

Минералы
магматитов –
титаномагнетит

Классификация шпинелидов Me_3O_4

Серия хромита	Серия шпинели	Серия магнетита	Серия гауссманиита (т.)	Серия кулсонита	Серия ульвошпинели
$MgCr_2O_4$ Магнезиохромит	$MgAl_2O_4$ Шпинель	$MgFe_2O_4$ Магнезиоферрит		MgV_2O_4 Магнезиокулсонит	Mg_2TiO_4 Квандилит
$FeCr_2O_4$ Хромит	$FeAl_2O_4$ Герцинит	$FeFe_2O_4$ Магнетит	$FeMn_2O_4$ Ивакиит	FeV_2O_4 Кулсонит	Fe_2TiO_4 Ульвошпинель
$MnCr_2O_4$ Манганохромит	$MnAl_2O_4$ Галаксит	$MnFe_2O_4$ Якобсит	$MnMn_2O_4$ Гауссманиит	MnV_2O_4 Вуорелайненит	Mn_2TiO_4 Манганульвошпинель
$ZnCr_2O_4$ Цинкохромит	$ZnAl_2O_4$ Ганит	$ZnFe_2O_4$ Франклинит	$ZnMn_2O_4$ Гетеролит		
$NiCr_2O_4$ Нихромит		$NiFe_2O_4$ Треворит			
$CoCr_2O_4$ Кохромит	$CoAl_2O_4$ Кобальтшпинель				

нестехиометричные

Маггемит $Fe^{3+}_2O_3 = [(Fe^{3+}, \square)_3]O_4$ куб.

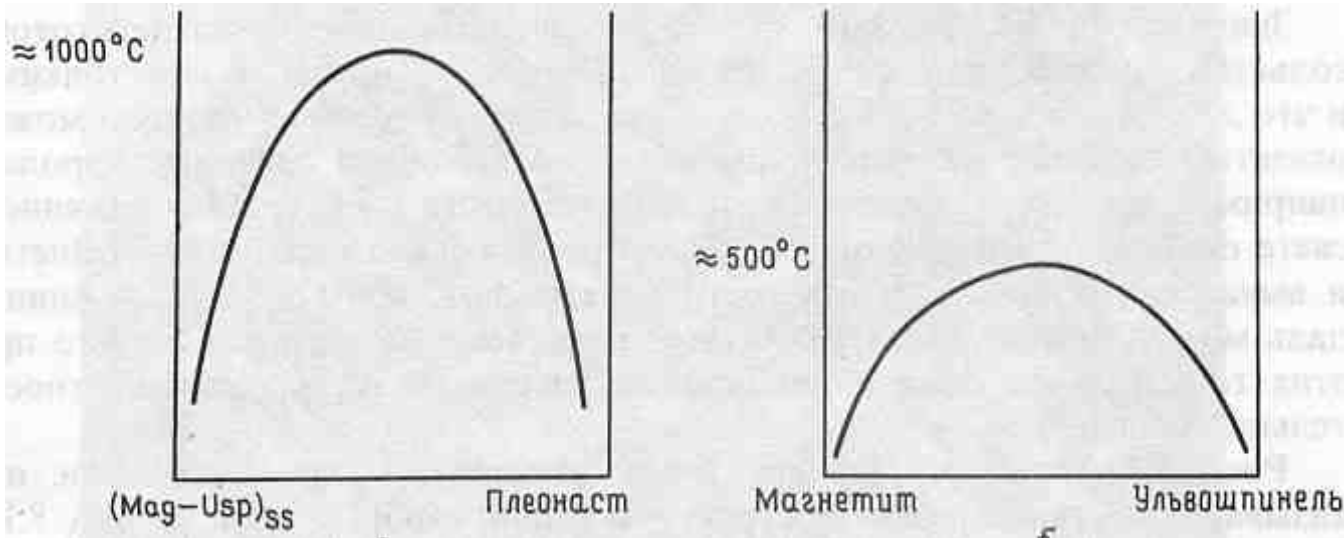
маггемит устойчив ниже $450^\circ C$

Биксбиит $(Mn^{3+}, Fe^{3+})_2O_3 = [(Mn^{3+}, Fe^{3+}, \square)_3]O_4$ куб.

Шпинели нормальные и обратные

Минерал	Формула	Параметр ячейки (Å)	Структура
Шпинель	$MgAl_2O_4$	8,09	Нормальная
Герцинит	$FeAl_2O_4$	8,14	»
Ганит	$ZnAl_2O_4$	8,08	»
Галаксит	$MnAl_2O_4$	8,28	»
Магнезиоферрит	$Fe^{3+}(Mg, Fe^{3+})O_4$	8,37	Обратная
Магнетит	$Fe^{3+}(Fe^{2+}, Fe^{3+})O_4$	8,39	»
Франклинит	$ZnFe_2O_4$	8,43	Нормальная
Якобсит	$Fe^{3+}(Mn, Fe^{3+})O_4$	8,50	Обратная
Магнезиохромит	$MgCr_2O_4$	8,32	Нормальная
Хромит	$Fe^{2+}Cr_2O_4$	8,37	»
Ульвошпинель	$Fe^{2+}(Ti, Fe^{2+})O_4$	8,54	Обратная

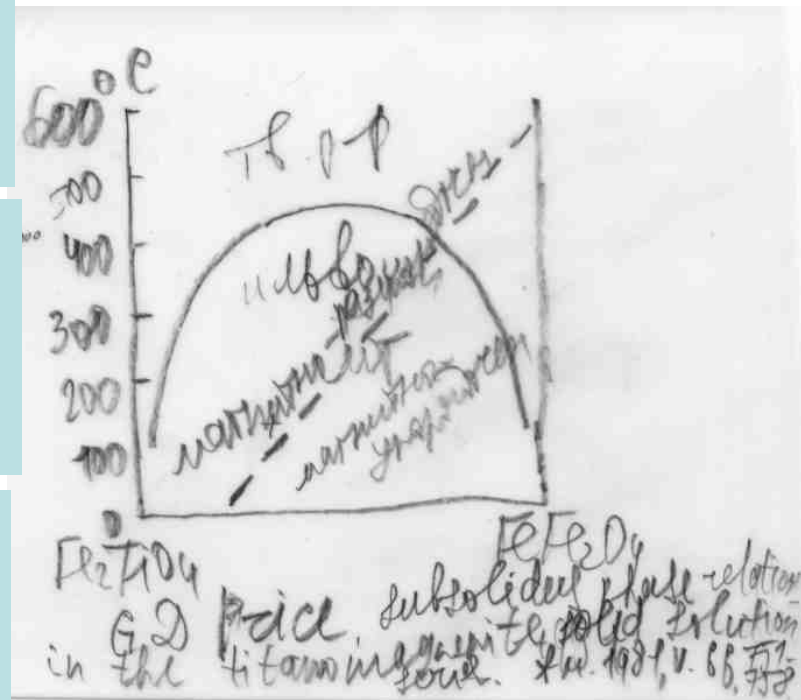
Титаномагнетит



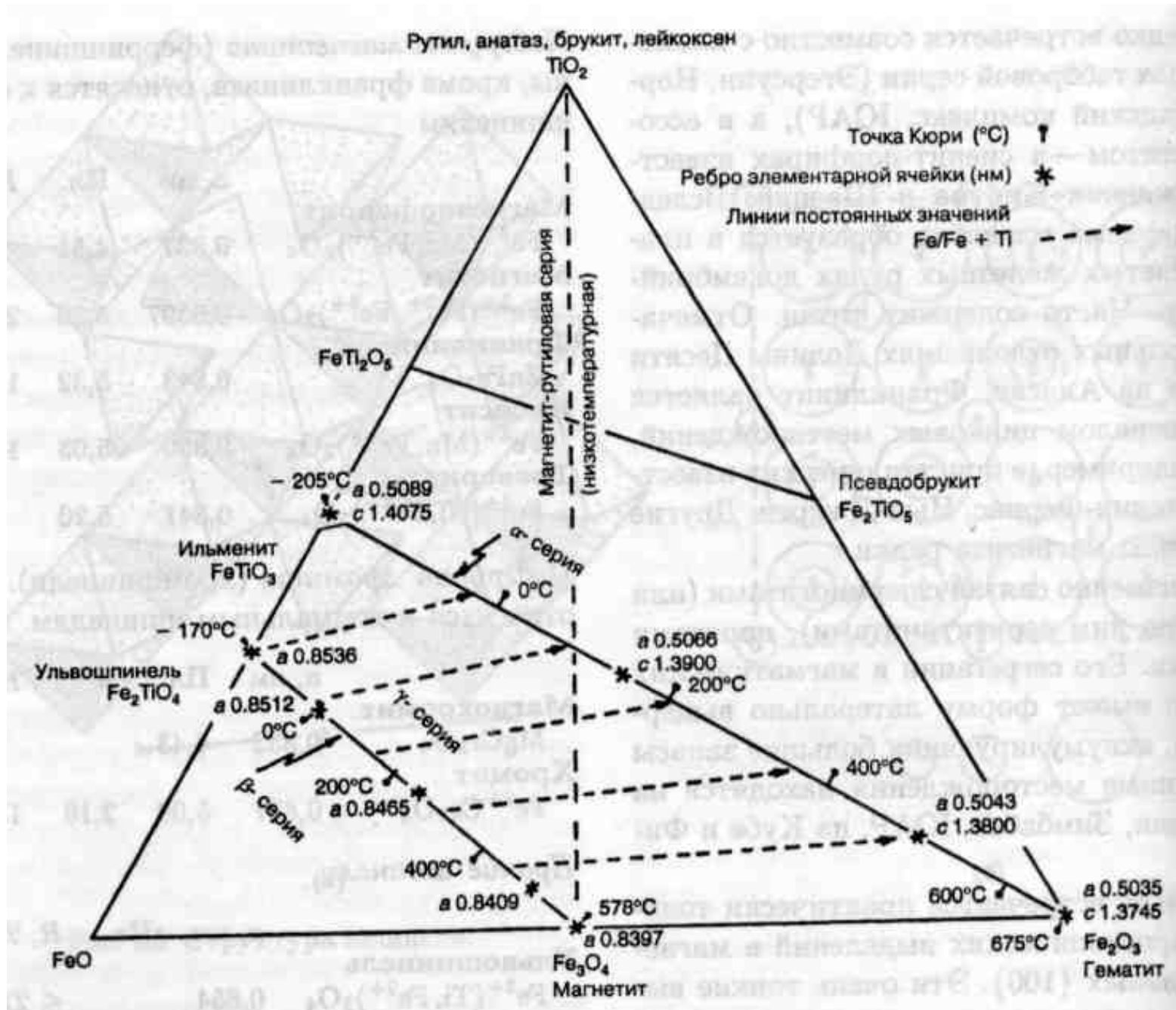
Выше 600°C взаимная растворимость магнетит – ульвошпинель неограниченная, при 400°C магнетит содержит до 40% ульвошпинели, при 0°C – до 20%.

Выше 870°C взаимная растворимость магнетит – герцинит неограниченная, при 800°C магнетит содержит до 35% герцинита, при 500°C – до 8%.

Выше 800°C взаимная растворимость магнетит – шпинель неограниченная, выше 1200°C ульвошпинель - шпинель.



Система Fe – Ti - O



Состав титаномагнетита магматитов

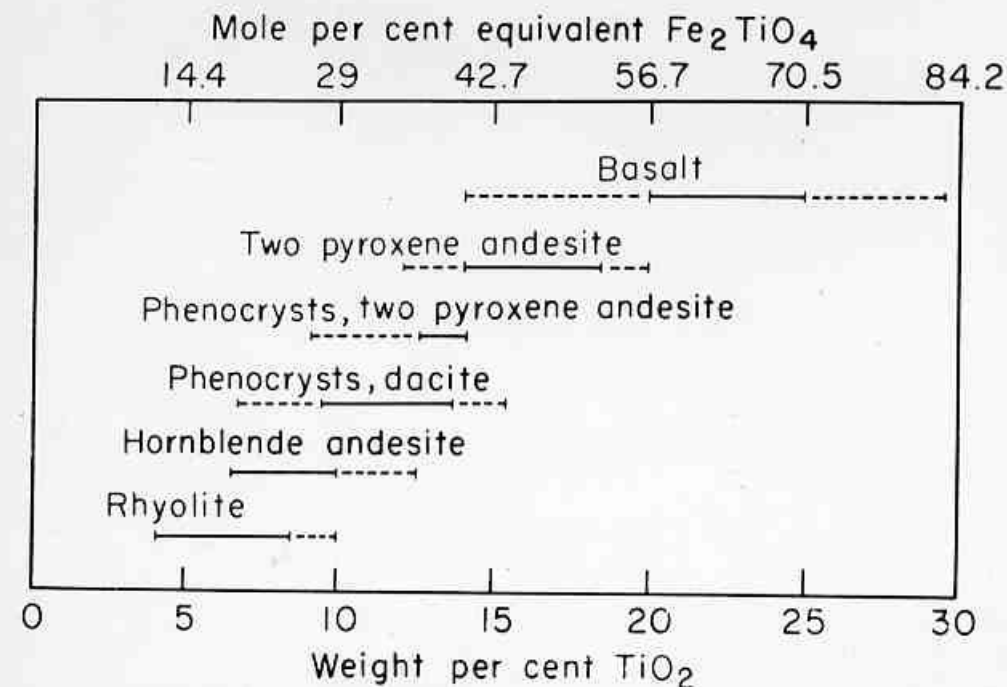


FIG. 9. Range of composition of titaniferous magnetite in some volcanic rocks. Seventy per cent or more of the analyses lie in the range shown by the heavy lines.

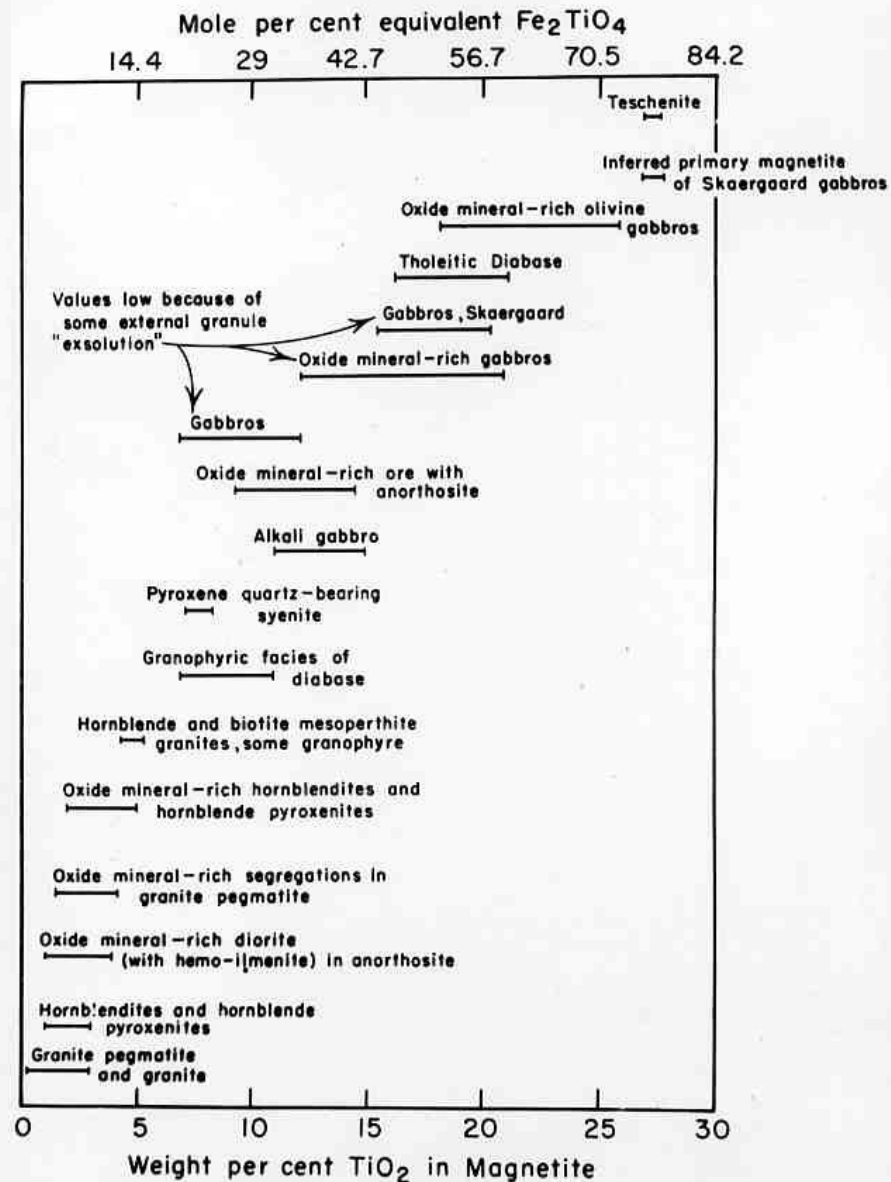


FIG. 7. Range of TiO_2 and equivalent Fe_2TiO_4 in magnetite of some plutonic and hypabyssal rocks.

Титаномагнетит – гематит-ильменитовый термометр

$$k_D = \frac{x_{\text{ульво}}}{(1-x_{\text{ульво}}) \cdot (1-x_{\text{ильм}})} \cdot \frac{x_{\text{ильм}}}{x_{\text{ульво}} \cdot x_{\text{гем}} / x_{\text{мт}} \cdot x_{\text{ильм}}}$$

$$\ln k_D = -8155/T^{\circ} \text{K} + 4.59$$

$$\ln a_{\text{O}_2} = \ln \left[\frac{(x_{\text{мт}}^2 \cdot x_{\text{ильм}}^6 / x_{\text{ульво}}^6) \cdot (x_{\text{ульво}} \cdot x_{\text{гем}} / x_{\text{мт}} \cdot x_{\text{ильм}})^{10.703}}{1} \right] - 4.94$$

Powell & Powell, 1977

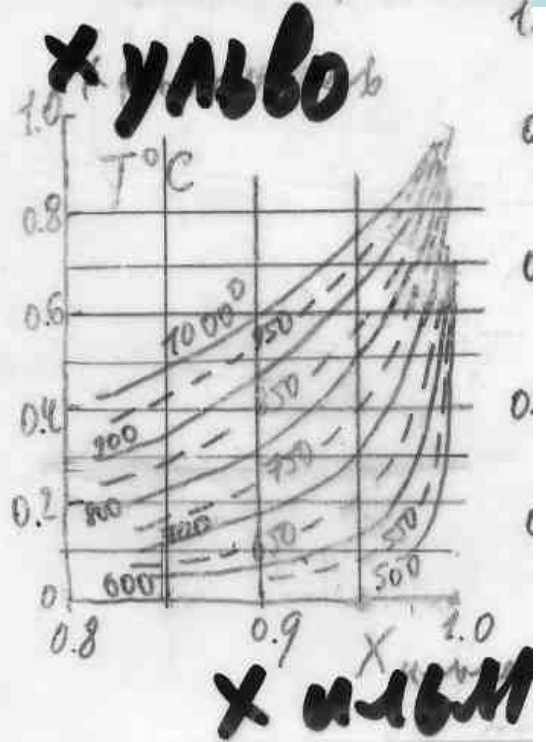
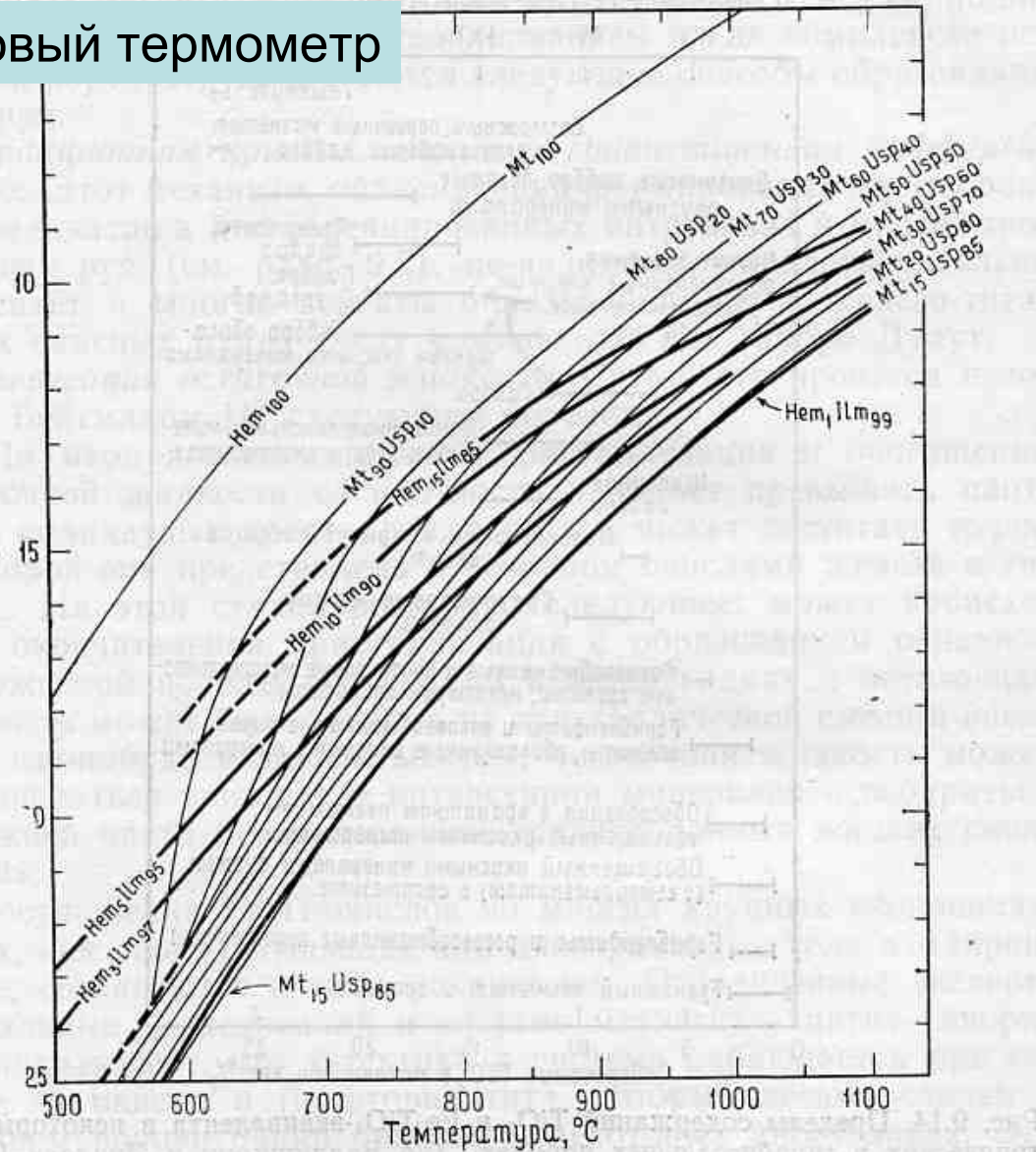


Рис. 9.13. Проекция на плоскость f_{O_2} — T сопряженных поверхностей в f_{O_2} - T - X -пространстве. Проекция параллельна двум осям состава магнетит — ульвошпинель₅₅ и гематит — ильменит₅₅ таким образом, что пересекающиеся контуры представляют собой проекцию коннод сопряженных пар. Соотношения температура — состав магнетит-ульвошпинелевого сольвуса показаны тонкими сплошными линиями. Гематит-ильменитовый сольвус (не показан) расположен между кривыми Hem₁₀₀ и Hem₁₅Ilm₈₅. Составы приведены в мольных процентах (по Баддингтону и Линдсли [2], использовано с разрешения издательства).

Состав сосуществующих титаномагнетита и ильменита магматитов

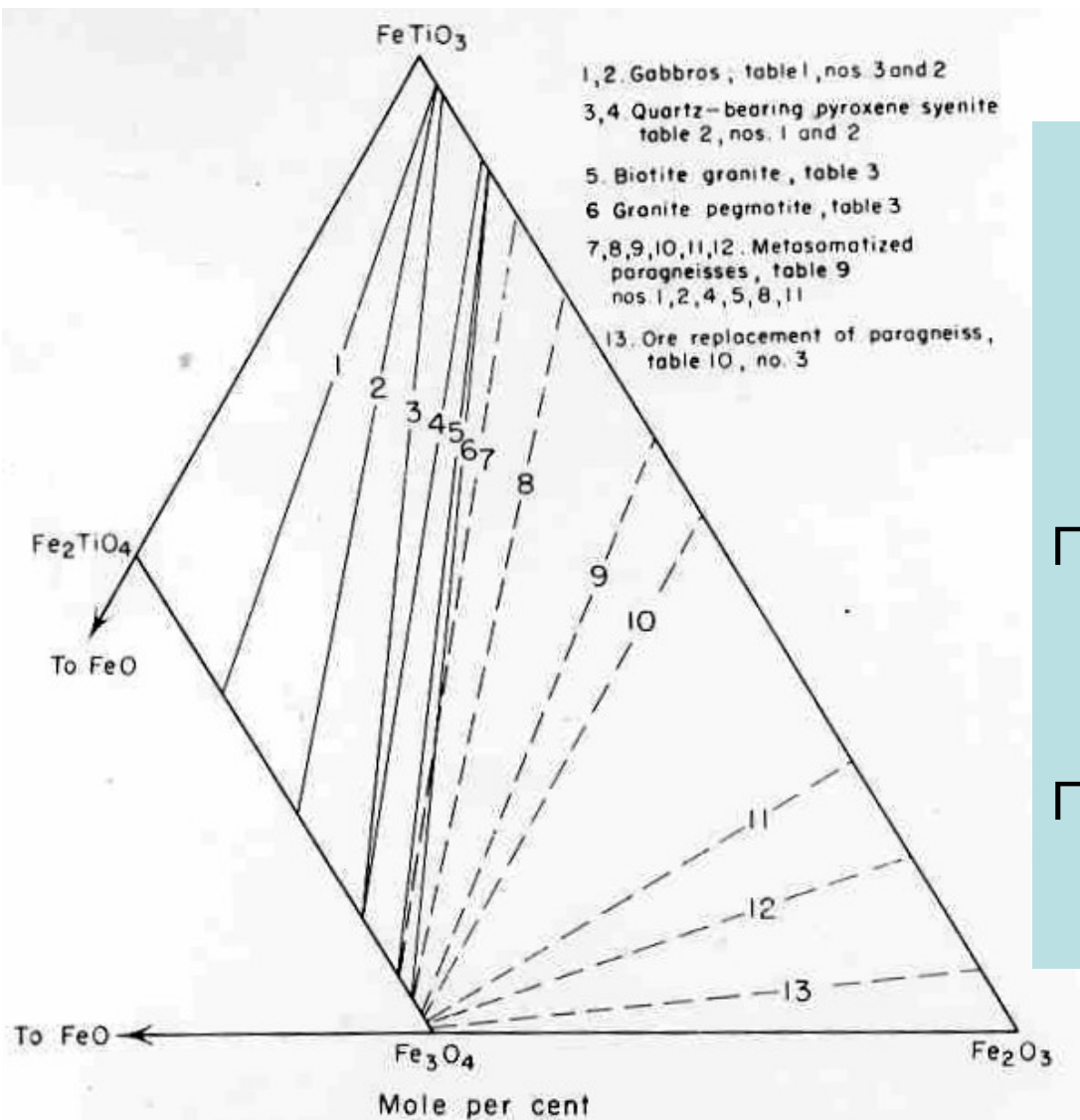


FIG. 11. A series of tie lines for coexisting titaniferous magnetite (recomputed to magnetite-ulvöspinel_∞) and the bulk composition of the corresponding member or members of the hematite-ilmenite series. The plot exemplifies the hypothetical successive oxidation of Fe₂TiO₄, FeTiO₃, and Fe₃O₄.

Для свежих вулканитов
 линейная регрессия
 $\log (\text{Mg}/\text{Mn} \text{ атом.})_{\text{MT}} = 0.9317 \log (\text{Mg}/\text{Mn})_{\text{ил}} - 0.0909$
 [Васон & Hirschman, 1988].

При повышенных $T \sim 1100^\circ \text{C}$
 Mg относительно обогащён
 ильменит.

При пониженных $T \sim 600^\circ \text{C}$
 Mg относительно обогащён
 магнетит.

Леонард Васильевич Колесников (каф. минералогии)

Ферримагнитные свойства оксидов и их

минералогическое значение //Вестн. МГУ. Сер. геол. 1970. № 6. с. 59-70

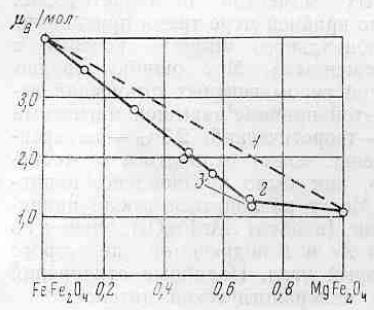


Рис. 1. Зависимость «состав — магнитный момент» в ряду магнетит — маггемит:
1 — 2 — по различным моделям катионного распределения, 3 — по экспериментальным данным

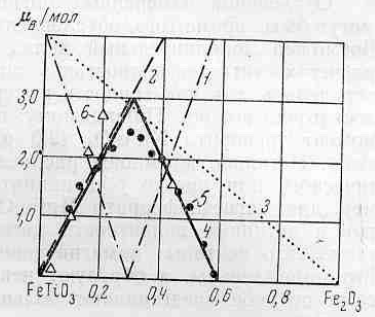


Рис. 2. Зависимость «состав — магнитный момент» в ряду илтитит:
1 — 4 по различным катионного распределения, 5 — 6 — Бозор

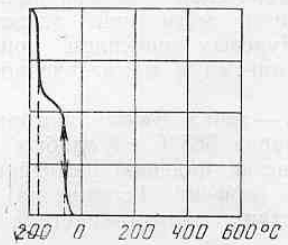


Рис. 7. Термомагнитная кривая франклинита из месторождения Франклин, Нью-Джерси

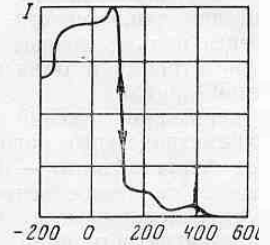


Рис. 8. Термомагнитная кривая ильменита из кимберлитовой трубки «Мир»

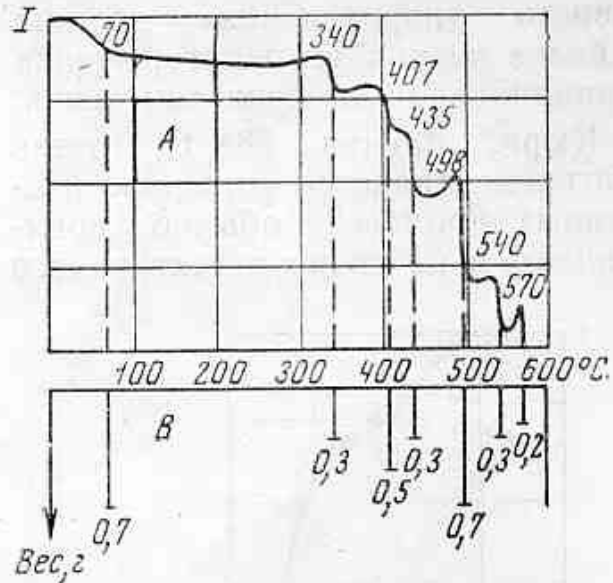


Рис. 9. Термомагнитная кривая (А) и спектр термомагнитного разделения (В) смеси семи ферримагнитных минералов

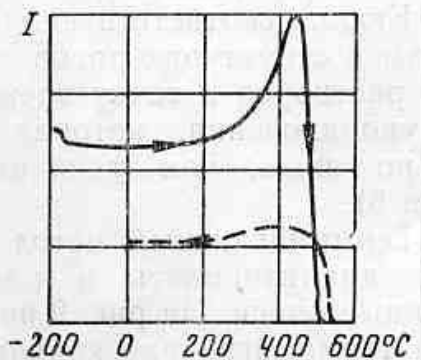


Рис. 5. Термомагнитная кривая магнетита из месторождения Камышевский Байкитник

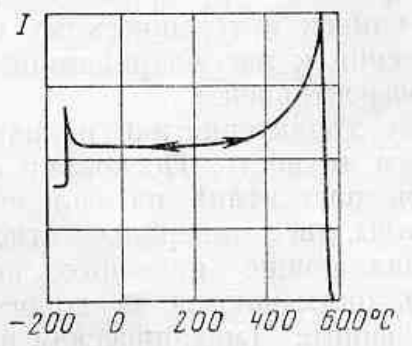


Рис. 3. Термомагнитная кривая магнетита из Дашкесанского месторождения

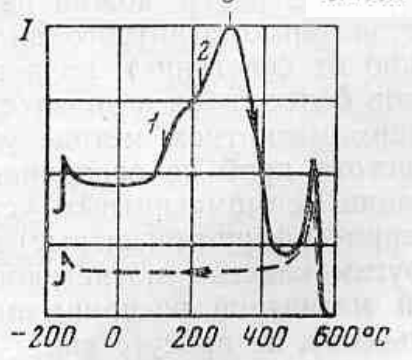


Рис. 4. Термомагнитная кривая маггемитизированного магнетита из Абаканского месторождения

Титаномагнетит – отжиг - распад

Тонкие срастания ульвошпинель - магнетит

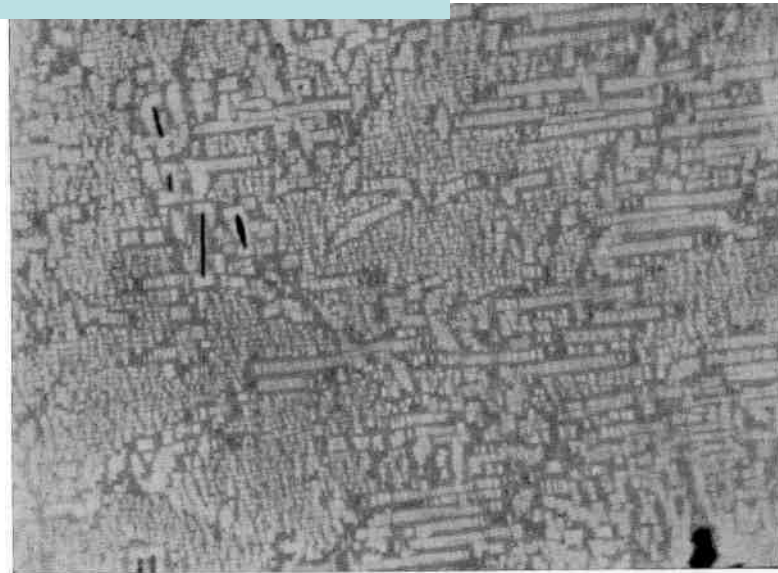
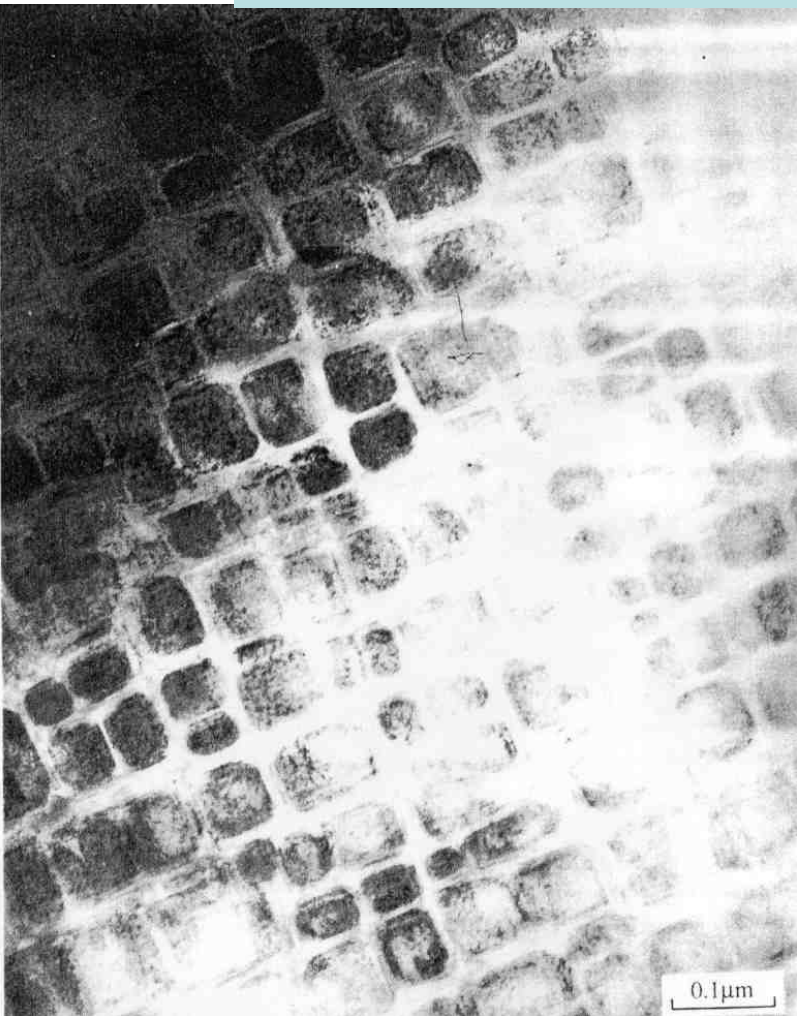


Abb. 538 Vergr. 1000mal (von 500mal nachvergrößert) RAMDOHN
Lac de la Blache, Saguenay Co., Quebec, Canada



Фиг. 26. Взаимные прорастания магнетита и ульвошпинели в габбро М

Скэргард. Молодые
феррогаббро

Титаномагнетит – отжиг - распад

Тонкие срастания ульвошпинель – магнетит – шпинель (герцинит)

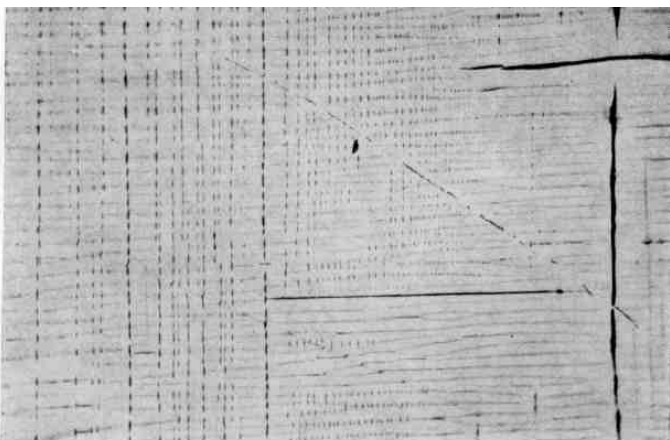
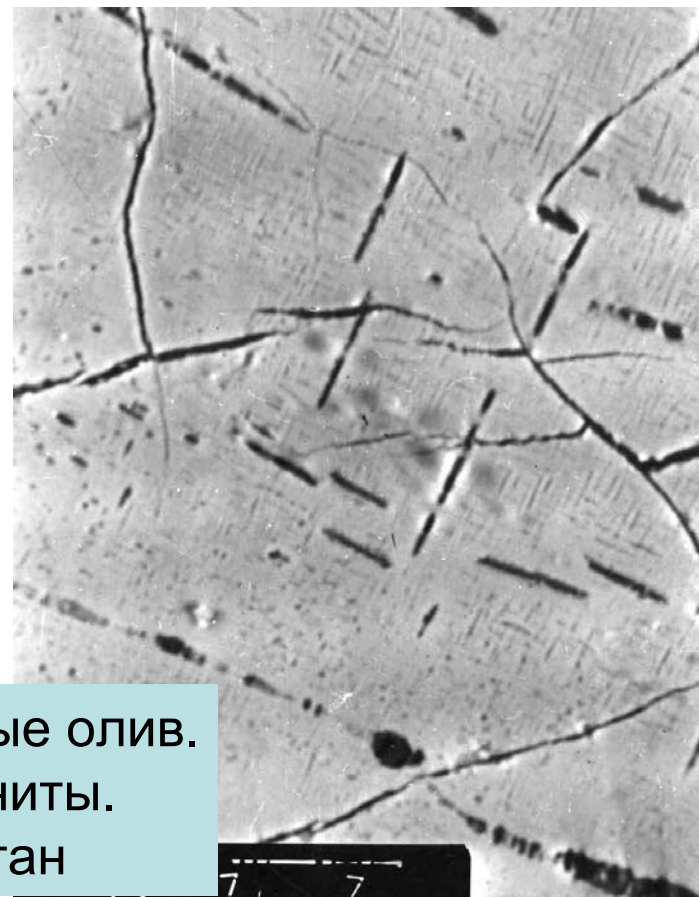
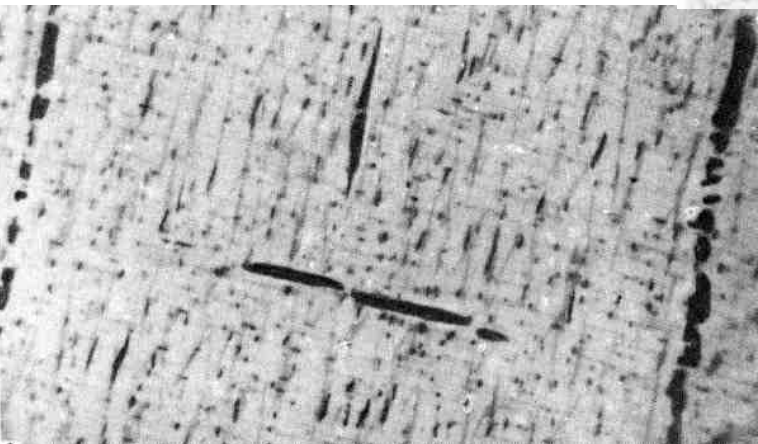


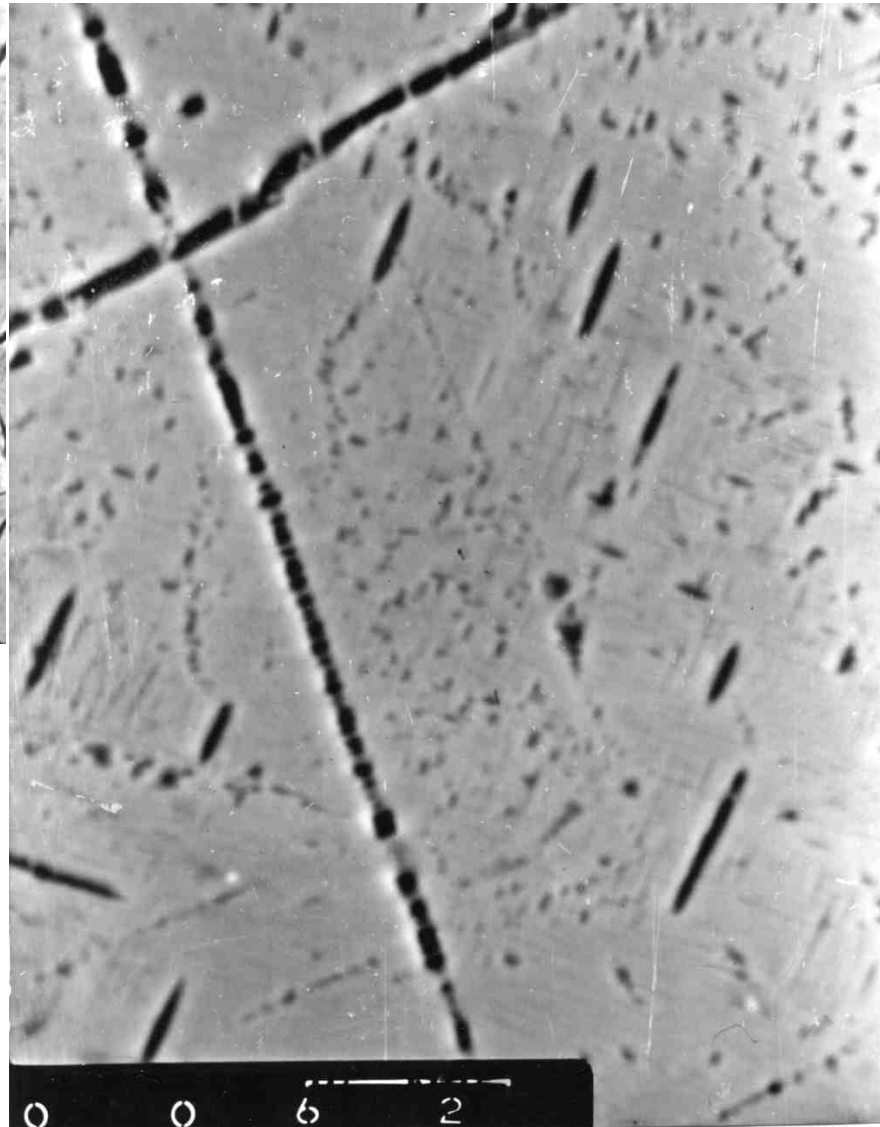
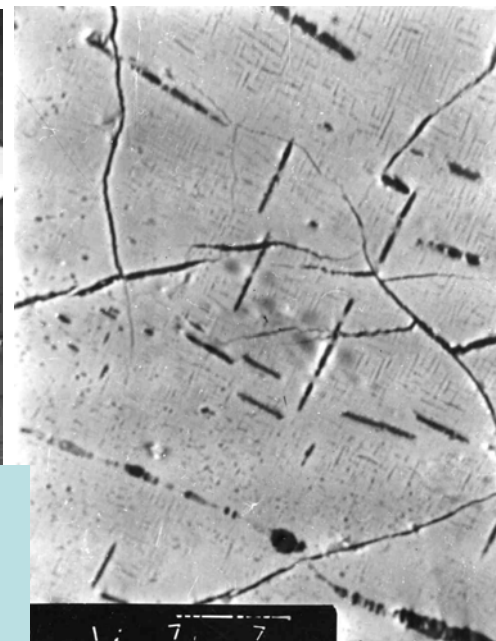
Abb. 535a Vergr. 500mal, Immersion
Benoite Lake, Quebec TSUI-MING HAN
Titanomagnetit, Schnitt nahe (100), mit Entmischung von *Spinell* (Pleonast) und *Ulvöspinell*, ebensolche Form, aber viel heller



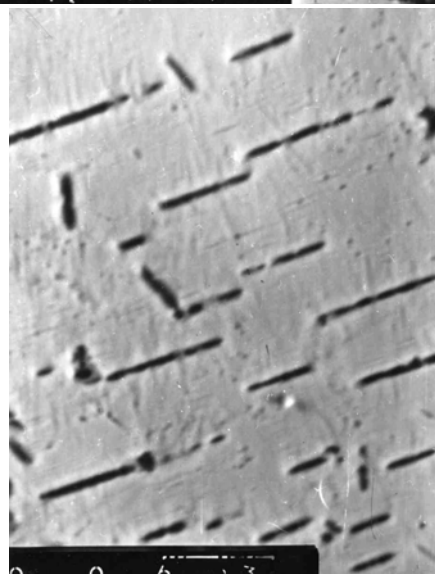
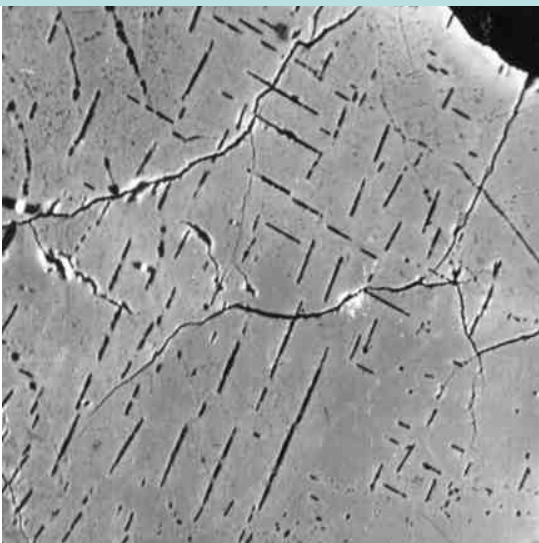
Косьвиты – рудные олив.
клинопироксениты.
Сев. Казахстан

Титаномагнетит – отжиг - распад

Тонкие сростания ульвошпинель – магнетит – шпинель (герцинит)



Срастание тмт – ил.
Косьвиты
Отайды-Карасу



Начало окислительного распада

Титаномагнетит – окислительный распад

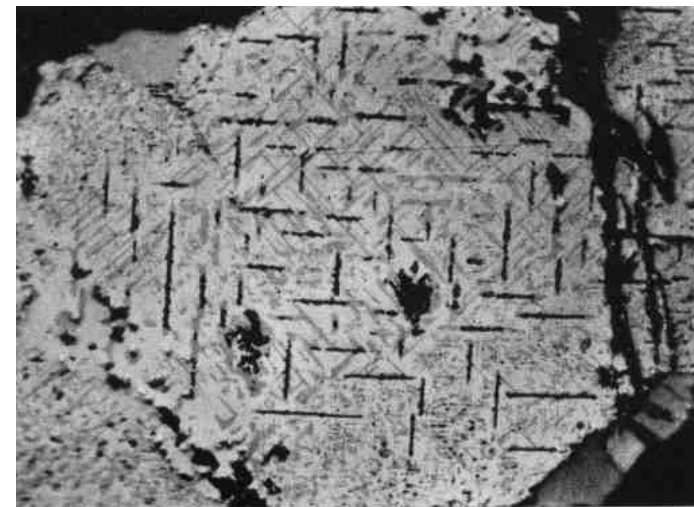
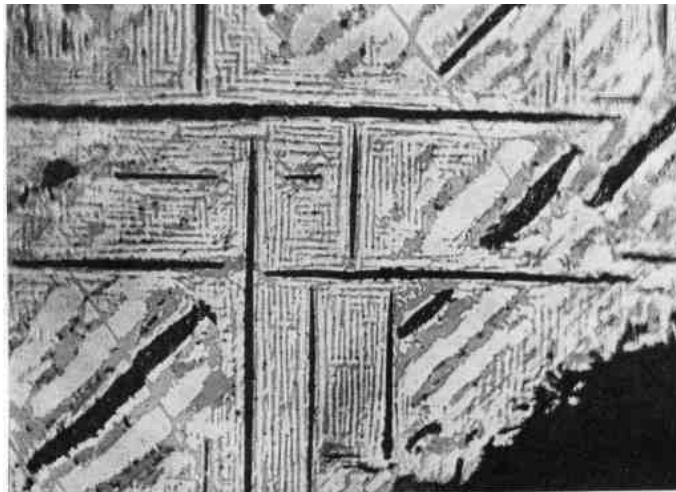
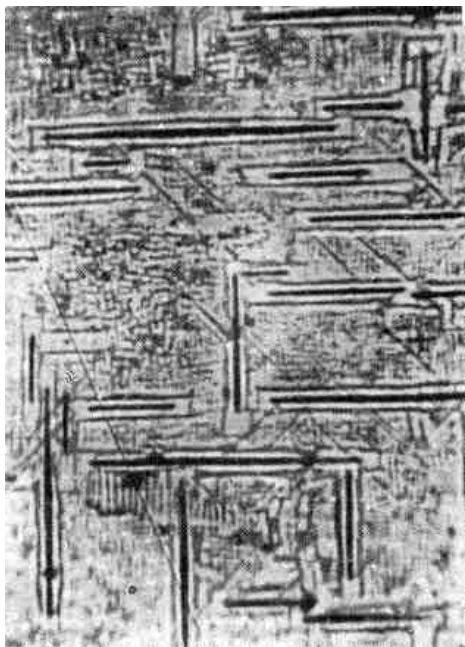


Abb. 536 Vergr. 1600mal, Immersion REHWALD
Smålands Taberg, Schweden

„Titanomagnetit“, hier mit sehr wenig *Ilmenit* (vereinzelte dünne Lamellen – z. B. rechts oben), aber viel *Ulvöspinell*, der // (100), also wie der gewöhnliche Spinell (schwarz) eingelagert ist (zwei etwas senkrechte Richtungen, die dritte Würfelfläche liefert sehr flach einfallende und daher breite Lamellen sowohl von *Ulvit* wie gewöhnlichem Spinell)

Abb. 535 Vergr. 250mal, Immersion RAMDOHR
Karelofinnische SSR

„Titanomagnetit“. Lichtgrau ist *Magnetit*, darin eingelagert // (100) schwarze Lamellen oder Züge von Körnern von *Spinell*, // (111) mittelgrau, Lamelle von *Ilmenit*. Vielfach ebenfalls // (100) in der Farbe völlig dem *Ilmenit* gleichende Lamellen von *Ulvöspinell*

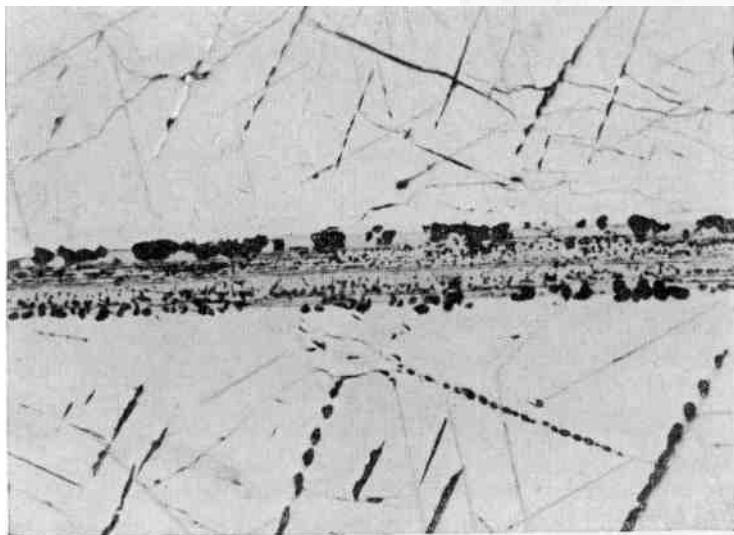


Abb. 528 Vergr. 250mal, Ölimmersion RAMDOHR
Grube Concordia bei Ookiep, Cape Province

Spinell (fast schwarz) und *Ilmenit* (grau) im *Magnetit* (lichtgrau), wenig *Sulfid* (reinweiß)

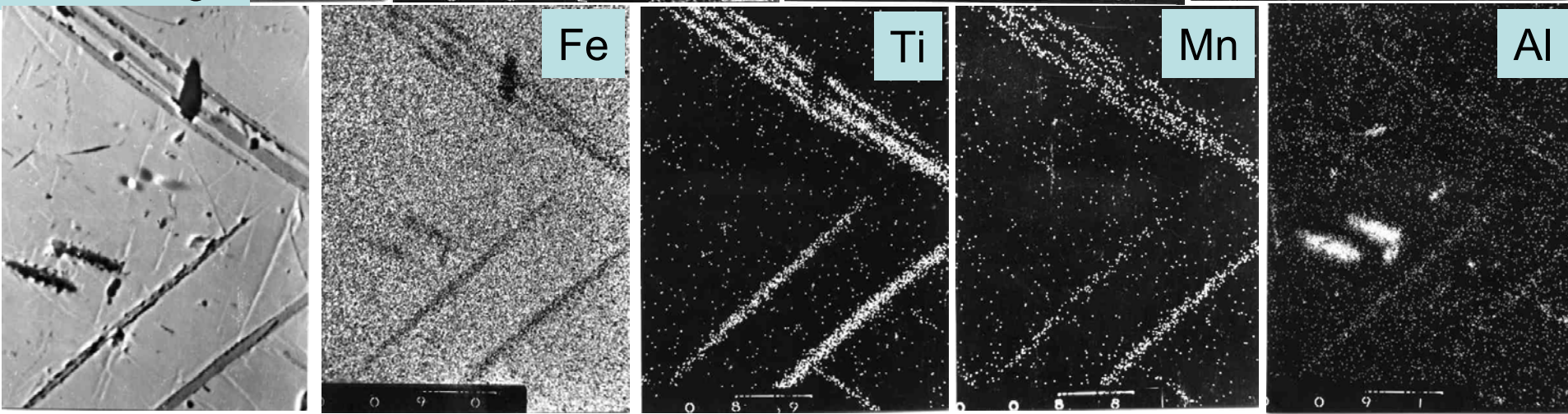
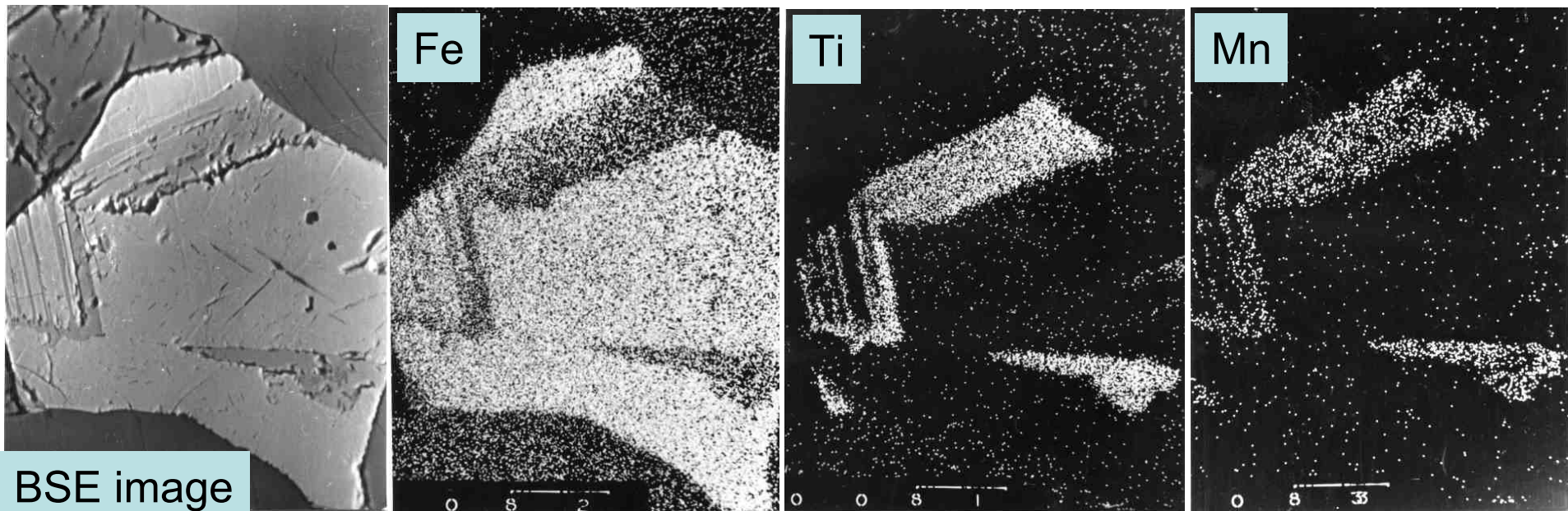
Два поколения структур распада.

1. Магнетит + ульвошпинель + шпинель

2. Магнетит + ильменит + шпинель

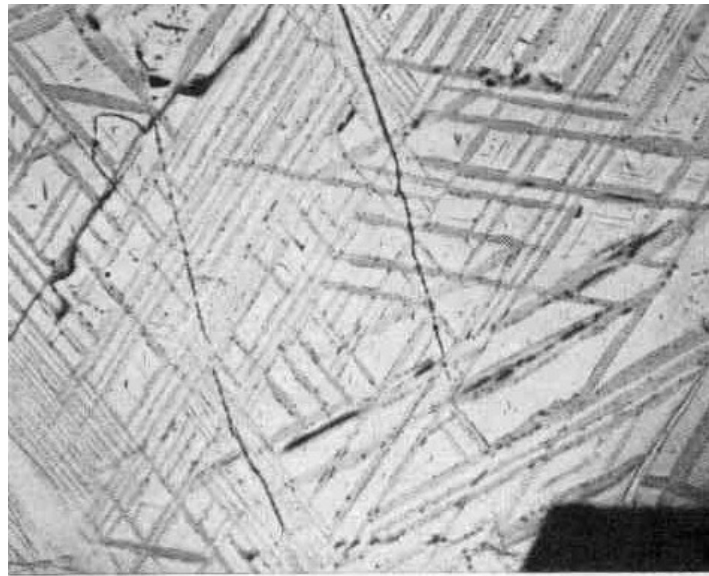
Титаномагнетит – окислительный распад Косьвиты Отайды-Карасу, Север. Казахстан

Тонкие срастания ильменит – магнетит – шпинель (герцинит)

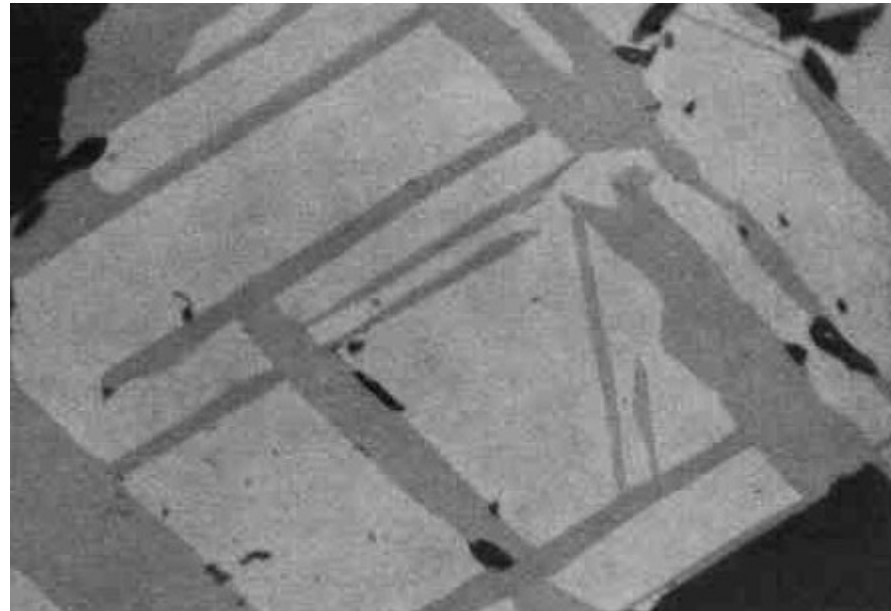


Титаномагнетит – окислительный распад

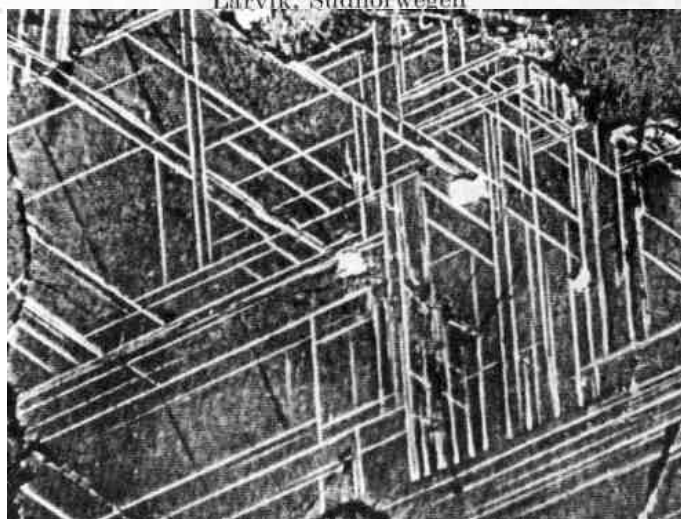
Тонкие срастания ильменит – магнетит – шпинель (герцинит)



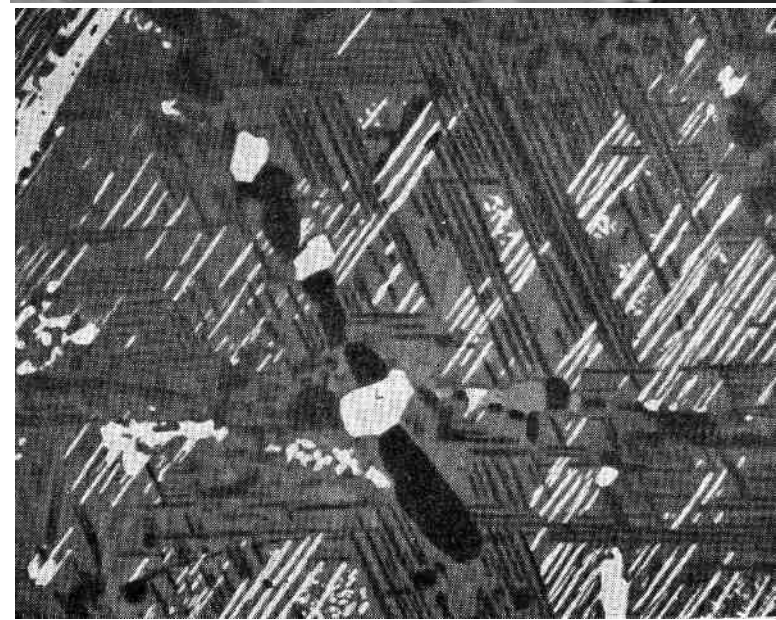
Vergr. 250mal, Ölimmersion
Larvik, Südnorwegen



Станд.
мт +
ил +
шп



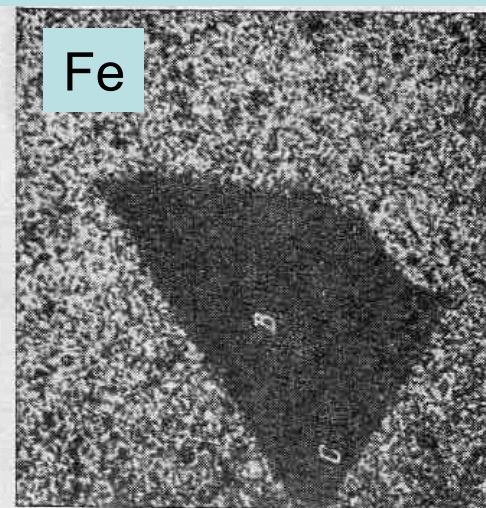
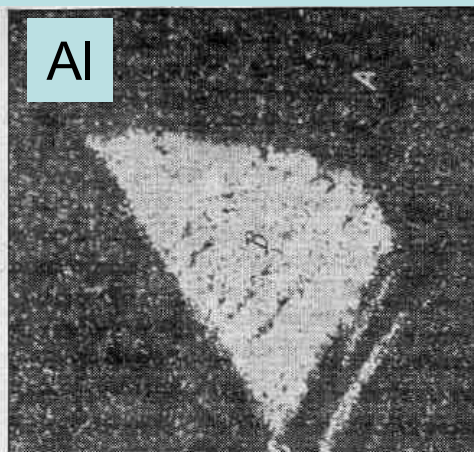
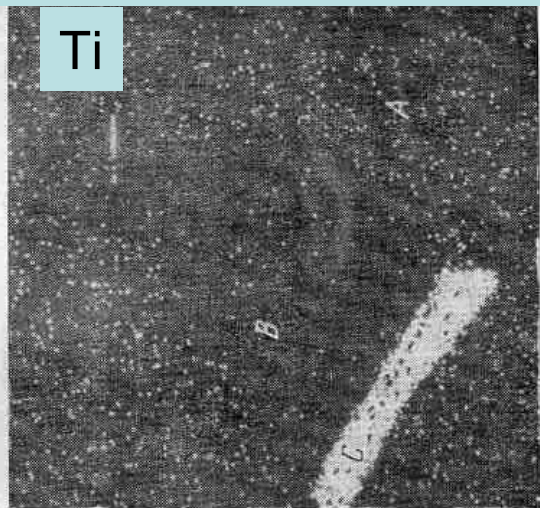
Копанский интрузив. Габбро



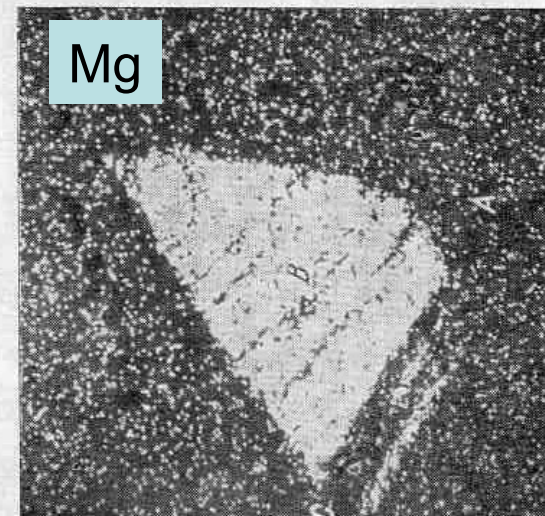
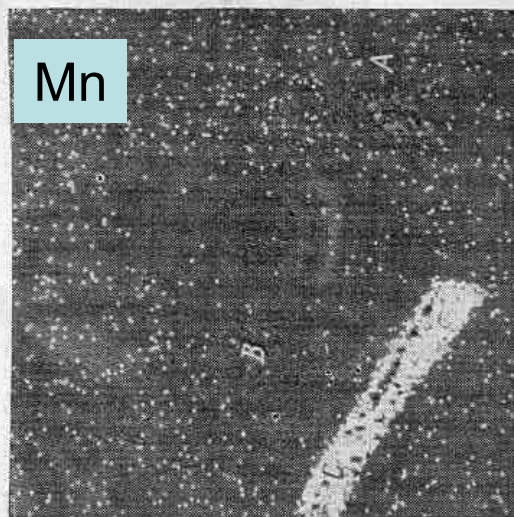
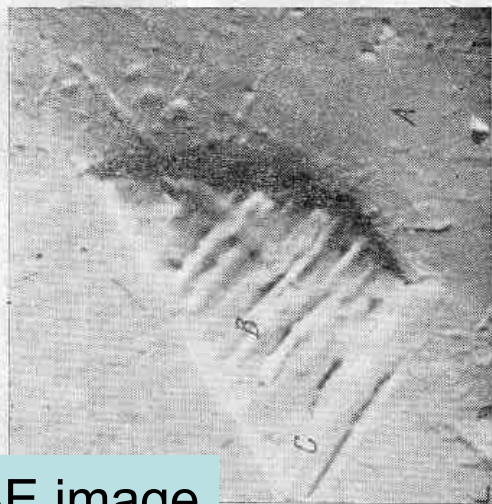
Решётка
мт + ил.
Полоса
ил + шп.
Габбро
Бёугото,
Норвегия

Ti магномагнетит – окислительный распад. Ковдорский массив щелочных-у/о пород

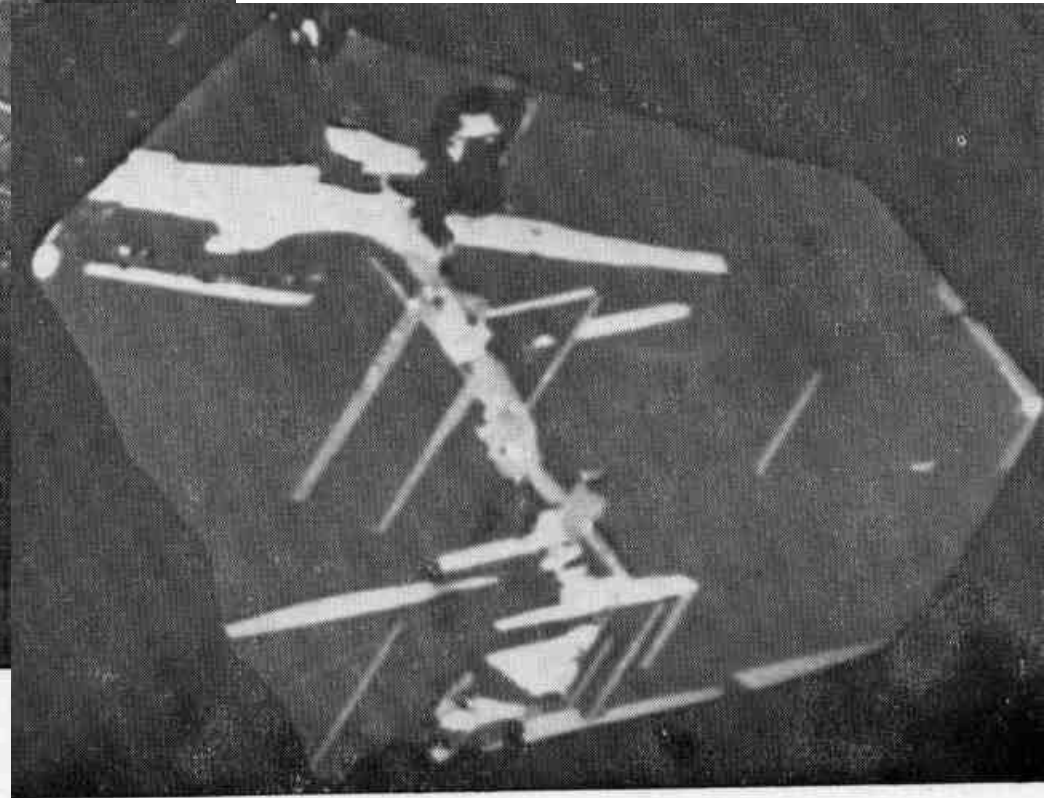
Матрица – магнетит, тельцо распада – кристалл шпинели
с пластиной пирофанита = манганильменита



Поле 0.2x0.2 мм



Титаномагнетит – восстановительный распад



Лунные алюмохромит и ульвошпинель.
Ульвошпинель распалась на ильменит и железо