

А К А Д Е М И Я Н А У К С О Ю З А С С Р

Т Р У Д Ы
ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ВЫПУСК 9. МИН.-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СЕРИЯ (№ 1)

Г. Т. КРАВЧЕНКО

ТУРМАЛИН 269 КВАРТАЛА
НИЖНЕ-ИСЕТСКОЙ ДАЧИ НА УРАЛЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Г. Т. КРАВЧЕНКО

ТУРМАЛИН 269 КВАРТАЛА НИЖНЕ-ИСЕТСКОЙ ДАЧИ НА УРАЛЕ

I. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

ВВЕДЕНИЕ

Задачей настоящей работы является изучение турмалина из турмалино-корундового месторождения 269 квартала Нижне-Исетской дачи.

Первая, и очень тщательная, работа над кристаллами турмалина была произведена Гаюи (Gay, 1806), который, исследовав проявления электричества при нагревании турмалина, установил, что положительный полюс при охлаждении совпадает с тем концом, на котором развито большее число плоскостей.

Ряд исследователей в течение двух веков занимался изучением этого замечательного минерала. Химический его состав детальнее всех исследовал Раммельсберг (Rammelsberg, 1870), оптические свойства — Био (Biot), а пирозлектрические — Кундт (Kundt, 1884). Кларк (Clarke, 1897) вывел структурную формулу турмалина. Вульфинг (Wulfing a. Reicht, 1914) и Шальтер (Schalter, 1913) установили зависимость между физическими свойствами турмалина и его химическим составом, в то время как Кунитц (Kunitz, 1929) определил температурные интервалы его образования. Ф. Махачки (Machatschki, 1929) на основе рентгеновского анализа вывел общую формулу турмалина; Штутцер и Эплер (Stutzer u. Epler, 1933) дали его экономическую характеристику как драгоценного камня.

Русские турмалины известны с 1790 г. Первый привезенный из Сибири розовый турмалин описан Лермином, а затем Гаюи, и назван рубеллитом (от *rubellus* — красный).

Более подробное (кристаллографическое и химическое) описание русских турмалинов сделано Ауэрбахом (1868).

В 1871 г. М. Ерофеев (1871) печатает свою крайне интересную работу, задачей которой было исследование значительных отклонений от истинных величин углов. В результате исследования он приходит к заключению, что при росте кристалла турмалина всегда имеет место явление «скупивания» (по его терминологии), состоящее в том, что результативный кристалл построен из нескольких неделимых, которые располагаются по отношению друг к другу не параллельно, а повернуты на более или менее значительный угол, причем вращение происходит в одной из наиболее важных зон. Для уральских турмалинов Ерофеев находит много новых форм.

О хромовом турмалине Урала (кристаллографические и химические исследования) появилась в 1883 г. работа Арцруни и Косса (Arzruni u. Cossa, 1883).

Большая интересная работа по кристаллографическим и кристалло-оптическим исследованиям турмалина из Мурзинки и Сарапулки издана А. И. Карножицким в 1891 г. (Карножицкий, 1891). Оптические аномалии он приурочивает к периферической части (слоям нарастания) кристалла,

тогда как внутреннее ядро кристалла не представляет таких аномалий, слоистости и пр. Причины аномалий он связывает с изменением химического состава данных частей кристалла под влиянием изоморфных примесей. Все суждения о физических и химических свойствах минерала он относит не к целому кристаллу, а к отдельному слою нарастания.

В 1897 г. С. Ф. Глинка (1897) впервые — и пока в единственном случае — находит двойник по (321) на кристалле турмалина из Нерчинска.

В. И. Вернадский (1897), кратко описывая хромовый турмалин из Березовска, находит две новые формы с очень сложными индексами.

Изучая в 1896 г. «полихромизм» в ультрафиолетовой части спектра, В. К. Агафонов (1902) отмечает для некоторых турмалинов поглощение обыкновенного луча большей преломляемости, чем 13-й линии кадмия. Несмотря на различную окраску, исследованные им кристаллы обладают почти одинаковой абсорбцией.

Классическая работа В. И. Воробьева (1902) «Кристаллографические исследования турмалинов с о. Цейлона» показывает, что автор наблюдал на цейлонских кристаллах 132 формы, среди них — много новых. Наблюдая зависимость между морфологическим строением и распределением пирозлектричества на кристаллах турмалина, автор приходит к выводу, что каждому полюсу кристалла, в соответствии с определенным характером пирозлектричества, свойственны типичные формы.

В 1914 г. вышла работа В. И. Вернадского (Vernadsky, 1914) «О химической формуле турмалина», в которой турмалины относятся к алюмосиликатам с каолиновым ядром. Дается структурная формула с двумя циклами ядра, где Al замещается В. Для турмалинов выводится три общих ряда: альбаиты, бельбаиты и кальбаиты, — отличающихся различным содержанием Al, H и M (Na, Ca, Li, K). Окрашивание поставлено в зависимость от структуры минерала, т. е. от присутствия в нем сложной хромофорной группы ($M_4Al_2O_7$ -кальбаита).

А. Е. Ферсман (1925), относя турмалин (по преимуществу) к мигматическим и контактным образованиям пегматитов, отмечает, что температура выделения турмалина для различных месторождений не одинакова; так, для Мокруши она лежит в интервале от 700 до 300°.

В своей замечательной монографии «Пегматиты» А. Е. Ферсман (1932), детально анализируя природу пегматитовых выделений и давая теоретическое обоснование процессам кристаллизации отдельных минералов, установил температурный градиент их выделения. Турмалины выделяются из пегматитового расплава преимущественно в фазы C, D, E, F, H, т. е. от свыше 600 до 300°, однако наиболее высокотемпературные черные шерлы образуются иногда в значительно более ранние фазы B и A.

Большинство имеющихся наблюдений приводит к установлению взгляда на турмалин как на минерал, типичный для пегматитового процесса. Представляет интерес вопрос, в какой мере с этим взглядом согласуется нередкое отложение турмалина в самом граните, приводящее иногда к образованию особого типа турмалиновых гранитов. Как полагает А. Е. Ферсман, такое выделение турмалина не должно перестраивать или осложнять общую генетическую схему: его нужно рассматривать не как выделение в прото- или мезокристаллизацию, но как вполне закономерное отложение в свойственную ему фазу остывания массива, внутри самого гранита, без обычного отщепления конечного остатка расплава.

В качестве порообразующего минерала турмалин описан В. Н. Лодочниковым. Подробного и всестороннего физического и химического изучения турмалинов месторождений Союза ССР нет.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИИ 269 КВАРТАЛА

Район месторождения посещался многими исследователями; Розе (Rose, 1837), Гофман (1861), М. Клер (1917) и Седельщиков (1917—1918) дают описания некоторых минералов из различных месторождений этой местности.

Рожков (1896) подробно описывает оро- и гидрографию Нижне-Исетской дачи.

Месторождение находится в 28 км к югу от Свердловска. Из Мало-Сельничкова в хут. Дубровский ведет проселочная дорога. В 1.5 км от села, в стороне от дороги, находится знаменитое родонитовое месторождение. Далее лесная дорога ведет в хут. Каменский, расположенный на левом берегу р. Каменки, правого притока Исети (фиг. 1). Здесь местность приобретает гористый характер, покрыта густым лесом, разбитым на дачи, и состоит из отдельных невысоких хребтиков (по-местному — «увалов»), которые вышаются над равниной на 100—120 м и вытянуты с запада-северо-запада на восток-юго-восток параллельно течению р. Каменки. Через 1.5 км к югу от хут. Каменского на вершине увала и находится турмалино-корундовое месторождение.

В западном направлении от него по хребтику известен ряд месторождений других полезных ископаемых: а) хромистого железняка с турмалином [описанным Розе (Rose, 1837) и Постновой (1924)], фукситом и др.; б) магнитного железняка среди хлоритовых сланцев; в) халцедона с мелкими кристалликами кварца (копь почти совсем завалена); г) турмалина в белом кварце (копья также сильно завалены).

С запада проходит железная дорога Свердловск — Челябинск, с востока — большой тракт: шоссе Амарильское — Нижне-Сысертский завод; с юга — шоссе Нижне-Сысертский завод — завод Полевской, а также рудники по добыче талька, марганца и р. Черная. В северном и западном направлениях расположены: Андреевские золотые россыпи, Мраморский карьер, новый тальковый завод, копи с никелевыми рудами и др.

В окрестностях описываемого турмалино-корундового месторождения главной водной артерией является р. Каменка, текущая в невысоких берегах, но довольно быстрая. Ближе к границе Сысертской дачи она вступает в болотистые берега, и высота ее русла не превосходит 249 м над ур. моря. На всем этом протяжении она имеет восточно-юго-восточное направление с несколькими изгибами. У хут. Каменского она круто поворачивает на юго-восток, при уровне 224.5 м.

В Сысертской даче р. Каменка течет в глубоком логе и у дер. Кашиной впадает в р. Сысерть с уровнем 197 м.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Детальных геологических исследований на описываемом нами участке не производилось, хотя местность посещалась многими исследователями. Составленная нами, на основании имеющихся, весьма недостаточных сведений, геологическая карта местности безусловно не полна и во многом требует дополнений и изменений.

В основном геологическое строение описываемого участка рисуется следующим образом (фиг. 1). С севера подходит мощный массив шабровских гранитов, контактирующий с перекристаллизованными полевошпатовыми амфиболитами, которые значительной полосой протягиваются с юго-востока на северо-запад. С юга подходит громадный массив сысертских гранитов, контактирующий с серпентинитами и кварцитами. Между этими двумя гранитными массивами зажаты антигоритовые серпентиниты. Кварциты непосредственно контактируют с сысертскими гранитами, примыкая с юга к серпентинитам.

Центральная полоса сложена антигоритовыми серпентинитами, среди которых имеется выход среднесернистых полевошпатовых амфиболитов, площадью 5 × 3 км.

Шабровские граниты более гнейсовидны, чем сысертские. В сысертских гранитах имеется наличие гнейсовидных, богатых гранатом участков и аплитов местной фации.

Полевошпатовые амфиболиты представлены двумя разновидностями: а) полевошпатовыми амфиболитами, зажатыми между Шабровским гранитным

массивом и толщей серпентинитов и представляющими отчасти рассланцованные, скрытокристаллические, очень плотные зеленые породы; при невнимательном осмотре они могут быть приняты за серпентиниты; б) полевошпатовыми амфиболитами, выступающими отдельным массивом среди серпентинитов, средне- и мелкозернистыми, с ясно выраженными зернами лейкократовых минералов и меньшим количеством меланократовых; по виду они резко отличаются от серпентинитов, а также от предыдущих полевошпатовых амфиболитов.

Среди полевошпатовых амфиболитов второго из описанных типов находится кварцевая жила, размером 15×0.5 м, с белым прозрачным кварцем. Жила выработана, и нами встречены только отдельные большие куски, до 3 — 5 кг весом.

Наиболее интересными породами района являются серпентиниты. Сложенные в основном антигоритом, они представляют собой очень плотные, трудно поддающиеся эрозии породы. Они возвышаются отдельными выходами, составляя гребень хребтика, протягивающегося вдоль р. Каменки (фиг. 1) с запада-северо-запада на восток-юго-восток. В довольно большом количестве они включают отдельные крупные участки тальковых сланцев, чаще всего в виде поставленных на голову пластов, приуроченных к тектоническим трещинам. Иногда — тальк, довольно чистый, листоватый или чешуйчатый, пригодный для промышленной добычи. Имеется несколько месторождений, в которых раньше добывался тальк.

Часто также встречаются участки хлоритовых сланцев, богатых хорошо образованными кристаллами магнетита и эпидота. Иногда они также поставлены на голову. В серпентинитах же находится копь хромистого железняка с фукситом и хромовым турмалином, описанная Арцруни и Косса (Arzruni u. Cossa, 1885), и кварцево-турмалиновая жила, где кварц пророс тонкими длиннопризматическими кристаллами турмалина.

Кроме того, в серпентинитах встречаются чистые кварцевые жилы, мощностью до 15×0.5 м, с молочно-белым, прозрачным кварцем, и аплиты, являющиеся отпрыском Сысертского гранитного массива. Реагируя с серпентинитами, они создают то необычайное богатство и разнообразие минералов, которое наблюдается в серпентинитовом поле. Наконец, к серпентинитам приурочено и интересующее нас месторождение турмалина.

Возрастные отношения слагающих местность пород представляются так. Самыми древними породами являются гарцбургиты, содержащие, наряду с разрушающимся оливином и замещающим его антигоритом, до 18% бронзита. Серпентиниты также могут быть отнесены к древнейшим породам, поскольку серпентин может образовываться в последние моменты застывания дунитовой магмы, а не только в процессе позднейших процессов выветривания.

Следующей по возрасту породой нужно считать полевошпатовые амфиболиты, которые, прорывая толщу серпентинитов, выходят среди них отдельным массивом. Повидимому, они являются перекристаллизованной, метаморфической породой, образовавшейся за счет древних диоритов. Полевошпатовые амфиболиты старше гранитов, на что указывает кварцевая жила, представляющая собою отпрыск гранитов и секущая полевошпатовые амфиболиты. Северная полоса полевошпатовых амфиболитов подверглась сильному контактному воздействию со стороны шабровских гранитов. Это воздействие выразилось в процессах уралитизации, хлоритизации и актинолитизации роговой обманки, сосюритизации полевых шпатов, с образованием эпидотово-цоизитовых минералов.

Появление гранитов исследуемой местности можно, в соответствии со взглядами А. Е. Ферсмана, отнести к началу пермо-карбона, когда после периода относительного покоя наступила эра горообразования. Тектоническая структура и сложные динамометаморфические магматические процессы, проявившиеся в изучаемой местности, находятся в зависимости от общего передвижения на запад Уральской геосинклинали, с появлением та-

генциальных складок и изосинклиналей с востока, а также от появления местных гранитных интрузий.

А. Е. Ферсман (1925), исследуя пегматитовые жилы восточного склона Урала, намечает обширную гранитную зону, протягивающуюся от 59 до 54° с. ш., в области рр. Каменки и Санарки. Вся полоса посередине выгнута к востоку, и только однородная масса Верх-Исетского гранитного массива служит буфером против тангенциальных движений с востока.

Следовательно, в исследуемой нами местности тектоника более сложна и резче выражена, так как к общему тангенциальному давлению присоединился еще один фактор — сопротивление Верх-Исетского гранитного массива. Этим и объясняется широкое направление дислокации в нашей местности.

Граниты оказали сильное воздействие на древнейшие породы — гарцбургиты, серпентиниты и, повидимому, диориты, за счет которых образовались полевошпатовые амфиболиты. Сильные тектонические воздействия отразились на серпентинитах, которые оказались рассланцованными, пережатыми и часто поставленными на голову.

Как более молодая фация гранитной интрузии появляются аплиты, которые прорывают как серпентиниты, так и самые граниты. Будучи породами, трудно поддающимися выветриванию, они возвышаются отдельными гребнями — дайками.

Отпрыски остаточной гранитной магмы в виде кварцевых и пегматитовых жил врываются по трещинам и иным путям в серпентинитовую и полевошпатово-амфиболитовую толщу и образуют отдельные корундово-плагноклазовые штоки (в том числе турмалино-корундовое месторождение 269 квартала), кварцевые жилы и др.

Наиболее молодыми породами являются хлоритово-талковые сланцы. Они образовались из серпентинитов благодаря воздействию различных проникавших в трещины минерализаторов. Как правило, хлоритовые сланцы — небольшой мощности и значительно уступают в этом отношении тальковым.

Граниты Сысертского и, особенно, Шабровского массивов превращены процессами давления в гранито-гнейсы. Тесно переплетаясь с толщей серпентинитов и полевошпатовых амфиболитов, они носят характер мигматических пород.

ЦЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Приводим описание исследованных пород, начиная с наиболее древних.

Антигоритовые серпентиниты

По наружному виду антигоритовые серпентиниты представляют собою плотную тонкозернистую, трудно колющуюся породу зеленовато-серого или синеватого цвета, с синеватыми или сине-черными оттенками, иногда пятнистую.

Излом породы плоскораковистый, причем тонкопластинчатая или игольчатая ее структура обуславливает появление на поверхности разлома тончайших занозок, различимых иногда при помощи лупы.

Гарцбургиты, из которых образовались серпентиниты, нами не встречены, но в нескольких шлифах серпентинита встречены оливин и ромбический пироксен — бронзит с прямым углом погасания и $2V = 80^\circ$.

В одном из шлифов, где порода менее серпентинизована, присутствует довольно большое количество оливина. В других случаях вся оливиновая часть замещена антигоритом, остается только пироксен, который в общем труднее, чем оливин, поддается серпентинизации, однако ходом процесса захвачены частично и зерна пироксена, вытесняемые антигоритом. Наконец, весь оливин и пироксен замещаются, и вся порода представлена антигори-

товым серпентинитом. Таким образом, процесс серпентинизации прослеживается ясно и четко.

Форма индивидуумов антигорита представляется в виде иголок, брусочков и чешуек. Иголки образуют в большинстве лучистые скопления. Эта форма преобладает над остальными.

Чешуйки играют господствующую роль в мелкокристаллических разновидностях и обычно сопровождаются карбонатом и тальком. Шлифы, состоящие из брусочков, встречаются довольно редко.

Обычно эти три формы смешаны; по преобладанию той или другой из них серпентиниты в структурном отношении могут быть разделены на три типа: 1) лучисто-игольчатый, 2) игольчато-брусчатый и 3) чешуйчатый.

Величина индивидуумов антигорита в породе обычно приблизительно одинакова, и порода в общем имеет равномерно зернистое сложение. Никакой правильности в расположении индивидуумов антигорита нет. Это объясняется тем, что при серпентинизации оливиновой породы отдельные индивидуумы антигорита обладают различной скоростью роста в разных направлениях.

На ряду с процессами серпентинизации можно наблюдать и дальнейший процесс — преобразование антигорита в тальк и хлорит. Последний, наблюдаемый по трещинкам спайности, образовался, по видимому, при превращении пироксенов в змеевик за счет глинозема, входившего в состав пироксенов. Кроме того, хлорит встречается отдельными зернами и листочками среди массы индивидуумов антигорита.

Тальк по своему расположению в породе показывает, что он развился за счет антигорита. Тальк сначала появляется вдоль трещин на периферических частях антигоритовых индивидуумов и, постепенно разрастаясь, вытесняет последний. Очевидно, антигоритовые змеевики после своего образования подверглись действию гидрохимических агентов, вызвавших преобразование антигорита.

Магнетит в серпентинитах встречается в виде мелких и крупных зерен, рассеянных по всей породе между индивидуумами антигорита. Происхождение его можно объяснить как выделением при серпентинизации, так и первичной кристаллизацией в перидотитовой магме.

Полевошпатовые амфиболиты

Полевошпатовые амфиболиты, или парадiorиты, представляют плотную, массивную, богатую меланократовыми минералами, средне- и мелкозернистую амфиболово-плагноклазовую породу и принадлежат геологически к формации кристаллических сланцев (амфиболитов), образовавшейся путем перекристаллизации в твердом состоянии.

Роговая обманка по количеству составляет около 55—60% поля зрения шлифа и распределена более или менее равномерно большими, удлиненными по оси Z зернами, от зеленого до бледнозеленого цвета; она претерпевает сильные изменения, выражающиеся в изменении окраски и понижении цветов интерференции, и переходит в темнозеленую уралитовую разность.

Изменение роговой обманки происходит также и в сторону образования хлорита в виде мелких чешуек; количество последнего достигает 20%. Он распределен не равномерно, а отдельными большими участками; в массе хлоритовых чешуек иногда встречается эпидот.

Наконец, изменение первичной роговой обманки идет в сторону образования актинолита, который встречается в виде иголочек или очень тонких призмочек и по количеству доходит до 8%.

Полевые шпаты наблюдаются большими участками, представленными мелкозернистым агрегатом, и по количеству достигают 30—32% площади шлифа. Полевые шпаты воднопрозрачны и относятся к кислому плагноклазу, близкому к альбиту. Хорошая спайность, как и полисинтетические двойники, довольно редки.

На ряду со свежими прозрачными полевыми шпатами наблюдаются также и сильно измененные в сторону сосюритизации, с образованием эпидотово-цойзитовых минералов. В некоторых шлифах полевые шпаты почти нацело заменены продуктами сосюритизации.

Эпидот, как продукт сосюритизации, представлен идиобластическими небольшими овальными или продолговатыми зернами с очень резким рельефом. Количественно он занимает до 15% площади шлифа.

Цойзит, также как продукт сосюритизации полевого шпата, по количеству доходит до 25—30%. Обычно он представлен мелкими идиобластическими овальными зернами или продолговатыми палочками с характерными индигово-синими цветами интерференции.

В качестве акцессорных минералов в полевошпатовых амфиболитах встречены мусковит, сфен, карбонат, магнетит.

Полевошпатово-амфиболитовая порода более или менее однообразна и мелкозерниста, но в контакте с хлоритовыми сланцами, где она выступает отдельным небольшим массивчиком, наблюдается увеличение лейкократовых минералов, и порода становится более плотной, зеленой и мелкокристаллической.

Граниты

Сысертские граниты представляют крупнокристаллическую лейкократовую породу, состоящую из кварца, полевых шпатов и белой, а иногда зеленоватой, слюды.

Кварц представлен неправильными зернами различной величины с волнистым погасанием. Он занимает до 35% площади шлифа, заполняя промежутки между остальными минералами. Окраска беловатая, до серой.

Полевые шпаты представлены: 1) микроклином (в количестве до 15%) в виде больших неправильных, частью серицитизованных зерен с характерной двйниковой решеткой в скрещенных николях; 2) ортоклазом (в количестве до 25%) — также в виде больших серицитизованных зерен; 3) плагиоклазом ряда олигоклаз-альбита (в количестве до 35%).

Мусковит, белый и зеленоватый, в количестве около 10%, представлен маленькими чешуйками, обрывками, лапчатыми листочками.

Гранат, сфен и апатит встречаются как акцессорные минералы.

По составу сысертские граниты должны быть отнесены к альбитовым плагиогранитам типа банатита. Граниты испытали сильный динамометаморфизм, что выражается в волнистом погасании кварца, переломах зерен других составных частей и изогнутости слюд.

Граниты Шабровского массива являются гнейсо-гранитами как по структуре, так и по общему виду.

Аплиты, встреченные в сысертском граните, — белого цвета с бурыми пятнами, содержат, помимо полевых шпатов и кварца, большие зерна граната и хлоритизованного зеленого биотита.

Аплиты, встреченные среди змеевиков, — серого и темпосерого цвета. По минералогическому составу идентичны первым, но в них отсутствует гранат, и только в одном шлифе обнаружен хлоритизованный зеленый биотит.

Под микроскопом полевые шпаты и кварц образуют изометрично-зернистый агрегат. Структура панидиоморфно зернистая.

Изометричные зерна альбит-олигоклаза количественно составляют примерно около 60% площади шлифа. Присутствуют также калиевые полевые шпаты (ортоклаз и микроклин с решетчатой структурой).

Кварц в изометричных зернах с волнистым погасанием по количеству составляет около 30%. Количество мусковита доходит до 5%. В качестве акцессорных минералов присутствуют эпидот, биотит, апатит, гранат, магнетит.

На родство аплитов с сысертскими гранитами указывает минералогический состав обеих пород.

При сравнении аплитов местной фации с аплитами среди серпентинитов также наблюдается полная идентичность их составов.

В аплитах, встреченных близ Шабровского гранитного массива, наблюдается уменьшение количества полевого шпата; таким образом, они до известной степени приближаются к типу березитов.

Кварциты

Кварциты первого типа, с которыми непосредственно контактируют сысертские граниты, серпентиниты и полевошпатовые амфиболиты, представляют собою плотную породу светлого или темносиреневого цвета, сильно пористую, в особенности в частях, сложенных крупными зернами; в большинстве случаев эти поры заполнены водными окислами железа.

Микроскопически они состоят из мелкого агрегата изометрических зерен кварца с волнистым погасанием, спаянных кварцевым цементом. В последнем наблюдаются мелкие черные включения ближе не определимого вещества.

Второй тип кварцитов, встреченный нами в западно-северо-западном углу исследуемой местности, контактирует с серпентинитами, полевошпатовыми амфиболитами и, по видимому, шабровскими гранитами. Это — черная, резко сланцеватая порода с изгибами и складками, с неровным изломом; наблюдается пористость, в большинстве случаев заполненная лимонитом.

Под микроскопом эти кварциты рисуются в виде мелкозернистого кварцевого слоистого агрегата из зерен кварца и графита, слой которого чередуются со слоями кварца, цементируя последний.

Л и м о н и т обычно приурочен к пустотам; окрашивает породу в бурый цвет.

С л ю д а в виде немногочисленных продолговатых листочков.

Тальковые сланцы

Тальковые сланцы, встречающиеся среди антигоритовых серпентинитов, образованы тальком, горьким шпатом (брейнеритом), магнетитом и хлоритом. Это — сланцеватые крупно- и мелколистчатые породы зеленовато-серого и желтовато-белого цвета. Не отграничиваясь резко от серпентинитов, они связаны с последними постепенными переходами.

В участках породы, богатых тальком, последний представлен мелко- или крупночешуйчатыми агрегатами листочков, среди которых наблюдаются индивидуумы антигорита (брусочки), карбоната и магнетита. В участках породы, где преобладает антигорит, листочки талька располагаются между брусочками последнего. Хлорит образует более или менее крупнозернистые агрегаты листочков.

ОПИСАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТУРМАЛИНА

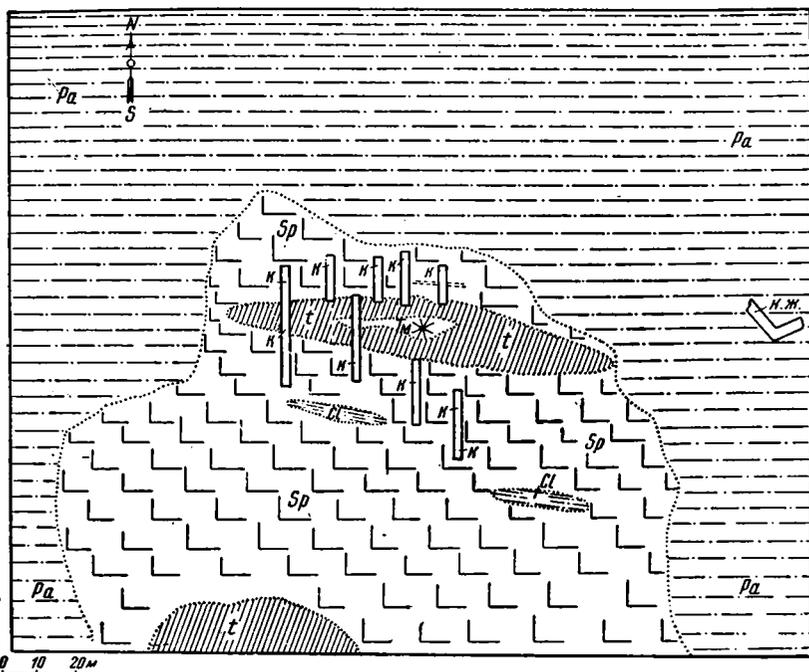
Турмалино-корундовое месторождение было открыто М. О. Клером в 1917 г. (Клер, 1917) и разрабатывалось на корунд. Разработки производил местный крестьянин В. И. Шпаньков. Вся корундовая линза, а также богатые турмалином части выработаны. В настоящее время месторождение представляет собою яму до 6 м глубиной, с большими отвалами. С северной, южной и западной сторон перпендикулярно простиранию линзы прорыты 8 поисковых канав, глубиной до 4 м. Корунд, однако, наблюдался только в восточной части.

Само месторождение расположено в антигоритовых серпентинитах в 15 м от контакта последних с полевошпатовыми амфиболитами, примыкаю-

щими с севера и востока (фиг. 2). С юга серпентиниты контактируют с Сыртским гранитным массивом.

Приуроченное к широтной тектонической трещине турмалиновое месторождение представлено линзой, мощностью 2 — 5 м и длиной (на поверхности) до 6 м, вытянутой с юго-востока на северо-запад под углом 63°. В глубину оно уходит на 6 и более метров, с падением на север в верхней части под углом 20—25°, а в нижней — под углом 60—65°, но уже с изменяющимся минералогическим составом, и прослеживается в юго-западном направлении на расстоянии 20 м при глубине в 4 м.

Все месторождение можно разбить на три части: 1) восточную, выходящую на поверхность, 2) примыкающую к ней глубинную, выработанную до 6 м (с мусковитом), и 3) западную, прослеженную канавами.



Фиг. 2. Схематическая геологическая карта турмалино-корундового месторождения Нижне-Исетской дачи 269 квартала

Pa — полевошпатовые амфиболиты; Sp — антигоритовые серпентиниты; t — тальковые сланцы; Cl — хлоритовые сланцы; Т.м. — турмалиновое месторождение; к.ж. — кварцевая жила; к — канавы

В восточной поверхностной части месторождения наблюдается следующая зональность, от центра к периферии:

- | | |
|-----------------------|--------------------------------|
| 1. Турмалиновая зона. | 4. Хлоритовая зона. |
| 2. Корундовая зона. | 5. Тальковая зона. |
| 3. Доломитовое тело. | 6. Антигоритовые серпентиниты. |

1. Турмалиновая зона занимает самую центральную часть. В нижних частях месторождения она заменяет корунд и выклинивается.

Турмалин представлен двумя разновидностями: 1) выделившейся в пустотах корундовой линзы в виде прекрасно образованных кристаллов, со своеобразным и удивительным парагенезисом, 2) выделившейся в хлоритовых или мелкозернистых мусковитовых слоях, в виде груболистоватых или сноповидных кристаллов.

Первая разновидность представляет выделение турмалинов до 15 см мощностью. Кристаллы этой разновидности по своему облику совершенно необычны сравнительно со всеми известными турмалинами. Темнобурые,

иногда кофейно-бурые, просвечивающие с поверхности и более прозрачные в тонких кристаллах, скорее шестигранные, а не тригональные, с зеркально-блестящими, частью тонко штрихованными плоскостями, они на одном конце — антилогичном — заканчиваются системой необычайно острых дитригональных пирамид, покрытых вициналоидами роста, грубо напоминая форму остро заточенного шестигранного карандаша. Самый конец кристалла срезан гранями основного ромбоэдра [2021]. На аналогичном конце почти всегда имеется слой, толщиной 1—5 мм, сапфирово-голубоватого цвета, характерный, скажем, для Липовки; он заканчивается хорошо образованной гранью моноэдра.

На первый взгляд, только наличие синих «головок» давало основание причислять эти совершенно необычайные кристаллы к турмалинам.

Парагезис этого турмалина также в высшей степени своеобразен. Тело жилы образует корунд, в котором или на котором расположены выделения турмалина, вместе с превосходными крупными боченкообразными кристаллами клинохлора. Вместе с ними и среди них, но в меньшем количестве, растут нежно-розовые кристаллы диаспора. Рутил пронизывает хлорит радиальнолучистыми скоплениями тонких длиннопризматических кристаллов красновато-коричневого цвета с металловидным блеском и неровным изломом.

Лимонит в пезначительном количестве, как и каолиноподобное вещество, присутствует в пустотах.

На глубине 4—5 м турмалиновая зона представлена жилой, мощностью в 10—15 см, лежащей среди хлоритовых сланцев. Корунд отсутствует. Кристаллы турмалина темпобурого, до черного, цвета, сильно пережаты, трещиноваты, частично раздроблены и имеют включения очень мелкого черного, ближе не определяемого вещества. По их трещинкам отложился розоватый диаспор. Кристаллы турмалина, 10—15 см длиной и 3—8 мм толщиной, расположены в одиночку или радиальнолучистыми скоплениями. Эти турмалины всегда расположены параллельно слоистости породы и образуют как бы тонкие пропластки в пачке сланцев. Они не имеют острого конца.

На глубине 6 м радиальнолучистые скопления находятся в линзе мусковита; они обнаруживают признаки механического воздействия. Здесь нет ни корунда, ни диаспора.

В западном направлении жила прослеживается в хлоритовых сланцах. Корунд и диаспор здесь также отсутствуют. На расстоянии 20 м от штока жила состоит из мелких кристаллов турмалина, длиной до 3 см и толщиной в 1—2 мм.

2. Корундовая зона состоит из скоплений зерен сапфирово-сероватого корунда, частично переходящего в диаспор. В первой, восточной, части месторождения корунд выходил в виде жилы. По данным М. О. Клера (1917), в остаточной части жилы имела в длину 4 м и мощность в 0,5 м, с падением на север: в верхней части — под углом в 20—25° и в нижней — под углом в 60—65°. На глубине 3,5 м она расширялась до 75 см, на глубине 4,5 м сужалась до 15 см и уже на глубине 6 м совершенно выклинивалась. К востоку жила выклинивалась постепенно, а к западу, соприкасаясь в верхней части с доломитовым телом, уходила под него, разветвляясь и выклиниваясь в глубину. На глубине 5 м в корундовой жиле появляется турмалин, который постепенно заменяет корунд, образуя турмалиновые скопления. Здесь присутствуют небольшие выделения корунда, размерами 5×20 см, не связанные с главной корундовой жилой. Корундовая часть в настоящее время совершенно выработана, и только в глубине имеются ее незначительные остатки, да в некоторых местах ямы среди хлоритовых сланцев встречаются небольшие линзовидные выделения корунда. Такие маленькие линзочки не сопровождаются турмалином, крупные же выделения корунда всегда связаны с выделениями турмалина.

Мощное развитие корундовой линзы наблюдается только в поверхностных частях, а с глубиной мощность теряется. В западном направлении, куда вытягивается турмалиновая зона, корунд совершенно отсутствует.

3. Доломитовое тело приурочено к верхней части месторождения. Мощность его 0.75 м, при простирании в 3 м и глубине 1—1.5 м. Оно расположено в центральной части месторождения в виде раздува и состоит из плотной штокообразной массы, разбитой несколькими трещинами. Большая часть доломитового тела вынута при выработке корунда, и в месторождении осталась лишь незначительная его часть. По этой оставшейся части наблюдаются следующие взаимоотношения с соседними зонами. С северной стороны линия контакта с тальковой зоной представлена отчетливой плоскостью скольжения. С южной стороны доломитовое тело также резко контактирует с хлоритовыми сланцами, а на глубину суживается и выклинивается. Оставшаяся часть тела расположена между тальковыми и хлоритовыми сланцами. Отношение доломитового тела к корундовой зоне установить не удалось, но, как было сказано, по данным М. О. Клера (1917), корундовая линза уходит в глубь, под доломит.

Доломит представляет собою плотную серую породу с темнозелеными пятнами и неровным изломом. По трещинам отложился грубый асбест, прослойками в 1—2 см, перемежающийся с прослойками доломита, или же тальк и белые кристаллики доломита. На поверхности глыб наблюдается значительная охристость как результат выветривания.

Под микроскопом около 95% площади шлифа занято большими зернами доломита и 5% — хлоритом, типа клинохлора, который располагается отдельными небольшими участками. В незначительном количестве — асбест, приуроченный к трещинам. На контакте с тальковыми и хлоритовыми сланцами встречаются маленькие зерна магнетита и обрывки талька.

С соляной кислотой доломит почти совсем не реагирует.

От доломитового тела под углом в 45° отходит прожилок, мощностью в 4 см, кристаллического доломита с тоненькими прослойками грубого асбеста, частично переходящего в тальк. Этот прожилок залегает по сланцеватости пород среди тальковых сланцев.

По плоскостям скольжения наблюдается бурое вещество (продукт разложения), а также тоненькие прожилки и листочки талька. Для химического анализа были тщательно отобраны белые кристаллики доломита. Анализ его, проделанный В. В. Щербиной, дал следующие результаты:

FeO	1.74%
MnO	0.20
MgO (по разности)	6.43
CaO	44.75
CO ₂ (потеря при прокаливании)	46.88
	100.00%

Доломит был встречен только в этом одном месте.

4. Хлоритовая зона, мощностью около 2 м, имеет крутое падение на северо-запад 253°, под углом в 65—70°, и имеет резкий контакт с тальковыми сланцами. Это — плотная зеленая мелкочешуйчатая масса чистого хлорита. Под микроскопом 85% шлифа занято хлоритом, 15% — магнетитом и несколькими зернами лимонита. Иногда порода состоит из сплошного чистого хлорита; с приближением к зоне талька появляется в незначительном количестве тальк. Хлорит играет довольно крупную роль, окружая плотной массой корундовую и турмалиновую зоны. Падение хлоритовой зоны на север почти отвесное.

5. Тальковая зона имеет мощность до 10 и более метров, с падением на север — от пологого сверху (15—20°) до более крутого внизу (65—70°). Контакт с хлоритовой зоной резко разграничен с ясно выраженной плоскостью скольжения. Верхняя часть подвергалась процессам разложения. Нижняя часть на глубине 6 м представлена серовато-зеленой мягкой сланцеватой породой, среди которой имеются вкрапления бурых глин до 1 см в диаметре. Под микроскопом порода представляется состоящей из

мелколистоватого чешуйчатого талька (до 90 %), доломита (до 8 %) и магнетита (1—2%), которые выделяются отдельными участками, а также антигорита (0.5%) и лимонита.

Лимонит выделяется вокруг зерен карбоната, окрашивая окружающий тальк в бурый цвет. В шлифах, где отсутствует карбонат, отсутствует и лимонит, образующийся, очевидно, за счет карбоната. Характерно и то, что в самых контактах тальковой зоны с хлоритовой карбонат и лимонит отсутствуют, а с удалением от нее появляются.

На схематическом рисунке (фиг. 3) показан порядок зон восточной части месторождения.

Вторая часть месторождения характеризуется наличием мусковита, который в виде линзообразного тела обнаружен в западной части выработки, на глубине 6 м. Размеры этой линзы 1×0.5 м (видимая часть). Частично она является как бы продолжением турмалиновой зоны и залегает под ней, уходя в глубину. Микроскопически представлена белой слюдой с сероватыми и красноватыми пятнами, с включением длинных черных кристаллов турмалина в красивых радиальнополучистых скоплениях.

Под микроскопом турмалин занимает 18 %, мусковит 66 %, альбит 12% и серицит 2% площади шлифа.

Порядок выделения минералов таков: турмалин, альбит, мусковит, серицит. Нигде в других частях месторождения не удалось наблюдать мусковита. Схематическое расположение зон в этой части месторождения дано на фиг. 4.

Зоны хлоритовых и тальковых сланцев идентичны описанным выше, в восточной части месторождения.

Порядок зональности в западной части месторождения показан на фиг. 5.

Турмалино-корундовое месторождение в целом может быть представлено схематически фиг. 6.

МИНЕРАЛЫ ТУРМАЛИНО-КОРУНДОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В турмалино-корундовом месторождении обнаружены:

Ожисль: 1) магнетит, 2) лимонит, 3) рутил, 4) корунд, 5) диаспор;

Силикаты: 6) альбит, 7) турмалин бурый, 8) эпидот, 9) асбест, 10) тальк, 11) хлорит, 12) клинохлор, 13) мусковит, 14) серицит, 15) антигорит;

Карбонаты: 16) доломит.

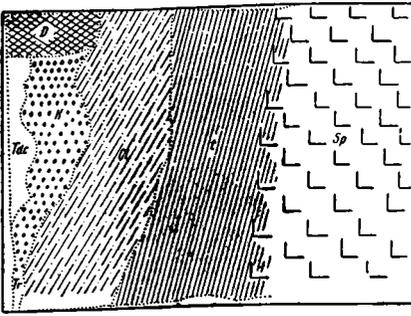
Магнетит встречается в антигоритовых серпентинитах, главным образом как продукт разложения оливина и бронзита. Наблюдается под микроскопом в виде мелких зерен, располагающихся прослойками или отдельными участками. В тальковых сланцах образует отдельные участки, состоящие из микроскопически мелких зерен, в большинстве случаев с карбонатом. В хлоритовых сланцах прекрасно выражен кристаллами в виде октаэдров, до 5—8 мм в диаметре, а также, микроскопически, в виде зерен различной величины с эпидотом и сфеном.

Лимонит присутствует, главным образом, в тальковых сланцах с доломитом, вокруг зерен которого он и располагается зернами различной величины. В меньшей степени — в хлоритовых сланцах и серпентинитах.

Рутил — в виде красных радиальнополучистых кристаллов, размером 20×2 мм, наблюдается в центральной турмалиновой зоне месторождения вместе с клинохлором и диаспором. Форм ограничения не удалось заметить, но в общем кристаллы вытянуты по оси Z; имеют вишнево-красный цвет, с металлическим блеском.

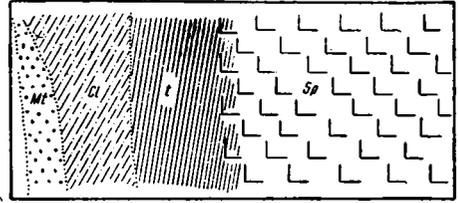
Корунд встречается в виде маленьких кристалликов боченковидной формы и зерен различной величины сапфирово-голубого цвета и образует корундовую жилу месторождения. Встречается с диаспором, турмалином и хлоритом (клинохлором).

Диаспор отложился в пустотах между кристаллами турмалина в турмалиновой зоне. Кристаллы, длиной до 1 см и 0.2 мм в диаметре, несут



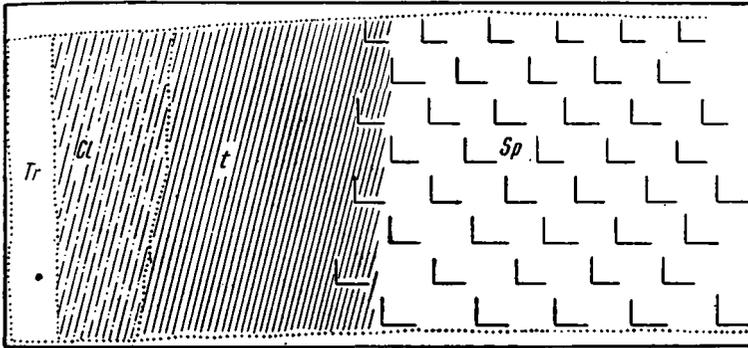
Фиг. 3. Поперечный схематический разрез восточной части месторождения.

Tdc — турмалин, диаспор, клинхлор; *D* — доломит; *K* — корунд; *Tr* — турмалин; *Cl* — хлоритовые сланцы; *t* — тальковые сланцы; *Sp* — серпентинит



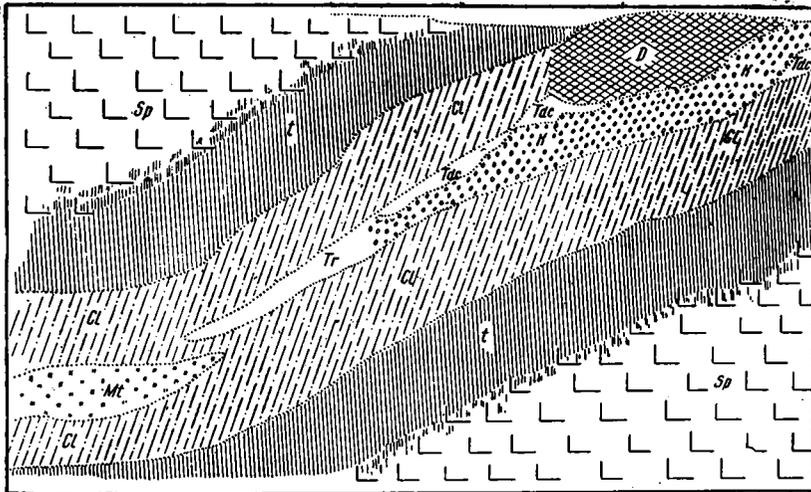
Фиг. 4. Схематический разрез центральной части турмалино-корундового месторождения.

Mt — мусковит с турмалином; *Cl* — хлоритовые сланцы; *t* — тальковые сланцы; *Sp* — серпентинит



Фиг. 5. Схематический разрез западной части турмалино-корундового месторождения Нижне-Исетской дачи 269 квартала

Tr — турмалин; *t* — тальковые сланцы; *Cl* — хлоритовые сланцы; *Sp* — серпентинит



Фиг. 6. Продольный схематический разрез месторождения.

D — доломит; *Tdc* — турмалин, диаспор, хлорит; *K* — корунд; *Tr* — турмалин; *Mt* — мусковит с турмалином; *Cl* — хлоритовые сланцы; *t* — тальковые сланцы; *Sp* — серпентинит

хорошо образованные призмы с штриховкой, параллельной их граням, а также грани ромбоэдра. Кристаллы вытянуты по оси *Z*, бледнорозового цвета и совершенно не затронуты процессами разложения.

Пустоты среди кристаллов турмалина заполнены светлорозовой массой диаспора, цементирующей их.

Диаспор образовался в гидротермальную фазу и встречается с корундом, турмалином, клинохлором, рутилом.

А л ь б и т присутствует в незначительном количестве в мусковите вместе с турмалином и серицитом.

Т у р м а л и н — главный минерал месторождения (описание его дано на стр. 16). Изредка встречающиеся двуконечные кристаллы его так своеобразны, что достаточно взглянуть на кристалл, чтобы сразу определить, какой из полюсов антилогичный, какой — аналогичный. На аналогичном полюсе всегда имеется только грань моноэдра, на антилогичном она отсутствует: этот полюс несет хорошо развитые положительную и отрицательную зоны дитригональной пирамиды.

Э п и д о т наблюдается, главным образом, в хлоритовой части вместе с кристаллами магнетита и сфена. Цвет его восковидный, размер кристаллов — до 1.5 см. Микроскопически наблюдался в хлоритовой зоне в виде зерен в реакционной кайме. Появлением своим обязан, повидимому, контактно-метаморфическим процессам.

А с б е с т в виде волокнистых прожилков присутствует в доломитовой линзе месторождения. Длина волокон — до 2 см. Встречается также в присутствии доломита. В последнем случае длина волокон достигает 5—7 см.

Т а л ь к образуется под действием процесса десилификации и образует реакционную кайму между пегматитовым остатком и антигоритовым серпентинитом.

К л и н о х л о р — с углом погасания $N_p(001)=8^\circ$ — выделился большими бочковидными кристаллами фиашково-зеленого цвета в пустотах турмалиновой зоны месторождения. Величина кристаллов: до 6 см длины и до 3 ширины. Клинохлор заполняет также пустоты между кристаллами турмалина. Ему сопутствуют турмалин, диаспор, рутил. Все они вместе дают необычайно красивые штUFFы.

М у с к о в и т встречен в виде белой мелкозернистой слюды и включает радиальнолучистые скопления турмалинов. Из месторождения добыты очень красивые штUFFы, где на фоне белой слюды видны радиальнолучистые длинные кристаллы турмалина. Ему сопутствуют турмалин, серицит, хлорит.

С е р и ц и т образовался за счет разложения полевых шпатов в незначительном количестве.

А н т и г о р и т, из которого сложены серпентиниты исследуемой местности, описан уже на стр. 6.

Д о л о м и т — в виде изолированного тела (описан на стр. 11).

ГЕНЕЗИС И ГЕОХИМИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В районе турмалино-корундового месторождения Нижне-Исетской дачи можно наметить следующие минерало-генетические процессы:

1) интрузия основной магмы и ее постмагматические процессы (серпентинизация и др.);

2) интрузия кислой магмы, проявившаяся вне района исследования;

3) пегматитообразование кислой магмы и взаимодействие пегматитов с основными породами. При возникновении Сысертского грапитного массива его апофизы внедрились в толщу серпентинитов; внедрение сопровождалось контактно-метаморфическими явлениями в данном комплексе пород.

Пегматитовый расплав, обогащенный минерализаторами (B, F, H_2O), в глубинах имел контактное воздействие на магнезиально-железисто-силикатную свиту антигоритовых серпентинитов. Сам пегматитовый остаток подвергся при этом сильному эндоморфному метаморфизму. Происходит про-

Парагенетическая таблица минералов

Минералы	Магматическая стадия	Пегматито-пневматолитическая стадия	Гидротермальные процессы основной и кислой магмы	Гипергенные процессы
	Процессы основной магмы $>1000 - 600^\circ$ фазы А-В-С	Процессы кислой магмы $600^\circ - 400^\circ$ фазы D-E-F-G	$400^\circ - 100^\circ$ фазы H-J-K	$<100^\circ$
Оливин				
Хромит				
Бронзит				
Магнетит				
Корунд		бур. Черн.		
Турмалин		Синий		
Мусковит				
Альбит				
Антигорит				
Рутил				
Эпидот				
Актинолит				
Серицит				
Хлорит				
Карбонат				
Тальк				
Диаспор				
Лимонит				
Калиноподобное вещество				



1 — минералы, связанные с основной магмой и последующими процессами изменения; 2 — минералы, образовавшиеся в связи с десилификацией пегматитового расплава; 3 — гипергенные минералы.

Процесс десилификации пегматитового расплава и силификация боковой породы. ¹ Протекающие при этом реакции идут в сторону расщепления (гидролиза) калиевого полевого шпата, с одной стороны, и антигорита, — с другой. Освободившийся кремнезем с парами воды уходит на образование талька, создающего вместе с хлоритом реакционную кайму между десилифицированным пегматитом и антигоритовым серпентинитом. Процесс десилификации настолько интенсифицирован, что весь кремнезем уходит из пегматита, а оставшийся в избытке глинозем выкристаллизовывается в виде чистого корунда.

Железо, магний, марганец и титан, освободившиеся из боковой породы, также вступают в реакцию, участвуя в образовании ряда минералов. В пе-

¹ Общее теоретическое обоснование процессов десилификации и теоретическое объяснение хода химических реакций на основании теории десилификации Боуэна (Bowen, 1922) даны А. Е. Ферсманом (1925).

риод дальнейшего понижения температуры обильное появление бора приводит к образованию магнезиально-железистого турмалина.

Часть оставшихся элементов (K, Al, Fe, Si) пошла на образование мусковита, который окружает турмалиновую жилу в тех местах, где отсутствует корунд.

К гидротермальному процессу приурочено образование клинохлора, рутила и диаспора.

Месторождение Нижне-Исетской дачи отличается от других аналогичных мигматических месторождений далеко идущим процессом десилификации с образованием чистого корунда, совершенно исключительным парагенезисом минералов (турмалин, корунд, диаспор, клинохлор, рутил), отсутствием биотитовой оторочки, актинолита и наличием вместо них хлоритовой и тальковой зон.

Ближе всего это месторождение стоит к Изумрудным копиям, где также имеются хлоритовая и тальковая зоны; различие сводится к тому, что там присутствуют биотитовый сланец и актинолит в хлорите.

Порядок выделения и парагенетические отношения между минералами изучаемого месторождения характеризуются, на наш взгляд, приведенной выше схемой.

II. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТУРМАЛИНА

Кристаллы турмалина Нижне-Исетской дачи 269 квартала, как сказано выше, выделились в пустотах трещины, совместно с кристаллами хлорита и диаспора на жиле корунда: 1) отдельными обособленными индивидуумами с хорошо развитым антилогичным полюсом или 2) радиальнолучистыми друзами с хорошо развитым аналогичным полюсом. Все кристаллы, независимо от размеров, вытянуты по оси Z и имеют гексагональный облик вследствие преобладания призм второго рода $\{11\bar{2}0\}$, которая на маленьких кристалликах гладка и блестяща, а на больших — сильно иштрихована параллельно оси Z .

Измерение кристаллов производилось на двукружном гониометре Гольдшмидта, и в дальнейшем вся работа велась по его же методу. На 23 измеренных кристаллах наблюдались следующие 35 форм, сведенных в табл. 1.

Формы o , φ , a развиты очень хорошо и играют главную роль в облике кристалла; остальные, кроме дитригональных пирамид, развиты гораздо хуже и не играют почти никакой роли в габитусе кристалла. Антилогичный полюс обыкновенно богат тригональными и дитригональными пирамидами, несущими викалиальные грани, и у него отсутствует грань моноэдра $\{0001\}$. Окрашен он в светлорусый и редко в светлорусо-зеленоватый цвет.

Антилогичные концы, как правило, полностью несут форму $\{20\bar{2}1\}$, хорошо развитую и преобладающую над формой $\{10\bar{1}1\}$, которая обычно очень узка.

Аналогичный конец, как правило, несет хорошо развитую плоскость базиса o $\{000\bar{1}\}$ и маленькую, очень плохо развитую форму p $\{10\bar{1}1\}$; только в одном случае встретилась такая же маленькая и плохо развитая φ $\{02\bar{2}1\}$.

На фиг. 7 изображен общий тип кристаллов с хорошо развитыми антилогичным и аналогичным полюсами. На фиг. 8 и 9 представлена ортогональная проекция головки антилогичного полюса.

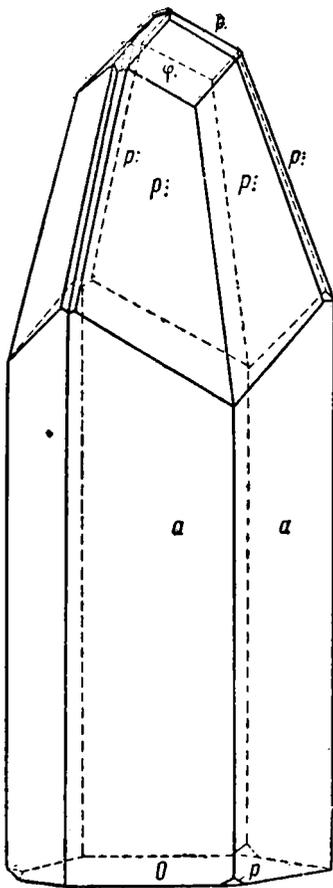
На фиг. 10 изображена ортогональная проекция головки аналогичного конца. Большая, хорошо развитая грань моноэдра определяет его облик. Обыкновенно она помещается на конечном светлоглубом слое кристалла в отличие от головки антилогичного полюса, которая окрашена в темнорусый цвет с зеленоватым отливом.

В табл. 2 и 3 приведены числа наблюдаемых на измеренных кристаллах форм аналогичного и антилогичного концов и их процентные отношения к количеству возможных теоретических форм.

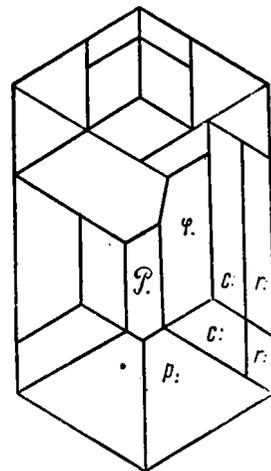
Главные формы	Второстепенные и редкие	Недостовверные и вицинальные
Антилогичный полюс		
Положительные призмы:		
b 10 $\bar{1}0$	s 11.5. $\bar{1}6$.0	13.10. $\bar{2}3$.0
+ ∞	+ $\frac{7}{2} \infty$	+ 11 ∞
η 4 $\bar{1}50$	S 8.5. $\bar{1}3$.0	v'16.13. $\bar{2}9$.0
+ 2 ∞	+ 6 ∞	+ 14 ∞
ω 5 $\bar{2}70$	X 10.3. $\bar{1}3$.0	
+ 3 ∞	+ $\frac{16}{7} \infty$	
ω . 3 $\bar{1}40$		
a 1 $\bar{1}20$		
+ ∞ 0		
Отрицательные призмы:		
θ 2 $\bar{1}30$	π 5 $\bar{1}60$	
- 4 ∞	- $\frac{7}{4} \infty$	
ψ 3 $\bar{2}50$		
- $\frac{7}{1} \infty$ 0		
Отрицательные пирамиды		
φ . 0 $\bar{2}21$	C: 9.5. $\bar{1}4$.2	t. 28.10. $\bar{3}8$.9
- 2	- $\frac{19.2}{2}$	- $\frac{16.2}{3}$
p: 3 $\bar{1}41$	f: 5 $\bar{3}81$	l 31.19. $\bar{5}0$.6
- 5.2	- 11.2	- $\frac{23.2}{2}$
	г: 6.4. $\bar{1}0$.1	c 16.10. $\bar{2}6$.3
	δ : 7.5. $\bar{1}2$.1	k 41.29. $\bar{7}0$.6
	- 17.2	- $\frac{33.2}{2}$
	m: 9.7. $\bar{1}6$.1	m' 28.22. $\bar{5}0$.3
	- 23.2	- 24.2
Положительные пирамиды:		
p. 10 $\bar{1}1$	Δ : 4 $\bar{3}71$	v' 19.13. $\bar{3}2$.6
+ 1	+ 10.1	- $\frac{15.1}{2}$
p: 3 $\bar{2}51$	з: 5 $\bar{4}91$	
+ 7: 1	+ 13.1	
	v: 6.5. $\bar{1}1$.1	u 13.10. $\bar{2}3$.3
	+ 16.1	+ 11.1
		v' 16.13. $\bar{2}9$.3
		+ 14.1
Аналогичный полюс		
o 000 $\bar{1}$		
Отрицательные пирамиды		
φ . 0 $\bar{2}21$		
- 2		
Положительные пирамиды		
p. 10 $\bar{1}1$		
+ 1		

Формы {9.5. $\bar{1}4$.2}, {9.7. $\bar{1}6$.1} и {5160} являются для турмалина новыми и относятся к второстепенным — редким — граням.

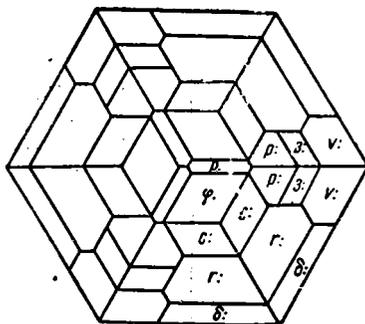
¹ В таблице верхний индекс для каждой грани дается по Браве, нижний — по Гольдшмидту.



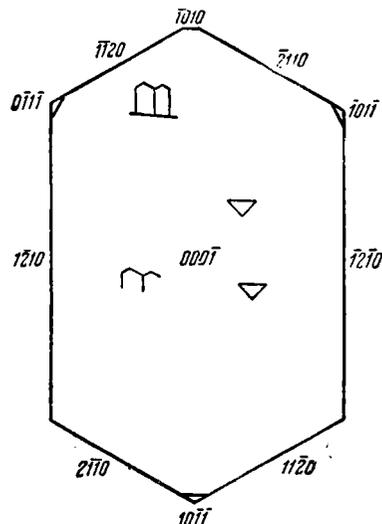
Фиг. 7. Кристалл турмалина
 $p: \{10\bar{1}1\}$; $\varphi: \{20\bar{2}1\}$;
 $\rho: \{32\bar{5}1\}$; $\rho: \{31\bar{4}1\}$;
 $a \{11\bar{2}0\}$; $P \{1011\}$; $o \{0001\}$



Фиг. 9. Ортогональная проекция турмалина
 $P: \{10\bar{1}1\}$; $\varphi: \{20\bar{2}1\}$;
 $C: \{9.5.\bar{1}4.2\}$;
 $r: \{6.4.\bar{1}0.1\}$; $p: \{32\bar{5}1\}$



Фиг. 8. Ортогональная проекция турмалина
 $p: \{10\bar{1}1\}$; $\varphi: \{20\bar{2}1\}$;
 $c: \{9.5.\bar{1}4.2\}$; $r: \{6.4.\bar{1}0.1\}$;
 $\delta: \{7.5.\bar{1}2.1\}$; $\rho: \{32\bar{5}1\}$;
 $v: \{54\bar{9}1\}$; $v: \{6.5.\bar{1}1.1\}$



Фиг. 10. Фигуры роста на грани (0001)

При сравнении табличных данных видно, насколько аналогичный коней беднее формами, чем антилогичный.

Таблица 2

№ кристалла	o {000 $\bar{1}$ }	p. {10 $\bar{1}$ 1}	φ. {02 $\bar{2}$ 1}	a {11 $\bar{2}$ 0}	b {10 $\bar{1}$ 0}	φ {32 $\bar{5}$ 0}
6	1	3	3	6	—	—
7	1	1	—	6	1	—
12	1	3	—	6	—	—
13	1	1	—	6	—	2
16	1	3	—	6	—	2
19	1	3	—	6	1	—
20	1	3	—	6	—	—
Итого	7	17	3	42	2	4
	100%	81%	3.6%	100%	4.8%	9.6%

Модель типичного кристалла турмалина Нижне-Исетской дачи можно представить двумя следующими вариантами:

- а) p. {10 $\bar{1}$ 1}; φ. {20 $\bar{2}$ 1}; p. {31 $\bar{4}$ 1}; m. {9.7.16.1}; p. {32 $\bar{5}$ 1};
v. {6.5.11.1}; o {000 $\bar{1}$ }; p. {10 $\bar{1}$ 1}; a {11 $\bar{2}$ 0};
б) p. {10 $\bar{1}$ 1}; φ. {20 $\bar{2}$ 1}; f. {5381}; r. {6.4.10.1}; z. {7.5.12.1};
Δ: {43 $\bar{7}$ 1}; v. {5491}; v. {6.5.11.1}; o {000 $\bar{1}$ };
a {11 $\bar{2}$ 0}; η {41 $\bar{5}$ 0}; ω {52 $\bar{7}$ 0}; ω. {31 $\bar{4}$ 0}.

В табл. 4 приведены пределы колебания измерений, полученные средние числа, углы φ и ρ, вычисленные на основании выведенного мною отношения осей.

Таблица 3

№ кристалла	p. {10 $\bar{1}$ 1}	φ. {20 $\bar{2}$ 1}	a {11 $\bar{2}$ 0}	b {10 $\bar{1}$ 0}	η {41 $\bar{5}$ 0}	ω {52 $\bar{7}$ 0}	s {11.5.16.0}	π {51 $\bar{6}$ 0}	X {10.3.13.0}	S {8.5.13.0}	ω. {31 $\bar{4}$ 0}	θ {21 $\bar{3}$ 0}	Δ: {43 $\bar{7}$ 1}	v: {5491}	v: {6.5.11.1}	p: {31 $\bar{4}$ 1}	C: {9.5.16.2}	f: {5381}	r: {6.4.10.1}	z: {7.5.12.1}	m: {9.7.16.1}
1	1	3	6	1	1	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	1	3	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	3	3	6	2	2	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—
4	3	3	6	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	3	3	6	—	—	—	2	1	—	1	—	—	—	6	—	6	—	—	—	—	—
8	1	3	6	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—
9	—	3	6	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—
10	3	3	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—
11	1	3	6	1	1	—	—	—	1	1	1	—	—	—	6	—	—	6	—	—	—
14	2	3	6	—	—	—	—	—	1	1	1	—	—	—	—	6	—	6	—	—	—
15	2	3	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—
17	3	3	6	—	—	—	—	1	2	1	1	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—
18	3	3	6	—	1	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	6	—	—	—	—	6
21	2	3	6	—	—	—	1	—	—	—	—	1	—	—	—	—	4	—	6	—	—
22	3	3	6	—	1	—	—	—	—	1	1	1	—	2	—	—	2	—	—	—	—
Итого	31	45	90	6	9	1	3	2	9	6	6	2	15	8	7	45	17	18	6	6	6
В %	86	100	100	13.3	10	1	3.3	2	10	6.6	6.6	2.0	13.5	8	7.7	50.0	15.3	16.5	6	6	6

№ кри- сталла	Буквы	Символы по		Число измерений	Колебания измерений		Среднее		Вычислено	
		Гольд- шмидту	Бравэ		φ	ρ	φ	ρ	φ	ρ
1	o	0001	0001	7	0°00'—0°00'	0°00'—0°00'	0°00'	0°00'	0°00'	0°00'

Отрицательные пирамиды

2	φ.	— 2	0221	45	29°13'—30°05'	45°48'—46°46'	30°00'	46°15'	30°00'	46°07'
3	p:	— 5.2	3141	45	14°58'—15°58'	61°51'—63°9'	15°52'	62°06'	16°06'	61°55'
4	τ	— $\frac{16.2}{3}$	28.10.38.9	17	14°52'—15°05'	62°52'—64°29'	15°15'	63°09'	15°18'	63°06'
5	c:	— $\frac{19.2}{2}$	9.5.14.2	17	8°57'—9°59'	71°43'—72°48'	9°09'	72°11'	9°22'	72°43'
6	f:	— 11.2	5381	18	7°07'—9°01'	74°02'—74°30'	7°51'	74°18'	8°12'	74°38'
7	l	— $\frac{23.2}{2}$	31.19.50.6	3	6°52'—8°44'	74°49'—75°33'	7°13'	75°09'	7°53'	75°15'
8	c	— 12.2	16.10.26.3	3	6°07'—7°40'	75°22'—75°53'	7°11'	75°41'	7°35'	75°45'
9	r:	— 14.2	6.4.10.1	6	4°59'—6°59'	77°06'—77°40'	5°18'	77°30'	6°35'	77°33'
10	i:	— 17.2	7.5.12.1	6	4°50'—5°50'	78°01'—79°30'	5°20'	78°45'	5°30'	79°27'
11	k	— $\frac{33.2}{2}$	41.29.70.6	6	4°21'—5°44'	78°50'—79°45'	5°10'	79°09'	5°42'	79°09'
12	m:	— 23.2	9.7.16.1	6	3°40'—4°10'	81°40'—82°50'	3°55'	82°15'	4°08'	82°43'
13	m'	— 24.2	28.22.50.3	6	3°31'—4°17'	81°36'—82°48'	3°40'	82°16'	3°58'	82°24'

Положительные пирамиды

14	P.	+ 1	1011	31	29°08'—30°31'	26°23'—27°58'	29°57'	27°21'	30°00'	27°28'
15	p:	+ 7.1	+ 3251	10	5°20'—6°45'	65°40'—66°30'	6°02'	66°05'	6°35'	66°11'
16	a'	+ $\frac{15.1}{2}$	+ 19.13.32.6	6	5°08'—6°32'	67°14'—67°33'	5°24'	67°26'	6°02'	67°29'

17	Δ :	$+ \frac{10.1}{21.1}$	$+ 4371$	15	$3^{\circ}20' - 4^{\circ}50'$	$71^{\circ}35' - 72^{\circ}45'$	$4^{\circ}05'$	$72^{\circ}10'$	$4^{\circ}42'$	$72^{\circ}27'$
18	π'	$+$	$25.19.\overline{44}.6$	6	$3^{\circ}12' - 4^{\circ}20'$	$72^{\circ}33' - 73^{\circ}48'$	$4^{\circ}10'$	$73^{\circ}09'$	$4^{\circ}30'$	$73^{\circ}09'$
19	u	$+ 11.1$	$13.10.\overline{23}.3$	6	$2^{\circ}40' - 4^{\circ}21'$	$73^{\circ}43' - 74^{\circ}25'$	$3^{\circ}17'$	$73^{\circ}40'$	$4^{\circ}17'$	$73^{\circ}53'$
20	z :	$+ 13.1$	5491	8	$1^{\circ}55' - 3^{\circ}47'$	$75^{\circ}40' - 76^{\circ}30'$	$2^{\circ}56'$	$76^{\circ}05'$	$3^{\circ}40'$	$76^{\circ}10'$
21	v'	$+ 14.1$	$16.13.\overline{29}.3$	5	$1^{\circ}05' - 3^{\circ}10'$	$77^{\circ}20' - 77^{\circ}53'$	$3^{\circ}00'$	$77^{\circ}06'$	$3^{\circ}25'$	$77^{\circ}05'$
22	v :	$+ 16.1$	$6.5.\overline{11}.1$	7	$1^{\circ}06' - 2^{\circ}44'$	$78^{\circ}28' - 78^{\circ}57'$	$2^{\circ}44'$	$78^{\circ}33'$	$3^{\circ}13'$	$78^{\circ}36'$

Положительные призмы

23	b	$+$	∞	$10\overline{10}$	8	$29^{\circ}40' - 30^{\circ}20'$	} $90^{\circ}00'$	$30^{\circ}00'$	} $90^{\circ}00'$	$30^{\circ}00'$	} $90^{\circ}00'$
24	η	$+$	2∞	$41\overline{50}$	9	$18^{\circ}40' - 19^{\circ}20'$		$19^{\circ}00'$		$19^{\circ}06'$	
25		$+$	11∞	$13.10.\overline{23}.0$	5	$4^{\circ}30' - 5^{\circ}35'$		$5^{\circ}02'$		$4^{\circ}18'$	
26		$+$	14∞	$16.13.\overline{29}.0$	6	$3^{\circ}30' - 5^{\circ}31'$		$3^{\circ}35'$		$3^{\circ}25'$	
27	ω	$+$	$\frac{9}{3} \infty$	$52\overline{70}$	1	$42^{\circ}15' - 14^{\circ}12'$		$43^{\circ}14'$		$13^{\circ}54'$	
28	s	$+$	$\frac{7}{2} \infty$	$11.5.\overline{16}.0$	7	$41^{\circ}06' - 11^{\circ}54'$		$11^{\circ}30'$		$12^{\circ}13'$	
29	S	$+$	6∞	$8.5.\overline{13}.0$	6	$7^{\circ}10' - 8^{\circ}00'$		$7^{\circ}35'$		$7^{\circ}35'$	
30	ω .	$-$	$\frac{5}{8} \infty$	$31\overline{40}$	6	$14^{\circ}52' - 16^{\circ}33'$		$5^{\circ}42'$		$16^{\circ}06'$	
31	X	$-$	$\frac{16}{7} \infty$	$10.3.\overline{13}.0$	9	$47^{\circ}20' - 18^{\circ}41'$		$18^{\circ}00'$		$18^{\circ}00'$	
32	a	∞	0	$41\overline{20}$	132	$0^{\circ}0'$		$0^{\circ}00'$		$0^{\circ}00'$	

Отрицательные призмы

33	π	$-$	$\frac{7}{4} \infty$	$51\overline{60}$	2	$20^{\circ}45' - 21^{\circ}09'$	} $90^{\circ}00'$	$25^{\circ}57'$	} $90^{\circ}00'$	$21^{\circ}03'$	} $90^{\circ}00'$
34	ϵ	$-$	4∞	$21\overline{30}$	1	$9^{\circ}45' - 10^{\circ}06'$		$10^{\circ}25'$		$10^{\circ}53'$	
35	ϕ	$-$	$\frac{7}{1} \infty$	$32\overline{50}$	4	$6^{\circ}11' - 6^{\circ}55'$		$6^{\circ}33'$		$6^{\circ}35'$	

Таким образом, у кристаллов изучаемого турмалина развиты, главным образом, следующие три зоны: $\{02\bar{2}1:11\bar{2}0\}$, $\{1011:11\bar{2}0\}$, $\{11\bar{2}0:10\bar{1}0\}$.

Вычисление элементов кристаллов P_0 и C сделано на основании 96 лучших измерений углов ρ и φ хорошо образованных граней. Вычислено $C=0.4502$, $P_0=0.3001$.

Эти числа согласуются с данными Гольдшмидта как следует: $C=0.4777$, $P_0=0.2975$.

Описание граней производится по зонам, начиная с главной. Зона $[11\bar{2}0:10\bar{1}0]$ является самой богатой формами: в ней лежат:

$b\{10\bar{1}0\}$; $\eta\{4\bar{1}50\}$; $X\{10.3.\bar{1}3.0\}$; $\omega\{3\bar{1}40\}$; $S\{8.5.\bar{1}3.0\}$; $\psi\{3\bar{2}50\}$; $\theta\{2\bar{1}30\}$; $\pi\{5\bar{1}60\}$; $\omega\{5270\}$; $s\{11.5.\bar{1}6.0\}$; $\{13.10.23.0\}$ и $\{16.13.29.0\}$.

Грань $a\{11\bar{2}0\}$ господствует над остальными, вследствие чего кристаллы имеют гексагональный облик. Все грани призм покрыты вертикальной штриховкой, иногда очень грубой.

Очень часто грани $\{11\bar{2}0\}$ дают не по одному изображению, а по 2—3 одинаковых сигнала, и трудно решить, какой из них является истинным. В таких случаях одна грань делится на две, наклоненные одна к другой под очень небольшим ($1-2^\circ$) углом, и в зрительной трубе гониометра видна очень резкая линия, служащая ребром этих двух граней.

Повидимому, именно это явление М. Ерофеев (1871) относит к «скучиванию».

Положительные призмы. $a\{11\bar{2}0\}$, принадлежащая к самым обычным формам турмалина, прекрасно развита. В кристалле № 1 форма $\{11\bar{2}0\}$ составлена двумя гранями, наклоненными одна к другой под углом в $1^\circ 52'$. Иногда наблюдается мелкая штриховка параллельно ребру граней $[11\bar{2}0:4\bar{1}50]$. Аналогичное явление наблюдается и у других граней этой формы, иногда с довольно широкими полосами штриховки.

На кристаллах с хорошо развитой гранью моноэдра, где отложился слой сине-голубого вещества в 3—4 мм, грань формы $\{11\bar{2}0\}$ ведет себя неодинаково. На темнубурой части аналогичного конца кристалла она совершенно гладка и не имеет никаких углублений (участок b на фиг. 11), но, как только она вступает в сине-голубую часть, на ней появляются углубления в виде ленточек, параллельных оси Z (участок a): они хорошо ограничены и резко обрываются на границе сине-голубого слоя и бурой части кристалла. Это иллюстрируется фиг. 11. Штриховка граней этой формы развита сильнее на больших кристаллах, чем на маленьких, где зачастую она совсем отсутствует.

Фиг. 11. Строение кристалла турмалина на срезе, параллельном оси Z .

$b\{10\bar{1}0\}$ встречается очень редко и составляет лишь 6% возможных граней этой формы, в виде узенькой, блестящей, несущей штриховку полоски. Эта форма, в противоположность форме $a\{11\bar{2}0\}$, развита очень слабо, дает слабее выраженные сигналы и в образовании облика кристалла почти никакой роли не играет. Встречается как в положительных, так и в отрицательных сектантах.

$\{13.10.23.0\}$ — спорная форма: она встречена как отдельная грань и как часть грани. Обычно какая-нибудь грань дает ряд сигналов, среди которых имеется и сигнал данной грани.

$\{16.13.29.0\}$ присутствует узенькой полоской и дает довольно четкий сигнал. Это — грань довольно ненадежная и скорее всего может быть отнесена к вичинали грани $\{5270\}$. Остальные призмы редки и развиты в виде узеньких блестящих полосок.

Отрицательные призмы. $\pi\{5\bar{1}60\}$ для турмалина нова: она присутствует узенькой полоской, дающей сигнал среднего качества, или же довольно ши-

рокой гранью со штриховкой; в этом случае дает хороший сигнал. Остальные формы $\{21\bar{3}0\}$ и $\phi\{32\bar{5}0\}$ присутствуют в виде узеньких полосок.

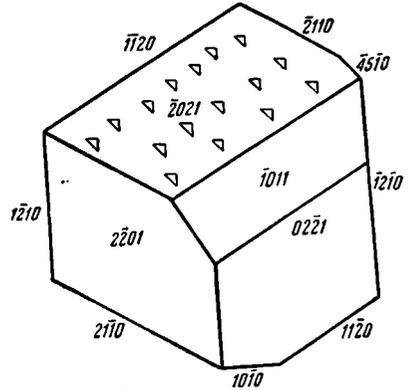
Как видно из этого просмотра, форма $a\{11\bar{2}0\}$ доминирует над всеми остальными. Часто при измерении наблюдается непрерывный ряд сигналов от одной грани формы $a\{11\bar{2}0\}$ к другой, в особенности там, где имеется много узеньких полосок, соответствующих подчиненным формам.

Зона дитригональных пирамид $[02\bar{2}1 : 1\bar{1}\bar{2}0]$ по количеству форм стоит на втором месте и очень важна для облика антилогичного полюса.

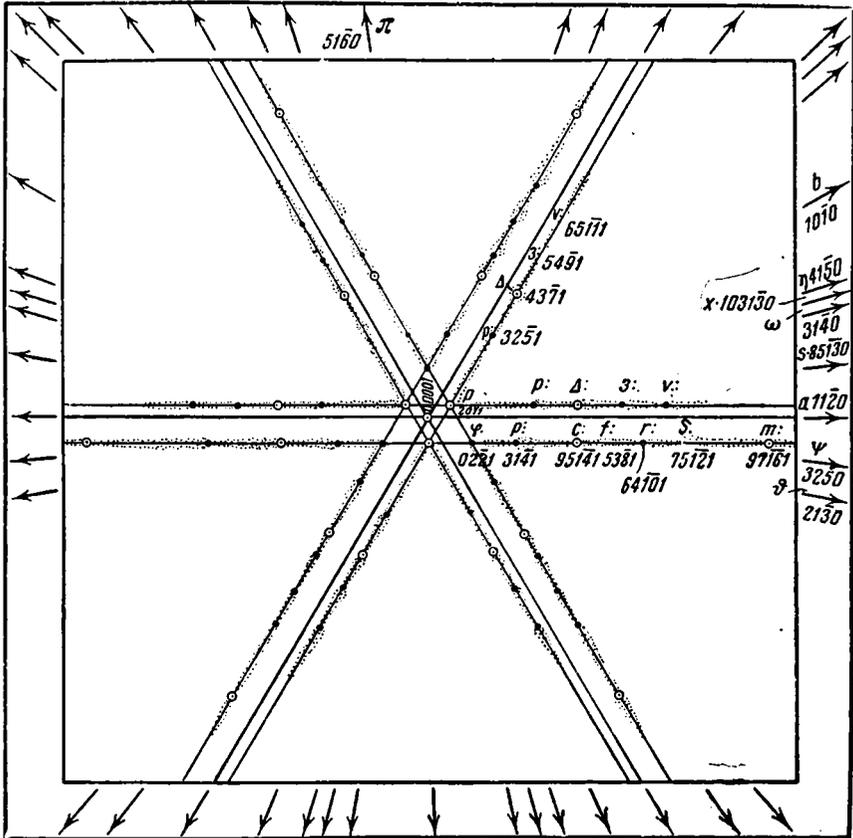
В ней лежат: $\phi: \{02\bar{2}1\}$; $\rho: \{31\bar{4}1\}$; $c: \{9.5.14.2\}$; $f: \{53\bar{8}1\}$; $g: \{6.4.10.1\}$; $\delta: \{7.5.12.1\}$; $m: \{9.7.16.1\}$; $\tau: \{28.10.38.9\}$; $l: \{31.19.50.6\}$; $s: \{16.10.26.3\}$; $k: \{41.29.70.6\}$; $m': \{28.22.50.3\}$.

Важную роль играют формы $\{02\bar{2}1\}$, $\{31\bar{4}1\}$, $\{53\bar{8}1\}$ и $\{6.4.10.1\}$.

$\phi. \{02\bar{2}1\}$, как видно из табл. 3, присутствует на всех концах антилогичного полюса, где она хорошо развита и доминирует над всеми остальными, а так-



Фиг. 12. Фигуры травления на грани $(20\bar{2}1)$.



Фиг. 13. Гномоническая проекция кристалла турмалина.

же на одном из концов аналогичного полюса, в виде маленькой блестящей площадки. Обычно наблюдаются лучи роста по направлению к соседним граням дитригональной пирамиды (гномоническая проекция, фиг. 13).

На этой грани наблюдались фигуры разбедания в виде клиновидных треугольничков, закономерно ориентированных один по отношению к другому (фиг. 12), также в виде четырехугольничков, розеток и шестиков и часто в виде фигурок неопределенной формы, которые никаких сигналов не дают.

Если грань хорошо развита, то она дает группу сигналов с одним ярким в центре, если же она мала и блестяща, то дает один сигнал.

На кристаллах с антилогичным концом она встретила только один раз; развита она здесь очень плохо.

Форма $p : \{3\bar{1}\bar{1}\}$ дитригональной пирамиды встречается на многих кристаллах или хорошо развитой, или в виде узенькой полоски, а иногда в виде небольшой площадки. Обычно на ней наблюдаются выпуклости и вогнутости, что дает непрерывный ряд сигналов по направлению к соседней грани дитригональной пирамиды, или же, если таковая отсутствует, — к соответствующей грани призм $\{11\bar{2}0\}$. Ее штриховка, на образование которой оказала влияние грань $\{02\bar{2}1\}$, параллельна тому же комбинационному ребру $[02\bar{2}1 : 3\bar{1}\bar{1}]$ и проявляется интенсивно вблизи от него: по мере удаления от этого ребра штриховка постепенно уменьшается и, наконец, совсем исчезает. Первый сигнал, который дает верхний конец грани, непосредственно прилегающий к комбинационному ребру $[02\bar{2}1 : 3\bar{1}\bar{1}]$, выделяется ярче и рельефнее, чем остальные сигналы ряда, которые, по мере приближения к соседней грани, становятся слабее и слабее.

Близка к предыдущей грань (28.10.38.9), присутствующая на тех же кристаллах, что и p : Регулярное повторение ее во всех отрицательных сектантах с незначительными отклонениями во все стороны позволяет считать ее за вициналь грани p :

Менее надежной, чем вициналь, можно считать $\frac{11}{2} \cdot 2 = (19.7 \cdot \bar{2}6.6)$

и грань $6.2 = (10.4 \cdot \bar{1}4.3)$. Несколько в стороне падает точка $\frac{11}{2} \cdot \frac{8}{3} = (65.17 \cdot \bar{8}2.18)$, которая является результатом искривления грани. Такое закономерное повторение сигналов, соответствующих перечисленным вициналам, вполне определяет вицинальное развитие грани $\{3\bar{1}\bar{1}\}$.

Форма $s : \{9.5 \cdot \bar{1}4.2\}$ встречена в виде небольших клинообразных площадок между гранями $(02\bar{2}1)$ и $(53\bar{8}1)$. Аналогично предыдущей грани, она выпукла и дает непрерывный ряд сигналов по направлению к грани $\{53\bar{8}1\}$. Для турмалина нова. Конечно, довольно сложные индексы, а также и вицинальное развитие соседних граней заставляют относиться к ней очень осторожно и квалифицировать ее как грань спорную.

$f : \{53\bar{8}1\}$ встречается полностью на кристаллах № 10, 11, 14. Она представляет собой ряд параллельных, очень близко расположенных друг к другу, узеньких полосок, дающих отдельные сигналы. В лучшем случае они резко разграничиваются, по обычно таких разграничений не бывает. Непрерывный ряд совершенно одинаковых по качеству сигналов дает плавно загибающиеся грани, и такой ряд образует сплошной луч. Грани же $\{31.19 \cdot \bar{5}0.6\}$, $\{14.8 \cdot \bar{2}2.3\}$, $\{16.10 \cdot \bar{2}6.3\}$, $\{19.13 \cdot \bar{3}2.3\}$, $\{20.14 \cdot \bar{3}4.3\}$ встречаются по 2—3 раза и могут быть с уверенностью отнесены к вициналам, тем более, что их соединяет непрерывный луч роста.

$g : \{6.4 \cdot 10.1\}$ полностью представлена на кристалле № 21, где она расположена в виде узеньких полос параллельно комбинационному ребру граней $[6.4 \cdot \bar{1}0.1 : 11\bar{2}0]$. Аналогично предыдущим граням, она является вицинальной и дает непрерывный ряд сигналов, постепенно затухающих по направлению к призме.

$\delta : \{7.5 \cdot \bar{1}2.1\}$ — обычно с выпуклостями и вогнутостями. Дает непрерывный ряд сигналов по направлению к призме $\{11\bar{2}0\}$. Грани довольно большие, с маленькими углублениями, на дне которых имеются небольшие площадки, дающие отблеск совместно с гранью призм. Грань иногда разорвана на несколько участков, развита плохо, почему и измеряется труднее всех. Близко к ней расположена ее вициналь, с индексом $G_2 = \frac{33}{2} \cdot 2 = \{41.29 \cdot \bar{7}0.6\}$. Законо-

мерно она повторяется во всех сектантах и может быть вполне удостоверена как таковая.

m : {9.7.16.1} встречена полностью на кристалле № 18, где она расположена узенькими блестящими полосками параллельно комбинационному ребру призмы второго рода и грани дитригональной пирамиды. На плоскости грани имеются углубления с маленькими площадками на дне, которые дают рефлекс одновременно с гранью призмы. Грань **m**: дает, аналогично предыдущим, непрерывный ряд сигналов, постепенно затухающих по направлению к призме. Для турмалина эта грань также нова, однако она настолько ярко выражена, что может считаться установленной. Трудности в определении этой грани заключаются в ее очень большом ρ и вицинальном развитии. Ее вициналью является грань {28.22.50.3}, расположенная очень близко и закономерно повторяющаяся во всех сектантах. Как и грань {9.7.16.1}, она имеет углубления с площадками, дающими одновременный рефлекс с гранью призмы {1120}.

Гр а н и з о н ы дитригональной пирамиды закономерно развиты во всех отрицательных сектантах.

Луч роста, слабо начинаясь от грани {0221} при соприкосновении с гранью дитригональной пирамиды, чрезвычайно усиливается, превращаясь в непрерывный ряд сигналов. Обыкновенно в начале грани он очень ярк и слагается отдельными, очень близко отстоящими друг от друга сигналами; по мере же приближения к противоположному концу сигналы становятся слабее, и весь луч постепенно затухивается.

Зона [1011 : 1120] положительных дитригональных пирамид. В ней лежат:

$$\begin{aligned} \text{p.} & \{10\bar{1}1\}; \text{p.} \{32\bar{5}1\}; \text{v}' \{19.13.\bar{3}2.6\}; \Delta: \{43\bar{7}1\}; \lambda \{25.19.\bar{4}4.6\}; \\ & \text{u} \{13.10.\bar{2}3.3\}; \text{v.} \{54\bar{9}1\}; \text{v}' \{16.13.\bar{2}9.3\}; \text{v.} \{6.5.\bar{1}1.1\}. \end{aligned}$$

Эта зона начинается гранью тригональной пирамиды {1011}.

Грани дитригональной пирамиды образуют нормальный ряд с все более и более увеличивающимся ρ .

Это очень важная зона, имеющая большое значение для облика кристалла; но по количеству форм она стоит на последнем месте.

p. {1011} присутствует как на антилогичном полюсе, в виде очень узенькой блестящей полоски, расположенной между гранями формы {0221}, так и на аналогичном полюсе, обычно — как маленькая блестящая площадка. Редко она бывает хорошо развита. Так, на кристалле № 1 она развита гораздо сильнее, чем на остальных, и дает очень маленькие фигурки разведения; она неровна и делится на две части: большую — гладкую блестящую, дающую хороший сигнал, и меньшую — в виде вогнутой площадки, дающей три мутных сигнала. Аналогичное явление наблюдается и на кристалле № 3. В сложных, богатых гранями кристаллах она имеет подчиненное значение и часто присутствует в виде узенькой блестящей полоски. На наших кристаллах она не доминирует.

p. {3251} встречена в виде хорошо развитой блестящей плоскости с отчетливыми сигналами. Иногда наблюдается группа сигналов, из которых ярко выделяется один истинный; по нему и брались отсчеты. Чаше же грани волнистые, дающие непрерывный ряд сигналов. Штриховка идет параллельно комбинационному ребру [1011 : 3251]. Вициналью является грань {19.13.32.6}, закономерно повторяющаяся во всех случаях: полюс ее при наложении на гномоническую проекцию часто совпадает или же укладывается очень близко к полюсу грани {3251}.

Δ : {4371} дает непрерывный ряд очень ясных сигналов, направляющихся к призме. Повидимому, она сложена рядом параллельных узеньких полосок со все более и более увеличивающимся ρ . Грань покрыта острыми клиновидными треугольными углублениями, которые образованы гранями (1120) и (4371). Ее вициналами являются грани {25.19.44.6} и {13.10.23.3}, закономерно повторяющиеся во всех сектантах: моллюсы их граней при отло-

жении на гномонической проекции накладываются или же очень близки к своим граням.

$v: \{54\bar{0}1\}$, аналогично предыдущим, дает непрерывный ряд сигналов, постепенно затухающих к грани призмы, и образует вициналь ($16.13.\bar{2}9.3$).

$v: \{6.5.\bar{1}1.1\}$ заканчивает зону, давая самое большое значение для ρ . Представлена сравнительно большими гранями. Среди граней этой формы тоже наблюдаются треугольные углубления, с маленькими площадками внутри, дающими сигнал одновременно с гранью призмы.

Форма v : аналогично другим, дает непрерывный ряд сигналов, направленных к призме.

Грани этой зоны в отношении лучей роста и вицинального развития совершенно аналогичны граням зоны $[02\bar{2}1 : 11\bar{2}0]$.

$o \{00\bar{0}1\}$. Грань моноэдра встречается исключительно на аналогичных концах кристаллов, очень хорошо развита и преобладает над всеми остальными гранями. На этой грани наблюдаются фигуры разъедания в виде: а) угловатых фигурок, б) треугольников, в) шестиугольных фигурок, от которых получается такое впечатление, как будто данная грань сложена из маленьких фигурок (фиг. 10). В этом случае, повидимому, мы наблюдаем явление, которое М. Ерофеев (1871) называет «скупиванием неделимых»: общее впечатление такое, что разрушаются отдельные очень маленькие индивидуумы. Эти наблюдения связаны с наблюдениями на грани призмы $\{11\bar{2}0\}$ в сине-голубой части кристалла, где грань призмы заключает в себе 4—5 полосок, заполненных продуктами разрушения и очень четко ограниченных (фиг. 11). Часто грань мутна и усеяна черными точками и пятнами. Как правило, грань дает группу сигналов, число которых увеличивается соответственно степени ее разрушения. Вследствие такого явления все попытки установить кристалл на гониометре по грани моноэдра оказались тщетными, и кристаллы устанавливались по прекрасно развитой зоне призмы.

На гномонической проекции (фиг. 13) изображены все наблюдавшиеся формы. Сплошными кружками отмечены наиболее существенные грани, придающие кристаллам их облик. Полыми кругами обозначены часто встречающиеся, но мелкие и второстепенные грани, точкой — редкие, кругами с точкой отмечены новые формы для турмалина. Лучи роста отмечены пунктиром между всеми гранями.

Из сопоставления литературных данных видно, что для уральских турмалинов вообще характерно повышение отношения осей сравнительно с турмалинами других месторождений — советских и зарубежных.

Черные турмалины из Андреасберга (Andreasberg), описанные Розе, имеют, аналогично описываемым нами, гексагональный облик благодаря преобладанию призмы $\{11\bar{2}0\}$, но, в отличие от наших, они вытянуты почти одинаково как в длину, так и в ширину; кроме того, грань $\{10\bar{1}1\}$ у них преобладает над гранью $\{02\bar{2}1\}$.

Гораздо ближе к нижнеисетским стоят шведские светлосерые, до яблочно-зеленых, турмалины из месторождения Кампо-Лонго (Campro-Longo), также описанные Розе. У них также формы $\{02\bar{2}1\}$ и $\{11\bar{2}0\}$ преобладают над остальными, но отсутствуют дитригональные пирамиды, кристаллы их боченковидны, не вытянуты по оси Z .

Хром-турмалины Нижне-Исетской дачи точно так же имеют гексагональный облик, вследствие преобладания призмы $\{11\bar{2}0\}$; на них также присутствуют дитригональные пирамиды, но грань $\{10\bar{1}1\}$ не преобладает над гранью $\{02\bar{2}1\}$.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Для оптического изучения турмалина Нижне-Исетской дачи 269 квартала были приготовлены шлифы, ориентированные перпендикулярно и параллельно главной кристаллографической оси Z .

В результате изучения более 20 препаратов намечается четыре оптически различных типа турмалина. Каждый из этих типов имеет свои особен-

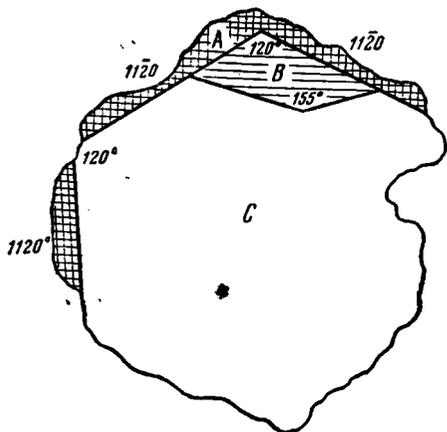
ности; в некоторых препаратах наблюдаются незначительные колебания, но в общем строго выдерживается присущая им закономерность.

Наше описание мы начнем со шлифов, вырезанных перпендикулярно оси Z .

К первому типу относятся кристаллы, у которых внутренняя часть образована бесцветным однородным веществом, а периферический слой — в виде узкой полоски и отдельных участков — интенсивно окрашен в зеленый цвет.

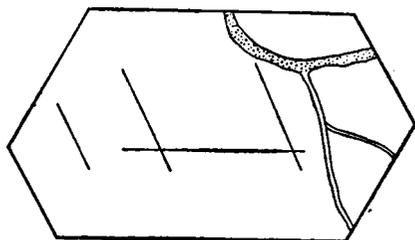
Шлиф 1-б, изображенный на фиг. 14, наглядно показывает кристаллы этого типа. Пластинка для этого препарата вырезана ниже границы между светлоголубым и темнозеленым участками (фиг. 11) также перпендикулярно оси Z , т. е. взята из средней части нашего кристалла.

В проходящем свете наружный слой A образован веществом густозеленого цвета. Слой довольно топкий и окружает три стороны призмы второго рода ($11\bar{2}0$). При изготовлении препарат был разорван, что не дало возможности полностью наблюдать весь разрез. С внутренними слоями он дает очень резкую границу тоже по призме второго рода ($11\bar{2}0$), в виде ясных линий, пересекающихся под углом в 60° .



Фиг. 14. Разрез турмалина перпендикулярно оси Z .

A — участок зеленого цвета; B — светлоголубо-голубой; C — прозрачный



Фиг. 15. Разрез турмалина перпендикулярно оси Z . Шлиф 1-а.

Измеренные на кристаллорефрактометре показатели преломления вещества, образующего этот наружный слой, таковы:

$$\begin{aligned}\omega &= 1.6569 \pm 0.0008; \\ \varepsilon &= 1.6284 \pm 0.0012; \\ \omega - \varepsilon &= 0.0285.\end{aligned}$$

Граница с участком B выражена менее резко, а потому и полоска Бекке проявляется слабее; однако при тщательном наблюдении удается установить, что вещество, образовавшее слой A , имеет показатель преломления больший, чем вещество, образовавшее участок B .

Вещество A — одноосное, оптически отрицательное.

Участок B (фиг. 14) также окрашен в зеленый цвет, но гораздо слабее, чем слой A , от которого он отделяется резкими линиями. Он занимает небольшое пространство, располагаясь в углу между двумя гранями призмы второго рода ($11\bar{2}0$). От внутреннего участка C он отграничен двумя резкими линиями, пересекающимися под углом 25° и образующими внутренний угол в 155° .

Центральная часть C занимает наибольшую часть шлифа; она окрашена в слабый голубовато-синий цвет и своей окраской соответствует препарату, изображенному на фиг. 15. Вещество, образовавшее эту часть, совершенно однородно, оптически отрицательно во всех своих частях и резко отграничено от других слоев и участков.

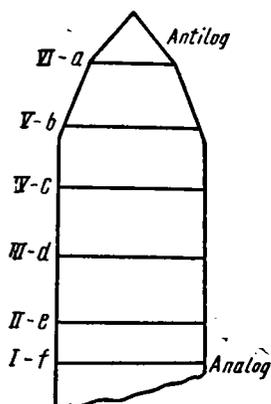
Показатели преломления следующие:

$$\begin{aligned}\omega &= 1.6385 \pm 0.0011; \\ \epsilon &= 1.6174 \pm 0.0011; \\ \omega - \epsilon &= 0.0211.\end{aligned}$$

Пластинка для препарата, изображенного на фиг. 15, взята из светлоголубого слоя (фиг. 11, участок *a*), так что сама плоскость моноэдра (0001) только немного пришлифована.

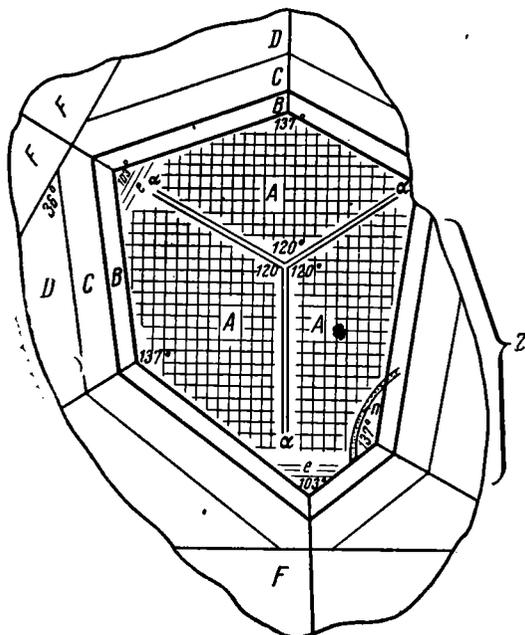
В проходящем свете наблюдается однородное во всех участках, прозрачное, светлоголубое вещество; видно также несколько трещин, параллельных граням призмы (11 $\bar{2}$ 0), иногда совершенно неправильной формы, как полоска *a*, которая содержит мельчайшие включения черных крупинок ближе неопределимого вещества и мелкие червеобразные включения.

Для проверки строения кристалла был взят второй кристалл (от образца с диапором), и из него был приготовлен шлиф перпендикуляр-



Фиг. 16. Разрез турмалина параллельно оси *Z*.

VI-*a* — верхняя часть V-*b* — ниже на 3—4 мм; IV-*c* — ниже на 6—7 мм; III-*d* — ниже на 10—12 мм; II-*e* — ниже на 15—20 мм; I-*f* — ниже на 25—27 мм



Фиг. 17. Разрез турмалина перпендикулярно оси *Z*.

A — участки зеленого цвета; B, C, D, F — полоски двуосного отрицательного вещества; *a* — узенькие полоски светлозелено-голубоватого цвета. Шлиф V-*b*

но к оси *Z*. Оказалось, что внутренняя часть, аналогично предыдущему образцу, заполнена прозрачным в проходящем свете веществом, а на периферии имеются узенькие полоски, окрашенные: первая — в бурый цвет, с зеленоватым оттенком, вторая — в зеленый цвет. Эти полоски не параллельны, а расположены под углом в 2—3°. Линия, отделяющая внутреннюю прозрачную часть от наружных полосок, образует угол в одном случае в 51°, а в другом 67°, т. е. не является определенным гексагоном.

В т о р о й т и п отличается от первого тем, что у него внутренняя часть окрашена в интенсивный зеленый цвет, а периферические слои, наоборот, прозрачны.

Для изучения турмалинов этого типа был взят большой кристалл и из различных его участков, как указано на фиг. 16, вырезаны пластинки, из которых и приготовлены шлифы, ориентированные перпендикулярно оси *Z*.

Первые два шлифа (VI-*a* и V-*b*) взяты из антилогичного конца, окрашенного в бурый цвет, где присутствуют тригональные и дитригональные ш-

рамиды, а остальные четыре шлифа взяты ниже, где развиты исключительно грани призмы.

В шлифе V-b центральная часть кристалла *A* (фиг. 17) в проходящем свете окрашена интенсивно в зеленый цвет. Вещество, ее составляющее, во всех участках однородно, одноосно и отрицательно.

Показатели преломления таковы:

$$\begin{aligned}\omega &= 1.6569 \pm 0.0008; \\ \epsilon &= 1.6284 \pm 0.0012; \\ \omega - \epsilon &= 0.0285.\end{aligned}$$

В центре участка *A* имеются три синевато-голубоватых, расходящихся из одного центра, узеньких полоски *a*, которые по своему цвету соответствуют полоске *a* и треугольничку *b* шлифа VI-a, изображенного на фиг. 19. Они располагаются через 120° и соответствуют по положению грани положительной тригональной пирамиде первого рода ($10\bar{1}1$), которая действительно представлена в виде таких узеньких полосок на кристаллах нашего месторождения. Против полосок *a* в углах, им соответствующих, и в перпендикулярном к ним положении наблюдаются полоски *e*, совпадающие с плоскостью симметрии кристалла и окрашенные в светлобурый цвет. Повидимому, они принадлежат к граням ($10\bar{1}0$). Весь участок *A* резко ограничен линиями, образующими внутренние углы в 103 и в 137° . Как первые, так и вторые углы повторяются через 120° .

Наружная часть *Z* (фиг. 17), образованная полосками *B*, *C*, *D*, *F*, в проходящем свете совершенно прозрачна, не дает никаких линий и разделов.

Показатели преломления:

$$\begin{aligned}\omega &= 1.6385 \pm 0.0011; \\ \epsilon &= 1.6174 \pm 0.0011; \\ \omega - \epsilon &= 0.0211.\end{aligned}$$

В скрещенных николях эта часть неоднородна и резко разделяется на полоски *B*, *C*, *D*, *F*.

Полоска *B*, как видно из ряда параллельных сечений, произведенных перпендикулярно к *Z*, расположена почти параллельно граням формы $\{02\bar{2}1\}$: очевидно, она соответствует какой-то пирамидальной грани. Вещество ее двуосно, отрицательно и $2V = -5^\circ 30'$.

Полоска *C* параллельна полоске *B*; вещество ее также двуосно, отрицательно и $2V = -17^\circ$.

Наконец, полоска *D* параллельна первым двум, также двуосна, отрицательна и ее $2V = -24^\circ$.

Все эти три полоски *B*, *C*, *D*, граничащие с формой $(02\bar{2}1)$, согласно сингонии данного минерала, должны находиться в отрицательном сектанте и принадлежать граням отрицательной дитригональной пирамиды. Погасание их одновременное, но степень просветления при вращении в скрещенных николях различна. Так, полоска *B* просветляется до темносерого, полоска *C* — до светлосерого и полоска *D* — до совсем светлого. Как видим, $2V$ у полоски *B* наименьший, у *D* — больше, а у *C* — наибольший. Вещество, образовавшее полоски *F*, двуосно, отрицательно и его $2V = -24^\circ$. При вращении в скрещенных николях полоски проясняются до белого.

Плеохроизм полоски *F* — от прозрачного до светлобуроватого, а полоски *D* — до светлосиневатого.

Нужно заметить, что при вращении в скрещенных николях все полоски, как положительных, так и отрицательных дитригональных пирамид, расположенные в одном сектанте, например *Z* (см. шлиф V-b, фиг. 17), угасают почти одновременно.

Таким образом, вещество, образовавшее поверхностный слой головки кристалла, т. е. дитригональные пирамиды, резко отлично от вещества, образовавшего остальной кристалл. Оно прозрачно, двуосно, с совсем не-

значительным плеохроизмом, тогда как остальное — строго одноосно, окрашено в зеленый и сине-голубой цвет, с полным отсутствием плеохроизма.

В шлифе имеется трещинка, заполненная черными крупинками ближе не определенного вещества. Повидимому, это продукты разрушения, которые наблюдались и в других шлифах, например в шлифе IV-a (фиг. 22).

Шлиф VI-a (фиг. 19), вырезанный выше на 4 мм, как указано на фиг. 16, также пересекает формы (0221), (1011) и дитригональные, — как отрицательные, так и положительные, — пирамиды. В основном он вполне согласуется с шлифом V-b (фиг. 17), за исключением некоторых деталей; они заключаются в следующем:

а) Хорошо выраженные синеваго-голубоватые полосы здесь совершенно отсутствуют, а вместо них присутствует полоска *a*, которая шире полосы *a* и, кроме того, книзу еще больше расширяется. Нижняя часть с верхней образует угол в 30° . Несколько в стороне располагается треугольничек *b*, также резко ограниченный.

б) Прозрачная часть представлена точно так же полосками *B, C, D, F*, но так как препарат при изготовлении был разорван, то мы видим только три угла и один раз проявленные положительные дитригональные пирамиды; остальные легко построить из элементов сингонии турмалина.

Шлиф VI-c (фиг. 20 и 21) взят ниже шлифа V-b на 6—7 мм; он также представляет несколько участков и слоев. Внутренняя часть *A* разделена на три сектора и окрашена в интенсивный зеленый цвет. Во всех своих частях она составлена однородным одноосным веществом.

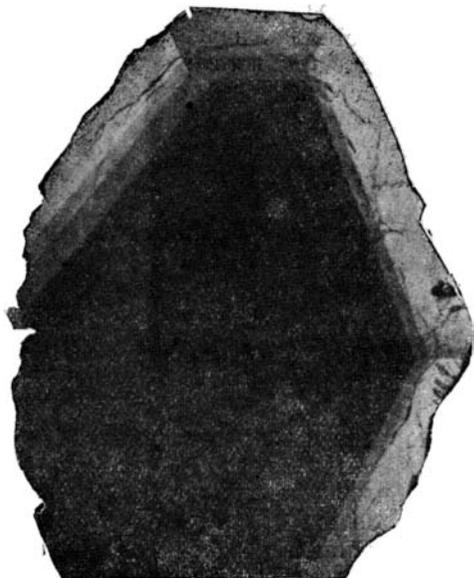
Линии *a*, которые делят участок на три сектора, расположены через 120° и, повидимому, соответствуют плоскостям симметрии кристалла. От этих линий проходят под определенным углом к ним и строго параллельно между собой линии, полосы и ленточки. Эти

полоски и линии образованы сине-голубым веществом, аналогичным веществу *a* и *b* (фиг. 18 и 19). В общем они образуют подобие елочек около линий *a* как указано на фиг. 21. Если мысленно продолжить каждую из линий *a* в противоположном направлении, то полосы, линии и ленточки будут им строго параллельны.

Внутренняя часть *A* отделяется резкими линиями от наружных слоев. Последние в трех местах, т. е. через 120° , образуют входящие углы в 145° , 160° , 165° . Сбоку от входящих углов расположены участки *E*. В отличие от внутренней части *A*, они в проходящем свете бурые. Точно так же они одноосны, все же другие наружные слои двуосны. Участки *E* повторяются тоже через 120° и, повидимому, соответствуют участкам фиг. 19.

Полоски *B, C, D* совершенно аналогичны полоскам шлифа V-b (фиг. 17): они двуосны и в проходящем свете прозрачны. Они расположены одна по отношению к другой под углами в $1-2-3^\circ$. Остальные препараты этого участка кристалла совершенно аналогичны препарату IV-c, за исключением следующих деталей:

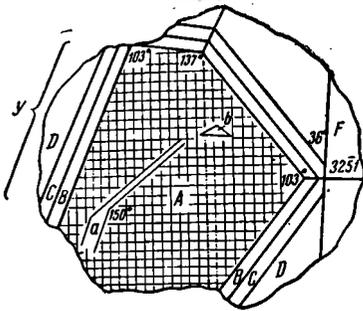
А) В препарате II-e, вырезанном ниже (фиг. 16), сине-голубые полосы образуют елочки роста, но только здесь во всех трех секторах они строго параллельны продолжению линии *a* в обратном направлении.



Фиг. 18. Фотография шлифа V-b.

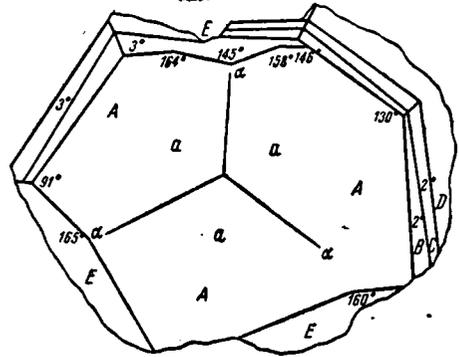
Б) Полоски препарата II-е (фиг. 16) окрашены в зеленый цвет, но менее интенсивно, чем внутренняя часть А, одноосны и составляют наружную часть кристалла.

В) В препарате I-ф, вырезанном из нижней части кристалла (фиг. 16): а) линии α почти незаметны, елочкообразные линии, полоски и ленточки вы-



Фиг. 19. Разрез турмалина перпендикулярно оси Z.

А — участок зеленого цвета; В, С, D, F — полоски двуосного отрицательного вещества. Шлиф VI-а.



Фиг. 20. Разрез турмалина перпендикулярно оси Z.

А — участок зеленого цвета; В, С, D — полоски двуосного отрицательного вещества; E — бурые полоски одноосного вещества Шлиф II-е.

ражены менее ярко; б) полосы E, окрашенные в бурый цвет, увеличиваются в одних и уменьшаются в других сектантах; в) линии, ограничивающие внутреннюю часть А кристалла, не так прямые, как в предыдущих препаратах, а отчасти извилисты, г) на одной из наружных сторон препарата имеется



Фиг. 21. Фотография шлифа II-е.

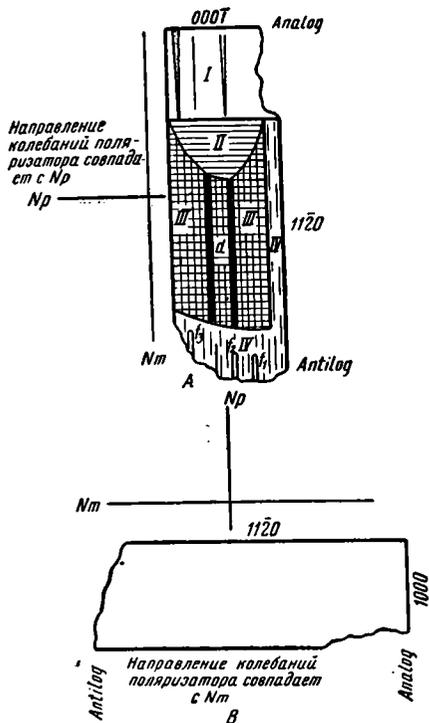
полоска, образованная слабо двуосным веществом, д) в одном из углов, образованных гранями гексагональной призмы, наблюдаются маленькие грани других призм, е) для всех препаратов, как правило, следует отметить, что светлоголубые полоски α и линии α развиты в основной своей массе в центре, а к периферии количество их уменьшается.

Ясность и четкость всех этих линий точно также уменьшаются с приближением к антилогичному концу кристалла.

Третий тип кристаллов отличается от остальных типов: а) расположением своих отдельных участков, параллельных или перпендикулярных граням призмы, б) расположением своих различно окрашенных частей и в) включением отдельных маленьких индивидуумов, расположенных на антилогичном полюсе и повернутых своими полюсами в обратном направлении по отношению к полюсам главного кристалла. Внутренняя часть окрашена интенсивно в зеленый цвет; часть аналогичного полюса бесцветна, а антилогичный окрашен в светлорозовый цвет.

Различно окрашенные участки расположены параллельно граням призмы.

Препарат IV-а (фиг. 22), относящийся к кристаллам третьего типа, ориентирован параллельно оси Z по одной из граней призмы второго рода ($11\bar{2}0$) и приготовлен из маленького кристалла с хорошо развитой гранью моноэдра (0001).



Фиг. 22. Разрез турмалина параллельно оси Z . Схема плеохроизма. Шлиф IV-а.

В проходящем свете это совершенно прозрачное вещество, одинаковое во всех своих частях. От участка II он отделяется резкой линией, параллельной грани моноэдра. Параллельно грани призмы наблюдается несколько прямых четких линий. Одна из них отделяет небольшую узкую полоску от остального тела. Повидимому, это в миниатюре те же линии, которые наблюдались в кристалле № 6 при кристаллографическом изучении (фиг. 11). Там они гораздо больше и заполнены посторонним веществом. Здесь, также в трещине, отделяющей узенькую полоску, наблюдаются включения постороннего, ближе не определимого вещества бурого цвета, в виде выполняющих трещину маленьких кусочков; в проходящем свете это вещество не плеохроит, в скрещенных николях — темное.

Участок I в скрещенных николях дает высокие цвета интерференции — от розового к зеленому. На периферических частях преобладают зеленые цвета. $\omega - \varepsilon = 0.0221$.

Схема плеохроизма показана на фиг. 22. При положении A, когда направление колебаний поляризатора совпадает с осью Np , наблюдается очень сильное окрашивание. Вся пластинка шлифа делится на четыре резко отграниченных друг от друга участка (I, II, III и IV). Окраска, самая интенсивная в центре, к периферии постепенно уменьшается, и паружные слои совсем бесцветны. При положении B, т. е. когда направление колебаний поляризатора совпадает с осью Nm , вся пластинка делается совершенно прозрачной с буроватым оттенком. Совершенно исчезают резкие участки и полосы, которые очень четко выделялись в первом случае. Плеохроизм очень сильный — от зеленого, частично голубоватого, до прозрачного с буроватым оттенком или светлорозоватого.

Рассмотрим отдельно оба случая.

Участок I препарата (фиг. 22) соответствует слою в 4 мм толщиной, образованному светлоголубым веществом и несущему грань моноэдра (0001).

В сходящемся свете наблюдаются расходящиеся и вновь появляющиеся гиперболы, меняющие свою окраску от красного до зеленого.

Показатели преломления участка таковы:

$$\begin{aligned}\omega &= 1.6385 \pm 0.0011; \\ \varepsilon &= 1.6174 \pm 0.0011; \\ \omega - \varepsilon &= 0.0211.\end{aligned}$$

Участок *II* (фиг. 22) сильно плеохроирует и при совмещении оси *N_p* с колебаниями поляризатора дает голубовато-сине-зеленые цвета плеохроизма. Показатели преломления больше, чем у участка *I*. На участке же *III*, окрашенном в зеленые цвета плеохроизма, граница хотя и выделяется резко, но четкой линии нет и полосы Бекке обнаружить не удалось. Наблюдается постепенный и почти незаметный при сильном увеличении переход. Цвета интерференции — от зеленых до розово-сиреневых. Угасание прямое.

Показатели преломления участка *III* следующие:

$$\begin{aligned}\omega &= 1.6465 \pm 0.0010; \\ \varepsilon &= 1.6218 \pm 0.0012; \\ \omega - \varepsilon &= 0.0247.\end{aligned}$$

В проходящем свете участок *III* плеохроирует сильнее, чем все остальные. При совпадении *N_p* с колебаниями в поляризаторе дает зеленые цвета плеохроизма с двумя очень ясно выделяющимися полосками *d*, которые еще интенсивнее окрашены в зеленый цвет (фиг. 22). Показатель преломления у полосок *d* больше, чем у окружающего вещества (следовательно, и химический состав их другой). Интенсивность окраски у этих полосок не одинакова.

Полоски *d* получают те же цвета интерференции и имеют прямое погасание. Разность хода $\omega - \varepsilon = 0.0285$. Неправильная полоска *C* в проходящем свете представлена двумя линиями, которые немного шире спайности и напоминают проведенные острым предметом следы. В скрещенных николях эти линии ярко окрашены — от сине-зеленого до сиренево-розового цвета.

Показатели преломления участка *IV*:

$$\begin{aligned}\omega &= 1.6465 \pm 0.0010; \\ \varepsilon &= 1.6248 \pm 0.0005; \\ \omega - \varepsilon &= 0.0217.\end{aligned}$$

Этот участок располагается, главным образом, на антилогичном полюсе и узенькой полоской проходит вдоль призмы (11 20). В проходящем свете он прозрачен и имеет зеленовато-буроватый оттенок. Цвета интерференции — от сиренево-розовых до зеленых.

В этой части имеются включения отдельных индивидуумов f_1 , f_2 и f_3 . В проходящем свете они окрашены так же, как и окружающее их вещество, но на них отсутствует грубая шагреня; они отличаются гладкой поверхностью (фиг. 23) и представляют отдельные индивидуумы с резкими границами.

Начнем их рассмотрение с f_1 . Показатель преломления у него меньше, чем у окружающего его вещества. Он обладает прямым погасанием, одновременным со всеми частями шлифа. Цвета интерференции — от сиренево-розовых до зеленоватых на стороне *a* и от желтых до сиренево-розовых на стороне *b*. Средняя узенькая полоска дает сине-голубые цвета интерференции, с постепенными, нерезкими переходами. Как и окружающее вещество, в проходящем свете не плеохроирует.

В верхней части этого индивидуума наблюдаются ограничения, которые и были замерены.

Мы уже достаточно выяснили характерное для нижнеисетского турмалина резкое отличие аналогичного и антилогичного полюсов. Можно предполагать, что копец индивидуума f_1 , ограниченный какой-то плоскостью пи-

рамиды, представлен антилогичным полюсом: в этом случае он повернут по отношению к кристаллу на 180° .

Такое явление наблюдалось при изучении пьроэлектрических свойств данного турмалина.

Индивидуум f_2 , аналогично f_1 (фиг. 23), также не плеохроирует, резко ограничен и имеет прямое угасание. Этот индивидуум резко разделен на два участка — a и b . Повидимому, это шов ребра. В участке a цвет интерференции сине-голубой с желто-зеленым оттенком, переходящий в розово-сиреневый. Участок b дает интенсивный сине-голубой цвет, также переходящий в розово-сиреневый. Цвета плеохроизма этого индивидуума резко выделяются из окружающей среды, дающей розово-сиреневые цвета.

Индивидуум f_3 аналогичен первым двум, но интерференционная его окраска идентична с окружающей средой — густая желто-бурая; при погасании она переходит в сине-зеленую.

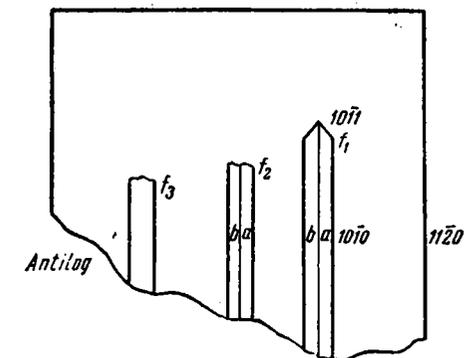
При положении шлифа B (фиг. 22), когда направление колебаний поляризатора совпадает с Nm , все участки кристалла становятся прозрачными,

т. е. однородно окрашенными в белый цвет с чуть буроватым оттенком. Участки I и IV (фиг. 22) светлее и прозрачнее, чем остальная часть, и ограничены резкими линиями. Полоска a в участке III чуть-чуть темнее остального поля и образует едва заметную линию.

Участки II и III сливаются.

Отдельные индивидуумы f_1 , f_2 , f_3 и светлее и прозрачнее окружающего участка и дают резкие линии своих ограничений.

Все части и участки имеют одновременное и прямое угасание, давая в основном сиренево-розовые, сине-зеленые и, в меньшей части, желтые цвета



Фиг. 23. Разрез турмалина параллельно оси Z .

интерференции. Следовательно, ось наибольшей оптической упругости совпадет с вертикальной осью кристалла для всех элементарных составляющих кристалла [в соответствии со схемой немецких авторов Клоке и Клейна (Kloke, Klein)].

Четвертый тип представлен препаратом IV-b (фиг. 24), ориентированным параллельно главной кристаллографической оси Z .

Здесь в проходящем свете наблюдаются четыре различных участка — I , II , III и IV .

Участок I соответствует антилогичному полюсу кристалла. Вещество, составляющее его, прозрачно, с буроватым оттенком. Толщина слоя около 4 мм. Угасание прямое и одновременное во всех частях. Цвета интерференции — высокие, причем самая крайняя часть дает яркожелтые цвета, постепенно переходящие в темпорозовые, по мере приближения к участку IV .

Показатели преломления этого участка:

$$\begin{aligned}\omega &= 1.6465 \pm 0.0010; \\ \varepsilon &= 1.6218 \pm 0.0005; \\ \omega - \varepsilon &= 0.0247.\end{aligned}$$

Участок II , аналогично первому, тоже прозрачен в проходящем свете. Угасание прямое и одновременное. Заметны трещины спайности. Интерферирует от розово-сиреневого до серовато-сиреневого. Цвета интерференции в общем ниже, чем в участке I .

Участок III занимает довольно значительную часть периферии шлифа и развит, главным образом, на аналогичном полюсе, а также вдоль граней призм. Он обволакивает собой внутреннюю часть шлифа. В проходящем

свете окрашен в густой грязнозеленый цвет. Плеохроизм сильный — от грязнозеленого до прозрачного с буроватым оттенком. Участок III образует резкую границу с участком I и имеет больший показатель преломления, чем у последнего. Четкие линии, ограничивающие этот участок, образуют вполне определенные кристаллографические очертания: мы имеем здесь довольно хорошо развитый моноэдр (000I). Правда, линия его раздела не так ясна, как у других граней, но вполне достаточна для определения. Следующие линии раздела, огранивающие участок III, дают с гранью моноэдра углы в 46, 62 и 90°. Первые две могут быть отнесены к граням зоны пирамид, а третья — к граням зоны призм.

Показатель преломления больше, чем на участке I. В нижней части кристалла, т. е. на аналогичном полюсе, наблюдаются резкие линии спайности и параллельные полоски, которые по интенсивности окраски соответствуют то III, то IV участку.

Угасание прямое. Цвета интерференции: от зеленых до сиренево-розовых. Разность хода $\omega - \epsilon = 0.0247$.

Участок IV наиболее интенсивно окрашен в зеленый цвет и образует с участком III во всех местах соприкосновения резкую границу.

Показатели преломления участка IV больше, чем участка III:

$$\begin{aligned}\omega &= 1.6569 \pm 0.0008; \\ \epsilon &= 1.6284 \pm 0.0012; \\ \omega - \epsilon &= 0.0285.\end{aligned}$$

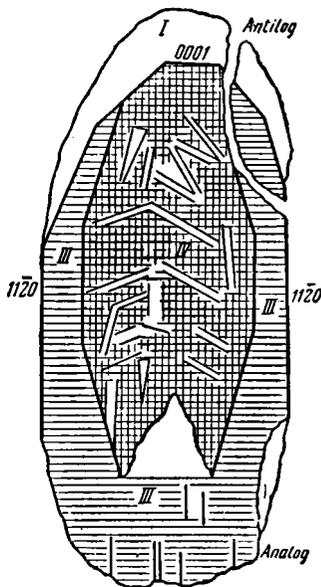
Аналогично участку III, линии ограничений участка IV образуют с гранью моноэдра углы в 80, 20 и 90°. Первая и третья могут принадлежать к граням зоны пирамид, а вторая — призм.

Внутренняя часть этого участка имеет более светлые полоски и линии, расположенные в определенной закономерности как по отношению друг к другу, так и по отношению к внешнему кристаллографическому ограничению. Наблюдаются два рода таких полосок. Первые, довольно расплывчатые и неясные, располагаются приблизительно параллельно граням призмы, вторые расположены под некоторым углом к ней. Среди последних мы наблюдаем два рода полосок. Одни из них образуют с гранью базиса угол в 27° и преобладают над всеми остальными. Другие образуют с гранью (000I) угол в 46°. Эти полоски менее развиты во внутренних частях кристалла и преобладают в наружных.

Вспомним, что у кристаллов турмалина вообще, — и, в частности, исследуемого месторождения, — в зоне пирамид главным образом развиты грани (02̄1̄) и (10̄1̄). Можно думать, что внутренние полоски участка IV, образующие с гранью (000I) углы в 27 и 46°, относятся к этим формам. Принимая условно эти полоски за формы (10̄1̄), (02̄1̄), проследим поведение каждой из них в связи с ростом кристалла.

При самом начале кристаллизации необычайно сильное развитие получила грань (10̄1̄), вытеснив, таким образом, все другие. Грань призмы в это время имела незначительное развитие. Это согласуется с наблюдаемыми в природе случаями. Большею частью на кристаллах с хорошо развитой гранью (10̄1̄) получает развитие тригональная призма, но она не доминирует, так как кристалл не вытянут по оси и имеет боченкообразный вид (например, с Цейлона, Эльбы и др.).

При дальнейшем ходе кристаллизации грань (10̄1̄) начинает уступать свое первенство грани (02̄1̄), развитие которой все увеличивается, и к концу



Фиг. 24. Разрез турмалина параллельно оси Z. Шлиф IV-b.

кристаллизации эта грань преобладает над гранью ($10\bar{1}1$): последняя становится узенькой полоской или совсем исчезает.

Интересно ведет себя грань призмы. В начале кристаллизации, т. е. при господстве грани ($10\bar{1}1$), она имеет незначительное развитие и, повидимому, является положительной тригональной призмой ($10\bar{1}0$). В конце кристаллизации она получает преобладающее развитие и является призмой второго рода ($11\bar{2}0$), придавая кристаллу гексагональную форму. Характерно, что ее развитие связано с развитием ($02\bar{2}1$) и уменьшением ($10\bar{1}1$).

Что касается грани моноэдра ($000\bar{1}$), то ее развитие идет в соответствии с уменьшением грани ($10\bar{1}1$): к концу кристаллизации она получает наибольшее развитие, вытесняя дитригональные пирамиды, а также грани ($10\bar{1}1$) и ($02\bar{2}1$): эти грани становятся очень маленькими, едва заметными, последняя в большинстве случаев исчезает. Интересно, что в нашем случае грань моноэдра ($000\bar{1}$), развиваясь во внутренней (IV) части кристалла, образовалась на антилогичном полюсе.

Общая картина роста кристалла представляется следующим образом. Сначала выкристаллизовалась внутренняя (IV) часть кристалла со своей отличной от других формой огранений. В нашем случае эта внутренняя часть наиболее интенсивно окрашена в зеленый цвет и имеет наибольший показатель преломления. Можно думать, что это было отдельное обособленное образование. В дальнейшем выкристаллизовалась средняя часть кристалла. Появился участок III , который, обволакивая ранее сформировавшийся кристалл, получил свое обособленное кристаллографическое огранение. Вещество, образовавшее этот новый слой, менее интенсивно окрашено в зеленый цвет, чем вещество слоя IV . Также и показатель преломления последнего слоя меньше, чем первого.

Наконец, появляется слой I , которым и заканчивается рост кристалла (фиг. 24). Он представлен однородным прозрачным, со слабым буроватым оттенком веществом, с наименьшим показателем преломления. Получаются совершенно новые формы огранения. На антилогичном полюсе исчезает грань моноэдра ($000\bar{1}$), грань ($10\bar{1}1$) обращается в узенькую и маленькую полоску и преобладающее развитие получают грань ($02\bar{2}1$) и грани отрицательных и положительных дитригональных пирамид с вичинальным развитием. Грань ($11\bar{2}0$) преобладает над всеми остальными в зоне призмы.

На аналогичном полюсе откладывается светлоголубой слой, сильно развивается грань моноэдра, и совершенно незначительное развитие получают грани ($10\bar{1}1$) и ($02\bar{2}1$). Так заканчивается рост кристалла.

Крайне характерно, что наибольшие показатели преломления наблюдаются в центральных густо окрашенных частях кристаллов; они уменьшаются в светлобурой части антилогичного полюса и выражаются наименьшими величинами в светлом сине-голубом слое аналогичного полюса. Та же закономерность проявляется в величине двойного лучепреломления. В таком же направлении изменяется присущая кристаллам турмалина способность плеохроизма.

В отношении последнего свойства мы, кроме приведенных выше наблюдений, располагаем еще интересными результатами опытов, производившихся над турмалинами Нижне-Исетского месторождения во Всесоюзном институте минерального сырья, под руководством Н. Е. Веденевой и С. В. Грум-Гржимайло (1936).

Измерения плеохроизма и адсорбции в видимой части спектра производились на спектрофотометре Кёниг-Мартенса. Ход лучей в спектрофотометре изображен на фиг. 25.

Здесь S_1 — одна из двух горизонтальных, являющихся продолжением друг друга, входных щелей коллиматора; L_1 — коллиматорная линза; D — призма, дающая спектр; L_2 — объектив телескопа; W — призма Волластона, разделяющая пучок попадающих в телескоп лучей на две части, поляризованных: одна — в вертикальной, другая — в горизонтальной плоскости; P — Шпрингза, которая в свою очередь раздвигает каждый из двух пучков,

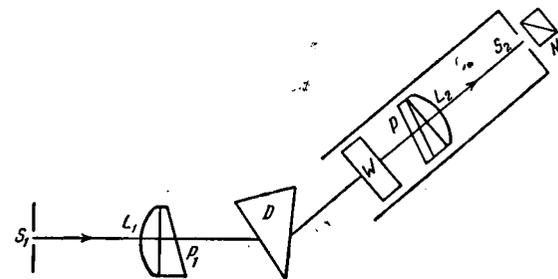
выходящих из призмы Волластона; S_2 — выходная щель, помещенная в фокусной плоскости объектива. В этой плоскости получаются четыре спектра: два — для вертикальных (v) и два — для горизонтальных (h) колебаний. Один из спектров v налагается на один из спектров h . Спектры соответствуют разным входным щелям. Щель S_2 вырезает из обоих спектров узкий участок одной и той же длины волны. Глаз аккомодируется на диафрагму бипризмы P , и поле зрения кажется разделенным на две половины, приблизительно одинаковой освещенности. Если ослабить яркость пучка света, проходящего через левую щель, то освещенность правой половины поля зрения уменьшается. Если за щелью S_2 поместить николю N , то вращением последнего можно восстановить одинаковую освещенность обеих половин поля зрения.

Таким образом, призма Волластона разделяет лучи, соответствующие обоим колебаниям прошедшего через пластинку светового пучка, и в поле зрения попадает только одно из колебаний. Яркость света, прошедшего через вторую,

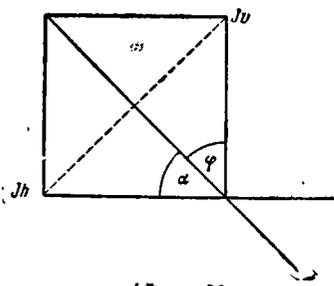
не ослабленную поглощением пучка щель, колебания в которой перпендикулярны к колебаниям в первом пучке, — больше. С помощью николей яркость того и другого уравнивается. С этой целью николи ставят так, чтобы обе половины поля зрения были одинаково освещены: при этом делают отсчет по лимбу николя.

Положение николя при равенстве яркости поля соответствует углу $47^\circ 30'$ (нулевой отсчет).

Когда перед щелью стоит пластинка, то при установке на равенство вместо угла φ_0 имеем некоторый новый угол φ_1 . Обозначим величину пропускаемости светового пучка через Iv и, соответственно, через Ih — интенсивность колебаний, прошедших через левую и правую щели (фиг 26).



Фиг. 25. Ход лучей в спектрофотометре Кёниг-Мартенса.



(Фиг. 26.)

При установке на равенство имеем:

$$Iv \cos^2 \varphi = Ih \sin^2 \varphi,$$

откуда

$$\frac{Ih}{Iv} = \operatorname{ctg}^2 \varphi_0 = \operatorname{tg}^2 \alpha_0.$$

Если пластинка стоит перед правой щелью и если через E_1 обозначить пропускаемость для волн с горизонтальными колебаниями, то

$$\frac{E_1 I h}{I v} = \operatorname{ctg}^2 \varphi_1 = \operatorname{tg}^2 \alpha_1,$$

где φ_1 — главный азимут николя. Заменяя $\frac{Ih}{Iv}$ через $\operatorname{ctg}^2 \varphi_0$, получаем, что

$$E_1 = \frac{\operatorname{ctg}^2 \varphi_1}{\operatorname{ctg}^2 \varphi_0} = \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha_1}{\operatorname{tg}^2 \alpha_0}.$$

Для второй волны имеем

$$E_2 = \frac{\operatorname{ctg}^2 \varphi_0}{\operatorname{ctg}^2 \varphi_2} = \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha_0}{\operatorname{tg}^2 \alpha_2},$$

где φ_2 — азимут николя, когда пластинка передвинута на левую щель. Углы, измеренные на спектрофотометре, позволяют вычислить отношение поглощенного луча к непоглощенному.

Что касается величины плеохроизма, то ее можно характеризовать указанием участков спектра, в которых наиболее резко выражено различие поглощения обоих колебаний. Но целесообразнее оценивать плеохроизм как отношение интенсивности поляризованного минералом света к суммарной интенсивности прошедшего света.

Интенсивность поляризации света, очевидно, равна избытку интенсивности IN_p одной прошедшей через минерал волны над интенсивностью IN_m другой, т. е. разности $IN_p - IN_m$. Суммарная интенсивность прошедшего света равна сумме интенсивности $IN_p + IN_m$. Следовательно, величина плеохроизма выразится $\frac{IN_p - IN_m}{IN_p + IN_m}$; обозначим эту величину через P .

Если $IN_p = IN_m$, то $P = 0$: плеохроизма нет, так как обе волны поглощаются одинаково. Если одна из волн поглощается полностью, т. е. $IN_p = 0$ или $IN_m = 0$, то $P = 1$, т. е. весь свет полностью поляризован и плеохроизм максимален.

Плеохроизм для различных частей спектра может быть различным. Находя его значение для различных длин волн и нанося эти значения на оси координат, получим кривую плеохроизма, по которой можно судить о плеохроизме как функции длины волны. Кривая плеохроизма в данном случае идет выше оси абсцисс, так как для всей кривой $IN_p > IN_m$.

Правая половина поля зрения спектрофотометра (соответствующая левой щели) освещается пучком света с горизонтальными колебаниями, а левая — с вертикальными. Поместив пластинку так, чтобы одно из колебаний совпадало с направлением щели, мы можем измерять пропускательность волны с этим направлением колебаний. $E = \frac{I}{I_0}$ равно пропускательности пластинки для лучей данной длины волны; I_0 — начальная интенсивность света; I — его интенсивность после прохождения через пластинку. Таким образом промеряются кривые пропускательности отдельно для каждого луча, прошедшего через пластинку. Пластинки, ориентированные параллельно оптической оси минерала, укреплялись так, чтобы одно из направлений колебаний света шло вдоль щели спектрофотометра.

Пластинка прикреплялась к стеклу, закрывающему обе щели, и смачивалась жидкостью, имеющей показатель преломления, близкий к показателю преломления турмалина и равный 1.635, чтобы, таким образом, устранить потерю света при отражении. Исследуемый участок пластинки сначала устанавливался против левой щели, производились промеры для длин волн λ от 698 до 432 μ , затем участок передвигался на правую щель и производилась та же операция. Таким образом получались кривые пропускательности света для обоих лучей — обыкновенного и необыкновенного. Данные измерений и расчет кривой пропускательности видны из табл. 5 (расчет приведен для необыкновенного луча средней части кристалла).

Для исследования были приготовлены хорошо отполированные пластинки, около 1 мм толщиной, вырезанные параллельно оптической оси турмалина, так, что они были прозрачны; пластинки были взяты как аналогичного, так и с антилогичного концов кристалла. На фиг. 29 изображена часть аналогичного конца кристалла с хорошо развитой гранью моноэдра (000T). Эта часть имеет три различно окрашенные полосы: а) полоска d окрашена в голубой цвет, б) полоска e — в слабобуроватый цвет, в) полоска f более сильно окрашена в бурый цвет, менее прозрачна и относится к центральной части кристалла.

Антилогичный конец кристалла (фиг. 27), но уже другого индивидуума, также делится на две части: 1) a — окрашенную в светлобурый цвет и 2) b — окрашенную в густой темнобурый цвет. Участок b относится к центральной части кристалла, т. е. соответствует полоске f первой пластинки.

Пластинка c (фиг. 27) взята из центральной части третьего кристалла, очень сильно окрашена в густой темнобурый цвет, слабо прозрачна и по положению в кристалле близко стоит к полоскам f первой и b второй пластинки.

Отсчет барабана	Длина волны λ	Отсчеты при первом равенстве поля зрения	Отсчеты при втором ближайшем повороте николей, когда достигается равенство поля зрения	$\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}$	$\operatorname{tg} \alpha$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$
42	698	59.8, 66, 62/62.6	113.5, 110.8, 112/112	24.7	0.479	0.524	0.980
41	674	63.4, 63.8, 64.2/63.8	113.4, 113, 114.5/113.6	24.9	0.464	0.506	0.975
40	644	65.8, 64.6, 65.6/65.3	113.6, 113.5, 113.2/113.4	24.0	0.445	0.475	0.959
39	624	66.5, 66.5, 66.4/66.5	113.5, 112.5, 113.1/113	23.2	0.428	0.468	0.971
38	606	68.4, 66.4, 67.4/67.4	111.4, 111.7, 111.3/111.5	22.0	0.404	0.441	0.989
36	575	71.5, 70.4, 71/71	108.4, 109.6, 109.4/109.1	18.0	0.325	0.354	0.993
34	549	73.5, 74.7, 74.6/74.3	106.7, 105.4, 105.4/105.8	15.7	0.281	0.307	0.936
32	527	76.4, 75, 75.6/75.7	103.5, 102.8, 103/103.1	14.2	0.253	0.276	0.930
30	508	76.2, 78.2, 78/77.4	102.5, 102.2, 102.8/102.5	12.5	0.222	0.242	0.921
28	491	77.5, 77.1, 77.8/77.5	99.8, 101.6, 101.4/100.9	11.7	0.207	0.225	0.915
26	477	79.4, 78.8, 79.4/79.4	101.5, 102.2, 100.5/101.4	11.1	0.198	0.216	0.911
24	463	78.8, 78.5, 79.2/79.8	101.8, 100.1, 99.2/100.4	10.3	0.181	0.197	0.919
22	452	81.7, 81.8, 81.5/81.7	97.4, 98.8, 99.3/98.5	8.6	0.154	0.168	0.941
20	442	83.3, 80.5, 81.7/81.8	95.7, 95.5, 96/95.7	6.9	0.121	0.132	0.955
18	432	83.5, 80.7, 82/82	96.3, 97.2, 94/95.8	6.9	0.121	0.132	0.934

Кристаллы для всех этих пластинок взяты из пустот жилы с диаспором, хлоритом и корундом, где они не подверглись механическим воздействиям.

Наконец, четвертая пластинка взята из средней части кристалла другой жилы того же месторождения, но расположенной ниже на 3—4 м и подвергшейся механическому воздействию. Эта пластинка трещиновата, имеет включения и больше остальных окрашена в темнобурый цвет. Результаты измерений наносились нами на график, где по оси абсцисс откладывается длина волны λ , а по оси ординат — пропускаемость пластинок для лучей данной длины волны.

Промеры первой пластинки начались с полоски *a*, окрашенной в голубой цвет, с участком *d*, который не имеет включений и трещиноватости. Результаты этих промеров изображены на фиг. 28. Кривая пропускаемости света для *N_p*, т. е. для необыкновенного луча, идет для длин волны λ от 432 до 580 м μ , т. е. в фиолетовом, синем, голубом, зеленом и желтом спектре света, — почти горизонтально, а от 580 до 644 м μ — в оранжевом и красном свете спектра — имеет слабо выраженный максимум.

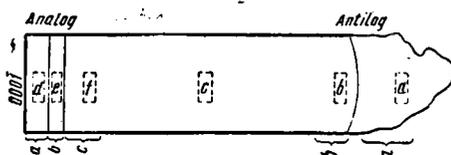
Рассматривая фиг. 28, мы видим, что расхождение между обеими кривыми увеличивается в красной части спектра: это показывает и кривая плеохроизма, резко поднимающаяся также в красной части спектра. Последняя вычисляется по формуле:

$$\frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} = \frac{I_1/I_0 - I_2/I_0}{I_1/I_0 + I_2/I_0} = P.$$

Кривая для *N_m*, т. е. обыкновенного луча, понижается, а в красной части спектра почти полностью поглощена.

Данная полоска, как и все остальные, обладает положительным плеохроизмом, т. е. таким, при котором более преломляемый луч сильнее поглощается, т. е. $IN_p > IN_m$.

Полоска *e* (фиг. 27), окрашенная в слабобуроватый цвет, дает кривые пропускаемости света и кривую плеохроизма, изображенные на фиг. 29.



Фиг. 27. Места взятия пластинок из разреза, параллельного оси Z, для получения кривых светопоглощения.

При сравнении фиг. 28 и 29 ясно видно понижение кривой обыкновенного луча в коротковолновой части спектра и почти одинаковое положение необыкновенного луча. Плеохроизм выражен гораздо резче. Кривая плеохроизма в коротковолновой части спектра поднимается, идет почти горизонтально по оси ординат и затем резко поднимается вверх в длинноволновой части спектра, так же как и на фиг. 28.

Полоска f (фиг. 27) обладает более сильным поглощением (фиг. 30), а именно: обыкновенный луч поглощается почти нацело, тогда как для необыкновенного луча ослаблена коротковолновая часть спектра, а в красной пропускаемость мало отличается от пропускаемости двух других полосок. В коротковолновой части спектра кривая опускается. Кривая плеохроизма поднимается выше и идет параллельно оси ординат. Здесь $P=1$.

Поведение кривых поглощения для других пластинок видно на фиг. 31, 32, 33, 34.

Кривые поглощения и плеохроизма показывают, что совершенно незначительная величина плеохроизма в голубой части кристалла усиливается до своего максимума в густоокрашенной темпобурой части и в то же время сохраняет совершенно определенную закономерность в положении кривых. Кривая необыкновенного луча ослабевает в интенсивно окрашенных частях, а обыкновенного — поглощается нацело.

Опишем более подробно положение обыкновенного и необыкновенного лучей:

а) обыкновенный луч постепенно понижается в коротковолновой части спектра и на фиг. 30 практически поглощается;

б) необыкновенный луч вначале большей своей частью идет параллельно оси ординат. У последующих кривых он начинает постепенно опускаться и у средней части кристалла имеет сильное поглощение. У большинства остается один и тот же максимум в длинноволновой части спектра.

Следовательно, вещество, составляющее все участки кристалла, одинаково в отношении плеохроизма и абсорбции света, а окраска его влияет: а) на повышение величины плеохроизма, б) на ослабление необыкновенного луча, в) на поглощение нацело обыкновенного луча.

В табл. 6 показано положение максимума и минимума в разных частях спектра для всех участков кристалла.

Таблица 6

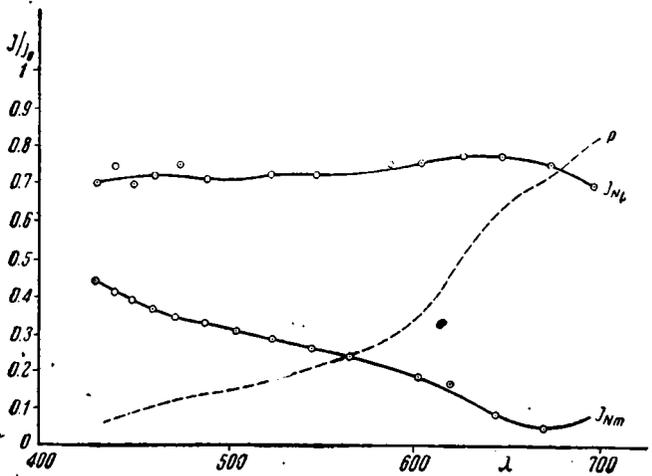
№ образца	Цвет	В фиолетовой и зеленой частях спектра при длине волны λ от 0.432 до 0.575 μm	В красной части спектра при длине волны λ от 0.575 до 0.698 μm
3-b	Слабобурый	0.726—0.575	0.852
3-a	Голубой	0.692—0.726	0.829
4-a	Светлобурый	0.482—0.695	0.785
3-c	Бурый	0.477—0.632	0.725
4-b	Бурый	0.183—0.447	0.560
1	Темнобурый	0.136—0.357	0.523
5	То же	0.155—0.221	0.325

Рассматривая кривые, наблюдаем постепенное перемещение полосы поглощения из одной части спектра в другую.

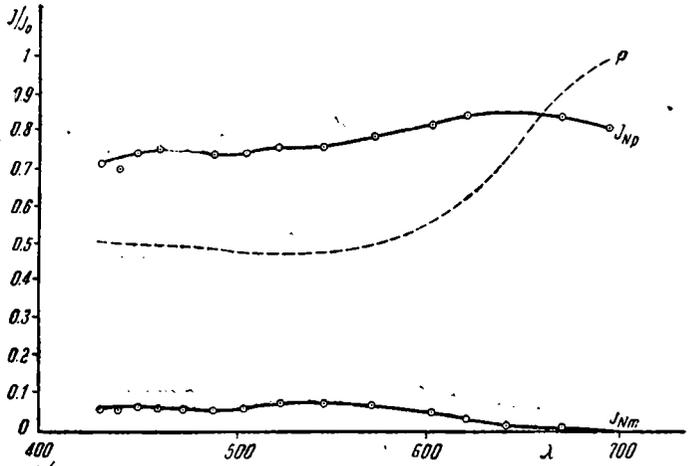
НАБЛЮДЕНИЯ ПО МЕТОДУ УМОВА

Плеохроизм, его величину P и знак для различных длин волн можно определить с помощью микроскопа. Н. Е. Веденеева и С. В. Грум-Гржимайло применили для этого спектрополяристический метод, предложенный Умовым для исследования окрашивания. Этим методом, перенесенным полностью

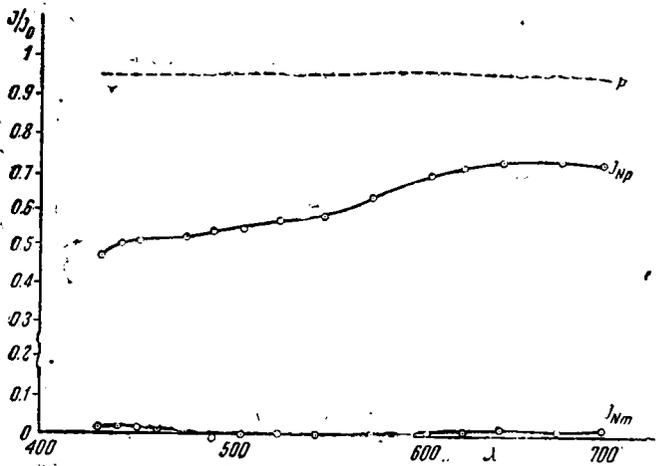
Фиг. 28. Кривые пропускания света N_p , N_m и кривая плеохроизма P для участка d в видимой части спектра. Аналог. Голубой цвет.

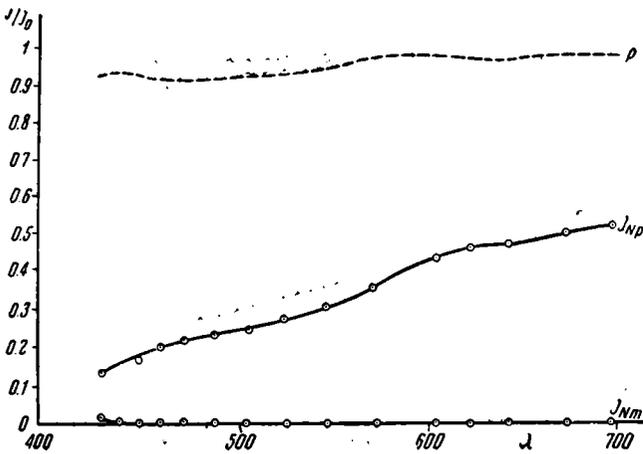


Фиг. 29. Кривые пропускания света N_p , N_m и кривая плеохроизма P для участка e в видимой части спектра. Аналог. Слабобуроватый цвет.

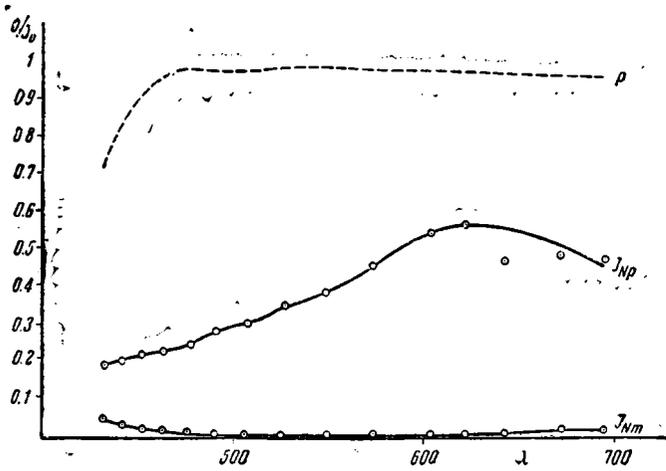


Фиг. 30. Кривые пропускания света N_p , N_m и кривая плеохроизма P для участка f в видимой части спектра. Аналог. Темнобурый цвет.

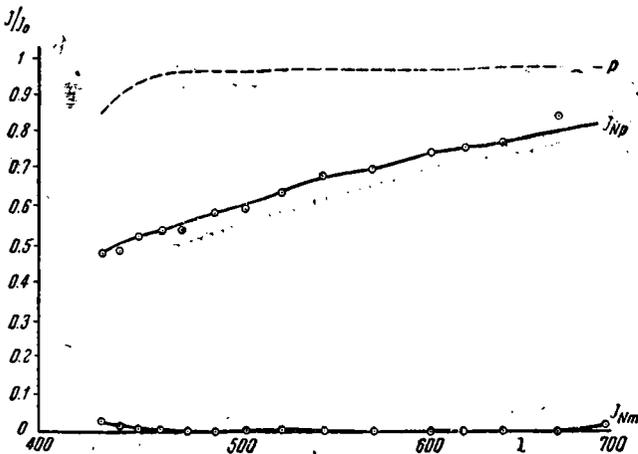




Фиг. 31. Кривые пропускания света N_p , N_m и кривая плеохроизма P для участка c в видимой части спектра. Средняя часть. Густой темнотобурый цвет.



Фиг. 32. Кривые пропускания света N_p , N_m и кривая плеохроизма P для участка b в видимой части спектра. Аналог. Темнотобурый цвет.



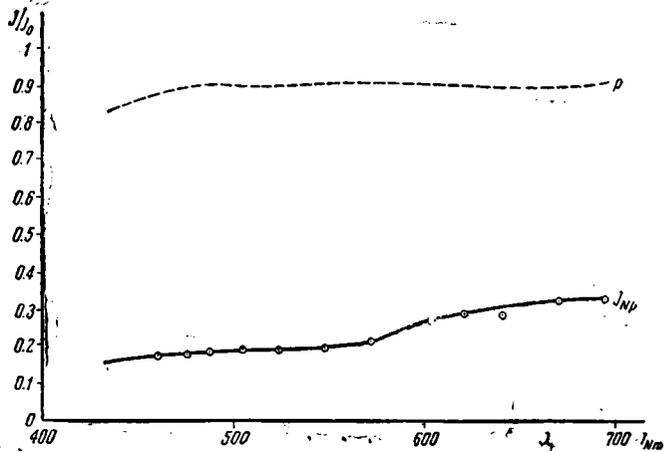
Фиг. 33. Кривые пропускания света N_p , N_m и кривая плеохроизма P для участка a в видимой части спектра. Антилог. Светлобурый цвет.

на микроскоп, снабженный микроспектроскопокуляром и пластинкой Савара, можно исследовать спектры плеохроизма, величину P и знак плеохроизма.

Пластинка Савара служит для обнаружения слабой поляризации света. Она состоит из двух пластинок кварца или кальцита, вырезанных под углом в 45° к оптической оси и положенных друг на друга в скрещенном положении. Такая пластинка ведет себя, как простая кристаллическая пластинка, но имеет очень быстро меняющуюся разность хода, в зависимости от направления падающего света.

Пластинка Савара помещается перед объективом микроскопа на особом приспособлении и устанавливается при азимуте в 45° по отношению к включенному в микроскоп анализатору. Вводится линза Бертрана. Если свет поляризован частично или полностью, то картина интерференции в сходящемся свете будет состоять из ряда параллельных изохроматических полос, идущих по всему полю зрения. Резкость полос растет при увеличении количества поляризованного света и достигает максимума при полной поляризации, т. е. при а) скрещенных или б) параллельных николях. В первом слу-

Фиг. 34. Кривые пропускания света N_p , N_m и кривая плеохроизма P в видимой части спектра. Средняя часть кристалла, подвергнутого механическим воздействиям. Густой темнотобурий цвет.



чае через центр поля зрения проходит черная полоса (если вести наблюдения в естественном свете), во втором — светлая, и по обеим сторонам — две черные, одинаковой интенсивности. Таким образом, при параллельных николях места максимума света располагаются на местах минимума света при скрещенных николях, т. е. смещаются на половину расстояния между полосами. При повороте поляризатора от 0 до 45° полосы становятся менее резкими, при 45° исчезают совсем и поле зрения становится равномерно освещенным; затем, при азимуте, большем 45° , полосы вновь появляются и при 90° становятся максимально резкими, но смещенными на половину расстояния между полосами. На микроскоп ставится спектральный окуляр, и картина интерференции проектируется на его щель так, чтобы полосы располагались перпендикулярно к ней; тогда в поле зрения вдоль спектра виден ряд черных полос, которые называются «полосами Умова». Эти полосы сближаются к фиолетовому концу и расширяются к красному. Спектрополяристический метод очень чувствителен.

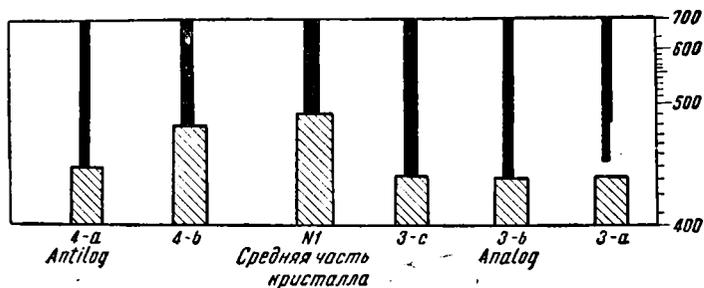
Для наблюдения спектра плеохроизма исследуемый минерал, в виде пластинки, толщиной 0.09 мм, помещали на столик микроскопа Цейса (модель 6) и рассматривали через пластинку Савара. Освещение производилось универсальным осветителем конструкции Н. Е. Веденеевой и Меланхолина.

Включая линзу Бертрана, равномерно освещаем поле зрения, включив в осветитель матовое стекло. Надвигаем спектроскоп и поворачиваем столик микроскопа до наиболее резкого проявления полос Умова, что соответствует установке объекта на погасание. При таком положении определяем, по каким

местам спектра распределяются полосы Умова, т. е. для каких длин волн λ проявляется плеохроизм. Очень слабые полосы Умова соответствуют величине плеохроизма от $\frac{1}{20}$ до десятых долей, средние — до $\frac{1}{4}$, выше средних — до $\frac{1}{2}$, сильные — до $\frac{2}{3}$ и очень сильные — до единицы (полного отсутствия одной волны).

Каждая из этих интенсивностей обозначается штрихом определенной толщины. Очень слабая обозначается чертой в 0.5 мм, средняя — в 1 мм, выше средней — в 1.5 мм, сильная — в 2 мм и очень сильная — в 2.5 мм.

Результаты измерения полос Умова наносим на миллиметровку, у которой горизонтальная линия разделена неравномерно, т. е. точно так же, как и на шкале спектроскопокуляра.



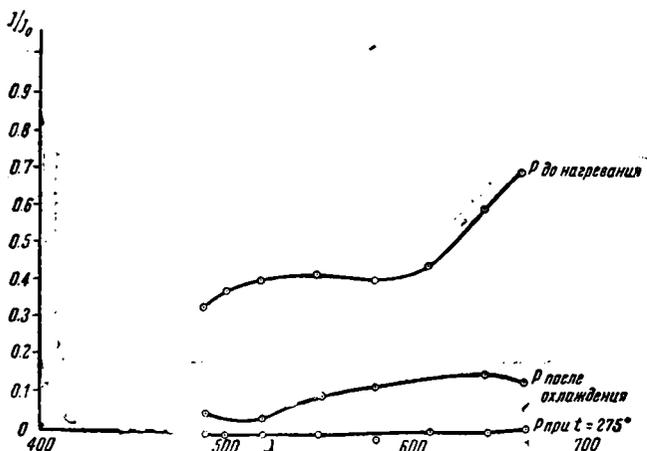
Фиг. 35. Степень плеохроизма различных участков кристалла турмалина (по методу Умова).

Ту часть спектра, которая проявляет плеохроизм, зарисовываем чертой соответствующей толщины, а фиолетовую часть спектра, где полосы поглощены, изображаем широкой заштрихованной линией.

Для исследования мы взяли пластинки тех образцов, которые изучались на спектрофотометре.

Табл. 7 наглядно иллюстрирует степень плеохроизма различных участков кристалла для разных длин волн.

Таким образом, бурая и темнорубая части нашего кристалла дают очень сильный плеохроизм, и обыкновенный луч в этих частях поглощается нацело.



Фиг. 36. Кривые пропускания света P_p , N_p и кривая плеохроизма P . Аналог. Голубая часть.

Меньший плеохроизм дают светлорубые участки аналогичного и антилогичного полюсов, и, наконец, наименьший плеохроизм наблюдается на наружной голубой части кристалла на антилогичном полюсе.

Сила плеохроизма, развитая в наибольшей степени в центральных частях кристалла, постепенно и закономерно уменьшается по направлению к его периферическим частям (фиг. 35).

В общем картина совершенно аналогична наблюдениям на спектрофотометре Кёниг-Мартенса, и данные отдельных участков, кристалла под-

№ образца	Полос	Цвет	Длина волны (м μ)	Степень плеохроизма
3-а	Аналогичный	Голубой	400—530 430—440	Выше средний Не плеохроирует
3-б	То же	Светлобурый . . .	400—430 430—700	Не проявляется Сильный
3-с	То же	Бурый	400—430 430—700	Не проявляется Очень сильный
4	Центральная часть кристалла	Темнобурый	400—430 480—700 400—480	Не проявляется Очень сильный Не проявляется
4-б	Антилогичный	Бурый	480—700 400—480	Очень сильный
4-а	То же	Светлобурый . . .	440—700 400—440	Сильный Не проявляется

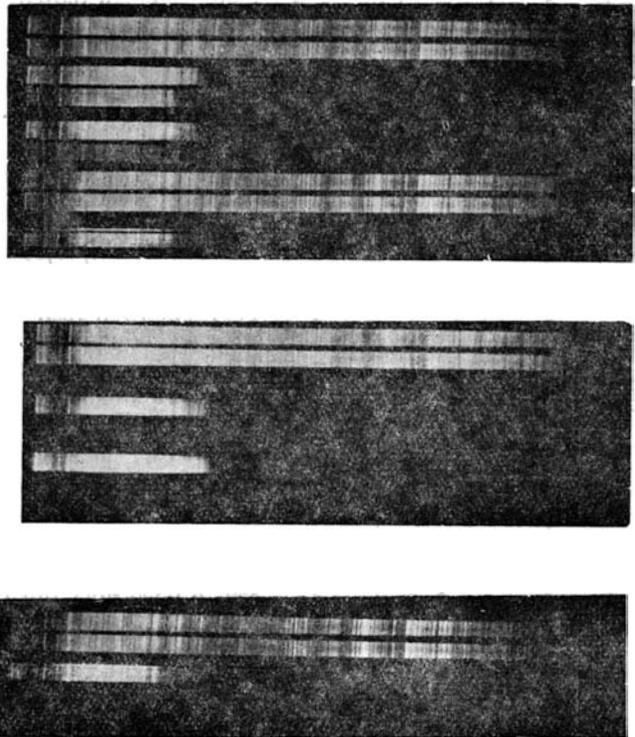
тверждают кривые плеохроизма, изображенные на сводной таблице кривых (фиг. 38).

Для испытания интенсивности плеохроизма при действии температуры нами была подвергнута нагреву пластинка, вырезанная из голубой и бурой частей аналогичного конца кристалла.

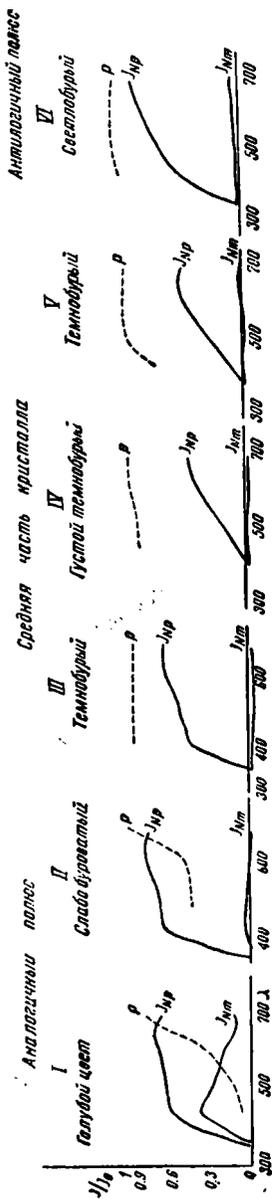
До начала нагрева голубая часть кристалла была промерена и вычислена кривая плеохроизма P . Как видно из фиг. 36, в коротковолновой части спектра она понижается, а в длинноволновой повышается, закономерно сохраняя положение, присущее и остальным кривым ранее измеренных образцов во всех частях спектра.

При температуре около 275° снова были сделаны промеры. Из фиг. 36 видно, что кривая плеохроизма P идет строго параллельно линии абсцисс, совпадая с ней; следовательно, плеохроизма нет. Таким образом, при температуре около 275° голубая часть минерала обесцветилась и не проявила никакого плеохроизма.

После охлаждения снова были сделаны промеры, и, как оказалось (фиг. 36), кривая плеохроизма значительно понизилась по сравнению с кривой, полученной до нагревания. Относительно частей спектра она также понижена



Фиг. 37. Спектры поглощения N_m и N_p в ультрафиолетовой части спектра.



Фиг. 38. Кривые пропусксаемости света N_p и плеохроизма P от аналога до аналога, в видимой и ультрафиолетовой части спектра.

в коротковолновой части спектра и повышена в длинноволновой, но это повышение менее интенсивно, чем до нагрева. В общем она сходна с кривыми, полученными без воздействия температуры. После нагрева плеохроизм, а следовательно, и окраска появились снова, но в гораздо меньшей степени, чем до нагрева.

Аналогичное явление произошло и с бурой частью кристалла. Что касается наблюдений в ультрафиолетовой части спектра, то они производились с помощью кварцевого спектрографа, снабженного кварцевой призмой Волластона. Таким образом были получены снимки, на которых, кроме спектров поглощения (экспозиция 20, иногда 30 сек.), изображены также спектры, не ослабленные поглощением (экспозиция 5 сек.), позволяющие судить о том, как велико поглощение света для различных длин волн турмалина (фиг. 37). На каждой фотографии определена длина волны, начиная с которой поглощение можно считать полным.

Первые две полосы являются спектром, не ослабленным поглощением, и приведены для сравнения, а под ними — спектр необыкновенного и обыкновенного лучей сине-голубой полосы а обр. № 3. При экспозиции в 30 сек. первая полностью поглощена на границе 345 м μ , а вторая — 348 м μ .

Результаты наблюдений сведены в табл. 8, составленной так, что в первой колонке даны номера образцов, во второй — участок или зона наблюдений; в третьей — продолжительность экспозиции в секундах; в четвертой — толщина пластинки; в пятой — границы полного поглощения в м μ для необыкновенного и обыкновенного лучей.

Таким образом, и в ультрафиолетовой части спектра необыкновенный луч, с повышением окраски в темную, поглощается интенсивнее, а обыкновенный луч поглощается нацело и в темной и зеленовато-бурой частях кристалла.

Поведение кривых поглощения и плеохроизма для всех участков кристалла как в видимой, так и в ультрафиолетовой частях спектра видно из фиг. 38.

Мы вновь приходим к выводу, что вещество, образовавшее кристалл, сначала было богато красящим компонентом, а к концу кристаллизации обеднело им.

Окраска не принадлежит к числу основных свойств минерала, и когда она на кристалле изменяется скачками, то в видимой и ультрафиолетовой частях спектра она дает непрерывные переходы. По одному образцу причину плеохроизма установить трудно. Различные авторы объясняют причину плеохроизма по-разному.

На основании всего изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Турмалины обладают очень высоким плеохроизмом, который понижается до минимума с переходом в голубую часть.

№ образца	Участок или зона и окраска	Экспозиция (в сек.)	Толщина пластины (в мм)	Границы полного поглощения (в мм)	
				необыкновенный луч	обыкновенный луч
3	Участок <i>a</i> , сине-голубой	30	0.69	345	348
	Участок <i>b</i> , зеленовато-коричневый (винно-коричневый)	30	0.69	352	372
	Участок <i>c</i> , коричнево-бурый	30	0.69	358	
4	Участок <i>a</i> , винно-бурый (антилогичный полюс)	30	0.72	358	} Полное поглощение
	Участок <i>b</i> темнобурый (середина кристалла)	30	0.72	372	
1	Центр кристалла, темнобурый	30	0.70	370	
2	Центр кристалла, зеленовато-бурый	20	} 0.40	353	
		40		353	

2. В поляризованном свете каждому отдельно окрашенному участку соответствуют свои цвета плеохроизма.

3. Окраска на кристаллах изменяется скачками, а в видимой и ультрафиолетовой частях спектра дает непрерывные переходы.

4. Полоса поглощения постепенно перемещается из одной части спектра в другую.

5. При нагревании кристаллы обесцвечиваются и теряют плеохроизм, а после охлаждения приобретают окраску и плеохроизм, но в незначительной мере.

6. Для видимой части спектра кристаллы являются поляризаторами и могут быть применены в технике.

7. Окраска вызывается одним и тем же фактором у всех частей кристалла.

8. Вещество, составляющее все участки кристалла, одинаково реагирует на плеохроизм и абсорбцию света, а окраска его влияет: а) на повышение величины плеохроизма, б) на ослабление необыкновенного луча, в) на поглощение нацело обыкновенного луча.

ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Для изучения пироэлектрических свойств кристаллы турмалина укреплялись на тоненькой проволоке, воткнутой в пробку, и на сухой бане нагревались от 100 до 120 °С. Когда достигалась нужная температура, кристалл быстро вынимался и обмахивался на пламени спиртовой горелки для удаления образовавшегося на поверхности электричества.

При быстром охлаждении кристаллы опылялись по методу Кундта (Kundt, 1884) смесью серы и сурика.

При нагревании турмалина его аналогичный полюс заряжается положительным электричеством, а антилогичный — отрицательным. При охлаждении знаки электричества меняются на обратные, т. е. антилогичный полюс заряжается положительно, а аналогичный — отрицательно.

При прохождении сквозь ткань сетки опылителя и благодаря трению частицы серы электризуются отрицательно, а сурика — положительно. Следовательно, положительно заряженные концы кристалла притянут серу и окрасятся в желтый цвет, а отрицательно заряженные притянут сурик и окрасятся в красный цвет.

Из испытуемых кристаллов два имели как антилогичный, так и аналогичный концы; остальные были обломаны и обладали одним — антилогичным или аналогичным — концом.

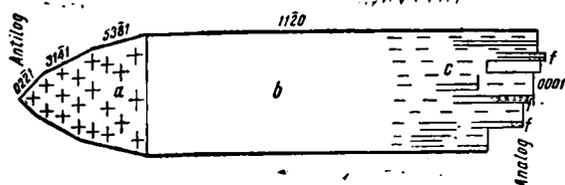
На кристалле, показанном на фиг. 39, представлены как аналогичный, так и антилогичный полюсы. Антилогичный полюс несет грани $(10\bar{1}1)$, $(02\bar{2}1)$, $(3\bar{1}\bar{4}1)$ и другие дитригональные пирамиды. Очень интенсивное притягивание серы к этому концу вполне доказало, что это антилогичный полюс. Серой покрывается только та часть кристалла, где развиты грани $(10\bar{1}1)$, $(02\bar{2}1)$ и дитригональные пирамиды (фиг. 39, участок *a*). Там же, где эти грани соприкасаются с гранью призмы, наблюдается резкая граница, и грани призмы серой совершенно не покрываются.

Другой конец — аналогичный — с хорошо развитой гранью моноэдра $(000\bar{1})$ интенсивно окрасился суриком (фиг. 39, участок *c*). Кроме того, суриком окрасилась и часть граней призмы, чего мы не наблюдали на антилогичном конце.

Средняя часть *b* нашего кристалла (фиг. 39) совершенно не окрашена ни серой, ни суриком; следовательно, она нейтральна в отношении пирозлектрических свойств. Положительное электричество развивается только на той части кристалла, где образованы формы $(10\bar{1}1)$, $(02\bar{2}1)$ и дитригональные пирамиды.

Антилогичный полюс интенсивно и равномерно покрыт слоем серы, следовательно, он во всех своих частях проявил одинаковое напряжение заряда положительного электричества. Иную картину представляет аналогичный полюс: здесь кристалл переходит в большое количество отдельных сросшихся индивидуумов, каждый из которых несет грань $(000\bar{1})$ (фиг. 39, участок *c*).

Интенсивность окрашивания здесь не везде одинакова. Имеются маленькие участки, совсем не окра-



Фиг. 39. Проявление пирозлектрических свойств на кристалле турмалина.

шенные. Наблюдается и такое явление, когда отдельные очень маленькие индивидуумы окрашены только в одной своей части (фиг. 39). И этим путем мы, следовательно, приходим к выводу, что данные кристаллы не являются монокристаллами, а включают в себя маленькие кристаллики, сросшиеся параллельно оси *Z*. Аналогичное явление наблюдалось и при оптическом изучении.

Был подвергнут опылению измеренный нами на гониометре кристалл № 10 с хорошо развитым антилогичным полюсом. В нашей коллекции это — наиболее хорошо образованный из всех кристаллов турмалина Нижне-Исетской дачи. Аналогичный его конец обломан.

При опылении, так же как и в предыдущем кристалле, очень интенсивно покрывался серой участок *a*, несущий грани $(10\bar{1}1)$, $(02\bar{2}1)$ и дитригональные пирамиды. В месте соприкосновения их с гранями призмы — резкая граница, а дальше — участок электрически нейтральный (фиг. 39).

Участок *c* соответствует аналогичному полюсу и покрыт суриком, т. е. заряжен отрицательно. Плоскость разлома, перпендикулярная оси *Z*, не везде равномерно покрыта суриком. Кроме того, имеются небольшие электрически нейтральные участки, не покрытые ни суриком, ни серой.

В отдельных случаях наблюдается очень незначительное притягивание серы, т. е. проявление положительного электричества.

Участок *e* кристалла, изображенного на фиг. 40, соответствует антилогичному полюсу; как и следовало ожидать, он интенсивно покрыт серой. Сама же плоскость разлома *f*, перпендикулярная оси *Z*, покрылась серой не везде одинаково; остались маленькие нейтральные участки, как это наблюдалось на плоскости разлома аналогичного конца.

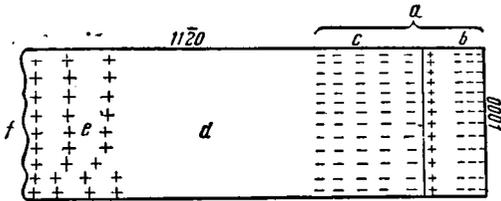
Средний участок *d* не обнаруживает никаких признаков электризации.

Участок *a*, т. е. аналогичный полюс, представляет особый интерес. Его нужно разделить на два участка: 1) участок *b*, образованный светло-

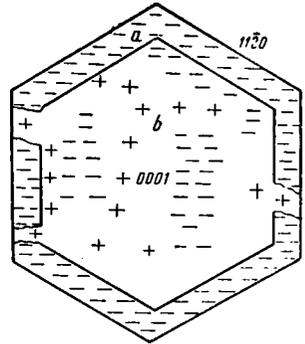
голубым слоем, толщиной от 2 до 4 мм, как бы нарастающим на основное тело кристалла и несущим форму (0001), и 2) участок *c*, являющийся неразрывной частью основного кристалла, окрашенного в темпобурый цвет. Между этими двумя участками наблюдается всегда очень резкая и ясная граница.

Участок *c* равномерно покрывается суриком. Участок *b* со стороны аналогичного конца покрыт суриком, а со стороны антилогичного конца — серой. Посредине же имеется ничем не покрытая нейтральная полоса. Ребра, образованные гранями призмы (1120), также электрически нейтральны, за исключением одного ребра, где наблюдалась отрицательная электризация.

Следовательно, этот выросший светлоголубой слой обладает пирозлектрическими свойствами — как целый обособленный кристалл, т. е. имеет свой антилогичный и аналогичный полюсы и нейтральную зону.



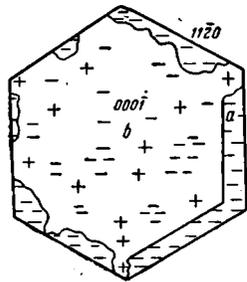
Фиг. 40. Неоднородное проявление электрических зарядов на аналогичном полюсе кристалла



Фиг. 41. Распределение электрических зарядов на грани (0001)

Наружный слой *a* на грани (0001) очень интенсивно окрашивается суриком. Появляется очень четкая, резко ограниченная, параллельная граням призмы полоска (фиг. 41).

Аналогичную полоску, окрашенную в зеленый цвет, резко ограниченную и параллельную граням призмы, мы наблюдаем при оптическом изучении нашего минерала в ориентированном шлифе, вырезанном перпендикулярно оси *Z* из этого же кристалла (I-а, фиг. 14). Таким образом, здесь видна закономерная связь между формами, окраской и пирозлектрическими свойствами кристалла.



Фиг. 42. Распределение электрических зарядов на грани (0001)

Внутренняя часть кристалла *b* покрыта суриком менее интенсивно, так как она слабее проявляет пирозлектрические свойства; однако и здесь наблюдается довольно неоднородная картина. Значительные участки, — правда, в меньшей степени, чем наружный слой, — отрицательно заряжены; довольно значительные участки нейтральны, и в очень незначительном количестве наблюдаются участки с положительной электризацией; впрочем, на них садится так мало серы, что иногда трудно говорить о положительной их электризации.

На фиг. 42 изображена грань (0001) аналогичного полюса, в основном обнаруживающая ту же закономерность пирозлектрических свойств. Участок *a* соответствует полоске *a* кристалла, показанного на фиг. 41, хотя проявляет он себя хуже, с перерывами и отдельными островками. Зато внутренняя часть *b* выражена гораздо лучше, чем у кристалла, данного на фиг. 41. Довольно значительное количество компактных участков очень интенсивно проявляет отрицательную электризацию. Они довольно резко отграничены от нейтральных участков. Среди этих нейтральных участков в очень незначительном количестве оседает и сера, показывающая на присутствие положительного электричества.

При повторном опылении кристаллов, изображенных на фиг. 41 и 42, для первого в точности повторилась та же картина, что и при первоначальном опылении. Второй опылялся значительно больше. В результате почти вся плоскость покрылась толстым слоем сурика, стерев, таким образом, грань между полоской a кристалла (фиг. 41) и его внутренней частью; в то же время выявилось несколько точек, интенсивно покрытых серою и окружающих узкой полосой нейтральной зоны.

Что же произошло в этих двух случаях? В первый раз, при непродолжительном опылении, мы дали возможность хорошо проявиться свойствам быстрее охладившегося, а следовательно, и энергичнее проявляющего свои пироэлектрические свойства паружного слоя, окрашенного в более интенсивный зеленый цвет. Положительно заряженные участки не смогли себя проявить в достаточной мере. При повторном опылении полностью проявилось действие всего отрицательного электричества аналогичного конца, которое и затушевало собой действие электричества паружного слоя. Но в то же время полностью проявилось действие положительного электричества, в результате чего мы и имеем интенсивное прилипание серы в отдельных участках.

На противоположном падломленном конце наблюдались нейтральные участки. Создается такое впечатление, как будто имеются отдельные очень маленькие индивидуумы, повернутые один в отношении другого на 180° , параллельно оси Z . На это указывают нейтральные поля на противоположных концах.

Для дальнейших наблюдений над пироэлектрическими свойствами были приготовлены пластинки, вырезанные параллельно оси Z и параллельно одной из призм второго рода b (11 $\bar{2}$ 0). Одна из пластинок, изображенная на фиг. 44, показана той стороной, которая несет естественные грани пирамиды и призмы. В результате опыления участок a (фиг. 43), т. е. та его часть, которая несет формы пирамиды, покрылся толстым слоем серы. Здесь имеются небольшие треугольные углубления a , наблюдающиеся при гониометрическом изучении на многих кристаллах, дающие сигнал и отблеск одновременно с гранью призмы. Эти треугольники серой не покрыты. В месте соприкосновения граней пирамиды с гранью призмы покров серы резко обрывается, и дальше идет ничем не покрытый нейтральный участок b .

Противоположный конец (участок c) покрыт суриком, причем интенсивность проявления электризации постепенно падает от конца к центру. В поперечном сечении этот конец неравномерно покрыт суриком, заключая в себе небольшие чистые нейтральные участки и точки.

Эта же самая пластинка с другой стороны, т. е. по плоскости распила, представляет совершенно иную картину (фиг. 44). Концы ведут себя как в предыдущем случае. Участок a покрыт толстым слоем серы, резко обрывающимся к центру; участок c , соответствующий аналогичному полюсу, покрыт толстым слоем сурика, также внезапно и резко обрывающимся к центру.

По аналогии с предыдущим, средняя часть кристалла (b) должна бы быть нейтральной. На самом деле она представляет ряд обособленных полей: вначале идет нейтральная или очень слабо отрицательно заряженная поперечная полоса, за ней следует довольно большой участок, заряженный положительно, протягивающийся также в поперечном направлении; внизу она очень резко прерывается. Далее идет вновь нейтральное поле, затем — ряд участков, заряженных отрицательно и образующих также поперечную полоску. Еще ниже, среди нейтрального поля, — два довольно значительных участка, заряженных положительно. И еще ниже — две довольно резко ограниченные и заряженные отрицательно полоски.

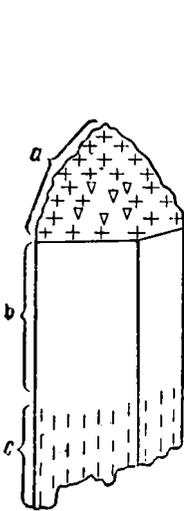
Таким образом, внутренняя часть кристалла разделяется на участки, заряженные различным электричеством. Следовательно, вещество, образовавшее центральную часть кристалла, и вещество, образовавшее паружную грань призмы, различны по своим пироэлектрическим свойствам.

Интересно проследить пироэлектрические свойства пластинки, вырезанной также параллельно оси Z и одной из граней призмы второго рода b (11 $\bar{2}$ 0), но из *внутренней части* кристалла.

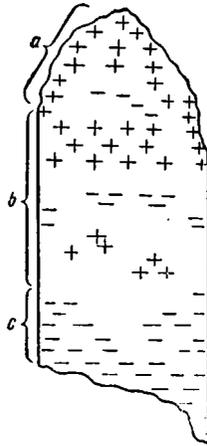
Рассмотрим сначала сторону, изображенную на фиг. 45. Участок *a* антилогичного и *c* аналогичного полюсов наиболее интенсивно проявляют: первый — положительное, а второй — отрицательное электричество. Дело обстоит, следовательно, так же, как и с первой пластинкой, изображенной на фиг. 44. В верхней части участка *a* имеются треугольнички, обладающие нейтральными свойствами. Рассмотрим, далее, среднюю часть пластинки (*b*), продвигаясь сверху вниз. Вверху виден довольно большой участок с перерывами, уходящий полосой вправо и заряженный отрицательно. Ниже — большая полоса, несущая положительный заряд и, в свою очередь, сменяющаяся поперечной, отрицательно заряженной полосой. Еще ниже — поперечная полоса, положительно заряженная. В нее вклинивается небольшая полоска с отрицательным зарядом. Затем — нейтральное поле, резкая граница, и начинается участок *c*.

Совершенно аналогичную картину показывает и обратная сторона пластинки.

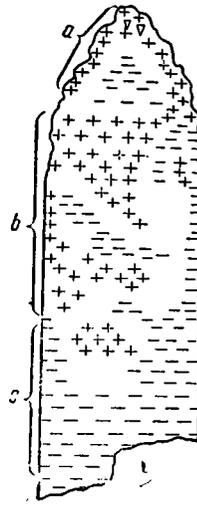
Все эти наблюдения свидетельствуют, что кристаллы образованы не из одинакового вещества, а из обособленных слоев. Сначала выкристаллизо-



Фиг. 43. Распределение электрических зарядов на природных гранях кристалла



Фиг. 44. Распределение электрических зарядов на плоскости распила того же кристалла



Фиг. 45. Распределение электрических зарядов на пластинке турмалина, вырезанной параллельно оси *Z*

валась центральная часть, несущая как антилогичный, так и аналогичный полюсы; на нее ложился новый слой вещества, также имеющий свои различно заряженные концы, и, наконец, — последний слой, подчиняющийся этому же правилу.

Опыты, проведенные в других условиях, неизменно приводили к тем же результатам, иногда выраженным с еще большей яркостью. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Кристаллы турмалина в отношении пироэлектрических свойств не являются монокристаллами.

2. Каждому отдельно окрашенному слою кристалла соответствуют пироэлектрические свойства, как отдельному кристаллу.

3. Кристаллы являются сборными, включая в себя очень маленькие неделимые, повернутые относительно друг друга на 180° , параллельно оси *Z*.

4. Имеется закономерная связь между физическими свойствами (также химическим составом) отдельных участков кристалла, с одной стороны, и проявлением пироэлектрических свойств — с другой.

5. Данные изучения оптических и пироэлектрических свойств турмалина позволяют предположить для него наличие двойников, сростающихся по одной из граней призмы. Однако для окончательного установления этого факта требуются дополнительные исследования.

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Пьезоэлектрические свойства турмалина исследовались только качественно. Отклонение стрелки амперметра в положительную сторону равно 12 миллионным долям ампера, а в отрицательную сторону — 8 миллионным долям ампера, что соответствует среднему проявлению пьезоэлектрических свойств турмалина.

ТВЕРДОСТЬ. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ. УДЕЛЬНЫЙ ВЕС

Твердость нашего турмалина изучалась на склерометре Мартенса с алмазным острием. Испытания производились параллельно и перпендикулярно главной кристаллографической оси Z для всех трех частей кристалла сине-голубой, бурой и темнобурой, с зеленоватым отливом.

Методика работы со склерометром Мартенса подробно описана Г. В. Бокием (1932); в этой же работе приведена и литература по вопросам твердости минералов и других веществ.

Нами был избран способ, при котором на коромысло склерометра была дана нагрузка в 30 г, а ширина производимых иглою бороздок измерялась при помощи микрометрического окуляра Гиршвальда, надевавшегося на тубус отражательного микроскопа. Для каждого отдельного направления получали от 10 до 12 бороздок, причем бралось среднее из суммы этих измерений. В табл. 9 даны результаты измерений бороздок в микронах для всех трех частей кристалла как параллельно, так и перпендикулярно оси Z .

Таблица 9

Участок кристалла	Ширина бороздок (μ)	
	параллельно оси Z	перпендикулярно оси Z
Сине-голубая часть аналогичного полюса	10.5	9.5
Бурая часть антилогичного полюса	10	8.3
Зеленая средняя часть кристалла	9.7	7

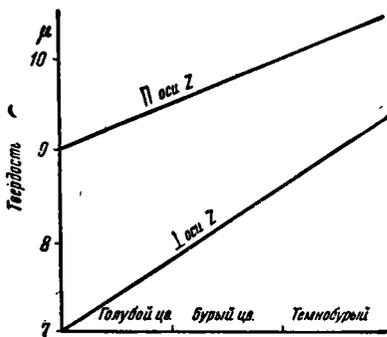
Таким образом выяснилось, что:

а) твердость в направлении, перпендикулярном к оси Z , больше, чем в направлении, параллельном оси Z , во всех участках кристалла;

б) сине-голубая часть кристалла (слой, образующий моноэдр, имеет наименьшую твердость по обоим направлениям, бурая — среднюю, а темнозеленая — наибольшую, т. е. с повышением интенсивности окраски нашего кристалла повышается и его твердость (фиг. 46);

в) каждому отдельно окрашенному участку кристалла соответствует особая присущая ему твердость;

г) твердость по большой оси эллипсоида меньше, а по малой — больше.



Фиг. 46. Зависимость твердости турмалина от его окраски

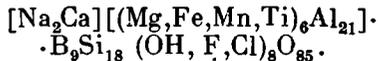
Химический состав. Полный химический анализ турмалина был произведен в Институте минерального сырья химиком Р. Л. Подвалиной, под руководством И. П. Алимарина.

Материал для анализа был тщательно отобран под бинокулярной лупой из двух участков месторождения: 1) из кристаллов, отложившихся в пустотах на корунде, с голубой, светлоголубой и бурой окраской; 2) из темнубурых кристаллов пижней части месторождения.

Химический состав турмалинов Нижне-Исетской дачи приводится нами в табл. 10.

Пересчет этих данных по методу Ф. Махачки, примененному им для турмалинов из Декальба (Dekalb), приводит к следующим формулам:

!Более светлая разность:



Темнубурый шерл: $[\text{Na}_2\text{Ca}][(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ti})_3\text{Al}_{19}]\text{B}_9\text{Si}_{18}(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_{10}\text{O}_{83}$

При сопоставлении данных первого и второго анализов во втором анализе видно уменьшение глинозема и увеличение: а) закисного железа на 3.56%, б) магния на 1.15%, в) фтора на 0.95% и г) титана на 0.16%. Этому соответствует более интенсивное окрашивание турмалина в бурый цвет.

Полное отсутствие лития и хрома, сотые доли процента марганца, на ряду с большим содержанием магния и железа, — все это дает основание отнести турмалин Нижне-Исетской дачи к ряду магнезиально-железистых турмалинов.

Для сравнения с турмалинами других месторождений приводим табл. 11.

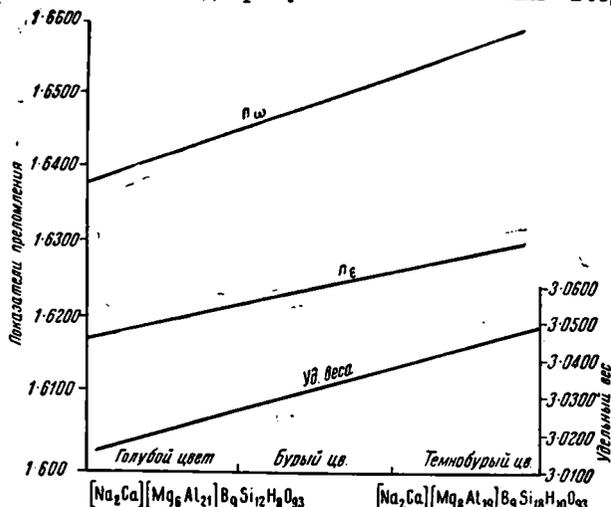
Таблица 11

Компоненты	Дравит (Dobrowa)	Шерл					Ювит (Gouverneur)
		Spessart	Нижне-Исетская дача № 2	Bamle	Нижне-Исетская дача № 1	Modum	
SiO ₂	36.52	35.34	36.11	35.38	35.44	35.05	35.96
TiO ₂	0.17	0.58	0.54	—	0.38	—	0.14
B ₂ O ₃	10.32	10.14	10.58	10.24	10.44	9.93	10.73
Al ₂ O ₃	33.41	33.48	32.31	33.01	35.87	33.98	30.35
Fe ₂ O ₃	—	—	3.01	—	1.86	следы	—
FeO	0.30	4.69	1.67	6.52	1.87	10.18	0.76
MnO	0.57	0.12	0.04	—	0.07	—	—
MgO	11.25	9.32	9.15	8.43	8.00	5.13	13.67
CaO	0.42	0.38	0.92	0.30	1.33	—	2.41
Na ₂ O	2.34	2.38	2.43	2.39	2.15	2.26	1.63
K ₂ O	0.57	0.37	0.28	0.28	0.24	0.67	0.09
H ₂ O	3.76	3.57	2.25	3.65	2.25	3.84	4.16
F	0.12	—	1.35	следы	0.40	следы	—
Cl	—	—	0.03	—	0.03	—	—
	99.75	100.23	100.67	100.20	100.33	100.44	100.40

Таким образом, турмалины Нижне-Исетской дачи, по содержанию главных элементов Mg, Si, B, Al, Fe, Na, хорошо укладываются между турмалинами из Спессарта, Бамле и Модума, которые являются шерлами; следовательно, и турмалины Нижне-Исетской дачи тоже можно отнести к шерлам.

Удельный вес турмалина определялся пикнометром. Для кристаллов, отложившихся в пустотах и не подвергшихся механическим воздействиям, он равен 3.0149, а для кристаллов, отложившихся на глубине месторождения и подвергнутых механическим воздействиям, равен 3.0459.

Таким образом, с увеличением интенсивности окраски и увеличением содержания Mg и Fe увеличивается удельный вес исследуемого турмалина (фиг. 47).



Фиг. 47. Зависимость некоторых физических свойств турмалина от химического состава

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше исследования турмалинов Нижне-Исетской дачи 269 квартала позволяют сделать следующие выводы:

1. По типу генезиса месторождение турмалинов Нижне-Исетской дачи 269 квартала значительно отличается от

большинства других турмалиновых месторождений, представляя пегматитовое выделение не «чистой линии». Магнезиальность турмалина в нем находится в связи с влиянием на пегматитовый остаток химического состава боковых пород.

2. По своему облику турмалины Нижне-Исетской дачи отличаются от нормальных пегматитовых турмалинов тем, что у них, вследствие развития призматической (1120) и пирамидальной (0221) форм, кристаллы приобретают гексагональный облик, а также сильно развиты отрицательные и положительный дитригональные пирамиды.

3. Между формами, физическими свойствами и химическим составом исследуемого турмалина существует определенная зависимость. Так, переходу к более темной окраске отвечает изменение химического состава (в сторону убывания Al и увеличения количества Mg и Fe), повышение показателей преломления и двупреломления, возрастание плеохроизма — до поглощения нацело обыкновенного луча, повышение удельного веса, а также твердости; в соответствии с этим изменяется и кристаллографическая форма.

4. Изучение ряда физических свойств, в особенности явлений пирозлектричества и плеохроизма, приводит к выводу, что турмалины исследуемого месторождения следует рассматривать как сложные, комплексные кристаллы, у которых каждый монокристалльный участок обладает своими особыми свойствами. Таким образом, кристаллографическую форму, величину показателей преломления, осность минерала, его окраску, твердость, пирозлектрические свойства, удельный вес, проявление абсорбции и плеохроизма, а также химический состав — нужно относить не к целому кристаллу, а к отдельным слоям нарастания. Этот вывод совершенно совпадает с наблюдениями ряда исследователей, изучавших турмалины различных месторождений и упомянутых в начале нашей работы.

5. Пьезоэлектрические свойства турмалинов, практически очень важные в более или менее крупных монокристаллах, возможно, могут быть исполь-

Физические и химические свойства турмалина	Шлиф IV-а, участок I, аналогичный полюс (фиг. 27). Сине-голубой	Шлиф IV-а, участок IV (фиг. 27). Бурый часть, антилогичный полюс	Шлиф IV-а, участок III (фиг. 27). Темнобурый часть. Внутренняя центральная часть участка IV кристалла
Сингония Кристаллографическая форма	Гексагональная {0001}	Гексагональная {0221} {1011}	Гексагональная
Спайность ω ϵ $\omega - \epsilon$	Слабая, параллельно {0001} 1.6385 ± 0.0011 1.6174 ± 0.0011 0.0211	Слабая, параллельно {0001} 1.6465 ± 0.0010 1.6218 ± 0.0005 0.247	Слабая, параллельно {0001} 1.6569 ± 0.0008 1.6284 ± 0.0012 0.0285
Оптическая характеристика Осность Цвет	Отрицательная Одноосный Прозрачный синева-голубоватый	Отрицательная Двуосный Бурый, с винным оттенком	Отрицательная Одноосный Густозеленый
Плеохроизм (положение Np , Nm и P в длине волны λ от 432 до 575 $m\mu$)	0.692—0.852	0.183—0.785	0.136—0.525
Видимая часть спектра Np Nm P	0.430—0.060 0.060—1.000	Поглощена, 0.060—0.000 1.000—1.000	Поглощена 1.000—1.000
Ультрафиолетовая часть спектра (границы полного поглощения $m\mu$)	{345—352 348—372}	{358 поглощена полностью}	{350—372 поглощена полностью}
Пироэлектрические свойства	Отдельный участок с двумя противоположными зарядами	Положительный заряд	Отдельный участок с двумя противоположными зарядами
Твердость (в μ) Параллельно оси Z Перпендикулярно к оси Z 2V	10—5 9—5 0°	10 8—3 — 5.5, — 17, — 24°	9—7 7 0°
Удельный вес Химическая формула (по Ф. Махачки)	3.0149	3.0149	3.0459
	$[\text{Na}_2\text{Ca}] [\text{Mg}_6\text{Al}_{21}] \text{B}_9\text{Si}_{18}\text{H}_3\text{O}_{93}$		$[\text{Na}_2\text{Ca}] [\text{Mg}_8\text{Al}_{19}] \text{B}_9\text{Si}_{18}\text{H}_{10}\text{O}_{93}$

зованы и в нижнеисетских турмалинах, поскольку для этого нужны монокристалльные пластинки малой толщины (до 0.02 мм), вырезанные перпендикулярно к оси Z, что вполне допускается этими турмалинами. Комплексность кристаллов турмалина, повидимому, обычна для этого минерала вообще и потому должна учитываться при оценке в качестве сырья на пьезоэлектрические пластинки.

6. Для видимой части спектра кристаллы являются поляризаторами и могут быть применены в технике.

7. В дальнейшем необходимо широкое изучение турмалинов как Нижне-Исетской дачи, так и всего Урала в целях:

а) выяснения генетических условий образования турмалина и роли бора в этих процессах;

б) полного изучения физических и химических свойств для выяснения их зависимости от присутствия тех или иных элементов;

в) решения вопроса о существовании двойников для турмалина методами изучения пиро- и пьезоэлектрических свойств;

г) внедрения в технику этого важного сырья на основе глубокого изучения абсорбции и плеохроизма, а также пьезоэлектрических свойств.

Сводка результатов наблюдений над физическими и химическими свойствами турмалина Нижне-Исетской дачи 269 квартала дается в табл. 12 (стр. 55).

ЛИТЕРАТУРА

- Агафонов В. К. К вопросу о поглощении света кристаллами и о плеохроизме в ультрафиолетовой части спектра. Зап. Мин. общ., 2 сер., 1902, 39, 337—497.
- Аносов. Об уральском корунде. Горн. журн., 1829, 1, 131—140.
- Артемьев Б. Н. Материалы по минералогии касситерита и некоторых других пегматитовых и пневматолитических минералов. Изв. Акад. Наук, 1933, 8, 1125—1144.
- Ауэрбах А. Турмалины русских месторождений. СПб., 1868, 1—130.
- Белянкин Д. С. Очерки по петрографии Ильменских гор. Изв. СПб. политехн. инст., 1909, 12, 135—166; 1910, 13, 732—795.
- О кыштымите. Изв. СПб. политехн. инст., 13, 89—107.
- К петрографии Среднего Урала. Тр. Главн. геол.-развед. управл., 1931, 56, 47—61.
- Боклей Г. Б. 1932. Определение твердости минералов шкалы Мооса склерометром Мартенса с алмазным острием. Зап. Мин. общ., 2 сер., 1932, 16, 282—287.
- Бонштейн Э. М. Руководство по измерению и вычислению кристаллов по методу Гольдшмидта. Л., Акад. Наук, 1934.
- Веденеева Н. Е. и Грум-Гржимайло С. В. Спектроплеохрометр и его применение к исследованию дихроизма минералов. Докл. Акад. Наук, 1936, новая серия, 3, 18, 383—385.
- Вернадский В. И. О хромовом турмалине из Березовска. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, 1897, 4, 4—9.
- Воробьев В. И. Кристаллографические исследования турмалина с о. {Цейлона}. Зап. СПб. Мин. общ., 1902, 39, 35—330.
- Гаврусевич Б. А. К минералогии топазовых пегматитов Украины. Докл. Акад. Наук, сер. А, 1932, 7, 173—181.
- Глинка С. Ф. Об одном двойнике турмалина из Нерчинска. Зап. Мин. общ., 1897, 35, 75 (протокол).
- Гофман. Материалы для составления геогностической карты казенных горных заводов Уральского хребта. Горн. журн., 1861, 1, 129—188, 517—543.
- Еремеев П. В. Об энгельгардите, диоптазе, турмалине, кварце и гипсе. Зап. Мин. общ., 2 серия, 1885, 20, 361—374.
- Ерофеев М. Кристаллографические и кристаллооптические исследования турмалинов. Зап. Мин. общ., 2 серия. 1871, 6, 80—342.
- Заварицкий А. Н. Петрографические наблюдения в окрестностях Миасского завода. Зап. Горн. инст., 1910, 3, 59—84.
- Результаты исследования месторождений корунда в Ильменских горах в 1918 г. Горн. дело, 1920, прилож. 5.
- Зайцев А. Геологический очерк Кыштымской и Каслинской дач в Среднем Урале. Тр. Общ. естествоисп. при Казанск. унив., 1894, 8, 3.
- Карножицкий А. Н. 1. Об оптической аномалии берилла. Зап. Мин. общ., 2 серия, 1891, 27, 1—15.

- 2. Кристаллографические и кристаллооптические исследования турмалина. Зап. Мин. общ., 2 сер. 1891, 27, 209—288.
- Карножицкий А. Н. О природе и происхождении вичинальных плоскостей кристаллов. СПб., 1895, 1—64.
- Карпинский А. П. Геологические исследования, произведенные на Урале летом 1883 г. Изв. Геол. ком., 1883, 2.
- Клер М. О. Месторождение корунда в 269 квартале Нижне-Исетской дачи. Уральский техник, 1917, 1—6, 7.
- Коптев-Дворников В. С. и Кузнецов Е. А. Березовское месторождение корунда. Тр. Инст. прикл. мин., 1931, 47, 1—318.
- Кротов Б. П. Петрографическое исследование южной части Миасской дачи. Тр. Общ. естествоисп. при Казанск. унив., 1915, 47, 1—144.
- Кузнецов Е. А. Корундовые месторождения СССР. Абразионные материалы. Матер. Ком. по изуч. ест. произв. сил Акад. Наук, 1926, 57, 35—70.
- Лабунцов А. Н. Геолого-минералогические исследования на Западном Памире в провинции Бадахшан в Афганистане в 1928 г. Тр. Памирск. экспед., 1928, 4, 1—21.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. 1. О химической природе полевошпатовых амфиболитов. Изв. СПб. политехн. инст., 1911, 15, 559—576.
— 2. Опыты над перекристаллизацией горных пород в твердом состоянии. Изв. СПб. политехн. инст., 1911, 15, 577—581.
— Успехи петрографии в России. 1923.
— Что такое дунит? Докл. Акад. Наук, серия А, 1928, № 20/21, 403—406.
— Петрография. Л., 1931, 338, 518—523.
- Лодочников В. И. 1. Серпентины, серпентиниты и связанные с ними петрологические вопросы. Пробл. сов. геол. 1933, 5, 119—144.
— 2. Главнейшие породообразующие минералы. М., 1933.
- Морозевич И. 1. Опыты над образованием минералов в магме. Варшава, 1897, 1—246.
— 2. Геологические наблюдения вдоль Екатеринбург-Челябинской жел. дороги. Изв. геол. ком., 1897, 16, 3, 104—131.
- Наковкин Н. И. Материалы по минералогии магнетитовых кварцитов района Курской магнитной аномалии. Зап. Мин. общ., 2 серия, 1934, 63, 1, 94—108.
- Николаев А. В. Месторождения корунда в Кыштымском горном округе на Урале. Изв. Геол. ком. 1937 (протокол).
- Николаев Д. Геологические исследования в Кыштымской даче Кыштымского горного округа. Тр. Геол. ком., 1902, 19, 2, 81.
- Постнова М. М. Кристаллографическое исследование хромового турмалина из дер. Шабры на Урале. Докл. Акад. Наук, серия А, 1924, 129.
- Пятицкий П. Геологические исследования в Изумрудном районе на Урале. Изв. Геол. ком., 1929, 48, 3, 283—306.
- Рожков В. К. Оро-гидрографии Нижне-Исетской дачи. Тр. Общ. естествоисп. при Казанск. унив., 1896, 30, 1.
- Розенбуш Г. Описательная петрография. 1934.
- Седельщиков В. В. Предварительный отчет о поездке на Шабровские копи Нижне-Исетской дачи Екатеринбург. округа. Тр. Геол. и мин. музея Акад. Наук, 1917—1918, 3, 168—177.
- Сokolov Г. А. Корундовые плагиоклазиты Каслинской дачи на Урале. Тр. Главн. геол.-развед. управл., 1931, 56, 1—45.
- Сыромятников Ф. В. 1. Бюллетень Моск. общ. испыт. природы, отд. геол., 1934, 12, вып. 1, 137—149.
— 2. Классификация, номенклатура и идентификация минералов группы хризотила. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, отд. геол., 1934, 12, 4.
- Ферсман А. Е. Отчет о командировке на Урал летом 1913 г. Тр. Геол. музея Акад. Наук, 1914, 8, 159—173.
— Драгоценные и цветные камни СССР., Ком. по изуч. ест. произв. сил. Акад. Наук. Л. 1925, 2.
— Пегматиты. Тр. Сов. по изуч. ест. произв. сил Акад. Наук, серия полезн. ископ., 1932, 1.
- Шабьин И. И. К вопросу о промышленном значении Березовского месторождения корунда. Тр. Инст. прикл. мин., 1934, 67, 1—28.
- Щуровский Г. Уральский хребет. М., 1841, 1—436.
- d'Achardi G. Le tormaline del Granito Elbano, Pisa. Parte prima. 1893. Atti della Soc. Tosc. di Scienze Naturali. Memoria 13. Auch Sep.-Abdr., 1—95. Ref. Z. Krist., 1896, 26, 211. Parte seconda, 1896, Eben 15. Auch. Sep.-Abdr. 1—74. Ref. Z. Krist., 1899, 30, 201.
— Osservazioni sulle tormaline dell'Isola del Giglio. Pisa, 1897, Annali delle Università Toscana, 22, 66—79. Auch Sep.-Abdr. 1—16. Ref. Z. Krist., 1899, 31, 405.
- Arlt H. u. Steinmetz H. Ueber ein neues Mineralvorkommen aus Brasilien. Z. Krist., 1915, 45, 590—606.

- Arzruni A. u. Cossa. Ein Chromturmalin aus den Chromeisenlagern des Urals. Z. Krist., 1883, 7, 1—16.
- Baret. Turmalingranit von Orvault. Bull. Soc. Min. de France, 1878, 71—72; Ref. z. Krist., 1897, 3, 640.
- Barlow A. E. Corundum, its occurrence, distribution and uses. Can. Geol. Survey. Mem. 1915, 57.
- Bauer M. Ueber einen Turmalinzwilling. N. Jahrb. Min., 1890, 1, 10—12; Ref. Z. Krist., 1893, 21, 144.
— Edelsteinkunde. Leipzig, 1930, 573—582.
- Baumhauer H. Ueber die Aetzfiguren an Turmalin. N. Jahrb. Min. 1876, 3—5.
- Berg. Beobachtungen an pleochromatischen Krystallen v. Beer. Pogg. Annal., 1851, 429—440
- Bowen N. I. The reaction principle in Petrogenesis. Journ. Geol., 1922, 30, 3.
- Bowman H. Z. Ueber das Mineralvorkommen zu Haddam Neck in Connecticut. Z. Krist., 1913, 37, 97—119.
- Clarke. Die Constitution der Silicate. Bull. U. S. Geol. Surv., 1895, 125, 56; Ref. Z. Krist., 1897, 28, 330.
- Des Cloizeaux. Turmaline. Man. d. Min., 1862, 1, 504—514.
— Turmalin aus den Pyrenäen. Z. Krist., 1882, 6, 225.
- Dana E. The system of mineralogy. 1892, 551—558.
- Doelter C. Dolomit. Handbuch der Mineralchemie, 1912, I, 364—376.
- Duparc L., Pearce F. et Ticanowitch M. Recherches géologiques et pétrographiques sur l'Oural du Nord, 1909, 3, 72.
- Dürrfeld V. Die Drusenminerale des Waldsteingranits im Fichtelgebirge. Z. Krist. 1909, 46, 563—598.
- Eakle A. S. Tourmaline from Ruderville. Amer. Journ. Sci., 47, 1894, 436—439; Z. Krist., 1894, 23, 211.
- Engelmann Th. Ueber den Dolomit des Binnenthal und seine Mineralien, verglichen mit von Campo Longo. Inaug.-Diss. Bern, 1877; Ref. Z. Krist., 1878, 2, 213.
- Fantappie L. La danburite ed altri minerali. Atti della R. Acad. dei Lincei, 1896, Ser. Sci. 5, 2, 108; Ref. Z. Krist., 1899, 30, 200.
- Gilbert's Annal. der. Phys., LXXV, 323.
- Gobb C. Margeret. The origin of corundum associated with dunite in Western North Carolina. Diss. Br. Mawr. College, 1924.
- Goldschmidt V. Index. d. Krystallf. der Miner. 3, 1891, 243—248.
— Winkeltabellen, 1897, 352—353.
- Gordon S. G. Desilicated Granitic Pegmatites. Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia, 1921, 1, 169—192.
- Gorsì A. Due esemplari di Tormaline e Berillo dell'Isola Elba. Riv. sci.-ind., 1882, 14, 18—22.
- Groth P. Miner.-Sammlung. Strassburg. 1878, 189.
- Hall. On the marundites and allied corundum bearing Rocks in the Leydsdorf District of the Eastern Transvaal. Trans. Geol. Soc. Africa, 1922, 25, 43—67.
- Haraldsen H. Eine roentgenographische und chemische Untersuchung über die thermische Umbildung des Serpentin. Cbl. Min., Abt., A, 9, 297.
- Häuy. Lehrbuch der Mineralogie, deutsche Ausgabe von Karsten, 1806, 3, 36—39.
- Hawes. The Albany Granite etc. Amer. Journ. Sci., 1881, 21, 21.
- Heddle M. F. Ueber die Mineralien Schottlands: VIII. Silicate. Z. Krist., 1900, 32, 290.
- Hezner L. Ein Beitrag zur Kenntniss der Eklogite und Amphibolite Tscherm. Min. Petr. Mitt., 1903, 22, 437.
- Hidden W. E. Tourmaline from Auburn Mine. Amer. Journ. Sci., 1884, 27, 154; Ref. Z. Krist., 1885, 10, 313.
- Hidden W. E. North Carolina Localities. Black Tourmaline. Amer. Journ. Sci., 1886, 32, 189, 205—206; Ref. Z. Krist., 1887, 12, 507.
- Hidden W. E. u. Washington H. S. Contributions to Mineralogy. Amer. Journ. Sci., 1887, 33, 506—507; Ref. z. Krist., 2, 310—367.
- Hintze C. Handbuch der Mineralogie, 1897, 2, 331—367.
- Jannash u. Kolb. Z. Krist., 1889, 19, 630.
- Jaros Zd. Ein neuer Fundort von Lepidolith und seiner Begleitminerale in Westmähren. N. Jahrb. Min., 1928, 1, 306.
- Jenzch. Studie über Structur einiger Mineralien, 1861 u. 1866.
- Kenneth K., Landes. The paragenesis of the granite pegmatites of Central Maine. Amer. Min., 1925, 10, 11, 355—412.
— Sequence of mineralization in the Keystone, South Dakota, Pegmatites (concluded). Amer. Min., 1928, 13, 11, 537—559.
- Kennigott A. Turmalin, Mineral. d. Schweiz. Ref. N. Jahrb. f. Min., Geol. etc., 1867, 106—116.
- Koch W. E. Notes on Mull and its leaf-beds. Trans. Geol. Soc. Glasgow. 1883—1885, 52—56; Ref. Z. Krist., 1887, 12, 649.

- Koto B. Untersuchung von Mineralien aus Japanischen Gesteinen. Journ. of. Coll. of Sci., Imp. Univ. Japan, Tokyo, 1888, 2, 77.
- Kranz A. Ueber Turmalin. Karst. u. Dech. Arch., 1842, 15, 2.
- Kundt A. Ueber eine einfache Methode zur Untersuchung der Thermo-, Aktino- und Piezoelektricität der Krystalle. Wied. Annal. d. Phys. u. Chem. 1883, 20, 592. Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Berlin, 1883, 16; Ref. Z. Krist., 1884, 8, 530—531.
- Kunitz W. Die Mischungsreihen in der Turmalin-Gruppe und die genetischen Beziehungen zwischen Turmalin und Glimmern. Chem. d. Erde, 1929, 4, H. 2, 208—251.
- Kunz G. F. On the Tourmaline and associated minerals of Auburn, Maine. Amer. Journ. Sci., 1884, 27, 154.
- Lacroix A. Mineralogie de la France, 1893, 1, 78.
 — Le Granite des Pyrénées et ses Phénomènes de Contact. Bull. Carte Géol. d. France, 1898, 10, 64, 54.
 — Die Mineralien der Lithiumturmalinführenden Pegmatitgänge von Madagaskar. Z. Krist., 1911, 48, 307—310.
 — Die edelsteinführenden Pegmatite von Madagaskar. Z. Krist., 1915, 54, 637.
 — Mineralogie de Madagaskar. Paris, 1922.
- De Lapparent A. Echantillon d'apatite avec tourmaline du Nethou. Bull. Soc. min. d. France, 1879, 2, 187; Ref. Z. Krist., 1880, 4, 421.
- Larsen A. Hydrothermal origin of Corundum and Albitite Bodies. Econ. Geol., 1928, 13, 4.
- Lewis W. I. Note on a crystal of Tourmaline. Min. Mag. and Journ. Min., Soc., 1893, 46; Ref. Z. Krist., 1896, 25, 296.
- Machatschki F. Die Formeleinheit des Turmalins. Z. Krist., 1929, 70, 211—233.
- Mallard. Traité de Crystallographie géométrique et physique, 1884, 2, 354—355.
- Marcellus H. Stow-autigenic tourmaline in the Oriskany Sandstone. Amer. Min., 1932, 17, 4, 150—152.
- Michel-Lévy A. Tourmaline du Chapey. Bull. Soc. min. d. France, 1883, 6, 326; Ref. Z. Krist., 1885, 10, 649.
- Nason. Ueber einige Mineralien und deren Fundorte in New-York. Bull. New-York St. Mus., 1889, 4, Ref. Z. Krist., 1890, 17, 416.
- Penfield S. L. u. Foote H. W. Ueber die chemische Zusammensetzung des Tourmalins. Z. Krist., 1899, 13, 321—352.
- Pratt J. H. Corundum and its occurrence and distribution. U. S. G. S. Bull., 1906, 269.
- Rammsberg. Annal. d. Phys. u. Chem. 1870, 215, 379, 547.
 — Die chemische Natur der Turmaline. N. Jahrb. d. Min., 1890, 2, 149—162.
- Ramsay W. On turmalinens hanforande till den romboedrisktetartodriska formgruppen af det hexagonale systemet. Bigang till k. Svenska Vet.-Acad. Handling. 1886, 12, Afd. II, 1, 1—10.
 — Om tetartaedri hos turmalin. Ebenda, 1887, 13, Afd. II, 6, 1—10.
- von Rath G. Z. d. deut. geol. Ges., 1870, 22, 663.
 — Mineralog. Notizen. Sitzungsber. d. niederrhein. Ges. f. Natur- und Heilk. Bonn., 1879, Sitzung vom 4. August. Auch N. Jahrb. Min., 1881, I, 188.
 — Mineralien von Copiapo in Chili. Z. Krist., 1881, 5, 257.
 — 1. Ueber Turmalin von Alexander County, Nord Carolinā. Sitzungsber. d. niederrhein. Ges. f. Natur- und Heilk., 1886, Sitzungen vom 3 Mai und 5 Juli. Ref. Z. Krist., 1888, 13, 598.
 — 2. Turmalin von Pierrepont. Ebenda, 1886. Sitzung vom 7 Juli. Ref. N. Jahrb. Min., 1888, I, 23.
- Riggs. Amer. Journ. Sci. (3), 35, 35.
- Rome de l'Isle. Crystallographie. 1783.
- Rose G. Ueber den Zusammenhang zwischen der elektrischen Polarität der Krystalle. Abhandl. Berl. Akad., 1836, 245. Auch Pogg. Annal., 39, 285—320.
 — Mineralogisch-geognostische Reise nach dem Ural, Altai und Kaspischem Meere, 1837, 1, 151—256; 2, 76—486.
- Rose G. Turmalin. Berl. Akad., Sep.-Abdr., 1838, 12, 17.
- Rose und Riess. Ueber die Piroelektricität der Mineralien. Berl. Akad., 1843. Auch Pogg. Annal., 59, 357.
- Rosenbusch H. Elemente der Gesteinslehre. Stuttgart, 1910, 86—90.
- Schacchi, A. Memoria sulla poliedria della facce dei cristalli, 1862, 71—73.
- Schalter W. T. Beitrag zur Kenntniss der Turmalin-Gruppe. Z. Krist., 1913, 51, 321—343.
- Scharizer R. Ueber die chemische Constitution der verschiedenfarbigen Glimmer des Pegmatitgranites von Schüttenhofen. Z. Krist., 1888, 13, 473.
- Scharizer K. Z. Krist., 1889, 16, 358—364.
- Schedtler H. Experimentelle Untersuchungen über das elektrische Verhalten des Turmalins. N. Jahrb. Min., 1886, 4, 519—575; Ref. Z. Krist., 1889, 15, 330.
- Schlossmacher K. Beitrag zur Kenntniss der Turmalin-Gruppe. Cbl. Min. 1919, 106—121.
- Schmidt A. Mitteilungen über ungar. Mineralien. Z. Krist., 1887, 12, 103.
- Seligmann G. Turmalin. Z. Krist., 1882, 6, 217—227.

- Simon K. Beiträge zur Kenntniss der Mineralfarben. N. Jahrb. Min., 1908, B.-B. 26, 287—291.
- Sjogren H. J. The chemical composition of Tourmaline from Uto. N. Jahrb. Min., 1924, 1, 308.
- Solly R. H. On the tetraedral Development of a Crystal of Tourmaline. Min. Mag. and. Journ. Min. Soc., 1884, 28, № 86, 80—82; Ref. Z. Krist., 1886, 11, 177—178.
- Spenser L. I. Corundum twins from Transvaal. Min. Mag. 1927, 21, 329.
- Srezia G. Cenni geognostici e minegalogici sul gneiss di Beura. Atti R. Acad. Torino, 1882, 17, 14, Maggio. Ref. Z. Krist., 1883, 7, 627.
- Stella. West Alty. Some properties of autigenic Tourmaline from Lower Devonian Sediments. Amer. min., 1933, 18, 8, 351—355.
- Stutzer O. u. Eppler W. Fr. Die Lagerstätten der Edelsteine und Schmucksteine. Berlin, 1933, 1—560.
- Du Toit A. The origin of corundum aplite. Econ. Geol., 1928, 7, 806.
- Traube H. Ueber Aetzfiguren einiger Mineralien. Turmalin. N. Jahrb. Min. B.-B. 10, 460—462.
- Vernadsky W. Ueber die chemische Formel des Turmalins. Z. Kryst., 1913, 53, H. 3, 273—288.
- Ueber die chemische Formel des Turmalins. N. Jahrb. Min., 1914, 2, 24—27.
- Quelques considérations sur l'étude chimique. Les alumosilicates. Z. Krist., 1933, 84, 337—372.
- Viola C. Lichtbrechungsverhältnisse des Turmalins. Z. Krist., 1903, 37, 120—137.
- Walker T. L. Examination of some triclinic minerals by means of etching figures. Amer. Journ. Sci., 1898, 5, 178—179; Ref. Z. Krist., 1900, 32, 590.
- Warner T. W. Spectrographic analysis of tourmalines with correlation of color and composition. Amer. Min., 1935, 20, 7.
- Wiser D. E. Ueber Turmalin von Fibia (St. Gotthard). N. Jahrb. Min., 1868, 465.
- Wülfing K. A. Ueber einige kristallographische Konstanten des Turmalins. Programm zur 82 Jahresfeier der K. Würtem. Akad. Hohenheim. Stuttgart, 1900, 4—99.
- Wülfing K. A. u. Recht. K. Ueber neue Turmalinanalysen. N. Jahrb. Min., 1914, 2, 2.
- Zepharowich. Sitzungsber. Wiener Acad., 1866, 54, 11.

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. Общая часть

Введение	1
Общие сведения о месторождении 269 квартала	2
Геологическая характеристика	3
Петрографическая характеристика	5
Антигоритовые серпентиниты	5
Полевошпатовые амфиболиты	6
Граниты	7
Кварциты	8
Тальковые сланцы	8
Описание месторождения турмалина	8
Минералы турмалино-корундового месторождения	12
Генезис и геохимия месторождения	14

II. Специальная часть

Кристаллографическое описание турмалина	16
Оптические свойства	26
Наблюдения по методу Умова	40
Пироэлектрические свойства	47
Пьезоэлектрические свойства	52
Твердость. Химический состав. Удельный вес	52
Заключение	54
Литература	56

Редактор изд-ва *Е. А. Чернов.*

Технический редактор *А. П. Дронов.* Корректоры *А. Шамбан* и *И. Головчинер.*

Слано в набор 28/III 1939 г. Подписано к печати 2/Х 1939 г. Формат 70×108¹/₁₆. Бум. л. 17¹/₈. Объем 3¹/₂ л. и 1 вкл. В 1 п. л. 58 000 печ. зн. Уч.-авт. л. 5,49. Тираж 800 экз. Уполн. Главлита № А-17339. РИСО № 859. АНИ № 1128. Заказ № 1390.

1-я Образцовая типография Огиза РСФСР треста „Полиграфнига“, Москва, Валовая, 28.

Отпечатано с готовых матриц на 7-й Полиграфической фабрике им. 25-лет. ВКП(б), Днепропетровск, Садовая, 7. Заказ № 10075.

Цена 3 руб.

К-704

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ:

- Петрография СССР. Серия 1. Региональная петрография. Выпуск 1. Б. М. Куплетский. Петрография Кольского полуострова. 1932. 152 стр. Цена 3 р.
- Выпуск 2. А. С. Гинзберг. Петрография республики Армении. 1934. 127 стр. Цена 4 р.
- Выпуск 3. В. И. Лучицкий и Н. Н. Лебедев. Петрография Украины. 1934. 324 стр. 1 карта. Цена в переплете 6 р.
- Выпуск 4. И. А. Преображенский. Петрография Азербайджана. 1934. 161 стр. 27 табл. 22 рис. Цена 4 р.
- Выпуск 5. В. М. Тимофеев. Петрография республики Карелии. 1935. 256 стр. 9 фиг. Цена 7 р.
- Выпуск 6. Н. А. Елисеев. Петрография рудного Алтая и Калбы. 1938. 248 стр. VIII табл. 2 вклейки. 43 фиг. Цена в переплете 18 р.
- Выпуск 7. Петрография Урала. Часть 1. 1937. 140 стр. Цена в переплете 6 р. 75 к.

Книги высылаются по получении заказа наложенным платежом.

ЗАКАЗЫ НАПРАВЛЯЙТЕ:

Конторе по распространению изданий Академии Наук СССР — „АКАДЕМКНИГА“
Москва, Б. Черкасский пер., д. 2.

ФИЛИАЛАМ КОНТОРЫ „АКАДЕМКНИГА“:

Ленинград, 104, проспект Володарского, 53-а

Киев, ул. Свердлова, 15

Харьков, ул. Свободной Академии, 13

Одесса, ул. Десятилетия Красной Армии, 28

Ростов н/Дону, ул. Энгельса, 68

Минск, Советская, 39