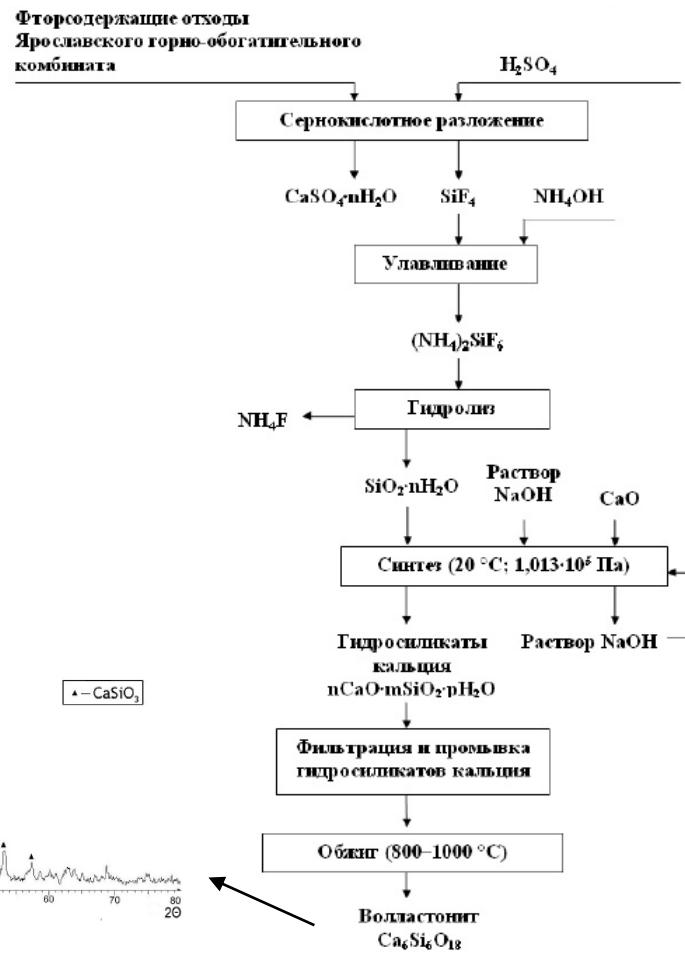
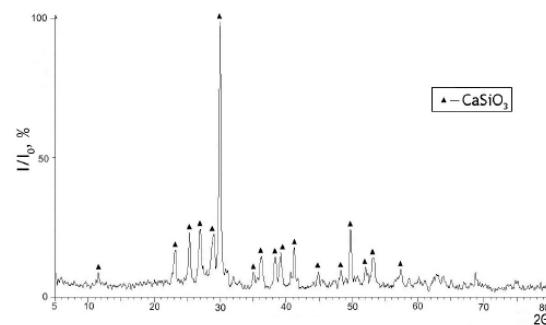


Схема извлечения щелочных металлов при  
сернокислотной  
переработке флюоритсодержащего сырья

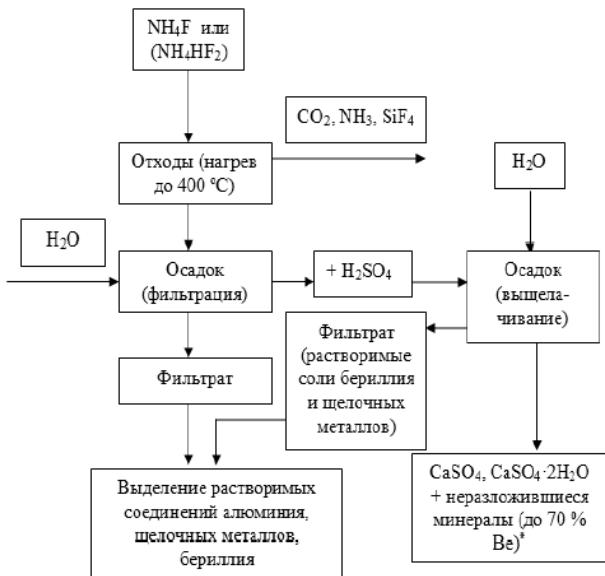


Сернокислотная схема переработки  
техногенных отходов  
и необогащенного флюоритового  
сырья Ярославского  
горно-обогатительного комбината

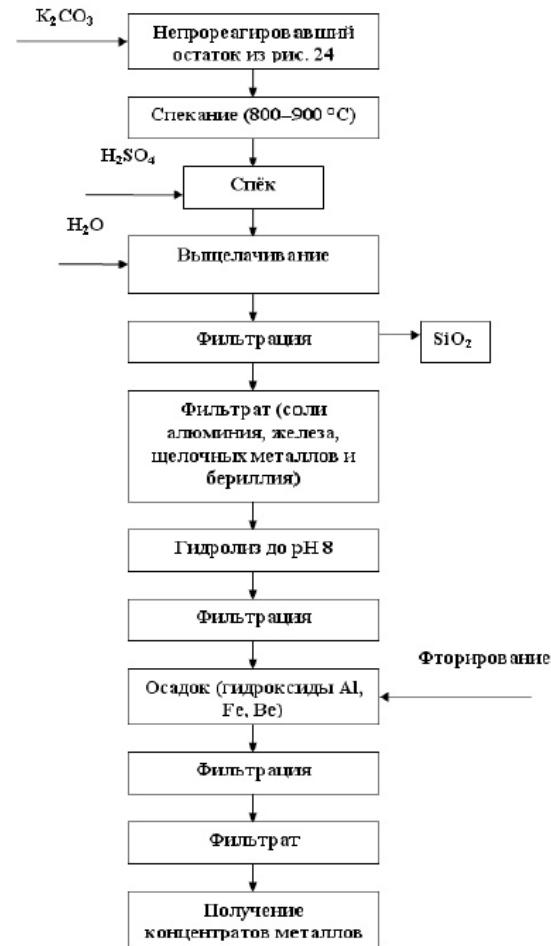
# Переработка отходов Ярославского ГОКа с целью извлечения соединений бериллия

Вскрытие отходов проводили по нескольким схемам с использованием одного реагента, либо нескольких реагентов последовательно по стадиям обработки:

- вскрытие отходов сульфатом аммония с дошихтовкой фторидом кальция;
- сернокислотное вскрытие отходов;
- вскрытие отходов фторидом аммония с последующей обработкой серной кислотой;
- вскрытие отходов гидродифторидом аммония с последующей обработкой серной кислотой;
- вскрытие отходов серной кислотой (после предварительного отжига) с дошихтовкой фторидом кальция и последующим сплавлением непрореагировавшей части с карбонатом калия и дальнейшей переработкой серной кислотой.

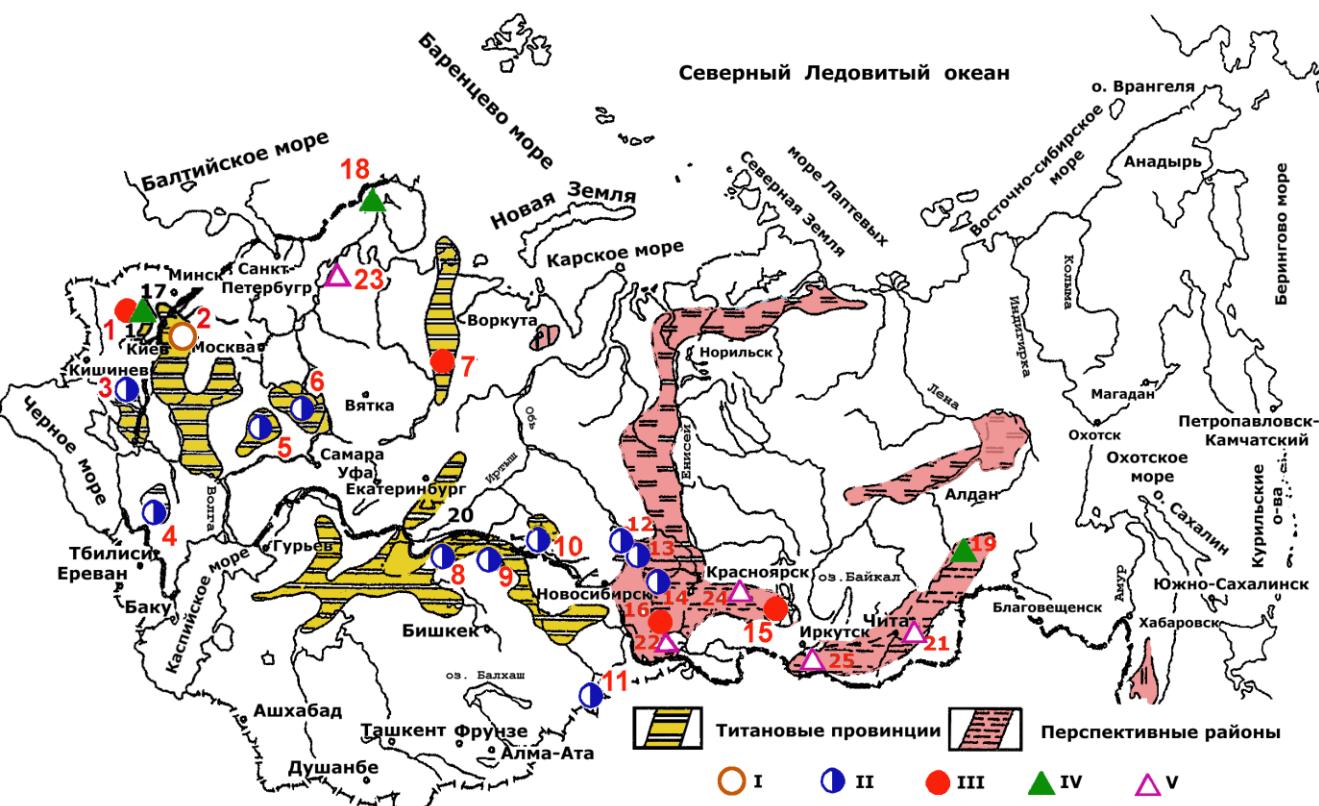


Принципиальная технологическая схема переработки отходов Ярославского ГОКа фтораммонийными солями (\* – содержание бериллия в исходной пробе отходов, равное 0,073%, принято за 100%)



Принципиальная технологическая схема  
переработки отходов  
Ярославского ГОКа с их  
предварительной декарбонизацией  
с последующей сернокислотной  
обработкой и использованием карбоната  
калия

# **Комплексная переработка ильменитовых концентратов с получением белых и красных пигментов**



## **Размещение основных титаноносных провинций и месторождений титана России и других стран СНГ**

**Россыпные месторождения: I –  
ильменитовые и лейкоксеновые,  
II – ильменит-рутит-цирконовые,  
III - ильменит-рутит-циркон-  
фосфатные; 1- Иршанская  
группа, 2 – Унечское, 3 –  
Малышевское и Волчанское,  
4 – Бешпагирское,  
5 – Центральное,  
6 – Лукояновское, 7 – Ярегское,  
8 – Шакашское, 9 – Обуховское,  
10 – Тарское, 11 – Кара-  
откельское, 12 – Георгиевское,  
13 – Туганское, 14 – Борисово-  
Павлодарское, 15 – Тулунское, 16  
– Николаевское.**

**Коренные месторождения:** IV - апатит-ильменитовые, V - титаномагнетит-ильменитовые; 17 – Стремигородское, 18 – Гремяха-Вырмес, 19 – Большой Сейим, 20 – Медведевское, 21 – Кручининское, 22 – Харловское, 23 – Пудожгорское, 24 – Мало-Тагульское, 25 - Слюдянское

**Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Приморского края на 15.03.2021 г.  
(подготовлена ФГБУ «ВСЕГЕИ»)**

**Суммарные данные о балансовых запасах и добыче основных полезных ископаемых**

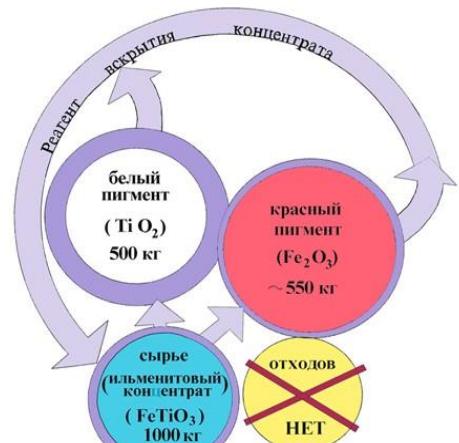
Полезное ископаемое	A+B+C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Добыча в 2019 г.
Уголь	2 247,815 млн т	1 428,672 млн т	7,268 млн т
Свинец	603,2 тыс.т	423,1 тыс.т	12,5 тыс.т
Цинк	990,7 тыс.т	600,4 тыс.т	22,1 тыс.т
Олово	380,622 тыс.т	90,488 тыс.т	16 т
Вольфрам (WO <sub>3</sub> )	130,456 тыс.т	106,392 тыс.т	2,176 тыс.т
Золото	13,583 т	6,279 т	0,439 т
Серебро	1 2565,1 т	3 181,2 т	38,1 т
Плавиковый шпат	7 499 тыс. т	627 тыс т	-
Борные руды (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	20 775,4 тыс.т	8 637,7тыс.т	81,8 тыс.т

**Балансовые запасы титана в Приморском крае составляют 413 тыс.т. Учтено одно малое разрабатываемое россыпное мест-е. Работы по добыче не проводятся.**

# Комплексная переработка ильменитовых концентратов с получением белых и красных пигментов

## Получение пигментов из ильменитового концентрата

фторидный способ

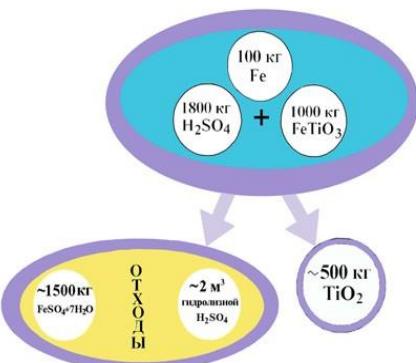


а)

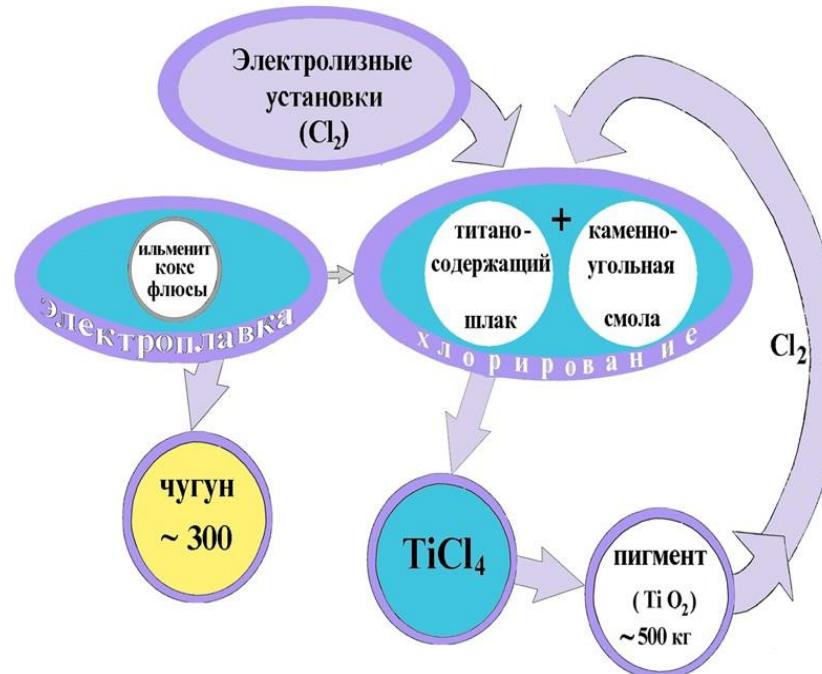
хлоридный способ

в)

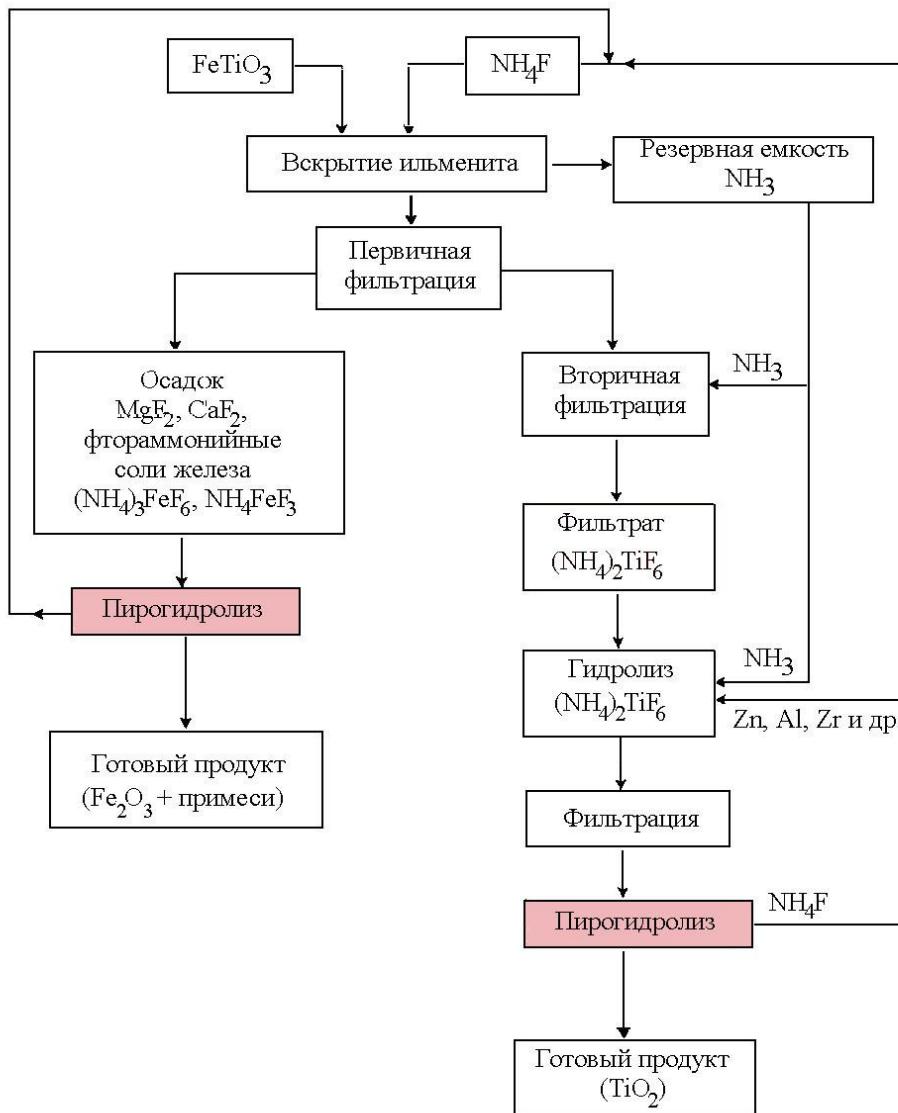
сульфатный способ



б)



# Комплексная переработка ильменитовых концентратов с получением белых и красных пигментов



**Схема технологических операций при получении диоксида титана и окислов железа фторидным способом**

# Комплексная переработка ильменитовых концентратов с получением белых и красных пигментов

## Сравнительный анализ технологических схем получения диоксида титана

Способ получения диоксида титана		
<u>Сернокислотный</u>	<u>Хлорный</u>	<u>Гидрофторидный</u>
<i>Исходное сырье - ильменитовый концентрат, титановый шлак</i>	<i>Исходное сырье - природный и искусственный рутил (свыше 80% TiO<sub>2</sub>);</i>	<i>Исходное сырье - ильменитовый концентрат</i>
<i>Реагент вскрытия сырья – концентрированная серная кислота H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></i>	<i>Реагент вскрытия сырья - Cl<sub>2</sub> или расплав хлорида магния</i>	<i>Реагент вскрытия сырья - водный раствор фторида и бифторида аммония</i>
<i>Температурный режим - вскрытие производят без нагрева исходного сырья</i>	<i>Температурный режим - Получение искусственного рутила – первая высокотемпературная стадия (&gt; 1600 °C); хлорирование – вторая высокотемпературная стадия (&gt;800 °C)</i>	<i>Температурный режим – вскрытие при T=100-120°C</i>
<i>Очистка промежуточного продукта - выделение сернокислого титана и его очистка от примесей производится при температуре не выше 100°C, но это сложная многостадийная операция</i>	<i>Очистка промежуточного продукта – очистка TiCl<sub>4</sub> происходит во время высокотемпературного хлорирования при вскрытии, и в последующих операциях конденсации</i>	<i>Очистка промежуточного продукта - отделение растворимых солей титана от нерастворимых солей железа, щелочно-земельных металлов и непрореагировавших минеральных включений производится методом фильтрации раствора.</i>
<i>Получение диоксида титана – отжиг гидратированного продукта до 800-900°C с получением TiO<sub>2</sub>.</i>	<i>Получение диоксида титана – сжигание TiCl<sub>4</sub> в токе кислорода (или кислорода и паров воды) при температуре выше 1000°C – третий высокотемпературный передел в хлорной технологии)</i>	<i>Получение диоксида титана – пирогидролиз солей титана (до 900°C) с получением TiO<sub>2</sub> и пирогидролиз солей железа (до 650°C) с получением красных железооксидных пигментов.</i>

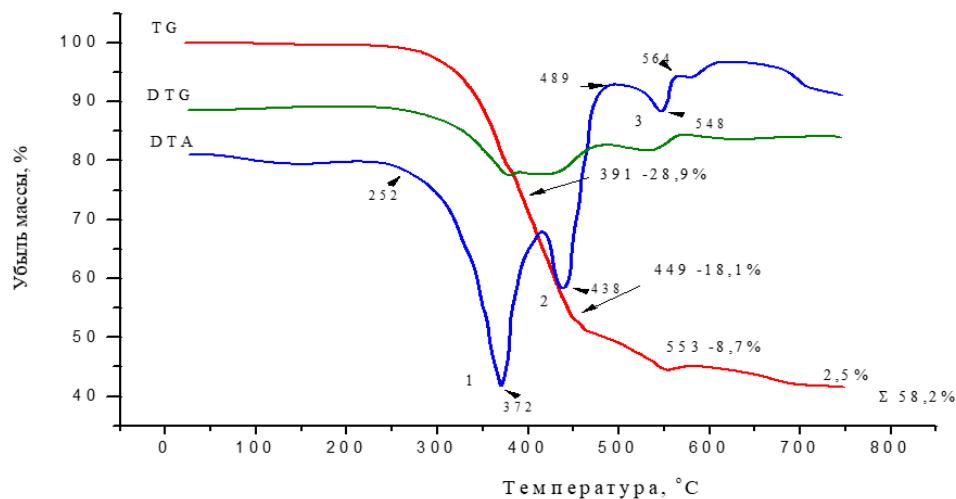
# Комплексная переработка ильменитовых концентратов с получением белых и красных пигментов

## Сравнительный анализ технологических схем получения диоксида титана

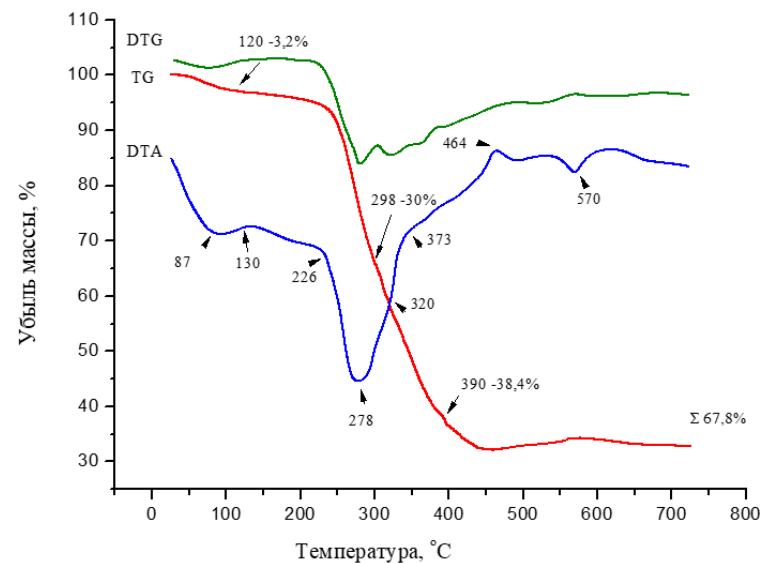
Способ получения диоксида титана		
Сернокислотный	Хлорный	Гидрофторидный
<p><b>Утилизация отходов</b> - основными отходами являются пиролизная серная кислота и железный купорос. Количество железного купороса зависит от состава перерабатываемого ильменитового концентрата. При содержании в концентрате 42-43% <math>TiO_2</math> выход железного купороса, содержащего 90% <math>FeSO_4 \cdot 7H_2O</math>, достигает ~4 т на 1 т <math>TiO_2</math>, тогда как при содержании 52-53% <math>TiO_2</math> выход железного купороса снижается до 2,5 т. Переработка титановых шлаков с 80% содержанием <math>TiO_2</math> практически исключает выпуск железного купороса.</p>	<p><b>Утилизация отходов</b> - выделяющийся хлор после регенерации может быть использован в повторном цикле, если производство пигмента и производство <math>TiCl_4</math> совмещены. (На 1 т. <math>TiO_2</math> необходимо утилизировать 300 кг <math>HCl</math> – в пересчете на 100%-ную кислоту.)</p>	<p><b>Утилизация отходов</b> - отходов нет. На 1 т перерабатываемого по данной схеме ильменита необходимо утилизировать ~300 кг <math>H_2O</math> с 2% <math>NH_3</math>. При пирогидролизе солей титана выделяющийся <math>NH_3</math> и <math>HF</math> улавливается в скруберах, смешиваются и образующаяся фторидная соль опять идет на стадию вскрытия – реагент вскрытия возвращается в технологический цикл. (Из 1 тонны ильменита (100%) получается ~500 кг <math>TiO_2</math> и ~540 кг <math>Fe_2O_3</math>.)</p>
<p><b>Получение пигментного <math>TiO_2</math></b> - полученный диоксид титана подвергается измельчению и дальнейшей поверхностной обработке.</p>	<p><b>Получение пигментного <math>TiO_2</math></b> - полученный диоксид титана подвергается измельчению и дальнейшей поверхностной обработке</p>	<p><b>Получение пигментного <math>TiO_2</math></b> - полученный диоксид титана после пирогидролиза по дисперсности соответствует требованиям для получения пигментного диоксида титана и может сразу, без предварительных операций, подвергаться поверхностной обработке.</p>
<p><b>Свойства пигментного <math>TiO_2</math></b> - полученные по сернокислотному способу уступают диоксиду титана, полученному по хлорному способу.</p>	<p><b>Свойства пигментного <math>TiO_2</math></b> - обладают высокими параметрами</p>	<p><b>Свойства пигментного <math>TiO_2</math></b> - превосходит по светостойкости известные мировые аналоги, а по всем остальным параметрам соответствует мировым стандартам</p>

## Химическое средство гексафтортитаната аммония к $\text{SiO}_2$

№ п/п	Реакция	T, K	$\Delta G^\circ$ реакции, кДж	Химическое средство к $\text{SiO}_2$ , кДж/моль $\text{SiO}_2$
1.	$\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 = (\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 + \text{TiO}_2$	298	-15,28	-15,28
		373	-18,48	-18,48
		1273	-26,00	-26,00
2.	$\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 = 2\text{NH}_4\text{F} + \text{TiO}_2 + \text{SiF}_4$	298	84,04	84,04
		600	42,7	42,7
3.	$\text{SiO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 = 2\text{NH}_3 + \text{SiF}_4 + \text{TiO}_2 + 2\text{HF}$	298	683,8	683,8
		600	459,1	459,1



Термограмма процесса пирогидролиза  $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$

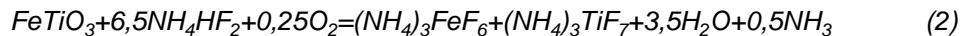
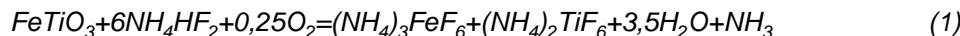


Термограмма процесса пирогидролиза шихты  $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6 - \text{SiO}_2$

## Химический состав ильменитового концентрата Ариадненского месторождения

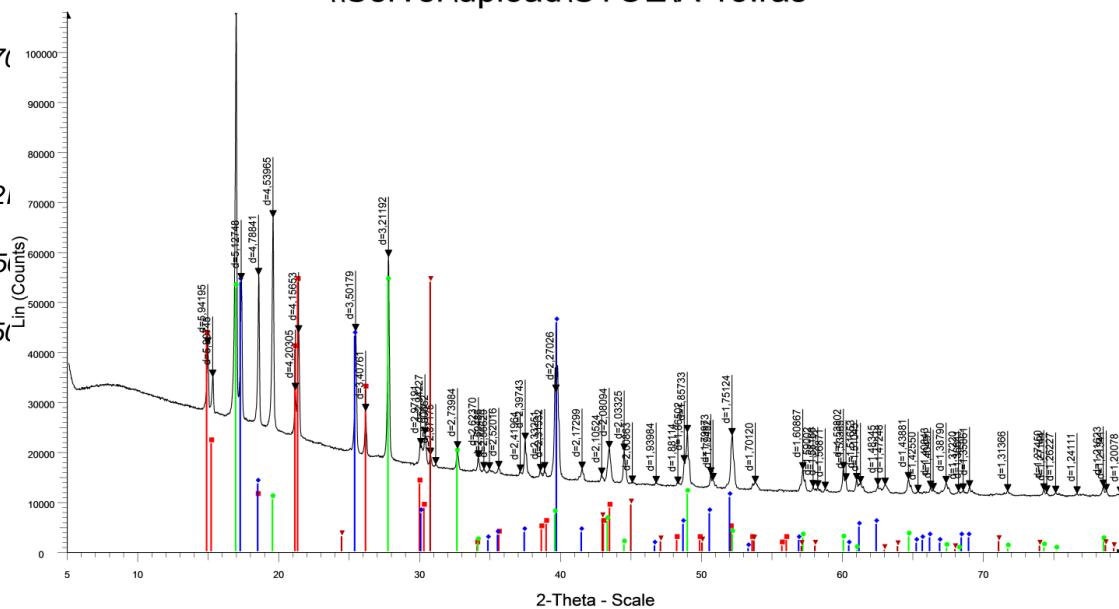
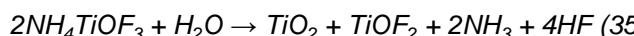
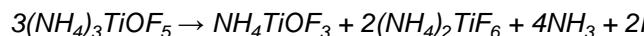
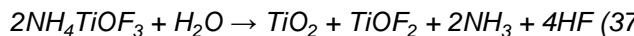
Компонент	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	V	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	Fe <sub>общ</sub>	S <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Zr	Nb
Содержание, масс. %	2.93	0.31	2.18	0.08	0.62	53.07	0.21	0.22	0.68	34.73	0.02	<0.01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

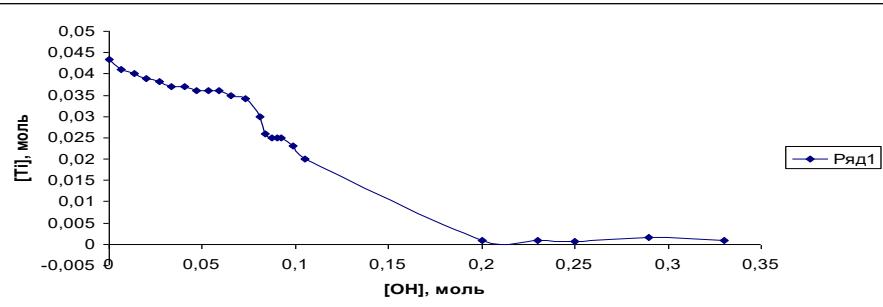
### Фторирование ильменитового концентрата:



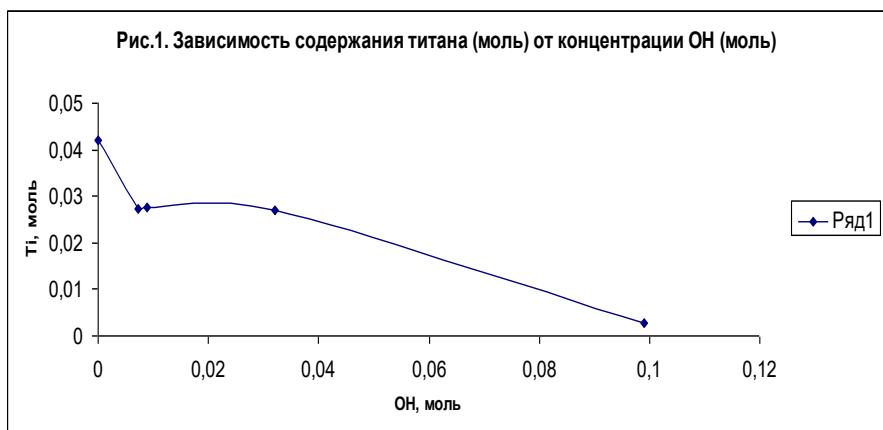
### Получение диоксида титана

Полученную соль титана  $(\text{NH}_4)_3\text{TiOF}_5$  из ильменитового концентратата с Ариадненского месторождения, подвергали пирогидролизу при различных режимах и температурах согласно уравнениям (3-5) или (6-9), соответственно:

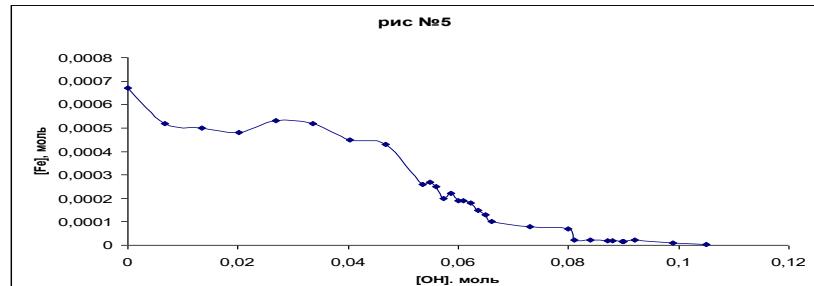




Зависимость содержания титана в объёме раствора с фоновой концентрацией  $\text{NH}_4\text{F}$  6% от массы добавляемых ОН-групп (моль)



Зависимость содержания титана в объёме раствора с концентрацией  $\text{NH}_4\text{F}$  13,17 % от массы добавляемых ОН-групп (моль)



Зависимость содержания железа в объёме раствора с фоновой концентрацией  $\text{NH}_4\text{F}$  6% от массы добавляемых ОН-групп (моль)

Дыделение из спёка ильменита с гидродифторидом аммония фторсодержащих солей титана, пригодных для получения диоксида титана пигментного качества, целесообразно вести в несколько этапов:

- 1) выщелачивание растворимых фтораммонийных солей раствором  $\text{NH}_4\text{F}$  с контролируемой концентрацией при заданном отношении Т:Ж (1:5);
- 2) определение pH и концентрации титана и железа в растворе;
- 3) расчет объёма аммиака, при добавлении которого в раствор после отделения осадка соотношение  $\text{Ti}/\text{Fe}$  в растворе достигает величины не менее 1200;
- 4) доведение отношения  $\text{OH}/\text{Ti}$  в полученном фильтрате до  $>4$ ;
- 5) отделение осадка  $(\text{NH}_4)_3\text{TiOF}_5$  для последующего его пирогидролиза.

В результате при фторировании ильменитового концентратата Ариадненского месторождения (Приморский край) реагентом  $\text{NH}_4\text{HF}_2$  получен диоксид титана с параметрами, соответствующими пигментным образцам, как по белизне, так и по дисперсности.

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 пирогидролизе оксолентафторотитаната аммония из ильменитового концентратата, в том числе, при совместном пирогидролизе 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.

*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 PA, 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 PA, 700°C, 3 ч	83.8	0.08	15.3	0.08	-	0.6	-	0.02	0.09

*Элементный состав титановых пигментов различных производителей*

Образец	TiO <sub>2</sub>	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			

# Белизна диоксида титана

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

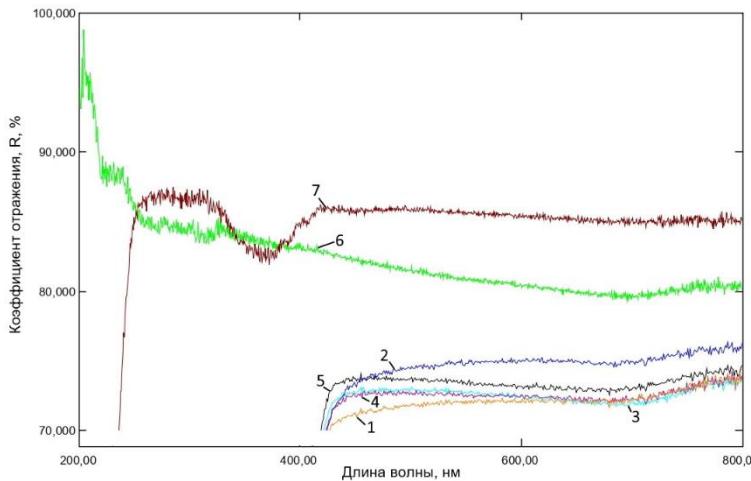
№ п/п	Образцы	Коэффициент отражения $\rho$ для длины волны $\lambda$ , нм		$W=2\rho_{430}-\rho_{670}$	$W=100-(\rho_{670}-\rho_{430})$
		430	670		
1	KRONOS-2190	70.42	71.96	68.88	98.46
2	P-02	71.63	74.83	68.43	96.80
3	TIKON TR-33	72.04	72.04	72.04	100
4	ТИОКСИД ® TR90	71.56	72.19	70.93	99.37
5	PIOXIDE R-TC30	73.31	72.97	73.65	99.66
6	С дошихтовкой РА (двойной нагрев до 700°C)	77.48	83.05	71.91	94.43
7	С дошихтовкой РА, 700°C (образец № 1 в табл.3)	84.20	86.44	81.96	97.76
8	С дошихтовкой РА, 800°C	78.19	79.50	76.88	98.69
9	С дошихтовкой РА, 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 РА, 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 <sub>4</sub> (запрессован)	102.00	102.00	102.00	100*
17	BaSO <sub>4</sub> (кувета)	82.69	79.69	85.69	103*
18	MgO (реактив 1)	86.09	85.11	87.07	100.98*
19	MgO (чда )	83.16	83.32	83.00	99.84

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

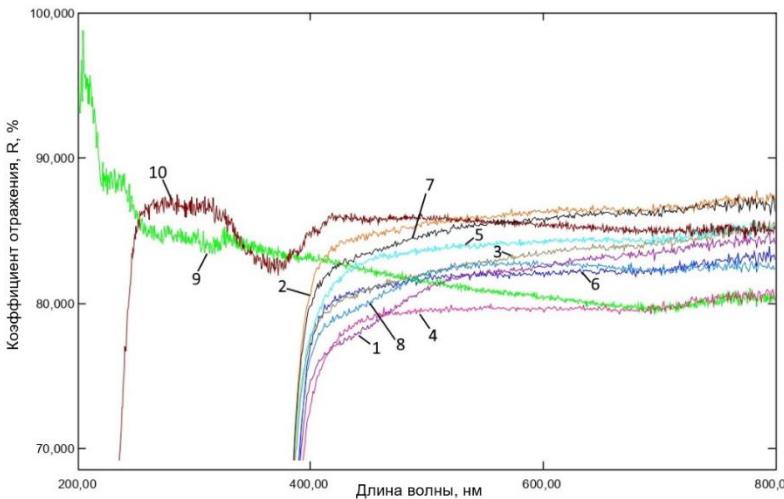
$$\text{или } W = 100 - (\rho_{670} - \rho_{430}), \text{ (II)}$$

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

# Белизна диоксида титана

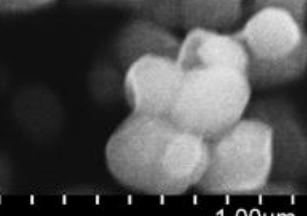
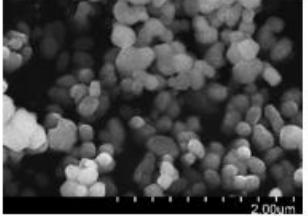
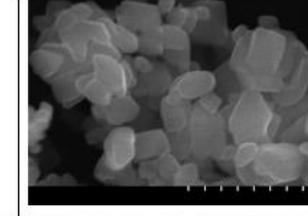
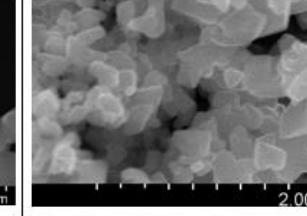
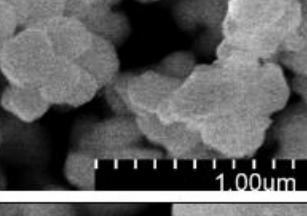
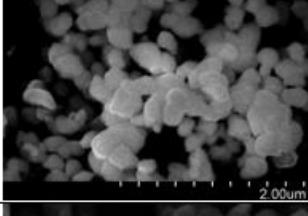
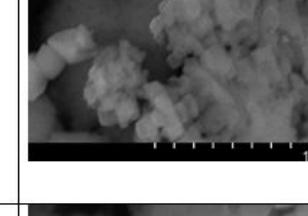
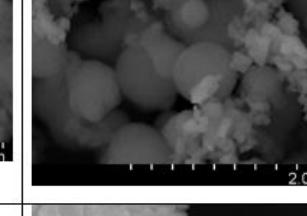
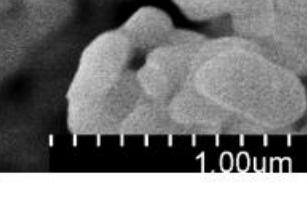
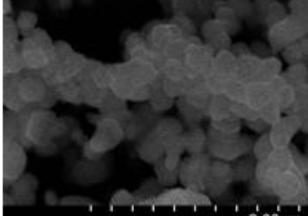
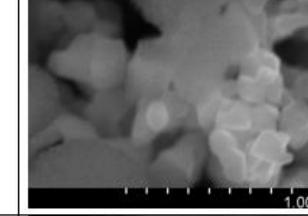
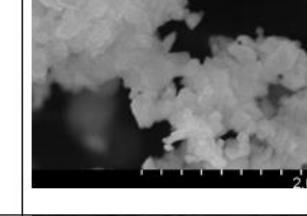
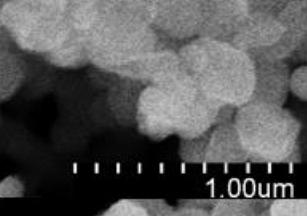
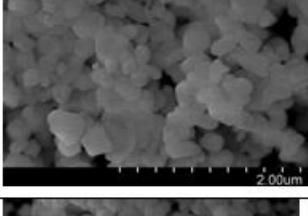
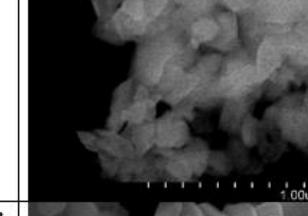
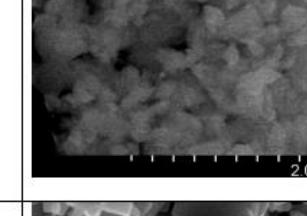
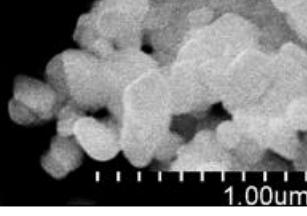
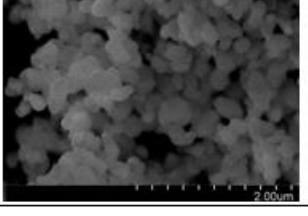
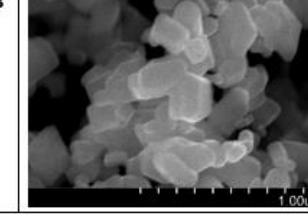
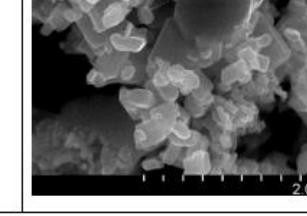


Оптические спектры отражения образцов сравнения (комерческих образцов диоксида титана): 1 – KRONOS-2190, 2 – P-02, 3 – TIKON TR-33, 4 – ТИОКСИД ® TR90, 5 – TIOXIDE R-TC30, 6 – BaSO<sub>4</sub> в кювете, 7 – MgO ч (реактив 1)



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 – BaSO<sub>4</sub> в кювете, 10 – MgO ч (реактив 1)

# Морфология образцов диоксида титана различных производителей и образцов, полученных из ильменитового концентрата Ариадненского месторождения (с дошихтовкой и без дошихтовки $\text{SiO}_2$ )

	1 мкм	2 мкм		1 мкм	2 мкм
KRONOS-2190					
TIOXIDE R-TC30					
P-02					
ТИОКСИД ® TR90					
TIKON TR-33					

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА  
МЕТАЛЛОВ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ОСВОЕНИЕ, ВОСПРОИЗВОДСТВО,  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ



# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Ярусова Софья Борисовна, e-mail: [yarusova\\_10@mail.ru](mailto:yarusova_10@mail.ru), тел.: +79242393539

Гордиенко Павел Сергеевич, e-mail: [pavel.gordienko@mail.ru](mailto:pavel.gordienko@mail.ru)

