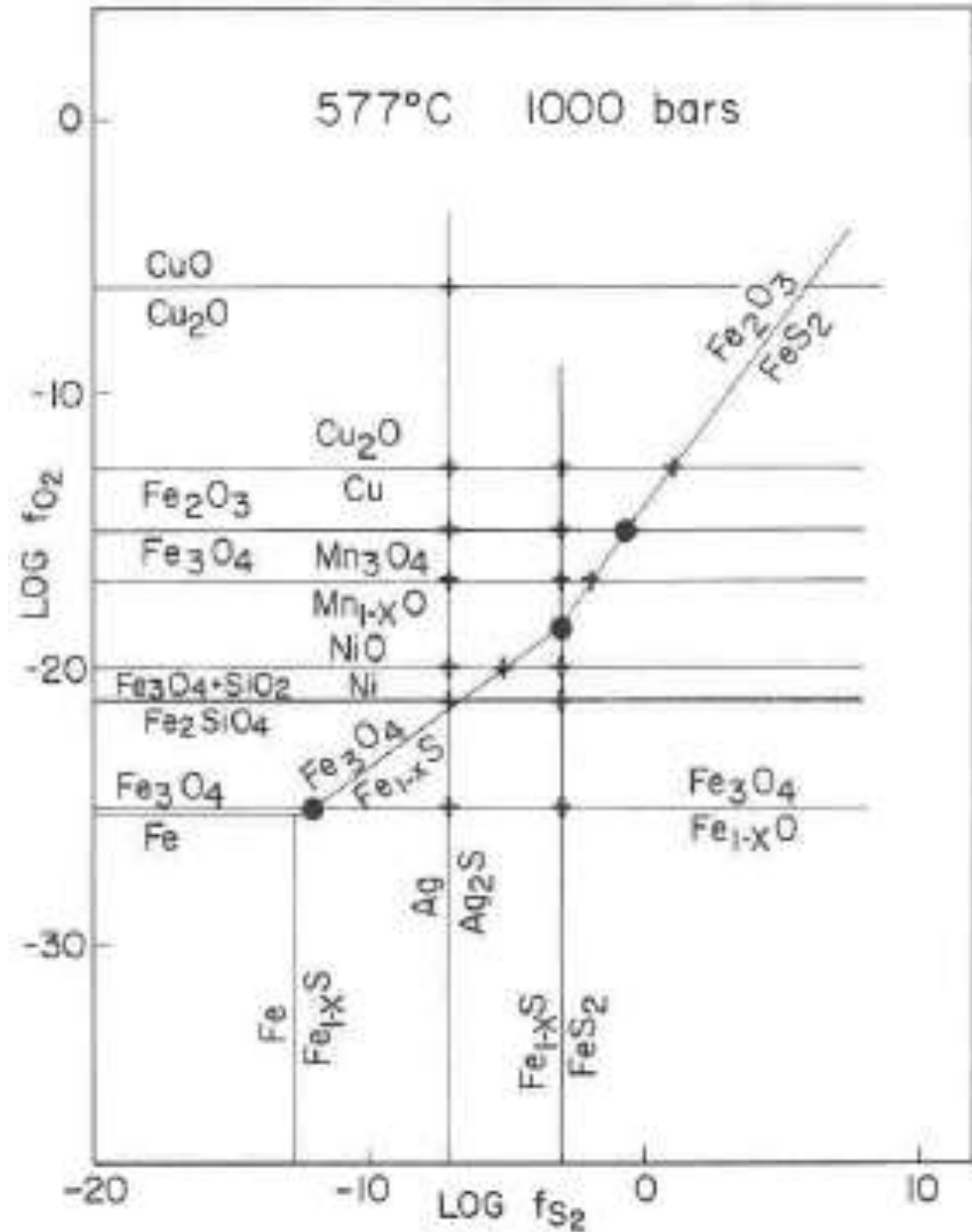
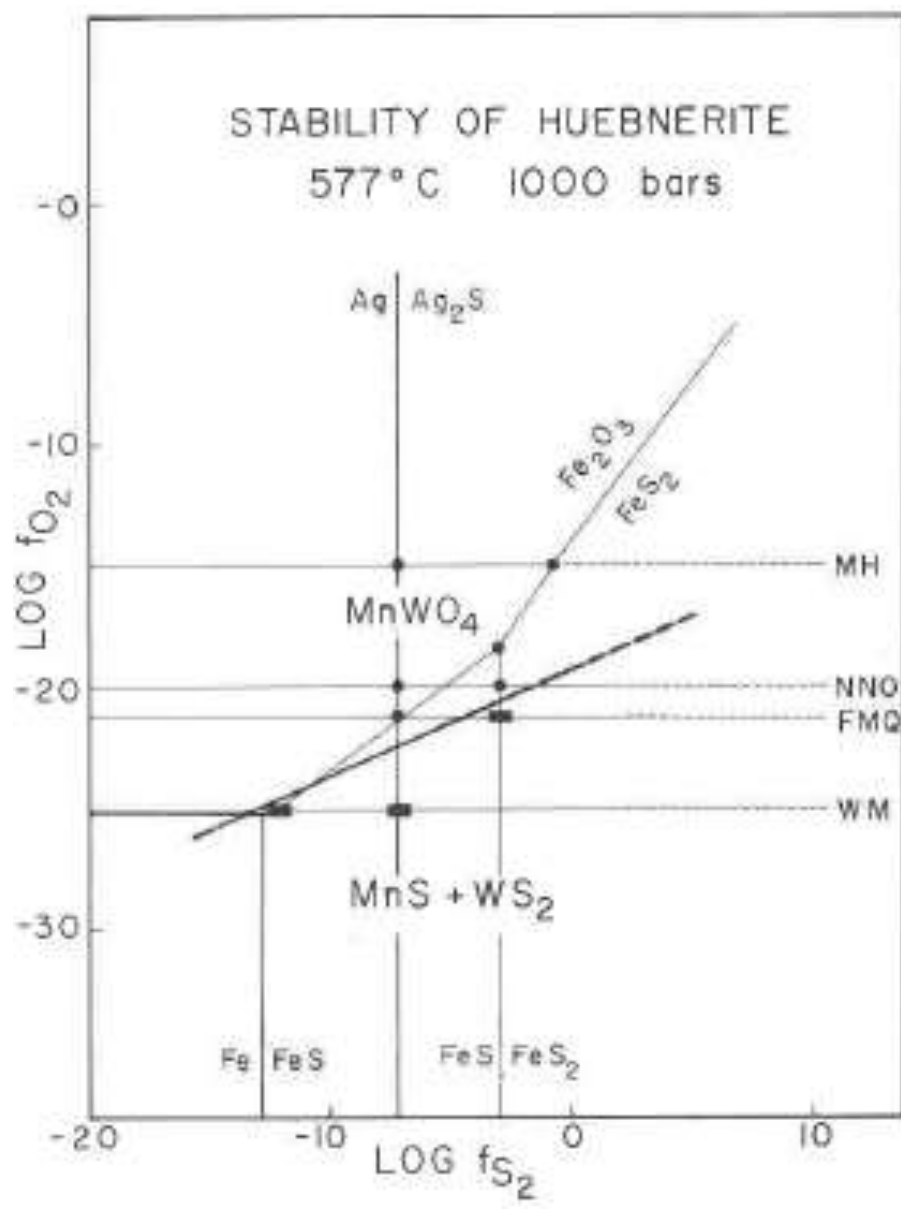
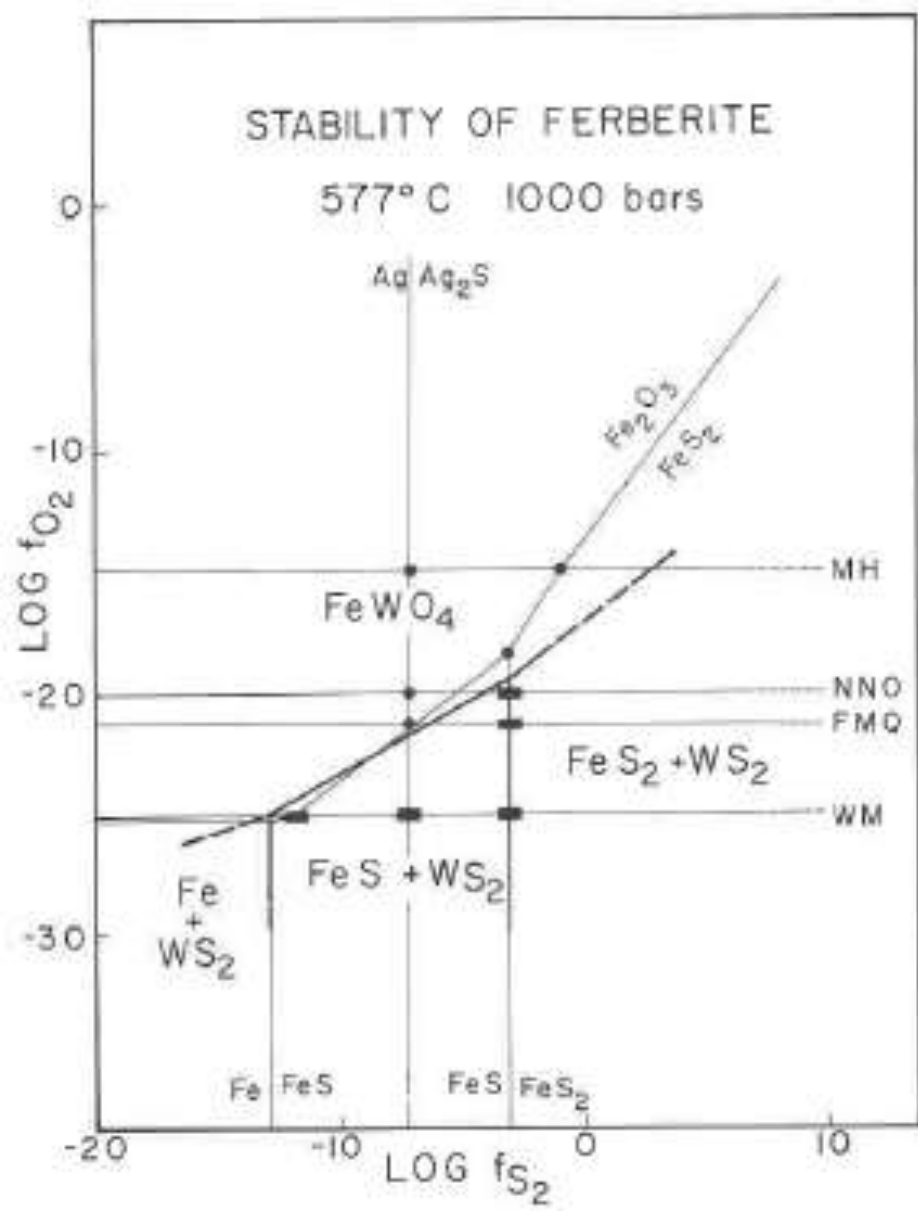










Э.М. Спиридонов

МИНЕРАЛЫ
ГРУППЫ ТУРМАЛИНА

МИНЕРАЛЫ

ГРУППЫ ТУРМАЛИНА

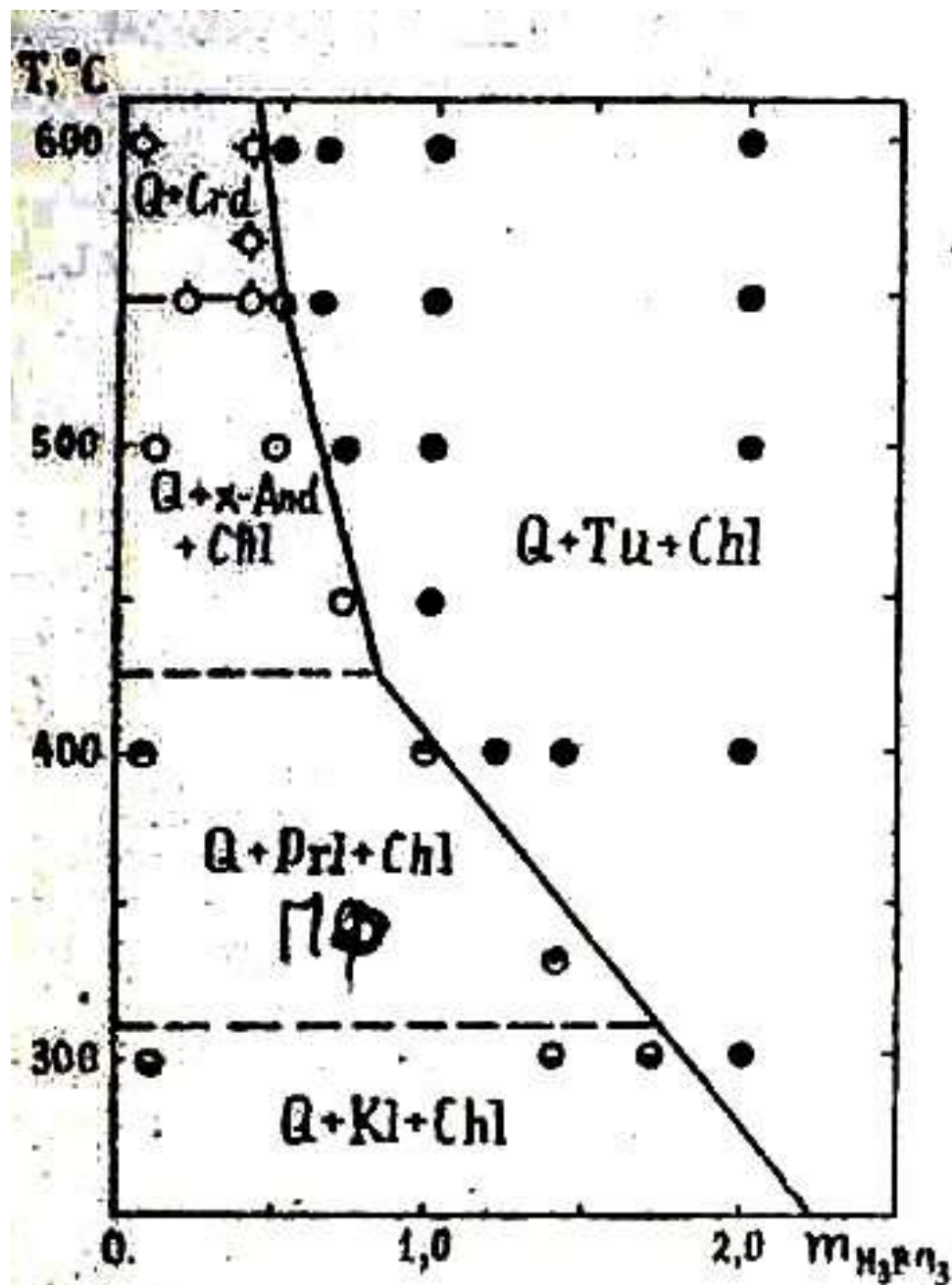
Минералы группы турмалина – великолепные генетические индикаторы того или иного типа рудной минерализации. Ещё в 1703 г. были установлены пирозлектрические свойства кристаллов турмалина.

Кристаллы турмалина отчётливо гемиморфны, т.е. имеют полярную ось. Кристаллы турмалина как правило ориентированы вверх отрицательным концом оси L_3 , т.е. аналогичным полюсом. Это тот конец кристалла, который при нагреве приобретает положительный электрический заряд, антилогичный конец приобретает отрицательный заряд. При охлаждении электрические заряды на полюсах меняются.

Разнообразного состава монокристаллы турмалина – превосходные пьезоэлектрики.

Прозрачные турмалины – самоцветы 1 класса.

Параметры образования турмалина



При высоких температурах для образования турмалина достаточно малой концентрации борной кислоты.

Поэтому турмалин широко распространён в высокотемпературных образованиях с кислотным характером флюидов – гранитных пегматитах, грейзенах, кварц-турмалиновых метасоматитах, калиевых пропилитах и иных.

Напротив, при умеренных и пониженных температурах для того, чтобы возник турмалин, необходимы весьма значительные концентрации борной кислоты. Поэтому сингенетичного турмалина нет в месторождениях золота.

Tourmaline Compositions

Species	(X)	(Y ₃)	(Z ₆)	T ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	[O(3)] ₃	O(1)
Alkali Tourmalines							
Elbaite	Na	[Li _{1.5} Al _{1.5}]	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Schorl	Na	Fe ₃ ²⁺	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Dravite	Na	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Olenite	Na	Al ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(O) ₃	(OH)
Buergerite	Na	Fe ₃ ³⁺	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(O) ₃	(F)
Chromdravite	Na	Mg ₃	Cr ₆ ³⁺	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Povondraite	Na	Fe ₃ ³⁺	[Fe ₄ ³⁺ Mg ₂]	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(O)
Vanadiumdravite	Na	Mg ₃	V ₆ ³⁺	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Calcic Tourmalines							
Liddicoatite	Ca	[Li ₂ Al]	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Uvite	Ca	Mg ₃	[Al ₅ Mg]	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F
Feruvite	Ca	Fe ₃ ²⁺	[Al ₅ Mg]	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
X-site Vacant Tourmalines							
Rossmannite		[Li Al ₂]	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Foitite		[Fe ₂ ²⁺ Al]	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)
Magnesiofoitite		[Mg ₂ Al]	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	(OH)

Турмалин – кристаллическая структура

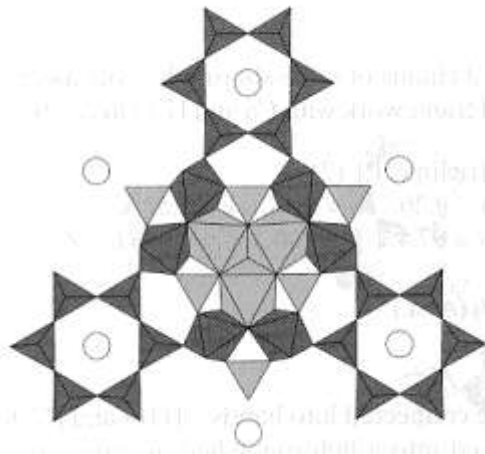
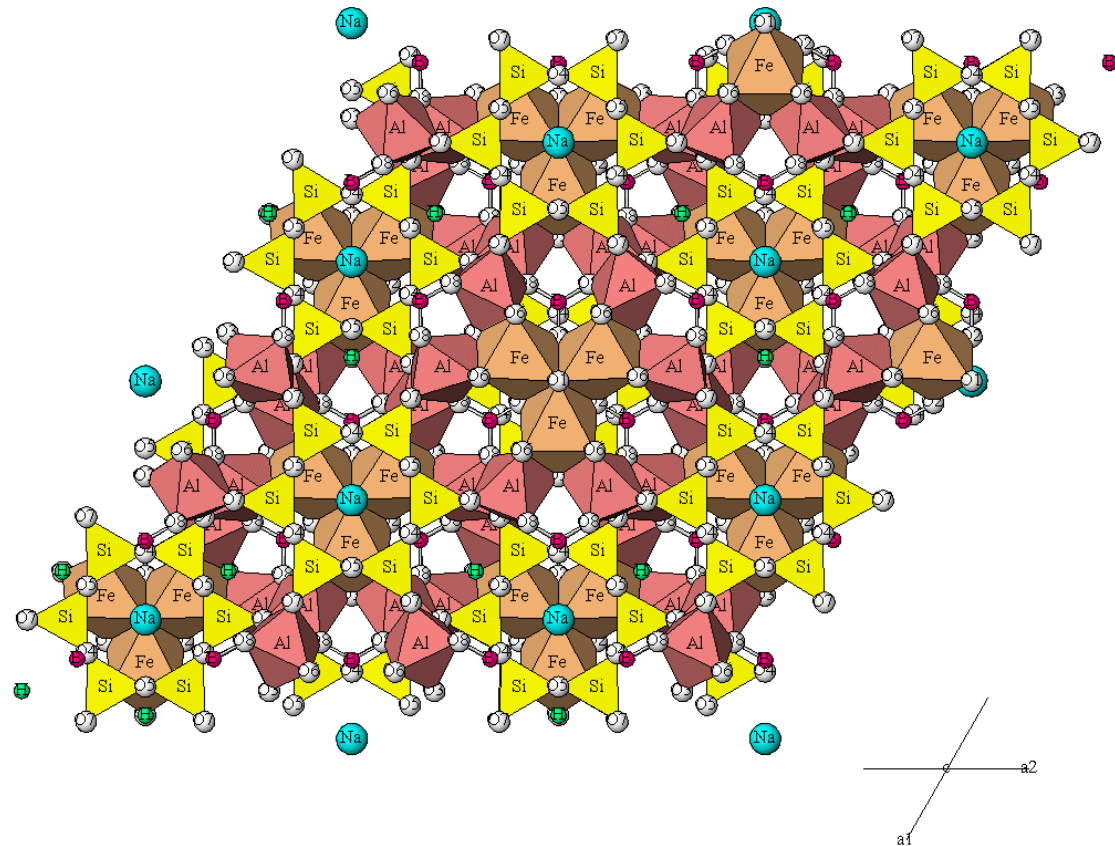
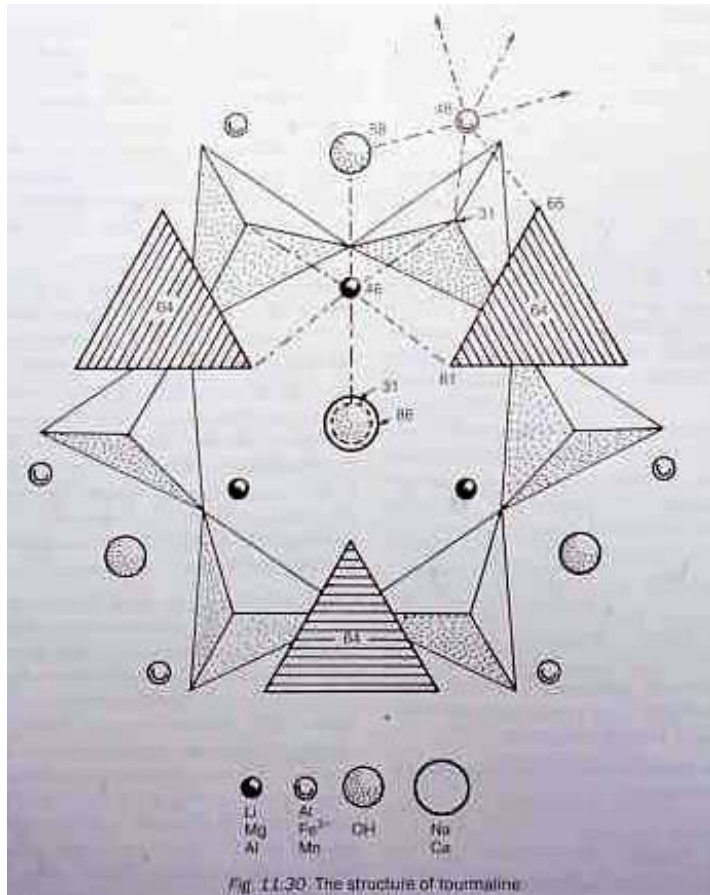


Fig 9.CK.05. Structure of tourmaline projected on (0001); dark tetrahedra = SiO_4 ; light triangles = BO_3 ; light octahedra = YO_6 ; dark octahedra = ZO_6 ; circles = X atoms.

А.Е. Ферсман по дороге на гранитные пегматиты Борщовочного кряжа, Восточное Забайкалье



ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Минералы группы турмалина

Турмалины керамических, мусковитовых и редкоземельных пегматитов выделяются повышенными содержаниями магния 3-10 масс. % MgO , кальция 0.5 – 1.5 масс. % CaO , титана 0.3-1.6 % TiO_2 , низкими содержаниями марганца и лития – до 0.1 масс. % MnO и Li_2O , обычно низко фтористые. Во многих турмалинах трёхвалентное железо преобладает над двухвалентным. Турмалины представлены железистым дравитом (до дравита) и магнезиальным шерлом (25-50 % минала дравита, 40-60 % минала шерла) (до шерла), дравитом – бюргеритом, шерлом – бюргеритом, магнезиофойтитом. Цвет большинства образцов чёрный (поэтому, как правило, используют название – шерл), бурый с коричневым и зелёным оттенком, изредка сине-голубой (у некоторых дравитов).

Данные турмалины бедны Ga, Sn, Ta.

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин – Mg-шерл



100 мм



100 мм



И-ШЕРЛ в кварце
r-schorl in quartz
 $(\text{O}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$
сверный голец 1988



2322 3620
Шерл
отг. кристаллы.
рудн. Чуя, тс. Миллионный
Мамское и-е сдвг
вост. Сибирь

Чуя, Мама, СВ Прибайкалье

ГЛУБИННЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин – Мг-шерл

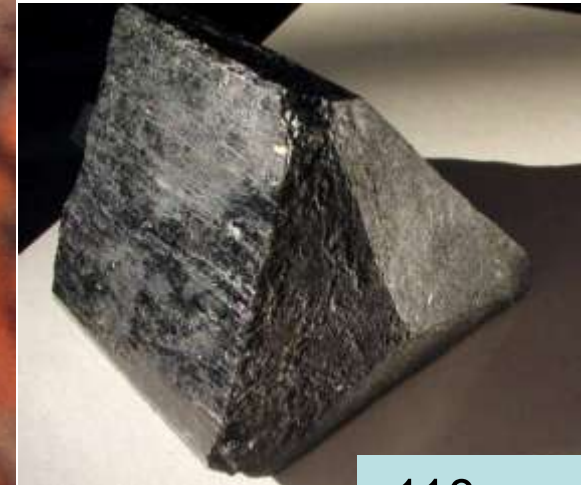


Риколатва, Кольский п-ов



160x50 мм

Бразилия



110 мм

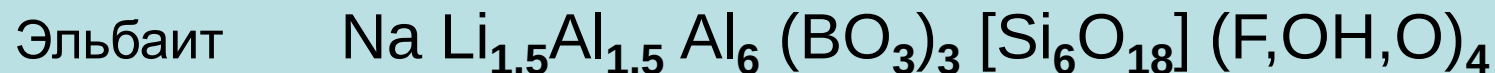
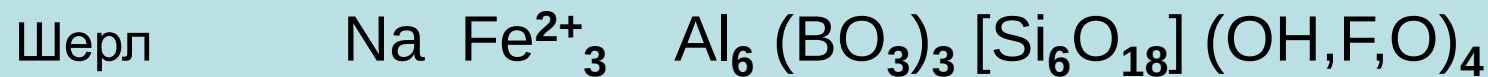
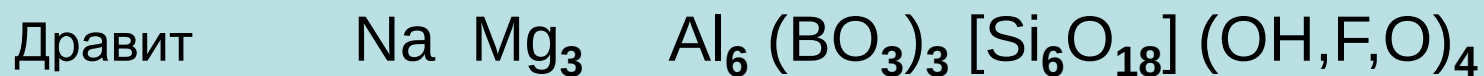
Шерл и мусковит.
Divino das Larajeiras,
Минас Жераис

РЕДКОМЕТАЛЬНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.



$W = Na, K, Ca, \square$; $X = Mg, Fe, Mn, Al, Li, Zn..$; $Y = Al, Fe, Cr, Ti...$

Турмалины – характерные минералы редкометальных гранитных пегматитов. Наиболее ранний из них – шерл, сопутствует мусковиту, альмандину, бериллу ранней генерации. Наиболее поздний из них эльбаит от розового до практически бесцветного – белого (ахроит) – сопровождает редкометальную минерализацию - лепидолит, поллуцит, минералы Та...



Шерлы редкометальных пегматитов содержат 0.1-0.4 % Li_2O и 0.3-1.4 % MnO . Эльбаиты и близкого состава розовые и бесцветные турмалины – типоморфные образования редкометальных пегматитов. Они содержат 200-700 г/т галлия, 300-400 г/т цезия, 70-200 г/т рубидия, 10-40 г/т олова.

РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин-шерл

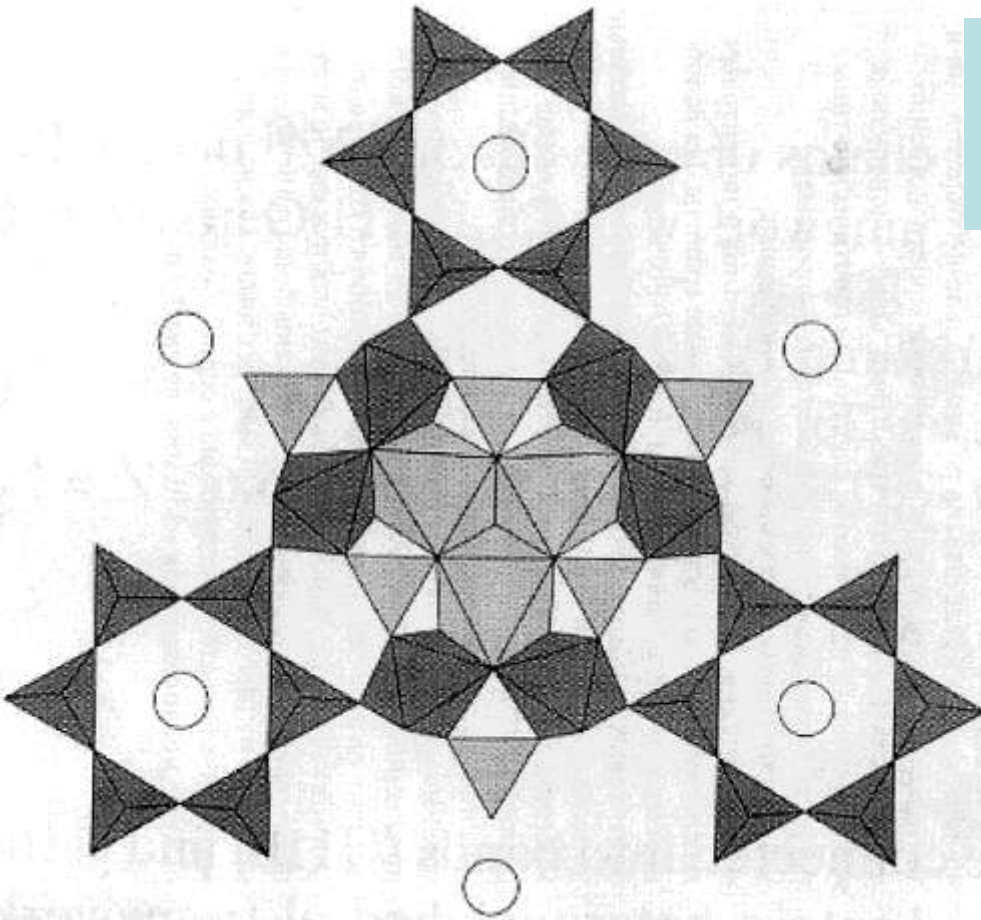
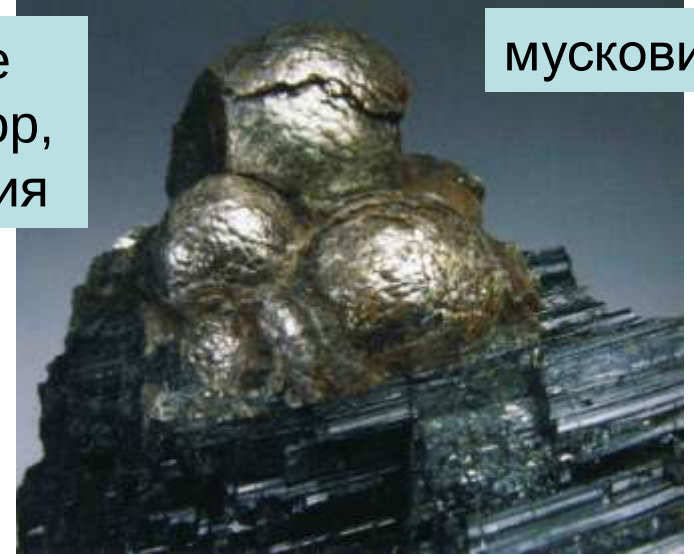


Fig 9.CK.05. Structure of tourmaline projected on (0001); dark tetrahedra = SiO_4 ; light triangles = BO_3 ; light octahedra = YO_6 ; dark octahedra = ZO_6 ; circles = X atoms.

Кleine
Spiezkop,
Намибия



МУСКОВИТ



Присыпки
шерла
на
амазоните.
Минас
Жераис,
Бразилия

РЕДКОМЕТАЛЬНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин – эльбаит



Эльбаит и верделит. Бразилия



Фото ННЖ и ЭМС

РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин – эльбаит. Вороньи тундры, Кольский п-ов



ТУРМАЛИН
TOURMALINE
Колтангиро-Воронья, с. Лесная
Кольского-Умбоза

Фото Н.Н. Жукова и Э.М. Спиридонова

РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин – эльбаит



С лепидолитом и альбитом.
Pala, Калифорния



59x47 мм



73x
32
мм

Зональный.
Вост. Саян

Колл.
Н.А. Зиненко
Фото ЭМС

Эльбаит –
ахроит
с кварцем.
Восточный
Саян



60 мм

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин $W X_3 Y_6 (BO_3)_3 [Si_6O_{18}] (OH, F, O)_4$

$W = Na, K, Ca, \square$; $X = Mg, Fe, Mn, Al, Li, Zn..$; $Y = Al, Fe, Cr, Ti...$

Эволюция состава турмалина в пегматитах чистой пинии

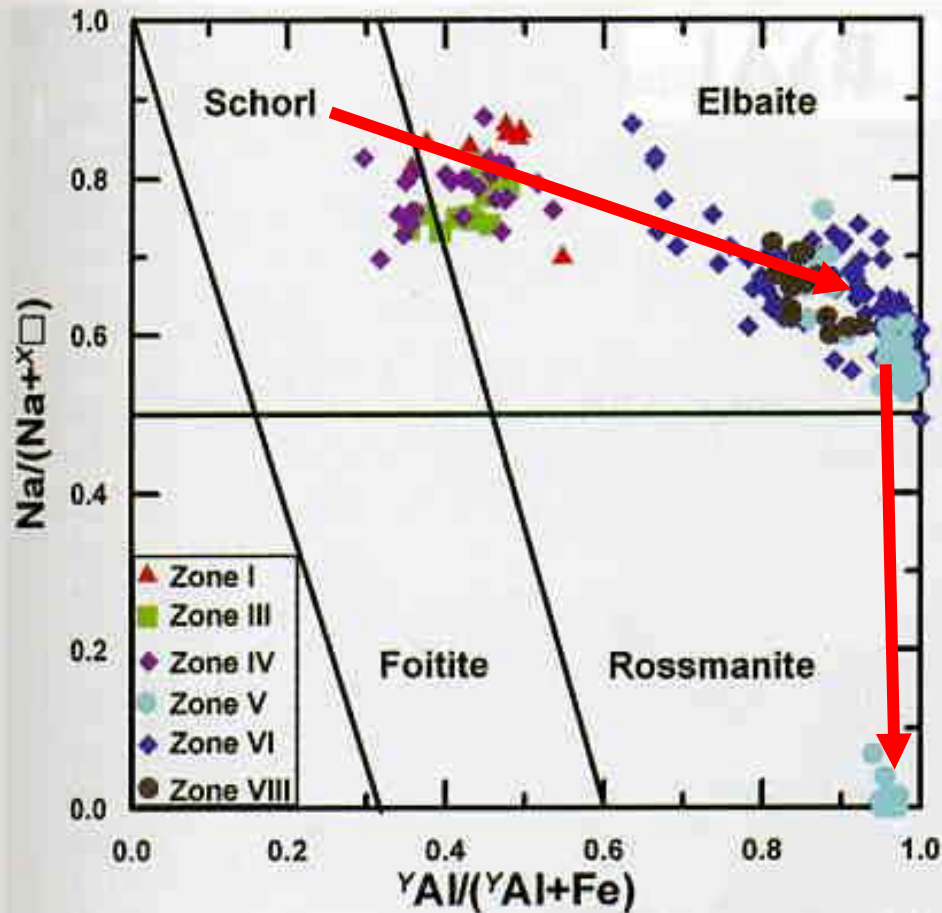


FIG. 9. Classification of tourmaline in the internal zones of the Koktokay No. 3 pegmatite.

Шерл → марганцовистый
шерл-эльбаит = тсилаизит
→ эльбаит → россманиит.

Коктокай, ЮВ Алтай,
Синьцзянь, Китай

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин $W X_3 Y_6 (BO_3)_3 [Si_6O_{18}] (OH, F, O)_4$

$W = Na, K, Ca, \square$; $X = Mg, Fe, Mn, Al, Li, Zn..$; $Y = Al, Fe, Cr, Ti...$

Турмалины – характерные минералы гранитных пегматитов. Стандартная последовательность формирования турмалинов в гранитных пегматитах “чистой линии” : шерл → тсилаизит → эльбаит → россманиит; при этом в составе турмалина снижаются содержания Fe, Ti, Mg, а затем и Mn, растут – Li, Al. В конце в условиях возросшей кислотности появляется катион-дефицитный россманиит.

Шерл $Na Fe^{2+}_3 Al_6 (BO_3)_3 [Si_6O_{18}] (OH, F)_4$

Тсилаизит $Na (Mn^{2+}_{1.5} Al_{1.5}) Al_6 (BO_3)_3 [Si_6O_{18}] (OH, F)_4$

Эльбаит $Na Li_{1.5} Al_{1.5} Al_6 (BO_3)_3 [Si_6O_{18}] (F, OH)_4$

Россманиит $\square Li Al_2 Al_6 (BO_3)_3 [Si_6O_{18}] (F, OH)_4$

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Турмалин - шерл



Субграфические срастания
с кварцем и кпш. Липовка



Минас Жераис, Бразилия



80x40
мм

Присыпки на
микроклине



Присыпки на амазоните. Ильмены

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Турмалин - шерл

110 мм



В кварце. Мадагаскар

45
мм



С морионом.
Казенница,
Алабашка, Урал

Во флюорите



Шерл 47 мм и
микроклин.
Гилгут, Афганистан



КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Турмалин - шерл с альбитом и кварцем

Мурзинка. Средний Урал



Shigar Tal, Scardu,
Пакистан

На бесцветном
топазе.
Mimoso do Sul,
Espirito Santo,
Бразилия



70x70 мм

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Берилл - аквамарин с шерлом. Skardu, Пакистан



С кварцем и альбитом. 105 мм.
Haramosh Mountain

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Турмалин - шерл



В топазе. Мурзинка



На

аквамарине. Адун-Чолон,
Забайкалье



В аквамарине. Намибия



Шерл и берилл

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ



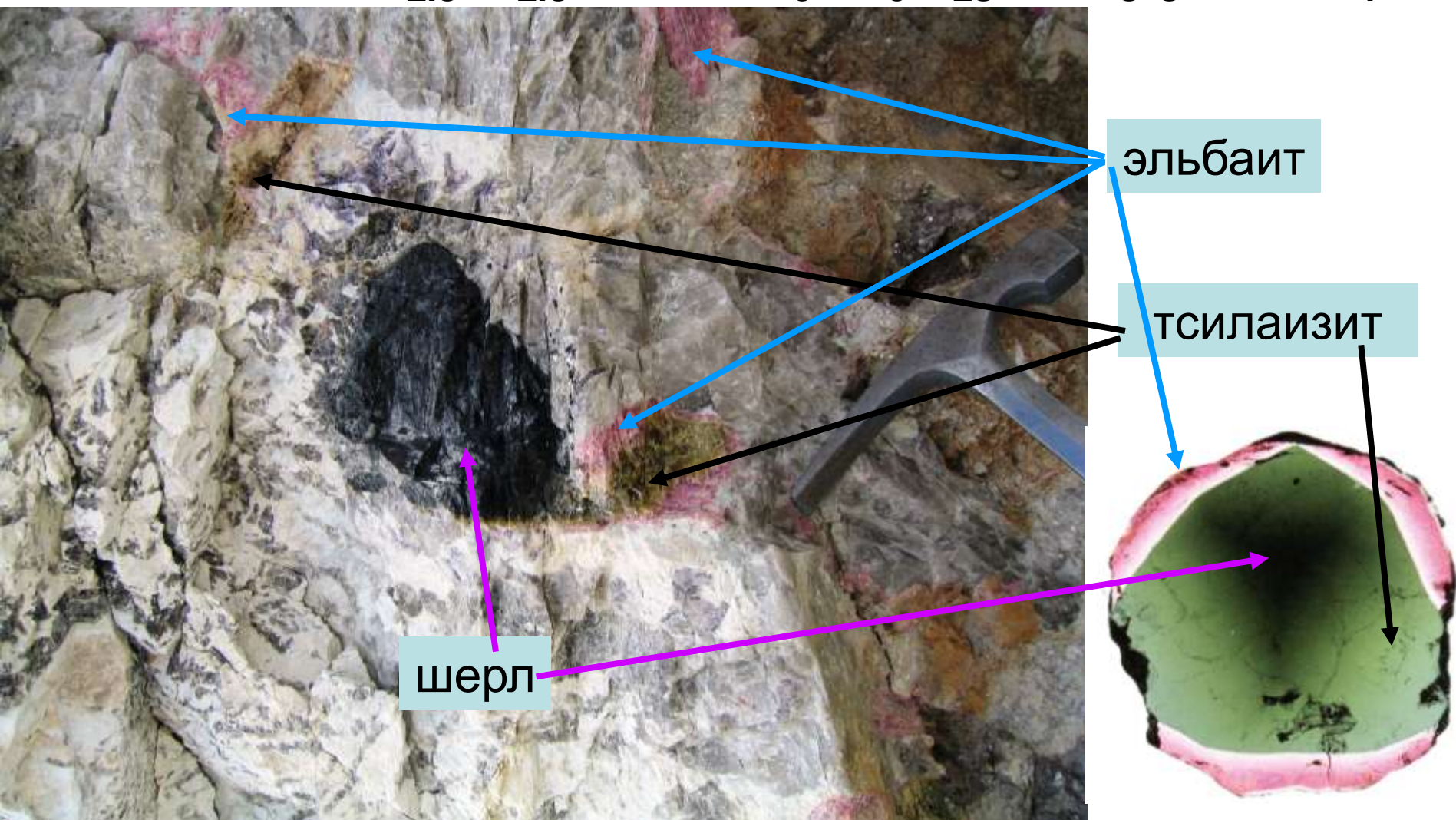
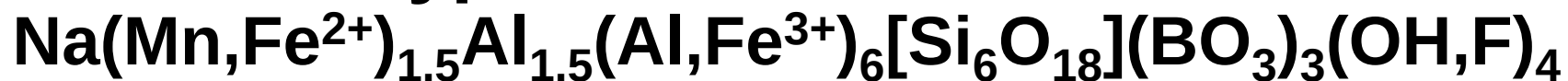
Карьер для
добычи
самоцветных
турмапинов

Фото
М.С.
Алфёровой

Малханский хребет, Восточное Забайкалье

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

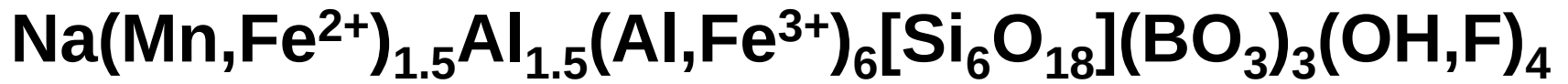
Турмалин - тсилаизит



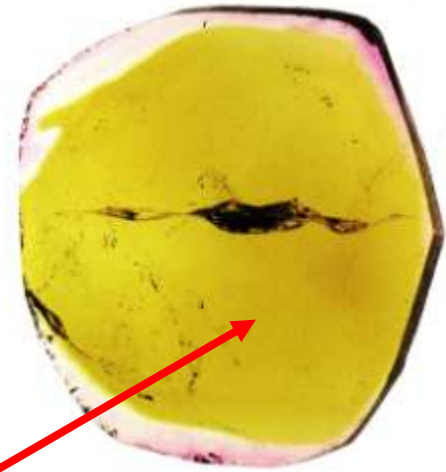
Малханский хребет, Восточное Забайкалье

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Турмалин - тсилаизит



На тсилаизит-верделлит
нарос эльбаит.
Минас Жераис



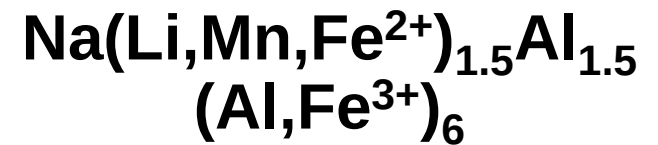
25 мм



Тсилаизит и
горный
хрусталь

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Турмалин - эльбаит



В зоне лепидолита.

Малхан, Восточное Забайкалье

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Турмалин - эльбаит на шерле



Stak-Hala,
Kharamosh,
Scardu,
Пакистан



Эльба



КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Турмалин - эльбаит



Эльбаит-
верделит
до
ахроита



Минас-Жераис,
Бразилия

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин – эльбаит



С альбитом-
клевеландитом
И кварцем



С горным
хрусталем

КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин – эльбаит. Остров Эльба, Италия

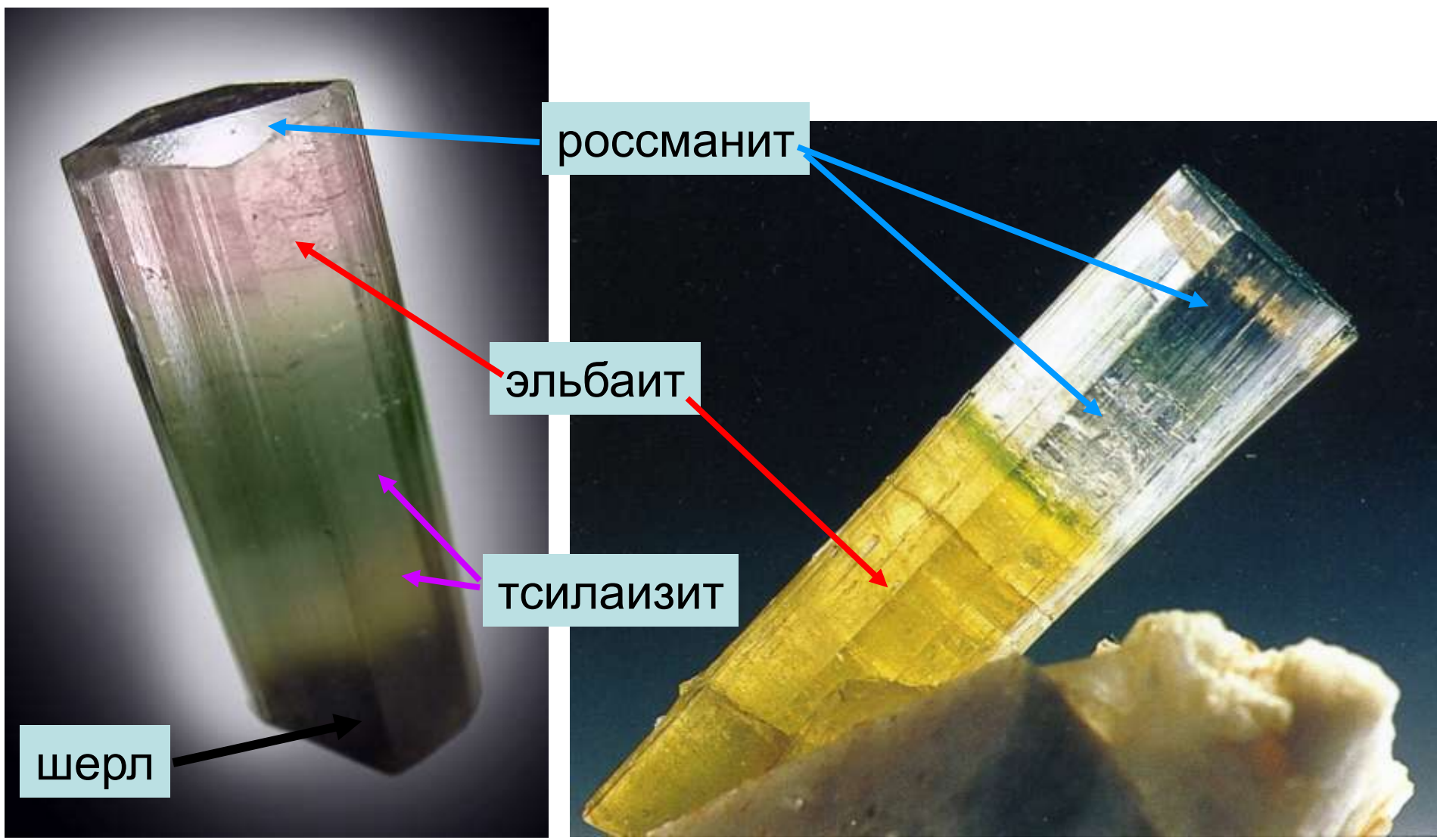


До ахроита.
С кварцем,
альбитом,
микроклином



КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ

Турмалин - россманиит



КРИСТАЛЛОНОСНЫЕ ГРАНИТНЫЕ ПЕГМАТИТЫ.

Турмалин – лиддикоатит



В том случае, когда поздние кислотные флюиды воздействуют на ранние Са-содержащие минералы – олигоклаз, апатит..., вместо эльбаита или россманита может кристаллизоваться их кальциевый аналог – лиддикоатит.



Розовый
лиддикоатит
до
ахроита

Голубой эльбаит – лиддикоатит.
Rubellit mine, Pabruk, Афганистан

В ходе кристаллизации гранит-пегматитового расплава увеличивалось флюидное давление, которое в ряде случаев возрастало до величин, превышающих литостатическое давление и прочность вмещающих пород. При этом пегматитовый “автоклав” мог приоткрыться и флюиды мигрировали в около пегматитовое пространство. Существенно – это пространство родственные граниты или геохимически чужая среда. Обычно переход к пневмато-гидротермальному этапу фиксирован α - β инверсией кварца (Ферсман, 1940) с большим объёмным эффектом.

Для глубинных пегматитов это характерно на стадии развития метасоматического “кварц-мусковитового комплекса”; около мусковитовых пегматитов возникали ореолы привноса Ba.

Для средне- и малоглубинных пегматитов это характерно на стадии развития “клевеландитового комплекса” и/или “альбит-лепидолитового комплекса”; около редкометальных пегматитов возникали ореолы привноса F, Li, Rb, Cs, развивались холмквистит, Cs-биотит-флогопит...

Особо интересны инверсионные образования миароловых мало глубинных и средне глубинных пегматитов.

Остаточные флюиды, выброшенные из пегматита во вмещающую среду, активно с ней реагировали.

При этом флюиды разбавлялись, их кислотность снижалась, появлялась возможность роста минералов с Fe^{3+} (чайного цвета топазы...) и с Mn^{3+} (интенсивно окрашенные турмалин - рубеллит, гранат – спессартин, сподумен - кунцит...).

Часть вещества, заимствованного из пород рамы, мигрировало в пегматитовые полости. В результате в пегматитах в одних регионах появились богатые Cu и Au (!) турмалины; в других регионах - Cr-содержащие зелёный сподумен (гидденит), розовый топаз и берилл - изумруд;

в третьих - полихромные эльбаиты – лиддикоеатиты - фойтиты с оторочками шерла – увита – бюргерита – дравита с Ti и Fe^{3+} и Mn^{3+} ;

в четвёртых регионах появились полихромные бериллы, где на розовый Li-Cs берилл – пезоттаит = воробьевит (морганит) вырос голубой Fe-Mg-Na берилл...

Один из наиболее ярких минералов – индикаторов инверсии в развитии гранитных пегматитов – турмалины. Инверсионные турмалины, обычно густо окрашенные, выросли на бледно окрашенные турмалины “чистой линии”- эльбаит...

Эльбаит - рубеллит на ахроите

Korgal,
Longman,
Афганистан

Aracuai,
Минас
Жераис

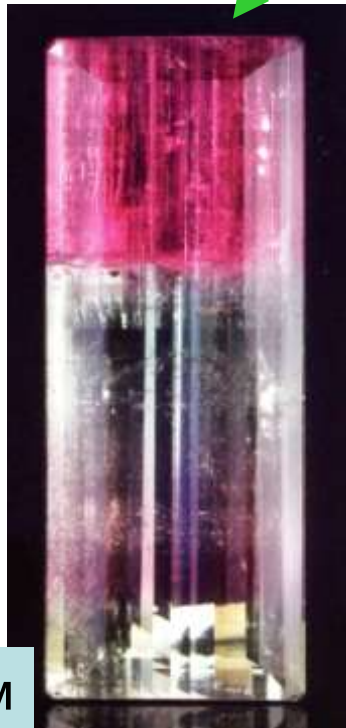


**Магнезиофойтит
на эльбаите.
Sant Piero in Campo**



60
мм

38x15 мм



50
X
14
мм

**Редернейра mine,
Минас Жераис**

Инверсионные турмалины

Турмалины - рубеллит, верделлит, индиголит. Стандартная последовательность формирования турмалинов в гранитных пегматитах “чистой линии” : шерл → тсилаизит → эльбаит → россманиит, $\text{Na Fe}^{2+}_3 \text{ Al}_6 (\text{BO}_3)_3 [\text{Si}_6\text{O}_{18}] (\text{OH}, \text{F})_4 \rightarrow$
 $\text{Na (Mn}^{2+}_{1.5}\text{Al}_{1.5}) \text{ Al}_6 (\text{BO}_3)_3 [\text{Si}_6\text{O}_{18}] (\text{OH}, \text{F})_4 \rightarrow$
 $\text{Na (Li}_{1.5}\text{Al}_{1.5}) \text{ Al}_6 (\text{BO}_3)_3 [\text{Si}_6\text{O}_{18}] (\text{F}, \text{OH})_4 \rightarrow$
 $\square (\text{LiAl}_2) \text{ Al}_6 (\text{BO}_3)_3 [\text{Si}_6\text{O}_{18}] (\text{F}, \text{OH})_4.$

Самоцветные турмалины с интенсивными окрасками, которые обусловлены наличием ионов Mn^{3+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} , V^{3+} , Cu^{2+} ..., представляют образования инверсионного периода и характерны для гранитных пегматитов, залегающих вне материнских плутонов. Для них характерно развитие совместно с эльбаитом и вместо него лиддикоеатита $\text{Ca (Li}_2\text{Al) Al}_6 (\text{BO}_3)_3 [\text{Si}_6\text{O}_{18}] (\text{F}, \text{OH})(\text{OH})_3$. Таковы замечательные турмалины в миароловых пегматитах Урала, Забайкалья, Памира, Бразилии, Нигерии, Калифорнии, Мадагаскара. Одни из знаменитых - месторождения

Инверсионные турмалины

Среднего Урала - Шайтанское, Сарапулское, Липовское, содержащие прозрачные кристаллы эльбаита - рубеллита длиной до 14 см густого малинового цвета, которые в России именовали сибиритом или малиновым шерлом. В этих же месторождениях широко развит и полихромный турмалин (чёрные кристаллы с малиновым концом, малиновые кристаллы с синим концом...) (Ферсман, 1925, 1940, 1954, 1961; Драгоценные..., 1941; Киевленко и др., 1974; Юшкин и др., 1986; Попова и др., 1999). Великолепные цветные и полихромные турмалины содержат миароловые гранитные пегматиты Забайкалья (Борщёвочный кряж, Малханское), Мадагаскара (Sanga-sanga, Anjanabonoina), Калифорнии (Pala), Нигерии, Памира, Афганистана (Korgal) и Пакистана, в т.ч. интенсивно окрашенный рубеллит = эльбаит с $n\%$ MnO и Mn_2O_3 , рубеллит = лиддикоатит, верделлит эльбаит-лиддикоатитового состава, шерл-эльбаит и шерл-увит (Загорский и др., 1999; Киевленко и др. 1974; Gübelin &

Инверсионные турмалины

Koivula, 1986; Höchleiter et al., 1996; Keller et al. 1989; Medenbach & Wilk, 1977; Simmons et al., 2001; Taylor, 1999). Пожалуй самые выдающиеся по качеству, размеру ювелирных кристаллов (до 1,5 м !) и размеру миарол - занорышей (до 5 м), выстланных кристаллами рубеллита, - гранитные пегматиты Araquai, Governador Valadares..., Минас Жераис, Бразилия (Sauer, 1982 и др.). Здесь развиты турмалины всех цветов радуги, в том числе густо лиловые рубеллиты Conselheiro Pena. Высокого качества рубеллиты, верделлиты, индиголиты и полихромные турмалины распространены в миароловых пегматитах Центрального Забайкалья в Борщовочном и Малханском хребтах; длина прозрачных кристаллов до 12 см; своеобразная окраска верделлита = эльбаита-тсилаизита обусловлена примесью 0,1% V^{3+} и Pb^{2+} (Загорский и др., 1992). Полихромные, розовые, оранжевые и желтовато-зелёные V^{3+} -содержащие турмалины известны в пегматитах Lundazi, Замбия (Johnson et al., 1997).

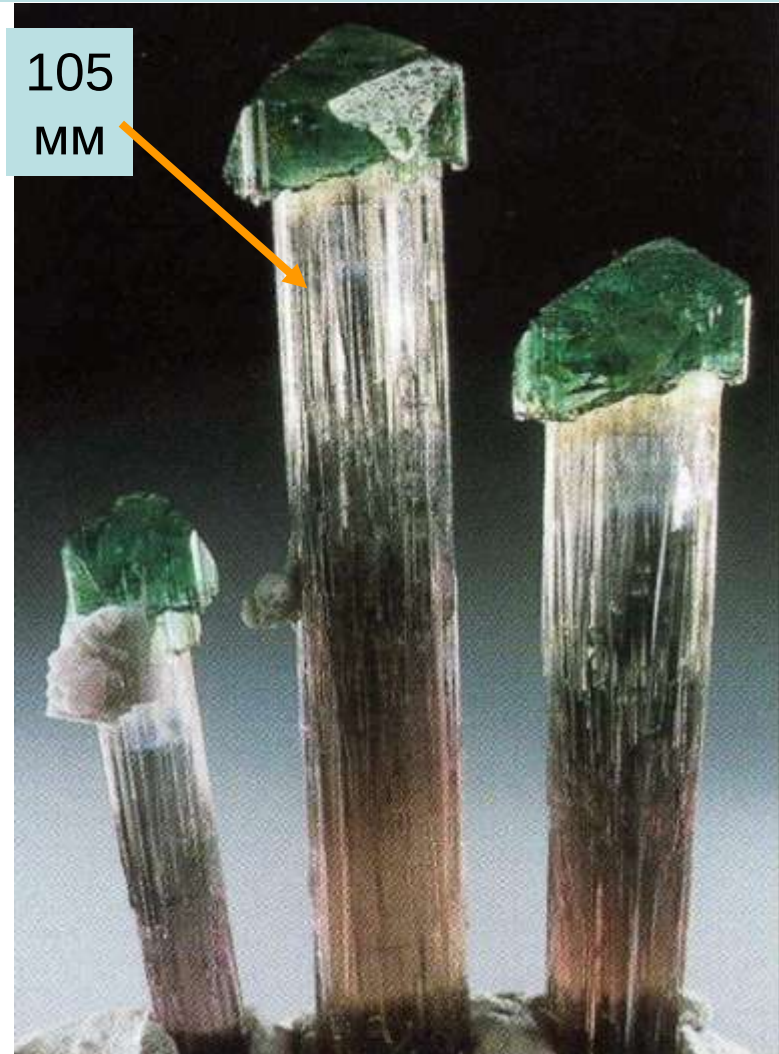
Инверсионный турмалин - эльбаит

Скипетры эльбаита - верделлита на обычном эльбаите



103
MM

**Pederneira, Минас
Жераис, Бразилия**



105
MM

**Barra de Salinas,
Минас Жераис, Бразилия**

Инверсионный турмалин - эльбаит

Скипетры эльбаита - верделлита на обычном эльбаите

Кристаллы до 50 мм.
Santa Rosa mine,
Минас Жераис, Бразилия

До 51 мм. Barra de Salinas,
Минас Жераис, Бразилия



40x19 мм.
Barra de
Salinas,
Минас
Жераис,
Бразилия

Инверсионный турмалин – эльбаит - рубеллит с Fe^{3+} - Mn^{3+} нарос на ранний стандартный эльбаит



50x14 мм.
Pederneira mine,
Minas Gerais



Tourmaline
Queen mine,
San Diego
County,
Калифорния

Инверсионный турмалин - эльбаит

Эльбаит - верделлит на эльбаите



Parrock, Кунар,
Нуристан, Афганистан



Darra-e-Pech,
Nargarhar,
Афганистан

Инверсионный турмалин – эльбаит-рубеллит с Fe^{3+} - Mn^{3+}



Himalaya mine,
Калифорния



Tourmaline
Queen mine,
San Diego
County,
Калифорния

Инверсионный турмалин – эльбаит-рубеллит с Fe^{3+} - Mn^{3+}



21 мм. Ibity,
Мадагаскар



20x10 мм.
Мокруша, Ср. Урал



65x30 мм

Малхан,
Восточное
Забайкалье



Инверсионный турмалин – эльбаит-рубеллит с Fe^{3+} - Mn^{3+}



С альбитом-клевеландитом.
Jonas mine, Минас Жераис,
Бразилия



380 мм

С лепидолитом.
Conselheiro Pena, Минас Жераис

Инверсионный турмалин – эльбаит-рубеллит с Fe^{3+} - Mn^{3+}



60x50 мм

С горным
хрусталём

Lavra
do Jonas,
Conselheiro
Pena,
Минас
Жераис

130x90 мм. Lavra do Jonas,
Conselheiro Pena, Минас Жераис

Инверсионный турмалин – эльбаит-рубеллит с Fe^{3+} - Mn^{3+}



70x60 мм



С альбитом,
кварцем,
лепидолитом.
Lavra do Jonas,
Conselheiro Pena,
Минас Жераис

Инверсионные турмалины – эльбаит с Fe^{3+} - Mn^{3+}



1070 мм

Гигантский занорыш с эльбаитом. Минас Жераис, Бразилия

Инверсионный турмалин – эльбаит-рубеллит с Fe^{3+} - Mn^{3+}

Агрегаты расщеплённых кристаллов



40
мм

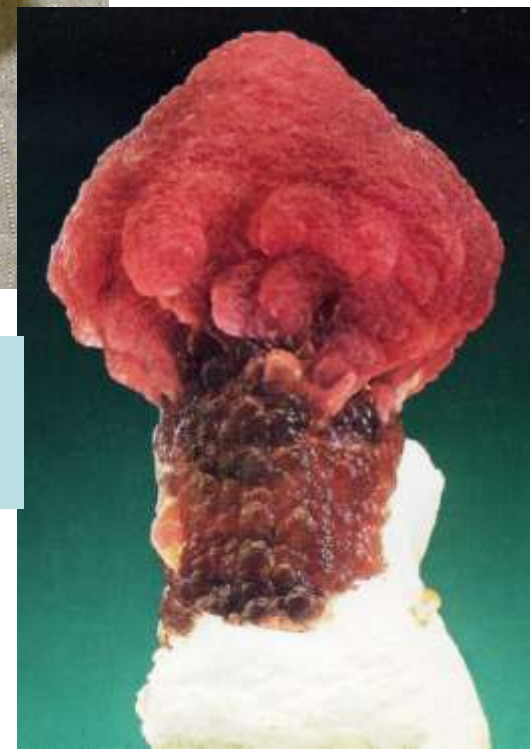
90x60 мм



Липовка,
Средний Урал

Шайтанка, Ср. Урал

78 мм. Maingnin,
Могок, Бирма



30 мм. Momeik,
Могок, Бирма



Инверсионный турмалин - эльбаит

Эльбаит-верделлит на эльбаите-рубеллите с лепидолитом



110 мм. Нигерия



Инверсионный турмалин - эльбаит

Эльбаит-верделлит на эльбаите-рубеллите в кварце с альбитом



750 мм.

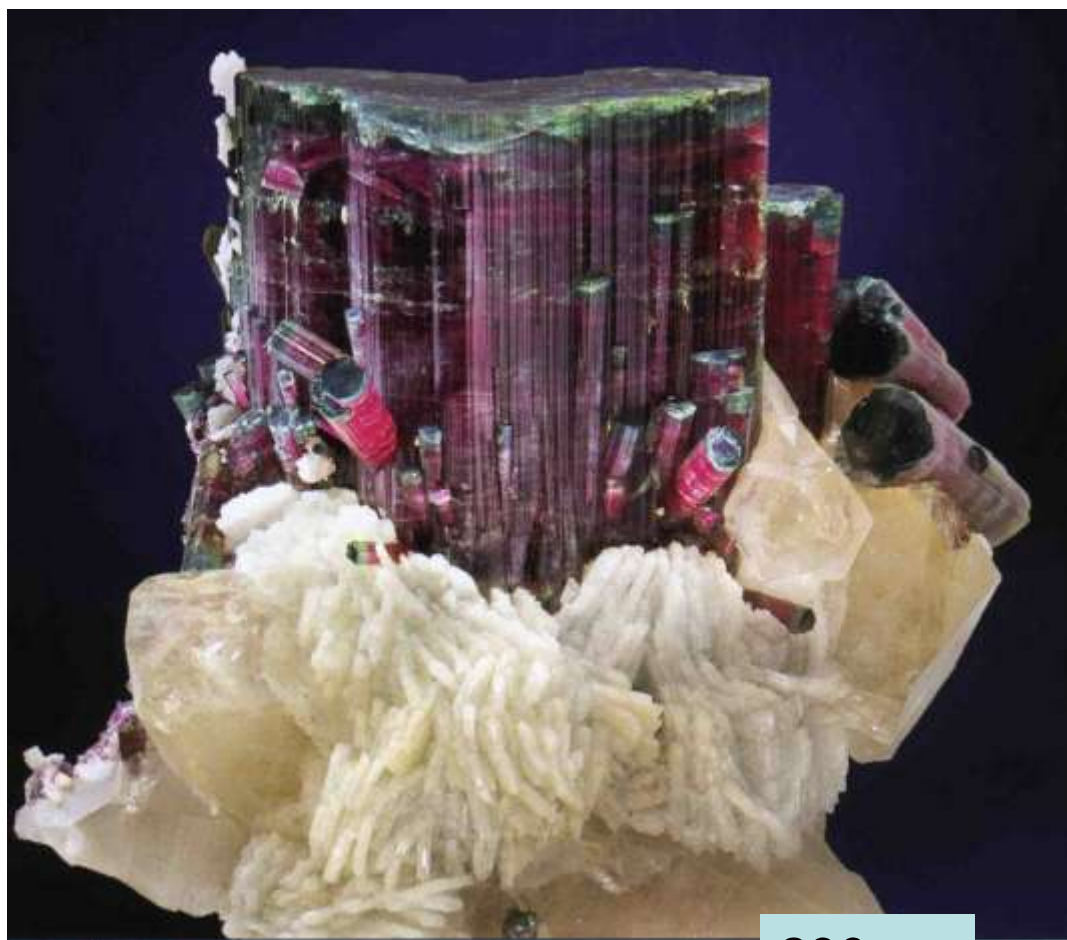
Мадагаскар

Инверсионный турмалин - эльбаит

Эльбаит-верделлит на эльбаите-рубеллите



154 мм



230 мм

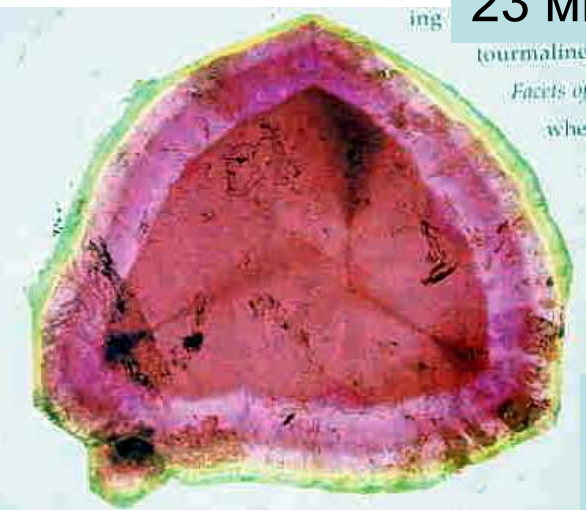
Pederneira Mine,
Минас Жераис, Бразилия

Инверсионный турмалин - эльбаит

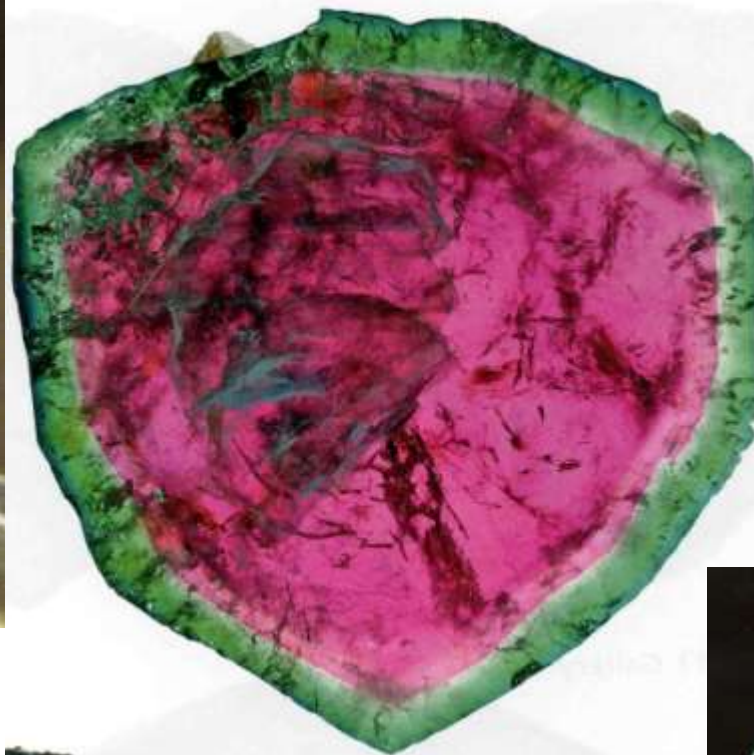
Эльбаит-верделлит на рубеллите – “арбузный” турмалин



23 мм



Main,
США



Эронго, Намибия



Малхан,
Забайкалье



65 мм.
Dunton Quarry,
Мэн, США

Инверсионный турмалин - эльбаит

Эльбаит-верделлит на рубеллите – “арбузный” турмалин



125x75 мм.
Lavra da
Santa Rosa,
Franciscopolis,
Минас Жераис

25
мм

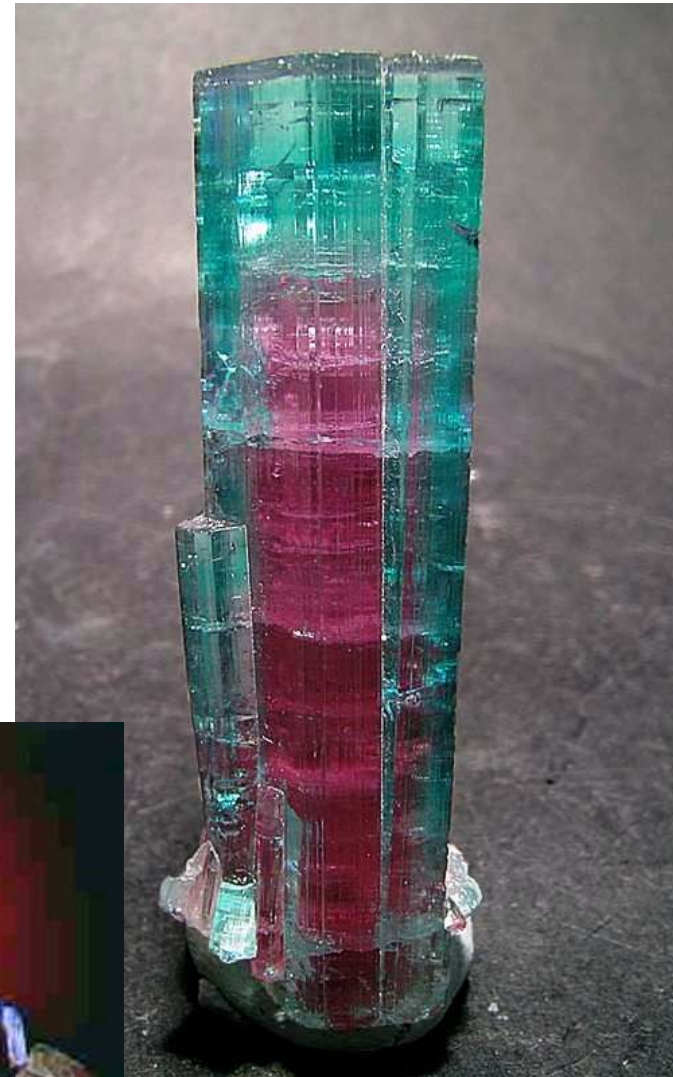


40 мм



Инверсионный турмалин - эльбаит

Эльбаит-индиголит на эльбаите-рубеллите



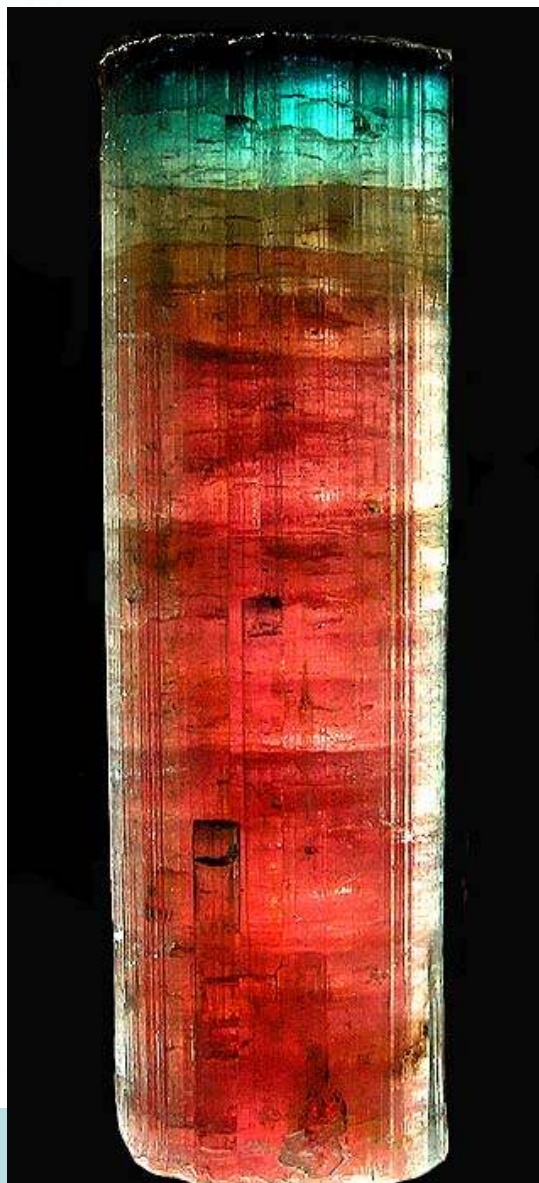
Калифорния

Инверсионный турмалин - эльбаит

Сложно зональный



Хьюстон, США



Tourmaline Queen Mine,
Калифорния

Инверсионный турмалин – эльбаит

сложно зональный



200
мм

Parons Konarha,
Афганистан



90 мм

Karibib,
центр.
Африка



120 мм.
Coronel
Murta,
Бразилия



100 мм.
San Diego County,
Калифорния

Инверсионный турмалин - эльбаит

Сложно зональный

90 мм

Pederneira Mine, Минас Жераис

250
мм

Araquaya,
Минас Жераис

94x30 мм.
Virgem
da Lapa,
Минас
Жераис

Инверсионный турмалин - эльбаит

Сложно
зональный



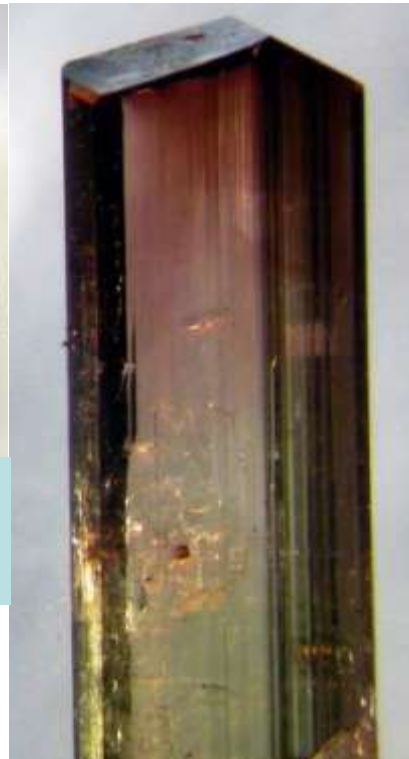
Ві-содержащий. 230x140 мм.
Афганистан



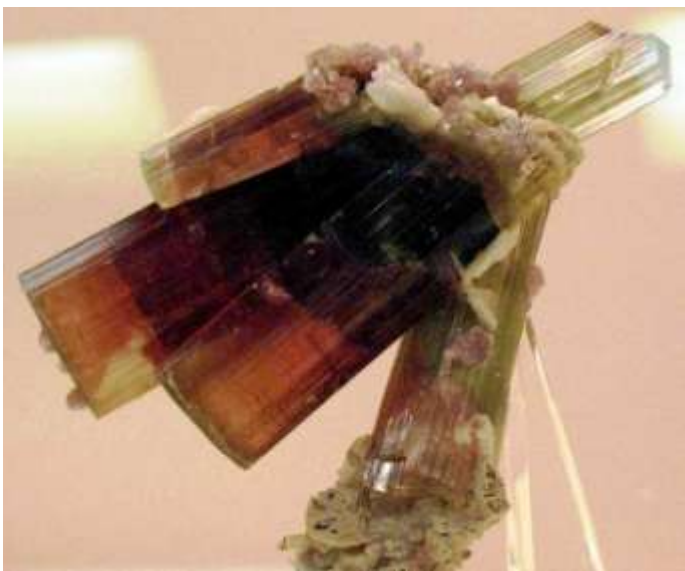
96 мм. Santa Rosa mine,
Минас Жераис, Бразилия

Инверсионный турмалин - эльбаит

Сложно
зональный



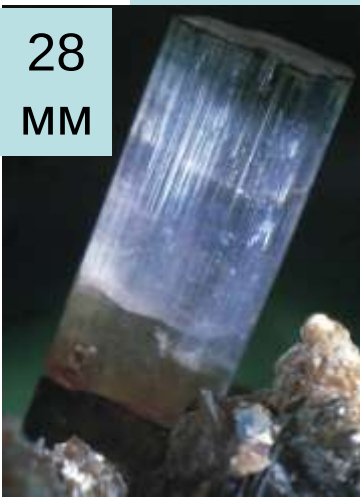
С апатитом. Мика, Ранкульское
пегматитовое поле



Himalaya Mine, Сан-Диего,
Калифорния

Липовка, Ср. Урал

28
мм



Oggi,
остров
Эльба,
Италия

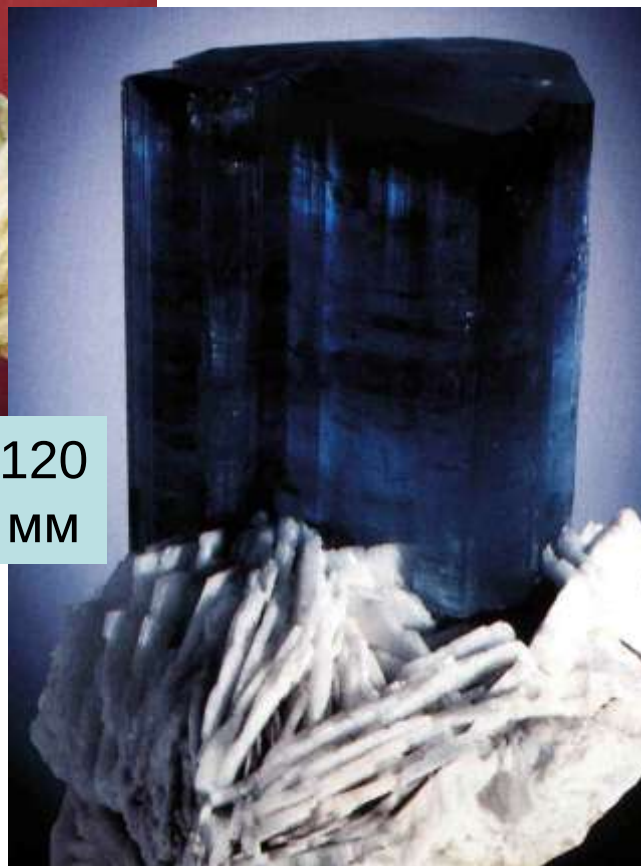


Santa Rosa mine,
Минас Жераис,
Бразилия

Инверсионный турмалин – эльбаит - индиголит



120
MM



246
MM



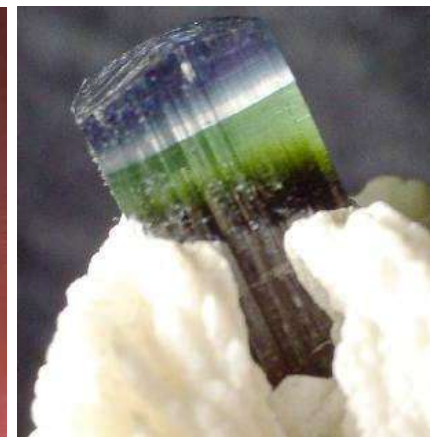
На альбите – клевеландите.
Реш, Кунар, Афганистан

Инверсионный турмалин – эльбаит – индиголит - верделит

92 мм. Паррок,
Афганистан



С лепидолитом.
110 мм. Паррок,
Афганистан



130 мм.
Минас
Жераис,
Бразилия



45x23 мм.
Barra do
Salinas,
Минас
Жераис



Инверсионный турмалин –

эльбаит - верделит.

Pederneira mine, Минас Жераис

70 мм



С синим
апатитом



95x65 мм



С лепидолитом

Инверсионный турмалин –

эльбаит - верделит.

Минас Жераис, Бразилия



Cruseiro mine



37x20 мм.
С кварцем

Chia mine

Инверсионный турмалин – эльбаит - верделит



Большой –
25 мм.
Восточное
Забайкалье

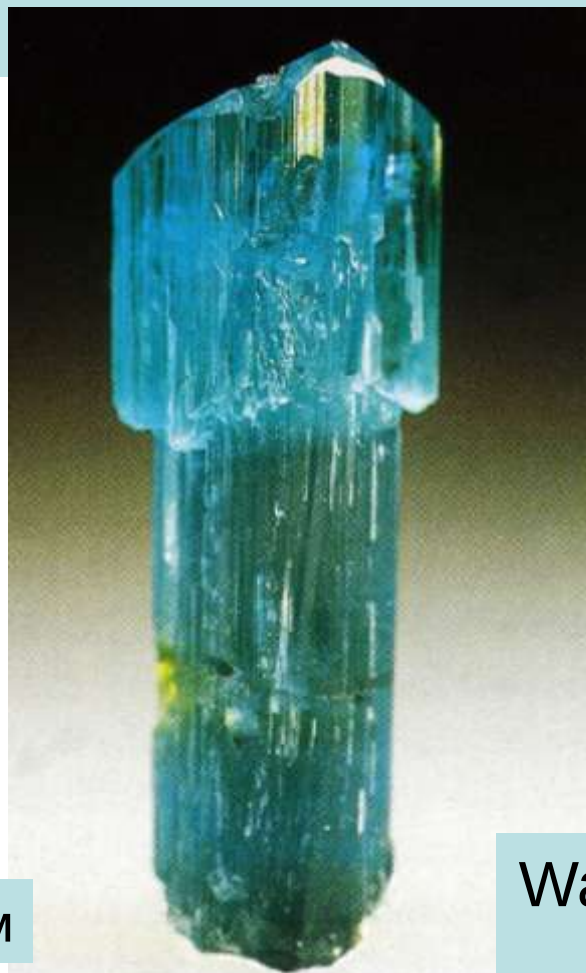


42x14 мм.
Konar,
Афганистан

Инверсионные турмалины – оленит–индиголит



Оленит возникает в специфических условиях – при дефиците железа, марганца и лития, при умеренно повышенной кислотности.



30 мм

Ware Mine, San Diego County,
Калифорния, США

Инверсионные турмалины – богатые V^{+} Са-олениит-эльбаиты



Кукурт,
Памир

Инверсионные турмалины – фойтит



Фойтит довольно характерный инверсионный турмалин. Знаменитые “testo negro” в гранитных пегматитах острова Эльба – это кристаллы светлого турмалина с чёрными головками, - чёрные головки составляет фойтит. Фойтит возникает в специфических условиях – при обилии железа (и магния) и повышенной кислотности. Железо и магний большей частью заимствуются из пород, окружающих пегматиты, частью попадают в поздние флюиды при замещении пегматитовых биотита, магнетита...



До 90 мм. Казенница, Ср. Урал

Инверсионные турмалины – фойтит



Тёмные головки кристаллов составляет фойтит - классические “testo negro”. Остров Эльба, Италия



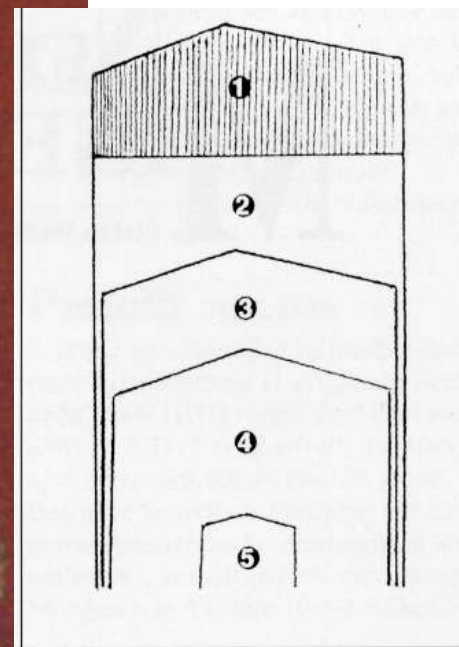
4 см. San Piero in Campo, Elba

Инверсионные турмалины – фойтит



Иглы до 12 мм.
Filone Rosina

Остров Эльба, Италия

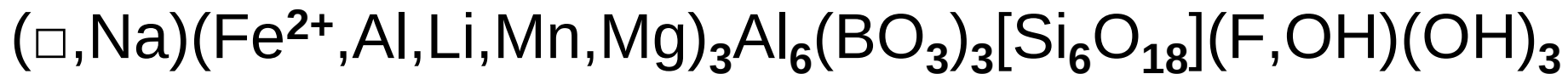


*Schemaskizze eines zonargebauten
Turmalins aus dem Valle dei Forcioni,
Elba: 1=Foitit, 2=Rossmannit-Elbait,
3=Elbait, 4=Mn-Elbait, 5=Schörl.*



Тёмные головки кристаллов
слагает фойтит

Инверсионные турмалины – фойтит

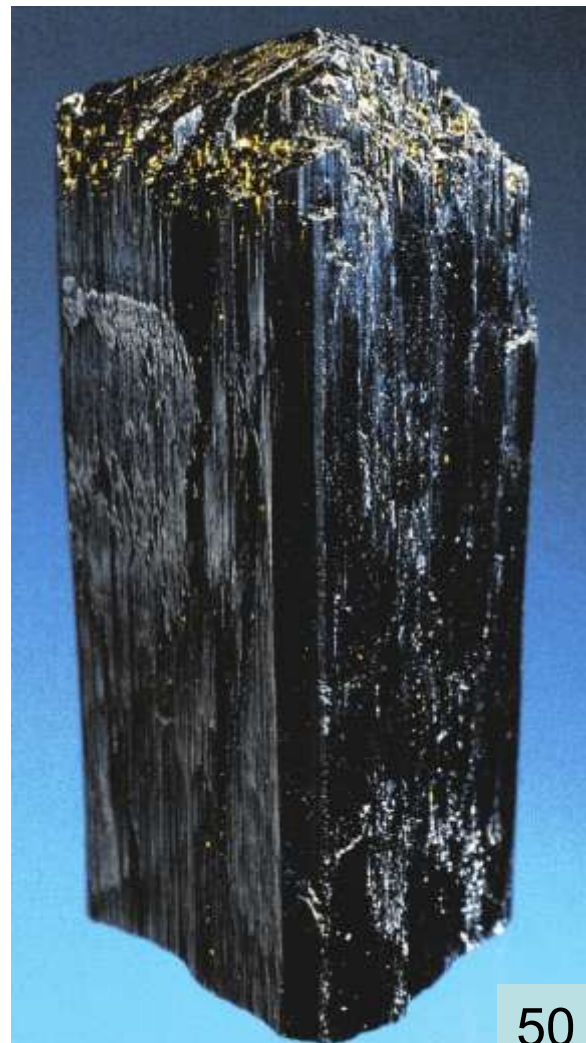


Erongo Mountains, Намибия

90x73
мм

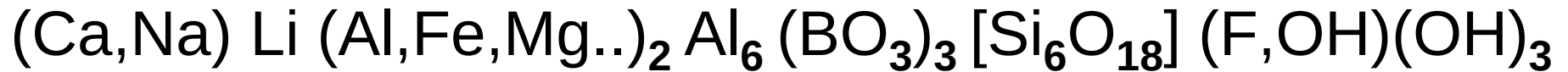


Флюорит+берилл+фойтит



50 мм

Инверсионные турмалины – лиддикоеатит



Кальциевый аналог эльбаита – лиддикоеатит, - типичный раннеинверсионный турмалин. Назван в честь весьма симпатичного и эрудированного (редкое сочетание) американского минералога-геммолога. Распространён, так как многие типы пород, окружающие пегматиты, богаты кальцием. Окраска варьирует от бесцветной до чёрной, в зависимости от количества примесей железа, титана, хрома, ванадия...



330x
230
мм

17.8 кг



230 мм

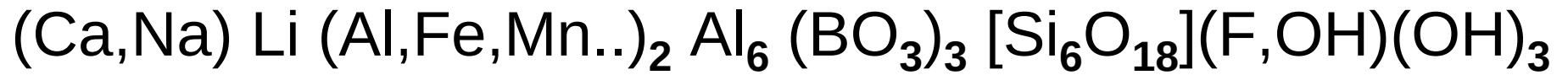
Мадагаскар



120x100 мм

Minh Tien, Вьетнам

Инверсионный лиддикоатит - рубеллит



Мадагаскар

Ankadilava

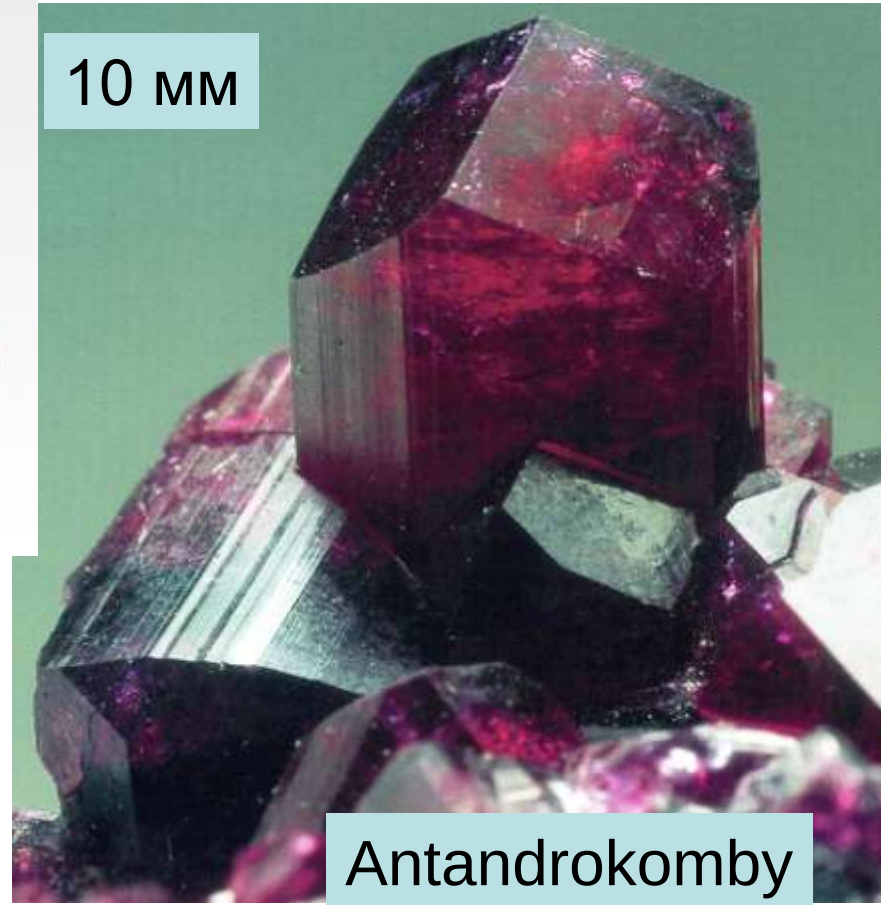


На шерле



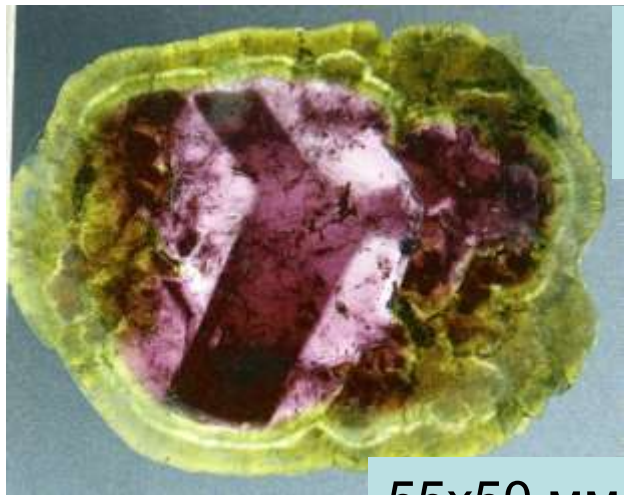
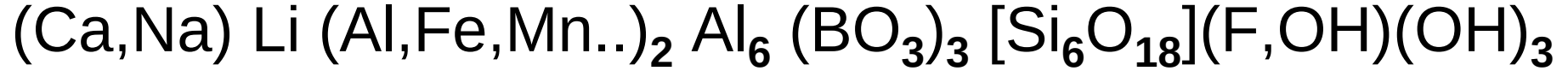
29x15
MM

10 mm



Antandrokomby

Инверсионный лиддикоатит - рубеллит



Арбузный.
An Phu, Вьетнам

Luc Yen, Вьетнам

40 мм



55x50 мм

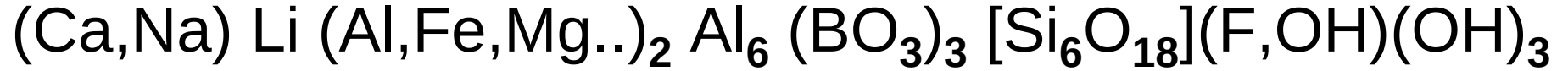


Полихромный.
Долина Sahatany,
Мадагаскар



Мурзинка, Ср. Урал

Инверсионные турмалины – лиддикоатит



с инверсионным кварцем



160x120 мм

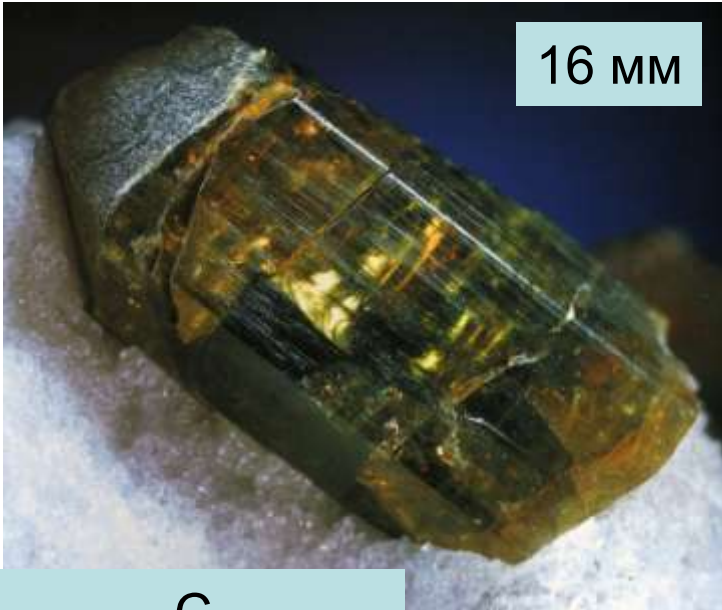
Cruzeiro mine, Минас Жераис



50
мм

Anjahamiary, Мадагаскар

Инверсионный лиддикоатит - верделит



16 мм

С
лепидолитом.
Южная
Норвегия



20 мм

С лондонитом.
Ampanivana,
Мадагаскар



67x61 мм

Anjanabonoina,
Мадагаскар

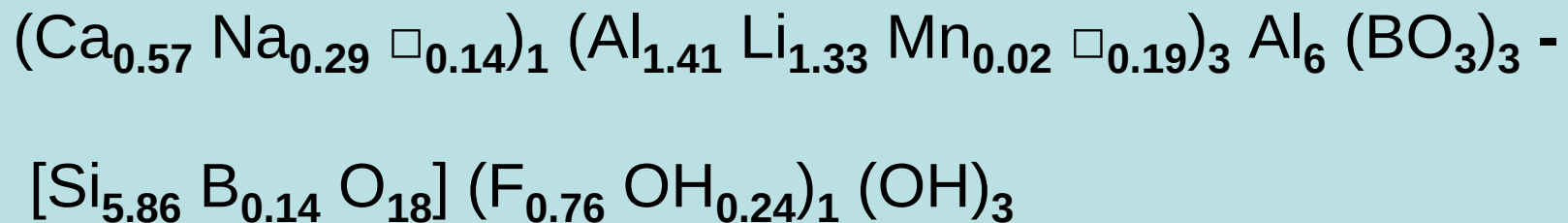


50 мм

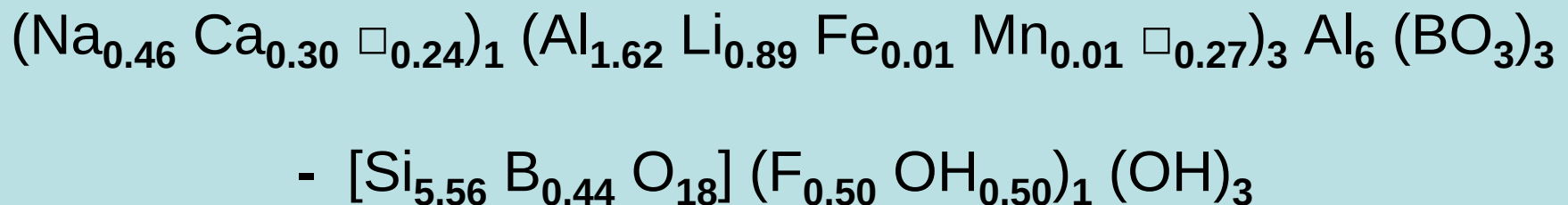
Инверсионные турмалины – лиддикоатит

Инверсионные турмалины серии эльбаит – лиддикоатит иногда (в гранитных пегматитах Мадагаскара) содержат заметное количество бора в тетраэдрической позиции. Борокислородные тетраэдры замещают кремнекислородные.

Типичный состав **лиддикоатита**:

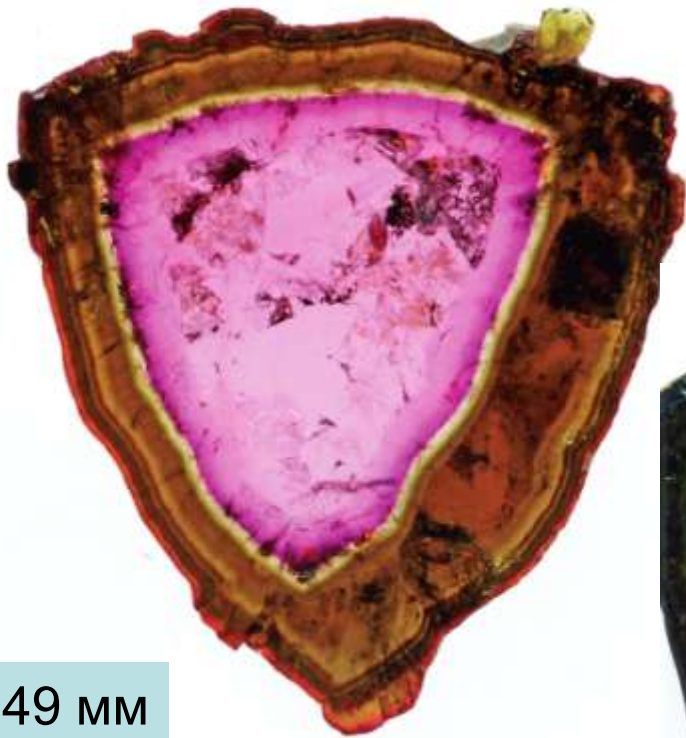


Типичный состав **лиддикоатита – эльбаита**:



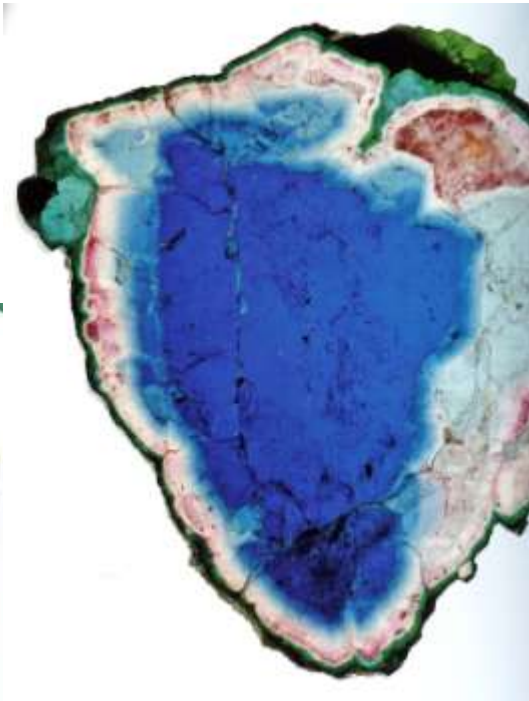
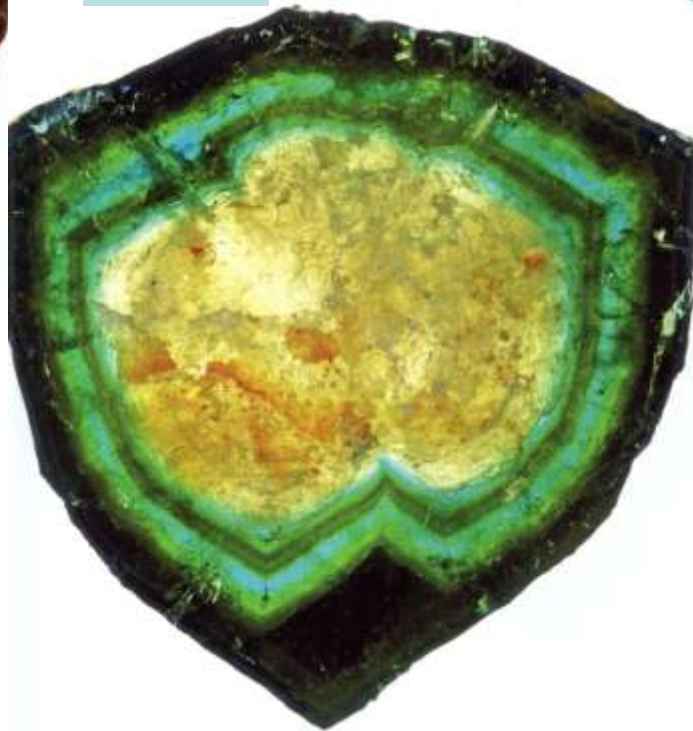
Инверсионные турмалины – лиддиикоатит – дравит – бюргерит - увит

Neuschwaben mine, Karibib region, Намибия



49 мм

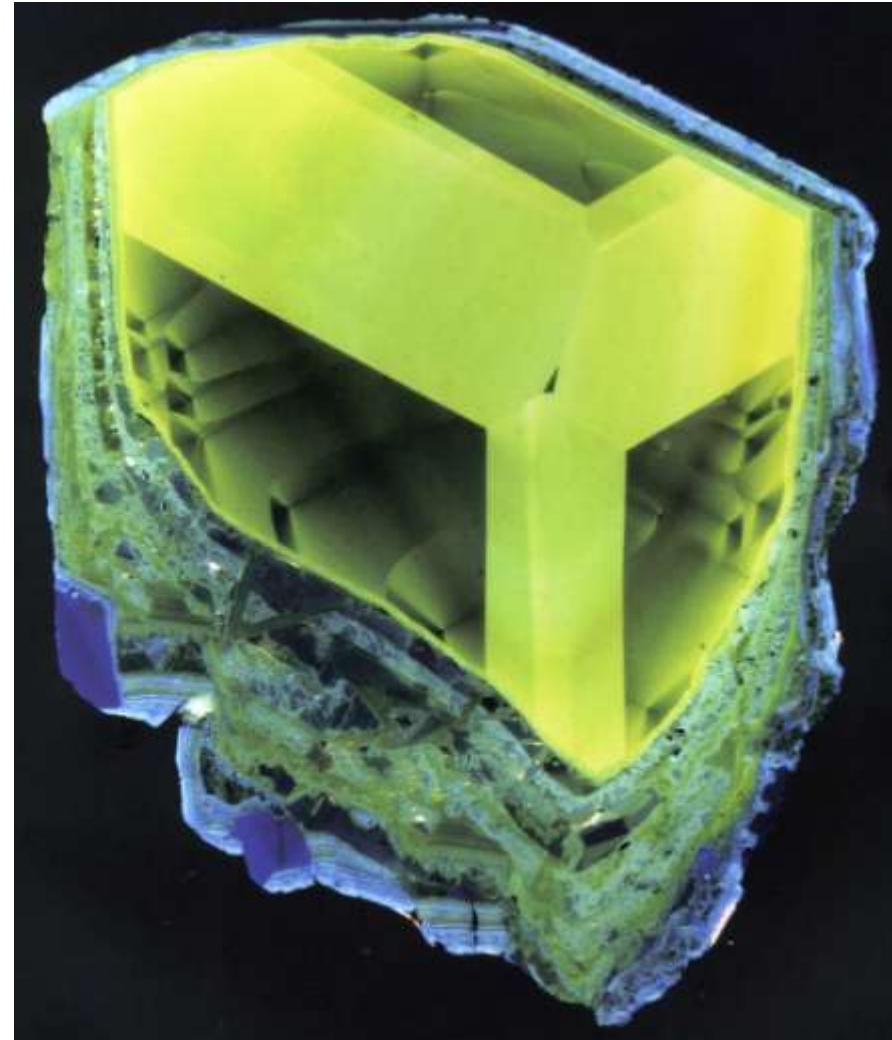
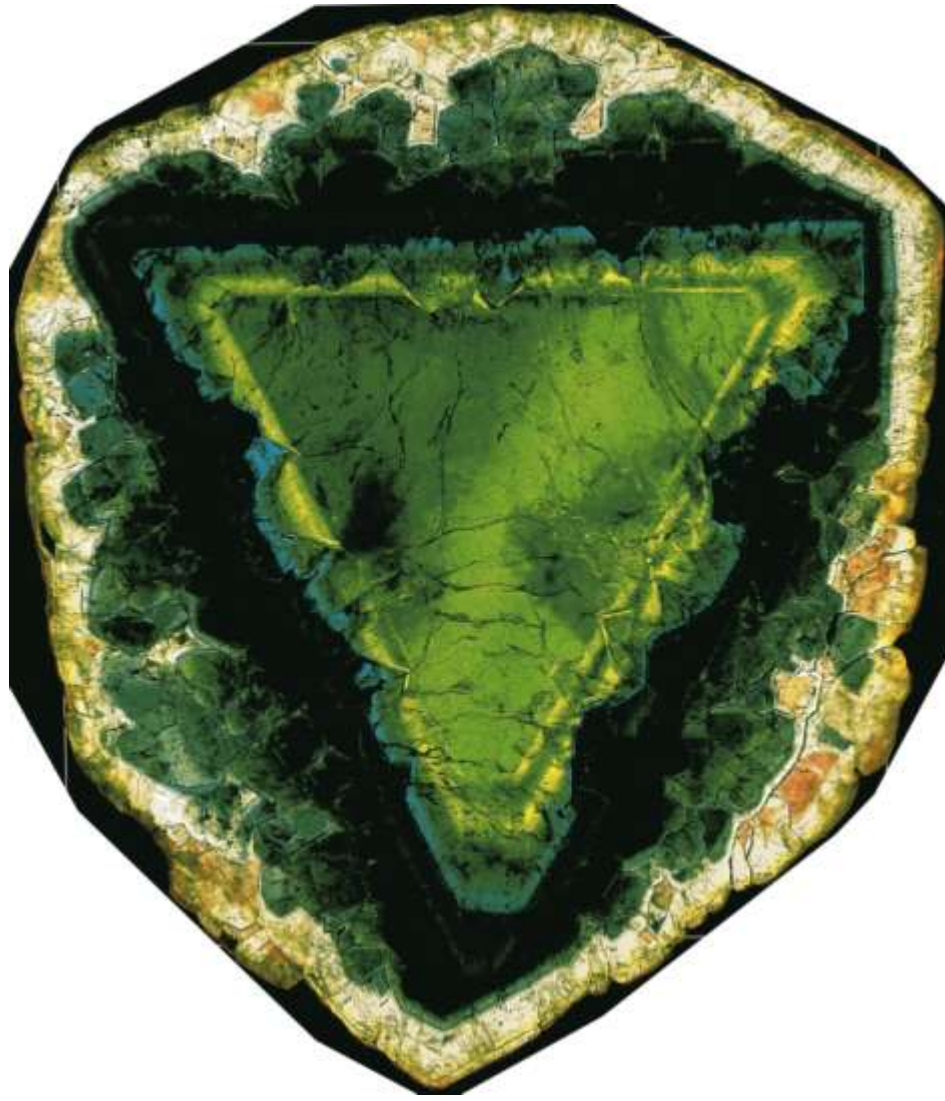
44 мм



37 мм

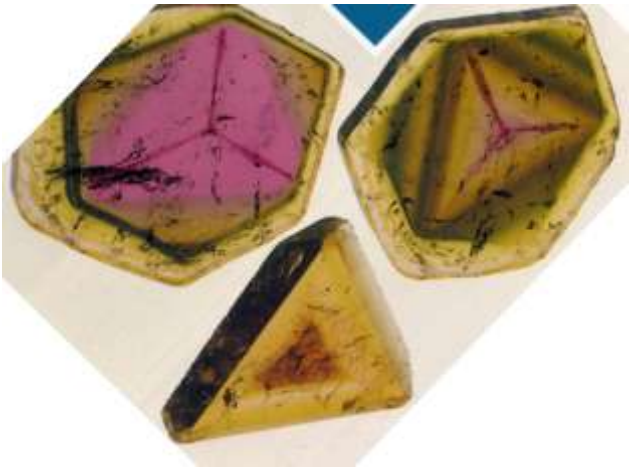
Инверсионные турмалины – шерл – лиддикоатит - дравит - бюргерит - увит

Мадагаскар

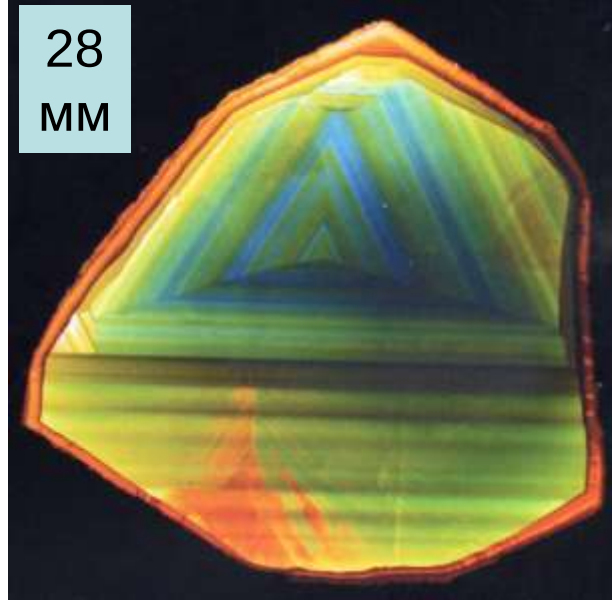


Инверсионные турмалины – шерл – лиддиикоатит - дравит - бюргерит - увит

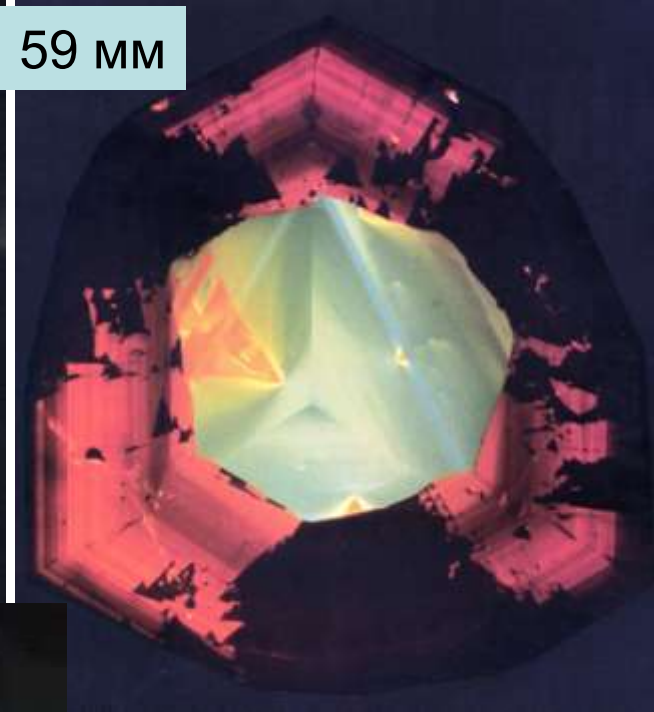
Мадагаскар



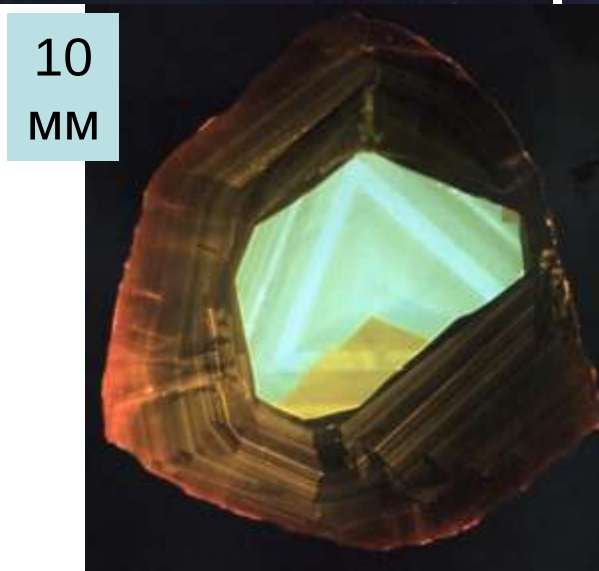
28
MM



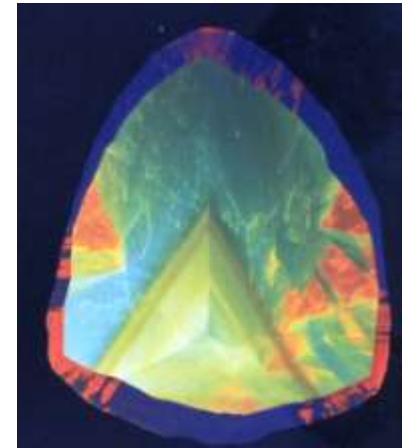
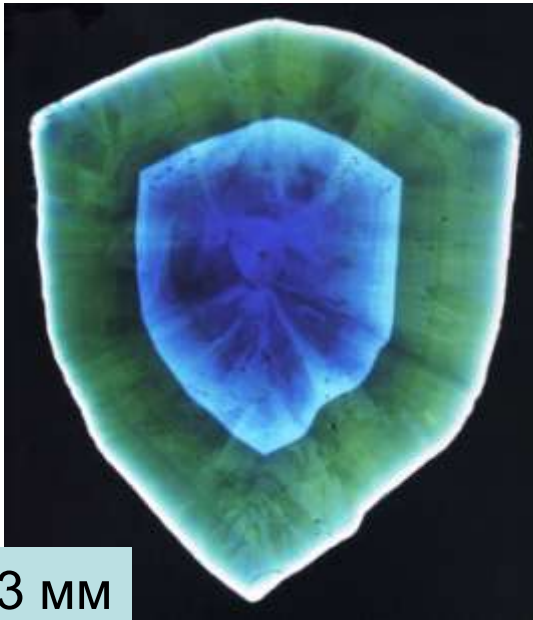
59 MM



10
MM

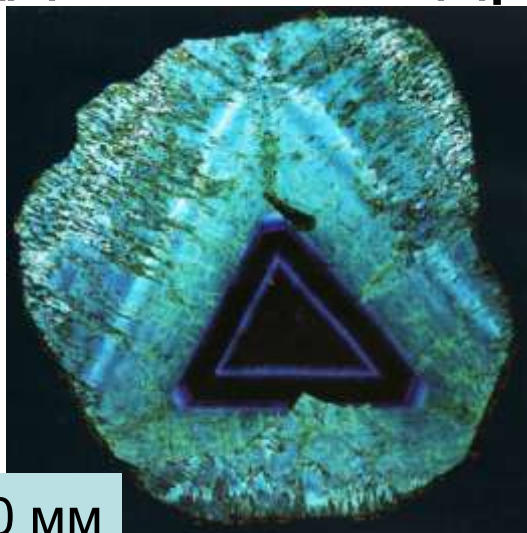


23 MM

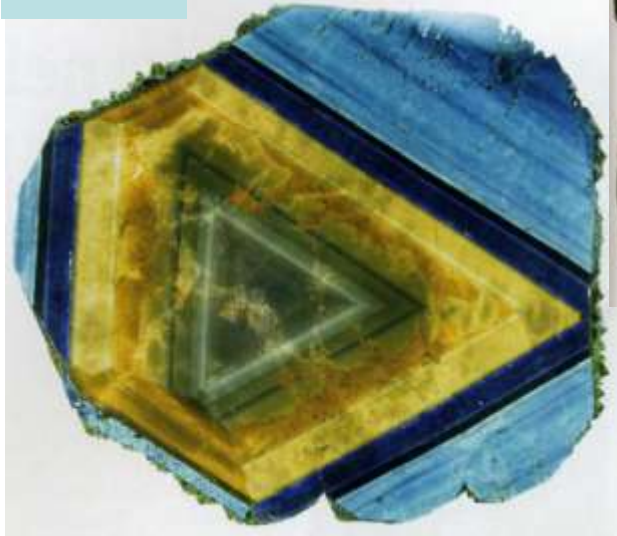


Инверсионные турмалины – шерл – лиддиикоатит - дравит - бюргерит - увит

Михай-
ловское,
Забай-
калье



30 мм



22 мм. Erongo,
Намибия



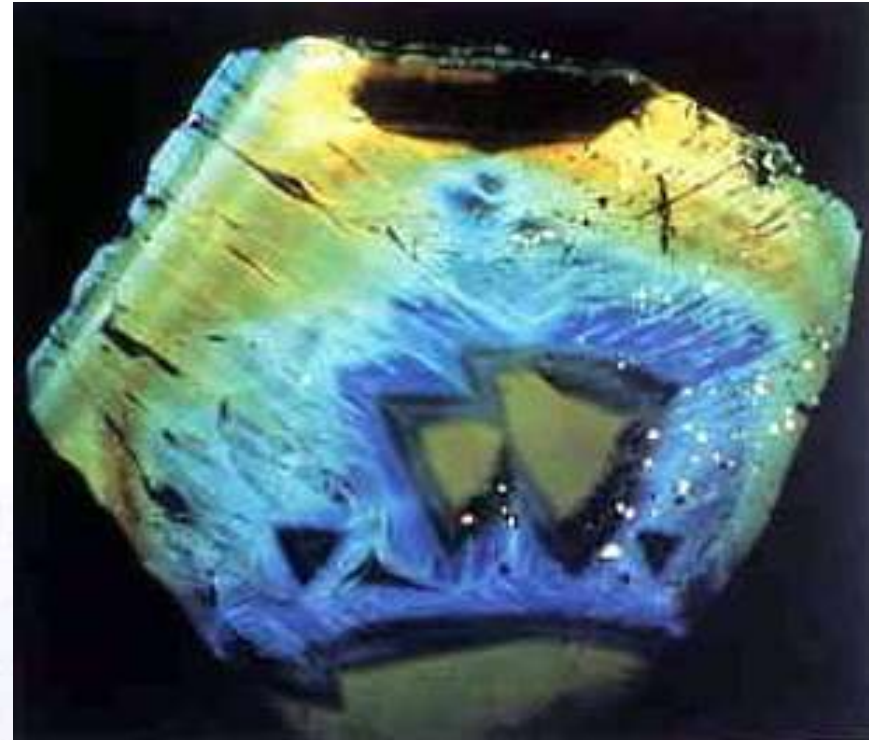
Различные сечения одного
сложного кристалла.
Мадагаскар

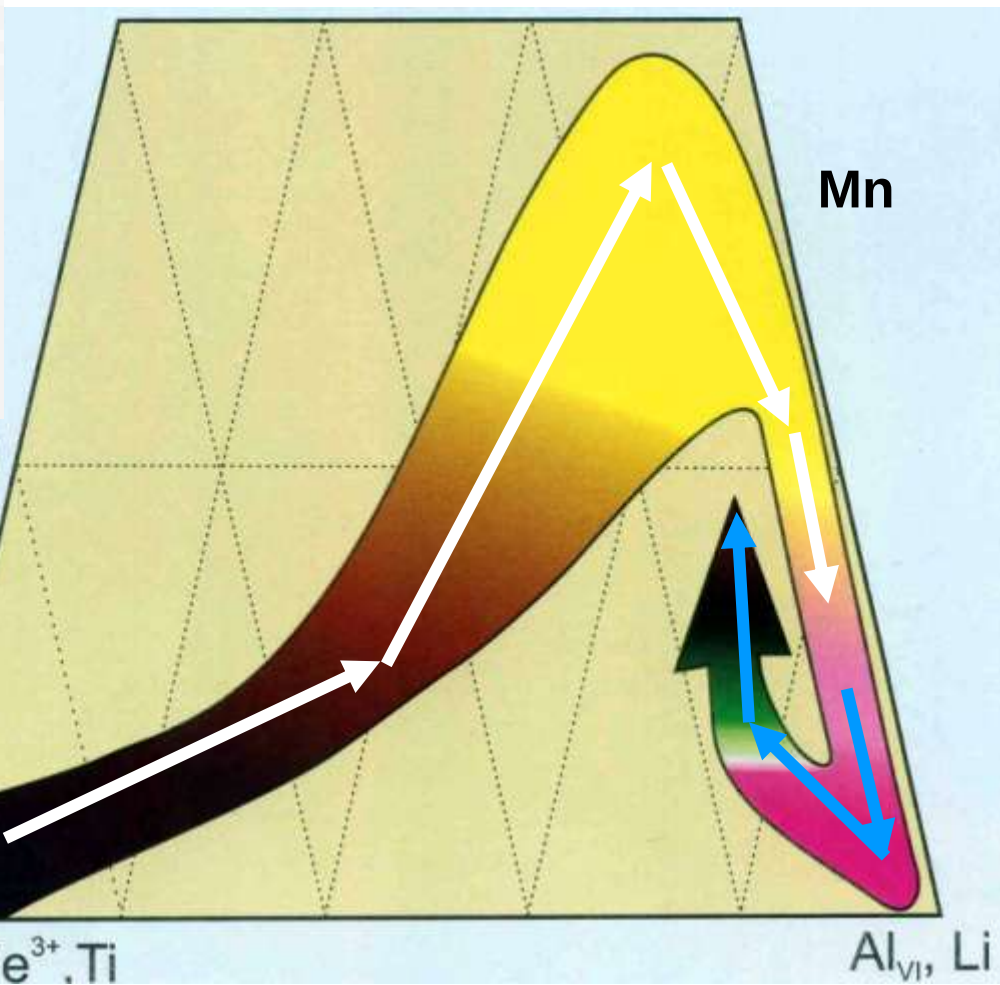
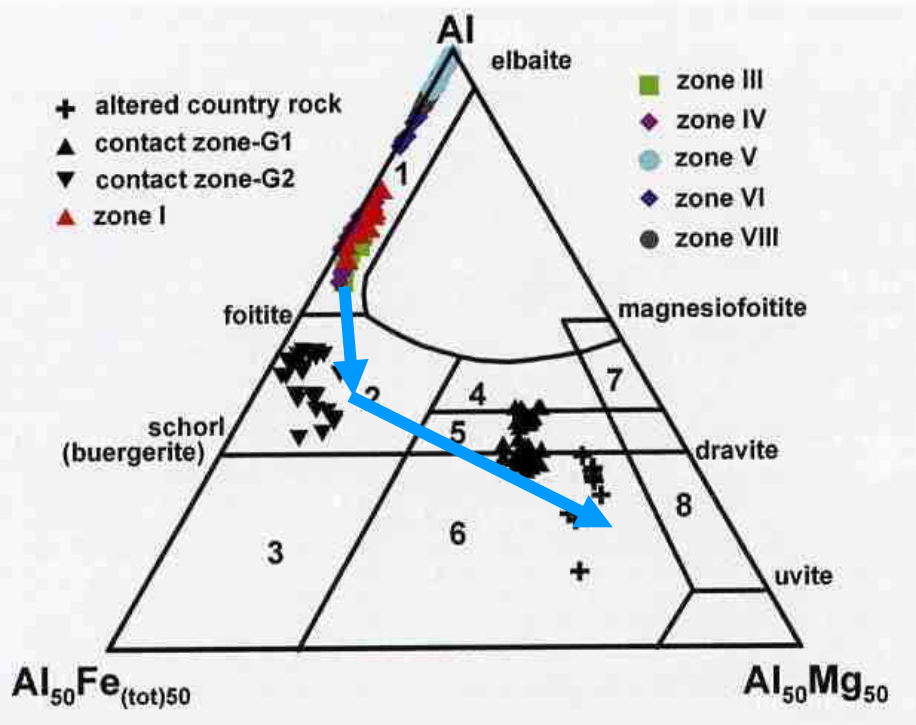


45 мм

Инверсионные турмалины – шерл – лиддиикоатит – дравит – бюргерит - увит

Многоядерные кристаллы.
Мадагаскар

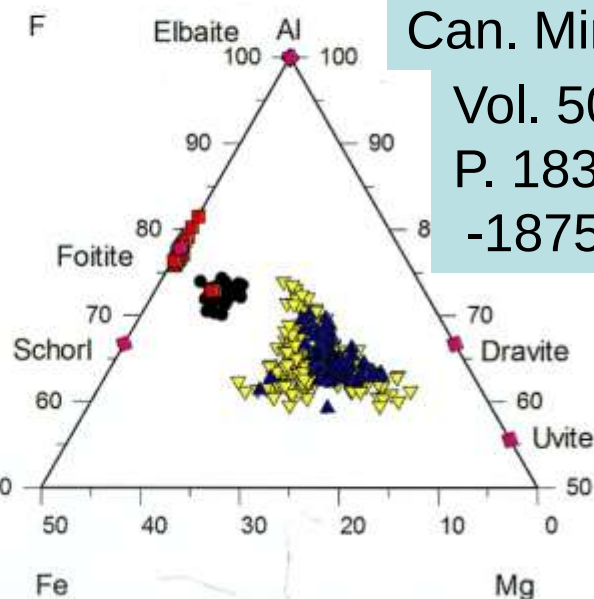
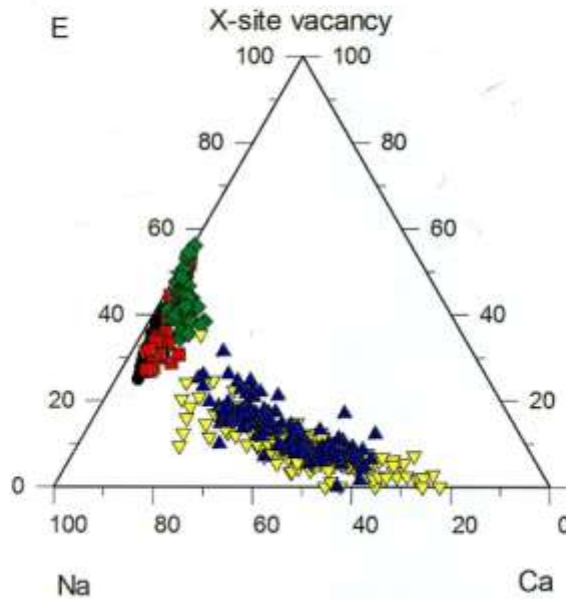
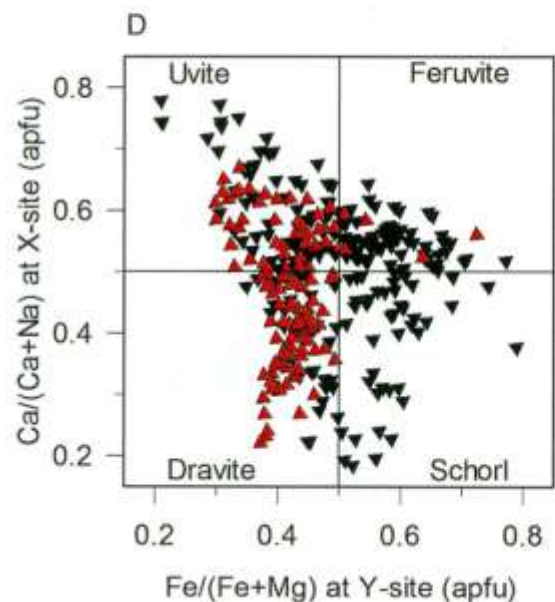
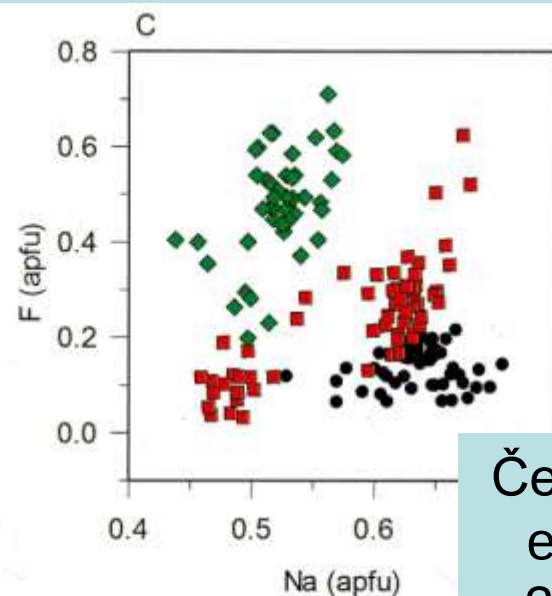
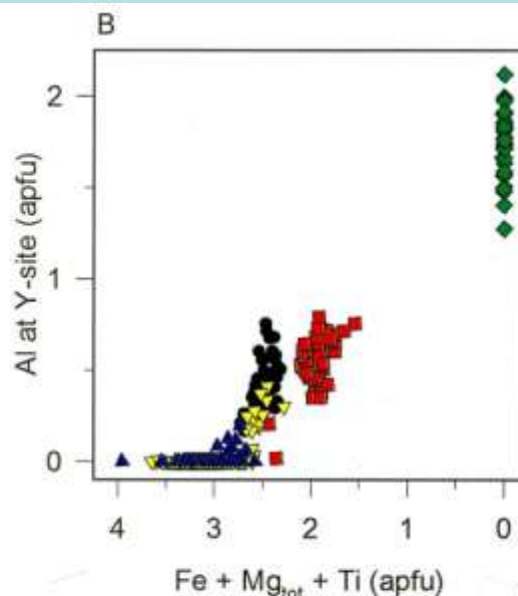
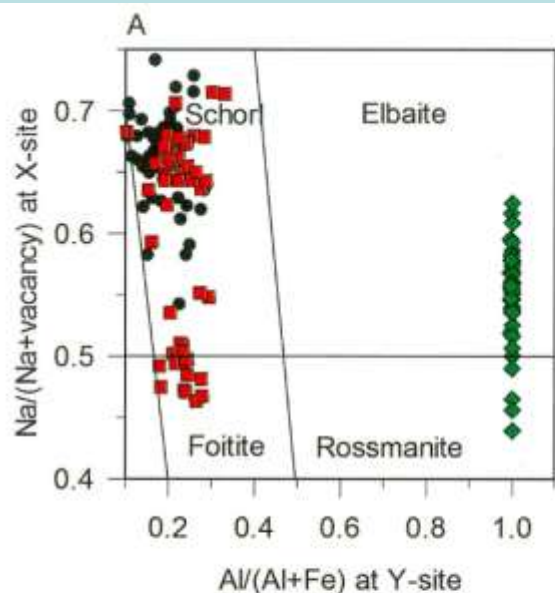




**Химический состав
турмалинов
чистой линии
и
инверсионных**

Эволюция состава турмалина. Малхан

Химический состав турмалинов гранит-пегматитов чистой линии и инверсионных. Red Cross Lake, Manitoba



Černý P.
et al.,
2012.
Can. Min.
Vol. 50.
P. 1839
-1875.

Инверсионный хромистый турмалин



Коктокай,
ЮВ Алтай



70 мм.
Реш, Кунар, Пакистан

Инверсионные медистые турмалины

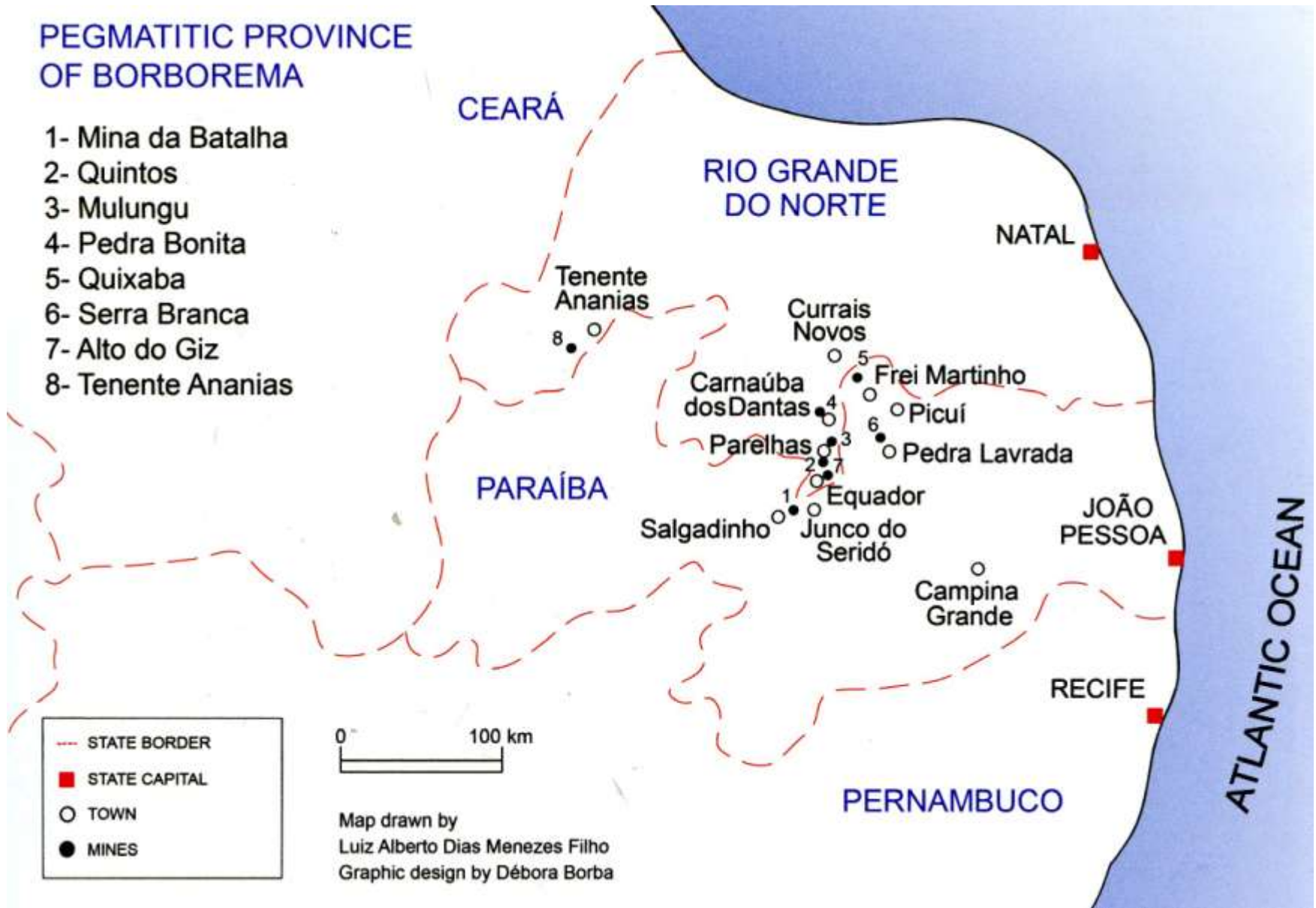
Особый интерес вызывают синие эльбаиты São Jose da Batalha, Параиба и иных месторождений Бразилии, содержащие до 2,5 мас.% CuO и до 9 г/т Au; с ростом содержания Mn_2O_3 их цвет меняется на сине-фиолетовый (Brown, 1993).

Если для меди еще можно предположить, что она накапливается к концу процесса дифференциации пегматитов, то для Au это исключено,- следовательно, в данном случае и Cu, и Au заимствованы из пород рамы; вероятный механизм заимствования описан выше.

Окраска данных эльбаитов обусловлена комбинацией Mn^{3+} (отчасти и Fe^{3+}) и Cu^{2+} , обменным взаимодействием Mn^{2+} (отчасти и Fe^{2+}) $\leftrightarrow Ti^{4+}$ вместе с абсорбцией Cu^{2+} .

При эпигенетических процессах медистые турмалины не устойчивы и довольно легко теряют медь, которая чаще в виде самородной меди выполняет трещины в турмалине.

Инверсионные медистые турмалины



Пегматитовые поля северной Бразилии

Инверсионные медистые турмалины



Mina Quintos de Baixo, Paraíba, северная Бразилия

Инверсионные турмалины – медистый эльбаит

**São Jose
da Batalha,
Paraíba,
Бразилия**

**Pederneira mine,
Бразилия**

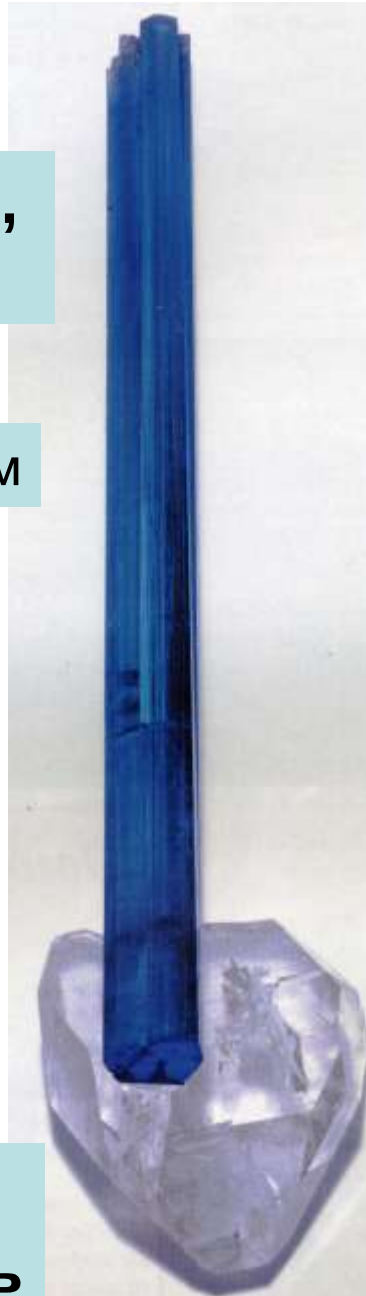
130 мм

Медистый эльбаит

**содержит до
2.5 мас. % CuO
и 9 г/т Au**

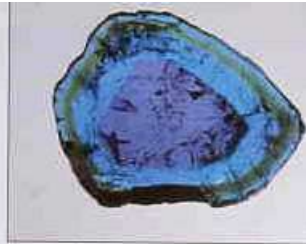
50 мм

**Горный
хрусталь**

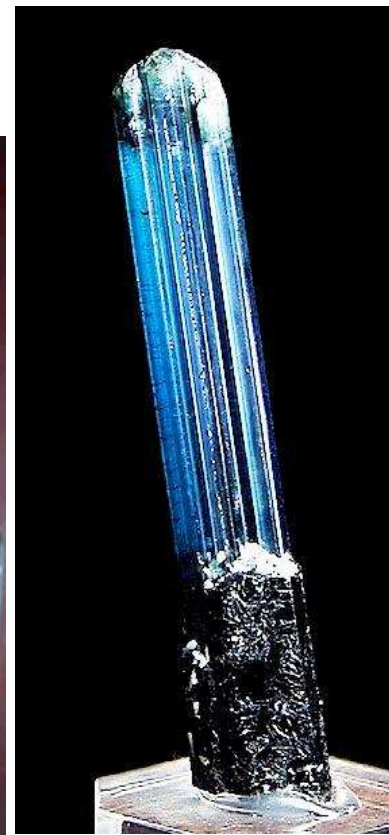


Инверсионные турмалины – медистый эльбаит

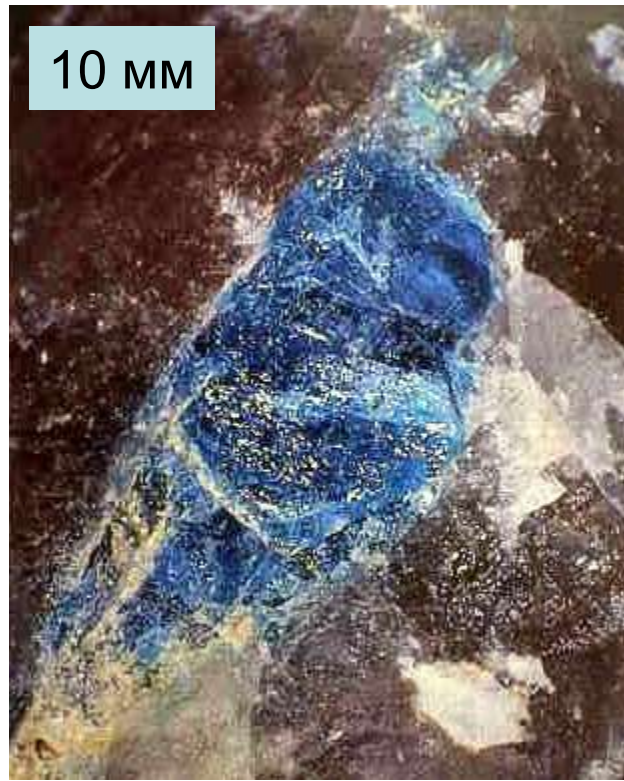
**Batalha a Nova
Era mine,
Paraíba,
Бразилия**



**São Jose
da Batalha,
Paraíba,
Бразилия**



10 мм



Кварц-турмалиновые метасоматиты



Турмалин – шерл
в горном хрустале.
Район Невьянска,
Средний Урал

Ваза в Эрмитаже.
Материал со Среднего Урала.
Фото Э.М. Спиридонова

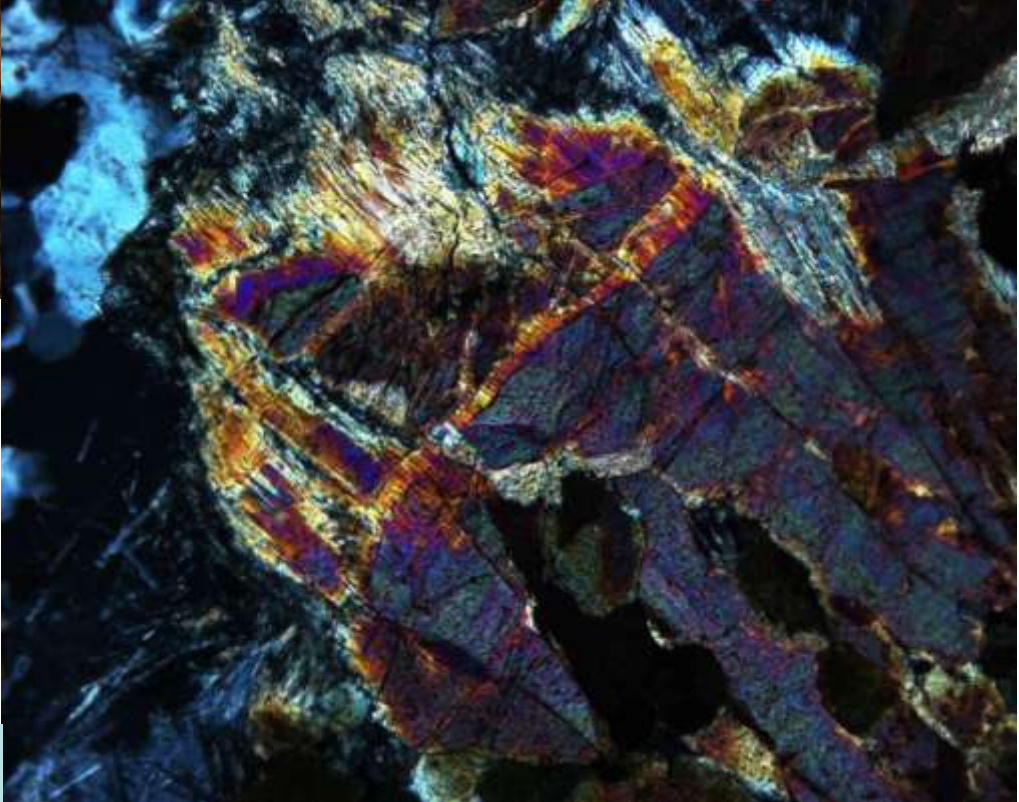
Кварц-турмалиновые метасоматиты

**Ферришерл
и дравит.**
Дарасун.
Восточное
Забайкалье



Шлиф. При 1 николе

Колл. Н.Н. Кривицкой,
фото Э.М. Спиридонова



Шлиф. Николи х

Кварц-турмалиновые метасоматиты

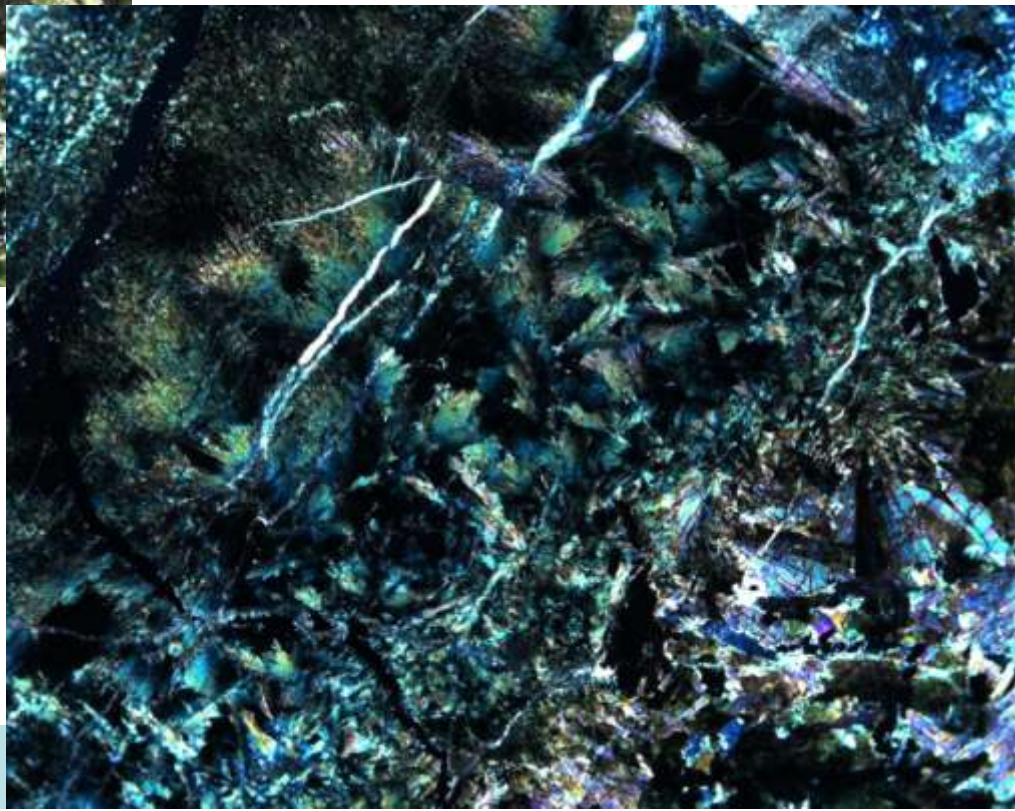
Ферридравит.

Дарасун.
Восточное
Забайкалье

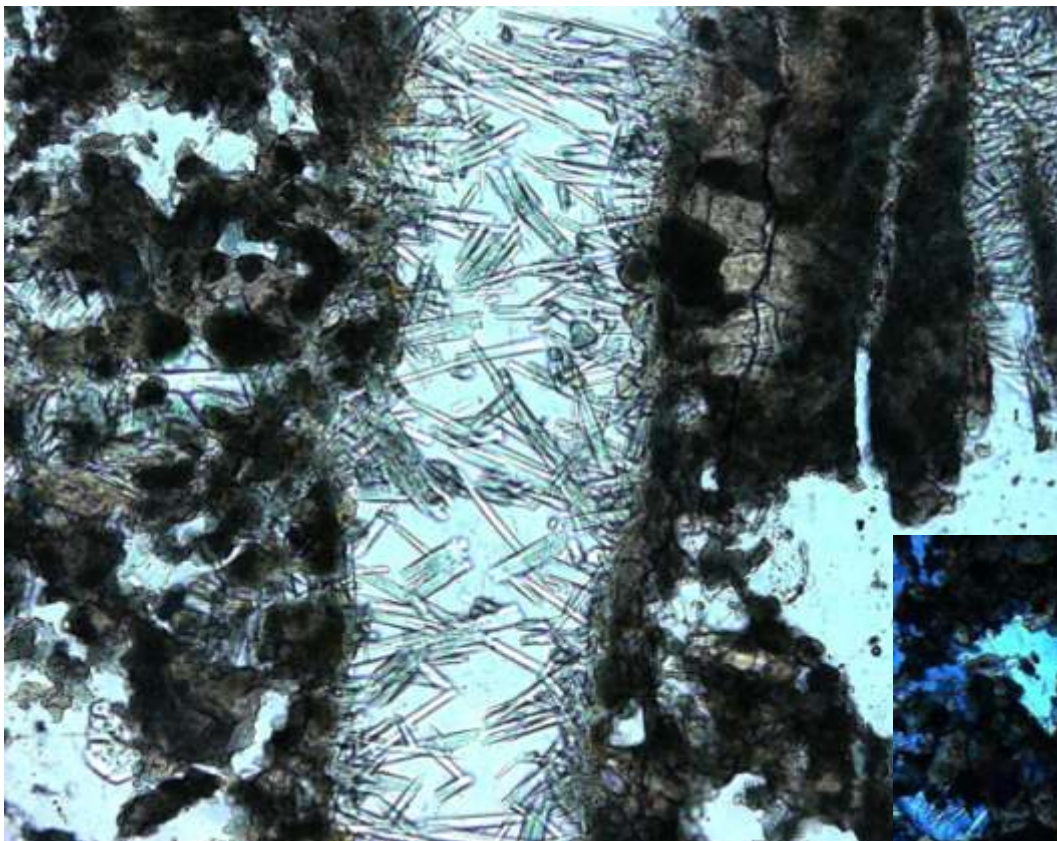
Шлиф. При 1 николе

Колл. Н.Н. Кривицкой,
фото Э.М. Спиридонова

Шлиф. Николи х



Кварц-турмалиновые метасоматиты



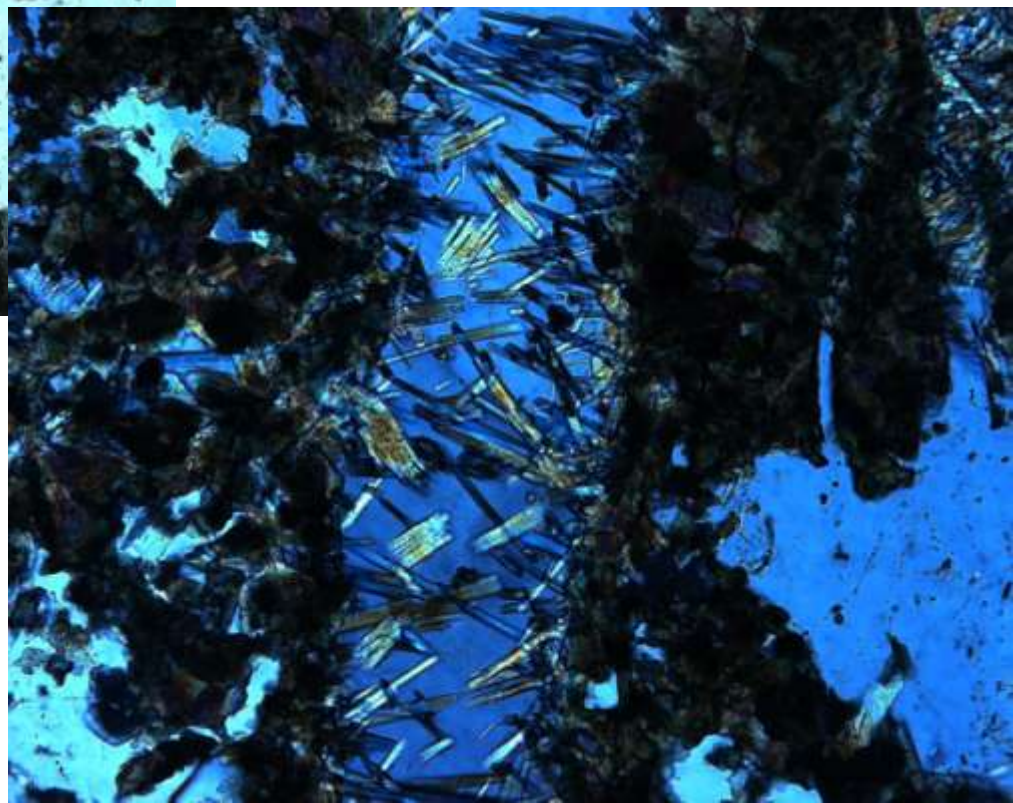
**Шерл и поздний
дравит.**

Дарасун.
Восточное
Забайкалье

Шлиф. При 1 николе

Колл. Н.Н. Кривицкой,
фото Э.М. Спиридонова

Шлиф. Николи х

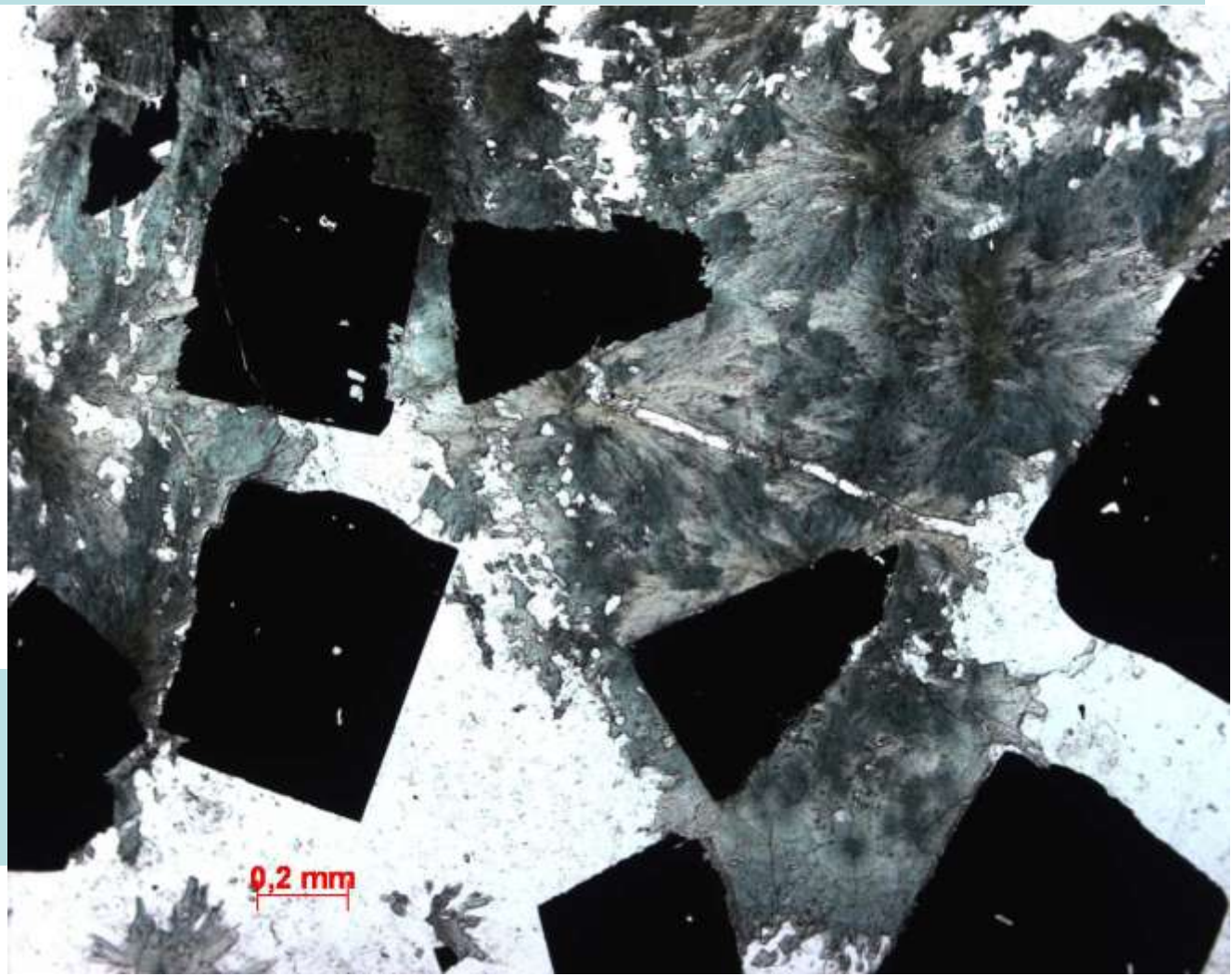


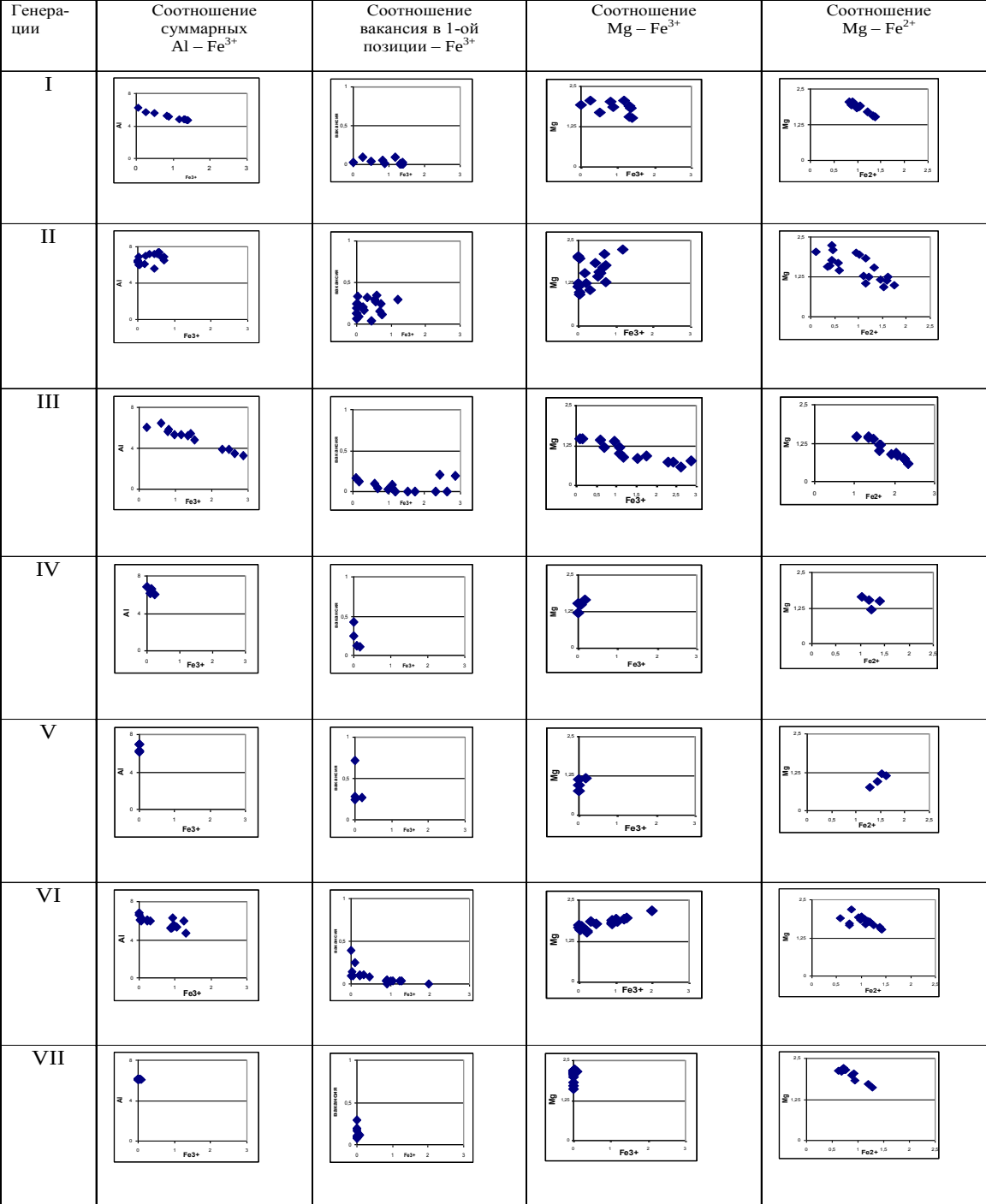
Кварц-турмалиновые метасоматиты

Дравит и
натрий-дефицитный дравит = магнезиофойтит.
Дарасун. Восточное Забайкалье

Шлиф. При 1 николе

Колл. Н.Н. Кривицкой,
фото Э.М.
Спиридонова





Кварц- турмалиновые метасоматиты

Вариации состава
турмалина
7 генераций.
Дарасун,
Восточное
Забайкалье.

Данные
Н.Н. Кривицкой и
Э.М. Спиридонова

«ОТХОДЫ ГРЕЙЗЕНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА»

Месторождение магнезита Брумадо, Бразилия

50 мм



Увит и
магнезит

40 мм



68 мм



«ОТХОДЫ ГРЕЙЗЕНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА»

Месторождение магнезита Брумадо, Бразилия



60 мм

Увит и
магнезит

Figure 16 (left). Uvite, 5 cm tall.

Figure 17 (below). Gemmy uvite, 1.1 cm tall, Pomba area. James Nizamoff photo.



«ОТХОДЫ ГРЕЙЗЕНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА»

Месторождение магнезита Брумадо, Бразилия



Увит и
горный хрусталь



20 мм

«ОТХОДЫ ГРЕЙЗЕНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА»

Месторождение магнезита Брумадо, Бразилия

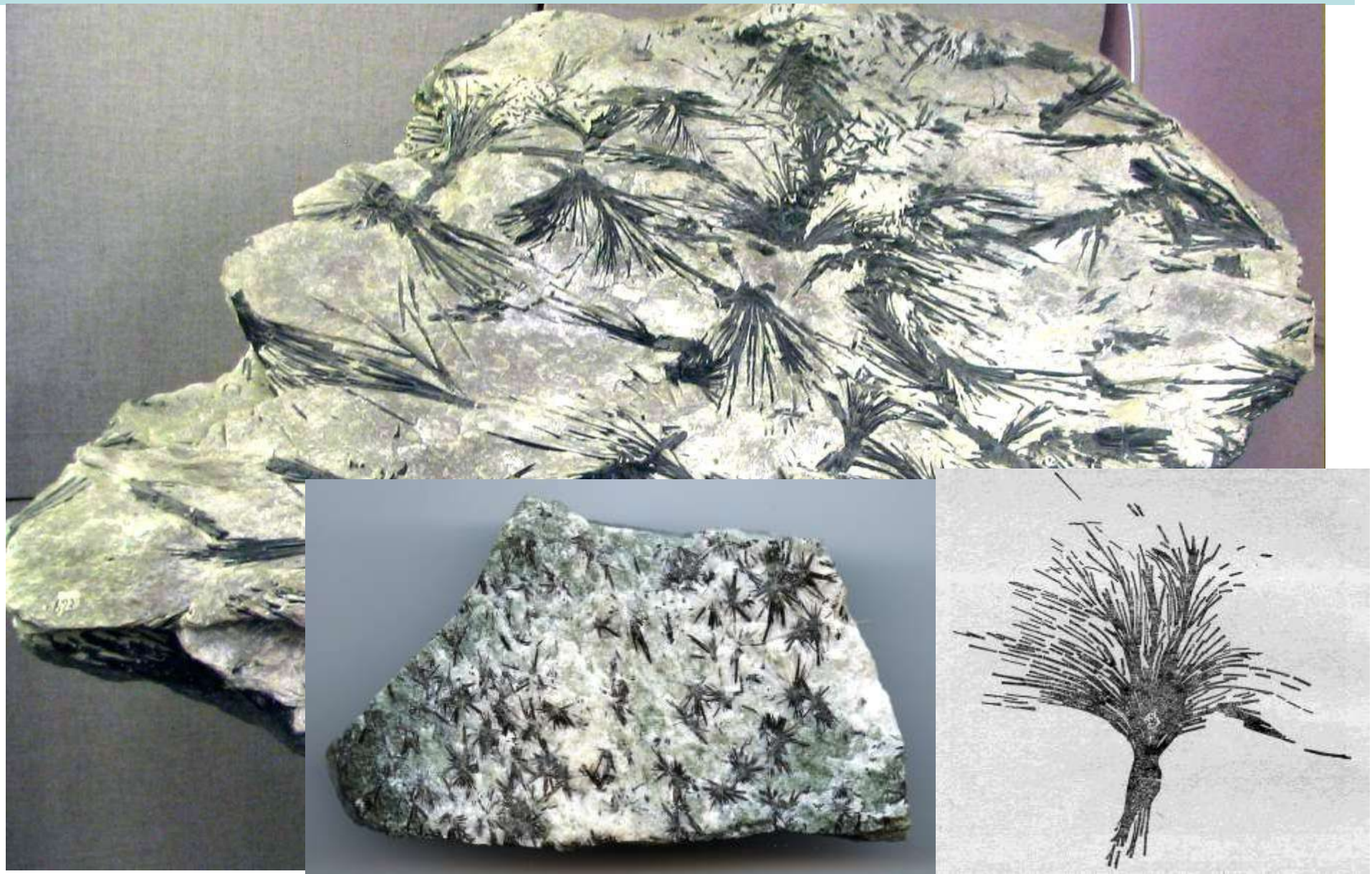


Дравит и
магнезит

35 мм

Тальк-карбонатные метасоматиты

Хромдравит. Шабры. Средний Урал



Альпийские жилы. Турмалин - увит

$(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_5\text{Mg}[(\text{OH}, \text{F})/(\text{OH})_3/(\text{BO}_3)_3/\text{Si}_6\text{O}_{18}]$

Увит и альбит



Увит и адуляр



Увит и адуляр

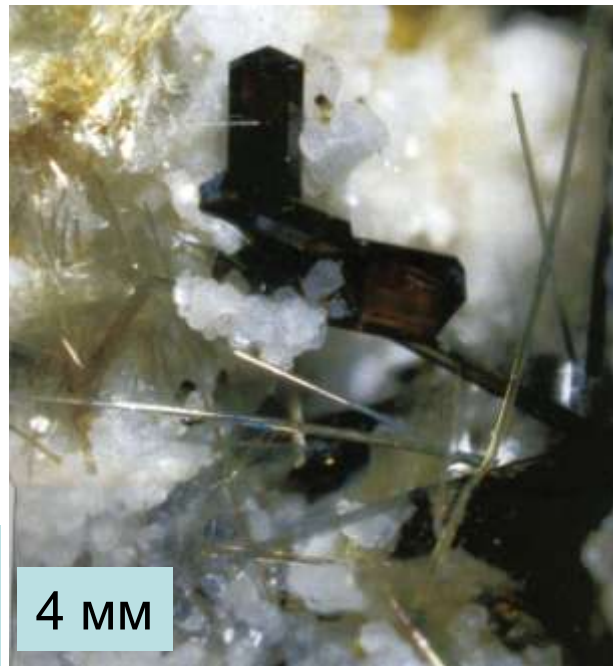
Альпийские жилы. Турмалин - дравит

$\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_6[(\text{OH}, \text{F})/(\text{OH})_3/(\text{BO}_3)_3/\text{Si}_6\text{O}_{18}]$



6 мм

Среди доломита.
Camrolungo, Швейцария



4 мм

Железистый дравит с
клиноцоизитом.
Val Prato,
Тессин, Италия



55 мм

Турмалин-асбест с
кварцем.
Cabanda, Graubunden,
Швейцария



35 мм

Альпийские жилы. Турмалин - дравит

$\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3\text{Al}_6[(\text{OH}, \text{F})/(\text{OH})_3/(\text{BO}_3)_3/\text{Si}_6\text{O}_{18}]$



Кристаллы до 2.5 мм с доломитом на доломитах. Turbealp, Швейцария

Альпийские жилы. Турмалин - шерл $\text{Na}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Al}_6[(\text{OH}, \text{F})/(\text{OH})_3/(\text{BO}_3)_3/\text{Si}_6\text{O}_{18}]$



Магнезиальный шерл. Pizza Ruscada, Тессин, Швейцария

Альпийские жилы. Турмалин - шерл

$\text{Na}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Al}_6[(\text{OH}, \text{F})/(\text{OH})_3/(\text{BO}_3)_3/\text{Si}_6\text{O}_{18}]$



15 мм



38 мм



40 мм

68 мм.

Turbenalp,
Швейцария



Турмалин и адуляр. Larcheltini-zone, Швейцария

Альпийские жилы. Турмалин - шерл

$\text{Na}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Al}_6[(\text{OH}, \text{F})/(\text{OH})_3/(\text{BO}_3)_3/\text{Si}_6\text{O}_{18}]$



180x
140
MM



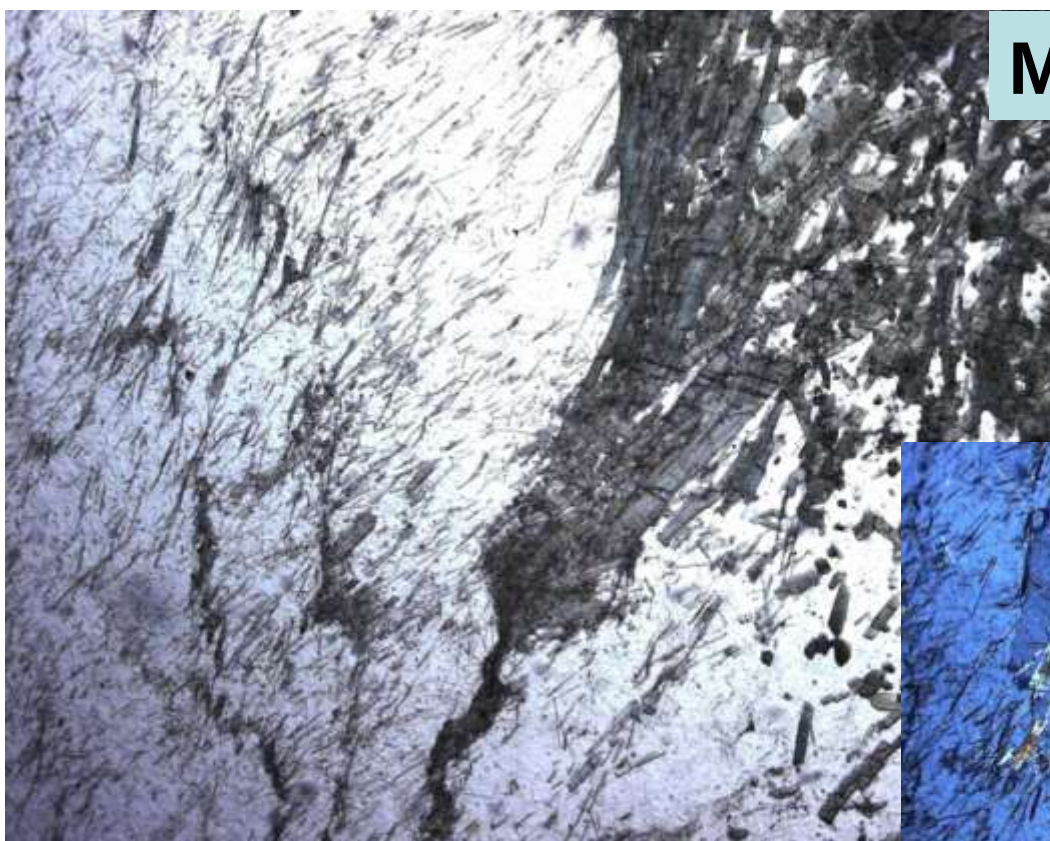
80 мм



70 мм

Турмалин и адуляр на кварце. Turbenaal, Швейцария

Фация зелёных сланцев. Жильные образования – кварцевые жилы с турмалином



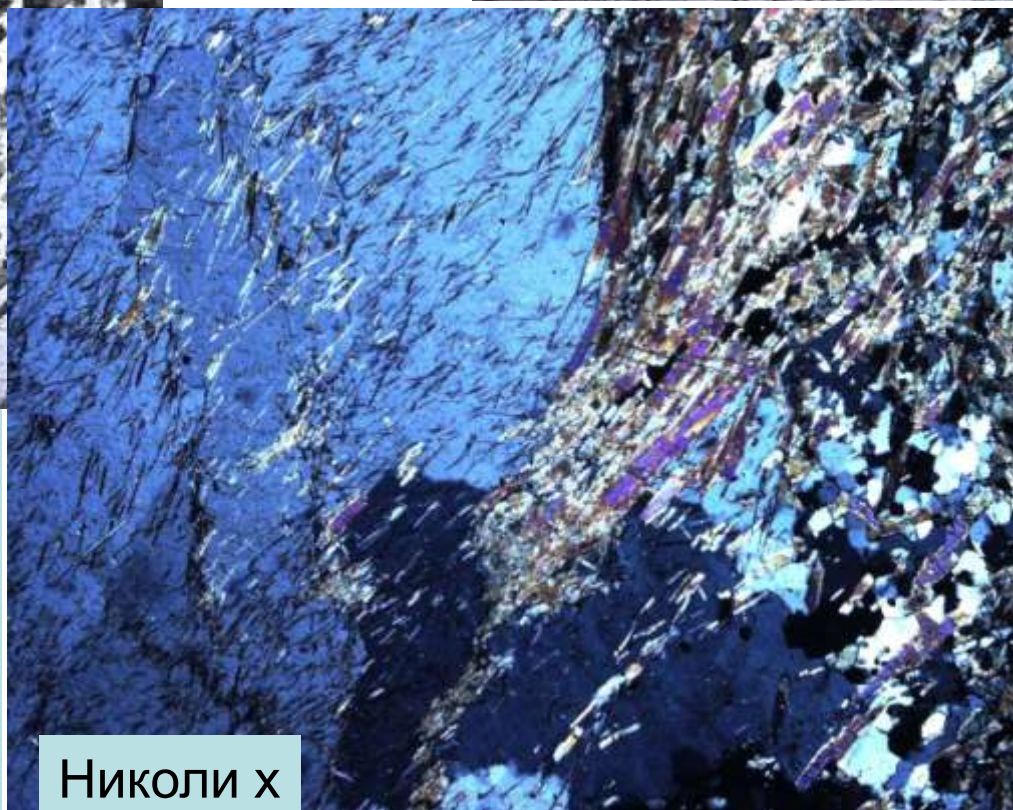
Мг шерл

Шлиф при
1 николе



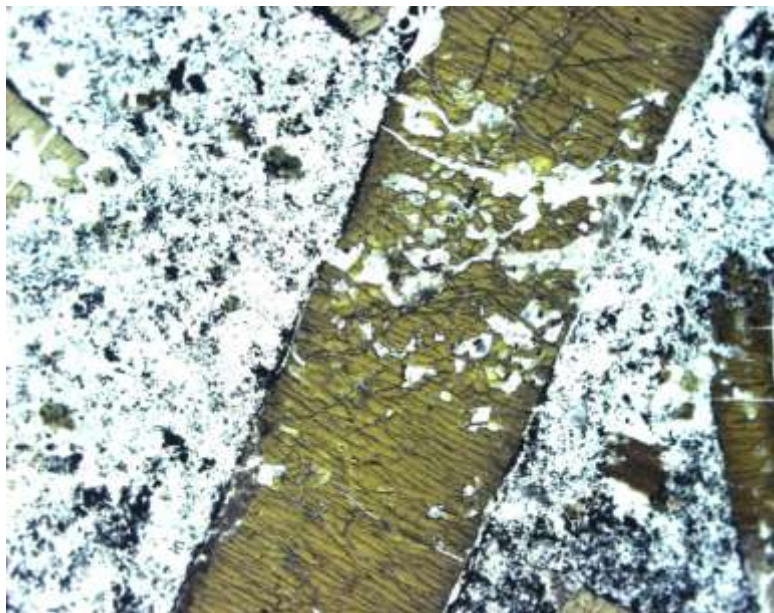
Северная часть Карабашского
рудного поля, юг Среднего Урала

Колл. и фото
Э.М. Спиридонова



Николи х

Амфиболитовая фация. Турмалин – шерл



При 1
нике

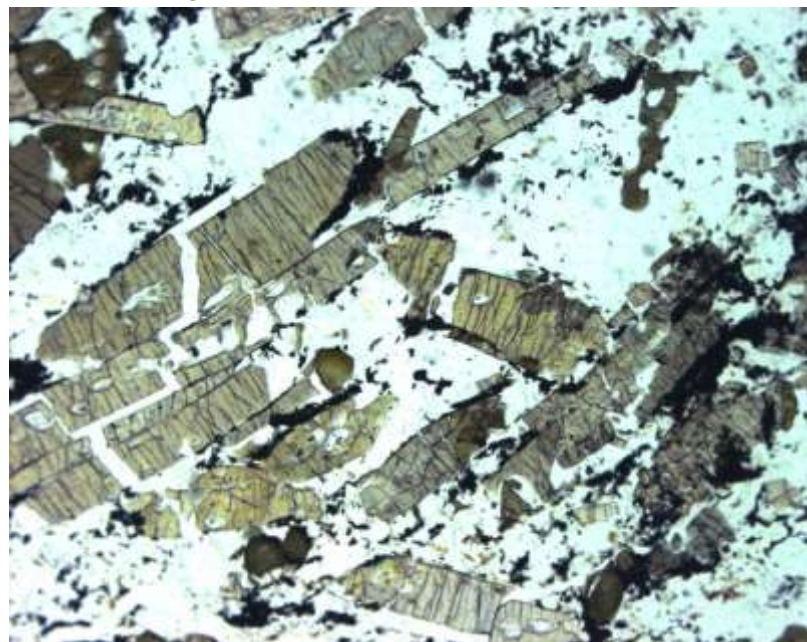
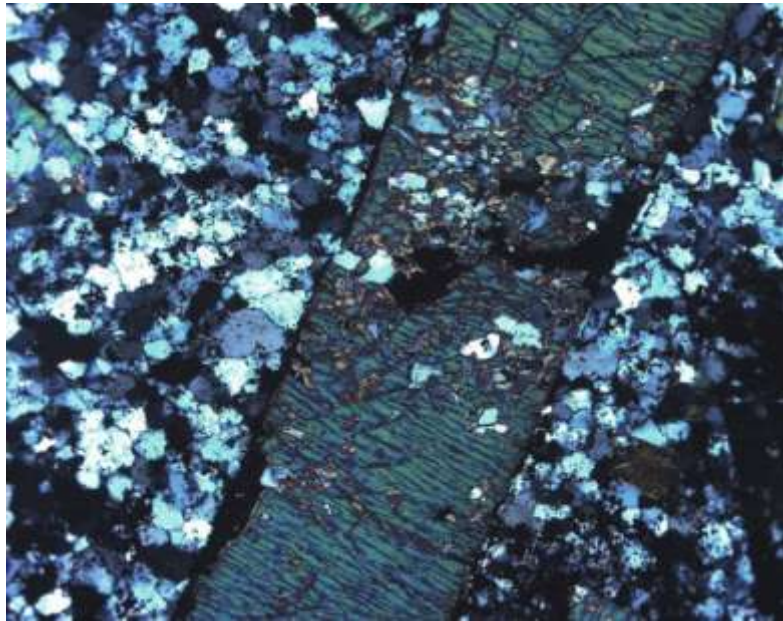
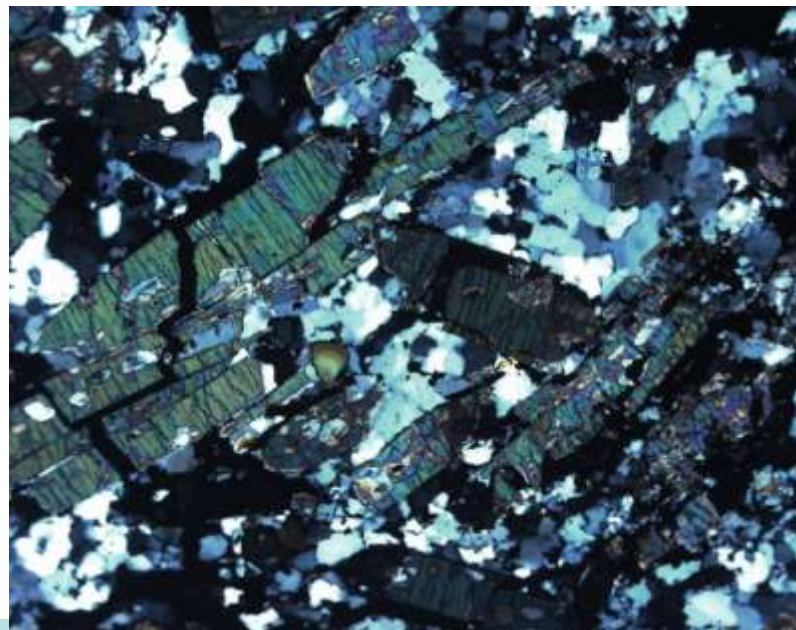


Фото
ЭМС



Николи
х



Турмалиновые кварциты. Чёрное - графит

Амфиболитовая фация. Турмалин - дравит

Золотой дравит развиты в метаморфитах, богатых пирротином



Гранулитовая фация. Турмалин – Ті дравит

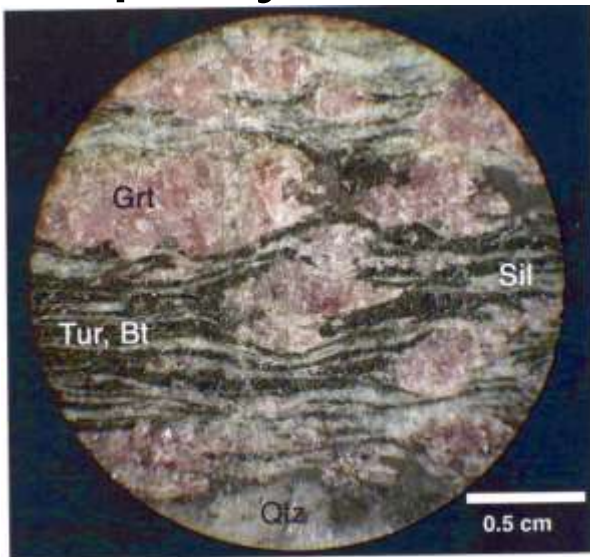


FIGURE 2. Photograph of part of the thin-section chip illustrating sheared, pink garnets surrounded by a matrix dominated by tourmaline, biotite, sillimanite, and quartz.

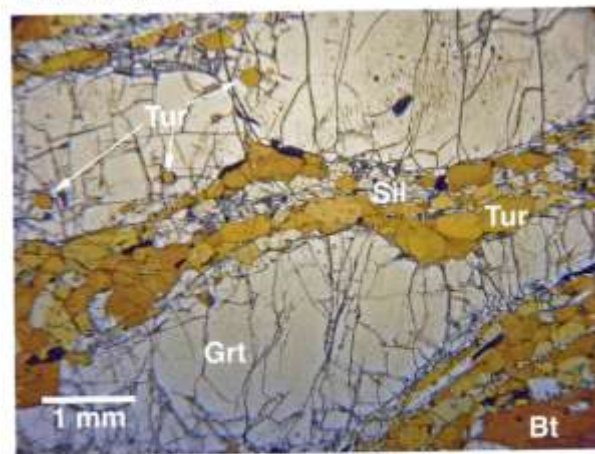
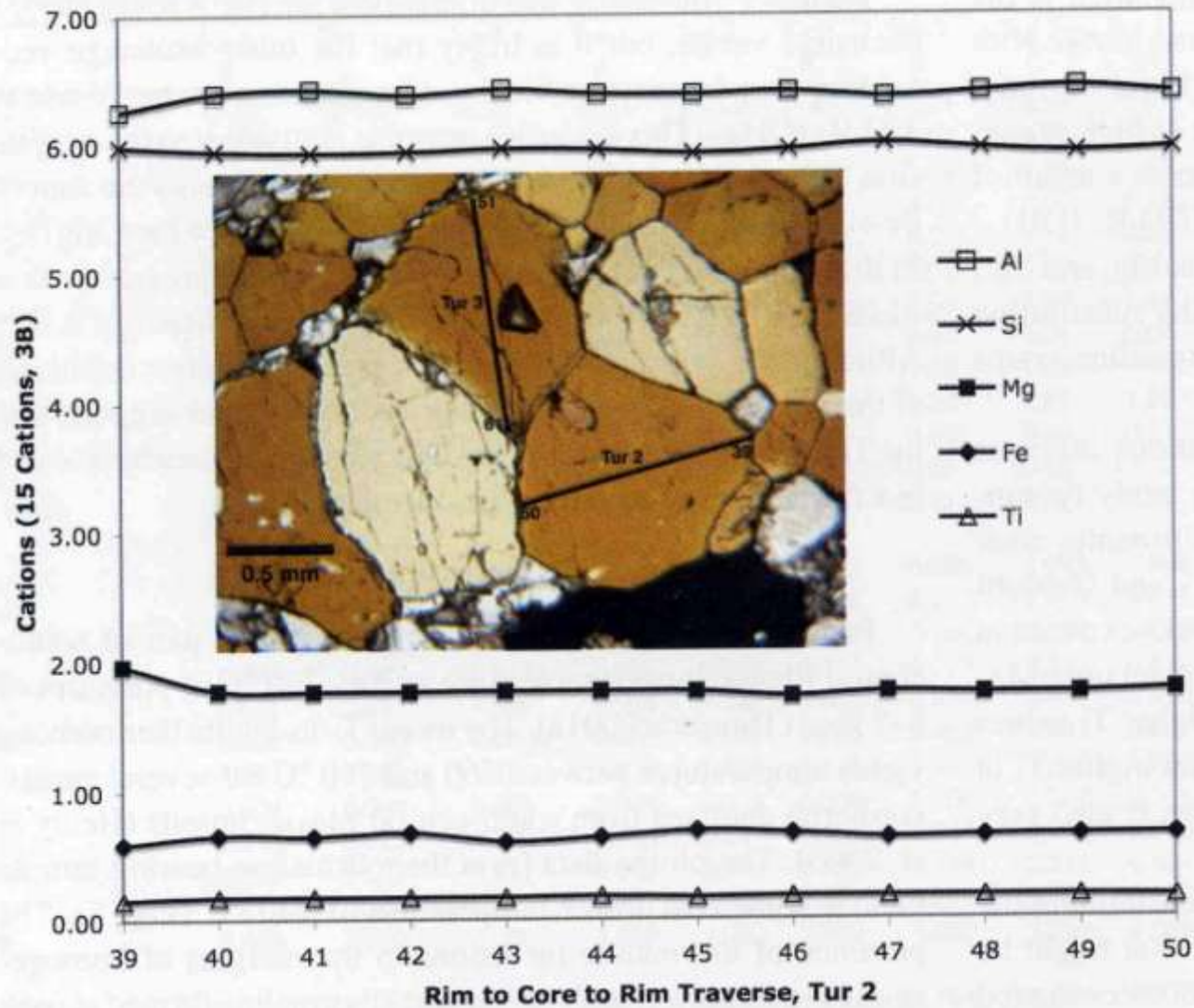


FIGURE 3. Photomicrograph (plane-polarized light) of a portion of the thin section showing prismatic sillimanite, tourmaline, large garnet grains, and a large biotite grain. The opaque mineral phase is ilmenite. Tourmaline is predominantly a matrix phase and is found only rarely as inclusions in the outer portions of garnet grains or within biotite.



Практически незональный титанистый дравит.
Merrimack, центр. Массачусетс, США

Гранулитовая фация. Турмалин - Ti-Fe дравит

Николи х

При 1 николе

Кристаллические сланцы. Алданский щит. Фото Э.М. Спиридонова

