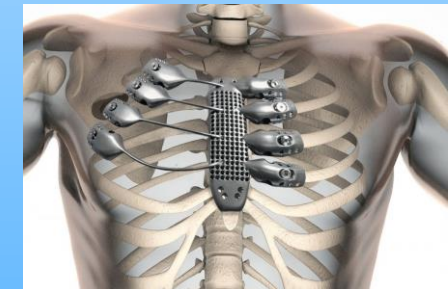


МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОТИТАНИСТЫХ РУД, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ ОБОГАТИМОСТЬ

Сычёва Н.А., Кыдзы М.В., Жукова В.Е., Шувалова Ю.Н.
ФГБУ «ВИМС»

Основные потребители титана:

- Авиакосмическая промышленность
- Химическая промышленность
- Оборонная промышленность
- Лакокрасочная промышленность
- Бумажная промышленность
- Пищевая промышленность
- Черная и цветная металлургия
- Машиностроение
- Медицина
- Строительство



ТИТАН - СТРАТЕГИЧЕСКОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ



- ✓ Россия обладает внушительной минерально-сырьевой базой титана. На долю нашей страны приходится 15% мировых запасов. Однако титанодобывающая промышленность у нас практически не развита. Большинство российских предприятий, выпускающих титановую продукцию, работают на импортном сырье.
- ✓ Освоение коренных месторождений, связанных с габброидными породами, сдерживается отсутствием в стране промышленной технологии переработки высокотитанистых титаномагнетитовых (железорудных) концентратов, получаемых из руд этих месторождений вместе с ильменитовыми (титановыми) концентратами.
- ✓ Освоение россыпных месторождений затрудняется качеством руд и/или условиями залегания, осложняющими их добычу и переработку.
- Необходимо развивать собственную добычу и производство титана на основе отечественных месторождений для обеспечения сырьевого суверенитета страны.



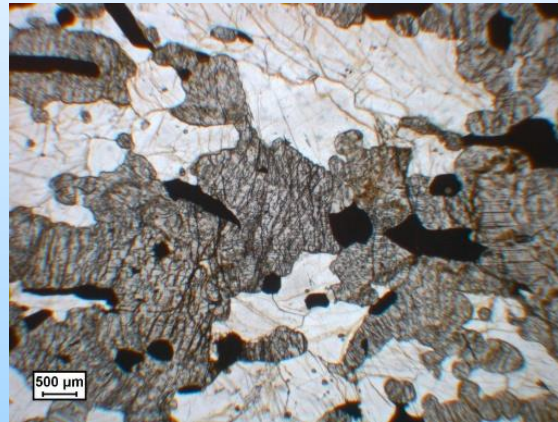
Общий вид руды

Текстура: массивная, пятнистая, по характеру выделений ильменита и сульфидов - вкрапленная

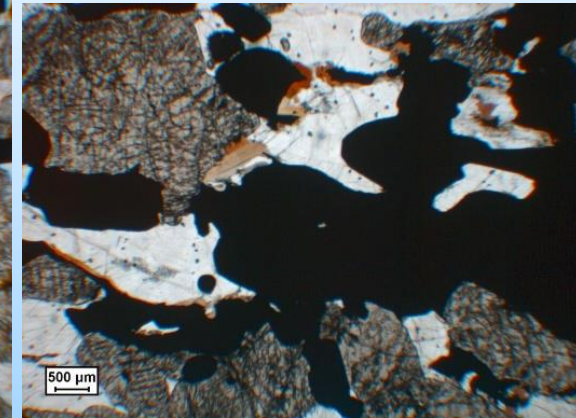
Структура: средне- и крупнозернистая, реже - гигантозернистая

Химический состав:

TiO_2 9,23-11,16%	SiO_2 39,21-41,75%
V_2O_5 0,095-0,12%	$Fe_2O_{3\text{общ.}}$ 21,1-24,67%
P_2O_5 0,28-0,31%	MgO 8,4-11,09%
MnO 0,27-0,30%	Al_2O_3 6,91-9,89%
Cr_2O_3 0,043-0,051%	CaO 4,57-5,83%
$S_{\text{общ.}}$ 0,01-0,59%	Na_2O 1,67-1,95%



а



б

Бедновкрапленная (а) и богатовкрапленная (б) текстуры руды. Черное - ильменит и сульфиды, буровато-серое - пироксен, белое - плагиоклаз. Проходящий свет, николи параллельны.

Минеральный состав:

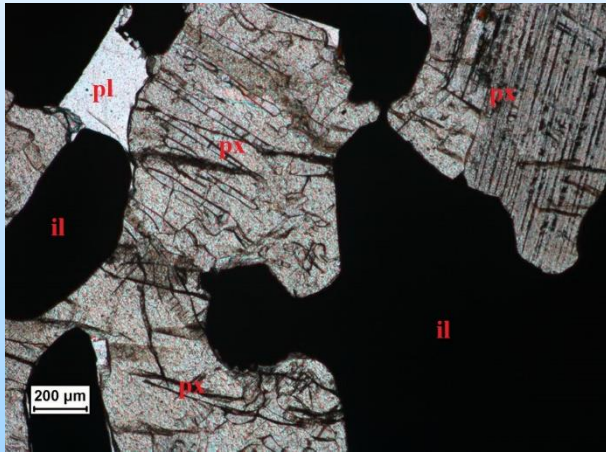
Главные: плагиоклаз, пироксен, ильменит

Второстепенные: кварц, биотит, пирротин

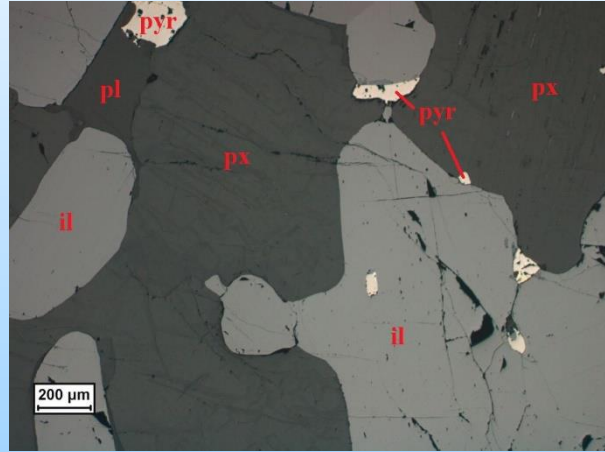
Акцессорные: апатит, пирит, халькопирит, пентландит, сфалерит

Вторичные: монтмориллонит, доломит, амфибол, хлорит, тальк, серпентин, анатаз, рутил, псевдорутил, халцедон, каолинит, гидроксиды железа

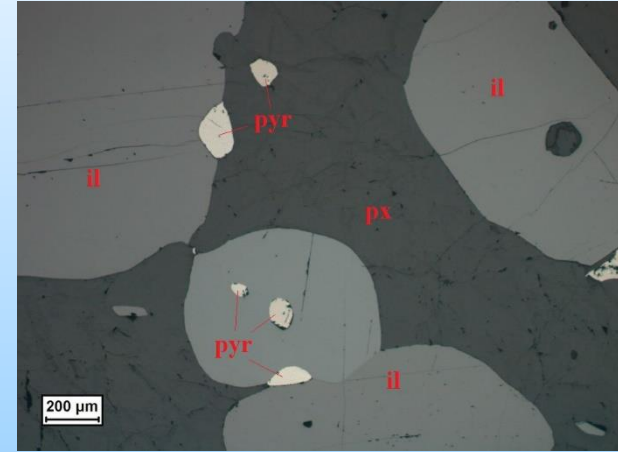
Ильменит первой разновидности (ильменит I)



А



Б



Ксеноморфные и субидиоморфные зерна ильменита I в руде;
 il – ильменит, px - пироксен, pyr - пирротин, pl – плагиоклаз.

(А) проходящий свет, николи параллельны;

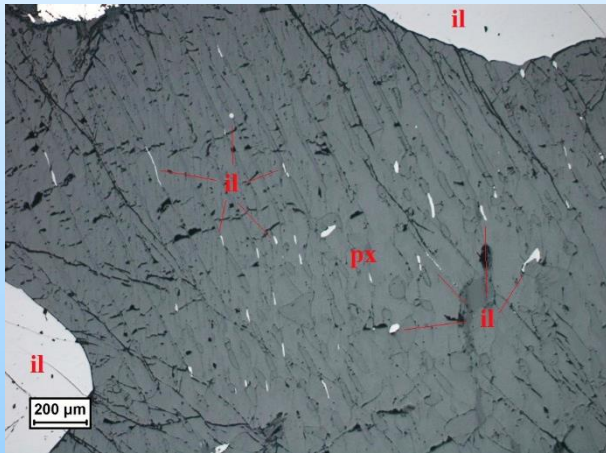
(Б) - отраженный свет, николи параллельны.

Включения пирротина и нерудных минералов в ильмените;

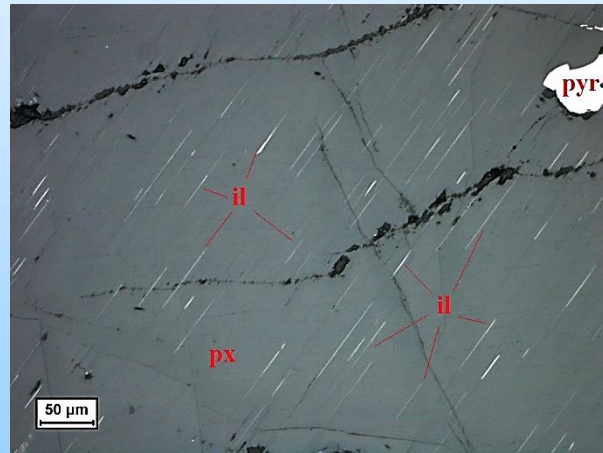
il – ильменит, px - пироксен, pyr - пирротин
 Отраженный свет, николи параллельны.

- ✓ Формирует основной объем руды, образует вкрапленность, приуроченную главным образом к выделениям пироксена.
- ✓ Встречается в виде зерен размером от сотых долей миллиметра до 5 мм, преобладают зерна размером 0,5-1 мм.
- ✓ Практически не содержит вторичных изменений. Иногда наблюдается незначительная лейкоксенизация минерала по ослабленным зонам.
- ✓ Часто содержит включения пирротина и породообразующих минералов (биотита, пироксена и плагиоклаза).
- Включения пирротина будут приводить к нестабильным магнитным свойствам ильменита, затягивать его в магнитную фракцию. Включения породообразующих минералов будут частично попадать в ильменитовый концентрат, снижая содержания в нем титана.

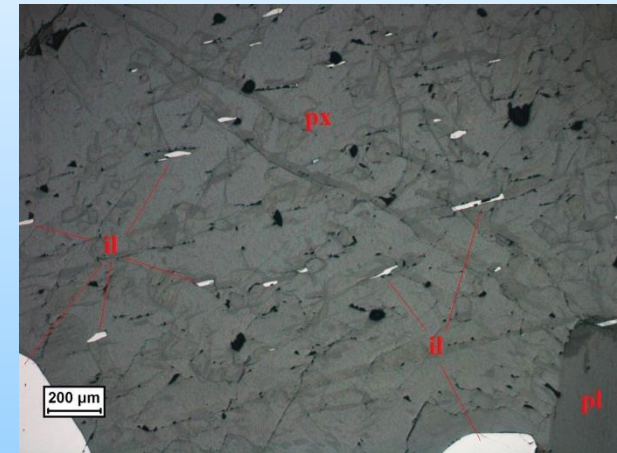
Ильменит второй разновидности (ильменит II)



А



Б



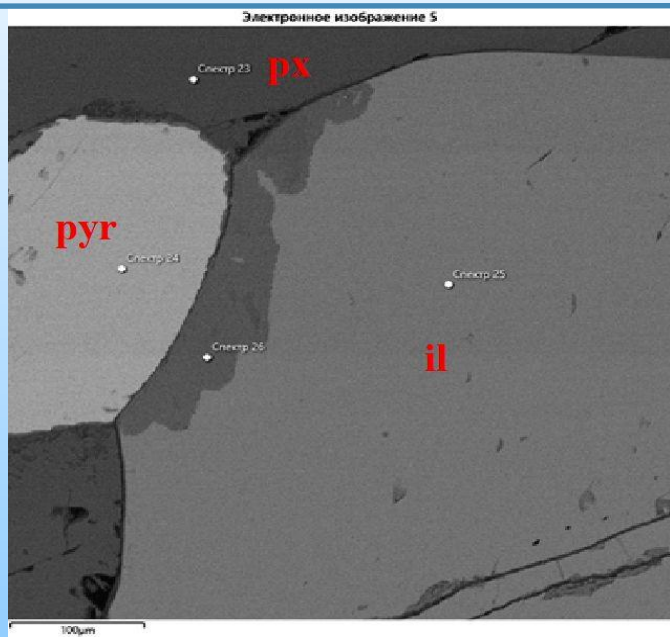
В

Тонкие пластинчатые выделения ильменита II в пироксене (А, Б, В);

il – ильменит, px - пироксен, pyr - пирротин, pl – плагиоклаз.

Отраженный свет, николи параллельны.

- ✓ Встречается в руде в подчиненном количестве.
- ✓ Развивается вдоль трещин отдельности и спайности пироксена и плагиоклаза в виде тонких пластинок.
- ✓ Присутствие тонких вростков ильменита II в породообразующих минералах способствует повышению их плотности и удельной магнитной восприимчивости.

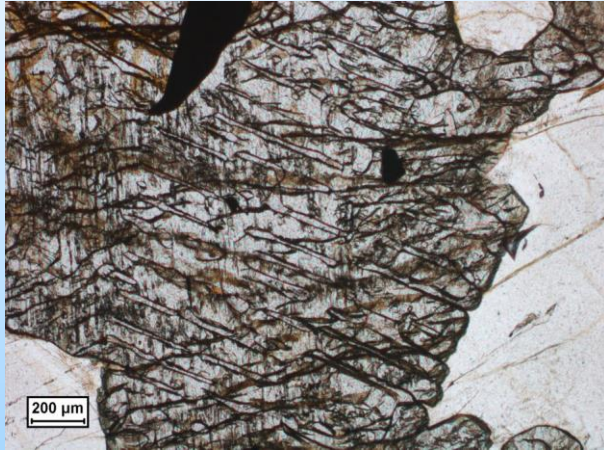


- Среднее содержание титана в ильмените составляет **30,7%**, следовательно, максимально возможное содержание TiO_2 в ильменитовом концентрате не может превышать **51,2%**.
- Ильменит содержит изоморфные примеси **магния, марганца и ванадия**, что отражается на технологических свойствах минерала, в частности – уменьшении его плотности и удельной магнитной восприимчивости.

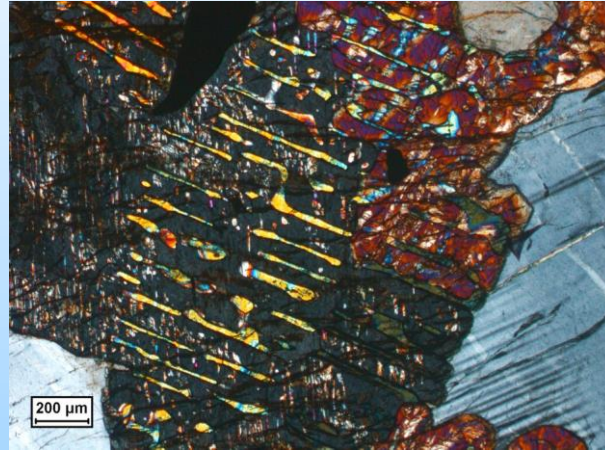
Изображение в обратно-рассеянных электронах;
il - ильменит, px - пироксен, pyr - .пирротин

Элементный состав ильменита, % (по данным РСМА)

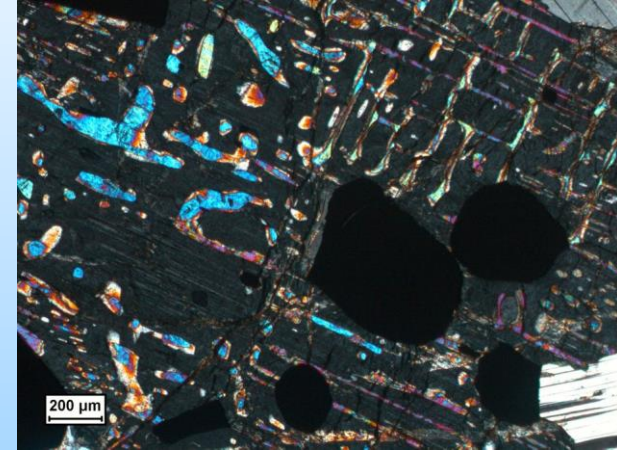
Метка спектра	O	Mg	Al	Si	Sc	Ti	V	Mn	Fe	Всего
Спектр 1	33,74	1,02	0,02	0,2	0,06	30,8	0,39	0,33	33,42	100
Спектр 11	34,41	0,9	0	0,17	0	30,4	0,42	0	33,73	100
Спектр 24	33,06	0,93	0	0,31	0,06	31	0,43	0,7	33,47	100
Спектр 25	34,04	1,14	0	0,23	0,01	30,6	0,52	0,72	32,71	100
Среднее:	33,81	1,00	0,01	0,23	0,03	30,7	0,44	0,44	33,33	100



А



Б



В

Ромбический пироксен с вростками моноклинного пироксена.

Проходящий свет, николи параллельны (А), николи скрещены (Б, В).

- ✓ В руде присутствуют два пироксена: ромбический и моноклинный.
- ✓ Ромбический пироксен преобладает, встречается в виде ксеноморфных, реже - идиоморфных зерен размером первые миллиметры. Максимальный размер выделений составил 12 мм.
- ✓ Ромбический пироксен участками замещается пластинчатой разновидностью серпентина (баститом), в меньшей степени - тальком и амфиболом.
- ✓ Ромбический пироксен повсеместно содержит пластинчатые вростки моноклинного пироксена, возникшие в результате распада твердого раствора.

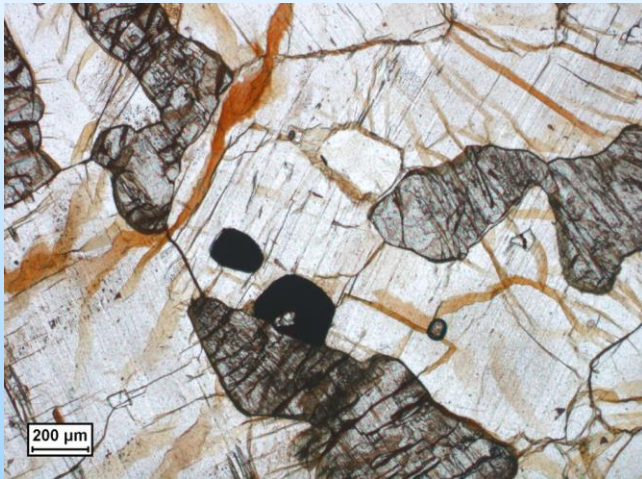
Элементный состав ромбического пироксена, %

Метка спектра	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Всего
Спектр 4	42,16	13,13	0,46	25,16	0,51	0,19	0,35	17,97	0,08	100
Спектр 29	43,19	12,10	0,48	24,69	0,62	0,14	0,25	18,24	0,29	100
Спектр 32	42,16	12,08	0,36	25,16	0,83	0	0,29	19,00	0,12	100
Спектр 36	42,17	11,95	0,46	25,05	0,61	0,16	0,36	19,25	0	100
Среднее:	42,42	12,32	0,44	25,02	0,64	0,12	0,31	18,62	0,12	100

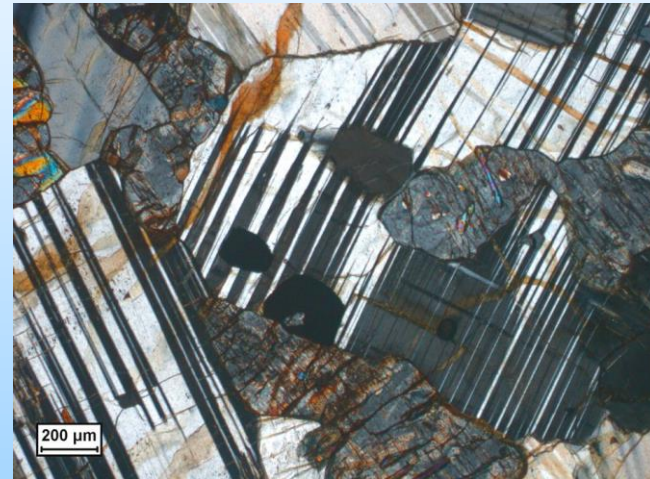
Элементный состав моноклинного пироксена, %

Метка спектра	O	Na	Mg	Al	Si	Ca	Ti	V	Fe	Всего
Спектр 8	43,19	0,27	8,21	0,57	24,48	14,41	0	0,24	8,57	100
Спектр 30	44,09	0,30	8,12	0,80	24,63	14,39	0,18	0,14	7,00	100
Спектр 33	42,86	0,24	8,33	0,73	24,74	14,82	0,12	0,15	7,83	100
Спектр 35	42,80	0,14	8,52	0,46	25,19	15,23	0,21	0,01	7,28	100
Спектр 37	43,53	0,11	8,35	0,59	24,87	15,65	0,08	0,11	6,67	100
Среднее:	43,29	0,21	8,31	0,63	24,78	14,90	0,12	0,13	7,47	100

- По элементному составу ромбический пироксен соответствует высокожелезистой разновидности – гиперстену, моноклинный – диопсиду. Оба пироксена содержат изоморфную примесь титана.



а

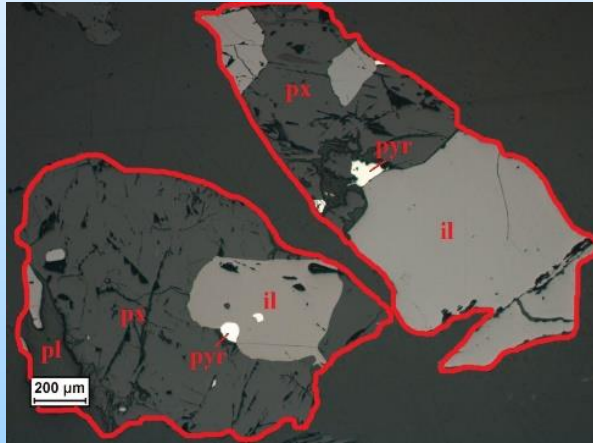


б

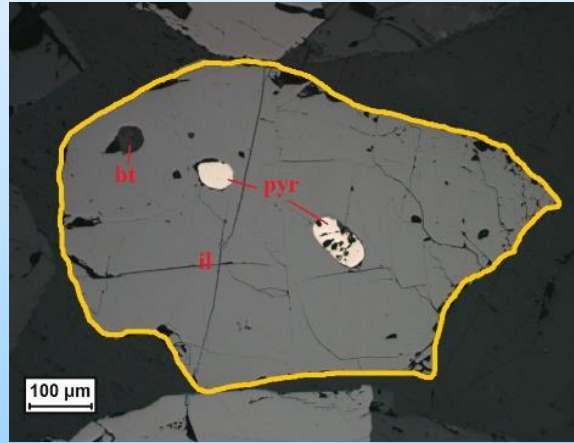
Плагиоклаз в сростаниях с пироксеном в норите; николи параллельны (а);
То же, видны полисинтетически сдвойникованные зерна плагиоклаза,
николи скрещены (б). Проходящий свет.

- ✓ Плагиоклаз присутствует в виде зерен субидiomорфной и ксеноморфной формы размером до 14 мм, преобладают зерна размером первые миллиметры.
- ✓ Состав плагиоклаза, определенный методом Мишель-Леви, соответствует андезину и лабрадору $An_{40}-An_{60}$.
- ✓ По данным РСМА содержание Na в минерале составило 4,15%, Al – 15,71%, Si – 26,17%, Ca – 7,03%.
- ✓ Преобладает «чистый» плагиоклаз, без вторичных изменений. В отдельных участках руды минерал разбит трещинами, по которым развиваются гидроксиды железа, серпентин и хлорит. В интенсивно измененной руде плагиоклаз полностью сосюритизирован.

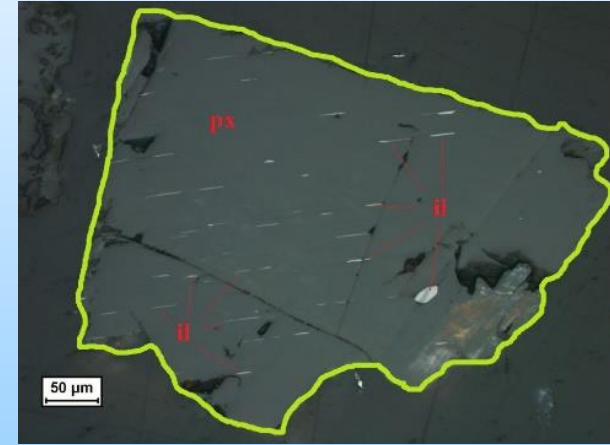
В руде выделяются три типа сростков.



Сростки первого типа

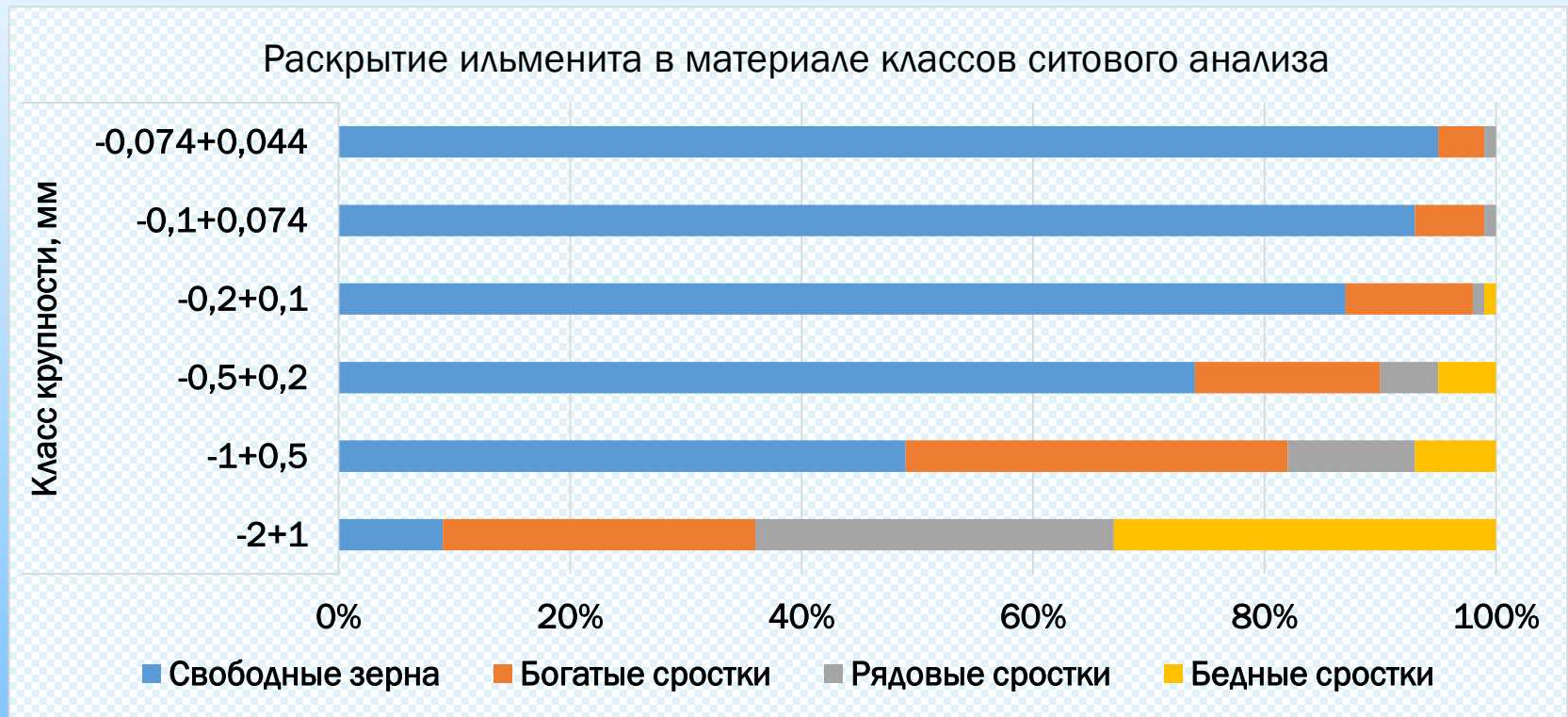


Сросток второго (закрытого) типа

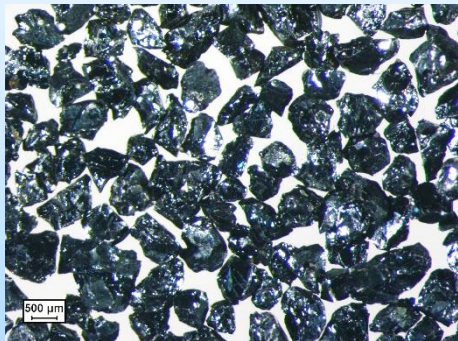


Сросток третьего типа

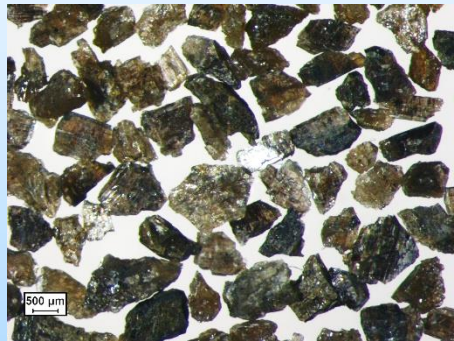
- ✓ К **сросткам первого типа** относятся сростки ильменита I с породообразующими минералами (пироксеном, плагиоклазом). Их раскрываемость зависит от природной крупности ильменита I в руде и характера границ срастаний с породообразующими минералами.
- ✓ К **сросткам второго (закрытого) типа** относятся зерна ильменита I, содержащие включения сульфидов и породообразующих минералов. Раскрытие таких сростков наступает в результате разрушения зерен ильменита I и зависит от крупности и формы включений.
- ✓ **Сростки третьего типа** представлены зернами пироксена и плагиоклаза, содержащими тонкие пластинчатые вроски ильменита II. Они относятся к бедным сросткам, не раскрываются даже в самом тонком материале.



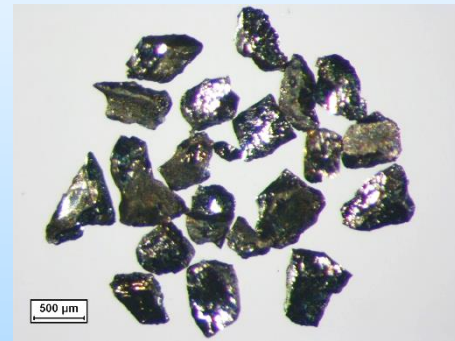
- Большая часть минерала раскрывается в материале классов крупности $-1+0,5$ мм и $-0,5+0,2$ мм (49% и 74% свободных зерен соответственно). Оставшиеся более мелкие зерна ильменита I раскрываются в материале крупностью $-0,2+0,1$ мм (87%).
- Незначительное увеличение количества свободных зерен ильменита в материале тонких классов крупности $-0,1+0,074$ мм и $-0,074+0,044$ мм (93% и 95% соответственно) происходит в результате частичного раскрытия сростков закрытого типа.
- Полного раскрытия минерала не наблюдается в связи с присутствием в руде бедных сростков ильменита II третьего типа.



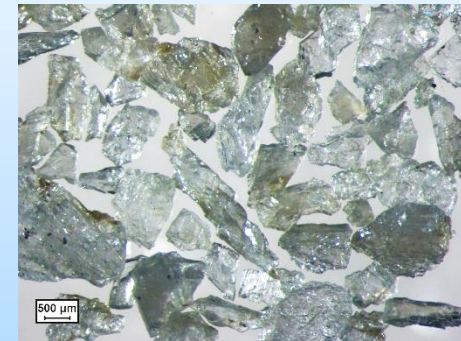
ильменит



пироксен



пирротин



плагиоклаз

Минерал	Плотность, г/см ³	Удельная магнитная восприимчивость	Твердость по шкале Мооса
Ильменит	4,64	$140 \cdot 10^{-8}$	5-6
Пирротин*	4,95	$6500 \cdot 10^{-8}$	4
Пироксен	3,55	$66 \cdot 10^{-8}$	5-6
Плагиоклаз	2,69	$13 \cdot 10^{-8}$	6-6,5

- **Ильменит и пироксен** имеют близкие значения плотности и удельной магнитной восприимчивости, что обуславливает низкую контрастность гравитационных и магнитных свойств этих минералов.
- **Ильменит и пирротин** не контрастны по гравитационным свойствам. Однако высокие значения удельной магнитной восприимчивости пирротина по сравнению с ильменитом способствуют их селективному разделению магнитными методами.
- **Ильменит и плагиоклаз** контрастны по гравитационным и магнитным свойствам.

Выявленные минералогические особенности руды позволили установить следующие факторы их обогатимости:

Благоприятные факторы для обогащения:

- текстурно-структурные особенности руды
- низкое содержание вредных примесей (хрома, фосфора и марганца)

Неблагоприятные факторы для обогащения:

- низкая контрастность магнитных и гравитационных свойств ильменита и пироксена, связанная с одной стороны с высоким содержанием в последнем железа и присутствием тонких пластинчатых вростков ильменита, с другой – с изоморфными примесями магния, марганца и ванадия в ильмените
- включения сульфидов и породообразующих минералов в ильмените будут частично попадать в ильменитвый концентрат, снижая содержание в нем титана
- изоморфная примесь титана в породообразующих минералах (пироксенах и биотите), обуславливающая потери титана в хвостах

Спасибо за внимание!

