



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
им. Н.М.ФЕДОРОВСКОГО



ГБОУ ВПО Международный университет природы, общества и человека Дубна

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЛЬМЕНИТА ТИТАНО- ЦИРКОНИЕВЫХ РОССЫПЕЙ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОВСКОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ И РЕНТГЕНОДИФРАКЦИОННОГО ФАЗОВОГО АНАЛИЗА

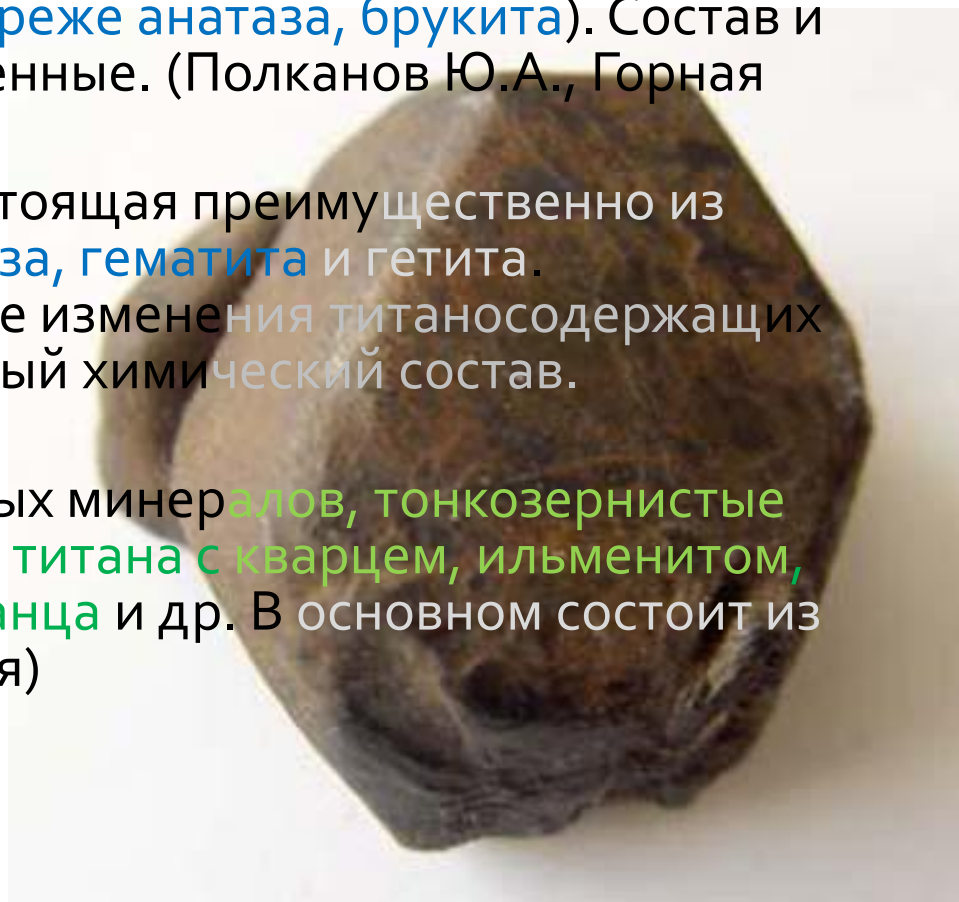
Иоспа А. В., Якушина О.А. Ожогина Е.Г.

Основные черты титано-циркониевых прибрежно-морских россыпей России

- Пески российских россыпей **тонкозернистые** и **высокоглинистые**, что значительно усложняет технологию их обогащения; размерность полезных минералов в россыпях $-0,14-+0,1$ мм для Центрального, $-0,1-+0,044$ мм для Лукояновского и Бешпагирского месторождений (Левченко Е.Н.).
- Все российские месторождения – **комплексные**. Получаемые концентраты: **Ильменитовый** (содержащий лейкоксен), **Рутиловый**, **Цирконовый**, попутно могут концентрироваться кварц, каолинит, глауконит, полевой шпат, силлиманит и др.
- Ильменит сильно лейкоксенизирован иногда до полного замещения (лейкоксен - полиминеральная смесь состоящая из неизмененного ильменита, гематита, псевдорутила, вторичного рутила, иногда кварца, в некоторых случаях содержит аморфный оксид титана)
- Псевдорутил оптическими методами не отличим от ильменита

Лейкоксен

- Полиминеральный агрегат, **конечный продукт изменения ильменита, реже сфена, перовскита и др. минералов титана.** Преобладающая кристаллическая фаза - **псевдорутит $\text{Fe}_2^{3+}\text{Ti}_3\text{O}_9$** . Характерно присутствие **аморфной** составляющей и новообразованного **рутила (реже анатаза, брукита)**. Состав и физические свойства переменные. (Полканов Ю.А., Горная энциклопедия, 1991)
- Полиминеральная смесь состоящая преимущественно из **рутила, псевдорутила, анатаза, гематита** и гетита. Образовавшаяся в результате изменения титаносодержащих минералов. Имеет переменный химический состав. (sandatlas.org)
- Продукт изменения титановых минералов, **тонкозернистые минеральные смеси оксидов титана с кварцем, ильменитом, гидроксидами железа, марганца** и др. В основном состоит из **рутила и анатаза.** (Википедия)



Псевдоморфозы «лейкоксена» по ильмениту



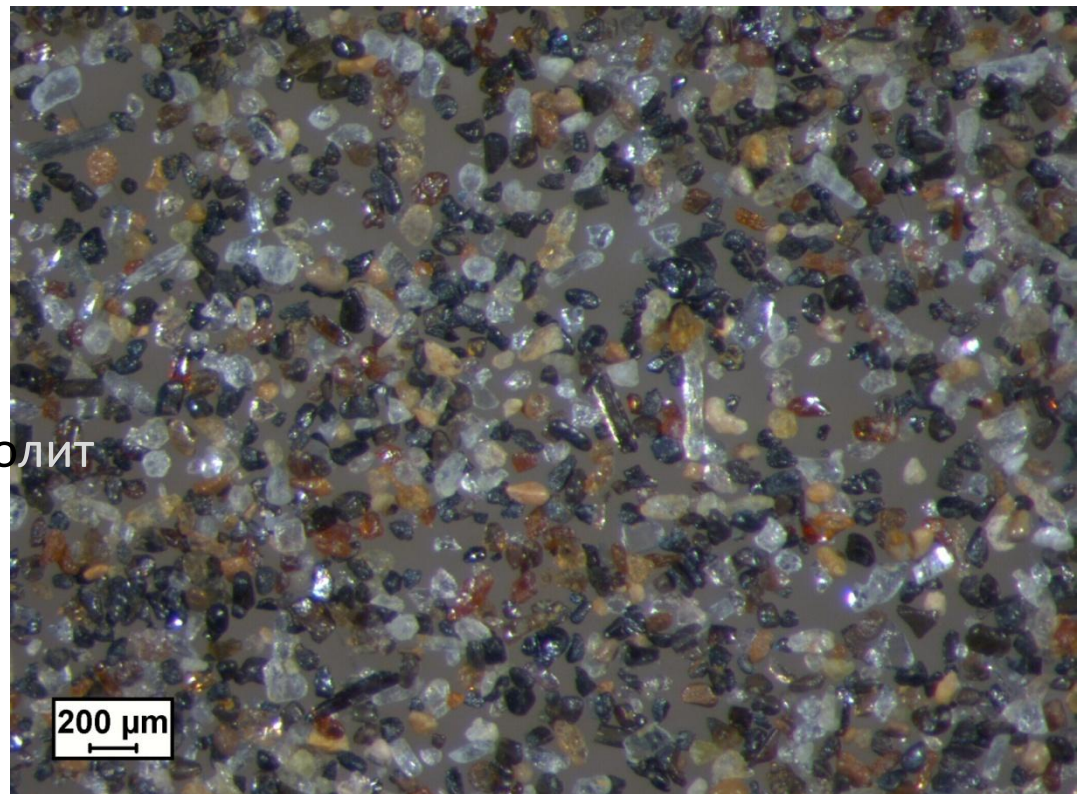
Корочки «лейкоксена» на зернах ильменита (участок Камбулатский, Ставропольский край)

Полное замещение зерна ильменита лейкоксеновым агрегатом (Франция) по данным mindat.org



Минеральный состав черных шлихов титано-циркониевых россыпей, на примере россыпей участка Камбулатский, Ставропольского края

- Ильменит
- Лейкоксенизированный ильменит разной степени измененности (включающий в себя псевдорутил, вторичный рутил, гематит в разных соотношениях)
- Рутил
- Циркон
- Турмалин - эпидот - гранат
- Кианит – силлиманит – ставролит
- Хромшпинелиды
- Монацит
- Анатаз – брукит - сфен



Рентгенотомография зерен ильменитового концентрата

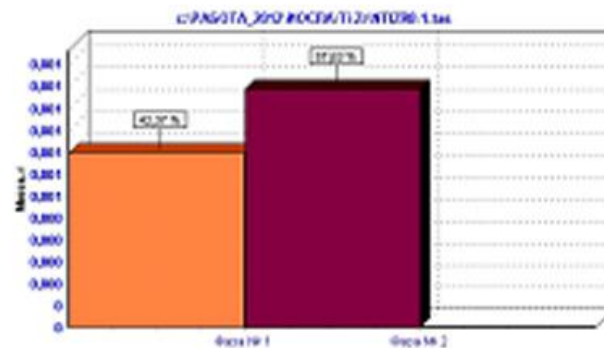


А

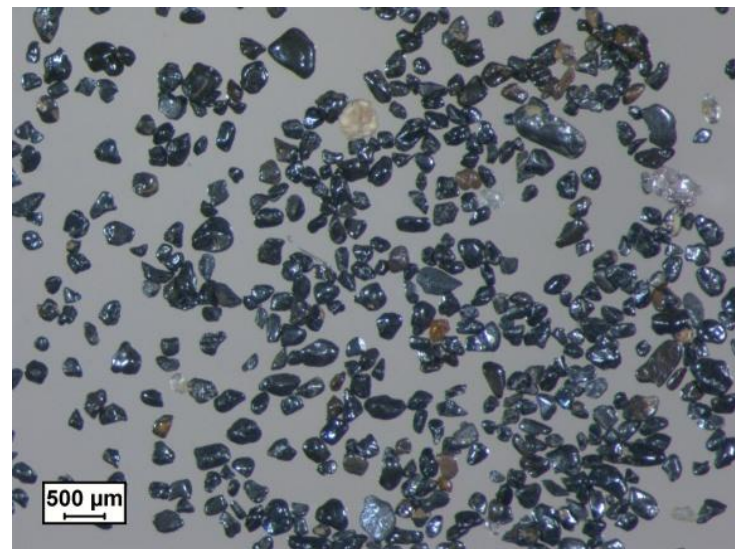


Б

В

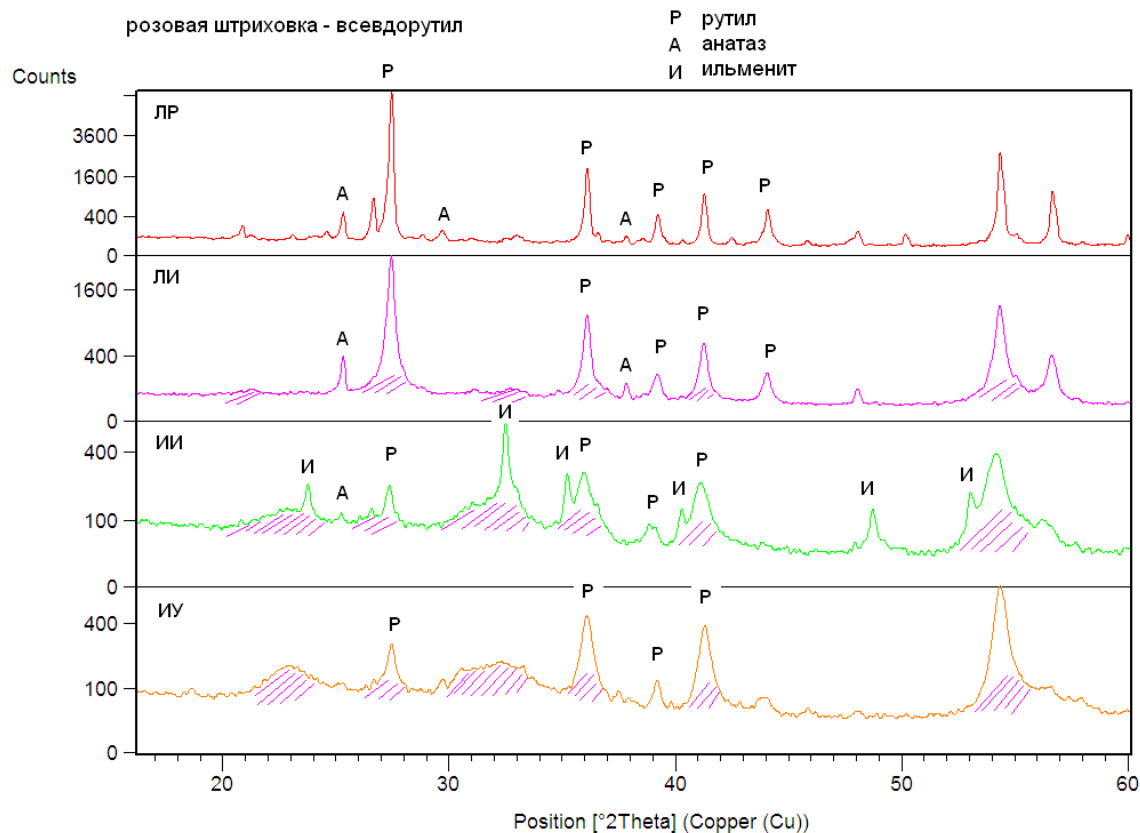


Визуально сходные зерна ильменита и псевдорутила (Индия, ильменитовый концентрат):
А - фото, Б – томограмма, В обработка по «TomAnalysis» и гистограмма % соотношения фаз; ильменит – малиновое, псевдорутил – оранжевое
(образец сравнения - алюминий марки А97 по ГОСТ 11069-85).



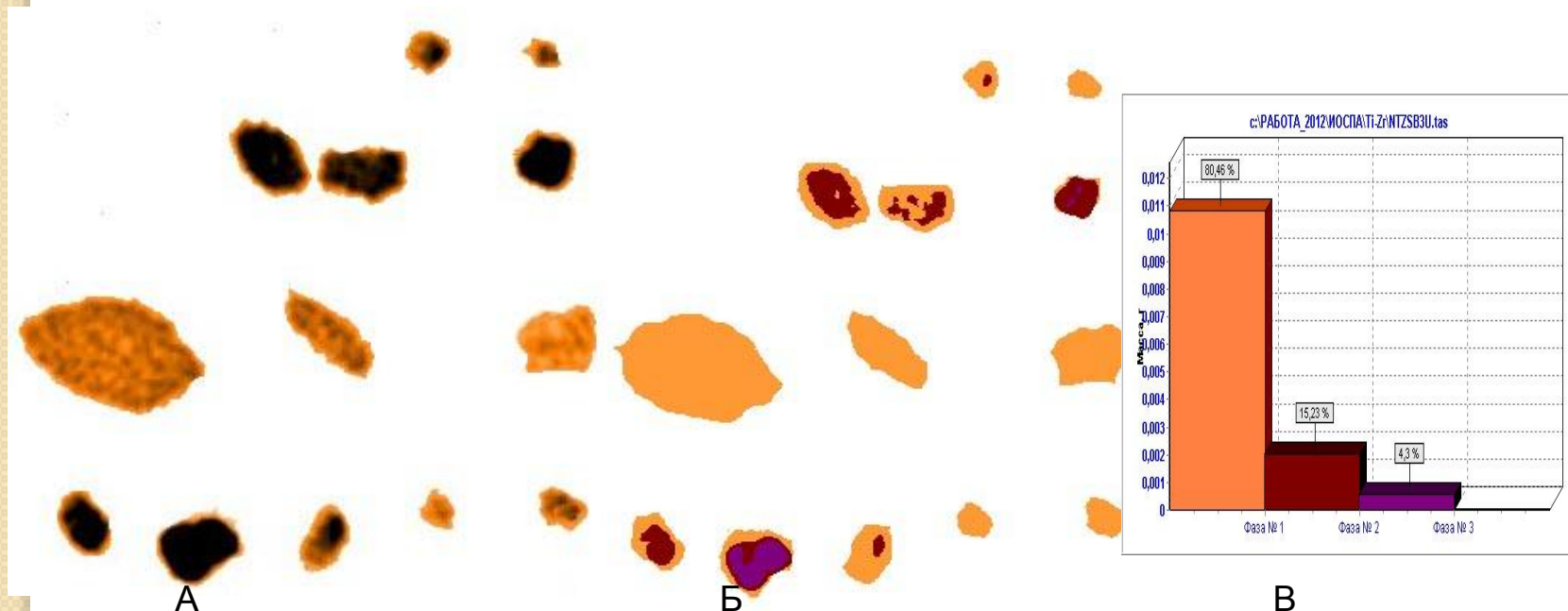
Ильменитовый концентрат, общий вид.

Результаты рентгенографического исследования лейкоксеновых (Л) и ильменитовых (И) концентратов из Индии (Чавара) – ЛИ, ИИ, Украины (Самотканское) ИУ и России (Коми, Ярегское), ЛР



Количественный рентгенографический фазовый анализ, основываясь на методике РКФА черных шлифов Ti-Zr руд Бешпагирского месторождения [НСОММИ МР №54, МР №141]:
ильменитовые концентраты Ti-Zr россыпей Индии и Украины состоят преимущественно из псевдорутила, в индийском отмечается присутствие ильменита, в украинском он не установлен;
лейкоксеновые концентраты – главным минералом российского является рутил (подтверждено микрорентгено-спектральным анализом), а индийский – смесью рутила и псевдорутила.

Рентгенотомография зерен ильменитового концентрата



Россыпь зерен ильменита и псевдорутила (концентраты соответственно РФА):

А – томограмма, Б – обработка по «TomAnalysis», В – гистограмма % фаз: ильменит – малиновое и фиолетовое (структурно упорядоченный ильменит), псевдорутил – оранжевое (образец сравнения - алюминий марки А97 по ГОСТ 11069-85).

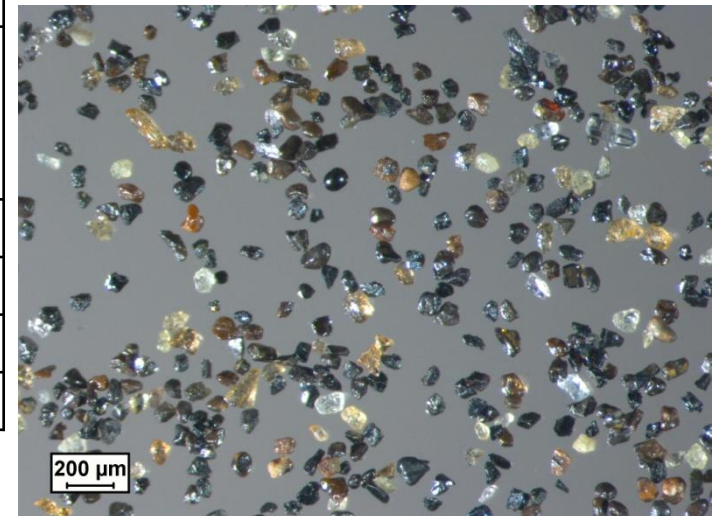
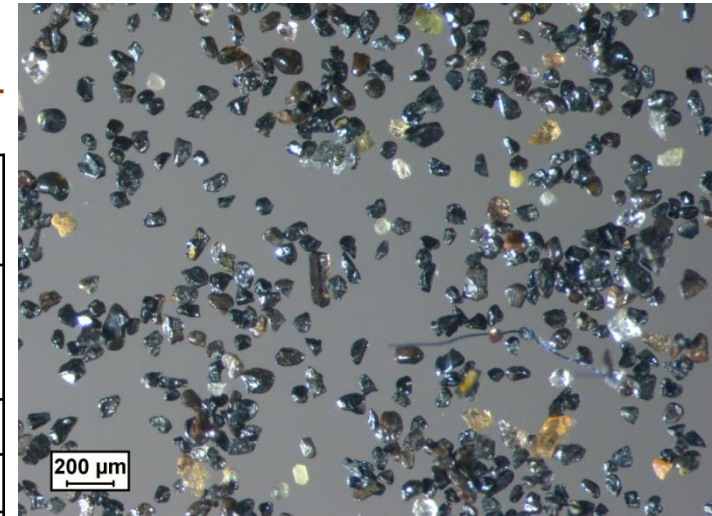
Данные РТ однозначно указывали на неоднородность состава рудных минералов в концентратах. «Лейкоксен» из индийского концентрата содержит реликты псевдорутила; при исследовании двух зерен, идентично выглядевших в оптическом микроскопе, РТ установил, что одно зерно является ильменитом, другое – псевдорутилом (Рис. 2, 3). Зерна «лейкоксена» российского концентрата являются однородными, в отличие от индийских.

Сравнение результатов оптико-минералогического (о-м.) и рентгенографического (РКФА) анализов продуктов обогащения черных шлихов титано-циркониевых песков участка Камбулатский

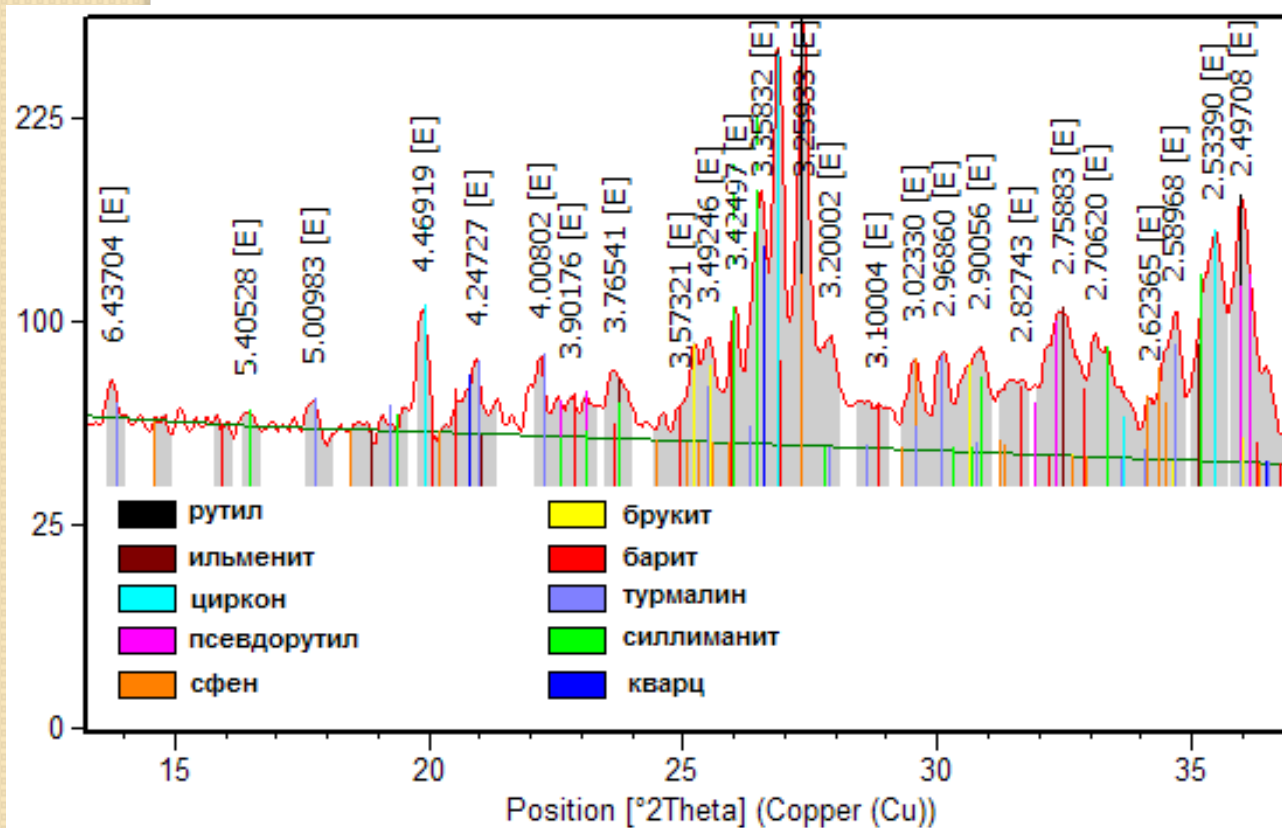
Методы оптической микроскопии не позволяют разделить неизменный и слабоизмененный ильменит ввиду близости их оптических констант

Минерал/ содержание масс%	О-м.	РКФА	О-м	РКФА
Фракция	Электромагнитная -1,3 А (400мТл)		Электромагнитная - 1,5А (500 мТл)	
Нерудные минералы*	9,1	12,5	19,1	33
Циркон	1,2	0,5	0,6	-
<u>Ильменит</u>	65,2	22	61,5	6
<u>Ильменит с оторочками лейкоксена</u>	16,8	-	5,4	-
<u>Лейкоксен</u>	2,7	-	4,5	-
<u>Псевдуртил</u>	-	53	-	48
Рутил	2,7	3	5,5	4
Хромшпинелиды	2,3	9	3,4	9

*Нерудные минералы: кварц, турмалин, эпидот, кианит, силлиманит, ставролит, гранаты, монацит

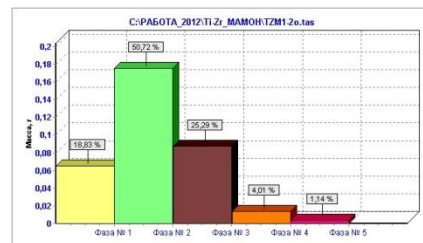
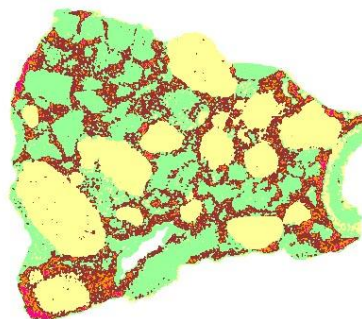
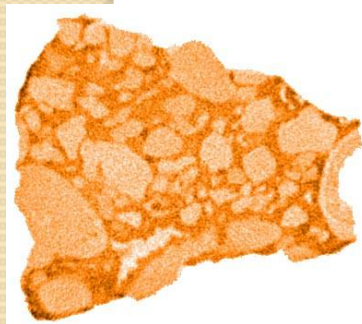
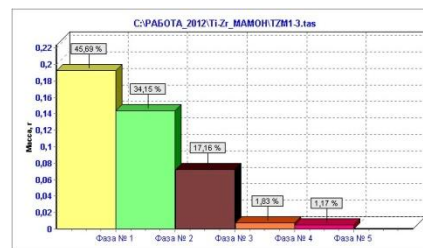
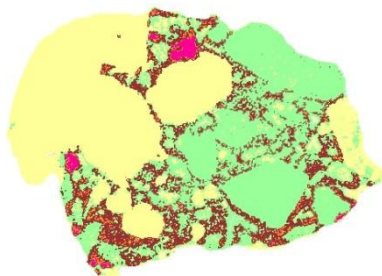
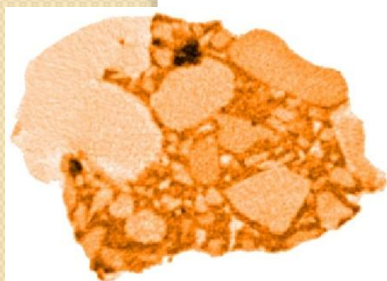
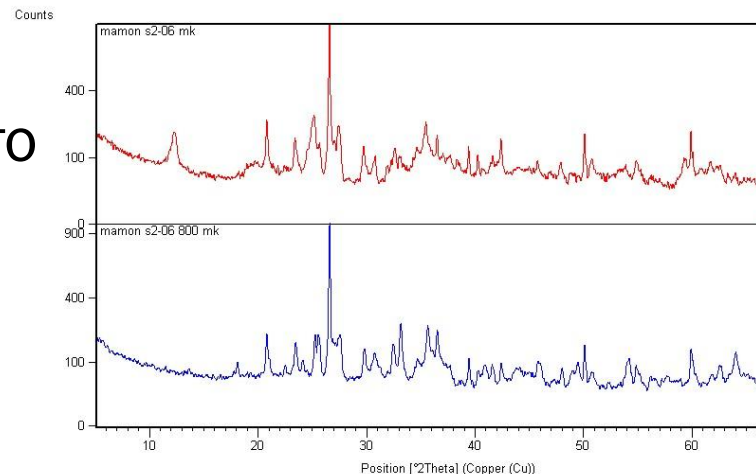


ФРАГМЕНТ РЕНТГЕНОГРАММЫ ПОРОШКА ЧЕРНОГО ШЛИХА С УЧАСТКА КАМБУЛАТСКИЙ, НА КОТОРОМ ЦВЕТНЫМИ ШТРИХАМИ ОБОЗНАЧЕНЫ АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОТРАЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ МИНЕРАЛОВ.



- Циркон 17
- Ильменит 10
- Псевдорутил 28
- Рутил 13
- Анатаз 2
- Брукит 2
- Хромшпинелид 5
- Монацит 1,5
- Кианит 6
- Силлиманит 1
- Ставролит 2,5
- Турмалин 4
- Эпидот 3,5
- Гранаты 2
- Кварц 1,5
- Сумма 99

Результаты рентгенотомографического исследования тонкодисперсных титановых руд Воронежской области



Желтое – кварц,
глинистые
минералы
Зеленое –
полевые шпаты
Коричневое –
рутил, анатаз
Рыжее –
ильменит
Малиновое –
магнетит

Рентгенографический фазовый анализ

Определение минерального состава в методом рентгенографического фазового анализа выполнено на дифрактометре X'Pert PRO (Philips, Голландия) Условия съемки рентгенограмм: монохроматизированное $\text{Cu K}\alpha$ излучение, $U = 50 \text{ kV}$, $I = 40 \text{ mA}$, скорость записи 2 град/мин, внутренний стандарт – кремний (Si). Ограничения метода связаны с невозможностью диагностики рентгеноаморфных фаз, порогом обнаружения 0,5-1,0 мас.%, размер минеральных кристаллитов – не меньше 0,1 мкм.

Анализ выполнен по Инструкции НСОММИ №54 «Рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА) черных шлихов из рудных (Ti-Zr) песков (на примере Бешпагирского месторождения)»

Сравнение рентгенограмм магнитных фракций черного шлиха титаноцирконевых песков участка Камбулатский. Напряженность магнитного поля 400, 600, 700 и 800 мТл (соответственно). Синие точки – Ильменит (И), розовая штриховка – псевдорутил (ПР), Р - Рутил

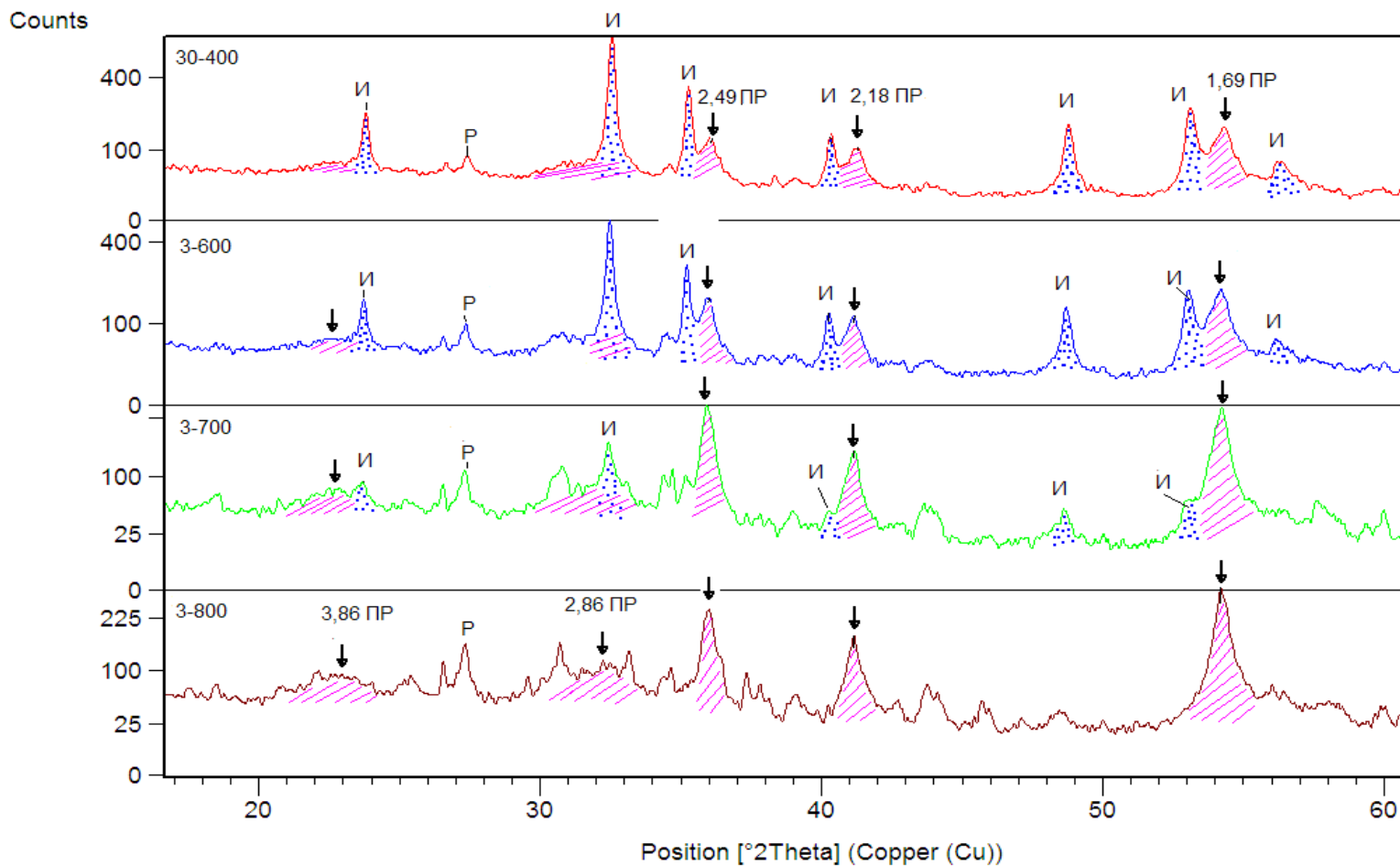
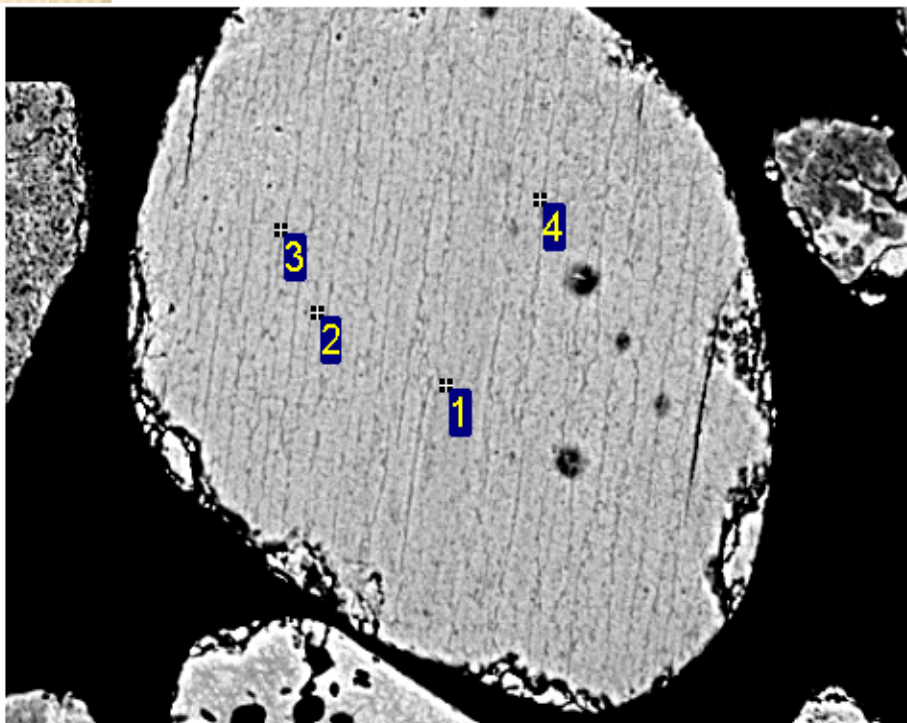


Таблица состава магнитных фракций титано-циркониевых песков участка Камбулатский (по данным РКФА)

400	600	800	900	н\м
Рентгеноаморфная фаза (РАФ) - 10		Рентгеноаморфная фаза (РАФ) 30		Монацит 2
Ильменит 40 Псевдорутил 40 Хромшпинелиды 7 Рутил 3 Гематит – сл	Ильменит 33 Псевдорутил 39 Хромшпинелиды 3 Рутил 2 Гранаты 1,5 Кварц сл Турмалин сл	Ильменит 5 Псевдорутил 42 Хромшп.-ды 4,5 Рутил 2,5 Гранаты 3 Турмалин 4 Эпидот 3 Анализ 0,5 Ставролит 5,5	Псевдорутил 23 Ильменит – нет Хромшп 4,5 Рутил 3,5 Гранаты 0,5 Турмалин 4 Эпидот 3 Анализ 1 Ставролит 5	Циркон – 43,5 Рутил 22 Анализ 5 Турмалин 2 Эпидот 1 Ставролит 3 Кианит 12,5 Силлиманит 7
	Возможно: Эпидот Анализ Ставролит силлиманит		Монацит 3,5 РАФ - 36	



80µm

Electron Image 1

Псевдорутил

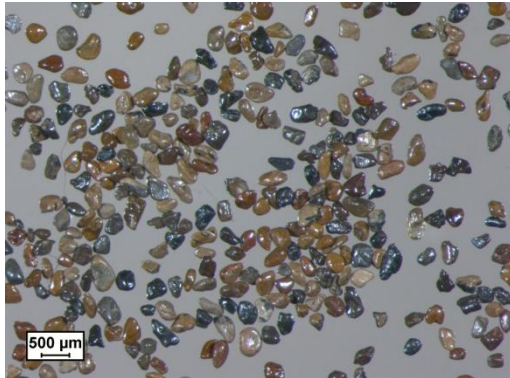


из черного шлиха.

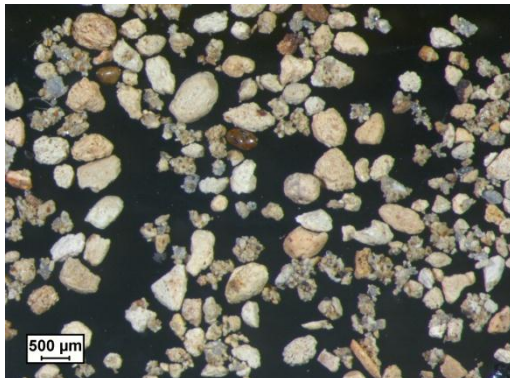
Отмечается две разновидности по содержанию TiO_2 и Fe_2O_3 - 58,7%, 36%, и 62,5%, 31,5%

	Mg	Al	Si	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	O	Total
1	0.14	0.19	0.22	0.06	37.60	0.24	0.00	1.17	22.21	35.66	97.50
2	0.15	0.31	0.27	0.09	37.72	0.07	0.12	1.02	21.72	35.64	97.11
3	0.13	0.20	0.16	0.08	37.02	0.38	0.00	1.26	22.89	35.60	97.73
4	0.07	0.22	0.17	0.06	37.76	0.22	0.00	1.32	21.66	35.47	96.94

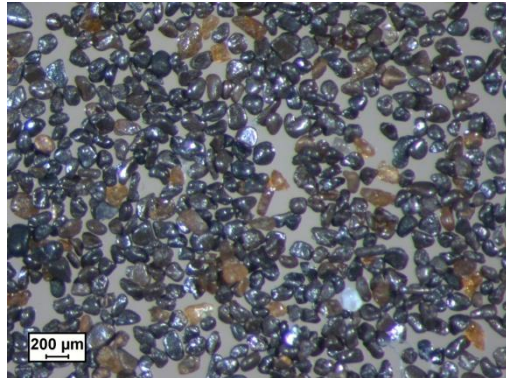
Промышленные концентраты титано-циркониевых песков (Индии, Украины и России)



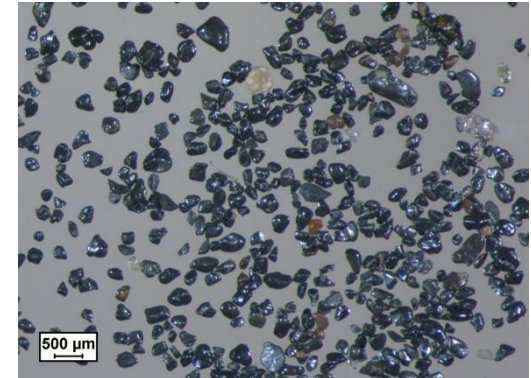
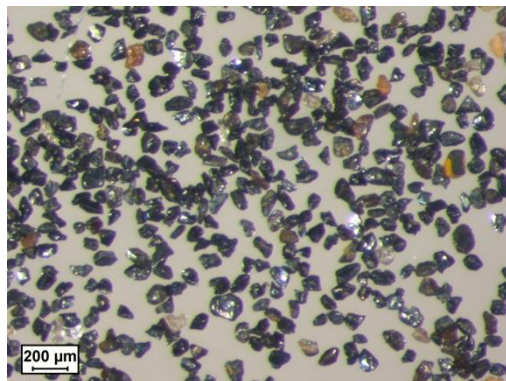
Лейкоксеновый
(Индия, Чавара)
(рутил, анатаз,
псевдорутил)



Лейкоксеновый
(Россия, Ярегское)
(рутил, анатаз)



Ильменитовый
(Индия, Чавара)
(ильменит,
псевдорутил, рутил)



Ильменитовый
(Украина)
(псевдорутил, рутил)

Ильменитовый (Россия,
уч. Камбулатский)
(ильменит, псевдорутил,
«клеберит»,
хромшпинелиды, рутил)

- Лейкоксензация ильменита существенно влияет на качество товарных концентратов, повышая в них содержание оксида титана, при этом повышая содержание трехвалентного железа, и тех примесей, которые накапливаются в лейкоксене. При прогнозировании качества продуктов обогащения необходимо учитывать степень лейкоксензации титановых минералов.
- В настоящее время для удобства описания пород и их свойств используется термин «лейкоксен», отражающий наличие в них измененного ильменита и (или) продуктов его изменения.

ВЫВОД:

Проведенные исследования показали, что наиболее экспрессными и экономически выгодными для оценки минерального состава являются рентгенографический и рентгеномографический методы исследования.

Спасибо за внимание

