

Г. П. БАРСАНОВ и В. А. ШЕВЕЛЕВА

МАТЕРИАЛЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ МИНЕРАЛОВ

Одним из интересных физических свойств минералов, привлекающим в последнее время особое внимание исследователей, является способность их испускать «холодное свечение», люминесцировать под влиянием разного рода энергетических воздействий (трение, удар, нагревание, радиоактивное излучение, ультрафиолетовые, катодные, рентгеновы и тому подобные лучи).

Наиболее эффективным и применимым к изучению минеральных веществ оказалось возбуждение люминесценции лучами ультрафиолетовыми (так называемая фотолюминесценция), катодными (катодолюминесценция) и рентгеновыми (рентгенолюминесценция), которые, как показали некоторые исследования (Богословский и др., 1938; Бонштедт, 1939; Пилипенко, 1936, 1937; Dake a. De Ment, 1941; De Ment, 1945 и др.), возбуждают наиболее сильную люминесценцию и в наибольшем числе минеральных видов.

На первоначальной стадии исследований, когда были получены результаты по люминесценции наиболее ярко и устойчиво светящихся минералов (шеелит, некоторые урановые минералы, виллемит, циркон и некоторые другие), казалось, что метод люминесцентного анализа в различных его видоизменениях открывает широкие и заманчивые по легкости и скорости работы перспективы в области диагностики минералов, представляющей одну из важнейших задач минералогических исследований. Действительно, яркая люминесценция с устойчивым цветовым интервалом позволяет очень быстро и достаточно надежно произвести определение даже маленьких зерен минерала (визуально или при помощи лупы), что особенно важно при исследовании шлихов и тому подобных минералогических исследованиях.

Однако постепенно накапливающийся в 30-х и, особенно, 40-х годах нашего столетия материал по визуальному изучению катодолюминесценции минералов и люминесценции в ультрафиолете показал, что даже подобное визуальное исследование фотолюминесценции встречается со значительными трудностями. Работы, проведенные советскими исследователями (Левшин, 1936; Пилипенко, 1936, 1937; Богословский и др., 1938; Бонштедт, 1939; Флоровская и Мелков, 1946) и зарубежными (Kunz a. Baskerville, 1904; Engelhardt, 1912; Köhler u. Haberlandt, 1934; Haberlandt, 1935; Dake a. De Ment, 1941; De Ment, 1945 и др.), правда, носящие фрагментарный, не систематический характер, показали, во-первых, что

далеко не все минералы обладают свойством излучать возбужденную под действием тех или иных возбуждающих излучений световую энергию, а во-вторых, что очень многие минералы оказались люминесцирующими неустойчиво, т. е. образцы одного и того же минерала из разных месторождений или даже разных генераций в одном и том же месторождении давали разную степень интенсивности, разный цветовой состав люминесцентного света или даже вовсе не люминесцировали.

Еще более усложняет простую схему визуальной люминесцентной диагностики способность совершенно разных по составу и свойствам минеральных видов давать одинаковую или подобную по цвету и интенсивности люминесценцию.

Указанные выше обстоятельства на данном этапе исследования люминесцентных свойств минералов привели некоторых исследователей (Богословский, Савицкая и Соломина, 1938) к пессимистическому выводу о невозможности применения люминесцентного метода к широким задачам общей диагностики минералов, а только к некоторым специальным областям применения: для сортового анализа (например, шеллита, корунда, урановых минералов и некоторых других), анализа битумов, специальной диагностики алмаза (рентгенолюминесценция) и некоторых других узких специальных задач.

Разработка теории люминесценции советской школой физиков, возглавлявшейся академиком С. И. Вавиловым (Вавилов и Севченко, 1936; Левшин, 1937; Вавилов, 1942, 1945; Константинова-Шлезингер, 1948), а также работы зарубежных авторов (Pringsheim, 1928; Данкворт, 1931; Radley a. Grant, 1933; Риль, 1946) позволяют отчасти разобраться в причинах возникновения затруднений, с которыми мы сталкиваемся при изучении люминесцентных природных минералов.

К сожалению, удовлетворительного объяснения изложенных выше особенностей люминесцентных свойств отдельных минералов или их групп, основанного на точном параллельном исследовании люминесцентных свойств, физики и тонкой химии минералов, мы дать не можем из-за отсутствия данных, что указывает на настоятельную необходимость работы в этом направлении. Только для некоторых минералов были произведены подобные тонкие исследования (Haberlandt, 1935; Greenwood, 1943; De Ment, 1945 и др.), которые показали, что в неорганических кристаллических соединениях (в том числе и минералах) фотолюминесцентные свойства обуславливаются в общем двумя причинами:

а) внедрением определенных атомов-примесей (так называемых активаторов: Mn, Cr, Ag, Cd, S, Cu, $[\text{UO}_2]^{+2}$ и др.) или их групп в решетку минерала;

б) наличием в основном составе минерала атомов (или групп), обладающих свойствами возбуждать люминесцентное свечение (повидимому, $[\text{UO}_2]^{+2}$, $[\text{WO}_4]^{-2}$, $[\text{MoO}_4]^{-2}$ и некоторые другие).

Так, для флюорита показано, что флюоресценция связана с наличием в качестве активаторов Mn, редких земель, битуминозных веществ; для корунда — Cr, V (Tiede u. Lüders, 1933); для виллемита и кальцита — Mn (Вуд, 1936; Deribère, 1938 и др.).

Во всех этих случаях с достаточной убедительностью показано, что интенсивность и цветовой характер фотолюминесценции имеет прямую и симбатную связь с количеством и качеством активатора. Для шеллита с достаточной убедительностью выяснено, что цвет люминесценции (в излучении 2500 Å) резко меняется от голубого до белого и желтого в прямой зависимости от возрастания примеси CaMoO_4 (Dake a. De Ment, 1941; Greenwood, 1943 и др.).

Следует указать, что возбуждение фотолюминесценции активатором наступает уже при ничтожных количествах последнего, что особенно следует учитывать при исследованиях природных минералов, так как последние никогда не встречаются в виде идеально чистых химических соединений. Так, например, Сервиль (Servigne, 1935; 1940; Servigne et Vassy, 1937) для искусственно приготовленных препаратов показал, что по изменению характера флюоресценции можно уловить присутствие редких земель, а также серебра в виде твердого раствора в CaWO_4 , при содержании их уже в $5 \cdot 10^{-6}$ г на 1 г вольфрамата кальция.

В природных процессах возможность появления тонких примесей в составе минералов определяется совокупностью геохимических особенностей образования минеральной ассоциации. Отсюда ясно, как важно при исследовании фотолюминесценции минералов накапливать материал по характеристике одного и того же минерала из разных типов месторождений и разных геохимических провинций.

Сущность явления люминесценции в наиболее общем представлении сводится к тому, что под влиянием световых квантов ультрафиолетовой части спектра атом (вернее, его электронные уровни), поглощая энергию квантового излучения, приходит в возбужденное энергетическое состояние. При обратном переходе электронов в первоначальное состояние происходит излучение части возбужденной энергии (не перешедшей в тепловую) в виде светового пучка, могущего охватывать как видимую, так и невидимую части спектра.

Поглощенная и испускаемая световые энергии находятся, таким образом, во взаимной зависимости, выражающейся и в том, что испускаемая энергия обычно меньше (в пределе может быть равна) поглощенной, так как часть возбужденной энергии всегда переходит в энергию тепловую и частью кинетическую.

Указанная зависимость может быть выражена через так называемое правило Стокса, которое гласит, что число колебаний поглощенного света больше или равно числу колебаний, излучаемых при фотолюминесценции. Это находит свое выражение в том, что «центр тяжести» всей полосы флюоресценции всегда соответствует длине волны большей, чем для «центра тяжести» полосы возбуждения (Вуд, 1936; Риль, 1946), т. е. длина волны поглощенного монохроматического света меньше или равна длине волны излучаемого светового пучка.

Свойства веществ, способных к явлению фотолюминесценции, таковы, что поглощенная энергия возбуждает световой поток только через атом-излучатель, не передаваясь на другие степени свободы атомных связей, возбуждая, например, колебания в решетке других атомов или расходуясь на фотохимические реакции, так как в этих случаях энергия целиком уйдет на тепловые или химические эффекты.

Переход из возбужденного состояния в первоначальное, сопровождаемый выходом световой энергии, может осуществляться непосредственно за возбуждением, т. е. мгновенно или в течение более или менее продолжительного времени после произведенного возбуждения. В первом случае явление называется *флюоресценцией* и почти не сопровождается отдачей тепловой энергии, а во втором случае — *фосфоресценцией* (или послесвечением), которая сопровождается определенным запасом теплого движения.

Следует отметить, что в большинстве неорганических соединений наблюдается обычно фосфоресценция, продолжающаяся 10^{-2} — 10^{-3} секунды (так называемое спонтанное послесвечение) и улавливаемая только с помощью специальных приборов — фосфороскопов. Длительная

фосфоресценция, улавливаемая глазом, наблюдается сравнительно редко (среди минералов это, например, некоторые кальциты).

У кристаллических веществ, к которым относятся и большинство интересующих нас минералов, указанные выше явления люминесценции обуславливаются энергетическим процессом, происходящим не внутри изолированного атома или молекулы, а во всей совокупности определенных атомов кристаллической решетки, и свечение является общим результатом действий этих атомов, меняющих энергетические уровни, которые проходят через всю кристаллическую решетку (Риль, 1946). Вследствие этого место свечения не обязательно соответствует месту поглощения светового кванта, и возбужденная энергия передается от атома к атому на расстояния, во много раз превышающие постоянную решетки, что обеспечивает равномерное свечение всего монокристалльного зерна.

В кристалле отдача световой энергии определенными возбужденными атомами будет осуществляться только тогда, когда имеется неоднородность в линейных энергетических электронных уровнях атомов кристаллической решетки, т. е. когда внутри кристалла возникают места с нарушением непрерывности кристаллической решетки.

Таким образом, исходя из общей теоретической схемы механизма люминесцентного свечения кристаллических веществ, Риль (1946) и другие делают вывод о невозможности существования фотолюминесценции у веществ с идеальной, не нарушенной тем или иным способом кристаллической решеткой. Заметим, что этот вывод не имеет решающего значения для применения люминесцентного анализа к минералам, так как в природе мы вообще не имеем идеальных кристаллов, лишенных примесей, которые нарушают непрерывность решетки, и т. д.

Кроме того, доказывається, что в ряде случаев, когда сами атомы или комплексные ионы, входящие в решетку, являются фосфорогенами (например $[\text{UO}_2]^{+2}$), такие решетки также приобретают люминесцентные свойства.

Из рассмотрения в самых общих чертах известных к настоящему времени теоретических основ люминесценции кристаллических тел следует, что поглощение коротковолновых (ультрафиолетовых) лучей при возбуждении фотолюминесценции происходит по всей кристаллохимической системе. Эта энергия передается по энергетическим уровням через всю решетку, но излучение происходит только в местах, где атомы или их группы нарушают правильность и кристаллохимическую непрерывность решетки. Отсюда следует, что качество излучения, т. е. спектральный состав люминесценции одной и той же решетки, может быть различным, если качественно различны атомы, вызывающие нарушение.

Таким образом, способность к люминесценции появляется только при нарушении периодичности решетки, которое обычно осуществляется путем внедрения в решетку определенных посторонних атомов (или ионов, обычно катионов). Характер этого внедрения избыточных атомов или ионов может быть различным, что следует учитывать при исследовании люминесценции минералов:

а) избыточным компонентом может быть атом, строящий решетку основного вещества (например Zn в ZnS, Na в NaCl), занимающий в решетке межузловую позицию, чем вызывается нарушение непрерывности;

б) избыточный компонент является атомом-примесью (например, Cu, Ag в ZnS, TR в шеелите, флюорите и т. д.).

Атом-примесь также входит в межузловые пространства решетки, нарушая ее сплошность. Очевидно, что возможность подобного рода нарушения наиболее вероятна в кристаллах с малой плотностью решетки.

К таковым, несомненно, относятся решетки каркасного, кольцевого типа, а также решетки с чередующимися заполненными и свободными ячейками (например, сфалерит) и т. п. Следует обратить особое внимание при изучении люминесценции минералов на правило, установленное Тиде и Вейссом (Tiede u. Weiss, 1932): размер атома металла внедряющегося элементарного фосфорогена должен быть меньше или равен атому в основной решетке.

Таким образом, фосфорогенами для каждого данного кристаллического тела могут быть только атомы металлов (катионы) с равным или меньшим радиусом, чем у атомов и ионов металлов основного кристаллохимического соединения. Очевидно также, что возможное количественное внедрение атомов тем больше, чем меньше их относительный радиус.

Второй случай нарушения кристаллохимической непрерывности решеток включает случаи изоморфизма, очень важные для изучения люминесценции минералов. Как известно, случаи образования изоморфных твердых растворов, изоморфные замещения отдельными атомами, ионами или их группами имеют весьма широкое распространение и могут, очевидно, иметь существенное влияние на возникновение и изменение люминесцентных свойств минералов.

Очевидно, что принципиальное отличие этого случая от разобранных выше заключается в замене атомом (или ионом) фосфорогена части атомов в узлах кристаллической решетки (например, Zn на Mn в ZnS, ZnSiO₃ и т. д.; Al на Cr и V в корунде, топазе, изумруде и др.; W на Mo в шеелите). Ясно, что в этом случае замена может осуществляться только при равенстве радиусов ионов или атомов замещающего фосфорогена и замещаемого атома (или группы атомов).

Интересно отметить, что в случае первого типа внедрения у ряда соединений (например, Al₂O₃, активированная Pt и Mn) возникает ф о с ф о р е с ц е н ц и я, в то время как активизация изоморфными примесями (Al₂O₃ — хромом, ванадием) дает ф л ю о р е с ц е н ц и ю (Tiede u. Lüders, 1933). Это обстоятельство может служить вспомогательным признаком при изучении влияния примесей на люминесценцию природных минералов.

При изучении люминесцентных свойств вещества, в частности интересующих нас минералов, следует учитывать еще одно осложняющее обстоятельство. Уменьшение выхода флюоресценции, т. е. интенсивности светового выхода, может обуславливаться примесью некоторых компонентов, оказывающих гасящее действие. Помимо того, что впечатление гашения могут давать механические примеси зерен другого минерала, вследствие наложения испускаемого им излучения другого спектрального состава, ряд соединений и элементов, входя в виде примеси в решетку, может давать действительно снижение интенсивности, вплоть до полного погашения. Это явление подробно исследовалось академиком С. И. Вавиловым и его учениками (Вавилов и Севченко, 1936; Вавилов, 1945, Константинова-Шлезингер, 1948).

В общем виде механизм гасящего действия сводится к изменению невозбужденной молекулы гасящим фактором, в результате чего поглощенная энергия не отдается в виде флюоресцентного излучения, т. е. атомы молекулы при гашении отдают получаемую ими энергию возбуждения в виде теплового или иного эффекта (например, при соударениях с другими атомами, кинетической энергии и т. д.). В обоих случаях гашение приводит или к полному уничтожению свечения, или к постепенному его ослаблению (изменение наблюдаемой длительности возбуждения).

Как известно из экспериментальных работ, гашение могут вызвать отдельные группы атомов, входящие в состав сложных соединений (например, карбонильная группа в органических соединениях), избыточное, против

оптимального, количество элемента-фосфорогена (Mn, Cr и др.). Некоторые элементы, являющиеся для одних соединений фосфорогенами, для других могут оказаться гасителями (например, Cr и Mn — для вольфраматов; Fe, Ni, Co — в активированном медью или серебром ZnS); ионы иода, серы оказываются гасящими для углеводородов и некоторых неорганических соединений и т. д. Очевидно, гасящими могут быть разные элементы и их соединения, и действие их зависит от состава и структуры молекул люминесцирующего вещества.

Гасящими факторами могут служить, как указывает Риль (1946), также степень дисперсности вещества, вызываемая истиранием, повышение температуры нагреванием люминесцирующих тел, что следует учитывать при изучении люминесцентных свойств минералов.

Производя исследования люминесценции минералов, необходимо учитывать все те сложные и довольно многообразные факторы, влияющие на качественную и количественную степени интересующей нас фотолюминесценции, которые вытекают из кратко изложенных выше общих физических представлений. Более подробное изложение отдельных положений физики люминесценции, необходимое для оценки и анализа сложных явлений, встречаемых при работе с минералами, можно найти в работах академика С. И. Вавилова (1942, 1945; Вавилов и Севченко, 1936), В. Л. Левшина (1936, 1937), М. А. Константиновой-Шлезингер (1948), а также в сводках и монографиях зарубежных исследователей — Данкворта (1931; Dunkworth, 1940), Принсгейма (Pringsheim, 1928), Рилиа (1946), Дерибера (Deribère, 1938), Рэдлея и Гранта (Radley a. Grant, 1933) и др.

Важнейшие свойства люминесценции, практически используемые при люминесцентном анализе минералов с целью диагностики, — цвет и интенсивность излучения. Главнейшей задачей изучения минералов в данном направлении, несомненно, является выяснение причинной связи и зависимости изменения этих свойств (как у разных минералов, так и у одинаковых минеральных видов), вызываемых теми или иными эндокриптными примесями, изоморфными замещениями, деформацией решетки, влиянием примесей-гасителей и т. п.

В природных условиях, как мы знаем, изменение этих факторов вызывает геохимией процесса и геологической средой, что, вероятно, позволит получать при дальнейшей работе ценный позитивный материал о зависимости люминесцентных свойств минералов от генетического типа того или иного месторождения.

При накоплении достаточного фактического материала, по всей вероятности, могут быть сделаны и обратные выводы — о геохимии процесса по люминесцентным свойствам минералов.

Таким образом, люминесцентный метод при надлежащем его развитии может выйти далеко за пределы простой диагностики минералов.

Цвет люминесценции (т. е. спектральный состав), несмотря на условность непосредственного восприятия, несомненно, важнейшее практически свойство, используемое для оценки люминесценции минералов. Он, как известно, представляет сложную функцию, зависящую от длины волны источника ультрафиолетового излучения и состава минерала. При сравнительной оценке цветового состава свечения важно, чтобы изучаемый минерал был со свежим изломом. Необходимо также учитывать характер поверхности люминесцирующего объекта, так как изменение последней (например, степень измельчения, поверхность кристалла или порошка) может влиять на некоторое изменение цвета.

Большое и часто решающее влияние оказывают примеси второстепенных элементов, особенно люминогенов или гасителей, причем, как указано

выше, имеет значение не только качественный состав, но и количество их, а также кристаллохимическое положение их в структуре решетки. К сожалению, в этом отношении минералы еще совершенно не изучены, если не считать отдельных исследований флюорита (Haberlandt, 1935, 1940), виллемита (Kröger, 1939; Dake a. De Ment, 1941), цинковой обманки (Tiede u. Lüders, 1933; Deribère, 1938; Riehl, 1938), кальцита и немногих других, в то время как только углубленное исследование именно этих вопросов и может сделать люминесценцию минералов практически применимым методом.

Несмотря на многообразие, сложность и изменчивость факторов, влияющих на характер и цвет люминесценции минералов, мы не склонны разделять пессимистические взгляды на невозможность применения этого метода для диагностики и других целей минералогических исследований. При кажущемся огромном разнообразии возможностей захвата тех или иных примесей минералами во время их образования установленные геохимические законы показывают, что в определенных процессах решетки минералов определенной структуры и состава могут захватываться только ограниченный круг атомов или ионов, предопределяемый строением, размером и валентностью последних.

Таким образом, при практическом исследовании фотолюминесценции минералов мы встретимся с некоторым ограниченным числом случаев вариаций этого свойства в отдельных минералах, что позволит при систематическом накоплении экспериментального материала учитывать эти вариации как ограниченно меняющиеся константы. Это в общем подтверждается имеющимися пока немногочисленными работами по исследованию люминесценции минералов, а также первыми результатами начатой нами работы по массовому исследованию фотолюминесценции, изложенными в прилагаемых таблицах.

Как указано выше, цвет люминесценции зависит от длины волны (максимумов интенсивности) возбуждающего ультрафиолетового света. Как выяснено некоторыми работами, люминесценция минералов может возбуждаться как ближними (длинными) ультрафиолетовыми лучами, так и дальними (короткими). Кроме того, люминесценция минералов интенсивно возбуждается и другими видами излучения, имеющими несколько иной механизм (Константинова-Шлезингер, 1948), а именно катодным и рентгеновским.

В отношении цвета люминесцентного свечения, возбуждаемого ультрафиолетом, следует указать, что в основном изменение длины волны влияет только на изменение интенсивности, но не на спектральный состав свечения; однако наблюдаются случаи и резкого характерного изменения цвета (например, бенитоит и другие минералы — см. таблицы в приложении). Некоторые минералы светятся (с разной интенсивностью) во всех интервалах ультрафиолетовой части, в других же минералах интенсивность свечения возрастает до определенной области излучения, и затем резко падает.

Эти явления исследованы на ряде веществ академиком С. И. Вавиловым и его учениками (Вавилов и Севченко, 1936; Вавилов, 1945; Константинова-Шлезингер, 1948), которые установили, что для каждого вещества характерна некоторая предельная длина волны λ , за границами которой квантовый выход резко снижается, т. е. с применением волн большей длины доля атомов, отдающих поглощенную энергию в виде световых лучей, резко падает.

Часто можно наблюдать, что минералы, не обладающие люминесценцией в ближнем и дальнем ультрафиолете, обладают ясной фотолюминес-

ценцией в катодных лучах или резко меняют в последних цвет люминесценции.

Следует отметить, однако, что почти всегда эффект и цвет люминесценции минералов в катодной трубке совпадают с фотолюминесценцией, если таковая возбуждается дальним ультрафиолетом ($\lambda < 3000 \text{ \AA}$).

Изложенное показывает, насколько важно всестороннее исследование люминесценции минералов в фильтрованном ультрафиолете, т. е. при разных точно обусловленных длинах волн, с одновременным изучением катодолюминесценции. Только сумма выявленных при всех этих исследованиях цветовых свойств люминесценции может оказаться некоторой характерной константой люминесценции для минералов.

Следует отметить, что систематически подобных исследований минералов мы до последнего времени (Де Мент и некоторые другие работы) не имели. Исследовались или катодолюминесценция, или люминесценция в ближнем ультрафиолете (с фильтрами Вуда), или, реже, в дальнем ультрафиолете при помощи искровых разрядников.

Обычно эти исследования не сопоставлялись на одних и тех же образцах минералов, вследствие чего получались трудно сопоставимые результаты. В лучшем случае (Пилипенко, 1936, 1937; Богословский и др., 1938) исследования довольно ограниченного количества образцов производились параллельно в катодных лучах и ближнем ультрафиолете. Поэтому распространенное за последнее время мнение, что в катодном излучении люминесцирует гораздо больше разновидностей минералов, чем в ультрафиолете, нам кажется недостаточно обоснованным.

Интенсивность люминесценции является вторым важным признаком, который мы должны учитывать при люминесцентном анализе минералов. Это особенно важно потому, что, как указывалось выше, цвет люминесценции может быть близким или одинаковым у разных минералов (что разочаровывает исследователей), но интенсивность его, как правило, в этих случаях отлична.

Интенсивность люминесценции, помимо состава и структуры кристаллического вещества, количества примесей люминогенов и положения их в решетке кристалла, зависит прежде всего от длины волны возбуждающего излучения. Общий энергетический выход, как показал академик С. И. Вавилов, пропорционален длине волны возбуждающего света до некоторой критической для каждого вещества точки, после чего он резко падает. Это показывает, что сравнивать и оценивать интенсивности люминесценции минералов можно только при работе с фильтрованным ультрафиолетом при одном и том же максимуме излучения.

Второй фактор, влияющий на интенсивность люминесценции,— интенсивность источника возбуждающего излучения, которая зависит: а) от распределения максимумов излучения в самом источнике ультрафиолетовых лучей (тип лампы, искрового разрядника и т. д.); б) от расстояния между источником излучения и люминесцирующим объектом; в) от качества и толщины применяемых фильтров.

Изложенное показывает, что наблюдение и оценку интенсивности (визуальную, а особенно приборами) следует вести в одинаковых условиях освещения, при одном и том же типе источника возбуждения и при одной и той же толщине светофильтров.

Однако исследования показывают, что изменение интенсивности люминесценции не является прямолинейной и прямо пропорциональной функцией силы возбуждающего источника. Небольшое изменение расстояния между источником возбуждения и объектом, некоторое изменение в толщине применяемого светофильтра (одной и той же марки) не влияет за-

метно на интенсивность люминесценции минералов, что и следует учитывать при работе с ними.

Таким образом, при исследовании и сравнительной оценке цвета и интенсивности люминесценции минералов следует учитывать следующие факторы, влияющие на изменение этих свойств: 1) состав минерала и структура его решетки; 2) качественный состав и количество примесей элементов-люминогенов и элементов-гасителей; структурное положение их в решетке; 3) качество поверхности изучаемого объекта, площадь поверхности (т. е. степень измельчения); 4) длина волны (максимум интенсивности) возбуждающего излучения и его интенсивность, зависящие от источника излучения, расстояния его от объекта, марки применяемых светофильтров и их толщины.

Факторы 3 и 4 можно легко учитывать при постановке экспериментального изучения, и таким образом, эти важнейшие свойства будут представлять функцию кристаллохимических особенностей минералов и встречающихся в них примесей. Последние, как указывалось, определяются часто в природных процессах известными нам геохимическими особенностями месторождений и кристаллохимическими свойствами решеток, т. е. учет закономерностей состава примесей, их распределения в разных минералах также возможен.

Все это дает право утверждать, что люминесцентный анализ минералов при его достаточной разработке может сделаться надежным и ценным методом как минералогической диагностики, так и геохимического анализа генезиса минералов.

Изложенные выше соображения и краткий очерк основных известных нам положений в области фотолюминесценции твердых кристаллических тел и минералов в частности позволили нам наметить определенный план научных исследований последних в указанных выше целях.

Прежде всего возникает необходимость на основании исследования большого и разнообразного по генезису материала выяснить, какие минералы, их разновидности или отдельные образцы из определенных месторождений дают эффект фотолюминесценции в определенных областях возбуждения ультрафиолетом или катодным излучением.

Как указывалось, этого фактического материала в настоящее время далеко не достаточно. Изучались или отдельные минералы, или определенная группа минералов, часто без указания даже месторождений, т. е. без генетической характеристики образца. Исследованный материал имел случайный характер, не всегда точно апробировался специалистами-минералогами. Исследования одного и того же образца и всей массы минералов не производились во всей серии излучений, а часто только в катод или только в широком диапазоне ультрафиолета, без указания источников излучения, марки и толщины фильтров и условий эксперимента.

Точные физические исследования обычно проводились над искусственными твердыми люминофорами, растворами или сложными органическими соединениями. Вследствие этого сумма сравнимых фактических данных по изучению люминесценции минералов незначительна и трудно используема.

Последние работы Дакке и Де Мента (Dake a. De Ment, 1941), Де Мента (De Ment, 1945), в значительной мере суммирующие данные, накопленные в США и европейских странах, хотя и содержат большой список люминесцирующих минералов, однако также мало удовлетворительны в этом отношении. Эти данные трудно оценить, так как авторы не указывают общего количества исследованного ими материала; месторождения изученных минералов немногочисленны и случайны; кроме того, не приводится

списка нелюминесцирующих минералов, т. е. неизвестны общий объем проведенных исследований, условия эксперимента и т. д.

Естественно, что такая необходимая первоначальная работа по ревизии фотолюминесцентных свойств минералов может быть осуществлена только на материалах крупнейших минералогических собраний, каковым является Минералогический музей Академии Наук СССР, где и начат первый этап работы по массовому изучению свечения минералов. Изучение это базируется на 52 000 образцах минералов основного собрания Музея, представляющих почти все известные минеральные виды месторождений всего мира.

Объектом первых массовых исследований послужил труднейший и обширнейший класс минералов — силикаты, обладающие как будто наименее выраженными люминесцентными свойствами. Исследованы также титаносиликаты, титанаты и класс галоидных соединений. Всего до настоящего времени (за 1949—1950 гг.) изучено 4073 образца минералов этих классов из различных месторождений мира.

Фотолюминесценция минералов на настоящем этапе массового исследования фиксировалась способом визуального наблюдения и оценивалась сравнительно по определенной принятой градации. По относительной интенсивности эффект фотолюминесценции делится на 5 групп: очень яркая, яркая, средняя, слабая, очень слабая. За примерные сравнительные эталонные образцы степени интенсивности могут быть приняты минералы, указанные в табл. 1.

Таблица 1

Шкала цветов люминесценции некоторых минералов

№ группы	Относительная интенсивность	Минерал-эталон	Месторождение	№ группы	Цвет люминесценции	Минерал-эталон	Месторождение
1	Оч. яркая	Флюорит	Киргизская ССР, Хайдаркан	1	Белый	Кальцит	Московская область, Подольск
2	Яркая	Кальцит	Московская область, Подольск	2	Красный	Кианит Рубин	Карелия, Еловый Наволок Искусственный
3	Средняя	Кианит	Карелия, Еловый Наволок	3	Оранжевый	Кальцит	Дальневосточный край
4	Слабая	Сподумен	Все месторождения	4	Желтый	Циркон	Все месторождения
5	Оч. слабая	Каламин	Таджикская ССР, Кара-Мазар	5	Зеленый	Виллемит	То же
				6	Синий	Датолит	Саксония, Андreasberg
				7	Фиолетовый	Флюорит	Почти все месторождения

Цвет люминесценции оценивался также визуально по принятой цветовой шкале основных цветов спектра. В цветной градации выделяется и белый, сложный, цвет. Оттенки учитывались и давались в виде дополни-

тельных определений (например, оранжево-красный, желто-зеленый, темнокрасный и т. д.).

Для градации основных цветов может быть принята условная сравнительная шкала цвета люминесценции определенных минералов, приведенная в табл. 1.

Отлично понимая всю субъективность и относительность подобной оценки цвета и интенсивности эффекта фотолюминесценции минералов, мы, тем не менее, на первом этапе накопления необходимого фактического материала считаем ее приемлемой. Следует указать, что работа по определению этих же свойств в некоторых абсолютных единицах (в % интенсивности по отношению отражения света баритовой пластинкой или в единицах оптической плотности $D = -\lg_{10} \tau$) при помощи фотометра с применением набора светофильтров довольно сложна и длительна. Эти исследования нами начаты и составляют следующий этап работы.

Отметим также, что еще более точные работы по изучению спектров люминесценции представляют в отношении минералов очень сложную физическую задачу, сравнительно легко разрешимую только для тех из них, которые содержат элементы с хорошо выраженными линейчатыми участками поглощения (редкие земли и т. п.).

В минералогических лабораториях при отсутствии сложных физических приборов (спектрографов большой светосилы, спектрофотометров и т. д.) сравнительный визуальный метод наблюдения для быстрой оценки считается пока наиболее практичным, что отражается и во всех без исключения работах по люминесценции минералов.

Применение предлагаемого набора эталонов при определенном навыке может дать практически удовлетворительные результаты.

Для наблюдений фотолюминесценции минералов желательно создавать такие условия, при которых можно получить максимальную интенсивность излучения. Принципиальная схема возбуждения люминесценции кристаллических тел в катодных лучах показывает, что оно происходит главным образом в тонкой поверхностной части объекта, не распространяясь в глубину. Поэтому при изучении катодного свечения особенно важно иметь образцы со свежими чистыми поверхностями излома или естественных граней, а наилучший эффект получается при измельчении образца в порошок.

Люминесценция ультрафиолетом возбуждается, наоборот (см. выше), во всей массе кристаллической решетки, вследствие чего структура поверхности образца безразлична. Однако следует учитывать, что и в последнем случае поверхности облучаемого объекта должны быть чистыми, по возможности свежими, лишенными вторичных продуктов изменения, так как люминесценция последних может исказить правильность наблюдения.

Наши исследования фотолюминесценции были проведены в главной массе на штуфах минералов, отдельных кристаллах или их обломках, реже на порошках. Наблюдения проводились сотрудником Музея В. А. Шевелевой и фиксировались в особом журнале.

Катодолюминесценция исследовалась на катодной установке системы Г. Ф. Комовского, в малой катодной трубке. Вакуум достигался применением двуступенчатого масляного насоса типа «ВН-461-М», дающего в пределе $1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Напряжение на электродах катодной трубки в рабочем состоянии развилось 10—15 кв при 2—5 ма. Наблюдения катодолюминесценции производилось через верхнее стекло катодной трубки в темном помещении, на темном (черном) фоне. При сводке полученных данных учитывались также результаты наблюдений М. Г. Богословского (Богословский и др., 1938) и имевшиеся в нашем распоряжении

материалы исследования образцов Минералогического музея, собранные Е. Разумной.

Исследования в ультрафиолетовых лучах проводились в фильтрованном свете. В качестве источника излучения применялась ртутно-кварцевая лампа «ПРК-4», монтированная в специальном ультрафиолетовом осветителе, конструкции Института патологии и терапии Академии медицинских наук СССР. При установленном режиме лампа работала с напряжением 70 ± 5 в, $3,75 \pm 0,3$ а. Мощность выхода 220 ± 8 вт. Относительное распределение энергии по спектру (принимая 3650 \AA за 100%) следующее: 3126 \AA — 68,0%; 3022 \AA — 31,2%; 2967 \AA — 14,3%; 2804 \AA — 10,3%; 2652 \AA — 23,4%; 2537 \AA — 26,1%. Приведенные показатели обеспечивают возможность применения этой лампы для работы как в дальнем, так и в ближнем ультрафиолете.

Для выделения максимумов излучения в определенных частях спектра, применялись стеклянные светофильтры, монтированные в револьверную систему осветителя, что позволяло осуществлять их быструю смену при облучении одного и того же образца. Получение максимума в области длины волны 3650 \AA обеспечивалось применением фильтра (толщиной 5 мм) марки «УФС-4»; он гарантирует задержку почти всех видимых лучей, кроме части фиолетовых и части красных (см. табл. 2, заимствованную у И. А. Преображенского). Видимая интенсивность последних, при данной толщине фильтра незначительна, но ее следует учитывать при оценке эффекта люминесценции.

Таблица 2

Линии видимого света, получающиеся в монохроматоре

Система светофильтра	Толщина (в мм)	Миллимикроны (m μ)							
		650	620	580	575	530	485	440	410
		красный		оран- жевый	жел- тый	зеле- ный	голу- бой	си- ний	фиоле- товый
«УФС-4»	0,34	6	6	4	7	7	4	2	0
»	0,60	6	6	0	6	6	5	6	6
»	1,82	6	6	0	0	0	0	0	5
«Ug-5»	1,86	6	6	0	0	4	2	7	4
Фильтр Мацца (жидко- стный)	100,0	0	0	1	6	0	0	0	0

Условные обозначения интенсивности: 7 — очень сильная; 6 — сильная, 5 — выше средней, 4 — средняя, 3 — выше слабой, 1 — очень слабая, 0 — отсутствует.

Как показывает табл. 2, при утолщении фильтра «УФС-4» последний в видимой части пропускает только красные и фиолетовые лучи, что при толщине в 5 мм обеспечивает очень слабое их проникновение (главным образом в области $420\text{--}410 \text{ m}\mu$). Вместе с этим интенсивность пропускания лучей 3650 \AA изменяется очень мало.

Фильтрованный ультрафиолетовый свет с максимумами излучения в $2800\text{--}3200 \text{ \AA}$ (с некоторым захватом соседних областей) обеспечивался применением фильтра «Ug-5». Применялась также толщина в 5 мм. Так как этот фильтр пропускает довольно много лучей видимой части (табл. 2), то дополнительно в кювете применялся жидкий фильтр Мацца (раствор, содержащий соль никеля и кобальта). Как видно из этой таблицы,

комбинация указанных двух фильтров (слой жидкости в кювете брался в 25 мм) обеспечивает почти полное поглощение видимой части, в то время как пропуск указанного интервала ультрафиолета определяется цифрой порядка 60% от общей интенсивности используемого источника излучения. Диаметр применяемых окошек с фильтрами — около 30 мм. Для получения большей интенсивности ультрафиолетового пучка в указанном осветителе служит кварцевая линза, диаметром 30 мм, с фокусным расстоянием 50 мм.

Свет от лампы «ПРК-4», помещенной в светонепроницаемый кожух, попадает через тубус в кварцевую линзу, проходит сквозь револьверную систему фильтров и в виде сходящегося пучка лучей фокусируется на изучаемом объекте. Расстояние от источника до изучаемого объекта — около 20 см.

Все минералы, указанные в прилагаемых таблицах и списках, исследовались нами, таким образом, в двух интервалах ультрафиолетового излучения параллельно: при 2800 — 3200 Å и 3500 Å.

В последнее время нами был получен осветитель типа «ЛЮМ-2» (конструкции Всесоюзного научно-исследовательского геологического института Министерства геологии СССР), позволяющий получать фильтрованные лучи с длиной волны 2537 Å. Осветитель работает с лампой «ПРК-4», на подающем напряжении 7—9 в, вследствие чего создается режим «тлеющего разряда», обеспечивающий излучения, которые содержат около 90% лучей с длиной волны 2537 Å.

Выделение указанного максимума и поглощение видимого света достигается применением фильтра «УФС-1» толщиной в 1,5 мм, пропускающего около 50% дальнего ультрафиолета от общего количества этого излучения осветителем. В настоящее время нами начато параллельное изучение люминесцентных свойств минералов и в этом интервале излучения.

Результаты наших наблюдений над 4073 образцами минералов из класса силикатов, титаносиликатов, титанатов и галоидных солей представлены сводкой данных экспериментальной работы и наблюдений, проведенных В. А. Шевелевой, которой в трудных случаях диагностики сопутствующих минералов оказывал большую помощь старший научный сотрудник Минералогического музея А. Н. Лабунцов.

Желая сделать полученный фактический материал уже на первой стадии работы полезным для диагностики минералов, мы обобщили его в форме вспомогательных таблиц, приведенных в приложении. Так как основным люминесцентным свойством минерала, воспринимаемым при визуальном наблюдении, является цвет люминесценции, то мы взяли этот признак в качестве основного для распределения минералов по таблицам. Наибольшее количество люминесцирующих в ультрафиолете минералов для просмотренных классов оказалось при воздействии излучением ближнего ультрафиолета (3650 Å).

С другой стороны, эта область ультрафиолета наиболее доступна при массовых исследованиях, поэтому основные таблицы разделены по цвету свечения минералов для данного максимума излучения.

Внутри таблиц имеются для каждого люминесцирующего минерала графы, заключающие данные по изменению характера или интенсивности его свечения при применении излучения в 3200—2800 Å. Если минералы обнаруживают фотолюминесценцию только в этом излучении, то их выносят в дополнительные таблицы (IX—XI), разделенные по цвету излучения, возбужденного длиной волны 3200—2800 Å.

В заключение дается список (см. табл. XII) нелюминесцирующих в ультрафиолете минералов, просмотренных в аналогичных условиях опыта.

В табл. II—XI для каждого минерала приводится количество просмотренных образцов, обычно разного генезиса, из многих месторождений, дается в общей форме указание на генетический тип просмотренного материала и, наконец, указывается эффект цвета и интенсивности. Для последних принята градация, указанная в табл. 1.

Кроме того, для люминесцирующих минералов в последней графе дается фотоэффект катодной люминесценции, который можно, таким образом, сопоставлять параллельно с данными фотолюминесценции в ультрафиолете.

Практически пользоваться данными таблиц для люминесцентной диагностики нужно следующим образом: минерал исследуют при указанных выше условиях эксперимента и затем отыскивают в таблицах, объединяющих минералы того или иного цвета люминесценции.

Не пренебрегая выводов, которые могут быть в дальнейшем сделаны при корреляции зависимости фотолюминесценции минералов от примесей тех или иных атомов-люминогенов, положения их в структуре решетки кристаллических тел и возможностей закономерного избирательного (преимущественного) захвата тех или иных атомов решетками определенной структуры, можно попытаться уже на настоящей стадии работы дать некоторые статистические обобщения по классу силикатов.

Указанными выше приемами нами было исследовано 4073 образца из разных месторождений, охватывающие 485 отдельных минеральных видов и их разновидностей. Нами сознательно сохранялись некоторые устаревшие названия для разновидностей, так как эти таблицы могут быть полезны при работе над крупными старыми собраниями минералов.

Из указанного количества отдельных видов и разновидностей люминесцирующим оказался 101 минерал, т. е. примерно около 22% силикатных минералов дают тот или иной фотолюминесцентный эффект. Немного меньше половины из них (44 названия) оказались с устойчивой фотолюминесцен-

Сопоставление структур

Каркасные алюмосиликаты			Кольцевые	
без добавочных анионов	с добавочными анионами	с H ₂ O	без добавочных анионов	с добавочными анионами: O ²⁻ , OH ⁻ , F ⁻ и др.
11*	6	7	11	5
Гр. полевого шпата — 9 Гр. нефелина — 1 Гр. петалита — 1	Гр. содалита — 3 Гр. скаполита — 3	Гр. цеолитов — 7	Гр. берилла — 4 Гр. волластонита — 3 Ксонотлит — 1 Бенитоит — 1 Милларит — 1 Турмалин — 1	Гр. лейкофана — 2 Гр. апофиллита — 2 Катаплеит — 1

* Общее количество люминесцирующих минеральных видов и разновидностей данного типа структур: цепочечные силикаты — 3 (сподумен, кунцит, рамзаит); коллоидные образований: лепточные силикаты не люминесцируют.

цией (больше 50% из просмотренных для них образцов разного генезиса давали ясный люминесцентный эффект).

Интересно отметить, что несмотря на отсутствие полных данных по люминесценции в интервале ультрафиолета с λ 2500—2600 Å, оказалось, что все минералы, светящиеся в катодных лучах, дают свечение и в ультрафиолете, т. е. распространенное мнение о больших возможностях катодного излучения оказалось даже для силикатов северным. Из всех просмотренных минералов исключением пока оказались родонит и поллуцит, светящиеся только в катодной трубке.

Как отмечено выше, некоторые исследователи, работавшие над изучением люминесценции искусственных кристаллических соединений, указывали на зависимость возможности захвата посторонних атомов-люминогенов от структуры решетки. Указывалось в общем виде, что менее плотные решетки со структурными «пустотами», «полостями», «каналами» обладают повышенной способностью к захвату и удержанию примесей, вызывающих люминесценцию.

Так как структура многих силикатов является в настоящее время изученной, представлялось возможным сделать статистическое сопоставление и для исследованных нами минералов (табл. 3).

Если принять во внимание, что для группы минералов со слоистой структурой многие люминесцирующие разновидности (из 21, приведенной в таблице) обнаруживают довольно слабое свечение, возможно, связанное с образованием тонких пленок карбонатов, гидратов окиси магния и тому подобных продуктов вторичного разрушения, а также воды легко образующихся на расслаивающихся плоскостях (например, для групп серпентина, талька, монтмориллонита и др.), то около 80% всех люминесцирующих силикатов падает на минералы с кольцевой, островной и каркасной структурами.

Таблица 3

исследованных минералов

Островные		Слоистые		
без добавочных анионов	с добавочными анионами: O^{2-} , OH^{-1} , F^{-1} и др.	силикаты		алюмосиликаты без добавочных слоев OH^{-1}
		с бруситовыми и гидраргиллитовыми слоями	с добавочными слоями OH^{-1}	
16	13	3	17	1
Гр. оливина — 4 Гр. виллемита — 3 Гр. циркона — 6 Гр. граната — 1 Гр. меллилита — 2	Гр. гумита — 2 кианит — 1 топаз — 1 Каламин — 1 Цеофиллит — 1 Таумасит — 1 Эвдидимит — 1 Гельвин — 1 Датолит — 1 Дюмортьерит — 1 Ураносиликаты — 2	Гр. талька-пирофиллита — 3	Гр. серпентина — 8 Гр. септолита — 2 Гр. каолина — 2 Гр. галлуазита — 2 Гр. монтмориллонита — 3	Гр. слюд — 1

туры. Помимо минералов, перечисленных в таблице, люминесцируют также следующие минералы: в и я — 8 (демидовит, хризоколла, катангит, аллофан, мальтацит, пимелит, шаньяевит, нефельевит);

Особенно интересна кольцевая структура, которая, как известно, сравнительно редка в природных силикатах и вместе с тем дает много устойчиво светящихся минералов.

Следует отметить, что для обширного подкласса цепочечных силикатов мы имеем всего 3 люминесцирующие разновидности (по существу 2 минерала), а для подкласса ленточных силикатов — ни одного случая люминесценции. Нам кажется, что вряд ли это простая случайность: приведенный материал показывает, что действительно структура решетки во многих случаях является предопределяющим фактором для приобретения минералом люминесцентных свойств.

Как уже отмечалось, для первой стадии наших работ по исследованию люминесцентных свойств минералов мы не ставили сложных задач по выяснению связей между этими свойствами и кристаллохимией минерала, связей между примесями, положением их в решетке и люминесценцией минералов, а также других важных задач, вытекающих из данного нами во вводной части общего обзора.

Мы считали, что при современном состоянии изученности люминесценции минералов первой и основной задачей является накопление фактических данных о том, какие минералы люминесцируют, какие нет и какие обладают устойчивой фотолюминесценцией. Эти данные должны быть получены на огромном систематическом, строго проверенном материале, и только в этом случае они будут представлять научную ценность для дальнейших стадий более углубленной работы.

Естественно, что такие данные могут быть получены только на материалах очень крупных коллекций, поэтому наша работа и была поставлена в Минералогическом музее Академии Наук СССР.

Дальнейшими этапами развития этой работы будет продолжение накопления фактического материала по фотолюминесценции остальных минеральных классов, а также фотометрические измерения интенсивности и цвета люминесценции в отдельных группах минералов. Завершающим этапом мы считаем корреляцию кристаллохимии и геохимии минералов с изменением люминесцентных свойств: это работа, которая потребует применения не только более тонких физических, но и спектро-химических приемов исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Богословский М. Г., Савицкая П. В., Соломина С. Г. Сов. геология, т. VIII, стр. 99, 1938.
 Бонштедт Э. М. Изв. АН СССР, сер. геол., № 4, 1939.
 Вавилов С. И. Холодный свет. Изд-во АН СССР, 1942.
 Вавилов С. И. Изв. АН СССР, т. IX, № 4-5, 1945.
 Вавилов С. И. и Севченко А. Н. Докл. АН СССР, т. III, стр. 277, 1936.
 Вуд В. Физическая оптика. ОНТИ, 1936.
 Данкворт П. Люминесцентный анализ в фильтрованном ультрафиолетовом свете. ГОНТИ, 1931.
 Комовский Г., Солодовник С. и Ложникова О. Изв. АН СССР, сер. физич., т. IX, № 4-5, 1945.
 Константинова-Шлезингер М. А. Люминесцентный анализ. Изд-во АН СССР, 1948.
 Левшин В. Л. Опыт внедрения количественных методов исследования в люминесцентный анализ минералов. Характеристика свечения минералов. Тр. Моск. геологоразв. инст., т. I, 1936.
 Левшин В. Л. Холодный свет. Изд-во АН СССР, 1937.
 Филипенко П. П. Опыт изучения минералов в ультрафиолетовом свете. Тр. Моск. геологоразв. инст., т. I, 1936.

- Пилипенко П. П. Изучение минералов в катодных лучах. Тр. Моск. геолого-разв. инст., т. VIII, 1937.
- Риль Н. Люминесценция. Гостехиздат, 1946.
- Савицкая Н. В. Быстрый метод определения вольфрамита и молибденита в шлихах. Сов. геология, № 5, 1938.
- Флоровская В. Н. и Мелков В. Г. Введение в люминесцентную битуминологию. Госгеолиздат, 1946.
- Dake H. C. a. De Ment J. Fluorescent Light and its applications. Hemic Publishing Co. Brovlyn, N. Y., 1941.
- De Ment J. Fluorochimie. N. Y., 1945.
- Deribère M. Les applications pratiques de la luminescence. Paris, Dunad., 1938.
- Dunckworth P. W. Lumineszenzanalyse in filtrierten ultravioletten Licht, 1940.
- Engelhard E. Lumineszenzerscheinungen der Mineralien im ultravioletten Licht. Diss. phil. Fan. Iend, 1912.
- Fonda G. R. J. phys. Chem., 43, 561, 1939.
- Greenwood R. Effect of Chemical impurities on scheelite fluorescence. Econ. Geol., 38, 1943.
- Haberlandt H. Spectroanalytische Untersuchungen und Lumineszenzbeobachtungen an Fluoriten und Apatiten. S. B. Akad. Wiss. Wien. Abt., II a, 1935.
- Haberlandt H. Neue Ergebnisse der Lumineszenzanalyse an Karbonaten und Fluoriten mit organischen Beimengungen. Ztschr. Kristal. Min. Petrogr., Abt. (B), Bd. LII, H. 45, 1940.
- Köhler A. u. Haberlandt H. Lumineszenzanalyse von Apatit, Pyromorphit und einigen anderen Phosphaten. Chem. d. Erde, Bd. IX, H. 1, 1934.
- Köhler A. u. Leitmeier H. Das Verhalten des Kalkspates in Ultravioletten Licht. Zbl. Min. (A), 12, 1933.
- Kröger F. A. Physica, 6, 764, 1939.
- Kunz G. F. a. Baskerville C. Chem. News, 89, 1, 1904.
- Pringsheim P. Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neueren v. Atomtheorie. 1928.
- Radley I. A. a. Grant G. Fluorescence analysis in ultraviolet Light. London, 1933.
- Riehl N. Ann. Phys. (5), 29, 1938.
- Servigne M. Comp. Rend. Acad. Sci., p. 200, 1935.
- Servigne M. Bull. Soc. Chem., 7, 1940.
- Servigne M. et Vassy E. Comp. Rend. Acad. Sci., p., 204, 1937.
- Tiede E. u. Lüders H. Chem. Ber., 66, 1933.
- Tiede E. u. Weiss E. Chem. Ber., 65, 1932.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Люминесцирующие минералы в У-Ф, λ 3600 Å, 3200 — 2800 Å
и катодных лучах

Название минерала	Отноше- ние коли- чества люминес- цирующих образцов к просмо- треным	№ таблиц по свечению минералов	Название минерала	Отноше- ние коли- чества люминес- цирующих образцов к просмо- треным	№ таблиц по свечению минералов
1	2	3	1	2	3
Адуляр	3:17	VIII, X	Лейкофан *	4:4	III, VIII
Аллофан	3:6	VI, VII	Леонгардит	2:15	II
Альбит	2:34	VIII	Лещидолит	2:23	III, VII
Анортоклаз	3:7	VIII, X	Люцианит	1:1	VII
Апофиллит	2:27	VI, VII	Малакон *	10:12	V
Ауэрбахит *	3:3	V	Мальтацит	1:1	II
Бенитоит *	2:2	III	Мармолит	1:1	VI
Берилл	7:109	V	Матлокит *	2:2	V
Виллемит *	4:4	VI	Мейонит	2:4	III
Вильямсит	1:3	VI	Мезоцит	3:3	II, VII
Волластонит *	11:20	II, V	Мелинофан *	4:4	VIII
Воробьевит	5:20	V, VIII, XI	Микроклин	9:27	III, VII, VIII, X
Гагманит *	2:3	V	Миларит *	1:1	XI
Галит	14:46	II, V, VII, VIII, IX	Монтгеллит	1:4	X
Галлуазит	1:4	II	Монтмориллонит *	2:3	II
Гардистонит *	2:2	VIII	Накрит	2:8	V
Гаюин *	3:3	IV	Натролит *	13:50	II, V
Геленит	1:5	VII	Нефедьавит *	3:3	II, VII
Гельвин	2:8	III	Олигоклаз *	11:20	III, VI, VII, VIII
Гиалофан	1:4	X	Оравжит *	4:6	VI
Гимнит	1:6	V, VII	Ортоклаз	2:25	III, VII
Главколит	1:4	VII	Памират *	1:1	II
Глаукохроит *	1:1	XI	Пектолит *	3:3	V
Гроссуляр	4:31	IV, VI	Периклин	1:3	XI
Датолит	6:23	VII	Петалит *	6:6	VIII
Девейлит	3:3	V, VII	Пимелит	1:2	VI
Демидовит	1:3	VII	Пирофиллит	3:7	VI
Дюмортьерит	1:5	VII	Рамзаит *	2:3	X
Жасмондин *	4:5	VI	Ростерит	1:6	X
Изумруд	1:13	V	Рубеллит	3:14	VIII
Иттрофлюорит *	2:2	VI	Сепиолит	3:6	VII
Каламин *	19:49	II, V, VII	Сепиолит никеле- вый	2:2	VI
Кальциоларсе- нит *	1:1	V	Серпентин	3:31	VI, VII
Каолин	1:15	II	Серпентин-асбест	4:35	VI
Каолинит	3:3	II	Скаполит *	15:42	III, IV, V, VII, VIII
Катангит	1:1	VII	Сколецит *	3:4	VII
Катаплеит *	3:10	X	Содалит *	7:14	III, V, VII
Керолит	2:6	V, VII	Сподомен *	14:20	III, XI
Кеффекилит	1:11	II, V	Сунгулит (разно- видность сер- пентина)	1:1	VII
Кианит *	18:41	III	Тальк	1:33	V
Клиногумит *	1:1	V	Таумазит	1:3	VII
Ксонотлит *	2:2	VII	Томсонит	4:11	II, VII
Кунцит *	4:4	III, VIII			
Купроскловов- скит *	1:1	VI			
Лабрадор	1:6	VIII			

Таблица I (продолжение)

Название минерала	Отноше-ние коли-чества люминесцирующих образцов к просмот-ренным	№ таблиц по свечению минералов	Название минерала	Отноше-ние коли-чества люминесцирующих образцов к просмо-ренным	№ таблиц по свечению минералов
1	2	3	1	2	3
Топаз	23:131	III, V, VI	Цеблицит (разно-видность сер-пентина)	1:1	II
Троостит *	2:2	VI	Цеофиллит *	2:2	II, VII
Уранотил *	2:2	VI	Циркон *	348:353	V
Фенацит	1:7	VII	Цирколит	17:23	VI, X
Феррьерит *	1:1	VII	Шавявскит	1:1	VII
Флюорит *	145:145	VIII	Эвдидимит *	1:1	VIII
Флюоцерит *	1:1	VIII	Элеолит	2:8	VII
Фолерит *	1:1	II	Энгельгардит *	1:1	V
Форстерит *	2:2	V			
Хиолит *	4:4	VII			
Хризокотла	9:24	VII			

* Звездочкой отмечены минералы и разновидности, обладающие более или менее устойчивой люминесценцией.

Таблица II

Минералы с белым свечением в У-Ф, λ 3600 Å

Название мине-рала	Тип месторожде-ния	Количество просмотрен-ных образцов	Свечение		
			в У-Ф		католюминес-ценция
			3600 Å	3200—2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Волластонит	Контактный	20	6 слабое бе-лесоватое	—	Светложелтое и голубое
Галит	Химические осадки	46	1 слабое	1 оч. слабое белое	Оч. слабое бе-лое
Галлуазит	Продукты выветрива-ния	4	слабое неров-ное	Оч. слабое белое, не-ровное	Не люминес-цирует
Каламин *	Зона окисле-ния	49	11 слабое се-ро-белое	1 среднее фиолетовое, 9 слабое серо-белое, 1 слабое зе-леное	Оч. слабое бе-лесоватое *
Каолин	Продукты выветрива-ния, гид-ротермаль-ный	15	1 слабое	1 оч. слабое-белое	Не люминес-цирует
Каолинит	Гидротер-мальный	3	3 слабое	2 слабое бе-лое	То же
Кеффекилит	Продукты выветрива-ния	11	1 слабое голу-бовато-бе-лое	1 оч. слабое	» »
Леонгардит	Гидротер-мальный	15	2 среднее голу-бовато-белое	2 слабое голу-бовато-белое	Оч. слабое бе-лое

Таблица II (продолжение)

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение		
			в У-Ф		католюминесценция
			3600 Å	3200—2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Мальтацит	Продукты выветривания	1	Среднее	Слабое белесоватое	Не люминесцирует
Мезолит	Поствулканический	2	2 слабое сероватое	2 оч. слабое сероватое	То же
Монтмориллонит	Гидротермальный	3	2 среднее голубоватое	2 слабое голубоватое	Слабое, голубоватое
Натролит	Гидротермальный щелочных пегматитов	25	2 слабое голубоватое	2 оч. слабое голубоватое	Не люминесцирует
Нефедьевит	Зона окисления	3	1 слабое	1 оч. слабое белое	То же
Памирит	Контактный	1	Слабое сероватое	Оч. слабое сероватое	» »
Томсонит	Поствулканический	11	3 слабое сероватое	3 слабое, сероватое	» »
Фолерит	Поверхностное выветривание	1	Слабое	Оч. слабое белое	» »
Цеблицит	Поверхностное выветривание	1	Слабое	1 оч. слабое	Оч. слабое белое
Цеофиллит	Гидротермальный щелочных пегматитов	2	1 среднее	1 среднее белое	Не люминесцирует

* Большинство в катодных лучах не люминесцирует.

Таблица III

Минералы с красным свечением в У-Ф, λ 3600 Å

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение		
			в У-Ф		катодолюминесценция
			3600 Å	3200—2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Бенитоит	Гидротермальный, щелочных пегматитов	2	2 среднее	2 среднее голубое	Яркое синее
Гельвин	Гидротермальный, пегматитовый	8	2 яркое оранжево-красное	2 яркое оранжево-красное	Не люминесцирует
Кванит	Метаморфический	41	9 среднее, 9 слабое	9 среднее, 9 слабое красное	Слабое красное
Кунцит	Гранитные пегматиты	4	3 среднее розовое	Не люминесцирует	Яркое желтое
Лейкофан	Щелочные пегматиты	4	3 яркое	3 яркое алое	Яркое оранжево-розовое
Лепидолит	Гранитные пегматиты	23	1 слабое	1 слабое красное	Среднее красно-оранжевое
Мейонит	Контактовый	4	2 слабое розовое	Не люминесцирует	Не люминесцирует
Микроклин	Гранитные пегматиты	27	2 слабое	2 слабое красное	Голубое, белое
Олигоклаз	То же	20	3 оч. слабое	3 слабое красное	Слабое белесоватое
Ортоклаз	» »	25	1 слабое	1 слабое голубоватое	Розовое, голубое, желтое, зеленовато-желтое
Скаполит	Контактовые пегматиты	42	4 слабое	4 оч. слабое розоватое	Не люминесцирует
Содалит	Нефелиновые сиениты	14	1 слабое розоватое	Не люминесцирует	Слабое голубое, серое
Сподумен	Гранитные пегматиты	20	1 среднее, 12 слабое розоватое	3 среднее синее, 7 слабое розовое	Яркое желтое, белое
Топаз	Гидротермальный	11	8 среднее, 3 слабое	8 среднее, 3 слабое	Слабое красное } красное

Таблица IV

Минералы с оранжевым свечением в У-Ф, λ 3600 Å

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмоленных образцов	Свечение		
			в У-Ф		катодолюминесценция
			3600 Å	3200–2800 Å	
Гаюин	Эффузивный	3	3 яркое	3 яркое оранжевое	Не люминесцирует
Гроссуляр	Контактный	31	3 среднее	2 слабое оранжевое, 1 слабое красное	Оранжевое
Скаполит	Контактный, гидротермальный	42	1 среднее, 1 слабое	1 среднее, 1 слабое желтое	Оранжевое

Таблица V

Минералы с желтым свечением в У-Ф, λ 3600 Å

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмоленных образцов	Свечение		
			в У-Ф		катодолюминесценция
			3600 Å	3200–2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Ауэрбахит	Щелочные пегматиты	3	3 среднее	3 яркое желтое	Не люминесцирует
Берилл	Гранитные пегматиты	109	7 слабое с зеленоватым оттенком	2 слабое желтое	То же
Волластонит	Контактные пегматиты	20	5 слабое	1 слабое розоватое	Яркое желтое
Воробьевит	Гранитные пегматиты	20	3 слабое	1 слабое желтоватое	1 слабое розовое *
Гакманит	Щелочные пегматиты	3	2 яркое	2 яркое желтое	Желтое
Галит	Химические осадки	46	2 среднее, 2 слабое	4 слабое желтое	Слабое белое, среднее оранжевое, среднее голубое
Гимнит	Поверхностное выветривание	5	1 слабое	1 оч. слабое желтое	Не люминесцирует
Девейлит	То же	3	1 слабое белесоватое, желтое	1 оч. слабое белесовато-желтое	То же
Изумруд	Контактные пегматиты	13	1 слабое с зеленоватым оттенком	1 слабое с зеленоватым оттенком	Темнокрасное неинтенсивное **

Таблица V (продолжение)

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение		
			в У-Ф		катодолу-минесценция
			3600 Å	3200—2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Каламин	Зона окисления	49	2 слабое светложелтое	2 слабое светложелтое	Бледное зеленовато-голубое, фиолетовое**
Кальциоларсенит	Контактные пегматиты	1	Среднее зеленовато-желтое	Среднее зеленовато-желтое	Оч. яркое зеленовато-желтое
Керолит	Поверхностное выветривание	6	1 слабое	1 оч. слабое голубовато-желтое	Оч. слабое белое
Кеффекилит	То же	11	1 слабое буровато-желтое	1 оч. слабое буровато-желтое	Не люминесцирует
Клиногумит	Контактный	1	Слабое	Слабое бурое	То же
Малакон	Гранитные пегматиты	12	1 яркое, 7 среднее, 2 слабое	10 яркое желтое	» »
Матлокит	Зона окисления	2	2 яркое светложелтое	2 яркое светложелтое	» »
Накрит	Гидротермальный	8	2 слабое буровато-желтое	2 слабое буровато-желтое	» »
Натролит	Поствулканический	25	9 слабое	9 оч. слабое желтоватое	Рябиново-красное
»	Гидротермальный	25	2 слабое	2 оч. слабое	
Пектолит	Щелочные пегматиты	3	3 среднее буровато-желтое	1 слабое розовое	Канаресчно-желтое
Скаполит	Контактный	42	5 слабое	5 слабое белесовато-желтое	Нежнооранжевое
Содалит	Нефелиновые сиениты	14	4 яркое, 1 среднее	4 яркое желтое 1 среднее желтое	Желтое
»	Эффузивный	2	1 слабое	1 среднее желтое	»
Тальк	Гидротермальный в основных породах	33	1 слабое	1 очень слабое желтое	Не люминесцирует
Топаз	Гранитные пегматиты	120	4 яркое, 4 среднее, 14 слабое	4 яркое, 4 среднее, 14 слабое	То же
Форстерит	Контактный	2	2 слабое буровато-желтое	2 слабое буровато-желтое	Буровато-желтое
Циркон	Щелочные пегматиты, сиенитовые пегматиты, гранитные пегматиты, контактные пегматиты	121	120 среднее	120	Слабое желтовато-голубое, слабое фиолетовое***
		112	111 среднее	111	
		95	94 среднее	94	
		25	23 среднее	23	
Энгельгардит	Гранитные пегматиты	3	3 оч. яркое	3 оч. яркое желтое	Среднее светложелтое и белое

* В катодных лучах просмотрено 7 образцов.

** В катодных лучах люминесцируют не все.

*** Преобладает желтое.

Таблица VI

Минералы с зеленым свечением в У-Ф, 3600 Å

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение		
			в У-Ф		на долю люминесценция
			3600 Å	3200 — 2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Аллофан	Продукты выветривания	6	1 слабое серо-зеленоватое	1 оч. слабое серо-зеленоватое	Не люминесцирует
Апофиллит	Гидротермальный	27	1 слабое	1 слабое зеленоватое	То же
Виллемит	Контактовый	4	4 оч. яркое	3 среднее, 1 слабое зеленое	Оч. яркое зеленое
Вилльямсит	Гидрохимический в основных породах	3	1 слабое синее-зеленое	1 оч. слабое синее-зеленое	Не люминесцирует
Гроссуляр	Контактовый	31	1 слабое	1 слабое зеленоватое	То же
Жисмондин	Гидротермальный	5	4 слабое	2 слабое зеленоватое	» »
Иттрофлюорит	Контактовые пегматиты	2	2 среднее зеленовато-желтое	1 слабое белое, 1 слабое розоватое	Среднее белое
Купроскловоскит	Зона выветривания	1	Слабое	Ореднее зеленоватое	Не люминесцирует
Мармолит (разновидность серпентина)	Гидрохимическое выветривание	1	Слабое яблочно-зеленое	Оч. слабое яблочно-зеленое	То же
Олигоклаз	Гранитные пегматиты	20	1 слабое	1 среднее зеленое	Желтое
Оранжит	Щелочные пегматиты	5	Слабое	Слабое зеленое	Не люминесцирует
»	Гранитные пегматиты	1	1 слабое	1 слабое зеленое	То же
Пимелит	Гидротермальный	2	1 среднее яблочно-желтое	1 слабое яблочно-зеленое	» »
Пирофиллит	Гидротермальный	7	3 слабое голубовато-зеленое	3 оч. слабое голубовато-зеленое	» »
Сепиолит никелевый	Выветривание основных пород	2	2 среднее	2 слабое	» »
Серпентин	Гидрохимический в основных породах	31	2 слабое яблочно-зеленое	2 слабое яблочно-зеленое	» »
Серпентин-асбест	Гидротермальный	35	4 слабое желтовато-зеленое	Не люминесцирует	» »
Топаз	Гранитные пегматиты	120	12 слабое	12 слабое зеленое	» »

Таблица VI (продолжение)

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение		
			в У-Ф		католюминесценция
			3600 Å	3200—2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Троостит	Контактный	2	2 яркое	2 яркое зеленое	Оч. яркое зеленое
Уранотит	Зона выветривания	2	1 яркое, 1 слабое желтовато-зеленое	2 яркое желтовато-зеленое	Не люминесцирует
Цирколит	Гранитные пегматиты	23	11 слабое неравное	9 среднее, 2 слабое зеленое	То же

Таблица VII

Минералы с синим и голубым свечением в У-Ф, λ 3600 Å

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение		
			в У-Ф		католюминесценция
			3600 Å	3200—2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Аллофан	Поверхностное выветривание	6	1 среднее, 1 слабое голубоватое	2 слабое	Не люминесцирует
Апофиллит	Гидротермальный	27	1 среднее голубоватое	1 среднее голубоватое	То же
Галит	Химические осадки	46	2 среднее, 2 слабое голубоватое	4 слабое голубоватое	Слабое голубоватое, слабое белое
Гимнит	Поверхностное выветривание	6	1 слабое голубоватое	1 оч. слабое голубоватое	Не люминесцирует
Геленит	Контактный	5	1 среднее темносинее	—	То же
Главколит	Контактные пегматиты	4	1 среднее голубое	—	Среднее темносинее
Датолит	Гидротермальный	15	2 слабое фиолетовое, синее	2 оч. слабое синее	Не люминесцирует
»	Контактово-метасоматический	8	4 среднее	4 слабое синее	То же
Девейлит	Поверхностное выветривание	3	2 слабое голубое	2 оч. слабое голубоватое	» »
Демидовит	Зона окисления рудных минералов	3	1 оч. слабое синеватое	—	» »
Дюмортьерит	Гидротермальный метасоматический	5	1 среднее	1 среднее голубоватое	Слабое темносинее

Таблица VII (продолжение)

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение		
			в У-Ф		на долю люминесценция
			3600 Å	3200—2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Каламин	Зона окисления	49	6 оч. слабое голубоватое	6 оч. слабое голубоватое	Оч. слабое белесое
Катангит	Зона окисления рудных минералов	1	Оч. слабое	Оч. слабое синее	Не люминесцирует
Керолит	Поверхностное выветривание	6	1 слабое голубое	1 оч. слабое голубое	Оч. слабое белое
Ксонотлит	Контактные пегматиты	2	2 среднее голубоватое	2 среднее голубоватое	Слабое белое
Лепидолизит	Гранитные пегматиты	23	1 слабое серо-синее	1 слабое серо-синее	Среднее розоватое
Люцианит	Продукты выветривания	1	Слабое голубое	Оч. слабое голубое	Не люминесцирует
Мезолизит	Гидротермальный щелочных пегматитов	1	Слабое голубоватое	Слабое голубоватое	То же
Микроклин	Гранитные пегматиты	23	1 слабое синее	1 среднее синее	Среднее голубоватое
Нефедьевит	Зона окисления рудных минералов	3	1 слабое голубоватое	1 оч. слабое голубоватое	Не люминесцирует
Олигоклаз	Гранитные пегматиты	20	3 среднее	2 слабое голубоватое, 1 среднее фиолетовое	Среднее белое и желтовато-зеленоватое
Ортоклаз	Гранитные пегматиты	25	1 слабое голубоватое	1 слабое голубоватое	Слабое голубоватое
Сепиолизит	Выветривание основных пород	6	3 слабое светлоголубое	3 слабое светлоголубое	Не люминесцирует
Серпентин	Гидрохимический в основных породах	31	1 слабое зеленовато-голубое	1 слабое зеленовато-голубое	То же
Скаполизит	Контактные пегматиты	42	3 слабое голубоватое	1 слабое оранжевое, 1 слабое голубое, оч. слабое	—
Сколецит	Поствулканический	4	3 слабое тусклоголубоватое	3 тусклоголубоватое	Не люминесцирует
Содалит	Нефелиновые сyenиты	14	1 слабое голубое	1 слабое голубое	Слабое красноватое
Сунгулит (короткостолбчатая разновидность серпентина)	Гидротермальный	1	Слабое голубоватое	Оч. слабое голубоватое	Не люминесцирует
Таумазит	Гидротермальный в контакте	3	1 слабое голубоватое	1 оч. слабое голубоватое	То же
Томсонит	Поствулканический	11	1 среднее голубоватое	1 слабое голубоватое	» »

Таблица VII (продолжение)

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение		
			в У-Ф		католюминесценция
			3600 Å	3200—2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Фенакит	Контактные пегматиты	7	1 слабое голубое	1 слабое темноголубоватое	Голубое *
Феррьерит	Гидротермальный	1	Яркое	Яркое голубое	Не люминесцирует
Хиолит	Пегматиты щелочных гранитов	4	4 слабое	—	Среднее голубое
Хризоколла	Зона окисления рудных минералов	24	9 оч. слабое	—	Не люминесцирует
Цеофиллит	Гидротермальный щелочных пегматитов	2	1 слабое	1 слабое голубое	То же
Шапьевскит	Продукты выветривания	1	Оч. слабое	—	» »
Элеолит	Щелочные пегматиты	8	2 слабое голубоватое	2 слабое голубоватое	» »

* В катодных лучах голубая люминесценция варьирует в оттенках для всех 7 образцов.

Таблица VIII

Минералы с фиолетовым свечением в У-Ф, λ 3600 Å

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение		
			в У-Ф		католюминесценция
			3600 Å	3200—2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Адуляр	Гидротермальный	17	1 среднее	1 среднее фиолетовое	Слабое фиолетовое
Альбит	То же	5	1 слабое	1 среднее фиолетовое	Голубоватое, лимонно-желтое, розоватое
»	Гранитные и щелочные пегматиты	29	1 слабое	1 среднее фиолетовое	Розовато-желтое, желтое
Анортоклаз	Магматический	5	2 слабое	1 слабое фиолетовое	Не люминесцирует
Воробьевит	Гранитные пегматиты	20	1 слабое	Не люминесцирует	Слабое розовое
Галит	Современные химические осадки	46	1 среднее	1 слабое фиолетовое	Слабое белое

Таблица VIII (продолжение)

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение		
			в У-Ф		католюминесценция
			3600 Å	3200—2800 Å	
1	2	3	4	5	6
Гардистонит	Контактный	2	2 среднее	2 слабое фиолетовое	Яркое желтое
Кунцит	Гранитные пегматиты	4	1 среднее	1 среднее фиолетовое	Желто-розовое
Лабрадор	Магматический	6	1 слабое	1 среднее фиолетовое	Слабое голубое
Лейкофан	Щелочные пегматиты	4	1 среднее	1 среднее алое	Яркое оранжевое, розовое
Мелинофан	Щелочные пегматиты	4	4 среднее темнофиолетовое	4 среднее фиолетовое	Яркое оранжевое
Микроклин	Гранитные пегматиты	23	1 среднее, 3 слабое	2 среднее, 2 слабое } фиолетовое	Голубоватое, розоватое, лимонно-желтое
Олигоклаз	Гранитные пегматиты	21	2 среднее, 3 слабое	2 среднее, 3 слабое } фиолетовое	Среднее белое
Петалит	То же	6	1 среднее, 5 слабое	6 слабое фиолетовое	Не люминесцирует
Рубеллит	Литиевые пегматиты	14	3 среднее светлофиолетовое	3 слабое светлофиолетовое	То же
Скаполит	Контактные пегматиты	42	1 слабое	Не люминесцирует	» »
Флюорит	Гидротермальный щелочных пегматитов	25	5 яркое, 14 среднее, 6 слабое	9 среднее, 16 слабое фиолетовое	—
»	Гидротермальный гранитных пегматитов	91	30 яркое, 50 среднее, 11 слабое	40 среднее, 51 слабое, фиолетовое	Фиолетовое, зеленое, белесое
»	Пневматолитический	25	11 яркое, 8 среднее, 6 слабое	15 среднее, 10 слабое фиолетовое	Фиолетовое, зеленое, белесое
»	Эпитермальный	4	4 яркое	4 среднее фиолетовое	
Флюоцерит	Контактные пегматиты	1	Слабое	Не люминесцирует	
Эвидимит	Щелочные пегматиты	1	Среднее	Слабое, голубоватое	Не люминесцирует

Таблица IX

Минералы с оранжевым свечением в У-Ф, λ 3200—2800 Å

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение	
			в У-Ф 3200 Å	катодолюминесценция
Галит	Химические осадки	46	3 слабое	Среднее белое

Таблица X

Минералы с красным свечением в У-Ф, λ 3200—2800 Å

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение	
			в У-Ф 3200 Å	катодолюминесценция
Адуляр	Гидротермальный	17	2 слабое розоватое	Слабое фиолетовое
Анортоклаз	Щелочные пегматиты	2	1 слабое	Слабое красноватое
Галит	Химические осадки	46	1 »	Не люминесцирует
Гиалофан	Контактные пегматиты	4	1 »	То же
Микроклин	Гранитные пегматиты	23	2 »	» »
»	Сиенитовые пегматиты	4	1 »	Слабое голубое
Монтчеллит	Магматический в лавах	4	Слабое розоватое	Не люминесцирует
Катаплект	Щелочные пегматиты	10	3 светлозеленое	То же
Рамзаит	То же	3	2 слабое серовато-зеленое	Слабое серо-зеленое
Ростерит	Гранитные пегматиты	6	1 слабое	—
Циртолит	То же	23	6 »	Не люминесцирует

Таблица XI

Минералы с фиолетовым свечением в У-Ф, λ 3200 — 2800 Å

Название минерала	Тип месторождения	Количество просмотренных образцов	Свечение	
			в У-Ф 3200 Å	катодолюминесценция
Глаукохроит	Контактные пегматиты	1	1 слабое темно-фиолетовое	Не люминесцирует
Воробьевит	Гранитные пегматиты	20	1 среднее	То же
Миларит	Гидротермальный	1	1 »	Яркое зеленое
Периклин	Гидротермальный	3	1 »	Не люминесцирует
Сподумен	Гранитные пегматиты	20	1 среднее сине-фиолетовое	—

Таблица XII

Нелюминисцирующие минералы и их разновидности
в У-Ф, λ 3600 Å; λ 3200—2800 Å и катодных лучах

Название минерала	Количество просмотрен- ных образцов	Название минерала	Количество просмотрен- ных образцов
Авгит	16	Брюстерит	1
Агальматолит	6	Букландит	3
Агриколит	1	Бустамит	2
Айдырлит	1	Валуевит	6
Акмит	2	Вебскиит	1
Аксинит	20	Везувит	39
Актинолит	38	Вёлерит	9
Аллеганит	1	Верделит	1
Альвит	4	Вермикулит	3
Альмандин	52	Вёртит	2
Амазонит	17	Виллиомит *	4
Амезит	1	Вилуит	2
Ампангабеит	2	Виридин	1
Апальцим	41	Витамит	1
Андалузит	15	Вишневит	1
Андезин	2	Волконскоит	1
Андрадит	72	Вудьяврит	2
Аномит	4	Гадолит	12
Антигорит	1	Гармотом	4
Антофиллит	7	Гарниерит	6
Араудзит	1	Геденбергит	5
Арфведсонит	7	Гейландит	43
Асбест	10	Гелландит	1
Асканит	2	Гессонит	16
Аспазиолит	1	Гиалосидерит	1
Асперолит	3	Гиалофан	3
Астрофиллит	6	Гигантолит	2
Атакамит	8	Гидрботит	10
Афродит	2	Гидромусковит	1
Ахтарадит	2	Гидротомсонит	1
Бабингтонит	2	Гидрофлогопит	1
Бавенит	2	Гизингерит	5
Байкалит	3	Гиллингит	15
Баркевикит	3	Гиортдалит	1
Батрахит	2	Гиперстен	1
Бауэрит	5	Глауконит	6
Бейделлит	1	Глаукофан-асбест	1
Бекелит	2	Глина	5
Бергманнит	3	» гидрослюдистая	2
Берtrandит	3	» кембрийская	2
Биотит	25	» мыльный камень	2
Бломстрандин	1	» Ni-содержащая	1
Болеит	1	» огнеупорная	2
Болюс	1	» флюориновая	2
Ботриолит	3	» юрская	1
Брандизит	2	Глинкит	4
Брейслакит	1	Гмелинит	8
Бромаргирит	2	Гомилит	1
Бромирит	2	Гранат	6
Бронзит	7	Гуллит	1

* В катодных лучах свечение слабое красноватое.

Таблица XII (продолжение)

Название минерала	Количество просмотренных образцов	Название минерала	Количество просмотренных образцов
Гумбольдтилит	1	Кокшаровит	3
Гумбольдтит	1	Коллирит	1
Гумбрин	1	Колумбит	38
Гуммит	3	Комптонит	2
Гуссакит	1	Коппит	1
Гюмбелит	4	Кордиерит	16
Давин	4	Коссприт	1
Дакиардит	3	Кочубеит	7
Дамурит	2	Краковит	1
Данбурит	2	Кролит	5
Даннеморит	1	Кронштедтит	1
Дашкесанит	1	Ксантитан	1
Девалькит	1	Ксантафиллит	5
Делессит	1	Ксенолит	1
Демантоид	8	Ксилит	1
Десмин	62	Ксилотил	1
Джеферсонит	1	Кукевит	4
Джефферизит	1	Кулибинит	1
Диалла	4	Куменгит	1
Диаллагон	9	Куммингтонит	1
Диасподумен	2	Купферит	1
Диоксид	25	Куспидин	2
Диоптаз	4	Лавровит	3
Дифанит	1	Лавурит	10
Добреит	1	Лампрофиллит	3
Дравит	4	Лаурионит	1
Жадеит	1	Левин	5
Жедрит	1	Лейкопеннин	2
Жильбертит	7	Лейхтенбергит	1
Зунлит	6	Лейцит	12
Иксионолит	1	Леонгардит	17
Имеринит	2	Лешюдомелан	6
Индиголит	6	Лессингит	1
Инезит	2	Ливерит	10
Иодирит	1	Ловенит	1
Иодобромит	1	Ловчоррит	3
Иттротанталит	5	Ломоносовит	1
Иттротитанит	2	Ломонтит	21
Иттроцерит	1	Лонгбанит	1
Каллофан	1	Люцианит	1
Каменный мозг	2	Магнезпоортит	1
Канкринит	16	Макговернит	1
Карналлит	5	Малаколит	4
Карфолит	2	Мангангеденбергит	2
Кастор	1	Манганокальцит	2
Кельгауит	2	Манганопектолит	1
Кеммерерит	6	Маргарит	9
Кёненит	1	Мариньякит	2
Кераргирит	13	Матаксит	1
Керсутит	1	Мезодуалит	1
Кеффекилит	8	Меланит	1
Клинохлор	16	Мелилит	3
Клиноцоизит	1	Миелит	1
Кнебелит	2	Микролит	4
Кнопит	2	Мозандрит	1
Коккелит	4	Монотермит	1

Таблица XII (продолжение)

Название минерала	Количество просмотрен- ных образцов	Название минерала	Количество просмотрен- ных образцов
Мореканит	2	Питкарандит	4
Мореснетит	2	Планхеит	2
Мурманит	5	Полимигнит	1
Мусковит	74	Поллуцит *	40
Назонит	1	Пренит	31
Нальчикин	2	Призматин	1
Наптоцит	1	Приорит	1
Нарсарсуцит	2	Прозопит	1
Нашатырь	2	Прохлорит	3
Немафиллит	1	Псевдоофит	1
Нептунит	1	Птеролит	3
Нефелин	18	Птилолит	8
Нефрит	11	Пумпеллит	1
Нибо-танталотитанат	1	Ральстонит	1
Нонтронит	11	Ранит	1
Норбергит	1	Ратовкит	11
Обсидиан	13	Ревдвйскит	1
Окениит	2	Ренверит	1
Оливин	16	Репперит	1
Онокзин	2	Ретицит	1
Онеродит	1	Рибекит *	1
Оргит	11	Рвзерит	2
Оттрелит	1	Ринкит	1
Офиокальцит	1	Риннеит	1
Палыгорскит	10	Роговая обманка	39
β-палыгорскит	12	Родоцит **	16
Парагонит	1	Родохром	3
Паралаурионит	1	Родусит	2
Парасениолит	5	Розенбушит	4
Паргасит	2	Роскозлит	4
Пеннин	3	Ростерит	9
Перловый камень	1	Ротгорфит	1
Перовскит	8	Румянцецит	1
Перцелит	1	Салит	4
Пехштейн	2	Самарскит	4
Пикнит	2	Санидин	7
Пикрозмин	1	Сапфирин	1
Пикролит	3	Сарколит	2
Пилолит	1	Сассолит	2
Пилолит железистый	1	Селадонит	7
Пингвит	1	Серендибит	1
Пинит	8	Серицит	3
Пиралломит	2	Силикомагнезиофлюорит	1
Пираргиллит	2	Силлиманит	2
Пироксен	7	Сильвин ***	7
Пироп	9	Смектит	1
Пиросмалит	3	Спессартин	49
Пирофизалит	5	Ставролит	15
Пирофиллит	4	Стеатит	4
Пирохлор	8	Стибьотанталит	2
Th-пирохлор	1	Стинструпин	3
Пирохлорит	1	Стриговит	1
Пиррит	1	Сульфат-канкринит	1

* В катодных лучах свечение среднее белое.

** В катодных лучах свечение слабое красное.

*** В катодных лучах свечение слабое голубоватое.

Таблица XII (продолжение)

Название минерала	Количество просмотренных образцов	Название минерала	Количество просмотренных образцов
Сфен	54	Церит	3
Тайиннолит	1	Церматтит	2
Танталит	4	Циллерит	2
Тахидрит	1	Циллерит актинолитовый	1
Терммерит	1	Цимолит	1
Теймофиллит	2	Цинкшефферит	1
Титанавгит	1	Циннвальдит	6
Титанклиногумит	2	Циприн	2
Титаноливин	1	Цирфесит	4
Титаноэльвиндит	1	Цонзит	8
Томсонолит	2	Чапманит	1
Тоназолит	6	Чевкивит	4
Торит	6	Чкаловит	1
Торсенит	1	Шабазит	24
Тортуейтит	1	Шаллерит	1
Тремолит	22	Шаттукит	1
Тузинт	7	Швейцерит	3
Турмалин	86	Шерл	25
Турмалин хромовый	1	Шефферит	1
Факолит	3	Шизолит	7
Фалуунит	1	Шреттерит	1
Фассаит	10	Шухардит	3
Фаялит	2	Эвдиалит	23
Фергюсонит	2	Эвдилимит	1
Ферригалдуазит никелевый	2	Эвклаз	3
Ферсманит	2	Эвколит	14
Ферсмит	3	Эвкристит	2
Филлипсит	1	Эвксенит	6
Флогопит	23	Эвлитин	1
Фолерит	1	Эгирия I	11
Форезит	1	Эгирия II	3
Фоязит	1	Эгирия III	1
Фриделит	1	Эденит	2
Фуксит	8	Эдингтонит	1
Хиастолизит	6	Элеолит	6
Хлорастролит	1	Эльпидит	2
Хлорит	12	Эльсвортит	1
Хлоритонд	1	Эмболит	3
Хлоропал	1	Энигматит	10
Холмквистит	1	Энстатит	3
Хондродит	20	Эпидот	70
Хоникрит	1	Эпистильбит	1
Хризотил	4	Эпистолит	1
Хромвезувиан	3	Эрдманит	1
Хромдиопсид	2	Эрвкит	2