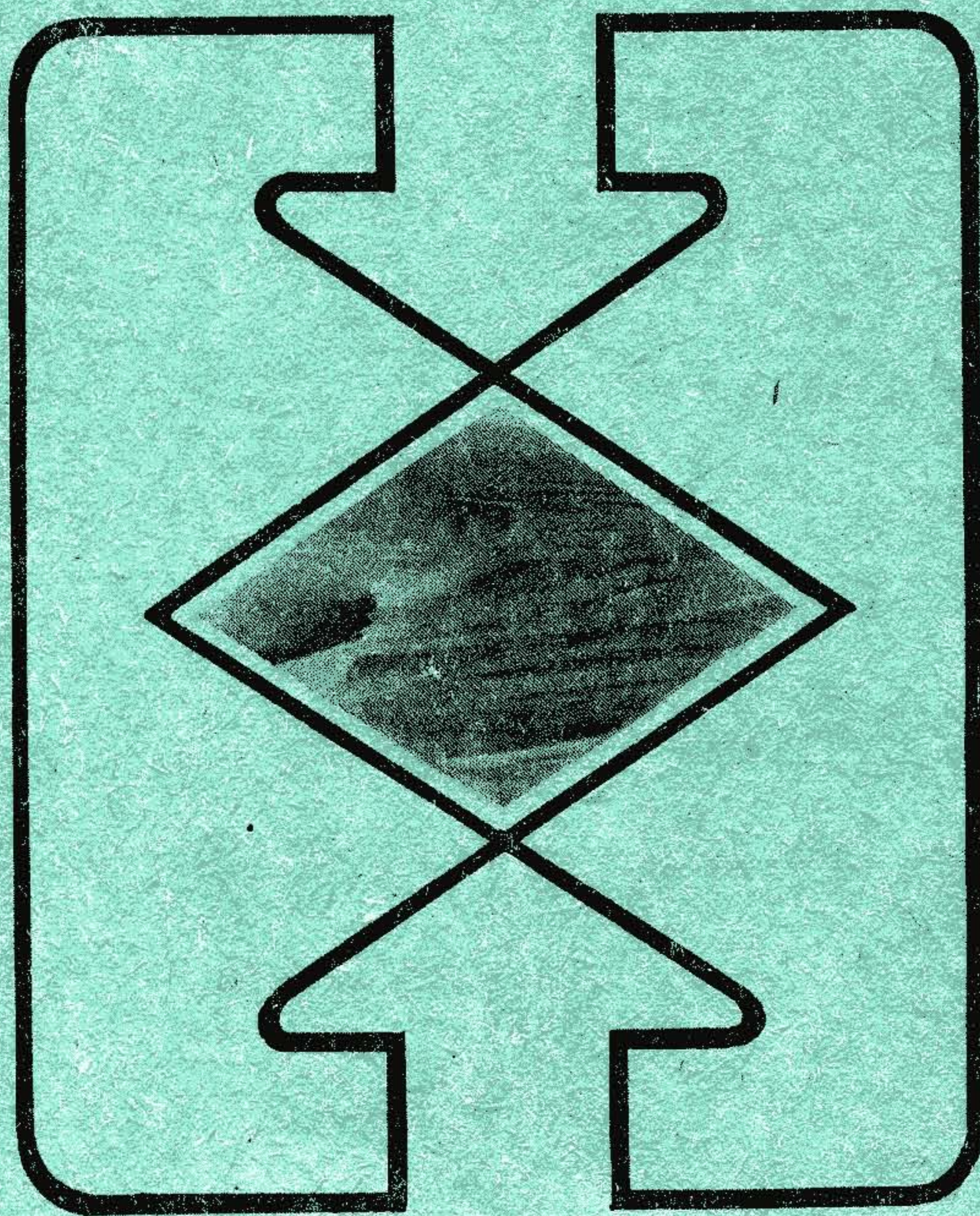


А. И. СИЗЫХ

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ
МИНЕРАЛОВ
И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ
ПОРОД



А.И.Сизых

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ
И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Учебное пособие

Кн.2

Рекомендовано Государственным комитетом
Российской Федерации по высшему образованию
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по
направлению "Геология", специальности "Гео-
химия, минералогия, петрология"

Издательство Иркутского университета
1995

УДК 552(076.5)

Представлено к изданию Иркутским государственным
университетом

Научный редактор Ф.А.Летников, акад. РАН, проф.

Рецензенты: П.И.Дорогокупец, канд.геол.-минералог.наук;
А.В.Татаринов, канд.геол.-минералог.наук

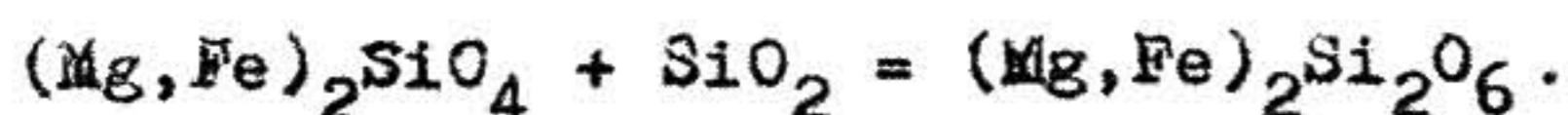
ISBN 5-7430-0547-8

(С) Сизых А.И., 1995

Группа пироксенов. По химическому составу пироксены отличаются от оливинов большим содержанием SiO_2 , также тем, что помимо катионов Mg и Fe^{2+} , в их составе участвуют Ca , Na , Li , Fe^{3+} и Al . Кроме того, в пироксене - авгите часть Si в кремнекислородных тетраэдрах замещена Al , т.е. этот пироксен относится к алюмосиликатам.

Пироксены образуются или путем преобразования оливинов, выделяющихся первыми из магмы и затем вступающих в реакцию с расплавом, или непосредственной кристаллизацией из магмы, или при процессах метаморфизма. Пироксены, возникающие за счет преобразования оливинов, замещают последние и развиваются вокруг них, обуславливая появление характерной друзитовой структуры (рис.79). Температура преобразования форстерита в пироксен клиноэнстатит равна 1557°C , температура кристаллизации пироксена-диопсида - 1391°C .

Превращение оливина в ромбический пироксен, которое происходит при повышении в расплаве содержания кремнезема, можно изобразить следующим уравнением



По кристаллохимической структуре пироксены относятся к цепочечным силикатам, в которых кремнекислородные тетраэдры соединены в непрерывные цепочки через ионы кислорода. Элементарная ячейка такой цепочки будет состоять из 2 Si и 6 O и иметь четырехвалентный отрицательный заряд (рис.80). Отрицательная валентность кремнекислородных тетраэдров в пироксенах погашается катионами Mg , Fe^{2+} , Ca , Na , Li , а также Fe^{3+} и Al .

Физические свойства пироксенов находятся в полном соответствии с их структурой. Цепочки кремнекислородных тетраэдров в них вытянуты в одном направлении - вдоль оси c , поэтому кристаллы пироксенов имеют вытянутый облик в отличие от изометричных зерен оливина, где основой строения являются изолированные тетраэдры. Благодаря тому, что связь через кислород в цепочке кремнекислородных тетраэдров ($\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$) более прочна, чем связь через катионы между цепочками, все пироксены обладают совершенной спайностью по призме (110), которая проходит параллельно вытянутости кристаллов. Угол между трещинами спайности в пироксенах равен 87° , причем разрезы, перпендикулярные к призме, имеют тетрагональный облик. В связи с менее плотной упаковкой по сравнению с соответствующими по составу оливинами, пироксены имеют несколько меньшую плотность и несколько меньшие показатели преломления.



Рис.79. Друзитовая структура (а - оливин; б - пироксен; с - амфибол)

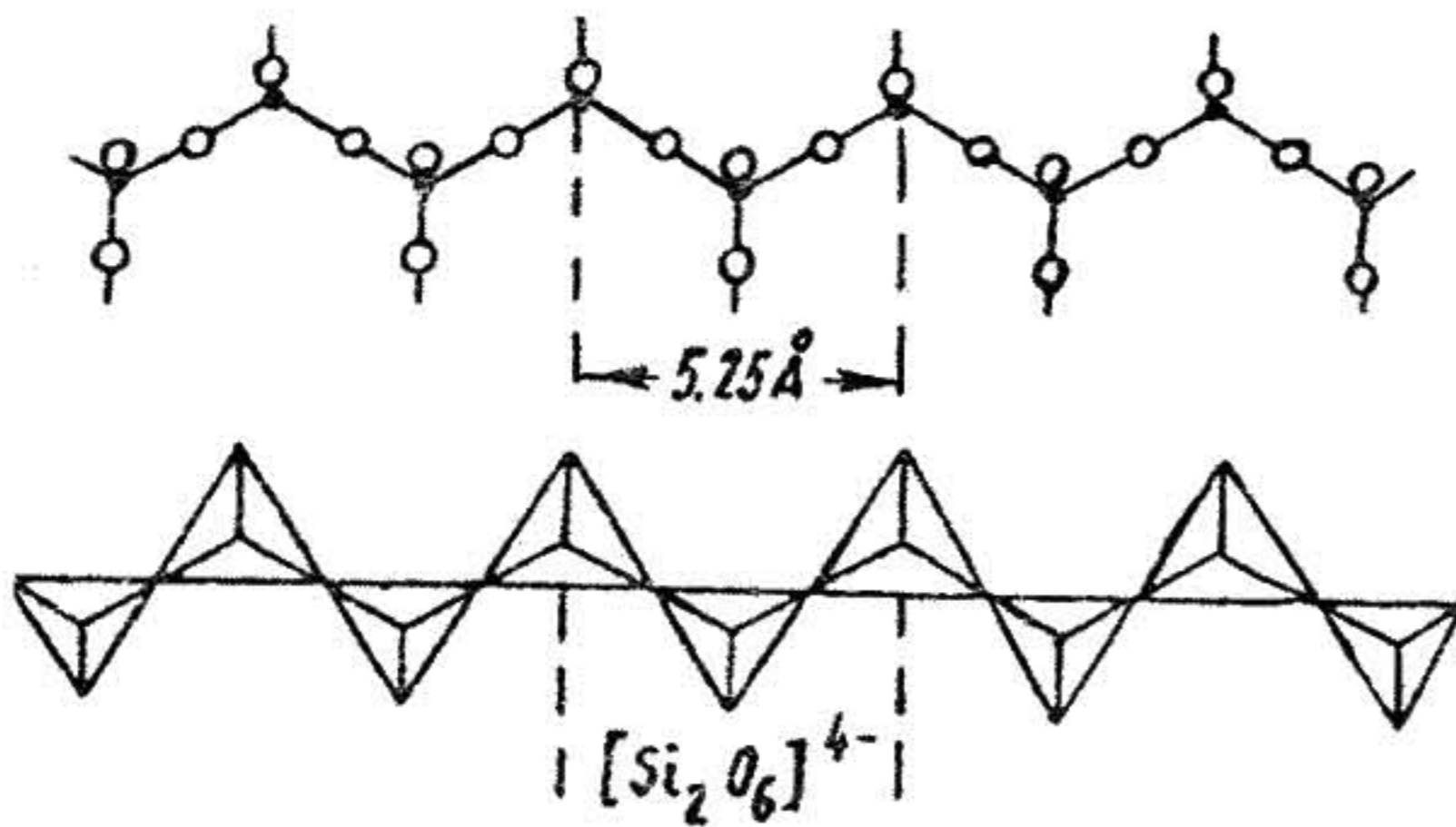


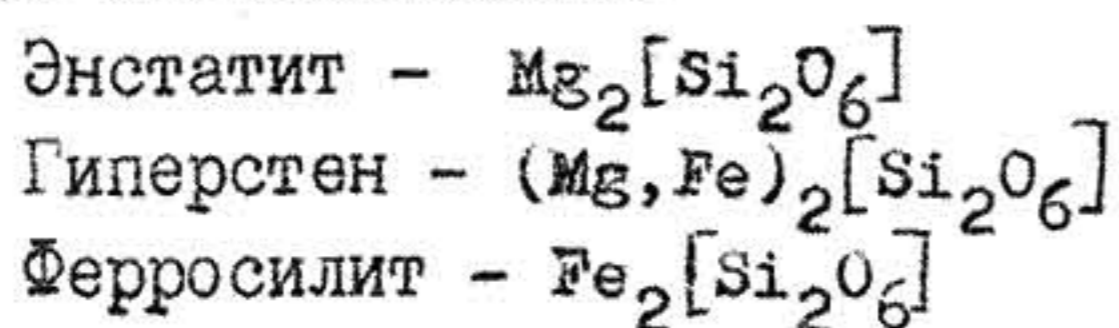
Рис.80. Непрерывная цепочка кремнекислородных тетраэдров в пироксенах. Элементарная ячейка состоит из 2 Si и 6 O (Si - черные точки, O - белые кружки)

Пироксены, в составе которых участвуют катионы Na , Li , Fe^{3+} , Al , кристаллизуются в моноклинной сингонии. Пироксены с катионами Ca , Mg , Fe^{2+} , богатые кальцием (содержащие более 25 мол.% CaSiO_3) также являются моноклинными. При незначительном содержании кальция (менее 15 мол.% CaSiO_3) среди них могут быть как моноклинные, так и ромбические формы. Так, в случае разностей, содержащих более 30 мол.% FeSiO_3 , высокотемпературные пироксены образуют моноклинные кристаллы (пижонит), низкотемпературные - ромбические. Магнезиальные разности (менее 30 мол.% FeSiO_3) в горных породах находятся только в ромбической модификации.

Классификацию пироксенов в соответствии с их кристаллографическими особенностями и преобладающими в их составе катионами можно представить в следующем виде:

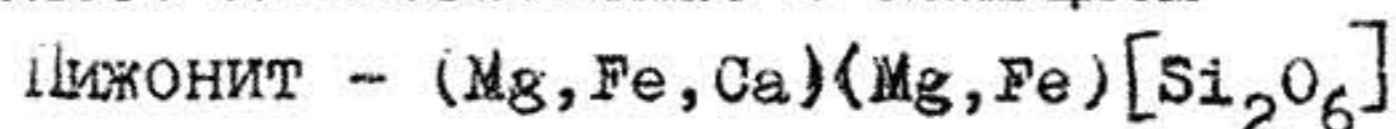
Ромбические пироксены:

Железо-магнезиальные:

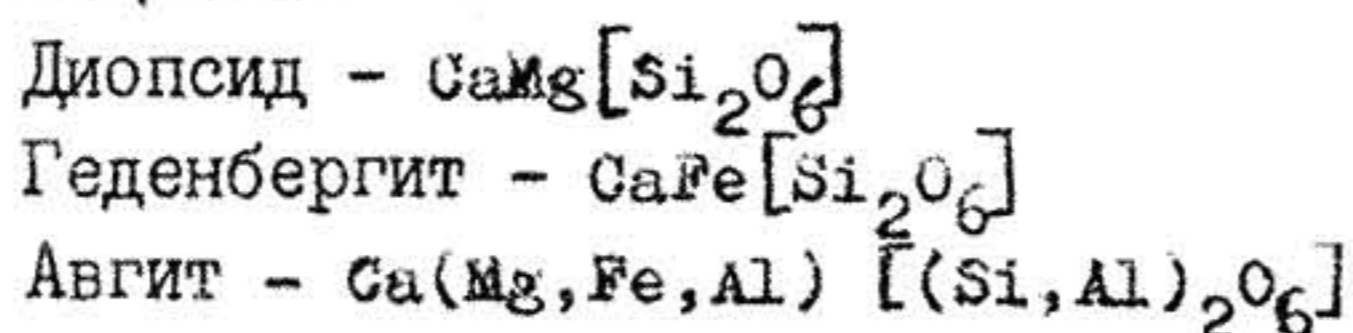


Моноклинные пироксены

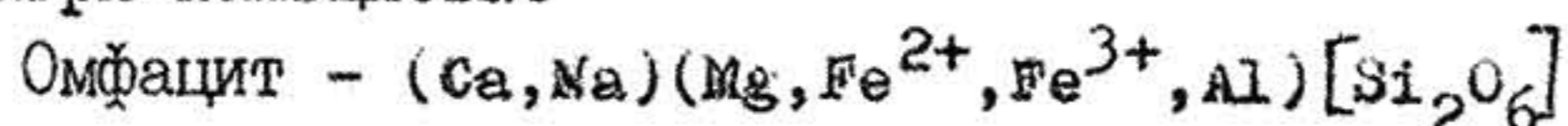
1. Железо-магнезиальные с кальцием



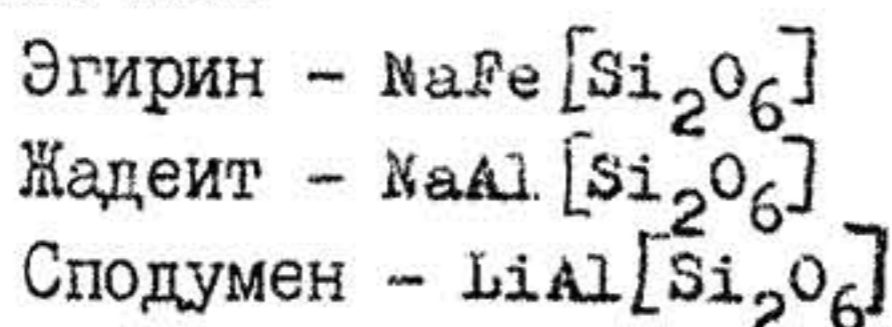
2. Кальциевые



3. Натри-кальциевые



4. Щелочные



Ромбические пироксены (ортопироксены) представляют собой непрерывный изоморфный ряд, крайними членами которого являются энстатит - $Mg_2[Si_2O_6]$ и ферросилит - $Fe_2[Si_2O_6]$ (рис.81). Среди природных ортопироксенов к энстатитам относятся разновидности, содержащие менее 5% окиси железа, к бронзитам - разновидности, содержащие 5-14% окиси железа и к гиперстенам - ортопироксены, содержащие более 14% окиси железа. Разновидности ромбических пироксенов выделяются по содержанию в их составе ферросилита (в %): 0-12 - энстатит, 12-30 - бронзит, 30-50 - гиперстен, 50-70 - ферригиперстен, 70-88 - эвлит, 88-100 - ферросилит (рис.82). Оптические свойства от энстатита к ферросилиту изменяются закономерно (рис.83): при замещении магния железом возрастают показатели преломления: n_g = от 1,658 до 1,788, $n_{ш}$ = от 1,653 до 1,770, n_p - от 1,650 до 1,768 и двупреломление (от 0,007 до 0,020).

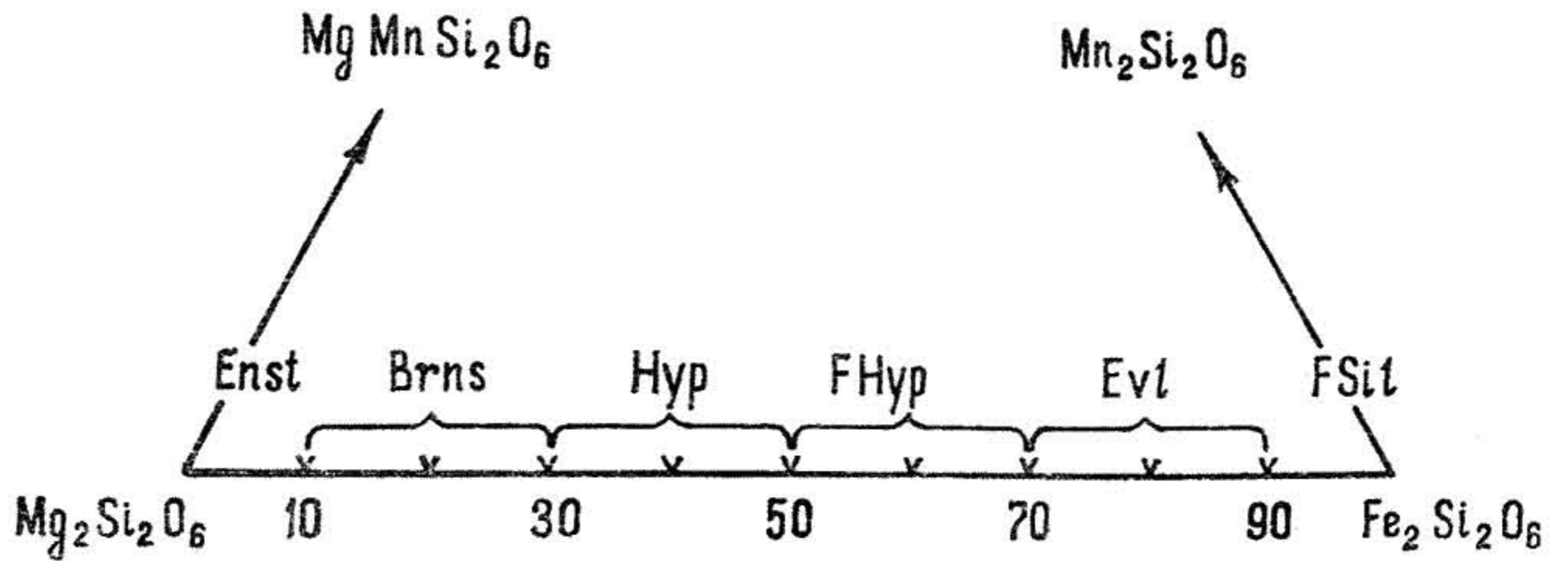


Рис. 81. Смешимость фаз в системе $Mg_2[Si_2O_6] - Fe_2[Si_2O_6] - Mn_2[Si_2O_6]$ в молекулярных долях, %. Enst - энстатит; Brns - бронзит; Hyp - гиперстен; FHyp - ферро гиперстен; Evl - эвлит; FSi1 - ферросилит

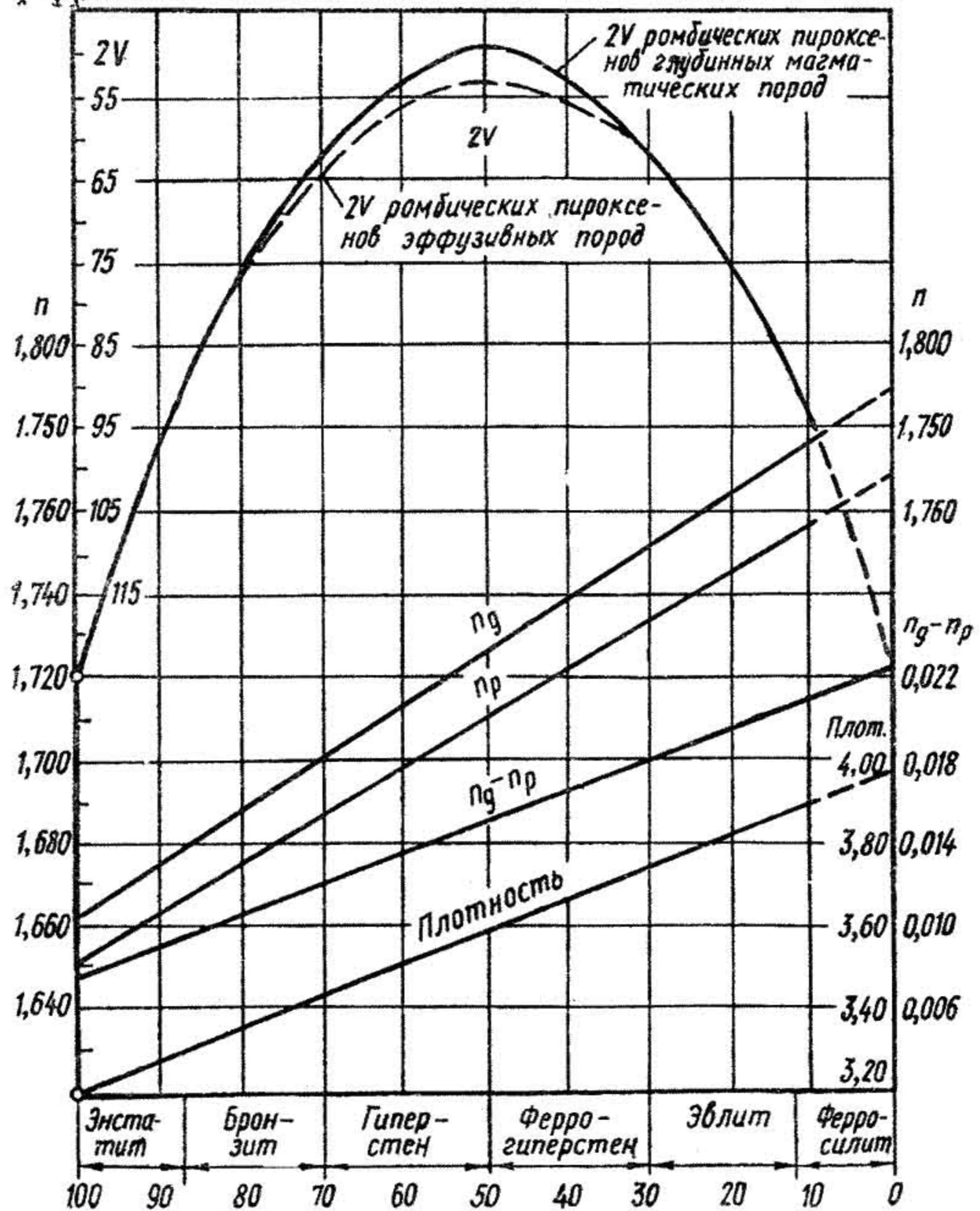


Рис. 82. Зависимость оптических свойств и плотности от химического состава в ряду ромбических пироксенов

Рассмотрим подробнее оптические свойства характерных ромбических пироксенов.

Э н с т а т и т - $Mg_2[Si_2O_6]$. Группа ромбических пироксенов. Ромбическая сингония.

Под микроскопом наблюдается в виде широкопластинчатых неправильных зерен или идиоморфных кристаллов с почти квадратными или восьмиугольными поперечными сечениями, с двумя системами совершенных трещин спайности по призме (110). В шлифе бесцветный или очень слабо окрашен. Появление окраски обусловлено присутствием железа, изоморфно замещающего магний. Двойники у энстатита относительно редки. Форма кристалла дана на рис.84.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,660-1,664$; $n_m = 1,653-1,656$; $n_p = 1,651-1,653$; $n_g - n_p = 0,009-0,011$. Высокий рельеф, ясная шагреновая поверхность. У окрашенных разностей слабый плеохроизм: по N_g - зеленоватый; по N_m - желтоватый; по N_p - бледно-желтый или бесцветный. Абсорбция по схеме $N_g > N_m > N_p$. Угол угасания - 0° . Прямое погасание наблюдается на прямоугольных разрезах с одной системой трещин спайности, перпендикулярных к плоскости шлифа. На срезах, наклонных к плоскости спайности, отмечается прямое и косое погасания. Разрезы с двумя системами спайности всегда дают косое погасание. Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей - $2V = 70 \pm 10$. Дисперсия $r < v$. Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных N_m , белая, серая, первого порядка. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010).

В к л ю ч е н и я. Энстатит часто содержит мелкие зерна магнетита, апатита, кварца, вулканического стекла. Нередки газовой-жидкие включения, иногда вытянутые цепочкой параллельно удлинению минерала.

Р а з н о в и д н о с т и. Клиноэнстатит - двуосный, оптически положительный, с косым угасанием - c : $n_g = 22^\circ$. Редкий.

И з м е н е н и я. При постмагматических наложенных процессах метаморфизма и метасоматоза по энстатиту развивается серпентин и магнетит, чаще всего его пластинчатая разновидность, бастит. В отдельных случаях по энстатиту развивается тальк, амфибол, хлорит и уралит.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Гиперстен, авгит, диопсид. От гиперстена энстатит отличается оптическим знаком (гиперстен - двуосный, отрицательный) и слабым плеохроизмом, чаще его отсут-

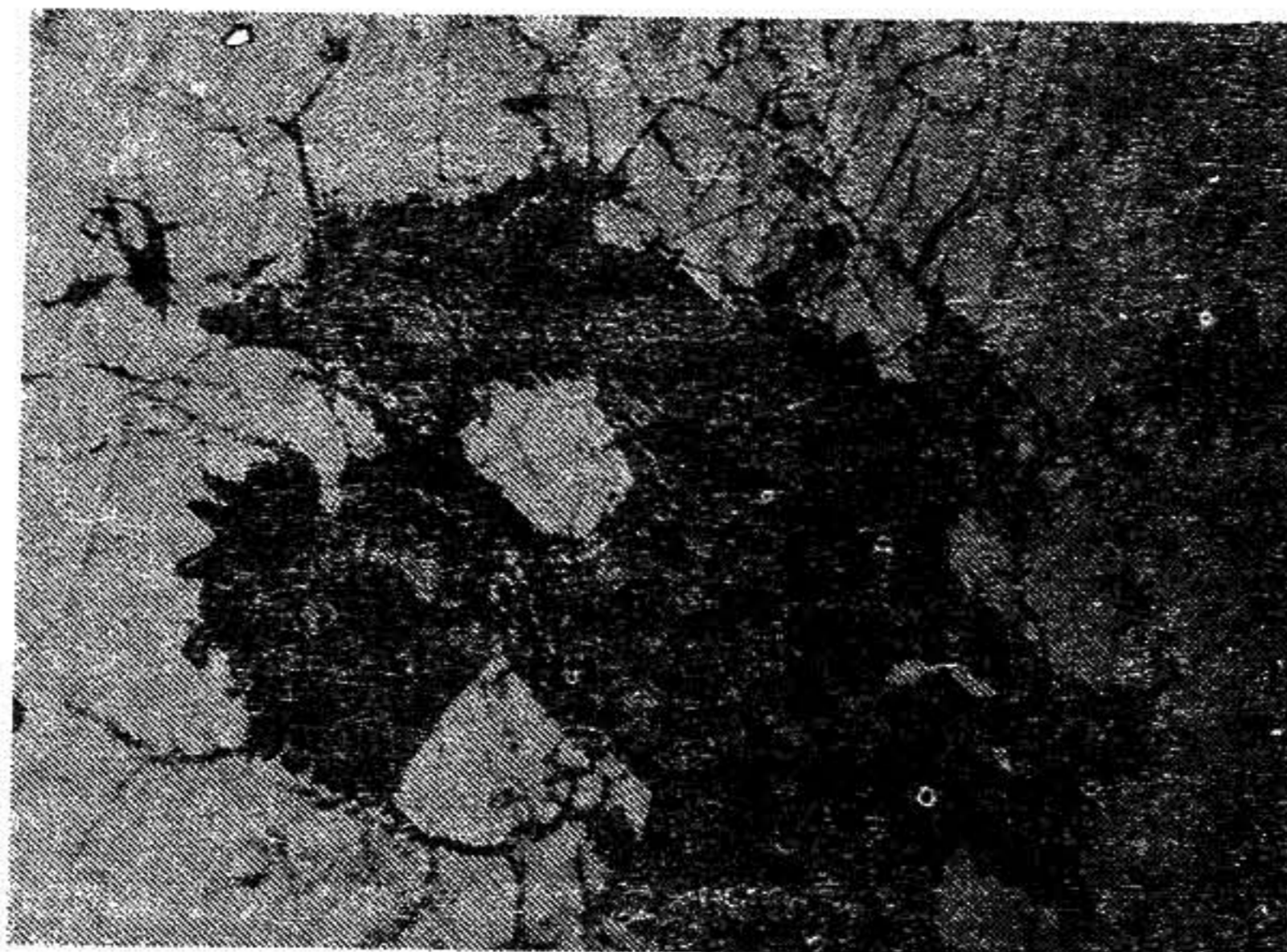


Рис.83. Энстатит

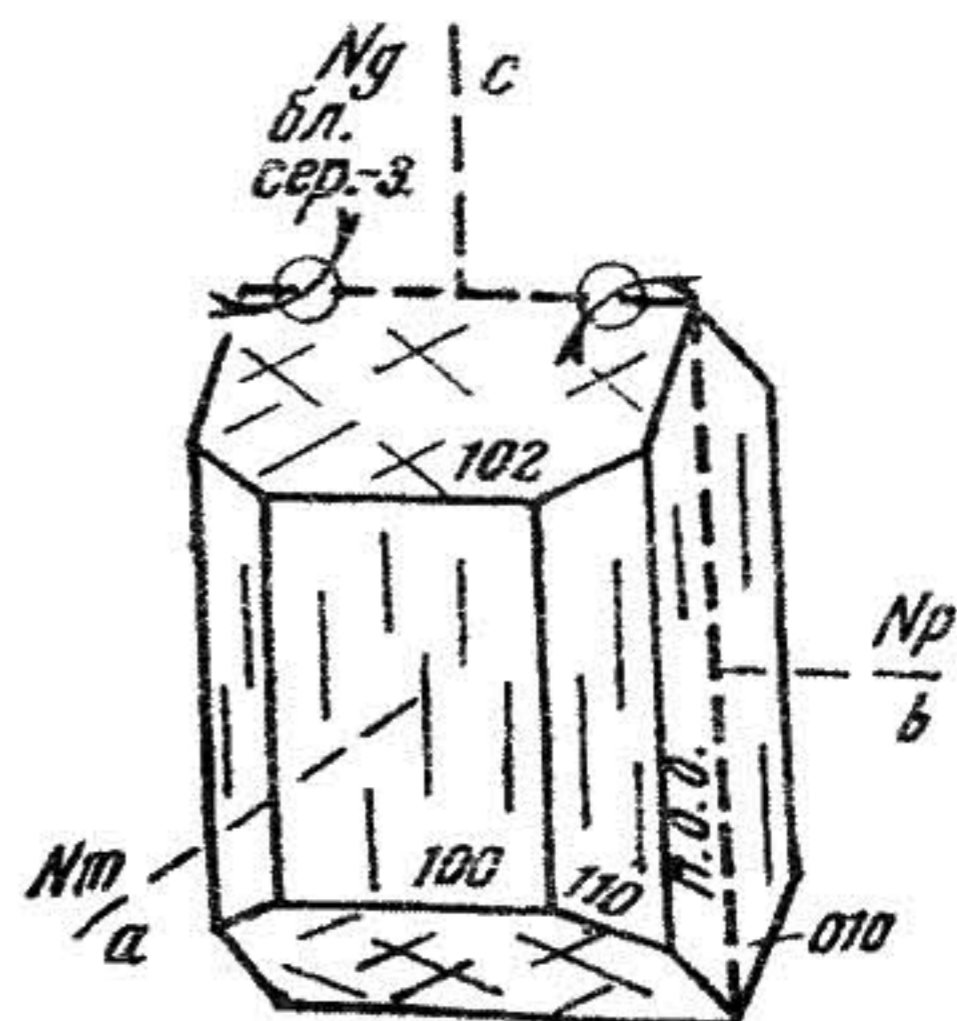


Рис.84. Бронзит

вием. От типичных моноклинных пироксенов – авгита, диопсида и др. отличается более низким двупреломлением и прямым погасанием в вертикальных срезах.

Г е н е з и с. Типичный магматогенный минерал, характерный для богатых магнием ультраосновных, основных интрузивных и эффузивных пород, таких как перидотиты, пироксениты, габбро-нориты, базальты. Иногда встречается в диоритах и андезитах; относительно редко – в гранитах. Как метаморфогенный энстатит отмечается в породах контактового метаморфизма – пироксеновых роговиках и скарнах в парагенезисе с моноклинными пироксенами, плагиоклазом, гранатом и др. минералами. Значительно реже энстатит встречается в кристаллосланцах гранулитовой фации регионального метаморфизма в ассоциации с диопсидом, магнезиальным гранатом, плагиоклазом, кварцем и др. минералами.

Б р о н з и т – $(Mg, Fe)_2[Si_2O_6]$. Группа ромбических пироксенов. Ромбическая сингония.

Бронзит является промежуточным минералом по составу между энстатитом и гиперстеном. Железо, изоморфно замещающее магний, содержится в количестве от 5 до 14% (см. рис 31). Под микроскопом наблюдается в виде таблитчатых зерен (см. рис.83) или идиоморфных кристаллов с квадратными или восьмиугольными поперечными сечениями. Спайность совершенная в двух направлениях по призме (110). В шлифе бесцветный, но иногда слабо окрашен в буроватый цвет. Появление

окраски обусловлено изоморфным замещением магния железом. Двойники у бронзита встречаются относительно редко.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,662-1,666$; $n_m = 1,655-1,659$; $n_p = 1,649-1,651$; $n_g - n_p = 0,013-0,015$. Высокий рельеф, четкая шагрёневая поверхность. У окрашенных разностей бронзита выявляется слабый плеохроизм: по N_g - светло-зеленый; по N_m - желто-зеленый, светло-желтый, желтовато-бурый; по N_p - светло-желтый, буровато-красный, красный. Схема абсорбции $N_g > N_m > N_p$. Угол угасания равен 0° в разрезах с одной системой трещин спайности. Разрезы с двумя системами спайности всегда дают косое погасание. Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей у бронзита - $2V = 80^\circ$ несколько больше, чем у энстатита ($2V = 70^\circ$). Дисперсия $r < v$. Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных N_m , серая, желтая первого порядка. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010).

В к л ю ч е н и я. Бронзит часто содержит мелкие зерна магнетита, апатита, кварца и других минералов.

И з м е н е н и я. При наложенных, повторных процессах метаморфизма и метасоматоза по бронзиту развивается серпентин, тальк, амфибол, хлорит, уралит и магнетит.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Энстатит, гиперстен, авгит, диопсид. От энстатита бронзит отличается величиной угла оптических осей - у энстатита угол $2V = 70^\circ$, у бронзита - 80° ; от гиперстена бронзит отличается оптическим знаком (гиперстен - двуосный, отрицательный) и слабым плеохроизмом; от типичных моноклинных пироксенов - авгита, титан-авгита и др. отличается более низким двупреломлением и прямым погасанием в вертикальных срезах.

Г е н е з и с. Магматогенный и метаморфогенный минерал. Как магматогенный минерал бронзит характерен для ультраосновных, основных интрузивных и эффузивных пород - пирidotиты, пироксениты, габбро-нориты, базальты. Реже встречаются в дисритах и андезитах; спорадически - в гранитах. Как метаморфогенный бронзит отмечается в породах регионального метаморфизма гранулитовой фации и породах контактового метаморфизма - пироксеновых роговиках. Как в том, так и в другом случаях бронзит отмечается в ассоциации с моноклинными пироксенами, гранатом, плагиоклазом, кварцем, биотитом, амфиболом и др. минералами.

М о н о к л и н н ы е п и р о к с е н ы. Моноклинные пироксены (клинопироксены), по сравнению с ортопироксенами, более разно-

образны и шире распространены. По элементному составу среди моноклинных пироксенов различают: железо-магнезиальные, кальциевые, натрий-кальциевые и щелочные клинопироксены. Химический состав железо-магнезиальных и кальциевых клинопироксенов в координатах $MgSiO_3 - FeSiO_3 - CaSiO_3$ представлены на рис.85.

Как в ромбических, так и в моноклинных пироксенах, за исключением пижонита, плоскостью оптических осей является второй пинакоид (010). В пижонитах плоскость оптических осей также может располагаться параллельно второму пинакоиду, но в большинстве случаев она перпендикулярна к ней. Угол погасания с осью $c: N_g$ имеет разную величину в моноклинных пироксенах разного состава (рис.86). Ниже рассмотрим оптические свойства моноклинных пироксенов метаморфических и магматических пород.

П и ж о н и т - $(Ca, Mg)(Mg, Fe)[Si_2O_6]$. Группа моноклинных пироксенов. Моноклинная сингония. По составу промежуточный между диопсидом и клиноэнстатитом, благодаря чему имеет промежуточные оптические свойства. В шлифе встречается в виде широкопластинчатых, короткопризматических кристаллов и неправильных зерен. Поперечные сечения почти квадратные или восьмиугольные. Спайность совершенная, по призме (110), в двух направлениях, пересекается под углом в 87° . Часто простые двойники, реже полисинтетические. Бесцветный или окрашенный в розоватый, зеленоватый или коричневый цвет. Форма кристалла пижонита дана на рис.87.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,705-1,751$; $n_m = 1,684-1,722$; $n_p = 1,682-1,722$; $n_g - n_p = 0,023-0,029$. Высокий рельеф и ясная шагреневая поверхность. Плеохроизм слабый: по N_g - светло-зеленый, светло-желтый; по N_m - розовый, светло-зеленовато-коричневый; по N_p - розоватый, желтовато-розовый. Схема абсорбции $N_g \approx N_m \approx N_p$. Угол угасания с: N_g колеблется от 22 до 44° . Удлинение нейтральное. Угол оптических осей - $2V$ меняется в пределах от 0 до 30° , с дисперсией $r < v$ в плоскости, перпендикулярной (010), и с $r > v$ в плоскости (010). Интерференционная окраска в срезах, параллельных плоскости оптических осей, второго порядка. Пл. о.о. перпендикулярна плоскости (010).

В к л ю ч е н и я. Пижонит содержит пойкилитовые включения мелких лейст плагиоклаза, зерен магнетита и апатита.

И з м е н е н и я. При постмагматических процессах по пижониту развивается серпентин, уралит, реже биотит, хлорит с одновременным выделением кальцита, кварца и эпидота.

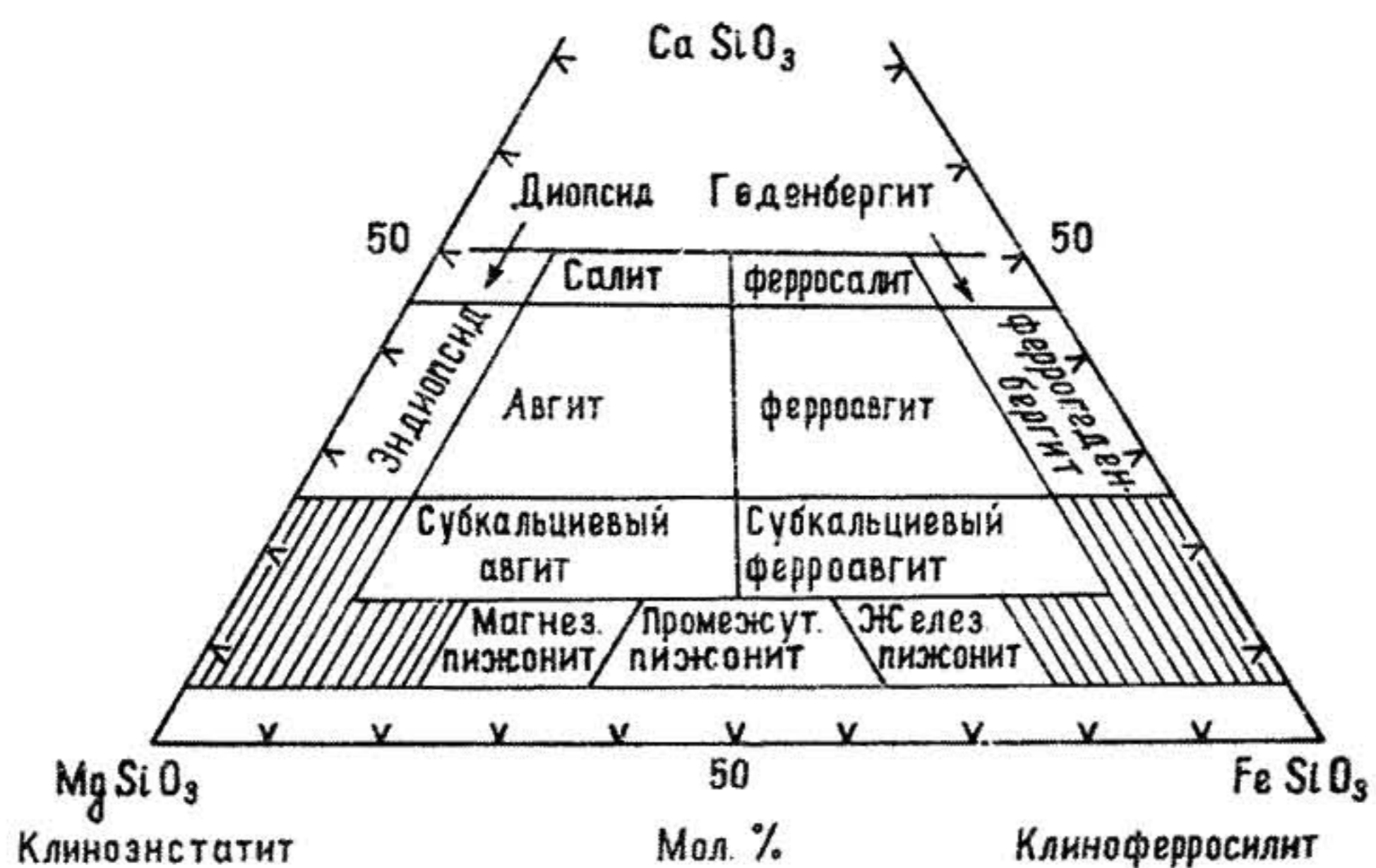
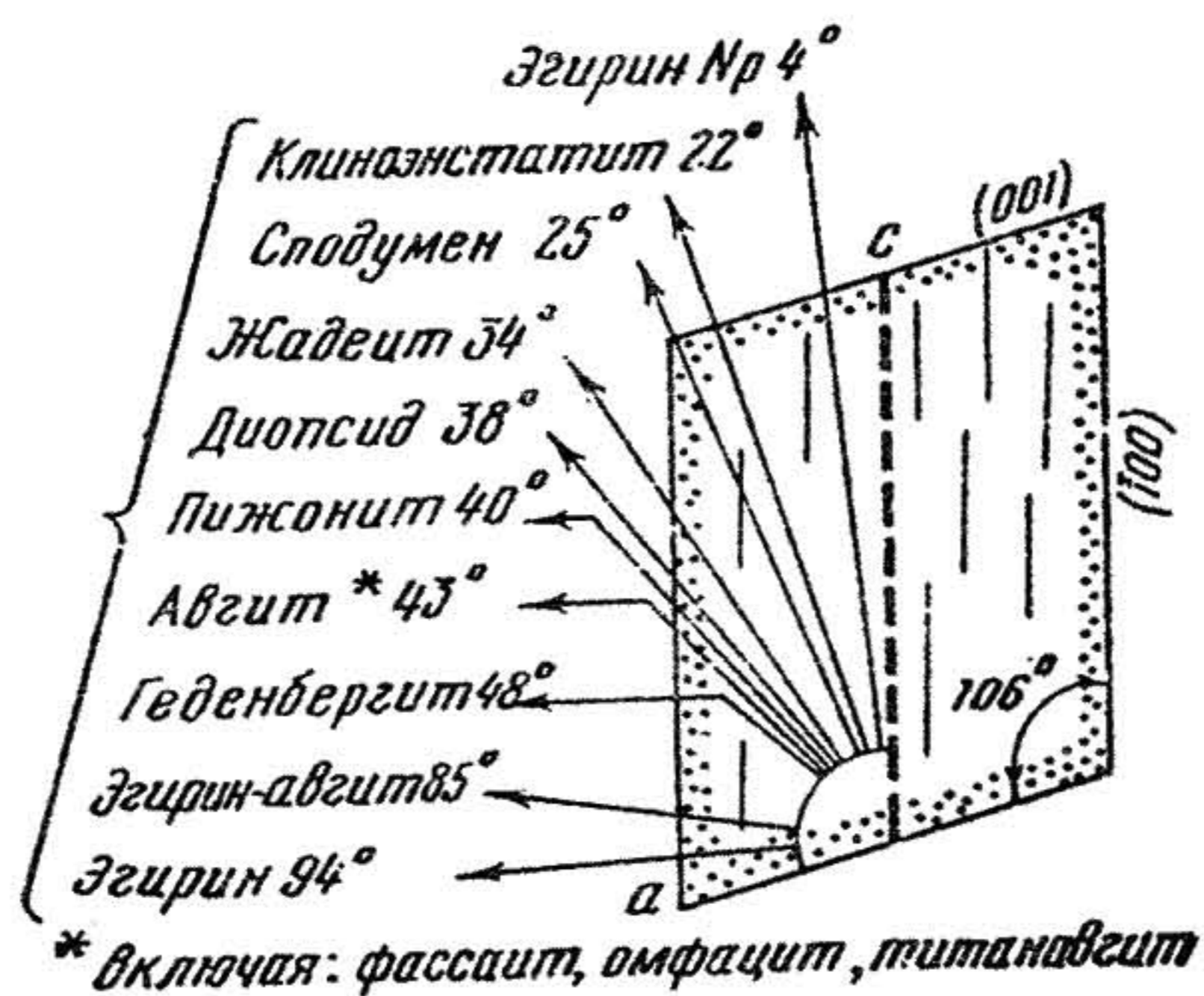


Рис.85. Состав клинопироксенов в координатах $MgSiO_3 - FeSiO_3 - CaSiO_3$



* включая: фассаит, омфациит, титанавгит

Рис.86. Углы погасания моноклинных пироксенов на разрезе, параллельном (010)

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Энстатит, оливин, авгит. От энстатита и оливина пижонит отличается большим двупреломлением; от авгита - меньшим углом оптических осей (у авгита угол $2V = 54-60^\circ$).

Г е н е з и с. Типичный магматогенный минерал, характерный для основных интрузивных и эффузивных пород типа габбро, диабаз, базальта. Широко развит в сибирских траппах.

Д и о п с и д - $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ и г е д е н б е р г и т - $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Группа клинопироксенов. Моноклинная сингония.

Эти два минерала могут давать смеси в любых пропорциях, т.е. образуют подобно плагиоклазам изоморфный ряд (рис.88).

С изменением химического состава моноклинных пироксенов диопсид-геденбергитового ряда постепенно изменяются оптические свойства. Это хорошо видно на диаграмме (рис.89).

Для клинопироксенов диопсид-геденбергитового ряда характерны удлиненно-призматические, короткостолбчатые кристаллы с восьмигранными очертаниями в сечениях, перпендикулярных двум системам трещин совершенной спайности, пересекающихся под углом 87° . Одна система спайности наблюдается по призме (110). Довольно часто образуют простые или полисинтетические двойники. Хорошо развита отдельность в разновидности клинопироксенов, называемой диаллагом. Бесцветные или зеленоватые. Форма кристалла диопсид-геденбергита дана на рис.90.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Диопсид двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,696-1,700$; $n_m = 1,672-1,676$; $n_p = 1,665-1,669$; $n_g - n_p = 0,031-0,035$. Рельеф очень высокий, шагреневая поверхность резкая. Угол угасания с с: N_g колеблется от 37 до 44° . Удлинение диопсида положительное. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Угол оптических осей - $2V = 56-63^\circ$. Дисперсия $r > v$. В шлифе в большинстве случаев бесцветный или слабо окрашен в зеленоватый цвет. Окрашенный диопсид слабо плеохроирует по схеме: $N_p \geq N_g > N_m$; по N_g - зеленоватый; по N_m - красновато-коричневый; по N_p - зеленоватый. Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных N_g - серая, первого порядка; N_m - синевато-зеленая, второго порядка; N_p - желтая, первого порядка.

У геденбергита показатели преломления: $n_g = 1,756$; $n_m = 1,735$; $n_p = 1,727$; $n_g - n_p = 0,029$. Резкий рельеф и шагреневая поверхность. Угол угасания с осью с: N_g равен 47° . Угол оптических осей $2V = 60-62^\circ$. Дисперсия $r > v$. В шлифе окрашен и плеохроирует: по N_g - светло-сине-зеленый, темно-зеленый; по N_m - желтовато-зеленый; по N_p -

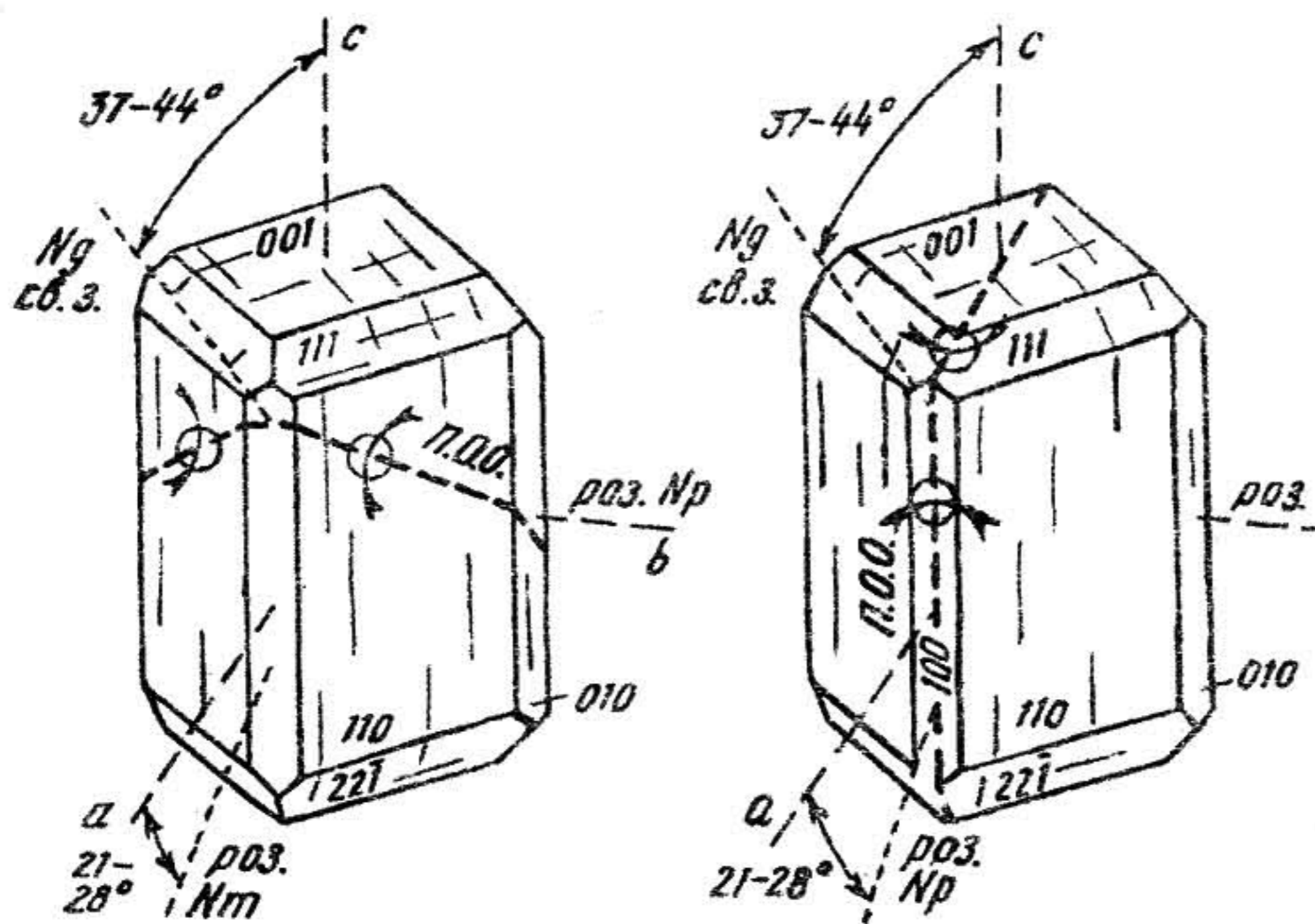


Рис. 87. Пижонит

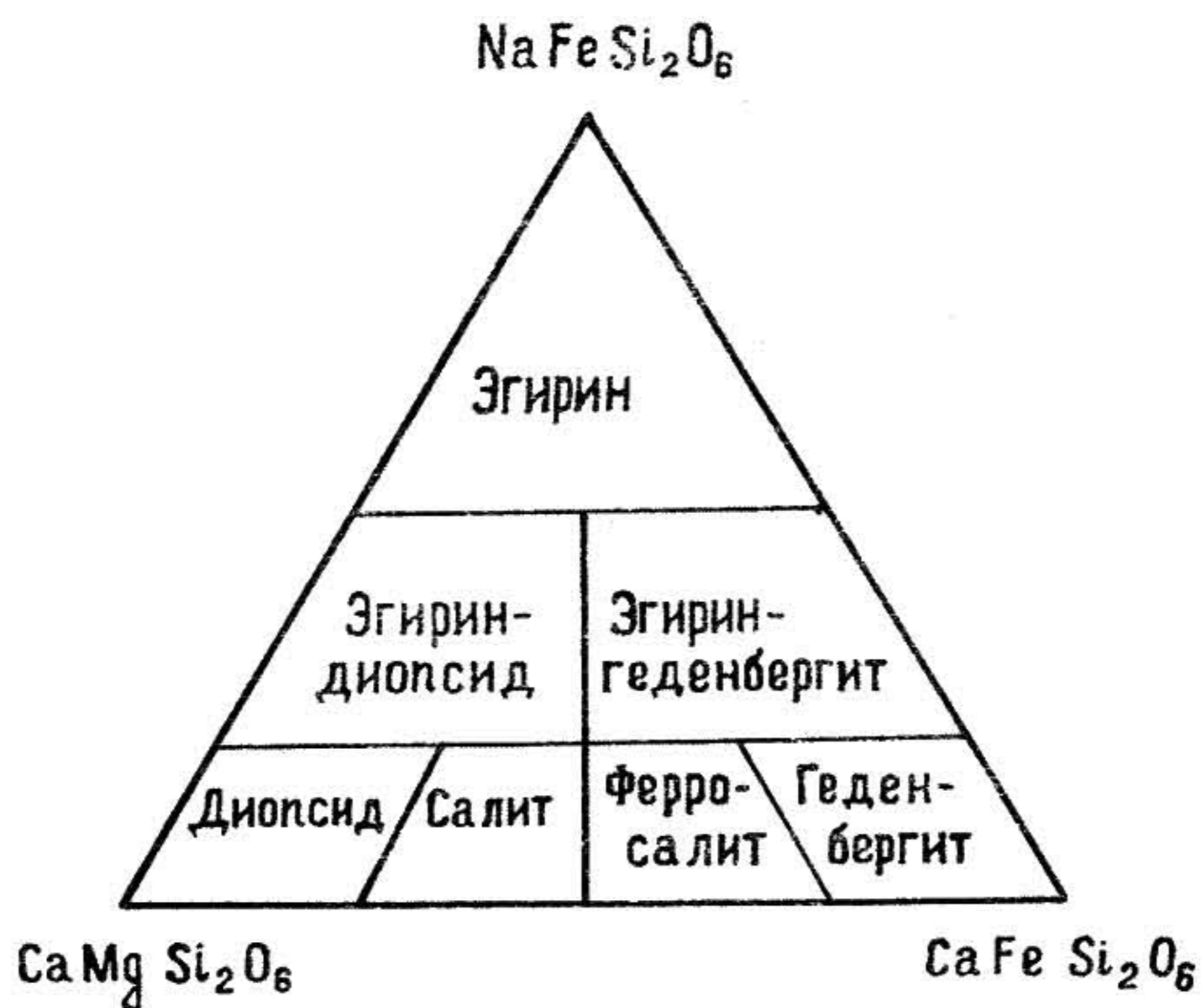


Рис. 88. Состав моноклиновых пироксенов в координатах $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6] - \text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6] - \text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$

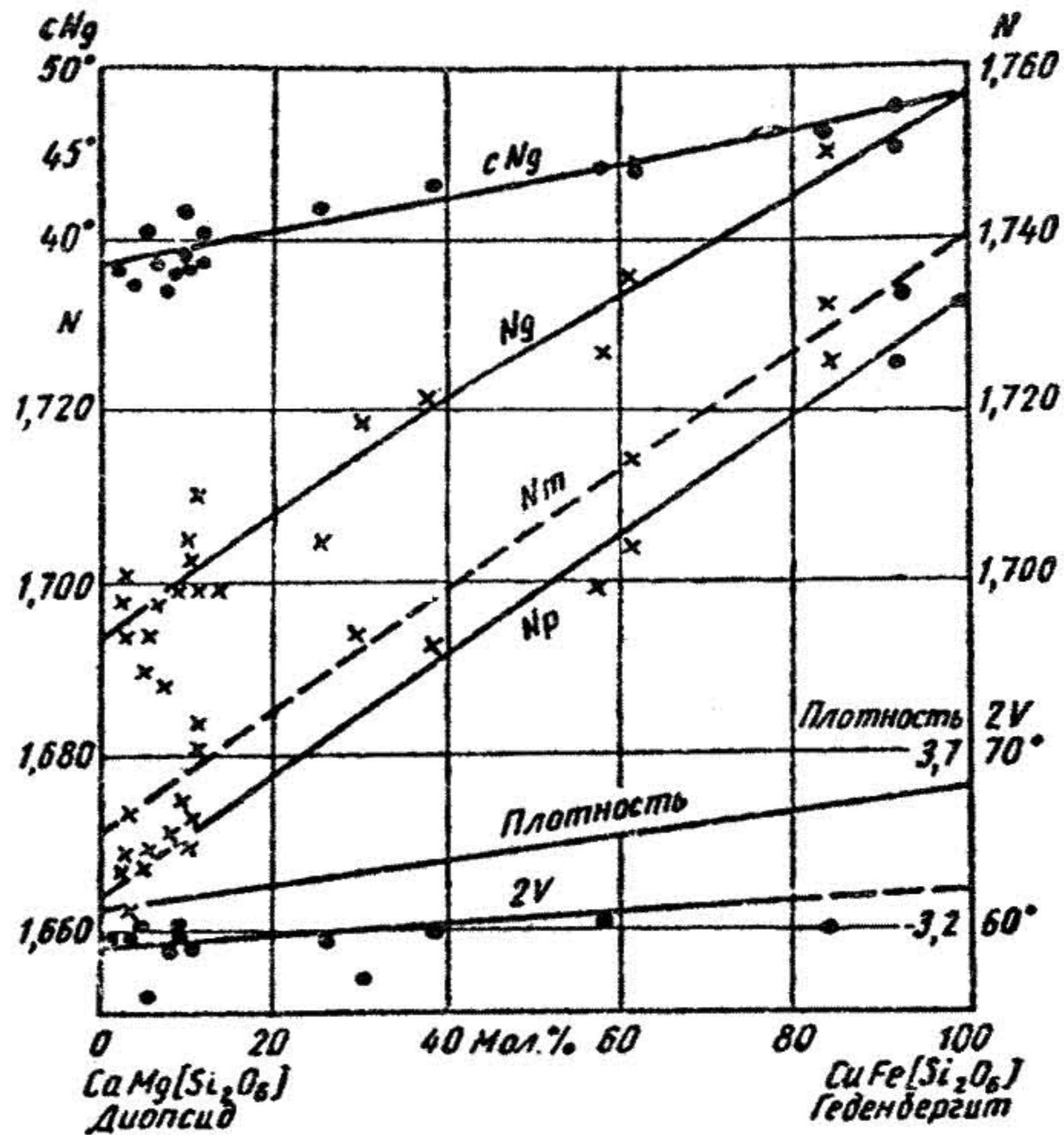


Рис. 89. Диаграмма изменения состава и оптических свойств в ряду $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6] - \text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$

светло-зеленый. Таким образом, геденбергит от диопсида отличается окраской и более высоким преломлением.

В к л ю ч е н и я. Наблюдаются включения магнетита, сфена, апатита, кварца, шпинели и др. минералов.

И з м е н е н и я. При повторных, наложенных процессах метаморфизма по диопсиду развивается амфибол тремолит-актинолитового ряда, хлорит, эпидот, реже антигорит (серпентин) с кальцитом и кварцем.

Р а з н о в и д н о с т и. Диопсид и геденбергит в чистом виде встречаются весьма редко. Кроме минерала промежуточного между ними состава - салита в природе часто встречается минерал пижонит - промежуточный между диопсидом и клиноэнстатитом. Кроме того, известны зеленые переходные к эгирину - эгирин-диопсид и эгирин-геден-бергит, авгиту и т.п.

Р а з н о в и д н о с т и. В зависимости от примесей микроэлементов среди диопсидов выделяются следующие разновидности: Cr^{3+} -

хромдиопсид; V^{3+} - лавровит; $Mn^{2+}Zn^{2+}$ - джефферсонит. По окраске среди диопсидов выделяют: виалан - голубой диопсид; антохроит - светло-розовый диопсид; смарагдит - изумрудно-зеленый диопсид. Кроме того, некоторые разновидности диопсида имеют местные географические названия: байкалит - голубовато-зеленые хорошо образованные кристаллы со Слюдянских месторождений флогопита (оз. Байкал); алаит - зеленый диопсид из местечка Ала (Италия).

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Амфиболы, эпидот, оливин, авгит. От амфиболов диопсид и геденбергит отличаются более грубой спайностью, пересекающейся под углом 87° (у амфиболов угол 56°), большим углом угасания, чем у амфиболов. В срезах без спайности диопсид и геденбергит очень похожи на эпидот, но у эпидота малый угол угасания ($b : N_m = 0^\circ$; $c : N_p = 0-5^\circ$; $a : N_g = 30^\circ$) и аномальные цвета интерференции. От похожего авгита диопсид и геденбергит отличаются меньшим углом угасания и большим двупреломлением.

Г е н е з и с. **Метаморфогенный и магматогенный.** Метаморфогенный диопсид характерен для пород регионального метаморфизма амфиболитовой и гранулитовой фаций, где он находится в парагенезисах с амфиболами, ромбическими пироксенами, гранатом пироп-гроссуляр-андрадитового ряда, плагиоклазом, биотитом, кварцем и др. минералами. Диопсид широко распространен в породах контактового метаморфизма амфибол-роговиковой и пироксен-роговиковой фаций совместно с везувияном, волластонитом, скаполитом, гранатом, амфиболом, кальцитом, плагиоклазом и др. минералами.

Магматогенный диопсид отмечается в кислых, средних, основных и ультраосновных породах совместно с оливином, амфиболом, биотитом, плагиоклазом, калиевым полевым шпатом и др. минералами.

Геденбергит встречается исключительно в породах контактового метаморфизма рудных месторождений - геденбергитовых скарнах и рудных жилах.

А в г и т - $Ca(Mg, Fe, Al) [(Si, Al)_2O_6]$. Группа клинопироксенов. Моноклинная сингония.

В шлифе образует толстые короткие призмы, широкопластинчатые (рис. 91), неправильные, реже восьмигранные зерна. Наблюдаются простые двойники, реже полисинтетические и крестообразные. Форма кристаллов дана на рис. 92.

Авгит бесцветный, иногда слегка буроватый или зеленоватый. С примесью титана (титан-авгит) имеет бледно-фиолетовую окраску. Спайность совершенная по призме (110) в одном направлении, но хуже, чем

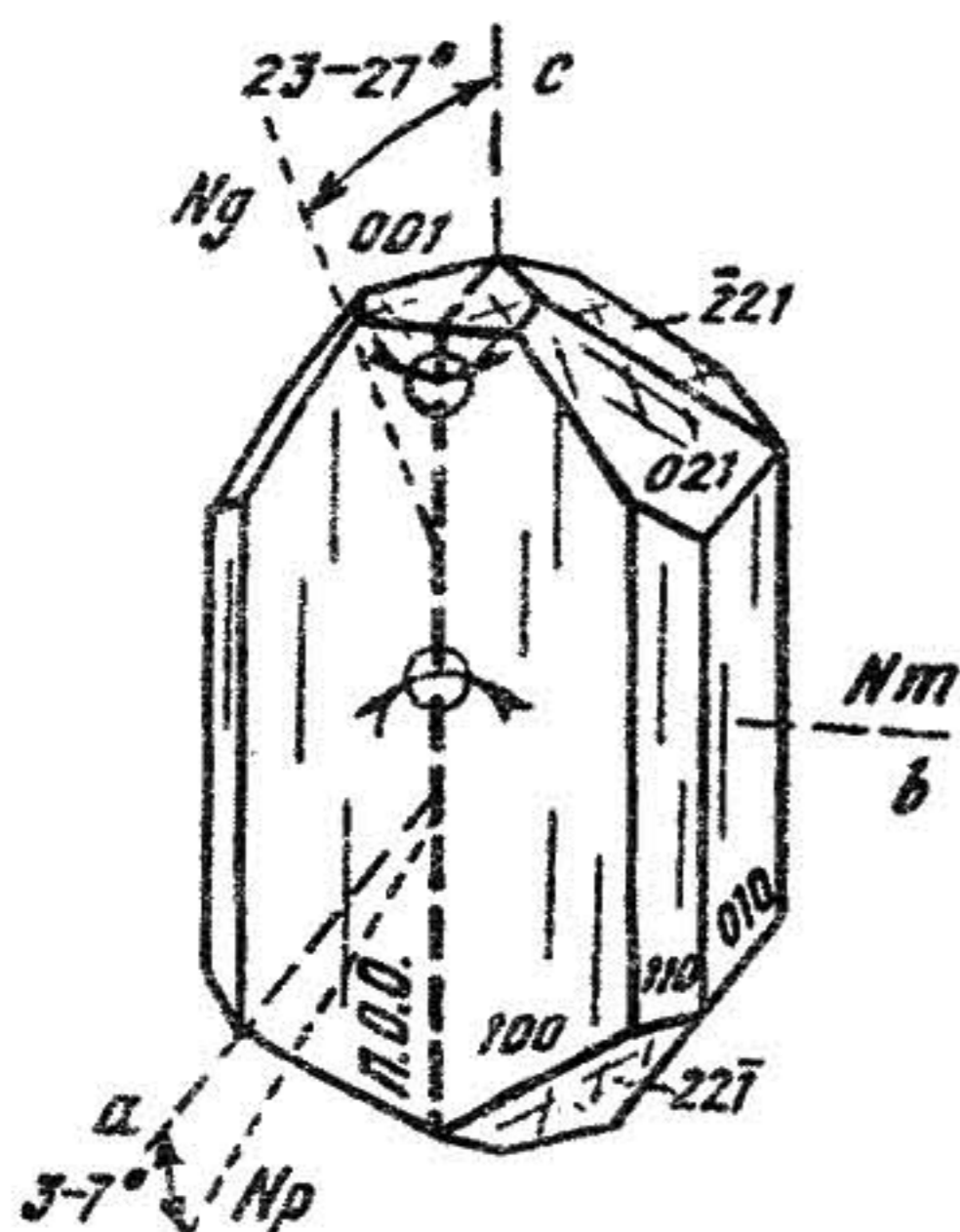


Рис.90. Диопсид-геденбергит



Рис.91. Авгит в габбро (увел. 20, николи +)

у амфиболов на разрезе (001) - в двух направлениях, пересекающихся под углом в 87° . Иногда спайность отсутствует.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,710-1,724$; $n_m = 1,687-1,703$; $n_p = 1,686-1,697$; $n_g - n_p = 0,024-0,027$. Вследствие большого показателя преломления у авгита наблюдается высокий рельеф и резкая шагреневая поверхность. Благодаря этому бесцветные разности в шлифе выглядят сероватыми. Угол погасания с $c:N_g$ колеблется в зависимости от примеси Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 от 38 до 55° . Угол оптических осей $2U - 54-60^\circ$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Дисперсия оптических осей по формуле $r > v$. Окрашенный авгит обладает слабым плеохроизмом: по N_g - зеленоватый, красноватый; по N_m слабо коричневый или светло-фиолетовый; по N_p - зеленовато-желтый. Абсорбция по схеме $N_m < N_p \geq N_g$. Знак главной зоны положительный. Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных N_g - серая, первого порядка; N_m - синяя, второго порядка; N_p - красная, первого порядка.

В к л ю ч е н и я. Авгит содержит разнообразно ориентированные лейсты плагиоклаза, зерна магнетита, апатита и вулканического стекла, особенно в эффузивах основного состава.

И з м е н е н и я. При постмагматических процессах по авгиту развивается уралит, серпентин, хлорит, реже биатит и эпидот и спорадически - кальцит и кварц.

Разновидности. По наличию изоморфных примесей выделяются: эгирин-авгит - разность богатая Na_2O , Fe_2O_3 ; федоровит-разность промежуточная по составу между авгитом и эгирин-авгитом; титанавгит - авгит обогащенный TiO_2 ; фассаит - желто-зеленый авгит мраморов.

Похожие минералы. Диопсид, эпидот, оливин. От диопсида авгит отличается на разрезах, перпендикулярных двум системам спайности, формой правильного восьмиугольника, а у диопсида грани пинакоидов более развиты, чем грани призмы. Кроме того, у авгита больший угол угасания и менее высокое двупреломление по сравнению с авгитом. От эпидота авгит отличается большим углом погасания и положительным удлинением; две системы спайности у эпидота пересекаются под углом около 65° , у авгита - 87° . От оливина авгит отличается косым погасанием и совершенной спайностью.

Генезис. Магматогенный и метаморфогенный. Магматогенный авгит встречается, главным образом, в габброидах, базальтах, диабазах и гипердиабазах, редко - в диоритах, андезитах и др. средних породах; как исключение - в некоторых гранитах. Как метаморфогенный авгит отмечается в породах амфибол-роговиковой и пироксен-роговиковой фаций контактового метаморфизма - в роговиках и скарнах в парагенезисе с амфиболом, гранатом, скаполитом, плагиоклазом, везувианом, кальцитом и др. минералами.

Омфацит - $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Группа клинопироксенов. Моноклинная сингония.

В шлифе образует короткопризматические кристаллы с восьмигранными очертаниями в сечениях, перпендикулярных двум системам совершенной спайности, пересекающихся под углом 87° . Совершенная спайность в одном направлении наблюдается по призме (110). В шлифе омфацит - бесцветный или светло-зеленый. Форма кристалла омфацита дана на рис. 93.

Оптические свойства. Омфацит минерал двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,688-1,718$; $n_m = 1,670-1,700$; $n_p = 1,662-1,691$; $n_g - n_p = 0,018-0,027$. Рельеф высокий, шагреневая поверхность резкая. Угол угасания с с: n_g изменяется от 36 до 48° . Удлиннение положительное. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Угол оптических осей - $2U = 58-83^\circ$, причем чаще всего встречаются омфациты с углом $2U = 60-70^\circ$. Дисперсия $x > v$. Окрашенный омфацит плеохроирует по схеме: $n_g > n_m > n_p$; по n_g - зеленый; по n_m - светло-зеленый; n_p - бесцветный. Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных n_g - серая, первого по-

рядка; n_m - голубовато-зеленая, второго порядка; n_p - желтая, первого порядка.

Включения. Отмечаются включения магнетита, шпинели, апатита, сфена и др. минералов.

Изменения. При процессах диафтореза пород эклогитовой фации по амфициту развиваются амфиболы, хлориты, эпидот, альбит и др. минералы.

Похожие минералы. Эпидот, оливин и амфиболы. От эпидота омфациит отличается большим углом угасания (эпидот b : $n_m = 0^\circ$; c : $n_p = 0-5^\circ$; a : $n_g = 30^\circ$). От амфиболов - более грубой спайностью, пересекающейся под углом 87° (у амфиболов угол 56°), большим углом угасания; от оливина - также большим углом угасания (оливин c : $n_g = 0^\circ$).

Генезис. Метаморфогенный. Омфациит типичный минерал пород эклогитовой фации регионального метаморфизма. Он образуется при метаморфизме основных, ультраосновных магматических пород при относительно высокой температуре и давлении. Омфациит находится в парагенезисе с гранатом пироп-альмандинового состава, плагиоклазом, ромбическими пироксенами, амфиболами, кварцем и др. минералами.

Жадеит - $NaAl[Si_2O_6]$. Группа клинопироксенов. Моноклинная сингония.

Кристаллы редки. Обычно образует зернистые массы, пластинчатые, тонкошестоватые, короткостолбчатые и волокнистые переплетающиеся агрегаты. Спайность совершенная по призме (110), пересекается под углом 87° . В шлифе бесцветен, иногда слабо окрашен в желтовато-зеленоватые тона. Форма кристаллов жадеита дана на рис.94. На диаграмме $NaAl[Si_2O_6]$ - $NaFe[Si_2O_6]$ - $Ca(Mg,Fe)[(Al,Si)_2O_6]$ (рис.95) занимает строго определенное поле.

Оптические свойства. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,665$; $n_m = 1,657$; $n_p = 1,654$; $n_g - n_p = 0,011$. Ясная шагреневая поверхность и рельеф. Угол угасания c : n_g изменяется от 30 до 35° . Знак главной зоны (удлинение) положительный. Угол оптических осей - $2V = 68-72^\circ$. Дисперсия по схеме $r < v$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Окрашенный жадеит плеохроирует по схеме $n_g > n_m < n_p$: по n_g - бледно-желтоватый; по n_m - бесцветный; по n_p - бледно-зеленоватый. Интерференционная окраска на разрезах, параллельных плоскости оптических осей, светло-желтая, первого порядка.

Изменения. При процессах диафтореза по жадеиту развивается тремолит, уралит и альбит - олигоклаз.

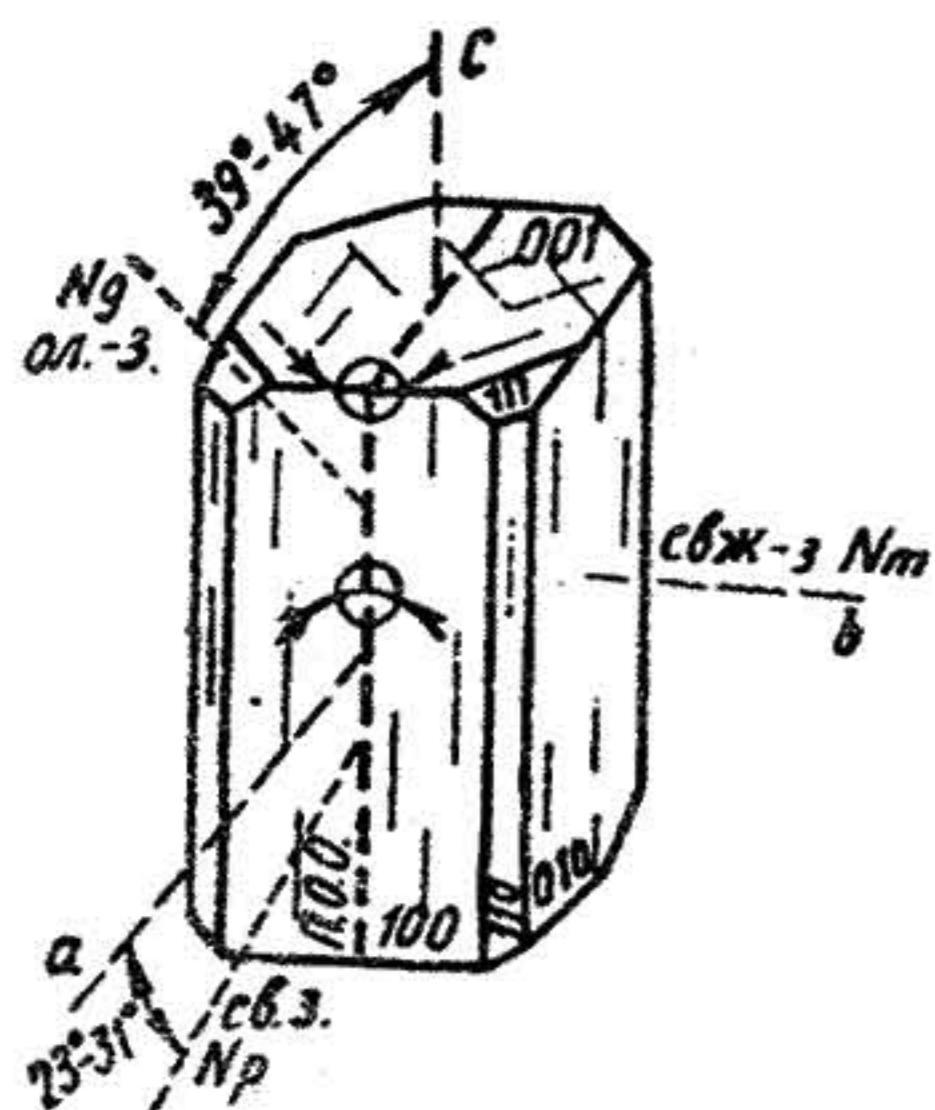


Рис. 92. Август

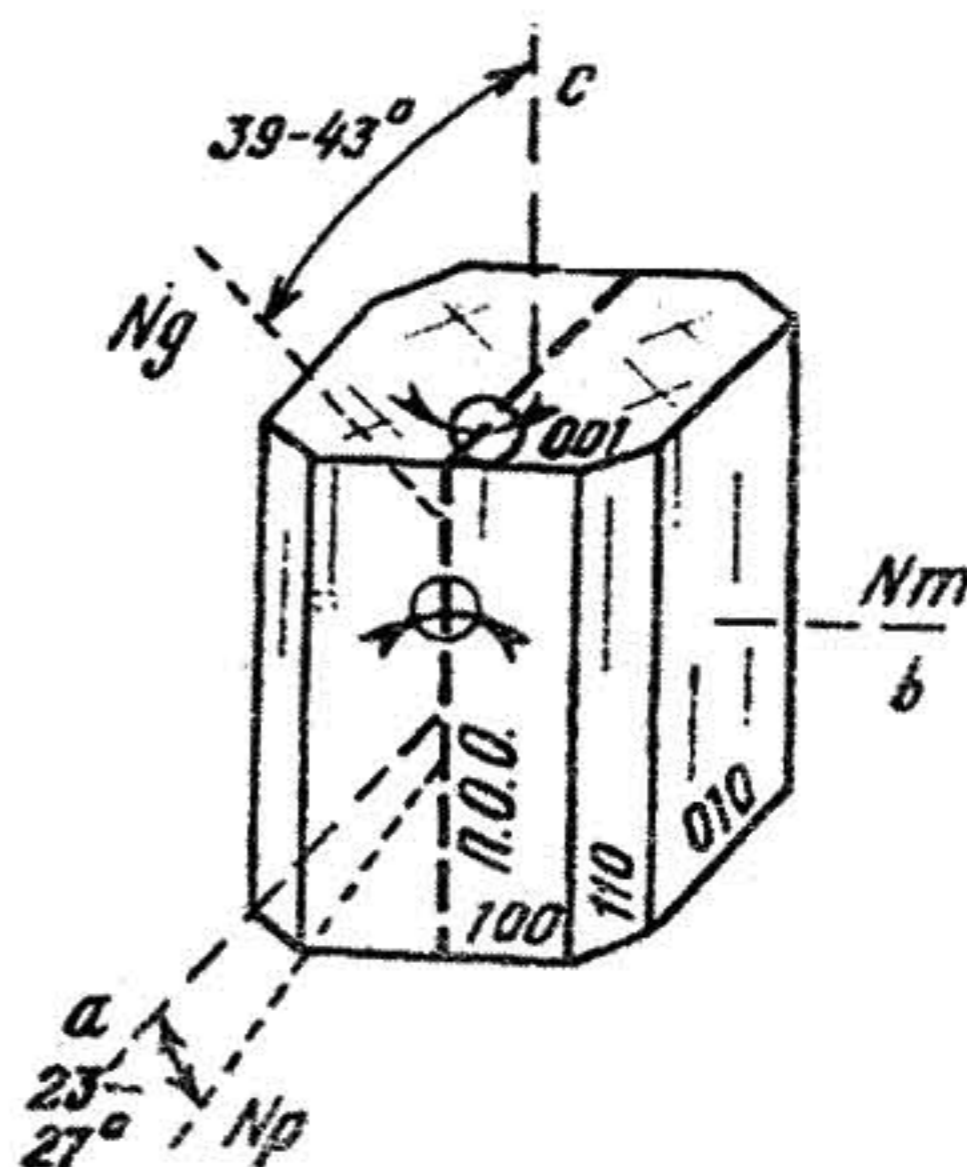


Рис. 93. Омфацит

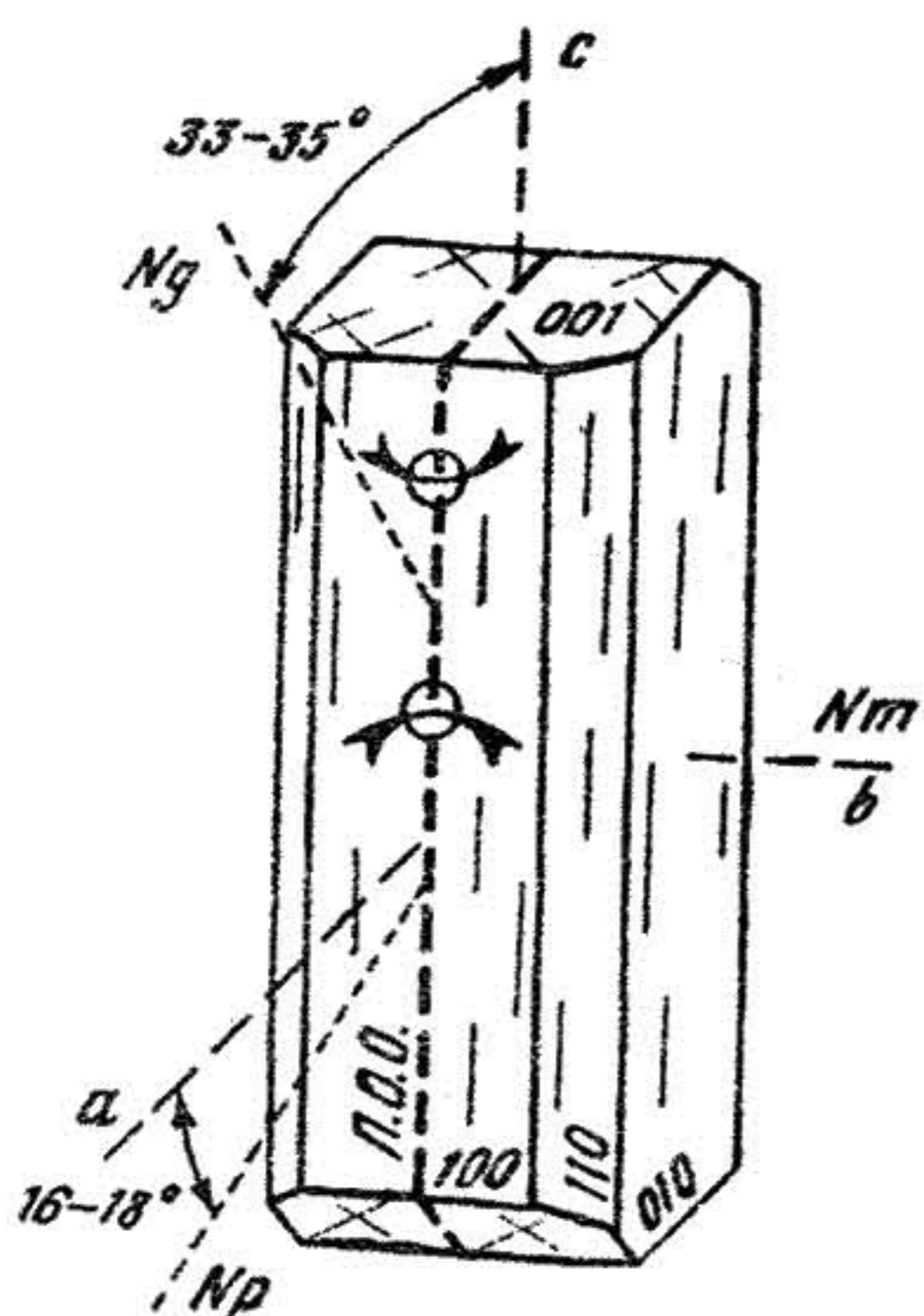


Рис. 94. Жадейт

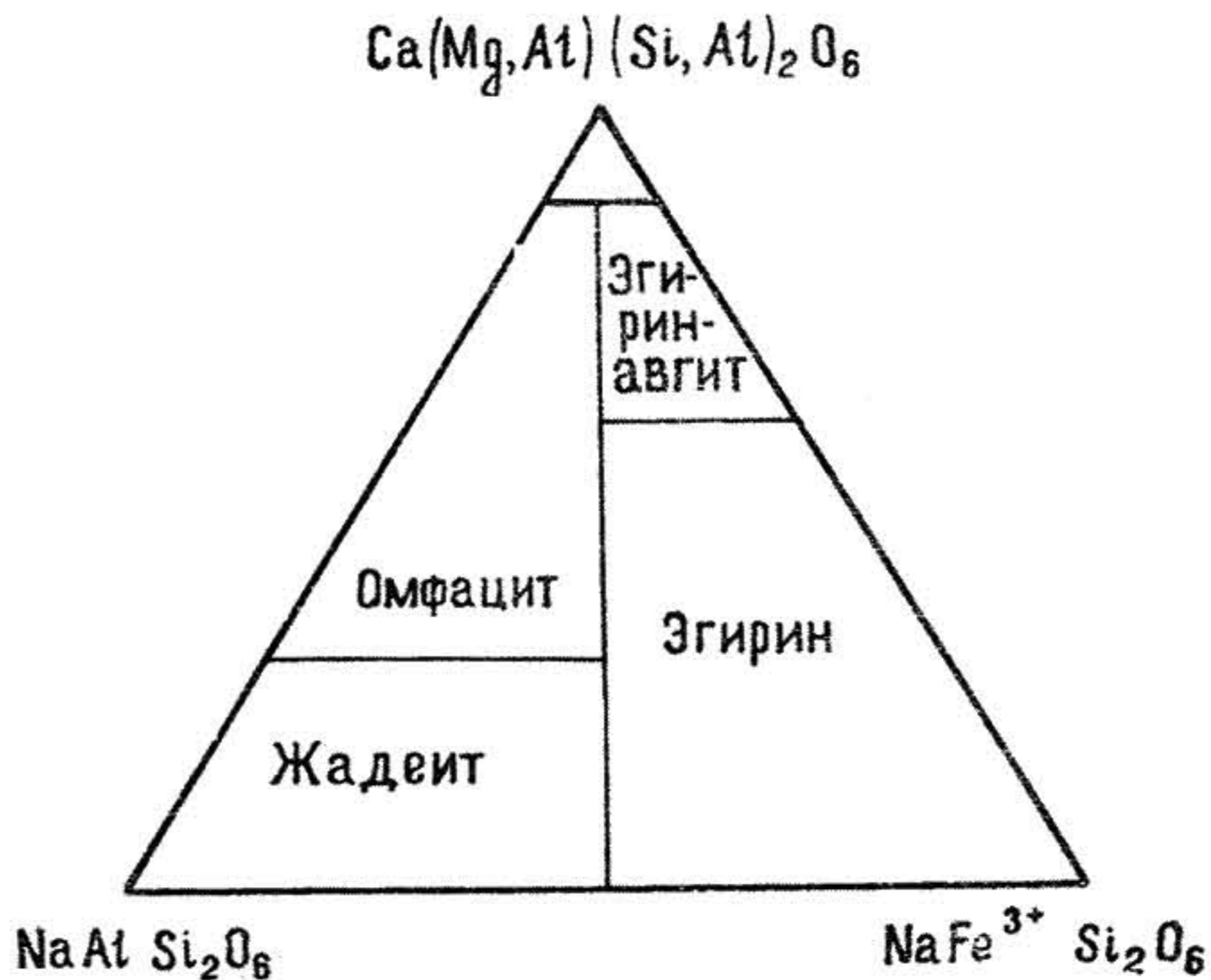


Рис. 95. Диаграмма состава моноклинных пироксенов в координатах $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ - $\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ - $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Al})_2[\text{Si}, \text{Al}]_2\text{O}_6$

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Авгит, диопсид, эгирин и актинолит. От авгита с диопсидом жадеит отличается большим углом оптических осей — 2γ , меньшим углом погасания, волокнистой структурой. От эгирина жадеит отличается положительным знаком главной зоны, большим углом угасания, иным оптическим знаком. Похожий в некоторых разрезах актинолит отличается более тонкой спайностью и меньшим углом угасания.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Жадеит формируется преимущественно в породах жадеит-глаукофанового типа метаморфизма в P-T условиях лавсонит-альбитовой и лавсонит-глаукофановой фаций в парагенезисах с альбитом, лавсонитом, глаукофаном, кросситом, актинолитом и другими щелочными минералами.

С п о д у м е н — $\text{CaAl}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Группа клинопироксенов. Моноклинная сингония.

Встречается преимущественно в виде призматических вытянутых по оси c , или пластинчатых кристаллов. Иногда листоватый, стебельчатый. Спайность совершенная по (110), в двух направлениях, пересекающаяся на поперечных срезах под углом 87° . Двойники по (100). Бесцветный, но разновидности его — кунцит и гидденит — окрашены. Форма кристалла сподумена дана на рис. 96.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,676-1,681$; $n_m = 1,660-1,671$; $n_p = 1,651-1,668$; $n_g - n_p = 0,025-0,013$. Четкая шагреновая поверхность и рельеф. Окрашенные разновидности сподумена обладают плеохроизмом; кунцит — по N_g — бесцветный; по N_m — бледно-фиолетовый, розовый; по N_p — фиолетовый; гидденит — по N_g — бесцветный; по N_m — зеленоватый; по N_p — зеленый. Абсорбция по схеме $N_g < N_m < N_p$. Углы угасания: $c:N_g = 23-27^\circ$; $a:N_p = 3-7^\circ$; $b:N_m = 0^\circ$. Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей — 2γ колеблется от 50 до 70° . Дисперсия оптических осей $r < v$ слабая. Интерференционная окраска желтая, серая, первого порядка. Плоскость оптических осей параллельна (010).

В к л ю ч е н и я. Сподумен содержит включения берилла, рубеллита, альбита и др. минералов.

Р а з н о в и д н о с т и. Кунцит имеет малиновую или розовую с фиолетовым оттенком окраску, а прозрачный изумрудно-зеленый сподумен называется гидденитом.

И з м е н е н и я. При вторичных процессах метаморфизма и метасоматоза сподумен замещается литиевыми слюдами, альбитом, цеолитами, петалитом, эвкрипитом, каолинитом и монтмориллонитом.

Г е н е з и с. Магматогенный и метаморфогенный. Магматогенны сподумен встречается в гранитных пегматитах, аплитах в парагенезисе с лепидолитом, рубелитом, поллуцитом, альбитом, микроклином, кварцем, трифилином и др. минералами. Метаморфогенный сподумен отмечается в породах регионального метаморфизма амфиболитовой фации – в гнейсах, а также в породах амфибол-роговиковой фации контактового метаморфизма – в роговиках и скарнах.

П л а г и о к л а з ы – $(Ca, Na)(Al, Si)[AlSi_3O_8]$. (Натрий-кальциевые полевые шпаты) – представляют собой непрерывный изоморфный ряд, крайними членами которого являются альбит – $Na[AlSi_3O_8]$ и анортит – $Ca[Al_2Si_2O_8]$. В соответствии с химическим составом по содержанию анортитовой молекулы различают следующие минеральные виды:

	Содержание анортита в %
Альбит	0-10
Олигоклаз	10-30
Анцезин	30-50
Лабрадор	50-70
Битовнит	70-90
Анортит	90-100

Среди плагиоклазов также выделяются кислые (альбит, олигоклаз), средние (анцезин) и основные (лабрадор, битовнит и анортит) разновидности. Плагиоклазы принято характеризовать номером, означающим процентное содержание анортитовой составляющей в составе минерала. Так плагиоклаз № 25 представляет собой олигоклаз с 25% анортита и т.п. При проведенных подразделениях незначительная примесь $K[AlSi_3O_8]$ не учитывается и она суммируется с $Na[AlSi_3O_8]$. Количество примеси $K[AlSi_3O_8]$ в плагиоклазах может достигать 12% (рис.97). Примесь $Ba[Al_2Si_2O_8]$ в плагиоклазе ничтожна и достигает 0,2%. Плагиоклазы основного состава являются более высокотемпературными минералами чем кислого состава.

Характерное свойство плагиоклазов – наличие в них полисинтетических двойников, которые хорошо фиксируются при петрографических исследованиях. Кислые плагиоклазы имеют, как правило, тонкие двойниковые полоски, а основные – более широкие. Все многообразие двойниковых законов плагиоклазов определяется двумя типами: нормальный тип, когда двойниковая ось является перпендикуляром к плоскости срастания – альбитовый тип; параллельный тип, когда двойниковая ось

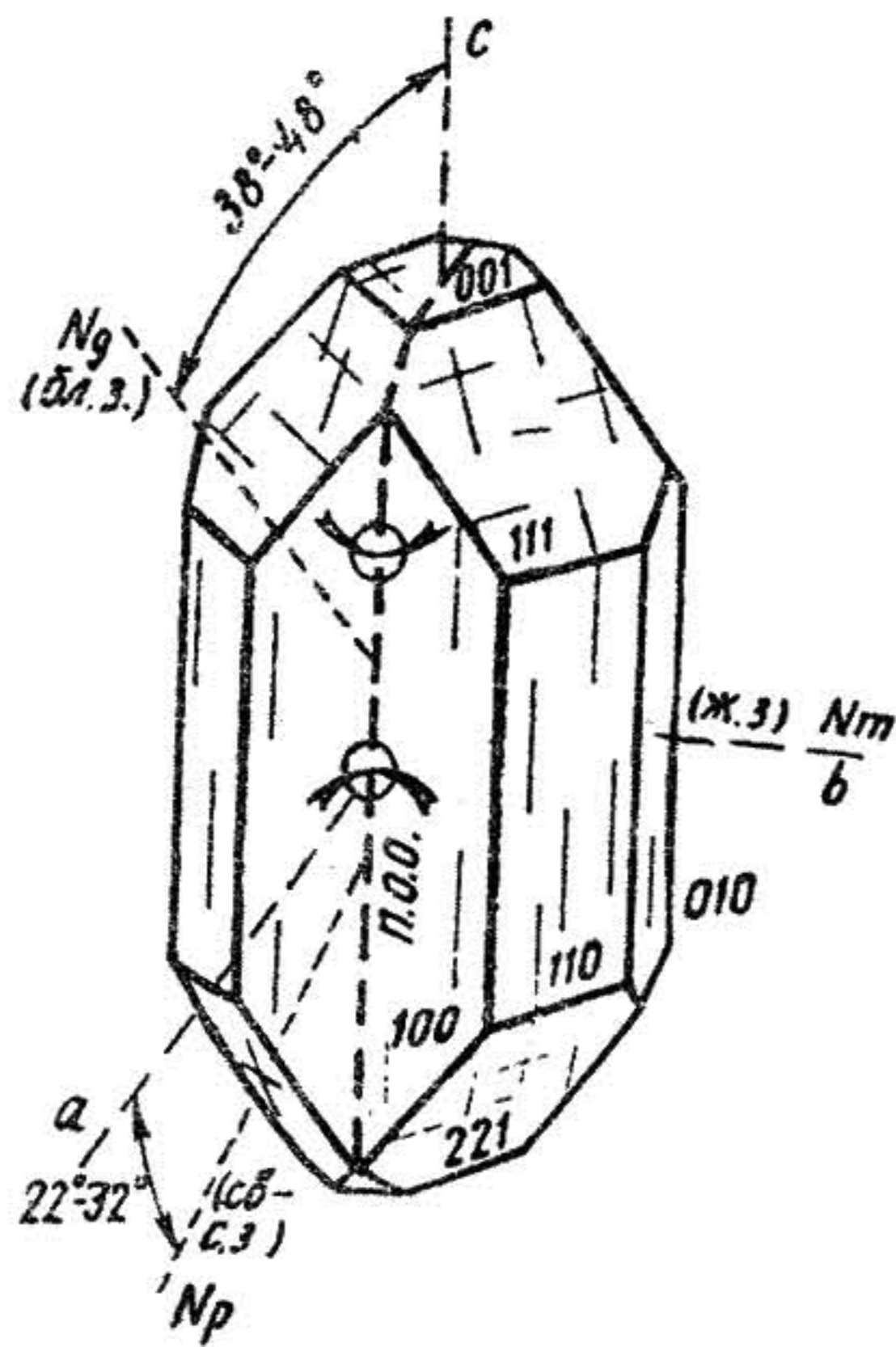


Рис.96. Сподумен

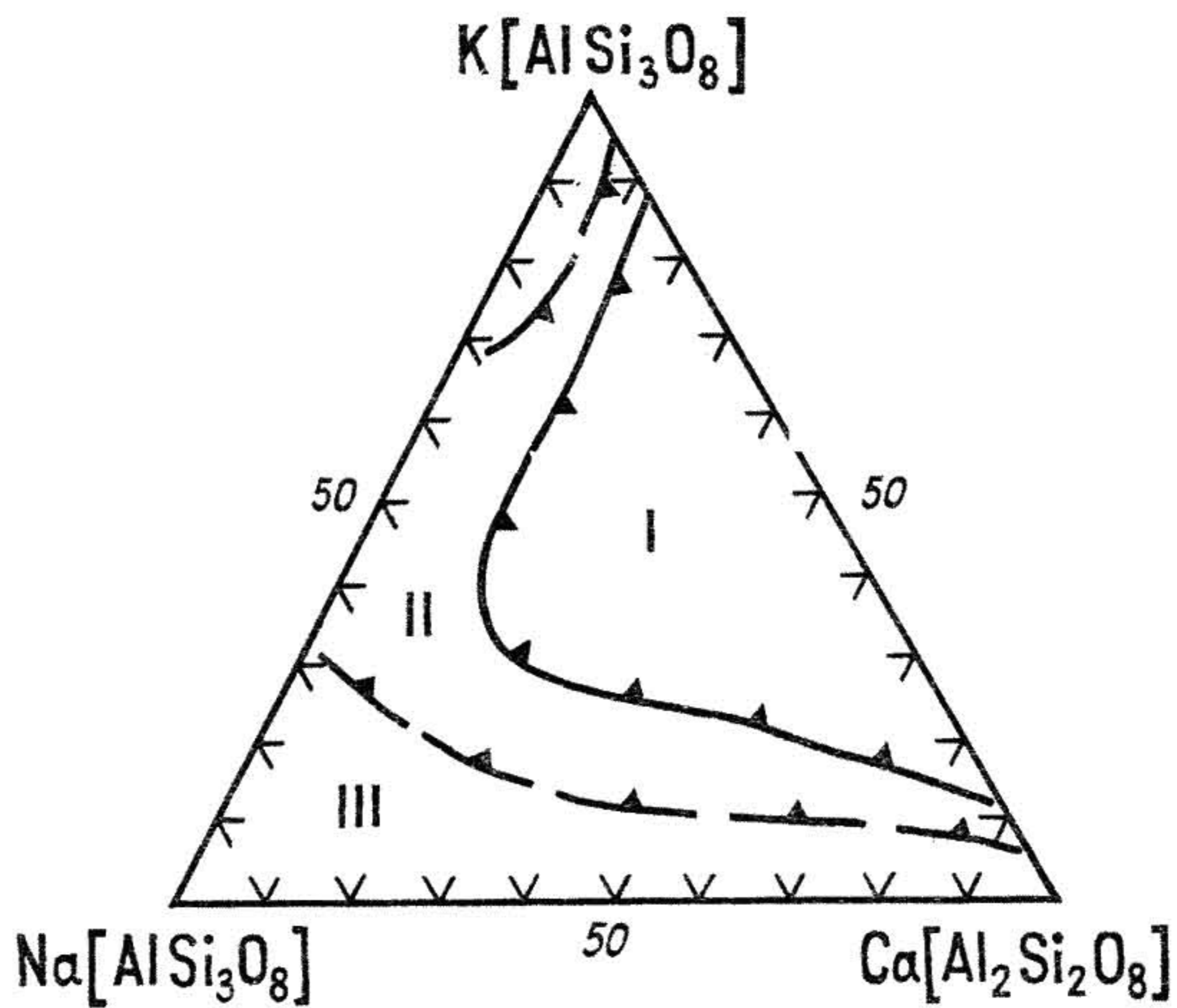


Рис.97. Диаграмма сместимости фаз в системе $K[AlSi_3O_8] - Na[AlSi_3O_8] - Ca[Al_2Si_2O_8]$: I - кристаллы не устойчивы при всех температурах; II - кристаллы устойчивые при высоких и неустойчивые при низких температурах; III - кристаллы устойчивые также и при низких температурах

является кристаллографической осью (карлсбадский тип) или перпендикуляром к кристаллографической оси, лежащей в плоскости срастания (переклинововый тип). Приведенные законы двойникования плагиоклазов – самые распространенные. Следует отметить, что наибольшее разнообразие двойниковых законов обнаруживают плагиоклазы излившихся пород (рис.98), в интрузивных породах плагиоклазы чаще сдвойникованы по альбитовому закону, а в метаморфических – по переклиновому.

Переходя к рассмотрению оптических свойств плагиоклазов, следует отметить, что оптические свойства их зависят от состава и внутреннего строения, которое определяется условиями образования. В соответствии с этим различаются упорядоченные плагиоклазы. Неупорядоченные плагиоклазы являются высокотемпературными, упорядоченные – низкотемпературными. Высокотемпературные плагиоклазы – минералы эффузивных пород, низкотемпературные плагиоклазы – минералы интрузивных пород, пегматитов и метаморфических пород.

Между плагиоклазами с неупорядоченной и упорядоченной структурой могут быть промежуточные члены с разной степенью упорядоченности. Поэтому разделение плагиоклазов на высоко- и низкотемпературные разновидности в какой-то степени имеет условный характер и лучше в отношении их употреблять термины упорядоченный и неупорядоченный плагиоклаз. Следует отметить, что структурные превращения в плагиоклазах, главным образом, отражаются в изменении ориентировки оптической индикатрисы и в меньшей степени влияют на другие оптические константы.

А л ь б и т – $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ (90–100%) и $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ (10–0%).
Группа полевых шпатов. Триклинная сингония.

Образует зерна таблитчатой, удлиненной формы с правильными гранями в эффузивных породах и изометричной формы в интрузивных и метаморфических породах. Спайность совершенная по (001) и (010), несовершенная по (110). В большинстве случаев обладает полисинтетическими двойниками по альбитовому, карлсбадскому и реже др. законам. В шлифе бесцветный, водяно-прозрачный. Форма кристалла альбита дана на рис.99.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный положительный минерал, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,536-1,539$; $n_m = 1,529-1,532$; $n_p = 1,525-1,529$; $n_g - n_p = 0,010-0,011$. В связи с близостью показателей преломления альбита и канадского бальзама, рельеф и шагреневая поверхность проявлены очень слабо. Содержание анор-

титовой составляющей в альбите определяет различное положение плоскости оптических осей по отношению к кристаллографическим осям. Поэтому углы погасания всегда косые и разнообразные: на (010) – 27° , на (001) – 4° . Угол оптических осей $2V$ колеблется от 75° до 90° . Дисперсия оптических осей $r < v$. Знак главной зоны \pm . Интерференционная окраска серая, белая, иногда с желтоватым оттенком, первого порядка.

Включения. В ряде случаев содержит включения кварца и акцессорных минералов – апатита, циркона и др.

Разновидности. Клевеландит – крупнокристаллический, чешуйчатый с голубоватым оттенком.

Изменения. Альбит – минерал весьма стойкий, но при наложенных метасоматических процессах замещается серицитом и микроклином, а при процессах выветривания – каолинитом.

Похожие минералы. В разрезах, параллельных плоскостям двойникования, при отсутствии двойников и изометричной форме зерен альбит легко принять за кварц, нефелин и кордиерит. От кварца он отличается по преломлению, двуосности и наличию спайности. От нефелина альбит отличается по осности, величине двупреломления, которая у нефелина не более 0,005, а у альбита не менее 0,007. Кроме того, они отличаются формой зерен. Нефелин образует прямоугольники и шестиугольники, а также обладает прямым погасанием. Кордиерит в отличие от альбита замещается тальком и хлоритом, альбит – серицитом. По оптическим свойствам альбит также похож на андезин, от которого отличается по показателю преломления. У андезина он больше канадского бальзама, а у альбита – меньше.

Генезис. Метаморфогенный и магматогенный. Альбит является одним из породообразующих минералов в метапелитах зеленосланцевой фации в парагенезисе с кварцем, биотитом, хлоритом, мусковитом и микроклином. Присутствует в гидротермальных жилах, являющийся эпимагматическим минералом, образующимся при натровом метасоматозе. Как первичный магматический минерал альбит встречается в щелочных гранитах, пегматитах, кислых и средних эффузивах. В эффузивах он образует идиоморфные порфировые вкрапления.

Андезин – $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ (50–70%) и $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ (30–50%).
Группа полевых шпатов. Триклинная сингония.

Форма кристаллов андезина широкопластинчатая, несколько вытянутая части идиоморфные вкрапления и микролиты в эффузивах. Двойникование полисинтетическое, простое и зональное (рис. 100). Спайность совершенная по (001) и по (010) и несовершенная по (110). В шлифе бесцветный. Форма кристалла андезина дана на рис. 101.

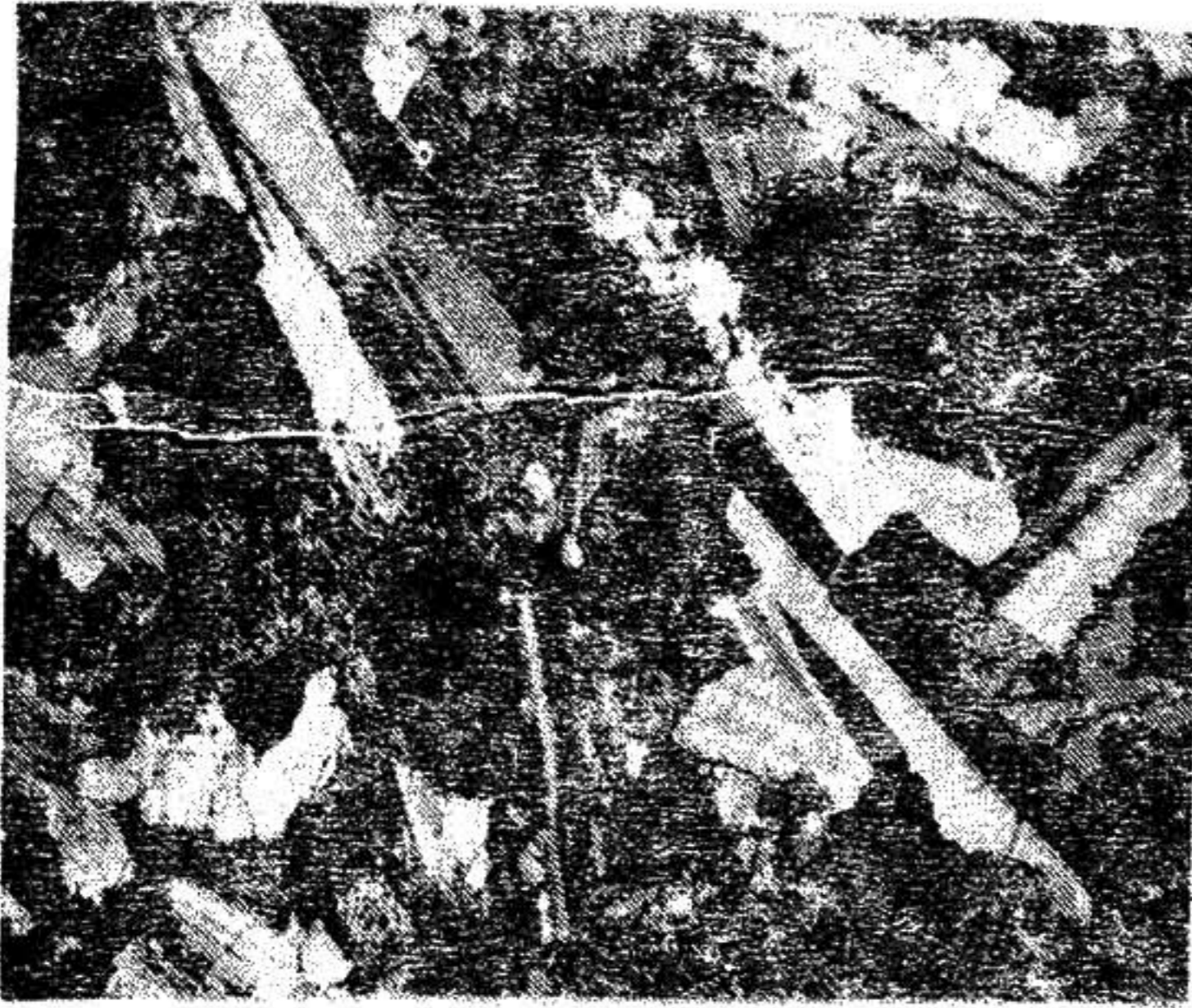


Рис. 98. Базальт (увел. 20, николи +)

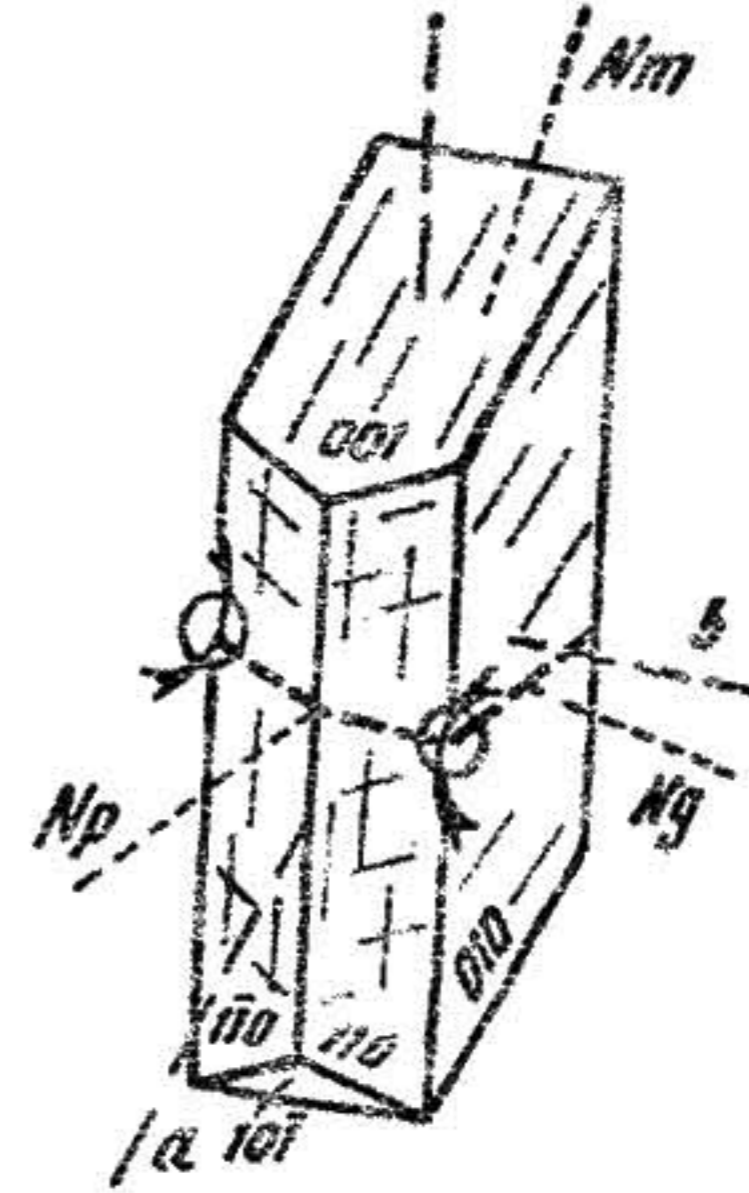


Рис. 99. Альбит

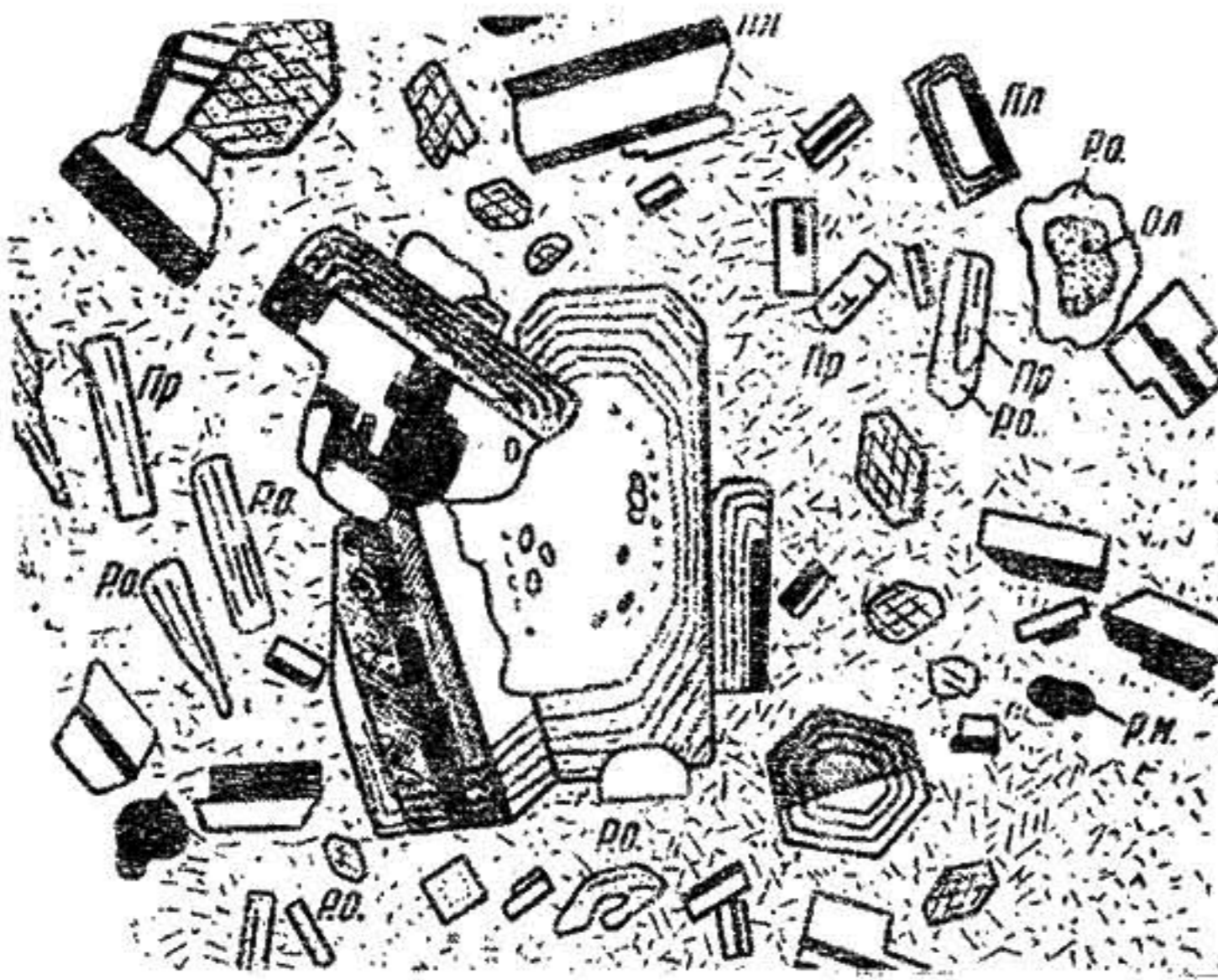


Рис. 100. Зональный плагиоклаз в андезите (увел. 20, николи +)

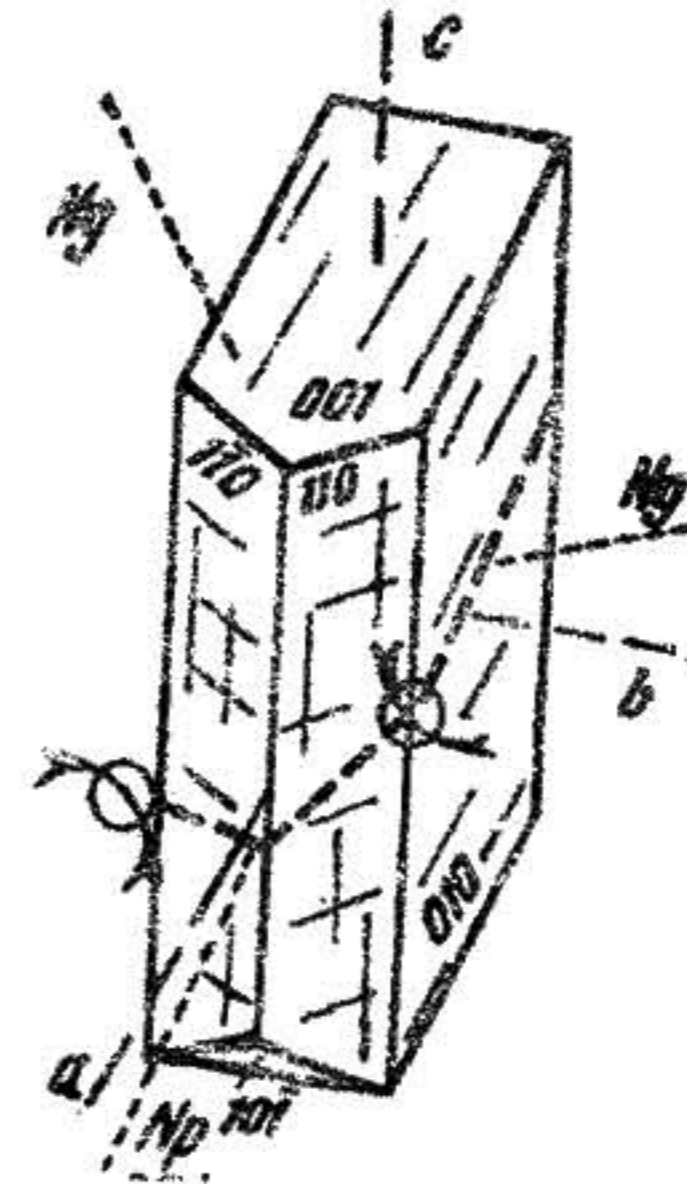


Рис. 101. Андезин

Оптические свойства. Двуосный, положительный. Рельеф слабовыраженный, шагреновой поверхности нет. Показатели преломления колеблются в зависимости от процентного содержания анортитовой составляющей:

		31% An		
n_g	-	1,551	n_g	-
n_m	-	1,548	n_m	-
n_p	-	1,543	n_p	-
$n_g - n_p$	-	0,008	$n_g - n_p$	-

		70% An		
n_g	-	1,562	n_g	-
n_m	-	1,557	n_m	-
n_p	-	1,554	n_p	-
$n_g - n_p$	-	0,008	$n_g - n_p$	-

Угол оптических осей $2U$ близок к 90° и может быть положительным и отрицательным. Дисперсия $r < v$. Знак главной зоны $+$. Интерференционная окраска серая, белая первого порядка. Угол угасания на (010) - 8° , на (001) - 2° .

Включения. Содержит идиоморфные зерна апатита, циркона, сфена, магнетита и др.

Изменения. По андезину развиваются эпидот, цоизит, соскурит, альбит и каолинит. Замещение начинается с периферии или по трещинам спайности, постепенно захватывая все зерно до образования псевдоморфоз. Иногда вторичные минералы локализируются только в центральной части, подчеркивая зональное строение андезина.

Похожие минералы. Андезин в разрезах, параллельных плоскостям двойникования, изометричной формы похож на кварц, от которого отличается двуосностью. От альбита он легко отличается показателем преломления.

Генезис. Метаморфогенный и магматогенный. Как тилитичный метаморфогенный минерал андезин характерен для metabазитов амфиболитовой фации, где он встречается в парагенезисе с роговой обманкой, ципсидом, эпидотом, цоизитом, биотитом, гранатом, скаполитом и др. минералами. Как магматогенный минерал встречается в диоритах, габбро-диоритах и андезитах, где является одним из главных породообразующих минерал

Лабрадор - ма $[AlSi_3O_8]$ (50-30%) и $Ca[Al_2Si_2O_8]$ (50-70%)
Группа полевых шпатов. Триклинная сингония.

В шлифе встречается в виде идиоморфных таблитчатых кристаллов, вытянутых лейст и микролитов и значительно реже изометричных зерен. Спайность совершенная по (001) и (010) и несовершенная по (110). Обладает полисинтетическими двойниками по альбитовому и др. законам. Бесцветный. Форма кристалла лабрадора на рис. 102.

Оптические свойства. Двуосный, положительный. Показатели преломления колеблются в зависимости от содержания анортитовой составляющей:

	51% An	70% An
n_g	- 1,662	n_g - 1,572
n_m	- 1,557	n_m - 1,568
n_p	- 1,554	n_m - 1,563
$n_g - n_p$	- 0,008	$n_g - n_p$ - 0,009

Шагреновая поверхность слабо заметна. Рельеф ясный. Угол оптических осей $2U$ колеблется около 90° . Углы угасания различные, т.к.

плоскость оптических осей в лабрадорах с различным содержанием аноритовой составляющей по отношению к кристаллографическим осям располагаются под различными углами. Знак главной зоны (или удлинения) отрицательный. Дисперсия $r > v$. Интерференционная окраска серая, белая, первого порядка.

В к л ю ч е н и я. Нередко содержит многочисленные игольчатые или тонкопластинчатые включения ильменита или гематита, газожидкие включения и акцессорные минералы – апатит, рутил, магнетит, а в отдельных случаях амфибол, пироксены, оливин и кварц.

И з м е н е н и я. Наиболее часто замещается эпидотом, цоизитом, соссоритом, серицитом и скаполитом, иногда каолинитом и кальцитом.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. На разрезах, параллельных плоскостям двойникования в изометричных зернах, лабрадор похож на кварц, от которого отличается осностью.

Г е н е з и с. Лабрадор – типичный магматогенный и метаморфогенный минерал. Широко распространен в породах основного состава – габбро, нориты, лабрадориты, долериты, базальты, диабазы. Встречается в метабазальтах амфиболитовой и гранулитовой фаций метаморфизма в парагенезисе с гранатом, пироксенами, амфиболами и реже биотитом.

П р е н и т – $\text{Ca}_2 \text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$. Ромбическая сингония. Встречается в виде призматических, таблитчатых и столбчатых кристаллов, неправильных зерен, радиально-лучистых и пластинчатых агрегатов. Спайность совершенная по (001). В шлифе бесцветный или слабо буроватый. Форма кристалла пренита дана на рис. 103.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,632-1,669$; $n_m = 1,617-1,641$; $n_p = 1,611-1,630$; $n_g - n_p = 0,021-0,039$. Ясный рельеф и шагреневая поверхность. Угасание прямое. Удлинение нейтральное (от положительного до отрицательного). Плоскость оптических осей в плоскости (010). Угол оптических осей – $2U = 65-69^\circ$ с сильной дисперсией $r < v$, но иногда $2U$ опускается до 0° , тогда дисперсия $r > v$, слабая. Интерференционная окраска на срезе, перпендикулярном N_m , яркая, второго порядка, благодаря чему в зернистых агрегатах наблюдается паркетовидное строение. Иногда в монокристаллах отмечается полисинтетическое двойникование, похожее на структуру микроклина. При угле оптических осей, близком к нулю, появляется аномальная интерференция.

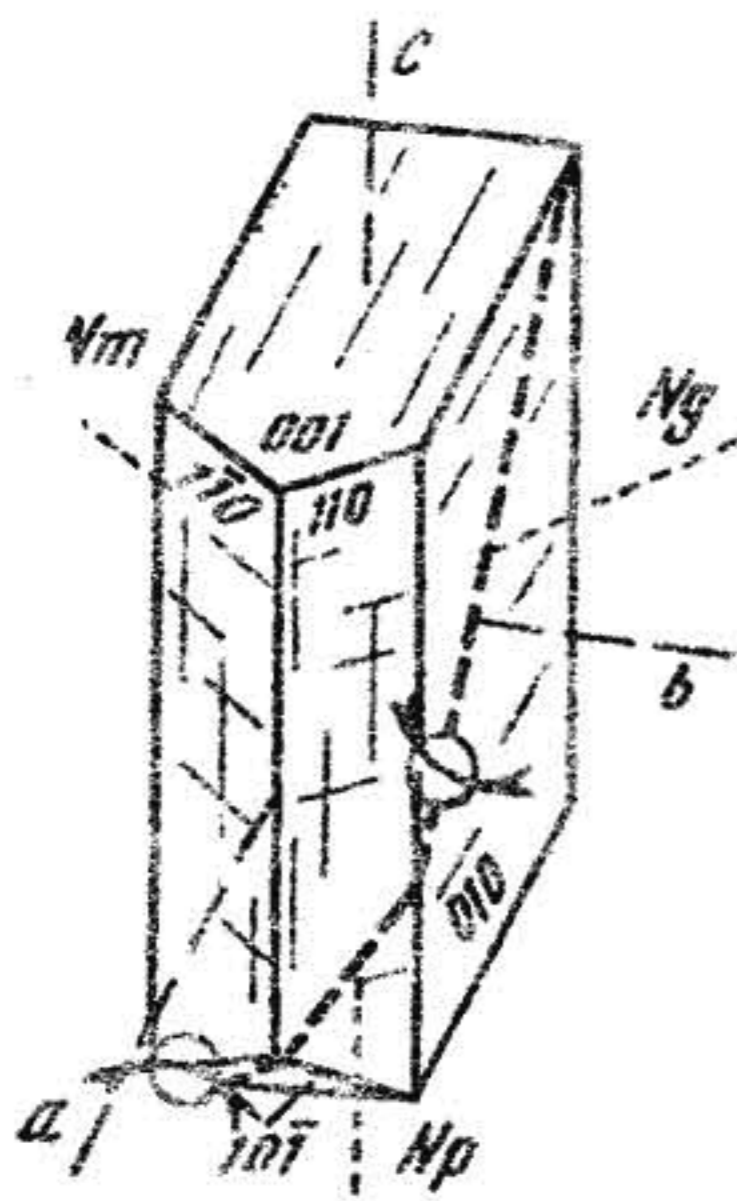


Рис. 102. Лабрадор

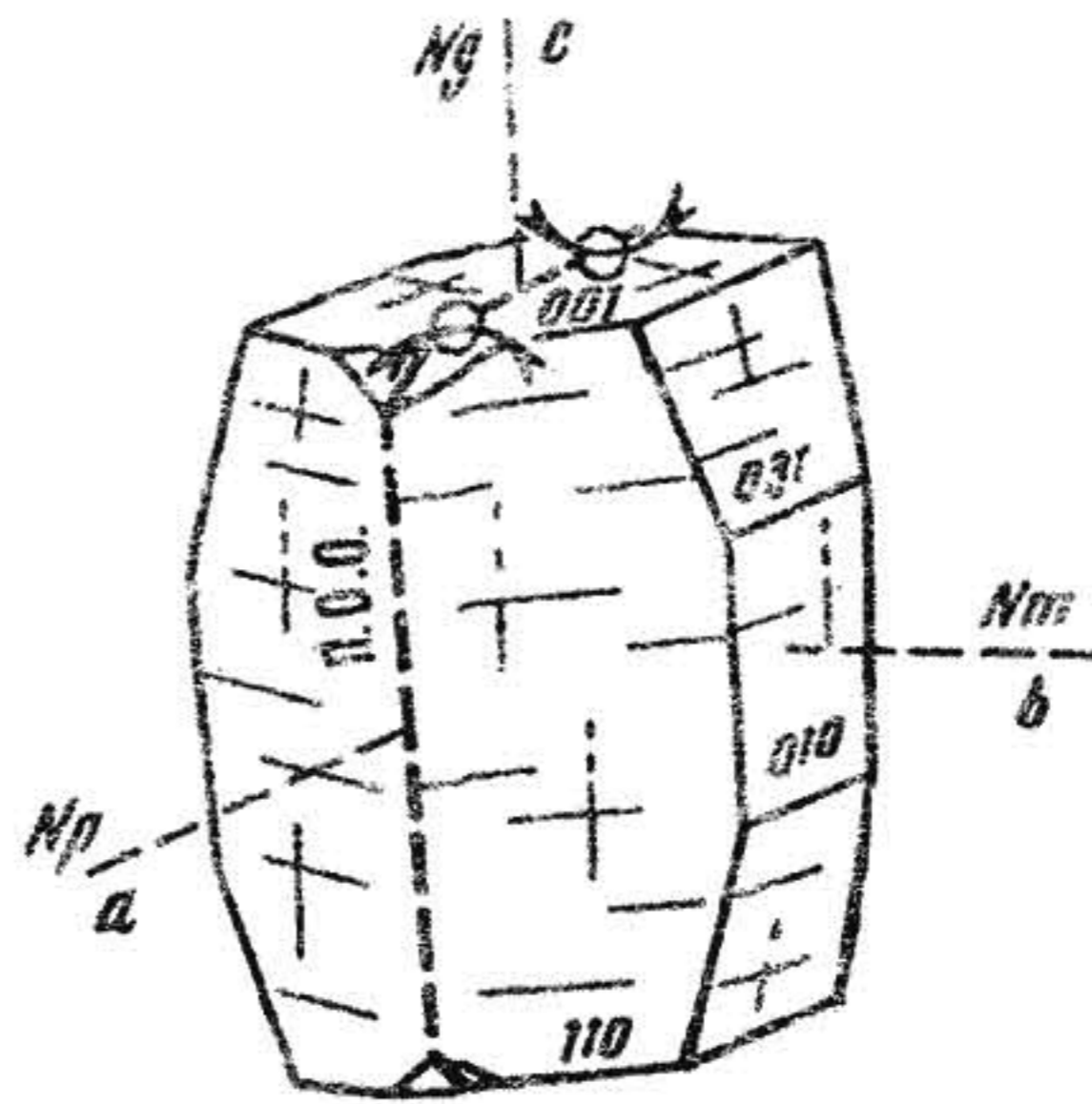


Рис. 103. Пренит

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Томсонит, топаз, волластонит, андалузит, эпидот, мусковит. От томсонита пренит отличается гораздо большим преломлением, от топаза, волластонита, андалузита — большим двупреломлением; от эпидота и мусковита — положительным оптическим знаком.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Образуется в процессе регионального метаморфизма в P-T условиях пренит-пумпеллиитовой фации в парагенезисе с кварцем, пумпеллиитом, хлоритом, альбитом, стильпно-меланом, кальцитом, доломитом и др. минералами. Кроме того, встречается в пустотах и трещинах основных эффузивов в ассоциации с кальцитом и цеолитами. Как вторичный минерал развивается по плагиоклазам основного состава.

П с е в д о ц о и з и т — $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{Si}_2\text{F}_{12}]_2\text{OH}$. Группа эпидота. Ромбическая сингония.

Образует короткопризматические, листовые кристаллы и зернистые агрегаты. Обладает совершенной спайностью по (100) и несовершенной по (001). В шлифе бесцветный. Двойников не образует. Форма кристалла псевдоцоизита дана на рис. 104.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,702$; $n_m = 1,695$; $n_p = 0,007$. Обладает высоким рельефом и резкой шагреневой поверхностью. Угасание относительно удлинения минерала и спайности прямое или очень близкое к прямому. Плоскостью оптических осей является плоскость

(010). Угол оптических осей - $2U = 0-30^\circ$. Дисперсия оптических осей $r > v$, сильная. Вследствие сильной дисперсии двупреломления, в некоторых разрезах наблюдается весьма характерная аномальная интерференционная окраска; серо-синяя, густо-синяя, желтовато-бурая первого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Апатит, силлиманит, везувиян, эпидот. От апатита псевдоцизит отличается по наличию спайности, большому преломлению, форме зерен, осности и оптическому знаку (апатит одноосный, отрицательный); от силлиманита - по меньшему двупреломлению, меньшему углу оптических осей (у силлиманита угол $2U=21-30^\circ$) и иному характеру спайности; от везувияна - по меньшему преломлению, наличию спайности и оптическому знаку, низкому двупреломлению и меньшему углу оптических осей (у эпидота угол $2U=65-90^\circ$).

Г е н е з и с. Метаморфогенный, образуется псевдоцизит в Р-Т условиях эпидот-амфиболитовой фации регионального метаморфизма и альбит-эпидот-роговиковой фации контактового метаморфизма. Широко распространен в амфиболитах, эпидотовых амфиболитах, эрланах, скарнах и роговиках, где он находится в ассоциации с роговой обманкой, эпидотом, биотитом, актинолитом, флогопитом, кальцитом и др. минералами. Как вторичный минерал развивается по среднему и основным плагиоклазам.

Р а н к и н и т - $Ca_3[Si_2O_7]$. Моноклинная сингония.

Образует круглые или неправильные бесцветные зерна. Обладает совершенной спайностью по (100), которая иногда может отсутствовать.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двусный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,650$; $n_m = 1,644$; $n_p = 1,640$; $n_g - n_p = 0,010$. Обладает шагреновой поверхностью и отчетливо выраженным рельефом. Угол угасания ϵ : $M_g = 15^\circ$. Угол оптических осей - $2U = 63^\circ$. Дисперсия $r > v$, ясная. Абсорбция по схеме $M_g > M_m > M_p$. Интерференционная окраска на разрезе, перпендикулярном к плоскости (010), серая, желтая, первого порядка.

Р а з н о в и д н о с т и. Килхоунит - полиморфная модификация, распознается по аномальной интерференционной окраске и показателям преломления: $n_g = 1,650$; $n_m = 1,648$; $n_p = 1,645$; $n_g - n_p = 0,005$. Угол оптических осей - $2U = -60^\circ$. Дисперсия $r > v$.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Тиллит. От тиллита ранкинит отличается меньшим углом оптических осей и значительно меньшей величиной двупреломления (у тиллита $n_g - n_p = 0,042$).

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Образуется в Р-Т условиях спур-

рит-мервинитовой фации контактового метаморфизма. Отмечается в парагенезисах с мелилитом, волластонитом, кальцитом, ларнитом, шпинелью, геленитом и др. минералами.

Р о д о н и т (орлец) - $(Mn, Ca)_5[Si_5O_{15}]$. Группа пироксеноидов. Моноклинная сингония.

Образует толстостолбчатые кристаллы и неправильные зерна. Обладает спайностью в трех направлениях: по (110) и (010) пересекаются на поперечном разрезе под углом $92^{\circ}30'$ - совершенная и по (001) - средняя. В шлифе бесцветный или со слабым розоватым оттенком. Форма кристалла родонита дана на рис. 105.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, характеризующийся показателями преломления: $n_g = 1,723-1,752$; $n_m = 1,716-1,741$; $n_p = 1,711-1,738$; $n_g - n_p = 0,012-0,014$. Высокий рельеф и резкая шагреневая поверхность. В толстых плеохроирует: по N_g - бледно-оранжевый; по N_m - розовый; по N_p - оранжевый. Абсорбция по схеме: $N_g = N_p < N_m$. Углы угасания: $c : N_g = 25^{\circ}$; $b : N_m = 20^{\circ}$. Удлинение родонита может быть положительным и отрицательным, в зависимости от ориентировки разреза по отношению к кристаллографическим осям. Плоскость оптических осей образует угол в 63° с (110) и $38^{\circ}30'$ - с (001). Угол оптических осей - $2U = 58-74^{\circ}$. Дисперсия $r < v$, несимметричная. Интерференционная окраска на разрезе, перпендикулярном N_m , желтая, первого порядка.

И з м е н е н и я. При процессах выветривания по родониту развивается родохрозит или пиролюзит.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Бустамит, авгит, дистен. От бустамита родонит отличается большим преломлением, углом оптических осей (у бустамита $2U = 36-41^{\circ}$); от авгита - меньшим двупреломлением, меньшим углом угасания (у авгита угол угасания $c : n_g = 38-55^{\circ}$); от дистена - лучшей спайностью.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Родонит образуется при региональном метаморфизме осадочных марганцевых руд в P-T условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Как гидротермальный родонит образуется совместно с др. минералами марганца, иногда с сульфидами марганца, цинка, свинца и др.

С е р п е н т и н - $M_3[Si_4O_{10}](OH)_2$.

Под общим названием серпентин объединяет ряд полиморфов и структурных разновидностей, главными из которых являются: хризотил-волокнистый; антигорит - пластинчатый; серпентин - плотный, эмалевидный; бастит - крупнопластинчатый, представляющий собой гомоосевые псевдоморфозы по ромбическому пироксену. Сингония моноклинная. В

шлифе все разновидности бесцветные, реже окрашены в зеленоватый, буроватый, желтоватый, красноватый, зеленовато-синий цвета. Плеохроизм слабый, или почти незаметный. Форма кристаллов серпентина дана на рис.106.

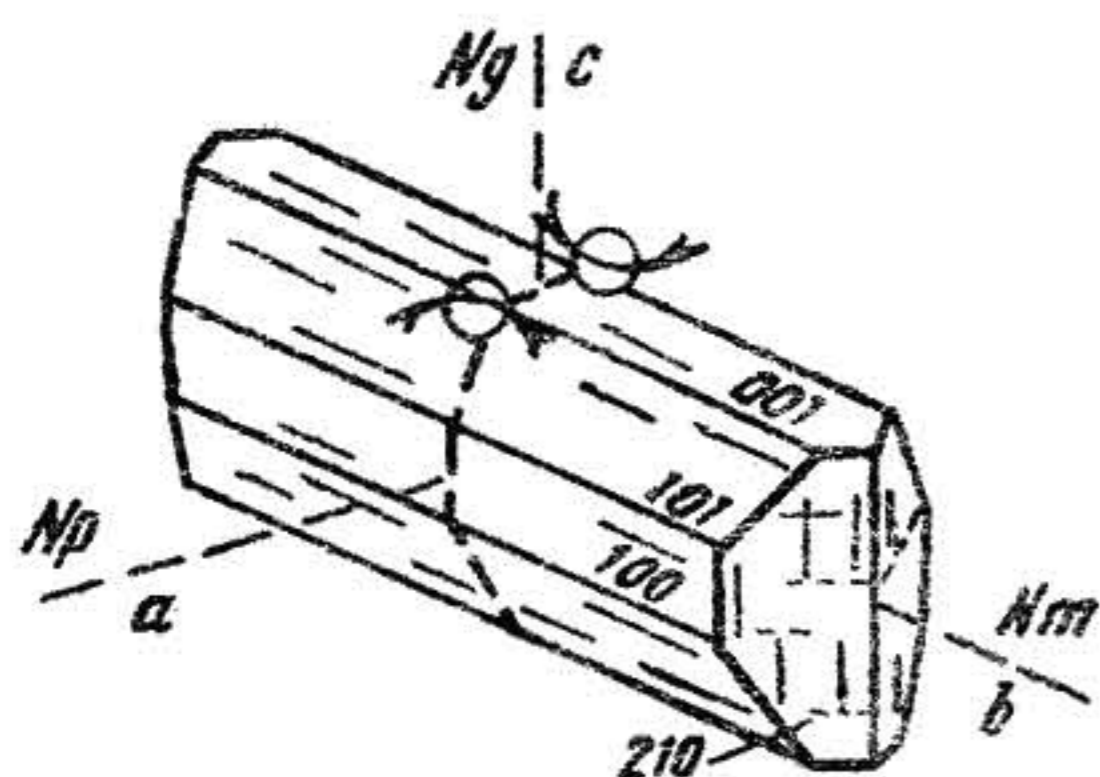


Рис.104. Псевдоцзоизит

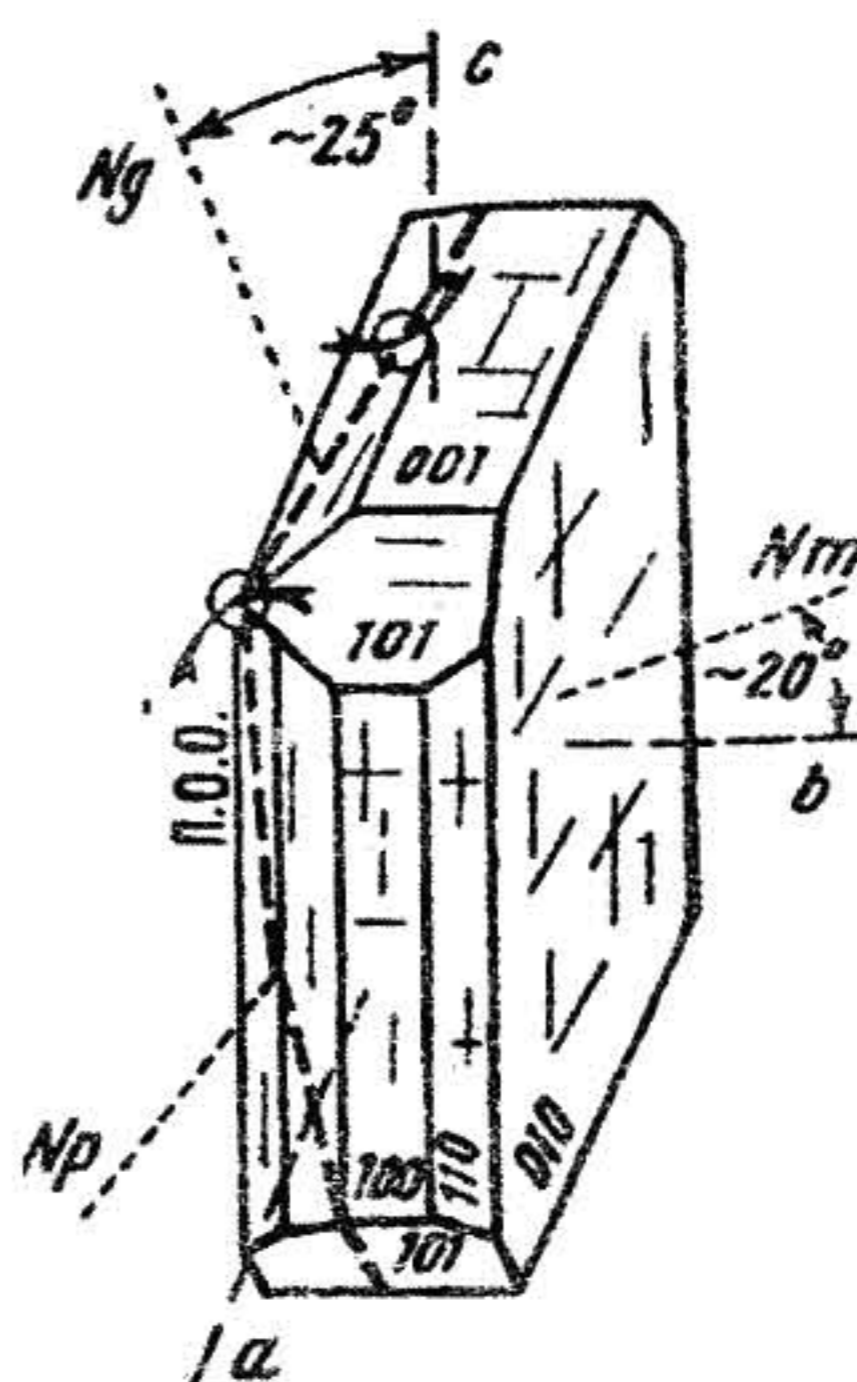


Рис.105. Родонит



Рис.106. Серпентин
увел.20, николи +)

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Хризотил. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,545-1,567$; $n_m = 1,540-1,563$; $n_p = 1,532-1,560$; $n_g - n_p = 0,013-0,007$. Рельеф и шагреневая поверхность отсутствуют. Угасание прямое, удлинение положительное. Плоскость оптических осей перпендикулярна плоскости (001). Угол оптических осей - 2У до 30°. Плеохроизм: M_g - зеленовато-желтый; по $M_m = M_p$ - бесцветный. Интерференционная окраска минерала светло-желтая, первого порядка. Спайность несовершенная по (011).

А н т и г о р и т. Двуосный, отрицательный, обладающий показателем преломления: $n_g = 1,552$; $n_m = 1,551$; $n_p = 1,546$; $n_g - n_p = 0,006$. Рельеф и шагреневая поверхность отсутствуют. Угасание прямое. Удли-

нение положительное. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Угол оптических осей - $2U = 27-60^\circ$. Дисперсия $r > v$. Бесцветный. Спайность весьма совершенная по (001).

С е р п о ф и т. Является скрытокристаллическим дисперсным антигоритом, с которым связан постепенными переходами.

В а с т и т. Отличается от хризотила только по форме выделения, оптическому знаку, более слабому двупреломлению и большему углу оптических осей.

А с б е с т. Тонковолокнистая, легко распадающаяся на мягкие тонкие нити разновидность хризотила (тремолита, актинолита, рибекита, антофиллита).

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Амфибол волокнистого габитуса и хлорит. От амфиболов серпентин отличается более низким преломлением и двупреломлением; от хлорита - по отсутствию аномальных интерференционных окрасок, плеохроизма.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Серпентин - типичный вторичный минерал, развивающийся по магнезиальному оливину - форстериту, хризотилу, пироксенам, реже амфиболам, в гипербазитах, антигипербазитах и габброидах.

С и л л и м а н и т - Al_2SiO_5 . Ромбическая сингония.

Встречается обычно в виде удлиненных призматических кристаллов, имеющих в поперечном сечении прямоугольную или ромбовидную форму, а также в форме игольчатых (рис. 107) и волокнистых агрегатов. Спайность совершенная по (010) и (001). В шлифах бесцветный, а за редким исключением синеватый, буроватый или пятнистой окраски. Форма кристалла силлиманита дана на рис. 108.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный. Обладает высоким рельефом, ясной шагреновой поверхностью и показателями преломления: $n_g = 1,673-1,688$; $n_m = 1,652-1,661$; $n_p = 1,654-1,661$; $n_g - n_p = 0,019-0,026$. Окрашенные разновидности силлиманита обладают слабым плеохроизмом и имеют схему абсорбции $N_g > N_m > N_p$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Погасание прямое, удлинение положительное. Угол оптических осей - $2U = 20-30^\circ$. Дисперсия $r > v$, сильная. Интерференционная окраска в разрезах, перпендикулярных N_g - темно-серая, первого порядка; N_m - красноватая, первого порядка; N_p - желтая, красная, первого порядка.

В к л ю ч е н и я. Довольно часто содержит многочисленные включения биотита, кварца, плагиоклаза и шпинели.

Р а з н о в и д н о с т и. Относительно широким распространением пользуется фибролит (рис. 109), имеющий игольчатые, спутано-во-

локнистые, волосовидные кристаллы, которые вследствие дисперсии приобретают буроватую окраску (рис. II0).

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Дистен, андалузит, цоизит, тремолит, ромбические пироксены, карфолит. В отличие от дистена силлиманит обладает меньшим показателем преломления и углом $2U$, большей величиной двупреломления, прямым погасанием по (010) и игольчатой формой кристаллов; от андалузита - большим показателем преломления и величиной двупреломления, меньшим углом оптических осей и положительным удлинением; от цоизита - меньшим показателем преломления, значительно высоким двупреломлением и отсутствием аномальной интерференционной окраски у силлиманита; от тремолита - положительным удлинением, значительно меньшим углом оптических осей и прямым погасанием; от ромбических пироксенов - более высоким двупреломлением, меньшим углом оптических осей ($2U$) и по характеру спайности; от карфолита отличается прямым погасанием, меньшим углом оптических осей $2U$ и относительно большим показателем преломления.

Г е н е з и с. **Метаморфогенный.** Высокотемпературный в породах контактового и регионального метаморфизма. Встречается в ксенолитах метаморфических пород. Широко распространен в кристаллических сланцах амфиболитовой и гранулитовой фаций метаморфизма, где находится в ассоциации с гранатом, биотитом, дистеном, кордиеритом, гиперстеном, шпинелью и андалузитом. В отдельных случаях силлиманит образуется при метасоматических процессах кислотного выщелачивания. В этом случае формируется метасоматическая зональность кварц-силлиманитовой фации. Редко силлиманит встречается в эклогитах и спорадически в пегматитах

С т а в р о л и т - $(Fe^{2+}, Mg)(Al, Fe^{3+})_4 [SiO_4]_2 O_2 (OH)_2$.
Сингония моноклинная (псевдоромбическая).

Образует короткопризматические кристаллы, крестообразные двойники, изометричные удлиненные зерна (рис. III). Спайность совершенная по (010). В шлифе бесцветный либо слабо окрашен в оранжево-желтый или золотисто-желтый цвет, иногда с коричневатым оттенком. Форма кристалла ставролита дана на рис. II2.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный. Показатели преломления: $n_g = 1,752-1,762$; $n_m = 1,745-1,753$; $n_p = 1,736-1,747$; $n_g - n_p = 0,012-0,016$. Обладает высоким рельефом и резкой шагреновой поверхностью. Плеохроизм слабый: по N_g - золотисто-желтый, красновато-желтый; по N_m - светло-желтый; по N_p - бледно-желтый до бесцветного. Схема абсорбции $N_g > N_m > N_p$. Угасание прямое. Знак глав-



Рис. 107. Силлиманит (увел. 20, николи //)

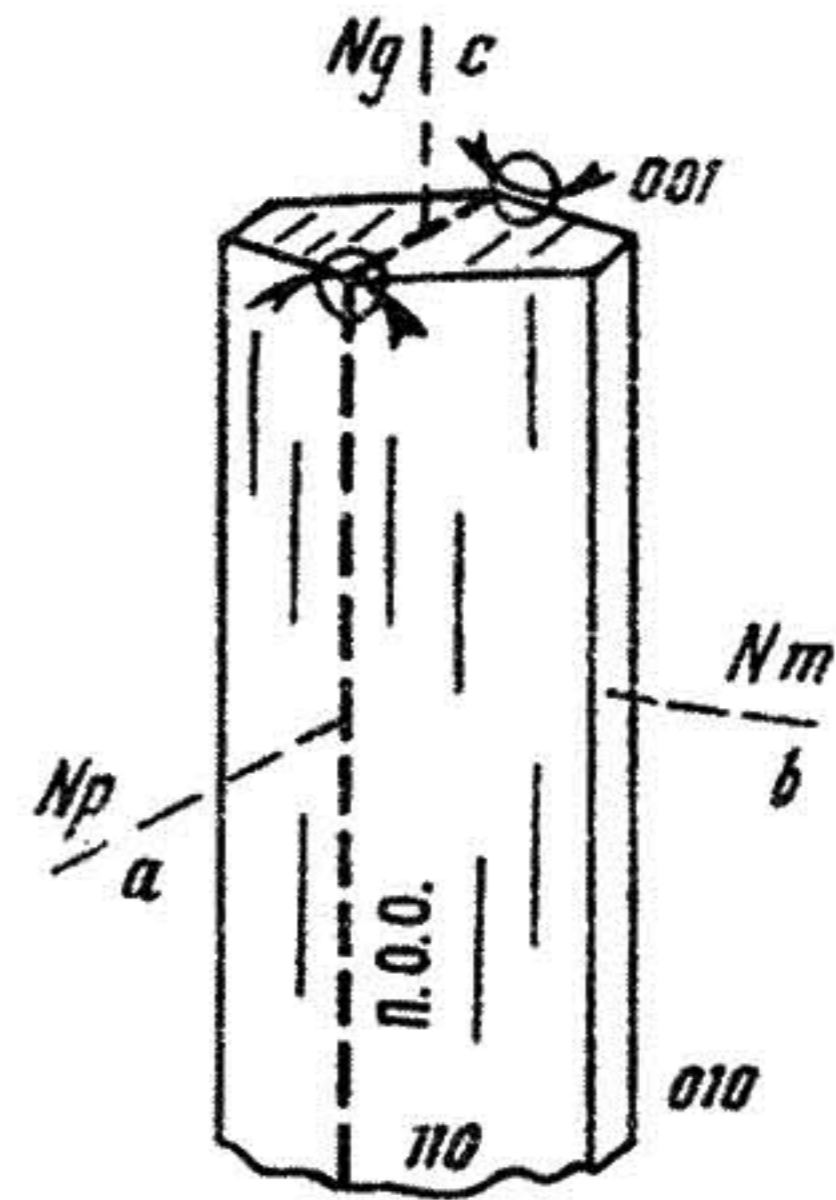


Рис. 108. Силлиманит: а - кристалл; б - разрезы, в - фибролит



Рис. 109. Фибролит - гранат - двуслюдяной сланец (увел. 20, николи //)



Рис. 110. Фибролит - гранат-биотитовый сланец (увел. 20, николи //)

ной зоны положительный. Плоскость оптических осей находится в плоскости (100). Угол оптических осей - $2U = 78-88^\circ$. Дисперсия $x > v$, сильная. Интерференционная окраска на разрезе, перпендикулярном N_m , серая, желтая, первого порядка.

В к л ю ч е н и я. Очень часто содержит многочисленные включения кварца, граната, рутила, турмалина, графита и др. минералов (рис. 113).

и з м е л с н и я. При наложенных процессах метаморфизма и метасоматоза ставролит замещается хлоритом, мусковитом и кварцем.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Ромбический пироксен, ортит, эпидот, везувиан, меланит и фаялит. В отличие от пироксена ставролит обладает характерной окраской, иной спайностью, прямым угасанием; от ортита - меньшими преломлениями и двупреломлением, прямым угасанием; от эпидота - положительным оптическим знаком, значительно более низким двупреломлением; от везувиана - более высоким двупреломлением; от фаялита - меньшим преломлением и двупреломлением, а также положительным оптическим знаком; меланит изотропен, а ставролит анизотропен.

Г е н е з и с. Ставролит - типичный минерал регионального метаморфизма дистен-силлиманитового и андалузит-силлиманитового типов метаморфизма. Особенно характерен для метапелитов амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций метаморфизма. В таких породах ставролит находится в ассоциации с гранатом, мусковитом, биотитом, хлоритом, хлоритоидом, дистеном, андалузитом, кварцем и олигоклазом. В метасоматических породах ставролит отмечается в парагенезисе с амфиболитом, эпидотом, цоизитом, хлоритом и рудными минералами.

С ф е н (титанит) - $\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$. Моноклинная сингония.

В шлифе встречается в виде неправильных зерен и их агрегатов, а также в клиновидных, конвертообразных, призматических и таблитчатых кристаллах. Двойники простые по (100) и полисинтетические. Спайность несовершенная в двух направлениях (рис. 114). Бесцветный, серый (вследствие высокого преломления), иногда буроватый с оранжевым оттенком, коричневый. Форма кристалла сфена дана на рис. 115.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,975-2,054$; $n_m = 1,895-1,921$; $n_p = 1,888-1,913$; $n_g - n_p = 0,090-0,140$. Чрезвычайно высокий рельеф и резкая шагреневая поверхность. У окрашенных разностей отмечается слабый плеохроизм: по N_g - светло-коричневатый, светло-розоватый, грязно-желтый; по N_m - светло-зеленый, коричневый, зеленовато-желтый; по N_p - почти бесцветный, буровато-желтый. Абсорбция по схеме $N_g > N_m > N_p$. В срезе, параллельном плоскости оптических осей, часто наблюдается псевдоабсорбция. Углы угасания: $b: N_m = 0^\circ$; $c: N_g = 51^\circ$, $a: N_p = 21^\circ$. Знак главной зоны отрицательный. Угол оптических осей $2U = 23-37^\circ$, дисперсия $r \gg v$, сильная, с появлением изохроматических колец. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Интерференционная окраска на срезе, парал-

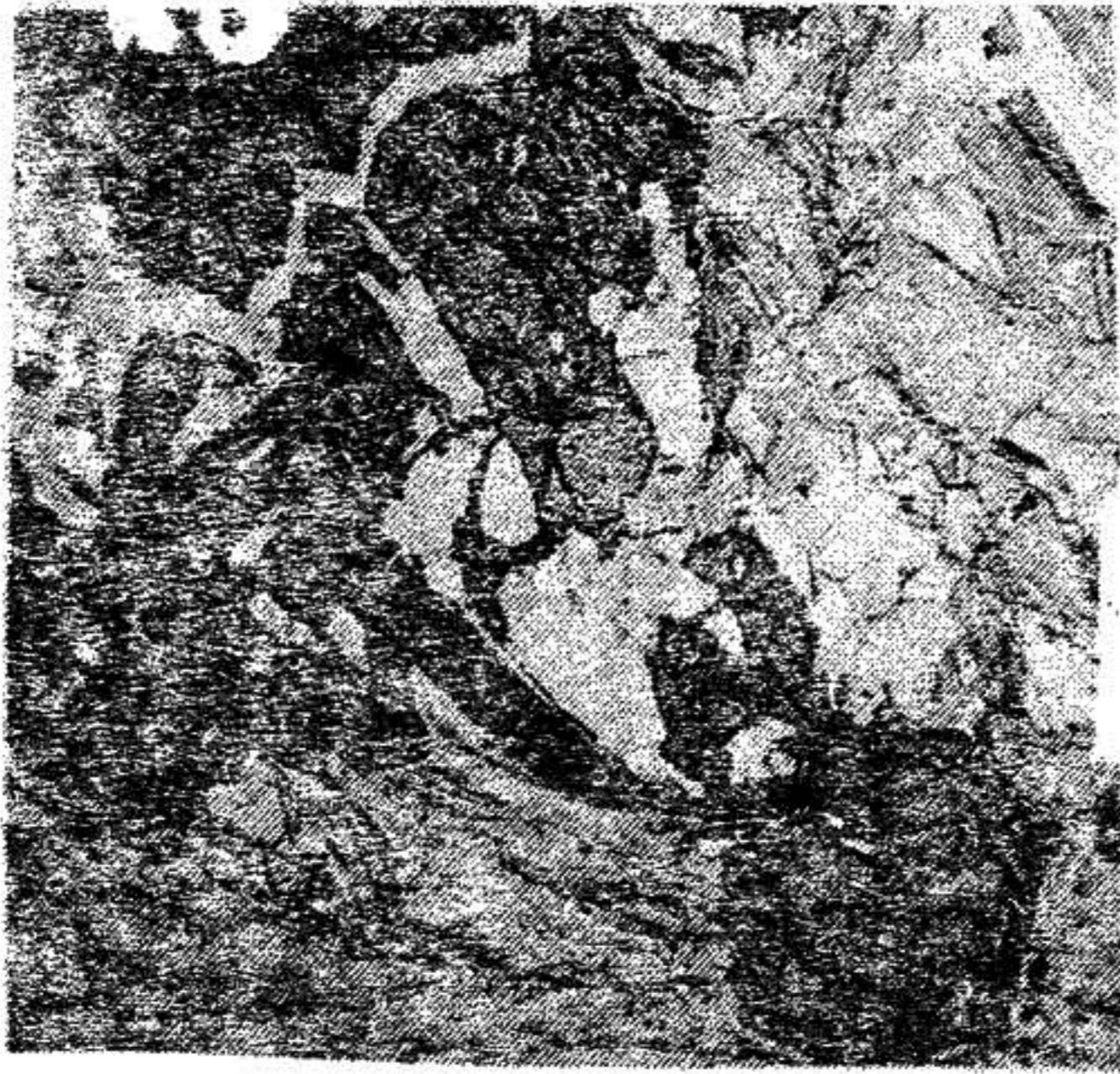


Рис. III. Ставролит-гранат-двуслюдяной сланец (увел. 20, никола //)

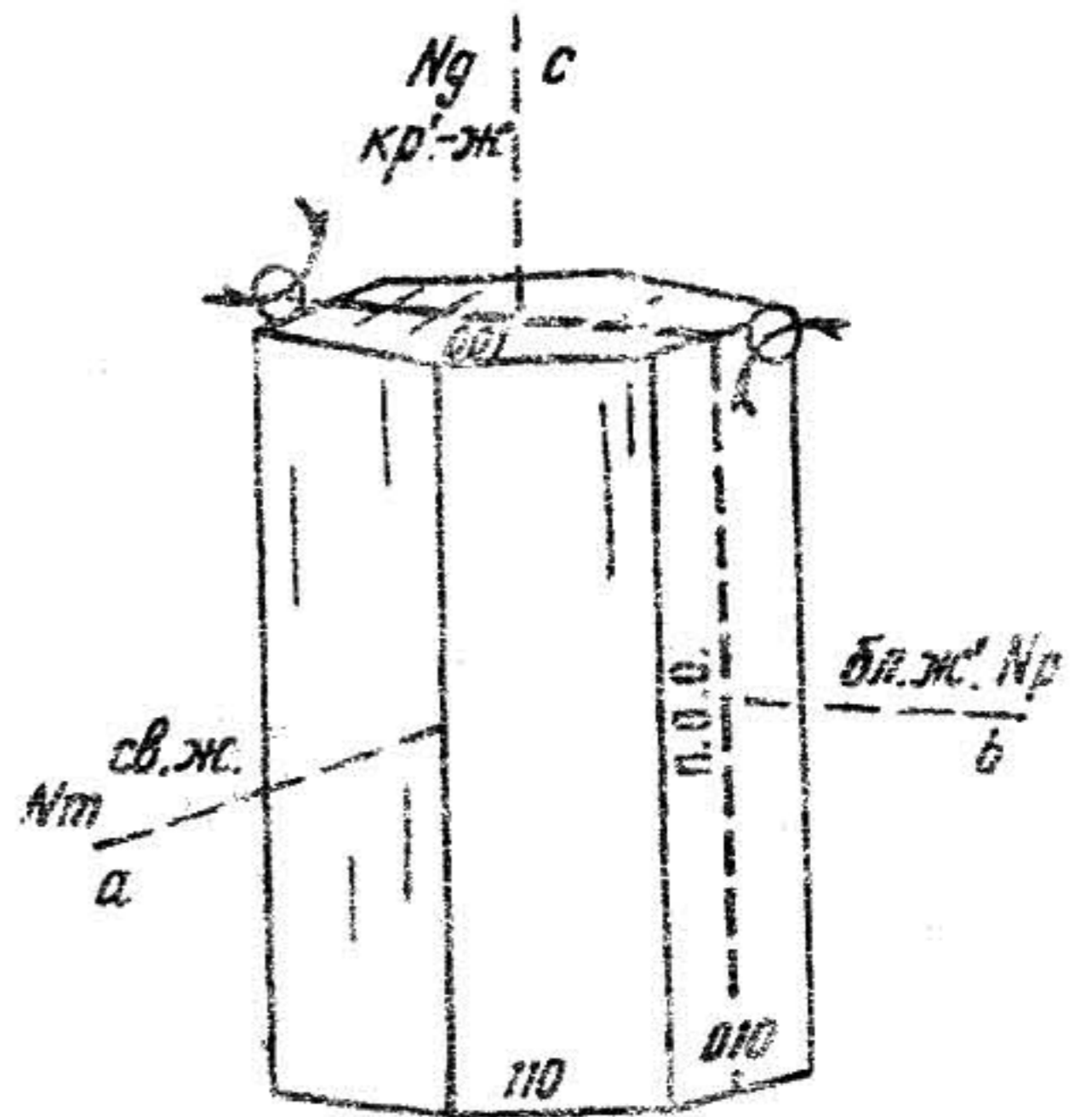


Рис. II2. Ставролит

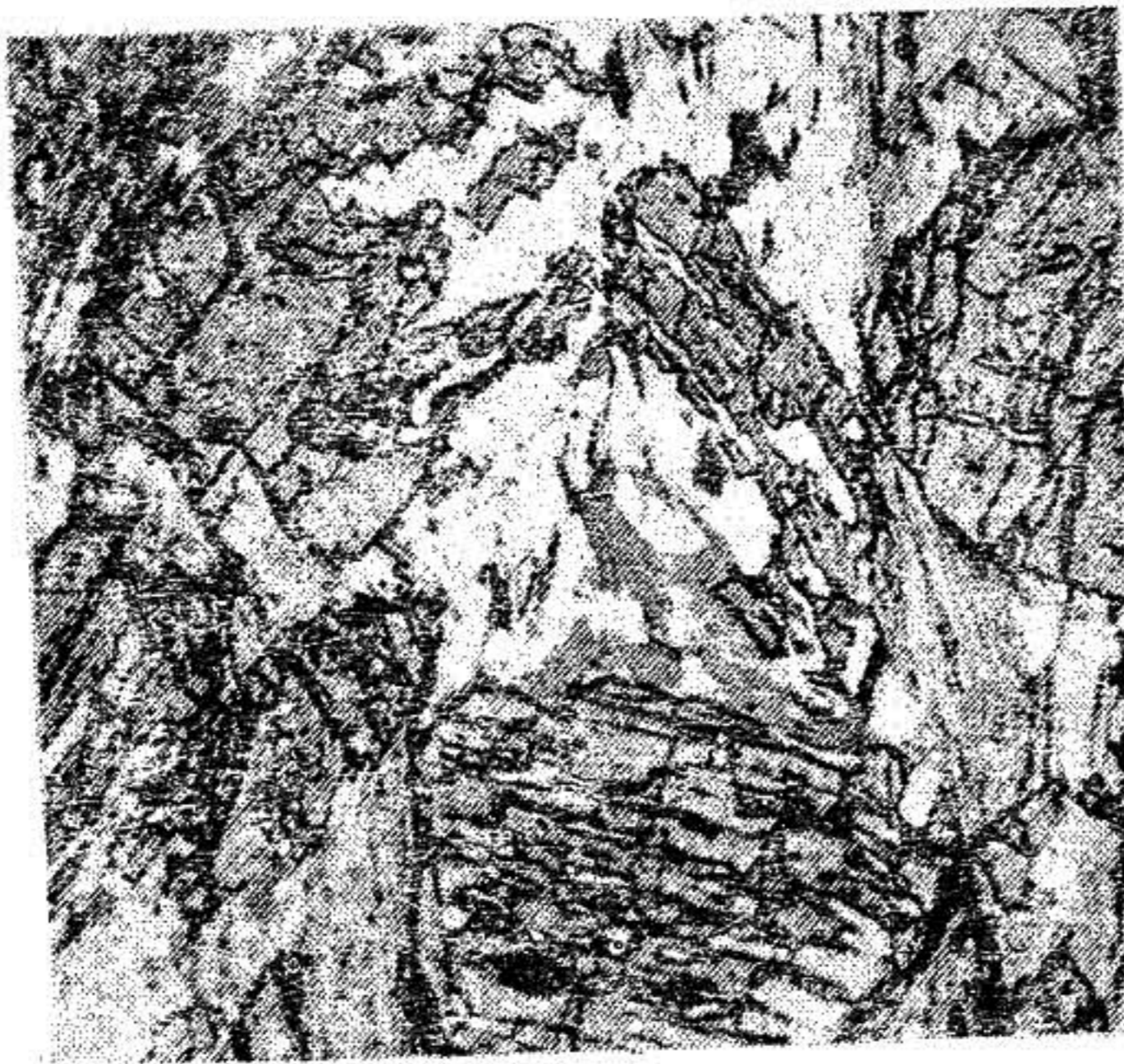


Рис. II3. Ставролит-гранат-двуслюдяной сланец. Ставролит содержит включения кварца, рутила; графита и мусковита (увел. 20, николи //)

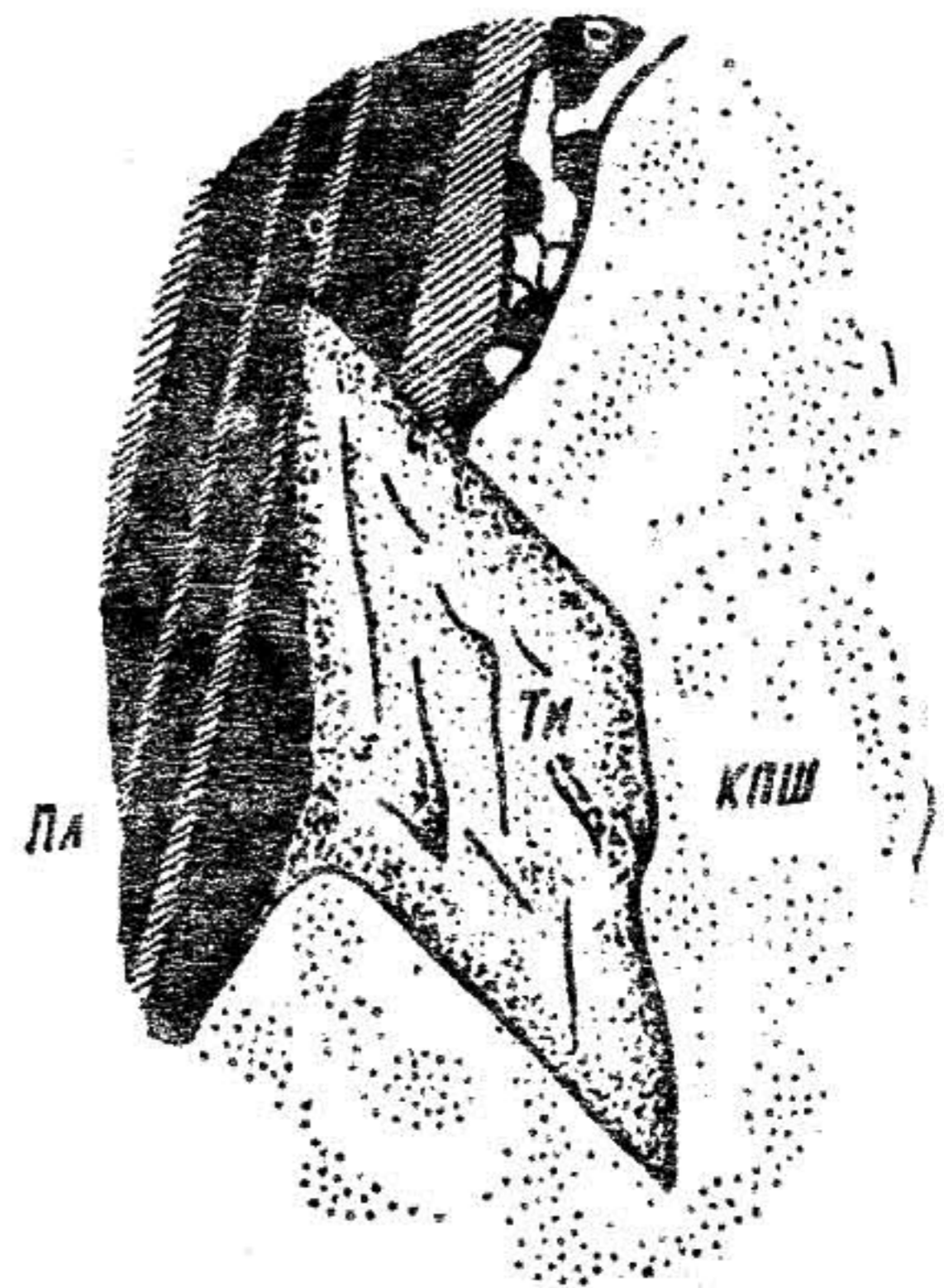


Рис. II4. Сфен в амфиболите

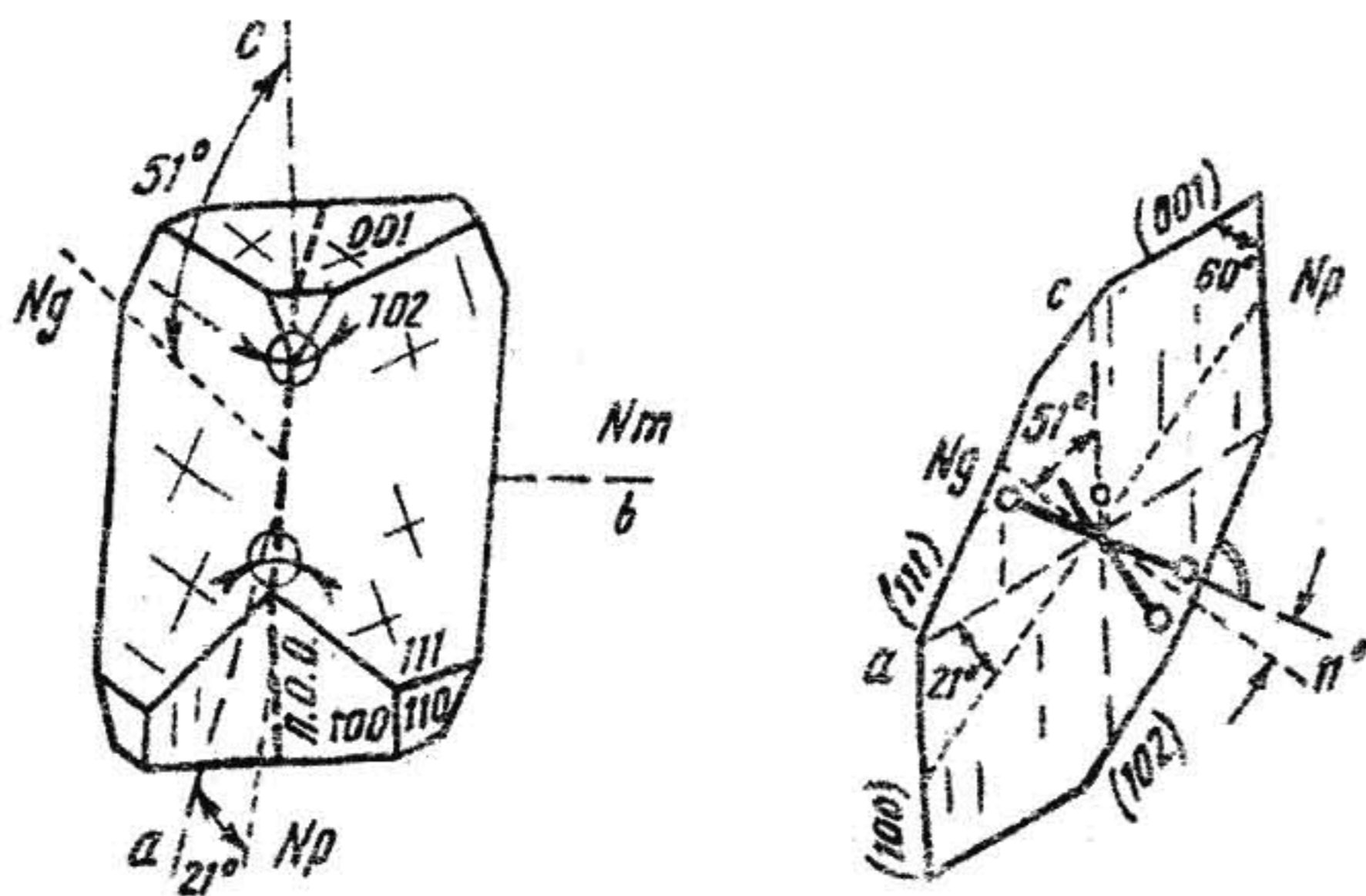


Рис. II5. Сфен

лельном плоскости оптических осей, четвертого порядка. Вследствие дисперсии биссектрис иногда наблюдается неполное угасание минерала.

В к л ю ч е н и я. Сфен содержит включения мелких зерен магнетита, апатита, циркона, рутила, полевых шпатов и др. минералов.

И з м е н е н и я. Сфен относительно стойкий минерал, но иногда при повторных наложенных процессах метаморфизма он преобразуется в микрозернистую или землистую массу, называемую лейкоксеном. Микрозернистые оболочки вокруг зерен титаномagnetита являются продуктом изменения титаномagnetита и называются титаноморфитом. Редко превращается в аморфную массу, состоящую из ильменита, рутила и кальцита.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Циркон, кальцит, касситерит, ксенотим, рутил, ставролит. От циркона сфен отличается двуосностью, формой зерен; от кальцита - большим преломлением во всех направлениях и осностью; от касситерита - более высоким двупреломлением, формой зерен, характером двойников, осностью (касситерит одноосный, положительный); от ксенотима - осностью, формой зерен; от рутила - осностью, окраской; от ставролита - значительно более высоким преломлением и двупреломлением.

Г е н е з и с. Метаморфогенный и магматогенный. Как метаморфогенный сфен широко распространен в породах регионального метаморфизма амфиболитовой и гранулитовой фации в ассоциации с амфиболитами, пироксенами, биотитом, гранатом альмандин-гроссуляр-андрадитового состава, полевыми шпатами, кварцем и др. минералами. В качестве

второстепенного минерала сфен особенно часто отмечается в амфиболитах, роговиках и скарнах. Как вторичный - метаморфогенный минерал образуется при биотитизации роговой обманки, хлоритизации биотита и роговой обманки и в виде псевдоморфоз по титаномагнетиту. Сфен магматогенного генезиса особенно часто встречается в сиенитах, гранитах, диоритах и карбонатитах.

Т и л л и и т (тиллит) - $\text{Ca}_5[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{CO}_3)_2$. Моноклинная сингония.

В шлифе образует мелкие, неправильные или изометричные, бесцветные зерна; иногда образует реакционные каймы на спуррите. Обладает 3-4 системами трещин спайности: по (100) - совершенная; по (101) - хорошая; по (010) - несовершенная; несовершенная - перпендикулярная к (010). Обладает простыми двойниками, редко полисинтетическими по (101).

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,653$; $n_m = 1,634$; $n_p = 1,611$; $n_g - n_p = 0,042$. Имеет высокий рельеф и шагреневую поверхность. Угол $2V$ - оптических осей - $2V = 88^\circ$. Дисперсия по схеме $r > v$, ясная. Абсорбция $N_g > N_m > N_p$. Интерференционная окраска на разрезе, перпендикулярном к плоскости (010), желтая, синяя, зеленая, второго порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Спуррит. От спуррита тиллит отличается по характеру двойников и наличию трех систем спайности у тиллита.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Образуется в P-T условиях спуррит-мервинитовой фации контактового метаморфизма. Широко распространен в парагенезисах с геленитом, мервинитом, волластонитом, гроссуляром, пироксеном, монтичеллитом, кальцитом и др. минералами.

Т о п а з. - $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{OH}, \text{F})_2$. Ромбическая сингония. Образует призматические, столбчатые кристаллы или изометричные зерна, иногда радиально-лучистые агрегаты. Спайность совершенная по (001). Цвет топаза сильно колеблется от бесцветного через желтый и различные оттенки винно-красного до светло-голубого и светло-зеленого. Форма кристаллов топаза дана на рис. 116.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Показатели преломления: $n_g = 1,616-1,644$; $n_m = 1,609-1,637$; $n_p = 1,606-1,635$; $n_g - n_p = 0,010-0,008$. Заметный рельеф и шагреневая поверхность. Угасание прямое. Удлинение положительное. Угол оптических

осей $2U$ колеблется от 44 до 66° . Дисперсия $r > v$, ясная. В некоторых случаях окрашен и слабо плеохроирует: по n_g - бледно-фиолетовый; по $n_{ш}$ - бледно-желтый; по n_p - темно-желтый. Абсорбция по схеме $n_g > n_{ш} > n_p$. Интерференционная окраска на разрезе, перпендикулярном N_m серая, первого порядка.

Включения. Обычны включения газовой-жидкой фазы, с наличием мельчайших выделений рудных минералов, а иногда гематита и ильменита.

Разновидности. Бразильский рубин - розовая разновидность топаза, встречается редко; пикнит представляет собой столбчатую разновидность топаза; физалит, -или пирофизалит - полупрозрачная разновидность топаза.

Изменения. Топаз замещает мусковит и цинвальдит и сам в свою очередь может подвергаться гидротермальному метасоматозу с привнесением K , Fe , Mg , Ca и Li , приводящих к увеличению количества газовой-жидких включений. Довольно легко замещается серицитом и каолинитом.

Похожие минералы. Андалузит, силлиманит, везувиан, кварц, цоизит, апатит, мелилит. От апатита топаз отличается двуосностью, наличием спайности, формой зерен; от андалузита - более низким преломлением и двупреломлением; от кварца - двуосностью; от цоизита, мелилита и везувиана - отсутствием аномальной интерференционной окраски. Кроме того, мелилит и везувиан одноосны.

Генезис. Метаморфогенно-гидротермальный встречается, главным образом, в грейзенах, гранитах, гранитных пегматитах и риолитах в парагенезисе с кварцем, турмалином, касситеритом, флюоритом, бериллом, мусковитом, цинвальдитом, лепидолитом, альбитом, вольфрамитом и др. В метаморфических породах топаз известен из месторождений наждака, образовавшихся в результате метаморфизма бокситов.

Томсонит - $Ca_2Na[Al_5Si_5O_{20}]6H_2O$. Группа цеолитов. Ромбическая сингония.

Обычно встречается в виде радиально-лучистых, волокнистых и зернистых агрегатов. Хорошо образованные кристаллы - пластинчатые призмы с вертикальной штриховкой - встречается относительно редко. Спайность совершенная по (010) и несовершенная по (100) . В шлифе бесцветный. Форма кристалла томсонита дана на рис. 117.

Оптические свойства. Двуосный, положительный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,516-1,545$; $n_m =$

1,509–1,532; $n_p = 1,507–1,530$; $n_g - n_p = 0,009–0,015$. Рельеф и шагреновая поверхность отсутствуют. Угасание прямое. Удлинение в зависимости от разреза может быть положительным и отрицательным. Плоскость оптических осей параллельна (001). Угол оптических осей $2U = 47–75^\circ$. Дисперсия $r > v$, ясная. Интерференционная окраска на срезах, параллельных плоскости оптических осей, от серой до желтой, первого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Цеолиты. От натролита томсонит отличается несколько большим преломлением, иной схемой дисперсии и переменным знаком удлинения; от остальных цеолитов томсонит отличается прямым погасанием.

Г е н е з и с. Метаморфогенный и гидротермальный. Как метаморфогенный встречается в сланцах или в карбонатных породах контактового метаморфизма в парагенезисе с пренитом и цеолитами. Часто образуется при разрушении плагиоклазов, фельдшпатоидов и минералов группы содалита. Как гидротермальный формируется в пустотах эффузивов основного состава.

Ф и л л и п с и т – $(K_2, Ca)[Al_2Si_4O_{12}]4,5H_2O$. Группа цеолитов. Моноклинная сингония.

Филлипсит представлен радиально-лучистыми агрегатами или неправильными зернами. Кристаллизуется он и в двойниках прорастания ромбической или квадратной симметрии, в виде прямоугольных крестов в двух или трех направлениях. Спайность совершенная по (001) и (010). В шлифе бесцветный. Форма кристалла филлипсита дана на рис. 118.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,486–1,514$; $n_m = 1,484–1,509$; $n_p = 1,483–1,504$; $n_g - n_p = 0,003–0,010$. Имеет слабый отрицательный рельеф и заметную шагреновую поверхность на нижней стороне шлифа. Углы угасания: $b:N_p = 0^\circ$; $a:N_m = 46–65^\circ$; $c:N_g = 11–30^\circ$. Удлинение положительное. Плоскость оптических осей перпендикулярна (010). Угол оптических осей на разрезах, перпендикулярных M , серая, первого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Десмин. Гармотом. У гармотома прямое погасание по $b:N_g$; у десмина – пл. о.о. параллельна (010).

Г е н е з и с. Метаморфогенно-гидротермальный. Встречается в пустотах базальтов, в отложениях горячих источников.

Хондродит - $Mg_5[SiO_4]_2(OH, F)_2$. Моноклинная сингония. В качестве изоморфной примеси могут присутствовать железо, марганец, алюминий и другие.

Встречается в изометричных, призматических и таблитчатых кристаллах, округлых зернах. Спайность несовершенная по (001). Иногда образует полисинтетические двойники по (001). В шлифе бесцветный или слабо окрашен в желтый или буроватый цвет. Форма кристалла хондродита дана на рис. 119.

Оптические свойства. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,623-1,653$; $n_m = 1,603-1,632$; $n_p = 1,593-1,619$; $n_g - n_p = 0,030-0,034$. Ясный, четкий рельеф и шагреньевая поверхность. У окрашенных разностей слабый плеохроизм: по n_g - бледно-желтоватый, светло-бурый, буровато-желтый, бесцветный; по n_m - светло-желтый, бледный, желтовато-зеленый, бесцветный, красновато-бурый; по n_p - золотисто-желтый, коричнево-желтый, буровато-желтый. Углы угасания: $b: n_g = 0^\circ$, $a: n_m = 3-14^\circ$; $c: n_p = 22-29^\circ$. Плоскость оптических осей перпендикулярна плоскости (010). Знак главной зоны неопределим. Угол оптических осей - $2U = 73-89^\circ$. Дисперсия $r > v$, очень слабая. Интерференционная окраска в сечении, параллельном плоскости оптических осей, желтая, второго порядка.

Изменения. При повторных наложениях процессах метаморфизма по хондродиту развивается антигорит, брусит, магнезит и др.

Похожие минералы. Ставролит, оливин, гуммит. От ставролита хондродит отличается меньшим преломлением и более высокой интерференционной окраской; от оливина и гуммита - косым угасанием.

Генезис. Метаморфогенный. Встречается в эрланах, скарнах, мраморах в парагенезисе с кальцитом, доломитом, флогопитом, диопсидом, шпинелью и др. минералами.

Хризоберилл - $BeAl_2O_4$. Ромбическая сингония. Встречается в форме псевдогексагональных или таблитчатых кристаллов и очень редко в виде неправильных зерен. Изредка образует тройники. В шлифе бесцветный или слабо окрашенный в красноватый, желтоватый или зеленоватый цвет. Спайность совершенная по (001), несовершенная по (100) и (010). Форма кристалла хризоберилла дана на рис. 120.

Оптические свойства. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,753-1,758$; $n_m = 1,747-1,749$; $n_p = 1,744-1,747$; $n_g - n_p = 0,009-0,011$. Обладает высоким рельефом и ясной шагреньевой поверхностью. Окрашенный хризоберилл слабо

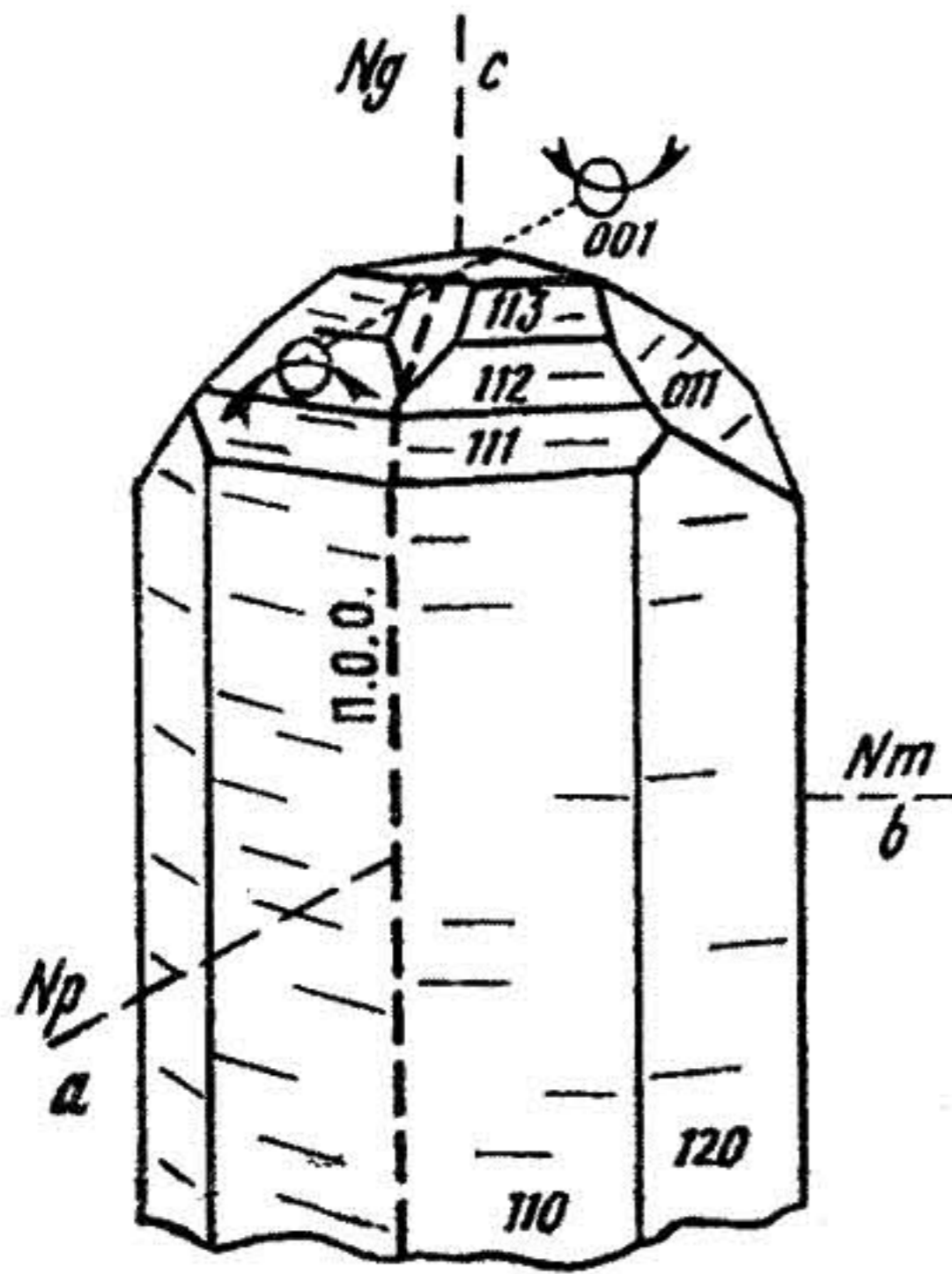


Рис. 116. Топаз

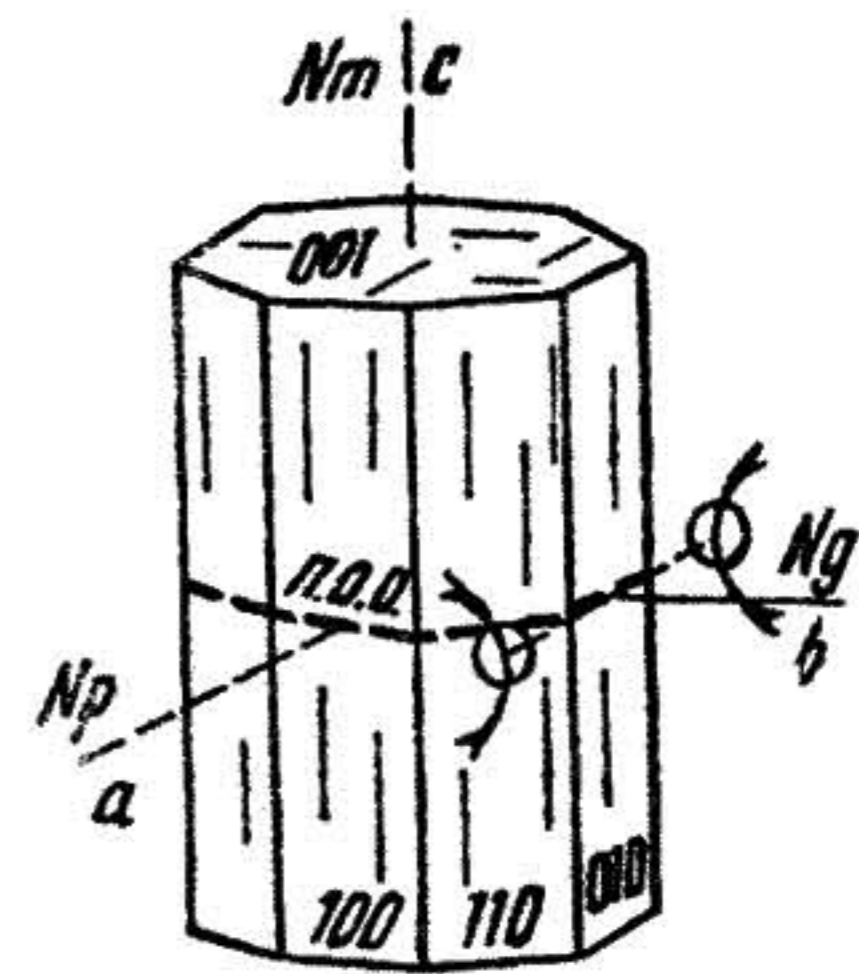


Рис. 117. Томсонит

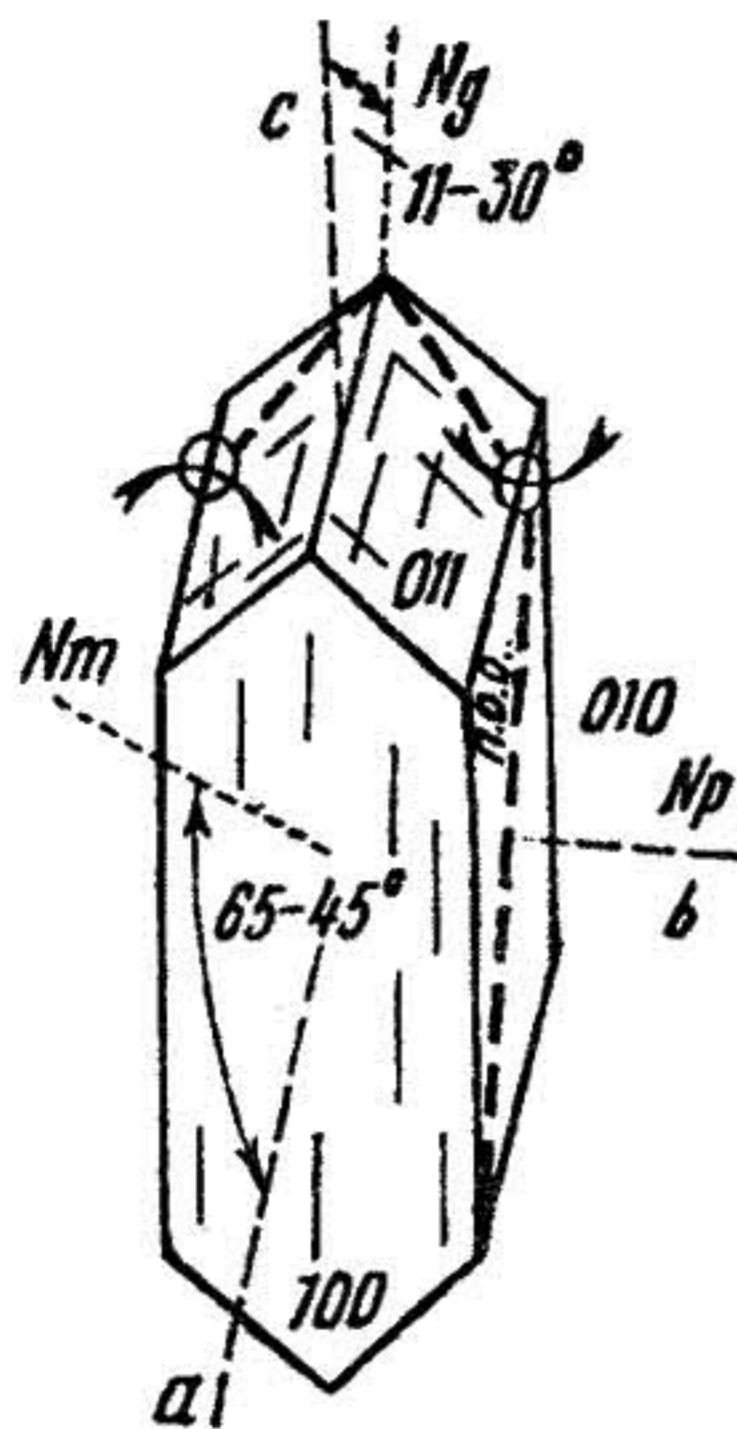


Рис. 118. Филлипсит

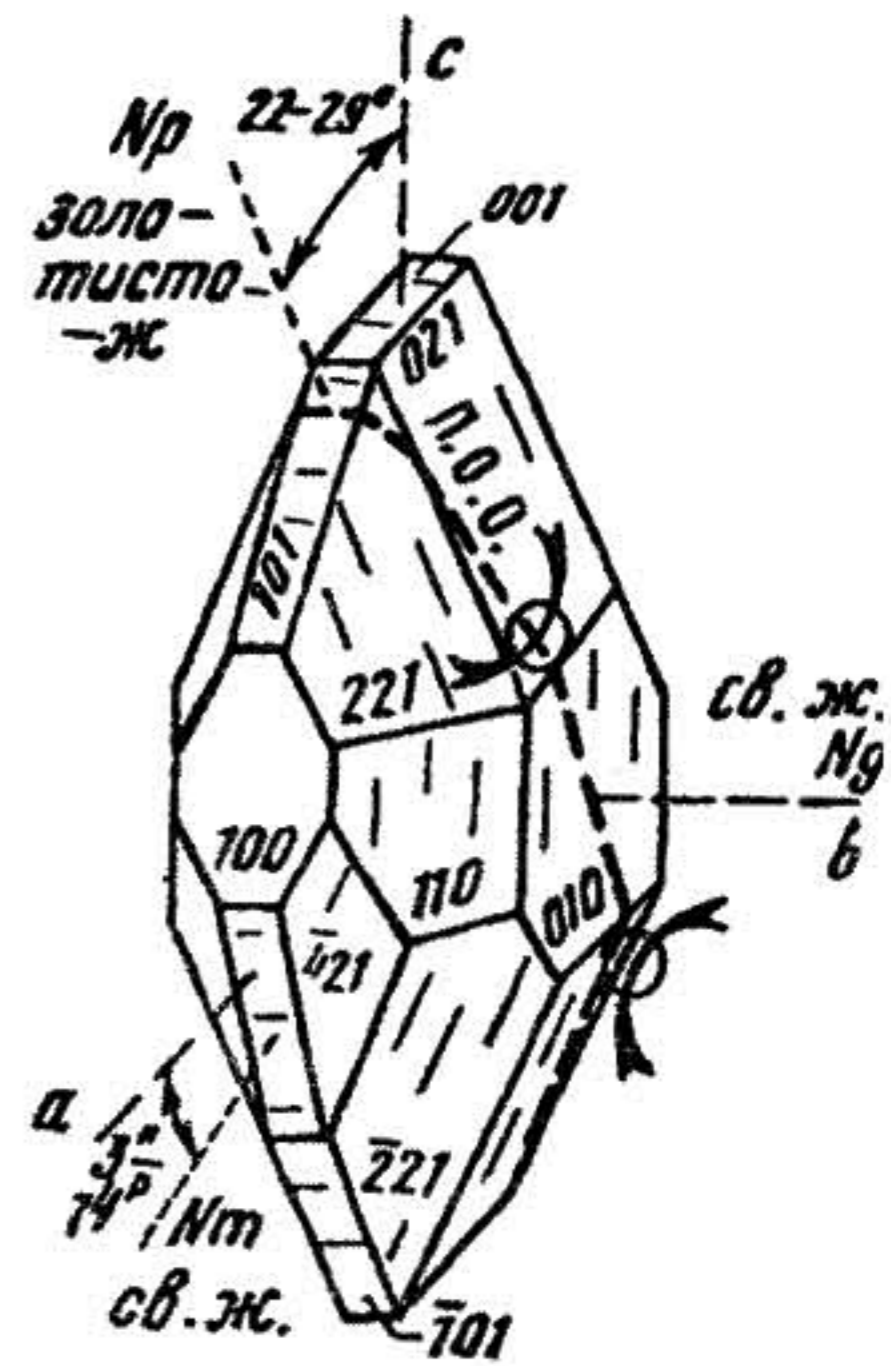


Рис. 119. Хондродит

плеохроирует: по N_g - светло-зеленоватый, бесцветный, желтый; по N_m - светло-желтый; по N_p - светло-красноватый, бесцветный. Абсорбция по схеме $N_g > N_m > N_p$. Угасание прямое, удлинение положительное. Плоскость оптических осей лежит в плоскости (010). Угол оптических осей - 2ψ около 45° . Дисперсия по схеме $r > v$, слабая, но иногда очень сильная. Интерференционная окраска на разрезе, перпендикулярном N_m , серая, первого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Берилл, корунд. От берилла хризоберилл отличается осностью (берилл – одноосный, отрицательный) и более высоким двупреломлением; от корунда – осностью (корунд – одноосный, отрицательный).

Г е н е з и с. Метаморфогенный, пегматитовый. Как метаморфогенный хризоберилл встречается в породах контактового метаморфизма – роговиках, скарнах. Особенно в приконтактовой зоне гранитов, пегматитов со сланцами, в парагенезисе с бериллом, апатитом, плагиоклазом, микроклином, мусковитом, биотитом и кварцем. Редко хризоберилл отмечается как акцессорный минерал редкометальных пегматитов.

Ц е л ь з и а н – $\text{Ba}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$. Группа полевых шпатов. Моноклинная сингония.

Образует короткопризматические, столбчатые кристаллы и изометричные зерна. Спайность совершенная по (001) и (010), несовершенная по (110). Двойники по бавенскому, карлсбадскому и манебахскому законам. В шлифе бесцветный. Форма кристалла цельзиана дана на рис. 121.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный. Показатели преломления: $n_g = 1,588-1,596$; $n_m = 1,583-1,589$; $n_p = 1,579-1,584$; $n_g - n_p = 0,009-0,012$. Рельеф и шагреневая поверхность отсутствуют. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Углы угасания: $M_g = 0^\circ$; $M_m = 3^\circ$; $M_p = 27-30^\circ$ (рис. 121). Угол оптических осей – $2U = 88^\circ$. Знак главной зоны не определяется. Интерференционная окраска – светло-серая, белая, первого порядка.

В к л ю ч е н и я. Цельзиан иногда содержит включения кварца, клинопироксенов, граната, амфибола и акцессорных минералов.

Р а з н о в и д н о с т и. Кальциоцельзиан, в котором содержится 25% анортитовой составляющей. Казоит представляет собой цельзиан с большим содержанием калия. Парацельзиан представляет собой полиморфную модификацию цельзиана.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Ортоклаз и гиалофан. От ортоклаза цельзиан отличается большим преломлением, двупреломлением и углом оптических осей – $2U$. От гиалофана цельзиан – более высоким двупреломлением, положительным оптическим знаком и иной ориентировкой плоскости оптических осей.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Контактво-пневматолитовый в марганцевых породах в ассоциации с марганцевым оливином, родонитом, доломитом, кварцем, диопсид-геденбергитом и др. минералами.

Ц о и з и т - $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{Si}_3\text{O}_{12}]\text{OH}$. Группа эпидота. Ромбическая сингония.

Образует призматические, удлиненные, шестоватые, широкотаблитчатые кристаллы, дающие иногда гексагональные разрезы, неправильные зерна, их микрозернистые агрегаты, сферокристаллы, лучистые агрегаты. На крупных зернах видна ясная штриховка в вертикальном направлении. Спайность совершенная по (001). В шлифе бесцветный. Двойники отсутствуют. Форма кристалла цоизита дана на рис. 122.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный. Если плоскость оптических осей совпадает с плоскостью (100) - это α -цоизит. У β -цоизита плоскостью оптических осей является (010). Преломление α -цоизита выше, двупреломление немного меньше, чем у β -цоизита: $n_g = 1,702-1,707$; $n_m = 1,695-1,702$; $n_p = 1,695-1,701$; $n_g - n_p = 0,007-0,006$. Высокий рельеф, резкая шагреневая поверхность. Угасание относительно ясно выраженного удлинения и спайности прямое или близкое к прямому. Удлинение может быть положительным и отрицательным. Угол оптических осей - $2U$ у α -цоизита равен $45-50^\circ$, у β -цоизита - $0-30^\circ$. Дисперсия оптических осей, соответственно, $r < v$ и $r > v$. Вследствие сильной дисперсии двупреломления в некоторых разрезах наблюдается весьма характерная аномальная интерференционная окраска: серо-синяя, фиолетовая, желтовато-бурая, густо-синяя.

Р а з н о в и д н о с т и. Выделяются следующие разновидности цоизита: сосюрит - скрытокристаллический продукт изменения полевых шпатов - плагиоклазов основного состава (лабрадора, битовнита и анортита), состоящий в основном из цоизита; тулит - розово-красный от примесей марганца, с сильным плеохроизмом марганцовистый цоизит; танзанит - прозрачный аметисто-фиолетовый ванадиевый цоизит.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Апатит, меллит, везувиан, эпидот, силлиманит, клиноцоизит. От апатита цоизит отличается по наличию спайности, большому преломлению, форме зерен, двуосности и оптическому знаку; от меллита - по отсутствию окраски, а также двуосности, оптическому знаку и спайности; от везувиана - по меньшему преломлению, наличию спайности, оптическому знаку; от эпидота - по оптическому знаку, низкому двупреломлению, меньшему углу оптических осей - $2U$; от силлиманита - по меньшему двупреломлению, меньшему углу оптических осей - $2U$, иному характеру спайности.

Г е н е з и с. Метаморфогенный, гидротермальный. Цоизит широко развит в метаморфических породах зеленосланцевой, эпидот-амфиболи-

товой фации регионального метаморфизма в парагенезисе с роговой обманкой, тремолитом, актинолитом, кальцитом, флогопитом, биотитом и др. минералами. Как продукт гидротермального изменения основных, иногда средних плагиоклазов, цоизит развит в ассоциации с альбитом, хлоритом, эпидотом, актинолитом, сульфидами железа и меди и др. минералами.

Э в к л а з - $\text{Be}_2\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_8](\text{OH})_2$. Моноклинная сингония.

Образует кристаллы призматического облика с многочисленными гранями; более или менее изометричные зерна. Обладает совершенной спайностью по (010) и несовершенной по (110) и (001). В шлифе бесцветный, светло-зеленый, голубой. В толстых шлифах возможен плеохроизм, с различной ориентировкой цветов. Форма кристалла эвклаза дана на рис. 123.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,671$; $n_m = 1,655$; $n_p = 1,651$; $n_g - n_p = 0,020$. Угол угасания: $c: N_g = 41^\circ$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Угол оптических осей - $2U = 50^\circ$. Дисперсия $r > v$. Знак главной зоны эвклаза положительный. Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных N_m - пурпурно-синяя, второго порядка.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Образуется в P-T условиях зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Эвклаз встречается в ассоциации с хлоритом, кварцем, альбитом, биотитом, серицитом и др. минералами.

2.4.2. Бесцветные, двуосные оптически отрицательные минералы

В разделе рассматривается большая группа бесцветных, двуосных оптически отрицательных

минералов преимущественно метаморфогенного генезиса. Многие из них являются индекс-минералами, позволяющими картировать метаморфическую зональность докембрийских и фанерозойских комплексов.

А н д а л у з и т - Al_2SiO_5 . Ромбическая сингония.

В шлифе встречается в виде вытянутых кристаллов, дающих в поперечном сечении прямоугольники, иногда параллелограммы. Спайность совершенная по призме (110), пересекающаяся в определенных разрезах под углом $88-89^\circ$. Бесцветный или окрашенный в розоватый, буроватый и редко зеленоватый цвет. Распределение окраски неравномерное, пятнистое. Двойники отсутствуют. Форма кристалла андалузита дана на рис. 124.

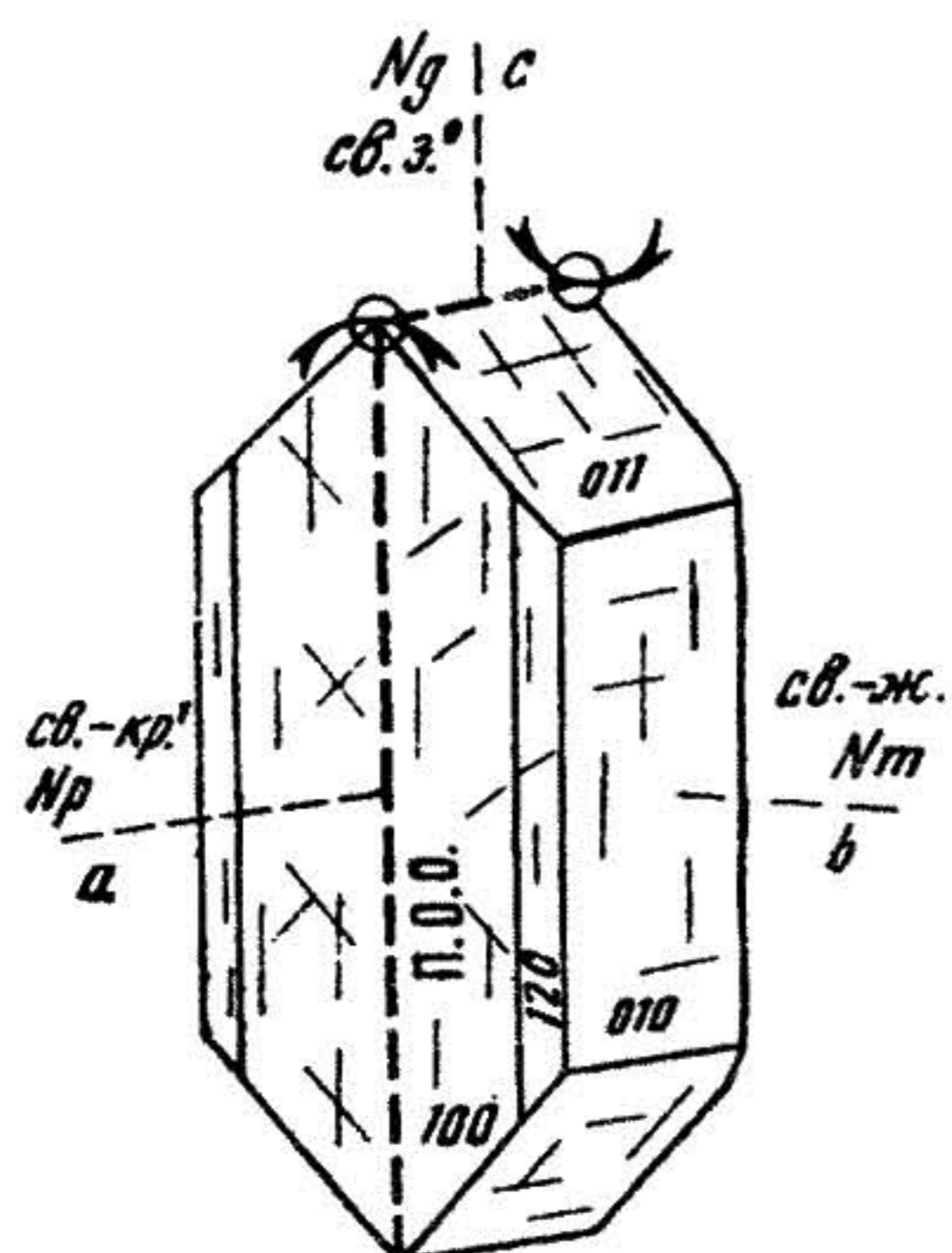


Рис. 120. Хризоберилл

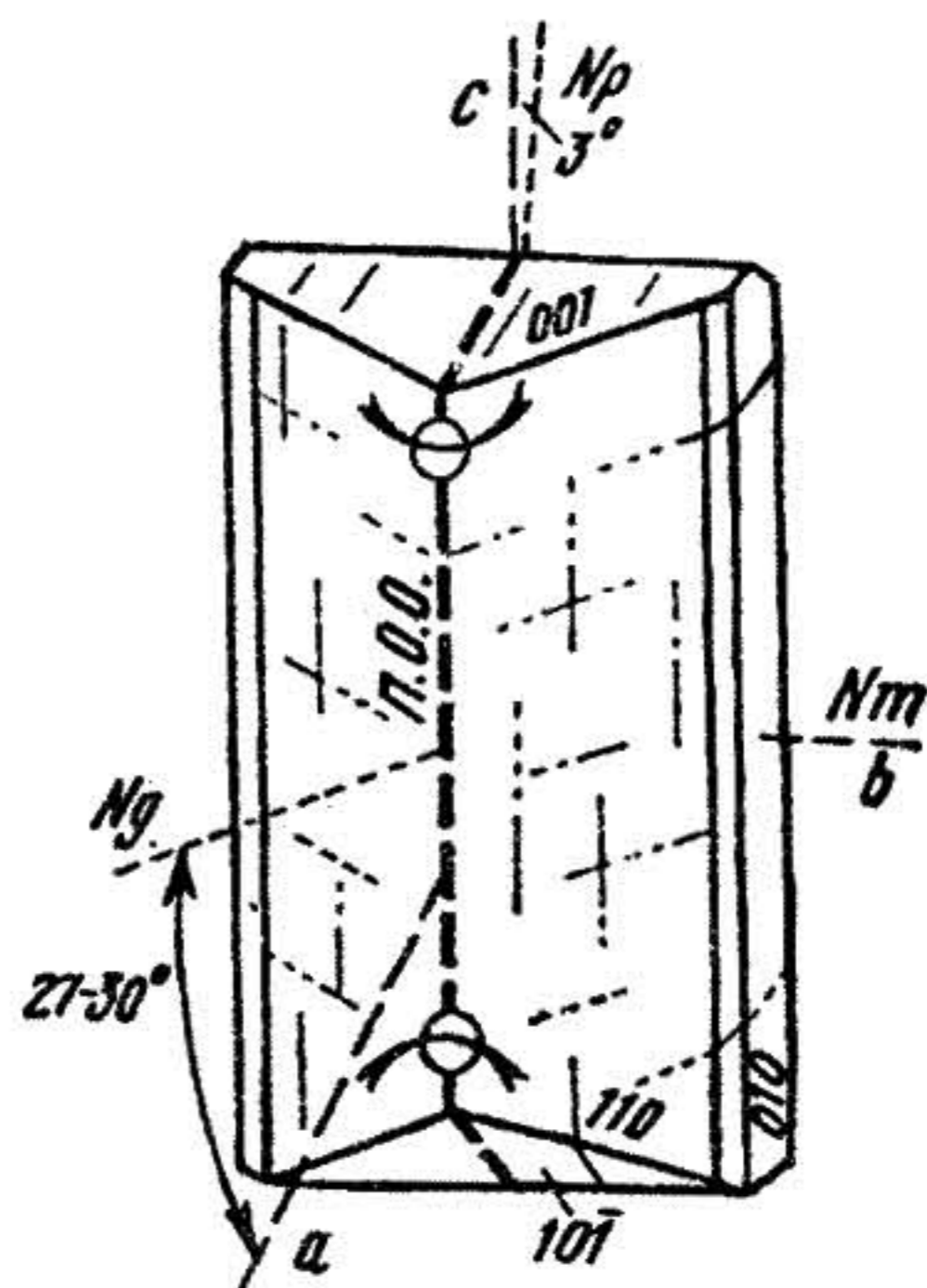


Рис. 121. Цельзиан

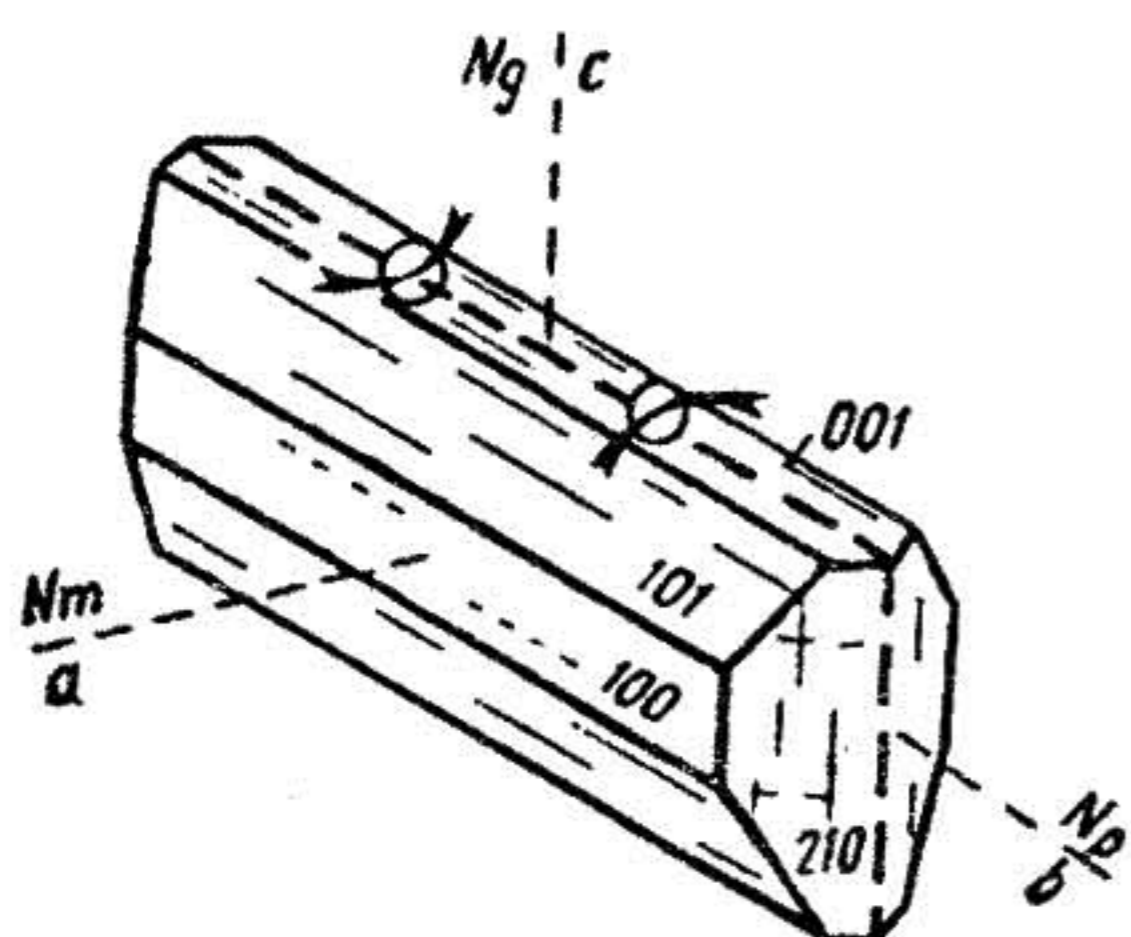


Рис. 122. Цоизит

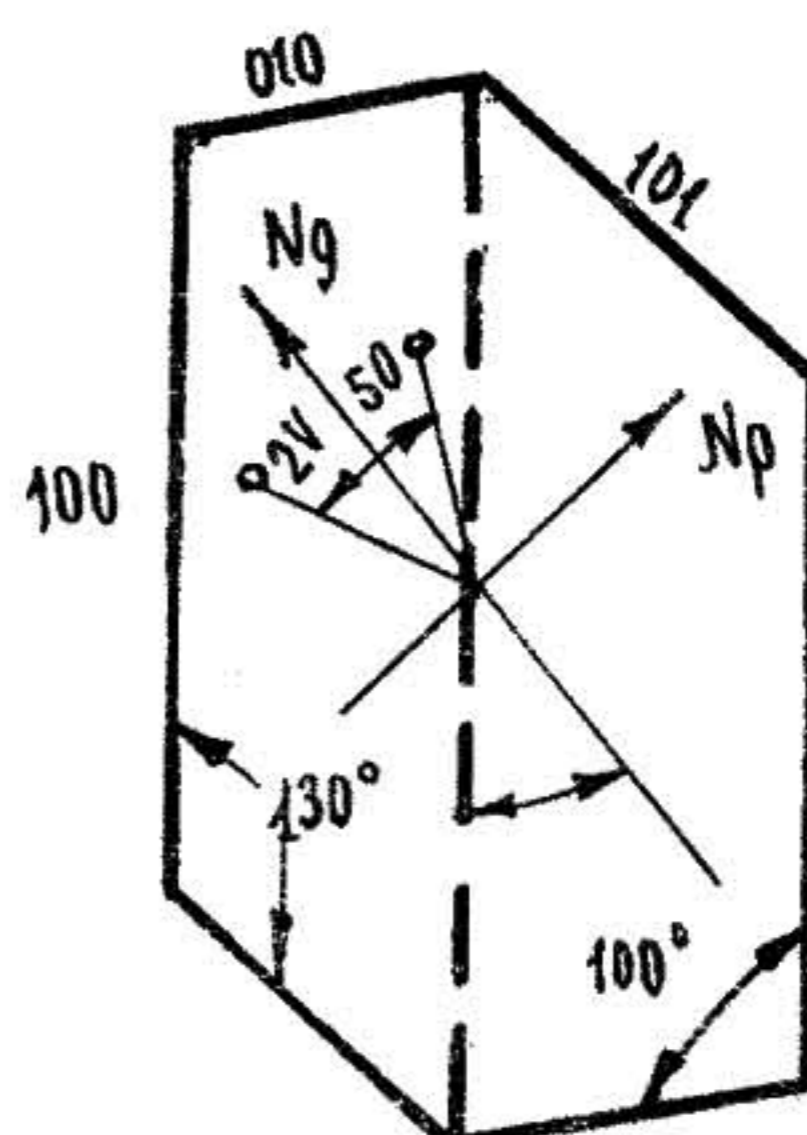


Рис. 123. Эвклаз

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный. Показатели преломления: $n_g = 1,638-1,650$; $n_m = 1,633-1,644$; $n_p = 1,629-1,640$; $n_g - n_p = 0,009-0,011$ (возрастает от примеси железа). Высокий рельеф и шагреневая поверхность. Окрашенные разности обладают слабым плеохроизмом: по $N_s = N_m$ - бледно-зеленый, бледно-желтый, бесцветный; N_p - розоватый, желтый, бесцветный. Погасание прямое. Знак главной зоны отрицательный. Угол оптических осей - $2V = 83-85^\circ$. Дисперсия $r < v$ и значительно реже $r > v$, слабая. Плоскость оптических осей лежит в плоскости (010). Интерференционная окраска на разрезе, параллельном плоскости оптических осей, серая, желтая, первого порядка.

разнообразности. Выделяются следующие разновидности: хиастолит, имеющий в поперечном сечении темный крест и виридин-железисто-марганцовистая разновидность зеленоватого цвета.

Включения. Содержит многочисленные включения мелких зерен кварца, полевых шпатов, рутила и тонкодисперсные углистые выделения, расположенные симметрично в центральной части минерала, которые в поперечном сечении образуют крест, а в продольном — относительно широкие полосы. Эти разновидности андалузита называются хиастолитами.

Изменения. При изменении довольно легко андалузит замещается серицитом, реже полевым шпатом.

Похожие минералы. Силлиманит, тремолит, гиперстен, везувиан, цоизит, мелилит, дистен, топаз и апатит. От силлиманита андалузит отличается значительно низкой величиной двупреломления и отрицательным удлинением; от тремолита — углом между двумя системами спайности ($88-89^\circ$), отрицательным удлинением и низкими (первого порядка) цветами интерференции; от гиперстена — отрицательным удлинением и минеральным парагенезисом; от везувиана — большей величиной двупреломления, меньшими показателями преломления и осностью минерала; от цоизита — отрицательным оптическим знаком, меньшими показателями преломления, большими значениями величины двупреломления и углом оптических осей; от мелилита — формой разрезов (хиастолит) и осностью минерала; от дистена — отрицательным удлинением, прямым погасанием (у дистена часто угол погасания колеблется от 0 до 18° и в отдельных случаях достигает 30°), меньшими значениями величины двупреломления и показателями преломления; от топаза — большим углом оптических осей и показателями преломления; и, наконец, от апатита отличается формой зерен, более высокими значениями величины двупреломления и осностью минерала.

Генезис. Типичный минерал регионального и контактового метаморфизма. Особенно часто встречается в относительно высокотемпературных сланцах и роговиках в парагенезисе с кордиеритом, гранатом, силлиманитом, корундом, биотитом, мусковитом и др. Широко распространен в метаморфических поясах андалузит-силлиманитовой фациальной серии.

Анортит — $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ (90-100%) и $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ (10-0%)
Группа полевых шпатов. Триклинная сингония.

Образует широкотаблитчатые изометричные или вытянутые кристаллы с полисинтетическими или простыми двойниками. Ширина отдельных

индивидов двойников больше, чем у средних плагиоклазов. Спайность совершенная по (001) и (010) и несовершенная по (110). Бесцветный. Форма кристалла анортита дана на рис.125.

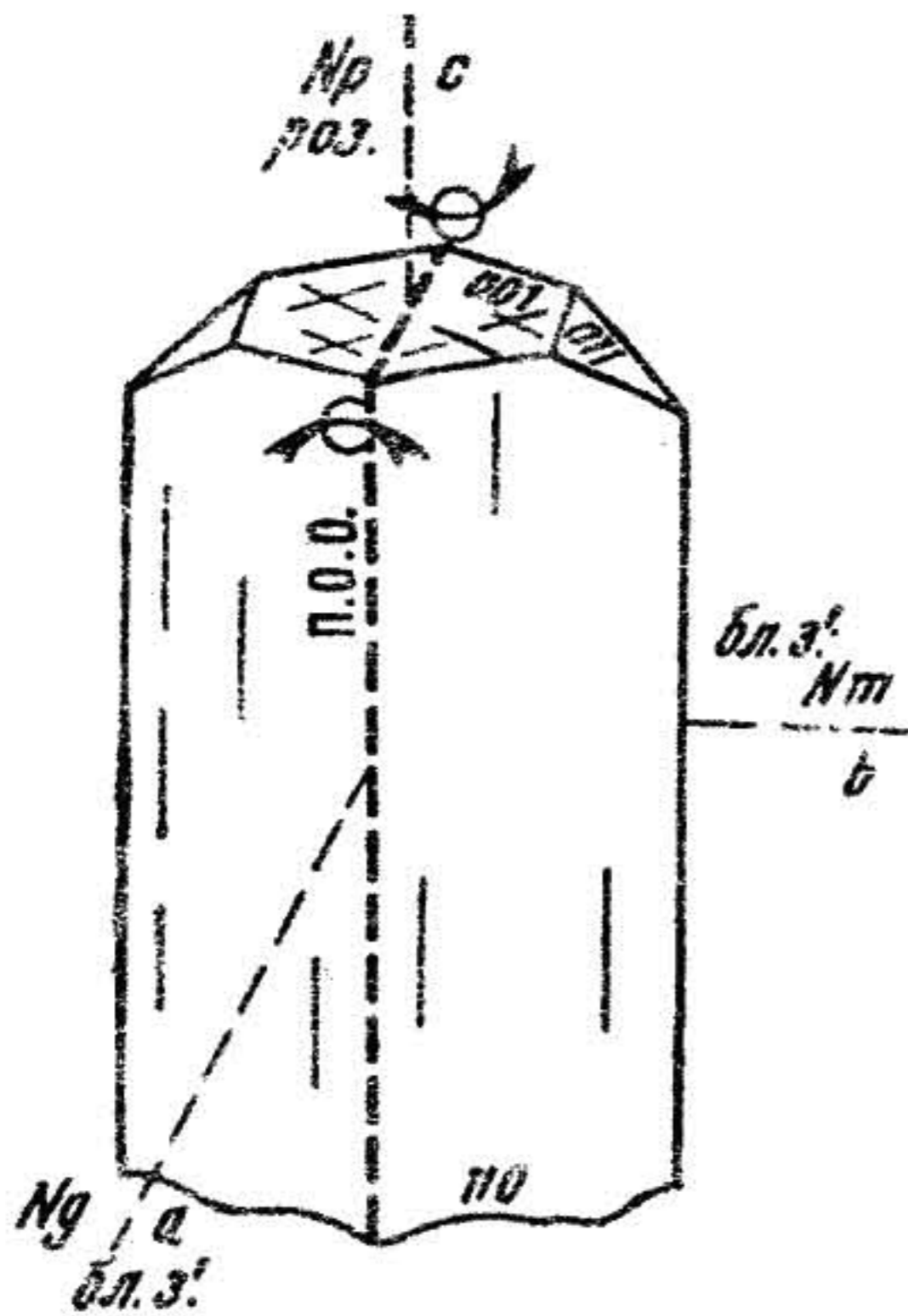


Рис.124. Андалузит

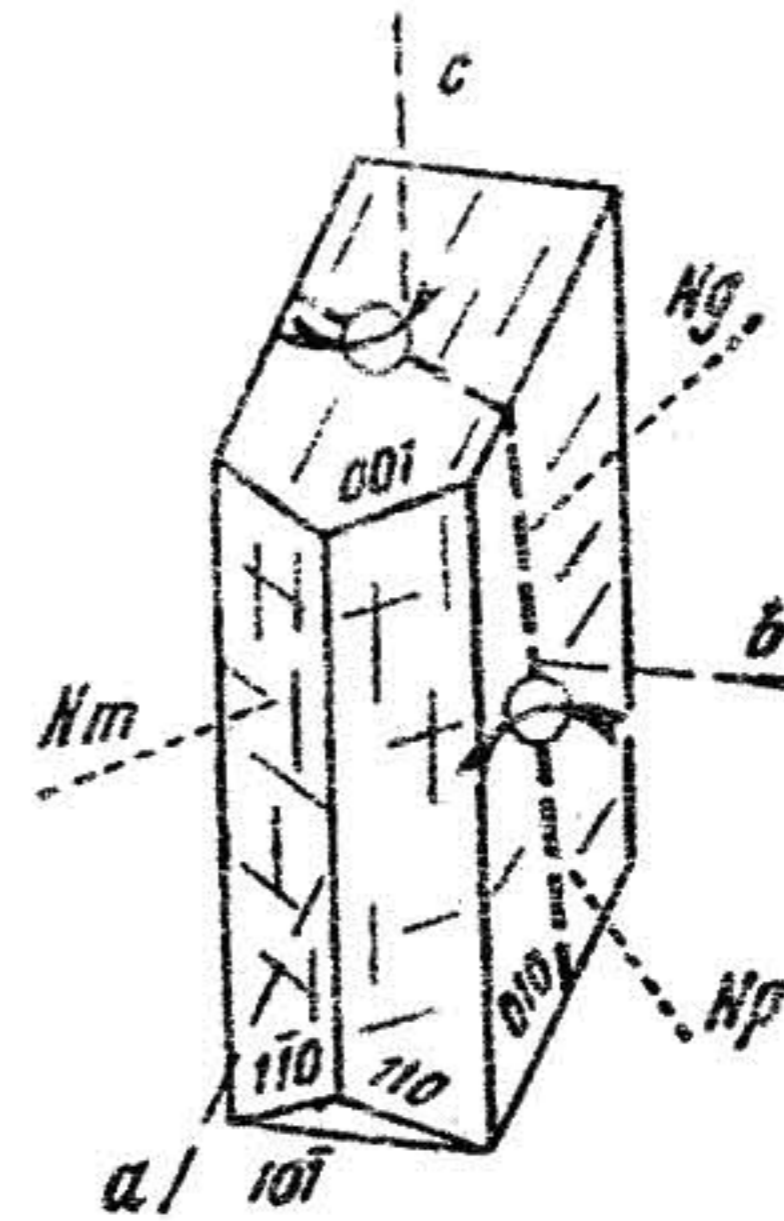


Рис.125. Анортит

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный. Показатели преломления меняются в зависимости от содержания анортитовой составляющей:

91% An	100% An
$n_g - 1,582$	$n_p - 1,588$
$n_{1a} - 1,577$	$n_m - 1,583$
$n_p - 1,571$	$n_p - 1,575$
$n_g - n_p - 0,011$	$n_g - n_p - 0,013$

Четкий рельеф и слабая шагреневая поверхность. Угол оптических осей - 2γ около 77° . Дисперсия $r > v$. Знак главной зоны или удлинение минерала \pm . Угол угасания на (010) порядка 37° , а в плоскости (001) - 40° . Интерференционная окраска на разрезе, перпендикулярном n_m и при нормальной толщине шлифа, серая, светло-желтая, первого порядка.

В к л ю ч е н и я. Анортит иногда содержит включения мелких зерен оливина, клинопироксена, магнетита и акцессорных минералов - апатита, циркона, сфена и шпинели.

Изменения. При наложении повторных метаморфических и метасоматических процессов анортит замещается соссюритом, эпидотом, цоизитом, скаполитом, реже серицитом, каолинитом и кальцитом.

Похожие минералы. Анортит очень похож на битовнит, для их различия необходимы точные методы, таковыми являются: определение показателя преломления иммерсионным методом, определение угла $2U$ и другие оптические константы. В изометричных зернах и без двойников анортит похож на кварц, но отличается двуосностью и преломлением. Характерная деталь – в породах, содержащих анортит, кварц, как правило, не встречается.

Генезис. Типичный магматогенный минерал, являющийся одним из главных породообразующих в составе ультраосновных, реже основных пород интрузивного и эффузивного рядов. В редких случаях анортит отмечается в метабазитах гранулитовой фации в ассоциации с ортопироксеном, клинопироксеном, оливином, амфиболом, гранатом и биотитом.

Битовнит – $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ (70–90%) и $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ (30–10%). Группа полевых шпатов. Триклинная сингония.

Встречается в виде гипидиоморфных, широкопластинчатых, реже изометричных зерен или микролитов в эффузивах. Полисинтетические двойники широкие. Простые двойники наблюдаются редко. Бесцветный. Спайность совершенная по (001) и (010) и несовершенная по (110). Форма кристалла дана на рис. 126.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный. Показатели преломления изменяются в зависимости от содержания анортитовой составляющей.

	71% An		90% An
n_g	– 1,572	n_g	– 1,582
n_m	– 1,568	n_m	– 1,578
n_p	– 1,563	n_p	– 1,571
$n_g - n_p$	– 0,009	$n_g - n_p$	– 0,011

Рельеф относительно четкий, шагреневая поверхность слабая или отсутствует. Угол оптических осей $2U$ колеблется около 85° . Так как плоскость оптических осей находится над различными углами по отношению к кристаллографическим осям в битовнитах с различным содержанием анортита, то углы погасания косые и колеблющиеся в определенных пределах. Дисперсия $r > v$. Интерференционная окраска от светло-серой до светло-желтой первого порядка.

В к л ю ч е н и я. Нередко содержатся включения относительно мелких зерен авгита, оливина, магнетита и других.

И з м е н е н и я. При наложенных процессах метаморфизма и метасоматоза битовнит замещается эпидотом, цоизитом, скаполитом, пренитом, соссюритом, серицитом, альбитом и каолинитом.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Битовнит похож на лабрадор и анортит, совместно с которыми часто встречается. От лабрадора он отличается большим преломлением и отрицательным оптическим знаком. От анортита — меньшим преломлением и содержанием анортитовой составляющей, определяемой на универсальной столике Е.С.Федорова. В разрезах без спайности и двойникования битовнит похож на кварц, от которого отличается осностью.

Г е н е з и с. Относительно редкий минерал из группы плагиоклазов. Преимущественно встречается в интрузивных и эффузивных породах основного состава (норитах, анортозитах и др.) совместно с лабрадором, ромбическими пироксенами, оливином, амфиболами и шпинелью. В отдельных случаях битовнит отмечается в метабазах амфиболитовой и гранулитовой фаций метаморфизма в парагенезисе с магнезиальным гранатом, гиперстеном, роговой обманкой, клинопироксеном и биотитом.

Б у с т а м и т — $(Ca, Mn)_3[Si_3O_9]$. Триклинная сингония.

Образует толстые таблички, зерна с весьма совершенной спайностью по (010) и менее совершенной по (110) и (110). Угол спайности между (010) и (100) — $92^{\circ}30'$, а между (010) и (110) — 46° . В шлифе бесцветный или слабо окрашенный в розовый или оранжевый цвет. Форма кристалла бустамита дана на рис.127.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двусный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,677-1,704$; $n_m = 1,675-1,701$; $n_p = 1,665-1,689$; $n_g - n_p = 0,015-0,012$. Исный рельеф и шагреновая поверхность. Окрашенный, слабо плеохроирует: по M_g — бледно-оранжевый; по M_m — розово-красный; по M_p — бледно-оранжевый. Схема абсорбции $M_g < M_m > M_p$. Углы угасания: $\epsilon: M_g = 30^{\circ}$ и $\nu: M_m = 35^{\circ}$. Удлинение нейтральное. Угол оптических осей — $2U = 36-41^{\circ}$. Дисперсия по схеме $x > y$. Интерференционная окраска первого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Родонит. От родонита бустамит отличается меньшим преломлением и углом оптических осей (у родонита $2U = 58-74^{\circ}$).

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Бустамит образуется в процессе регионального метаморфизма амфиболитовой и гранулитовой фаций в парагенезисе с родонитом, гранатом, кальцитом, диопсидом, флогопитом, скаполитом и др. минералами. Реже бустамит отмечается в породах

контактового метаморфизма амфибол-роговиковой и пироксен-роговиковой фаций - скарнах, роговиках и скарноидах.

В о л л а с т о н и т - $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$. Группа пироксеноидов. Моноклинная сингония.

Обычны таблитчатые или удлиненно-призматические кристаллы, неправильные зерна, шестоватые, зернистые или радиально-лучистые агрегаты. Спайность совершенная по (100) и средняя по (001). Угол их пересечения на поперечном разрезе равен $84^{\circ}30'$. Двойники по (100). В шлифе бесцветный (рис. 128). Форма кристалла волластонита дана на рис. 129.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_o = 1,632-1,636$; $n_m = 1,630-1,634$; $n_p = 1,618-1,622$; $n_o - n_p = 0,014$. Ясный рельеф и шагреневая поверхность. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010) и перпендикулярна удлинению. Углы угасания: $b : n_m = 3-5^{\circ}$; $c : n_p = 28-34^{\circ}$; $a : n_o = 34-39^{\circ}$. Удлинение положительное и отрицательное. Угол оптических осей - $2U = 36-42^{\circ}$. Дисперсия $r > v$, ясная. Интерференционная окраска на разрезе, параллельном плоскости оптических осей, светло-желтая, первого порядка.

И з м е н е н и я. При повторных наложенных процессах метаморфизма по волластониту развивается кальцит.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Тремолит, пектолит, апатит, минералы группы эпидота. От тремолита волластонит отличается углом между двумя спайностями (у тремолита угол 56°), меньшим двупреломлением, меньшим углом оптических осей $2U$ (у тремолита угол $2U = 85^{\circ}$) и прямой схемой дисперсии; от пектолита - меньшим углом оптических осей (у пектолита $2U = 50-60^{\circ}$) и значительно низким двупреломлением; от апатита - спайностью и осностью (апатит - одноосный, отрицательный); от минералов группы эпидота - цветами интерференции; у эпидот-цоизита они аномальные.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Волластонит - типичный минерал регионального метаморфизма амфиболитовой фации и контактового метаморфизма амфибол-роговиковой и пироксен-роговиковой фаций. Встречается в мраморах, эрланах, скарнах и роговиках в парагенезисе с диопсидом, кальцитом, эпидотом, гроссуляром, роговой обманкой, апатитом, флогопитом и др. минералами. Очень редко волластонит формируется как магматический в нефелиновых сиенитах и диоритах.

Д а н б у р и т - $\text{CaB}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]_0$. Ромбическая сингония.

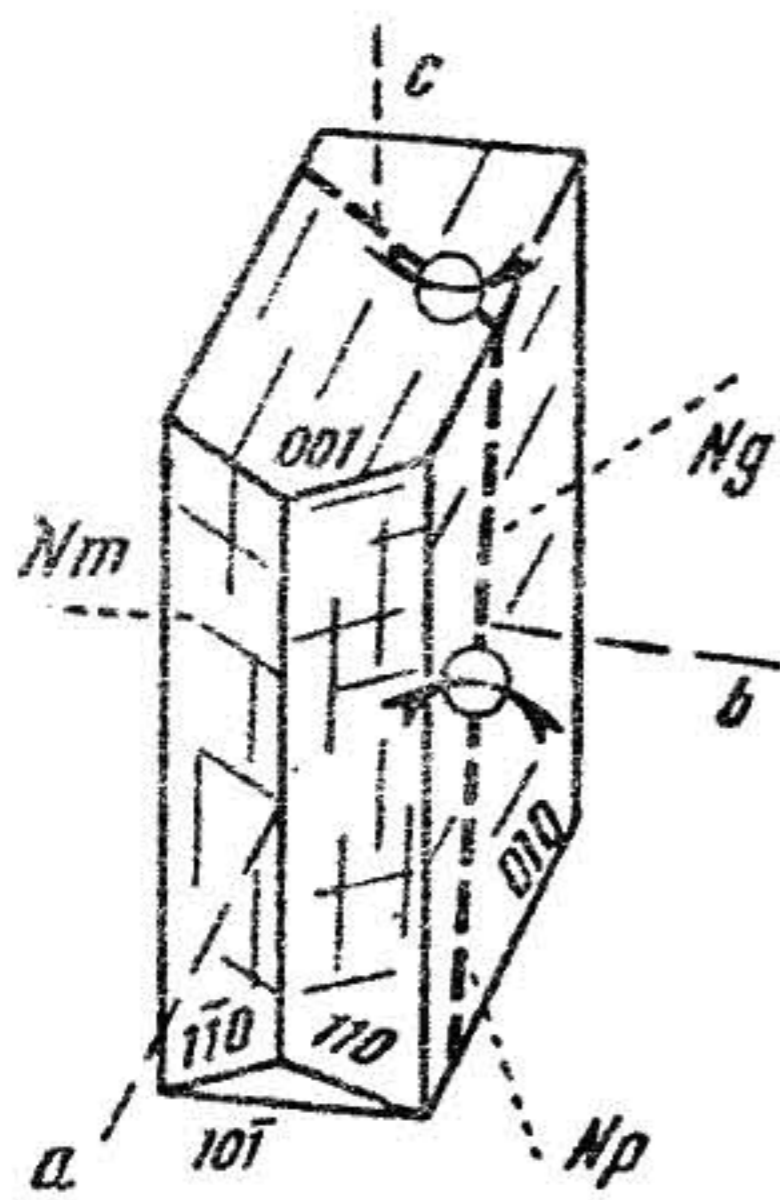


Рис. 126. Битовнит

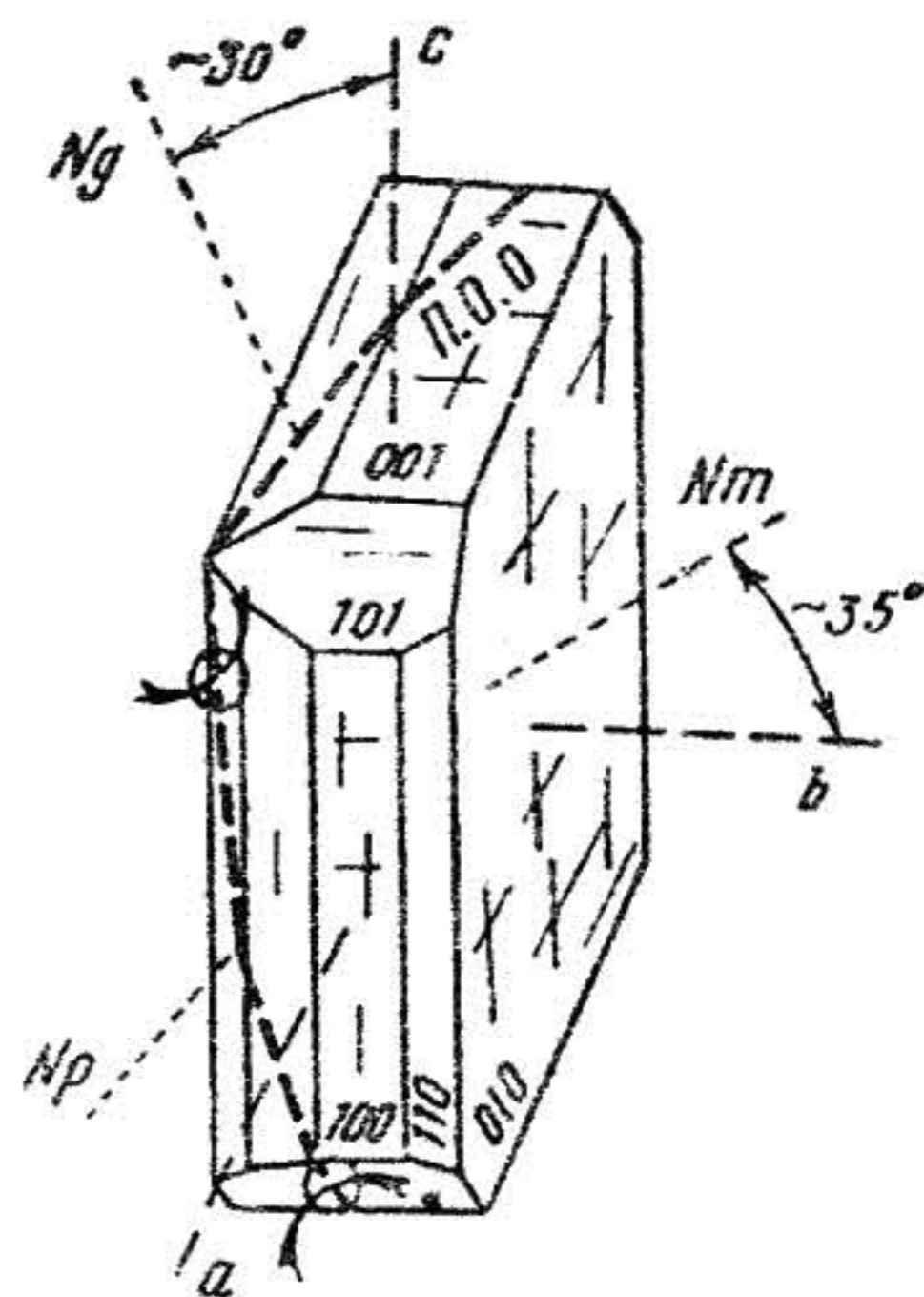


Рис. 127. Бустамит

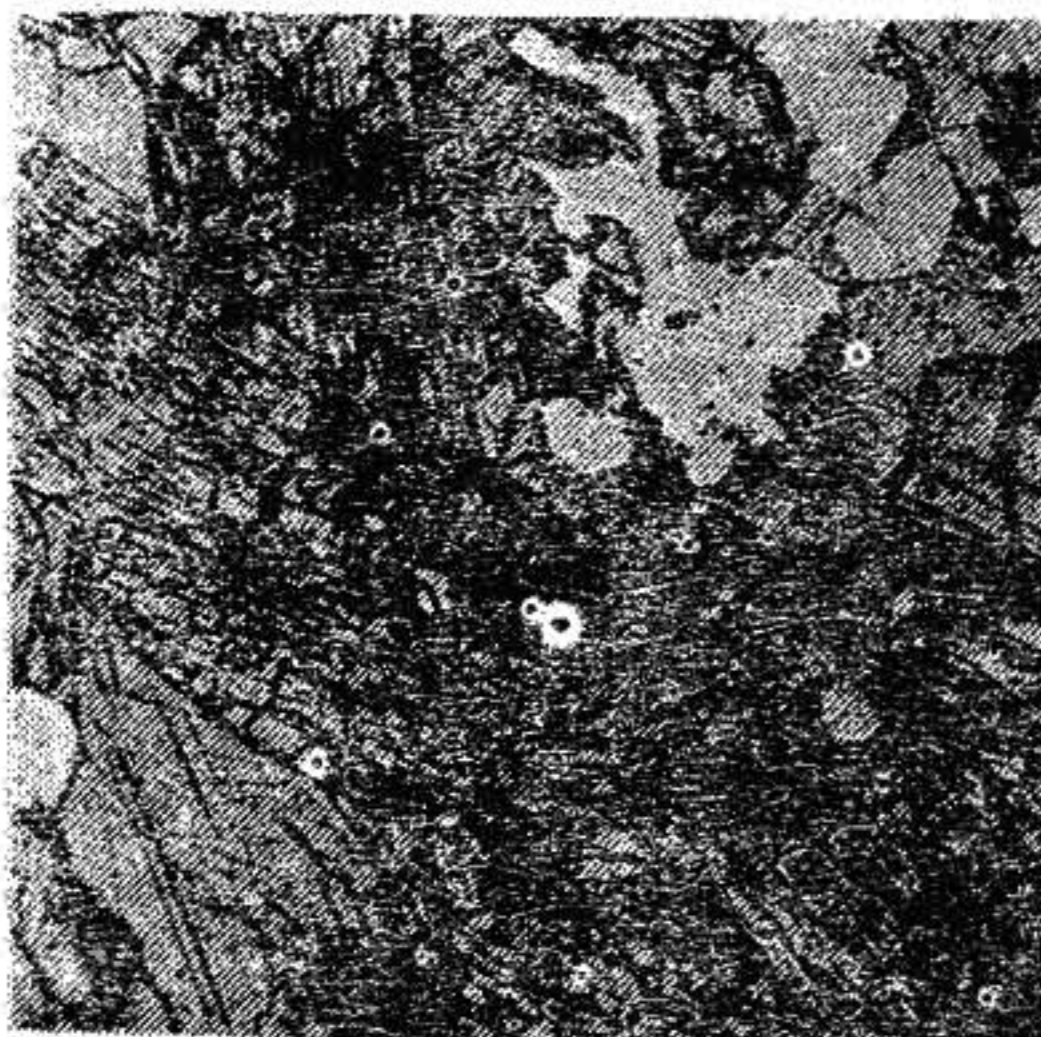


Рис. 128. Волластонитовый мрамор (увел. 20, николи //)

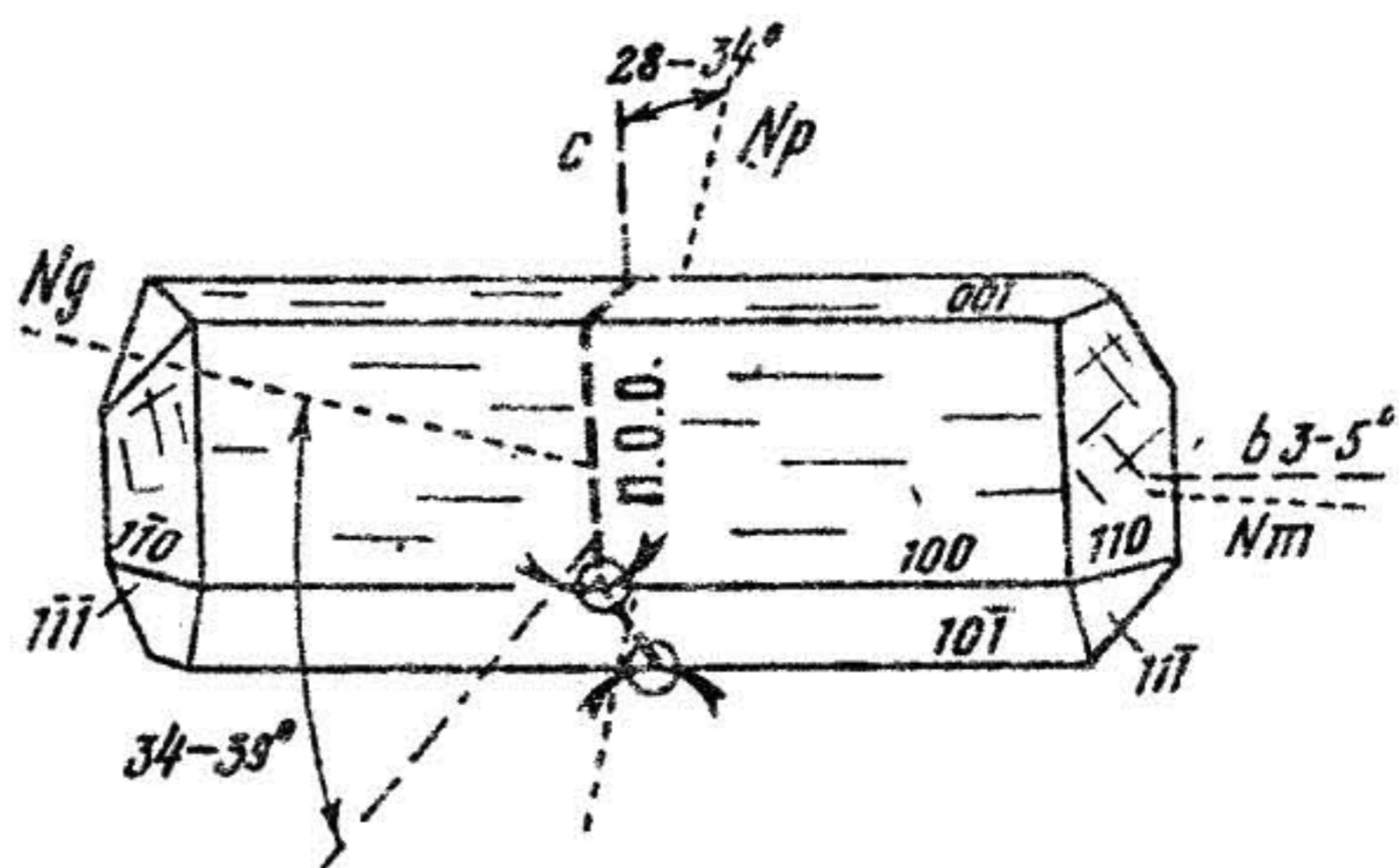


Рис. 129. Волластонит

В шлифе представлен правильными столбчатыми, короткостебельчатыми, короткопризматическими кристаллами или неправильными зернами. Имеет несовершенную спайность по (001). Бесцветный или желтоватый. Форма кристалла данбурита дана на рис. 130.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,636$; $n_m = 1,633$; $n_p = 1,630$; $n_g - n_p = 0,006$. Высокий рельеф и шагреневая поверхность. Угасание прямое. Знак главной зоны в зависимости от разреза может быть положительным либо отрицательным. Угол оптических осей $2U$ - около

90°. Вследствие сильной дисперсии минерал для красного, желтого и зеленого цвета отрицательный, для синего – положительный. Интерференционная окраска серая, первого порядка. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (001).

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Андалузит, топаз, датолит. От андалузита данбурит отличается несовершенной спайностью, сильной дисперсией оптических осей, отсутствием плеохроизма, меньшим двупреломлением; от датолита – значительно меньшим двупреломлением и, соответственно, более низкой интерференционной окраской, сильной дисперсией оптических осей; от топаза – несовершенной спайностью и большим углом оптических осей (у топаза угол $2Y = 44-66^\circ$).

Г е н е з и с. Метаморфогенный, гидротермальный. Метаморфогенный данбурит образуется в породах контактового метаморфизма альбит-эпидот-роговиковой фации в парагенезисе с кварцем, сфеном, турмалином, кальцитом и др. минералами. Гидротермальный данбурит отмечается в гранитах и пегматитах.

Д а т о л и т – $Ca_2B_2[SiO_4]_2(OH)_2$. Моноклинная сингония.

Короткостолбчатые, толстостолбчатые, пирамидальные кристаллы, неправильные зерна иногда с радиально-лучистым строением. Спайность отсутствует. В шлифе бесцветный. Форма кристалла датолита дана на рис. 131.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двусный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,666-1,670$; $n_m = 1,649-1,653$; $n_p = 1,621-1,626$; $n_g - n_p = 0,045-0,044$. Ясный рельеф и шагреньевая поверхность. Углы угасания: с: $N_p = 1-9^\circ$; а: $N_g = 1-4^\circ$; б: $N_m = 0^\circ$. Удлинение положительное и бывает отрицательное. Угол оптических осей – $2Y = 74^\circ$, дисперсия $r > v$, слабая. Плоскость оптических осей параллельна (010). Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных: n_g – сине-зеленая, второго порядка; N_m – розовая, второго порядка; n_p – желтая, первого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Топаз, андалузит, монтichelлит, волластонит, пренит. От всех этих минералов датолит отличается значительно большим двупреломлением.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Образуется в породах регионального метаморфизма цеолитовой фации. Встречается в пустотах миндалекаменных эффузивов в парагенезисе с цеолитами, пренитом, кальцитом. Кроме того, датолит отмечается в породах контактового метаморфизма альбит-эпидот-роговиковой фации – в скарнах и роговиках. Спорадически – в гранитах.

Д и с т е н (кианит) - Al_2SiO_5 . Триклинная сингония.

Встречается в виде пластинчатых, широкотаблитчатых (рис. 132), удлиненно-призматических кристаллов и реже в виде радиально-лучистых и сноповидных агрегатов. Спайность совершенная по (100), средняя по (010), отмечается отдельность по (001). В шлифе бесцветный и за редким исключением слабо голубоватый, зеленоватый. Относительно часто обладает полисинтетическими и простыми двойниками, похожими на двойники плагиоклазов. Форма кристалла дана на рис. 133.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный и характеризуется показателями преломления: $n_g = 1,728-1,729$; $n_m = 1,720-1,722$; $n_p = 1,712-1,717$; $n_g - n_p = 0,016-0,012$. Дистен обладает высоким рельефом и резкой шагреневой поверхностью (рис. 134). У окрашенных разновидностей отмечается слабый плеохроизм: по N_g - бледно-синий; по N_m - бледно-фиолетовый; по N_p - бесцветный. Схема абсорбции $N_g > N_m > N_p$. Углы погасания: $c: N_g =$ до 30° ; $N_m =$ до 30° ; $N_p = 2^\circ 30'$ (рис. 133). Плоскость оптических осей почти перпендикулярна к плоскости (100). Знак главной зоны положительный, но в некоторых разрезах может быть и отрицательный. Угол оптических осей - $2U = 82^\circ$. Дисперсия $r > v$, очень слабая. Интерференционная окраска в разрезе, параллельном плоскости оптических осей, желтая первого порядка.

В к л ю ч е н и я. В дистене отмечаются многочисленные включения кварца, плагиоклаза, рутила, графита и др. (рис. 135).

И з м е н е н и я. При наложении повторных процессов метаморфизма и метасоматоза довольно легко переходит в мусковит, иногда с формированием псевдоморфоз мусковита-серицита по дистену.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Силлиманит, андалузит, ромбические пироксены и родонит. От силлиманита дистен отличается наличием двойников, формой кристаллов, отрицательным оптическим знаком и низкими значениями двупреломления; от андалузита - положительным характером удлинения, наличием двойников, окраской и более высокими значениями показателей преломления и двупреломления; от родонита - окраской, большим углом оптических осей и иным (отрицательным) оптическим знаком минерала; от ромбических пироксенов - отрицательным удлинением и углом оптических осей.

Г е н е з и с. Типичный метаморфогенный минерал метаморфических поясов дистен-силлиманитовой фациальной серии. Широко распространен в кристаллических сланцах и гнейсах в парагенезисе со ставролитом, силлиманитом, гранатом, рутилом, биотитом, мусковитом и др.

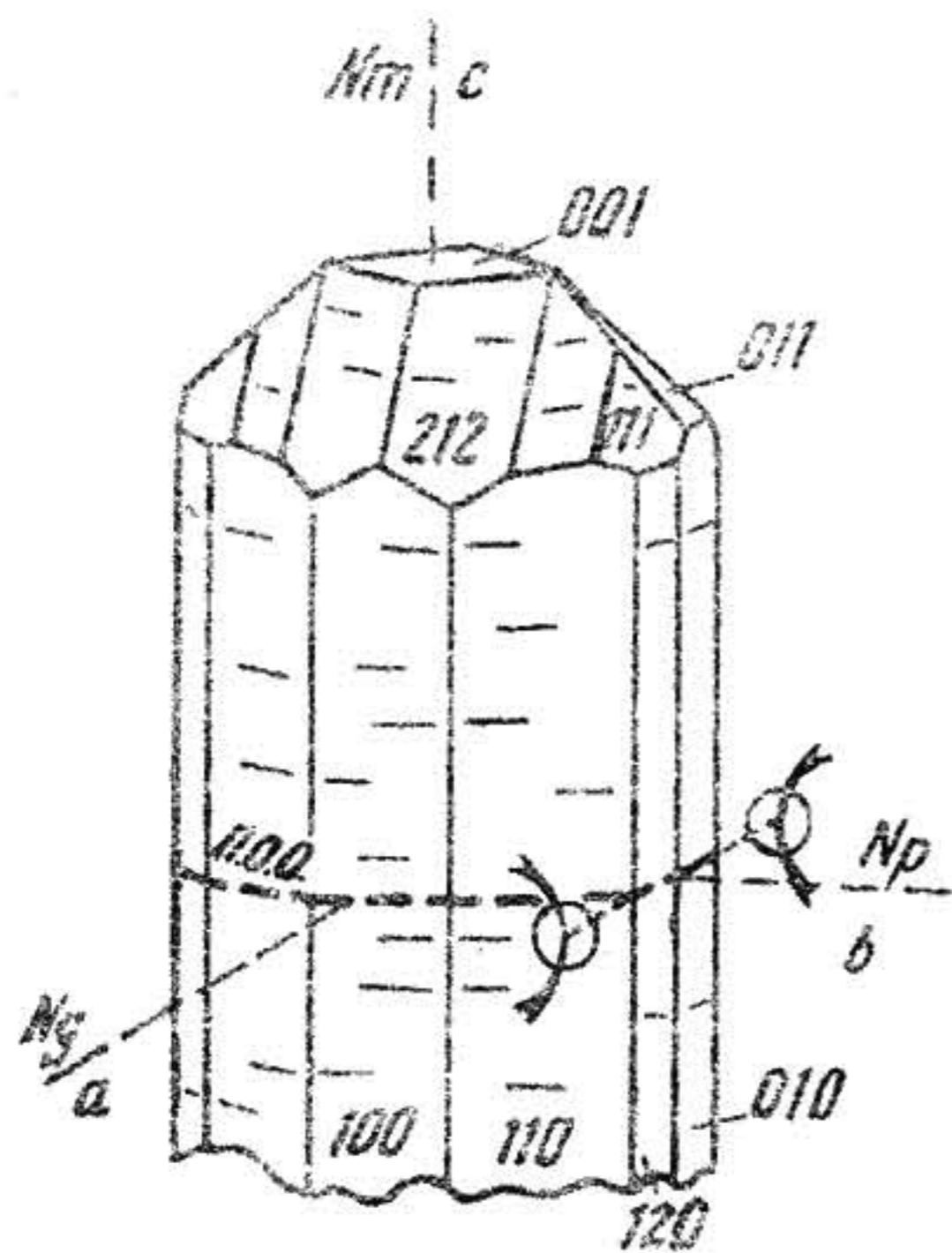


Рис. 130. Данбурит

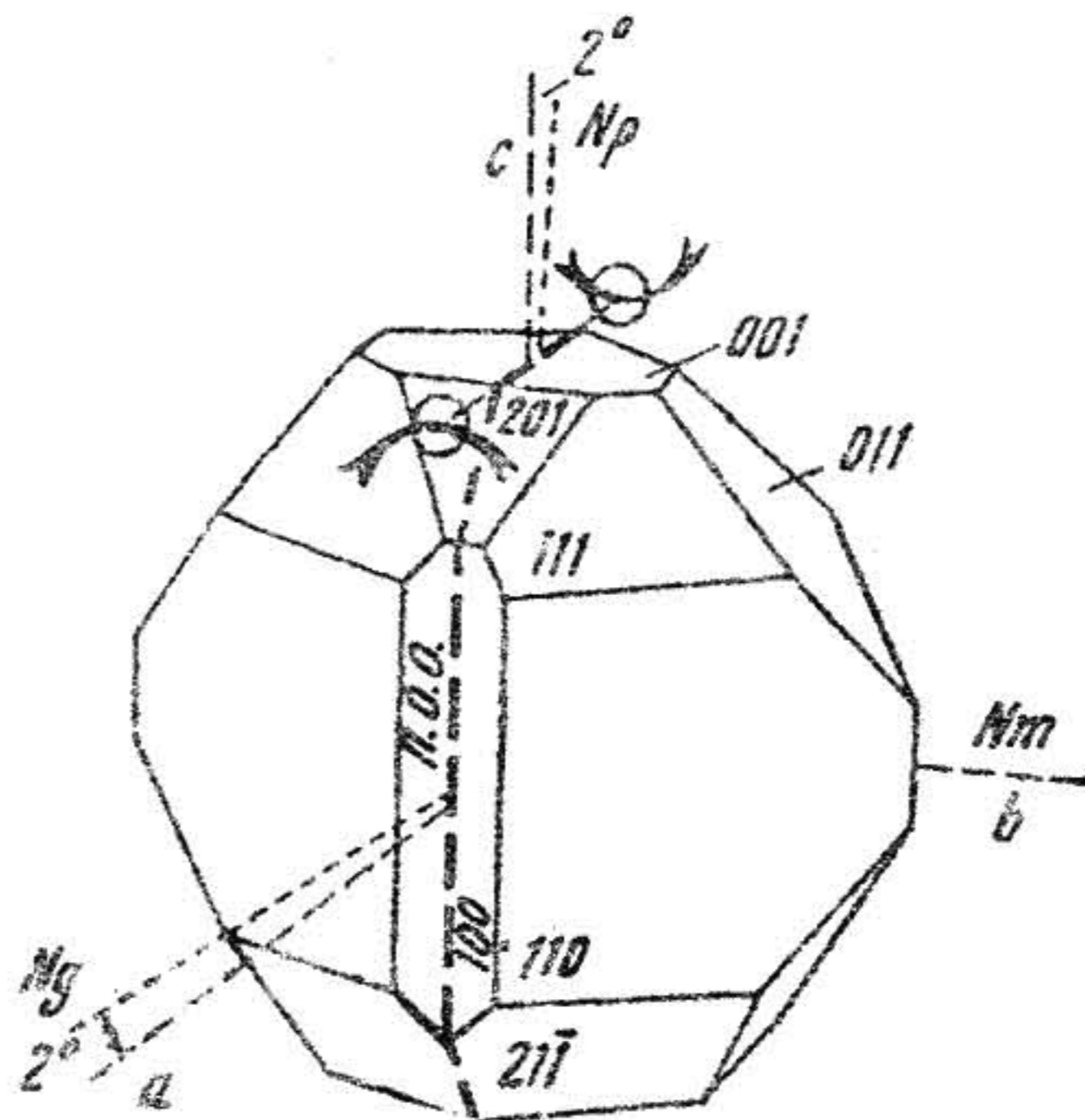


Рис. 131. Датолит

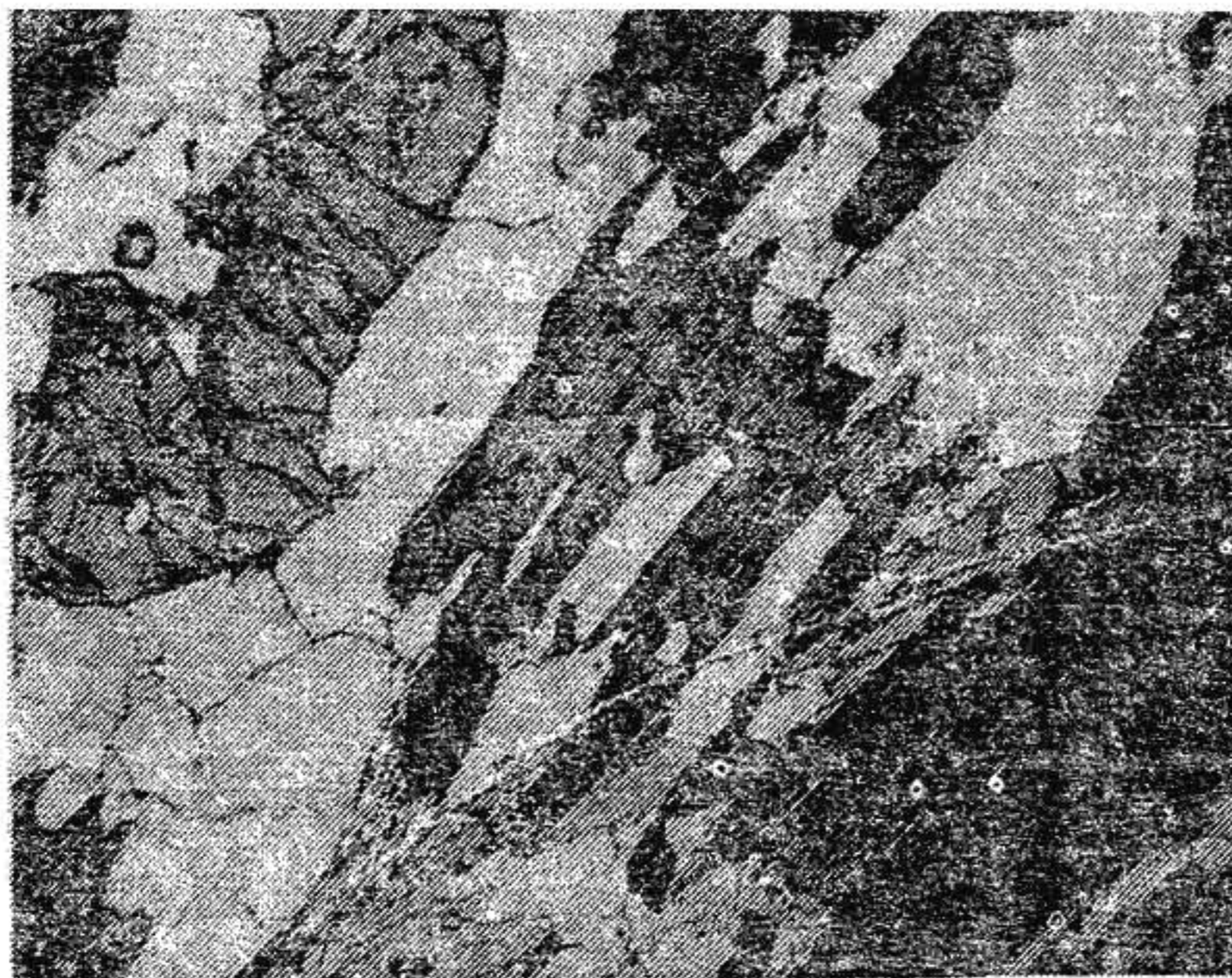


Рис. 132. Дистен-гранат-двуслодяной сланец (увел. 20, николи //)

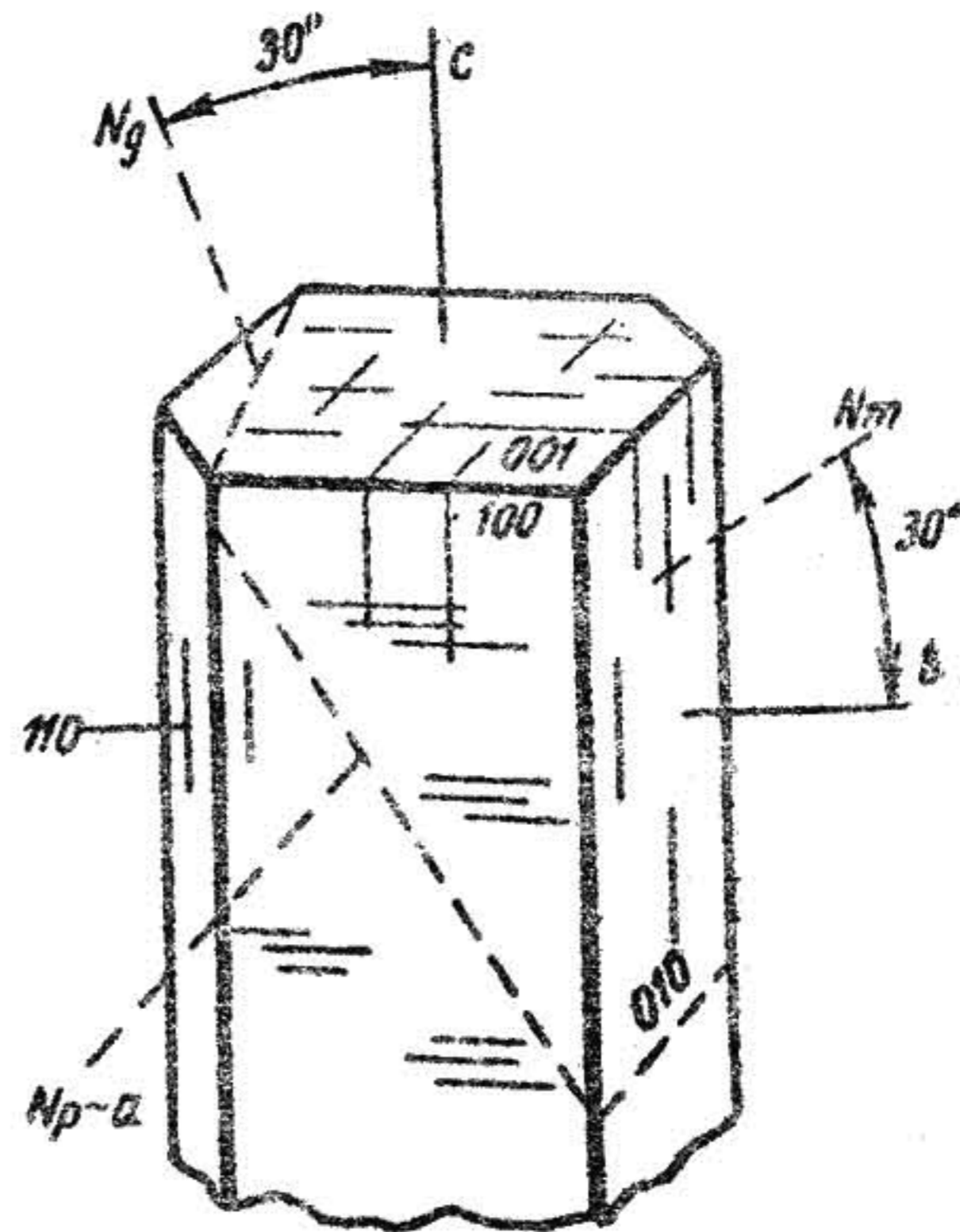


Рис. 133. Дистен

Встречается в гранулитах, эклогитах и значительно реже в слудоносных пегматитах и кварцевых жилах.

Калиевые полевые шпаты. Среди калиевых полевых шпатов выделяются натрий-калиевые (ортоклаз, микроклин, санидин) и относительно редко встречающиеся барий-калиевые (гиалофан, цельзиан) полевые шпаты. Натрий-калиевые полевые шпаты образуют изоморфный ряд твердых растворов $K[AlSi_3O_8] - Na[AlSi_3O_8]$, устойчивый

только при температурах выше 900 °С. Ниже этой температуры они распадаются на $K[AlSi_3O_8]$ (ортоклаз или микроклин) и $Na[AlSi_3O_8]$ (альбит). В результате этого распада возникают закономерные прорастания ортоклаза альбитом, называемые пертитами, а альбита калиевыми полевыми шпатами антипертитами.

Барий-калиевые полевые шпаты представляют собой изоморфный ряд $K[AlSi_3O_8] - Ba[Al_2Si_2O_8]$. Разновидности с преобладанием калиевого компонента называются гиалофанамии, при обратном соотношении компонентов - цельзианами.

Натрий-калиевые полевые шпаты могут быть высокотемпературными или низкотемпературными, т.е. могут иметь неупорядоченную или упорядоченную структуру. Это различие свойств в структуре минералов было установлено значительно ранее, чем для плагиоклазов. Например, установлено, что сандины встречаются преимущественно в кайнотипных эффузивных породах, а микроклины и ортоклазы в интрузивных и метаморфических породах.

Рентгеноструктурные данные свидетельствуют, что моноклинная сингония санидина обусловлена неупорядоченным расположением Si и Al в узлах его кристаллической решетки. При упорядоченном расположении кремнекислородных и алюмокислородных тетраэдров формируется триклинная сингония, причем степень триклинности возрастает по мере упорядоченности.

М и к р о к л и н - $K[AlSi_3O_8]$. Всегда содержит примесь натрия. Группа полевых шпатов. Триклинная сингония.

Встречается в виде неправильных зерен различного размера и только в порфировидных гранитоидах и пегматитах образует идиоморфные кристаллы иногда гигантских размеров. Также выделения микроклина являются, как правило, метасоматическими образованиями. В кислых эффузивах микроклин также образует идиоморфные вкрапленники. Бесцветный. Спайность совершенная по (001) и (010) и несовершенная по (110). Образует простые двойники по карлсбадскому, манебахскому и бавенскому законам, но также широко распространены полисинтетические двойники в двух направлениях, т.н. микроклиновая решетка по альбитовому и переклиновому законам (рис. 136). В зависимости от среза системы двойников пересекаются почти под прямым углом, либо сильно скошенным. Форма кристалла микроклина дана на рис. 137.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный редкис положительный. Показатели преломления: $n_g = 1,521-1,530$; $n_m = 1,518-1,526$; $n_p = 1,514-1,523$; $n_g - n_p = 0,007$. Рельеф и шагреновая



Рис. 134. Дистен-гранат-дву-
слюдяной сланец (увел. 20, ни-
коли //)

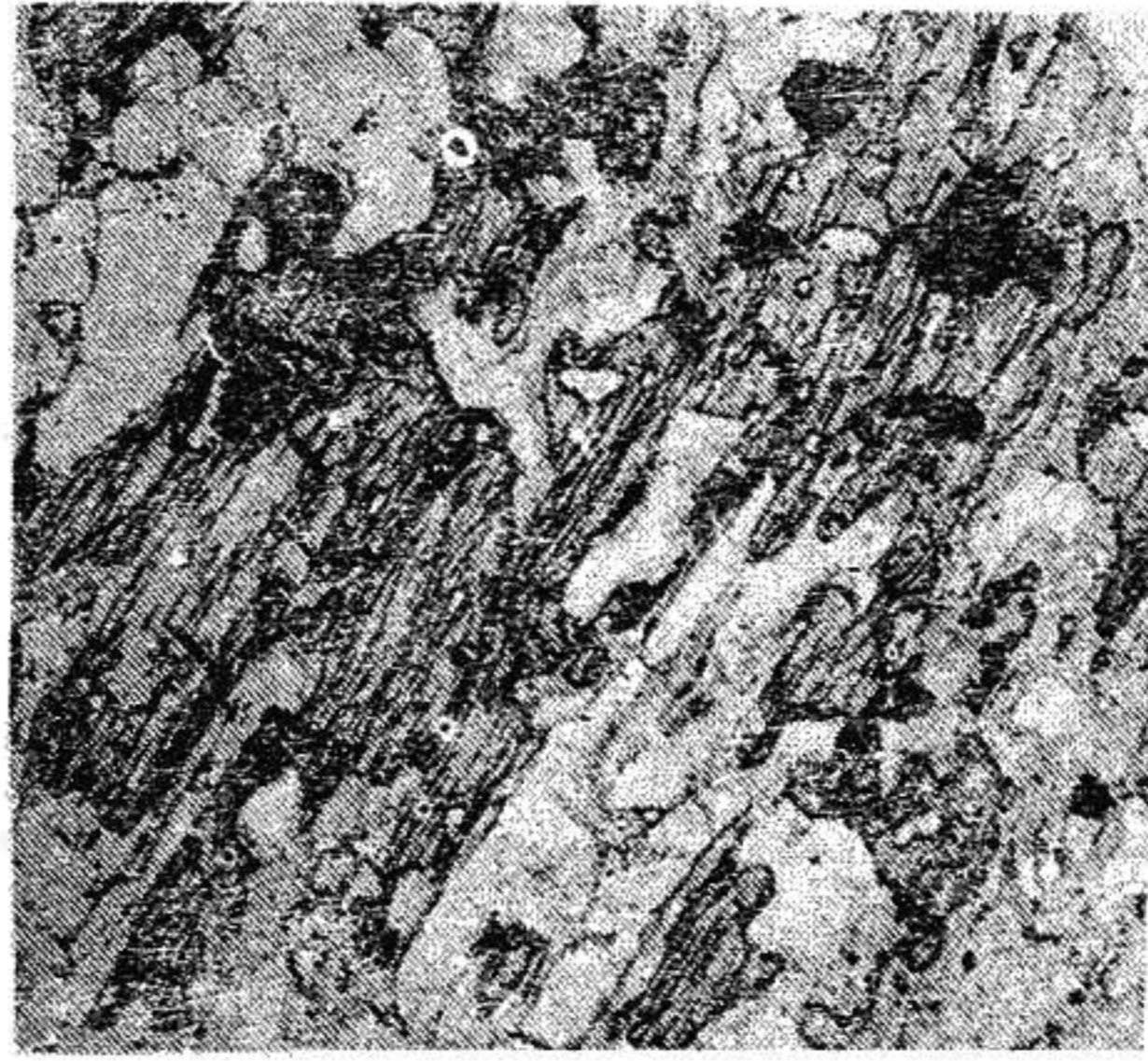


Рис. 135. Дистен с включения-
ми графита, рутила, кварца и
мусковита

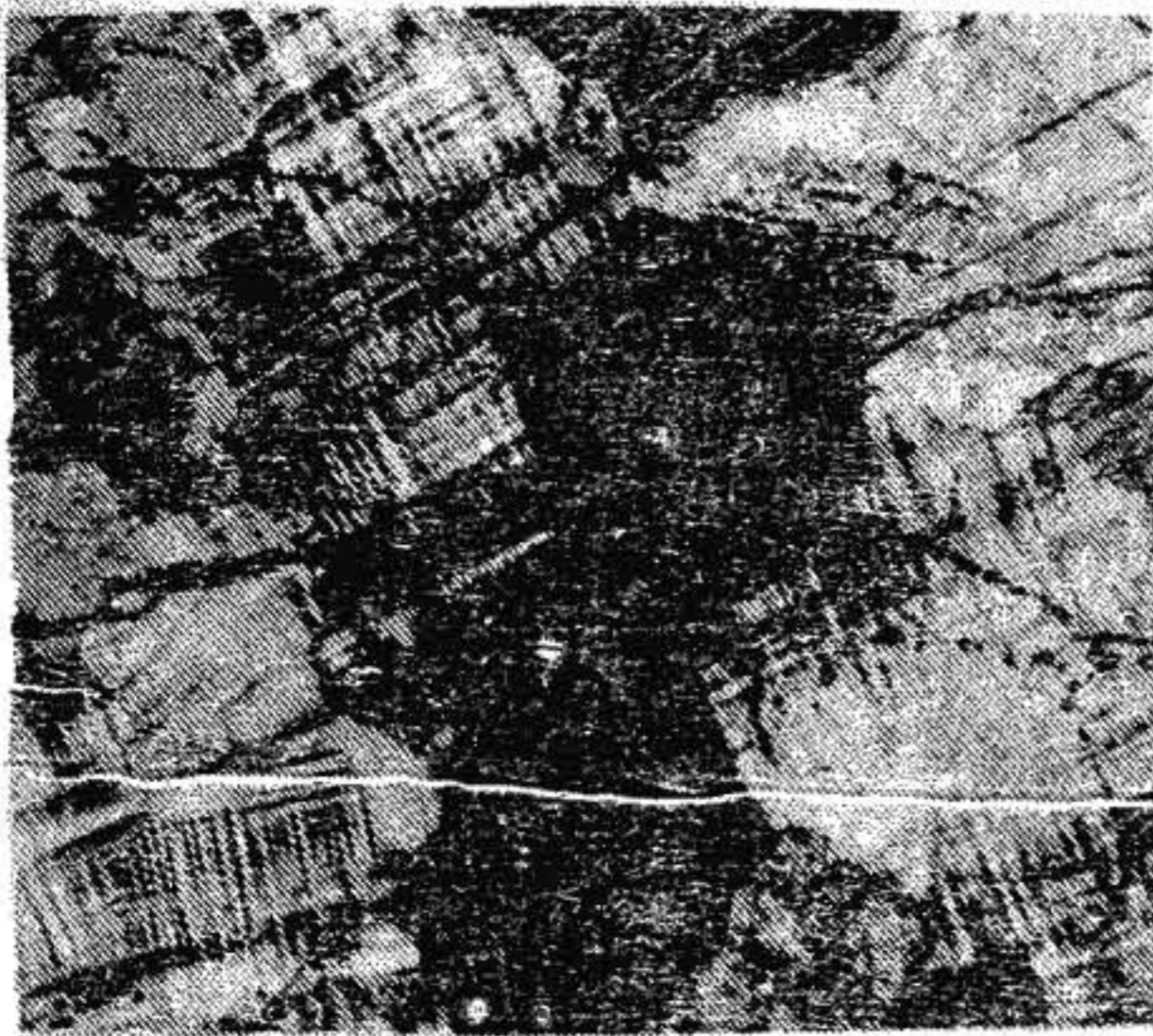


Рис. 136. Микроклин в грани-
те (увел. 20, николи +)

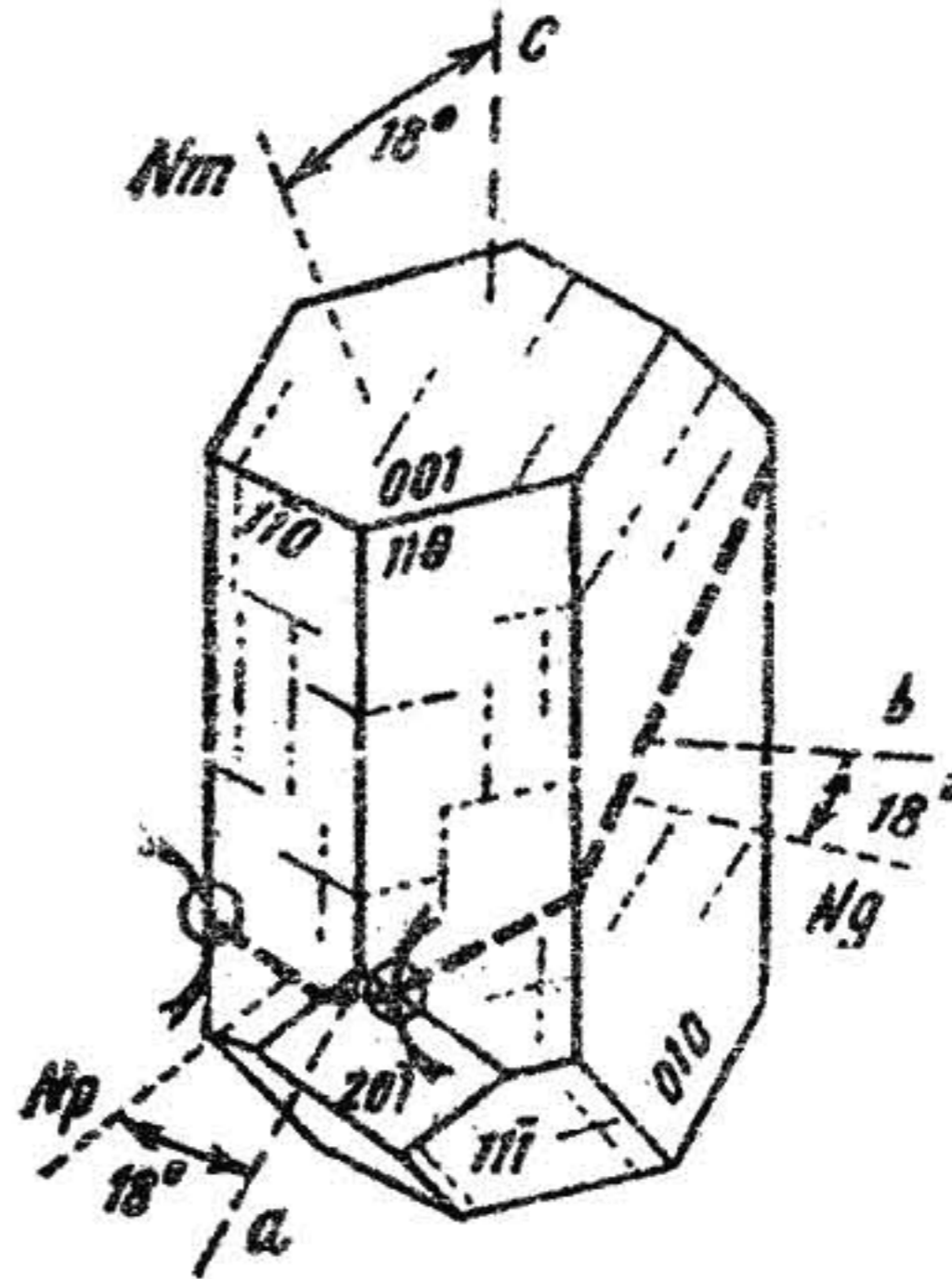


Рис. 137. Микроклин

поверхность отсутствуют. Угол угасания в зависимости от среза колеблется от 5 до 19° . Удлинение может быть положительным и отрицательным. Угол оптических осей $2U$ меняется от минимальных значений у высокотемпературных микроклинов до высоких значений у низкотемпературных микроклинов. В среднем колеблется около $60-80^\circ$. Дисперсия оптических осей по схеме $r > v$. Интерференционная окраска серая, первого порядка.

Включения. В скрещенных николях в ряде случаев установлено, что двойниковое строение микроклина осложняется наличием веретеновидных или полосчатых включений, представленных альбитом. Это продукт распада высокотемпературного раствора микроклин-альбитового состава - пертит распада или результат замещения калишпата альбитом при натровом метасоматозе. Микроклин часто содержит включения кварца, биотита, мусковита, акцессорных минералов - апатита, циркона, ортита, сфена и др. минералов.

Разновидности. Визуально зеленый или голубовато-зеленый микроклин с пертитовыми вростками альбита называется амазонитом (рис. 138).

Изменения. Наиболее обычный метасоматический процесс замещения микроклина - альбитизация. В гипергенных условиях микроклин интенсивно пелитизируется (развитие клинистых частиц по микроклин) или этот процесс называется каолинизацией. В отличие от кислых плагиоклазов он не подвергается серитизации.

Похожие минералы. Наличие двойников, образующих его решетку, несложно отличить от других минералов. У плагиоклазов при сложном двойниковании похожая картина, но их двойники имеют четкие ограничения, прямолинейные грани, тогда как у микроклина они веретеновидные. От альбита отличается отрицательным знаком и меньшими показателями преломления.

Генезис. Микроклин является одним из главных породообразующих минералов метаморфических метасоматических эффузивных и интрузивных пород кислого и щелочного состава (гранитах, сиенитах, граносиенитах, гранодиоритах, пегматитах и др.). В метаморфических породах микроклин встречается в ассоциации с биотитом, гранатом, плагиоклазом, кварцем, силлиманитом, амфиболами, клинопироксенами и ортопироксенами.

Ортоклаз - $K[AlSi_3O_8]$. Группа полевых шпатов. Моноклинная сингония.

Чаще всего имеет неправильную форму и лишь редко (в эффузивах) образует идиоморфные кристаллы (рис. 139). Обладает совершенной спайностью по (001) и несовершенной по (010) и (110). Бесцветный, слегка мутноватый. Встречаются простые двойники по карлсбадскому и другим законам. Форма кристалла ортоклаза дана на рис. 140.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный, редко положительный. Показатели преломления: $n_g = 1,524-1,535$; $n_m =$

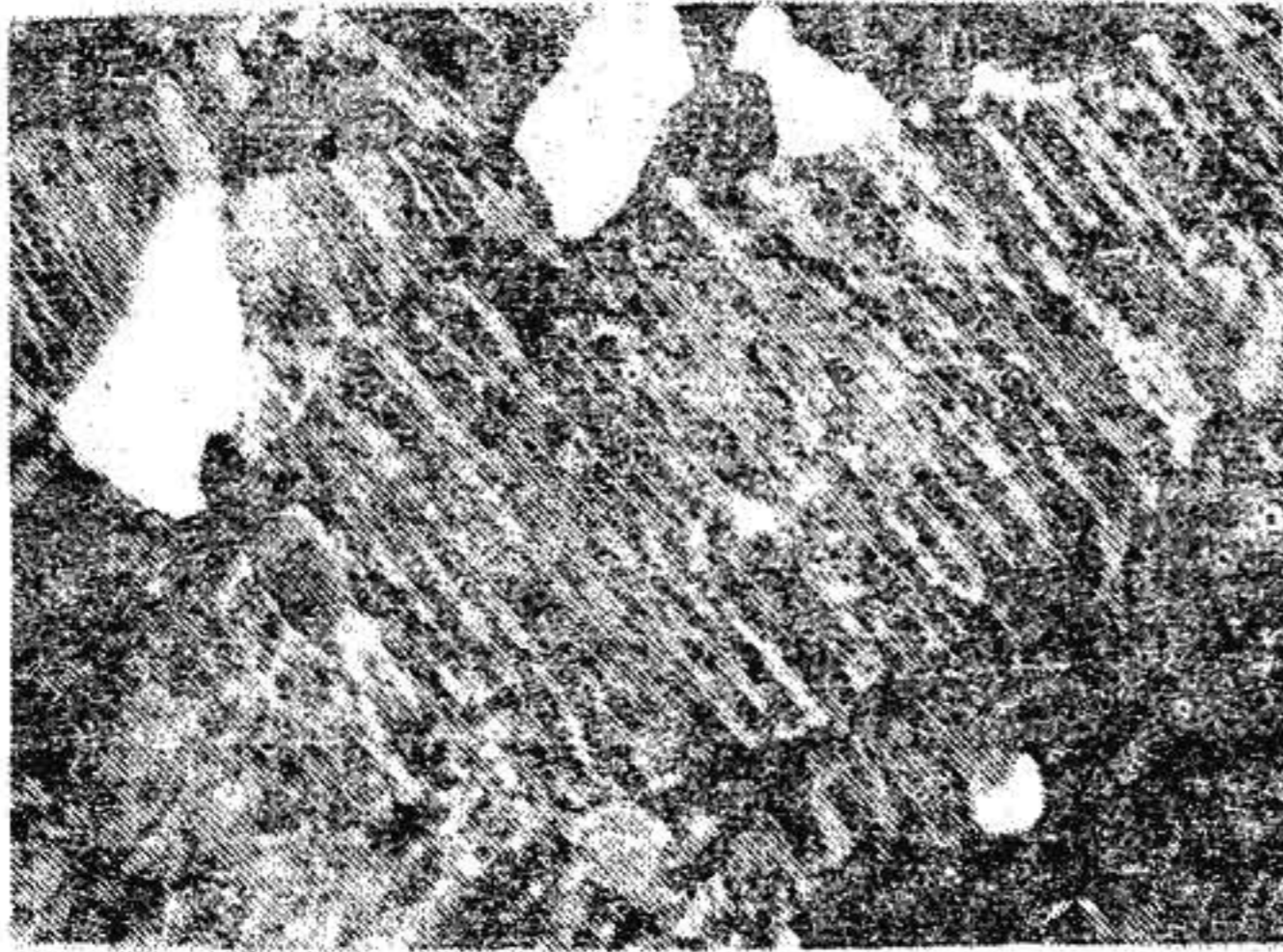


Рис. 138. Амазонитовый пегматит (увел. 20, николи +)

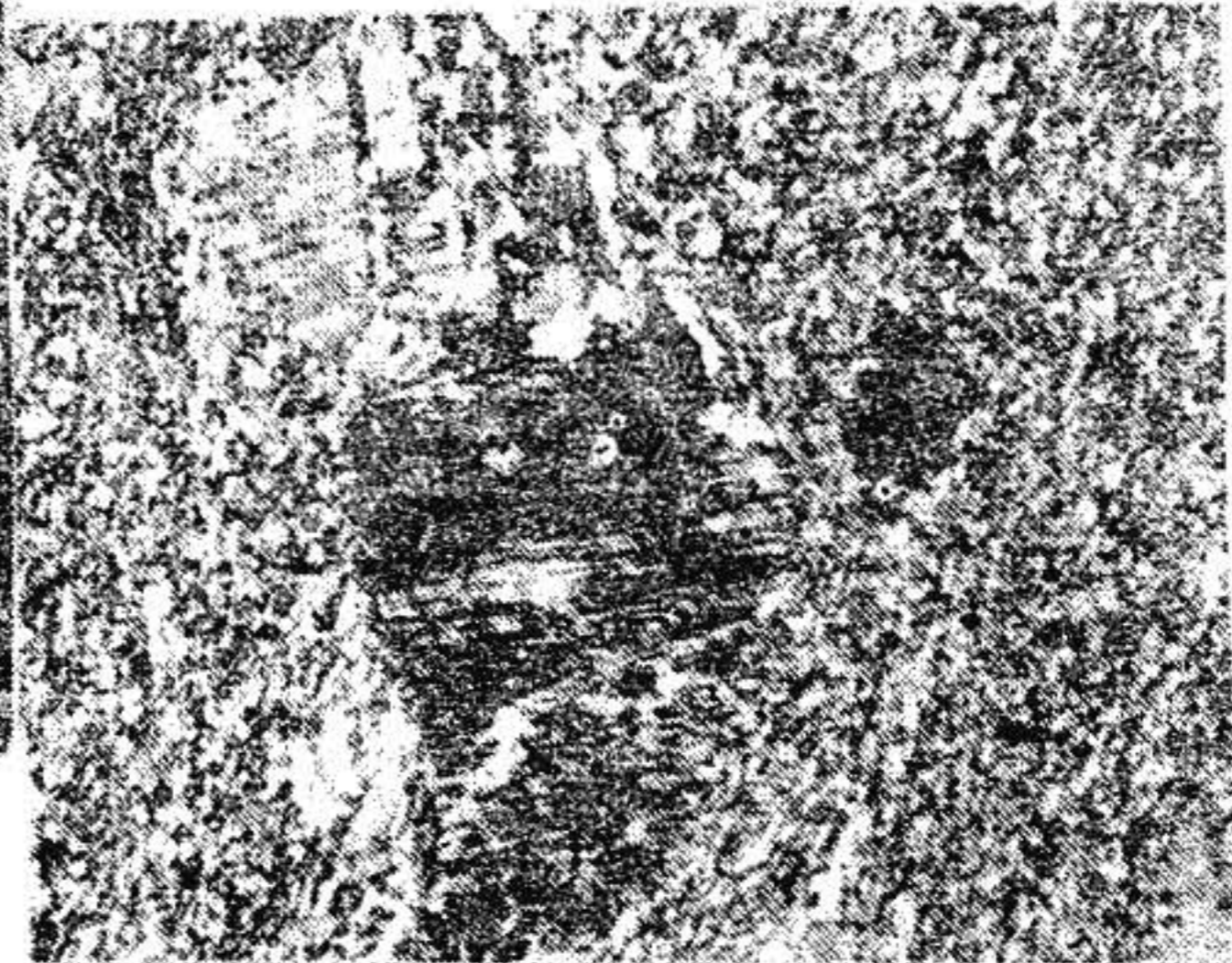


Рис. 139. Ортоклаз в эффузиве кислого состава (увел. 20, николи +)

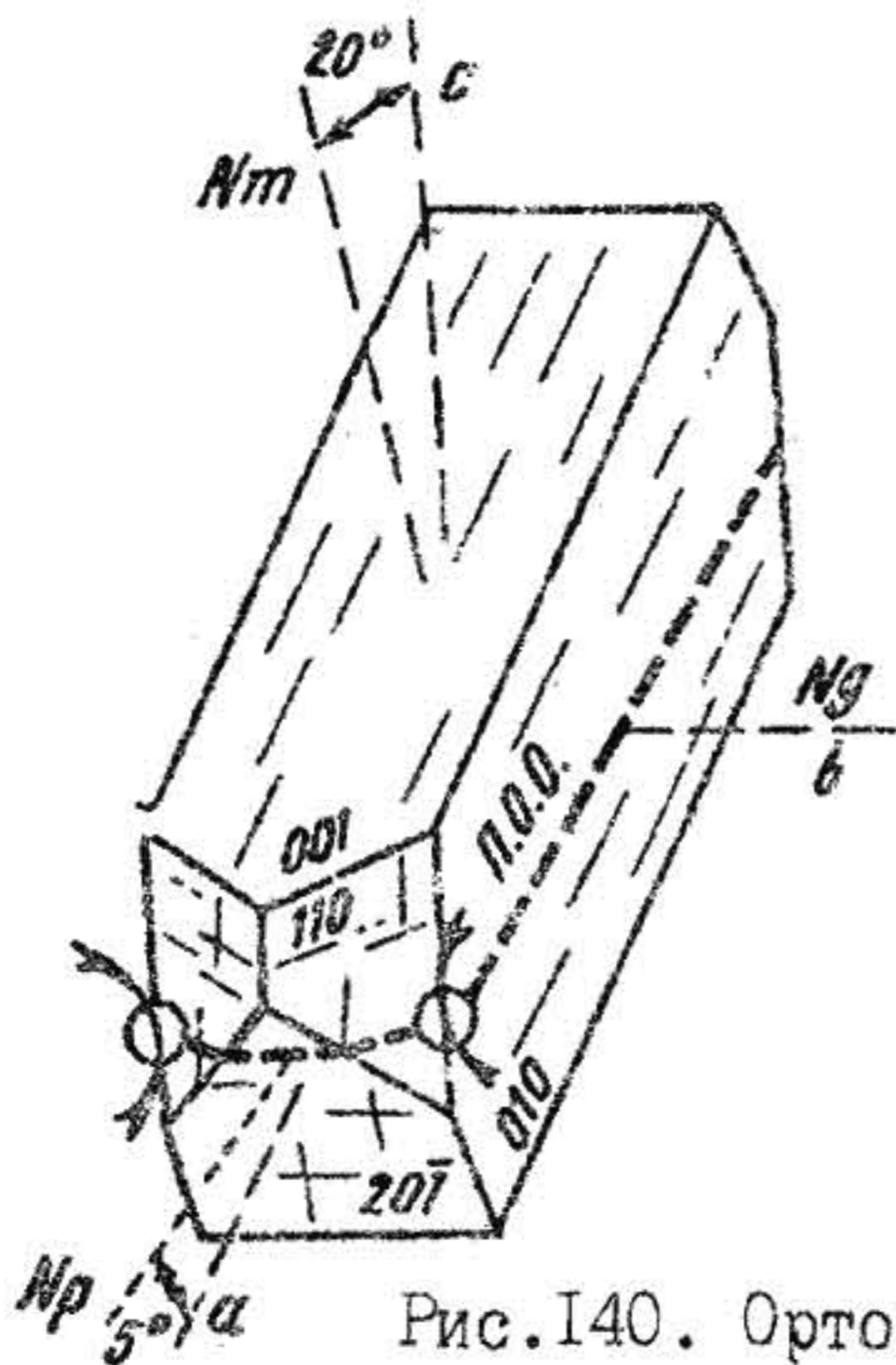


Рис. 140. Ортоклаз плоскости (010).

1,522-1,533; $n_p = 1,518-1,528$; $n_g - n_p = 0,006-0,007$. Рельеф и шагреневая поверхность отсутствуют. Угол угасания - а: N_p от 5 до 12° , с: N_m от 14 до 21° , б: $N_g = 0$. Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей - $2V$ колеблется от 30 до 84° . Дисперсия $r > v$. Интерференционная окраска серая, белая, первого порядка. Плоскость оптических осей перпендикулярна плоскости (010).

Включе н и я. Ортоклаз относительно часто содержит многочисленные включения кварца, плагиоклаза, акцессорных минералов. Как и в микроклине, в ортоклазе отмечаются включения альбита (пертиты распада или замещения) и вторичных продуктов, благодаря чему ортоклаз часто замутнен.

Разновидности. Прозрачный или полупрозрачный бесцветный ортоклаз называется адуляром.

Изменения. Ортоклаз замещается альбитом и пелитом. В результате пелитизации он становится буроватым. В сильно измененных гранитах и эффузивах кислого состава ортоклаз замещается кальцитом.

Похожие минералы. Ортоклаз похож на альбит и олигоклаз в срезе, параллельном двойникованию. Отличается оптическим знаком (альбит оптически положительный), олигоклаз имеет преломление

больше канадского бальзама. От кварца ортоклаз отличается по двуосности, оптическому знаку; меньшему преломлению и наличию спайности; от кордиерита — меньшими показателями преломления; от нефелина — по осности, меньшему преломлению, формам зерен.

Г е н е з и с. Метаморфогенный и магматогенный. Ортоклаз широко развит как один из главных породообразующих минералов в метаморфических породах амфиболитовой и гранулитовой фаций в парагенезисе с кварцем, плагиоклазом, биотитом, гранатом, силлиманитом, кордиеритом и гиперстеном. Он широко развит в гранитоидах, щелочных средних и основных породах интрузивных и эффузивных фаций.

С а н и д и н — $(K, Na)[AlSi_3O_8]$. Всегда содержит значительную примесь натрия. Группа полевых шпатов. Моноклинная сингония.

Встречается в виде неправильных, чаще идиоморфных зерен в порфировых вкрапленниках эффузивных пород. Бесцветный. Спайность совершенная по (001) и (010) и несовершенная по (110). Обладает простыми и сложными полисинтетическими двойниками по альбитовому, карлсбадскому и периклиновому законам. Форма кристалла санидина дана на рис. 141.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный отрицательный, реже положительный. Показатели преломления: $n_g = 1,522-1,534$; $n_m = 1,522-1,532$; $n_p = 1,518-1,527$; $n_g - n_p = 0,006-0,007$. Рельеф и шагреновая поверхность отсутствуют. Угол угасания с n_g — от 5 до 9°. Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей — $2V$ колеблется от 18 до 54°. Дисперсия $r > v$. Интерференционная окраска серая, белая, первого порядка. Плоскость оптических осей перпендикулярна плоскости (010).

В к л ю ч е н и я. Санидин содержит включения кварца, плагиоклаза и акцессорных минералов — апатита, сфена, циркона и др.

И з м е н е н и я. Санидин замещается альбитом и пелитом. В измененных эффузивах кислого состава санидин переходит в ортоклаз и микроклин.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Санидин похож на олигоклаз в срезе, параллельном двойникованию. Отличается оптическим знаком (у олигоклаза он положительный). От кварца санидин отличается по осности, оптическому знаку, меньшему преломлению (меньше канадского бальзама) и наличию спайности. От нефелина санидин отличается по осности, меньшему преломлению и форме зерен.

Г е н е з и с. Метаморфогенный и магматогенный. Санидин является одним из главных породообразующих минералов метаморфических пород санидинитовой или спуррит-мервинитовой фации контактового мета-

морфизма в парагенезисе с ларнитом, мервинитом, спурритом, таллитом, ранкинитом, мейенитом, мелилитом, тридимитом, муллитом, железистым волластонитом и др. минералами. Он относительно широко развит в кайнотипных эффузивах кислого и среднего состава.

Г и а л о ф а н - $(100-x)K[Al_3Si_3O_8]$ и $xBa[Al_2Si_2O_8]$, где $x = 0-35\%$. Группа полевых шпатов. Моноклинная сингония.

Образует широкотаблитчатые, короткопризматические кристаллы и ксеноморфные зерна, аналогичные ортоклазу. Спайность совершенная по (001), средняя по (010). Дает двойники по бавенскому закону. Бесцветный в шлифе. Форма кристалла дана на рис. 142.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный. Показатели преломления: $n_g = 1,534-1,547$; $n_m = 1,531-1,545$; $n_p = 1,528-1,542$; $n_g - n_p = 0,006-0,005$. Рельеф и шагреневая поверхность отсутствуют. Углы угасания: $b : N_g = 0^\circ$; $a : N_p = 2-25^\circ$; $c : N_m = 20-50^\circ$ (рис. 142). Показатели преломления, углы угасания и угол $2V$ возрастают с увеличением количества бария. Плоскость оптических осей перпендикулярна плоскости (010). Угол оптических осей - $2V = 74-79^\circ$. Дисперсия $r > v$. Интерференционная окраска серая, первого порядка.

В к л ю ч е н и я. Гиалофан иногда содержит включения кварца, гранат, кальцит, диопсид, апатит и др. минералы.

Р а з н о в и д н о с т и. Гиалофан обычно содержит от 5 до 30% цельзианового компонента и рассматривается как смесь **цельзиана** и калиевого полевого шпата с небольшим количеством натрового полевого шпата. Гиалофан с большим содержанием бария (Ca_{50} и Ca_{55}) занимает промежуточное положение между гиалофаном и цельзианом. Эти полевые шпаты располагаются значительно ближе к полю составов цельзиана.

И з м е н е н и я. Цельзиан, ортоклаз. У цельзиана плоскость оптических осей параллельна (010), выше двупреломление, положительный оптический знак, а у ортоклаза - меньшее преломление.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. В породах контактового метаморфизма в парагенезисе с доломитом, диопсидом, скаполитом, кальцитом, цоизитом, клиноцоизитом, биотитом, эпидотом, гранатом и сфеном. Гиалофаны, содержащие от 18 до 26% мол. % $Ba[Al_2Si_2O_8]$, встречаются в жилах с марганцевым тремолитом, родонитом, родохрозитом и спессартинном. Иногда гиалофан отмечается в породах, состоящих из плагиоклаза ($Ab_{30}An_{70}$) и гиалофана примерно в равных соотношениях.

Карфолит - $\text{KAl}_2[\text{Si}_2\text{O}_6](\text{OH})_4$. Ромбическая сингония.

Образует волокнистые или радиально-лучистые агрегаты. Обладает совершенной спайностью по (100) и средней по (110), пересекающейся на поперечных срезах под углом $68^\circ 30'$. В шлифе бесцветный до желтого. Форма кристаллов карфолита дана на рис. 143.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,630-1,639$; $n_m = 1,628-1,632$; $n_p = 1,611-1,617$; $n_g - n_p = 0,019-0,022$. Обладает четким рельефом и шагреневой поверхностью. Плеохроизм у окрашенных разностей слабый: по N_g - бесцветный; по $N_m = N_p$ - желтовато-зеленый или золотисто-желтый до бесцветного. Абсорбция по схеме $N_p = N_m > N_g$. Углы угасания: $b : N_p = 0^\circ$; $a : N_m = 1-4^\circ$, $c : N_g = 1-4^\circ$. Знак главной зоны положительный. Плоскость оптических осей перпендикулярна (010). Угол оптических осей - $2Y = 50-70^\circ$. Дисперсия по схеме $\nu > \nu$. Интерференционная окраска на разрезе, параллельном плоскости оптических осей, от фиолетовой до синей, второго порядка.

Похожие минералы. Силлиманит, эпидот, актинолит. От силлиманита карфолит отличается по отрицательному оптическому знаку, форме кристаллов и большому углу оптических осей (у силлиманита $2Y = 21-30^\circ$); от эпидота - меньшим преломлением, меньшим углом погасания и отсутствием супернормальной интерференционной окраски; от актинолита - меньшим углом погасания и углом оптических осей (у актинолита угол $2Y = 80^\circ$).

Генезис. Метаморфогенный, гидротермальный. Метаморфогенный карфолит образуется в P-T условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций регионального метаморфизма. Встречается в различных сланцах. Как гидротермальный карфолит образуется в трещинах и пустотах оловоносных жил.

Кордиерит - $\text{Al}_3(\text{Mg, Fe}^{2+})_2[\text{Si}_5\text{AlO}_{18}]$. Ромбическая (псевдогексогональная) сингония.

Образует короткостолбчатые или короткопризматические кристаллы, чаще неправильные и изометричные зерна (рис. 144). Иногда наблюдаются относительно сложные двойники по (110) и по (130) и характерные для этого минерала тройники и шестерники (рис. 145), а также полисинтетические двойники. Спайность несовершенная по (010), плохо выражена. В шлифе бесцветный или слабо окрашен в голубоватые или зеленоватые цвета с различными оттенками. Форма кристалла кордиерита дана на рис. 146).

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный. Показатели преломления: $n_g = 1,543-1,575$; $n_m = 1,539-1,605$; $n_p =$

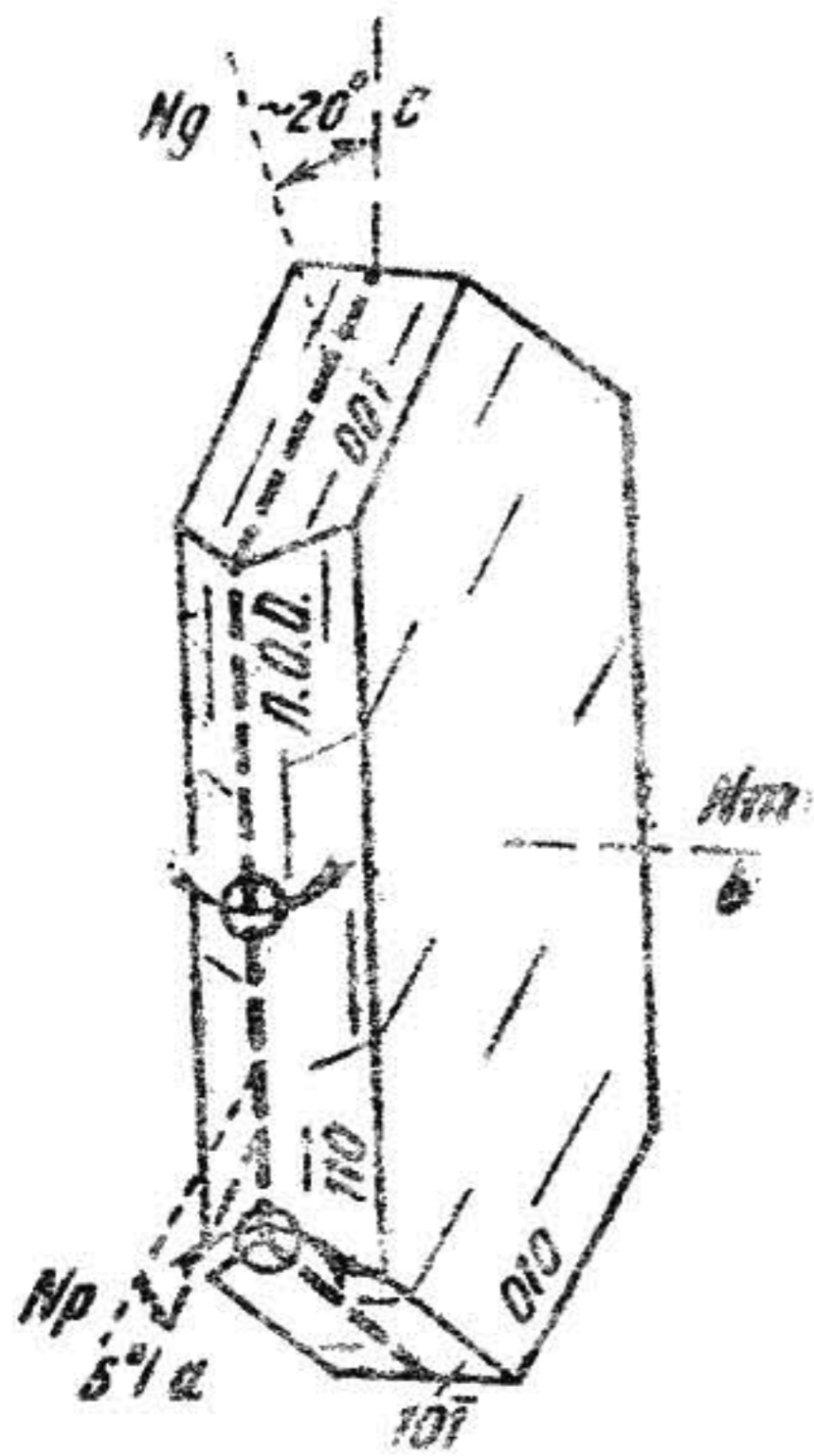


Рис. 141. Санидин

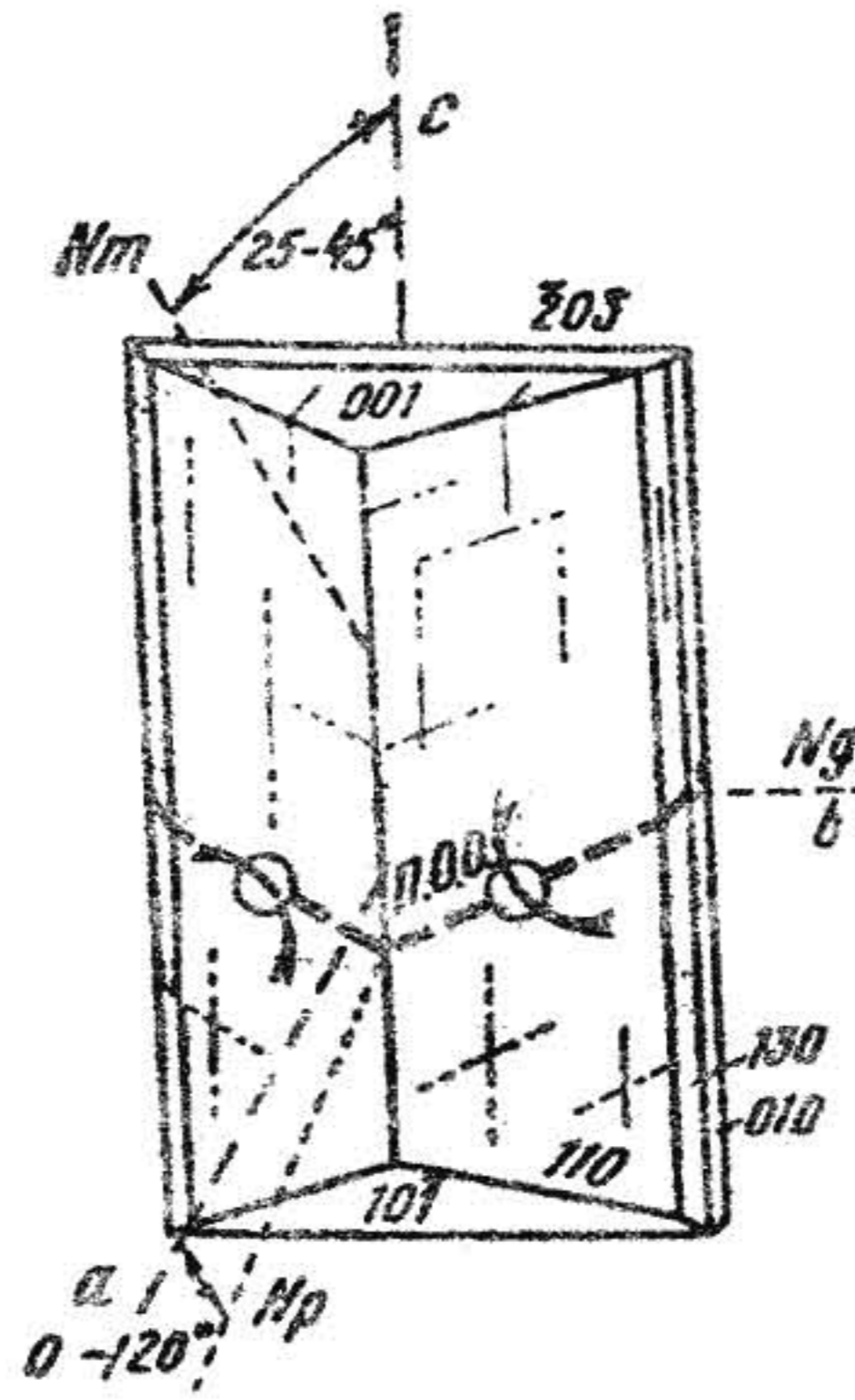


Рис. 142. Гиалофан

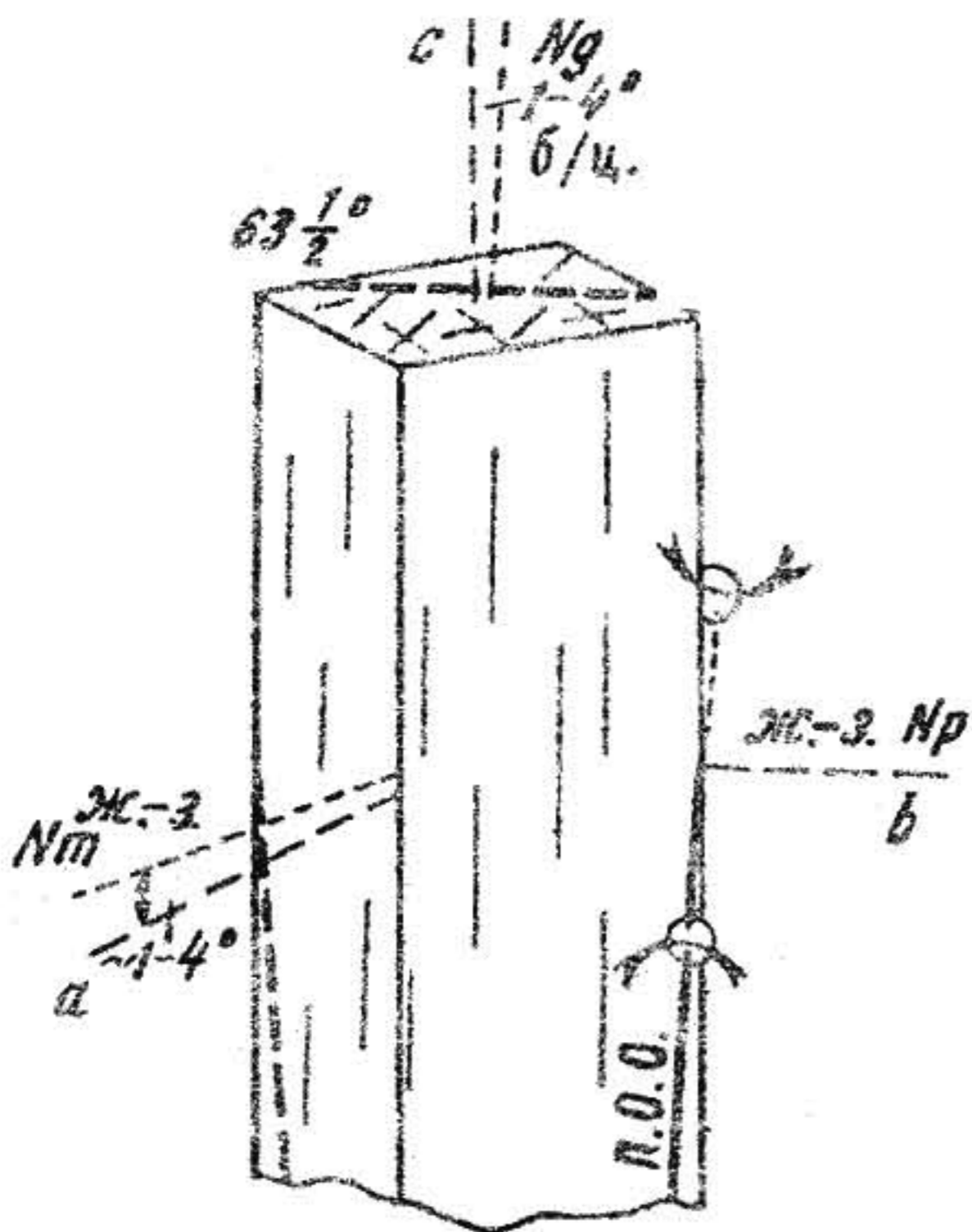


Рис. 143. Карфолит



Рис. 144. Кордиерит-биотитовый гнейс (увел. 20, николи +)

$I,534-I,558; n_g - n_p = 0,009-0,017$. На оптические свойства заметно оказывает влияние присутствие железа, обуславливая увеличения показателей преломления. Рельеф и шагреновая поверхность отсутствуют или очень слабо выражены. У слабо окаршенных разностей наблюдается плеохроизм: по N_g - бледно-сине-фиолетовый, светло-синий, желтый или бурый; по N_m - темно-фиолетовый, темно-синий, зеленый, темно-бурый; по N_p - светло-желтый, зеленый, бурый или красноватый. Схема абсорбции $N_g > N_m > N_p$. Плоскость оптических осей лежит в плоскости (100). Угасание прямое. Знак главной зоны отрицательный, угол оптических осей $2U = 45-80^\circ$. Дисперсия $\kappa < \nu$. Интерференционная окраска на разрезах, параллельных оптической оси, от серой до красной первого порядка. Характерным свойством является наличие плеохроичных "двориков" лимонно-желтого цвета, возникающих вокруг включений радиоактивных акцессорных минералов.

В к л ю ч е н и я. Кордиерит содержит многочисленные включения зерен циркона, апатита, шпинели, силлиманита, магнетита, ставролита, рутила, графита и др. (рис. 147).

Р а з н о в и д н о с т и. Пинит-серицитизированный кордиерит. Серицит располагается по трещинам внутри зерен. Гигантолит - кордиерит, замещенный мусковитом и хлоритом, имеющих форму чешуек.

И з м е н е н и я. Кордиерит легко подвергается всякого рода изменениям. В числе вторичных продуктов могут быть биотит, мусковит, хлорит и тальк.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Кордиерит сходен с кварцем, плагиоклазами (альбитом и олигоклазом), нефелином. От кварца и нефелина он отличается осностью; от плагиоклазов отрицательным оптическим знаком, формой зерен и характером двойников. От всех перечисленных минералов кордиерит отличается наличием плеохроичных "двориков" вокруг некоторых акцессорных минералов.

Г е н е з и с. Кордиерит является типичным метаморфогенным минералом, характерным для гнейсов и сланцев кордиерит-амфиболитовой и гранулитовой фаций андалузит-силлиманитовой фациальной серии, а также широко распространен в роговиках контактового метаморфизма. Спорадически встречается в лавах кислого состава.

К у п ф ф е р и т - $Me_7[Si_4O_{11}]_2(OH, F)_2$. Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

Призматические кристаллы, лучистые, листовые агрегаты, неправильные зерна. Спайность совершенная по призме (110), образующая в

поперечном сечении угол в 56° . В шлифе бесцветный, редко слабо окрашен в коричневый цвет различных оттенков и поэтому слабо плеохроирует с изменением интенсивности окраски. Форма кристаллов купфферита дана на рис. 148.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,632$; $n_m = 1,622$; $n_p = 1,602$; $n_g - n_p = 0,030$. Обладает высоким рельефом и шагреневой поверхностью. Углы угасания: $b:N_m = 0^\circ$; $a:N_p = 5^\circ$; $c:N_g = 12^\circ$. Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей $-2U = 80-90^\circ$. Дисперсия по схеме $r > v$. Плоскость оптических осей лежит в плоскости (010). Интерференционная окраска в разрезе, параллельном плоскости оптических осей, желтая, второго порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Антофиллит, актинолит. От антофиллита купфферит отличается косым угасанием на большинстве разрезов; от актинолита — меньшим преломлением и большим двупреломлением.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Образование купфферита обусловлено контактовым метаморфизмом амфибол-роговиковой фации. Относительно широко встречается в скарнах, эрланах, роговиках в парагенезисе с кальцитом, флогопитом, скаполитом, диопсидом, волластонитом и др. минералами.

Л а з у л и т — $[(Mg, Fe)Al_2](PO_4)_2(OH)_2$. Моноклинная сингония.

Образует изометричные, удлиненные кристаллы и зернистые агрегаты. Обладает совершенной спайностью по (110) и (101). В шлифе бесцветный или слабо голубоватый. Иногда образует двойники пластинчатой формы по (100) и (223). Форма кристалла лазулита дана на рис. 149.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,643-1,656$; $n_m = 1,633-1,646$; $n_p = 1,609-1,620$; $n_g - n_p = 0,034-0,036$. Рельеф четкий с хорошо выраженной шагреневой поверхностью. Угол угасания $c:N_p = 9^\circ$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Угол оптических осей $-2U = 64-67^\circ$. Дисперсия $r < v$, заметная. Знак главной зоны минерала отрицательный. В некоторых случаях окрашен и слабо плеохроирует: по N_g — небесно-голубой; по N_m — небесно-голубой; по N_p — бесцветный. Абсорбция по схеме $N_g > N_m \gg N_p$. Интерференционная окраска на разрезе, перпендикулярном N_m , оранжевая, красновато-оранжевая, фиолетовая, второго порядка.

Г е н е з и с. Метаморфогенный, гидротермальный и пегматитовый. Метаморфогенный лазулит образуется в P-T условиях альмандин-амфиболитовой фации регионального метаморфизма. Относительно широко рас-

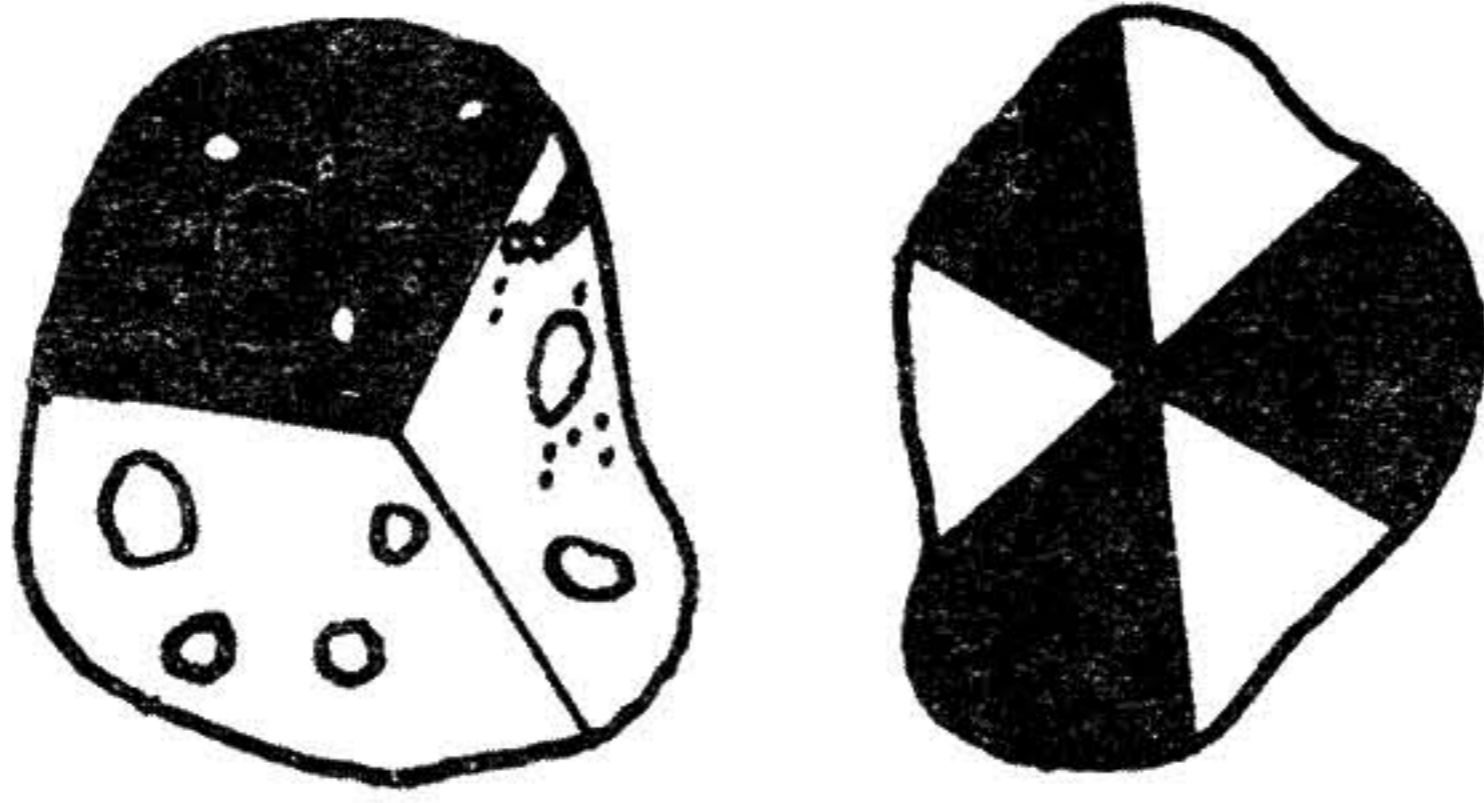


Рис. 145. Кордиерит. Разрез тройника и шестерника с включениями кварца

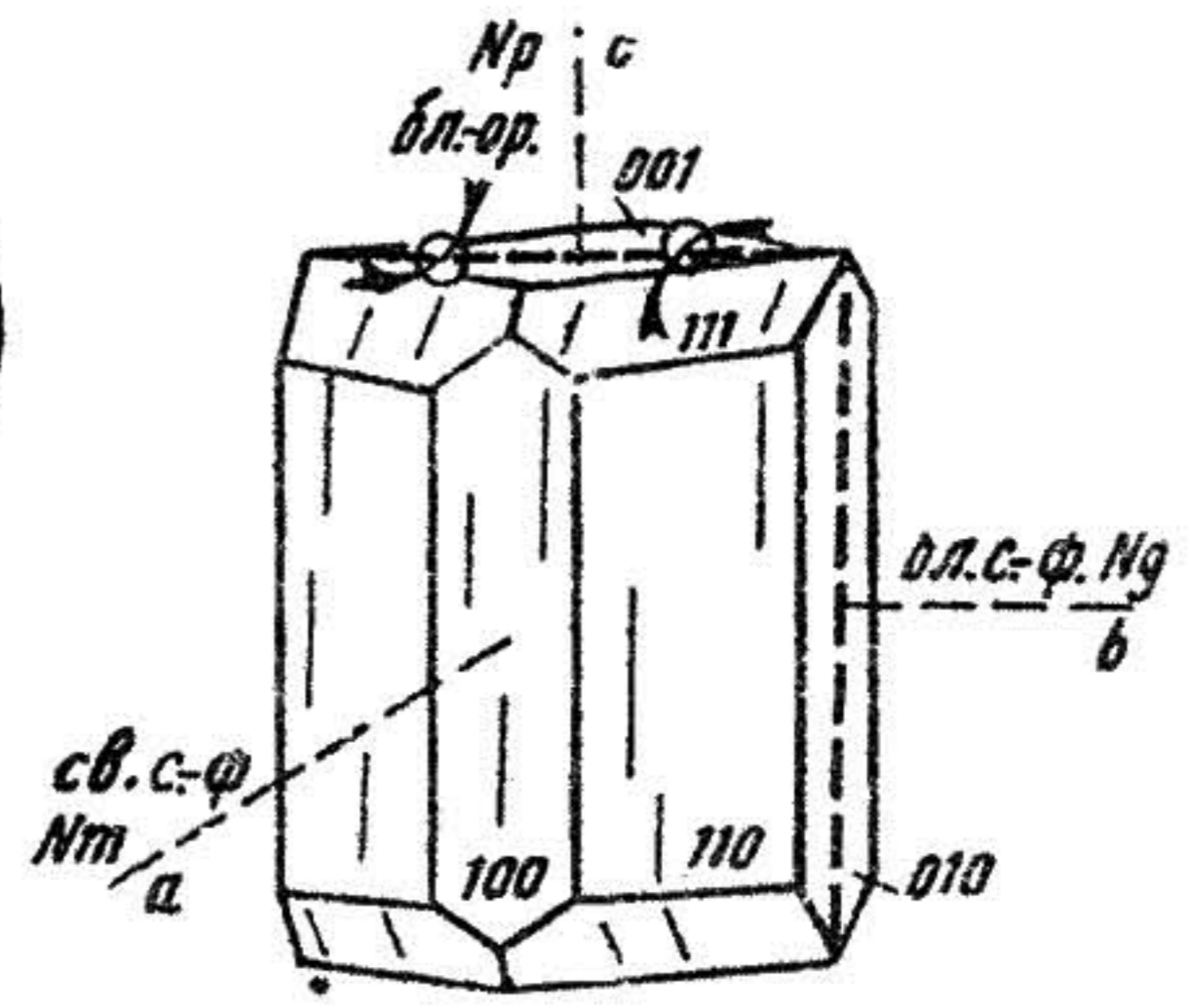


Рис. 146. Кордиерит

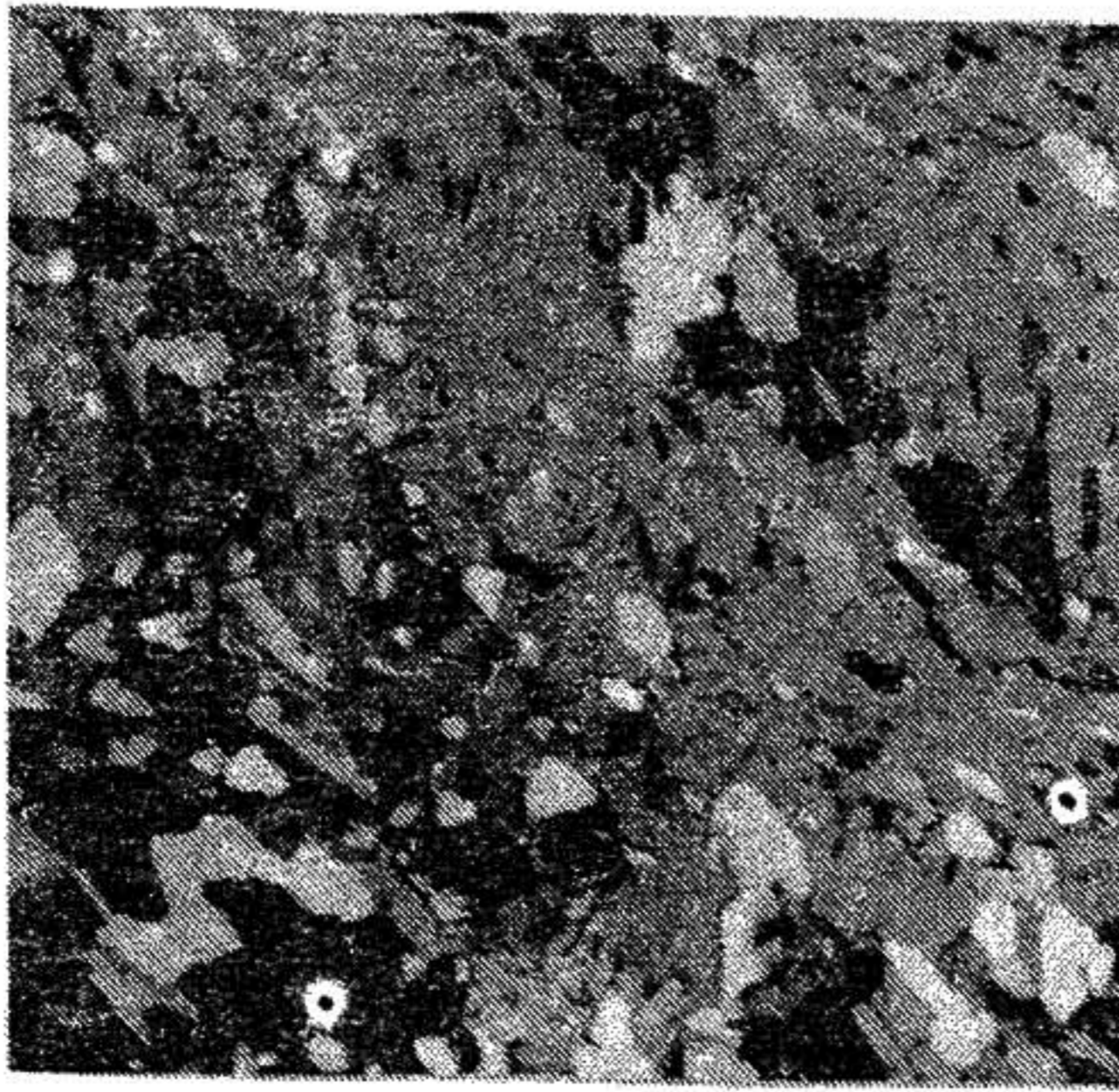


Рис. 147. Кордиерит с включениями зерен кварца, магнетита, апатита и рутила (увел. 20, николи +)

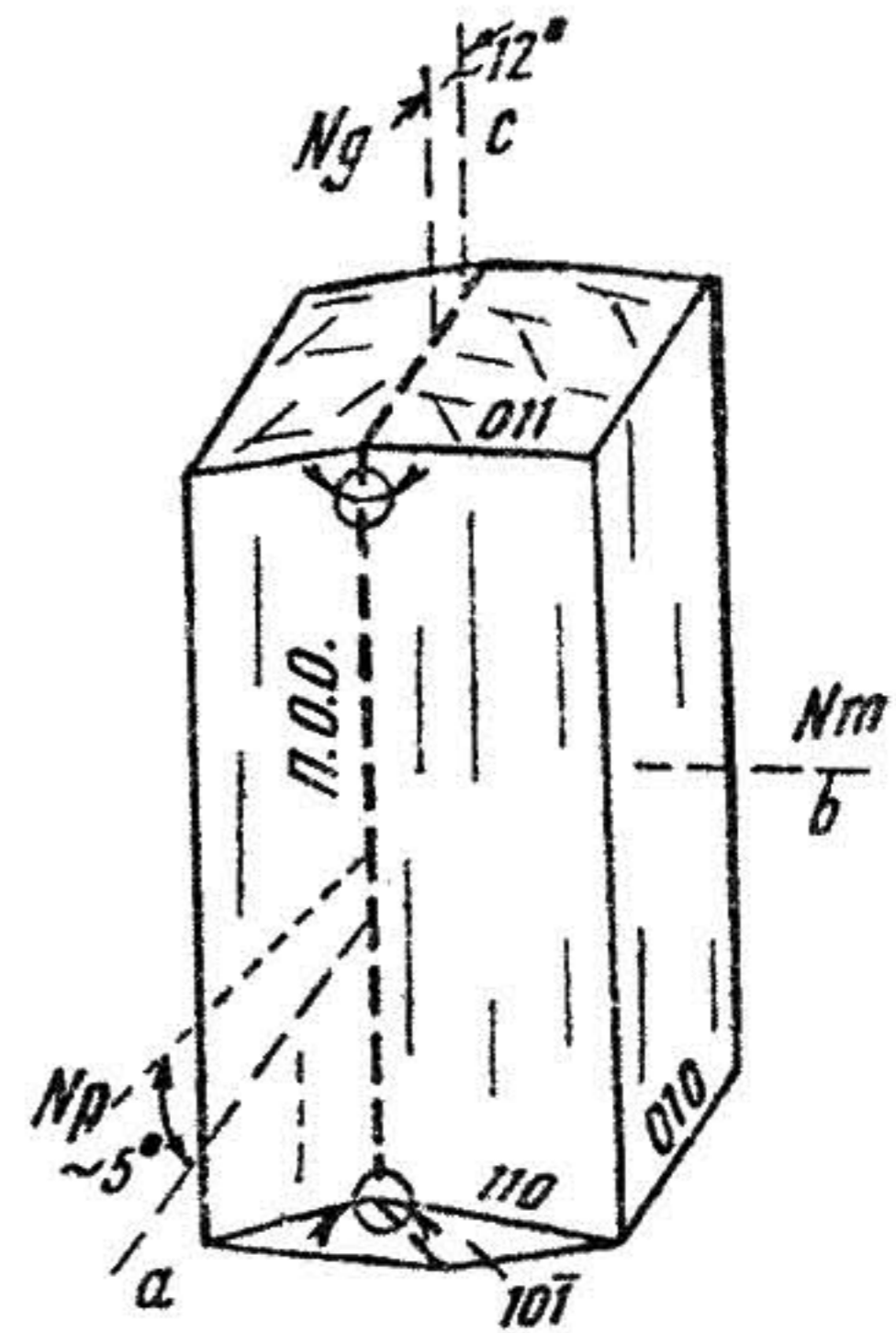


Рис. 148. Купфферит

пространен в кварцитах в парагенезисе с кварцем, плагиоклазом, гранатом, мусковитом, биотитом, рутилом и др. минералами. Как гидротермальный лазулит встречается в кварцевых жилах, локализованных в метапелитах зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций регионального метаморфизма. В гранитных пегматитах лазулит находится в ассоциации с кварцем, альбитом, микроклином, мусковитом и др. минералами.

Л о м о н т и т - $(Ca, Na) [AlSi_2O_6]_4 \cdot 4H_2O$. Группа цеолитов.
Моноклинная сингония.

Встречается в виде призматических кристаллов, похожих по форме на пироксен, сноповидных и радиальнолучистых агрегатов. Спайность в двух направлениях - по (010) и (110) - совершенная и по (100) - несовершенная. В шлифе бесцветный, иногда слабо окрашен в желтоватый, сероватый и другие цвета. Форма кристалла ломонтита дана на рис. 150.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный. Обладает показателями преломления: $n_g = 1,514-1,525$; $n_m = 1,512-1,524$; $n_p = 1,502-1,513$; $n_g - n_p = 0,012$. Отрицательный рельеф. Шагреновая поверхность отсутствует. Углы погасания: $b: N_m = 0^\circ$; $a: N_p = 10-26^\circ$; $c: N_g = 20-36^\circ$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Угол оптических осей $2U = 24-38^\circ$; дисперсия $r < v$, сильная. Знак главной зоны положительный. Интерференционная окраска на срезе, параллельном пл. о.о. светло-желтая с сероватым оттенком, первого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Сколецит, гейландит, эпистильбит, десмин. От сколецита ломонтит отличается большим дву-преломлением, от гейландита - большим двупреломлением и иной ориентировкой пл. о.о.; от эпистильбита - большим углом оптических осей - $2U$; от десмина - положительным - положительным удлинением.

Г е н е з и с. Метаморфогенно-гидротермальный. Встречается в пустотах и трещинах основных эффузивов. В сланцах и гнейсах в ассоциации с кварцем, полевыми шпатами, слюдами и др. минералами. Как вторичный минерал ломонтит встречается в рудных жилах.

М а р г а р и т - $CaAl_2 [Al_2Si_2O_{10}] (OH)_2$. Моноклинная сингония.

Встречается в виде тонких табличек, листочков, чешуек с совершенной спайностью по (001). Обычны двойники по слюдяному закону. В шлифе бесцветный. Форма кристалла маргарита дана на рис. 151.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,644-1,650$; $n_m = 1,643-1,648$; $n_p = 1,630-1,638$; $n_g - n_p = 0,014-0,012$. Рельеф ясный, шагреновая поверхность резкая. Плоскость оптических осей перпендикулярна плоскости (010). Углы угасания: $b: N_g = 0^\circ$; $a: N_m = 6-8^\circ$; $c: N_p = 17-19^\circ$. Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей - $2U = 45^\circ$, иногда от 40 до 67° . Дисперсия оптических осей по схеме $r < v$. Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных N_m - светло-желтая, первого порядка.

Изменения. При наложенных процессах метаморфизма по маргариту развивается буровато-желтый гидрослюдистый минерал под названием дэдлиита.

Похожие минералы. Мусковит, диаспор, хлоритоид, тальк. От мусковита маргарит отличается большим преломлением, меньшим двупреломлением, косым угасанием, иной схемой дисперсии оптических осей; от диаспора — значительно меньшими значениями угла оптических осей — $2U$ и преломления, косым угасанием; от хлоритоида — отсутствием окраски, меньшим преломлением, иным оптическим знаком; от талька — большим преломлением, меньшим двупреломлением, большим углом оптических осей — $2U$ и косым угасанием.

Генезис. Метаморфогенный. Маргарит образуется в процессе регионального метаморфизма зеленосланцевой фации. Встречается в парагенезисе с хлоритом, биотитом, мусковитом, эпидотом, тремолитом, корундом, ставролитом, турмалином и др. минералами.

Монтичеллит — $\text{CaMg}[\text{SiO}_4]$. Группа оливина. Ромбическая сингония.

Образует короткостолбчатые или призматические кристаллы и неправильные зерна, похожие на оливин. Спайность несовершенная по (010). Иногда наблюдаются двойники и тройники по (031). В шлифе бесцветный. Форма кристалла монтичеллита дана на рис. 152.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,652-1,674$; $n_m = 1,646-1,664$; $n_p = 1,641-1,654$; $n_g - n_p = 0,011-0,020$. Обладает высоким рельефом и резкой шагреновой поверхностью. Угасание прямое. Знак главной зоны, вследствие изометричных очертаний, трудно определить. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (001). Угол оптических осей — $2U = 80-90^\circ$. Дисперсия по схеме $r > v$, довольно слабая. Интерференционная окраска на разрезе, параллельном плоскости оптических осей, от желтой, первого порядка, до фиолетовой, второго порядка, на других разрезах — серая, первого порядка.

Изменения. При вторичных процессах метаморфизма по монтичеллиту развивается серпентин.

Похожие минералы. Оливин, форстерит, фаялит, от которых монтичеллит отличается значительно более низкой интерференционной окраской и (от форстерита) отрицательным оптическим знаком.

Генезис. Метаморфогенный. Образование монтичеллита осуществляется в P-T условиях пироксен-роговиковой и санидинитовой фаций контактового метаморфизма, где он находится в парагенезисе с гранатом, пироксенами, кальцитом, скаполитом, волластонитом, апатитом, иногда мелилитом.

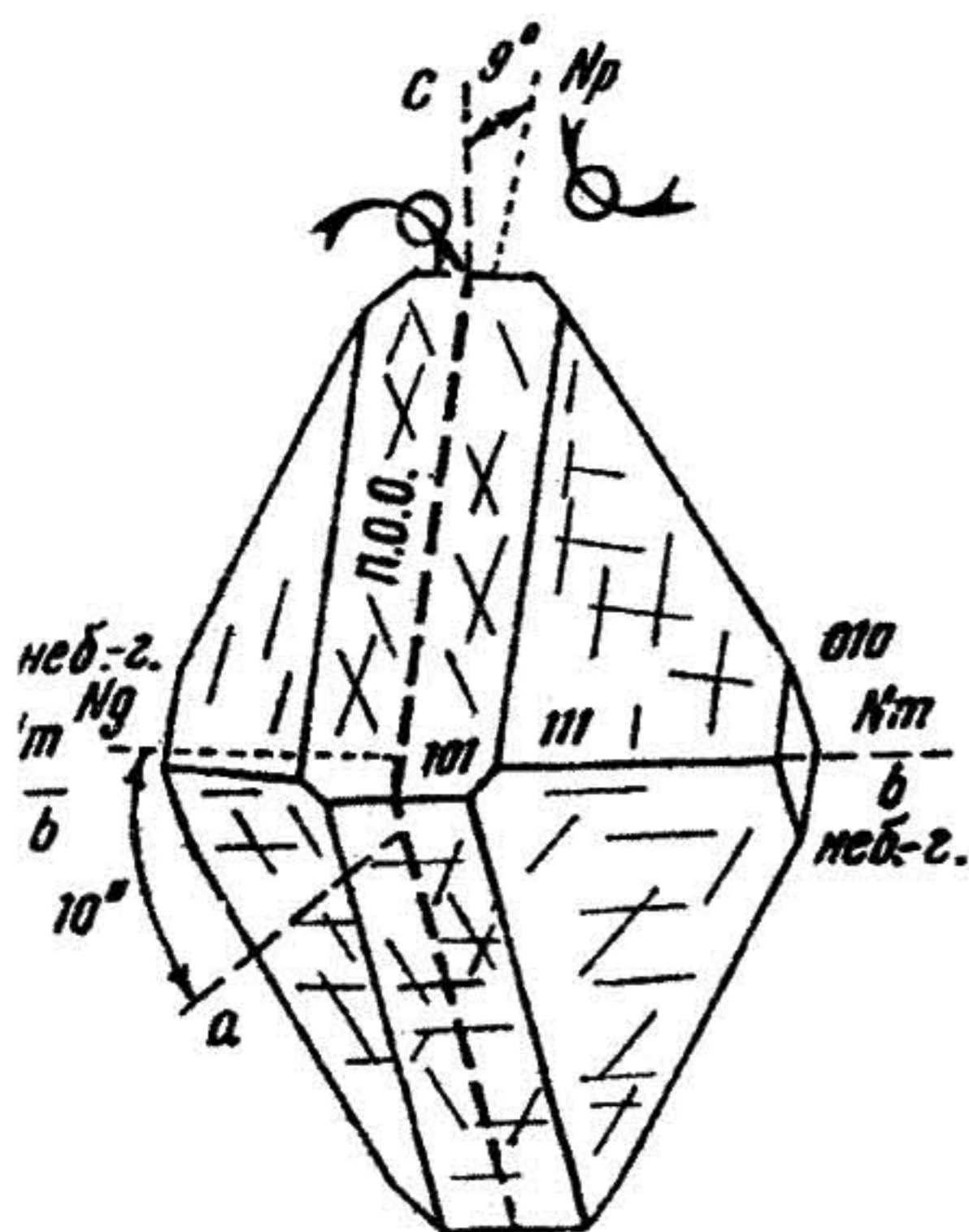


Рис. I49. Лазулит

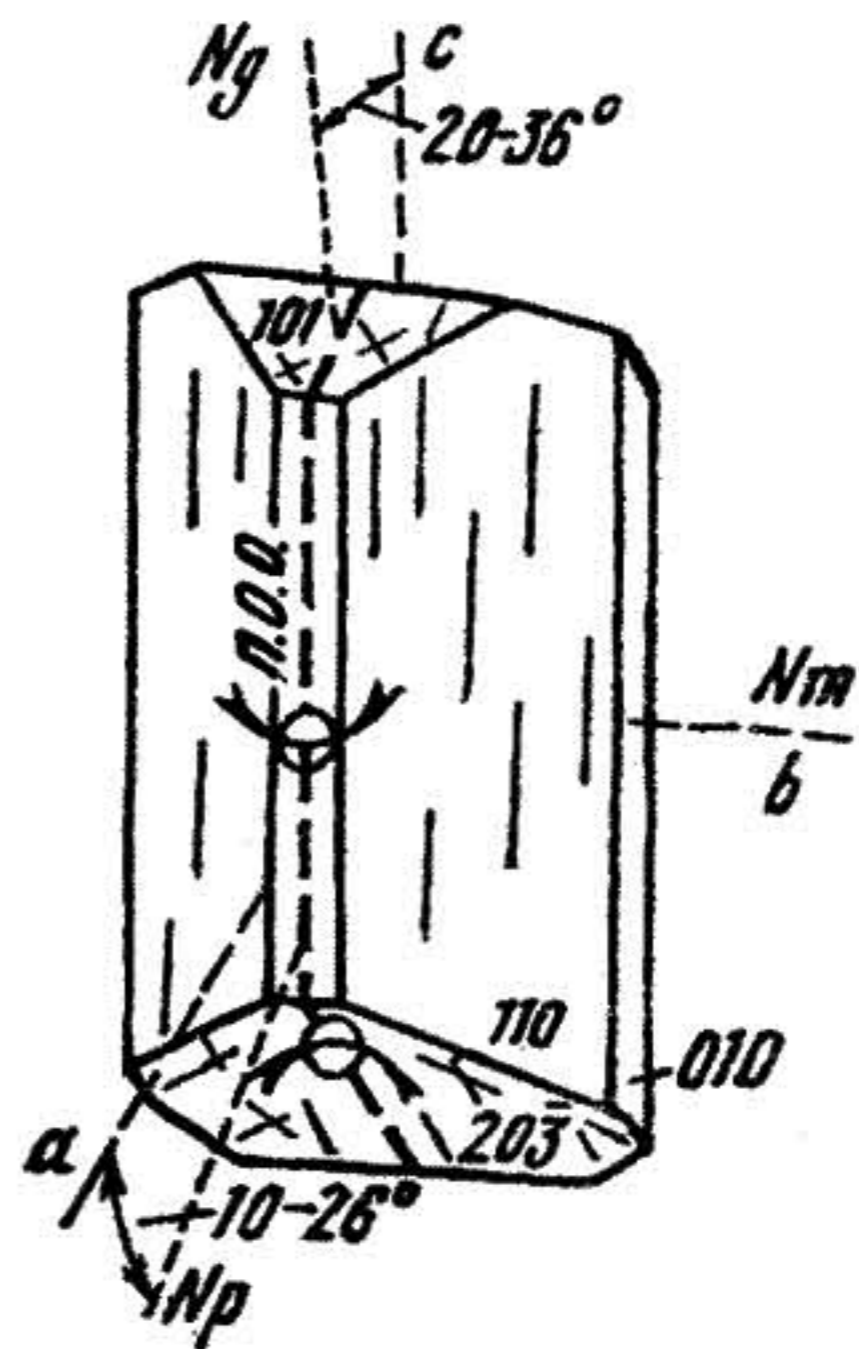


Рис. I50. Ломонит

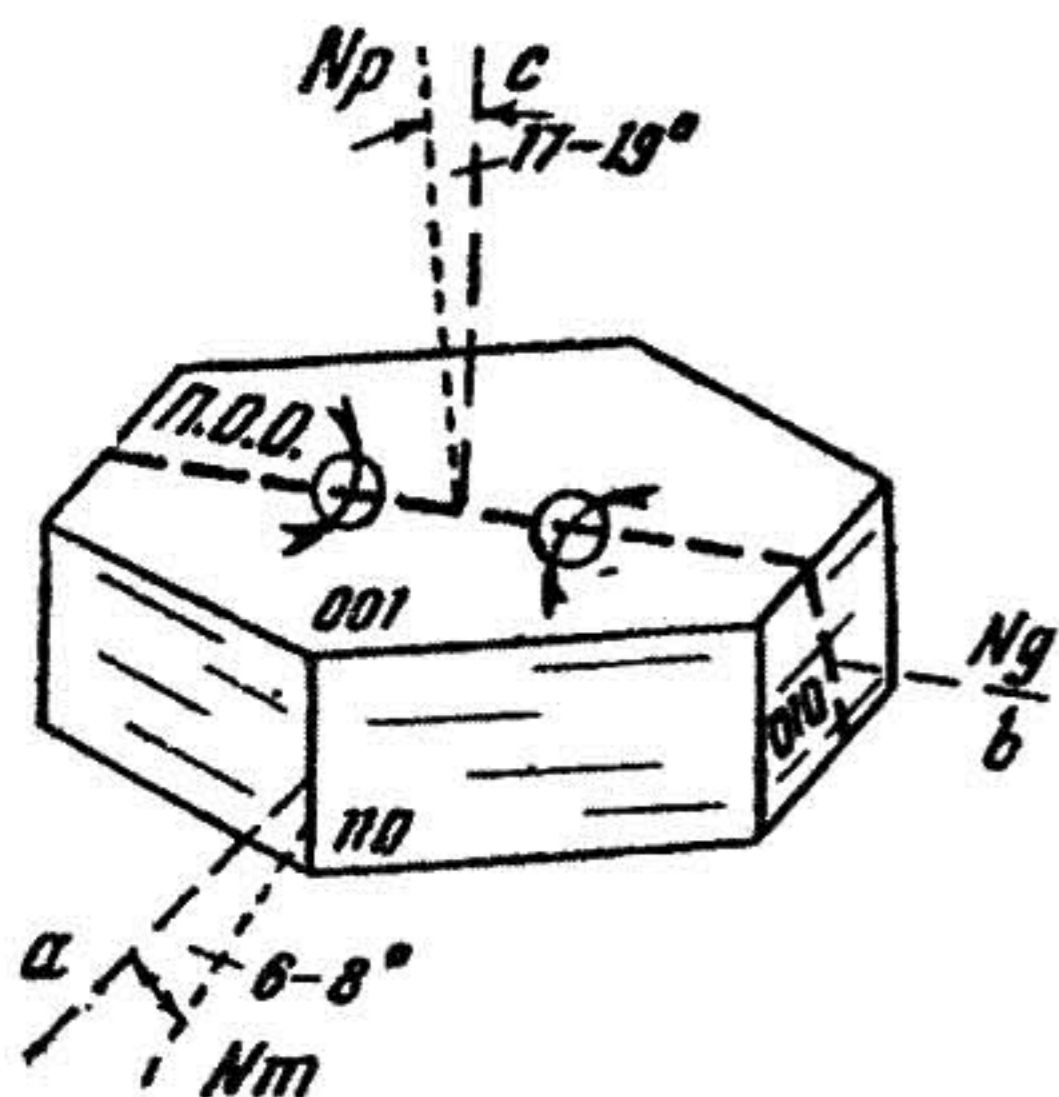


Рис. I51. Маргарит

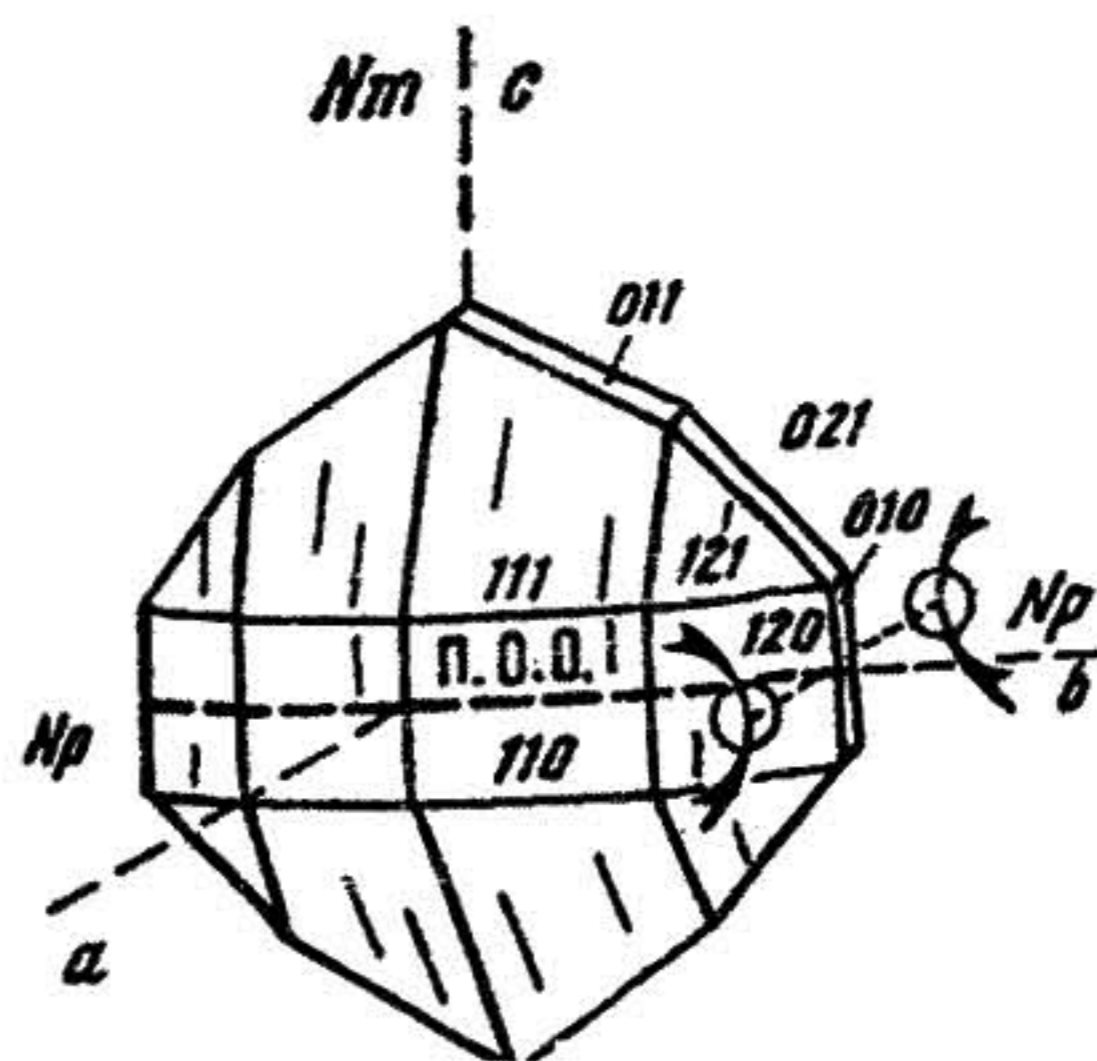


Рис. I52. Монтицеллит

Олигоклаз - $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ (90-70%) и $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ (10-30%). Группа полевых шпатов. Триклинная сингония.

В шлифе встречается в виде изометричных зерен или идиоморфных и гипидиоморфных таблитчатых кристаллов. Обладает совершенной спайностью по (001) и по (010) и несовершенной по (110). Двойники простые и полисинтетические (рис. I53). В шлифе бесцветный. Форма кристалла дана на рис. I54.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный. Показатели преломления колеблются в зависимости от содержания анортитовой составляющей:

	11% An		30% An
n_g	- 1,542	n_g	- 1,552
n_m	- 1,536	n_m	- 1,548
n_p	- 1,533	n_p	- 1,543
$n_g - n_p$	- 0,009	$n_g - n_p$	- 0,009

Шагреновая поверхность и рельеф минерала отсутствуют. Плоскость оптических осей с кристаллографическими осями в олигоклазах с различным содержанием анортита образует различные углы погасания. Знак главной зоны может быть положительным и отрицательным. Угол оптических осей $2U$ близок к 90° . Дисперсия $r < v$. Интерференционная окраска светло-серая, первого порядка.

В к л ю ч е н и я. Содержит мелкие зерна различных акцессорных минералов - апатита, циркона, магнетита, граната и др., а также газо-жидкие включения.

Р а з н о в и д н о с т и. Лунный камень - олигоклаз, обладающий визуально своеобразным нежно-сиреневатым отливом, напоминающим лунный свет. Авантюрин, или солнечный камень, обладающий также визуально искристо-золотистым отливом, обусловленным включениями чешуек гематита.

И з м е н е н и я. По олигоклазу могут развиваться, замещая его иногда полностью, с образованием псевдоморфоз, серицит, эпидот, цоизит, микроклин, альбит и каолинит.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Олигоклаз похож на альбит и андезин. Отличается он оптическим знаком и показателями преломления - большими, чем у альбита и меньшими, чем у андезина. От других плагиоклазов - лабрадора, битовнита и анортита он легко отличается по отсутствию рельефа и минеральному парагенезису. В срезах, параллельных плоскости двойникования, олигоклаз очень похож на кварц, от которого он отличается оптическим знаком и двуосностью.

Г е н е з и с. Типичный метаморфогенный и магматогенный минерал. Метаморфогенный, характерный для сланцев и гнейсов эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций метаморфизма в ассоциации с кварцем, микроклином, мусковитом, биотитом, гранатом, дистеном, ставролитом, андалузитом, хлоритоидом, силлиманитом и др. Магматогенный, характерный для глубинных и излившихся пород гранитоидного ряда. Значительно реже встречается в измененных породах основного состава и метабазах.

П и р о ф и л л и т - $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$. Моноклинная сингония.

В шлифе встречается в виде чешуйчатых, лучистых, шестоватых агрегатов, сферолитов, чешуек, пластинок или таблитчатых очень мелких кристаллов. Спайность совершенная по (001). Бесцветный. Форма кристалла дана на рис. 155.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, характеризующийся показателями преломления: $n_g = 1,600$; $n_m = 1,588$; $n_p = 1,552$; $n_g - n_p = 0,048$. Слабый рельеф. Шагреневая поверхность отсутствует, или очень слабая. Угасание прямое. Удлинение положительное. Плоскость оптических осей перпендикулярна плоскости (010). Угол оптических осей - $2Y = 53-60^\circ$. Дисперсия $r > v$, слабая. Интерференционная окраска на срезах, параллельных плоскости оптических осей и при нормальной толщине шлифа, третьего порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Тальк, мусковит, каолинит. От талька и мусковита пирофиллит отличается большим углом оптических осей (у талька угол $2Y = 0-30^\circ$); от каолинита - более высоким двупреломлением.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Пирофиллит образуется в P-T условиях регионального метаморфизма серицит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации и в отдельных случаях в цеолитовой фации. Встречается в глинистых сланцах. Как вторичный минерал пирофиллит образует псевдоморфозы по дистену, андалузиту и мусковиту. Гидротермальный пирофиллит образуется в кварцевых жилах.

Р и х т е р и т - $CaNa_2Mg_5[Si_4O_{11}]_2(OH,Fe)_2$. Содержит до 6% K_2O . Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

Хороших кристаллов не образует, а встречается преимущественно в виде стебельчатых или игольчатых форм. Спайность совершенная по призме (110), пересекающаяся на поперечных разрезах под углом 56° . В шлифе бесцветный или слабо окрашен в разные оттенки желтого цвета. Форма кристалла рихтерита дана на рис. 156.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,627-1,641$; $n_m = 1,620-1,635$; $n_p = 1,605-1,622$; $n_g - n_p = 0,022-0,019$. Ясный рельеф и шагреневая поверхность. У окрашенных разностей наблюдается слабый плеохроизм: по N_g - бесцветный, оранжевый; по N_m - светло-желтый, оранжевый; по N_p - бесцветный, светло-желто-коричневый. Абсорбция по схеме: $N_g = N_p < N_m = N_g$. Плоскость оптических осей лежит в плоскости (010). Углы угасания: $b:N_m = 0^\circ$; $a:N_p = 3-5^\circ$; $c:N_g = 17-19^\circ$. Удлинение положительное. Угол оптических осей - $2Y = 66-70^\circ$. Дисперсия $r < v$. Ин-

С к о л е ц и т - $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]\text{3H}_2\text{O}$. Группа цеолитов. Моноклинная сингония.

Обычно представлен радиально-лучистыми и волокнистыми агрегатами, реже тонкопризматическими кристаллами с вертикальной штриховкой. Спайность совершенная по (110). В шлифе бесцветный. Форма кристалла сколецита дана на рис. 157.

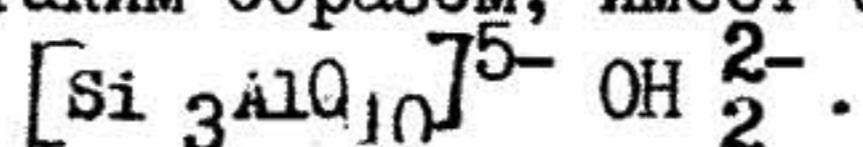
О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный. Обладает показателями преломления: $n_g = 1,517-1,521$; $n_m = 1,516-1,520$; $n_p = 1,510-1,513$; $n_g - n_p = 0,007-0,008$. Рельеф и шагреновая поверхность отсутствуют. Плоскость оптических осей перпендикулярна плоскости (010). Углы угасания: $c:N_p = 15-18^\circ$; $a:N_m = 14-17^\circ$; $b:N_g = 0^\circ$. Удлинение (знак главной зоны) отрицательное. Угол оптических осей - $2V = 36-56^\circ$. Дисперсия по схеме: $r \ll v$. Интерференционная окраска серая, первого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Натролит, томсонит, десмин (стильбит), мезолит. От натролита сколецит отличается косым угасанием и отрицательным удлинением; от томсонита, кроме того, меньшим двупреломлением; от десмина - большим углом погасания; от мезолита - большим двупреломлением, большим углом угасания и отрицательным удлинением.

Г е н е з и с. Метаморфогенно-гидротермальный. Как метаморфогенный сколецит встречается в сланцах в ассоциации с кварцем, плагиоклазом, микроклином и слюдами и в контактно-измененных кристаллических известняках. Гидротермальный - встречается в пустотах основных эффузивов - базальтов, фонолитов. В данном случае сколецит образуется как вторичный минерал.

Г р у п п а с л ю д. Химический состав слюд может быть выражен с помощью общей формулы: $X_{2-3}Z_4O_{10}[\text{OH}, \text{F}]_2$, где X - в основном K, редко Na, также Ca, Ba, Pb, Cs, Y - главным образом Al, Mg и Fe^{2+} , но также Li, Mn, Cr, Ti и Z - в основном Si и Al, но возможно также Fe^{3+} и Ti.

По кристаллохимической структуре слюды относятся к слоистым алюмосиликатам. Кремнекислородные и алюмокислородные тетраэдры в них, скрепленные ионами кислорода, образуют плоские слои. Элементарная ячейка слоя из трех Si, одного Al, десяти O и двух OH, и анионная группа, таким образом, имеет следующий вид:



Разнообразие катионов, входящих в состав слюд, обуславливает появление многочисленных минеральных видов в этой группе. Мы рассмот-

рим оптические свойства наиболее распространенных слюд — мусковита, флогопита, биотита, лепидолита и цинвальдита, которые являются породообразующими минералами многих метаморфических, метасоматических и магматических пород.

Мусковит — $\text{KA1}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{Fe})_2$. Группа слюд. Моноклинная сингония.

В шлифе имеет форму неправильных чешуек (рис. 158), листочков, пластинок, табличек, редко в виде кристаллов псевдогексагонального облика. Образует веерообразные и листовато-почковидные агрегаты. Спайность весьма совершенная в одном направлении. Бесцветный или слабо желтоватый, буроватый, зеленоватый. Встречаются двойники. Форма кристалла мусковита дана на рис. 159.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,588-1,624$; $n_m = 1,582-1,619$; $n_p = 1,552-1,570$; $n_g - n_p = 0,036-0,054$. На разрезах, перпендикулярных спайности, мусковит обладает рельефом, шагреновой поверхностью и характерным свойством, обусловленным большой разницей между n_g и n_p — псевдоабсорбцией. На срезах, параллельных спайности, эти явления отсутствуют. Угол угасания на срезе, перпендикулярном спайности, прямой или почти прямой. Знак главной зоны положительный. Плоскость оптических осей параллельна (100). Угол оптических осей — $2U = 35-50^\circ$. Дисперсия по схеме: $r > v$. Слабо окрашенный, бесцветный, слабо плеохроирует по схеме $N_g \approx N_m > N_p$: по $N_g \approx N_m$ — бледно-желтый, бледно-бурый, по N_p — бесцветный. Интерференционная окраска очень чистая, яркая, на разрезах перпендикулярных N_g — зеленая, второго порядка, N_m — зеленовато-желтая, второго порядка, N_p (параллельном спайности) — серая, первого порядка.

Включения. В мусковите весьма часто отмечаются обильные газово-жидкие и кристаллические включения. Они бывают представлены цирконом, ксенотимом, монацитом, апатитом, сфеном, гранатом, турмалином, магнетитом, гематитом, кварцем и др. минералами (рис. 160)

Разновидности. Фуксит — ярко-зеленая, хромосодержащая слюда с плеохроизмом по N_g — синевато-зеленый; по N_m — желтовато-зеленый; по N_p — бесцветный, до бледно-зеленого. Фенгит — мусковит с повышенным содержанием кремнезема и углом оптических осей $2U = 24-36^\circ$. Серицит — мелкая слюда, по всем свойствам аналогична мусковиту. Жильбертит — бледно-зеленый мусковит, встречающийся в виде небольших разетковидных сростков, либо сплошных масс. Роскоэлит — редкий ванадийсодержащий мусковит, красновато-бурой или зеленовато-бурой окраски.

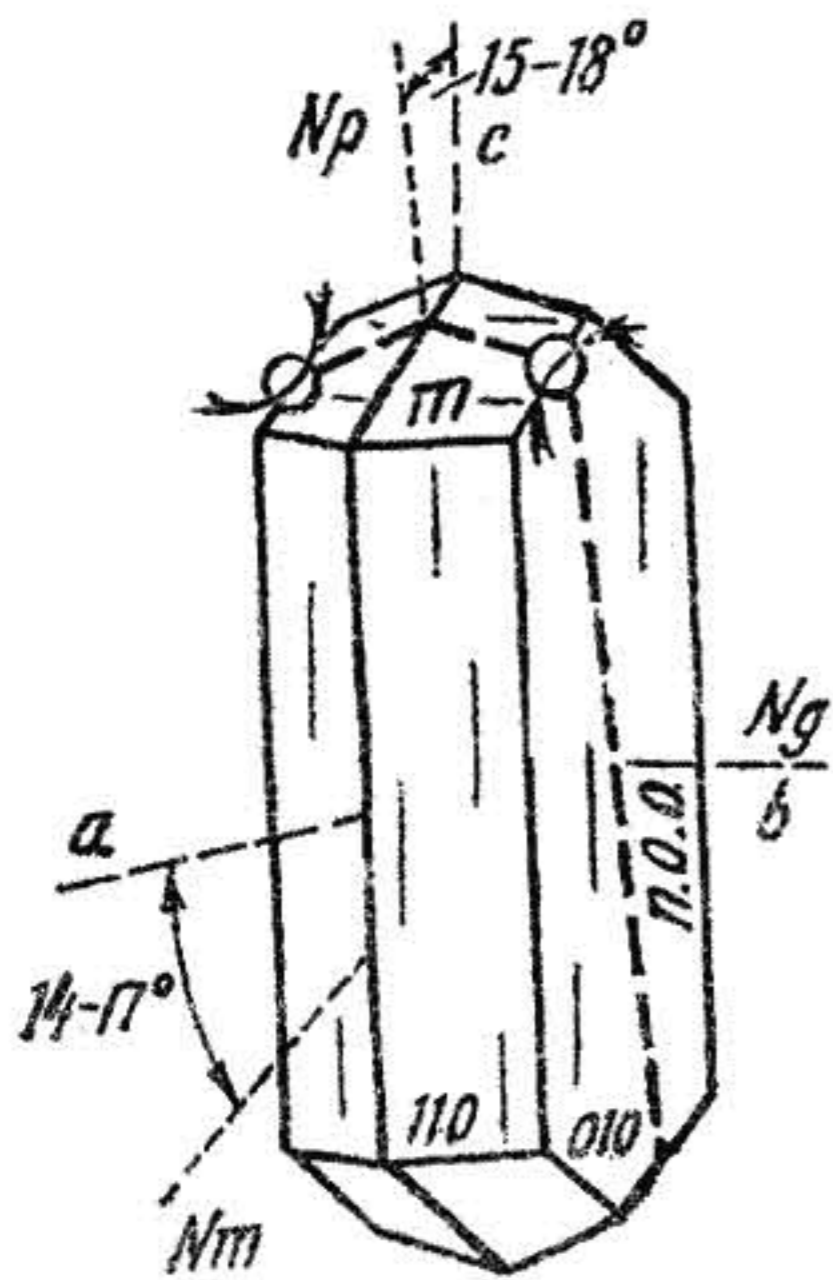


Рис. 157. Сколецит

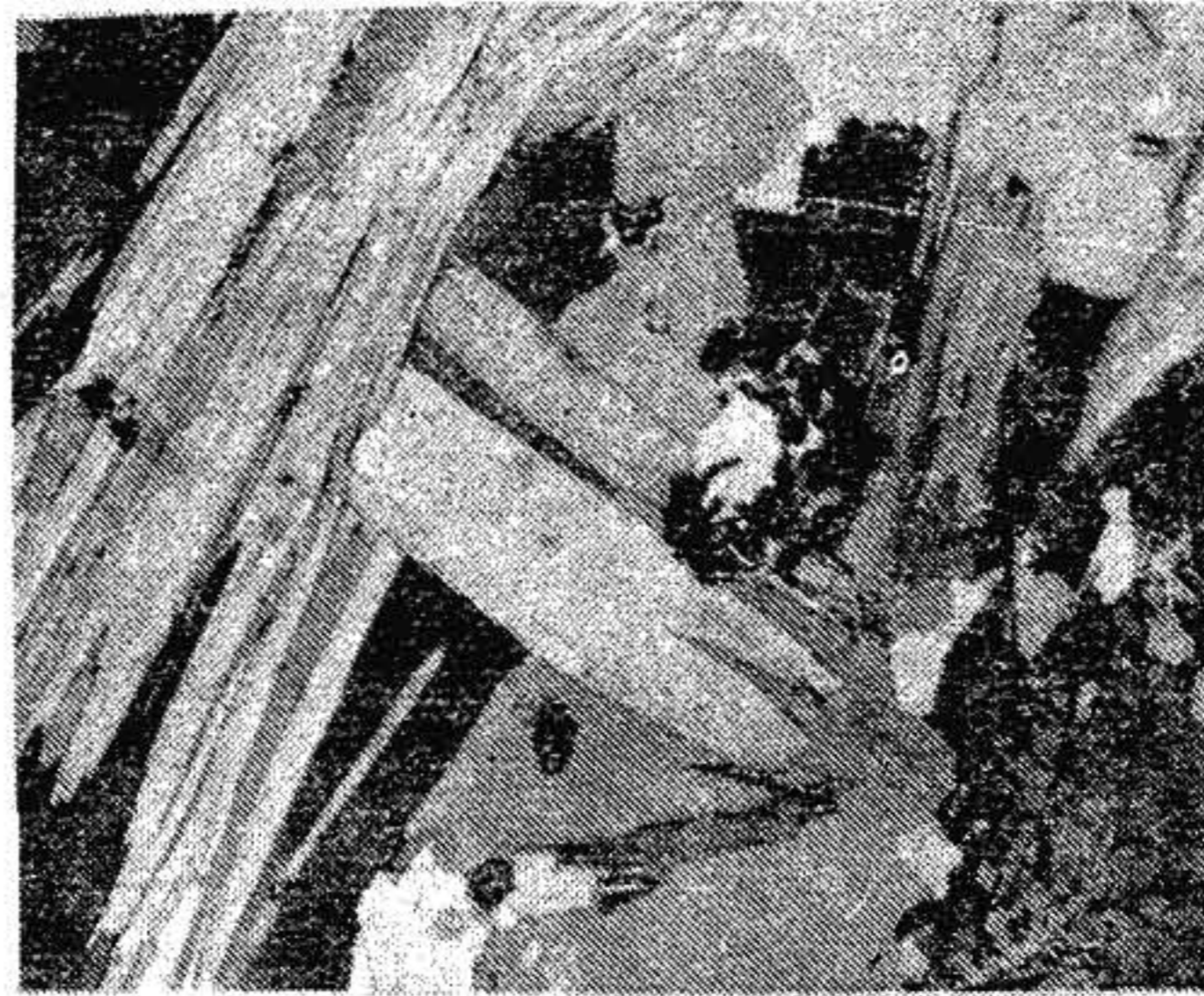


Рис. 158. Мусковит в кордиерит-двусланяном плагиогнейсе (увел. 20, николи +)

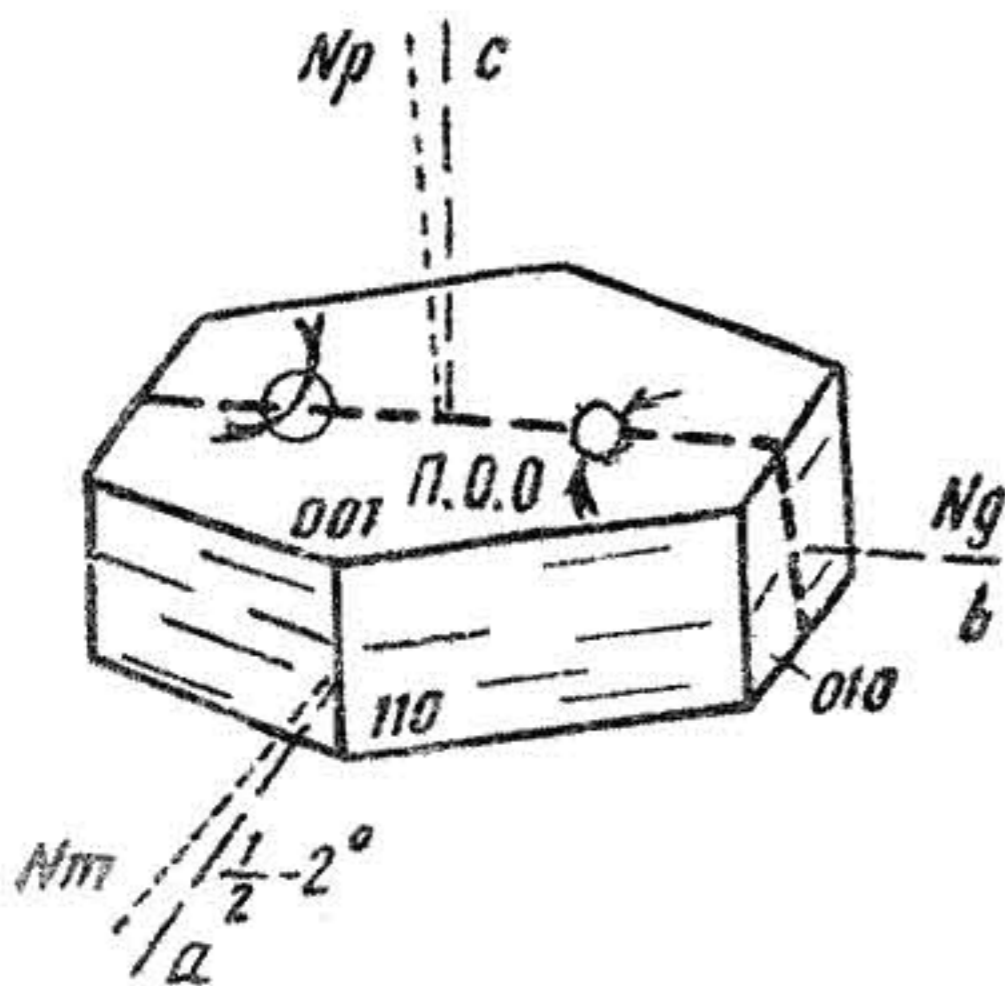


Рис. 159. Мусковит

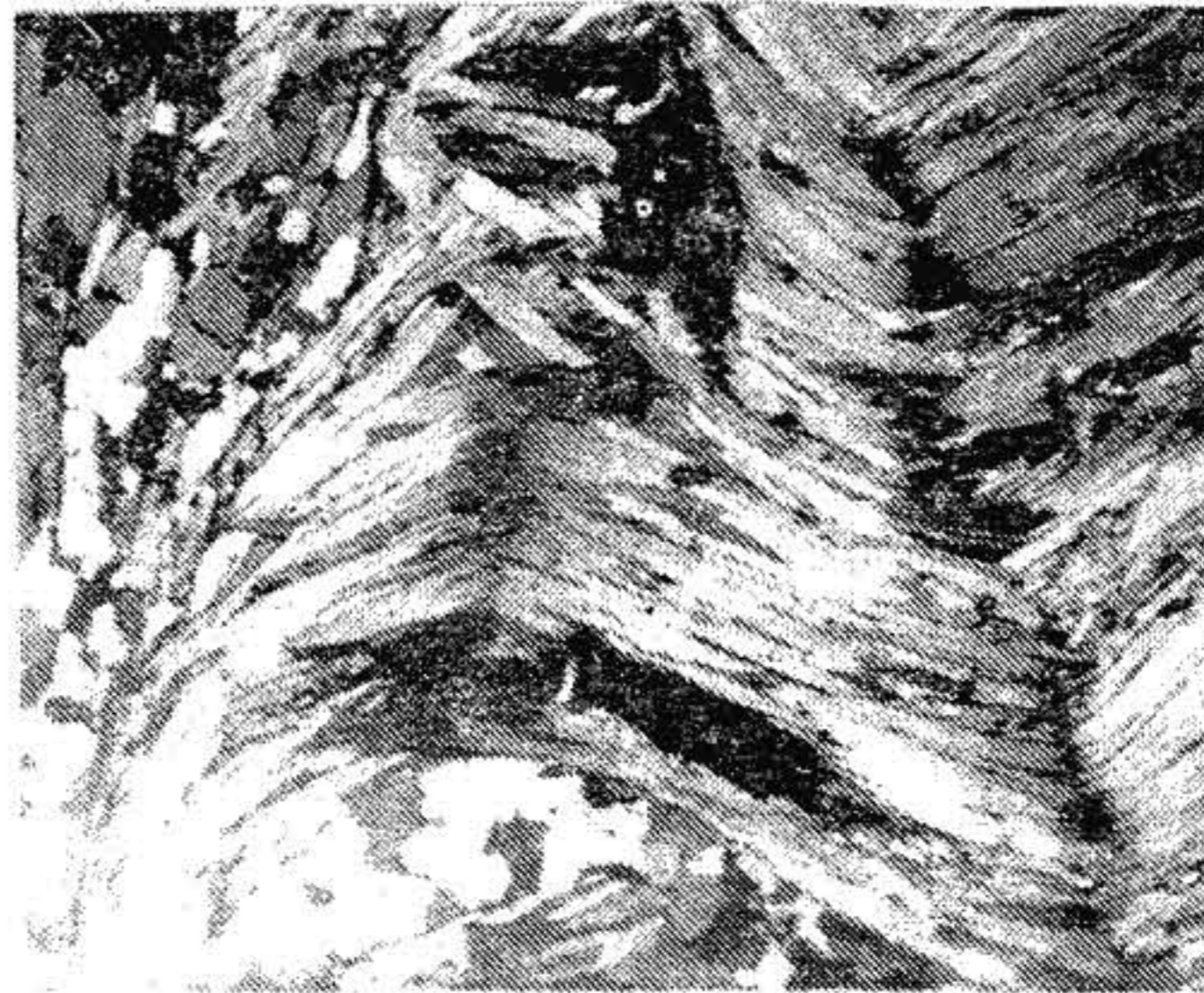


Рис. 160. Мусковит с включениями кварца, турмалина и магнетита (увел. 20, николи +)

Изменения. При гидратации по мусковиту развивается гидрослюда и дамурит, а также в некоторых случаях альбит и кварц.

Похожие минералы. В разрезе, параллельном спайности, мусковит похож на кварц, но отличается осностью (мусковит - двуосный отрицательный, кварц - одноосный положительный). Иногда по внешним признакам мусковит почти неотличим от талька. В этом случае помогает минеральный парагенезис (тальк образуется, главным образом, по железо-магнезиальным минералам) и угол оптических осей $2Y$ (у талька он не более 30°). Скаполит, похожий в ряде случаев на мусковит,

отличается знаком зоны и осностью (скаполит – одноосный отрицательный). Сходен с мусковитом канкринит, имеющий преломление ниже канадского бальзама. Мусковит иногда похож на слабоокрашенный лепидолит, но лепидолит имеет преломление, близкое к канадскому бальзаму. В метаморфических породах мусковит можно спутать с пирофиллитом, который имеет больший угол оптических осей – $2U = 53-60^\circ$.

Г е н е з и с. **Метаморфогенный.** В гнейсах и сланцах амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций в парагенезисе с кварцем, полевыми шпатами, гранатом, биотитом, ставролитом, дистеном, андалузитом и др. минералами. Как вторичный мусковит при наложенных процессах метаморфизма развивается по биотиту, дистену, андалузиту, кордиериту, скаполиту и плагиоклазу кислого состава, преимущественно олигоклазу. Магматогенный мусковит отмечается только в гранитах, сильно обогащенных калием и летучими компонентами.

Ф л о г о п и т. – $KMg_3[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$. Группа слюд. Моноклинная сингония.

Встречается в виде неправильных или удлинённых по спайности чешуек, листочков, микрочешуйчатых агрегатов, реже в форме шестиугольных табличек или призматических кристаллов. Спайность весьма совершенная в одной плоскости, по (001). Встречаются двойники. В шлифе бесцветный или окрашенный в светло-буроватый, зеленоватый, светло-коричневый цвета. Форма кристалла флогопита дана на рис. 161.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двусный отрицательный. Показатели преломления колеблются в зависимости от примеси железа:

Не содержит Fe	Богатый Fe
n_g – 1,558–1,565	n_g – 1,597
n_m – 1,558–1,564	n_m – 1,597
n_p – 1,520–1,535	n_p – 1,550
$n_g - n_p$ – 0,038–0,030.	$n_g - n_p$ – 0,047

Шагреневой поверхности нет, рельеф слабый. Угол угасания 0° , реже $2-4^\circ$. Знак главной зоны (удлинения) положительный. Угол оптических осей $2U$ колеблется от 0 до 20° . Дисперсия по схеме $r < v$. Плеохроизм по n_g – коричневатый, желтый; по n_m – желтоватый, красновато-бурый; по n_p – бесцветный. Схема абсорбции $n_g > n_m \gg n_p$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных спайности, третьего порядка, здесь же наблюдается слабая псевдоабсорбция.

В к л ю ч е н и я. Флогопит часто содержит включения апатита, циркона, магнетита и др. аксессуарных минералов. Характерны игольча-

тые включения рутила (сагенита), турмалина или гематита, пересекающиеся под углом 60° .

Изменения. При наложенных процессах метаморфизма и метасоматоза по флогопиту развивается хлорит и чешуйчатый агрегат талька.

Похожие минералы. Бесцветный флогопит очень похож на мусковит. Отличие заключается в том, что у флогопита меньший угол оптических осей $2U =$ от 0 до 20° , чем у мусковита - от 35 до 50° . Окрашенный флогопит похож на биотит, но у биотита окраска более интенсивна и большее преломление.

Генезис. Метаморфогенный. Распространен в породах эпидот-амфиболитовой, амфиболитовой и гранулитовой фаций регионально-го метаморфизма в парагенезисе с кальцитом, доломитом, диопсидом, гранатом, амфиболом, скаполитом, волластонитом и др. минералами. Флогопит широко распространен в породах контактового метаморфизма - скарнах, роговиках. Как магматогенный флогопит формируется относительно редко - слюдоносные кимберлиты; пегматиты, секущие карбонатные породы; серпентиниты и другие бедные кремнеземом и богатые железом и магнием породы.

Лепидолит - $KLi_{1,5}Al_{1,5}[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$. Группа слюд. Моноклинная сингония.

В шлифе встречается в виде неправильных чешуек, листочков, пластинок, их агрегатов веерообразной или розетковидной формы. Изредка образует друзы кристаллов короткопризматических очертаний. Спайность весьма совершенная по (001). Под микроскопом бесцветен или слабо окрашен в розоватый цвет. Форма кристаллов лепидолита дана на рис. 162.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,555-1,605$; $n_m = 1,553-1,598$; $n_p = 1,533-1,560$; $n_g - n_p = 0,022-0,045$. Шагреневая поверхность, ясный рельеф и отчетливая псевдоабсорбция на срезах, перпендикулярных спайности. На срезах, параллельных спайности, эти явления не заметны. Прямое угасание. Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей - $2U$ - колеблется от 20 до 40° . Дисперсия $r > v$. Плоскость оптических осей перпендикулярна плоскости (010). Если лепидолит окрашен, то плеохроирует по схеме $N_g \gg N_m > N_p$; по N_g - розовый, бледно-фиолетовый; по N_p - бесцветный. Интерференционная окраска на разрезе, перпендикулярном N_g - желтая, второго порядка, перпендикулярном N_m - розовая, второго порядка, перпендикулярном N_p - серая, первого порядка.

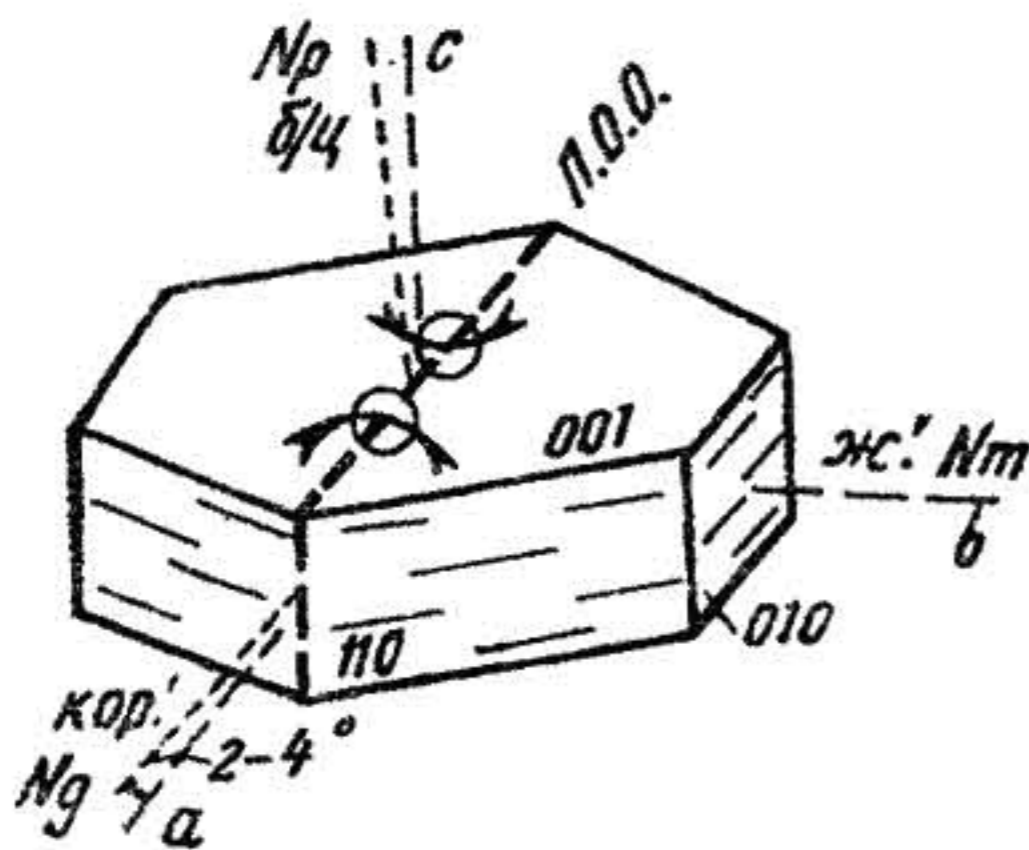


Рис. 161. Флогопит

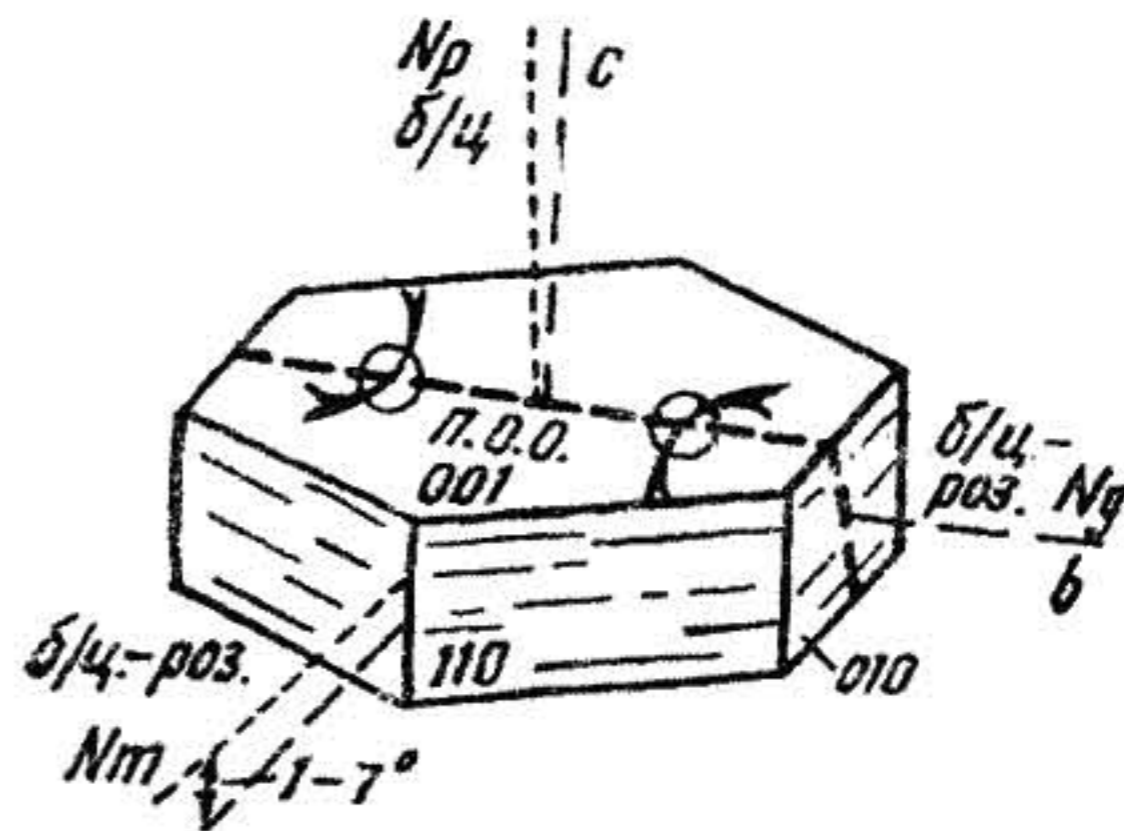


Рис. 162. Лепидомелан

Включения. Лепидолит часто содержит включения рутила, циркона, апатита, монацита, касситерита, топаза и др. минералов. Вокруг некоторых из них наблюдаются плеохроичные каемки. Нередко также содержит газовой-жидкие включения.

Изменения. При наложенных повторных метаморфических и метасоматических процессах по лепидолиту развивается гидрослюда, в отдельных случаях каолинит и гидрогиллит с кварцем.

Похожие минералы. Лепидолит похож на мусковит. В отличие от мусковита лепидолит обладает меньшим преломлением, например, по n_p — ниже канадского бальзама. Реакция на литий.

Генезис. Метаморфогенный в грейзенах, грейнезированных гранитах и пегматитах. Как гидротермальный лепидолит образуется в высокотемпературных гидротермальных жилах в ассоциации с кварцем, турмалином, топазом и др. минералами.

Цинвальдит — $KLiFeAl[AlSi_3O_{10}](OH, F)_2$. Группа слюд. Моноклинная сингония.

Под микроскопом встречается в виде неправильных, иногда вытянутых по спайности чешуек или листочков, веерообразных агрегатов, редко в шестиугольных табличках. Спайность весьма совершенная по (001). В шлифе бесцветный или окрашенный в коричневатый цвет. Форма кристалла дана на рис. 163.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,573-1,588$; $n_{ин} = 1,571-1,585$; $n_p = 1,541-1,557$; $n_g - n_p = 0,032-0,031$. Шагреневой поверхности нет, рельеф слабый. Угол угасания — $0-2^\circ$. Знак главной зоны

положительный. Угол оптических осей - $2U = 10-37^\circ$. Дисперсия $r > v$, слабая. Схема абсорбции $N_g = N_m > N_p$; по $N_g \approx N_m$ - коричневый, серый, коричневатый-серый; по N_p - желтоватый, красноватый, почти бесцветный. На разрезах, перпендикулярных спайности, наблюдается слабая псевдоабсорбция и интерференционная окраска второго порядка. На срезах, параллельных спайности, псевдоабсорбции нет, интерференционная окраска первого порядка. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010).

В к л ю ч е н и я. Цинвальдит содержит включения мелких зерен рутила, циркона, турмалина, топаза, касситерита и др. акцессорных минералов, окруженных плеохроирующими каемками.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Цинвальдит очень похож на протолитонит, однако в сходящемся свете легко отличается по углу оптических осей - $2U = 0^\circ$ (протолитонит). Бесцветные разности цинвальдита от мусковита отличаются большим углом оптических осей - $2U = 35-50^\circ$ (мусковит).

Г е н е з и с. Метасоматический. Распространен в грейзенах в парагенезисе с кварцем, касситеритом, топазом, вольфрамитом и др. минералами. Магматогенный цинвальдит формируется в оловоносных гранитах и пегматитах.

П а р а г о н и т - $CaAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$. Группа слюд. Моноклинная сингония. Иногда в качестве примеси присутствует несколько процентов K_2O .

Правильных кристаллов не образует. Обычны листочки, чешуйки, таблички, их агрегаты. Спайность совершенная по (001). В шлифе бесцветный или слабо окрашенный в желтоватый или зеленоватый цвет. Не плеохроирует. Форма кристалла парагонита дана на рис. 164.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,600-1,605$; $n_m = 1,594-1,599$; $n_p = 1,564-1,577$; $n_g - n_p = 0,036-0,028$. Рельеф слабый, шагреновая поверхность почти незаметна. Плоскость оптических осей перпендикулярна (010). Угасание почти прямое по a и c , по b - прямое. Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей - $2U = 40-50^\circ$. Дисперсия $r > v$. Интерференционная окраска на разрезах, параллельных плоскости оптических осей, от желтовато-зеленой до фиолетово-красной, второго порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Мусковит. От мусковита парагонит отличается только по одному признаку - отсутствию псевдоабсорбции на срезах, перпендикулярных спайности, что весьма характерно для мусковита. По всем другим свойствам парагонит и мусковит отличить невозможно.

Г е н е з и с. **Метаморфогенный.** Парагонит образуется в Р-Т условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций регионального метаморфизма. Встречается парагонит исключительно в метапелитах в парагенезисе с кварцем, альбит-олигоклазом, хлоритом, биотитом, ставролитом, хлоритоидом и др. минералами.

С п у р р и т (спёррит) — $\text{Ca}_5[\text{Si}_2\text{O}_8]\text{CO}_3$. Моноклинная сингония.

В шлифе образует крупнотаблитчатые, бесцветные или светло-серые кристаллы, зернистые, пластинчатые, радиально-лучистые агрегаты, а также отмечается в симплектитовых сростках с мервинитом, кальцитом и монтичеллитом. Обладает совершенной спайностью по (100) и несовершенной по (001). Обе спайности пересекаются под углом около 80° . Характерны полисинтетические двойники по (100) и (101); простые двойники встречаются редко. Форма кристалла спуррита дана на рис. 165.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,676-1,679$; $n_m = 1,672-1,674$; $n_p = 1,637-1,640$; $n_g - n_p = 0,039-0,040$. Высокий рельеф и шагреневая поверхность. Угол угасания $c:N_g = 22^\circ$. Плоскость оптических осей перпендикулярна (010). Угол оптических осей — $2Y = 39-41^\circ$. Дисперсия по схеме $r > v$, ясная. Абсорбция по схеме $N_g > N_m > N_p$. Интерференционная окраска на разрезе, перпендикулярном к плоскости (010), синяя, зеленая, второго порядка.

И з м е н е н и я. При наложенных процессах метаморфизма по спурриту развивается кальцит.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Плагноклазы. От плагноклазов спуррит отличается меньшим преломлением и двупреломлением.

Г е н е з и с. **Метаморфогенный.** Образуется в Р-Т условиях спуррит-мервинитовой фации контактового метаморфизма. Относительно широко распространен в парагенезисах с геленитом, мервинитом, волластонитом, гроссуляром, пироксеном, оливином, кальцитом и др. минералами.

С т и л ь б и т (десмин) — $(\text{Na}_2, \text{Ca})[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}]6\text{H}_2\text{O}$. Группа цеолитов. Моноклинная сингония.

В шлифе встречается в виде сноповидных, радиально-лучистых и волокнистых агрегатов с волнистым угасанием. Реже встречается в виде табличек и крестообразных сдвойникованных кристаллов, дающих в сечениях псевдоромбические формы. Спайность совершенная по (010) и несовершенная по (100). Под микроскопом минерал бесцветный. Форма кристалла стильбита дана на рис. 166.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,496-1,509$; $n_m = 1,494-$

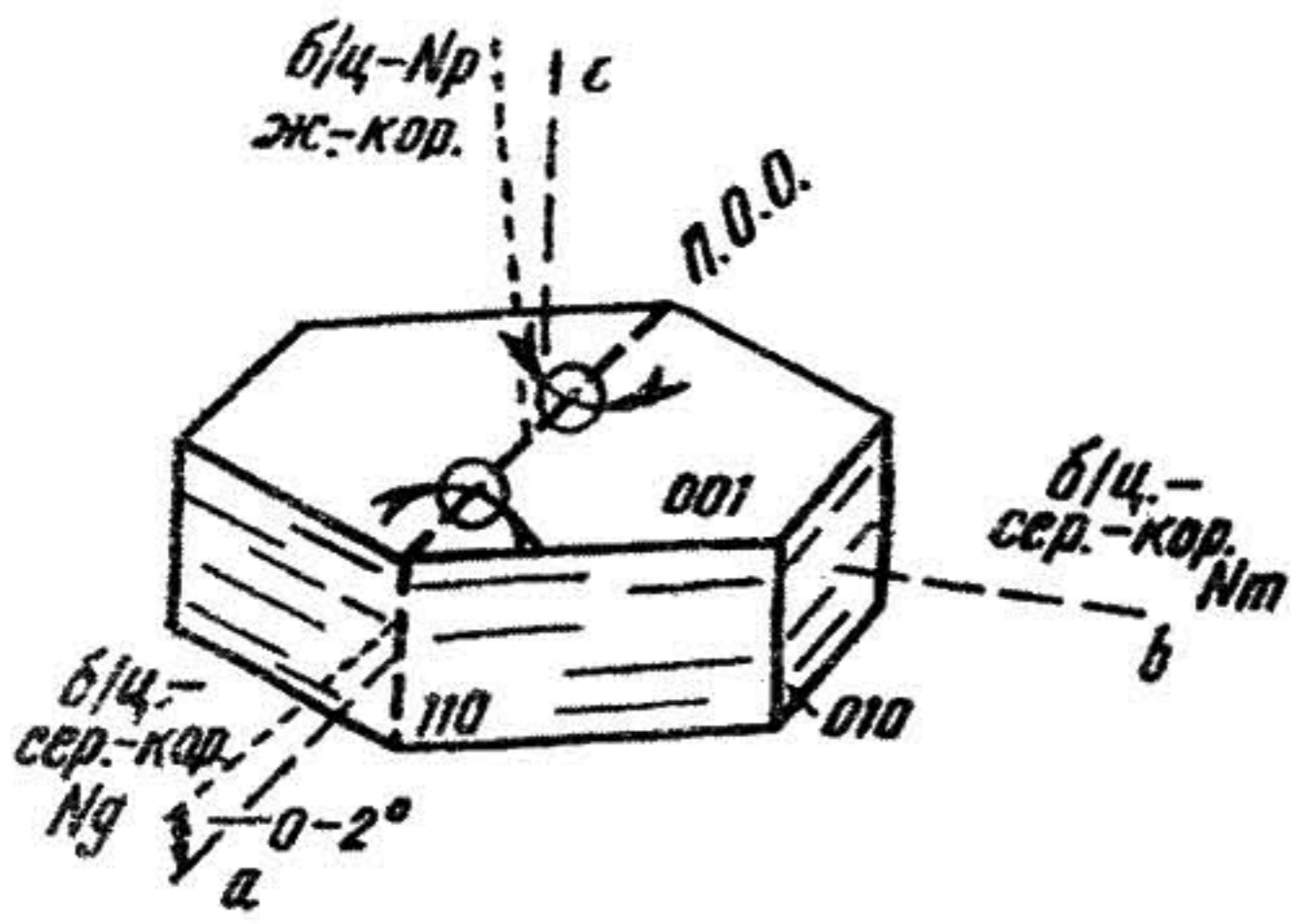


Рис. 163. Цинвальдит

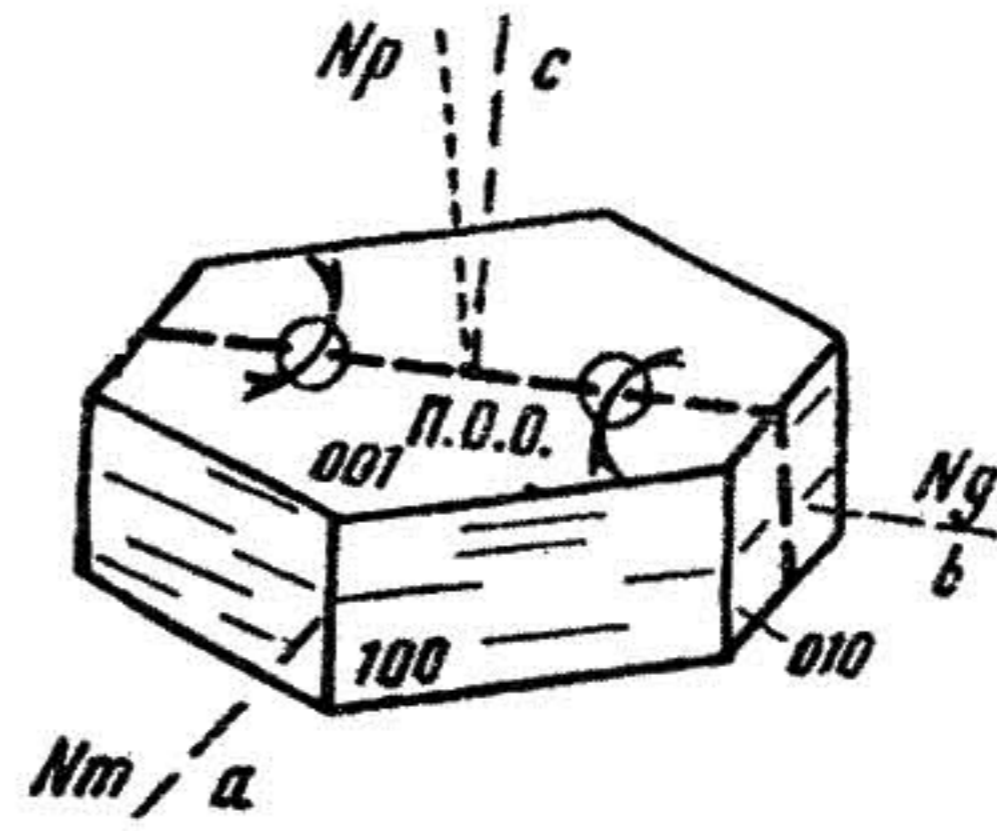


Рис. 164. Парагонит

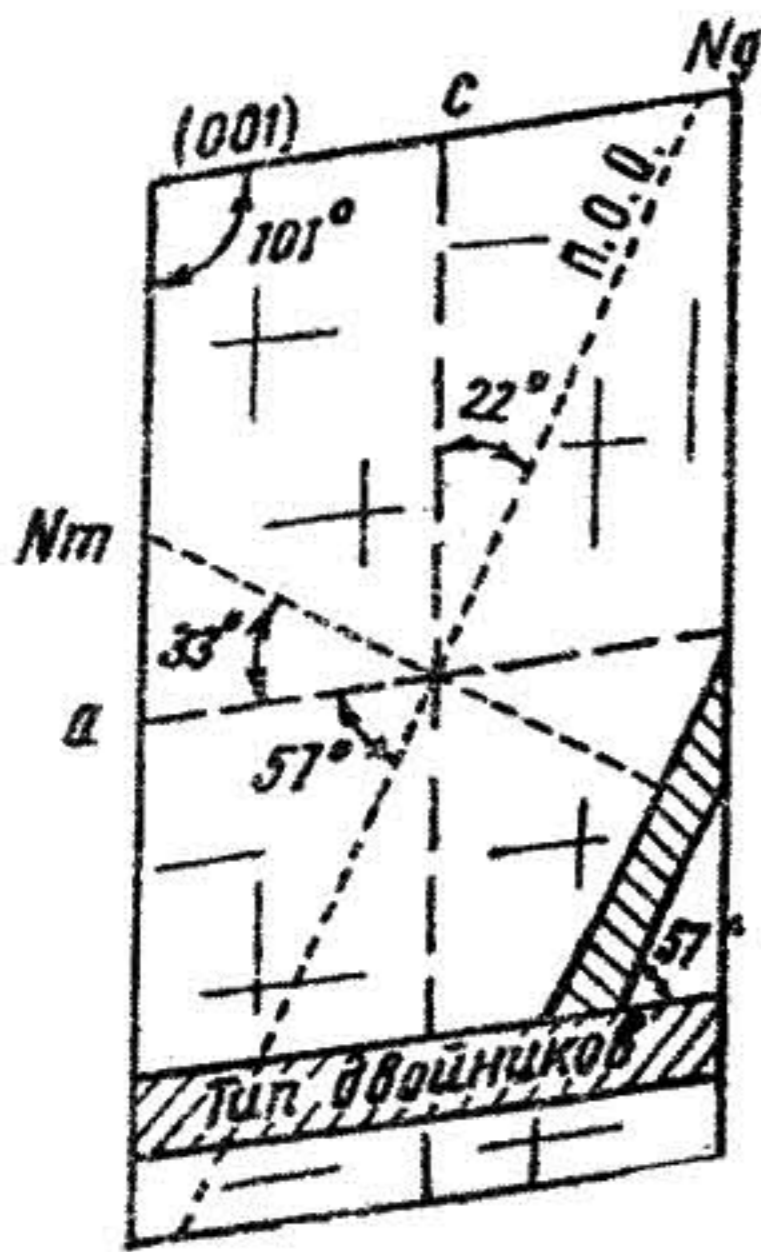


Рис. 165. Спуррит

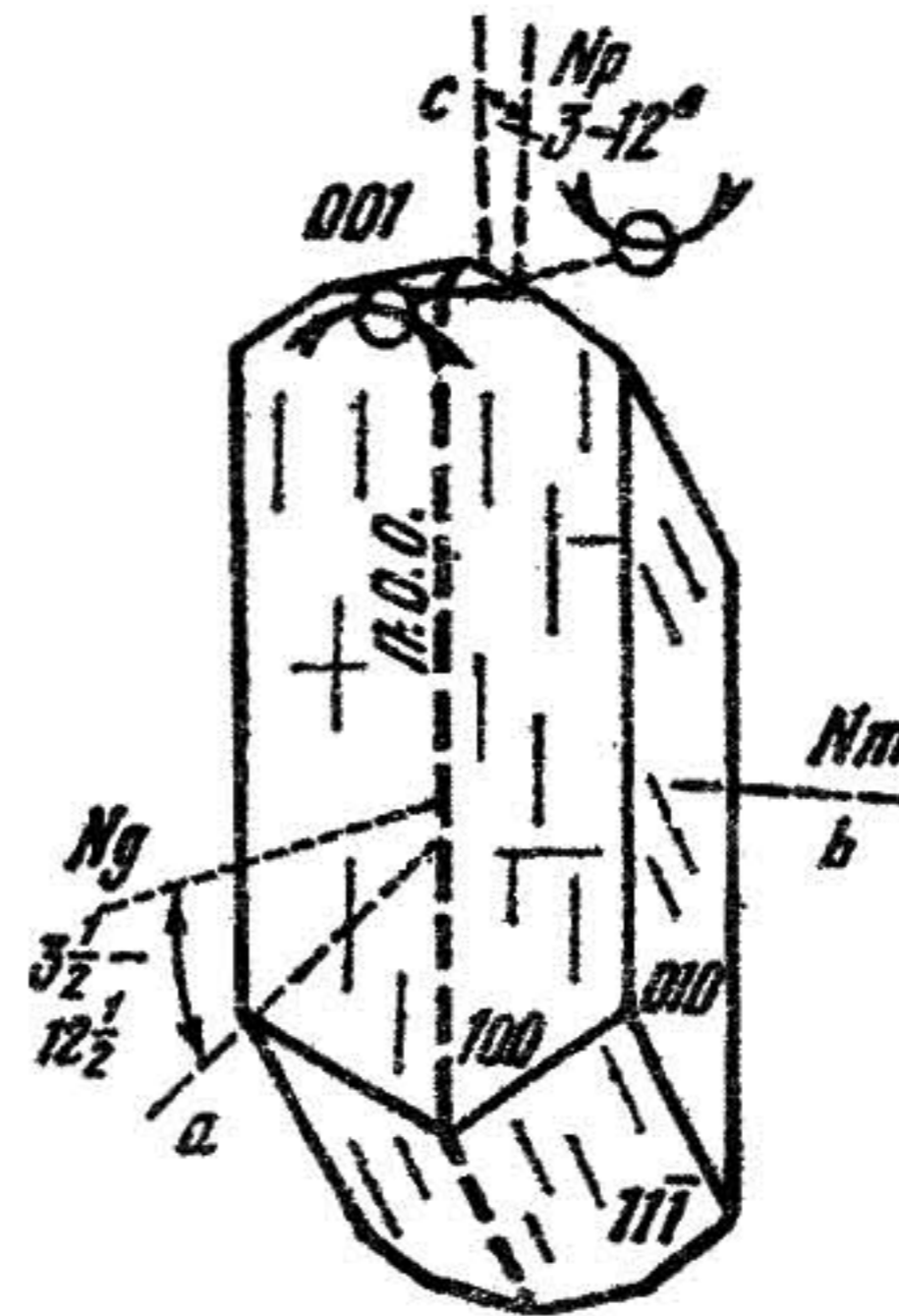


Рис. 166. Стилльбит

$n_p = 1,507$; $n_r = 1,486-1,498$; $n_g - n_r = 0,010-0,011$. Отрицательный рельеф. Шагреновой поверхности нет. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Угол угасания: $b : N_m = 0^\circ$, на других разрезах - от 3 до 12° . Знак главной зоны преимущественно отрицательный, но в некоторых случаях может быть и положительным. Угол оптических осей - $2\gamma = 30-49^\circ$. Дисперсия $r < v$. Интерференционная окраска на разрезах, параллельных пл. о.о., серая, первого порядка.

Похожие минералы. Гормотом, филлипсит и эпистильбит. От первых двух минералов десмин отличается иной ориентировкой пл. о.о., меньшим углом угасания и меньшим углом оптических осей - 2γ ; от эпистильбита - отрицательным удлинением.

Г е н е з и с. Метаморфогенно-гидротермальный. Как метаморфогенный десмин встречается в сланцах и гнейсах в ассоциации с кварцем, плагиоклазом, микроклином и слюдами. Кроме того, десмин образуется в пустотах и трещинах эффузивов, иногда в гранитах и габброидах как вторичный минерал гидротермального генезиса. Широко распространен парагенезис десмина с кальцитом, гейландитом и др. цеолитами.

Т а л ь к - $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$. Моноклинная сингония.

Встречается, как правило, в микрочешуйчатых, спутанно-волокнистых агрегатах. Редко - в виде пластинчатых псевдогексагональных табличек. Спайность весьма совершенная в одном направлении - по (001). Двойники очень редки, с образованием псевдокубических форм. Дает псевдоморфозы по оливину, пироксену в окружении опацитовой каемки из рудного минерала. В шлифе бесцветный, но нередко очень слабо буроватый или зеленовато-бурый. Форма кристалла талька дана на рис. 167.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,589-1,590$; $n_m = 1,587-1,589$; $n_p = 1,539-1,545$; $n_g - n_p = 0,050-0,045$. Рельеф и шагреневая поверхность отсутствуют. Плоскость оптических осей перпендикулярна плоскости (010). Угасание прямое, удлинение положительное. Угол оптических осей - $2U$ изменяется от 0 до 30° . Дисперсия $r > v$. Интерференционная окраска от синей, второго порядка до сине-голубой, третьего порядка - на разрезах, параллельных плоскости оптических осей.

Р а з н о в и д н о с т и. Плотная скрытокристаллическая разновидность талька называется стеатитом; относительно редко встречаемая волокнистая разновидность талька - агалит.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Пирофиллит, брусит, мусковит. От пирофиллита тальк отличается меньшим углом оптических осей - $2U$ (у пирофиллита угол $2U = 53-60^\circ$); от брусита - двуосностью и отрицательным оптическим знаком; от мусковита (серицита) тальк, если он не окрашен, иногда почти невозможно отличить без химической реакции, но если удастся определить угол оптических осей - $2U$, то эта задача будет успешно решена (у мусковита угол - $2U = 35-50^\circ$).

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Тальк образуется в P-T условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций регионального метаморфизма. Широко распространен в парагенезисах с тремолитом, хлоритом, мусковитом и др. минералами. Как вторичный минерал тальк развивается по оливину, ромбическим пироксенам, серпентину, тремолиту, хлориту, хлоритоиду и кордиериту.

Т р е м о л и т - (грамматит) - $\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH}, \text{F})_2$. Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

Длиннопризматические, игольчатые и волокнистые кристаллы без концевых граней, неправильные зерна. Спайность, как у всех амфиболов, совершенная, по третьей призме (110), пересекающаяся под углом 56° . Двойники простые, изредка полисинтетические. В шлифе бесцветный. Форма кристалла тремолита дана на рис. 168.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,624$; $n_m = 1,613$; $n_p = 1,600$; $n_g - n_p = 0,024$. Четкий рельеф и слабая шагреневая поверхность. Углы угасания: $b:N_m = 0^\circ$, $a:N_p = 1-6^\circ$; $c:N_g = 11-17^\circ$. Знак главной зоны положительный. Плоскость оптических осей - $2Y = 85^\circ$. Дисперсия $r < v$, слабая. Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных N_g - желтовато-серая, первого порядка; N_m - сине-зеленая, второго порядка; N_p - светло-желтая, первого порядка. Схема абсорбции $N_g < N_m > N_p$.

В к л ю ч е н и я. Унаследует включения, содержащиеся в первичном минерале: кварц, биотит, акцессорные минералы.

Р а з н о в и д н о с т и. Амиант - амфиболовый асбест (тремолит-асбест); нефрит - плотная скрытокристаллическая масса.

И з м е н е н и я. При наложенных повторных процессах метаморфизма по тремолиту развивается хлорит, эпидот, тальк, кальцит и др. минералы.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Андалузит, волластонит, мусковит, апатит и актинолит. От андалузита тремолит отличается по положительному удлинению и более высокой интерференционной окраске; от волластонита - по положительному удлинению, различию в углах пересечения двух систем спайности (у волластонита угол между двумя системами спайности равен $84^\circ 30'$), большему углу оптических осей (у волластонита угол $2Y = 36-42^\circ$) и иной схеме абсорбции; от мусковита по косому угасанию, двуосности, большому двупреломлению и меньшему преломлению; от актинолита - по отсутствию окраски.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Типичный минерал, образование которого обусловлено региональным метаморфизмом зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фации, а также контактовым метаморфизмом альбит-эпидот-роговиковой фации. Как в том, так и в другом случае тремолит встречается в парагенезисе с кварцем, альбит-олигоклазом, актинолитом, биотитом, кальцитом, хлоритом, эпидотом и др. минералами. Часто встречается как эпимагматический минерал, образующийся по кальцево-магнезиальным пироксенам.

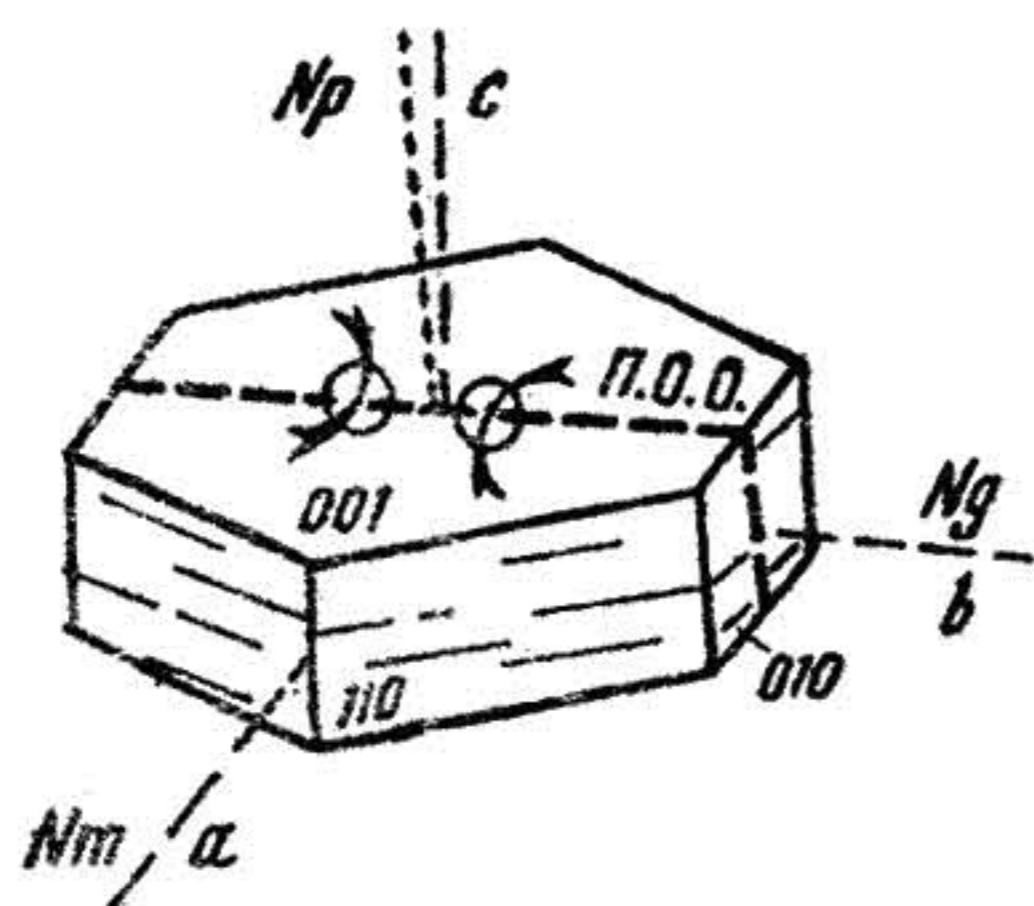


Рис. 167. Тальк

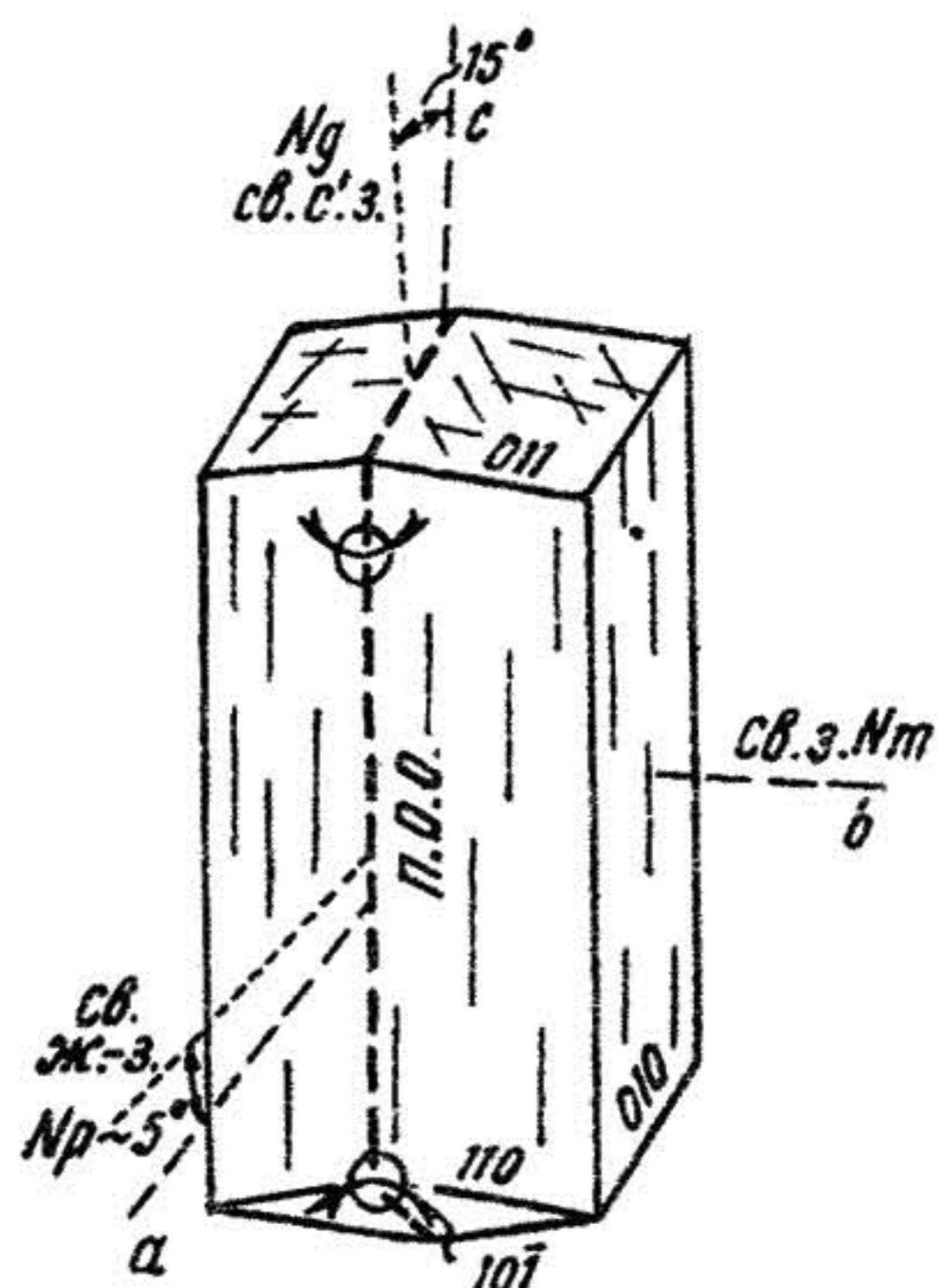


Рис. 168. Тремолит

Эпистильбит — $(Ca, Na_2) [AlSi_3O_8]_2 \cdot 5H_2O$. Группа цеолитов. Моноклинная сингония. Вероятно, является разновидностью гейландита, отличается от него по оптическим константам.

Встречается в виде призматических, столбчатых кристаллов, сросшихся двойников, зернистых и радиально-лучистых агрегатов. Спайность совершенная по (010). В шлифе бесцветный. Форма кристалла эпистильбита дана на рис. 169.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,512-1,519$; $n_m = 1,510-1,515$; $n_p = 1,502-1,505$; $n_g - n_p = 0,010-0,014$. Рельеф и шагреневая поверхность отсутствуют. Углы угасания: $b : N_m = 0^\circ$; $a : N_p = 11^\circ$; $c : N_g = 10^\circ$. Знак главной зоны положительный. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Угол оптических осей — $2U = 42-44^\circ$. Дисперсия $r < v$. Интерференционная окраска белая, светло-желтая, первого порядка.

Похожие минералы. Эпистильбит сходен с гейландитом, стильбитом и филлипситом. От гейландита он отличается отрицательным оптическим знаком, характером удлинения, меньшими углами угасания; от стильбита знаком удлинения; от филлипсита — меньшими углами угасания.

Г е н е з и с. **Метаморфогенно-гидротермальный.** Встречается в сланцах и гнейсах, как продукт регионального метаморфизма цеолитовой фации. Кроме того, эпистильбит образуется как гидротермальный в пустотах базальтов, диабазов и других изверженных пород.

Э п и д о т (пистацит) — $\text{Ca}_2(\text{Al, Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{O}(\text{OH})$.
Группа эпидота. Моноклинная сингония.

Дает постепенные переходы к клиноцоизиту. Образует неправильные зерна, шестоватые, радиально-лучистые и зернистые агрегаты, вытянутые кристаллы призматического облика. Спайность совершенная по (001) и несовершенная по (100). Двойники по (100) и (001) редки. В шлифе бесцветный или слабо окрашен в зеленовато-желтоватый цвет. Форма кристалла эпидота дана на рис. 170.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,778$; $n_m = 1,761$; $n_p = 1,729$; $n_g - n_p = 0,049$. Очень высокий рельеф и резкая шагреневая поверхность. Плеохроизм слабый: по N_g — бесцветный, зеленовато-желтоватый; по N_m — зеленовато-желтый, голубой; по N_p — бесцветный, лимонно-желтый, светло-зеленый. Абсорбция по схеме $N_m > N_g > N_p$, редко $N_g > N_m > N_p$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Углы угасания: $b: N_m = 0^\circ$; $c: N_p = 0-5^\circ$; $a: N_g = 30^\circ$. Знак главной зоны может быть положительным и отрицательным. Угол оптических осей — $2U = 65-90^\circ$. Дисперсия $r \gg v$; сильная. Интерференционная окраска супернормальная, характерная для эпидота: различные участки зерна разно окрашены, создавая типичную пятнистую картину ярких и блеклых цветов (желтовато-оранжевых, ярко-малиновых, зеленовато-синих, красных и т.п.).

Р а з н о в и д н о с т и. Различаются следующие разновидности эпидота: пьмонтит, красновато-черной окраски, значительная часть алюминия в котором замещена марганцем и железом; пушкинит характеризуется содержанием щелочей, особенно калия и натрия.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Оливин, везувиан, моноклинный пироксен. От оливина отличается иным (эпидот двуосный, отрицательный), наличием спайности, иным характером интерференции; от везувиана — двуосностью, более высоким двупреломлением и формой; от пироксена — малым углом угасания, худшей спайностью, формой зерен и цветами интерференции.

Г е н е з и с. **Метаморфогенный.** Эпидот широко распространен в породах зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой фациях и в ставролит-дистен-альмандиновой субфации альмандин-амфиболитовой фации регионального метаморфизма в парагенезисах с роговой обманкой, цвизитом, биотитом, флогопитом, плагиоклазом, тремолитом, актинолитом, кальци-

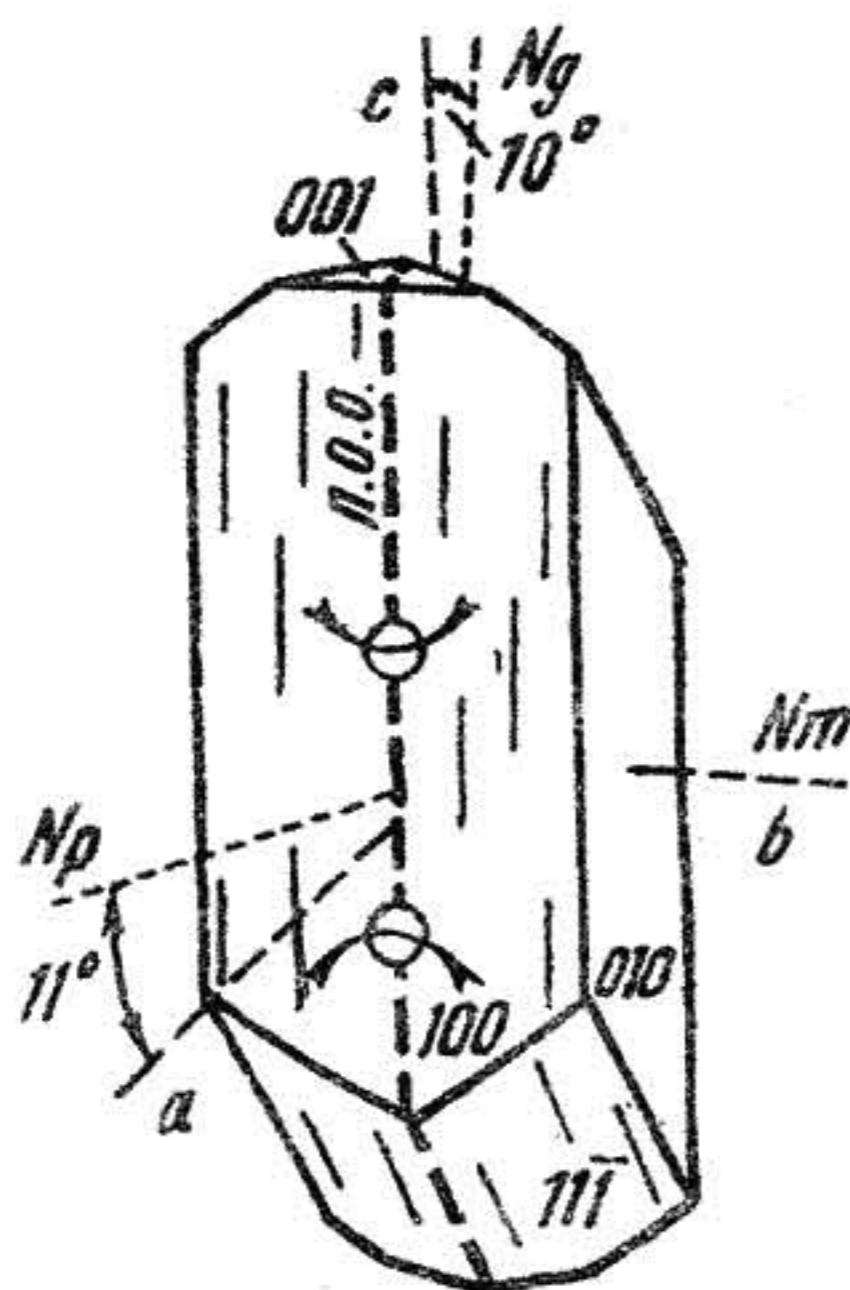


Рис. 169. Эпистильбит

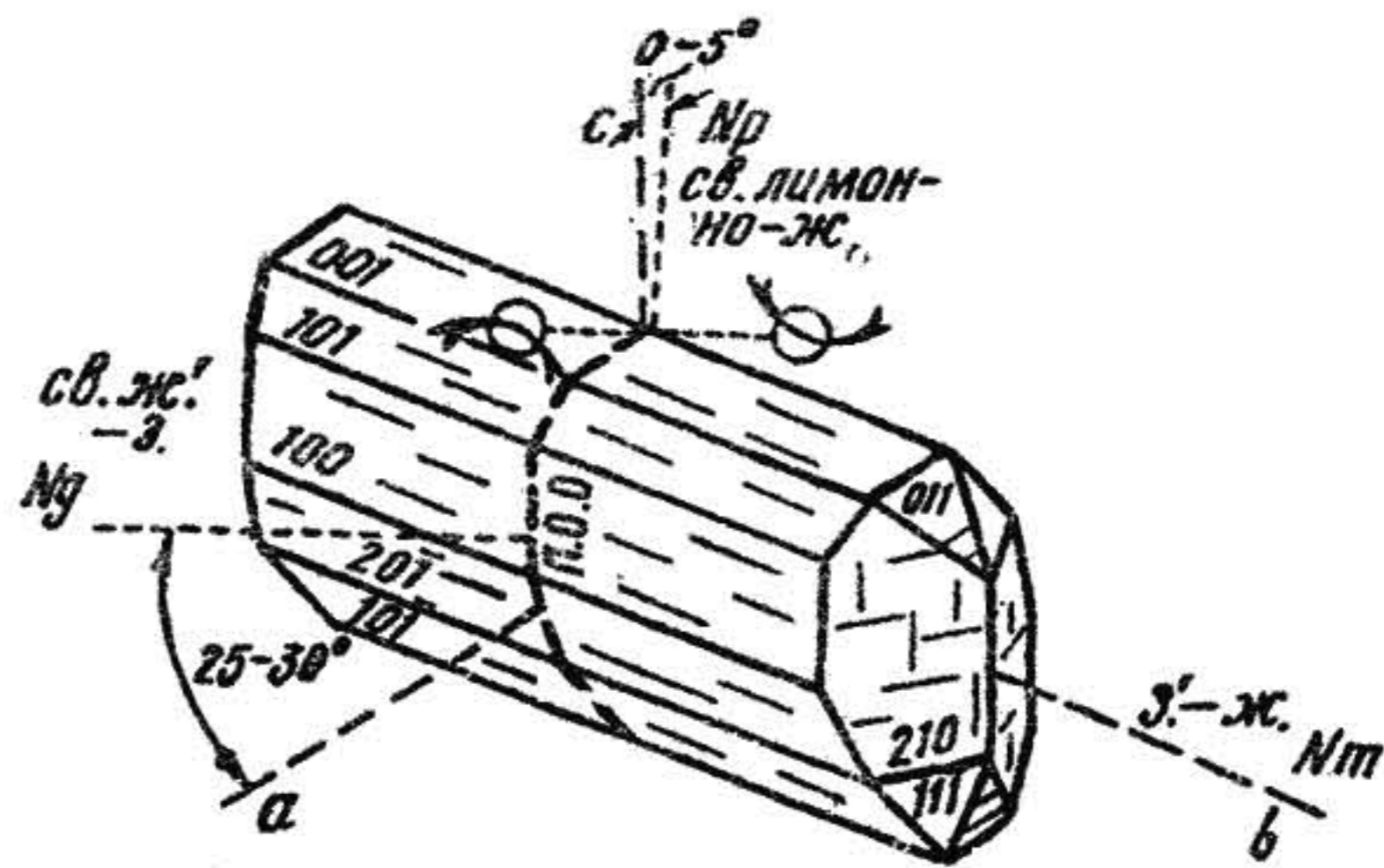


Рис. 170. Эпидот

том, хлоритом и др. минералами. Типичный вторичный минерал, развивающийся в магматических породах по основным плагиоклазам, роговой обманке, пироксенам и биотиту.

2.4.3. Цветные, двуосные оптически положительные минералы

В этом разделе дана характеристика минералов широкого диапазона P-T условий их образования

– от зеленосланцевой фации до амфиболитовой.

А м е з и т – $(Mg, Fe)_4Al_2[Al_2Si_2O_{10}](OH)_3$. Группа хлорита. Моноклинная сингония.

Неправильной и гексагональной формы чешуйки, таблички, микрочешуйчатые агрегаты. Спайность весьма совершенная в одном направлении – по (001). В шлифе бесцветный или слабо окрашен в зеленовато-желтоватый цвет.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,596$; $n_m = 1,585$; $n_p = 1,582$; $n_g - n_p = 0,014$. Рельеф и шагреневая поверхность отсутствуют. Угасание прямое, знак главной зоны положительный. Плеохроизм слабый: по N_g – светло-желто-зеленый, желтый; по N_m – светло-зелено-желтый; по N_p – бесцветный, синевато-зеленый. Абсорбция по схеме $N_g \leq N_m \approx N_p$. Угол оптических осей – $2Y$ – колеблется от 0 до 70° . Дисперсия по схеме – $r > v$. Интерференционная окраска желто-серая, первого порядка.

Включения. Амезит унаследует включения замещенного минерала — биотита, амфибола, пироксена, апатита, сфена, магнетита, кварца и др. минералов.

Похожие минералы. Слюды, антигорит, прохлорит, делессит. От слюд амезит отличается меньшим двупреломлением; от антигорита — отрицательным оптическим знаком; от прохлорита — слабым плеохроизмом; от делессита — меньшим преломлением.

Генезис. Метаморфогенный, гидротермальный. Метаморфогенный амезит образуется в P-T условиях зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, где находится в парагенезисе с актинолитом, тремолитом, биотитом, серицитом, кальцитом, эпидотом, кварцем, альбитом и др. минералами. Гидротермальный амезит встречается в разнообразных магматических породах, где замещает биотит, амфибол и пироксен с одновременным выделением эпидота, сагенита, сфена. Известен амезит в гидротермальных жилах альпийского типа в ассоциации с гранатом, везувианом, альбитом и кварцем.

Гадолинит — $Y_2Fe^{2+}[Be_2Si_2O_{10}]$. Иногда содержит значительное количество церия. Моноклинная сингония.

В шлифе встречается в виде грубо призматических, толстостолбчатых и столбчатых изометричных кристаллов или неправильных зерен. Спайность отсутствует. Цвет зеленый, оливково-зеленый или бурый. Форма кристалла гадолинита дана на рис. 171.

Оптические свойства. Двуосный, положительный имеющий показатели преломления: $n_g = 1,824$; $n_m = 1,812$; $n_p = 1,801$; $n_g - n_p = 0,023$. Высокий рельеф и резкая шагреневая поверхность. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Углы угасания колеблются с: N_g от 3 до 12°, а по b: $N_m = 0°$ и по a: $N_p = 5-12°$. Знак главной зоны не определяется вследствие изометричной формы зерен. Угол оптических осей — 2У около 85°, дисперсия $r \ll v$, сильная. Минерал хотя и окрашенный, но плеохроирует редко и слабо. Легко изменяется и становится изотропным. Будучи включенным в темноцветные породообразующие минералы, дает плеохроичные дворники-каемки.

Похожие минералы. Ортит, оливин. От ортита гадолинит отличается отсутствием плеохроизма и положительным оптическим знаком; от оливина — окраской и отсутствием серпентинизации.

Генезис. Гидротермальный, пегматитовый. Встречается в гранитных пегматитах и гидротермальных жилах в парагенезисе с кварцем, альбитом, микроклином, топазом, флюоритом, касситеритом, гранатом, цирконом, ортитом, фергусонитом и др. минералами.

Ильваит - $\text{CaFe}_2^{2+}\text{Fe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_8](\text{OH})$. Ромбическая сингония.

Кристаллы удлиненно-призматические, волокнистые агрегаты, зернистые массы. Совершенная спайность по (001) и (010). В шлифе почти непрозрачный. Густо окрашен в темно-коричневый или темно-зеленый цвет. Ориентировка оптических данных дана на рис. 172.

Оптические свойства. Двуосный, положительный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,926$; $n_m = 1,890$; $n_p = 1,878$; $n_g - n_p = 0,048$. Высокий рельеф и шагреньевая поверхность. Иногда наблюдается слабый плеохроизм: по N_g - темно-зеленый, непрозрачный; по N_m - темно-коричневый, непрозрачный; по N_p - желто-коричневый, коричневый. Угасание прямое. Знак главной зоны положительный. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (100). Угол оптических осей - $2U = 60^\circ$. Дисперсия $r \ll v$, очень сильная. Интерференционная окраска третьего порядка полностью маскируется собственным цветом минерала. Интересно, что минерал плеохроирует и в отраженном свете: по N_g - зеленый, по N_m и N_p - бурый.

Изменения. При процессах выветривания по ильваиту развивается лимонит и гидроокислы марганца.

Похожие минералы. Гетит, лимонит. От гетита ильваит отличается меньшим преломлением и более интенсивной окраской; от лимонита - формой кристаллов и анизотропией.

Генезис. Метаморфогенный. Ильваит встречается в скарных месторождениях железа в парагенезисе с геденбергитом, магнетитом, сульфидами железа, меди и др. минералами. Известен как метасоматический минерал в нефелиновых сиенитах, где развивается по эгирину и арфведсониту. Относительно редко встречающийся минерал.

Керсутит - $\text{NaCa}_2\text{Mg}_4[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{22}](\text{OH}, \text{F})_2$. Группа амфиболов. Моноклиновая сингония.

Образует короткопризматические кристаллы и неправильные зерна. Спайность совершенная по (110) и по (001), пересекающаяся на перпендикулярном срезе под углом в 56° . Нередко наблюдаются простые по (100) и полисинтетические двойники. Минерал окрашен в желтовато-бурый, красновато-бурый, бурый и иногда зеленовато-бурый цвета. Форма кристалла керсутита дана на рис. 173.

Оптические свойства. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,700-1,772$; $n_m = 1,690-1,741$; $n_p = 1,670-1,689$; $n_g - n_p = 0,034-0,083$. Обладает шагреньевой поверхностью и резким рельефом. Плеохроизм четкий: по N_g - коричнево-красный; по N_m - коричнево-красный; по N_p - светло-желтый. Абсорбция по схеме: $N_g \geq N_m > N_p$. Угол погасания:

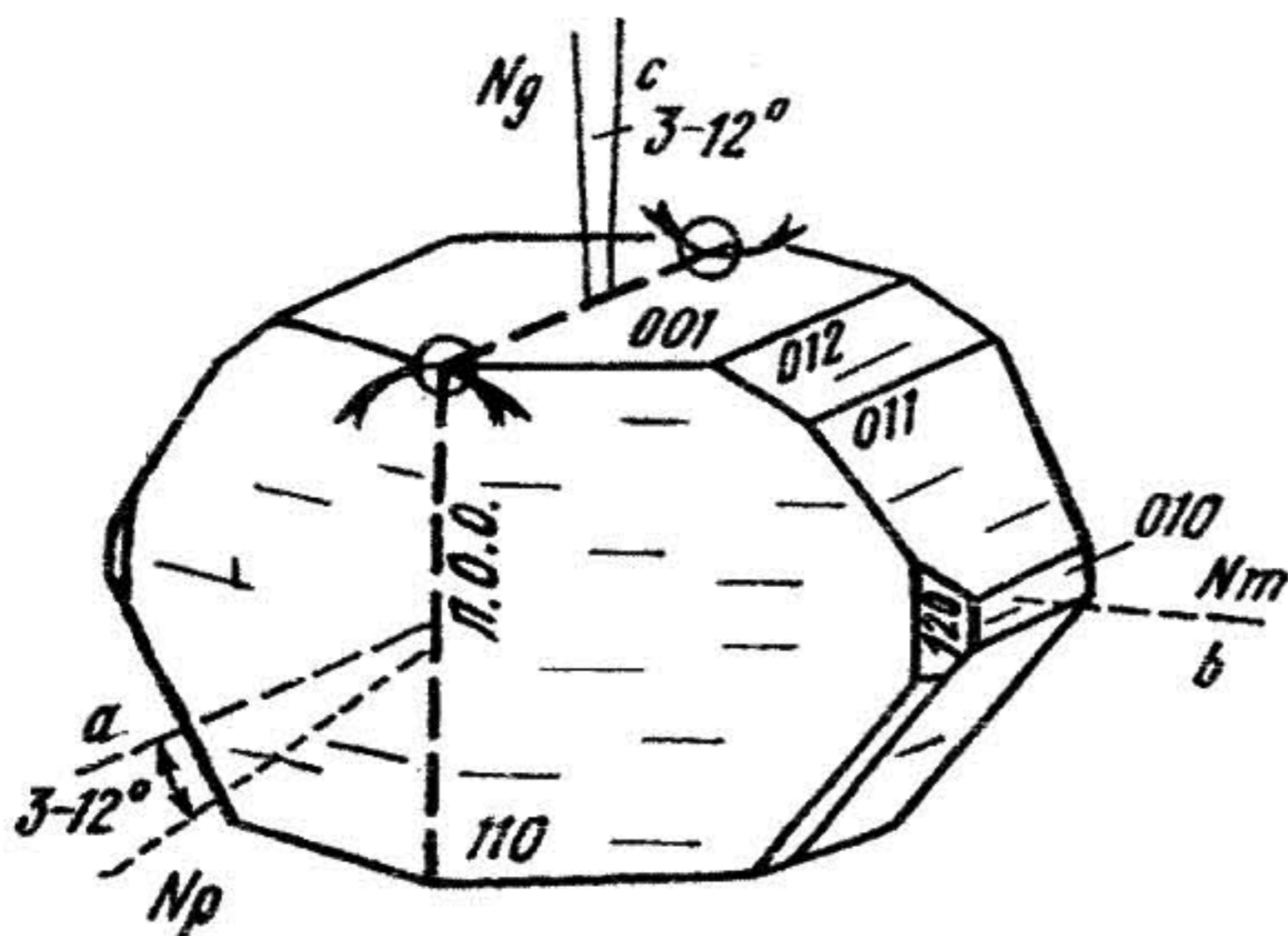


Рис. 171. Гадолинит

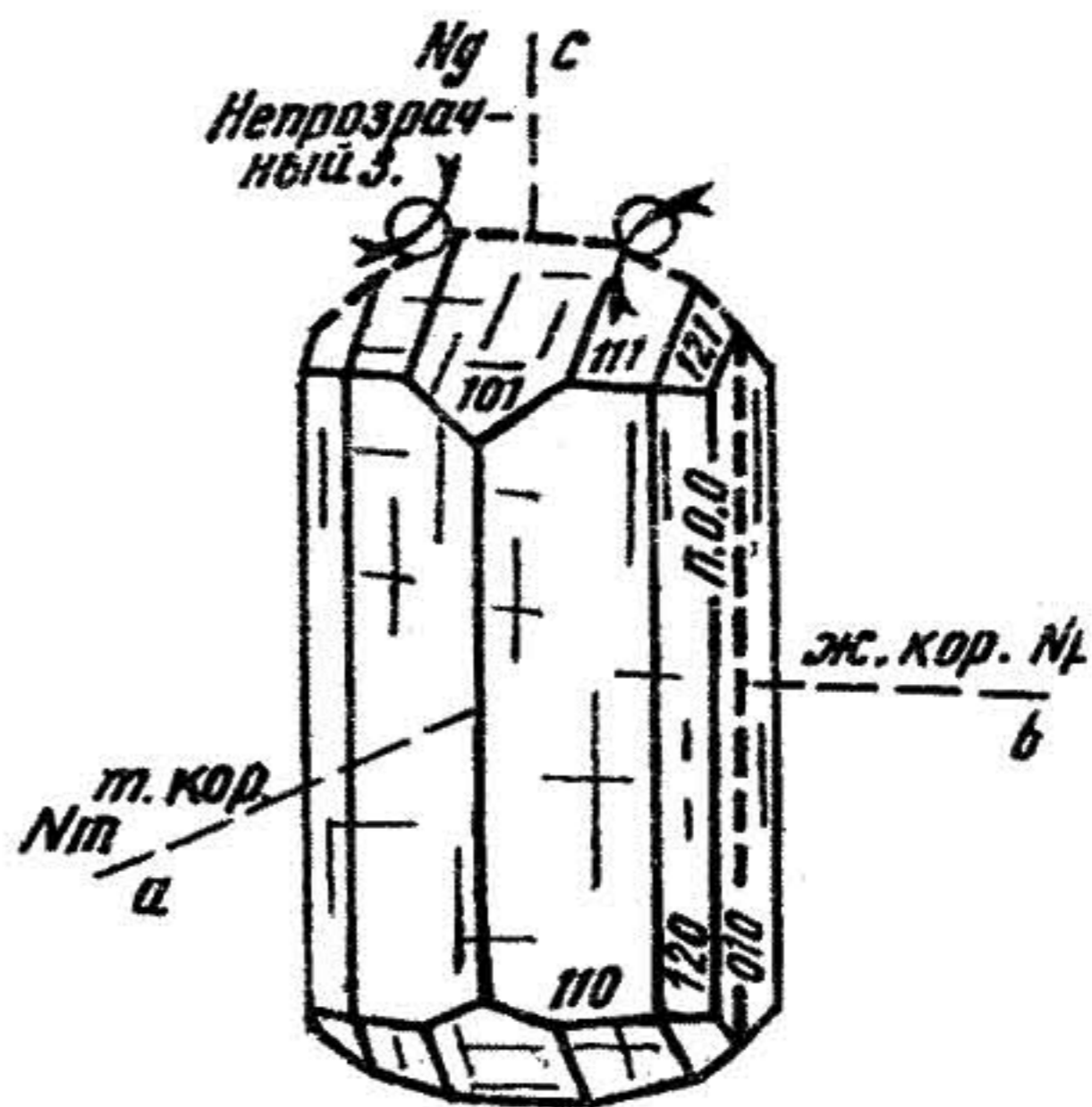
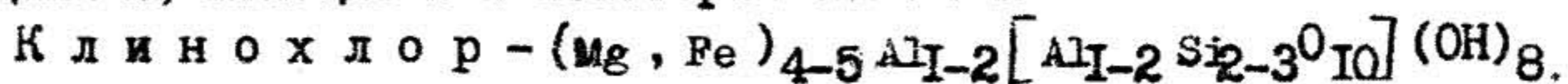


Рис. 172. Ильваит

$c : N_g = 0-19^\circ$ и $a : N_m = 0-6^\circ$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Угол оптических осей $2U = 66-82^\circ$. Дисперсия по схеме $r > v$. Интерференционная окраска синяя; желтая, второго порядка до голубовато-зеленой, четвертого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Баркевикит, каринтин, базальтическая роговая обманка. От баркевита керсутит отличается большим углом оптических осей (у баркевита угол $2U = 31-52^\circ$); от каринтина - минеральным парагенезисом (каринтин встречается в эклогитах); от базальтической роговой обманки - схемой абсорбции, которая у керсутита по N_m и N_g ближе, чем у базальтической роговой обманки.

Г е н е з и с. Керсутит - магматогенный минерал. Типичен для многих щелочных пород - трахибазальтов, трахиандезитов, щелочных риолитов, трахитов. Относительно широко встречается в кампфицитовых дайках, моноцитах и некоторых сиенитах.



Группа хлорита. Моноклинная сингония.

Обычен в виде мелких чешуек, листочков. Редко - таблитчатые и бочковидные кристаллы. Часто образует полисинтетические двойники. Спайность весьма совершенная по (001). В шлифе окрашен в зеленый, синевато-зеленый, зелено-желтый цвет. Форма кристалла клинохлора дана на рис. 174.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,596$; $n_m = 1,586$; $n_p = 1,585$; $n_g - n_p = 0,011$. Рельеф слабый, шагреневая поверхность отсут-

кварцем, биотитом, мусковитом, эпидотом, тремолитом, актинолитом, кальцитом и др. минералами. Гидротермальный клинохлор формируется как вторичный минерал по биотиту, амфиболам, пироксенам и оливину.

К у м м и н г т о н и т - $(Mg, Fe)_7 [Si_4O_{11}]_2(OH, F)_2$. Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

Образует призматические, пластинчатые, волокнистые кристаллы, лучистые и листоватые агрегаты, неправильные зерна с совершенной спайностью по призме (110), пересекающейся на поперечном разрезе под углом 56° . В шлифе окрашен в желтовато-коричневый цвет. Форма кристалла куммингтонита дана на рис. 175.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,674$; $n_m = 1,657$; $n_p = 1,644$; $n_g - n_p = 0,030$. Высокий рельеф и шагреневая поверхность. Плеохроизм по схеме $N_g > N_m > N_p$; по N_g - желто-коричневый; по N_m - желтый; по N_p - светло-желтый. Углы угасания: $c:N_g = 18^\circ$; $b:N_m = 0^\circ$; $a:N_p = 0^\circ$. Знак главной зоны положительный. Плоскость оптических осей лежит в плоскости (010). Угол оптических осей - $2Y = 80-90^\circ$. Дисперсия $r < v$, слабая. Интерференционная окраска на разрезе, параллельном плоскости оптических осей, сине-зеленая, второго порядка, на разрезах, перпендикулярных N_g , N_p - желтая, первого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Антофиллит, актинолит. От антофиллита куммингтонит отличается окраской, косым погасанием по N_g и большим углом оптических осей (у антофиллита угол $2Y = 58-65^\circ$); от актинолита - прямым погасанием по N_m и N_p и более высоким двупреломлением.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Образуется в P-T условиях кордьерит амфиболитовой фации регионального метаморфизма андалузит-силлиманитового типа, а также в амфибол-роговиковой фации контактового метаморфизма. Куммингтонит находится в парагенезисе с кварцем, плагноклазом, кальцитом, биотитом, эпидотом, реже хлоритом, гранатом и др. минералами.

П а р г а с и т - $NaCa_2Mg_4Al [Si_6Al_2O_{22}] (OH, F)_2$. Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

Встречается в виде столбчатых или волокнистых кристаллов, а также в форме неправильных зерен с совершенной спайностью по (110), пересекающейся на поперечном разрезе под углом 56° . В большинстве случаев бесцветный или слабо окрашен в зеленоватый цвет. Форма кристалла паргасита дана на рис. 176.

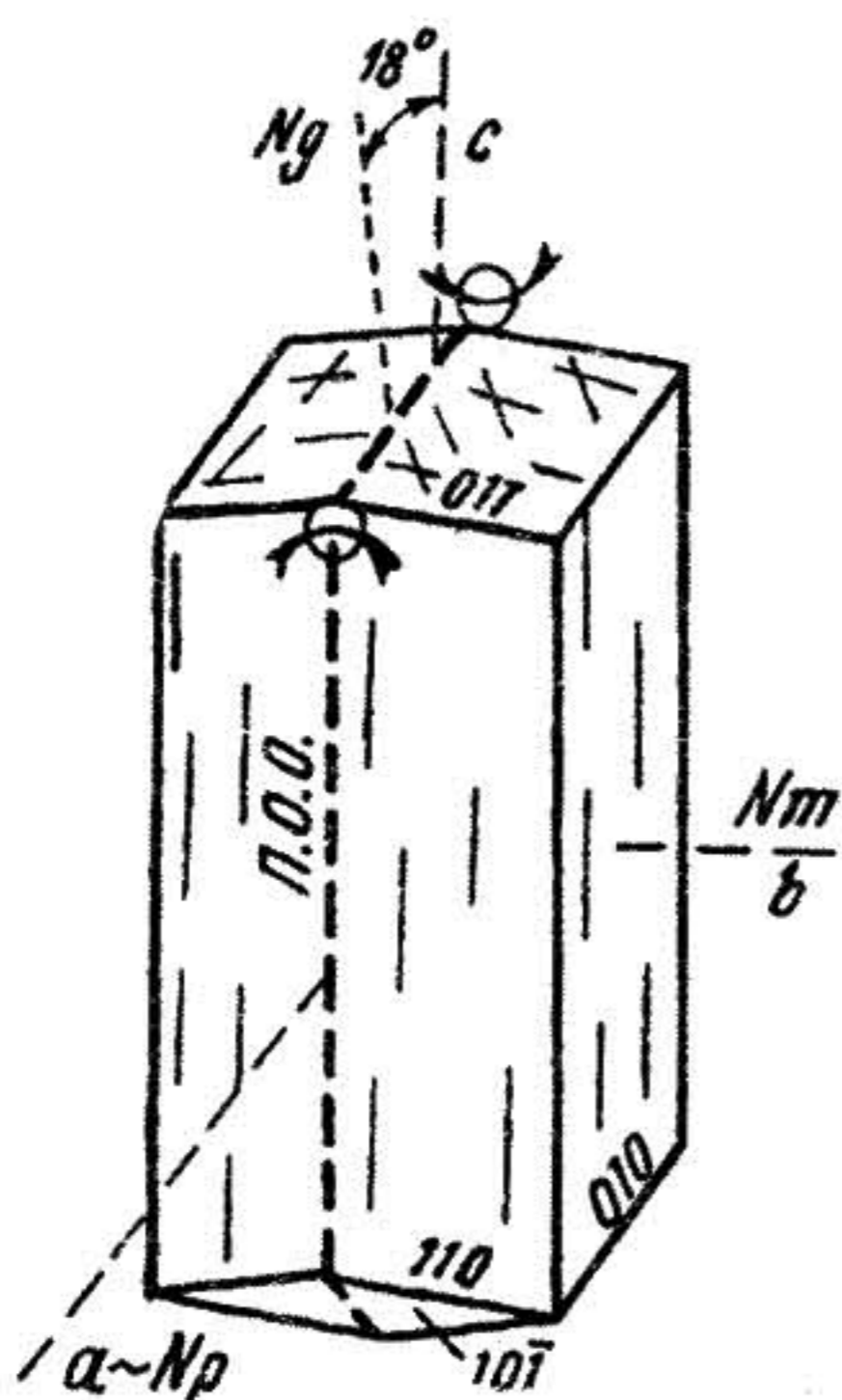


Рис. 175. Куммингтонит

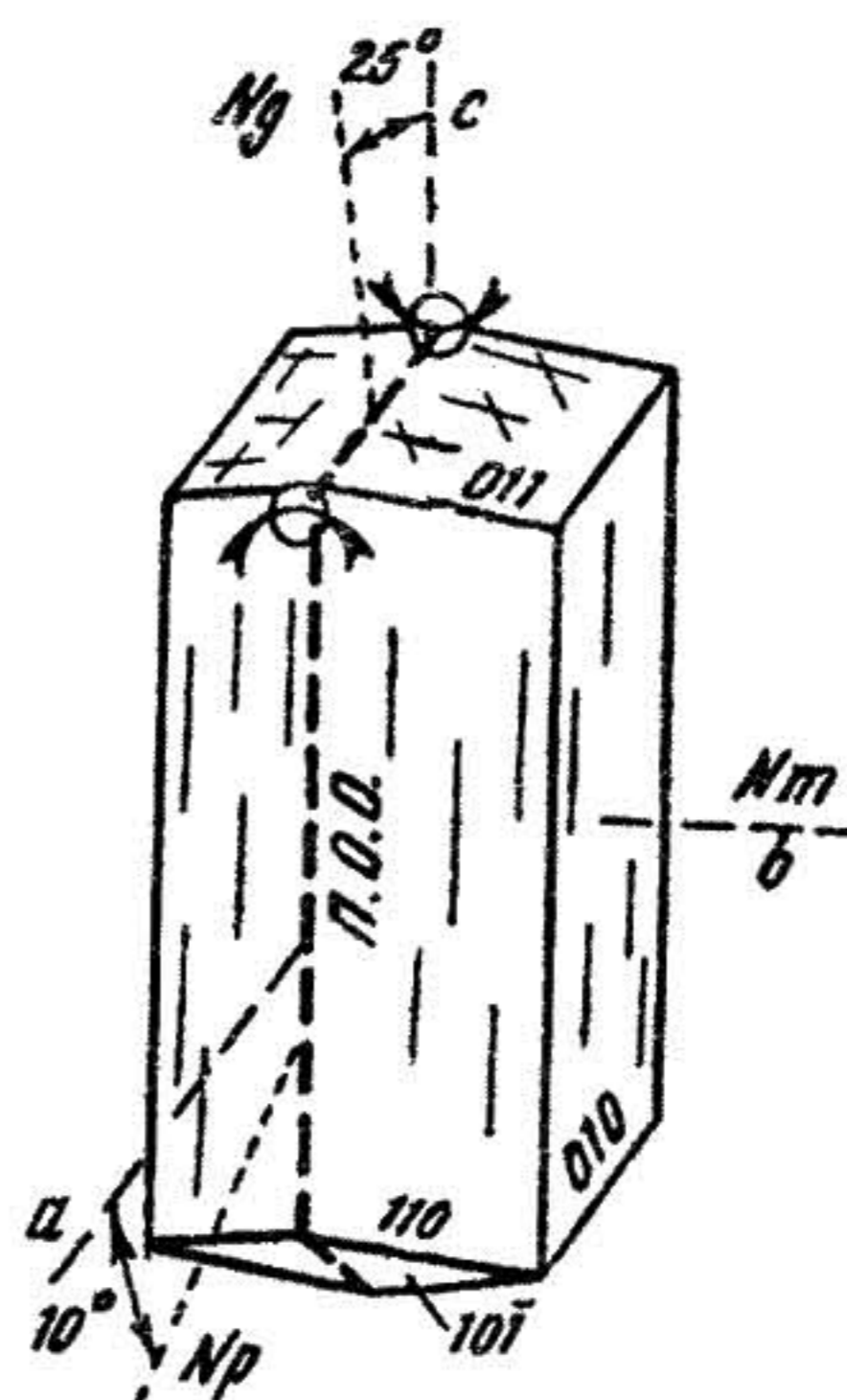


Рис. 176. Паргасит

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,633-1,659$; $n_m = 1,618-1,645$; $n_p = 1,614-1,640$; $n_g - n_p = 0,019-0,019$. Величина показателей преломления зависит от содержания железа в паргасите. Обладает заметной шагреневой поверхностью и рельефом. Угол угасания с: $N_g = 25-28^\circ$. Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей $-2U = 52-65^\circ$. Дисперсия оптических осей $r > v$. Для окрашенного паргасита характерен плеохроизм по N_g - бледно-сине-зеленоватый; по N_m - бледно-зеленоватый; по N_p - бесцветный. Схема абсорбции $N_g \sim N_m > N_p$. Интерференционная окраска пурпурная, фиолетовая, первого порядка. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010)

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Бесцветные роговые обманки, диопсид. От бесцветных роговых обманок паргасит отличается оптическим знаком минерала; от диопсида - характером совершенной спайности, пересекающейся у паргасита под углом 56° , а у диопсида - под углом 87° .

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Образуется в P-T условиях амфиболитовой фации регионального метаморфизма и амфибол-роговиковой фации контактового метаморфизма. Присутствует в богатых кальцием породах - скарнах, роговиках, эрланах, мраморах в ассоциации с кальцитом, флогопитом, волластонитом, диопсидом, хондродитом, форстеритом, гранатом, шпинелью и др. минералами.

П у м п е л л и т - $\text{Ca}_2\text{Al}_2[\text{Si}_3\text{O}_{11}](\text{OH})_2$. Группа эпидота.

Моноклинная сингония. Химический состав непостоянен, часто отмечаются примеси железа и магния.

Образует брусковидные и игольчатые кристаллы, тонкие радиально-лучистые и пластинчатые агрегаты. Спайность совершенная по (001). В шлифе окрашен в зеленый, желтый или синеватый цвет.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный. Оптические константы значительно колеблется в связи с изменением химического состава. Интенсивно окрашенные разновидности обладают более высоким преломлением: $n_g = 1,688-1,721$; $n_m = 1,680-1,716$; $n_p = 1,678-1,703$; $n_g - n_p = 0,010-0,018$. Обладает четким рельефом и шагреновой поверхностью. Плеохроизм по схеме: по N_g - бесцветный, буровато-желтый; по N_m - синевато-зеленый, реже буровато-желтый; по N_p - бесцветный или светлый зеленовато-желтый. Абсорбция по схеме $N_m > N_g > N_p$. Плоскость оптических осей параллельна, редко перпендикулярна (010). Угол погасания $\alpha: N_p = 4-32^\circ$. Знак главной зоны может быть положительным и отрицательным, т.к. с удлинением совпадает ось N_m . Угол оптических осей - $2Y = 46-65^\circ$ (по некоторым данным от 36 до 80°). Дисперсия очень сильная $r < v$, иногда $r > v$. Благодаря сильной дисперсии погасание может быть неполным. Наблюдаются аномальные интерференционные окраски.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Актинолит, хлорит, клиноцоизит. От актинолита и хлорита пумпеллит отличается более высоким преломлением и большим углом оптических осей (у актинолита угол $2Y = 80^\circ$, у хлорита угол $2Y = 0-25^\circ$); от клиноцоизита - плеохроизм.

Г е н е з и с. Метаморфогенный, гидротермальный. Метаморфогенный пумпеллит образуется в P-T условиях пренитпумпеллитовой фации в парагенезисах с хлоритом, доломитом, кальцитом, кварцем, альбитом, пренитом, стильномеланом, эпидотом, клиноцоизитом и др. минералами. Встречается гидротермальный пумпеллит в миндалинах и трещинах основных эффузивов, измененных сиенит-порфирах, туфях. Образуется пумпеллит и метасоматическим путем, замещая плагиоклазы, скаполит, гранат, эпидот и др. минералы.

П с е в д о б р у к и т - Fe_2TiO_5 . Ромбическая сингония.

Образует мелкие кристаллы различного, преимущественно удлиненно-таблитчатого облика. Обладает совершенной спайностью по (010). В шлифе окрашен в темно-желтый до коричнево-красного цвета. Форма кристалла псевдобрукита дана на рис. 177.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 2,375-2,470$; $n_m = 2,360-2,445$;

$n_p = 2,347-2,420$; $n_g - n_p = 0,028-0,050$. Резко выражены рельеф и шагреновая поверхность. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (001). Обладает плеохроизмом: по N_g - темно-желтый; по N_m - коричнево-красный; по N_p - темно-желтый. Абсорбция по схеме $N_m > N_p = N_g$. Угол оптических осей - $2U = 50^\circ$. Дисперсия по схеме $r < v$. Знак главной зоны положительный. Интерференционная окраска желтовато-зеленоватая, зеленовато-желтая, фиолетовая второго и третьего порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Брукит, кроссит, ильваит. От брукита псевдобрукит отличается более интенсивной окраской и меньшим преломлением и двупреломлением; от кроссита - меньшим углом оптических осей (у кроссита угол $2U = 60^\circ$), большим преломлением и двупреломлением; от ильваита меньшим углом оптических осей (у ильваита угол $2U = 60^\circ$).

Г е н е з и с Гидротермальный. Встречается в пустотах, трещинах метаморфических, магматогенных пород и как вторичный минерал развивается по ильмениту и др. титаносодержащим минералам.

Р и б е к и т - $Ca_2Fe_3^{2+}Fe_2^{3+}[Si_4O_{11}]_2(OH,F)_2$. Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

В шлифе встречается в виде призматических, столбчатых или волокнистых кристаллов, а также в форме неправильных зерен с совершенной спайностью по (110), пересекающимися на поперечном разрезе под углом в 56° . Интенсивно окрашен в синевато-зеленый цвет. Форма кристалла рибекита дана на рис. 178.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, положительный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,689-1,699$; $n_m = 1,687-1,697$; $n_p = 1,685-1,695$; $n_g - n_p = 0,004$. Обладает заметной шагреновой поверхностью и рельефом. Угол угасания по N_g и N_m - прямой, с: $N_p = 1-3^\circ$. Дисперсия оптических осей по схеме $r \approx v$. Характеризуется резким плеохроизмом по турмалиновой схеме абсорбции - N_g N_m N_p с разнообразной окраской.

N_g	N_m	N_p
Зеленый	Темно-синий	Черно-синий
Желтовато-бурый	Темно-синий	Черно-синий
Желтовато-зеленый	Синий	Индигово-синий
Бледный желто-зеленый	Зеленоватосиний	Синий почти черный
Темно-серый	Буровато-желтый	Индигово-синий
Сине-фиолетовый	Ярко-желтый	Зелено-синий

Интерференционная окраска темно-серая, первого порядка. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010).

Включения. Рибекит содержит включения апатита, циркона, магнетита и сфена.

Изменения. При постмагматических процессах по рибекиту развивается хлорит, эпидот, биотит, сидерит и лимонит.

Похожие минералы Турмалин, глаукофан, арфведсонит. От турмалина рибекит отличается меньшим двупреломлением и осностью (турмалин – одноосный, отрицательный); от глаукофана – отрицательным удлинением; от арфведсонита – меньшим углом погасания.

Генезис. Метаморфогенный, магматогенный. Метаморфогенный рибекит образуется в P-T условиях глаукофан-сланцевой фации жадеит-глаукофанового типа метаморфизма, а также в P-T условиях амфибол-роговиковой фации контактового метаморфизма. Как магматогенный минерал рибекит присутствует в богатых щелочами и железом изверженных породах – рибекитовых гранитах, сиенитах, эссекситах, комендитах, щелочных липаритах, трахитах, пегматитах.

Хлоритоид – $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})\text{Al}_3\text{O}_2[\text{SiO}_4]_2(\text{OH})_4$. Сингония моноклинная или триклинная. Встречается в виде таблитчатых (рис. 179), пластинчатых, псевдогексагональных кристаллов, а также неправильной формы чешуек, листочков и листоватых агрегатов (рис. 180). Обладает полисинтетическими двойниками по (001), спайностью совершенной по (001), несовершенной по (110) и отдельностью по (010). В шлифах окрашен в зеленый, синий, желтый цвета с различными оттенками. Форма кристаллов хлоритоида дана на рис. 181.

Оптические свойства. Двуосный, положительные. Показатели преломления: $n_g = 1,730-1,740$; $n_m = 1,719-1,734$; $n_p = 1,714-1,731$; $n_g - n_p = 0,016-0,009$. Высокий рельеф и резкая шагреневая поверхность. Плеохроизм ясный: по N_g – светло-желтый, зеленовато-бурый, светло-синий, желто-зеленый, бесцветный; по N_m – индигово-синий, зеленый, серо-синий; по N_p – оливково-зеленый, сине-зеленый, травяно-зеленый, светло-желто-зеленый, бесцветный. Схема абсорбции: $N_g < N_m < N_p$. Окраска довольно часто распределяется зонально. Нередко наблюдается структура песочных часов (рис. 182). Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010) или перпендикулярна к ней. Углы угасания: $b:N_m = 0^\circ$; $a:N_p = 3-30^\circ$; $c:N_g = 3-30^\circ$. Знак главной зоны отрицательный и редко положительный. Угол оптических осей $2U = 36-63^\circ$. Дисперсия $r > v$, сильная. Наблюдается дисперсия двупреломления, благодаря этому появляются аномальные цвета интерференции и неполное угасание. Интерференционная окраска желтая, серая, первого порядка.

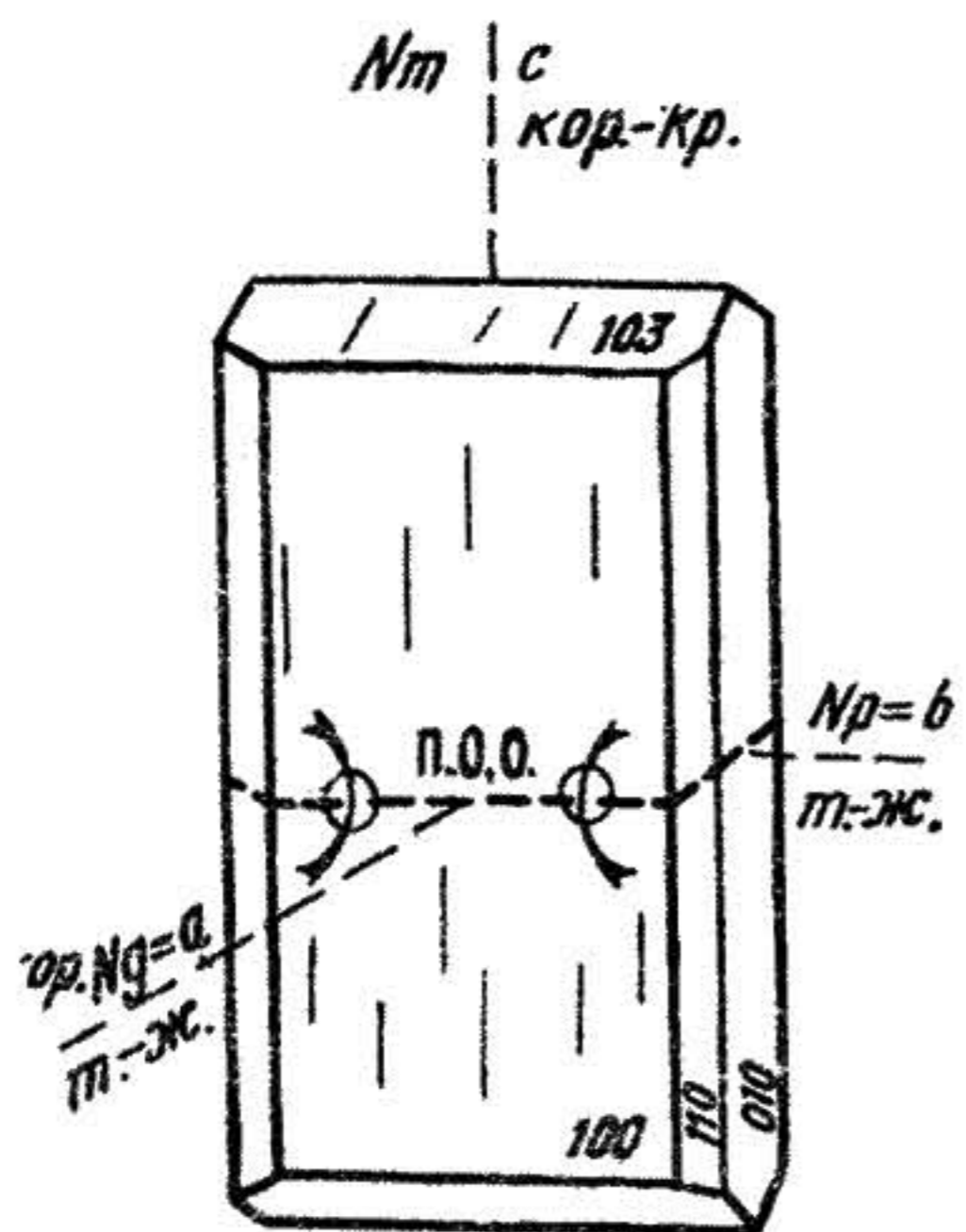


Рис. 177. Псевдобрукит

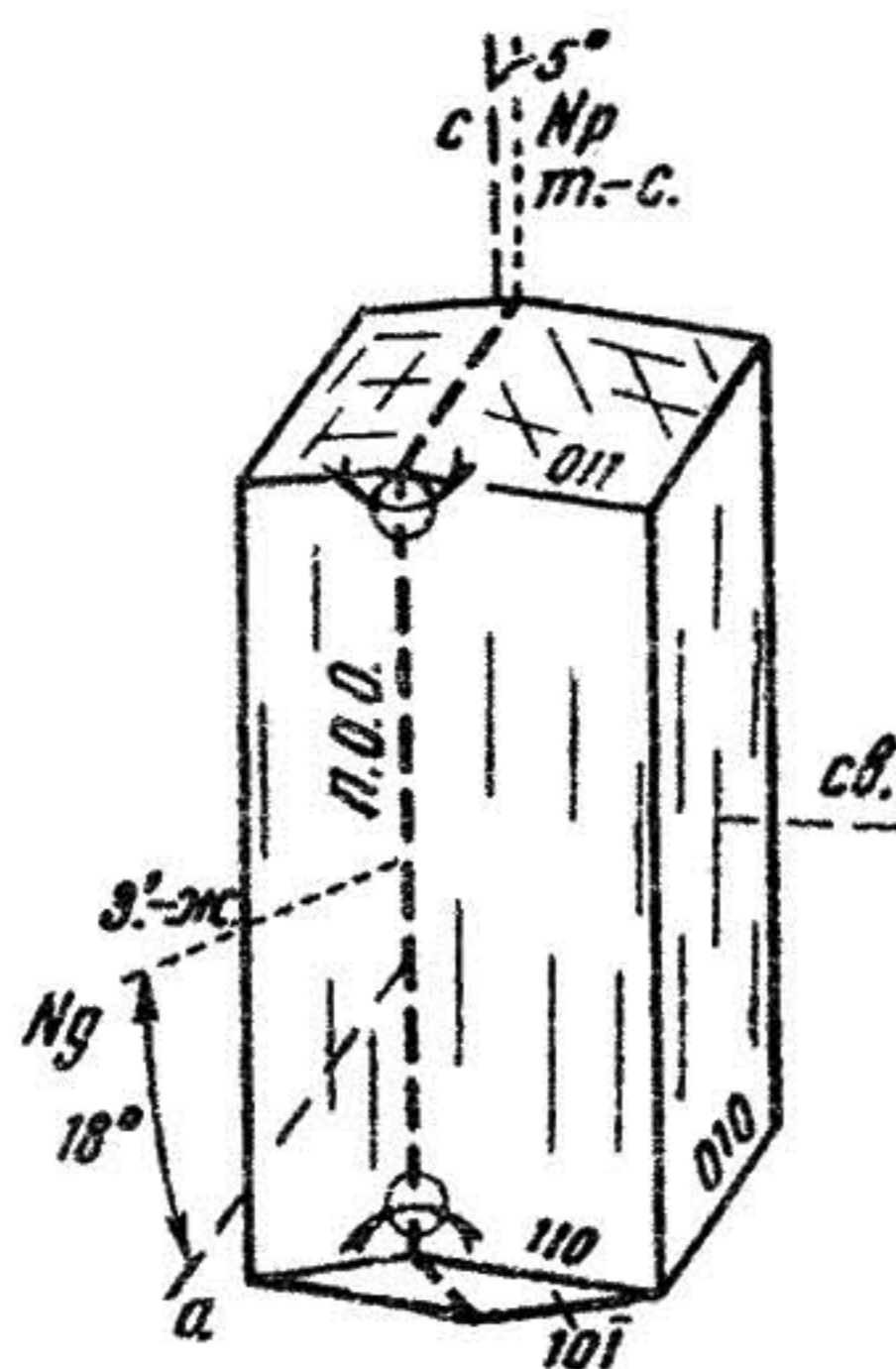


Рис. 178. Рибекит

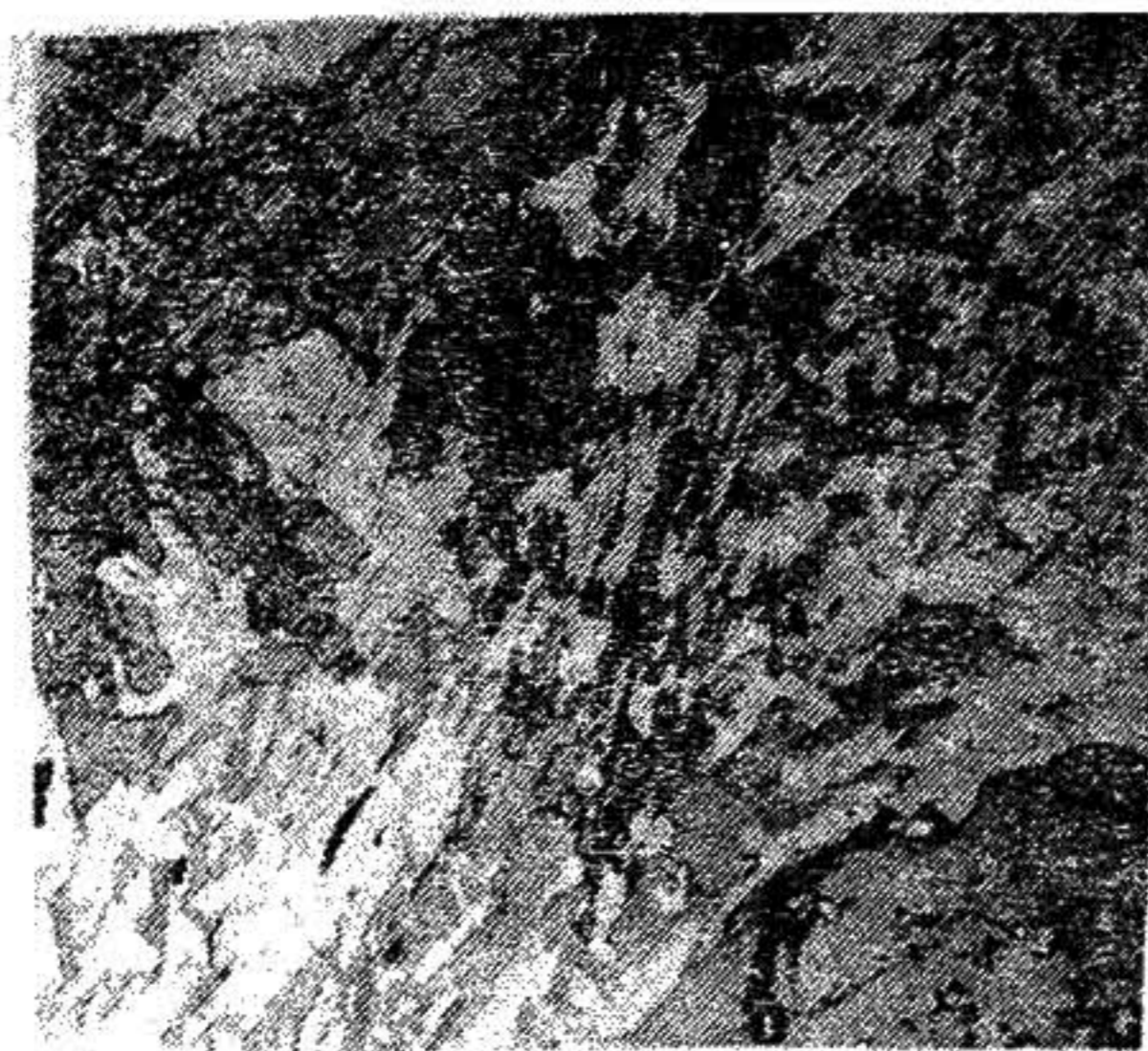


Рис. 179. Хлоритоид-гранат-хлоритовый сланец (увел. 20, николи //)



Рис. 180. Хлорит-хлоритоидный сланец (увел. 20, николи //)

В к л ю ч е н и я. Часто отмечаются многочисленные включения кварца, магнетита, рутила, ильменита, циркона, турмалина и углисто-го вещества.

Р а з н о в и д н о с т и. Отрелит - хлоритоид, обогащенный марганцем; сисмондин, обогащенный магнием.

Изменения. При наложенных процессах метаморфизма и метасоматоза хлоритоид замещается пеннином и мусковитом.

Похожие минералы. Биотит, стильномелан, хлориты. От биотита хлоритоид отличается меньшим двупреломлением и большим углом $2U$, окраской; от хлоритов отличается большим преломлением, большим углом оптических осей; от стильномелана — меньшим двупреломлением, большим преломлением и большим углом $2U$.

Генезис Типичный метаморфогенный, являющийся широко распространенным минералом пород эпидот-амфиболитовой фации дистен-силлиманитовой фациальной серии в парагенезисе с кварцем, мусковитом, биотитом, гранатом, хлоритом, ставролитом и др.

2.4.4. Цветные, двуосные
оптически отрицательные
минералы

В данном разделе рассматривают цветные, двуосные оптически отрицательные минералы группы амфиболов, пироксенов, хлоритов

и др., P-T условия образования которых обусловлены процессами регионального метаморфизма и метасоматоза. Многие из них являются породообразующими.

Актинолит — $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH, F})_2$. Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

В шлифе встречается в виде удлинённых пластинчатых, чешуйчатых, игольчатых (рис. 183), волокнистых кристаллов, радиально-лучистых, сноповидных агрегатов и неправильных зерен. Двойники простые и полисинтетические. Спайность совершенная по призме (110), пересекающаяся на определенных разрезах под углом 56° . В шлифе окрашен в светло-зеленый цвет, реже бесцветный. Форма кристалла актинолита дана на рис. 184.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,667$; $n_m = 1,659$; $n_p = 1,647$; $n_g - n_p = 0,020$. Ясный рельеф и шагреневая поверхность. Обладает слабым плеохроизмом: по N_g — светло-синевато-зеленый, светло-зеленый; N_m — светло-зеленый, зелено-желтый; по N_p — бледно-желтый, светло-желто-зеленый. Абсорбция по схеме $N_g > N_m > N_p$. Углы угасания с: $N_g = 11-17^\circ$; а: $N_p = 1-6^\circ$; б: $N_m = 0^\circ$. Плоскость оптических осей параллельна (010). Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей — $2U$ около 80° . Дисперсия $r < v$, слабая. Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных N_g — желтовато-серая; первого порядка; N_m — синевато-зеленая, второго порядка; N_p — желтая, первого порядка.

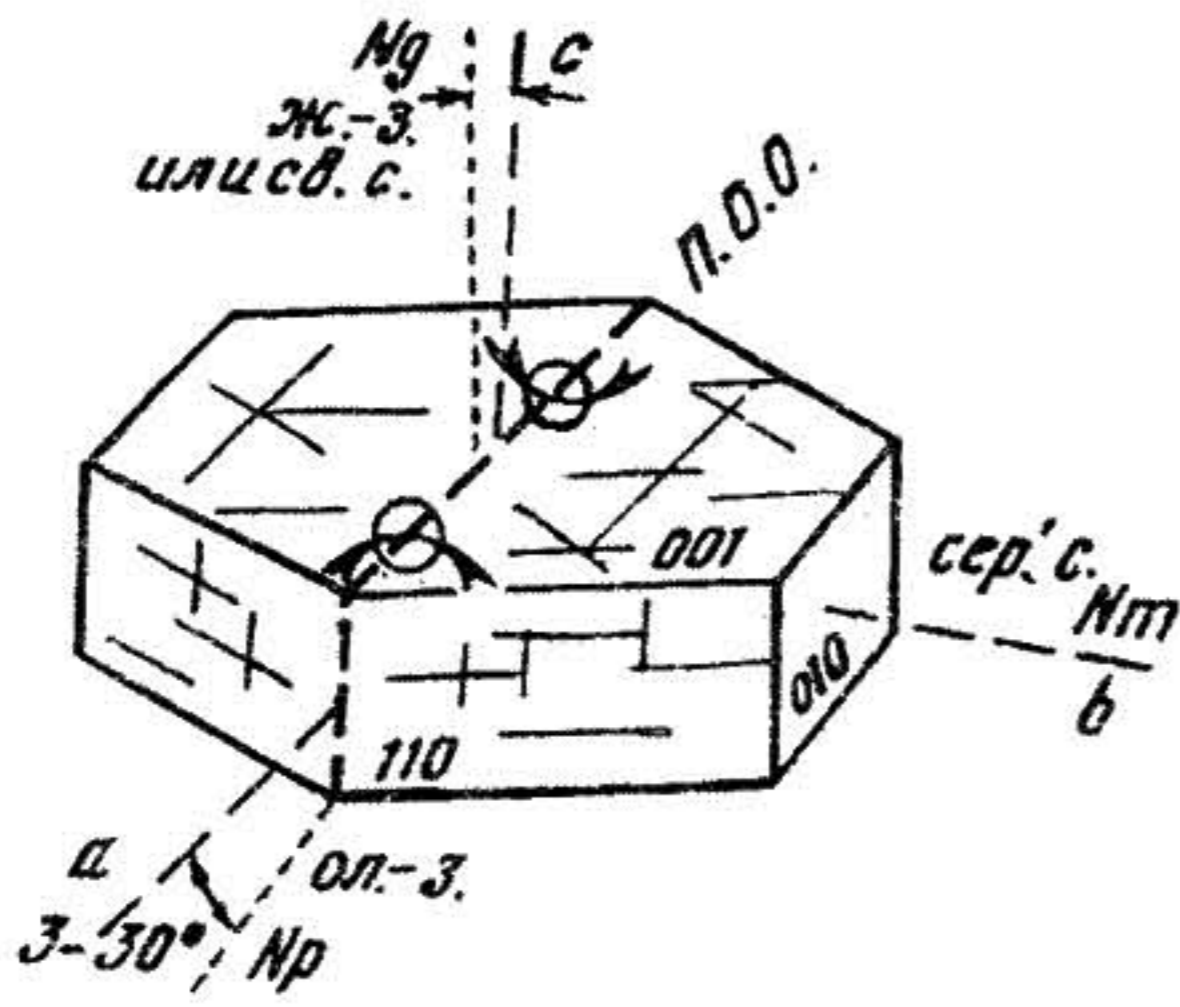


Рис. 181. Хлоритоид

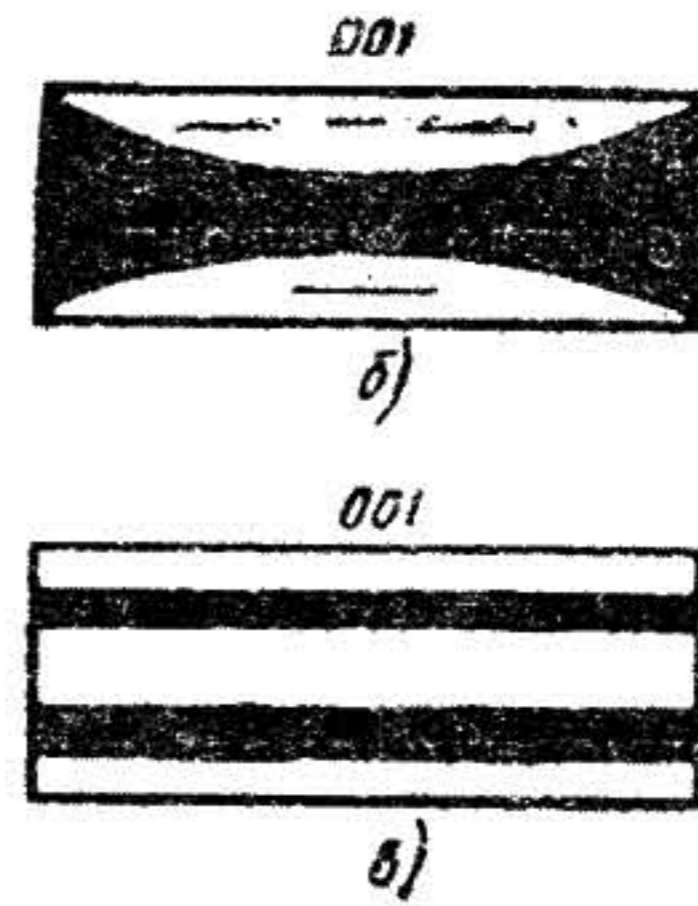


Рис. 182. Хлоритоид:
а - разрез со структурой песочных часов; б - разрез с полисинтетическими двойниками

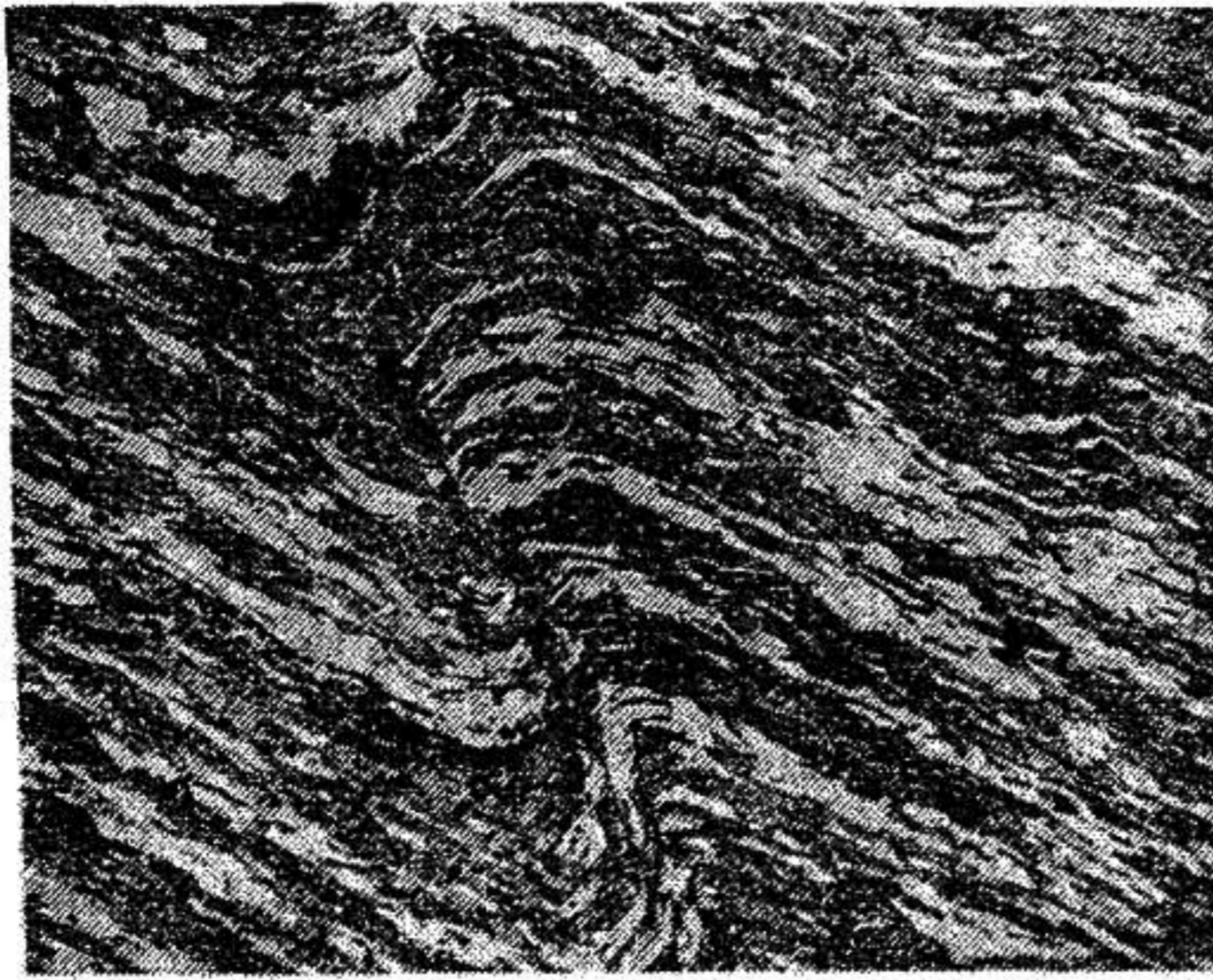


Рис. 183. Актинолитовый сланец (увел. 20, николи //)

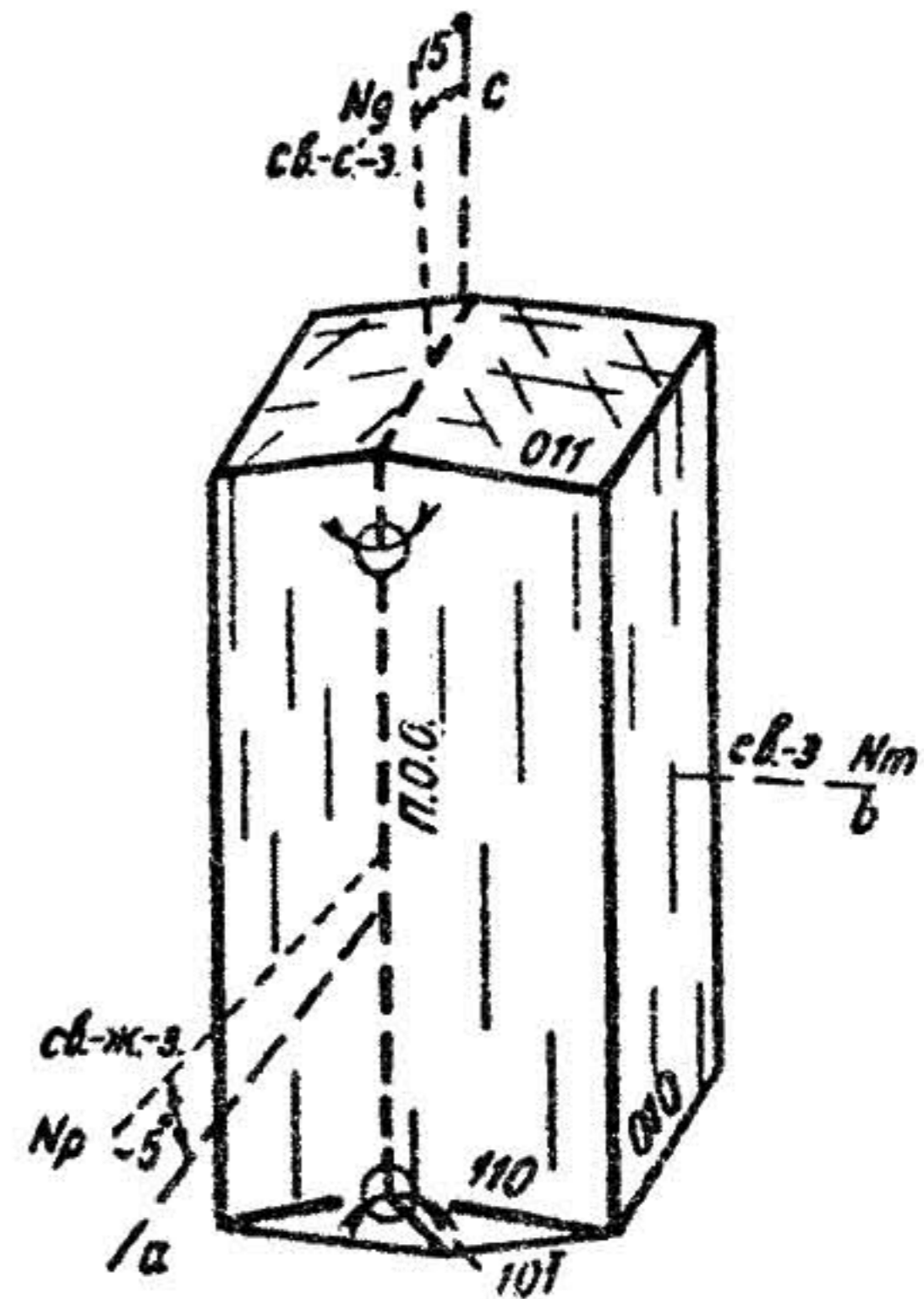


Рис. 184. Актинолит

Включения. Унаследует включения, находившиеся в замещенном им минерале - кварц, плагиоклаз, апатит, магнетит, сфен, ортит и др.

Изменения. При процессах диафтореза по актинолиту развивается хлорит, эпидот, тадьк и кальцит.

Р а з н о в и д н о с т и. Актинолит-асоест, для которого характерны прожилки строго параллельно-волокнистого строения. Нефрит — плотные скрытокристаллические массы с зановистым изломом.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Типичный минерал метабазитов зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций регионального метаморфизма, а также альбит-эпидот-роговиковой фации контактового метаморфизма. Актинолит находится в парагенезисе с кварцем, хлоритом, альбит-олигоклазом, биотитом, эпидотом, кальцитом и др. минералами. Широко развит в кристаллических зеленых сланцах, роговиках и скарнах.

А р ф в е д с о н и т — $\text{Na}_3(\text{Fe, Mg})_4(\text{Fe, Al})[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH, F})_2$.
Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

Встречается в виде длиннопризматических и пластинчатых кристаллов или неправильно ограниченных зерен с совершенной спайностью по призме. На поперечных разрезах наблюдается две системы трещин спайности, пересекающихся под углом 56° . Минерал окрашен в синий или зеленый цвет, иногда настолько густо, что только в краях можно установить указанную окраску с буроватыми или фиолетовыми оттенками. Форма кристаллов арфведсонита дана на рис. 185.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,698-1,705$; $n_m = 1,687-1,705$; $n_p = 1,693-1,695$; $n_g - n_p = 0,005-0,010$. Обладает ясной шагреневой поверхностью и рельефом. Угол угасания с: N_g изменяется от 14 до 20° . Удлинение (знак главной зоны) отрицательное. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Угол оптических осей — $2U$ около 90° , может быть положительным и отрицательным. Сильный плеохроизм по схеме $N_p > N_m > N_g$; по N_g — темный синевато-зеленый; по N_m — буровато-желтый; по N_p — густой сине-зеленый. Интерференционная окраска арфведсонита осложняется собственным цветом. Характерна сильная дисперсия оптических осей по формуле $r \ll v$. В результате этого явления на большинстве разрезов наблюдается неполное погасание.

И з м е н е н и я. При наложенных процессах метаморфизма по арфведсониту развивается лепидомелан, а при выветривании — сидерит и лимонит.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Рибекит, гастингсит, турмалин. От рибекита арфведсонит отличается большим углом угасания; от гастингсита — меньшим углом угасания; от турмалина — двуосностью, совершенной спайностью и низким двупреломлением.

Г е н е з и с. Магматогенный, метаморфогенный. Магматогенный арфведсонит характерен большинству щелочных изверженных пород и их эффузивных аналогов. Метаморфогенный арфведсонит образуется при контактовом метаморфизме в P-T условиях амфибол-роговиковой и пироксен-роговиковой фаций в парагенезисе с флюоритом, цирконом, астрофиллитом, кальцитом и др. минералами.

Базальтическая роговая обманка - $\text{Ca}_2(\text{Na, K})_{0,5-1,0}(\text{Mg, Fe}^{2+})_{3-4}(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_{2-1}[\text{AlSi}_3\text{O}_{11}]_2(\text{OH, F})_2$.
Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

В шлифе образует удлиненнопризматические, таблитчатые или шестигранные зерна. Обладает совершенной спайностью по призме, пересекающаяся на перпендикулярном срезе под углом в 56° . Отмечаются простые и полисинтетические двойники. Базальтическая роговая обманка окрашена в коричневый, темно-бурый цвет. Форма кристалла базальтической роговой обманки дана на рис. 186.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, характеризующийся преломлением и двупреломлением: $n_g = 1,693-1,760$; $n_m = 1,683-1,730$; $n_p = 1,670-1,692$; $n_g - n_p = 0,023-0,068$. Угол оптических осей - $2U = 64-80^\circ$. Плеохроизм по схеме $N_g > N_m > N_p$; по N_g - темно-бурая; по N_m - буровато-зеленая; по N_p - бледно-желтая. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных N_m , синяя, красная, желтая, третьего порядка.

В к л ю ч е н и я. Часто содержит включения рудного минерала, в определении генезиса которого следует быть осторожным, т.к. он может оказаться продуктом опацизации - характерного процесса распада роговой обманки, вызываемого различными причинами. Отмечаются включения вулканического стекла и игольчатого рутила - сагенита.

Р а з н о в и д н о с т и. Керсутит - базальтическая роговая обманка, содержащая до 10% TiO_2 . Уралит - псевдоморфозы по ортопироксенам и клинопироксенам.

И з м е н е н и я. При наложенных процессах метаморфизма по роговой обманке развивается биотит, хлорит, тальк, антигорит, эпидот, карбонат.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Биотит, турмалин. От биотита она отличается менее совершенной спайностью и косым погасанием; от турмалина - наличием спайности, осностью и обратной схемой абсорбции по удлинению.

Г е н е з и с. Базальтическая роговая обманка – типичный магматогенный минерал, характерен многим изверженным породам: андезитами, андезито-базальтами, габброидами, риолитами и др.

Б а р к е в и к и т – $\text{Ca}_2(\text{Na}, \text{K})(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn})_5[\text{Al}_{1,5}\text{Si}_{6,5}\text{O}_{22}](\text{OH}, \text{F})_2$. Группа амфиболов, моноклинная сингония.

Субщелочная роговая обманка, отличающаяся по химическому составу от обыкновенной значительным содержанием TiO_2 до 5,5 вес.% и щелочей – K_2O , Na_2O , BeO , а также железа. Форма зерен призматическая, стебельчатая, листоватая или изометричная. Обладает совершенной спайностью в одном и двух направлениях, как у всех амфиболов под углом в 56° . Баркевикит интенсивно окрашен в красновато-коричневый и бурый цвета. Форма кристалла баркевикита дана на рис. 187.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,700$; $n_m = 1,696$; $n_p = 1,680$; $n_g - n_p = 0,020$. Имеет резкую шагреневую поверхность и высокий рельеф. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Угол угасания $s:m_g$ равен $10-14^\circ$. Удлинение положительное. Угол оптических осей – $2U^g = 31-52^\circ$. Дисперсия оптических осей по формуле $r > v$. Плеохроизм по схеме $N_g > N_m > N_p$; по N_g – темно-коричневый, красновато-коричневый; по N_m – красновато-бурый; по N_p – светло-желтый, светло-коричневый. Интерференционная окраска второго порядка осложняется интенсивным собственным цветом.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Обыкновенная роговая обманка, гастингсит. От обыкновенной роговой обманки баркевикит отличается петрохимическим анализом; от гастингсита – окраской и характером дисперсии.

Г е н е з и с. Магматогенный. Типичен для богатых щелочами, особенно натрием, интрузивных и эффузивных пород основного состава.

Б и о т и т – $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$. Группа слюд. Моноклинная сингония.

В шлифе встречается в виде неправильных или вытянутых по спайности чешуек (рис. 188), табличек, листочков, пластинок (рис. 189), розеток; редко в форме радиально-лучистых или спутано-чешуйчатых агрегатов, призматических более или менее изометричных кристаллов. Спайность весьма совершенная по третьему пинакoidу. Двойники наблюдаются в биотите из щелочных пород; в метаморфических породах (гнейсах и сланцах) и породах среднего состава (диоритах) двойники встречаются чрезвычайно редко. Цвет минерала обычно бурый разных оттенков и интенсивности. Иногда буроватый, буровато-красный, оранжево-красный

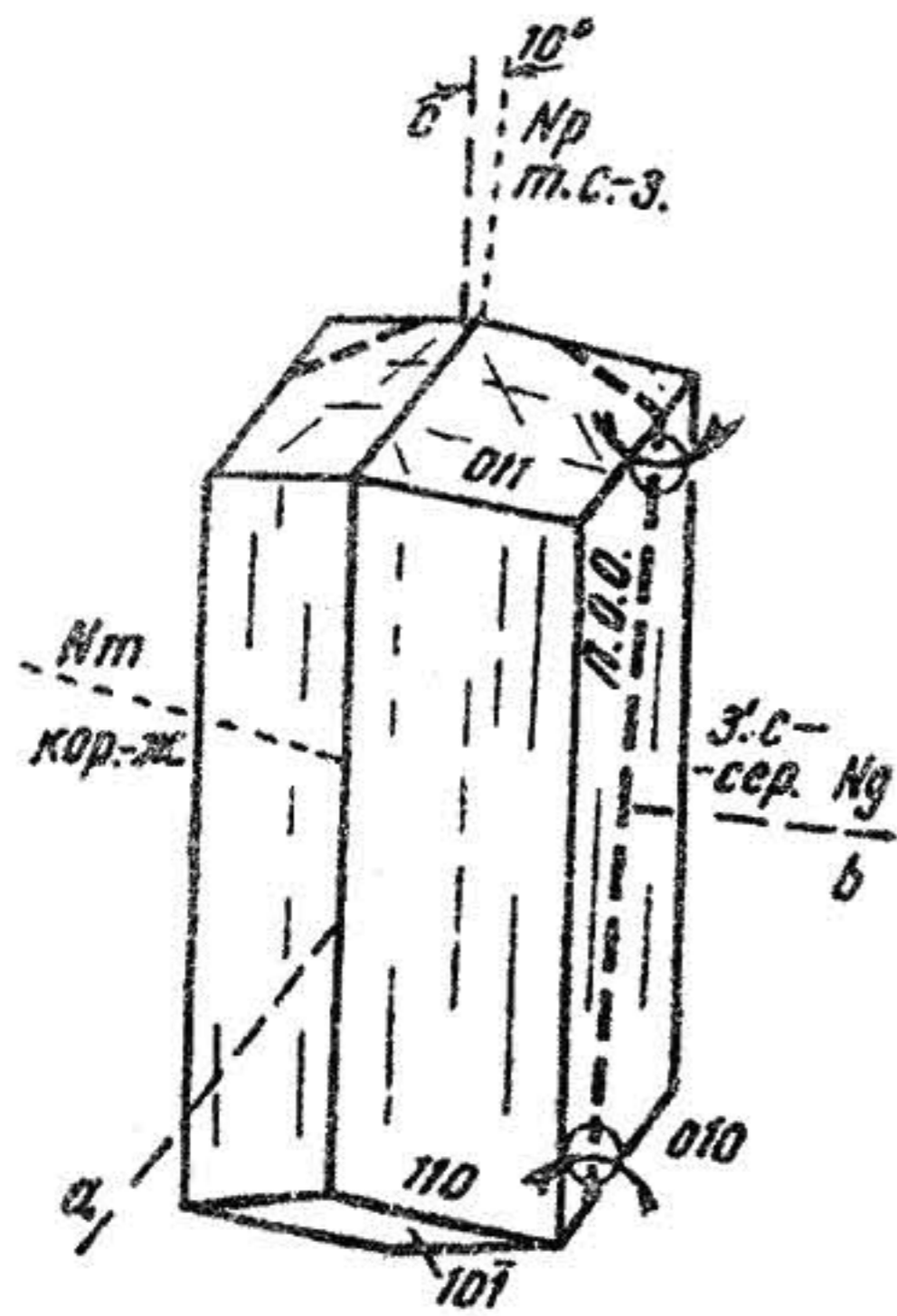


Рис. 185. Арфведсонит

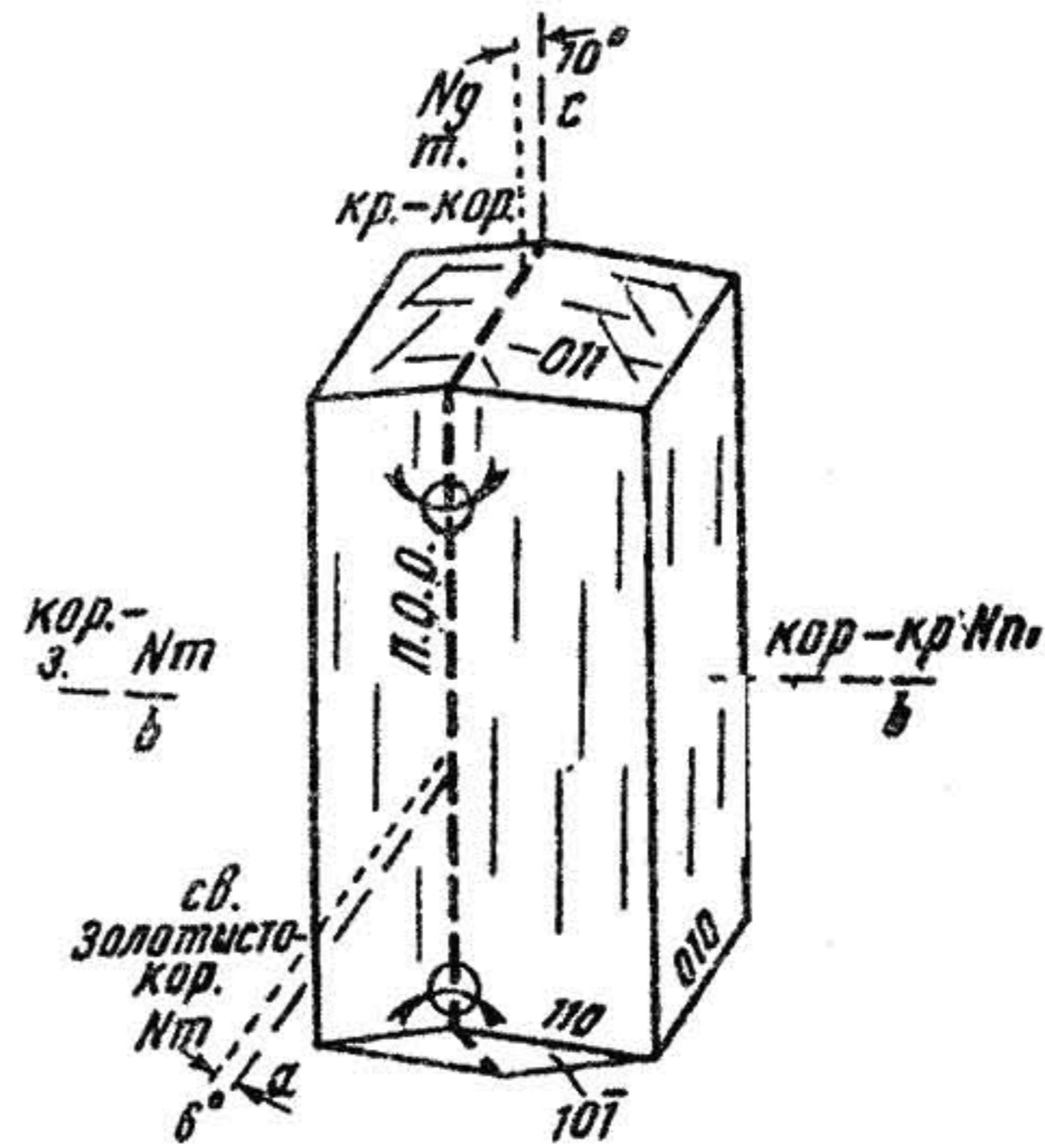


Рис. 186. Базальтическая роговая обманка

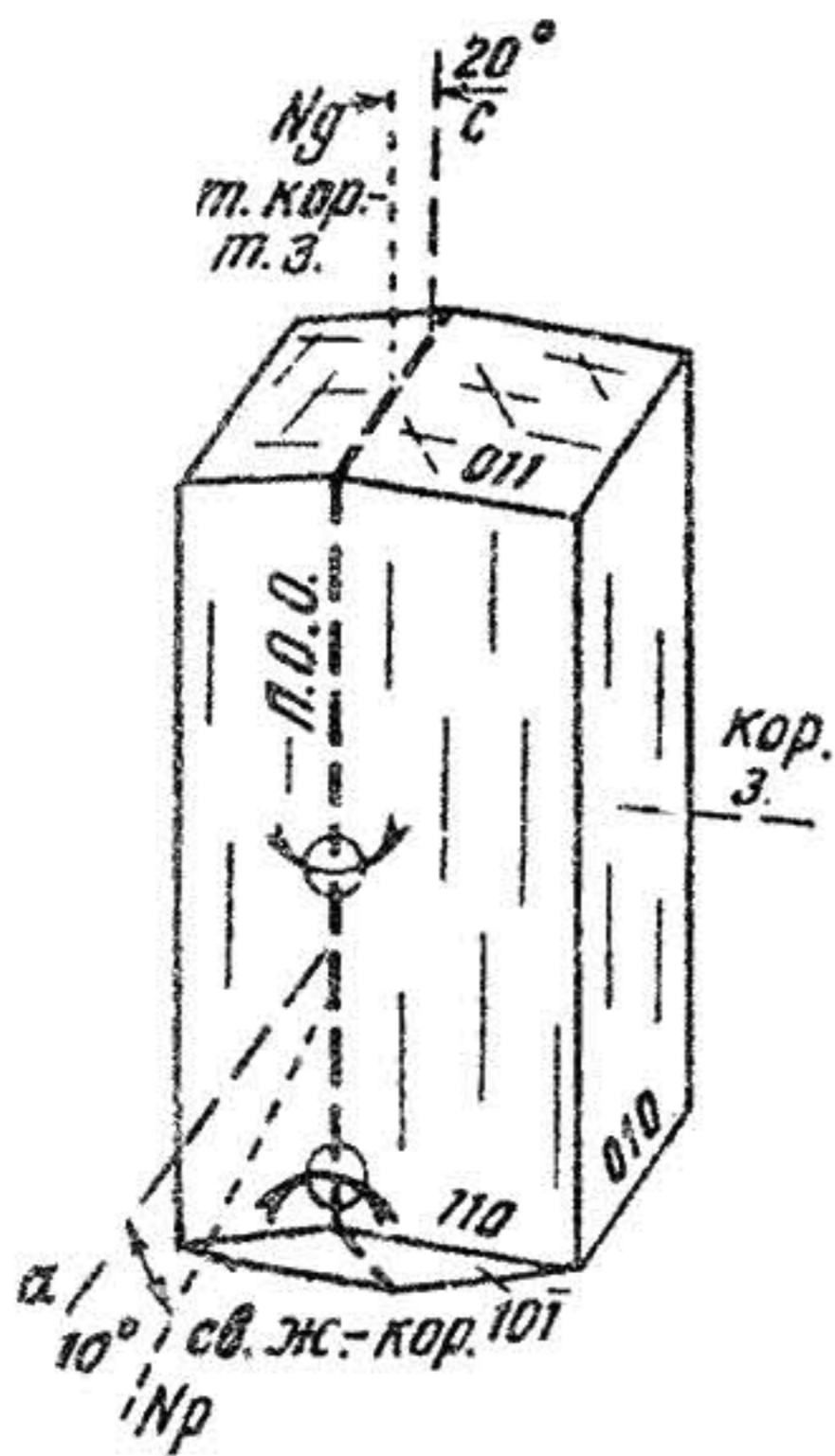


Рис. 187. Баркевикит

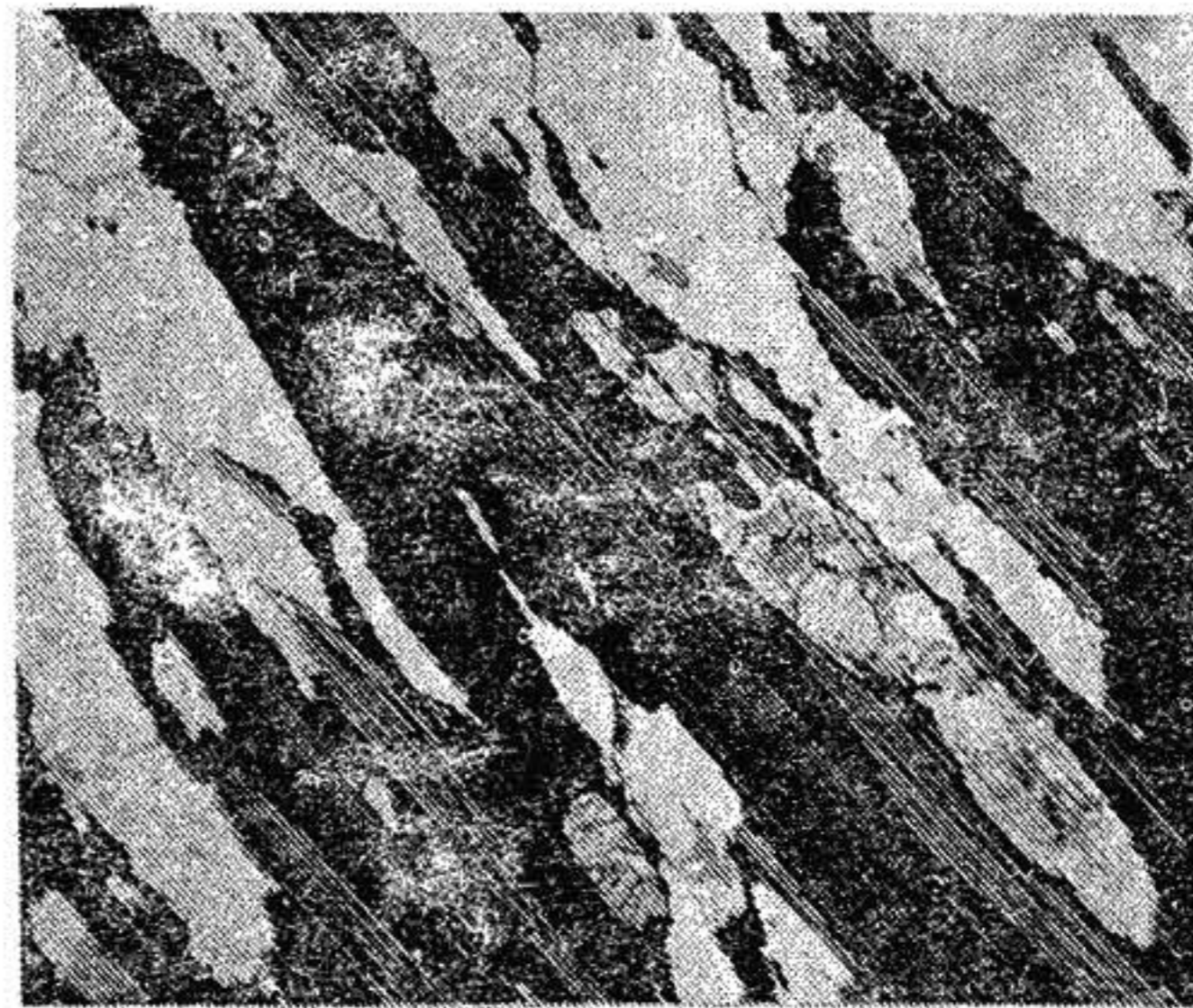


Рис. 188. Биотит в биотитовом плагиогнейсе (увел. 20, николи //)

или почти черный, зависящий от содержания и соотношения Fe, Mg и Ti. От бурой окраски фиксируются переходы к зеленой или желтовато-зеленой. Спорадически встречаются биотиты с синеватым, бирюзовым оттенком. Форма кристалла дана на рис. 190.



Рис. 189. Биотит в гранат-биотитовом плагиогнейсе (увел. 20, николи //)

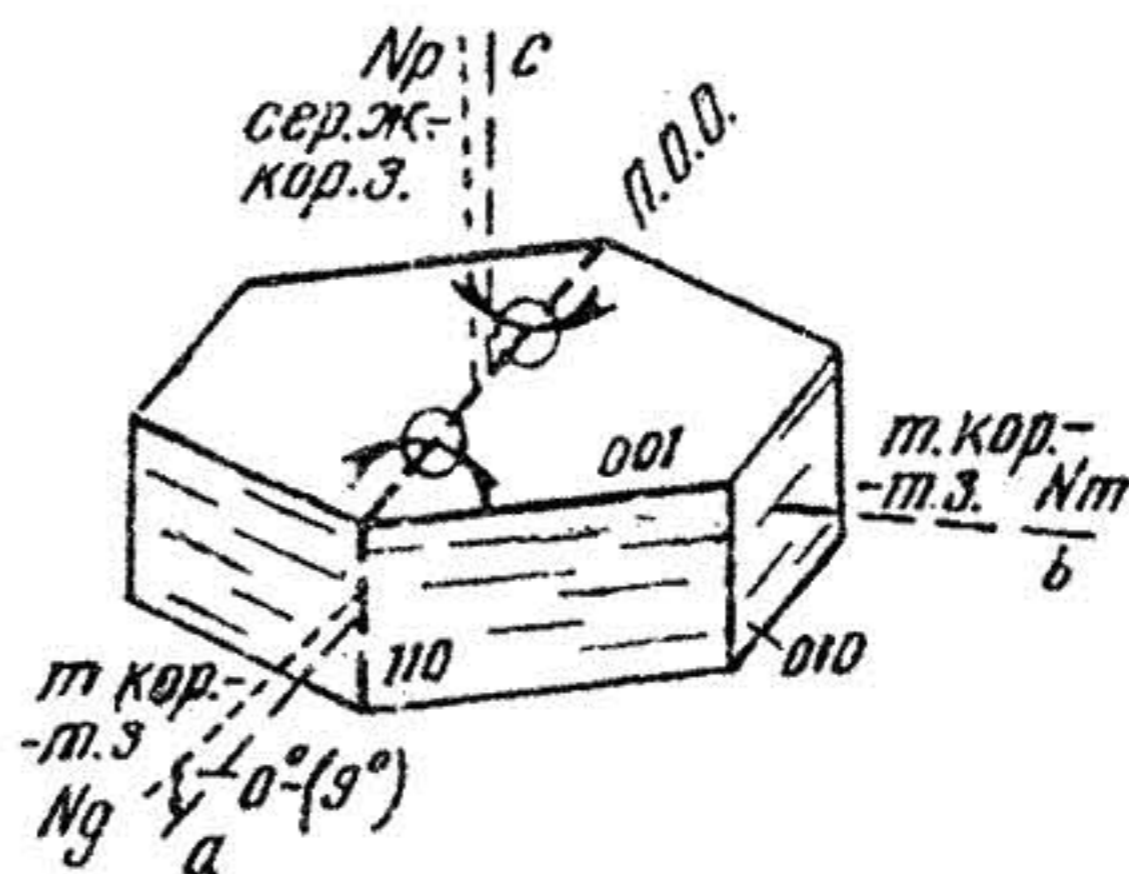


Рис. 190. Биотит

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный. Показатели преломления сильно колеблются в зависимости от содержания железа, находясь с его количеством в прямой пропорции, $n_g = 1,610-1,697$; $n_m = 1,609-1,696$; $n_p = 1,571-1,616$; $n_g - n_p = 0,039-0,081$. На разрезах, перпендикулярных спайности, наблюдается резкая шагреневая поверхность и относительно высокий рельеф. Здесь же весьма резкий плеохроизм. Схема абсорбции $N_g \approx N_m > N_p$; по $N_g = N_m$ - густой бурый, темно-зеленый, темный красно-коричневый; по N_p - серо-желтый, коричнево-зеленый, оранжево-коричневый. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). На разрезах, параллельных спайности, плеохроизм, рельеф и шагреневая поверхность выражены слабо. Угол угасания равен нулю или 2-3, редко 8° на тех сечениях, где хорошо выражена спайность. Удлинение (по спайности) положительное. Угол оптических осей - 2γ близок к 0° , благодаря чему в сходящемся свете наблюдается псевдоосная фигура. Иногда 2γ достигает 35° . Дисперсия оптических осей $r < v$. Интерференционная окраска у биотита второго и третьего порядка маскируется собственным цветом.

В к л ю ч е н и я. В биотите весьма часто наблюдаются обильные включения аксессуарных минералов - циркона, апатита, монацита, сфена, рутила (сагенита), которые бывают оторочены узкими, более темноокрашенными, чем биотит, каемками - результат метамиктного радиоактивного распада.

Изменения. Биотит очень легко изменяется под влиянием вторичных процессов метаморфизма и метасоматоза. При этом окраска его становится все менее и менее интенсивной и биотит обесцвечивается. По нему, часто с полным замещением, развивается хлорит, иногда в сопровождении мелкозернистого агрегата эпидота и сфена, располагающихся по трещинам спайности. В некоторых случаях выделяются гидроокислы железа, карбонаты, сагениит и кварц. Биотит весьма часто полностью или частично замещается мусковитом. В эффузивных породах для биотита характерна опацификация – замещение тонкозернистым агрегатом магнетита, делающим минерал непрозрачным в краях или в целом. При гидротизации биотит переходит в вермикулит.

Похожие минералы. Биотит похож на хлорит, особенно в срезах, параллельных спайности. В разрезах, перпендикулярных спайности, биотит сразу же отличается резким плеохроизмом. Кроме того, в скрещенных николях интерференционная окраска биотита, вследствие более высокого двупреломления, всегда выше чем у хлорита. Биотит похож на турмалин соответствующей окраски; отличается от турмалина весьма совершенной спайностью, двуосностью и знаком главной зоны. Биотит весьма сходен с коричневыми и бурыми амфиболами, особенно на срезах, где спайность отсутствует или плохо выражена. На разрезах со спайностью биотит отличается от амфибола прямым угасанием и резким плеохроизмом. Кроме того, двупреломление у биотита выше, а преломление ниже чем у амфиболов. Изучение в сходящемся свете помогает легко отличить биотит от амфибола по небольшому углу оптических осей.

Генезис. Биотит – типичный метаморфогенный и магматогенный минерал. Как метаморфогенный он широко распространен в породах зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фациях регионального метаморфизма в парагенезисе с кварцем, полевыми шпатами, амфиболами, гранатом, мусковитом, дистеном, ставролитом, андалузитом, эпидотом и др. минералами. Как магматогенный биотит является одним из породообразующих и второстепенных минералов многих интрузивных и жильных пород. Редко биотит встречается в эффузивных породах.

Вермикулит – $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})_3[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.
Сингония моноклинная.

Встречается в виде псевдогексагональных табличек, спутанных нитеобразных агрегатов, мелких чешуек. Спайность совершенная по

(001). В шлифе слабо окрашен в зеленоватый или желтоватый цвет. Форма кристалла вермикулита дана на рис. 191.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,545$; $n_m = 1,545$; $n_p = 1,525$; $n_g - n_p = 0,020$. Рельеф и шагреновая поверхность отсутствуют. Плеохроизм слабый: по $N_g = N_m$ - бледно-зелено-желтый; бледно-оливково-зеленый; по N_p - почти бесцветный. Абсорбция по схеме $N_g = N_m > N_p$. Угасание прямое, удлинение положительное. Угол оптических осей - $2Y = 0-8^\circ$. Дисперсия $r < v$ или $r \approx v$. Интерференционная окраска первого и второго порядка.

П а х о ж и е м и н е р а л ы. Биотит, хлорит, антигорит, тальк. От биотита вермикулит отличается по меньшим значениям преломления и двупреломления, а также по менее интенсивной окраске и слабому плеохроизму; от хлорита - по отсутствию аномальных интерференционных окрасок и большему двупреломлению; от антигорита - по меньшему углу оптических осей; от талька - по значительно более низкому двупреломлению.

Г е н е з и с. Метаморфогенно-гидротермальный. Значительные скопления вермикулита образуются при диафторезе биотит- и флогопит-содержащих пород или серпентинитов. Как гидротермальный вермикулит образуется при гидратации биотита.

Г а с т и н г с и т - $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Fe}, \text{Mg})_4(\text{Fe}, \text{Al})[\text{AlSi}_3\text{O}_{11}]_2(\text{OH}, \text{F})_2$.
Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

Встречается в форме короткопризматических и длиннопризматических кристаллов, листоватых и неправильных зерен с одной или двумя системами трещин спайности, пересекающихся под углом в 56° . Интенсивно окрашен в зеленый цвет с желтыми и коричневыми оттенками. Форма кристалла гастингсита дана на рис. 192.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,662$; $n_m = 1,658$; $n_p = 1,646$; $n_g - n_p = 0,016$. Резкая шагреновая поверхность и высокий рельеф. Угол угасания $s: N_g$ изменяется от 25 до 30° , иногда равен 0° . Знак главной зоны отрицательный. Угол оптических осей - $2Y = 24-40^\circ$. Дисперсия по схеме $r > v$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Плеохроизм сильный по схеме: $N_g > N_m > N_p$; по N_g - темно-зеленый или сине-зеленый; по N_m - оливково-зеленый; по N_p - светло-желтый до желто-коричневого. Интерференционная окраска первого порядка маскируется собственным цветом.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Синтагматит (титанистая, роговая обманка), обыкновенная роговая обманка. От синтагматита гастингсит отличается меньшим углом оптических осей (у синтагматита угол $2U = 80^\circ$); от обыкновенной роговой обманки — меньшим углом оптических осей (у роговой обманки угол $2U = 63-87^\circ$) и большим преломлением.

Г е н е з и с. Метаморфогенный, магматогенный. Метаморфогенный гастингсит образуется в P-T условиях амфибол-роговиковой фации контактового метаморфизма. Встречается в скарнах, эрланах, роговиках в парагенезисе с кварцем, плагиоклазом, биотитом, флогопитом, эпидотом, скаполитом, клинопироксеном, кальцитом, гранатом и др. минералами. Гастингсит магматогенный характерен для обогащенных щелочами, преимущественно натрием, кислых изверженных пород.

Г и п е р с т е н $(Mg, Fe)_2[Si_2O_6]$. Группа ромбических пироксенов. Ромбическая сингония.

С энстатитом $-Mg_2[Si_2O_6]$ и феррисилитом $-Fe_2[Si_2O_6]$ образует ряд непрерывных изоморфных смесей. Зерна гиперстена призматические, таблитчатые, несколько удлиненные. Часто встречается в виде неправильных, округлых зерен или их агрегатов (рис. 193). Спайность совершенная по призме (110), пересекающаяся под углом 87° . Окраска гиперстена зависит от количества железа, изоморфно замещающего магний: чем больше железа, тем интенсивнее коричневая окраска. Форма кристалла дана на рис. 194.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,683-1,731$; $n_m = 1,678-1,728$; $n_p = 1,673-1,715$; $n_g - n_p = 0,010-0,016$. Резкая шагреновая поверхность, высокий рельеф. Угол угасания равен нулю, но в некоторых случаях достигает 12° . Прямое угасание наблюдается на срезах с одной системой трещин спайности, перпендикулярных плоскости шлифа. Разрезы, наклонные к плоскости спайности, дают прямое и косое до 35° угасание. Всегда косое погасание на срезах, перпендикулярных к двум системам трещин спайности. Поэтому гиперстен в таких случаях похож на моноклинный пироксен. Удлинение гиперстена всегда положительное. Угол оптических осей $2U = 50-80^\circ$. Слабая дисперсия оптических осей $x > y$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Плеохроизм становится интенсивнее с увеличением содержания железа и имеет схему абсорбции $N_g > N_m \approx N_p$; по $N_g =$ светло-зеленый, ярко-зеленый, красновато- или буровато-коричневый; по $N_m =$ светло-желто-зеленый, желтоватый, желтовато-бурый или ярко-

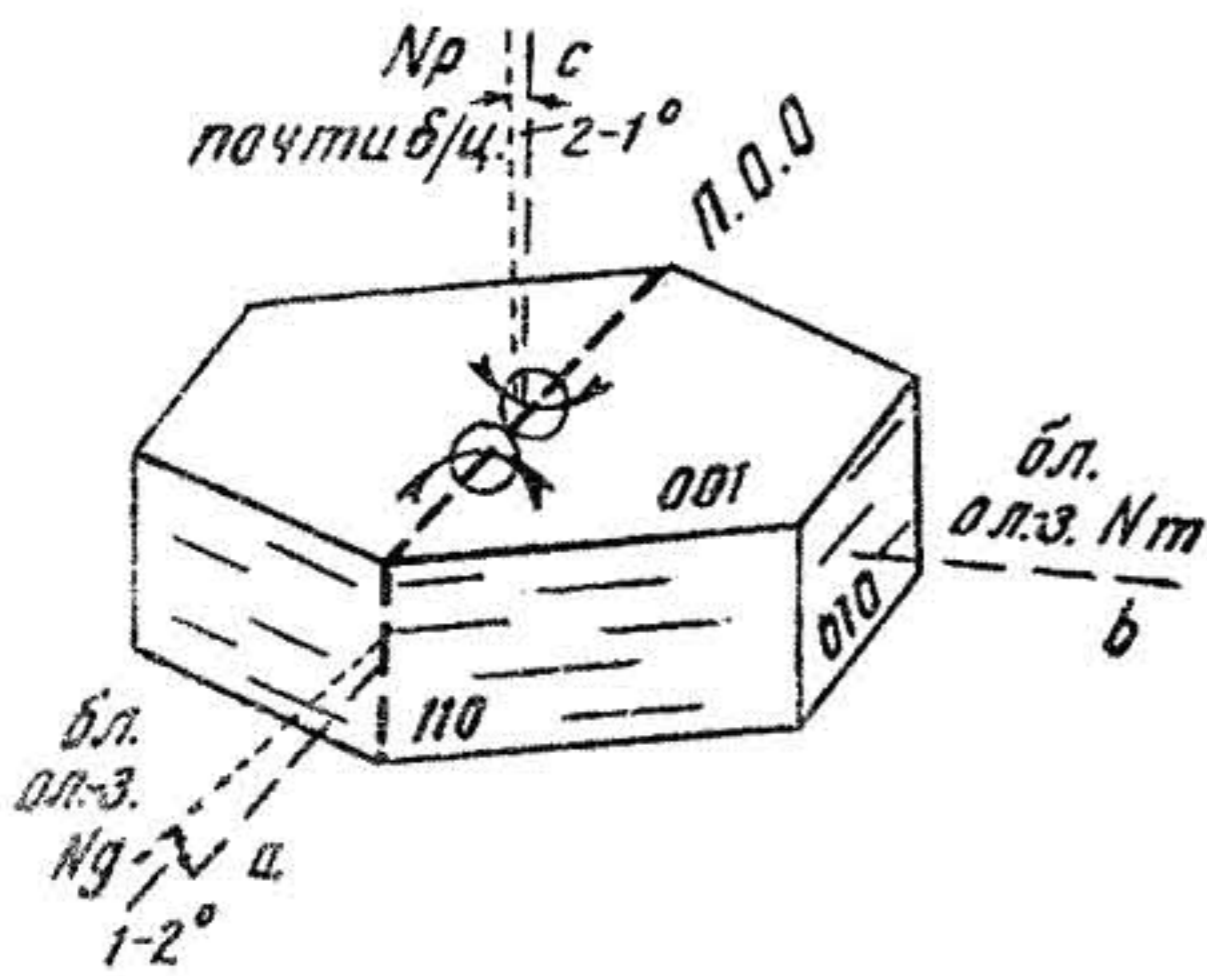


Рис. 191. Вермикулит

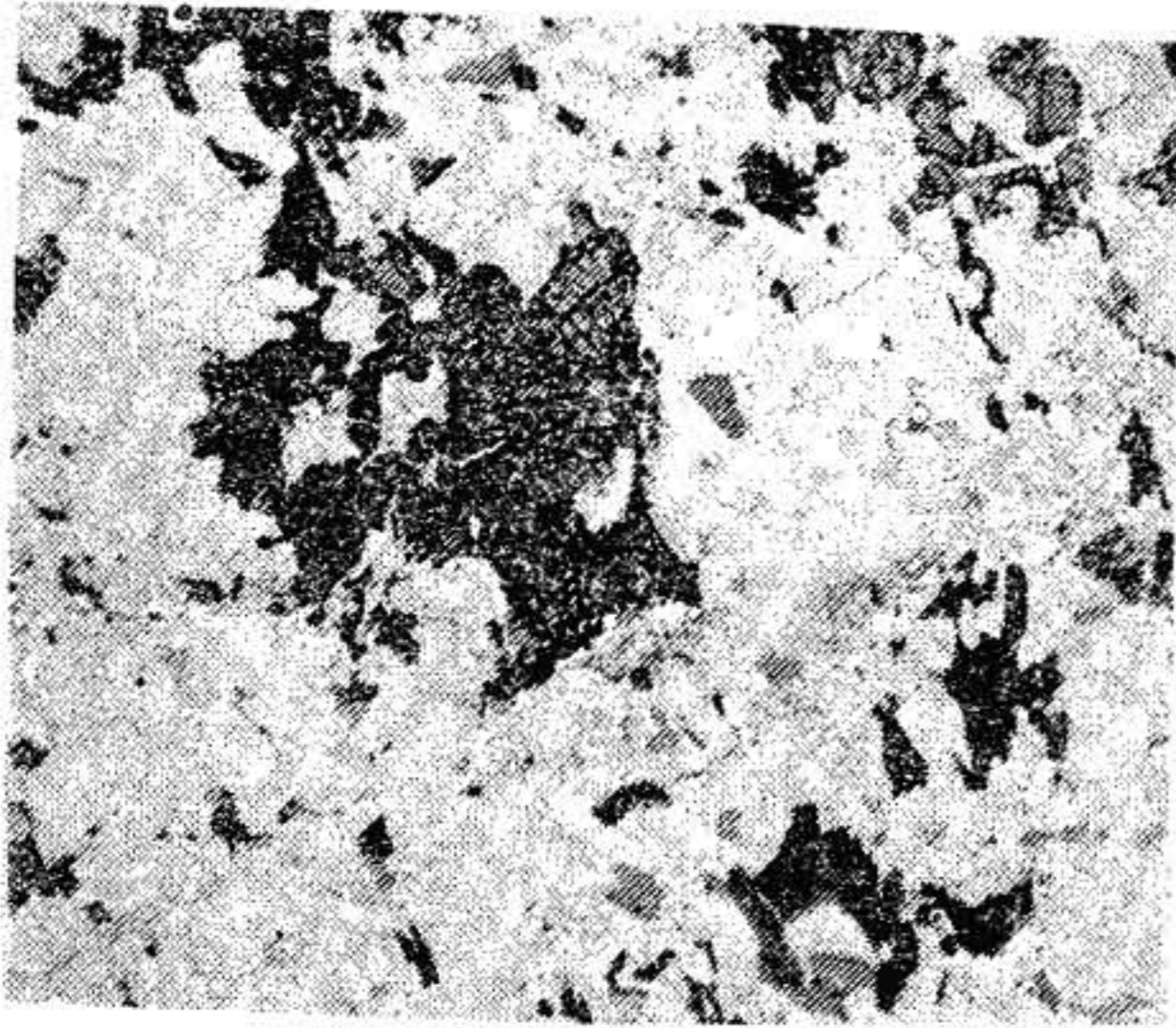


Рис. 193. Гиперстен в биотит-гиперстеновом гнейсе (увел 20, николи //)

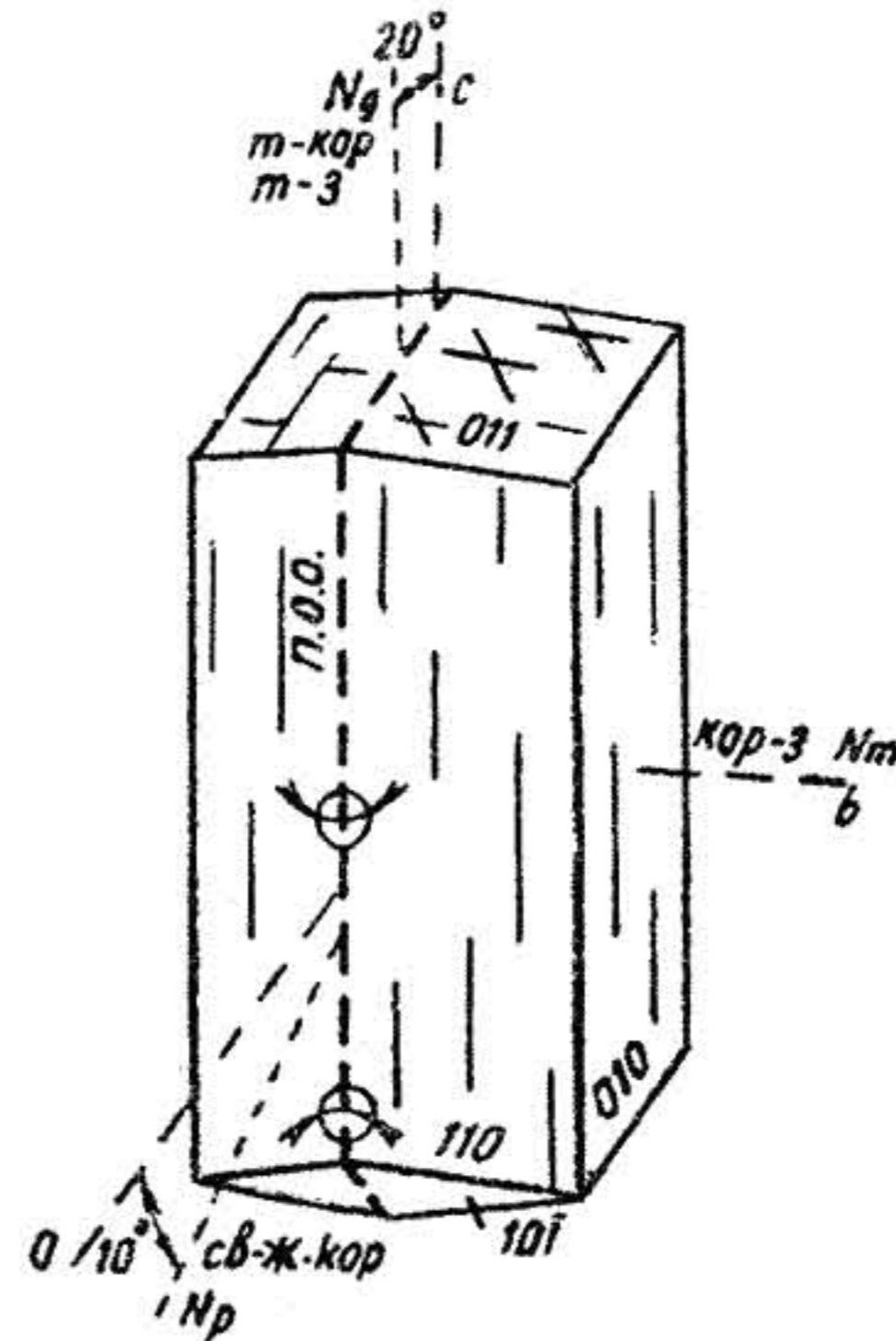


Рис. 192. Гастингсит

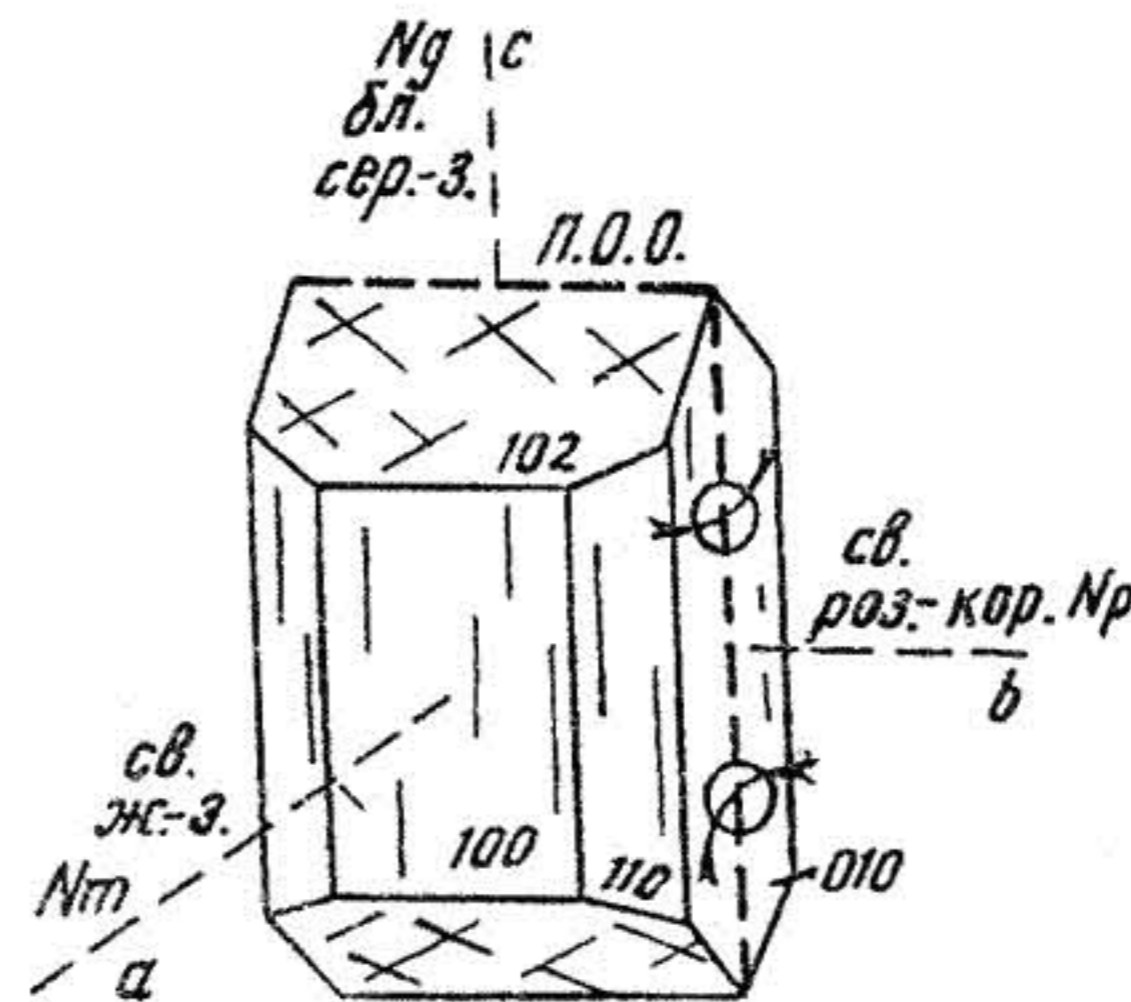


Рис. 194. Гиперстен

красный; по N_p — красновато-желтый, буровато-красный, светло-розовый, светло-зеленый. Интерференционная окраска серая, серовато-желтая, желтая, первого порядка.

Включения. В гиперстене чаще чем в других пироксенах наблюдаются включения очень мелких пластинок ильменита, располагающегося по спайности. В эффузивных породах наблюдается опацизация — превращение гиперстена в непрозрачное вещество в результате перехода закисного железа в окисное или вследствие высокой температуры, возникающей в магме при выходе ее на поверхность и соприкосновении с воздухом.

Р а з н о в и д н о с т и. Клиногиперстен – двуосный, оптически положительный с углом погасания до 42° . Встречается редко.

И з м е н е н и я. В результате наложенных, вторичных процессов метаморфизма гиперстен замещается серпентином, тальком, тремолитом, хлоритом с одновременным выделением магнетита, карбонатов и кварца. Реже по гиперстену развиваются биотит и иллингсит.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Андалузит (хиастолит), энстатит, бронзит, авгит, оливин, силлиманит. От андалузита гиперстен отличается более высоким преломлением и знаком главной зоны (у андалузита – знак отрицательный); от энстатита и бронзита гиперстен отличается оптическим знаком и плеохроизмом; от авгита, титан-авгита – более высоким двупреломлением; от оливина – более низким двупреломлением и окраской; от силлиманита – формой зерен, характером спайности, более низким двупреломлением.

Г е н е з и с. Метаморфогенный и магматогенный. Метаморфогенный гиперстен является индекс-минералом в породах гранулитовой фации регионального метаморфизма андалузит-силлиманитового и дистен-силлиманитового типов в парагенезисе с диопсидом, магнезиальным гранатом, силлиманитом, плагиоклазом, кварцем, шпинелью, ортоклазом, реже амфиболом и биотитом. Иногда гиперстен встречается в породах контактового метаморфизма пироксенроговиковой фации – в пироксеновых роговиках в ассоциации с кварцем, плагиоклазом, ортоклазом, диопсидом, гранатом, амфиболом и др. минералами. Как магматогенный гиперстен широко развит в норитах, габбро-норитах, пироксенитах, перидотитах, базальтах. Реже встречается в андезитах, порфиритах, дацитах, блипаритах, гарантах, гранодиоритах.

Г л а у к о ф а н – $\text{Na}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH}, \text{F})_2$. Группа амфиболов. Состав непостоянный. Моноклинная сингония.

В шлифе встречается в виде удлиненно-призматических полуправильных кристаллов и неправильных зерен. Спайность совершенная в двух направлениях по призме (110), на поперечных разрезах пересекается под углом 56° . Окрашен в синий цвет до синевато-черного. Форма кристалла глаукофана дана на рис. 195.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,627-1,657$; $n_m = 1,622-1,656$; $n_p = 1,606-1,642$; $n_g - n_p = 0,021-0,015$. Заметна шагреневая поверхность и рельеф. Плеохроизм по схеме: $N_g > N_m > N_p$; по N_g – лазурно-синий, синевато-бурый, темно-синий; по N_m – красновато-фиолетовый, серовато-зеленый, зеленовато-желтый; по N_p – бесцветный, синевато-

зеленый, зеленовато-желтый. Угол угасания $c:N_g$ от 5 до 7° . Удлинение положительное. Угол оптических осей - $2V^g = 45^\circ \pm 15^\circ$. Дисперсия $r < v$. Интерференционная окраска на срезе, перпендикулярном N_m , второго порядка, осложняется цветом минерала. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010).

Включення. Может содержать мелкие зерна магнетита, ставролита, граната, кварца и др. минералов.

Разновидности. Кроссит - глаукофан, обогащенный железом.

Изменения. При наложенных процессах метаморфизма по глаукофану развивается хлорит, актинолит и альбит.

Генезис. Метаморфогенный. Образуется глаукофан в P-T условиях глаукофансланцевой фации регионального метаморфизма жадеит-глаукофанового типа. Встречается в парагенезисе с гранатом, цоизитом, жадеитом, лавсонитом, альбитом, кварцем и др. минералами в разнообразных сланцах.

Грюнерит - $(Fe, Mg)_7[Si_4O_{11}]_2(OH, F)_2$. Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

Образует листоватые, лучистые, волокнистые и тонкопластинчатые агрегаты. Спайность совершенная в двух направлениях по призме (110). На поперечном срезе образует угол в 56° . Части простые и полисинтетические двойники. Слабо окрашен в зеленоватый, буроватый или желтоватый цвет. Форма кристалла грюнерита дана на рис. 196.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,728$; $n_m = 1,709$; $n_p = 1,685$; $n_g - n_p = 0,043$. Резкая шагреневая поверхность и высокий рельеф. Плеохроизм по схеме: $N_g > N_m \geq N_p$; по N_g - светло-желтый, коричневый, зеленоватый, желто-коричневый; по N_m - бесцветный, светло-желто-коричневый, светло-бурый; по N_p - бесцветный, слабо-желтый, желтовато-коричневый. Углы угасания: $N_g = 10-15^\circ$; $N_m = 0-5^\circ$; $N_p = 0^\circ$. Знак главной зоны (удлинения) положительный. Угол оптических осей - $2V$ около 85° . Дисперсия по схеме: $r > v$. Интерференционная окраска на срезах, перпендикулярных N_m , третьего порядка. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010).

Похожие минералы. Актинолит, антофиллит. От актинолита грюнерит отличается большим углом угасания и меньшим преломлением; от антофиллита - углом угасания (у антофиллита угол $c:N_g = 0^\circ$).

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Образуется в Р-Т условиях эпидот-амфиболитовой фации регионального метаморфизма в различных слюдяных, грюнеритовых и др. сланцах в железистых кварцитах. Известен грюнерит в скарнах, эрланах, роговиках, формирование которых определяется Р-Т условиями амфибол-роговиковой фации контактового метаморфизма.

Д ю м о р т ь е р и т - $Al_4[Al_4B_3Si_3O_{19}](OH)$. Ромбическая сингония.

В шлифе образует волокнистые, столбчатые, призматические, пластинчатые, игольчатые, ветвистые и изометричные зерна. Обладает совершенной спайностью по (010) и несовершенной по (210). Нередки двойники по (110) и тройники. Окрашен в синий, зеленовато-синий, красновато-фиолетовый цвета. Форма кристалла дюмортьерита дана на рис. 197.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,686-1,692$; $n_m = 1,684-1,691$; $n_p = 1,659-1,670$; $n_g - n_p = 0,027-0,022$. Ясная шагреневая поверхность, высокий рельеф. Плеохроизм по N_g - бесцветный, бледно-синий; по N_m - светло-фиолетовый; по N_p - синий, но может сильно варьировать даже в одном зерне: синий, пурпурный, красный, бурый, зеленый, розовый. Абсорбция по схеме: $N_g < N_m < N_p$. Угасание прямое. Знак главной зоны отрицательный. Угол оптических осей - $2U = 20-40^\circ$. Дисперсия очень сильная $r \ll v$. Интерференционная окраска на срезах, параллельных плоскости оптических осей, второго порядка. Плоскость оптических осей, второго порядка. Плоскость оптических осей параллельна (010).

И з м е н е н и я. При наложенных процессах метаморфизма по дюмортьериту развивается мусковит (серицит).

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Турмалин, рибекит. От турмалина дюмортьерит отличается осностью, от рибекита - большим дву-преломлением.

Г е н е з и с. Метаморфогенный, пегматитовый. Образование дюмортьерита обусловлено региональным метаморфизмом кордиерит-амфиболитовой и альмандин-амфиболитовой фаций. Встречается он в различных сланцах и гнейсах в ассоциациях с кварцем, плагиоклазом, микроклином, биотитом, мусковитом, гранатом, кордиеритом, дистеном и др. минералами. Кроме того, дюмортьерит отмечается в пегматитах, как типичный акцессорный минерал.

И д д и н г с и т - $\text{H}_4\text{MgFe}_2\text{Si}_3\text{O}_{14}$. Моноклинная сингония.

В шлифе листовато-волокнистые, чешуйчатые агрегаты, петельчатые формы, псевдоморфозы по оливину. Состав и оптические свойства колеблются в широких пределах. Спайность весьма совершенная по (001), совершенная по (100) и (010), несовершенная по (101). Под микроскопом окрашен в бурый, ржаво-бурый или зеленый цвет. Форма кристалла иддингсита дана на рис. 198.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,655-1,864$; $n_m = 1,650-1,845$; $n_p = 1,608-1,792$; $n_g - n_p = 0,047-0,072$. Преломление колеблется в зависимости от количества железа. Угасание прямое. Знак главной зоны может быть положительным и отрицательным. Угол оптических осей - $2V = 20-90^\circ$. Дисперсия $r < v$. Обладает плеохроизмом: по $N_g = N_m$ - темно-зеленый, темно-бурый, оранжево-коричневый, темно-желто-зеленый; по N_p - оранжево-желтый, зеленовато-желтый, светло-желтый. Схема абсорбции: $N_g \geq N_m > N_p$. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Интерференционная окраска на срезах, параллельных плоскости оптических осей, от третьего до четвертого порядка, маскируется собственным цветом минерала.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Биотит и хлорит. От биотита иддингсит отличается иной схемой абсорбции; от хлорита - большим двупреломлением.

Г е н е з и с. . Метаморфогенный. Образуется как вторичный минерал по железистому оливину (файялиту) в результате процессов метаморфизма цеолитовой фации. Широко развит в сибирских траппах и др. оливинсодержащих эффузивах основного и среднего состава.

К а р и н т и н - $\text{NaCa}_2(\text{Mg, Fe})_4 \text{Al}[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{22}](\text{OH, F})_2$. Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

В шлифе образует призматические, пластинчатые или волокнистые кристаллы, лучистые и листоватые агрегаты, неправильные зерна с совершенной спайностью по призме (110), пересекающейся на поперечном разрезе под углом 56° . В шлифе окрашен в желто-коричневый цвет. Форма кристалла дана на рис. 199.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,659$; $n_m = 1,648$; $n_p = 1,636$; $n_g - n_p = 0,023$. Обладает высоким рельефом и резкой мелкобугристой шагреновой поверхностью. Плеохроизм по схеме $N_m > N_g \gg N_p$: по N_g - коричневый, зеленовато-коричневый; по N_m - красновато-коричневый, гвоздично-коричневый; по N_p - светло-серо-желтый. Углы угасания: $c:N_g = 20-$

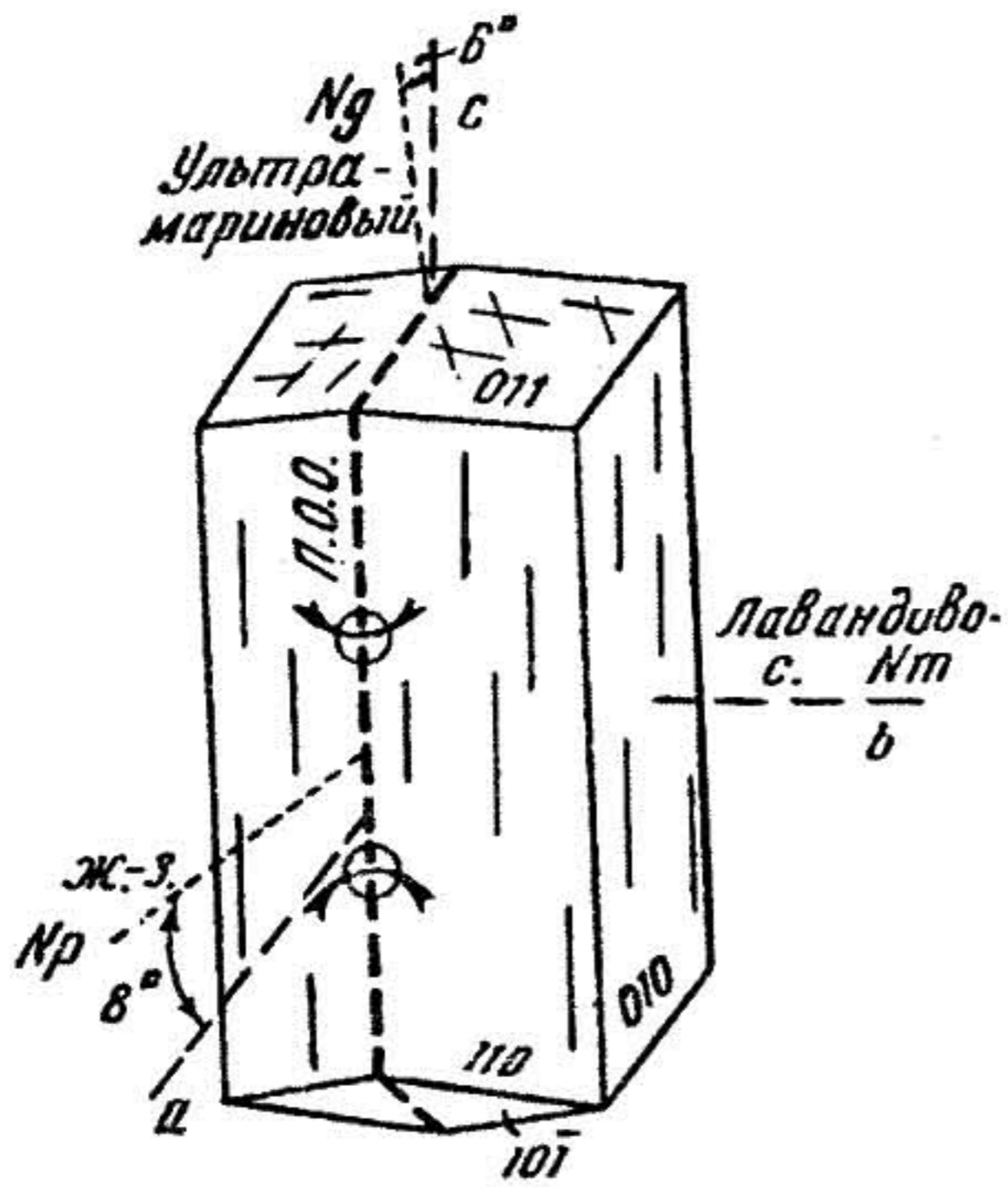


Рис. 195. Глаукофан

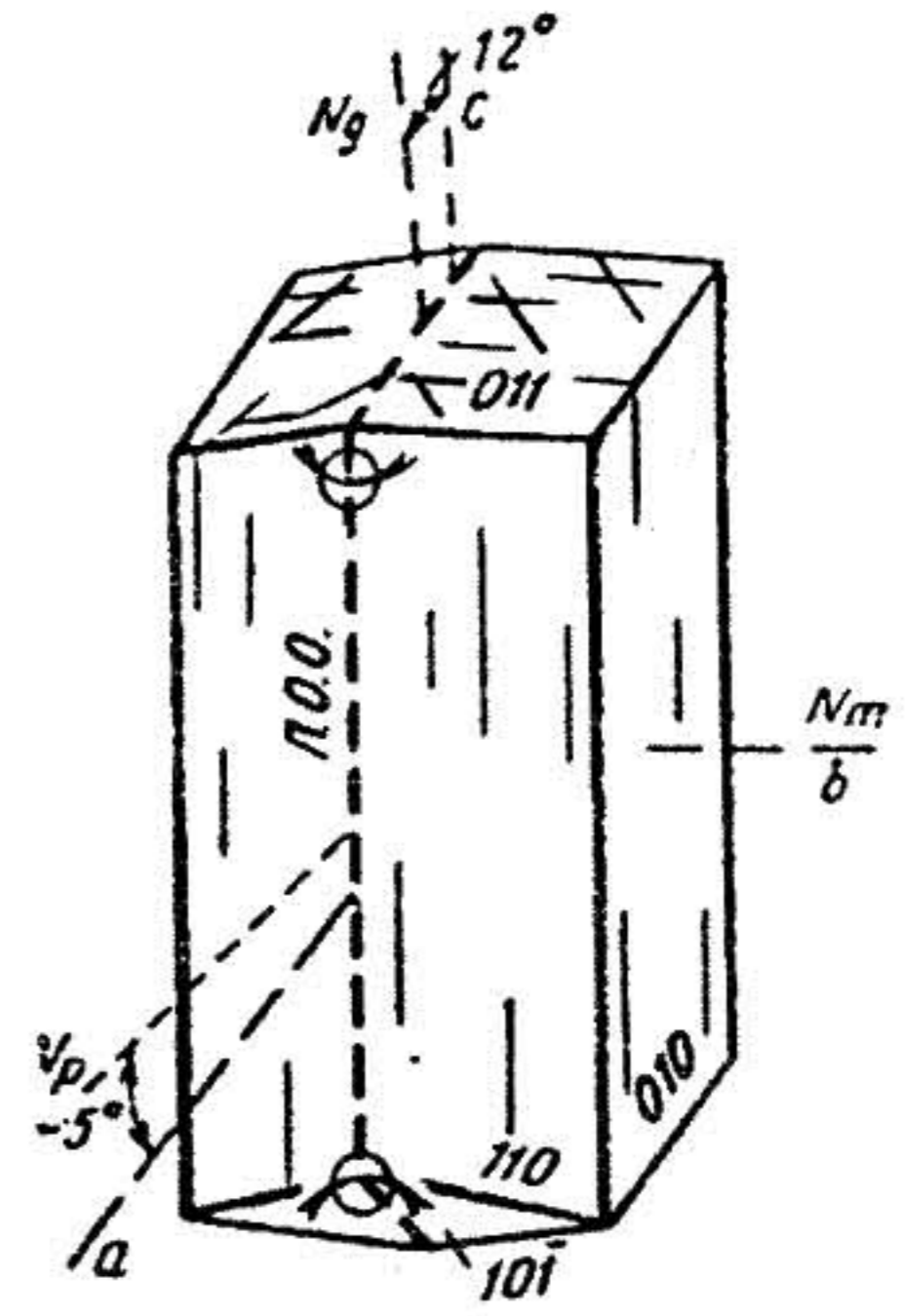


Рис. 196. Грюнерит

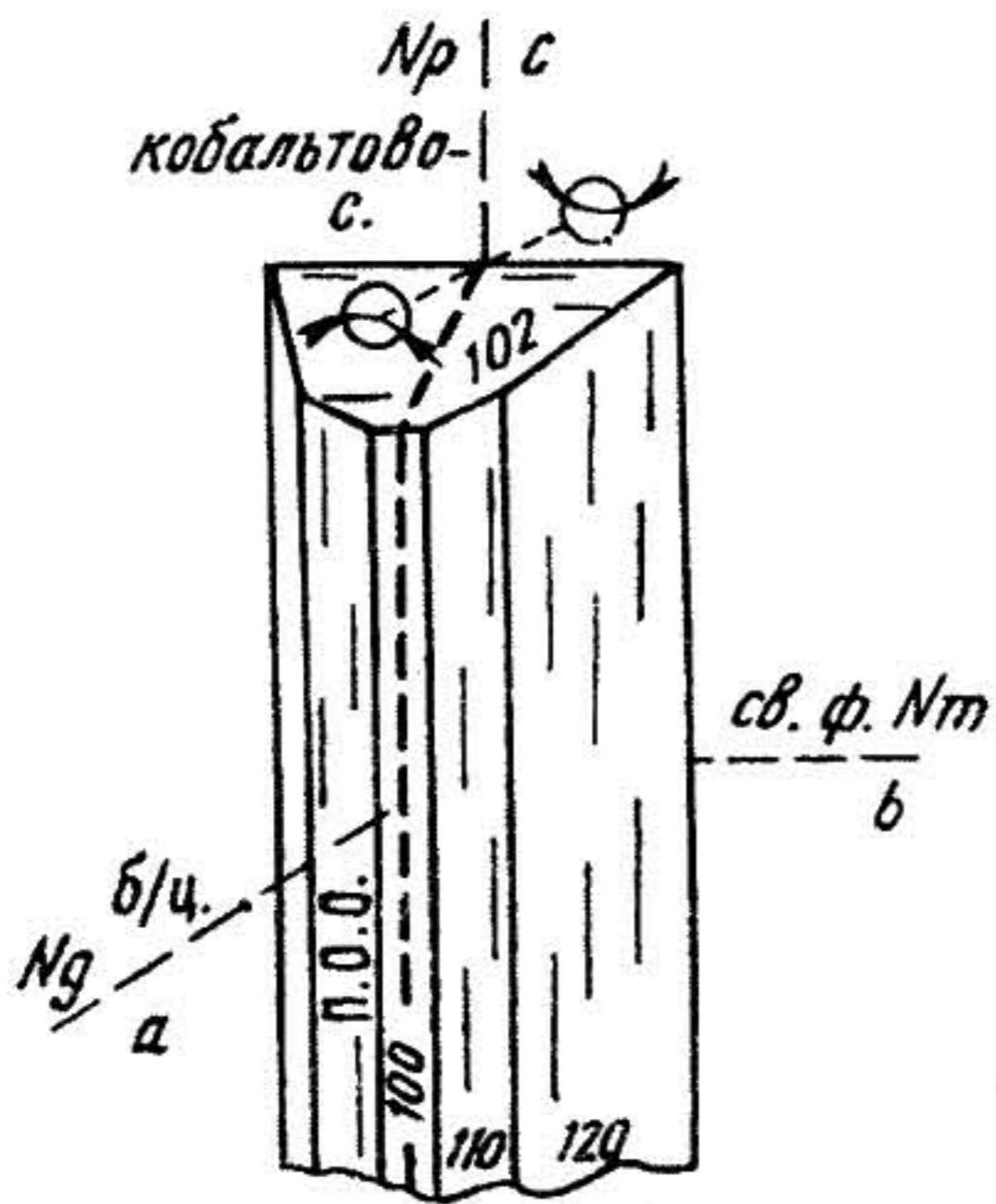


Рис. 197. Домортьерит

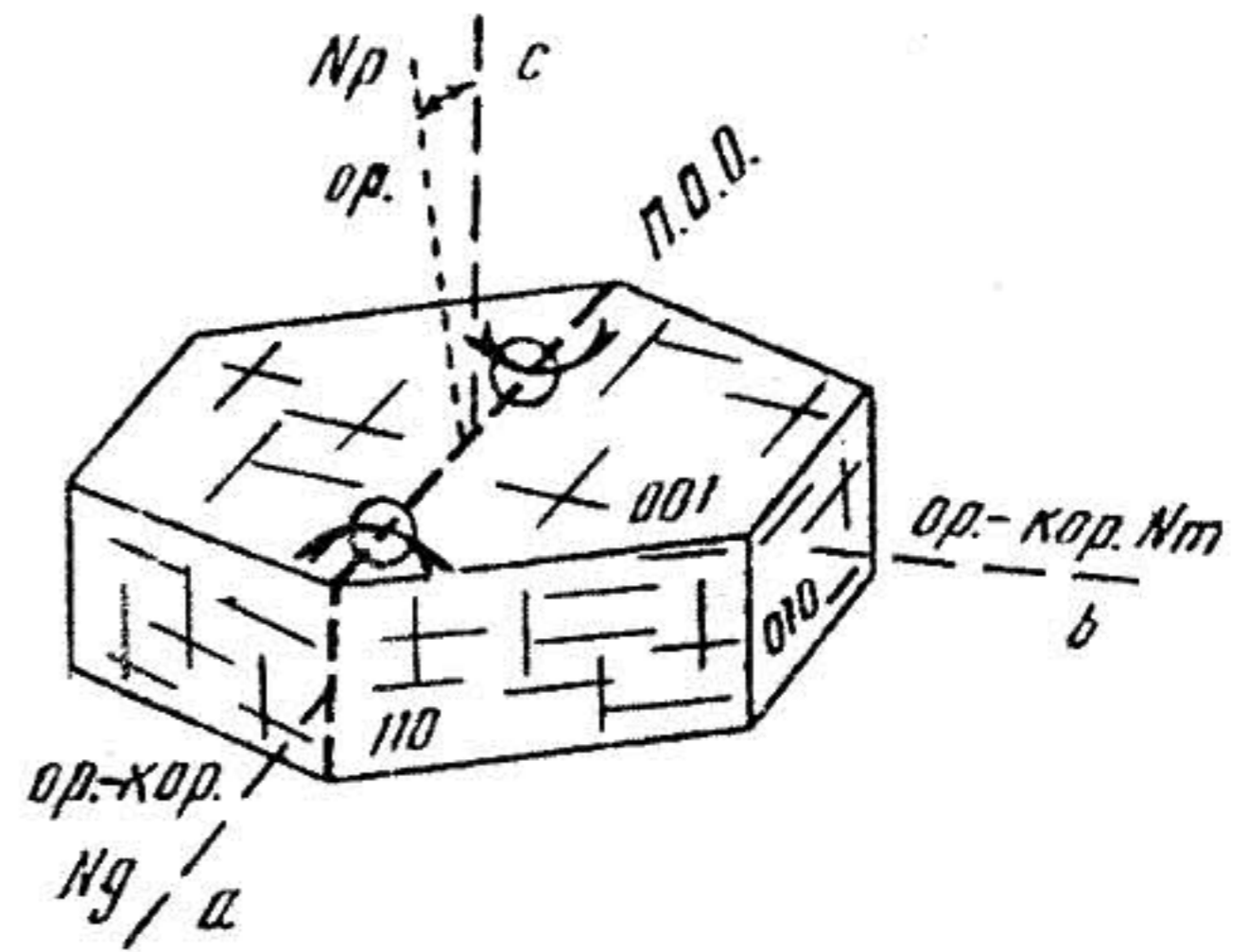


Рис. 198. Иддингсит

22° ; а: $N_p = 6^\circ$; б: $N_m = 0^\circ$. Знак главной зоны положительный. Плоскость оптических осей лежит в плоскости (010). Угол оптических осей $2U = 85^\circ$. Дисперсия по схеме $r > v$, слабая. Интерференционная окраска на разрезе, параллельном плоскости оптических осей, сине-зеленая, второго порядка, на разрезах, перпендикулярных N_g и N_p - желтая, первого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Титанистые роговые обманки, обыкновенные роговые обманки. От титанистых роговых обманок каринтин отличается минеральным парагенезисом, встречающийся только в метаморфических породах; от обыкновенной роговой обманки - меньшим двупреломлением.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Каринтин образуется в Р-Т условиях эклогитовой фации в парагенезисе с омфацитом, гранатом, плагиоклазом и др. минералами.

К р о с с и т - $Na_2Mg_3Fe^{3+}Al[Si_8O_{22}](OH,F)$. Моноклинная сингония. Группа амфиболов.

Встречается в виде длиннопризматических, пластинчатых, игольчатых, волокнистых кристаллов и неправильных зерен. Обладает совершенной спайностью по призме (110) и отдельностью по (001). На поперечном разрезе наблюдаются две системы трещин спайности, пересекающихся под углом 56° . В шлифах окрашен в синий цвет. Форма кристалла кроссита дана на рис.200.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,657$; $n_m = 1,656$; $n_p = 1,642$; $n_g - n_p = 0,015$. Обладает четким рельефом и шагреновой поверхностью. Плеохроизм умеренный: по N_g - фиолетово-синий; по N_m - лавандово-синий; по N_p - темно-синий. Абсорбция по схеме: $N_g > N_m > N_p$. Углы угасания: с: $N_m = 2-5^\circ$; а: $N_p = 11^\circ$; б: $N_g = 0^\circ$. Плоскость оптических осей перпендикулярна плоскости (010). Угол оптических осей - $2U = 0-40^\circ$. Дисперсия $r < v$, слабая. Интерференционная окраска на разрезе, перпендикулярных N_m - индигово-синяя, аномальная, первого порядка.

В к л ю ч е н и я. Содержит включения различных акцессорных минералов, кварца, плагиоклаза и др.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Турмалин, арфведсонит. От турмалина кроссит отличается прямой схемой абсорбции; от арфведсонита - характером удлинения и отрицательным знаком главной зоны.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Образуется в Р-Т условиях глаукофан-сланцевой фации жадеит-глаукофанового типа. Встречается в ас-

социации с гранатом, эпидотом, глаукофаном, цоизитом, жадеитом, плагиоклазом и др. минералами в различных сланцах, эклогитах и эпидотовых сланцах.

О р т и т (алланит) — $(Ca, Ce, Mn)_2(Al, Fe)_3[Si_3O_{12}](O, OH)$.
Группа эпидота. Содержит примеси лантана, иттрия и др. элементов.
Моноклинная сингония.

Ортит образует таблитчатые, призматические, редко игольчатые кристаллы, неправильные зерна и их агрегаты. Спайность совершенная по 001 и несовершенная по (100). В шлифе красно-бурый с примесью желтоватого. Окраска часто зональная. Типичны двойники. Часто находится в окружении или в сростании с эпидотом, цериевой разновидностью которого он является. Форма кристалла ортита дана на рис. 201.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Оптические свойства ортита сильно варьируют. При разложении вследствие радиоактивного распада становится изотропным и темнеет. Показатели преломления: $n = 1,751-1,820$; $n_m = 1,739-1,810$; $n_p = 1,627-1,788$; $n_g - n_p = 0,024-0,032$. Высокий рельеф, резкая шагреневая поверхность. У изотропного ортита показатель преломления $n = 1,540$. Плеохроизм резкий: по N_g — темно-красно-коричневый, серовато- или желтовато-коричневый, светло-зеленый; по N_m — красно-коричневый, светлый, желто-коричневый, темно-бурый; по N_p — бесцветный, желто-коричневый, зеленовато-коричневый, желтый, бурый. Схема абсорбции $N_g \geq N_m > N_p$. Угол погасания колеблется от 0° (по N_m) до $28-47^\circ$ (с: N_p). Знак главной зоны может быть положительным и отрицательным. Угол оптических осей — $2U = 70-90^\circ$. дисперсия $r \gg v$, очень сильная. Интерференционная окраска на срезах, перпендикулярных N_m , второго порядка. Характерным признаком является неоднородность даже в одном зерне и зональное строение. Плоскость оптических осей то параллельна, то перпендикулярна плоскости (010).

И з м е н е н и я. В отдельных случаях в результате наложенных процессов метаморфизма ортит изменяется в землистую массу.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Роговая обманка, биотит, меланит. От роговой обманки и биотита ортит отличается гораздо большим преломлением, неравномерностью окраски, зональностью, ассоциацией с эпидотом. От меланита изотропный ортит отличается по форме и значительно меньшему преломлению.

Г е н е з и с. Метаморфогенный и магматогенный. Как метаморфогенный ортит встречается в гнейсах и сланцах амфиболитовой фации регионального метаморфизма, в контактовых роговиках и скарнах пре-

имущественно, как акцессорный минерал. Магматогенный ортит является акцессорным минералом гранитов, пегматитов, диоритов, сиенитов и их эффузивных аналогов.

О з а н и т - $\text{Na}_2\text{Fe}_3^{2+}\text{Fe}_2^3 [\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH}, \text{F})$. Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

В шлифе встречается в виде волокнистых или столбчатых кристаллов, а также в форме неправильных зерен с совершенной спайностью по (010) и (001), пересекающимися на поперечном разрезе под углом 56° . Интенсивно окрашен в синевато-зеленый цвет. Форма кристалла озаннита дана на рис 202.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а Двусный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,699$; $n_m = 1,697$; $n_p = 1,695$; $n_g - n_p = 0,004$. Обладает резкой шагреневой поверхностью и рельефом. Угол угасания $c:n_p = 2-8^\circ$; $a:n_m = 17^\circ$; $b:n_g = 0^\circ$. Знак главной зоны отрицательный. Угол оптических осей - $2U$ большой - от 80 до 90° . Дисперсия оптических осей $r \geq v$. Характерен резкий плеохроизм со схемой абсорбции $N_g > N_p \gg N_m$; по N_g - темно-серо-синий, непрозрачный; по N_m - светло-коричнево-желтый, светло-зеленовато-желтый; по N_p - темно-стальной. Интерференционная окраска темно-серая, первого порядка. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010).

В к л ю ч е н и я. Отмечаются многочисленные включения апатита, циркона магнетита, сфена и др. минералов.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Турмалин, глаукофан, арфведсонит. От турмалина озаннит отличается прямой схемой абсорбции: от глаукофана - удлинением положительным; от арфведсонита - меньшим углом погасания $c:n_p$.

Г е н е з и с. Метаморфогенный, магматогенный. Метаморфогенный озаннит образуется в P-T условиях амфибол-роговиковой фации контактового метаморфизма. Встречается в различных роговиках и скарнах в ассоциации с кальцитом, пироксенами, флогопитом, плагиоклазом, эпидотом и др. минералами. Как магматогенный озаннит отмечается в щелочных породах совместно с эгирином, альбитом, калиевым полевым шпатом и др. минералами.

Р о г о в а я о б м а н к а - $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_4(\text{Al}, \text{Fe}) \times [\text{Si}, \text{Al}]_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH}, \text{F})_2$. Группа амфиболов. Моноклинная сингония. Химический состав сложный и непостоянный, что обуславливает колебание оптических свойств в широких пределах.

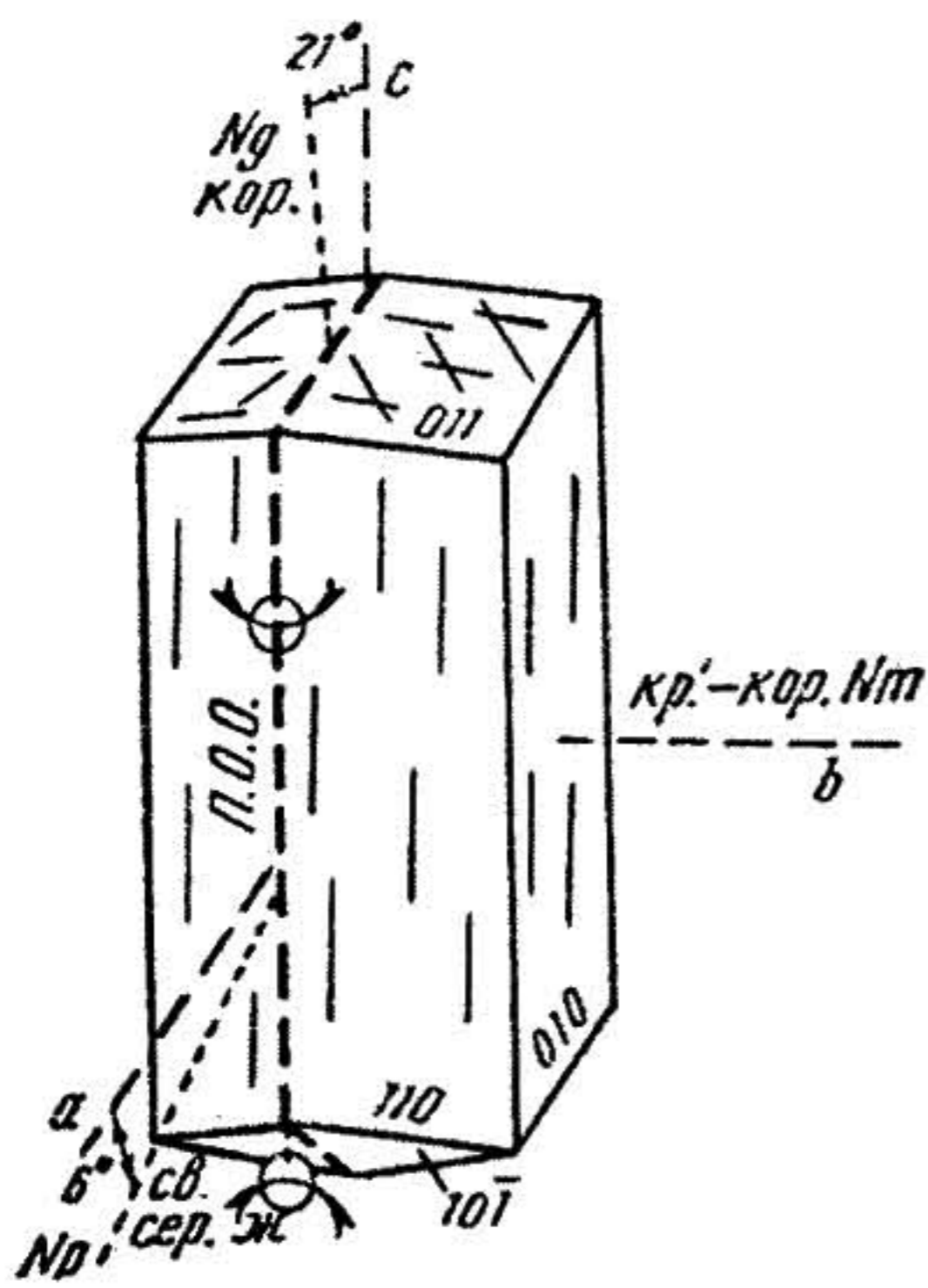


Рис. 199. Каринтин

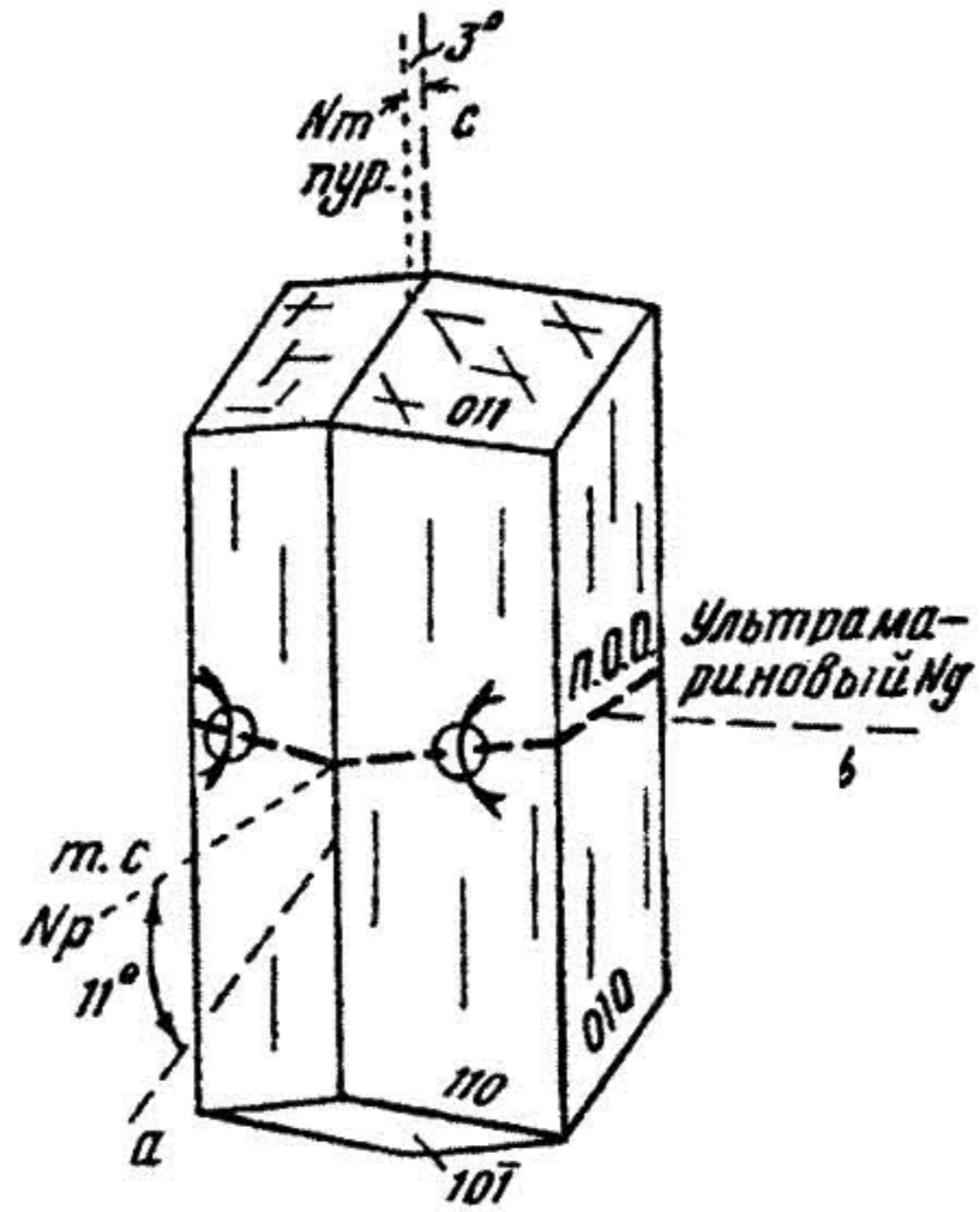


Рис. 200. Кроссит

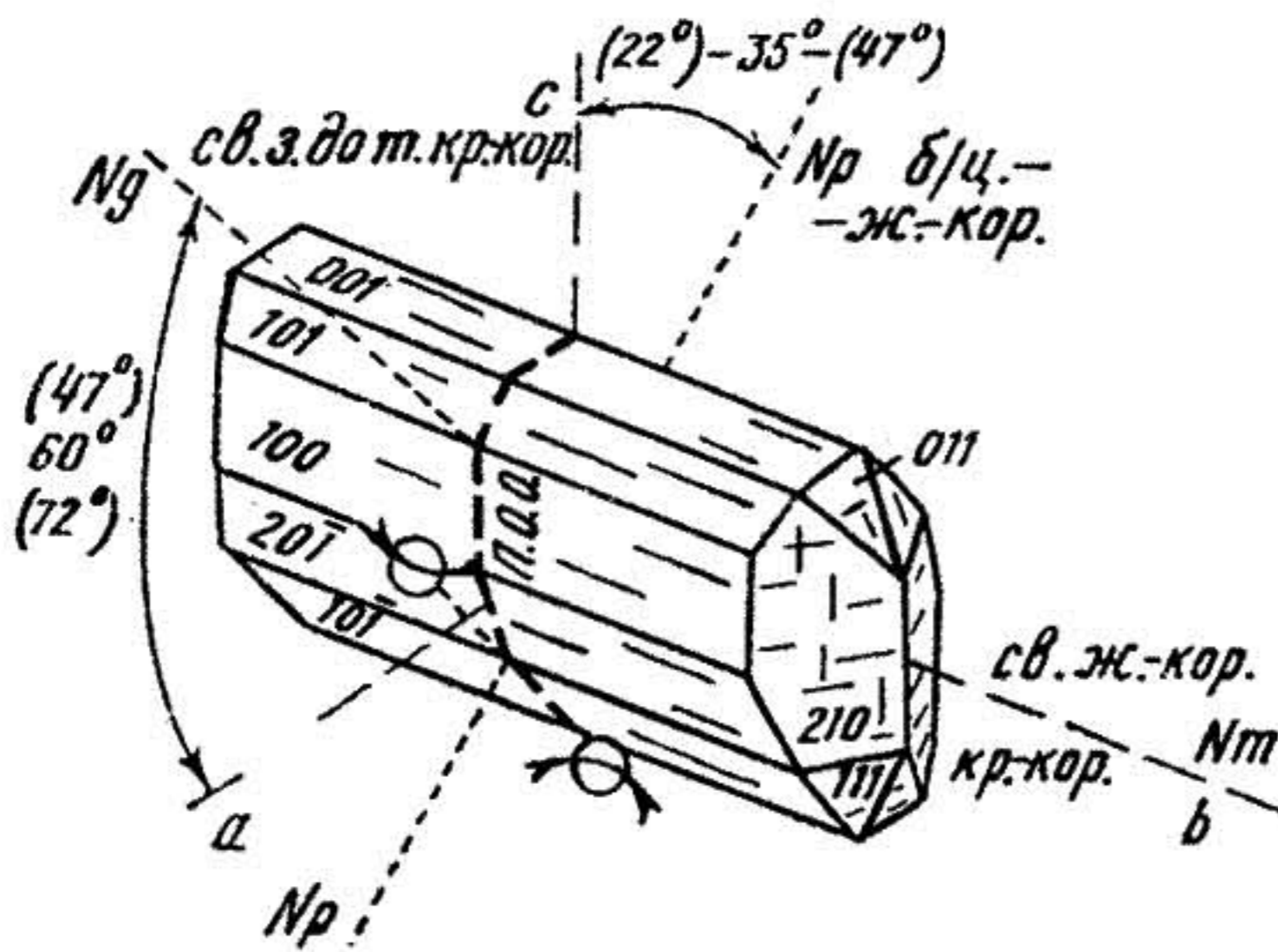


Рис. 201. Ортит

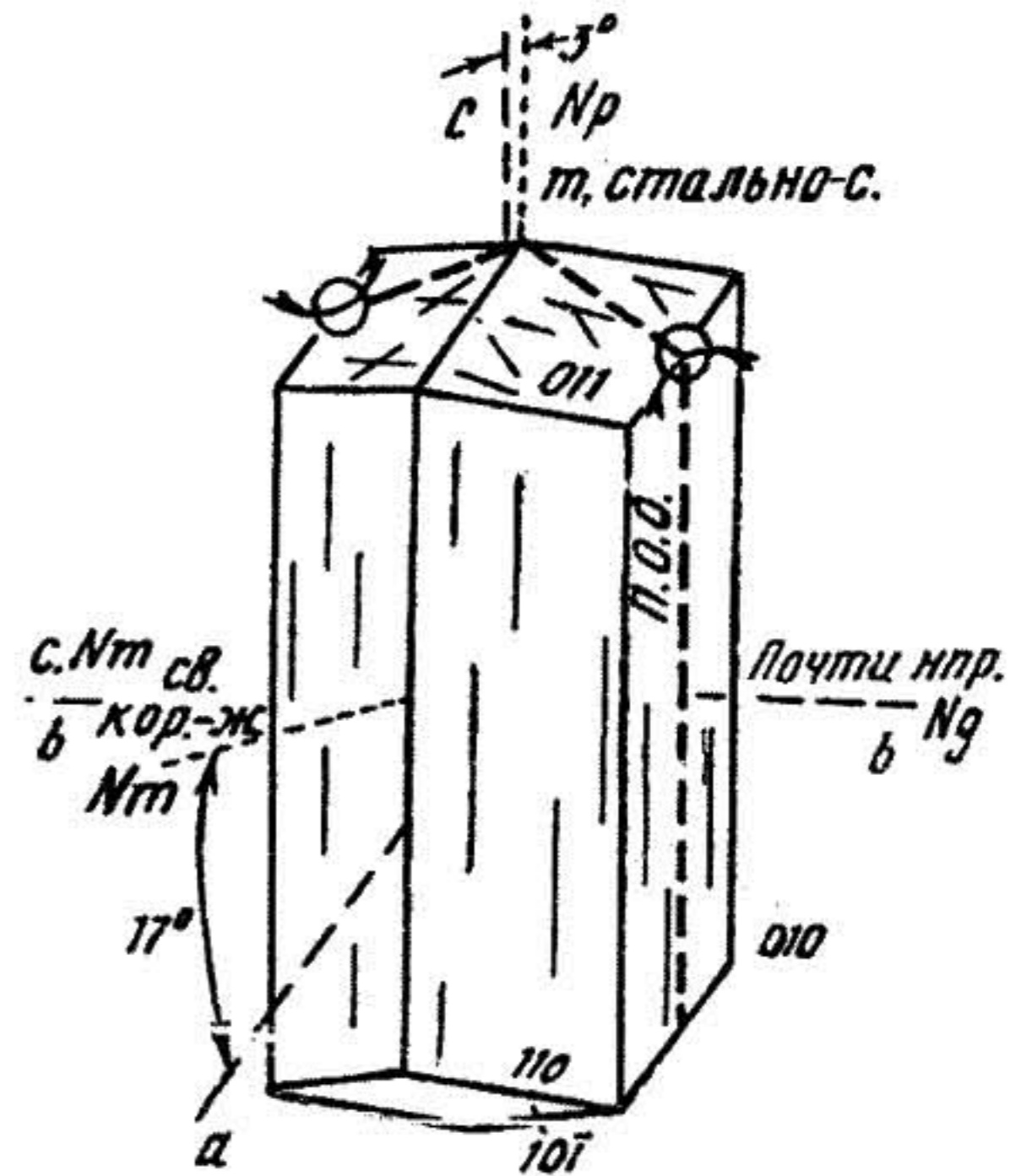


Рис. 202. Озанит

В шлифе имеет форму широкопластинчатых или удлиненнопризматических кристаллов, реже - короткопризматических или шестигранных (рис. 203). Образует и неправильные зерна. Спайность совершенная по призме, пересекающаяся на перпендикулярном срезе под углом в 56° . Нередко наблюдаются простые и полисинтетические двойники. Роговая обманка окрашена в зеленый цвет различной интенсивности. Форма кристалла роговой обманки дана на рис. 204.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,644-1,704$; $n_m = 1,637-1,697$; $n_p = 1,630-1,678$; $n_g - n_p = 0,014-0,026$. Резкая шагреновая поверхность и высокий рельеф. Угол угасания с: M_g изменяется от 14 до 25° . Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей - $2U = 63-87^\circ$. Дисперсия оптических осей $r < v$. Сильный плеохроизм по схеме $M_g > M_m > M_p$; по M_g - густо-зеленый, буровато-зеленый или красновато-бурый; по M_m - зеленый, оливково-зеленый или светло-бурый; по M_p - желтовато-зеленый, желтоватый, коричневатый. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (OIO). Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных M_m , синяя, красная, желтая, второго порядка. Лучше всего она наблюдается в краях зерен, т.к. в центре маскируется собственным цветом.

В к л ю ч е н и я. В роговой обманке часто наблюдаются включения апатита, циркона, сфена, ортита, магнетита, титано-магнетита, рутила (сагенита). В эффузивах наблюдаются включения вулканического стекла.

Р а з н о в и д н о с т и. Уралит - псевдоморфоза роговой обманки по пироксенам.

И з м е н е н и я. При наложенных процессах метаморфизма по роговой обманке развиваются биотит, тальк, эпидот, антигорит, хлорит и кальцит с одновременным образованием сфена, магнетита, кварца.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Эгирин, турмалин. От эгирина роговая обманка отличается большим углом угасания, схемой абсорбции, положительным удлинением и углом между двумя системами спайности (у эгирина он равен 87°); от турмалина - наличием совершенной спайности и схемой абсорбции по удлинению.

Г е н е з и с. Метаморфогенный, магматогенный. Образование роговой обманки обусловлено региональным метаморфизмом альмандин-амфиболитовой фации и в какой-то мере - эпидот-амфиболитовой фации. В данном случае роговая обманка находится в парагенезисе с биотитом, гранатом, плагиоклазом, кварцем, пироксеном, кальцитом, эпидотом и др минералами. Как типичный магматогенный минерал роговая обманка характерна многим изверженным породам - диоритам, габбро, горнблендитам, перидотитам и гранатам.

С а п ф и р и н - $Mg_2[Al_4Si_1O_{10}]$. Содержит примесь железа, изоморфно замещающего магний. Моноклинная сингония.

Встречается в виде таблитчатых несовершенных кристаллов с редкими призматическими гранями. Спайность отсутствует. В шлифе бес-

цветный или окрашенный в синий цвет различных оттенков. Форма кристаллов сапфирина дана на рис. 205.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,711-1,720$; $n_m = 1,709-1,719$; $n_p = 1,705-1,714$; $n_g - n_p = 0,006$. Плеохроизм у окрашенных разновидностей по схеме $N_g > N_m > N_p$; по N_g - темно-синий, сапфирово-синий; по N_m - светло-зеленый; по N_p - бесцветный, розоватый, желтоватый. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Углы угасания: $c : N_g = 6-8^\circ 30'$; $a : N_p = 16-18^\circ 30'$; $b : N_m = 0^\circ$. Знак главной зоны может быть положительным или отрицательным. Угол оптических осей - $2U = 50-70^\circ$. Дисперсия наклонная $r < v$, сильная. Интерференционная окраска на разрезе, параллельном плоскости оптических осей, первого порядка, затушевывается собственным цветом минерала. У бесцветных разновидностей - темно-серая, серая, первого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Корунд, цоизит, дистен, синие амфиболы, окрашенный кордиерит. От корунда сапфирин отличается двуосностью (корунд - одноосный, отрицательный); от цоизита - отрицательным оптическим знаком и отсутствию спайности; от дистена и синих амфиболов - по отсутствию спайности; от кордиерита - по более высокому двупреломлению и отсутствию двойников.

Г е н е з и с. **М е т а м о р ф о г е н н ы й.** Образуется в $P-T$ условиях регионального метаморфизма амфиболитовой и гранулитовой фации в ассоциации с кордиеритом, шпинелью, силлиманитом, гиперстеном, антофиллитом, анортитом и гранатом.

С т и л ь п н о м е л а н - $(K, Na, Ca)_{0.3}(Mg, Fe, Al)_{3.3}[Si_4O_{10}](OH)_4$.

Образует псевдогексагональные таблички, листочки, листоватые агрегаты. Спайность совершенная по (001) и несовершенная по (010). В шлифе окрашен в зеленый, желтый или коричневый цвет. Форма кристалла стильномелана приведена на рис. 206.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный. Оптические константы изменяются в зависимости от химического состава. У обогащенных трехвалентным железом разновидностей значительно повышается преломление: $n_g = 1,576-1,735$; $n_m = 1,576-1,735$; $n_p = 1,546-1,625$; $n_g - n_p = 0,030-0,110$. Высокий рельеф, резкая шагреневая поверхность. Плеохроизм сильный: по $N_g - N_m$ - темно-зеленый, темно-оливково-коричневый; по N_p - светло-желтый, золотисто-желтый. Абсорбция по схеме $N_g = N_m > N_p$. Угасание прямое. Знак главной зоны положительный. Пл. о.о. параллельна плоскости (010). Угол оптичес-



Рис.203. Роговая обманка в амфиболите (увел.20, николи //)

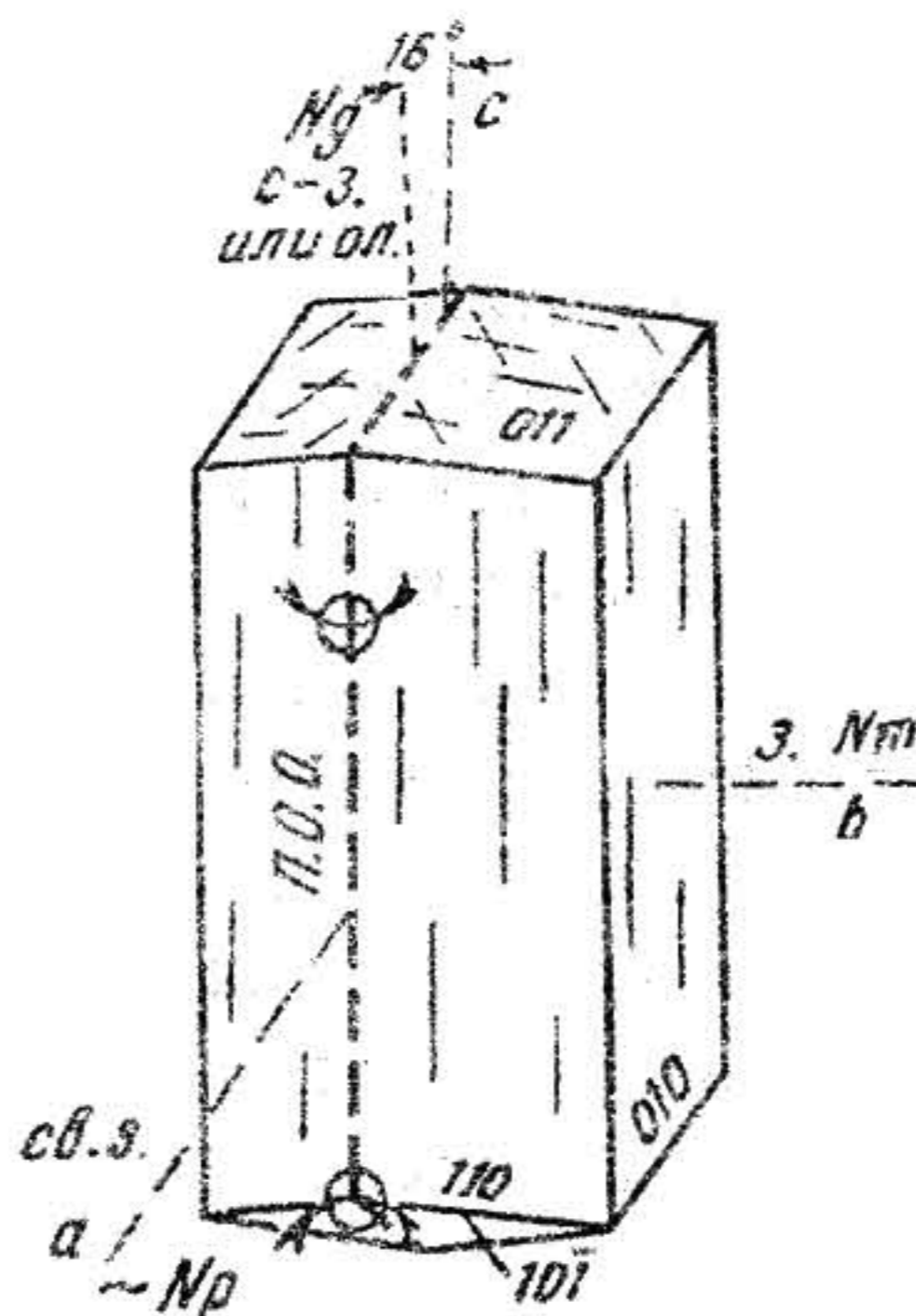


Рис.204. Роговая обманка

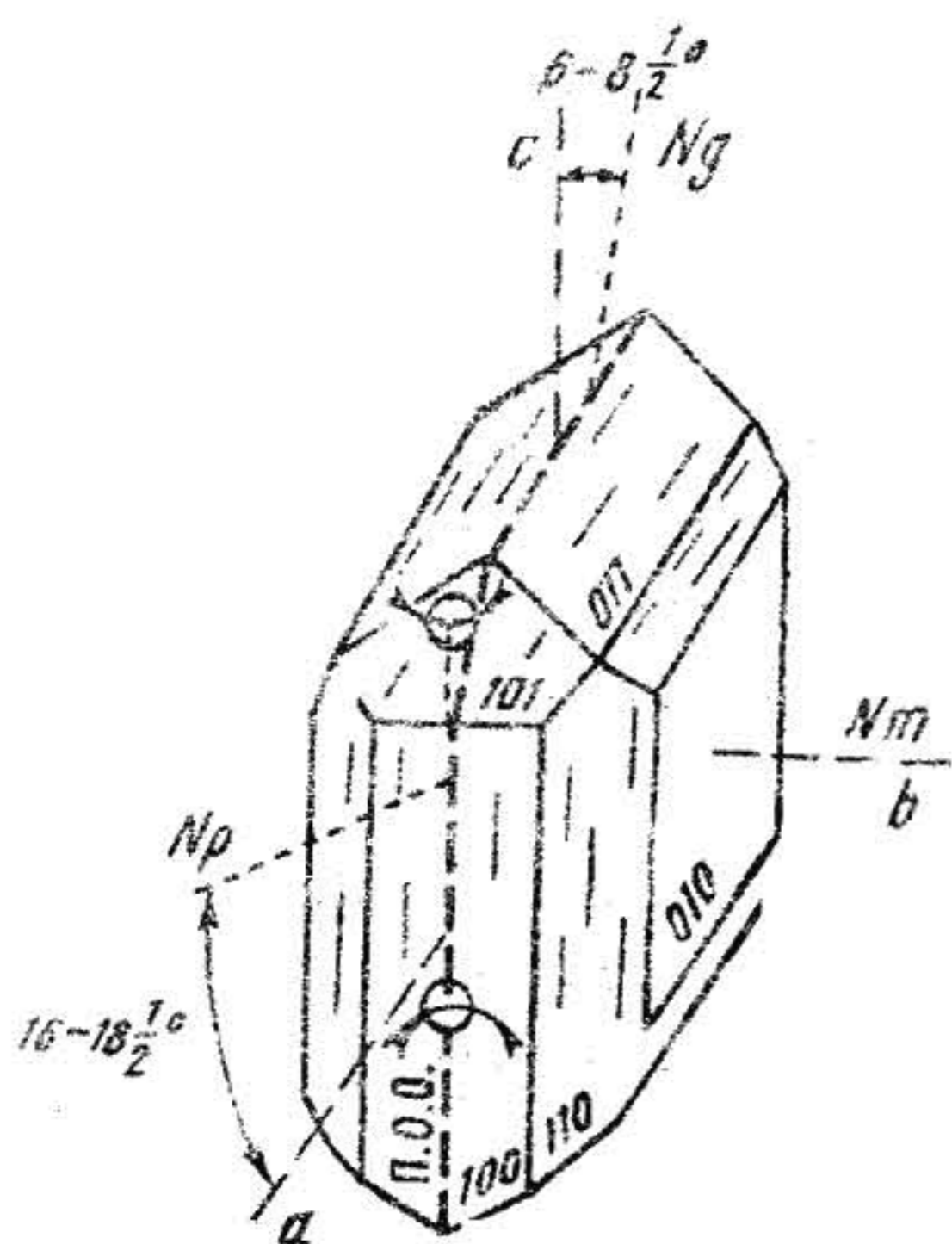


Рис.205. Сапфирин

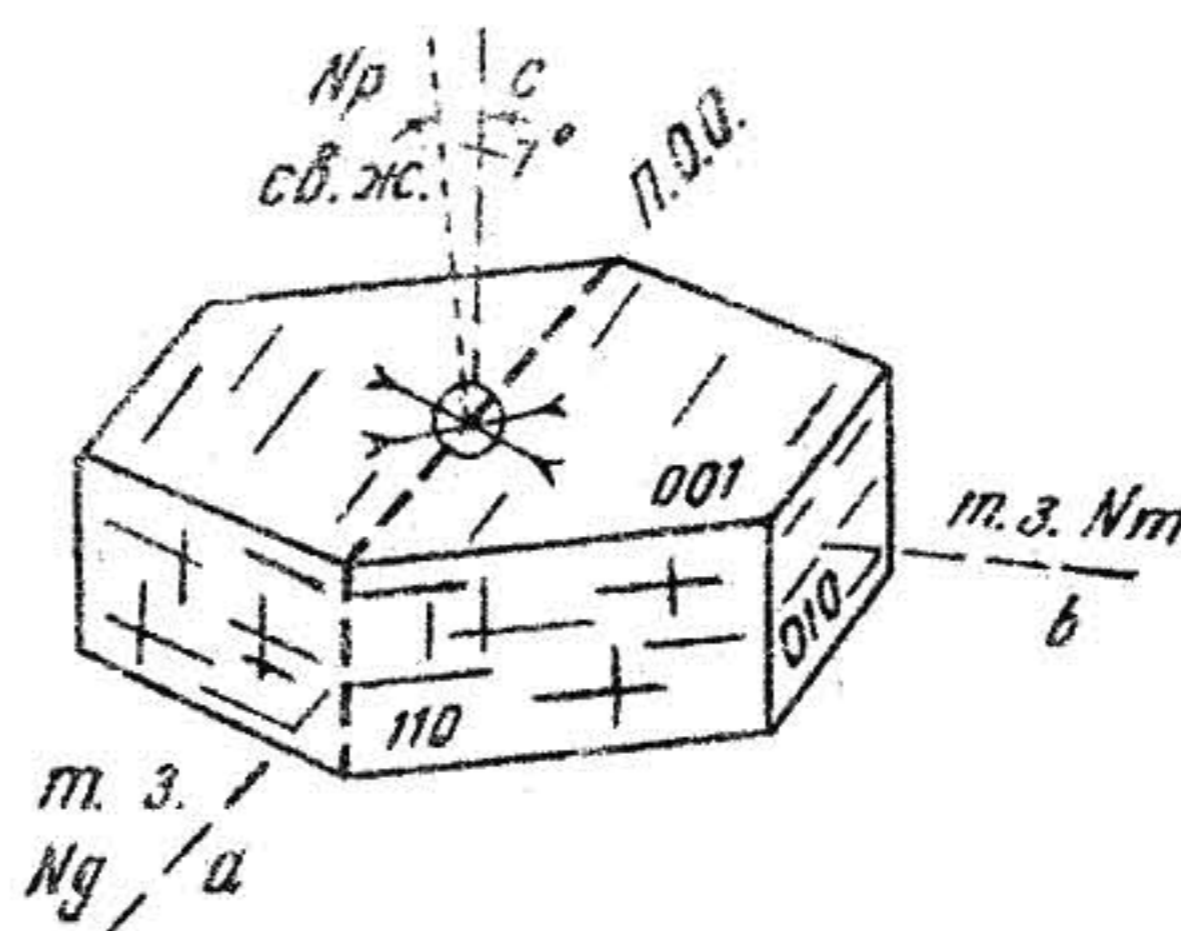


Рис.206. Стильномелан

ких осей - $2U = 0^\circ$. Интерференционная окраска в сечениях, параллельных плоскости оптических осей, от второго до четвертого порядка.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Биотит, хлоритоид. От биотита стильномелан отличается менее совершенной спайностью по (001) и наличием второй, несовершенной спайности, а также желтым оттенком в окраске по N_p ; от хлоритоида - меньшим углом оптических осей - $2U$, прямым угасанием и более высоким двупреломлением.

Г е н е з и с. Метаморфогенно-гидротермальный. Стильномелан образуется при процессах регионального метаморфизма пренит-пумпеллитовой фации. Встречается в парагенезисе с пренитом, пумпеллитом, кварцем, хлоритом, альбитом, доломитом и др. минералами. Гидротермальный стильномелан формируется в трещинах железных руд в ассоциации с магнетитом, пиритом, кальцитом и кварцем.

Ф е р р о а к т и н о л и т - $\text{Ca}_2\text{Fe}_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH}, \text{F})_2$. Группа амфиболов. Моноклинная сингония.

В шлифе образует длиннопризматические, игольчатые, волокнистые кристаллы без концевых граней. Обладает простыми и полисинтетическими двойниками. Спайность совершенная по призме (110), пересекающаяся на определенных разрезах под углом 56° . В шлифе окрашен в зеленый цвет.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,704$; $n_m = 1,699$; $n_p = 1,688$; $n_g - n_p = 0,016$. Четкий рельеф и шагреневая поверхность. Обладает плеохроизмом: по N_g - светло-зеленый; N_m - зелено-желтый; N_p - светло-желто-зеленый. Абсорбция по схеме: $N_g > N_m > N_p$. Угол угасания $\alpha: N_g = 12-18^\circ$. Плоскость оптических осей параллельна (010). Знак главной зоны положительный. Угол оптических осей - $2U$ около 74° . Дисперсия $r < v$, слабая. Интерференционная окраска на разрезах, перпендикулярных N_g - желтовато-серая, первого порядка; N_m - синевато-зеленая, второго порядка; N_p - желтая, первого порядка.

И з м е н е н и я. При наложенных процессах метаморфизма по ферроактинолиту развивается хлорит, эпидот, тальк.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Эгирин, роговая обманка. От эгирина ферроактинолит отличается меньшим преломлением и двупреломлением; от роговой обманки - меньшим углом угасания и формой кристаллов.

Г е н е з и с. Метаморфогенный. Типичный минерал metabазитов зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций регионального метаморфизма. Кроме того, ферроактинолит образуется в породах альбит-эпидот-роговиковой фации контактового метаморфизма. Широко распространен в парагенезисах с кварцем, альбитом, биотитом, хлоритом, мусковитом, эпидотом, кальцитом и др. минералами.

Г р у п п а х л о р и т о в с общей формулой $(\text{Mg}, \text{Fe})_{6-n}(\text{Al}, \text{Fe})_n\text{Al}_n[\text{Si}_{4-n}\text{O}_{10}](\text{OH})_8$, где n - до 2. Термин хлорит собирательный, охватывающий большое число весьма сходных между собой ми-

неральных видов. Хлориты - это богатые водой магниевые и железистые алюмосиликаты со слоистой структурой. Состав их переменный. В хлоритах наблюдается несколько видов изоморфизма: $Mg \rightarrow Fe^{2+}$,

$SiMg \rightarrow Al, Al, SiMg \rightarrow AlFe^{3+}$. В зависимости от состава - общей железистости (f) и содержания Si в единицах кристалло-химической формулы К.В.Кеппелинскиас выделяет пять основных разновидностей хлоритов: корундофилиты ($f \leq 25\%$; $Si < 2,8$), клинохлор - пеннины ($f < 25\%$; $Si > 2,8$), рипидолиты ($f = 25-75\%$; $Si < 2,8$), прохлориты ($f = 25-75\%$; $Si > 2,8$) и тюрингиты ($f > 75\%$). Корундофилиты - самые глиноземистые хлориты, клинохлор-пеннины - магниевые, тюрингиты - самые железистые (рис.207). Ниже приведены некоторые хлориты - пеннин, клинохлор, прохлорит, шамозит и тюрингит с их оптическими константами и основными физическими свойствами.

П е н н и н - $(Mg, Fe)_5 Al [AlSi_3O_{10}] (OH)_8$. Группа хлорита. Моноклинная сингония.

Пластинчатые псевдогексагональные и таблитчатые кристаллы, неправильные чешуйки, листоватые агрегаты, псевдоморфозы по биотиту. Нередки простые двойники. Спайность весьма совершенная в одном направлении (001). В шлифе окрашен в желтовато-зеленоватый цвет. Форма кристалла пеннина дана на рис.208.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления $n_g = n_m = 1,571$; $n_p = 1,569$; $n_g - n_p = 0,002$ (0-0,004). Рельеф и шагреньевая поверхность отсутствуют. Плеохроизм очень слабый; по n_g - светло-желто-зеленый; по n_m - светло-зелено-желтый; по n_p - бесцветный, синевато-зеленый. Абсорбция $n_g < n_m \approx n_p$. Угол угасания по спайности 0-3°. Знак главной зоны положительный. Плоскость оптических осей параллельна (010). Угол оптических осей $2U$ небольшой до 0°. Дисперсия $r > v$. Интерференционная окраска аномальная - индигово-синяя, пятнистая. Иногда почти изотропный, или очень слабо действует на поляризованный свет.

В к л ю ч е н и я. Хлорит-пеннин унаследует многочисленные включения замещаемых минералов: различные акцессорные минералы - сфен, циркон, монацит, апатит и др., а также кварц, полевые шпаты и др. Вокруг циркона, монацита, ортита наблюдаются плеохроичные камки.

П с к о ж и е м и н е р а л ы. Антигорит, который отличается от пеннина большим углом оптических осей - $2U = 27-60^\circ$; слюды - биотит, флогопит, мусковит и лепидолит - обладают значительно более высокими двупреломлением.

Г е н е з и с. **Метаморфогенный, гидротермальный.** Хлорит – пеннин метаморфогенного генезиса является одним из породообразующих минералов метапеллитов регионального метаморфизма зеленосланцевой фации. Он отмечается в парагенезисе с кварцем, альбитом, биотитом, серицитом, эпидотом, турмалином, актинолитом, пиритом и др. минералами. Как гидротермальный, постмагматический пеннин образуется во многих магматических породах, как вторичный минерал по биотиту, роговой обманке, пироксенам, оливину, гранату и в отдельных случаях по плагиоклазу.

Т ю р и н г и т – $Fe_{3,5}(Al, Fe)_{1,5}[Al_{1,5}Si_{2,5}O_{10}](OH)_8$. Группа хлорита. Моноклинная сингония.

Тюрингит образует пластинчатые, псевдогексагональные и таблитчатые кристаллы, изометричные чешуйки, листоватые агрегаты. Спайность весьма совершенная в направлении (001). В шлифе окрашен в желтовато-зеленоватый цвет. Оптическая ориентировка в кристалле дана на рис. 209.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, обладающий показателями преломления: $n_g = 1,01-1,683$; $n_m = 1,596-1,682$; $n_p = 1,595-1,669$; $n_g - n_p = 0,016-0,014$. Рельеф и шагреневая поверхность отсутствуют. Плеохроизм ясный: по N_g – темно-зеленый; по N_m – темно-зеленый; по N_p – почти бесцветный. Схема абсорбции $N_g \approx N_m > N_p$. Угол угасания по спайности $0-2^\circ$. Знак главной зоны положительный. Плоскость оптических осей параллельна (010). Угол оптических осей – $2U$ до 30° . Дисперсия $r > v$. Интерференционная окраска аномальная – желтовато-зеленовато-серая, индигово-синяя, пятнистая.

В к л ю ч е н и я. Тюрингит содержит включения различных, преимущественно акцессорные минералы – циркон, сфен, апатит, монацит, и др. Вокруг радиоактивных минералов отмечаются плеохроичные дворики.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Слюды – биотит, флогопит и мусковит, которые обладают значительно более высоким двупреломлением; от пеннина тюрингит отличается величиной угла оптических осей (у пеннина – $2U = 0^\circ$, у тюрингита – $2U = -30^\circ$).

Г е н е з и с. **Метаморфогенный, гидротермальный.** Тюрингит метаморфогенного генезиса встречается в железорудных месторождениях, а также в породах зеленосланцевой фации в парагенезисе с кварцем, альбитом, биотитом, мусковитом, эпидотом и др. минералами. Гидро-

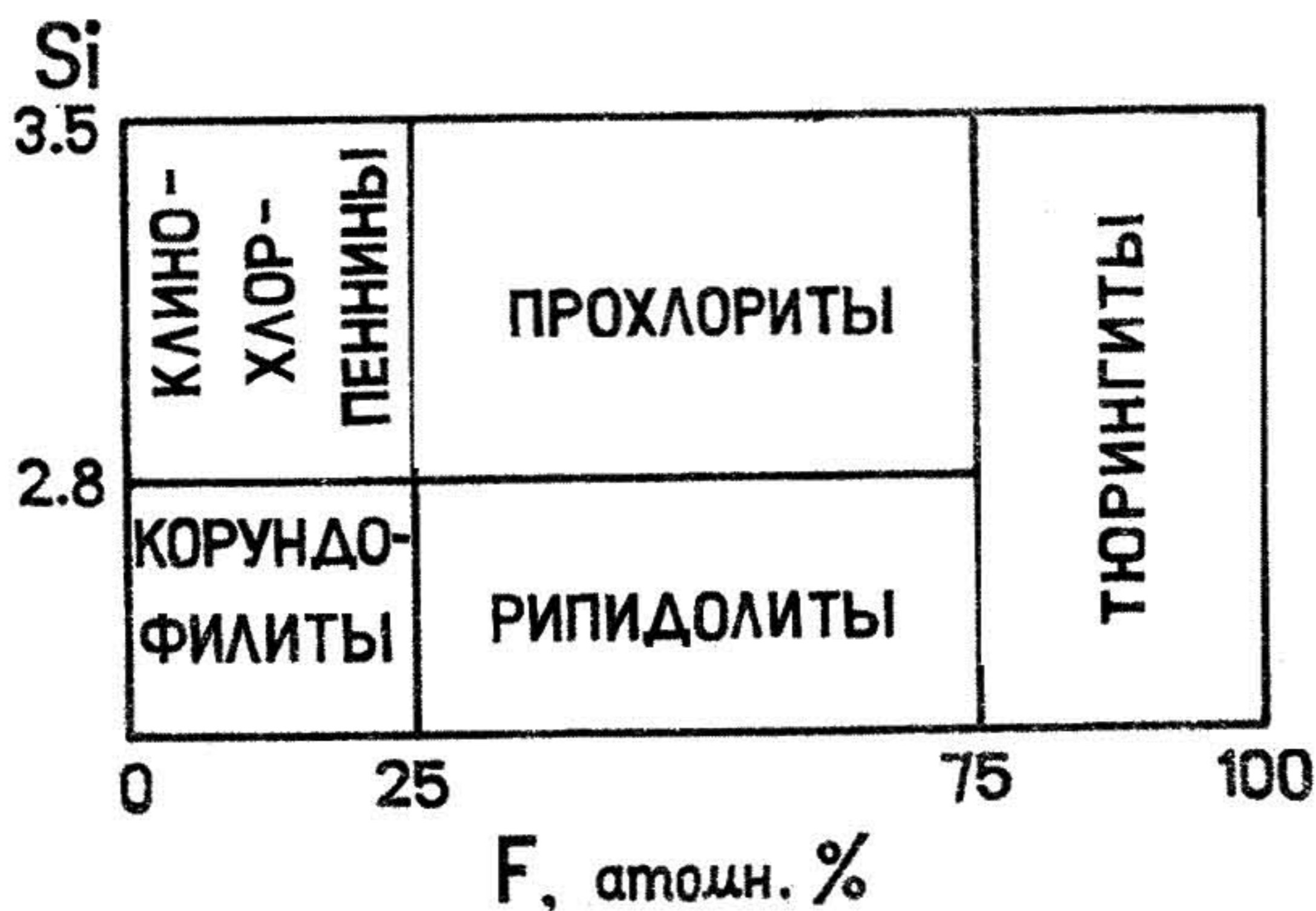


Рис.207. Классификация хлоритов, основанная на парагенетическом принципе по данным К.Б.Кеппежинскаса (1965)

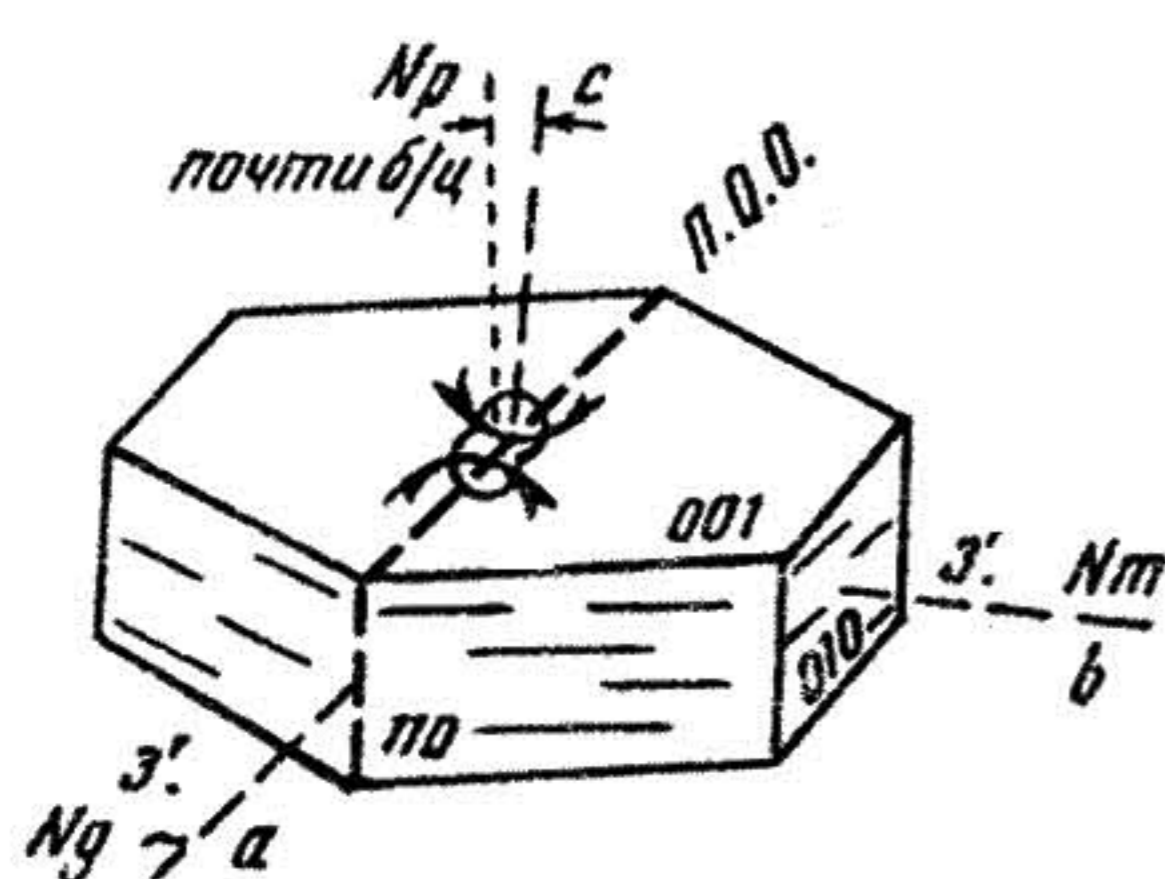


Рис.208. Пеннин

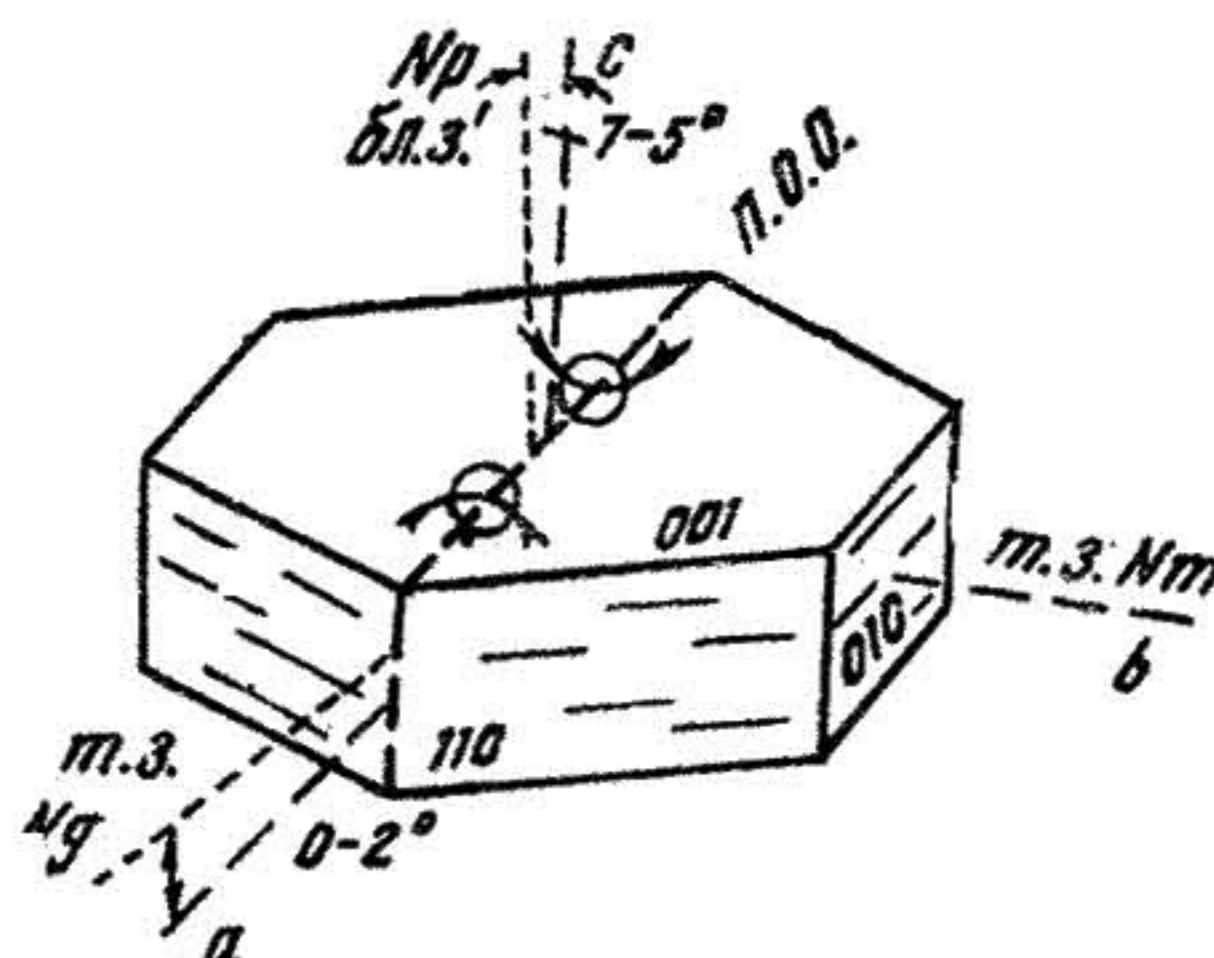


Рис.209. Тюрингит

термальный тюрингит развивается как вторичный минерал по гранату, биотиту, роговой обманке и пироксенам.

Прохлорит - $(\text{Mg, Fe})_{4,5} \text{Al}_{1,5} [\text{Al}_{1,5} \text{Si}_{2,5} \text{O}_{10}] (\text{OH})_8$.
Группа хлорита. Моноклинная сингония.

Прохлорит образует таблитчатые, псевдогексагональные кристаллы, чешуйчатые агрегаты. Спайность весьма совершенная в направлении (001). В шлифе окрашен в зеленоватый цвет. Оптическая ориентировка осей в кристалле прохлорита дана на рис.210.

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двуосный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,601-1,683$; $n_m = 1,597-1,632$; $n_p = 1,595-1,669$; $n_g - n_p = 0,006-0,014$.

Рельеф и шагреневая поверхность отсутствуют. Плеохроизм слабый; по n_g - желто-зеленый; по n_m - зеленовато-желтый; по n_p - синевато-зеленый; бесцветный. Схема абсорбции n_g n_m n_p . Угол угасания по спайности от 0 до 5° . Знак главной зоны отрицательный. Плоскость оптических осей параллельна (010). Дисперсия $\sigma > \tau$. Угол оптических осей - 2γ до 20° . Интерференционная окраска аномальная - зеленовато-желтовато-серая, индигово-синяя, первого порядка.

В к л ю ч е н и я. Прохлорит содержит включения преимущественно аксессуарных минералов - сфена, апатита, циркона и др. минералов. Вокруг некоторых из них отмечаются плеохроичные дворники.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Слюды - биотит, флогопит, мусковит, которые характеризуются значительно более высоким двупреломлением; от пеннина прохлорит отличается величиной угла оптических осей (у пеннина - $2\gamma = 0^\circ$).

Г е н е з и с. Метаморфогенный, гидротермальный. Прохлорит метаморфогенного генезиса встречается в породах зеленосланцевой фации в парагенезисе с кварцем, альбитом, биотитом, мусковитом, эпидотом и др. минералами. Гидротермальный прохлорит отмечается в жилах альпийского типа, а также как вторичный минерал по биотиту, роговой обманке и гранату.

Э г и р и н (акмит) - $NaFe[Si_2O_6]$. Группа клинопироксенов. Моноклинная сингония.

Образует призматические, восьмигранные, реже шестигранные, удлиненно-призматические, лучистые кристаллы с тупыми окончаниями (эгирин), остроконечные (акмит) и радиально-лучистые агрегаты. Часто неправильные зерна. Спайность совершенная по (110), ясная по (010), пересекается под углом 87° . Под микроскопом имеет очень густой зеленый или травяно-зеленый цвет (эгирин), или бурый, желтовато-бурый (акмит). Двойники довольно часты. Нередко наблюдается зональное строение, причем с более светлой окраской к краям. Иногда, наоборот, в центральной части располагается бесцветная зона. Форма кристаллов эгирина дана на рис.211.

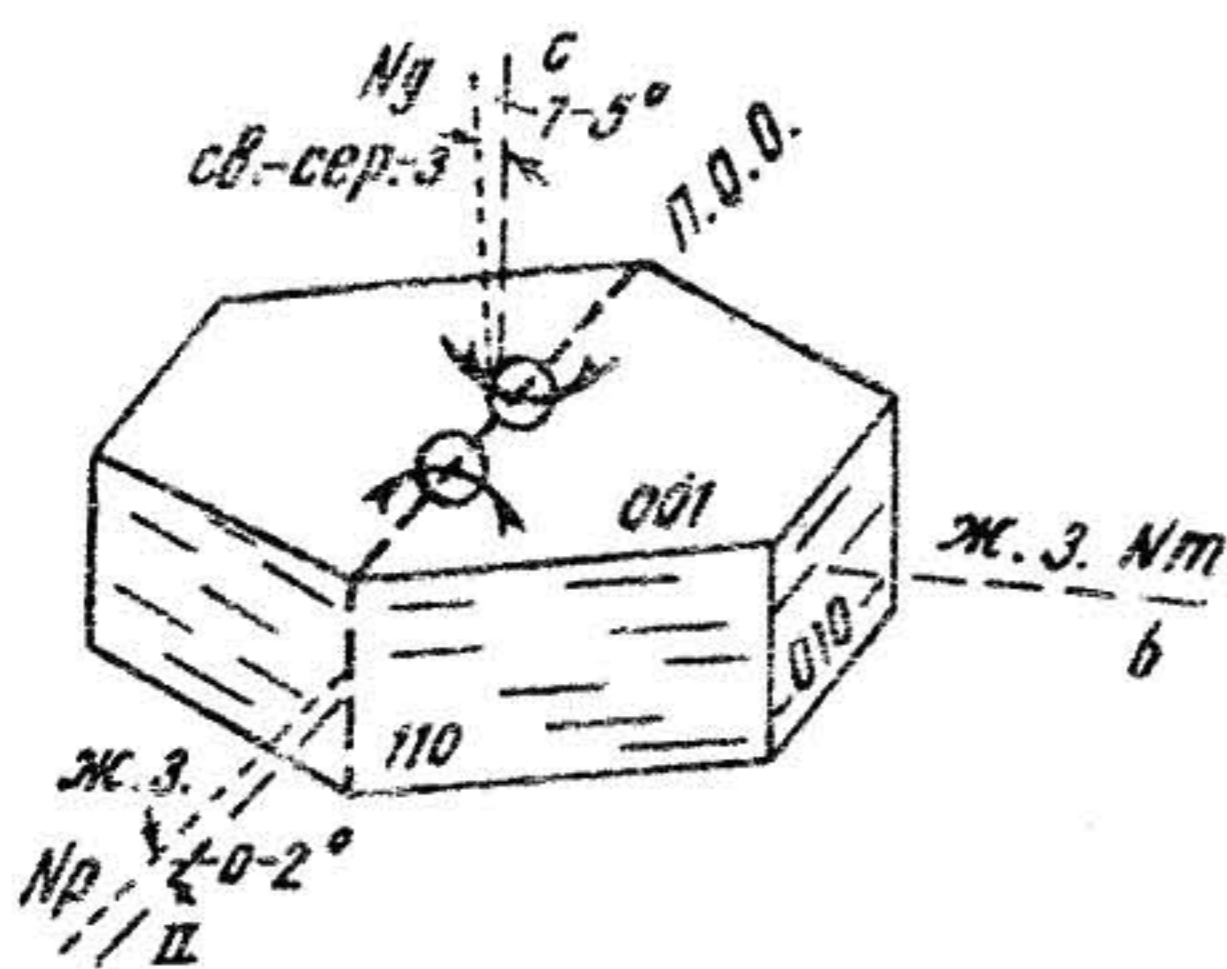


Рис. 210. Прохлорит

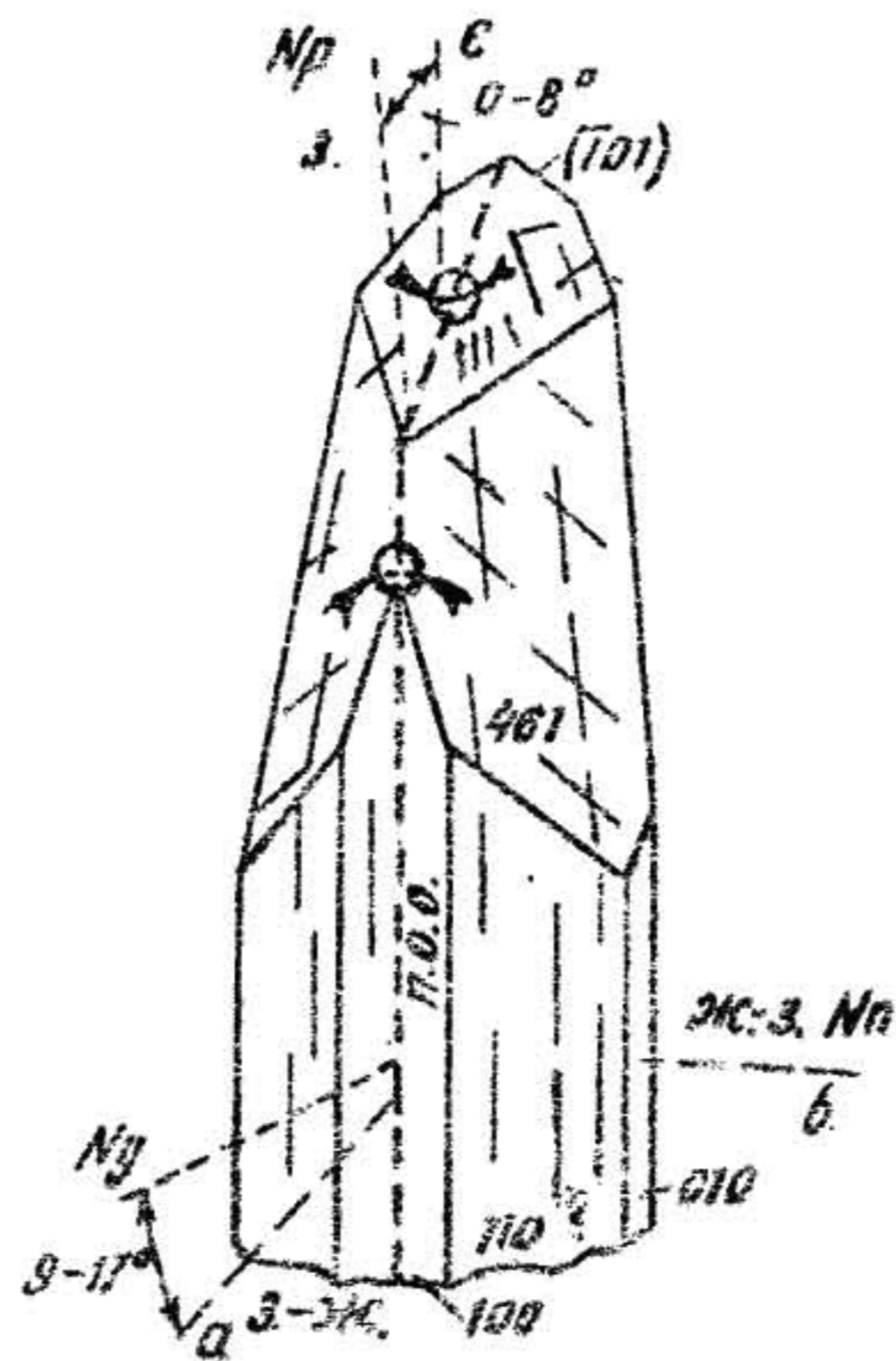


Рис. 211. Эгирин

О п т и ч е с к и е с в о й с т в а. Двусенный, отрицательный, имеющий показатели преломления: $n_g = 1,836$; $n_m = 1,821$; $n_p = 1,776$; $n_g - n_p = 0,060$. Резкая шагреновая поверхность и высокий рельеф. Угол угасания с с: M_p изменяется от 0 до 8° . Знак главной зоны отрицательный. Угол оптических осей - $2Y = 60-70^\circ$. Сильная дисперсия по схеме $r > v$. Сильный плеохроизм: по M_g - буровато-желтый, желтовато-бурый, желтый; по M_m - желтовато-зеленый, светло-бурый, травяно-зеленый; по M_p - светло-зеленый, темно-зеленый, зеленый. Абсорбция по схеме: $M_p > M_m > M_g$ - обратная роговой обманке. Плоскость оптических осей параллельна плоскости (010). Интерференционная окраска на срезах, перпендикулярных M_m , четвертого порядка, которая замаскирована собственной окраской эгирина.

В к л ю ч е н и я. Эгирин содержит иногда значительное количество включений магнетита, циркона, апатита, сфена и газовой-жидкой фазы.

Р а з н о в и д н о с т и. Эгирин образует непрерывные изоморфные ряды с авгитом (эгирин-авгитом) (рис. 95), геденбергитом (эгирин-геденбергит). Урбанит-эгирин с примесью марганца, повышенным содержанием кальция и магния.

И з м е н е н и я. В постмагматическую стадию под воздействием метасоматических процессов по эгирину развиваются щелочные амфиболы.

При процессах выветривания по эгирину формируются гидроокислы железа и опал.

П о х о ж и е м и н е р а л ы. Роговые обманки, от которых эгирин отличается обратной схемой абсорбции, малым углом угасания, отрицательным удлинением, высокой интерференционной окраской и углом между трещинами спайности по призме - у роговых обманок угол равен 56° . От турмалина - двуосностью и косым угасанием.

Г е н е з и с. Магматогенный и метаморфогенный. Типичный магматогенный эгирин встречается в богатых щелочами интрузивных и эффузивных породах - щелочных гранитах, пегматитах, нефелиновых сиенитах, фonoлитах, лейцитофирах и др. породах. Как метаморфогенный эгирин отмечается в породах контактового метаморфизма пироксен-роговиковой фации - роговиках и скарнах, в парагенезисе с амфиболами щелочными, калиевым полевым шпатом, альбитом и др. минералами.

А л ф а в и т н ы й у к а з а т е л ь

- | | |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">А</p> <p>Авантюрин (олигоклаз) 70</p> <p>Авгит 5, 15</p> <p>Агалит (талък) 82</p> <p>Адуляр (ортоклаз) 59</p> <p>Акмит (эгирин) 5, 124</p> <p>Актинолит 97</p> <p>Алаит (диопсид) 15</p> <p>Альбит (плагиоклаз) 21, 23</p> <p>Амазонит 56, 58</p> <p>Амезит (хлорит) 86</p> <p>Амиант (тремолит) 83</p> <p>Андалузит 45</p> <p>Андезин (плагиоклаз) 21, 24</p> <p>Анортит (плагиоклаз) 21, 47</p> <p>Антигорит (серпентин) 31</p> <p>Антипертит 55</p> <p>Арфведсонит 99</p> <p>Асбест 32, 99</p> <p style="text-align: center;">Б</p> <p>Базальтическая роговая
обманка 100</p> <p>Байкалит (диопсид) 5, 15</p> <p>Баркевикит 100, 101</p> <p>Бастит (серпентин) 32</p> | <p>Биотит 101</p> <p>Битовнит (плагиоклаз) 21, 49</p> <p>Бронзит 6, 8</p> <p>Бустамит 50</p> <p style="text-align: center;">В</p> <p>Вермикулит 104</p> <p>Виалан (диопсид) 5, 15</p> <p>Виридин (андалузит) 45</p> <p>Волластонит 51</p> <p style="text-align: center;">Г</p> <p>Гадолинит 87</p> <p>Гастингсит 105</p> <p>Геденбергит 5, 12</p> <p>Гиалофан (Ва-К пол.шпат) 56, 61</p> <p>Гигантолит (кордиерит) 64</p> <p>Гидденит (сподумен) 20</p> <p>Гиперстен 5, 106</p> <p>Глаукофан 108</p> <p>Грюнерит 109</p> <p style="text-align: center;">Д</p> <p>Данбурит 51</p> <p>Датолит 53</p> <p>Десмин (стильбит) 80</p> |
|---|--|

Диаллаг 12
Диопсид 5, 12
Дистен (кианит) 54
Дюмортьерит 110

Ж

Жадцит 5, 18

И

Иддингсит 111
Ильваит 88

К

Казоит (цельзиан) 43
Калиевые полевые шпаты 55
Кальциоцельзиан 43
Карфолит 62
Каринтин 111
Керсутит 88, 100
Килхоунит (ранкинит) 29
Клевеландит (альбит) 21, 24
Клиногиперстен 108
Клинохлор (хлорит) 89
Клиноэнстатит 7
Кордиерит 62
Кроссит 109, 113
Кунцит (сподумен) 20
Куммингтонит 91
Купферит 64

Л

Лабрадор (плагиоклаз) 21, 26
Лавровит (диопсид) 5, 15
Лазулит 65
Лейкоксен (сфен) 35
Лепидолит 77
Ломонтит (цеолит) 67
Лунный камень (олигоклаз) 21, 69

М

Маргарит 67
Микроклин 56
Монтицеллит 68
Мусковит 74

Н

Нефрит 83, 99

О

Озаннит 115
Олигоклаз 21, 69
Омфацит 5, 17
Ортит (алланит) 114
Орлец (родонит) 30
Ортоклаз 58
Отрелит (хлоритоид) 96

П

Парагонит 79
Парацельзиан 43
Паргасит 91
Пеннин (хлорит) 121
Пертит 58
Пижонит 5, 10
Пикнит (топаз) 39
Пинит (кордиерит) 64
Пирофиллит 71
Пистацит (эпидот) 85
Плагиоклазы 21
Пренит 27
Прохлорит (хлорит) 123
Псевдобрукит 93
Псевдоцоизит 28
Пумпеллит 93
Пушкинит (эпидот) 85
Пьемонтит (эпидот) 85

Р

Ранкинит 29
Рибекит 94
Рихтерит 71
Роговая обманка 115
Родонит (орлец) 30
Роскошлит (мусковит) 74)

С

Салит 14
Санидин 56, 60
Сапфирин 117
Серицит (мусковит) 74
Серпентин 30
Серпофит (серпентин) 32
Силлиманит 32
Синтагматит 106
Сисмондин (хлоритоид) 95
Сколецит (цеолит) 73
Смарагдит (диопсид) 5, 15
Соссюрит 44
Сподумен 5, 20
Спуррит (спёррит) 80
Ставролит 33
Стеатит (тальк) 82
Стильбит (десмин) 80
Стильномеллан 118
Сфен (титанит) 35

Т

Тальк 82
Танзанит (цоизит) 44
Тиллиит (тиллеит) 38
Титанит (сфен) 35
Титаноморфит 35
Томсонит (цеолит) 39
Топаз 38

Тремолит (грамматит) 83
Тулит (цоизит) 44
Турингит (хлорит) 122

У

Уралит (роговая обманка) 100

Ф

Фассаит (авгит) 17
Федоровит (авгит) 17
Фенгит (мусковит) 74
Ферроактинолит 120
Ферросиллит 5, 106
Фибролит (силлиманит) 32
Физалит (топаз) 39
Филлипсит (цеолит) 40
Флогопит 76
Фуксит (мусковит) 74

Х

Хиастолит (андалузит) 47
Хлоритоид 95
Хлориты 120
Хондродит 41
Хризоберилл 41
Хризотил (серпентин) 32
Хромдиопсид 5, 15

Ц

Цельзиан (Ва-К, пол.шпат) 43,56
Цинвальдит 78
Цоизит 44

Э

Эвклаз 45
Эгирин (акмит) 5, 124
Энстатит 5, 7
Эпидот (пистацит) 85
Эпистильбит (цеолит) 84

О Г Л А В Л Е Н И Е

2.4. Минералы двуосные	
2.4.1. Бесцветные, двуосные оптически положительные минералы.....	3
2.4.2. Бесцветные, двуосные оптически отрицательные минералы.....	45
2.4.3. Цветные, двуосные оптически положительные минералы.....	86
2.4.4. Цветные, двуосные оптически отрицательные минералы.....	97
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	127

Анатолий Иванович Сизых

ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ
И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Учебное пособие

Кн. 2

Редактор Л. Н. Яковенко
Художественный редактор Н. В. Алсуфьев
Технический редактор С. А. Бессольцева
Корректор Т. А. Рыкова

В Издательстве Иркутского университета
в 1995 г. вышло в свет учебное
пособие

Буланов В.А., Белоголов А.А., Сизых А.И. Практическая
минералогия с основами кристаллографии. – 248 с.

В учебном пособии рассмотрены основные геометрические закономерности, наблюдаемые в кристаллах, и общие закономерности внутреннего строения кристаллического вещества. Приведена краткая характеристика минералов и отдельно выделены характерные диагностические отличия от сходных минералов. Значительное внимание уделено методике визуальной диагностики минералов.

Предназначено для студентов негеологических специальностей: геофизиков, гидрологов, географов, металлургов, обогатителей, горняков, маркшейдеров, буровиков и т.п.

Заказы направлять по адресу:
664000, г.Иркутск, бульвар Гагарина, 36
Издательство Иркутского университета

ИБ № 1040. Лицензия ЛР № 040250 от 30.01.92 г.
Подписано в печать 14.06.95. Печать офсетная. Бумага типографская.
Формат 60x84 1/16. Уч.-изд.л. 9.1. Усл.печ.л. 7.2. Усл.кр.-отт.8.4.
Тираж 500 экз. Заказ 1689

Издательство Иркутского университета,
664000, г.Иркутск, бульвар Гагарина, 36
Отпечатано в типографии Иркутского Дома печати,
664009, г.Иркутск, ул.Советская, 109

Сизых А.И. Определитель минералов и метаморфических пород:
В 3 кн.: Учеб.пособие. - Иркутск: Изд-во Иркут.ун-та, 1995. -
Кн.2. - 136 с.

Учебное пособие предназначено для практического определения породообразующих минералов и метаморфических пород. Значительное внимание в нем уделено методике изучения оптических свойств минералов и их качественной диагностике на плоском столике микроскопа. Приведена краткая характеристика минералов, структур и текстур, метаморфических пород. Даны рекомендации по петрографическому описанию метаморфических пород по фациям и типам метаморфизма.

Рекомендуется студентам геологических специальностей по курсу "Петрография". Может быть полезно широкому кругу геологов, занимающихся петрографическими и петрологическими исследованиями метаморфических пород.

С 1804000000-15 95
М 179(03)-95

В Издательстве Иркутского университета
в 1995 г. вышла в свет книга

Щадов И.М. Совершенствование технологии взрывных работ на разрезах Черемховского месторождения. Кн.2. – 152 с.

Вторая книга посвящена исследованиям эффективности производства массовых взрывов на сброс при бестранспортной системе разработки на примере Черемховского каменноугольного месторождения. Обобщены показатели опытно-промышленных взрывов и лабораторных исследований, разработаны расчетные соотношения для оценки параметров навала взорванных пород и методика технико-экономического обоснования оптимальных нормативов удельного расхода ВВ и сброса породы в отвал и предотвал.

Для инженерно-технических работников разрезов, научно-исследовательских организаций угольной промышленности. Может быть использована как учебное пособие для студентов горных факультетов вузов и техникумов, обучающихся по специальности "Открытая разработка месторождений полезных ископаемых".

Заказы направлять по адресу:
664000, г.Иркутск, бульвар Гагарина, 36
Издательство Иркутского университета