

Г. П. БАРСАНОВ

**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ МЕТАМИКТНЫХ
НИОБОТАНТАЛАТОВ**

Особенности физического, агрегатного состояния вещества в метамиктных ниоботанталатах, безусловно, в той или иной степени, должны были сказаться на внутренней структуре этих минералов. Общеизвестно, что структура минерала или минерального агрегата есть внешне проявленная функция сочетания химических и физических свойств самого вещества, со всем сложным комплексом физико-химических явлений, сопутствовавших его отложению в природном минералообразующем процессе. Таким образом структура, интерпретированная в надлежащем образом в свете известных нам в настоящее время законов физической химии и эмпирических наблюдений минералогов, является тем наблюдаемым фактором, из которого обычно исходят при всевозможного рода построениях генетических процессов формирования минерала или минерального агрегата. Применение микроскопии при изучении структур в целях расшифровки и понимания процессов петрогенеза давно известно и является узаконенным научным методом. Генетическое изучение структур руд в отраженном свете, начатое сравнительно недавно, благодаря работам А. Г. Бетехтина (1934, 1937) в СССР и многочисленным работам в США (Fairbanks, 1928; Бастин, Грейтон и др., 1934; Шварц, 1934, и др.) дало исключительно важные результаты для понимания генезиса рудных месторождений в целом и отдельных минералов и их агрегатов в частности. Кратко сформулированные выше положения не оставляют сомнения в том, что изучение внутренних структур метамиктных минералов могло явиться в значительной мере ключом к пониманию весьма сложного с физико-химической точки зрения процесса преобразования вещества, совершающегося при так называемом метамиктном распаде.

Как известно, еще W. Brögger (1890) предположил, что метамиктные минералы представляют собой особые аморфные, стеклоподобные тела, получившиеся при превращении кристаллического первоначально материала, т. е. образования, в которых процесс изменения фазового состояния идет обратно нормальной смене фаз в природном процессе. Это изменение фазового состояния происходит в твердом веществе, так как сохраняются внешние ограничения кристаллов метамиктных минералов, представляющих по существу параморфозы аморфной стекловатой фазы по кристаллической. Дальнейшие исследования W. Petterson (1890), Th. Liebisch (1910), J. Schetelig (1922), O. Mügge (1922), Th. Barth и H. Berman (1930) и др., производивших изучение отдельных метамиктных

минералов или занимавшихся попытками физического объяснения причин и сущности метамиктного изменения, в общем подтвердили аморфное состояние всех метамиктных минералов. Однако следует отметить, что попытки экспериментально изучить структуру получившегося «аморфного» или «стекловатого» тела не делалось, а это дало бы возможность реально доказать высказанное F. Cornu (1909) и впоследствии совершенно забытое минералогами положение о том, что метамиктные минералы представляют собой коллоидоподобные тела. Большинство авторов, упомянутых выше, в лучшем случае занималось изучением оптических свойств или просмотром различных метамиктных минералов в прозрачных шлифах, что благодаря густой окраске большинства ниоботанталатов и отсутствию видимых в прозрачных шлифах каких-либо структур приводило только к установлению изотропности, наличию иногда оптических аномалий, наблюдению трещинок, посторонних включений, неправильного распределения окраски и т. п. В ряде случаев в некоторых метамиктных силикатах наблюдались реликты кристаллической структуры, зонарное строение кристаллов и т. п. (ортит, гадолинит, циркон), описанные в работах W. Petterson, Е. Е. Костылевой (1946) и др.

Ряд положений о сущности метамиктного состояния, сформулированных В. Гольдшмидтом (1933), заключающих, между прочим, и утверждение, что метамиктный распад есть следствие перезарядки ионов и перегруппировки материи в твердый раствор, подобный стеклу, в общем базируется более на умозрительных заключениях и косвенных данных физической химии, а не на непосредственных экспериментах, среди которых реальное доказательство перегруппировки вещества могла бы дать надлежащая методика изучения структур.

Литературы, посвященной вопросу методики изучения структур ниоботанталатов или результатам изучения таковых для отдельных минералов, ни на русском ни на иностранных языках не имеется. Естественно, что при первых попытках изучения структур этих минералов я пошел по известному уже пути исследования их в прозрачных шлифах, но после изучения ряда минералов этим методом и методом иммерсии пришел к выводу о невозможности получения сколько-нибудь интересных результатов этим путем. Дальнейшая работа в этом направлении привела к мысли использовать методику изучения этих минералов в отраженном свете с помощью обычного минераграфического микроскопа, давшую столь плодотворные результаты для изучения непрозрачных или полупрозрачных рудных минералов. С точки зрения оптической, метамиктные ниоботанталаты, отличающиеся также непрозрачностью или полупрозрачностью и высокими показателями светопреломления, в этом отношении аналогичны рудным минералам. До работ, проведенных мною в 1943—1945 гг. в этом направлении над различными минералами (Барсанов, 1945₁) как с целью выработки новых методов диагностики, так и для изучения структур метамиктных минералов, методы минераграфии для изучения ниоботанталатов почти не применялись (Schneiderhöhn u. Ramdohr, 1931). Считалось, что ниоботанталаты не поддаются травлению, весьма схожи в отраженном свете и диагностика их этим методом не дает сколько-нибудь удовлетворительного результата. Единственным изученным в отраженном свете ниоботанталатом является колумбит.

Исключение составляет небольшая работа Ф. И. Абрамова (1937), в которой описаны некоторые эксперименты по изучению «черных» минералов — ниоботанталатов и редкоземельных силикатов в отраженном свете. Работа дала довольно интересный результат, несколько отличный от полученного мною при более детальных исследованиях, однако методы

травления были Ф. И. Абрамовым проработаны совершенно недостаточно, вследствие чего никакие структуры им не наблюдались.

Метод исследования. Для изучения структур метамиктных ниоботанталатов как самой «аморфной» фазы, так и получившихся благодаря возможным процессам замещения продуктов изменения микровключений и т. д., применялся обычный минераграфический метод изучения возможно более совершенно полированных поверхностей минералов в отраженном свете. Применяемые увеличения для рассматривания структур, продуктов изменения при замещениях и т. д. обычны для минераграфической практики, т. е. $\times 45$, $\times 90$, $\times 145$. В очень редких случаях для обнаружения микровключений, внутренних рефлексов и пр. употреблялась масляная иммерсия с увеличением системы в 800 раз. Особенно сложным, потребовавшим постановки многочисленных экспериментов, явился вопрос подбора реагентов, обеспечивающих наилучшее структурное травление. Как и следовало ожидать, все общепотребительные в минераграфии реактивы, с успехом применяющиеся при изучении сульфидов, окислов, шпинелидов и т. д., оказались непригодными. Сильные минеральные кислоты и щелочи, взятые даже в концентрированных растворах, в холодном состоянии, при продолжительности действия, исчисляющегося 1—2 часами, никакого воздействия на поверхность ниоботанталатов не оказывают. В результате долгих поисков и многочисленных опытов в разных условиях концентрации и температуры реагентов были установлены следующие три группы веществ, оказывающих воздействие при травлении ниоботанталатов: 1) концентрированные кипящие кислоты — H_2SO_4 , HCl , HNO_3 и царская водка; 2) KOH и частично NaOH в расплавленном виде; 3) HF и F_2 в момент выделения, т. е. при применении смесей $\text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$, $\text{CaF}_2 + \text{HNO}_3$ или $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. Наилучшей оказалась последняя группа реактивов, т. е. травление метамиктных ниоботанталатов фтором в момент выделения. Из кипящих кислот наиболее сильное действие оказывают кипящие концентрированные HCl и H_2SO_4 , но только на минералы группы метамиктных силикатов (ортит, гадолинит, чевкинит); ниоботанталаты, как правило, кислотами не травятся, и только на некоторых остаются слабые темные пятна после очень продолжительного травления кипящей концентрированной H_2SO_4 . Расплавленные щелочи, особенно KOH , дают хорошее, но очень грубое протравливание и, кроме того, техника пользования этими реактивами несколько сложна и кропотлива. Травление фтористо-водородной кислотой также почти во всех случаях дает очень заметные, но грубые результаты. Получается сильно изъеденная неровная поверхность, покрытая плотными радужными пленками. Только для очень устойчивых к травлению минералов — колумбита и его разновидностей, феррита, фергусонита, хлонинита, — травление HF дает надлежащие результаты.

Большинство из исследованных минералов являются очень редкими, и на одном полированном шлифе ограниченной площади автор был вынужден производить все операции как по экспериментальной работе по травлению, так и по изучению наилучшим способом полученных структур. Благодаря этому не было возможности производить сплошного травления, и техника заключалась в следующем: травление кипящими кислотами производилось наложением платиновой петлей маленькой капли кислоты на полированную поверхность испытуемого минерала и затем нагреванием этой капли вплоть до вскипания и испарения над раскаленной нихромовой спиралью. При необходимости эта операция производилась многократно. Травление расплавленной щелочью производилось маленьким перлом, сплавленным предварительно в платиновой петле, и затем

непосредственным разогреванием перла язычком пламени паяльной трубки, вплоть до плавления на полированной поверхности минерала. Травление HF или F₂ в момент выделения производилось обычным способом — нанесением капли HF на поверхность минерала, или нанесением капли соответствующей кислоты с последующим внесением в нее нескольких крупинок твердых NH₄F или CaF₂.

С целью изучения структур и методов травления ниоботанталатов и для получения результатов, которые могли бы являться эталонными для каждого данного минерального вида, мною, по возможности, были исследованы минералы и их разновидности из классических месторождений СССР и заграницы, где эти минералы часто были впервые найдены и описаны как классические представители данного минерального вида.

Мною были исследованы следующие минеральные виды и разновидности: а) кристаллические — колумбит, танталит, стибботанталит, мангантанталит, торолит, ферсемит; б) метамиктные — пирохлор, гатчеттолит, эльсвортит, микролит, менделеевит (черный), фергусонит, ризёрит, самарскит, «оннеродит», итротанталит, хлоницит, эвксенит, прайорит, ампагабит, эпинит, вишнит (черный), вишнит (светлокоричневый).

Помимо ниоботанталатов, в качестве материала для сравнения мною также исследовались структуры некоторых метамиктных силикатов — ортита, гадолинита и чевкинита.

Минералы группы колумбита образуют в агрегатах типичные кристаллические структуры. Структурному травлению поддаются очень плохо; единственный травящий реагент — HF, действующая только при продолжительном травлении (10—30 мин.). Танталовые члены серии в общем труднее поддаются травлению, чем ниобовые. Для собственно колумбита характерна аллотриаморфно-зернистая структура минеральных агрегатов, обычно ангедрально-зернистая. При травлении выявляются неправильные трещинки и реже — трещинки спайности (особенно у стибботанталита). При травлении крупных кристаллов или крупнозернистых агрегатов обычно очень хорошо выявляется зонарная структура кристаллов, обусловленная постепенным нарастанием зон с меняющимся составом твердых изоморфных смесей (Fe, Mn)Ta₂O₆ — (Fe, Mn)Nb₂O₆. Эти структуры, обусловленные ритмическими колебаниями в составе кристаллизующихся фаз, очень характерны для минералов колумбитового ряда (табл. I, 1) и обусловлены, возможно, неполной смесью изоморфных частиц FeNb₂O₆ и MnTa₂O₆, на что определенно указывает А. И. Гинзбург (1946). Подобного рода зонарные структуры наблюдались для колумбитов многих месторождений, указывая на типичность этих структур для минералов группы колумбита. Двойниковая структура наблюдается нередко; особенно развита она в стибботанталите, где наблюдаются отчетливые полисинтетические двойники по (100) (образцы из месторождений Зап. Австралии). Простые двойники по (021) нередко наблюдаются в колумбите и мангантанталите.

Торолит — образцы из Мапоно, Катанга, Бельгийское Конго, и месторождений Калбинского хребта (Барсанов, Гинзбург, 1946). Изучение в отраженном свете показало очень большое сходство свойств и структурных особенностей этого минерала с таковыми у стибботанталита. Поддается травлению только при продолжительном действии HF (20—30 мин.) После травления обнаруживает кристаллически-зернистую структуру и очень характерное пластинчатое полисинтетически-двойниковое строение зерен. Срастание индивидов наблюдается по (100). Хорошо протравливается спайность, также параллельная (100). Благодаря сильной анизотропии минерала, двойниковая структура хорошо заметна в поляри-

зованном свете. Из посторонних включений в кристаллах торолита отмечались мангантанталит и мелко распыленный касситерит.

Ферсмит — новый минерал из месторождений Вишневых гор. Ниобат кальция, возможно ромбической системы. Не метамиктен (Бонштедт, Бурова, 1946). В агрегатах и отдельных зернах при травлении HF (5—15 мин.) выявляются типичные кристаллические аллотриаморфно-зернистые структуры. Границы агрегатов извилисты, неровны и как бы врастают, внедряются в сопровождающие комплекс нерудные минералы. Протравливание действует на отдельные удлиненные несовершеннo-идiomорфные зерна, при этом также выявляется замечательная зонарная структура с углами между возможными гранями в призматической (?) зоне $85-90^\circ$ (табл. I, 2). Наблюдаются трещинки, вдоль границ которых идет замещение мутными, легко поддающимися травлению продуктами изменения. На границе с измененным веществом наблюдаются собранные в розетки и пучки удлиненные кристаллики со свойствами ферсмита, возможно представляющие собой структуры перекристаллизации последнего. В некоторых зернах при травлении выявляется структура, подобная сложной двойниковой штриховатости, наблюдавшейся мною и Э. М. Бонштедт у минералов перовскитового ряда.

Минералы группы пирохлора. Объединяемые мною в эту группу из исследованных минералов пирохлор, микролит, гатчеттолит и эльсвортит встречается в природе главным образом в метамиктном состоянии. Однако микролит, как известно, довольно часто находится в кристаллическом состоянии (Pisui, Бразилия; Tappa-Tappa, Зап. Австралия и др.).

Изученные структуры этих минералов носят двойкий характер. В большинстве изученных случаев травление минералов смесью $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$ с трудом выявляет структурные особенности; HF сильно воздействует с образованием грубой неровной поверхности и налетов.

Пирохлор обычно обнаруживает кристаллически-зернистые структуры агрегатов, часто идиоморфен (табл. II, 1 и 2), но иногда (плотные мелкозернистые агрегаты) травлением выявляется и аллотриаморфно-зернистая структура агрегатов.

Микролит образует обычно идиоморфные зонарные кристаллические зерна.

Структура агрегатов гатчеттолита (Hubla, Онтарио) — аллотриаморфно-зернистая, выявляющаяся при травлении. И кристаллические и метамиктные минералы этой группы при травлении выявляют трещиноватость, вдоль которой идет замещение вторичными, легко поддающимися травлению продуктами (мариньякитизация; Барсанов, 1945₂). Иногда в пирохлоре выявляются трещинки спайности по (111) (табл. II, 2). Зонарные структуры наблюдаются как в пирохлоре, так и в микролите. В последнем (табл. III, 1) зонарность обусловлена нарастанием на бурое внутреннее зерно более светлой наружной оболочки. Такая же зональная неоднородность, связанная, вероятно, с первичными причинами ритмического колебания в составе кристаллизующегося вещества, наблюдается и в пирохлорах, причем более интенсивно бурым могут быть и внутреннее ядро и внешняя оболочка.

В эльсвортите (Hubla, Онтарио) процессы замещения вторичными продуктами развиты очень сильно и первичное вещество осталось лишь в виде отдельных реликтовых зерен, в значительной мере резорбированных и погруженных в массу вторичного вещества, легко реагирующего на травление. Однако в этой группе минералов уже начинают наблюдаться процессы, связанные с перегруппировкой агрегатного состояния вещества, зависимой от метамиктного распада. Это проявляется прежде всего

в появлении в измененном эльсвортите неправильных полигональных структур, аналогичных по внешнему виду со структурами «усыхания» коллоидов (Чухров, 1936), но имеющих, очевидно, совершенно иное генетическое толкование и связанных, как увидим ниже, не с уменьшением, а с увеличением объема при изменении фазового состояния (кристаллического в метамиктное).

У некоторых пирохлоров (Вишневые горы) при травлении сплошных по виду гомогенных зерен и участков выявляется «сетчатая» и «петельчатая» структура переотложения пирохлорового вещества, перешедшего в метамиктное состояние. Каждое зерно или агрегат (табл. III, 2) оказывается состоящим из отдельных округлых или угловатых зерен пирохлора с нормальной зернистой структурой, спайностью, трещиноватостью и т. д. окруженных каемками пирохлорового же, несколько более трудно поддающегося травлению вещества «колломорфной», по внешнему облику, структуры. Эти каемки очень напоминают некоторые хорошо изученные структуры замещения оливина серпентиновыми агрегатами, а в структурах рудных агрегатов — конечные стадии некоторых структур распада (Бетехтин, 1937). Однако генетическое толкование этих структур иное и они, по-видимому, являются следствием начала перегруппировки вещества в твердом состоянии вдоль ослабленных зон (трещинок границ зерен) в результате метамиктного распада кристаллической фазы.

Менделеевит черный, до травления, как и все остальные ниоботанталаты, кажется совершенно однородным. Очень легко поддается воздействию $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$, выявляя замечательные структуры. Однородный агрегат разбит сетью трещин, заполненных вторичными продуктами изменения. Масса минерала состоит из двух структурных элементов — остатков зернистой структуры (более трудно поддающиеся травлению участки) и пальцеобразных, развивающихся вдоль трещин и ослабленных зон — участков переотложенного вещества с явными чертами «колломорфной» структуры (табл. IV, 1). При больших увеличениях (табл. 4, 2) видно, что переотложенные, изменившие агрегатное состояние участки образуют концентрически-зональные, пальцеобразные, частью неправильные выделения, постепенно замещающие первоначальную зернистую массу минерала; при этом, очевидно, несколько меняется состав, так как колломорфные образования легче поддаются травлению, чем сохранившиеся реликты зернистой структуры.

Фергусонит и его разновидность ризёрит очень трудно поддаются травлению. После продолжительного травления слабые результаты получаются только при воздействии HF. Изучены были структуры метамиктных кристаллов и агрегатов фергусонита и ризёрита из месторождений Южной Норвегии. После травления выявляются трещинки и границы отдельных зерен. Структура агрегатов аллотриаморфно-зернистая, т. е. морфологически относящаяся к разряду кристаллических структур. Вдоль трещинок наблюдается заполнение их продуктами изменения. Основная масса слабо поддается протравливанию, обнаруживая однородную, протравленную мелкими ямками поверхность зерен.

Хлопинит. По изученным мною рентгенограммам минерал очень близок самарскиту и является, по-видимому, богатой титаном разновидностью последнего. По свойствам, наблюдаемым в отраженном свете, также близок самарскиту. Трудно поддается травлению; наилучшее структурное травление — обработка $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. Структуры метамиктных агрегатов аналогичны таковым, наблюдавшимся у фергусонита. Минерал структурно однороден, образует кристаллический, аллотриаморфно-зернистый по

внешнему облику агрегат, разбитый сетью трещинок, заполненных хорошо протравливаемыми продуктами изменения (табл. V, 1).

Самарскит. Минерал легко поддается травлению $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$ и обнаруживает при этом структуры изменения агрегатного состояния морфологически двух типов. Самарскиты из одних месторождений после травления обнаруживают иногда весьма мелкозернистую, сложно-полигональную, колломорфную структуру, внешне отвечающую трещиноватой структуре усыхающих гелей (табл. V, 2; табл. VI, 1). Подобного типа структура была мною указана выше для эльсвортита, но в самарските она выражена полнее, и по существу вся масса кристалла самарскита превращена (перегруппирована в твердом состоянии) в колломорфный агрегат. С внешней стороны и, вероятно, по физической сущности она отвечает гелевой (скрытокристаллической) структуре, выделяемой А. Г. Бетехтиным для рудных минералов. Рентгеновское изучение также показало кажущуюся «аморфность» природного самарскита. Такой же структурой обладает и разновидность самарскита — минерал иттротанталит (табл. VI, 2). Замечательную картину дальнейшего развития колломорфной структуры обнаружило вещество кристаллов самарскита с рудника Mitchell Co, США (табл. VII, 1). В протравленных шлифах видны типичные почкообразные колломорфные структуры, наряду с остатками зернистой «гелевой» структуры. Вещество минерала при метамиктном преобразовании нацело изменило первоначальную структуру и переотложилось в типичные для аморфной фазы округлые, почкообразные, с концентрически-зональным строением скопления.

Очень часто в самарските наблюдаются хорошо выявляющиеся при травлении включения колумбита. Классический «оннеродит» (табл. VII, 2) представляет собой подобное срастание этих двух минералов, причем колумбит идиоморфен и образует кристаллические структуры, а самарскит, поддающийся травлению гораздо легче, обнаруживает свойственную ему гелевую микроструктуру.

Эвксенит и минералы, близкие к нему по составу (прайорит, ампангабит), обнаруживают при изучении также замечательные примеры структур, являющихся следствием агрегатной перегруппировки вещества в твердом состоянии при метамиктном распаде. Изученный классический эвксенит из месторождений Южной Норвегии легко поддается структурному травлению с помощью $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$ или кипящей H_2SO_4 . После травления выявляется отчетливая картина изменения агрегатного состояния. Наблюдаются остаточные извилистые участки, сохранившие облик кристаллически-зернистого агрегата, который постепенно замещался иным структурным элементом явно колломорфного строения. Травление действует не одинаково на колломорфные и сохранившиеся в виде реликтов зернистые участки, что указывает на меняющийся при этой перегруппировке состав. Совершенно отчетливо видно почкообразное, скорлуповатое, концентрически-зональное строение колломорфного агрегата (табл. VIII, 1). Совершенно подобная же структура наблюдается у прайорита (табл. VIII, 2). Исследование структуры ампангабита дало также интересные результаты. По морфологии и генетическим соотношениям структура ампангабита с о. Мадагаскара совершенно аналогична структуре эвксенита (табл. IX, 1). Наблюдается только иное соотношение между первичной зернистой и переотложенной колломорфной составляющими. Реликты зернистой структуры в ампангабите сохранились в большем количестве и отчетливее видно возникновение структурной перегруппировки, происходящей вдоль трещинок, границ зерен, т. е. по механически ослабленным направлениям. Также отчетливо заметно, что и сплошная

зернистая масса приобретает почковидно-колломорфное строение (табл. I C, 2).

Эшинит. Интересный пример хорошо выраженной «гелевой» структуры дает минерал эшинит. При травлении однородной на вид, как и у всех метамиктных ниоботанталатов, массы кристалла (табл. X, 1 и 2) наблюдается отчетливая картина мелкозернистой полигональной структуры, морфологически совершенно подобной структуре усыхающих гелей. Следует отметить полное отсутствие во всех исследованных образцах почковидной или концентрически-скорлуповатой колломорфной структуры, вероятно, судя по исследованию самарскита, являющейся дальнейшей стадией более глубокой перегруппировки агрегатного состояния в метамиктном веществе. Совершенно аналогичная структура, по-видимому, являющаяся типичной для данного минерала, была обнаружена при исследовании других образцов эшинита (табл. XI, 1).

Виикит. Группа минералов, объединяемая под общим названием виикит и, как известно, представляющая весьма значительные колебания как по внешнему виду, так и по химическому составу (Lokka, 1928), дает, однако, при травлении структуры, аналогичные для всех разновидностей. Минерал легко поддается травлению с помощью $\text{CaF}_2 + \text{HNO}_3$ или $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$ и выявляет характерную мелкозернистую гелеподобную структуру, подобную структуре самарскита или эшинита. Замечательно, что в некоторых образцах наблюдается начальная стадия перегруппировки агрегата, выражающаяся зернистой полигональной гелевой структурой, в типичные колломорфные почкообразные структуры с намечающимся концентрически-зональным строением (табл. XI, 2). Таким образом, на примере виикита, как и в самарските, особенно отчетливо видны генетическая связь и возможная последовательность в образовании гелевых и типичных колломорфных структур почковидного, концентрически-скорлуповатого облика.

В целях выяснения вопроса, играет ли роль качественный состав минерала в образовании тех или иных структур при метамиктном распаде, что бесспорно стоит в связи с прочностью каркаса решетки, построенной теми или иными структурными группами ионов, мною параллельно были исследованы структуры метамиктных ортитов из разных месторождений СССР, метамиктного гадолинита из месторождений Швеции и чевкинита. Структурное травление достигается легко применением кипящих концентрированных HCl и H_2SO_4 . Во всех изученных мною случаях в силикатах и титаносиликатах, перешедших в метамиктное состояние, сохраняется отчетливая кристаллически-зернистая структура, соответствующая структуре у разновидностей неметамиктных. Единственным структурным отличием, появляющимся у метамиктных минералов, является наличие значительного количества трещинок и отдельных участков, заполненных вторичными продуктами изменения, подверженными очень интенсивному травлению. В неперотравленных образцах, как и в случае ниоботанталатов, поверхность полированных шлифов кажется совершенно однородной (Барсанов, 1945). При травлении ортиты из самых разных месторождений обнаруживают вполне аналогичные структуры: всегда проявляется отчетливое кристаллически-зернистое строение, а у отдельных зерен наблюдается замечательная полисинтетически-двойниковая структура по (100)? (табл. XII, 1 и 2; табл. XIII, 1). Ни в одном из исследованных образцов колломорфных структур не наблюдалось; следовательно, не происходит агрегатной перегруппировки в твердом веществе минерала при его метамиктном распаде. Чевкинит после травления (как кристаллические, так и метамиктные образцы) показал также аналогичные кристаллически-

зернистые структуры с двойниковым строением зерен, очень схожим внешне с копьевидными двойниками сфена. Травление гадолинита также дало отчетливо выраженные кристаллически-зернистые структуры с пластинчато-двойниковым и отчетливым зонарным строением кристаллических зерен (табл. XIII, 2).

Изложенные экспериментальные данные позволяют высказать достаточно определенное генетическое толкование не только чисто физической стороны процесса, происходящего в минералах группы ниоботанталатов при метамиктном распаде, но и реальных изменений, происходящих в агрегатном состоянии минерала. Приведенное изучение, собственно, впервые дает возможность реально убедиться в глубоком изменении не только структуры решетки, вплоть до возможного полного ее распада, к чему пришли О. Мюгге, В. Гольдшмидт, Е. Е. Костылева и др., но и в переходе явно кристаллического агрегата, или отдельного кристалла, в агрегат, отвечающий по структуре аморфному, «стекловатому» в общем виде, коллоидальному веществу. Эти исследования доказывают лишний раз, что самые обычные методы и использование простейших приборов,

Таблица 1

Структура ниоботанталатов

Кристаллически-зернистые структуры		Аморфные, коллоидные структуры метамиктного распада		
Нормальные кристаллические, возникшие при кристаллизации минерала из раствора-расплава	Остаточные кристаллические структуры, сохранившиеся благодаря прочности решетки или другим причинам	Коррозийные структуры за-мещения по трещинкам, вдоль границ зерен и т. д.	Структуры распада, не сопровождающиеся пространственной перегруппировкой частиц	Структуры распада с пространственной перегруппировкой агрегатных частиц
Аллотриаморфно-зернистая; двойниковая (полисинтетически-двойниковая); зонарная	Аллотриаморфно-зернистая двойниковая (полисинтетически-двойниковая); зонарная	Структура пересечения; петельчатая	Структура гелевая; полигональная	Структуры коллоидная почкообразная; концентрически-зонарная; петельчатая

Минералогические примеры

Минералы группы колумбит-танталита, торолит, ферсмит, микролит и другие кристаллические ниоботанталаты	Метамиктные силикаты (ортит, гадолинит, чевкинит и др.), пирохлор, микролит, гатчетолит, фергусонит, ризерит, хлопнит	Все метамиктные минералы	Самарскит, итротанталит, эшинит, виикит, эльсворит	Пирохлор и минералы его группы: менделеевит, самарскит; группа эвксенит-прайорита, ампангабит, виикит и др.
--	---	--------------------------	--	---

при надлежащей постановке эксперимента, могут дать совершенно новые факты, по-новому доказывающие и освещающие такие тонкие детали, как взаимосвязь между структурой решетки, составом и агрегатным состоянием вещества. Суммируя данные, полученные при изучении структур ниоботанталатов и некоторых метамиктных силикатов, можно объединить их в морфологические группы, приведенные в табл. 1.

Генетическая интерпретация первого типа кристаллически-зернистых структур не вызывает затруднений. Это обычный случай образования первичной кристаллической твердой фазы из расплавов - растворов или надкритических «флюидных» растворов, подчиняющийся общеизвестным и хорошо изученным процессам кристаллизации. Некоторую, характерную для ниоботанталатов, а также силикатов редких земель, особенность представляет широкое развитие зонарных и двойниковых структур. Наблюдаемая часто зонарность, вероятно, связана с особенностями состава, а именно — его сложностью и широким развитием явлений изоморфизма в решетках этих минералов. Это обстоятельство, наряду со слабостью катионных связей ниоботанталовых и титановой кислот (Гольдшмидт, 1933; Falssler, 1942, и др.) обуславливает чрезвычайную легкость в изменении состава, проявляющуюся, по-видимому, ритмично еще в момент кристаллизации минералов. Кроме того, колумбит — танталит и, вероятно, стабиотанталит — торолит, тапиолит — касситерит, а также, несомненно, пирохлор — микролит и, возможно, фермит — колумбит образуют изоморфные ряды с неполной сместимостью (Mügge, 1924; Гинзбург, 1946; Бонштедт и Бутова, 1946, и др.), что, безусловно, в процессе кристаллизации, сопровождаемой изменением концентрации то одного, то другого компонента, должно вызывать закономерное и характерное появление зонарных структур.

Остаточные кристаллические структуры являются принципиально новым генетическим структурным элементом в морфологии минеральных агрегатов и присущи только некоторым видам из группы метамиктных минералов. Естественно, что по чисто морфологическим признакам они целиком совпадают с наблюдавшимися для этой группы минералов первичными кристаллическими структурами. Однако физическое, фазовое состояние вещества, перешедшего в метамиктное, т. е. стеклоподобное, доказываемое оптически и рентгенографически, не отвечает наблюдаемой морфологической картине. Известные в минералогии случаи псевдоморфоз аморфного или скрытокристаллического вещества по кристаллам, с сохранением морфологических особенностей структуры замещенного вещества, также только внешне, но не принципиально-генетически, отвечают изученному мною случаю, так как там замещающее вещество привнесено со стороны и часто совершенно отлично по составу или является совершенно новым продуктом реакции между веществом минерала-хозяина и окружающей средой. В случае метамиктных минералов состав вещества не меняется, или меняется очень мало, благодаря чисто физическим явлениям — сорбции, обмену катионами, гидратации, т. е. явлениям, связанным с агрегатным и, быть может, фазовым изменением вещества в состоянии, близко отвечающее таковому у типичных коллоидов. Здесь наблюдается принципиально новое явление — образование автопсевдоморфоз коллоидной фазы по кристаллической, совершающееся в твердом состоянии благодаря внутренним причинам, которые большинство авторов усматривают в энергии радиоактивного распада.

Интересен наблюдаемый факт, что остаточные кристаллические структуры всегда характерны для метамиктных силикатов и титаносиликатов, в то время как в ниоботанталатах они наблюдаются лишь в некоторых

минералах и эти же минералы при распаде могут и не сохранять следов ориентации каркаса кристаллической решетки, а давать типичные коллоидные структуры полного распада. Это явление, мне кажется, генетически связано с качеством самой решетки минерала. Действительно, основной структурной единицей всех силикатов является кремнекислородный тетраэдр, обладающий чрезвычайно прочной устойчивой структурной связью с подобными же тетраэдрами, взаимное расположение которых в пространстве обуславливает ту или иную структуру силикатов (Шибольд, 1937; Брегг, 1936; Гассель, 1936). Решетки силикатов, благодаря прочности структурной связи кремнекислородных тетраэдров, обладают весьма большой прочностью. Этим свойством и должно объясняться постоянное наличие остаточных кристаллических структур в метамиктных силикатах. В них, мне кажется, благодаря прочности основных структурных элементов, определяющих, как известно, и видимые кристаллические элементы (спайность, развитие граней и т. д.), происходит только фазовый переход кристаллического вещества в аморфное, без реальной перегруппировки структурных элементов, удерживаемых в прежнем положении прочным каркасом силикатной решетки.

Совершенно иного характера связи в решетках ниоботанталатов. Многие авторы, в том числе F. Machatschki (1932), В. Гольдшмидт (1933), Th. Barth (1926), Th. Barth и Н. Bergmann (1930), А. Falssler (1942), отмечали чрезвычайную непрочность решетки ниоботанталатов, усугубляемую чрезвычайным развитием изоморфных замещений ионов щелочных земель редкими землями и другими ионами с большой активностью поляризации. При метамиктном распаде такого типа непрочной кристаллической постройки, фазовое изменение, безусловно, могло вызвать и вызвало, как это доказано проявленными и изученными структурами ниоботанталатов, полную агрегатную перегруппировку вещества и появление типичных аморфных, коллоидных структур метамиктного распада.

Этот вид структур генетически также является принципиально новым в минералогии. Действительно, во всех природных процессах нормальная последовательность развития структур идет от коллоидных к кристаллическим. Ниоботанталаты дают единственный пример обратного хода процесса.

Генетические условия образования коллоидных структур в минералах (Чухров, 1936) сводятся к следующим общим случаям: 1) застывание расплавов — пирозоли, стекла, твердые дисперсоиды; 2) коагуляция золь из пересыщенных гидротермальных растворов электролитами с последующим «усыханием» и раскристаллизацией; 3) отложение гелей из поверхностных холодных растворов пресных и соленоводных; 4) образование золь и гелей в результате жизнедеятельности организмов. Очевидно все эти случаи генетически не отвечают образованию аморфных коллоидоподобных структур в ниоботанталатах.

Обычно возникновение коллоидных структур всегда связано с коагуляцией из жидкой фазы в нормальной последовательности: жидкая фаза → золь → гель → твердый коллоид → кристаллическая фаза. В метамиктных ниоботанталатах мы имеем принципиально новый, доказанный изученными структурами, случай образования коллоидоподобной фазы в твердой среде по схеме: твердая кристаллическая фаза → твердый коллоид. В известных минералогах случаях перегруппировок минералов в твердом состоянии, классифицированных А. Г. Бетехтиным (1937) и представляющих явления распада твердых растворов, полиморфного превращения минералов, перекристаллизации метаморфизующими агентами с изменением или без изменения химического состава, метамиктные

ниоботанталаты также не находят себе места. В ниоботанталатах мы имеем единственный в природе процесс распада одной кристаллической фазы на одну аморфную, с возможностью последующей агрегатной перегруппировки в твердом состоянии, частичного изменения состава и т. п., являющихся уже функцией и следствием приобретения веществом нового качества — коллоидоподобного состояния.

Морфология получаемых коллоидных структур метамиктного распада связана генетически с высказанными выше положениями. При переходе из кристаллического состояния в метамиктное, аморфное, разрушается почти во всех случаях нацело (структурно) слабый кристаллический каркас решеток ниоботанталатов и одновременно происходит неизбежное, вытекающее из законов физической химии, увеличение объема минерала, что внешне выражается в появлении микротрещинок, совершенно аналогичных по форме так называемым «трещинам усыхания» в настоящих нормально образованных коллоидных минералах, но имеющих иной прямо противоположный генезис. Таким образом, получается первый наблюдаемый случай гелевой структуры с полигональной или неправильной отдельностью. Само вещество становится внешне бесструктурным, коллоидо- или стеклоподобным. Гораздо сложнее представить себе перегруппировку полученного аморфного агрегата и дальнейшее развитие структур в настоящие колломорфные, характеризующиеся почкообразным или концентрически-зонарным строением, столь характерным для настоящих коллоидов. В условиях подвижных систем водных растворов поверхностное натяжение, возникающее в массе коллоидного осадка, стремится придать ему форму, обладающую наименьшей поверхностной энергией, т. е. форму шара. Это — частный случай общего стремления любой системы перейти в фазу, обладающую наименьшим запасом энергии, вытекающий из второго закона термодинамики (Эйтель, 1936). Однако следует думать, что внутримолекулярные силы, управляющие перегруппировкой вещества в структурные формы, обладающие наименьшим возможным для данной фазы запасом энергии, достаточно велики, чтобы можно было допустить возможность подобного же рода молекулярной перегруппировки и в твердом состоянии.

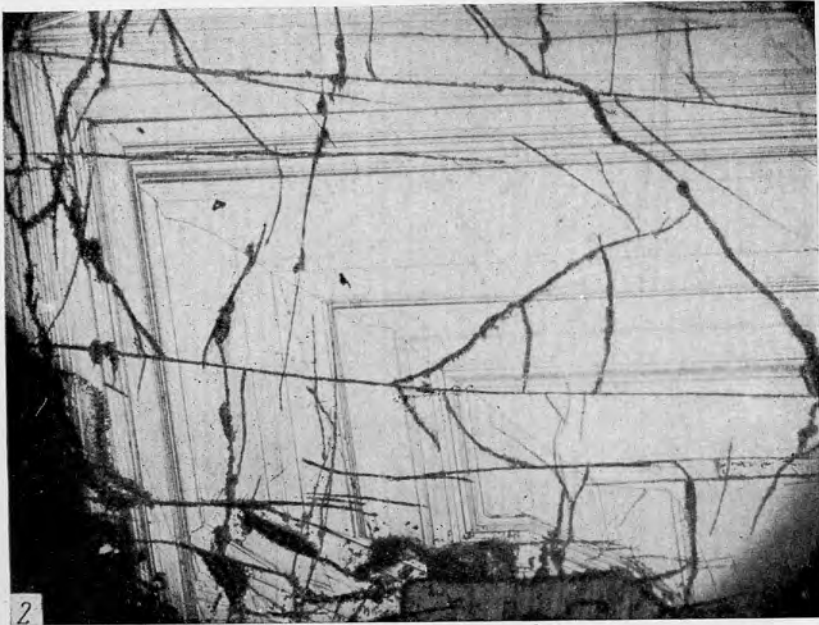
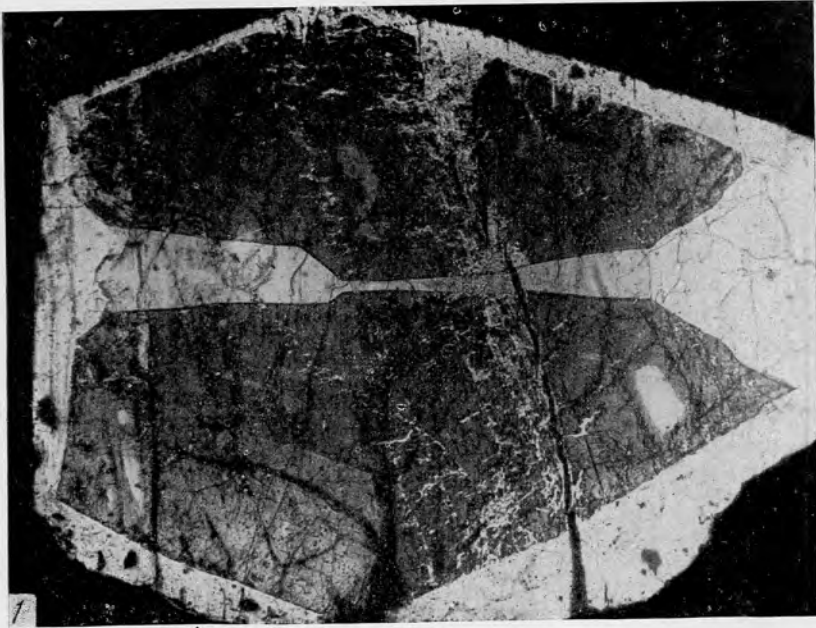
Действительно, если не возникает сомнения в возможности образования петельчатых и зернистых структур дистектики, образованных перераспределением вещества в твердом состоянии, то вполне допустима возможность и образования перегруппированных колломорфных структур в метамиктных ниоботанталатах за счет внутримолекулярных сил, стремящихся к структурным формам, обладающим наименьшим запасом энергии. Подобная перегруппировка, естественно, возникает прежде всего в наиболее ослабленных местах — вдоль трещинок, на периферии зерен, образуя тип сетчатых структур, где отдельные зерна с периферии уже изменили гелевую или зернистую (остаточную) структуру на типичную колломорфную. Развитие этой агрегатной перегруппировки вещества метамиктного ниоботанталата может идти и вдоль крупных трещинок, возможно возбуждаясь и усиливаясь проникающими по ним растворами, частично изменяющими состав образующегося колломорфного агрегата, так как здесь, безусловно, выступают и действуют основные свойства коллоидного вещества — адсорбция, гидратация, обмен заряженными ионами, «приливание», обусловленное поверхностной энергией коллоидных частиц, и т. д.

Можно также представить, что процесс перегруппировки агрегатных частиц, обусловленный изложенными выше причинами, запел так далеко, что могут быть получены наблюдаемые в самареките из США, прайорите, эвксените и др. настоящие колломорфные структуры.

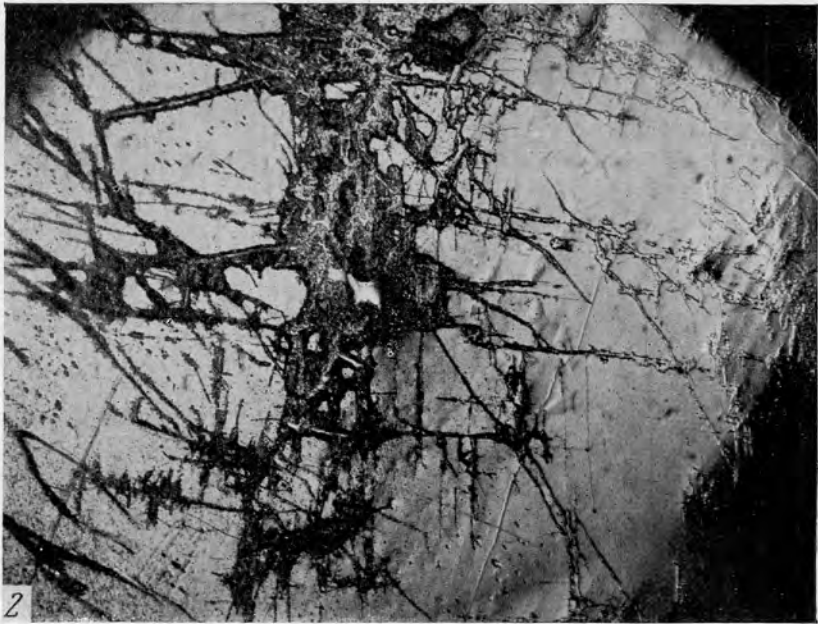
Изложенный выше материал, полученный при экспериментальном изучении внутренних структур метамиктных минералов, и генетическая интерпретация наблюдаемых фактов приводят к ряду выводов, важных для правильного подхода к изучению минералов этой группы; доказанной является возможность диагностического изучения этой группы минералов в отраженном свете. Структурное травление, благодаря характерности определенных типов структур для отдельных минеральных видов, является прекрасным средством не только для изучения вопросов, связанных с физической сущностью метамиктного распада, но и, параллельно с изучением других свойств в отраженном свете, важным способом для правильной диагностики минерала. Настоящим исследованием впервые реально доказано и показано, что метамиктное превращение ниоботанталатов связано не только с изменением фазового состояния, но и то, что полученная фаза по структуре вещества отвечает телам, известным под названием коллоидов. Метамиктный распад в минералах, обладающих различной качественной решеткой, сопровождается и различной степенью агрегатной перегруппировки вещества. Перешедшее в аморфную фазу, оно может образовывать автопсевдоморфозы по кристаллу, сохранившему видимые структурные элементы кристаллической решетки, автопсевдоморфозы с нацело разрушенными структурными элементами решетки и, наконец, автопсевдоморфозы, в которых произошла частичная или полная перегруппировка аморфного агрегата, давшая коллоидные структуры. Такие структуры, обнаруживающие ритмически чередующиеся, различно реагирующие на травление и, несомненно, различного состава полосы, большее или меньшее количество не переотложенных, гелеподобных участков, реликтовых остаточных кристаллических структур, продуктов изменения по трещинам и т. п., несомненно, разных по составу структурных элементов, показывают, что любое зерно или кристалл ниоботанталата, считавшиеся совершенно однородными, представляют собой сложную систему с широкой возможностью колебаний в составе. Если принять во внимание, что подавляющее число работ, посвященных изучению и систематике ниоботанталатов, базируется исключительно на изучении химического состава за отсутствием достаточно разработанной методики минералогического анализа для минералов этой группы, то в свете проделанного исследования становятся понятными и те поразительные колебания, которые дают химические анализы, представляющие собой собственно валовые анализы сложных агрегатов, а не мономинеральной фазы. Понятна и та невероятная сложность в попытках построения формул метамиктных ниоботанталатов, отвечающих хотя бы приблизительно данным анализов. С этим же связана и удивительно путаная систематика этой группы минералов, базирующаяся также на чисто химической основе. Факты, изложенные в настоящем исследовании, убеждают, что при переходе в метамиктное состояние происходит такое коренное изменение структуры и, возможно, такое широкое изменение состава вещества, приобретающего все свойства коллоидных систем, что изучение одного лишь химического состава минерала, при самых точных методах анализа, может в большинстве случаев привести лишь к неверным выводам при минералогической характеристике. Правильное минералогическое изучение метамиктных ниоботанталатов возможно только при параллельном и обязательном применении метода изучения структур и агрегатного состава вещества, рентгеновского изучения чистых выделенных отдельных минеральных фаз и применении физических методов анализа (термография, фазовый анализ), давно уже признанных для таких сложных дисперсных и коллоидных минералов как глины, марганцевые и железные руды и др.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов Ф. И. Микроскопическое изучение некоторых черных минералов в отраженном свете. Минер. сырье, № 10—11, 1937.
- Барсанов Г. П. О критериях и методике определения редкоземельных ниобатов, титано-ниобатов и силикатов. Зап. Всеросс. минер. общ., ч. 74, № 4, 1945₁.
- Барсанов Г. П. О вторичном изменении пироклора. Докл. АН СССР, XLIX, № 2, 1945₂.
- Барсанов Г. П., Гинзбург А. И. Торолит — танталат олова из месторождения Калбинского хребта. Докл. АН СССР, т. LIX, № 7, 1946.
- Бастин А., Грейтон и др. Критерии возрастных соотношений минералов по наблюдениям в полированных шлифах. Сб. «Критерии рудообразующих минералов». ОНТИ, 1934.
- Бетехтин А. Г. О текстурах и структурах руд. Пробл. сов. геол., № 9, 1934.
- Бетехтин А. Г. Классификация структур и текстур руд. Изв. АН СССР, сер. геол., № 1—2, 1937.
- Бонштедт Э. М., Бурова Т. А. Ферсмит — новый кальциевый ниобат. Докл. АН СССР, т. I, № 1, 1946.
- Брегг В. Л. Структура силикатов. ОНТИ, 1936.
- Гассель О. Кристаллохимия. ОНТИ, 1936.
- Гинзбург А. И. О химическом составе минералов группы колумбита—танталита. Сб. «Вопросы минер., геохим. и петрогр.». Изд. АН СССР, 1946.
- Гольдшмидт В. Рентгено-спектрографические исследования распределения редких земель в минералах. О переходе кристаллических минералов в метамиктное состояние (изотропизация). Основные идеи геохимии, вып. 1. Госхимтехиздат, Л., 1933.
- Костылева Е. Е. О метамиктном распаде минералов группы циркона. Сб. «Вопросы минер., геохим. и петрогр.». Изд. АН СССР, 1946.
- Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. Изд. АН СССР, 1936.
- Шибольд Э. Структура силикатов. Основные идеи геохимии, вып. 3. Изд. «Химтеорет.», Л., 1937.
- Шварц Г. Структура распада твердых растворов. Сб. «Критерии рудообразующих минералов». ОНТИ, 1934.
- Эйтель В. Физическая химия силикатов. ОНТИ, 1936.
- Varth Th. The structure of synthetic, metamict and recrystallized fergusonite. Norsk Geol. Tidsskr., 9, H. 1, 1926.
- Varth Th. u. Bermann H. Neue optische Daten wenig bekannter Minerale. Chem. d. Erde, 5, 1930.
- Brögger W. Die Mineralien der Syenitpegmetitgänge der Südnorwegischen Augit und Nephelinsyenite. Zeit. f. Krystall., 16, 1890.
- Cornu F. Die isotropen Umwandlungsprodukte der Minerale der seltenen Erden und ihre Analogien mit den Eiweißkörpern. Zeit. Chem. u. Koll., 4, 1909.
- Fairbanks A. Laboratory investigation of Ores. Econ. Geol., 147—161, 1928.
- Falssler A. Untersuchungen zum Problem des metamikten Zustandes. Zeit. f. Krystall., 104, H. 2, 1942.
- Liebisch Th. Über die Rückbildung des kristallisierten Zustandes aus dem amorphen Zustande beim Erhitzen pyrognomischer Mineralien. Sitz.-Ber. Preuss. Acad. d. Wiss., 20, Berlin, 1910.
- Lokka L. Über Wiikit. Bull. de la Comiss. géol. de Finlande, No 82, 1928.
- Machatschki F. Die pyrochlor-Romeit Gruppe. Chem. d. Erde, 7, 1932.
- Mügge O. Über isotrop gewordene Kristalle. Cbl. f. Miner., 1922.
- Mügge O. Chemische Zusammensetzung und Dichte der Columbite und Tantalite. Cbl. f. Miner., 1924.
- Petterson W. Studier öfner gadolinit. Geol. För. Förhan., 1890.
- Schetalig J. Niobate, Tantalate, Titanate und Titanoniobate. Vied. Selsk. Skrift. M. I.-Nat. Kl., № 1, 1922.
- Schneiderhöhn H. u. Ramdohr P. Lehrbuch der Erzmikroskopie, Berlin, 1931.

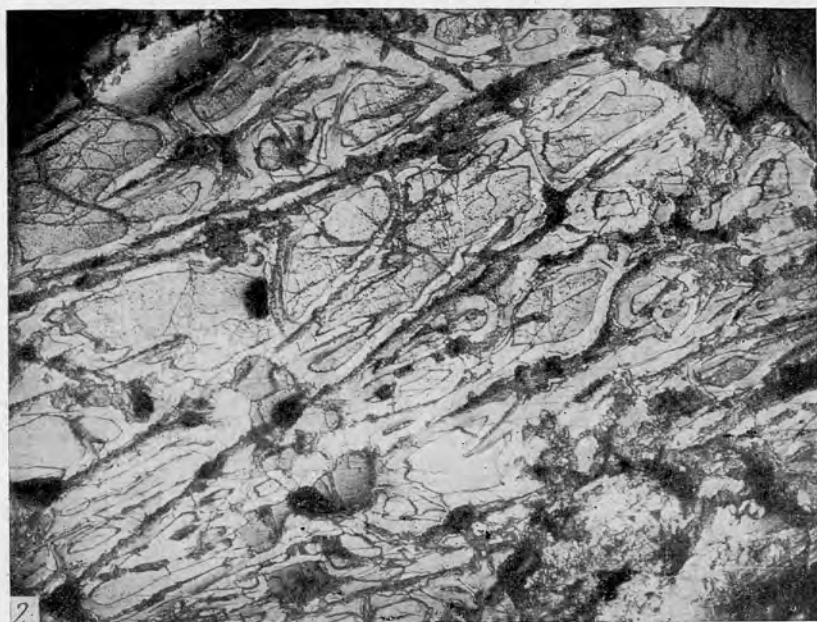
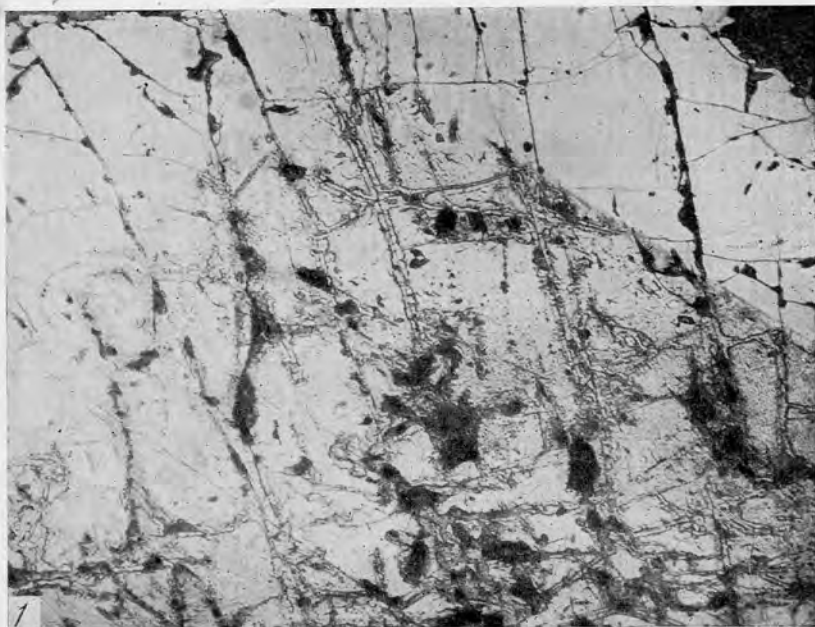


1. Колумбит. Кристаллически-зернистая, зонарная структура. Центральное зерно — колумбит, образующий двойник по (021). Внешняя зона — танталит. Протравлено HF; $\times 46$ (фото А. И. Гинзбурга).
 2. Фермит. Кристаллически-зернистая, зонарная структура. Протравлено HF; $\times 46$.



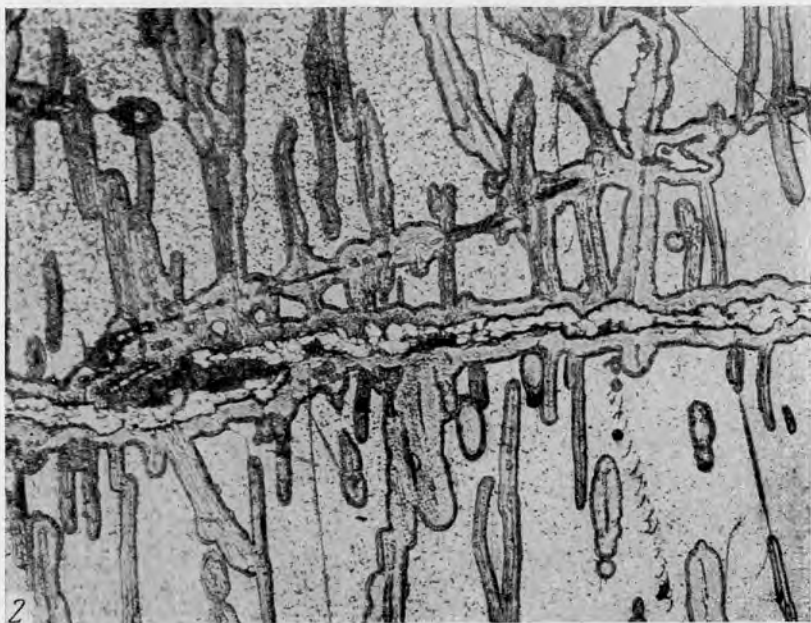
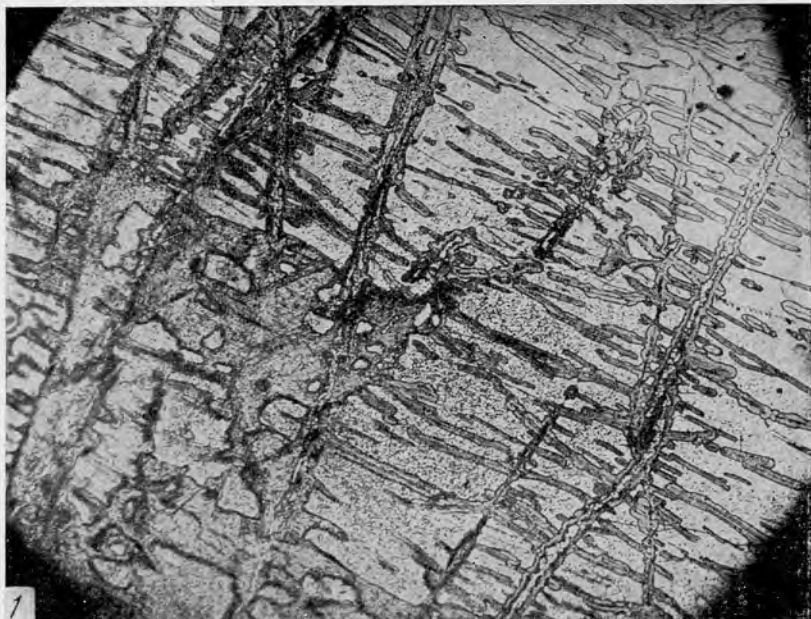
1. Пироклор. Кристаллически-зернистая структура. Срастание идиоморфных зерен пироклора (белые) с цирконом (серый, трещиноватый). $\times 76$.

2. Пироклор. Кристаллически-зернистая структура. Травлением выявлены трещинки, заполненные продуктами изменения, и спайность по (111). Видны крестообразные включения того же пироклорового вещества, быть может являющиеся зародышевыми центрами кристаллизации. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 46$.



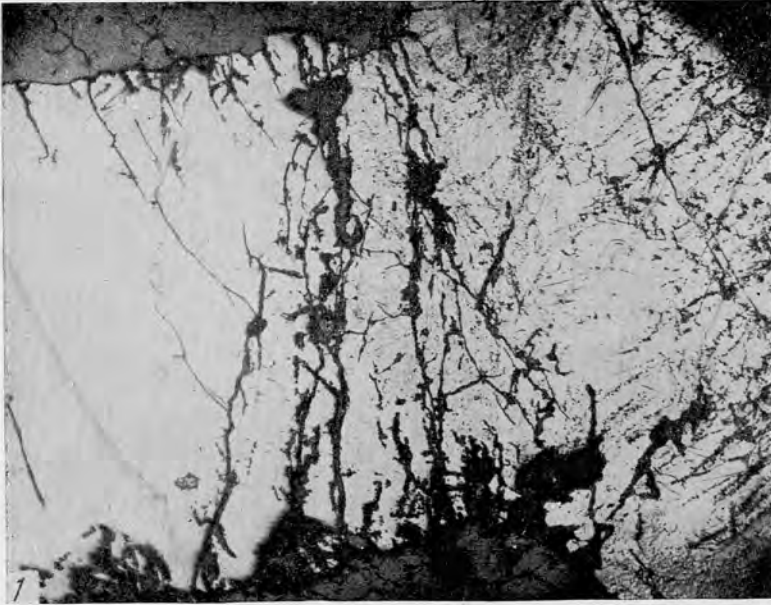
1. Микролит. Кристаллически-зернистая, зонарная структура. Видна более легко поддающаяся травлению центральная часть, пронизанная тонкими трещинками с колломорфными продуктами изменения, и более светлая, хуже реагирующая, внешняя зона кристалла. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 145$.

2. Пирохлора Коллоидная структура метамиктного распада. Видны зерна пирохлора, образующие аллотриаморфно-зернистый агрегат, переходящие с периферии в колломорфные петельчатые структуры распада. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 90$.



1. Менделеевит. Коллоидные структуры метамиктного распада. Основная масса сохранила остаточную кристаллически-зернистую структуру. Вдоль трещинок и ослабленных зон видно перетолжение минерала в колломорфный агрегат. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 46$.

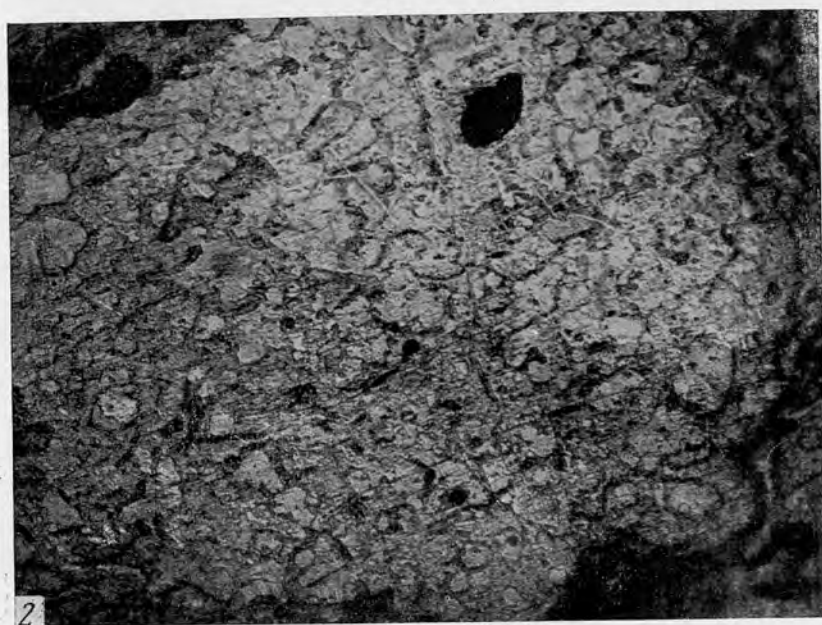
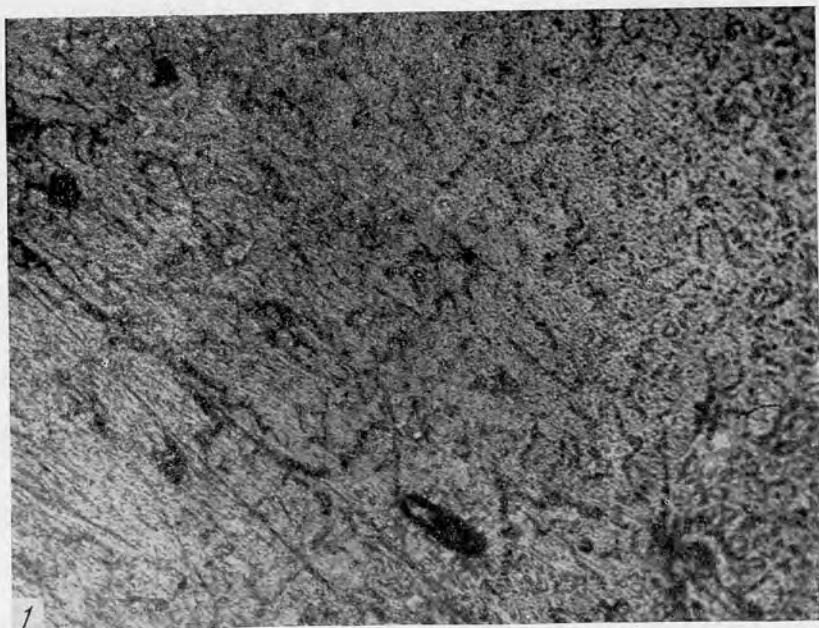
2. Менделеевит. Видна колломорфная концентрически-зонарная структура в перетолженных вдоль трещинок измененных участках менделеевита. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 145$.



1. Хлопнит. Структура кристаллически-зернистая, аллогранморфная. Поддаются протравливанию трещинки, заполненные продуктами изменения. Поверхность зерен приобретает шагрелевый рельеф. Протравлен (правая часть) $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 46$.

2. Самарскит. Гелевая структура метамиктного распада. Вещество минерала образует сложно-полигональный колломорфный агрегат, разбитый сетью трещинок расширения. Тонкие непротравленные включения — колумбит. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 145$.

ТАБЛИЦА VI



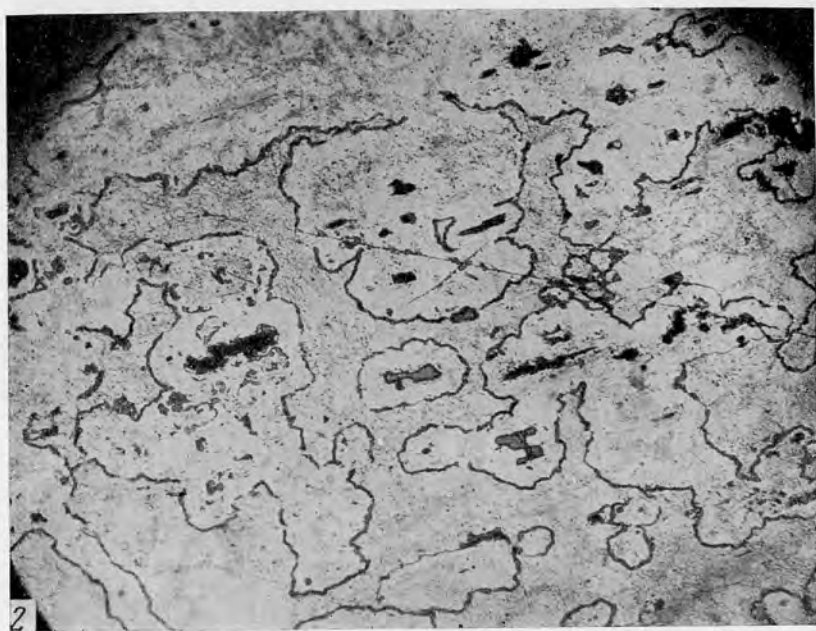
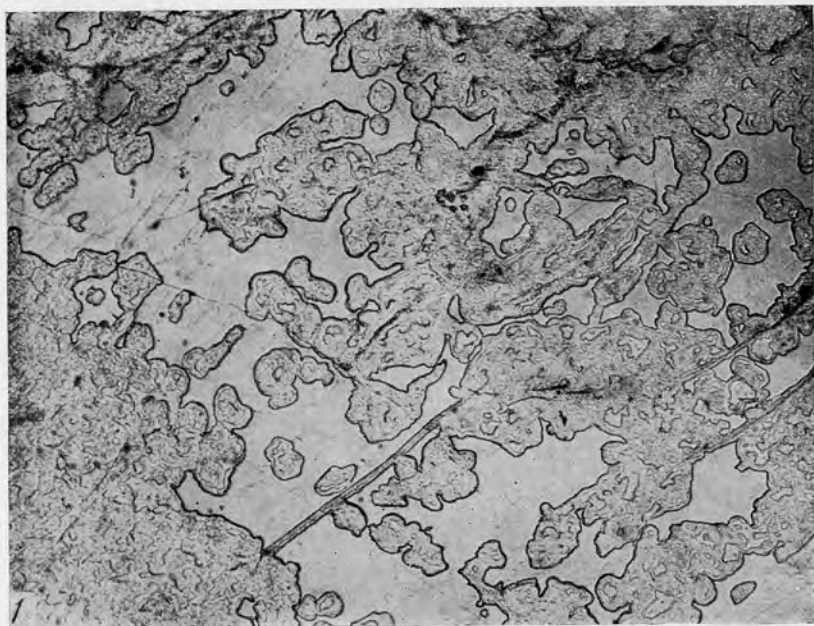
1. Самарскит. Гелевая структура метамиктного распада: Аналогична структуре, представленной на табл. V, 2. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 145$.

2. Иттротанталит. Гелевая структура метамиктного распада. Видны реликты кристаллически-зернистой структуры, переходящие в коллоидный агрегат. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 145$.



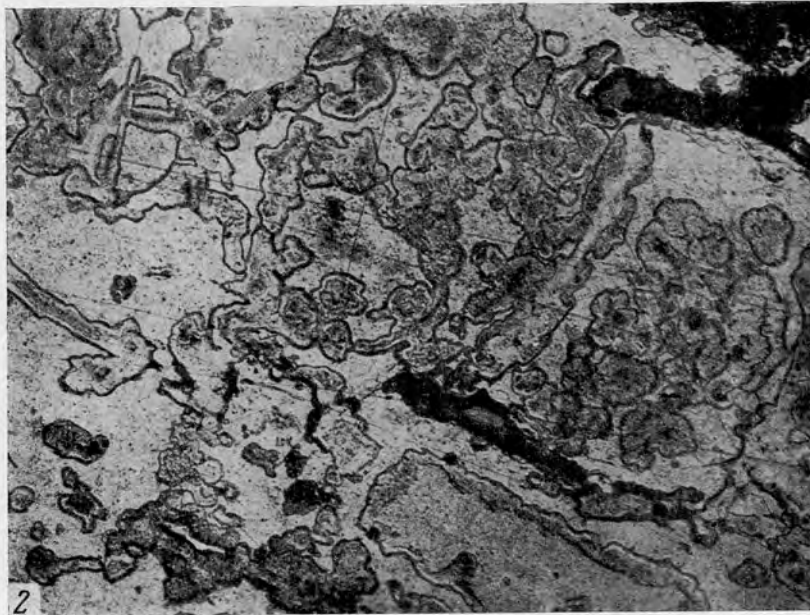
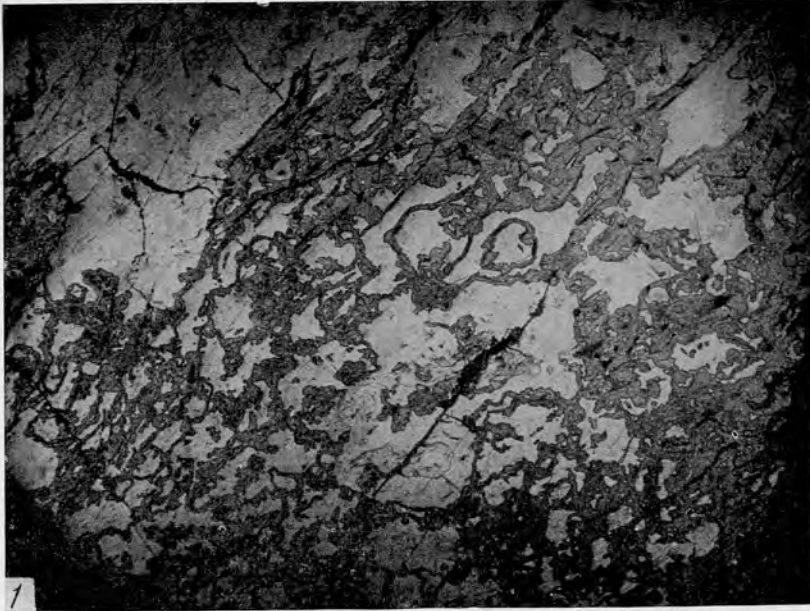
1. Самарскит. Колломорфная почкообразная структура метамиктного распада. Видны участки мелкозернистой «гелевой» структуры, переходящие в округлые концентрически-зернистые колломорфные образования. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 90$.

2. «Оннеродит». Видно срастание самарскита (темный) с идиоморфным сростком нетравящихся кристаллов колумбита. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 46$.

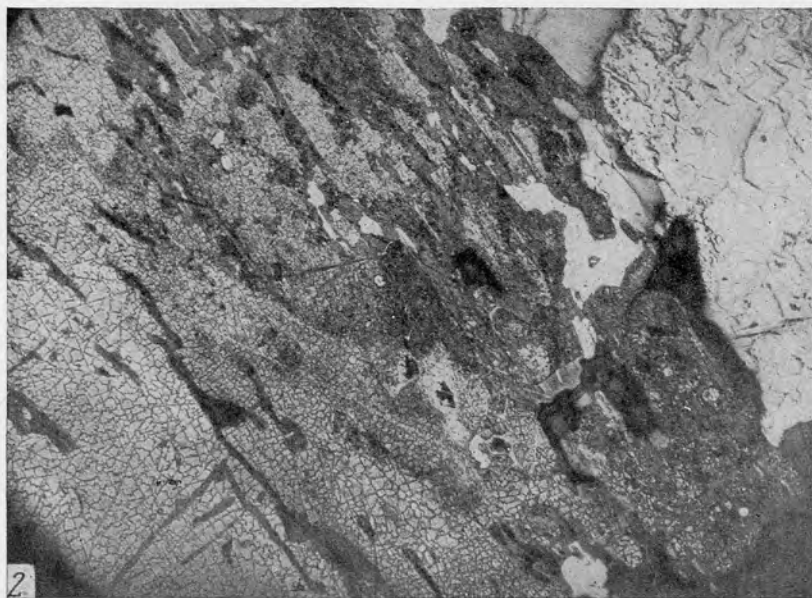


1. Эвксенит. Колломорфная структура метамиктного распада. Основная масса остаточной кристаллической структуры переходит в типичные колломорфные почкообразные и концентрически-зонарные участки (поддаются травлению сильнее). Протравлено кипящей концентрированной H_2SO_4 . $\times 76$.

2. Прайорит. Колломорфная структура метамиктного распада. Отчетливо видна перегруппировка вещества в почковидные, иногда концентрически-зонарные агрегаты. Протравлено $NH_4F + HCl$. $\times 90$.

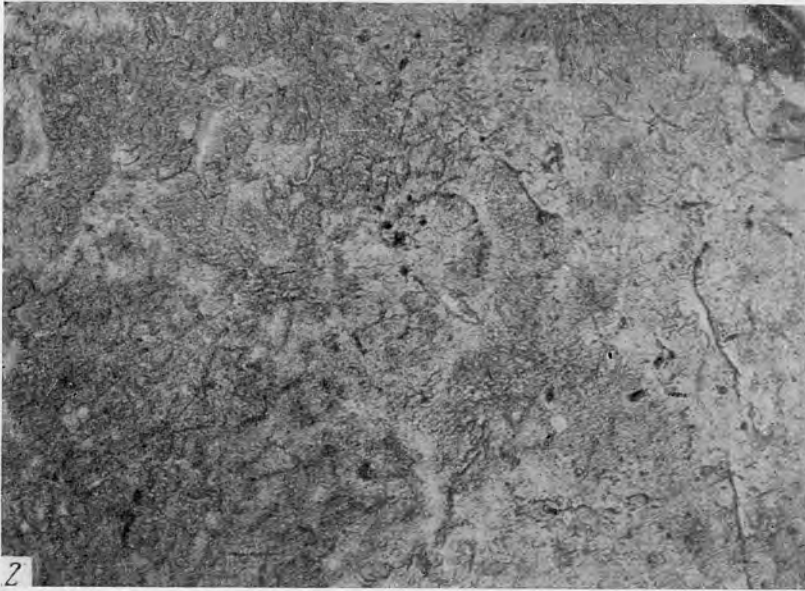


1. Ампагабит. Колломорфная структура метамиктного распада. Видна перегруппировка вещества в петельчатый колломорфный агрегат вдоль трещинок и ослабленных зон. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 46$.
2. Ампагабит. Колломорфная структура метамиктного распада, аналогичная таковой же, представленной на рис. 1. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 145$.

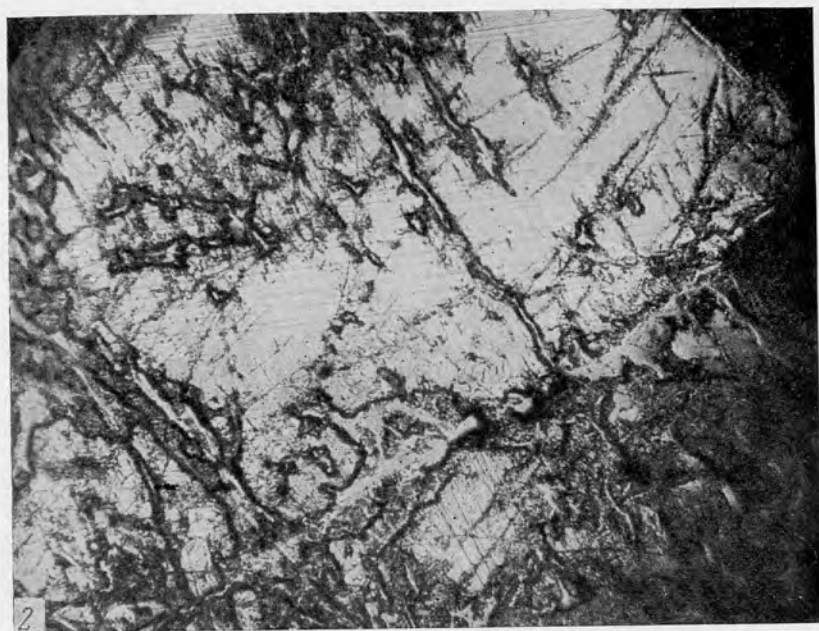


1. Эшинит. Пластинчатые кристаллы эшинита, срастающиеся с зернами ильменита + мартит. Не протравлено. $\times 90$.

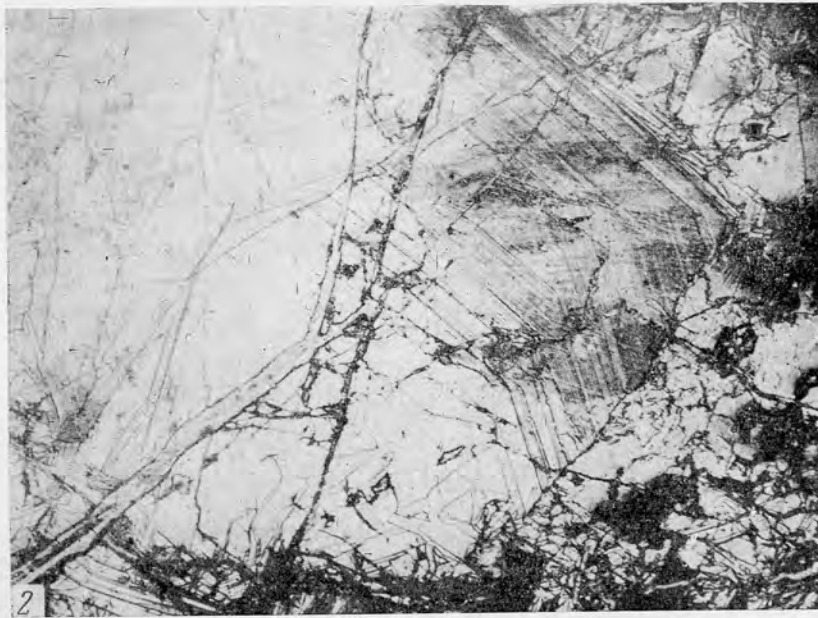
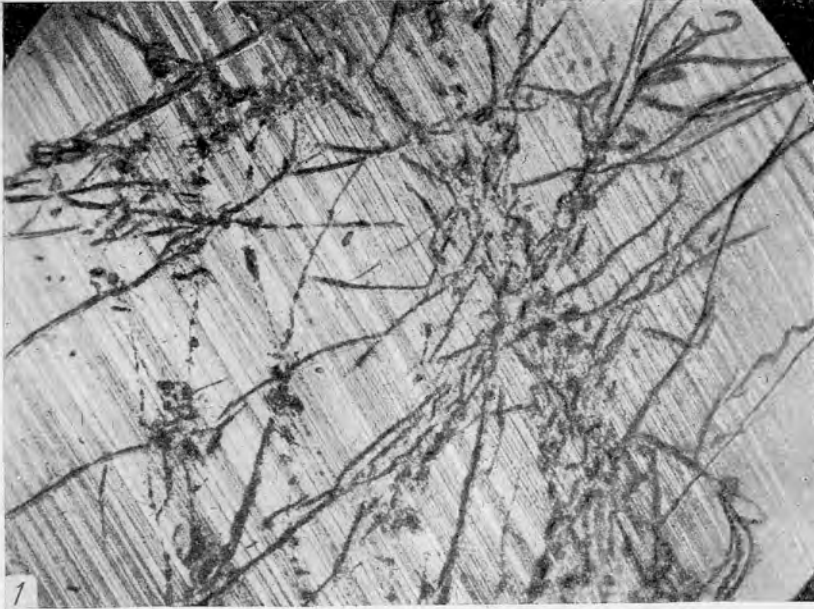
2. Эшинит. Гелевая структура метамиктного распада. Вещество кристаллов превращено в коллоидный сложно-полигональный агрегат. Более светлые включения — зерна ильменита и мартита. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 90$.



1. Эпидит. Гелевая структура метамиктного распада. Отчетливо видны трещинки расширения. Протравлено $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$. $\times 476$.
2. Виикит. Гелевая структура метамиктного распада. В центре снимка видно, что мелкозернистая гелеподобная масса начинает перегруппировываться в почкообразную коллоидную структуру. Протравлено $\text{CaF}_2 + \text{HNO}_3$. $\times 145$.



1. Ортит (метамиктный). Остаточная кристаллически-зернистая структура. После травления обнаруживается сложная полисинтетически-двойниковая структура зерен. Протравлено кипящей HCl . $\times 145$.
2. Ортит (метамиктный). Остаточная кристаллически-зернистая структура. Протравливаются трещинки, заполненные продуктами изменения, и полисинтетически-двойниковая структура зерен. Протравлено кипящей HCl . $\times 46$.



1. Орит (метамиктный). Остаточная кристаллически-зернистая сложная полисинтетически-двойниковая структура. Очень интенсивно проявляется сетка прожилков, заполненных продуктами изменения орита. Протравлено кипящей HCl . $\times 46$.

2. Гадолинит (метамиктный). Остаточная кристаллически-зернистая структура. Травлением обнаруживается сложно-зонарное и полисинтетически-двойниковое строение зерен. Протравлено кипящей H_2SO_4 . $\times 76$.