

Н.В. Логвиненко



ОСНОВЫ МЕТОДИКИ

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Издательство
Харьковского
университета

Н. В. ЛОГВИНЕНКО

О С Н О В Ы МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Издание второе, переработанное и дополненное

Допущено Министерством высшего и среднего
специального образования УССР в качестве
учебного пособия для студентов геологических
специальностей вузов УССР

15892

13462

ИЗДАТЕЛЬСТВО

ХАРЬКОВСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА имени А. М. ГОРЬКОГО
Харьков

1962



В пособии излагаются методы подготовки пород к анализу, иммерсионного анализа (с основами кристаллооптики), хроматического анализа, описание пород в шлифах, а также содержатся характеристики около 200 минералов (физические свойства, оптические свойства, морфология, особенности в осадочных породах). Для наиболее важных групп минералов даны схемы определения (полевые шпаты, карбонаты, фосфаты и др.).

Описание минералов сопровождается рисунками и фотографиями (120 рисунков на меловой бумаге).

Пособие рассчитано на студентов, аспирантов и инженеров-геологов, занимающихся изучением осадочных пород.

Ответственный редактор —
кандидат геолого-минералогич.
наук *Г. В. Карпова*

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

За несколько месяцев, прошедших с момента выхода в свет первого издания, книга полностью распродана. Вновь и вновь поступающие запросы на книгу побудили автора подготовить новое издание.

Во втором издании сделаны существенные изменения и дополнения. Несколько расширен раздел, посвященный кристаллооптике (теория компенсаторов, дисперсия, рефрактометры), написан новый раздел «Описание шлифов», даны таблицы свойств минералов по группам, ряд определительных таблиц для наиболее важных групп минералов осадочных пород, а также для обломков горных пород. Частично заменены и пополнены рисунки и фотографии. Общее количество описанных минералов доведено до двухсот (включая минералы, помещенные только в таблицах).

При подготовке второго издания автор пользовался советами и помощью товарищей по работе, за что выражает им свою признательность.

Все замечания по содержанию книги просьба направлять по адресу: Харьков, 22, Площадь Дзержинского, 4, Харьковский госуниверситет, геологический факультет, кафедра петрографии.

Автор

ОТ АВТОРА

Методика исследования осадочных пород в наше время достаточно сложна и многообразна. Помимо обычных физико-механических методов и микроскопического анализа при изучении осадочных пород применяются разнообразные физические и физико-химические методы: термический анализ, рентгеноструктурный анализ, спектральный анализ, электронная микроскопия, электронографическое исследование и многие другие.

Однако и сейчас основным методом при массовой работе петрографа-осадочника остается микроскопия. Микроскопическому методу исследования посвящено большое число различных статей и руководств, но микроскопия применительно к осадочным породам (изучение минералов в иммерсии) освещена недостаточно.

Имеется только перевод книги Г. Б. Мильнера «Петрография осадочных пород» (1934) и руководство И. А. Преображенского и С. Г. Саркисяна «Минералы осадочных пород» (1954). Обе книги в настоящее время невозможно приобрести.

В связи с этим автор предпринял составление настоящего «Введения в методику изучения осадочных пород», где рассматриваются некоторые вопросы методики: подготовка породы к анализу, разделение тяжелой жидкостью, разделение минералов по магнитным свойствам, определение минералов под микроскопом.

Настоящая работа является изложением основных положений спецпрактикума, проводившегося на протяжении ряда лет со студентами 5-го курса геологического факультета ХГУ.

Автор

1. ПОДГОТОВКА ПОРОДЫ К АНАЛИЗУ

1. Дезинтеграция породы и удаление цемента

Предварительная подготовка рыхлых обломочных пород заключается в выделении нужных для исследования размерных фракций (гранулометрического анализа) и разделении их по удельному весу и магнитным свойствам. Для сцементированных обломочных пород необходимо, кроме того, разрушение породы и удаление цемента. Для карбонатных пород и солей необходимо предварительное растворение — получение нерастворимого остатка.

При исследовании основной массы карбонатных пород и солей, при изучении минералогического состава цемента, сцементированных обломочных пород предварительная подготовка к анализу не нужна. В этом случае кусочек породы растирается в агатовой ступке и порошок породы исследуется в иммерсии без отмучивания и разделения.

Прежде чем выбрать тот или иной способ обработки породы, необходимо просмотреть шлиф — определить величину зерна и минералогический состав цемента. Задача заключается в том, чтобы разделить породу на отдельные обломочные зерна и удалить цемент без существенных нарушений цельности зерен и растворения минералов. С этой целью рекомендуется механическое дробление до величины горошины. Затем производится дальнейшая дезинтеграция и удаление цемента при помощи обработки различными реактивами: 5—10-процентным HCl без нагревания (кальцитовый цемент), 5—10-процентным HCl с нагреванием (доломитовый, сидеритовый цемент), 10—20-процентным HCl с кипячением (цемент из гидроокислов железа), 10-процентным раствором HNO_3 с кипячением (цемент состоит из сульфидов железа), раствором едкой щелочи (5—10-процентным KOH или NaOH) с кипячением (кремнистый цемент).

Однако все эти реактивы (особенно крепкая соляная кислота, азотная кислота и едкие щелочи) растворяют не только цемент, но и ряд обломочных минералов — апатит, монацит, минералы группы апатита осадочного происхождения, волластонит, титан-авгит, ортит, некоторые хлориты и другие. Поэтому целесообразно рекомендовать более «деликатные» методы обработки, например, обработку породы уксусной кислотой (5—7-процентный раствор CH_3COOH), причем в случае карбонатного цемента — без нагре-

вания или с легким нагревом на водяной бане; железистого цемента — с подогреванием. Удаление кремнистого опалового цемента можно производить слабым раствором едкой щелочи (1—2-процентный раствор КОН) без подогревания.

Породы с глинистым и гипсовым цементом обрабатывают в дистиллированной воде с подогреванием.

После обработки реактивами или водой дезинтеграция породы заканчивается легким растиранием пальцами в фарфоровой чашке. Затем порода должна тщательно промываться водой до полного удаления реактива.

Известны и другие методы дезинтеграции при помощи пропитывания породы растворами различных солей (например, гипосульфита), поочередного нагревания и резкого охлаждения (опускание в холодную воду) и т. п. Однако все эти методы недостаточно эффективны¹.

В некоторых случаях избавиться от цемента не удастся при обработке любыми из перечисленных выше реактивов (цемент из вторичного кварца). Если дезинтеграция породы неэффективна или невозможна, следует рекомендовать простое механическое дробление до величины зерна преобладающей фракции породы (определяется в шлифе). Обработка кислотами для удаления карбонатов не рекомендуется, если обломочные зерна представлены обломками карбонатных пород и содержат известковые организмы (обломочные известняки, песчаники и алевролиты с терригенными зернами, состоящими из карбонатов).

2. Получение нерастворимого остатка

Для получения нерастворимого остатка карбонатных пород обычно применяется растворение в 5—10-процентной соляной кислоте². Однако и здесь, исходя из высказанных соображений, следует рекомендовать обработку в слабой уксусной кислоте (5—7-процентный раствор CH_3COOH). Для этого, правда, требуется больше времени и большее количество реактивов, но полученные результаты всегда окупают эти затраты.

Величина образца (навески) зависит от количества терригенных примесей. Для относительно чистых карбонатных пород необходима навеска в 200—500 г, для пород, обогащенных терригенными примесями, достаточно 100 г и для чистых пород требуется около 1 кг.

Нерастворимый остаток солей получают путем обработки дистиллированной водой или водой, подкисленной H_2SO_4 ³ (для гип-

¹ О весьма эффективной дезинтеграции при помощи ультразвука см. в следующих работах [133, 143, 144].

² Медленное нагревание при T 60—70° в 5-процентной соляной кислоте до полного выделения CO_2 или кипячение в 1,5-процентной соляной кислоте в течение 5 минут.

³ Растворение гипса лучше производить 15% лимоннокислым аммонием при T 22°C.

са). Величина образца зависит от количества терригенных примесей. Нерастворимый остаток промывается дистиллированной водой до полного исчезновения реактива, которым обрабатывалась порода.

3. Выбор и получение размерной фракции для разделения тяжелыми жидкостями и иммерсионного анализа

Вопрос о выборе фракций механического анализа для разделения тяжелой жидкостью и исследования в иммерсии до настоящего времени является дискуссионным. Большинство исследователей рекомендует для этой цели фракции 0,25—0,01 мм. Сводка по данному вопросу на 1950 год имеется в работе Н. В. Логвиненко [63], там же приводится обоснование целесообразности выделения фракции 0,25—0,01 мм.

В более поздних работах В. В. Копериной, И. А. Преображенского и С. Г. Саркисяна [46. 75] и других также рекомендуется фракция 0,25—0,01 мм или две фракции: 0,25—0,10 и 0,10—0,01 мм.

Основанием для выбора фракции 0,25—0,01 мм является следующее.

1. Наибольшая концентрация тяжелых минералов в песчаных и алевритовых породах различного генезиса наблюдается во фракции 0,25—0,01 мм.

2. Наибольшая концентрация тяжелых минералов в глинисто-алевритовых и глинистых породах также приурочена к этой фракции, несколько смещаясь в сторону более мелких частиц (0,05—0,01 мм, частично во фракции $d < 0,01$ мм).

3. Эта размерная фракция является наиболее удобной для исследования. В более крупных фракциях частицы минералов из-за большой величины становятся непрозрачными (особенно окрашенных минералов) и во фракции попадает много агрегатных зерен и обломков горных пород. Более мелкие фракции неудобны для исследования из-за трудности определения оптических констант минералов.

Итак, для разделения тяжелой жидкостью необходимо получить фракцию 0,25—0,01 мм.

Для этой цели можно рекомендовать следующий метод.

Образец (рыхлой обломочной породы или дезинтегрированной сцементированной породы, нерастворимого остатка) просеивается через сито с диаметром отверстий 0,25 мм. Затем фракция $d < 0,01$ мм отмучивается по методу Сабанина¹. Так как для разде-

¹ Навеска, прошедшая через сито 0,25 мм, переводится в банку или стакан. В банку доливают дистиллированной воды до высоты 4 см. Затем взмучивают воду с навеской и через 100 секунд сливают при помощи сифона слой жидкости от 4 до 2 см высоты. Эта операция повторяется до тех пор, пока слой жидкости между высотой 4 см и 2 см после 100 секунд отстаивания будет совершенно прозрачным.

ления тяжелой жидкостью необходима навеска (фракция 0,25—0,01 мм) в 4—5 г (лучше 10 г), а отмучивание в обычном стакане прибора Сабанина допускает исходную навеску в 4 г, вместо обычного стакана рекомендуется брать банку с диаметром в 3—4 раза больше, чем диаметр стакана прибора Сабанина. Из полученной фракции (0,25—0,01 мм) берется навеска в 4—5 г и разделяется тяжелой жидкостью. Для этой цели могут быть использованы и фракции обычного гранулометрического анализа по Сабанину или полученные другим методом, но в этом случае для разделения тяжелой жидкостью величина навески будет недостаточна¹.

4. Удаление глинисто-железистых пленок

В целом ряде осадочных пород (главным образом пестроцветов) на зернах обычных породообразующих минералов (кварца, полевого шпата), а также на зернах аксессуарных минералов имеются железистые, железисто-глинистые и глинистые пленки. Наличие таких пленок затрудняет диагностику минералов и делает невозможным выделение доброкачественной тяжелой фракции — концентрацию аксессуарных минералов вследствие разбавления ее легкими минералами с железистыми пленками. Поэтому перед разделением тяжелой жидкостью приходится применять специальные методы обработки с целью удаления названных выше пленок. Удаление железистых пленок путем кипячения порошка в 10—20-процентной HCl приводит к растворению многих минералов. В связи с этим были предложены следующие методы удаления пленок: метод Дроздова и Труога [116] — обработка H₂S и 0,05-процентным раствором HCl, метод ВИМСа [96] — обработка сернистым аммонием и уксусной кислотой, Лейта [122] — обработка щавелевой кислотой в алюминиевой посуде или в присутствии алюминиевого стержня, А. Н. Соколовского [89] — обработка поваренной солью и дистиллированной водой.

Опыт показывает, что наиболее эффективным способом следует считать обработку щавелевой кислотой в присутствии металлического алюминия.

В стеклянный сосуд помещается обрабатываемый порошок и заливается 5-процентным раствором щавелевой кислоты (COOH·O·COOH). Затем в сосуд опускается алюминиевая трубка или алюминиевая бюкса и производится кипячение в течение 15—20 минут.

Количество реактива — 200—300 см³ на навеску 10—15 г образца. При кипячении происходит растворение железистых пленок

¹ Частицы крупнее 0,25 мм изучаются под бинокляром. Об исследовании глинистых частиц см. ниже, стр. 53.

и осаждение на поверхности алюминия щавелевокислого железа. Указанная реакция происходит нормально при наличии чистой поверхности металлического алюминия. Этот способ обработки гарантирует сохранность минералов и достаточно хорошее растворение пленок. Что касается обработки поваренной солью и дистиллированной водой, то таким путем можно удалить глинистые и частично железисто-глинистые пленки.

II. РАЗДЕЛЕНИЕ В ТЯЖЕЛОЙ ЖИДКОСТИ

Тяжелые жидкости

Для разделения минералов применяются различные тяжелые жидкости.

Жидкость Туле. Жидкость Туле представляет собой водный раствор иодистого калия (KJ) и двуиодистой ртути (HgJ_2). Максимальный удельный вес 3,19 (зимой), 3,17 (летом). Жидкость Туле смешивается с водой в любых пропорциях, поэтому удельный вес ее можно изменять в пределах от 1,0 до 3,19.

Способ приготовления: берется навеска солей KJ и HgJ_2 в отношении 1 : 1,24, тщательно измельчается, перемешивается и растворяется в холодной воде, прибавляемой небольшими порциями (на 500 г солей около 80 см^3 дистиллированной воды). Затем раствор упаривают до появления корки или до всплывания флюорита. Остудив, жидкость фильтруют через стеклянную вату, — полученный раствор имеет максимальный удельный вес. Недостатком жидкости является ее ядовитость. Работа с жидкостью должна производиться в резиновых перчатках в вытяжном шкафу. Не следует разделять жидкостью Туле минералы, имеющие обменные катионы, так как калий жидкости легко может их вытеснить.

Жидкость Сушина-Рорбаха представляет собой водный раствор двойной соли двуиодистой ртути (HgJ_2) и двуиодистого бария (BaJ_2) с максимальным удельным весом 3,58.

Способ приготовления: берут 100 частей BaJ_2 на 130 частей HgJ_2 . Обе соли тщательно перемешивают в просушенной колбочке и добавляют 20 частей воды. Затем сразу же переносят на масляную баню с T 150—200°. Размешивают до полного растворения, дают еще немного покипеть и затем выпаривают на водяной бане в фарфоровой чашке до всплывания эпидота.

Основным недостатком жидкости является ее разложение при смешении с водой при комнатной температуре. Поэтому при работе с жидкостью Сушина-Рорбаха минералы следует предварительно просушивать.

Жидкость Дюбуена является водным раствором иодистого натрия (NaJ) и двуиодистой ртути (HgJ_2) с максимальным удельным весом 3,46.

Способ приготовления: иодистый натрий растворяется в как можно меньшем количестве воды, затем добавляется двуиодистая ртуть. В конце растворения жидкость слегка подогревается на водяной бане, после чего раствор охлаждается, отстаивается (24 часа) и фильтруется.

Существенным недостатком этой жидкости является ее большая вязкость — больше чем жидкости Туле — и выпадение двуиодистой ртути при добавлении воды. Вследствие этого следует промывать минералы в слабом растворе иодистого калия для удаления из порошка HgJ_2 .

Жидкость Клеричи представляет собой водный раствор двойной соли, мелановокислого таллия $\text{CH}_2(\text{COO Tl})_2$ и муравьинокислого таллия (HCOO Tl) с максимальным удельным весом 4,2. Жидкость подвижна, не имеет запаха, светло-желтого цвета и в общем устойчива.

Способ приготовления: исходным веществом для получения жидкости является карбонат Tl. Жидкость готовится путем нейтрализации двух равных частей карбоната таллия эквивалентными количествами муравьиной и мелановой кислоты. С этой целью одну часть карбоната помещают в фарфоровую чашку, смачивают водой и понемногу прибавляют кислоты до полного растворения. На 500 г карбоната таллия необходимо 111 г мелановой кислоты, растворенной в литре воды, 115 г 85,5-процентной муравьиной кислоты. Из 1 кг карбоната таллия получается примерно 300 г жидкости. Полученные растворы смешивают, фильтруют и выпаривают на водяной бане до всплывания алмадина или корунда.

Одним из существенных недостатков жидкости является способность Tl замещать основания некоторых минералов.

Бромформ (CHBr_3) — удельный вес при 20° 2,88, при комнатной температуре в разное время года изменяется в пределах 2,80—2,90—бесцветная жидкость, растворяется в спирте, бензоле, эфире. Разлагается под действием света и солнечных лучей, а также легко испаряется, поэтому определение следует производить в закрытых воронках и под тягой. Промывать порошок и посуду следует в бензоле или спирте. Из промывочных вод (с бензолом) бромформ может быть восстановлен путем фракционной перегонки.

Четырехбромистый ацетилен ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_4$) — удельный вес при $T\ 20^\circ$ 2,95 — подвижная жидкость с малым поверхностным натяжением и в общем устойчивая. Смешивается в любых соотношениях с ксилолом, толуолом, эфиром, бензолом и др.

Помимо описанных выше жидкостей имеется целый ряд других, краткие сведения о которых даны в таблице 1 (см. стр. 12).

Подробное описание тяжелых жидкостей можно найти в работе Э. М. Бонштедт-Куплетской [16] и М. Н. Чуевой [101].

Из всех перечисленных выше тяжелых жидкостей чаще всего применяется жидкость Туле и бромформ.

Таблица 1

Название жидкости	Состав	Удельный вес	
Жидкость Клейна	$2\text{CdO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{WO}_3$ $2\text{H}_2\text{O} + 16\text{aq}$	3,29 — 3,36	
Иодистый метилен	CH_2I_2	3,33	
Бромистый этилен	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$	2,17	
Четыреххлористый углерод	CCl_4	1,59	
Сплав Роджерса	AgNO_3 — 75,75 % NaNO_3 — 24,25 %	3,5	
Сплав Роджерса	AgNO_3 — 85,10 % NaNO_3 — 14,91 %	3,8	
Сплав Бреона	AgNO_3	4,1	T плавления 198°
„ „ „ „ „	$\text{PbCl}_2 + \text{ZnCl}_2$	4,5	
„ „ „ „ „	PbCl_2	5,0	T плавления 498°

Определение удельного веса тяжелых жидкостей производится при помощи минералов-индикаторов, специальных ареометров, весов Вестфalia, взвешивания жидкости в сосуде определенного объема, методом гидростатического взвешивания и путем определения показателей преломления. Приближенное определение удельного веса быстро и просто можно осуществить при помощи минералов-индикаторов. Точное определение удельного веса требует применения других методов. Из них наиболее удобным и распространенным методом является определение при помощи весов Вестфalia.

Весы Вестфalia представляют собой рычаг (коромысло), на одном конце которого подвешивается грузило (F), на другом — груз-противовес (P) (рис. 1).

Коромысло устанавливается на штативе, на одной стороне оно заканчивается острием O , положение которого отсчитывается по шкале III , на другом конце коромысла находится крючок K и подвешивается грузило F . Длинное плечо коромысла разделено на 10 равных частей.

Штатив перемещается в вертикальном направлении и закрепляется винтом P . Грузило представляет собой стеклянный небольшой термометр или запаянную трубку с ртутью и подвешивается на тонкой платиновой проволоке.

Разновесы состоят из шести гусаров. Вес каждого из трех гусаров A_1 , A_2 , A_3 соответствует весу вытесняемой грузилом воды при 4° (или при 20°), гусар E в три раза тяжелее, B — по весу равен $0,1$, а C — $0,01$ от веса гусаров A_1 , A_2 и A_3 .

Весы устанавливаются на столе. При подвешенном грузиле острие O должно стоять против нулевой точки шкалы. Затем представляют стаканчик с исследуемой жидкостью и в нее погружают грузило. За счет потери в весе грузило выталкивается из жидкости; для уравнения весов необходимо нагрузить длинное плечо коро-

мысла гусарами (на крючок *K* или деления на коромысле). Каждый из гусаров *A*, повешенный на крючок *K*, дает удельный вес 1,0, если их подвешивать на коромысло, они укажут число десятых соответственно цифре на коромысле.

Гусар *B* на крючке *K* указывает удельный вес 0,1, а на коромысле — соответственно сотые доли.

Гусар *C* на крючке *K* показывает удельный вес 0,01, а на коромысле — соответственно тысячные доли.

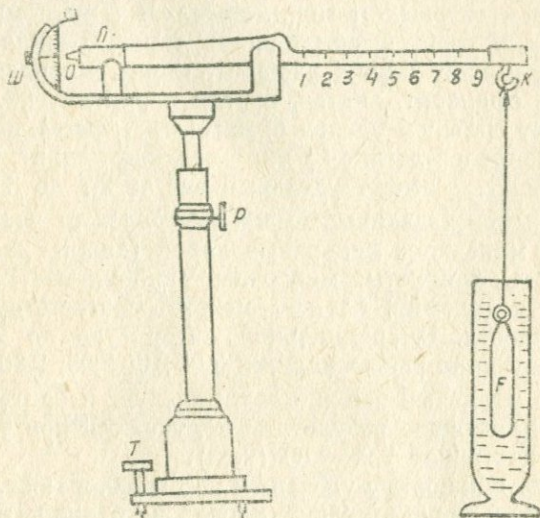


Рис. 1. Весы Вестфalia.

Гусар *E*, повешенный на крючок, показывает удельный вес 3,0. Например, если на крючке висят гусары A_1 и A_2 , на седьмом делении — гусар A_3 , на втором — гусар *B* и на пятом — гусар *C*, то удельный вес жидкости будет 2,725.

При работе необходимо следить, чтобы грузило *F* не касалось стенок стаканчика. Точность определения удельного веса на весах Вестфалиа $\pm 0,001$.

Процесс разделения

Разделяя тяжелой жидкостью, мы преследуем одну цель — концентрацию и выделение аксессуарных минералов, то есть минералов, которые присутствуют в породе в ничтожных количествах, но вместе с тем имеют большое значение для корреляции разрезов, палеогеографических реконструкций и т. п.

Какие же минералы в осадочных породах являются аксессуарными?

Это, в первую очередь, циркон, турмалин, рутил, сфен, апатит, гранат, монацит, ксенотим, флюорит, шпинель, альменит, магнетит

и ряд других, то есть акцессорные минералы магматических и метаморфических пород. В осадочных породах в виде акцессорных минералов присутствуют многие породообразующие минералы магматических и метаморфических пород: пироксены и амфиболы, слюды, хлориты, хлоритонд, корунд, ставролит, силлиманит, диастен, андалузит, волластонит, минералы группы эпидота и ряд других.

Кроме перечисленных выше, в осадочных породах встречаются минералы пегматитовых и гидротермальных жил, минералы осадочных пород и коры выветривания: топаз, берилл, аквамарин, касситерит, гематит, барит, лимонит, пирит, марказит, халькопирит, галенит, сфалерит, анатаз, брукит и ряд других. Все эти минералы имеют большой удельный вес («тяжелые») в интервале от 2,7 до 7,5. Наиболее легкие из них — слюды, хлорит, берилл, аквамарин, глауконит — имеют удельный вес от 2,7 до 3,0.

Для отделения названных выше минералов от главных породообразующих минералов осадочных пород (кварц, халцедон, опал, полевые шпаты, глинистые минералы, карбонаты — главным образом кальцит и доломит) следует выбрать соответствующий удельный вес жидкости. В специальной литературе по этому поводу имеются следующие рекомендации: 3,0; 2,9; 2,85; 2,80; 2,75.

Какой же удельный вес жидкости следует избрать? Опыт показывает, что наилучшие результаты получаются при удельном весе жидкости в интервале 2,9—2,80 (2,85).

Если взять жидкость с удельным весом 3,0, в тяжелую фракцию не попадет большинство слюд, хлоритов, берилл, тремолит, фенакит и некоторые другие минералы. Это имеет смысл только тогда, когда слюды и хлориты являются не акцессорными, а породообразующими минералами осадочных пород и от них необходимо избавиться.

При удельном весе 2,75 в тяжелой фракции окажутся все карбонаты (в том числе и кальцит), значительная (большая) часть глауконита, слегка загрязненные окислами железа и другими примесями легкие минералы и другие.

Более дробное деление на ряд фракций имеет смысл только в особых случаях, когда необходимо выделить один какой-либо минерал, исследовать тяжелую фракцию определенного интервала удельных весов из-за наличия в ней того или иного минерала или вещества и т. п.

Для разделения тяжелой жидкостью применяют обычные открытые воронки, закрытые воронки (воронки Брегера) или центрифуги (рис. 2).

В воронку наливают до половины тяжелую жидкость, затем осторожно высыпают навеску и доливают еще немного жидкости, примерно $\frac{3}{4}$ объема воронки. После этого жидкость с навеской тщательно перемешивают стеклянной палочкой или встряхиванием (закрытые воронки) и оставляют воронку в покое на время от 6

до 12 часов. Если разделяется очень тонкая фракция с диаметром частиц $< 0,05$ мм, более совершенное разделение происходит только через сутки. Так как при работе с воронками полное разделение почти невозможно, максимальное время разделения можно принять за 12 часов.

Когда разделение закончено, осторожно открывают краники или зажимы (открытые воронки) и тяжелую фракцию вместе с жидкостью сливают в стаканчик или на воронку с фильтром.

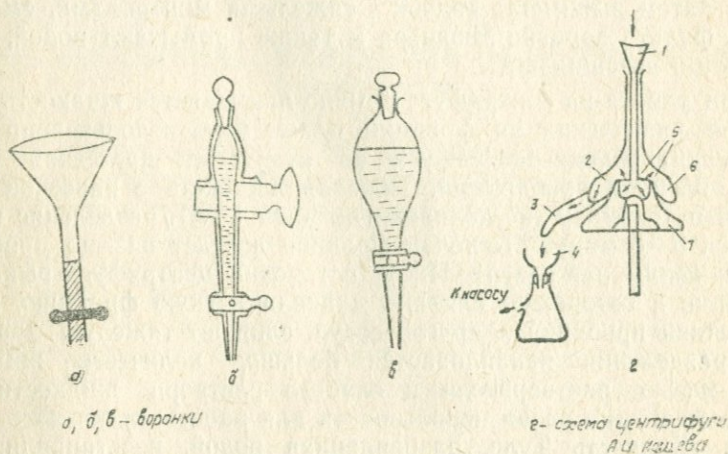


Рис. 2. Приборы для разделения тяжелой жидкостью:
а, б, в — воронки, г — схема центрифуги А. И. Мошова.

Отфильтровывают тяжелую жидкость, промывают фракцию спиртом или дистиллированной водой, высушивают и взвешивают. Таким же образом поступают и с легкой фракцией. При массовой работе, применяют одновременно целую батарею воронок, установленных на специальной подставке (6—12—20 воронок).

Гораздо быстрее и совершеннее происходит выделение тяжелой фракции при помощи центрифуги. Для этой цели чаще всего применяется центрифуга А. И. Мошова (рис. 2). Над волчком центрифуги 7 помещают делительную воронку с отводной трубкой. В делительную воронку вставляют обычную воронку с удлиненной трубкой.

Под отводной трубкой делительной воронки устанавливают воронку Бюхнера 4 с фильтром. Чтобы фильтрование шло быстрее, под воронкой Бюхнера создается разрежение при помощи вакуумного насоса. Навеску помещают в стеклянный стаканчик, заливают тяжелой жидкостью (примерно 150 см^3) и тщательно перемешивают. Затем включают электромотор и доводят скорость вращения волчка до 8000 об/мин.

В воронку 1 наливают немного тяжелой жидкости, чтобы заполнить пазы волчка 5. После этого, осторожно помешивая, тяже-

лую жидкость с навеской наливают в воронку 1. При вращении волчка тяжелые минералы оседают и застревают в пазах волчка 5, а легкие — отбрасываются вместе с жидкостью на стенки делительной воронки 2 и 6 и попадают через отвод 3 в воронку Бюхнера. Так как фильтрование происходит медленно, включают масляный насос и создают разрежение.

После фильтрования воронку Бюхнера вынимают, легкую фракцию промывают дистиллированной водой, высушивают и взвешивают. Затем вынимают волчок с тяжелыми минералами, смывают их на фильтр воронки Бюхнера и также промывают водой, высушивают и взвешивают.

При работе на центрифуге обычно применяется жидкость Туле.

Для разделения на фракции может быть использована обычная медицинская центрифуга со скоростью вращения около 2500 об/мин. и пробирками. Тяжелая жидкость с навеской заливается в пробирку (не доливают до края 1 см), разделение производится 6—8 минут. Тяжелая фракция оседает на дно пробирки, легкая всплывает наверх. После остановки центрифуги вынимают пробирки и осторожно сливают сначала легкую фракцию, затем, опорожняя пробирку в другой сосуд, сливают тяжелую фракцию. При разделении накапливается большое количество жидкости с примесью растворителя и слабого раствора жидкости. Эти жидкости можно снова использовать для работы после восстановления. Жидкость Туле, разбавленная водой, восстанавливается выпариванием в вытяжном шкафу, после чего удельный вес ее проверяется на индикаторах или лучше на весах Вестфalia. Если деление производилось бромформом, а растворителем был спирт, жидкость помещают в делительную воронку и заливают дистиллированной водой. Спирт растворяется водой, а бромформ, освобожденный от спирта, накапливается в нижней части воронки и сливается через кран. Если промывание производилось бензолом, восстановление жидкости производится путем перегонки.

III. РАЗДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ПО МАГНИТНЫМ СВОЙСТВАМ

15892 Среди минералов тяжелой фракции обычно значительную часть составляют минералы, обладающие сильными магнитными свойствами. Такие минералы можно выделить в отдельную фракцию — магнитную (самородное железо, магнетит, титаномагнетит, ильменит, франклинит, пирротин). С этой целью тяжелую фракцию рассыпают тонким слоем на листке чистой бумаги или стеклянной пластинке. Затем конец обычного подковообразного магнита (или магнитного бруска) оборачивают папиросной бумагой и медленно проводят им по рассыпанному материалу. Приставшие к магниту минералы легко отделяются от него при извлечении магнита из бумаги. Эту операцию рекомендуется повторять два-три раза. Быстрее и совершеннее выделение сильномагнитных минералов может быть осуществлено с помощью многополюсного постоянного магнита системы А. Я. Сочнева. Порядок работы остается прежним.

Магнитные свойства некоторых минералов даны в таблицах 2, 3 и 4.

13462
Таблица 2
Восприимчивость магнитных минералов (по Берчу, Шереру и Спайсеру)

Минералы	Магнитная восприимчивость в единицах CGS (электромагнитных) на см ³	Напряженность намагничивающего поля в эрстедах
Магнетит	0,3—0,8	0,6
Пирротин Седбери	0,028	0,6
Пирротин	0,007	—
Ильменит	0,031	—
Ильменит	0,044	0,6
Спекулярит	0,004	0,6
Спекулярит	0,003	—
Франклинит	0,036	—

Относительная притягательная сила минералов (по Девису)¹

Минералы	Относительная притягательная сила	Минералы	Относительная притягательная сила
Железо	100	Сидерит	1,82
Магнетит	40,18	Гематит	1,32
Франклинит	35,88	Циркон	1,01
Ильменит	24,70	Лимонит	0,84
Пирротин	6,69	Корунд	0,83
Пирролизит	0,71	Халькопирит	0,14
Магнетит	0,52	Гипс	0,12
Каламин	0,51	Цинкит	0,10
Гранат	0,40	Флюорит	0,11
Кварц	0,37	Цеолит	0,10
Рутил	0,37	Киноварь	0,10
Церуссит	0,30	Куприт	0,09
Пираргирит	0,28	Ортоклаз	0,05
Аргентит	0,27	Смитсонит	0,07
Аурипигмент	0,24	Стибнит	0,05
Пирит	0,23	Криолит	0,05
Сфалерит	0,23	Энаргит	0,05
Молибденит	0,23	Галенит	0,04
Доломит	0,23	Цинкенил	0,04
Апатит	0,21	Кальцит	0,03
Виллит	0,21	Витерит	0,02
Тальк	0,15		

Если тяжелая фракция содержит, кроме сильномагнитных минералов, минералы среднемагнитные и со слабыми магнитными свойствами, то извлечение их производится при помощи электромагнита.

Существуют электромагниты разных систем, создающие электромагнитное поле различной силы, и электромагниты, напряженность электромагнитного поля которых может регулироваться пропусканием через его обмотку слабого или сильного тока. Благодаря этому можно выделить несколько электромагнитных фракций.

Обычно выделяют две электромагнитные фракции. Первая — при небольшой силе тока в обмотке электромагнита; выделяются среднемагнитные минералы: темноокрашенные амфиболы, пироксены, гранаты, темный турмалин, биотит, гематит, хромит, эпидот, вольфрамит, шпинель (пикотит), лимонит и некоторые другие. Вторая — при большой силе тока в обмотке электромагнита; выделяются следующие минералы: светлоокрашенные амфиболы, пироксены, гранаты, шпинель, ксенотим, монацит, ортит, пирохлор, сфен, светлый турмалин.

¹ Из работы И. А. Преображенского и С. Г. Саркисяна. Минералы осадочных пород, 1954.

Сильно-магнитные	Средне-магнитные	Слабо-магнитные	Немагнитные	
Железо Магнетит Титано-магнетит Пирротин Платина магнитная	Амфиболы (темноокрашенные) Биотит Вольфрамит Гематит Гранаты (темноокрашенные) Ильменит Колумбит-танталит Лимонит Пикотит Пироксены (темноокрашенные) Пирролизит Псилометан Самарскит Турмалин (темноокрашенный) Ферберит Фергюсонит Хромит Эпидот	Амфиболы (светлоокрашенные) Браннерит Гадолинит Гранаты (светлоокрашенные) Ксенотим Монацит Ортит Пироксены (светлоокрашенные) Пирохлор Сфен Турмалин (бледноокрашенный) Шпинели (светлоокрашенные)	Азурит Аксинит Алмаз Анастаз Андалузит Антимонит Арсенопирит Аурипигмент Бадделент Барит Бенитоит Берилл Бисмутит Браунит Брукит Ванадинит Везувин Висмутин Галенит Гессит Гюбнерит Золото Иридоосмин Касситерит Кианит Киноварь Клиноцоизит Кобальтин Корунд Малахит Медь Молибденит Олово	Палладий Перовскит Пирит Пироксен (бесцветный) Платина Распит Реальгар Рутил Свинец Серебро Сидерит Сидлиманит Смитсонит Сподомен Ставролит Сфалерит Топаз Торианит Торит Тремолит Фенакит Флюорит Халькозин Халькопирит Хризоберилл Церуссит Циркон Цоизит Шеелит Шпинель Эвклаз

Для электромагнитной сепарации применяется электромагнит системы Окунева или любой другой с регулируемой силой тока, имеющийся в лаборатории.

Разделение производится следующим образом: тяжелую фракцию рассыпают тонким слоем на стекле или листе толстой бумаги и подносят к полюсам электромагнита. Включив электромагнит, медленно передвигают стекло или бумагу под полюсами до тех пор, пока минералы перестанут притягиваться. Затем убирают бумагу с тяжелой фракцией, включают электромагнит и собирают электромагнитную фракцию на другой лист бумаги. Эту операцию необходимо повторить 2—3 раза. Полюсы магнита следует очищать

¹ Из работы Е. В. Копченовой. Минералогический анализ шлихов. Гостеолиздат, 1951.

от приставших минералов кисточкой после каждого разделения. Таким же путем выделяют и вторую электромагнитную фракцию.

Электромагнит системы Механобра позволяет вести непрерывную сепарацию минералов благодаря специальному приспособлению — движущимся вдоль полюсов лентам.

Таким образом, тяжелая фракция может быть разделена на четыре фракции: сильномагнитная, среднемагнитная, слабомагнитная и немагнитная.

В связи с тем, что содержание тяжелых минералов в осадочных породах обычно небольшое (десятые-сотые доли процента) и операция разделения очень трудоемкая, разделение по магнитным свойствам производится не всегда. Этот метод находит себе применение главным образом при исследовании шлихов (тяжелых концентратов, отмытых водой), причем разделение по магнитным свойствам при исследовании шлихов производится до разделения тяжелой жидкостью.

В последнее время предложены другие методы разделения: электростатическое разделение, диэлектрическая сепарация, электродиализ и т. п. Но все эти методы служат, как правило, для выделения чистого минерала из смеси, разделения смеси минералов и при массовой работе петрографа не применяются¹.

¹ Об электростатических методах разделения и электродиализе смотрите в книге «Современные методы минералогического исследования горных пород, руд и минералов» под редакцией Е. В. Рожковой. ВИМС, Госгеолтехиздат, 1957.

IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ В ИММЕРСИИ

1. ПОРЯДОК РАБОТЫ

Из выделенных тяжелой жидкостью легкой и тяжелой фракций изготавливаются препараты для микроскопического исследования. Порошок фракции тщательно перемешивают, небольшое количество его набирают на кончик покровного стекла и осторожно рассыпают тонким слоем на предметном стекле. Затем зерна накрывают покровным стеклом и вводят жидкость. При исследовании тяжелой фракции выгодно применять жидкость с показателем преломления 1,700, легкой фракции — с показателем 1,540—1,542. В жидкости с показателем преломления 1,700 сразу же удастся отделить ($n > 1,700$) корунд, дистен, ставролит, ксенотим, эпидот, монацит, сфен, анатаз, брукит, рутил, циркон, везувиан, гиперстен, хлоритоид, сидерит от большинства минералов группы пироксенов и амфиболов, турмалина, апатита, топаза, барита, андалузита, силлиманита, кальцита, доломита, биотита, ангидрита, целестина, мусковита и некоторых других ($n < 1,700$).

В жидкости с показателем преломления 1,540—1,542 легко отделяются ($n < 1,542$) полевые шпаты (ортоклаз, микроклин и кислые плагиоклазы), халцедон, гипс, опал от кварца и слюд ($n > 1,542$), что очень важно.

При наклонном положении столика микроскопа в таких препаратах, особенно когда диаметр частиц различный, зерна минералов часто переворачиваются и уплывают из поля зрения. Однако в этом есть и большое преимущество — возможность наблюдать один и тот же минерал в самых разнообразных сечениях.

Если почему-либо это нежелательно, готовят препараты с закрепленными зернами. Простейший способ изготовления такого препарата заключается в следующем: на порошок, рассыпанный по предметному стеклу, следует осторожно подышать, чтобы стекло запотело, затем подсушить на электрической лампочке. Мелкие зерна закрепляются таким способом довольно хорошо, зерна средних размеров — хуже, крупные — почти не закрепляются. Более надежное закрепление производится при помощи тонких пленок желатина, нанесенного предварительно на предметное стекло. На предметное стекло наносится тонкий слой желатина и просуши-

вается. Затем насыпают порошок, накрывают покровным стеклом и вводят жидкость.

Кроме временных, изготавливают постоянные препараты на канадском бальзаме или канифоли. Рассыпают фракцию на предметном стекле, накрывают покровным стеклом и на асбестовой прокладке помещают на электрическую плитку. Когда стекло разогреется, мелкие кусочки бальзама или канифоли кладут у края покровного стекла. Бальзам расплавляется и затягивается по капиллярному зазору между стеклами. Легким надавливанием иглы выгоняются пузырьки воздуха. Изготавливая препарат, следует избегать перегрева бальзама, так как это приводит к массовому проявлению пузырьков воздуха.

Исследование фракции начинается с просмотра препарата. Для этой цели лучше применять препаратоводитель и систематически просматривать весь препарат, перемещая его в вертикальном и горизонтальном направлениях.

При просмотре препарата отмечают, из каких типов минералов состоит фракция. Затем приступают к определению минералов. Порядок работы при этом обычный.

Сначала исследование производится при одном николе-поляризаторе¹ (плоское зеркало, николь и конденсор опущены ближе к зеркалу, увеличение любое, для определения показателя преломления увеличение 20 или 40). Определяются:

- 1) форма и размер зерен;
- 2) цвет минерала и плеохроизм;
- 3) спайность;
- 4) включения;
- 5) показатель преломления;
- 6) вторичные изменения минералов (выветривание).

Из всех этих определений, в общем довольно простых, заслуживает специального описания определение показателей преломления и плеохроизма. Для этого необходимы некоторые сведения из кристаллооптики.

Показатель преломления

При переходе света из одной среды в другую происходит преломление световых лучей. Угол между перпендикуляром к поверхности, на которую падает луч света, и самим лучом называется углом падения, а угол между тем же перпендикуляром и преломленным лучом называется углом преломления.

Скорость распространения света зависит от физических свойств среды. В вакууме скорость распространения света имеет максимальное значение $3 \cdot 10^{10}$ см/сек. В воздухе скорость распростране-

¹ Исследование производится попеременно при одном николе и с анализатором, наблюдение ведется (полоска Бекке, изменение окраски и др.) при одном николе-поляризаторе.

ния света меньше, но мало отличается от скорости распространения в вакууме, поэтому при определении показателей преломления все расчеты можно вести на воздушную среду.

Показатель преломления $n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2}$, где i — угол падения,

r — угол преломления, V_1 — скорость распространения света в воздухе, V_2 — скорость распространения света в исследуемой среде. Поскольку скорость света в воздухе всегда больше, чем в жидкой или твердой среде, показатель преломления всегда больше единицы ($n > 1$).

Только в вакууме скорость распространения света одинакова для различных длин световых волн. В любых других средах скорость распространения, а следовательно, и показатели преломления для разных длин волн различны. Это явление называется дисперсией света. Так, например, для каменной соли (NaCl) показатель преломления в красной части спектра [$\lambda_B = 687 \text{ мμ}$] 1,5394, для оранжевой и желтой части спектра [$\lambda_D = 589 \text{ мμ}$] 1,5443, для синей и фиолетовой — [$\lambda_G = 431 \text{ мμ}$] 1,5616 и т. д. Благодаря дисперсии показатели преломления могут значительно отличаться для одной и той же среды, поэтому необходимо указывать, для какой части спектра измерены показатели преломления. Обычно показатели преломления измеряют при длине волн 589 мμ.

Преломление света в кристаллах — двойное лучепреломление

Явление двойного лучепреломления впервые было установлено на кристаллах исландского шпата (прозрачная разновидность кальцита — CaCO_3).

Исландский шпат кристаллизуется в тригональной сингонии и имеет совершенную спайность по плоскостям ромбоэдра ($10\bar{1}1$). В ромбоэдре исландского шпата короткая диагональ является осью симметрии 3-го порядка (и одновременно оптической осью). Явление двойного лучепреломления в исландском шпате состоит в том, что луч света, попадая в кристалл исландского шпата, раздваивается. Один из раздвоенных лучей называется обыкновенным, другой — необыкновенным. Благодаря этому явлению все предметы, рассматриваемые через пластинку исландского шпата, выглядят по спайности, кажутся раздвоенными. Если такую пластинку положить на лист бумаги с изображением точки, то через кристалл мы увидим две точки (рис. 3, б). При вращении кристалла одна точка остается неподвижной, а другая вращается вместе с кристаллом, описывая окружность вокруг первой. Луч, дающий изо-

¹ Показатель преломления $n = \frac{V_1}{V_2}$, которым мы пользуемся при расчетах, является относительным. Абсолютным показателем преломления данной среды будет $n = C/V_2$, где C — скорость распространения света в вакууме.

бражение неподвижной точки, является обыкновенным, луч, дающий изображение вращающейся точки, — необыкновенным. Исследования обоих лучей показали, что они полностью поляризованы. Различают свет естественный и поляризованный. Как известно, свет представляет собой особый вид электромагнитных колебаний. В распространяющейся световой волне происходят поперечные колебания напряженностей электрического и магнитного полей. Плоскость, проведенная через световой луч и направление коле-

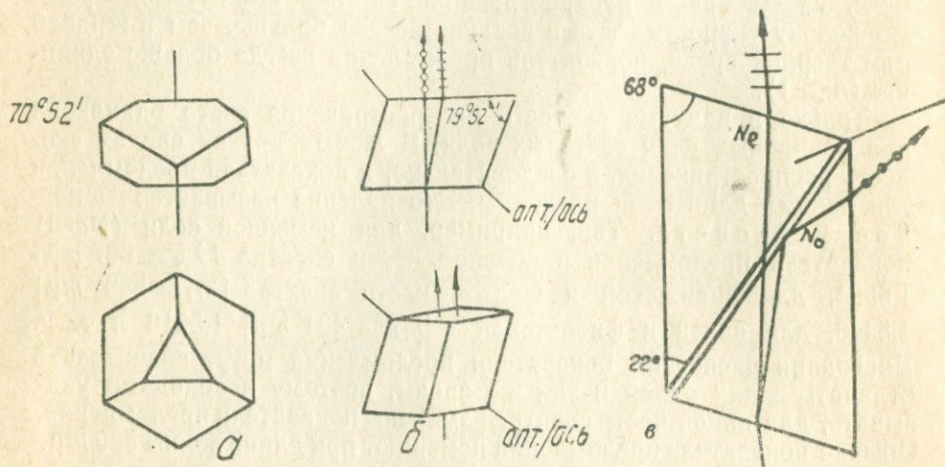


Рис. 3. Двупреломление в кристаллах исландского шпата:
а — кристалл, подшлифованный перпендикулярно оптической оси;
б — выкол по ромбоэдрической спайности; в — призма Николя.

баний вектора напряженности электрического поля, называется плоскостью колебаний. В естественном свете все время изменяется ориентация плоскости колебаний. В полностью поляризованном свете плоскость колебаний имеет только одну ориентацию. Однако если в ромбоэдре исландского шпата подшлифовать две треугольные грани базиса (0001) перпендикулярно к оси симметрии 3-го порядка, то, рассматривая через такой кристалл точку на листе бумаги, мы не обнаружим раздвоения, и исследование прошедшего луча покажет, что луч остается неполяризованным (рис. 3, а). Направление, по которому не происходит поляризации света и двойного лучепреломления, называется оптической осью кристалла.

Следовательно, кристалл исландского шпата ведет себя по отношению к свету по разным направлениям неодинаково, то есть представляет собой вещество оптически анизотропное. Оптически анизотропными являются кристаллы средних (гексагональной, квадратной, тригональной) и низших (ромбической, моноклинической и триклинической) сингоний. Кристаллы кубической сингонии, так же как стекло, сургуч и многие другие вещества, по отно-

шению к свету являются веществами изотропными (не обнаруживают двойного лучепреломления и поляризации).

Описанное свойство исландского шпата используется для получения поляризованного света. Прибор для получения поляризованного света называется призмой николя (рис. 3, в). Призма николя изготавливается из спайного ромбоэдра исландского шпата. Кристалл распиливается по короткой диагонали ромбоэдра, грани ромбоэдра подшлифовываются, затем склеиваются канадским бальзамом и помещаются в темную оправу. Обыкновенный луч ($n = 1,658$) испытывает полное внутреннее отражение от слоя канадского бальзама ($n = 1,538 \pm 0,002$) и погашается темной оправой. Через николь проходит только необыкновенный луч ($n = 1,536$) с колебаниями в плоскости главного сечения.

Величина двойного преломления $N_g - N_p$ определяется как разность между наибольшим и наименьшим показателями преломления кристалла. Исследуя кристаллическое вещество в шлифе, можно вычислить эту величину после измерения разности хода Δ , приобретаемой лучами в кристалле, и толщины кристалла (или шлифа) $\Delta = (N_g - N_p) d$.

При исследовании кристаллического вещества в иммерсии возможно непосредственное определение показателей преломления в соответствующих разрезах и вычисление $N_g - N_p$ простым вычитанием. Величина двупреломления зависит от свойств вещества¹, от характера разреза по отношению к оптической оси (причем максимальное двупреломление наблюдается в разрезах, параллельных оптической оси, в разрезах, перпендикулярных оптической оси, двупреломления не происходит).

Выбор необходимого разреза для измерения показателей преломления и вычисление двойного лучепреломления необходимо производить, основываясь на свойствах оптической индикатрисы кристалла.

Оптическая индикатриса

Построение индикатрисы. Выберем какую-либо точку внутри анизотропного кристалла. Будем пропускать через нее во всех направлениях лучи света. Из внутренней точки в определенном масштабе отложим показатели преломления (для необыкновенной и обыкновенной волны каждого луча в направлениях, перпендикулярных к лучам), чтобы середина отрезка, изображающего показатель преломления, совпадала с избранной нами точкой. Затем, соединив концы отрезков (показателей преломления), мы получим поверхность, которая в общем случае будет представлять собой трехосный эллипсоид. Эта поверхность получила название оптической индикатрисы, или просто индикатрисы.

Величина каждого радиуса-вектора индикатрисы выражает показатель преломления кристалла для тех волн, колебания которых

¹ Например, кварц (SiO_2) отличается низким двупреломлением — $N_g - N_p = 0,009$, а кальцит (CaCO_3) — высоким — $N_g - N_p = 0,172$.

совершаются в направлении этого вектора, а распространение луча происходит в направлении, приблизительно или точно перпендикулярном данному вектору.

Индикатриса анизотропного кристалла представляет собой трехосный эллипсоид или двусосный эллипсоид (эллипсоид вращения), когда две из трех осей его равны между собой.

Индикатриса изотропных кристаллов (кристаллы кубической сингонии) имеет форму шара, который можно рассматривать как частный случай эллипсоида, когда все три оси равны друг другу.

Индикатриса — эллипсоид с тремя неравными осями

Эллипсоид с тремя неравными осями имеет следующие элементы симметрии: C , $3g_2$, $3p$. Три оси симметрии второго порядка являются главными осями эллипсоида. Меньшая из них обозначается

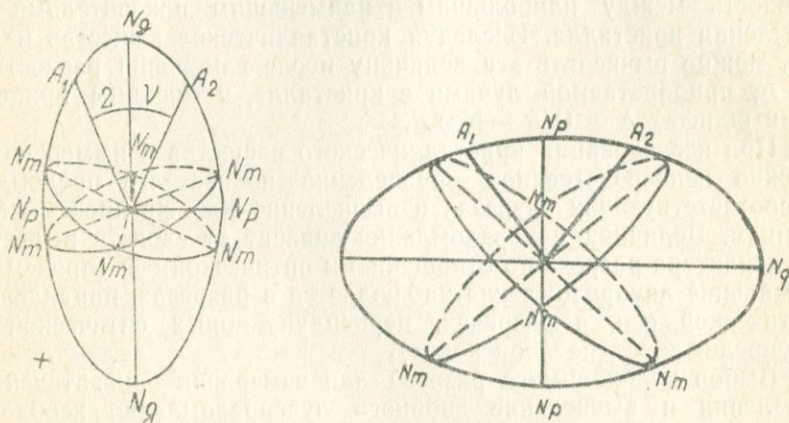


Рис. 4. Оптическая индикатриса двусосного кристалла: слева положительного, справа отрицательного.

N_p (α), средняя N_m (β) и большая N_g (γ) (рис. 4). Оси эллипсоида представляют, как это видно из вышеизложенного, показатели преломления. Разность между величиной наибольшего показателя преломления N_g и величиной наименьшего показателя преломления N_p дает количественную характеристику двойного лучепреломления.

Сечения эллипсоида представляют собой эллипсы, за исключением двух круговых сечений. Рассекая эллипсоид плоскостями, проходящими через ось N_m , будем получать эллипсы, у каждого из которых одной осью будет ось N_m , а другой — какое-то направление в плоскости $N_g N_p$. Так как $N_g > N_m$, а $N_m > N_p$, то можно в плоскости $N_g N_p$ найти вектор, равный N_m . Проведя сечение через этот вектор и ось N_m , получим эллипс, обе оси которого равны, то есть окружность. Вследствие симметрии эллипсоида таких круговых сечений будет два.

Луч света, распространяющийся по нормали к круговому сечению, не поляризуется, а поляризованный свет не изменяет направ-

ления колебаний. Из равенства всех радиусов-векторов кругового сечения следует, что показатели преломления кристалла для всех колебаний, совершающихся в плоскости кругового сечения, равны. Следовательно, здесь не происходит двойного лучепреломления. Таким образом, нормаль к круговому сечению является оптической осью кристалла. Поскольку рассмотренный эллипсоид имеет два круговых сечения, то имеется и две оптических оси. Обе оптические оси располагаются в плоскости Ng Np (плоскость оптических осей). Угол между ними обычно обозначают $2V$. Оси индикатрисы Ng и Np являются биссектрисами углов между оптическими осями. Различают острую биссектрису (делит пополам острый угол) и тупую (делит пополам тупой угол).

Если острой биссектрисой является ось Ng , индикатриса имеет форму вытянутого эллипсоида и кристалл называется оптически положительным (рис. 4), если же острой биссектрисой является ось Np — оптически отрицательным.

Оптическая индикатриса в виде трехосного эллипсоида наблюдается в кристаллах низших сингоний (ромбической, моноклинной и триклинной). Эти кристаллы называются также двuosными (по наличию двух оптических осей).

Оптическая индикатриса — эллипсоид вращения

Частным случаем трехосного эллипсоида является двuosный эллипсоид, где две оси из трех равны друг другу, или эллипсоид вращения. Такой эллипсоид имеет одну главную ось (ось вращения). Сечение, перпендикулярное к главной оси, представляет собой окружность. Каждый радиус, ее является для эллипсоида осью симметрии второго порядка, каждая плоскость, проведенная через главную ось, — плоскостью симметрии. Плоскостью симметрии является также плоскость, перпендикулярная к главной оси. Главная ось эллипсоида представляет собой в то же время оптическую ось, так как она перпендикулярна круговому сечению. Оптическая ось здесь только одна. Поэтому кристаллы, имеющие индикатрису такого характера, называются одноосными.

Показатели преломления одноосного кристалла имеют два главных значения: одно — соответствующее оси вращения, другое — диаметру кругового сечения. Большее из них будем называть, так же как и в двuosных кристаллах, Ng , меньшее — Np . Разность $Ng - Np$ характеризует величину двойного лучепреломления. Если осью вращения является ось Ng (индикатриса имеет форму вытянутого эллипсоида), кристаллы называются оптически положительными, если же осью вращения является ось Np (индикатриса имеет форму сплюснутого эллипсоида) — оптически отрицательными (рис. 5). В случае положительного кристалла Ng является показателем преломления для необыкновенного луча (Ne), а Np — для луча обыкновенного (No). В случае отрицательного кристалла, наоборот, $Ng = No$, а $Np = Ne$.

Индикатриса описанного характера наблюдается в кристаллах средних сингоний (гексагональная, квадратная и тригональная сингонии).

Индикатриса — шар. Любое сечение такой индикатрисы представляет собой окружность, а значит любое направление является оптической осью. Поэтому в этом случае нет направлений, где бы происходило двойное лучепреломление. Такой характер имеет индикатриса в кристаллах кубической сингонии и в веществах аморфных — некристаллических, в оптическом отношении изотропных.

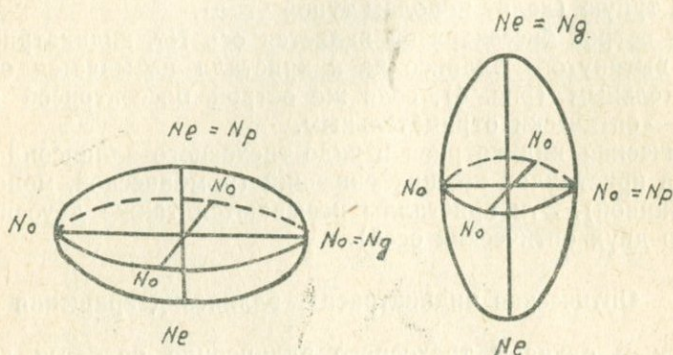


Рис. 5. Оптическая индикатриса одноосных кристаллов.

Ориентировка индикатрисы в кристаллах различной сингонии

В кристаллах средних сингоний оптическая ось (ось вращения) всегда совпадает с их главными осями симметрии $g_3, g_4, g_6, g'_4, g'_6$. Ориентировка индикатрисы для лучей различной длины волны в них одинакова. Дисперсию испытывают только показатели преломления и величина двойного лучепреломления.

В кристаллах ромбической сингонии оси эллипсоида всегда совпадают с кристаллографическими осями (точнее с осями симметрии). С осями N_g, N_m и N_p в различных минералах могут совпадать разные кристаллографические оси — $(001) — c, (010) — b, (100) — a$, таким образом, что плоскость оптических осей в различных минералах совпадает то с первым, то со вторым, то с третьим пинакоидами.

В ромбических кристаллах, кроме дисперсии показателей преломления (и двупреломления), наблюдается также дисперсия оптических осей.

В моноклинных кристаллах одна из осей эллипсоида (обычно N_m) всегда совпадает со второй кристаллографической осью $(010) — b$, две другие находятся в плоскости второго пинакоида, образуя в нем косые углы (углы погасания данного минерала) с первой (a) и третьей (c) кристаллографическими осями. В мо-

ноклинных кристаллах наблюдается дисперсия показателей преломления, дисперсия оптических осей и биссектрис.

В триклинных кристаллах оси эллипсоида не совпадают с кристаллографическими и образуют с ними углы (углы погасания данного минерала), служащие важным диагностическим признаком триклинных кристаллов. В триклинных кристаллах наблюдается дисперсия преломления, дисперсия оптических осей и дисперсия главных осей индикатрисы.

Определение минералов при помощи поляризационного микроскопа сводится к определению характера индикатрисы, ее параметров и ориентировки индикатрисы в кристалле (относительно кристаллографических осей и закономерно связанных с ними граней кристалла, двойниковых швов, спайных поверхностей и т. п.).

Изложенные выше сведения суммированы в таблице (таблица 5). В последней графе таблицы «Оптические константы» помещены те параметры, определение которых необходимо для диагностики минералов.

Определение показателей преломления

На границе раздела двух сред с различными показателями преломления (минерал—канадский бальзам, минерал—иммерсионная жидкость) наблюдаются следующие оптические явления:

- 1) внутреннее отражение;
- 2) преломление лучей;
- 3) дифракция;
- 4) дисперсия света.

Все эти явления обуславливают отклонение лучей света в сторону высокопреломляющей среды и разложение полихроматического¹ света (дневного света или света от электрической лампочки) на его составляющие (цвета спектра). Наибольшее значение имеет преломление и полное внутреннее отражение (рис. 6).

В результате на стороне высокопреломляющей среды появляется полоска, более ярко освещенная по сравнению с соседними участками (полоска Бекке).

При подъеме тубуса микроскопа полоска перемещается в сторону высокопреломляющей среды — положительный эффект. При опускании — полоска перемещается в сторону низкопреломляющей среды — отрицательный эффект.

Когда показатели преломления двух соприкасающихся сред равны, полоска более интенсивной освещенности в монохроматическом² свете исчезает и граница раздела двух сред, если она ничем не загрязнена, не видна. В полихроматическом свете, с которым приходится работать минералагам, в этот момент появляется цветная реакция — полоска приобретает радужную окраску. При подъеме тубуса микроскопа красная полоска перемещает-

¹ Полихроматический свет — свет с набором различных длин волн.

² Монохроматический свет — свет с определенной длиной волны.

Геометрические свойства		О п т и ч е с к и е	
Сингония	Симметрия	Свойства по отношению к свету	Форма индикатрисы
Кубическая	Больше одной оси высшего порядка	Изотропны	Шар
Гексагональная	Одна ось высшего порядка	Анизотропны	Эллипсоид вращения (одноосные)
Квадратная	Одна ось высшего порядка	"	"
Тригональная	Одна ось высшего порядка	"	"
Ромбическая	три — три оси второго порядка три — одна ось второго порядка	"	Трехосный эллипсоид (двуосные)
Моноклиническая	три — одна ось второго порядка три — нет осей, симметрии	"	"
Триклиническая	Нет ни осей, ни плоскостей симметрии	"	"

ся на высокопреломляющую среду, а синяя — на низкопреломляющую. Причем подвижность полосок одинакова (рис. 7, б).

При опускании тубуса микроскопа красная полоска перемещается на низкопреломляющую среду, синяя — на высокопреломляющую.

В нашем случае, когда мы имеем дело с твердыми средами — минералами и жидкими средами — иммерсионными жидкостями (обычно органические соединения), это явление можно объяснить значительной разницей между величинами дисперсии иммерсионных жидкостей и минералов (рис. 7).

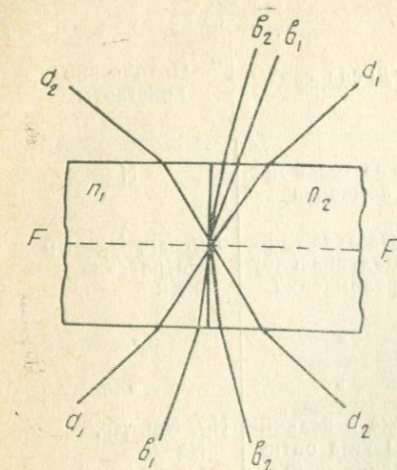
Если одна из полосок, например синяя, остается неподвижной, то достигнуто равенство показателей преломления двух сред для синей части спектра (рис. 7, а), соответственно при неподвижной красной полоске — для красной части спектра (рис. 7, в).

Оптический знак	Ориентировка индикатрисы	Дисперсия	Оптические константы
—	—	Показателей преломления	N
Индикатриса вытянута +, сплюснута —	Оптическая ось совпадает с осью симметрии высшего порядка	Показателей преломления и дву- преломления	Ng, Np, Ng—Np Оптический знак
"	"	"	"
"	"	"	"
Индикатриса вытянута +, сплюснута —	Все оси индикатрисы совпадают с кристаллографическими осями или с перпендикулярами к плоскости симметрии	То же и величины угла оптических осей	Ng, Nm, Np, Ng—Np Оптический знак 2V
"	Одна ось индикатрисы совпадает с кристаллографическими осями (обычно Nm—b) или с перпендикуляром к плоскости симметрии	То же и биссектрис (оси Ng и Np) или оси Nm и одной из биссектрис	То же и угол косого погасания по отношению к двум осям индикатрисы
"	Оси индикатрисы не совпадают с кристаллографическими осями	То же и положения осей оптической индикатрисы	То же и угол косого погасания (во всех разрезах)

Определение показателя преломления сводится к подбору такой среды, в которой он заранее известен и равен показателю преломления минерала. Точное его определение возможно только в иммерсии (с точностью $\pm 0,001-2$), в шлифах же можно говорить только о том, что показатель преломления минерала больше, равен или меньше показателя канадского бальзама (n канадского бальзама $1,538 \pm 0,002$).

Итак, определение показателей преломления сводится к подбору жидкости с показателем, равным преломлению исследуемого вещества (минерала). При определении показателей преломления аморфных минералов и минералов кубической сингонии (изотропных) измерению подлежит одна единственная константа — показатель преломления (n).

Порядок работы следующий: порошок минерала помещается на предметное стекло, накрывается покровным стеклом и в капиллярный зазор между стеклами вводится какая-либо жидкость. При-



$$n_2 > n_1$$

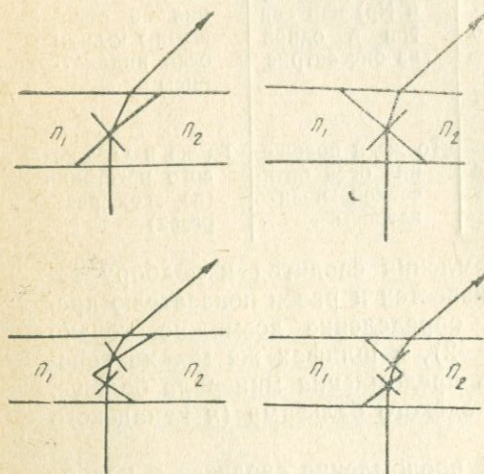


Рис. 6. Явления, происходящие на границе раздела двух сред: сверху — явление полного внутреннего отражения, внизу — отклонение луча в сторону высокопреломляющего вещества при разном положении границы раздела.

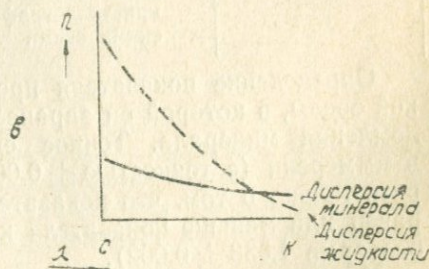
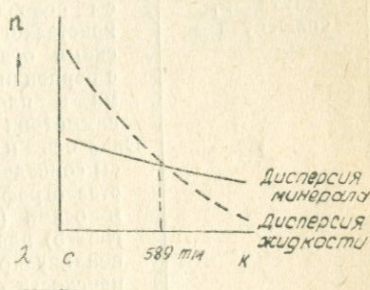
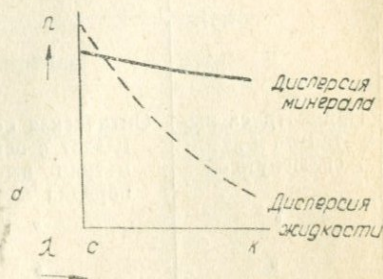


Рис. 7. Причина появления окрашенной полоски Бекке (по В. Б. Таттарскому).

готовленный таким путем препарат рассматривается под микроскопом. Наблюдая поведение полоски Бекке, устанавливают соотношения показателей преломления минерала и жидкости. Если показатель преломления жидкости больше или меньше показателя преломления минерала, жидкость меняют.

При наличии большого количества исследуемого вещества готовится другой препарат, если же вещества мало, то при помощи фильтровальной бумаги вытягивают старую жидкость и вводят новую¹. Эту операцию повторяют до тех пор, пока будет подобрана жидкость с преломлением, равным показателю преломления минерала. Попутно следует обращать внимание на окраску, спайность и другие свойства минерала.

При определении оптических констант анизотропных одноосных минералов необходимо наблюдать полоску Бекке не при случайном положении кристалла, а поставив его на погасание. Прделав это и выдвинув анализатор, наблюдаем полоску Бекке, обусловленную одним из показателей преломления данного сечения. Повернув затем кристалл на 90° (второе погасание), наблюдаем второй показатель преломления этого сечения.

Таким образом определяют какие-то величины Ng' и Np' . Однако для диагностики минералов нужны не промежуточные, а главные показатели преломления Ng и Np , находимые в определенных разрезах. Эти данные приведены в таблице 6.

Таблица 6 (по В. Б. Татарскому)

Знак кристалла Разрезы	+		—	
	o^2	e	o	e
Перпендикулярные к оптической оси (изотропные)	Np	—	Ng	—
Косые	Np	Ng'	Ng	Np'
Параллельные оптической оси (с максимальной величиной двупреломления)	Np	Ng	Ng	Np

Из этой таблицы видно, что в любых разрезах одноосных положительных кристаллов можно измерить полную величину Np , а отрицательных — Ng . Второй показатель преломления можно определить в разрезах с наиболее высокой интерференционной окраской (параллельных оптической оси).

При работе с анизотропными — двuosными кристаллами поступают точно так же, но найти определенные ориентированные разрезы здесь еще более сложно. Благодаря тому, что в двuosных минералах имеется три главных показателя преломления Ng , Nm

¹ Такая операция допускается в случае достаточно большого количества жидкости в препарате — при работе с полным покровным стеклом. Если же применяют мелкие обломки покровного стекла, перед введением новой жидкости следует промыть препарат спиртом.

² o — обыкновенный луч, e — необыкновенный.

и N_p , для определения всех показателей преломления необходимо минимум два ориентированных зерна.

В таблице 7 показано, какие показатели преломления могут быть измерены в ориентированных разрезах двусосных кристаллов.

Таблица 7 (по В. Б. Татарскому)

Разрезы \ Знак кристалла	+			—		
	т. б ¹	Nm	о. б.	т. б.	Nm	о. б.
Перпендикулярно оптической оси (изотропные разрезы)	—	Nm	—	—	Nm	—
Перпендикулярно острой биссектрисе	N_p	Nm	—	Ng	Nm	—
Перпендикулярно тупой биссектрисе	—	Nm	Ng	—	Nm	N_p
Перпендикулярно Nm (разрезы с максимальным двупреломлением)	N_p	—	Ng	Ng	—	N_p
Косые разрезы	N_p'	—	Ng'	Ng'	—	N_p'

Выше были рассмотрены условия определения показателей преломления, когда зерна в препаратах имели достаточно большие размеры и полоска Бекке наблюдалась без особых затруднений. Если зерна мелкие (диаметром менее 0,001 мм), поступают следующим образом. Фокусируя (объектив 40,60), можно добиться, что в определенном положении зерно становится темным.

Если показатель преломления зерна больше показателя преломления жидкости, при подъеме тубуса микроскопа зерно просветляется, при опускании — с зерна на жидкость идет светлая каемка, при этом размеры темного зерна как бы несколько уменьшаются. Если показатель преломления зерна меньше показателя преломления жидкости, то наблюдается обратная картина (рис. 8). Этим же способом можно пользоваться при работе с меньшим увеличением и более крупными зернами, когда края зерен загрязнены и условия наблюдения полоски Бекке неудовлетворительны.

В иммерсионном методе наиболее трудоемкая операция — смена жидкостей, особенно, когда количество вещества ограничено. Это затруднение частично можно преодолеть, пользуясь методом двойной вариации — термической и хроматической, то есть используя изменение показателей преломления от нагревания и охлаждения жидкостей и дисперсию их показателей преломления. Метод двойной вариации имеет и другие преимущества: возможность изучения дисперсии минералов, более точное определение показателей преломления. Так, например, иодистый метилен (CH_2I_2) при $T\ 24^\circ$ для длины волны 589 $m\mu$ имеет показатель преломления 1,740, при $T\ 50^\circ$ и той же длине волны — 1,720, при $T\ 50^\circ$ и длине волны 660 $m\mu$ — 1,710, и, наконец, при $T\ 50^\circ$ и длине волны 480 $m\mu$ — 1,749.

¹ т. б. — тупая биссектриса, о. б. — острая биссектриса.

Таким образом, в интервале T от 24 до 50° и длины волны света от 480 до 660 $m\mu$ изменение показателей преломления достигает значительной величины ($1,749 - 1,710 = 0,039$), что дает возможность определения всех показателей преломления в минералах с низким и средним двойным лучепреломлением в одной и той же жидкости.

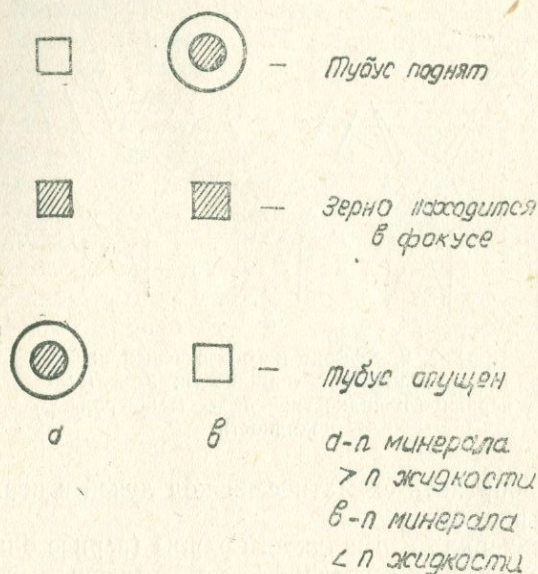


Рис. 8. Определение показателей преломления в тонких зернах (по В. Б. Татарскому).

Для работы методом двойной вариации имеются высококачественные отечественные приборы — нагревательный столик с микрорефрактометром и набор светофильтров (для получения монохроматического света), предложенные Н. Меланхолиным [69].

Однако описанный метод все еще является весьма громоздким и недоступным при массовой работе минералогов-петрографов. Более широкое распространение получил метод хроматической вариации, но и он из-за отсутствия светофильтров в настоящее время применяется мало.

Другие методы определения показателей преломления

Метод косого освещения

Эффект косого освещения можно получить, применяя ассиметричный световой пучок. С этой целью на пути распространения лучей ставят непрозрачный экран (проще всего слегка вдвинуть анализатор или кварцевую пластинку в прорез тубуса микроскопа над объективом), загораживающий половину пучка. Рассматривая

иммерсионный препарат, обнаружим, что на зернах минералов с $n > n$ жидкости появится тень со стороны экрана, а на зернах, имеющих $n < n$ жидкости, — со стороны, противоположной экрану.

Сущность этого явления будет ясна, если допустить, что первые зерна представляют собой собирающую линзу, а вторые — рассеи-

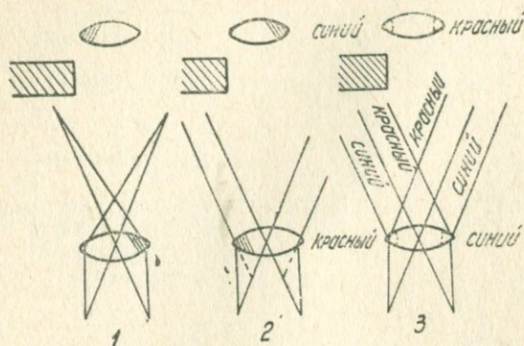


Рис. 9. Эффект косого освещения:
1 — n минерала $> n$ жидкости; 2 — n минерала $< n$ жидкости; 3 — n минерала $\approx n$ жидкости.

вающую, и изобразить схематически ход лучей в первом и втором случаях (см. рис. 9).

Когда n минерала и n жидкости равны (вернее близки — совпадают для средней части спектра — желто-зеленые лучи), в полихроматическом свете появляется цветная реакция: сторона зерна, обращенная к экрану, окрашивается в синий цвет, а край зерна, расположенный на противоположной стороне от экрана, — в красный цвет.

Если экран поместить ниже исследуемого зерна под столиком микроскопа над поляризатором, картина распределения теней будет обратная.

Чувствительность этого метода несколько меньше, чем наблюдение полосы Бекке. Для повышения чувствительности предложен метод двойного диафрагмирования под зерном и над зерном. Эффект, получающийся при двойном диафрагмировании, такой же, как при фокальном экранировании (см. ниже).

Методы косого освещения применяются для подсчета минералов в смесях, состоящих из небольшого количества минералов. Например, легкая фракция породы состоит из кварца, полевого шпата и слюды. Приготовив препарат в жидкости 1,544—1,553 и вдвинув слегка оправу анализатора, будем наблюдать, что кварцевые зерна имеют цветную реакцию, слюда — тень со стороны заслонки, полевой шпат — тень на противоположной стороне. Эффект наблюдается на всех зернах каждого минерала, поэтому подсчет содержания минералов не представляет трудности.

Кольцевое экранирование

Если в фокальной плоскости объектива поместить кольцевой экран, который закроет доступ лучам, отклоненным краями кристалла (при данной разности показателей кристалла и жидкости), то края зерен будут темными, а внутренние их части будут освещены так же, как поле зрения.

При равенстве показателей преломления двух сред лучи освещаемого пучка не будут отклонены на преломляющих поверхностях кристалла, а пройдут через свободное от экрана отверстие фокальной поверхности объектива. При этом зерна будут освещены равномерно.

Все это справедливо для монохроматического света. Если же применять полихроматический свет, то при совпадении показателей преломления для какой-либо длины волны видимого спектра на краях зерен появится цветная каемка. Окраска каемки соответствует длине волны, для которой показатели преломления кристалла и жидкости совпадают (см. рис. 10, экран 1).

Кольцевое экранирование позволяет осуществлять хроматическую вариацию без применения монохроматора, а также определять осность и знак минерала по характеру цветной окраски вокруг его зерен. Так как в одноосных минералах в одном из положений погасания проявляется No, такие минералы будут характеризоваться постоянством какой-либо одной окраски на всех зернах в одном из положений погасания. Если постоянство наблюдается для Nr — минерал положительный, если для Ng — отрицательный и т. д.

Для кольцевого экранирования необходимы объективы со специальной ирис-диафрагмой в фокальной плоскости. Точность измерений показателей преломления этим методом равна 0,001—0,002.

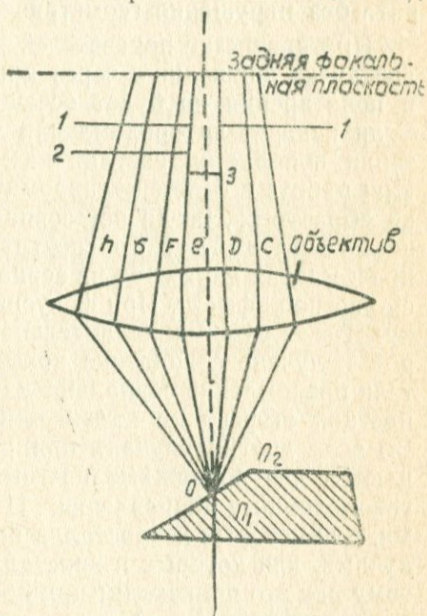


Рис. 10. Спектр, образуемый лучами белого света в задней фокальной плоскости объектива (показатели преломления двух сред совпадают для средней части спектра):

1 — положение экрана при кольцевом экранировании; 2 — одностороннем экранировании; 3 — центральном экранировании.

При центральном экранировании на верхнюю поверхность объектива 8 или на свободную поверхность пластинки анализатора (при работе с объективом 3,7) наносится экран — непрозрачная точка диаметром около 1 мм. Этот экран будет задерживать лучи, проходящие через кристаллическое зерно иммерсионного препарата без нарушения геометрического хода (рис. 10, экран 3).

При равенстве показателей преломления кристалла и жидкости все лучи, прошедшие через кристалл, будут задержаны экраном, и поле зрения не будет освещено (в монохроматическом свете). Если показатели преломления двух сред не совпадают, на краях зерна появляется светлая каемка и сами зерна просветляются. При работе в белом полихроматическом свете такая светлая каемка образуется, когда нет совпадения показателей преломления во всей области видимого спектра. В случае равенства показателей преломления двух сред на зернах исследуемого вещества появляется цветной эффект. При фокусировании на препарат окраска краев кристалла будет дополнительной к той области спектра, для которой получено совпадение показателей преломления. Если показатели преломления совпадают для крайних цветов видимого спектра, цветной эффект не изменяется при расфокусировке микроскопа. Во всех других случаях при расфокусировке микроскопа наблюдаются две подвижные цветные каемки, перемежающиеся в противоположных направлениях. Цвет одной полосы обусловлен лучами, для которых n кристалла больше n жидкости, а цвет другой — лучами, для которых n кристалла меньше n жидкости (аналогично тому как это происходит при обычной работе в иммерсии — наблюдение полосы Бекке).

Центральное экранирование также позволяет пользоваться методом хроматической вариации без монохроматического света.

Одностороннее экранирование

При одностороннем экранировании, так же как при кольцевом, необходим объектив с ирис-диафрагмой в фокальной плоскости.

Для получения одностороннего экранирования узкий (от диафрагмированного осветителя ОИ-9) пучок света, отраженный от плоского зеркала, направляется в правую или левую сторону от оптической оси микроскопа (проверяется линзой Бертрана при отсутствии окуляра), затем закрывается почти до предела ирис-диафрагма в фокальной плоскости объектива. Изображение источника света должно быть прикрыто экраном — диафрагмой.

Когда показатели преломления двух сред не равны (монохроматический свет), при перемещении экрана в фокальной плоскости от периферии к центру наблюдается потемнение зерна с какой-либо одной стороны, при дальнейшем передвижении экрана это потем-

нение будет распространяться дальше от края зерна. Другая часть зерна останется светлой. Поле зрения и участки зерен, расположенные у середины, потемнеют (серое поле). При продвижении экрана за точку, в которой сходятся лучи, проходящие через препарат без отклонения, поле зрения станет темным, а на одном из краев зерна появится светлая полоска.

В случае равенства показателей преломления двух сред зерна будут гаснуть равномерно вместе с полем зрения по мере продвижения экрана. Если препарат освещается белым светом, то при равенстве показателей преломления двух сред наблюдается цветной эффект. Характер эффекта зависит от того, в какой области спектра произошло совпадение показателей преломления, и от положения экрана в фокальной плоскости объектива (см. рис. 10, экран 2).

При темном поле на одной стороне зерна появляется окраска, обусловленная лучами с длинами волн, для которых показатель преломления зерна больше, а с другой стороны меньше, чем для жидкости.

В сером поле (неполно прикрытая диафрагма) к каждой из этих окрасок будут примешиваться лучи с длиной волны, для которой показатели преломления двух сред совпадают.

Эффект, получаемый при одностороннем экранировании, не отличается от эффекта двойного диафрагмирования.

Точность метода при работе в монохроматическом свете 0,0001—0,0002.

Описанные методы имеют некоторые преимущества по сравнению со старым вариантом — наблюдение полоски Бекке. Они могут принести пользу при подсчете смеси, состоящей из небольшого количества минералов (на всех зернах интересующего нас минерала наблюдается один и тот же эффект), например, анализ минутников (корундовых порошков), подсчет зерен в легкой фракции и т. п.

Методы кольцевого и одностороннего экранирования дают более высокую точность и могут быть рекомендованы при ответственных измерениях.

Однако следует подчеркнуть, что эти методы должны применяться в комплексе со старым (наблюдения полоски Бекке до тех пор, пока не будет получен цветной эффект) и что они не применимы при исследовании очень тонких зерен ($d < 0,02$ — $0,03$ мм).

В заключение приведем список наиболее употребляемых иммерсионных жидкостей (табл. 8 и 9).

Кроме иммерсионных жидкостей, для определения показателей преломления высокопреломляющих минералов применяют специальные сплавы: сплавы пиперина с иодидами мышьяка и сурьмы ($n=1,68$ — $2,10$), сплавы серы с селеном ($n=2,0$ — $2,7$), сплавы хлоридов таллия и другие (см. работы [35, 56, 65, 94, 124, 125 и др.]).

Жидкость	n_D при 20°	$\frac{dn}{dt}$	Темпера- тура ки- пения, °C	$n_{C и}$ n_F	Примечание	
Метиловый спирт	1,329	0,00049	66	1,477 1,484	Окисляется	
Ацетон	1,360		56,5			
Паральдегид	1,404					
Этилмоноклорацетат . .	1,422					
Хлороформ	1,445		61,5			
Левандовое масло	1,462	0,00046	188	1,521 1,536 1,529 1,545	Окисляется	
Буковое масло	1,473					
Касторовое масло	1,480		265			
Цимол	1,490		175			
Толуол	1,500		110			
Кедровое масло	1,504	0,00047	237	1,577 1,592 1,617	Окисляется	
	—1,516					
Монохлорбензол	1,528		132			
Укропное масло	1,529		188			
	—1,535					
Гвоздичное масло	1,544	0,00045	253	1,578 1,598 1,592 1,617	Светочувстви- тельная Светочувствитель- ная, окисляется, очень большая дисперсия	
Нитробензол	1,552		209			
Коричноэтиловый эфир	1,560		271			
Ортотолуидин	1,571		198			
Анилин	1,583		138			
Бромформ	1,596	0,00057	207 — 151	1,578 1,626	Светочувствитель- ная, окисляется, очень большая дисперсия	
Коричное масло	1,585					
	1,619					
α -монохлорнафталин . .	1,635	0,00053	188	1,626	Светочувстви- тельная	
α -монобромнафталин . .	1,659	0,00051	102	1,652		
α -поднафталин	1,701	0,00048	181	1,650		
Иодистый метилен	1,743					
Насыщенный раствор серы в иодистом ме- тилене	1,783			1,677		

Показатель преломления иммерсионных жидкостей со временем изменяется, в связи с чем необходима периодическая проверка жидкостей на рефрактометре (1—2 раза в год).

В большинстве рефрактометров, предназначенных для определения показателей преломления жидкости, используется явление полного внутреннего отражения при переходе света из более плотной среды в менее плотную.

№ п/п	Метиле- нидид, г	S, г	AsBr ₃ , г	10-процентный раствор S в AsBr ₃ , г	AsS ₂ , г	n_D при T 25°
1	174,6	—	—	5,4	—	1,742
2	158,4	—	—	21,6	—	1,753
3	143,1	—	—	36,9	—	1,762
4	127,8	—	—	52,2	—	1,771
5	108,9	—	—	71,1	—	1,781
6	87,3	—	—	92,7	—	1,792
7	60,3	—	—	119,7	—	1,801
8	21,6	—	—	158,4	—	1,811
9	—	10	90	—	—	1,814
10	—	20	60	—	20	2,003

Примечание. Жидкости 1—8 имеют дисперсию от $96 \cdot 10^{-4}$ (№ 1) до $174 \cdot 10^{-4}$ (№ 10). Температурный коэффициент $\pm 0,001$ (№ 1—8) и $\pm 0,003$ (№ 9—10). После стояния в течение одного месяца жидкости изменяются. Жидкости № 9 и № 10 смешиваются в любых пропорциях. Смеси AsBr₃, AsS₂ и Se дают показатель преломления 2,10. Рецепт жидкостей предложена Ларсеном и Мееровичем.

Принципиальная схема таких приборов дана на рис. 11. В настоящее время нашей отечественной промышленностью

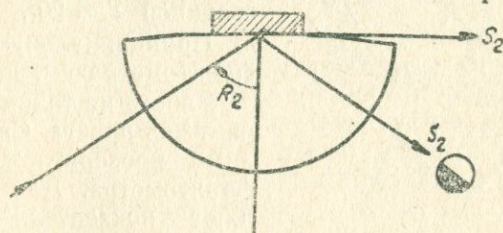


Рис. 11. Схема рефрактометров, в которых используется явление полного внутреннего отражения при переходе света из более плотной среды в менее плотную: внизу полусфера из высокопреломляющего стекла, вверху измеряемое вещество, R_2 — угол полного внутреннего отражения.

выпускается несколько типов рефрактометров, из которых два (ИРФ-22 и ИРФ-23) пригодны для определения показателей преломления иммерсионных жидкостей.

Рефрактометр ИРФ-22 дает возможность определять показатели преломления жидкостей от 1,300 до 1,700 с точностью 0,0002, ИРФ-23 — до 1,790 с точностью до двух единиц в пятом знаке. В рефрактометре ИРФ-22 лучи света проходят в обратном на-

правлении из среды менее плотной (осветительная призма с матовой поверхностью и жидкость) в более плотную (измерительная призма с высоким показателем преломления). Таким образом, здесь используется измерение угла предельного преломления.

По закону преломления $n \sin i = N \sin r$, где

n — показатель преломления жидкости;

i — угол падения луча;

N — показатель преломления измерительной призмы;

r — угол преломления луча.

$\sin r = \frac{n \sin i}{N}$; с увеличением угла i угол r также увеличи-

вается, достигая максимального значения при $i = 90^\circ$, то есть когда падающий луч скользит по поверхности. Максимальное значение угла преломления луча, соответствующее углу падения 90° , оказывается предельным углом преломления. Подставляя значение $\sin 90^\circ$ в предыдущее уравнение, получим $\sin r = \frac{n}{N}$; следовательно, $n = N \sin r$.

Измерительная призма рефрактометра соединена со шкалой, проградуированной на показатели преломления. Рефрактометр снабжен термометром и охлаждающим устройством, что позволяет производить измерения при постоянной $T = 20^\circ$.

Принципиальную схему рефрактометра см. на рис. 12.

Работа на таком рефрактометре очень проста. Сначала необходимо проверить юстировку рефрактометра. Для этого определяют показатель преломления юстировочной пластинки при 20° . Если точность определения равна 0,0003, юстировка не нарушена, при отсутствии такой точности устанавливают на шкале отсчет, равный показателю пластинки, и границу раздела подгоняют при помощи винта. Затем можно приступить к определению показателей преломления жидкости.

Стеклянной палочкой наносят несколько капель жидкости на поверхность измерительной призмы N , осторожно закрывают головку. Вращая головку при помощи маховичка, находят раздел света и тени в окуляре зрительной трубы. Винтом устраняют цветную кайму границы раздела. Затем совмещают границу раздела

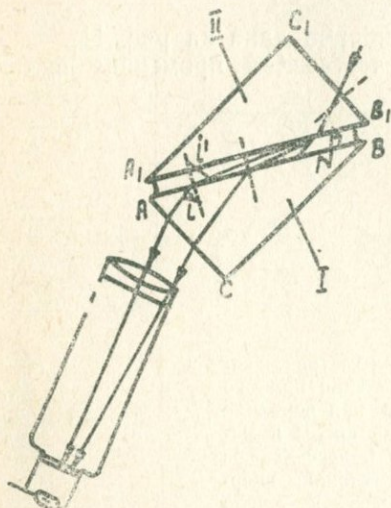


Рис. 12. Схема рефрактометра ИРФ-22:

II — осветительная призма; I — измерительная призма; i — предельный угол преломления.

с центром поля зрения и снимают отсчет по шкале показателей преломления. На этом же приборе можно определить средние дисперсии жидкости примерно с такой же точностью.

Плеохроизм. Изменение окраски кристалла в зависимости от направления световых колебаний называется плеохроизмом. Плеохроизм наблюдается в окрашенных минералах и изучается при одном николе поляризаторе. Вращая столик микроскопа, наблюдаем изменение цвета или густоты окраски минерала. При изучении плеохроизма необходимо сначала определять направление главных осей индикатрисы Ng и Nr, а в двuosных минералах наблюдать также и изотропные разрезы с Nm.

Затем устанавливается, какому направлению индикатрисы при-
суща та или иная окраска. Так, например, когда с направлением колебаний в поляризаторе¹ совпадает ось Ng, окраска минерала темно-коричневая, ось Nm (изотропный разрез) — коричневая, ось Nr — светлая, желтовато-коричневая до бесцветной.

Запись производится в таком виде: ||Ng — темно-коричневый, ||Nm — коричневый, ||Nr — светло-желтовато-коричневый — бесцветный, или схема плеохроизма (схема абсорбции) $Ng \geq Nm > Nr$.

В некоторых минералах наблюдается иная схема плеохроизма — $Nr > Nm > Ng$. Плеохроизм важен как дополнительный диагностический признак минерала. В некоторых случаях, когда окраска минерала по Ng и Nm у отрицательных и по Nr и Nm у положительных одинакова, по схеме плеохроизма можно определить знак минерала (когда ясную фигуру получить невозможно). Так, для двuosных отрицательных минералов схема абсорбции следующая: ||Ng $\geq$ Nm > Nr; для двuosных положительных: Ng > Nm $\geq$ Nr.

После этого переходят к изучению минерала в скрещенных николях. Сначала работают с параллельным светом (плоское зеркало, без линзы Лазо и Бертрана). Определяют следующее:

- 1) интерференционную окраску и двупреломление;
- 2) ориентировку индикатрисы — погасание;
- 3) исследуют двойники;
- 4) характер удлинения (знак зоны).

Интерференция света

Интерференцией света называется явление, возникающее при распространении световых колебаний одинаковой длины волны по одному и тому же направлению.

Интерференция выражается в сложении световых колебаний, в результате чего колебания или усиливаются, или ослабляются. Если разность хода двух лучей монохроматического света (то есть

¹ Определение направления колебаний в поляризаторе: для этого необходимо взять шлиф с листочками биотита, имеющими спайность, или хорошо ограниченные призмочки турмалина и ориентировать их (трещины спайности биотита или короткий размер призмочек турмалина) || одной из нитей окуляра, так чтобы окраска минерала была максимальной. Направление колебаний поляризатора будет || этой нити окуляра.

разница в длине путей, пройденных лучами до встречи) равна четному числу полуволи, то интенсивность света усиливается. Если разность хода равна нечетному числу полуволи, интенсивность света ослабляется. В последнем случае при равенстве амплитуд взаимодействие двух световых волн дает темноту, так как колебания гасят друг друга. При интерференции полихроматического света появляется характерная окраска вследствие того, что разность хода лучей зависит от длины световой волны, то есть от цвета спектра. В одних точках среды взаимно усиливается (или ослабляется), например, зеленая составляющая интерферирующего света, в других — красная и т. д. Такая окраска получила название — интерференционной.

То же самое наблюдается при интерференции поляризованных лучей. Явление интерференции наблюдают при скрещенных николях микроскопа, в системе поляризатор — двупреломляющая пластинка (минерал) — анализатор. Главные оси индикатрисы двупреломляющей пластинки (минерала) не должны совпадать с направлением колебаний, пропускаемых поляризатором и анализатором (то есть минерал поставлен на просветление), и срез должен быть ориентирован косо или параллельно оптической оси.

Поляризованный луч света, выйдя из поляризатора, попадает в двупреломляющую пластинку (минерал), где раздваивается на два луча, поляризованных в двух взаимно-перпендикулярных направлениях и распространяющихся с разной скоростью. Пройдя пластинку, эти лучи приобретают некоторую разность хода и попадают в анализатор. В анализаторе каждый из них снова раздваивается.

Два из вновь образованных лучей, колебания которых будут совершаться в плоскости колебаний в анализаторе, проходят через последний (с разностью хода, приобретенной ранее в двупреломляющей пластинке) и интерферируют. Два других луча будут поглощены в оправе анализатора.

Интерференционная окраска меняется при изменении разности хода. Цвета интерференционной окраски повторяются несколько раз, что позволяет разбить шкалу на ряд порядков. Интенсивность окраски убывает от низких порядков к более высоким (табл. 10).

При исследовании зерен минералов в иммерсии точное определение силы двойного лучепреломления производится путем определения максимального (N_g) и минимального (N_p) показателей преломления в ориентированных разрезах ($N_g - N_p$).

Однако, описывая тяжелую или легкую фракцию, исследователь не имеет возможности определить показатели преломления всех минералов в ориентированных разрезах. Вместе с тем для правильной диагностики минералов необходимо иметь хотя бы приближенные данные о силе двойного лучепреломления. Поэтому сила двойного лучепреломления определяется по интерференционной окраске в разрезах, параллельных или приблизительно параллельных оптической оси. При этом всегда следует помнить, что интерференцион-

Таблица 10

Разность хода, м μ	Интерференционная окраска	Порядок окраски
100	Серая	I порядок
260	Белая	
300	Желтая	
500	Оранжевая	
550	Красная	
575	Фиолетовая	II порядок
650	Синяя	
800	Зеленая	
900	Желтая	
950	Оранжевая	
1050	Красная	III порядок
1130	Фиолетовая	
1150	Синяя	
1350	Зеленая	
1450	Желтая	
1550	Красная	IV порядок
1640	Светло-фиолетовая	
1670	Серовато-синяя	
1730	Светлая голубовато-зеленая	
1850	Светло-зеленая	
2000 — 2100	Светлая сероватая с легким розоватым оттенком	

ная окраска зависит от толщины зерна. Так как фракция содержит зерна самой различной толщины, определение будет весьма и весьма приближенным. В толстых зернах наблюдение следует вести по краю зерна, где толщина минимальная и близка к таковой в нормальных шлифах.

Если в исследуемых зернах интерференционная окраска I порядка — двупреломление небольшое (порядка 0,002—0,015), интерференционная окраска II и III порядков свидетельствует о средней величине двупреломления (порядка 0,015—0,045), при интерференционной окраске IV и более высоких порядков — двупреломление большое ($> 0,045$ при толщине зерен в пределах 0,03—0,05 м μ).

Наряду с дисперсией показателей преломления (см. выше), существует дисперсия двупреломления. Дисперсия двупреломления обуславливается дисперсией показателей преломления и заключается в том, что в одном и том же минерале величина двупреломления разная для света различной длины волны.

Дисперсия двупреломления наблюдается во всех анизотропных веществах (обладающих двупреломлением), но в большинстве минералов она настолько ничтожна (по величине), что мы ее не различаем.

В минералах, где дисперсия двупреломления велика, она вызывает появление аномальных интерференционных окрасок (индиго-синие, фиолетовые окраски).

Определение ориентировки индикатрисы

Когда направление главных осей индикатрисы в кристалле (N_g и N_p , N_p и N_m , N_g и N_m) совпадает с направлением колебаний в скрещенных николях, свет через эту систему не проходит и кристалл кажется темным — положение погасания. Объясняется это тем, что поляризованный луч, вышедший из поляризатора, не разбивается на два, так как одно из возможных направлений колебаний в кристалле совпадает с направлением колебаний в поляризаторе. Следовательно, через кристалл пройдет один луч, который не пропустит анализатор.

Когда в положении погасания длина кристалла, трещины спайности, двойниковые швы и вертикальная ось кристалла ориентированы параллельно нитям окуляра, погасание называется прямым, а когда наклонно — косым. Угол, который образуется между этими направлениями и одной из осей индикатрисы (N_g и N_p) кристалла, называется углом погасания.

Для измерения угла погасания кристалл ставят в положение погасания и отмечают градусные деления на столике против 0° нониуса. Затем поворачивают столик до тех пор, пока с нитью креста не совпадет направление, по отношению к которому определяется угол погасания (трещины спайности, грань кристалла, двойниковый шов), и снова отмечают градусные деления на столике. Разность между первым и вторым отсчетом дает угол погасания. В кристаллах средних сингоний погасание, как правило, прямое (пинакоид, призмы) или косое симметричное (пирамида, дипирамида).

В кристаллах ромбической сингонии погасание в большинстве случаев прямое (пинакоид, призмы) или косое симметричное (пирамиды, дипирамиды, тетраэдры). В кристаллах моноклиной сингонии погасание прямое или косое симметричное в случае, если кристалл лежит на грани, параллельной оси симметрии второго порядка или перпендикулярной к ней плоскости симметрии, во всех остальных случаях — косое. В кристаллах триклинной сингонии погасание всегда косое. Для его обозначения обычно пишут сначала наименование кристаллографической оси, затем оси индикатрисы и угол погасания ($c \wedge N_g = 21^\circ$ или $c N_p = 3-5^\circ$ и т. д.).

Для определения направлений главных осей индикатрисы (N_g и N_p) пользуются компенсаторами: гипсовая, кварцевая пластинки или кварцевый клин (для минералов с высоким двупреломлением). С длинной осью пластинки всегда совпадает ось N_p .

Применение компенсаторов основано на так называемом явлении компенсации.

Если между скрещенными николями — поляризатором и анализатором — помещены одна над другой две кристаллические пластинки (нижняя пластинка — исследуемый минерал, верхняя — компенсатор), то наблюдаются следующие явления.

Поляризованная световая волна, вышедшая из поляризатора, в нижней кристаллической пластинке разделится на две волны, колеблющихся в двух взаимно-перпендикулярных направлениях и проходящих через пластину с различной скоростью.

Допустим, что волна, идущая с большой скоростью и, следовательно, имеющая меньший показатель преломления Np' , колеблется параллельно длинному размеру нижней пластинки, а волна, идущая с меньшей скоростью и имеющая большой показатель преломления Ng' , колеблется параллельно короткому ребру пластинки. Следовательно, параллельно длинному ребру пластинки расположена ось Np' индикатрисы, а параллельно короткому ребру — ось Ng' индикатрисы. При выходе из пластинки получится разность хода

$$\Delta = d_1 (Ng' - Np').$$

Если поляризованная волна далее войдет во вторую (верхнюю) пластинку, ориентированную таким же способом, то есть параллельно длинному ребру пластинки расположена ось Np' , а параллельно короткому — ось Ng' индикатрисы, то окончательная величина разности хода увеличится. Световая волна с показателем Ng' в первой пластинке отстала от волны с показателем Np' . Попадая во вторую пластинку, первая волна снова будет продвигаться медленно, так как ее колебания совершаются по оси Ng'' верхней пластинки, а вторая волна будет распространяться быстрее, так как ее колебания совершаются по оси Np'' . Таким образом, разность хода в первой и второй пластинках увеличивается и будет равна $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$.

Если же направления Np' , Np'' и Ng' и Ng'' перекрещены, то есть верхняя пластинка повернута на 90° от вышеописанного положения, то результат получится обратный

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2.$$

Действительно, световая волна с показателем преломления Ng' в первой пластинке отстала от волны с показателем преломления Np' . Проходя через вторую пластинку, первая волна (Ng') будет идти быстрее, так как ее колебания совершаются параллельно длинному ребру пластинки (ось Np''), а вторая волна (ось Np'), ушедшая вперед, в первой пластинке будет распространяться медленно, так как колебания совершаются параллельно короткому ребру пластинки (ось Ng'').

Таким образом, можно формулировать правило компенсации. При совпадении одноименных осей индикатрисы в двух расположенных друг над другом кристаллических пластинках разность хода равна сумме разностей хода обеих пластинок. При перекрещенном положении осей индикатрисы — в двух расположенных друг над другом пластинках она равна разности разностей хода обеих пластинок. Из этого правила следует, что в первом случае

получается повышение интерференционной окраски, во втором — понижение вплоть до полного затемнения (когда $\Delta_1 = \Delta_2$).

Гипсовая пластинка представляет собой тонкую удлиненно-прямоугольную полоску гипса, вклеенную между двумя стеклами при помощи канадского бальзама. Такая пластинка имеет чувствительную фиолетовую окраску ($\lambda = 575 \text{ м}\mu$) или красный ($\lambda = 532 \text{ м}\mu$) цвет первого порядка. С длинным ребром пластинки совпадает ось N_p .

К отечественным микроскопам марки МП-2 и МП-3 прилагается кварцевая пластинка с такой же разностью хода и такой же ориентировкой (длинное ребро — ось N_p). Так же готовится и кварцевый клин, только полоска кварца имеет разную толщину: у начала пластинки 0,01—0,02 мм, у противоположного конца клина — 0,25 мм.

В кварцевом клине толщина, а следовательно, разность хода и интерференционная окраска повышаются от начала клина к концу: от темно-серого и серого цвета I порядка (разность хода 90—180 $\text{м}\mu$) до бледных зеленовато-синеватых тонов IV порядка (разность хода 2250 $\text{м}\mu$).

С длинным размером пластинки совпадает ось N_p .

Определение направления световых колебаний в кристаллической пластинке производится следующим образом. Исследуемую пластинку (или зерно в иммерсии) помещают на столик микроскопа, скрещивают николи и вращают столик до полного погасания пластинки (зерна). Направление колебаний определяется по направлению креста нитей окуляра в затемненном положении пластинки (зерна).

Затем переходят к определению наименований этих направлений (оси Ng' и Np').

Определяя положение Ng и Np , кристалл приводят в положение погасания, затем поворачивают на 45° так, чтобы длинный размер кристалла совместить с направлением компенсатора, после чего вводят пластинку-компенсатор. При совпадении с определяемым направлением в кристалле оси Ng произойдет понижение интерференционной окраски (оранжево-красная станет желтой), оси Np — повышение интерференционной окраски (оранжево-красная станет синей).

Если кристалл имеет высокую интерференционную окраску, применяется кварцевый клин. В этом случае используется известный метод «бегущих полосок». Обычно зерно имеет большую толщину в середине и меньшую — к краям, вследствие чего цвета интерференции располагаются полосами.

Вдвигая кварцевый клин, наблюдаем движение полосок. Если полоски перемещаются к центру зерна, направление в минерале отвечает Ng , если к периферии зерна — Np . Таким образом устанавливают направление главных осей индикатрисы и определяют характер удлинения минералов. Если по удлинению зерна распо-

лагается ось Ng — удлинение положительное, если ось Nr — отрицательное.

И, наконец, производится исследование при скрещенных николях в сходящемся свете (коноскоп — включается линза Лазо без окуляра или в микроскоп дополнительно вводится линза Бертрана при наличии окуляра, объектив 40 или 60, вогнутое зеркало). Определяются:

- 1) осьность;
- 2) знак кристалла;
- 3) дисперсия оптических осей.

Определение осиности и знака кристалла

Определение осиности и знака кристалла (характера индикатрисы) производится в сходящемся свете при скрещенных николях. Выбрав зерно и тщательно наведя на фокус при объективе 40, подготавливают микроскоп для исследования.

Для получения сходящегося света ставят вогнутое зеркало и вводят линзу Лазо под столик микроскопа. Затем удаляют окуляр или же, не удаляя его, дополнительно вводят в систему микроскопа линзу Бертрана.

В разрезах, перпендикулярных оптической оси одноосных минералов, наблюдается черный крест, ветви которого расширяются к концам и параллельны главным сечениям николей. Между ветвями креста видны концентрические полосы интерференционных цветов, белые и черные в монохроматическом свете и цветные в полихроматическом, повышаясь в интенсивности окраски от центра к периферии. При вращении столика картина не изменяется. Появление фигуры объясняется следующим: лучи, идущие параллельно оптической оси и не испытывающие поэтому двупреломления, собираются объективом и дают темное пятно в центре поля зрения. Во всех других точках поля зрения проходят лучи, наклоненные к оптической оси, причем чем дальше от центра, тем угол наклона лучей больше. Каждый наклонный луч разложится на два, разность хода между которыми определит порядок интерференционной окраски. Чем больше угол образует нормали с оптической осью, тем больше перпендикулярные им эллиптические сечения индикатрисы отличаются от кругового, тем больше двупреломление. Кроме того, наклонные лучи проходят большее расстояние, разность хода у них больше, а следовательно интерференционная окраска выше.

В каждой точке фигуры (кроме центра) имеется два колебания — одно, соответствующее волне обыкновенной (o), другое — необыкновенной (e).

Волна e колеблется в плоскости главного сечения, а волна o — перпендикулярно к этой плоскости. Плоскости главных сечений, проходящие через оптическую ось, будут проектироваться по радиусам фигуры, а значит, и колебания в разных ее точках будут совершаться по разным направлениям. Два главных сечения P

и A параллельны направлениям колебаний николей и нитям окуляра. Во всех точках, лежащих на этих сечениях, направление колебаний совпадает с направлением колебаний в николях. Следовательно, данные точки должны находиться на погасании. Этим и объясняется появление черного креста (рис. 13).

Определение оптического знака в минералах с низким двупреломлением производится при помощи кварцевой или гипсовой пла-

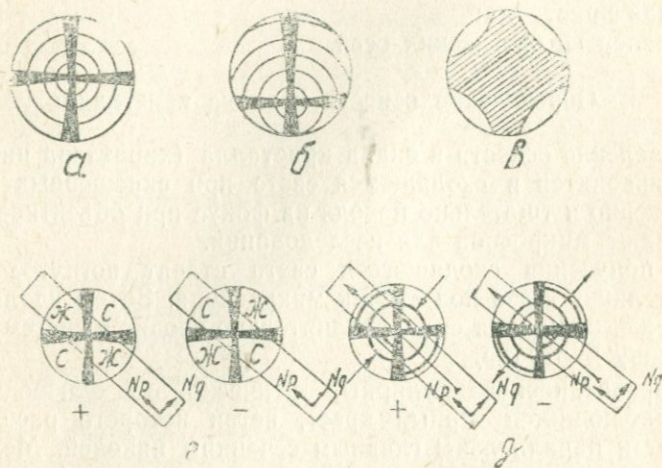


Рис. 13. Фигуры интерференции одноосного кристалла.

a — разрез $\perp$ оптической оси; b — косой разрез; c — разрез $\parallel$ оптической оси; g и d — определение знака.

стинки. Интерференционная окраска такой пластинки — оранжевая I порядка, с длинным размером пластинки совпадает ось Np . Если минерал оптически положительный, при введении кварцевой пластинки в северо-западном и юго-восточном квадранте фигуры наблюдается понижение окраски (желтая), в юго-западном и северо-восточном квадранте — повышение окраски (синяя).

В минералах оптически отрицательных наблюдается обратная картина. Это связано с тем, что колебания необыкновенного луча (e) совершаются по радиусам, а обыкновенного (o) — перпендикулярно к ним. Так как в положительных кристаллах луч необыкновенный отвечает большей оси индикатрисы (Ng), а в отрицательных — меньшей (Np), то, вдвигая пластинку, с длинным размером которой совпадает меньшая ось индикатрисы (Np), мы получаем по длине пластинки в первом случае понижение окраски (Ng минерала на Np пластинки), во втором — повышение окраски (Np минерала на Np пластинки).

В минералах с большим двупреломлением определение знака производится при помощи кварцевого клина. В последнем, как

и в рассмотренных ранее компенсаторах, с длинным размером совпадает ось N_p .

Вдвигая кварцевый клин, в случае положительных кристаллов, наблюдаем, что изохроматические кольца в северо-западном и юго-восточном квадрантах движутся от центра к периферии, а в юго-западном и северо-восточном — от периферии к центру, при обратном движении изохроматических колец — отрицательные кристаллы.

В разрезах, наклоненных к оптической оси одноосных кристаллов, середина креста смещена и располагается на периферии или вне пределов поля зрения. При вращении столика в поле зрения поочередно проходят ветви креста параллельно нитям окуляра.

В разрезах, параллельных оптической оси одноосных кристаллов, вращая столик микроскопа, мы получаем широкий неясный серый крест (когда направление оптической оси совпадает с направлением колебаний в каком-либо из николей), при дальнейшем вращении крест распадается на две ветви — гиперболы, быстро уходящие в противоположные квадранты. Заметив направление оптической оси, определяют знак кристалла обычным способом. Если гиперболы разошлись в северо-западный и юго-восточный квадранты, при вдвигании кварцевой пластинки в центре поля зрения получается желтая окраска (положительный кристалл) и синяя (отрицательный кристалл).

В разрезах, перпендикулярных к оптической оси, в двуосных кристаллах наблюдаются одна проходящая через центр поля зрения гипербола и изохроматические кольца, расположенные почти по окружности. При вращении столика гипербола вращается вокруг центра (выход оптической оси), то выпрямляясь и совпадая с нитью окуляра, то искривляясь (наибольшие искривления при повороте на 45° от прямого положения). Ориентировав гиперболу выпуклостью к северо-западу,двигаем кварцевую пластинку. В оптически положительных кристаллах на выпуклой стороне гиперболы появляется синяя окраска, на вогнутой — желтая. В оптически отрицательных кристаллах распределение окрасок обратное (рис. 14, б).

В разрезах, перпендикулярных острой биссектрисе, наблюдают темный широкий крест с пережимами на месте выхода оптических осей и изохроматические кольца, располагающиеся по окружности вокруг выходов оптических осей и к периферии, образующие более сложную фигуру в виде восьмерки, переходящей в окружность. При вращении столика микроскопа крест распадается на две ветви — гиперболы, которые расходятся в противоположные квадранты (наибольшие расхождения при повороте на 45° от положения креста, рис. 14, а).

Когда гиперболы находятся в северо-западном и юго-восточном квадранте, для определения знака вводим компенсатор. При вдвигании кварцевой пластинки в оптически положительных кристаллах на вогнутой стороне гиперболы наблюдается желтая окрас-

ка, а на выпуклой — синяя. В оптически отрицательных кристаллах размещение желтой и синей окраски обратное (рис. 14, *д*).

При вдвигании кварцевого клина в кристаллах оптически положительных движение изохроматических колец происходит от центра к периферии по длине клина и от периферии к центру в направлении, перпендикулярном к первому. В оптически отрицательных кристаллах наблюдается обратная картина (рис. 14, *е*).

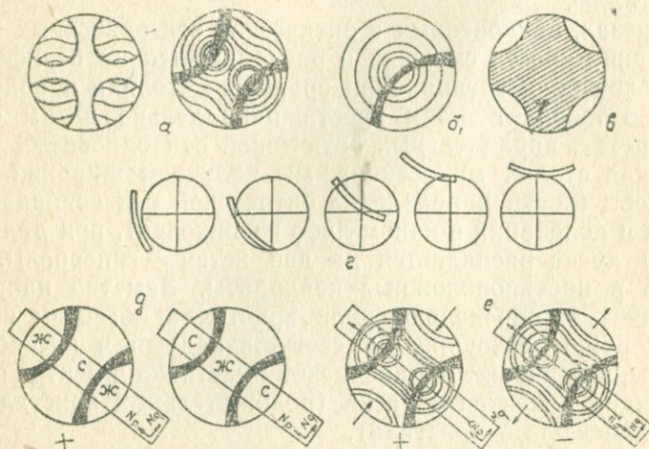


Рис. 14. Фигуры интерференции двuosных кристаллов: *а* — разрез $\perp$ острой биссектрисе; *б* — разрез $\perp$ оптической оси; *в* — разрез $\parallel$ плоскости оптических осей; *г* — косой разрез; *д* и *е* — определение знака.

В разрезах, перпендикулярных к тупой биссектрисе, и разрезах, параллельных плоскости оптических осей, наблюдается картина, сходная с разрезом одноосного кристалла в разрезе, параллельном оптической оси. Определение знака производится так же, как это было описано выше для одноосных кристаллов.

В разрезах, наклоненных к оптическим осям или главным осям индикатрисы или же к плоскостям симметрии индикатрисы (косые разрезы двuosного кристалла), при вращении столика микроскопа через поле зрения по очереди проходят темные искривленные или прямые балки — изогирь. Одновременно в поле зрения видна только одна балка. В момент прохождения середины поля зрения изогиря непараллельна нити окулярного креста (рис. 14, *г* и 15).

Нахождение определенного квадранта для определения знака часто бывает весьма затруднительным.

В. Б. Татарский рекомендует следующее «автоматическое» правило: «Когда при вращении столика по часовой стрелке изогиря, делающая с вертикальной нитью меньший угол, чем с горизонтальной, уйдет направо, в поле зрения будет третий квадрант (юго-западный. — Н. Л.)» [94, стр. 134].

Если, вдвигая кварцевую пластинку, получим в юго-западном квадранте понижение (желтая окраска) — кристалл оптически отрицательный, если повышение (синяя окраска) — кристалл оптически положительный. Определяя осьность и знак кристалла, можно ориентировочно определить и угол между оптическими осями в разрезах, перпендикулярных острой биссектрисе. Работая с объективом 40, наблюдаем следующее расхождение ветви гиперболы.

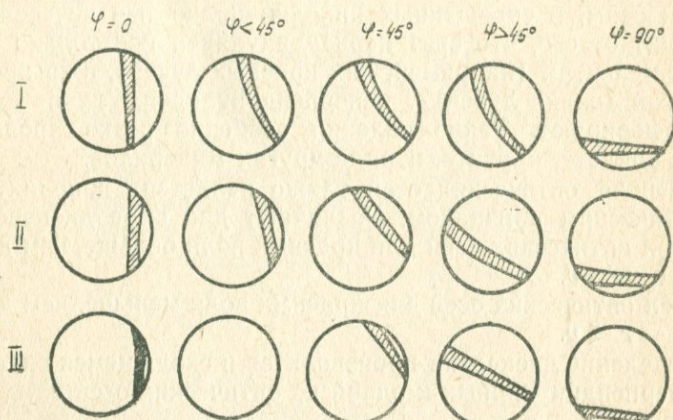


Рис. 15. Косые разрезы. Характер прохождения изогризы при движении столика микроскопа по часовой стрелке.

1. Расхождение незначительное, всего несколько делений окуляр-микрометра — $2V = \sim 3-5^\circ$.
2. Ветви гиперболы находятся посередине, между центром и краем поля зрения — $2V = \sim 15-25^\circ$.
3. Ветви гиперболы находятся на краю поля зрения — $2V$ порядка $45-50^\circ$.
4. Ветви гиперболы выходят за поле зрения — $2V > 50^\circ$.

Если расстояние между выходами оптических осей в положении их наибольшего расхождения измерить при помощи окуляр-микрометра и известно Nm минерала, $2V$ определяется по формуле Малляра: $\sin v = \frac{KD}{Nm}$, где K — константа, зависящая от оптической системы микроскопа (коноскопический угол объектива и цена деления окуляр-микрометра) и определяемая при помощи аперометра¹; D — расстояние между выходами оптических осей.

Если минерал двuosный (по всем признакам), но получить достаточно четкую фигуру невозможно, трудно определить и знак кристалла; а вместе с тем минерал плеохроичный, и при одном николе удастся определить схему плеохроизма, определение знака производится по схеме плеохроизма (см. выше).

¹ K — может быть определена путем измерения D в минерале, угол между оптическими осями которого известен.

Наряду с дисперсией показателей преломления и двупреломления (см. выше) в двuosных кристаллах проявляется дисперсия оптических осей, дисперсия части или всех осей индикатрисы.

Дисперсия оптических осей заключается в том, что величина $2V$ различна для света разной длины волны. Кристаллы, обладающие дисперсией оптических осей, в срезах, перпендикулярных к оптическим осям, в скрещенных николях полностью не гаснут. Это происходит оттого, что срез перпендикулярен оси только для одной части спектра (например, для красных лучей), в то время как для другой (синих лучей) — неперпендикулярен, лучи проходят и интерферируют. Такие явления особенно резко проявляются в сфене, эпидоте, бруките, и ряде других минералов.

Дисперсия оптических осей также является дополнительным диагностическим признаком. Различают два вида дисперсии:

1. Угол оптических осей для красных волн больше, чем для фиолетовых — $r > v$.
2. Угол оптических осей для красных волн меньше, чем для фиолетовых — $r < v$.

Определение дисперсии производится в сходящемся свете в разрезах, перпендикулярных к одной из оптических осей или к острой биссектрисе.

Если на выпуклой стороне гиперболы наблюдается красноватая окраска, а на вогнутой — синеватая, $r > v$. Если картина распределения окрасок обратная — $r < v$. При сильной дисперсии оптических осей минерал в скрещенных николях полностью не гаснет при вращении столика микроскопа, а окрашивается в аномальные интерференционные цвета (например, брукит).

В ромбических кристаллах оптические оси всех индикатрис (для разных длин волн) лежат в одной плоскости — плоскости оптических осей. Это выражается в том, что цвета интерференции первого порядка, по которым мы определяем дисперсию, располагаются вокруг выхода оптических осей симметрично (рис. 16, 1).

Бывают, однако, и такие случаи, когда индикатрисы разного цвета располагаются не в одной плоскости. Так, например, в бруките оптические оси индикатрисы для длин волн $> 550 \text{ м}\mu$ лежат в одной плоскости, а для длин волн $< 550 \text{ м}\mu$ — в другой. Для длин волн $550 \text{ м}\mu$ брукит одноосен, для других длин волн — двuosен.

В моноклинных кристаллах помимо дисперсии оптических осей наблюдается дисперсия биссектрис. Дисперсия биссектрис означает непараллельное расположение биссектрис угла оптических осей у индикатрис разного цвета.

Дисперсия биссектрис в моноклинных кристаллах может быть горизонтальной (параллельной), наклонной и перекрещенной. Цвета интерференции располагаются вокруг выходов оптических осей симметрично одной плоскости или одной оси второго порядка.

Горизонтальная (параллельная) дисперсия заключается в том, что цвета интерференции первого порядка вокруг выхода оптических осей, по которым мы наблюдаем дисперсию, располагаются симметрично относительно оси индикатрисы, как оси второго порядка: если красный цвет у выхода одной оптической оси, занимает запад — северо-западные румбы, то у другой оси северо-запад — северные румбы (рис. 16, 3).

Наклонная дисперсия проявляется в том, что обе плоскости оптических осей совпадают с плоскостью симметрии системы индикатрис, а наблюдатель смотрит вдоль этой плоскости. Цвета интерференции располагаются следующим образом; если красный цвет у одной изогирь расположен на вогнутой ее стороне, то у другой он находится на выпуклой стороне (рис. 16, 4).

Перекрышенная дисперсия — цвета интерференции располагаются так: если красный цвет у одной изогирь расположен по одну сторону от плоскости оптических осей, то у другой он находится на противоположной стороне этой плоскости (рис. 16, 2).

У триклинных кристаллов возможны все ранее описанные случаи дисперсии и, кроме того, общий случай — косой дисперсии.

В триклинных кристаллах цвета интерференции первого порядка вокруг выходов оптических осей располагаются асимметрично (см. рис. 16, 5).

В тонких шлифах или мелких зернах ($d < 0,05$ мм) можно наблюдать и определять дисперсию, но различать виды дисперсии затруднительно. В крупных зернах (d до 0,25 мм) и в толстых шлифах можно различать и виды дисперсии.

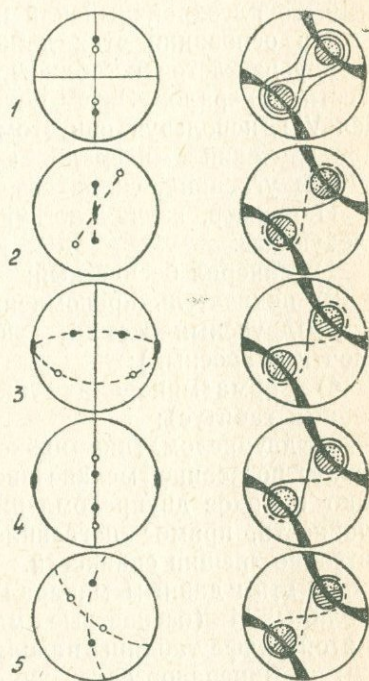


Рис. 16. Дисперсия угла оптических осей и биссектрис: слева сфера, на которой нанесено положение оптических осей; справа положение окрасок (красный цвет показан точками, синий — штрихами):
1 — ромбические кристаллы; 2, 3, 4 — моноклинические кристаллы; 5 — триклинические кристаллы.

Определение минералов при помощи таблиц

Определив наиболее важные константы (приблизительно) и собрав дополнительные данные по ряду других диагностических признаков

наков минерала, определяем минерал, пользуясь таблицами 11—15¹.

Для определения наиболее распространенных минералов тяжелой и легкой фракции по таблицам необходимо знать следующее: показатель преломления, осьность, знак кристалла, минерал окрашенный (и в какой цвет) или неокрашенный (если окрашенный, то плеохроичный или неплеохроичный) и знак удлинения.

На основании этих данных определяемый минерал попадает в одну из клеточек таблицы, где имеется от одного-двух до пяти-шести минералов. Затем читаем описание этих минералов (раздел VI), используя при этом дополнительные данные, полученные при изучении минерала (двупреломление, характер угасания и угол угасания, спайность, форма и т. п.).

Например, изучая легкую фракцию песчаника, установили следующее:

- 1) минерал бесцветный;
- 2) показатель преломления значительно больше 1,542;
- 3) двуосный отрицательный, угол оптических осей небольшой (почти одноосный);
- 4) форма минерала — листочки с рваными краями (слюдopodobный габитус);

5) двупреломление низкое, наблюдается так называемое облачное погасание; мелкие листочки, ставшие на ребро, обнаруживают высокое двупреломление, наличие одной системы трещин спайности, прямое погасание и положительное удлинение относительно трещин спайности.

По этим данным минерал попадает в правый крайний столбец таблицы 11 (бесцветные минералы, третья сверху клеточка). В этой графе таблицы находится 11 минералов.

Ряд минералов сразу же отпадает, так как не имеет слюдopodobного габитуса: кордиерит, андезин, олигоклаз, анортит, арагонит (последний, к тому же, имеет очень высокое двупреломление), и мы можем не читать их описание.

Затем можно исключить глинистые минералы: каолинит, гидрослюда, тальк, пирофиллит, так как нами изучается фракция 0,25—0,01 мм песчаника, при подготовке к анализу они были измельчены и отмыты (ушли во фракции $d < 0,01$ мм).

В результате остается два минерала: мусковит и лепидолит. Читаем описание этих минералов: лепидолит обычно окрашен в розовые, красные, фиолетовые тона и плеохроичен, следовательно, не подходит. К тому же, лепидолит довольно редко встречается в осадочных породах. Значит, определяемый нами минерал представляет собой мусковит.

Описанный случай является наиболее трудным для определения, так как слюды в иммерсии выглядят иначе, чем в шлифах.

¹ Таблицы 11—15 составлены по принципу таблиц Мильнера с некоторыми изменениями и дополнениями.

Кроме того, в указанной выше графе таблицы приведено большое количество минералов.

Рассмотрим второй пример.

Изучается тяжелая фракция алевродита или песчаника.

Получены следующие данные о минерале:

- 1) минерал окрашен в зеленый цвет;
- 2) плеохроничный от темно-зеленого (почти непрозрачного) до почти бесцветного;
- 3) одноосный отрицательный;
- 4) показатель преломления значительно меньше 1,700;
- 5) форма минерала призматическая, удлинённая, двупреломление высокое, погасание прямое, удлинение отрицательное.

По этим данным можно определять минерал, пользуясь таблицей 11 и 14.

В таблице 14 минерал попадает во второй ряд слева (четвертая клеточка сверху), где находится два минерала — апатит и турмалин.

Читаем описание этих минералов и устанавливаем, что это турмалин.

Апатит обычно бесцветный и имеет низкое двупреломление, а если и встречаются апатиты окрашенные, то главным образом в бурые тона (слегка плеохроничные). Резкий плеохроизм и высокое двупреломление не оставляют сомнения в том, что речь идет о турмалине.

Если определение ведется по таблице 11, минерал попадает во вторую графу слева (четвертая клеточка сверху). В этой клеточке приведено 7 минералов, 4 из них принадлежат к группе кальцита и имеют характерный вид: очень высокое двупреломление, ромбоэдрические зерна со спайностью по ромбоэдру, иногда с полисинтетическим двойником, или зерна неправильной формы. Интерференционная окраска этих минералов радужная более высокого порядка (вплоть до серых и белых окрасок высокого порядка), показатель преломления очень высокий ($N_o > 1,700$ — сидерит, $N_o = 1,700$ — магнезит, $N_o < 1,700$, но близок к 1,700 — доломит, $N_o < 1,700$ — кальцит).

Остаются три минерала: даллит, апатит и турмалин. Читая описание этих минералов, снова приходим к выводу, что изучаемый минерал является турмалином.

Если минерал однозначно не определяется, следует получить некоторые дополнительные данные. С этой целью сменяют жидкость в препарате на одну из дополнительных (1,780; 1,600; 1,500). При определении минералов тяжелой фракции полезно также применять дополнительную жидкость в интервале $n = 1,630—1,650$, при исследовании минералов легкой фракции — жидкость с показателем преломления около 1,530. Если и в этом случае минерал не может быть определен однозначно и достаточно достоверно, то необходимо точно определить наиболее важные оптические константы: показатели преломления, двойное лучепреломление, осность

Бесцветные анизотропные минералы¹

(В скрещенных николях просветляются при вращении столика микроскопа, в сечениях, перпендикулярных оптической оси, остаются темными, дают интерференционную фигуру)

Показатель преломления	Одноосные		Двуосные	
	+	—	+	—
<1,500		Кальцит $\pm^2$	Шабазит Морденит	Шабазит, морденит (птилолит), монт-мориillonит
1,500—1,542	Лейцит	Кальцит $\pm$ Доломит $\pm$ Нефелин $\pm$ Магнезит $\pm$	Кварцин + Халцедон — Гипс — Альбит $\pm$ Альбит-олиго- клаз $\pm$	Кордиерит — Ортоклаз $\pm$ Микроклин $\pm$ Монтмориillonит
1,542—1,600	Кварц + Алуни́т —	Нефелин — Кальцит $\pm$ Доломит $\pm$ Берилл — Магнезит $\pm$	Ангидрит $\pm$ Лабрадор — Гиббсит $\pm$ Андезин № 40— —50 Олигоклаз до № 15—17	Кордиерит — Каолинит + Тальк + Лепидолит + Пирофиллит + Мусковит + Гидрослюда $\pm$ Арагонит — Анортит — Олигоглаз $\pm$ №17— —30 Андезин $\pm$ №40—30
1,600—1,700		Кальцит $\pm$ Доломит $\pm$ Апатит — Даллит $\pm$ Турмалин — Сидерит $\pm$ Магнезит $\pm$	Сподумен + Ангидрид — Диопсид + Силлиманит + Топаз + Варит + Целестин + Оливин $\pm$ Энстатит + Цоизит $\pm$	Арагонит — Тремолит + Глаукофан + Андалузит — Дюмортьерит — Воластонит $\pm$
1,700—1,780	Ксенотим +	Сидерит $\pm$ Корунд —	Геденбергит — Цоизит $\pm$ Клиноцоизит $\pm$ Диаспор —	Эпидот $\pm$ Дистен +
>1,780	Шеелит Кассите- рит + Циркон + Ксенотим +	Сидерит $\pm$ Анатаз $\pm$	Сфен — Монацит + Брукит $\pm$	

¹ Наряду с бесцветными минералами в таблицу включены минералы серые (например, брукит и др.).

² $\pm$ — знак зоны или удлинения.

Желтые, бурые и коричневые анизотропные минералы
(В скрещенных николях просветляются при вращении столика микроскопа;
в сечениях, перпендикулярных оптической оси, остаются темными, дают
интерференционную фигуру)

Показатель преломле- ния	Одноосные		Двуосные	
	+	—	+	—
< 1,500				
1,500—1,542		Доломит $\pm$		Кордиерит — Ортоклаз $\pm$
1,542—1,600		Доломит $\pm$ Берилл —	Нонтронит +	Кордиерит — Каолинит + Лепидолит + Мусковит + Арагонит — Глауконит Нонтронит +
1,600—1,700		Доломит $\pm$ Турмалин — Апатит — Сидерит $\pm$	Авгит $\pm$ Сподумен + Антофиллит + Энстатит +	Глауконит Арагонит — Биотит + Гиперстен + Роговая об- манка + Лепидомелан +
1,700—1,780	Ксенотим +	Везувиян — Сидерит $\pm$ Ярозит	Ставролит + Авгит $\pm$	Эпидот $\pm$ Гиперстен + Лепидомелан + Эгирин (ак- мит) —
> 1,780	Шеелит Кассите- рит + Циркон + Рутил + Ксенотим +	Сидерит $\pm$ Анатаз $\pm$ Ярозит	Сфен — Монацит + Брукит $\pm$	Гетит $\pm$ Лепидокрокит Эгирин (ак- мит) —

Примечание. 1) $\pm$ — знак зоны или удлинения; 2) плеохроичные ми-
нералы выделены жирным шрифтом.

Красные, розовые, розовато-лиловые анизотропные минералы
 (В скрещенных николях просветляются при вращении столика микроскопа;
 в сечениях, перпендикулярных оптической оси, остаются темными, дают
 интерференционную фигуру)

Показатели преломле- ния	О д н о о с н ы е		Д в у о с н ы е	
	+	—	+	—
< 1,500				
1,500—1,542				
1,542—1,600	Кварц + (аметист)			Лепидолит +
1,600—1,700		Турмалин —	Цоизит ± Сподумен +	Глаукофан + Тремолит + Андалузит — Аксинит Дюмортьерит —
1,700—1,780		Корунд —	Цоизит ±	Лепидомелан + Гиперстен +
> 1,780	Кассите- рит + Циркон + Рутил + Шеезит	Анализ ± Гематит +		Гетит Лепидокрокит

Примечание. 1) ± — знак зоны; 2) плеохроичные минералы выделены жирным шрифтом.

Зеленые анизотропные минералы

(В скрещенных николях просветляются при вращении столика микроскопа; в сечениях, перпендикулярных оптической оси, остаются темными, дают интерференционную фигуру)

Показатели преломле- ния	О д н о о с н ы е		Д в у о с н ы е	
	+	—	+	—
< 1,500				
1,500—1,542				
1,542—1,600		Берилл —	Нонтронит + Хлорит ± Серпентин (Хризотил +)	Нонтронит + Антигорит + Хлорит ± Глауконит Тальк +
1,600—1,700		Апатит — Турмалин —	Сподумен + Цоизит ± Силлиманит + Оливин ± Диопсид + Энстатит + Авгит ±	Тремолит + Актинолит + Гиперстен + Андалузит — Роговая обман ка + Биотит + Дюмортьерит — Глауконит Малахит —
1,700—1,780		Везувиан —	Геденбергит — Авгит ± Хлоритонд — Цоизит ±	Гиперстен + Эпидот ± Эгирин (акмит) — Малахит —
> 1,780	Шеелит Циркон +		Монацит +	Эгирин (акмит) — Малахит

Примечание. 1) ± — знак зоны; 5) плеохроичные минералы выделены жирным шрифтом.

Синие и лиловые анизотропные минералы

(В скрещенных николях просветляются при вращении столика микроскопа, в сечениях, перпендикулярных оптической оси, остаются темными, дают интерференционную фигуру)

Показатели преломле- ния	О д н о о с н ы е		Д в у о с н ы е	
	+	—	+	—
< 1,500				
1,500—1,542				Кордиерит —
1,542—1,600		Берилл —		Кордиерит —
1,600—1,700		Турмалин — Апатит —	Арфведсонит —	Дюмортьерит — Глаукофан + Рибекит — Арфведсонит —
1,700—1,780		Корунд —	Хлоритоид —	Дистен + Гиперстен +
> 1,780		Анатаз ±		

Примечание. 1) ± — знак зоны; 2) плеохроичные минералы выделены жирным шрифтом.

Изотропные минералы

(В скрещенных николях минералы остаются темными во всех положениях при вращении столика микроскопа и не дают интерференционной фигуры)

Показатель преломления	Бесцветные	Окрашенные			
		Красные и розовые	Коричневые, бурые и желтые	Зеленые	Синие
< 1,500	Галлуазит Аллофан Анальцим Сильвин Опал Вулканическое стекло Флюорит Квасцы		Аллофан Флюорит	Аллофан Флюорит	Флюорит
1,500—1,542	Вулканическое стекло Лейцит Галлуазит Аллофан		Аллофан Янтарь	Аллофан	
1,542—1,600	Вулканическое стекло Галлуазит Аллофан Галит Коллофан		Аллофан	Аллофан	
1,600—1,700	Вулканическое стекло Коллофан				
1,700—1,780	Шпинель Альмандин } В мелких Пироп } зернах Гроссуляр }	Пироп Гроссуляр Альмандин Шпинель	Гроссуляр	Гроссуляр Шпинель Плеонаст	Плеонаст
> 1,780	Альмандин Алмаз	Спессартин Альмандин Андрадит Пикотит	Андрадит Спессартин Пикотит Лимонит (аморфный)	Андрадит Уваровит	

и знак кристалла, угол между оптическими осями (хотя бы приближенно), ориентировку индикатрисы, схему плеохроизма и дисперсию оптических осей. Если оптических данных недостаточно для однозначного определения минералов, применяют дополнительно микрохимические реакции, реакции окрашивания и спектроскопический метод (адсорбционный спектр).

Установив оптические константы, определяем минерал по таблицам и описанию. Однако может оказаться, что такого минерала в наших таблицах нет. В этом случае рекомендуется обращаться к определителю В. Ларсена и Г. Бермана «Определение прозрачных минералов под микроскопом». В этой книге минералы разбиты на следующие группы: изотропные, одноосные положительные,

Минералы непрозрачные—черные в проходящем свете,

Цвет	Оттенок	Б л е с к
Серый	Свинцово-серый Серебристо-серый Стально-серый, пурпурно-серый, малиново-серый Темный, стальной, серый, землисто- пурпурно-серый	Металлический яркий Металлический Металловидный Металлический тусклый
Черный	Тускло-сажисто-черный Черный, сероватый, буровато-черный, в тонких краях красно-бурый Металлически-черный, коричневый в тонких краях Черный, зеленовато-коричневый в тонких краях Смолисто-серый, коричневый	Металлический тусклый Стекланный полуметаллический, металлический Металлический тусклый Стекланный Алмазный, металлический жирный
Коричневый	Ржаво-коричневый	Блеска нет или тусклый металлический
Красный	Красный, кирпично-красный	Металлический
Желтый	Латунно-желтый Белый, серовато-желтый Бронзово-желтый	Металлический Металлический сильный Металлический
Белый	Белый Белый и серый	Тусклый Тусклый, металловидный
Зеленый	Зеленый, зеленовато-коричневый	Нет блеска или тусклый, стекланный

одноосные отрицательные, двuosные положительные, двuosные отрицательные (одноосные расположены в порядке возрастания N_o , двuosные — N_m). В графе «Оптическая ориентировка» оси индикатрисы N_p , N_m , N_g обозначены через x , y , z : N_g , N_m , N_p как показатели преломления обозначены через γ , β и α , кристаллографические оси (100), (010) и (001) соответственно через a , b и c .

Федоровский метод для определения минералов тяжелой и легкой фракции обычно не применяется, главным образом из-за специфики объекта исследования и значительной трудоемкости метода. Однако применение этого метода вполне возможно. Исследование тяжелых и легких фракций на федоровском столике возмож-

наблюдение ведется в отраженном свете

Таблица 17

Ф о р м а	Минерал
Кубики, параллелепипеды, зерна со ступеньками Октаэдры, додекаэдры, обломки неправильной формы Неправильной формы зерна, округлые, реже — таблички Неправильной формы зерна	Галенит Магнетит Ильменит Пирролизит
Таблитчатые, шестигугольные пластинки; листочки и чешуйки Неправильной формы зерна, угловатые осколки, примазки Октаэдры, додекаэдры, неправильной формы зерна Октаэдры, зерна неправильной формы Тетраэдры, октаэдры, кубы, зерна неправильной формы	Графит Каменный уголь Хромит Пикотит Сфалерит
Зерна неправильной формы	Лимонит (гидрогетит) Гетит
Таблитчатый, ромбоэдриальный, зерна неправильной формы	Гематит
Куб. октаэдр, зерна неправильной формы Неправильной формы зерна, удлиненные пластинчатые волокна, радиально-лучистые Зерна неправильной формы, призмы	Пирит Марказит Пирротин
Неправильной формы зерна, округлые, таблитчатые То же	Лейкоксен Ильменит с лейкоксеном
Зерна неправильной формы или окатанные, иногда по раковинам фораминифер	Глауконит

но в постоянных препаратах, изготовленных на канадском бальзаме или канифоли. Существуют и специальные приемы работы с иммерсией. Один из таких приемов заключается в том, что на предметном стекле из покровных стеклышек склеивают ячейку (по форме и размеру равную покровному стеклу), в эту ячейку помещают зерна фракции размером не более 0,05 мм, вводят жидкость и покрывают покровным стеклом. Методы работы на феторовском столике описаны в специальных руководствах (см. [94, 13, 88] и другие).

При исследовании тяжелых фракций обычно возникают затруднения в определении изотропных минералов и непрозрачных — рудных минералов.

С целью получения более надежных результатов следует рекомендовать точное определение показателей преломления изотропных минералов с использованием высокопреломляющих жидкостей (1,800—2,000—для определения гранатов и шпинелей).

Изучение рудных минералов производится в отраженном свете. Наблюдая минералы в отраженном свете, отмечают их цвет, оттенок цвета, блеск, форму зерен и агрегатов. Определение производится по таблице 17.

При определении рудных минералов полезно предварительное разделение магнитом и электромагнитом. Если такое разделение не производилось, необходимо проверять магнитность рудных минералов простым подковообразным или брусковым магнитом (удаляя николь-поляризатор и все осветительное устройство из-под столика микроскопа и поднося магнит прямо к предметному стеклу). Сильномагнитные минералы (магнетит, титаномagnetит, пирротин) при движении магнита под столиком микроскопа будут перемещаться (в незакрепленном препарате).

2. ПОДСЧЕТ

Определив все минералы тяжелой и легкой фракций, переходим к подсчету содержания различных минералов. Многолетняя практика минералогов-петрографов показывает, что вполне достаточно подсчитать 400—500 зерен в каждой фракции (легкой и тяжелой). Увеличение количества подсчитанных зерен не увеличивает точности подсчета, как это показал А. Б. Вистеллиус, используя методы математического анализа [27]. Содержание каждого минерала во фракции выражается в процентах по отношению ко всем подсчитанным зернам. Если фракции очень мало и вся она пошла на приготовление препарата, это будет процент и по отношению ко всей фракции, в других случаях — только к части фракции. Очень часто одного препарата недостаточно для того, чтобы подсчитать 400—500 зерен, поэтому (а также с целью более полного познания минералогического состава фракции) рекомендуется просматривать 2—3 препарата из одной и той же фракции.

Предложение выражать процентное содержание каждого минерала по отношению к весу всей породы¹ пока не получило распространения, так как для такого подсчета требуется много времени. Кроме того, следует помнить, что при подсчете содержания различных минералов в тяжелой и легкой фракциях речь идет о числе знаков минерала, а не об объемных или весовых процентах, потому что подсчитываются зерна различного размера от 0,01—0,02 мм до 0,20—0,25 мм и, следовательно, различного объема.

Если же, как это предлагает ряд исследователей, выражать содержание минерала в весовых процентах по отношению к весу всей породы, то необходимо учитывать также и объем зерен. Объем зерен не учитывается ни одной из приведенных выше формул, да и практически учет объема зерен представляет большие трудности.

Практически подсчет осуществляется следующим образом: в определенном порядке (перемещая препарат по горизонтали и вертикали) просматривают большое количество полей зрения (одного или двух-трех препаратов, в зависимости от размера и числа зерен) и в каждом поле зрения подсчитывают число зерен каждого минерала. Затем суммируют эти данные по всем полям и минералам и выражают содержание каждого минерала в процентах по отношению к числу подсчитанных зерен.

Для подсчета может быть использован счетный прибор — пуш-интегратор А. А. Глаголева. Однако пользоваться этим прибором можно только при подсчете минералов во фракции с небольшим числом минеральных видов (не более шести). Если тяжелой жидкостью разделялись отдельно фракции 0,25—0,05 мм и 0,05—0,01 мм, то определение минералов и подсчет необходимо производить по четырем фракциям. Все это сильно увеличивает объем работы, что ничем не оправдано.

Очень часто в тяжелой фракции содержится большое количество прозрачных — аутигенных минералов (сидерит, доломит, анкерит, брейнерит, барит и др.) или непрозрачных — рудных минералов (пирит, гематит, лимонит и др.), главным образом также аутигенных (частью аллотигенных). Причем, в одних фракциях аутигенных минералов много, в других — мало или совсем нет. Прозрачные — аутигенные минералы и непрозрачные — рудные подавляют прозрачные — аллотигенные минералы тяжелой фракции, вследствие чего трудно составить себе представление о характере ассоциации акцессорных минералов.

Для устранения этого недостатка следует обрабатывать породу и фракцию так, чтобы удалить аутигенные минералы. Такая пред-

¹ И. А. Преображенский предлагает следующую формулу для подсчета содержания минералов во всей породе: $\frac{p \cdot n \cdot d \cdot 100}{P (\sum pd)}$, где p — вес тяжелой фракции; n — число зерен данного минерала; d — удельный вес минерала; P — вес пробы всей породы. С аналогичным предложением выступили Коген и ряд других авторов.

варительная обработка предусмотрена анализом (см. выше). Но если (несмотря на обработку) частично сохранились прозрачные — аутигенные минералы или во фракции преобладают непрозрачные — рудные, рекомендуется производить пересчет. Прозрачные аллотигенные минералы, кроме рудных и аутигенных, снова пересчитываются на сумму 100%. Этот пересчет можно производить одновременно с общим подсчетом. Допустим, подсчитано всего 500 зерен. Из них 150 составляют прозрачные — аутигенные минералы, 50 — непрозрачные, рудные. Тогда вычисляем процент содержания первых и вторых из расчета на $100\% = 500$ зерен, а остальные прозрачные — аллотигенные рассчитываем на $100\% = 300$ зерен.

Это дает возможность выявить действительный состав акцессорных минералов тяжелой фракции — составить представление об ассоциациях акцессорных минералов.

3. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗОВ

Результаты подсчета содержания тяжелых и легких минералов во многих породах изображаются в виде таблиц, где по горизонтали показаны минералы, а по вертикали — название породы, ее адрес и стратиграфическая принадлежность. Содержание минералов показывают в процентах по отношению ко всем подсчитанным зернам фракции (для аутигенных и рудных, для прозрачных аллотигенных, кроме первых и вторых). Поскольку речь идет о знаках минерала, а не об объемных или весовых процентах, не следует злоупотреблять точностью — вполне достаточны целые, максимум — десятые доли процента.

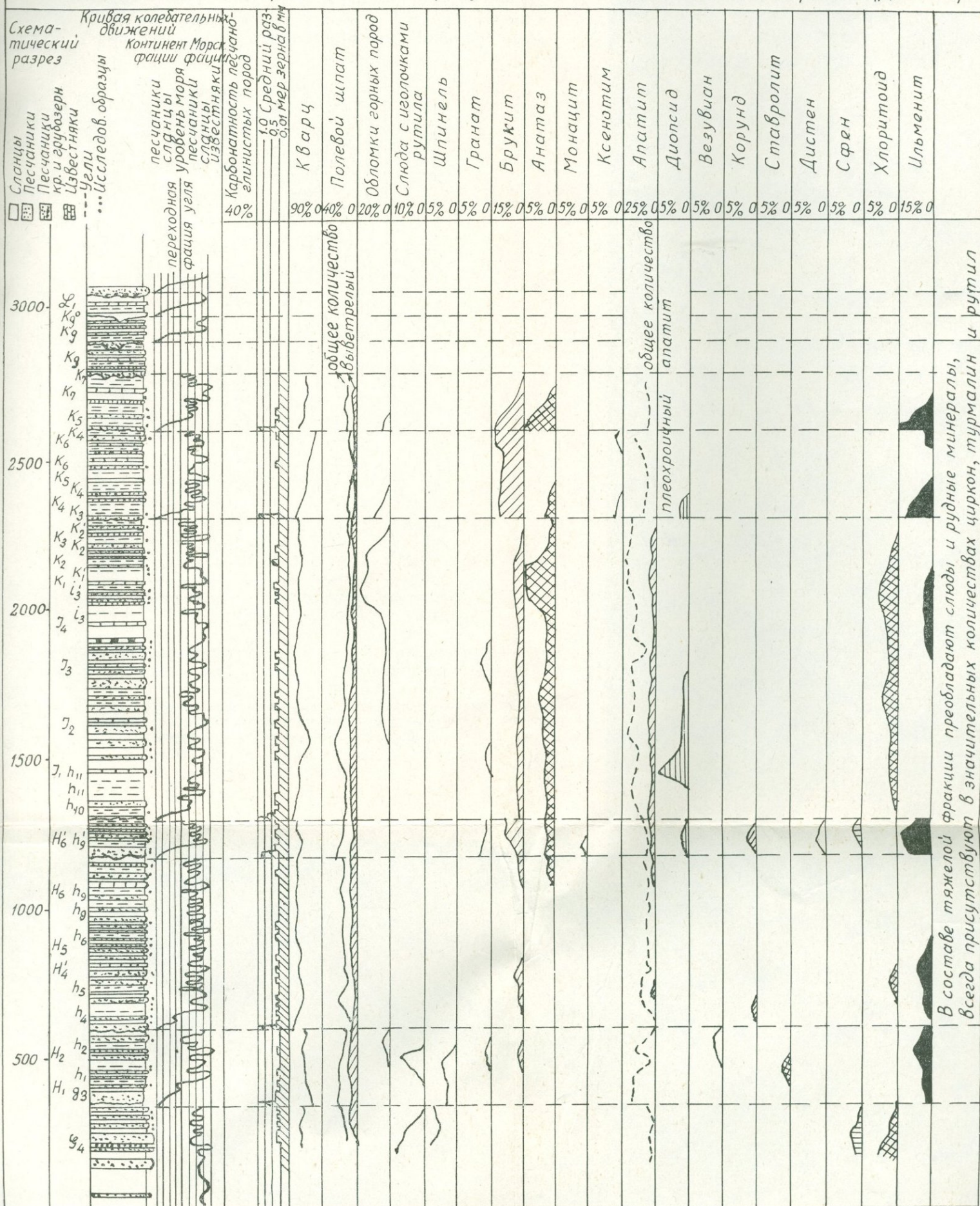
Такое изображение результатов анализа должно быть обязательным для всех без исключения исследователей. Изображение в виде условных значков или формул тяжелых и легких фракций затрудняет, а в некоторых случаях делает невозможным использование результатов данной работы другими исследователями. (Этот метод широко применялся в тридцатых годах нашего века).

Такие таблицы обязательно должны содержать также сведения о количестве тяжелой фракции в каждом исследованном образце (в процентах).

Кроме таблиц, широко используются различные способы графического изображения результатов анализа (основанные на данных таблиц). Для примера приведем графики, применяемые Н. В. Логвиненко (рис. 17), А. Г. Алиевым (рис. 18), С. Г. Саркисяном (рис. 19) и геологами Бирманской нефтяной компании (рис. 20).

Рисунки не требуют особых пояснений. По вертикали изображается схематический разрез-колонка, по горизонтали вверху — название минералов, затем против колонки в виде ломаной кривой в определенном масштабе изображается содержание минералов.

Литологическая характеристика продуктивной толщи Должанского района (Донбасс)



Несколько иначе построен график геологов Бирманской нефтяной компании: по горизонтали показаны части разреза, по вертикали — содержание минералов в виде плавной кривой в определенном масштабе, причем площадь между кривой и горизонтальной линиями покрывается штрихами, для каждого минерала своими.

На таких графиках, естественно, невозможно дать сведения о всех минералах, поэтому приводятся наиболее важные данные о характерных¹ минералах тяжелой и легкой фракций. Изредка применяют столбчатые или круговые диаграммы. Чаще же такой

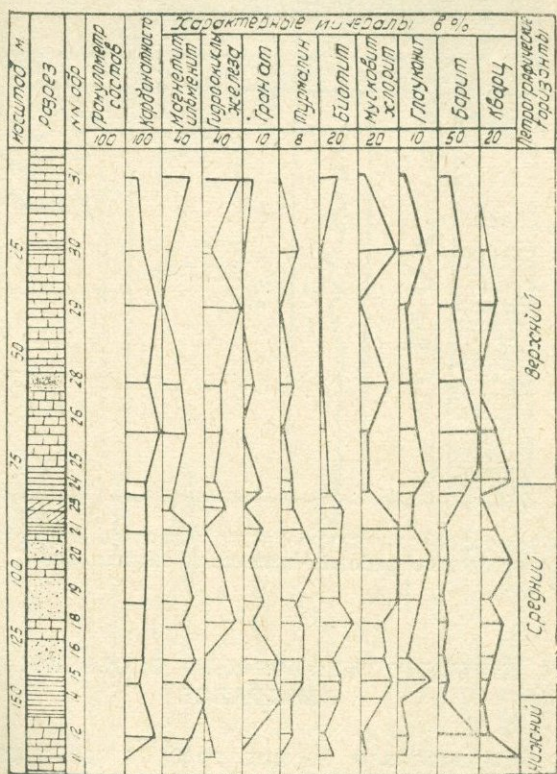


Рис. 18. Петрографическая характеристика понтических отложений Мейсары—Азербайджан (по А. Г. Алиеву).

метод изображения применяется для показа гранулометрии и минералогического состава всей породы, а не отдельных фракций.

¹ Говорят также о «руководящих» минералах, содержание которых по вертикали сильно изменяется и вместе с тем постоянно в определенных стратиграфических горизонтах на более или менее значительной площади.

Для показа распределения минеральных комплексов по площади строят карты (карты терригенно-минералогических провинций), где части площади с разными комплексами минералов покрывают разными условными обозначениями (штрихи, краски). Для примера приведем подобную карту для продуктивной толщи Азербайджана, по А. Д. Султанову (рис. 21) и для угленосной толщи Донбасса, по Н. В. Логвиненко (рис. 22).

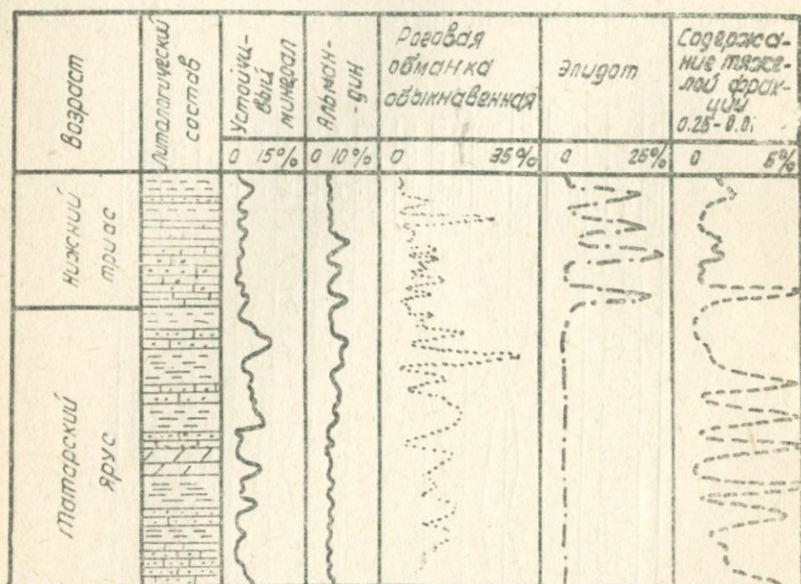


Рис. 19. Кривая содержания руководящих минералов верхнепермских отложений Мертвосольского района Чкаловской области (по С. Г. Саркисяну).

4. ИЗУЧЕНИЕ ТИПОМОРФНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МИНЕРАЛОВ

Изучение минералов в зернах требует особенно тщательного описания минералов и их типоморфных особенностей. При исследовании корреляционного значения того или иного минерала может оказаться, что сам минерал обычного вида (например, циркон, апатит или какой-либо другой) присутствует во всех горизонтах толщи и на всей площади распространения (примерно в равных количествах). Следовательно, корреляционное значение его равно нулю. Но вместе с тем какая-либо разновидность этого минерала с особыми типоморфными признаками (окраска, форма, степень вывет-

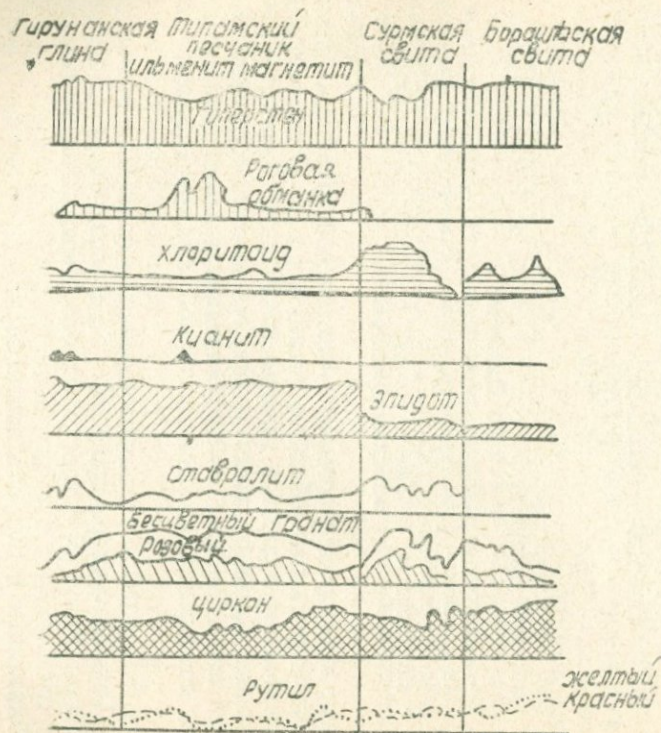


Рис. 20. График содержания тяжелых минералов по методу геологов Бирмачской нефтяной компании.

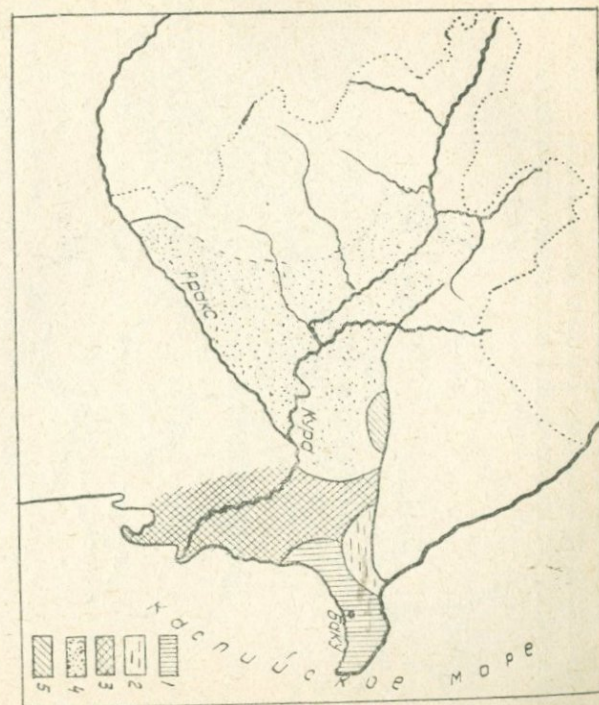


Рис. 21. Карта терригенно-минералогических провинций в эпоху отложения продуктивной толщи Азербайджана (по А. Д. Султанову).

релости, включения, иногда показатели преломления и т. п.) присутствует только в одном горизонте толщи и может служить для нее корреляционным признаком. Точно так же особые виды того или иного минерала, установленные в осадочных породах, а затем обна-

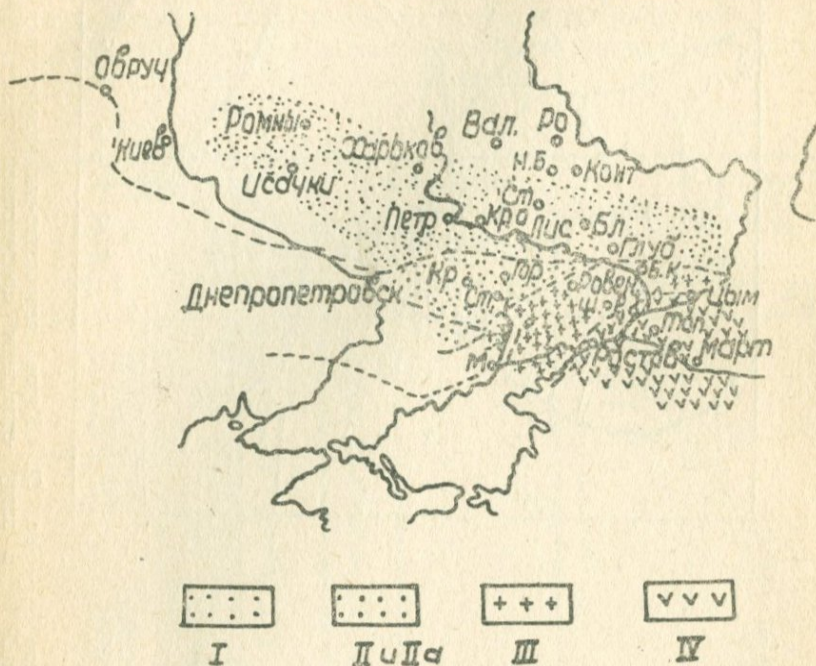


Рис. 22. Схематическая карта терригенно-минералогических провинций продуктивной толщи карбона в пределах Большого Донбасса:

I — апатито-гранатовая с хлоритондом; *II* — циркон-турмалино-рутиловая с апатитом, гранатом и хлоритондом; *IIa* — циркон-турмалино-рутиловая; *III* — брукит-анатаз-апатитовая с хлоритондом, эгиринном, роговой обманкой; *IV* — сложная ассоциация минералов.

руженные и в породах возможной питающей провинции, помогают правильно определить области питания и т. п. В этом отношении показательными являются работы английских геологов [109, 123, 126], проследивших распространение малиновых (пурпурных) цирконов из левизианских гнейсов (питающая провинция) от торридонских отложений до эоцена южной Англии (области захоронения).

У нас в Союзе имеется много примеров подобного рода исследований. Так, например, проф. А. Г. Алиев, Э. А. Даидбекова, Б. М. Ибрагимова [3] в третичных отложениях Азербайджана выделяют следующие типы дистена.

1. Окатанные и полуокатанные зерна.

2. Удлиненные призматические кристаллы с ярко выраженными поперечными трещинами.

3. Мелкие и разрушенные зерна различной формы:

1) дистен без включений;

2) » с включениями жидкости;

3) » » воздуха;

4) » » пирита;

5) » » гидроокислов железа;

6) » » углистого вещества;

7) » » различных кристаллов.

Установлено, что дистен без включений характерен для апшеронского яруса, меотиса и сармата и нижней части майкопской свиты, дистен с жидкими включениями — для верхней части продуктивной толщи и караганских слоев и т. д.

Н. В. Логвиненко [63] в породах среднего карбона Донбасса выделяет несколько типов турмалинов: почти бесцветные (аутигенные), коричневые, зеленые, синие и турмалины в виде обломков зерен с зазубренными гранями и трещинами вдоль ребра призмы; два типа апатита: бесцветный и плеохроичный (в бурых тонах); четыре типа рутила: красный, темно-красный, коричневый, золотистый и серый; два типа брукита: золотистый и серый; несколько разновидностей граната: оскольчатые — неправильной формы зерна и зерна черепитчатого строения (с гранями нарастания), гранаты с включениями кварца, бесцветные и розовые гранаты и т. п.

Установлено, что если бесцветный апатит встречается во всех горизонтах среднего карбона, то плеохроичный локализован только в некоторых горизонтах. Гранаты с включениями кварца и гранями нарастания встречаются в осадках среднего карбона западной и северо-западной части Донбасса и известны в кристаллических породах Украинского кристаллического массива и т. д.

Н. С. Вартанова [26] установила широкое распространение гранатов с гранями нарастания в каменноугольных отложениях Львовской мульды и выяснила, что подобные гранаты широко распространены в диафоритах Карпат, в то время как в пределах западной и северо-западной части Украинского кристаллического массива они редки.

Примером детального изучения обычных породообразующих минералов (кварца, полевых шпатов) являются работы В. С. Князева и Г. Г. Леммлейна, В. Д. Шутова и др. В. С. Князев и Г. Г. Леммлейн [43, 57] выделяют следующие типы обломочного кварца:

1) кварц без включений;

2) » непрозрачный;

3) » полупрозрачный;

4) » с игольчатыми включениями;

5) » с пластинчатыми и изометрическими включениями;

6) » трещиноватый;

7) » опалесцирующий;

8) » регенерированный.

В. С. Князевым [43] изучен обломочный кварц продуктивной толщи Апшеронского полуострова. Результаты этого исследования позволили внести некоторые коррективы в палеографию века продуктивной толщи. И хотя методика изучения обломочного кварца не всегда дает ощутимые результаты (по нашим данным), все же следует рекомендовать детальное изучение обломочного кварца при исследовании осадочных толщ. Перечисление подобных примеров для объектов нашего Союза можно было бы продолжить, но уже из приведенного достаточно ясно видно значение изучения типоморфных особенностей минералов осадочных пород.

При изучении типоморфных особенностей минералов необходимо обращать внимание на следующие признаки:

- 1) окраска минерала и характер плеохроизма;
- 2) форма зерен и кристаллов;
- 3) наличие или отсутствие спайности, характер ее проявления;
- 4) содержание и характер включений;
- 5) исследование некоторых оптических свойств, в первую очередь показателей преломления и $2V$;
- 6) степень выветрелости минералов и характер выветривания;
- 7) прочие признаки (явления растворения или регенерации и др.).

5. ИЗУЧЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ ПОД МИКРОСКОПОМ

Глинистые породы (глины, аргиллиты, глинистые сланцы) содержат глинистые частицы ($d < 0,005$ мм) в количестве более 30% (глины) или более 60% (тяжелые глины). Глинистые частицы имеются и в других типах осадочных пород (алевриты и алевролиты, пески и песчаники, суглинки и супеси, карбонатные породы и соли), правда, в гораздо меньшем количестве.

При изучении глинистых пород (глины, аргиллиты, глинистые сланцы) и некоторых полезных ископаемых осадочного происхождения (огнеупорные глины, глины-адсорбенты, бокситы) главным объектом исследования, естественно, являются глинистые частицы. Однако при массовом изучении других осадочных пород (обломочных: алевролиты, пески, песчаники, супеси; нерастворимого остатка карбонатных пород и солей), производимых с целью корреляции разрезов и палеогеографических реконструкций, глинистые частицы часто выпадают из поля зрения исследователей.

Основной причиной такого положения вещей является большая трудность диагностики минералов в мелких зернах (под микроскопом). Вместе с тем глинистые частицы представляют большой интерес для корреляции разрезов, для определения обстановки осадконакопления и палеогеографических реконструкций. Глинистые частицы в минералогическом отношении представлены различными глинистыми минералами: минералы группы каолинита, галлуазита, монтмориллонит-нонтронита, гидрослюд и некоторых других. Они могут быть как обломочными — аллотигенными, так и аутигенными — сингенетическими, диагенетическими и вторич-

ными. Поэтому при подготовке породы к минералогическому анализу в зернах следует рекомендовать собирать глинистую фракцию, если она присутствует в заметных количествах (более 3%), определять ее содержание в породе и производить исследование глинистых частиц в иммерсии.

Метод разделения тяжелой жидкостью в этом случае не применим, так как практически такие тонкие частицы невозможно разделить тяжелой жидкостью, кроме того, многие тяжелые жидкости оказывают вредное воздействие на глинистые минералы (явление катионного обмена).

При изучении глинистых минералов обычные приемы исследования в большинстве случаев неприменимы.

В настоящее время разработаны новые методы и приемы диагностики глинистых минералов, позволяющие с успехом производить их изучение. Такими методами исследования при массовой работе минералогов-петрографов следует считать иммерсионный анализ (в ориентированных препаратах и в порошке) и метод окрашивания при помощи органических красителей (см. ниже).

Рентгенометрия, термометрия и химический анализ должны применяться для контроля на единичных образцах.

Наш опыт работы показал, что и более крупные по размеру глинистые частицы $d = 0,005-0,001$ мм могут быть исследованы таким способом. Чтобы приготовить препарат из частиц $d < 0,005$ мм, следует соответственно уменьшить время отстаивания суспензии.

Метод ориентированных препаратов для определения минералогического состава глинистых частиц $d < 0,001$ мм рекомендован М. Ф. Викуловой в 1952 году [23]. Сущность метода заключается в том, что из суспензии, в которой взвешены глинистые частицы, путем медленного выпаривания (осаждения) и высушивания получают слой глинистых частиц, ориентированных примерно одинаково, так как при оседании частиц и высушивании благодаря поверхностному натяжению глинистые частицы ложатся параллельно наиболее развитой поверхности (001). Получается своеобразный «монокристалл». Метод применим для мономинеральных глин и для глин, в которых один какой-либо минеральный вид является господствующим.

Получение суспензии. Навеска глины 15—35 г в зависимости от степени песчанистости замачивается дистиллированной водой в фарфоровой чашке. Размоченная глина тщательно растирается пальцем или резиновым пестиком. Для глин, склонных к коагуляции, период замачивания и особенно растирания должен быть продолжительным (несколько часов), не рекомендуется сразу приливать много воды, то есть следует при растирании получить сначала более или менее густое тесто, а затем постепенно прибавлять воду. Когда получена жидкая суспензия, глина перемещается в чашку емкостью 3—5 литров, разбавляется водой и взбалтывается. После

24-часового отстаивания верхний слой в 7 см сливается¹. Если глина содержит небольшое количество глинистых частиц, сливание необходимо повторить 3—5 раз. Собранные частицы помещают в чашку, желательно с плоским дном, на дно ее следует положить 1—2 предметных стекла и осторожно выпарить суспензию на водяной или электровоздушной бане до густоты тягучего теста, после чего высушить массу на воздухе или в термостате при T 30—35°. Из высушенных пластинок (на предметных стеклах, а если этого мало, то со дна чашки) бритвой, поставленной перпендикулярно², нарезают очень тонкие нити и более толстые полоски диаметром до 1—1,5 мм с таким расчетом, чтобы в иммерсионных препаратах можно было получить ориентированные частицы, лежащие на плоскости третьего пинакоида (001), для определения N_m , осности и знака кристалла и тонкие нити, которые часто ложатся сами при приготовлении препарата на ребро (для определения Ng и Np).

Полученная стружка помещается на ряд предметных стекол для приготовления иммерсионных препаратов сразу с целым рядом жидкостей. Затем в изотропных частицах (лежащих на плоскости 001) определяют N_m , осность и знак кристалла, а на тонких нитях, лежащих на ребре,— Ng и Np . Работать следует с объективами № 20 и № 40.

М. Ф. Викулова пишет следующее [23, стр. 101]: «Практика работы автора с 1945 г. показала, что по форме агрегатов частиц $d < 0,001$ мм и их показателям преломления можно установить минералогический тип глины.

Когда фракция $d < 0,001$ мм сложена в главной массе каолинитом, то агрегаты имеют более или менее изометрическую форму или удлинненную, но с неровными краями и кажутся изотропными или слабо анизотропными (табл. XIII, фото 1). Показатели преломления агрегатов лежат в пределах 1,561—1,570. Если каолинит содержит примесь гидрослюда, то в агрегатах наблюдается повышение двупреломления и увеличение n по сравнению с этими данными для каолинита. Когда фракция $d < 0,001$ сложена гидрослюдой или смесью гидрослюда, хлорита, глауконита и другими, то оба показателя преломления агрегатов выше 1,558 и ниже 1,600, двупреломление колеблется от 0,018 до 0,030. Агрегаты ориентированных частиц имеют удлинненную щепковидную или веретеновидную форму: иногда более длинные стороны параллельны (табл. XIII, фото 2).

¹ Значительно быстрее можно собрать глинистые частицы, применяя электрофорез. Для этого в приготовленную суспензию через 1,5 часа опускают электроды и пропускают постоянный ток. Анод — свинец, катод — медная сетка, расстояние между электродами 15—25 мм, сила тока 2—5 а, напряжение 100—125 в, время, необходимое для осаждения частиц, — 5—7 минут. Частицы садятся на анод.

² Автор метода М. Ф. Викулова рекомендует бритву держать под острым углом к поверхности предметного стекла. Но в этом случае мы заведомо не сможем получить строго ориентированных препаратов для определения Ng , Np и N_m . Косые срезы необходимы в случае очень толстых препаратов.

Бейделлитовые неразбухающие глины близки по форме агрегатов к гидрослюдистым глинам, но часто обнаруживают волокнистое строение (табл. XIV, фото 3) и имеют показатели преломления в пределах 1,530—1,600 и двупреломления от 0,02 до 0,03.

Разбухающие глины монтмориллонитовые и бейделлитовые дают характерные агрегаты вееровидной, сноповидной, параллельноволокнистой или спиральной формы (табл. XIV, фото 4), при этом показатели преломления агрегатов этих глин измеряются в пределах 1,480—1,520, двупреломление порядка 0,018—0,022».

Однако здесь, как и в других случаях, следует предостеречь исследователей глинистых минералов, что время пребывания глинистых минералов в иммерсионных жидкостях должно быть непродолжительным, так как от продолжительного пребывания изменяются показатели преломления (особенно у минералов ряда монтмориллонит-нонтронита).

Метод ориентированных препаратов в сочетании с методом окрашивания является наиболее доступным и легко осуществимым способом исследования при массовой работе минералогов-петрографов.

6. КАПЕЛЬНЫЙ МЕТОД¹

Капельный метод быстрого определения глинистых минералов в аншлифах при помощи воды и этилен-гликоля предложен чешским минералогом Иржи Контой в 1956 году.

Метод основан на различии в размерах и в степени пластичности кристаллических индивидуумов и на различной способности к разбуханию отдельных групп глинистых минералов. В силу различных размеров и различной пластичности в естественных уплотненных глинистых образованиях между отдельными кристаллами глинистых минералов возникают различные по величине субмикроскопические промежутки, от которых зависит скорость просачивания жидкости. Кроме того, скорость просачивания связана еще и с разбухающей способностью некоторых глинистых минералов, и со свойствами самой жидкости (ее вязкостью, размерами молекул, полярностью и пр.).

Поверхность аншлифа глинистого образования ведет себя как сито различной тонкости. В зависимости от типа этого природного сита находятся скорость просачивания жидкости, форма капли, профиль капли, а также характер поверхности после просачивания.

Капельный метод позволяет определять принадлежность глинистых минералов к одной из четырех групп: каолинита, монтмориллонита, гидрослюд, сепиолита-палыгорскита.

Для большей точности используется наряду с водой этилен-гликоль, вязкая жидкость с большими размерами молекул (вода—2,9Å, этилен-гликоль — от 4 до 5Å).

¹ Этот раздел написан Г. В. Карповой, за что автор выражает ей свою признательность.

Приготовление аншлифов

Для изучения глин с помощью капельного метода необходимы два образца не меньше $2 \times 2 \times 1$ см с тем, чтобы отшлифованная поверхность имела величину не менее 15×15 мм. Маленькие блоки глины, высушенной на воздухе, нарезаются ножом, а потом параллельно напластованию шлифуются по очереди на трех стеклянных пластинах с шероховатой поверхностью.

Шероховатость поверхности стеклянных пластин достигается при помощи шлифовальных порошков различной грубости. Приготовление аншлифов ведется сухим образом, круговыми движениями в течение 5—8 минут.

Поверхность аншлифа вытирается кисточкой, чтобы снять пришедшие глинистые частицы. Она не должна содержать видимых в лупу пор и трещин.

Шлифовальные стекла должны тщательно мыться и вытираться после приготовления каждого аншлифа.

Ход работы

1. Аншлиф закрепляется пластилином на предметном стекле в горизонтальном положении.

2. На поверхность первого аншлифа капают пипеткой одну каплю дистиллированной (в полевых условиях — чистой пресной) воды при температуре $15-18^{\circ}$ примерно с высоты 4—6 мм, после чего наблюдают и записывают: а) размеры капли и форму поверхности, которую принимает капля; б) время просачивания (с секундомером); в) изменение поверхности аншлифа после просачивания.

3. На поверхность второго аншлифа капают одну каплю этиленгликоля. Все это наблюдают и записывают, так же как и в первом случае с водой.

4. Результаты, сведенные в таблицу, сравнивают с таблицей, составленной Иржи Контой по 60 образцам из Чехословакии и Венгрии, см. табл. 18.

Применение капельного метода

Метод, предложенный Иржи Контой, является быстрым и достаточно надежным визуальным методом для определения минеральных групп в неуплотненных глинах и гидротермальных заполнениях.

Из глинистых минералов наименьшей продолжительностью просачивания обладают минералы каолининовой группы и минералы группы селиолит-палыгорскита. В огнеупорных глинах каолининового типа продолжительность просачивания увеличивается.

Капельный метод позволяет наблюдать большее разбухание На-монтмориллонитов, нежели Са-монтмориллонитов. Даже неболь-

Поведение на аншлифах глин капли воды и этилен-гликоля

Испытание при помощи капли воды

Типы глин	Скорость просачивания	Поверхность	Профиль	Характер капли
Каолинитовые глины	до $\frac{1}{2}$ мин.	гладкая	высокий	Округлый, не растекается
Гидрослюдистые глины	1,5 мин.	гладкая	плоский	Почти округлый, сильно растекается
Монтмориллонитовые глины	до 3 мин.	набухшая	средний	Неправильный, сильно растекается
Палыгорскитовые глины	до $\frac{1}{3}$ мин.	гладкая	плоский	Неправильный, растекается

Испытание при помощи капли этилен-гликоля

Каолинитовые глины	до 5 мин.	гладкая	высокий	Округлый, не растекается
Гидрослюдистые глины	от 4 до 15 мин.	гладкая	плоский	Неправильный, сильно растекается
Монтмориллонитовые глины	от 8 до 130 мин.	набухшая	средний	Неправильный, сильно растекается
Палыгорскитовые глины	от $\frac{2}{3}$ до 1,5 мин.	гладкая	плоский	Неправильный, растекается

шие количества разбухающих монтмориллонитов в смеси глинистых минералов устанавливаются капельным методом.

Ограниченность капельного метода заключается в невозможности применения его к уплотненным аргиллитам и глинистым сланцам. Геологические факторы уменьшают промежутки между отдельными кристалликами и изменяют скорость просачивания и другие показатели.

Невозможно применять метод и при изучении четвертичных образований в связи с их пористостью. Скорости просачивания здесь резко увеличиваются. Однако после сдавливания образцов грунтов и почв под постоянным давлением метод применим.

Критерием для применения капельного метода по нашим данным могут явиться величина пористости породы и величина пластичности. Капельный метод оправдывает себя при числе пластичности более 17 (глины) и величине пористости, колеблющейся в пределах 6—14%.

Применение капельного метода возможно только наряду с другими методами определения глинистых минералов.

7. ИЗУЧЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ

В основу метода положена способность органических красителей закрепляться на поверхности глинистых частиц (силы адсорбции и электрические силы), т. е. способность окрашивать минералы и менять свой цвет и спектр поглощения в зависимости от условий, в которых они адсорбированы на глинистых частицах (рН раствора, влияние других реактивов — KCl, концентрация раствора красителя и т. п.).

Для окрашивания глинистых минералов применяется главным образом метиленовый голубой — краситель, изменяющий свою окраску в широком диапазоне длин волн.

Если одинаковой порцией водного раствора метиленового голубого окрасить суспензию одинаковой плотности, то каолиновые глины окрасятся в фиолетовые тона (максимум кривой спектра поглощения 550—580 $m\mu$), гидрослюдистые — в грязно-синие, до фиолетово-синего (максимум кривой спектра поглощения 560—600 $m\mu$), монтмориллонитовые и бейделлитовые глины — в голубовато-зеленый цвет (максимум кривой спектра поглощения между 600 и 700 $m\mu$).

Монтмориллонитовые глины, насыщенные Са, окрашиваются в чистые фиолетовые тона.

Если в суспензии, окрашенные метиленовым голубым, ввести несколько капель KCl, то чистые каолиниты сохраняют свою окраску (спектральная кривая сохраняет свою форму), гидрослюды изменяют ее на грязно-синюю (голубовато-зеленую у некоторых, кривая спектра поглощения не меняется или возрастает длинноволновой максимум 650—670 $m\mu$). У бейделлитов и К и Н монтмориллонитов сохраняется окраска или изменяется до желто-зеленой (максимум кривой спектра поглощения 650 $m\mu$ или сдвигается до 670 $m\mu$), и наконец, у Са-монтмориллонитов синяя окраска изменяется на ярко-голубую (максимум кривой спектра поглощения перемещается из 560 $m\mu$ до 670 $m\mu$).

Кроме метиленового голубого применяются солянокислый бензидин, хризоидин, а также метил-виолет (свойства последнего еще недостаточно изучены).

Если метод окрашивания применяется без фотометрирования спектров поглощения, цветовая оценка дается визуальным методом сравнением с эталонным набором цветов: фиолетовый, фиолетово-синий, сине-голубой, голубой, голубовато-зеленый, зеленый, травяно-зеленый, травяно-зеленый—желтовато-зеленый, желтовато-зеленый.

Для окрашивания готовят водную суспензию глинистых частиц $d < 0,001$ мм в объеме 9 cm^3 , к ней доливают метиленового голубого 0,7—1,2 cm^3 при концентрации 0,01%. После взбалтывания и некоторого отстаивания суспензия разделяется на три части.

В первой порции после 8—12 часов отстаивания наблюдают окраску, а затем готовят плоскую каплю и высушивают ее на воздухе. Во вторую порцию доливают несколько капель насыщенного раствора хлористого калия и через 8—12 часов наблюдают окраску и изменение ее по сравнению с первой. В третью порцию добавляют свежий раствор метиленового голубого в количестве 0,5 см³, готовят каплю, высушивают ее на воздухе и определяют окраску.

Минералы, прочно связывающие краситель, как при стандартном, так и при более интенсивном окрашивании имеют один и тот же цвет. Минералы, менее прочно и непрочно связывающие краситель, имеют разную окраску (гидрослюда, каолинит).

Рекомендуется наряду с прокрашиванием метиленовым голубым применять также солянокислый бензидин (см. табл. 19).

8. ДИАГНОСТИКА КАРБОНАТНЫХ МИНЕРАЛОВ МЕТОДОМ ОКРАШИВАНИЯ

Окрашивание карбонатных минералов можно производить в открытых шлифах¹, шлифовках и в порошке. Метод основан на неодинаковом составе катионов и неодинаковой химической активности различных карбонатов.

Действуя на карбонаты различными реактивами, мы получаем цветную пленку или бесцветное соединение, которое, реагируя с другим реактивом, дает цветную реакцию.

Органические реактивы действуют несколько иным способом — обычно это явления адсорбции красителей на коллоидальных продуктах изменения карбоната под воздействием реактива.

1) Определение арагонита среди других карбонатов

а) В 100 см³ воды растворяют 11,8 г $MnSO_4 \cdot 7H_2O$, к раствору прибавляют твердый сульфат серебра Ag_2SO_4 , кипятят, охлаждают и отфильтровывают нерастворившийся остаток. Затем прибавляют 1—2 капли слабого раствора $NaOH$. Через 24 часа отфильтровывают выделившийся осадок. Реактив хранят в темной посуде.

Шлиф погружают в раствор и выдерживают от 30 до 60 минут. Арагонит через 30 минут становится темно-серым, а через 60 минут — черным. Кальцит и после двух часов будет светло-серым.

б) Если действовать на карбонатные минералы слабым раствором $AgNO_3$ (1,7%) в течение 1 секунды, затем, промыв шлиф, подействовать K_2CrO_4 , то в красно-бурый цвет окрашивается только арагонит.

¹ Если нет открытого шлифа, поступают следующим образом: берут обычный шлиф, осторожно разрезают алмазом или карборундом покровное стекло, подогревают на электрической плитке и удаляют при помощи иглы. Затем шлиф отмывают спиртом или ксилолом от канадского бальзама.

Определение глинистых минералов и некоторых других
(методом окрашивания по М. Ф. Видуковой,

Название минералов	Метиленовый голубой раствор 0,001-процентный	Метиленовый голубой с добавлением насыщенного раствора HCl
Каолинит	Фиолетовый	Фиолетовый
Накрит	Сине-фиолетовый	Фиолетово-синий
Диксит	Фиолетово-синий	Фиолетово-синий
Гидрослюда (типа монотермита)	Фиолетовый, сине-фиолетовый	Бирюзово-голубой, светло-голубой, сине-голубой
Гидрослюда из хлорита и биотита	Фиолетово-синий и синий	Фиолетово-синий и синий
Монтмориллонит	Фиолетовый и фиолетово-синий	Голубой и голубовато-зеленый
Бейделлит (из биотита)	Травяно-зеленый	Изумрудно-зеленый или травяно-зеленый
Бейделлит (из ферригаллуазита)	Фиолетово-синий	Голубой или фиолетово-синий
Нонтронит	Синий, фиолетово-синий, сине-голубой	Зеленый, голубовато-зеленый, голубой
Галлуазит	Фиолетовый	Фиолетовый, сине-фиолетовый и сине-голубой
Аллофан	Голубой и фиолетово-голубой	Голубой и синий
Глауконит	Синий, фиолетово-синий	Синий
Вермикулит	Фиолетово-синий	Зеленовато-голубой
Керолит	Голубой	Голубовато-зеленый
Сапонит	Голубой	Зеленовато-голубой
Пальгорскит	Фиолетовый и фиолетово-синий	Фиолетовый и фиолетово-синий
Сепиолит	Сине-голубой	Сине-голубой
Серицит (гидрат)	Синий	Сине-голубой
Мусковит (дробленный)	Фиолетово-синий	Голубой
Биотит (дробленный)	Фиолетовый	Зеленый
Хлорит (осадочный)	Синий	Синий
Опал	Синий, сине-голубой	Синий и голубой
Кварц	Сине-голубой и голубой	Голубой
Карбонаты пелитоморфные	Светло-голубой, сиреневый	Светло-голубой, сиреневый

Примечание. Проверк означает, что цвет окраски неизвестен.

Порядок работы:

- 1) из порошка ($\sim 0,5 \text{ см}^3$) + 8—9 см^3 дистиллированной воды в пробирке готовят
- 2) в первую пробирку вводят метиленовый голубой примерно 18—20 см^3 , тщательно
- 3) во вторую пробирку вводят солянокислый бензидин, тщательно перемешивают;
- 4) содержимое первой пробирки разделяют на две части, в одну часть добавляют

минералов, присутствующих в глинистых породах
с дополнением автора)

Бесцветный насыщенный раствор солянокислого бензидина	Хризоидин 0,01-процентный раствор	Метилвиолет, подкисленный слабой HCl
Не окрашивается	Желтый	Грязно-фиоле- товый
Не окрашивается	Розовато-желтый	Грязно-фиоле- товый
Не окрашивается	Желтый	Грязно-фиоле- товый
Не окрашивается или окрашивает- ся в слабый грязно-синий цвет, грязно-зеленый	Желтый, нечистый (с коричневым или красным оттенком)	Грязно-зеленый
Окрашивается в грязно-синий или серо-синий цвет, серо-зеленый	Желтый, нечистый	Грязно-зеленый
Голубой и голубовато-синий	Кирпично-красный, желто-красный	Травяно-зеле- ный
Голубой	Коричневато-красный	—
Голубой	Коричневато-красный	—
Голубой, сине-голубой	Кирпично-красный, желто-красный	Грязный, травяно-зе- леный
—	—	—
—	—	—
Сине-голубой, зеленовато-голубой	Кирпично-красный	Не окрашива- ется
Грязно-голубой или не окрашива- ется	Грязно-коричневый	Грязно-зеленый
—	—	—
—	—	—
Не окрашивается	—	—
Не окрашивается	—	—
Голубовато-зеленый	Светло-желтый, канаре- ечный	—
—	Светло-желтый, канаре- ечный	—
—	Светло-желтый, канаре- ечный	—
Зеленый	Грязно-желтый	Не окрашива- ется
—	—	—
—	—	—
Не окрашивается (доломит светло- сиреневый)	—	Кальцит и араго- нит—фиолетовые

суспензию. Затем половину суспензии отливают во вторую пробирку;
перемешивают;

несколько капель KCl. Затем пробирки оставляют 8—12 часов, после чего фиксируют окраску.

Определение карбонатных минералов

Реактивы	Минерал	Кальцит	Доломит	Анкерит
FeCl (10 — 15-процентного раствора) и (NH ₄) ₂ S (концентрация раствора безразлична). Наносят на шлиф FeCl ₃ на 1—2 минуты, затем промывают и действуют (NH ₄) ₂ S в течение нескольких секунд		Черный	Почти не окрашен	Почти не окрашен
4 части Al ₂ Cl ₆ растворяют в 60 частях воды + экстракт камышевого дерева — 0,6 части. Реактив наносят на шлиф на 5 минут		Фиолетовый	Неокрашен	—
AgNO ₃ (10-процентный раствор) подогрет до T 60—70°. K ₂ CrO ₄ (20-процентный раствор). Наносят на шлиф AgNO ₃ на время 3—4 минуты, промывают и действуют K ₂ CrO ₄ в течение нескольких секунд		Красно-бурый	Почти не окрашен	Почти не окрашен
MnSO ₄ ·7H ₂ O, — 11,8 г на 100 см ³ воды + AgSO ₄ — твердый сульфат серебра, прибавляют в раствор MnSO ₄ ·7H ₂ O, осадок отфильтровывают		Неокрашен	Неокрашен	Неокрашен
Co(NO ₃) ₂ — концентрированный раствор. Порошок карбоната кипятят 5—6 минут в растворе		Бесцветный или розовато-лиловый	Неокрашен	Неокрашен
Си(NO ₃) ₂ (5-процентный раствор), образец карбоната кипятить 2—3 минуты в растворе		Ярко-зеленый	Неокрашен	Бледно-зеленый
Метилвиолет + HCl, обычные фиолетовые чернила, подкисленные слабой HCl (1—5-процентным раствором). Реактивом действуют на шлиф 30 сек — 1,0—2,0 минуты		Фиолетовый	Неокрашен	Неокрашен
Дифенилкарбазид — 1—2 г + 15 см ³ спирта + 3—5 мг 25-процентной NaOH. Кипятят порошок карбоната 2—3 минуты, затем промывают		Неокрашен	Неокрашен	Неокрашен
Паранитробензолазорезорцин 2 мг + 500 см ³ спирта + 500 см ³ воды + KOH до синей окраски. Кипятят порошок карбоната 2—3 минуты, затем промывают		Неокрашен	Синий	Неокрашен
15 см ³ спирта + 1—2 г эозина + 3 мг KOH. Кипятят порошок карбоната 2 минуты, затем промывают		Неокрашен	Неокрашен	Неокрашен

методом окрашивания

Магнезит	Брейнерит	Сидерит	Арагонит	Примечание
Неокрашен	Зеленоватый	Неокрашен	Черный	При величине зерна $< 0,01$ мм доломит окрашивается как кальцит и арагонит в черный цвет, остальные карбонаты — в зеленоватый
—	—	—	Фиолетовый (?)	—
Почти не окрашен	Почти не окрашен	Неокрашен	Красно-бурый	При действии слабым раствором 1,7-процентной AgNO_3 в течение 1 сек арагонит окрашивается, остальные карбонаты не окрашиваются
Неокрашен	Неокрашен	Неокрашен	Черный	При действии реактива на порошок в течение 3—5 мин и на шлиф в течение 30—60 минут
Неокрашен	Неокрашен	Неокрашен	Густо-фиолетовый	Реакция с кипячением
Бледно-голубой	Неокрашен	Неокрашен	Ярко-зеленый	Реакция с кипячением. Доломит при величине зерна $< 0,01$ мм слегка окрашивается в бледно-зеленый цвет
Неокрашен	Неокрашен	Неокрашен	Фиолетовый	Доломит при величине зерна $< 0,01$ мм окрашивается
Сиреневый	Розовый	Темно-серый	Неокрашен	Реакция с кипячением
Синий, синевато-зеленый	Синий	Неокрашен	Неокрашен	Реакция с кипячением. Без кипячения окрашивается только магнезит в синий цвет
Ярко-розовый	Бледно-розовый	Серый	Неокрашен	Реакция с кипячением

2) Определение кальцита в кальцито-доломитовых породах

а) На поверхность шлифа наносят каплю 10—15-процентного раствора FeCl_3 на 1—2 минуты. Реагируя с кальцитом, треххлористое железо дает хлористый кальций и карбонат трехвалентного железа, который немедленно гидролизуются и оседает в виде коллоидной пленки на поверхности зерна. За это время доломит практически не вступает в реакцию, если зерна его имеют $d = 0,01$ мм.

Затем шлиф промывают дистиллированной водой и действуют раствором $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ в течение нескольких секунд. Гидрат окиси переходит в сульфид и кальцит становится черным.

б) На шлиф наносят несколько капель AgNO_3 , нагретого до 60—70°, и выдерживают 3—4 минуты. Кальцит, вступая в реакцию с AgNO_3 , образует Ag_2CO_3 . Затем шлиф промывают и действуют на него в течение нескольких секунд K_2CrO_4 , при этом Ag_2CO_3 переходит в AgCrO_4 и кальцит приобретает красно-бурую окраску.

в) Метилвиолетовые (фиолетовые) чернила подкисляют 5-процентной HCl . На поверхность шлифа наносят каплю чернил и дают постоять 1—2 минуты, после чего осторожно промокают фильтровальной бумагой. Кальцит реагирует с раствором и окрашивается в фиолетовый цвет, доломит при размере зерна 0,01 мм остается неокрашенным.

3) Определение магнезиальных карбонатов

25 мг паранитробензолазорезорцина растворяют в 500 см³ воды плюс 500 см³ спирта и прибавляют едкой щелочи до окрашивания раствора в синий цвет. Шлиф (пришлифовку или порошок) карбонатной породы помещают в такой раствор на 3—5 минут.

При этом магнезит окрашивается в синий цвет, другие карбонаты не окрашиваются. Если карбонатную породу прокипятить в таком растворе в течение нескольких минут, кроме магнезита окрашивается и доломит (первый более интенсивно).

Окраска неустойчивая и быстро исчезает, поэтому сразу после окрашивания надо просмотреть шлиф или порошок под микроскопом.

4) Реакция с железисто-синеродистым калием для открытия железа и определения железистых карбонатов по методу отпечатков

Берут обычную фотобумагу, предварительно отмытую в темноте в гипосульфите, промывают водой и высушивают. Фотобумагу смачивают в 5-процентной соляной кислоте в течение нескольких секунд (до 1 минуты). На фотобумагу накладывают шлифовку породы и прижимают прессом. Выдерживают так в течение 1—10 минут. Затем проявляют бумагу в однопроцентном растворе железисто-синеродистого калия 3—5 минут, после чего промывают в воде и высушивают.

Анкерит дает на фотобумаге светло-синий отпечаток, брейнерит — темно-синий, сидерит — темно-синий.

Близкая по цвету окраска получается у пистомезита и сидероплезита (пистомезит — синяя, сидероплезит — темно-синяя).

Сведения об описанных и некоторых других реакциях окрашивания карбонатов приведены в таблице 20.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ СОЛЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В КАПЛЕ ВОДЫ

(по В. А. Вахромеевой [134])

Анализируемая порода или минерал дробится в фарфоровой ступке (но не растирается), порошок квартуется обычным способом.

Небольшое количество порошка насыпают на предметное стекло тонким слоем, рядом наносят каплю воды. Предметное стекло помещают на столик микроскопа и подводят под объектив 8 или 20 (микроскопа МП-2 и МП-3). Исследование производят при горизонтальном положении столика. Затем иглой каплю воды смешивают с порошком породы. Момент смешивания особенно важно не пропустить, так как такие минералы, как мирабилит, эпсомит, особенно в тонких зернах, быстро растворяются, другие же покрываются непрозрачным налетом продуктов неполного растворения. В процессе растворения изучаются два свойства соляных минералов:

1) интерференционная окраска мелких зерен ($d = 0,02—0,04$ мм);

2) характер растворения во воде.

Изучением остальных свойств минералов проверяется предварительное определение, см. табл. 22.

I группа. Изотропные минералы

Лангбейнит ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ $n = 1,533—1,535$) определяется по 1) изотропности; 2) остроугольным без спайности стекловидным осколкам; 3) чрезвычайно медленному растворению в капле воды. За время наблюдения минерал почти не растворяется.

Галит ($NaCl$ $n = 1,532—1,546$) и **сильвин** (KCl $n = 1,490$) также изотропны и отличаются от лангбейнита следующим.

Они быстро растворяются в воде, контуры зерен плавно округляются, при этом освобождаются пузырьки газов и жидкости. В окрашенных разностях при этом всплывает красно-бурый шлам. Галит от сильвина в воде отличить трудно. Более надежное отличие их друг от друга производится в жидкости с $n = 1,515$. Галит в этой жидкости имеет положительный рельеф и голубоватый оттенок, а сильвин — отрицательный рельеф и розовато-желтоватый оттенок.

II группа. Минералы с низким двупреломлением (до 0,01)

Астраханит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $n_g = 1,484—1,489$; $n_m = 1,488$; $n_p = 1,881—1,486$) определяется по 1) характерным треугольным фигурам растворения (появляются через несколько секунд или десятков секунд); 2) низким цветам интерференции (серые и белые); 3) сравнительно с галитом медленному растворению в воде.

Астраханит при насыщении раствора очень медленно перекристаллизовывается, образуя удлинённые конусовидные и овальные плохо огранённые кристаллы.

Мирабилит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$; $n_g = 1,397—1,398$; $n_m = 1,395—1,396$; $n_p = 1,393—1,394$) определяется по 1) низкой интерференционной окраске (серая, серовато-белая); 2) быстрому и плавному растворению. Растворение происходит быстрее всех минералов второй группы. При малом количестве воды перекристаллизовываются в длиннопризматические кристаллы (сростки, дендриты).

В иммерсии определяется по низкому светопреломлению. В жидкости с $n/\angle 1,400—1,430$ имеет отрицательный рельеф и булавчатый оттенок.

Леонит ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{NgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $n_g = 1,490$; $n_m = 1,487$; $n_p = 1,483$). В воде леонит отличается от астраханита несколько более быстрым растворением. На поверхности зерен леонита иногда также появляются треугольные фигуры растворения, но более мелкие и неправильные по сравнению с астраханитом. При насыщении капли рядом с зёрнами леонита начинают быстро вырастать ромбовидные и прямоугольные кристаллы с двупреломлением до 0,015; иногда кристаллы достигают большой величины. Наиболее надёжно леонит отличается от астраханита микрохимической реакцией на калий, от глазерита — определением осности (глазерит одноосный, леонит $2V = -86^\circ$).

Глазерит ($(\text{K}, \text{Na})_2 \text{SO}_4$; $n_e = 1,492—1,499$; $n_o = 1,487—1,492$).

По растворению в воде глазерит сходен с астраханитом и леонитом, поэтому отличие его от этих минералов производится на основании определения осности.

От астраханита он отличается более мелкими и неправильными фигурами растворения, чаще прямоугольными или овальными, а также способностью быстро перекристаллизовываться. В противоположность леониту продукты перекристаллизации глазерита — мелкие изометрические кристаллы с низким двупреломлением.

III группа. Среднее двупреломление (0,010—0,020)

Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $n_g = 1,530$; $n_m = 1,523$; $n_p = 1,520$).

За время наблюдения (несколько минут) гипс в воде не изменяется, чем отличается от сходных по светопреломлению и двупреломлению соляных минералов.

Тенардит (Na_2SO_4 ; $n_g = 1,484$; $n_m = 1,477$; $n_p = 1,471$).

В воде тенардит быстро растворяется, контуры зерен плавно округляются. Цвета интерференции в тонких зернах белые, желтые, в толстых — оранжевые.

Может быть спутан с шенитом, от которого отличается светопреломлением: в жидкости $n=1,476$, у тенардита $Ng > n$ жидкости, у шенита все показатели меньше.

Шенит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$; $Ng=1,475-1,476$; $Nm=1,462-1,463$; $Np=1,460-1,461$).

В воде быстро растворяется.

Сингенит ($K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot H_2O$; $Ng=1,518$; $Nm=1,517$; $Np=1,500$).

В воде легко определяется, так как при растворении его образуются игольчатые (одиночные) и радиально-лучистые сростки кристаллов гипса, которые через несколько минут дают массивные кристаллы, обычно двойники. При растворении на поверхности зерен появляются неправильно овальные, удлинённые и треугольные фигуры растворения. Кристаллы гипса частью выделяются на зернах сингенита, но главным образом в растворе.

Полигалит ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$; $Ng=1,667$; $Nm=1,562$; $Np=1,548$).

При погружении полигалита в каплю воды очень медленно и в небольшом количестве выделяются мелкие кристаллы гипса (этим он отличается от сингенита). Постепенно весь минерал превращается в агрегат кристаллов гипса. В окружающем растворе также появляются мелкие кристаллы гипса, а при высыхании капли — радиально-лучистые пучки.

IV группа. Двупреломление выше среднего (0,020—0,034)

Глауберит ($Na_2SO_4 \cdot CaSO_4$; $Ng=1,529-1,539$; $Nm=1,527-1,535$; $Np=1,507-1,515$).

При смачивании поверхности глауберита водой начинают быстро образовываться мельчайшие кристаллики гипса различного облика. Игольчатые кристаллы гипса располагаются радиально-лучистыми сростками. По мере образования гипса цвета интерференции (красные, синие, зеленые второго порядка) быстро становятся бледными и зерна глауберита — непрозрачными. По окончании растворения на месте зерен глауберита возникает войлок игольчатых кристаллов гипса или белая непрозрачная масса изометрических кристаллов гипса, сохраняющая форму зерна глауберита. От сингенита и полигалита глауберит отличается значительно большей быстротой образования гипса и более крупными и правильными кристаллами гипса.

В иммерсионных препаратах глауберит сходен с гипсом, в воде резко отличается процессом растворения.

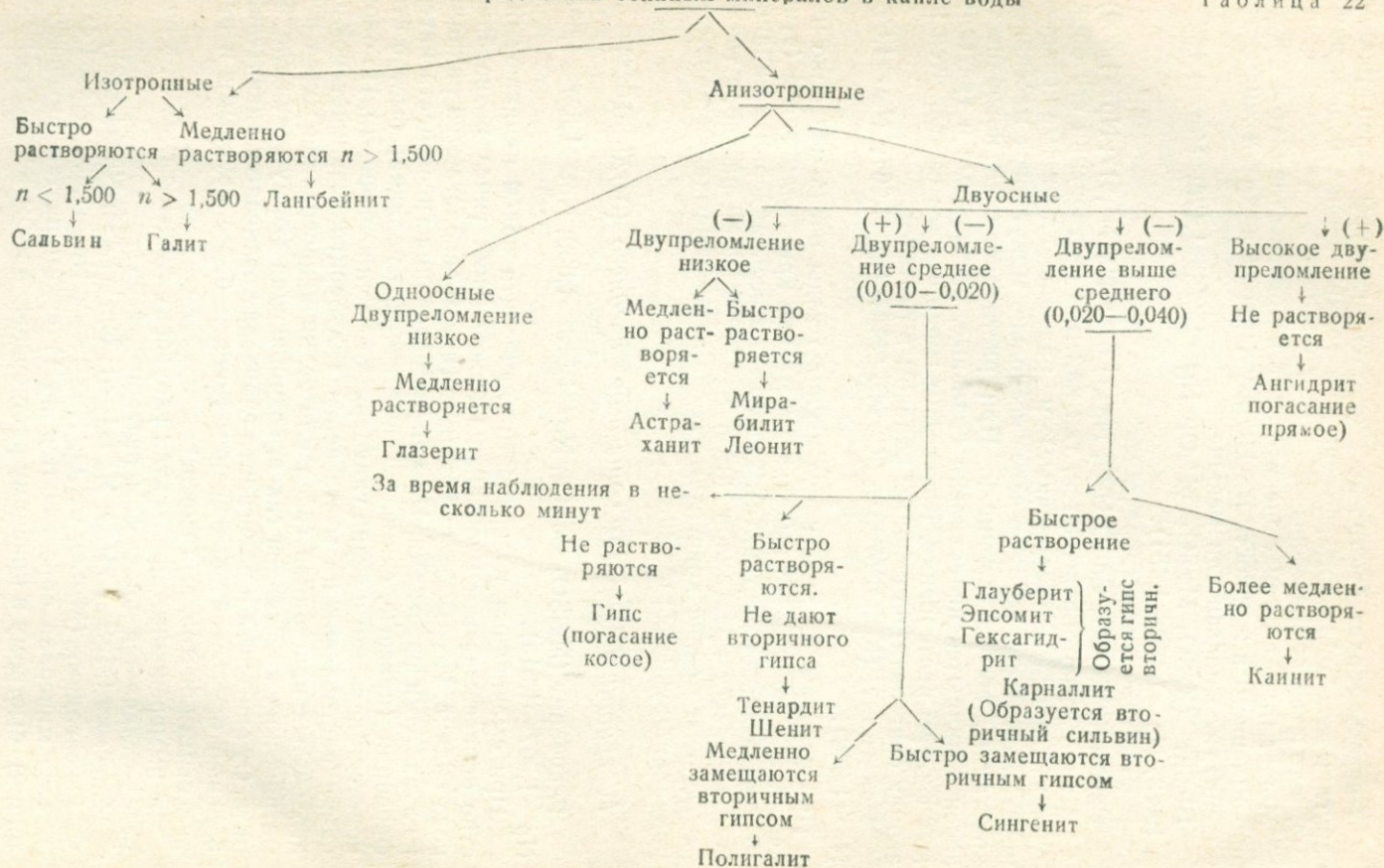
Эпсомит ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$; $Ng=1,461$; $Nm=1,455$; $Np=1,433$).

Гексагидрит ($MgSO_4 \cdot 6H_2O$; $Ng=1,456$; $Nm=1,453$; $Np=1,426$).

Оба минерала определяются по 1) ярким цветам интерференции; 2) быстрому и плавному растворению в избытке воды; 3) спо-

Схема определения соляных минералов в капле воды

Таблица 22



способности быстро перекристаллизовываться в насыщенных растворах.

При слабом смачивании порошка водой на зернах эпсомита вырастают радиально-лучистые пучки призматических кристаллов. Интерференционная окраска при этом становится пятнистой. При избытке воды быстро растворяется, появляются относительно широкие интерференционные полосы. От каинита отличается большей скоростью растворения.

Эпсомит от гексагидрита отличается по точно измеренным показателям преломления в иммерсии.

Каинит ($\text{KCl MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $N_g=1,516$, $N_m=1,505$; $N_p=1,494$).

Каинит определяется по 1) ярким цветам интерференции; 2) остроугольным обломкам; 3) более медленному растворению и не столь быстрому округлению зерен при растворении, как у эпсомита.

Карналлит ($\text{KCl MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $N_g=1,496$; $N_m=1,474$; $N_p=1,466$).

Карналлит определяется по 1) ярким цветам интерференции; 2) быстрому растворению; 3) образованию при смачивании водой массы мельчайших изотропных кубических кристаллов сильвина.

V группа. Высокое двупреломление (0,043—0,064)

Ангидрит (CaSO_4 ; $N_g=1,614$; $N_m=1,576$; $N_p=1,571$).

Ангидрит определяется по 1) отсутствию изменений в воде за время в несколько минут; 2) высоким цветам интерференции; 3) характерной спайности по трем пинакоидам, дающей прямоугольные осколки.

С ангидритом сходен кизерит. Отличается от ангидрита показателем преломления — N_g кизерита 1,586, косым угасанием, углом оптических осей — $2V$ кизерита $= 76^\circ$. Схему определения соляных минералов см. в табл. 22.

V. ОПИСАНИЕ ШЛИФОВ

Порядок работы. Приступая к описанию шлифа, тщательно просматривают весь шлиф при небольшом увеличении и разбивают все минералы на группы, пользуясь для этого следующими руководящими признаками: рельеф, окраска (и плеохроизм), спайность, двупреломление.

Наблюдая все эти характерные признаки (попеременно то при одном, то при двух николях), выделяют минералы *а, в, с, д, е, ж, з* или *1, 2, 3, 4, 5, 6* и т. д., в зависимости от того, сколько минералов присутствует в шлифе и насколько возможно их различать при таком просмотре. Например: бесцветные с низким показателем преломления и низким двупреломлением, без спайности; зеленые плеохроичные с высоким показателем преломления, высоким двупреломлением и без спайности; коричневые с высоким показателем преломления и высоким двупреломлением, плеохроичные с хорошо выраженной пинакоидальной спайностью и т. д.

Выделив типы минералов, приступают к их систематическому исследованию — определению (по схеме, изложенной на стр. 22, 43, 49).

Применяя эту схему и последовательность исследования, необходимо помнить, что определение констант производится не в случайных, а в ориентированных разрезах.

Поэтому изучая минерал *а* или *1*, надо стараться найти сначала изотропный разрез — перпендикулярный оптической оси.

В таком разрезе можно определить:

- 1) осьность;
- 2) знак кристалла;
- 3) ориентировочно угол оптических осей у двuosных минералов;
- 4) дисперсию оптических осей;
- 5) плеохроизм по Nm двuosных и No одноосных отрицательных, по Ne одноосных положительных;
- 6) спайность и сингонию.

Затем следует разыскать разрез, параллельный плоскости оптических осей, с максимальным двупреломлением — наиболее высокой интерференционной окраской среди ряда зерен данного минерала.

В таком разрезе можно определить:

- 1) величину двупреломления (приближенно);
- 2) углы погасания;

- 3) знак удлинения;
- 4) характер плеохроизма по Ng и Np двuosных минералов и по Ne и No одноосных.

Обычно изучения этих двух разрезов достаточно для определения минерала. Если же этого недостаточно, а также если в процессе поисков ориентированных разрезов встречается разрез, перпендикулярный биссектрисе, исследуют этот последний.

В таком разрезе определяют:

- 1) характер плеохроизма по Ng и Nm или Nm и Np;
- 2) угол погасания;
- 3) силу двупреломления Ng—Nm или Nm—Np;
- 4) оптический знак кристалла;
- 5) величину угла оптических осей (приближенно);
- 6) дисперсию оптических осей.

Изложенная выше схема исследования минералов и очередность операций не представляют собой чего-то неизменного. Каждый исследователь обычно сам определяет эту очередность. Действительно, если найден сначала разрез, параллельный плоскости оптической оси или перпендикулярный острой биссектрисе, то он исследуется первым, хотя в нашей схеме показан последним.

Таков ход систематического исследования — определение минералов.

Для определения по таблицам, а также в зависимости от того, с каким минералом имеем дело, и наконец, от того, насколько знаком с минералами исследователь, некоторые операции вообще не приходится проводить.

Определение минералов по таблице

Таблица для определения минералов построена на следующих признаках:

1. Рельеф — относительный показатель преломления¹.
2. Двупреломление (приближенное определение).
3. Осность.
4. Знак кристалла.
5. Окраска и плеохроизм.
6. Знак зоны.

После получения перечисленных выше констант, а также учета некоторых дополнительных данных (форма зерен, спайность, погасание, продукты выветривания) определяют минерал по таблице 21.

Исследуемый минерал попадает в одну из клеточек таблицы, где помещены от одного до девяти минералов (обычно три—пять).

Читая описание этих минералов, сравниваем их с полученными нами данными и таким путем определяем минерал. Если эти данные недостаточны для однозначного определения минерала, необходимо провести дополнительные исследования: точно замерить дву-

¹ Определяется сравнением с канадским бальзамом $n = 1,538 \pm 0,002$.

преломление в ориентированном разрезе, измерить угол между оптическими осями, определить характер дисперсии оптических осей и биссектрис, изучить двойники и т. п.

Получив новые дополнительные и более точные данные, снова определяем минерал таким же способом. В таблице 21 помещено более ста наиболее распространенных пороодообразующих и акцессорных минералов.

Подсчет

Зная минералогический состав породы, переходят к определению содержания различных минералов — подсчету.

Подсчет в шлифах можно производить точечным, линейным и площадным способами, то есть подсчитывая количество точек, линий или площадей, которые приходятся на долю каждого минерала. Точечный метод применен в пуш-интеграторе А. А. Глаголева. Описание этого прибора мы не приводим, так как ни в продаже, ни в лабораториях его нет.

Линейный метод подсчета в простейшем случае можно осуществить при помощи линейки окуляр-микрометра. Просматривают весь шлиф систематически, одно поле зрения за другим. В каждом поле зрения отмечают количество делений окуляр-микрометра, которое приходится на каждый из подсчитываемых минералов. Затем суммируют данные по всем полям зрения и всем минералам.

Значительно удобнее производить подсчет при помощи специального счетного столика ИСА, выпускаемого отечественной промышленностью (см. рис. 24). Счетный столик привинчивается к столику микроскопа, на салазки такого столика помещается шлиф. Затем салазки приводят в исходное положение (нулевые деления на шкале и барабанчиках). Рассматривая шлиф при небольшом или среднем увеличении, вращают барабанчик, предназначенный для подсчета минерала, до тех пор, пока минерал не выйдет за поле зрения, затем вращают следующий барабанчик, предназначенный для подсчета другого минерала и т. д. При вращении барабанчика происходит перемещение шлифа. Движение шлифа в вертикальной плоскости производится винтом салазок, холостой ход — трещины в шлифе или поры — другим винтом салазок, возвращение в первоначальное положение — особым винтом оси столика. Когда пройден весь шлиф, отсчеты длины линий каждого минерала берут на соответствующем ему барабанчике.

Количественные соотношения площадей, занятых различными минералами, можно вычислить, пользуясь окулярной сеткой. Для этого просматривают весь шлиф, поле за полем, и в каждом поле зрения подсчитывают, сколько квадратиков приходится на каждый минерал. Затем суммируют подсчеты по всем полям зрения и всем минералам. Результаты подсчета любым из вышеприведенных способов выражают в процентах (процент точек, линий, площадей). Считая, что отношения точек, линейных размеров и площадей та-

Определение минералов в шлифе

Показатель преломления	Двойное лучепреломление = 0. Изотропные минералы	Двойное лучепреломление $\neq 0$. Анизотропные минералы																
		0,001—0,012 Интерференционная окраска: серая, белая, желтоватая I порядка				0,012—0,037 Интерференционная окраска: желтая, красная, зеленая и т. д. I и II порядка				0,037—0,060 Интерференционная окраска: желтая, зеленоватая, красная и т. д. III и IV порядка				> 0,060 Интерференционная окраска: радужная IV и более высокого порядка				
		одноосный		двухосный		одноосный		двухосный		одноосный		двухосный		одноосный		двухосный		
		+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	+	—	
$n < 1,500$. Сильный отрицательный рельеф	Анальцим Опал Сильвин Флюорит Квасцы Вулканическое стекло			Шабазит	Морденит Шабазит				Монтмориллонит							Кальцит $\pm$		
$n = 1,500—1,540$. Рельефа нет или слабый отрицательный рельеф	Аллофан Лейцит Галлуазит Вулканическое стекло	Лейцит		Халцедон— Кварцин $+$ Альбит $\pm$ Гипс — Альбит-олигоклаз $\pm$ до № 15—17	Ортоклаз $\pm$ Олигоклаз $\pm$ Микроклин $\pm$	(№ 17—30)		Хризотил $+$	Монтмориллонит Бейделлит							Кальцит $\pm$ Доломит $\pm$ Магнезит $\pm$ Анкерит $\pm$		Арагонит—
$n = 1,540—1,580$. Рельефа нет или слабый положительный рельеф	Галит Галлуазит Аллофан Коллофан Вулканическое стекло	Кварц $+$	Нефелин —	Андезин $\pm$ (№ 40—50) Лабрадор— Олигоклаз $\pm$ до № 15—17	Олигоклаз $\pm$ Кордиерит— Каолинит $+$ Андезин $\pm$ (№ 30—40)	(№ 17—30)		Хризотил $+$ Гиббсит $\pm$	Гидрослюда $\pm$ Антигорит $+$ Лепидолит $+$ Бейделлит				Тальк $+$ Пирофиллит $\pm$ Мусковит $+$			Кальцит $\pm$ Доломит $\pm$ Магнезит $\pm$ Анкерит $\pm$		Арагонит—
$n = 1,580—1,700$. Сильный положительный рельеф	Гриналит Коллофан Вулканическое стекло	Алунит — (Na)	Берилл — Пеннин $\pm$ Апатит —	Целестин $+$ Пеннин $\pm$ Клинохлор — Топаз $+$ Эвстатит $\pm$ Бронзит $+$	Рибекит — Анортит — Андалузит — Тюрингит $+$ Шамозит	Алунит — (K)	Турмалин	Глаукоцит Барит $+$ Диаллаг $+$ Силлиманит $+$ Оливин $\pm$ Диопсид $+$ Гиббсит $\pm$	Глаукоцит Гидрослюда $\pm$ Волластонит $+$ Глаукофан $+$ Дюмортьерит — Роговая обманка $+$ Нонтронит $+$ Актинолит $+$ Тремолит $+$		Биотит $+$	Ангидрит $\pm$	Лепидомелан $+$ Тальк $+$ Пирофиллит $+$ Мусковит $+$ Биотит $+$			Анкерит $\pm$ Кальцит $\pm$ Доломит $\pm$ Магнезит $\pm$ Сидерит $\pm$		Арагонит —
$n > 1,700$. Очень сильный положительный рельеф	Шпинель Альмандин Гроссуляр Пироп Спессартин Уваровит Анрадит Пикотит Плеонаст Лимонит		Корунд $\pm$	Везувиан $\pm$ Цоизит — Хлоритоид	Везувиан $\pm$	Шеелит		Арфведсоцит — Ставролит $+$ Геденбергит — Авгит $+$ Хлоритоид —	Арфведсоцит — Дистен $+$ Гинерстен $+$			Монацит $+$ Диаспор —	Лепидомелан $+$ Эпидот $\pm$ Эгирин (акмит) —	Касситерит $+$ Рутил $+$ Ксенотим $+$ Циркон $+$	Анатаз $\pm$ Магнезит $\pm$ Сидерит $\pm$ Ярозит Гематит	Сфен— брукит $+$	Гетит $\pm$	

Примечание. 1) знак зовы; 2) пеннин — окрашенные минералы черным шрифтом.

кие же, как и отношения объемов, принимают вычисленные проценты за проценты объема.

Чтобы перейти к весовым процентам, умножают полученный результат по каждому минералу на его удельный вес.

Все описанные методы подсчета требуют много времени.

Если большая точность подсчета не требуется, можно рекомен-

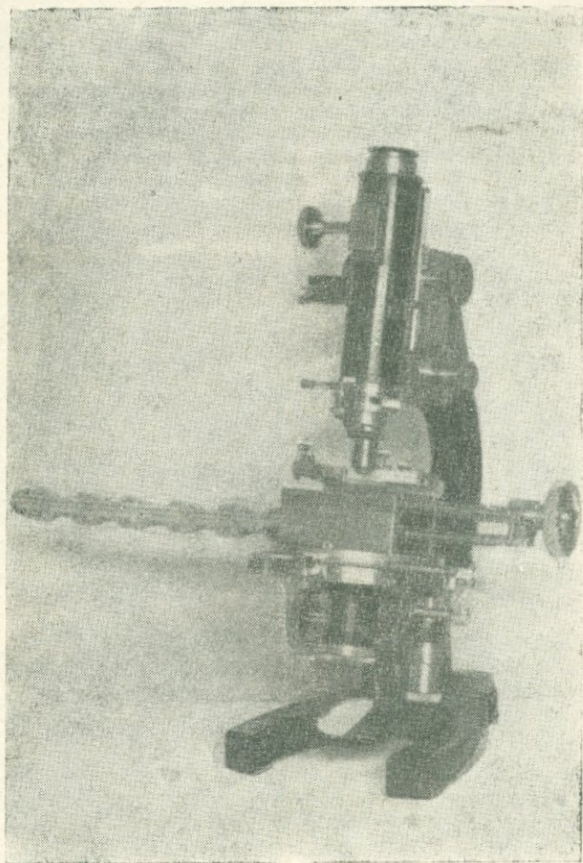


Рис. 24. Микроскоп МП-2 со счетным столиком ИСА.

довать определение количественного соотношения минералов путем сравнения со специальными таблицами, составленными М. С. Швецовым (см. рис. 25—28).

Рассматривая шлиф, исследователь сравнивает содержание минерала в поле зрения с фотографиями полей зрения, на которых нанесены темными контурами различные количества минералов (от 2—3% до 50%).

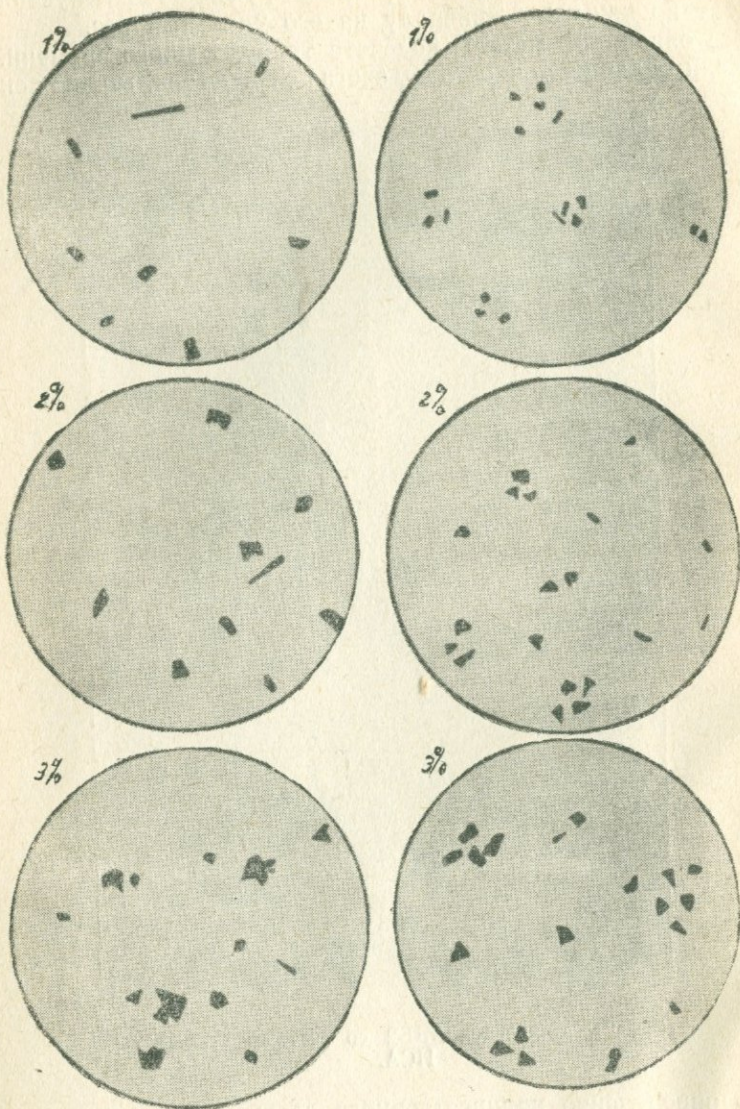


Рис. 25. Диаграмма для определения количества минералов в шлифе.

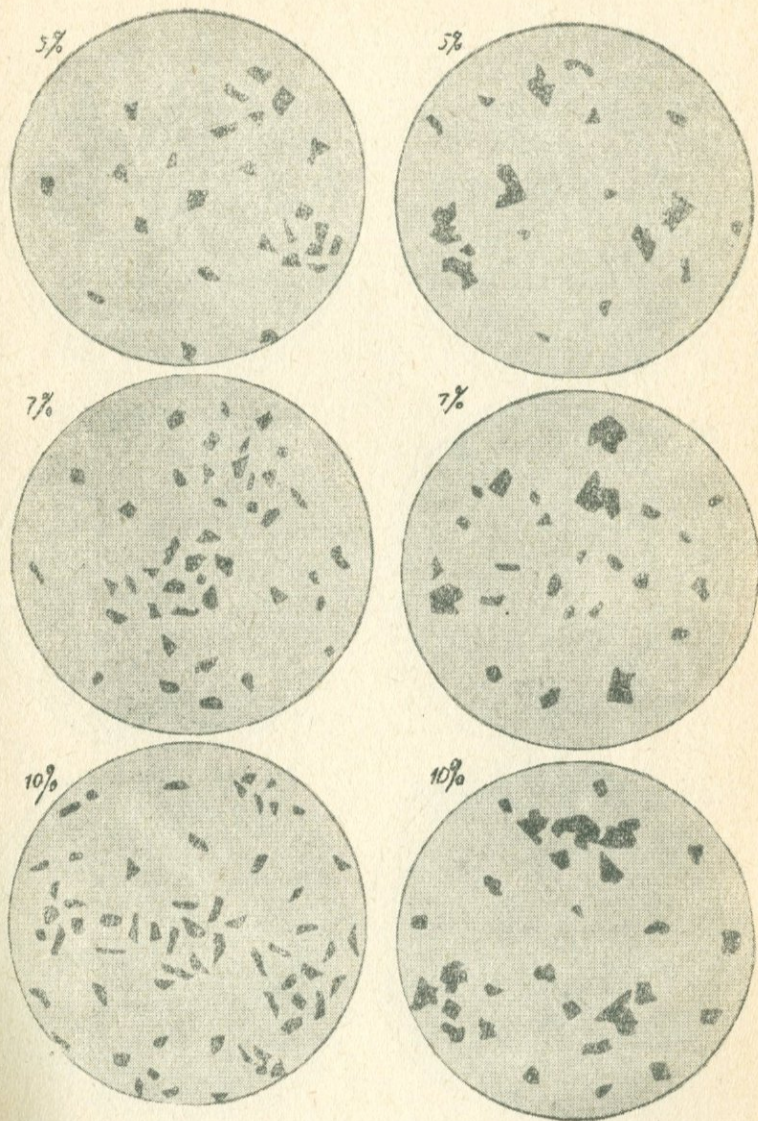


Рис. 26. Диаграмма для определения количества минералов в шлифе.

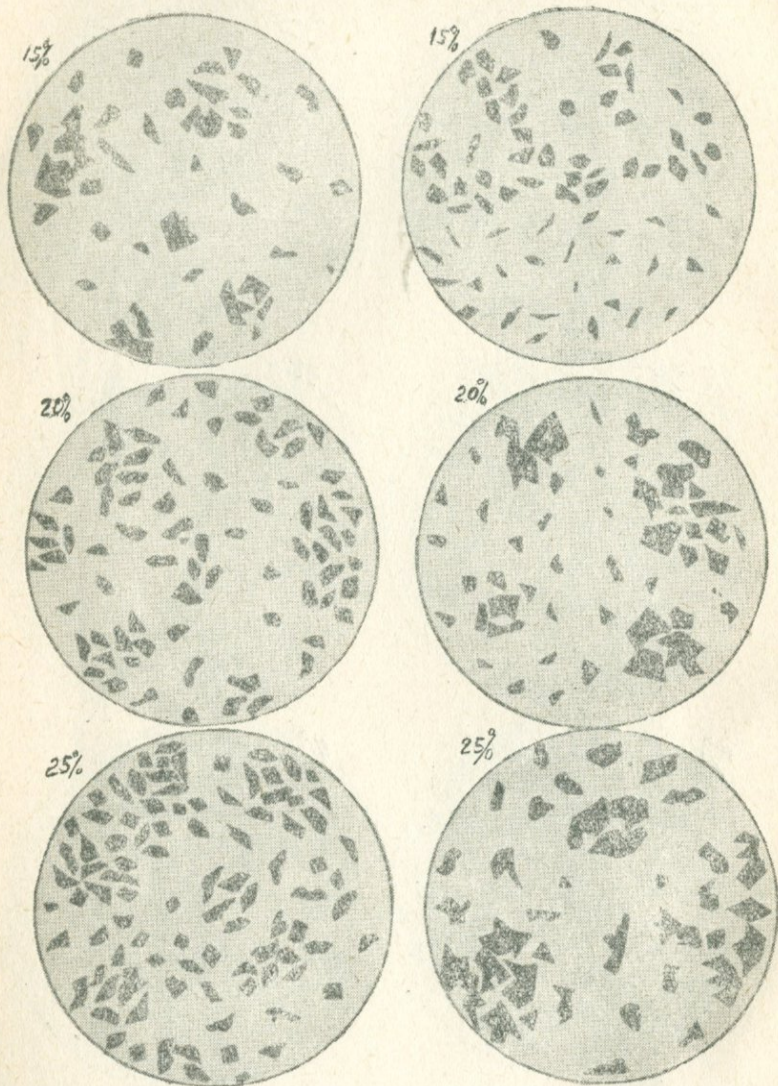


Рис. 27. Диаграмма для определения количества минералов в шлифе.

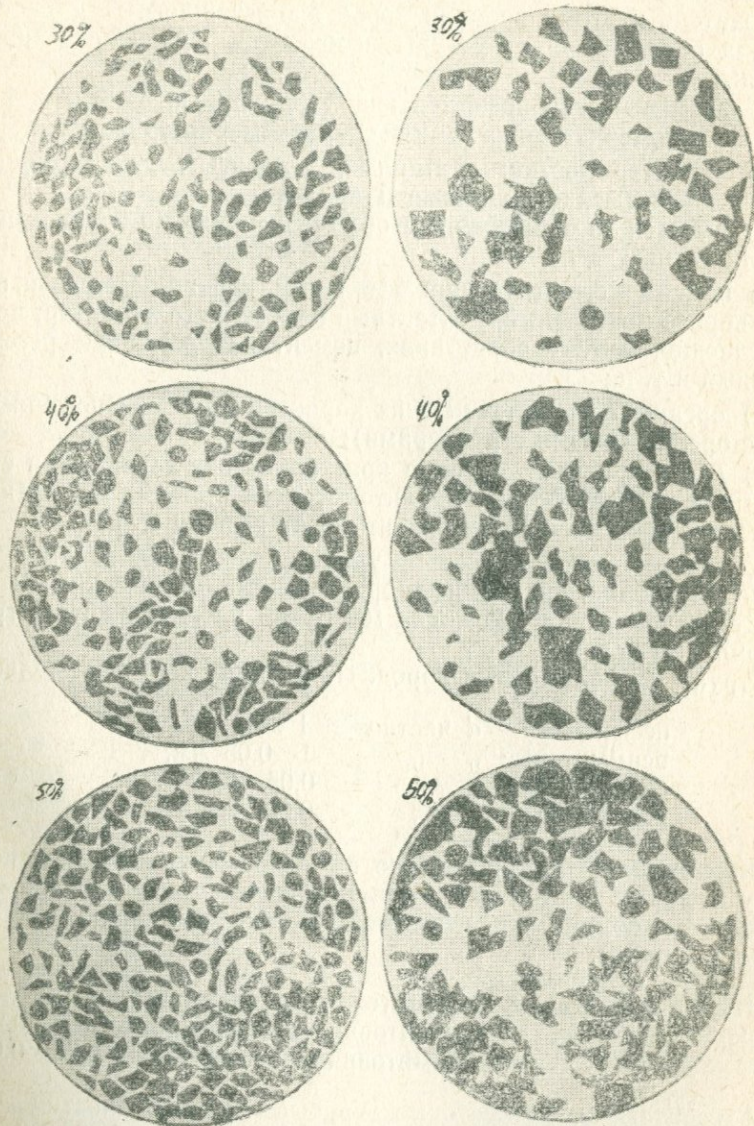


Рис. 28. Диаграмма для определения количества минералов в шлифе.

Определение структур. Следующая операция — определение структуры горной породы. Такое определение можно производить и в самом начале изучения шлифа, но лучше в конце, так как исследователь к этому времени хорошо знает шлиф.

Для определения структуры необходимы следующие наблюдения:

а) размер частиц преобладающей фракции их *max* и *min* размеры, равномернозернистая или неравномернозернистая порода;

б) характер частиц: окатанные, угловатые, угловато-окатанные, чешуйчатые, волокнистые и др.;

в) имеется ли ориентировка обломочных частиц и зерен цемента или ее нет;

г) цемент и его структура: базальный, порово-базальный, поровый, порово-контактный, контактный цемент и его характер; цемент выполнения, цемент обрастания, цемент разрастания — регенерационный и т. п.;

д) органические остатки и их характер (для органогенных пород с органогенными структурами);

е) для химических пород с кристаллически зернистыми структурами — размер, форма, характер сочленения зерен и взаимное расположение (имеется ли ориентировка зерен и т. п.).

Структуры осадочных пород удобно рассматривать по группам осадочных пород: обломочные, органогенные, химические.

Структуры глинистых пород мы будем рассматривать в группе обломочных пород.

Структуры обломочных пород. По размеру частиц выделяются:

псефитовые	<i>d</i> частиц	$> 1 \text{ мм};$
псаммитовые	„ „	$1—0,05 \text{ мм};$
алевритовые	„ „	$0,05—0,005 \text{ мм};$
пелитовые	„ „	$< 0,005 \text{ мм}.$

Псефитовые структуры можно, в свою очередь, разделить по размеру и форме частиц: псефитовые, конгломератные и гравийные (окатанные обломки) и псефитовые, брекчиевые, хрящевые (угловатые обломки).

Псаммитовые: псаммитовая крупнозернистая 1,0—1,5 мм;
псаммитовая среднезернистая 0,5—0,25 мм;
псаммитовая мелкозернистая 0,25—0,05 мм.

Алевритовые: алевритовые грубые — размер частиц 0,05—0,01 мм, алевритовые тонкие — размер частиц 0,01—0,005 мм.

Пелитовые: пелитовые грубые — размер частиц 0,005—0,001 мм, пелитовые тонкие — размер частиц менее 0,001 мм.

Кроме того, выделяются переходные структуры: псефито-псаммитовые, псаммо-алевролитовые, псаммо-пелитовые и алевро-пелитовые, где наблюдается смесь обломков различного размера.

По характеру цемента в зернистых породах (псефитах, псаммитах и алевритах) можно выделить такие типы структур.

Базальная цементация (зерна не соприкасаются друг с другом)	}	по количеству цемента
поровая цементация (цемент заполняет поры)		
контактная цементация (цемент на контакте зерен)		
Цементация обрастания—крустификационная	}	по способу образования
• разрастания—регенерационная		
• коррозии—коррозионная		
• выполнения пор и пустот		
Цементация аморфным веществом	}	по характеру цемента
• кристаллическим веществом: беспорядочно зернистая, пойкилитовая или типа фонтенбло, радиоально-лучистая и др.		

И наконец, смешанный тип цемента как по минеральному составу, так и по способу и характеру цемента. Этот тип цемента, пожалуй, является наиболее распространенным.

В породах, подвергшихся глубоким изменениям, наблюдаются зубчатая, мозаичная, гранобластовая, регенерационная и бластическая структуры (кварцито-песчаники, песчаники-кварциты, кварциты).

Глинистые породы по размеру частиц и степени сортировки могут иметь следующие типы структур: пелитовая, алевро-пелитовая, псаммо-пелитовая.

По степени кристалличности выделяют такие структуры: аморфные — некристаллические, полукристаллические, кристаллические.

По характеру частиц и их ориентировке выделяют следующие структуры: беспорядочно зернистая или микрозернистая; параллельно ориентированная или сланцеватая, волокнистая, хлопьевидная, оолитопелитовая, конгломератовидная, брекчиевидная.

Структуры органогенных пород: обломочные или детритусовые состоят из обломков организмов (органогенно-обломочные по происхождению); грубозернистые — размер обломков более 1 мм, крупнозернистые — 0,5—1,0 мм, среднезернистые — 0,25—0,5 мм, мелкозернистые — 0,05—0,25 мм, тонкозернистые или шламмовые — менее 0,05 мм.

Органогенные или биоморфные структуры — породы состоят из целых особей организмов.

Реликтивно-органогенные перекристаллизованные — наблюдают-ся только следы органогенных остатков.

Структуры химических пород. Структуры химических пород обычно кристаллические зернистые с различной формой и величиной зерен.

Можно различать такие кристаллические зернистые структуры:

Пелитоморфные или криптокристаллические — размер частиц менее 0,005 мм,	
микрозернистые	0,005—0,05 мм,
мелкозернистые	0,25—0,05 мм,
среднезернистые	0,5—0,25 мм,
крупнозернистые	1,0—0,5 мм,
грубозернистые	более 1,0 мм.

Помимо этого выделяются специфические структуры концентрического сложения: оолитовые с размером оолитов до 1—2 мм, пизолитовые — с размером пизолитов в несколько миллиметров. Оолиты и пизолиты состоят из карбоната (обычно кальцит, реже доломит и другие карбонаты) радиально-лучистого или концентрического сложения.

Химические породы имеют еще и ряд вторичных структур, возникающих в результате вторичных процессов: перекристаллизации (кристаллобластовые), метасоматоза (метасоматические) и катаклаза (катакластические).

Кристаллобластовые структуры: гранобластовая, лепидобластовая (чешуйчатая), нематобластовая, порфиробластовая, пойкилобластовая.

Метасоматические: порфиробластовая, пойкилобластовая, поперечно-волокнистая, натечная.

Катакластические: брекчиевидные, гнейсовидная или сланцеватая (с уплощенными и параллельно ориентированными зернами минералов).

Приведенный перечень структур является далеко не полным. Более подробное описание структур см. в книге «Структуры горных пород» под редакцией Ю. Половинкиной (Осадочные породы, том II, 1948).

Изучая шлиф и определяя минералы, исследователь одновременно накапливает материал для определения структуры. Вся работа по изучению шлифа завершается определением структуры.

Несколько замечаний по поводу определения последовательности выделения минералов и их генетических взаимоотношений

Исследование в шлифах дает возможность изучить не только аллотигенные составляющие, но и аутигенные составляющие — минералы цемента. Описывая шлиф, необходимо обращать внимание на последовательность образования аутигенных минералов и их генетические взаимоотношения. С этой целью надо внимательно изучать поровое пространство.

Обычно последовательность образования минералов в порах и пустотах следующая: минералы, слагающие периферическую часть пор — прилегающие к обломочным зернам, являются наиболее ранними образованиями из аутигенных минералов. Раньше них могут возникать только аллотигенные — обломочные минералы и вторичные минералы, образующиеся по обломочным (последние не всегда образуются раньше минералов цемента).

Минералы, выполняющие средние части пор и пустот, являются более поздними по отношению к первым.

Минералы, слагающие центральную часть пор и пустот, являются наиболее поздними. Позже них могут выделяться только минералы, выполняющие трещины отдельностей.

Если цементирующее вещество полиминерально, такие наблюдения можно провести. При этом следует отмечать воздействие одних минералов на другие. Например, обломочные зерна окружены кальцитом, кальцит сильно корродирует их, срединная часть выполнена халцедоном и кварцем, которые, в свою очередь, разъедают кальцит и, наконец, центральная часть пор и пустот сложена каолинитом. По трещинам отдельностей развит пирит, сульфаты железа и гидроокислы железа. Последовательность выделения минералов в этом случае будет такая:

обломочные зерна, кальцит, халцедон, кварц, каолинит и затем пирит, сульфаты железа, гидроокислы железа. Если цементирующее вещество мономинеральное, следует обращать внимание на характер минералов периферической и центральной части пор. Эти наблюдения могут дать материал для восстановления условий образования и последующих изменений цемента.

В процессе вторичных (эпигенетических) изменений осадочных горных пород наиболее интенсивно изменяется цементирующее вещество, значительно менее интенсивно обломочные зерна. Эти изменения приводят в первую очередь к перекристаллизации минералов цемента. Так, например, пелитоморфные карбонаты превращаются в кристаллически зернистые, глинистые минералы, аморфные или скрытокристаллические, — в кристаллические гидрослюды, аморфная кремнекислота и гидроокислы железа — в кристаллические окисные минералы и т. п.

Если процессы изменения происходят с привносом вещества, возникают новые минералы. Так, например, по кальциту может образоваться магнезиально-кальциевый, магнезиально-железистый карбонат и т. п.

Трудно в этом дать какие-либо рецепты. Следует только подчеркнуть, что требуется большая внимательность и тщательность наблюдений.

Примеры описания шлифов

Для начинающих иногда представляет затруднение сама форма описания: что и как описывать, на что обращать внимание? В связи с этим ниже приведено примерное описание шлифов некоторых осадочных пород.

Алевролит. Алевролит полевошпатово-кварцевый, грубый, размер преобладающей фракции 0,01—0,05 мм, в небольшом количестве присутствуют зерна диаметром 0,07—0,09 мм. Форма зерен угловатая.

Порода состоит из кварца, кислого плагиоклаза № 5—10 ($n < n$ к. б., тонкие полисинтетические двойники, угасание в разрезах $\perp$ (010) 15—18°), микроклина ($n < n$ к. б., микроклиновая решетка), слюды (мусковита и биотита) и единичных зерен акцессорных минералов (циркон, рутил).

Цемент контактово-поровый, местами поровый, по составу опаловый ($n < n$ к. б., изотропный). Опал образует каемки вокруг обломочных зерен и наблюдается в виде мельчайших шариков в порах. Отмечено 2—3 экземпляра обломков створок диатомей. Иногда в массе опала, особенно на контакте с обломочными зернами, встречаются тонкие каемки волокнистого минерала ($n \ll n$ к. б., двупреломление низкое, угасание прямое, удлинение положительное), вероятно, кварцина. Помимо опала в состав цемента входят агрегаты (вермикулитоподобные или воротничковые) каолинита ($n > n$ к. б., рельеф положительный, двупреломление низкое, угасание почти прямое). Каолинит выполняет центральные части пор. Содержание кварца 60—65%, полевого шпата 7—9%, цемент составляет около 25% поверхности шлифа. Структура алевритовая, грубая с контактово-поровой цементацией.

Известняк оолитовый. Порода состоит из кальцита и небольшого количества обломочных зерен кварца, полевого шпата и обломков пород (кремнь). Кальцит образует оолиты и слагает цемент.

Оолиты овальной формы и концентрического строения, размером от 0,5 до 0,9 мм, единичные оолиты достигают 1,5 мм.

Концентрические слои оолитов сложены пелитоморфным кальцитом, ядро оолитов иногда содержит песчинки кварца, полевого шпата, кремня или обломки раковин пелеципод. Встречаются сложные оолиты, когда две—три оолитины обволакиваются общей оболочкой, состоящей из концентрических слоев пелитоморфного кальцита.

Цемент контактово-поровый и поровый (~ 20 —28% поверхности шлифа) состоит из зернистого кальцита (размер зерен 0,05—0,18 мм), у части оолитов ($\sim 20\%$) ядро выщелочено—отрицательные оолиты. Структура оолитовая с контактово-поровой цементацией.

Песчаник кварцевый, крупнозернистый (разнородно-зернистый). Порода состоит из зерен кварца, небольшого количества полевых шпатов (кислый плагиоклаз — N30), обломков горных пород (кварцит, кварцево-серицитовый сланец) и единичных зерен акцессорных минералов (циркон, гранат). Размер преобладающей фракции 0,5—0,9 мм, в небольшом количестве встречаются зерна 0,2—0,8 мм и зерна 1,2—1,5 мм. Цемент состоит из вторичного кварца и серицита. Вторичный кварц образует каемки вокруг обломочных зерен, обычно с одинаковой оптической ориентировкой—регенерационный цемент. Контуры обломочных зерен видны только иногда, благодаря наличию пылинок окислов железа на поверхности обломков.

Серицит встречается в порах в виде тонкочешуйчатых агрегатов, реже чешуйки его лежат на контакте зерен. Очень часто одни зерна внедряются в другие, наблюдается звездчатое сочленение зерен.

Структура псаммитовая разнородно-зернистая с регенерационной цементацией (кварцитовидная).

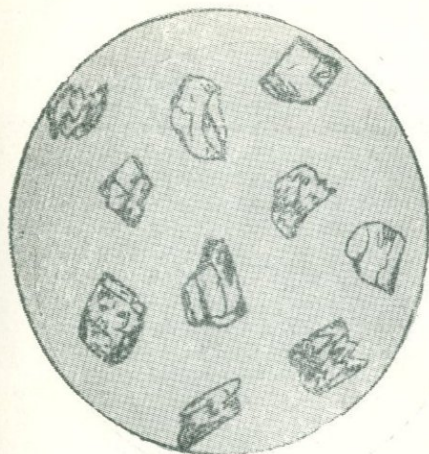


Рис. 29. Авгит, увелич. 48. Апшеронский ярус (по А. Г. Алиеву и др.).

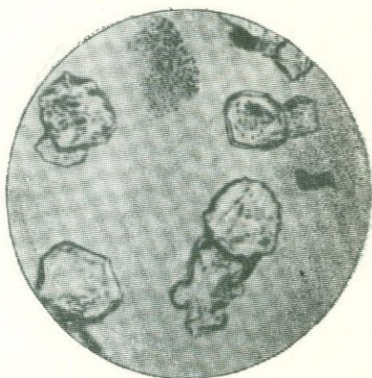


Рис. 30. Анальцим из олигоценового песчаника с. Зейва—Грузия. Увелич. 300 при I никеле (по Е. П. Ермоловой).

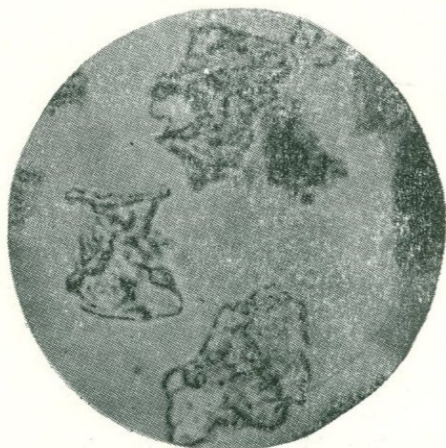


Рис. 31. Анальцим из олигоценового песчаника с. Зейва—Грузия. Увелич. 300 при I никеле (по Е. П. Ермоловой).



Рис. 32. Анальцимовый цемент в сарматском песчанике хр. Эйгляр-оуга — Грузия: х — контуры замещенных анальцимом зерен полевых шпатов; о — контуры незамещенных зерен полевых шпатов. Увелич. 140 при 1 николе (по Е. П. Ермоловой).

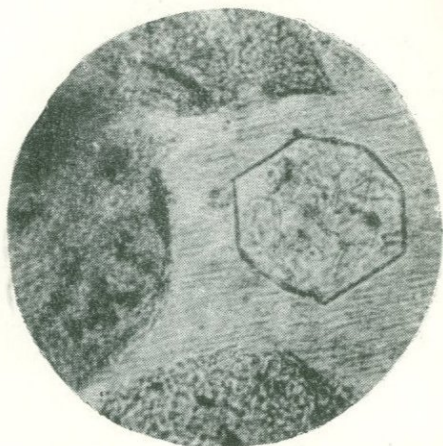


Рис. 33. Кристаллы анальцима в гипсовом цементе алевролита. Пермские отложения Татарии. Увелич. 240 при 1 николе (по Г. А. Шаповаловой).

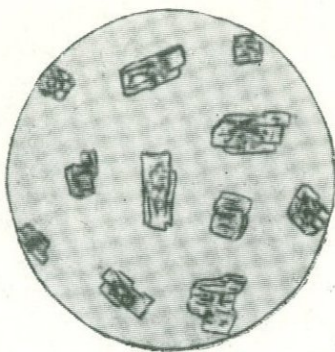


Рис. 34. Ангидрит, увелич. 48 при одном николе. Продуктивная толща Азербайджана (по А. Г. Алиеву и др.).

VI. ОПИСАНИЕ МИНЕРАЛОВ

Авгит (рис. 29)

Химический состав: Ca (Mg, Fe²⁺, Al) [(Si, Al)₂O₆]; SiO₂—45—48%, Al₂O₃—4—10%, Fe₂O₃—3—6%, FeO—3—9%, CaO—19—20%.

Система — моноклинная.

Формы — короткостолбчатый, призматический, таблитчатый, часты двойники по (100).

Спайность — по призме (110) совершенная, реже по (100), отдельность по (001).

Твердость — 5—6.

Удельный вес — 3,2—3,6.

Цвет — зеленовато- и буровато-черный, темно-зеленый, бурый.

Магнитные свойства — умеренно магнитен, выделяется в тяжелой электромагнитной фракции.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (010). Ng = 1,710—1,724; Nm = 1,687—1,706; Np = 1,682—1,700; Ng — Np = 0,018—0,026; (+) 2V = 50—60°, c Ng = 40—45°. Дисперсия $r > v$. Удлинение положительное и отрицательное при (c Ng > 45°). В шлифе — бесцветен или слегка буроватый, желтовато-зеленоватый, титанистые разности обнаруживают слабый плеохроизм.

Особенности в осадках. Встречается в виде окатанных призмочек или в виде угловатых осколков по спайности, последние часто обнаруживают выход оптической оси. Цвет — зеленовато-буроватый, интенсивность окраски тем больше, чем толще зерна, плеохроизма нет или слабый.

Распространение. Встречается в кислых, средних и основных магматических породах, в эффузивах — часто в виде крупных вкрапленников. Широко распространен в современных осадках: аллювии, делювии, морских песках, образовавшихся вблизи массивов магматических пород, в небольших количествах встречается вдали от источников сноса (пески дельты Волги, рек Кавказа, дельты Рейна и др.).

В древних осадочных породах авгит встречается сравнительно редко. Значительные количества его отмечены в отложениях продуктивной толщи Апшеронского полуострова.

В каменноугольных и пермских отложениях Русской платформы он встречается в ничтожных количествах. Высокие концентрации авгита отмечены в некоторых осадочных породах Англии.

Литература. Описание авгита или указание о его нахождении в осадочных породах имеется в следующих работах: [1, 11, 19, 63, 82, 83, 96, 110 и др.].

Аксинит

Химический состав: $\text{Ca}_2 (\text{Mn}, \text{Fe}) \text{Al}_2 \text{B Si}_4 \text{O}_{15} (\text{OH})$.

Сингония — триклинная.

Формы — клинообразные, изометрические, развитые, напоминающие алмаз, редко — призматические.

Спайность — средняя по (010), иногда по (001).

Твердость — 6,5—7.

Удельный вес — 3,27—3,29.

Цвет — от розовато-бурого до красного, фиолетово-синий, желтый, серый, белый, реже — бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Острая биссектриса Np почти $\perp$ (011). $\text{Ng}=1,685\text{—}1,699$; $\text{Nm}=1,684\text{—}1,698$; $\text{Np}=1,676\text{—}1,690$; $\text{Ng—Np}=0,007\text{—}0,013$; $(-)$ $2V=70\text{—}83^\circ$. Дисперсия сильная $r>v$. Плеохроизм $\text{Nm}>\text{Np}>\text{Ng}$ умеренный, наблюдается только в толстых зернах.

Особенности в осадках. Встречается в виде неправильных или округленных зерен синевато-розового или розового цвета. Зерна обнаруживают наличие мелких раковистых трещин, характерных для аксинита. Кластический аксинит неплеохроичен или слабо плеохроичен (в тонких зернах).

Распространение. В метаморфизованных основных изверженных породах (пневматолитически измененных), в пустотах некоторых кислых пород, как гидротермальный минерал, в гидротермальных рудных месторождениях. В осадочных породах встречается редко. В современных осадках чаще вблизи источников сноса. Обычно встречается совместно с пироксенами и амфиболами.

Литература: [72, 110].

Алмаз

Химический состав: C.

Сингония — кубическая.

Формы — разнообразны: октаэдры, додекаэдры, тетраэдры.

Спайность — средняя по (111).

Твердость — 10.

Удельный вес — 3,47—3,56.

Цвет — бесцветный, прозрачный или окрашен в буроватый, черный, голубой, желтый цвета.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Оптически изотропный, $n=2,40-2,46$, сильная дисперсия. Наблюдаются оптические аномалии, двойное лучепреломление полосами или вокруг включений, одноосная фигура. Содержит в виде включений графит, магнетит, возможно гематит, хромит, оливин, циркон и др.

Особенности в осадках. Встречается в виде округленных кристаллов, полуугловатых зерен гравия, галек и идиоморфных кристаллов.

Распространение. Перидотиты (кимберлиты) и другие ультраосновные породы, кварцево-сланцевые сланцы, кварцевые конгломераты, метеориты. В осадочных породах описывается очень редко (кварцевые конгломераты Южной Африки). В современных осадках отмечен в аллювиальных россыпях (Бразилия, Конго, Южная Африка, Золотой Берег, Индия, Урал).

Алмаз, вероятно, гораздо чаще присутствует в древних осадочных породах, но пропускается при исследовании пород в связи с наличием большого количества изотропных высокопреломляющихся минералов.

Литература: [14, 24, 76 и др.].

Алунит

Химический состав: $KAl_3[SO_4]_2(OH)_6$; $K_2O-11,4\%$, $Al_2O_3-37\%$, $SO_3-38,6\%$, $H_2O-13,0\%$.

Сингония — тригональная.

Формы — кубический и толстотаблитчатый облик, зернистые, землистые и волокнистые агрегаты.

Спайность — ясная по (0001).

Твердость — 3,5—4,0.

Удельный вес — 2,6—2,8.

Цвет — белый с сероватым, желтоватым и красноватым оттенками.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_e=1,592$; $N_o=1,572$; $N_e-N_o=0,020$; у Na алунита $N_e=1,595$; $N_o=1,583$; $N_e-N_o=0,012$ (0,010). Одноосный положительный, удлинение отрицательное (в вертикальных разрезах).

Особенности в осадках. Неправильной формы зерна, зернистые и землистые агрегаты.

Распространение. Образуется в порфирах, порфиритах и их туфах в результате гидротермального изменения (процессы алунитизации), в коре выветривания.

В осадочных породах встречается как продукт выветривания сульфидов железа, аутигенный минерал.

Литература: [1, 30, 102].

Альбит

(альбит-олигоклаз)

Химический состав: $\text{Na} [\text{Al Si}_3\text{O}_8]$ содержит до 10% анортитовой молекулы $\text{Ca} [\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$.

Сингония — триклинная.

Формы — таблитчатый и таблитчато-призматический.

Спайность — совершенная по (001) и (010).

Твердость — 6—6,5.

Удельный вес — 2,61—2,65.

Цвет — белый, серовато-белый, иногда с красноватым оттенком, в шлифе — бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $n_g = 1,539—1,543$; $n_m = 1,532—1,538$; $n_p = 1,529—1,534$; $n_g - n_p = 0,010$ (содержит 5—13% An); (+) $2V = 76^\circ$. Погасание косое, дисперсия $r < v$. Обычно сложные полисинтетические двойники, по альбитовому закону — двойниковая плоскость (010), реже — несдвоенные кристаллы. Удлинение положительное и отрицательное.

Особенности в осадках. В осадочных породах среди плагиоклазов альбит-олигоклаз — наиболее распространенный минерал. Встречается в виде зерен неправильной формы, таблитчатых, окатанных зерен. Несет следы выветривания (серицит, гидрослюда, каолинит), иногда содержит включения кварца, слюды и акцессорных минералов. Обычно наблюдаются тонкие полисинтетические двойники. Помимо кластического довольно часто встречается аутигенный альбит. Для него наиболее характерны комбинация второго пинакоида (010) с третьим (001) и пинакоидом третьего рода (110).

Распространение. Кислые магматические породы, пегматиты, некоторые гнейсы и кристаллические сланцы.

В осадочных породах обычный минерал, в аркозах и граувакках содержится в значительных количествах. Довольно часто описывают аутигенный альбит (карбонатные и обломочные породы).

Литература: [2, 7, 8, 11, 26, 63, 72, 81, 83, 127, 128 и др.].

Альмандин (рис. 53, 54, 55)

Химический состав: $\text{Fe}_3 \text{Al}_2 [\text{SiO}_4]_3$.

Сингония — кубическая.

Формы — ромбический додекаэдр, тетрагонтриоктаэдр, грапецоэдр.

Спайность — несовершенная по (110).

Твердость — 7—7,5.

Удельный вес — 3,91—4,25.

Цвет — бурый, красный, черный.

Магнитные свойства — умеренно магнитен.

Оптические свойства. Изотропен, $n = 1,766 - 1,830$, оптические аномалии редки.

При выветривании превращается в бурую глинистую массу (хлорит, эпидот, окислы железа). Минерал средней устойчивости и даже неустойчивый (?).

Особенности в осадках. Встречается в виде угловатых обломков, реже — частично окатанных. Мелкие зерна ($< 0,1$ мм) — бесцветные или розовые, крупные — $d > (0,2$ мм) — розовые и красные. Обломки имеют полураковистый излом и входящие углы. Иногда наблюдается спайность, следы травления и регенерации (?). Широко распространены гранаты со ступенчатой (черепитчатой) поверхностью в каменноугольных отложениях Львовской мульды, Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса. Содержат включения кварца, слюды, акцессорных и рудных минералов.

Распространение. Изверженные и метаморфические породы, скарны. В осадочных породах — обычный акцессорный минерал. Широко распространен в современных осадках. Значительные концентрации известны в песках пляжей Азовского, Белого, Баренцева морей, Гудзонова залива, Флориды, Новой Зеландии. Обычный минерал аллювия.

Литература: [11, 19, 26, 41, 44, 63, 80, 108, 110, 115, 118, 132 и многие другие].

Амфиболы и пироксены

Амфиболы характеризуются высокими показателями преломления, средним двупреломлением (за исключением щелочных роговых обманок), почти все отрицательным оптическим знаком, небольшими углами погасания ($0 - 25^\circ$), характерной спайностью под углом 124° , густой окраской, главным образом в зеленых тонах, сильным плеохроизмом (за исключением тремолита) (см. табл. 23).

Отличие роговых обманок друг от друга основано на определении комплекса признаков, среди которых наибольшее значение имеют двупреломление, окраска и плеохроизм, показатели преломления, характер и ориентировка индикатрисы (главным образом углы погасания). Так, например, щелочные роговые обманки (рибекит и арфведсонит) отличаются низким двупреломлением и небольшими углами погасания от 0 до 15° , синеватой и сине-зеленой окраской. Базальтическая роговая обманка отличается бурым цветом, почти прямым погасанием и высоким показателем преломления (и двупреломления) $> 1,700$.

Обычная роговая обманка и куммингтонит могут иметь высокий показатель преломления (выше $1,700$, обычно N_g находится в пределах $1,660 - 1,700$) и большой угол погасания. Но так как куммингтонит редок, речь может идти в основном о роговой обманке.

Большинство других роговых обманок имеет показатели преломления ниже $1,660$ (N_g). Роговые обманки в иммерсии выглядят

Амфиболы

Таблица 23

Минералы Константы	Антофиллит	Куммингтонит	Тремолит	Актинолит	Парагасит	Обыкновенная роговая обманка
Ng	1,640—1,661	1,646—1,729	1,625—1,639	1,638—1,655	1,633—1,643	1,652—1,713
Nm	1,630—1,655	1,634—1,706	1,613—1,623	1,627—1,644	1,618—1,628	1,665—1,711
Np	1,619—1,642	1,627—1,688	1,599—1,606	1,611—1,628	1,618—1,622	1,634—1,693
Ng—Np	0,018—0,020	1,019—0,043	0,026—0,027	0,027	0,020	0,018—0,025
2V	(±)89—114°	(—)75—93°	(—)81—82°	(—)80—81°	(+)56—70°	(—)38—79°
Цвет	Бурий, зеле- ный, в шлифе бесцветный	Бурий	Белый, серый, зеленоватый, в шлифе бесцветный	Зеленый, зелено-желтый	Зеленый	Зеленая
Плеохроизм	Np > Nm > Ng	Ng > Nm > Np	—	Ng > Nm > Np	Ng > Nm > Np	Ng > Nm > Np
Дисперсия	—	$r > v$	—	$r < v$		
Угасание	$c \text{ Ng} = 0$	$c \text{ Ng} = 10—20^\circ$	$c \text{ Ng} = 15—20^\circ$	$c \text{ Ng} = 8—15$	$c \text{ Ng} = 21—29^\circ$	$c \text{ Ng} = 15—25$ (обычно 16—19)
Твердость	5,5—6	5,5—6	5—6	5—6	5,5	5,5—6
Спайность	По призме (110) совершенная под углом—124°, несовершенная по (001)					
Удельный вес	3,09—3,17	3,2—3,5	2,9—3,02	2,99—3,04	3—3,09	3,1—3,2
Состав	(MgFe) ₇ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	(Fe,Mg) ₇ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	Ca ₂ Mg ₅ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	Ca ₂ Na,Mg ₄ Al[(Si,Al) ₄ O ₁₁] ₂ (F,OH) ₂	Na,Ca ₂ (Mg,Fe) ₄ AlFe ⁺⁺⁺ [AlSi ₃ O ₁₁] ₂ (OH) ₂
Сингония	Ромбическая	Моноклинная	Моноклинная	Моноклинная	Моноклинная	Моноклинная

Амфиболы

Минералы Константы	Гастингсит	Базальтиче- ская роговая обманка	Баркевикит	Глаукофан	Рибекит	Арфведсонит
Ng	1,641—1,680	1,711—1,796	1,701	1,634—1,639	1,691—1,697	1,642—1,708
Nm	1,632—1,672	1,698—1,769	1,690	1,632—1,638	1,643—1,695	1,696
Np	1,622—1,664	1,650—1,702	1,680	1,615—1,621	1,688—1,693	1,633—1,695
Ng—Np	0,016—0,022	0,060—0,094	0,021	0,017—0,019	0,003—0,004	0,005—0,012
2V	(—)83—90°	(—)55—66°	(—)31—52°	(—)41°	(—)68—90°	(—)90°
Цвет	Синевато- зеленый, желтовато- зеленый	Коричнево- бурый	Темно-бурый, красно-бурый	Бесцветный, бледно-голубой	Синий до черного	Черный
Плеохроизм	Ng > Nm > Np	Ng > Nm > Np	Ng > Nm > Np	Ng > Nm > Np	Np > Nm > Ng	Np > Nm > Ng
Дисперсия	$r > v$	—	—	$r > v$ сильная	—	Сине-зеленые тона
Угасание	c Ng = 18—29°	c Ng = 0—10°	c Ng > 10°	c Ng = 3—11° до 22°	c Np = 0—5°	c Np = 5—15°
Твердость	6	5—6	6—5	5—6	4	5,5—6
Спайность	По призме (110) совершенная под углом—124°, несовершенная по (001)					
Удельный вес	3,37	3,2—3,5	3,43	2,99—3,12	3—3,45	3,44—3,46
Состав	Ca ₂ Na(Fe,Mg) ₄ (Fe ⁺⁺⁺ ,Al) [Si ₃ AlO ₁₁] ₂ (OH) ₂	NaCa ₂ (Mg,Fe) ₄ (AlFe ⁺⁺⁺) [AlSi ₃ O ₁₁] ₂ (OH) ₂	Na роговой об- манки + некото- рое количество молекул обыч- ной роговой обманки	Na ₂ (Mg,Fe) ₃ Al ₂ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH,F) ₂	Na ₂ Fe ₃ Fe ₂ [Si ₄ O ₁₁] ₂ (O,OH) ₂	Na ₂ (Fe ⁺⁺⁺ ,Mg) (Fe ⁺⁺⁺ ,Al) [Si ₄ O ₁₁] ₂ (OH,F) ₂
Сингония	Моноклинная	Fe ₂ O ₃ и TiO ₂ до 2—3%		Моноклинная	Моноклинная	Моноклинная

Пироксены

Минералы Константы	Эгстатит	Бронзит	Гиперстен	Клиноэгстатит	Клиногиперстен	Пижонит
Ng	1,671	1,665	1,705	1,660	1,700—1,750	1,711—1,744
Nm	1,665	1,659	1,702	1,654	—	1,691—1,714
Np	1,660	1,656	1,692	1,651	1,680—1,725	1,690—1,714
Ng—Np	0,009—0,010	0,009	0,013	0,009	0,020—0,030	0,011—0,030
2V	(+)70°	(±)80°	(—)75°	(+)53°	?	(+)0—20°
Цвет	Серый, желтый, зеленоватый, в шлифе бесцветный	В шлифе бесцветный	Буро-зеленый, оливковый	Бесцветный, желтоватый	Бесцветный, желтоватый, зеленоватый	Зеленовато-буроватые, черный
Плеохроизм	—	—	В зеленых и красных тонах	В шлифе бесцветный	В шлифе почти бесцветный	В шлифе бесцветный или слабо плеохроичный, в зеленых и бурых тонах
Дисперсия	$r > v$ слабая	—	$r > v$ слабая	Слабая	—	—
Угасание	c Ng=0	c Ng=0	c Ng=0	c Ng=22°	c Ng=26—43°	c Ng=40—44°
Твердость	5—6	—	5—6	6	6	6
Спайность	По призме (110) совершенная под углом 87—89°					
Удельный вес	3,1—3,4	—	3,4—3,5	3,19	?	3,42
Состав	MgSiO ₃	MgSiO ₃	(Mg,Fe)SiO ₃	MgSiO ₃	(MgFe)SiO ₃	m(MgFe)SiO ₃
Сингония		до 14% FeO	>14% FeO			nCaSiO ₃

Ромбическая, моноклиническая

Пироксены

Минералы Константы	Диопсид	Геденбергит	Авгит	Эгирин	Жадент
Ng	1,694—1,700	1,736—1,752	1,710—1,724	1,787—1,814	1,667
Nm	1,671—1,673	1,720—1,735	1,687—1,706	1,768—1,801	1,659
Np	1,664—1,671	1,710—1,726	1,682—1,700	1,742—1,777	1,655
Ng—Np	0,029—0,030	0,026	0,018—0,026	0,045—0,052	0,012
2V	(+)88°	(+)60°	(+)50—60°	(+)99—114°	(+)70°
Цвет	Бесцветный, бледно-зеленый	Темно-зеленый	В шлифе бесцвет- ный, желтоватый, зеленоватый	Зеленый до черного	В шлифе бесцветный
Плеохроизм	В шлифе бесцвет- ный	Слабый Ng>Nm>Np	Буроватый	Резко плеохро- ичный Np>Nm>Ng	—
Дисперсия	$r > v$ слабая	$r > v$ слабая	$r > v$	$r > v$ слабая	—
Угасание	c Ng=38° до 45°	c Ng=48°	c Ng=40—45°	c Np=2—5°	c Ng=34°
Твердость	5—6	5,5—6	5—6	5—6	5—6
Спайность	По призме (110) совершенная под углом 87—88°				
Удельный вес	3,11—3,42	3,5—3,6	3,2—3,6	3,27—3,55	3,33
Состав	CaMgSi ₂ O ₆	CaFeSi ₂ O ₆	Ca(MgFeMn)	NaFe	NaAl
Сингония			Si ₂ O ₆	Si ₂ O ₆	Si ₂ O ₆

Моноклиническая

несколько иначе, чем в шлифах. В иммерсии почти никогда не наблюдаются зерна роговой обманки, имеющие две системы трещин спайности (разрезы поперек призмы).

Обычно роговая обманка в иммерсии представляет собой удлиненные зерна призматического габитуса с угловатыми или зазубренными вершинами, игольчатые и копьевидные зерна, зерна неправильной формы.

Пироксены характеризуются высоким показателем преломления, низким (ромбические), средним (моноклинные) и высоким (щелочные) двупреломлением, слабой окраской и отсутствием плеохроизма (кроме эгирина), наличием двух систем трещин спайности, пересекающихся под углом $87-89^\circ$ (почти прямой), большим углом погасания (обычно $>30^\circ$, кроме ромбических и эгирина) (см. табл. 24). Почти все пироксены оптически положительные (кроме гиперстена).

Отличие пироксенов друг от друга основано на комплексе признаков, из которых наибольшее значение имеют двупреломление, показатели преломления, характер и ориентировка индикатрисы (главным образом углы погасания в ориентированных сечениях).

Зерна пироксенов в иммерсии имеют сходный с амфиболами габитус. Зерна с двумя системами трещин спайности также исключительно редки.

Отличие пироксенов от амфиболов заключается в следующем: отсутствие плеохроизма (или слабый плеохроизм в крупных зернах), большие углы угасания или прямое погасание (ромбические пироксены и эгирин), высокий показатель преломления ($N_g > 1,700$, гиперстен, клиноэнстатит, пижонит, диопсид, геденбергит, авгит, эгирин), слабое двупреломление (ромбические пироксены). Только константы эгирина и базальтической роговой обманки частично перекрываются. Отличие заключается в том, что роговая обманка плеохроична в бурых тонах, эгирин — в зелено-черных, схема адсорбции эгирина $N_p > N_m > N_g$, базальтической роговой обманки — $N_g > N_m > N_p$. Показатели преломления эгирина выше роговой обманки (N_g эгирина всегда выше 1,780, N_p обычно ниже, но близок 1,780, а у роговой обманки N_g — ниже 1,780) и, наконец, морфология зерен: эгирин обычно призматический, копьевидный или игольчатый, базальтическая роговая обманка часто волокнистая.

Амфиболы и пироксены в осадочных породах встречаются в небольших количествах и представляют собой аксессуарные минералы (в шлифе почти никогда не встречаются).

Литература: (39, 47, 63, 81, 118, 146 и др.).

Анагаз (рис. 86)

Химический состав: TiO_2 .

Сингония — квадратная.

Формы — бипирамидальный, таблитчатый.

Спайность — совершенная по (001) и (111).

Твердость — 5,5—6,0.

Удельный вес — 3,82—3,95.

Цвет — черный, бурый, желтый, индигово-синий, от прозрачного до непрозрачного.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_o=42,561-2,501$; $N_e=2,488-2,431$; $N_o - N_e=0,073-0,070$; одноосный отрицательный. Плеохроизм слабый, N_o — желтый, синий, зеленый; N_e — бурый, темно-синий, голубой; $N_o < N_e$, иногда $N_o > N_e$. Сильная дисперсия.

Особенности в осадках. Встречается в виде таблитчатых и бипирамидальных зерен, неокатанных, реже — слегка окатанных и угловатых обломков серого или желтовато-бурого цвета. В породах среднего карбона Донбасса отмечены радиально-лучистые образования и сферокристаллы анатаза. Часто наблюдаются бипирамидальные одиночные и сдвоенные кристаллы. Довольно часто проявляется зональность или «геометрический рисунок» в таблитчатых зернах благодаря тому, что проявляется спайность по (001) или (111).

Большая часть анатаза в осадочных породах, вероятно, аутигенного происхождения, меньшая — принадлежит кластическим зернам. Последние всегда в той или иной степени окатаны.

Распространение. Встречается в изверженных породах как вторичный минерал, образующийся при разрушении титансодержащих минералов. В метаморфических породах известны как первичный (при метаморфизме), так и вторичный минерал. Особенно высокие концентрации анатаза отмечены в коре выветривания латеритного типа (до 30—40% от всей породы в железистых конкрециях почв).

В осадочных породах широко распространен, так например, очень много анатаза в породах карбона Донбасса, встречается в карбоне Львовской мульды и Подмоскovie, в третичных и мезозойских отложениях Кавказа и др.

Литература: [10, 19, 26, 28, 63, 110, 111, 112, 117, 129].

Ангидрит (рис. 34, 35)

Химический состав: $CaSO_4$, $CaO-41,2\%$, $SO_3-58,2\%$.

Система — ромбическая.

Формы — призматический, таблитчатый, волокнистый, радиально-лучистый, зернистый.

Спайность — всяма совершенная по (001) и (010), менее совершенная по (100).

Твердость — 3—3,5.

Удельный вес — 2,89—2,98.

Цвет — бесцветный, белый, серый, розовый, фиолетовый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей $\parallel (010)$. $N_g=1,618-1,613$; $N_m=1,579-1,575$; $N_p=1,573-1,569$; $N_g-N_p=$

$\approx 0,045-0,042$; $(+)$ $2V = 36-42^\circ$. Прямое погасание, ясная дисперсия $r < v$. Удлинение положительное. Неплеохроичен, окрашенные разности слегка плеохроичны.

Особенности в осадках. Весьма разнообразен по формам зерен и кристаллов в осадках. Бесцветен. Обычны пластинчатые и угловатые зазубренные зерна с одной или двумя системами трещин спайности. В последнем случае получаются четырехугольные зерна, напоминающие кристаллы кубической сингонии. Встречаются также агрегатные зерна. На зернах ангидрита часто наблюдается постепенный переход в гипс (уменьшение рельефа и двупреломления).

Распространение. Гидротермальные и контактовые месторождения. В осадочных породах — почти постоянно аутигенный (сингенетический или эпигенетический) минерал, встречается в соленосных толщах, реже — в карбонатных породах, в выбросах грязевых вулканов.

Литература: [1, 7, 63, 70, 71 и др.].

Андалузит (рис. 36)

(хиастолит)

Химический состав: $Al_2 [SiO_4]O$.

Сингония — ромбическая.

Формы — призматический, столбчатый.

Спайность — ясная по (110).

Твердость — 7—7,5.

Удельный вес — 3,10—3,20.

Цвет — бесцветный, желтый, бурый, розовый, красный, зеленый, фиолетовый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей $\parallel (001)$. $N_g = 1,639-1,646$; $N_m = 1,632-1,641$; $N_p = 1,629-1,637$; $N_g - N_p = 0,009-0,011$; $(-)$ $2V = 75-86^\circ$; прямое погасание, удлинение отрицательное. Плеохроизм $N_p > N_m \geq N_g$. Разновидность андалузита — хиастолит с графитовыми и углистыми включениями, которые иногда образуют решетчатые включения в виде креста.

Особенности в осадках. Встречается в виде неправильных и угловато-округлых удлиненных зерен, реже — в виде призматических зерен. Бесцветный или розоватый, буроватый. Часто содержит включения графита или углистого вещества либо продукты выветривания. Эти включения и плеохроизм позволяют его отличить от топаза.

Распространение. Область контакта глинистых пород с магматическими, многие метаморфические породы, некоторые магматические породы (граниты).

В осадочных породах, особенно третичного возраста — широко распространенный минерал. Так, например, встречается в палео-

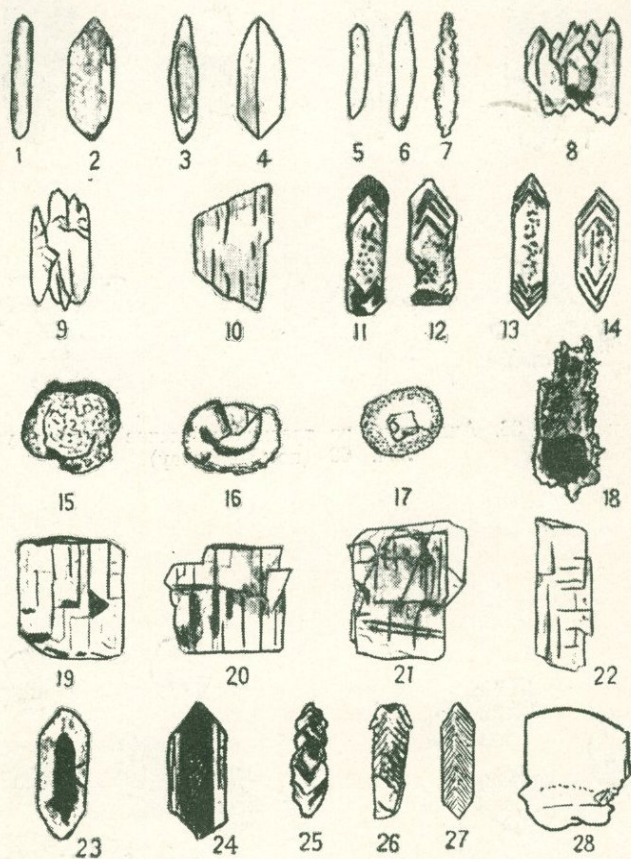


Рис. 35. Ангидрит, увелич. 25. Образцы из Lower Fars
Ирака и Персии (по Мильнеру).

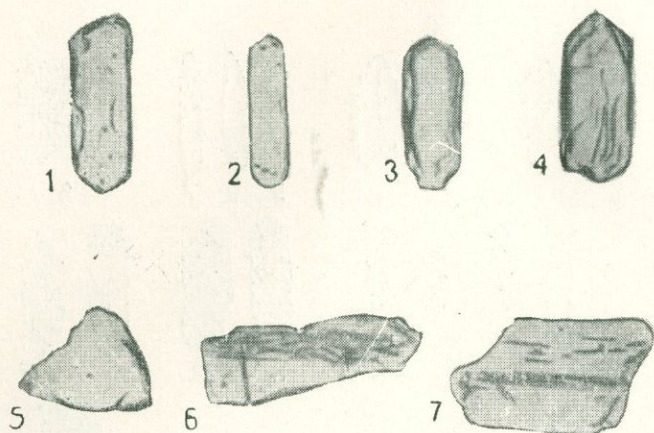


Рис. 36. Андалузит из третичных песков Англии, увелич. 60 (по Мильнеру).

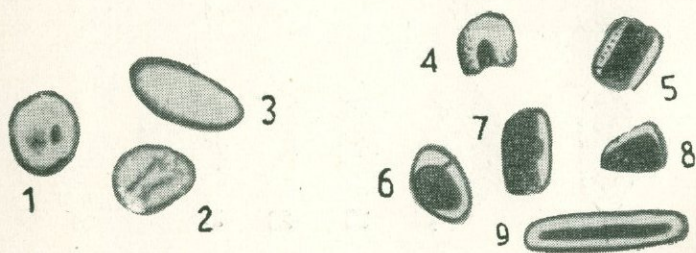


Рис. 37. Апатит: 1—3—песчаник Bunter, Wores, увелич. 90; 4—9—песчаник Кейпер, Йоркшир, увелич. 20 (по Мильнеру).

геновых и частью неогеновых отложениях Украины, Кавказа, в плиоценовых отложениях Англии и др.

В осадочных породах более древнего возраста встречается реже. Отмечен в современных осадках (морена и речной песок).

Литература: [1, 11, 42, 52, 72, 110 и др.].

Анальцит (рис. 30, 31, 32, 33)

Химический состав: $\text{Na} (\text{Al Si}_2\text{O}_6) \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{O} — 14,07\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 — 23,29\%$; $\text{SiO}_2 — 54,47\%$; $\text{H}_2\text{O} — 8,17\%$.

Сингония — кубическая.

Формы — тетрагонтриоктаэдры, зернистые агрегаты.

Спайность — отсутствует или плохо выражена по (001).

Твердость — 5—5,5.

Удельный вес — 2,2—2,3.

Цвет — бесцветный, белый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Оптически изотропный, $n=1,489—1,479$.

Большие кристаллы обнаруживают оптические аномалии в виде сложного двойникования. Анизотропные кристаллы оптически отрицательные, $2V$ изменяется в широких пределах.

Особенности в осадках. Встречается в виде бесцветных хорошо ограненных кристаллов и зерен неправильной формы, обычно — аутигенный минерал.

Распространение. Низкотемпературные гидротермы. Обнаружен в современных почвах, современных морских осадках. В пермских отложениях Чкаловской и Актюбинской областей описан как аутигенный минерал цемента, а также в третичных отложениях юго-восточного Кавказа и Грузии.

Литература: [1, 4, 7, 11, 20, 83 и др.].

Андрадит (рис. 53, 54, 55)

Химический состав: $\text{Ca}_3\text{Fe}_2 [\text{SiO}_4]_3$.

Сингония — кубическая.

Формы — ромбический додекаэдр, реже в комбинации с тетрагонтриоктаэдром, трапецоэдром.

Спайность — несовершенная по (110).

Твердость — 6,5—7.

Удельный вес — 3,75—3,78.

Цвет — желтый, зеленоватый, буро-красный, черный.

Магнитные свойства — умеренно магнитен.

Оптические свойства. Оптически изотропный, $n=1,865—1,895$.

Наблюдаются оптические аномалии, двуосная фигура с большим углом оптических осей, знак отрицательный. Все гранаты обнаруживают сильную дисперсию.

Особенности в осадках. Угловатые обломки, реже — частично или полностью (хорошо) окатаны. Обломки имеют полураковистый

излом или входящие углы. Содержат включения кварца, полевого шпата, апатита, циркона, рудных минералов, слюды.

Поверхность часто имеет следы травления. Окраска в буровато-красных тонах, реже — желтоватых и зеленоватых, тем интенсивнее, чем крупнее зерна.

Распространение. Изверженные и метаморфические породы, особенно скарны и некоторые кристаллические сланцы. В осадочных породах является обычным аксессуарным минералом, встречается почти повсеместно.

В современных осадках обнаруживаются значительные концентрации в песках пляжей Азовского, Белого и Баренцова морей, Гудзонова залива, Новой Зеландии и др. Обычный минерал аллювия.

Литература: [11, 26, 41, 44, 63, 76, 108, 110, 112, 118].

Анортит

Химический состав: содержание анортитовой молекулы $\text{Ca} [\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ —90—100%; NaO —1,12—6,00%; CaO —18,18—20,08%; Al_2O_3 —35,02—36,66%; SiO_2 —45,68—43,26%.

Сингония — триклинная.

Формы — таблитчатый, таблитчато-призматический.

Спайность — совершенная по (001) и (010).

Твердость — 6,5.

Удельный вес — 2,76.

Цвет — белый, серовато-белый, в шлифе бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей образует косяные углы с гранями кристалла.

$n_g=1,585$; $n_m=1,580$; $n_p=1,573$; $n_g-n_p=0,012$; $(-)$ $2V=77^\circ$ ($N95$), погасание косое. Дисперсия $r>v$. Удлинение отрицательное.

Обычны сложные полисинтетические двойники. При выветривании образуется кальцит, эпидот, соссюрит.

Особенности в осадках. Данные отсутствуют.

Распространение. Основные магматические породы. В осадочных породах пока не известен. В современных осадках, вероятно, встречается вблизи массивов основных магматических пород.

Литература: [14, 24, 72, 110].

Апатит (рис. 37, 39, 93)

Химический состав: $\text{Ca}_5 [\text{PO}_4]_3 (\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$.

Сингония — гексагональная.

Формы — призматические кристаллы с конечными бипирамидальными гранями, пинакоидом.

Спайность — несовершенная по (0001).

Твердость — 5.

Удельный вес — 3,18—3,21.

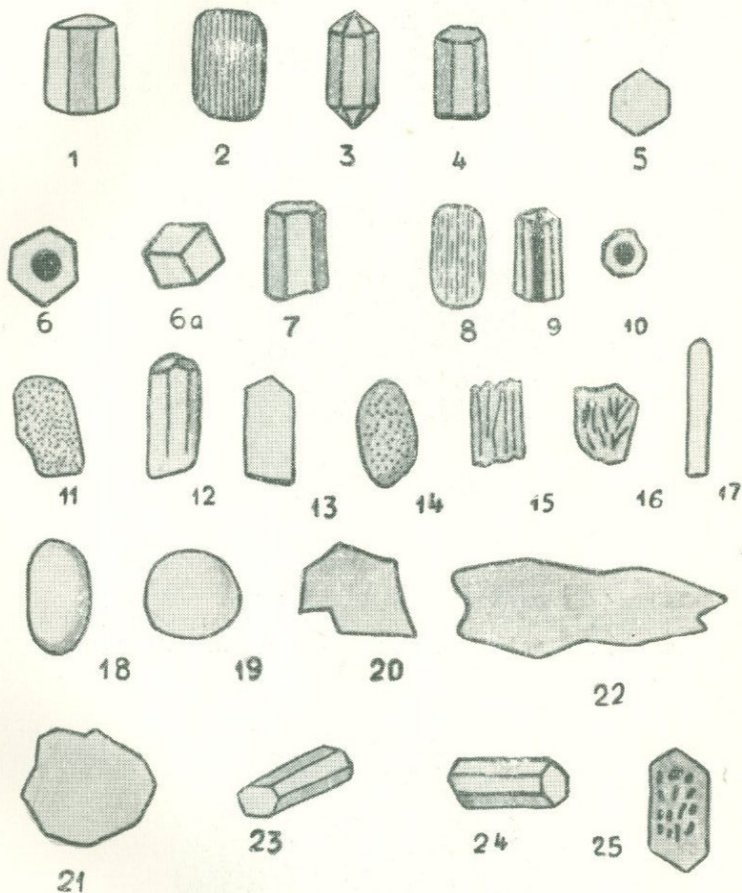
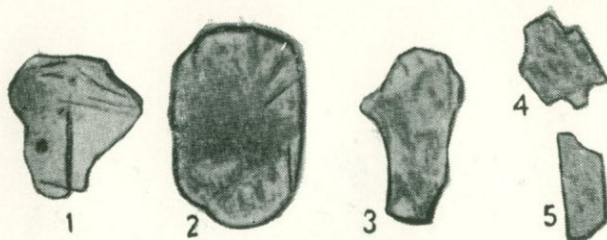
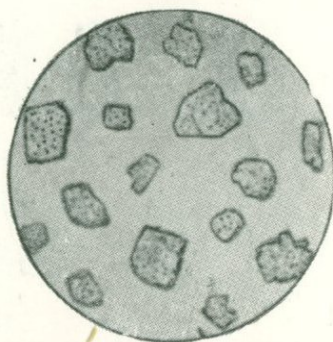


Рис. 39. Минералы размера 0,25—0,01 мм из тяжелой фракции среднего карбона Донбасса; 1—10 — апатит, 11—25—турмалин.



а



б

Рис. 40. Барит: а — из береговых песков Англии, увелич. 35 (по Г. Б. Мильнеру); б — из продуктивной толщи Азербайджана, увелич. 48 (по А. Г. Алиеву и др.).



Рис. 41. Берилл (по С. Г. Саркисяну).

Цвет — бесцветный, белый, бледно-зеленый, зеленый, бурый, фиолетовый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_o=1,634$; $N_e=1,629$; $N_o-N_e=0,005$ (F-апатит); $N_o=1,667$; $N_e=1,664$; $N_o-N_e=0,003$ (Cl-апатит); $N_o=1,651$; $N_e=1,644$; $N_o-N_e=0,007$ (ОН-апатит).

Одноосный отрицательный, погасание прямое, удлинение отрицательное. Иногда обнаруживает псевдодвуосную фигуру.

$[N_o=1,633-1,643$; $N_e=1,629-1,638$; $N_o-N_e=0,003-0,006$ — бесцветный или бурый, плеохроичный, средний карбон Донбасса].

В плеохроичных разностях схема абсорбции $Ne>No$, в редких случаях — $Ne<No$.

Встречаются темные рудные включения, иногда располагающиеся в центре призмы в виде столба или зонально, а также жидкие и газообразные включения.

Особенности в осадках. Округлые, продолговатые, овальные зерна, более или менее хорошо окатанные, угловатые обломки и призматические зерна идеально правильной формы с конечными гранями и без них. Зерна содержат включения, иногда несут следы коррозии. Встречаются базальные сечения в виде шестиугольников, изотропные, с четкой фигурой.

Распространение. Магматические породы от кислых до ультраосновных, особые концентрации связаны с нефелин-сиенитовыми породами. В осадочных породах апатит — обычный минерал, но часто не обнаруживается, по-видимому, благодаря растворению (обработка HCl). Наряду с обломочными встречается, особенно в древних осадочных породах, значительное количество аутигенного апатита (узнается по идеально правильной форме, наличию конечных граней и другим признакам).

Литература: [1, 7, 10, 11, 18, 19, 62, 63, 72, 82, 83, 110, 119, 127, 132 и др.].

Арагонит (рис. 38)

Химический состав: $CaCO_3$.

Сингония — ромбическая.

Формы — призматическая, игольчатая, пластинчатая.

Спайность — совершенная по (010), несовершенная по (110) и (011).

Твердость — 3,5—4.

Удельный вес — 2,93—2,95.

Цвет — бесцветный, серый, серовато-желтый, розовый, в шлифе бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (100). $Ng=1,685$; $Nm=1,681$; $Np=1,530$; $Ng-Np=0,155$; $(-)$ $2V=18^\circ$, дисперсия слабая $r<v$. Погасание прямое, удлинение отрицательное.

Особенности в осадках. Встречается главным образом как аутигенный минерал в карбонатных и карбонатно-глинистых по-

родах, в карбонатных конкрециях. Иногда слагает раковины моллюсков и фораминифер, оолиты в современных осадках, рис. 38.

Аллотигенный арагонит исключительно редок. Для точной диагностики арагонита (так как описаны двуосные кальциты) необходимо применять реакцию окрашивания с сульфатом марганца или с $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$. При кипячении с $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ арагонит окрашивается в фиолетовые тона, кальцит — в розовый, остальные карбонаты не окрашиваются. (См. выше).

Распространение. Пустоты в базальтах и различных лавах, карбонатные и карбонатно-глинистые породы, конкреции, корочки и жилки в угле (Караганда), раковины моллюсков и фораминифер (аутигенный).

Отмечен также в осадках некоторых современных озер (Япония).

Литература: [10, 11, 30, 40, 102 и др.].

Барит (рис. 40, 85)

Химический состав: $\text{Ba}[\text{SO}_4]$.

Сингония — ромбическая.

Формы — таблитчатые.

Спайность — совершенная по (001) и (110) под углом 78° , несовершенная по (010).

Твердость — 2,5—3,5.

Удельный вес — 4,5—4,7.

Цвет — белый, желтоватый, серый, бурый, красный, в шлифе бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $n_g = 1,645\text{—}1,649$; $n_m = 1,635\text{—}1,638$; $n_p = 1,630\text{—}1,636$; $n_g - n_p = 0,012$; $(+)$ $2V = 37^\circ$.

Плоскость оптических осей (010). Удлинение положительное, призматические зерна дают прямое погасание. Дисперсия слабая $\kappa < \nu$.

Особенности в осадках. Обычно аутигенный минерал, цемент в песчаниках, конгломератах, алевролитах, встречается также в известняках и конкрециях (в мелу, угленосных отложениях). Форма зерен неправильная, иногда образует крупные кристаллы до 3—8 см.

Терригенный барит встречается редко.

Распространение. Барит встречается в гидротермальных жильных месторождениях, в песчаниках и алевролитах в виде цемента, в карбонатных и сульфидных конкрециях, как вторичный минерал, в карбонатных породах и солях (гипс, ангидрит).

Аутигенный барит широко развит в каменноугольных и пермских отложениях Донбасса, Днепровско-Донецкой впадины, Львовской мульды, Приуралья. В третичных отложениях Кавказа наряду с аутигенным описан аллотигенный барит. Аллотигенный барит отмечен в некоторых осадочных породах Англии.

Литература: [1, 2, 4, 11, 22, 62, 63, 72, 82, 83, 110, 132 и др.].

Берилл (рис. 41)

Химический состав: $\text{Be}_3\text{Al}_2 [\text{Si}_6 \text{O}_{18}]$; BeO — 14,1 %, Al_2O_3 — 19 %, SiO_2 — 66,9 %. Примеси K, Na.

Сингония — гексагональная.

Формы — призматический, столбчатый.

Спайность — несовершенная по призме (1010) и (0001).

Твердость — 7,5—8.

Удельный вес — 2,63—2,91.

Цвет — зеленовато-белый, желтовато-зеленый, голубой, зеленый, розовый, в шлифе бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_o = 1,568$ — 1,602; $N_e = 1,564$ — 1,595; $N_o - N_e = 0,004$ — 0,008.

В толстых зернах плеохроичен. $N_e > N_o$, в некоторых случаях $N_e < N_o$. Одноосный отрицательный, удлинение отрицательное, погасание прямое.

Иногда двуосный с малым углом оптических осей (менее 10°).

Особенности в осадках. Встречается в виде окатанных удлиненных и призматических зерен или округленных обломков неправильной формы характерного зеленого цвета (в толстых зернах).

Распространение. Пегматиты, граниты, слюдяные сланцы. Широко распространен в современных аллювиальных россыпях. В осадочных породах обычно не встречается (?).

Литература: [14, 24, 76, 110].

Биотит (рис. 42, 43, 85)

Химический состав: $\text{K} (\text{Mg}, \text{Fe})_3 [\text{Si}_3, \text{AlO}_{10}] (\text{OH}, \text{F})_2$.

Сингония — моноклинная.

Формы — таблитчатый, пластинчато-чешуйчатые агрегаты.

Спайность — совершенная по (001) и несовершенная по (110) и (010).

Твердость — 2—3.

Удельный вес — 3,02—3,12.

Цвет — черный, бурый с красноватым и зеленоватым оттенками.

Магнитные свойства — умеренно магнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей $\parallel$ (010), острая биссектриса N_p почти перпендикулярна (001). $N_g = 1,600$ —1,660; $N_p = 1,560$ —1,600; $N_g - N_p = 0,040$ —0,060. Железистые и титанистые разности имеют более высокое преломление (до 1,700).

Так, биотит из донецких карбоновых пород имеет следующие константы: $N_g \approx N_m = 1,653 \pm 0,002$; $N_p = 1,622 \pm 0,001$; $2V$ небольшой.

Биотит из карбоновых отложений Львовской мульды: $N_g = 1,609$ —1,658. Плеохроизм ($N_g \geq N_m > N_p$) в коричневых, реже — в зеленых тонах. Двуосный отрицательный ($2V = -20^\circ$)

или одноосный ($2V = 0$). Удлинение положительное, угасание прямое.

Особенности в осадках. Встречается в виде листочков бурых, коричневых, зеленоватых, с рваными или зазубренными краями. Часты включения рутила, анатаза, ильменита, магнетита, пирита, сидерита, иногда плеохроичные оболочки вокруг включений циркона, ксенотима и др. Листочки биотита обычно ложатся по спайности (001), неплеохроичные, изотропные или с низким двупреломлением и облачным погасанием.

Характерные изменения: гидратация, хлоритизация, обесцвечивание, реже опакизация и переход в каолинит. Кластический биотит обычно в той или иной мере изменен при процессе выветривания или диагенеза (и эпигенеза).

Распространение. Большинство изверженных и метаморфических пород. В осадочных породах — обычный минерал.

Литература: [2, 4, 10, 11, 19, 26, 30, 39, 40, 59, 63, 82, 83, 96, 100 и многие другие].

Брукит (рис. 44, 45, 86, 93)

Химический состав: TiO_2 .

Сингония — ромбическая.

Формы — призматический, таблитчатый, имеет штрихи, параллельные главной оси.

Спайность — слабая по (110) и (001).

Твердость — 5,5—6.

Удельный вес — 3,87—4,08.

Цвет — бурый, желтый, серый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (001) для красных и желтых лучей и // (010) для зеленых и синих. $N_g = 2,740—2,741$; $N_m = 2,585—2,615$; $N_p = 2,583—2,615$; $N_g - N_p = 0,124—0,158$; (+) $2V = 55^\circ$ (2E при $\lambda 579 \text{ м}\mu 25^\circ$, $\lambda 491 \text{ м}\mu 68^\circ$ при $\lambda 671 \text{ м}\mu 58^\circ$).

Обычно неплеохроичен, дисперсия для желтого $r < v$, для синего $r > v$ очень сильная. Большинство зерен ни при каких положениях не гаснет и обнаруживает аномальную (индигово-синюю) интерференционную окраску. Некоторые обнаруживают прямое погасание относительно штриховатости или ребра призмы.

Довольно часто на зернах брукита можно наблюдать характерную интерференционную фигуру двuosного кристалла с небольшим углом оптических осей и окрашенными изограми.

Особенности в осадках. Встречается в виде хорошо образованных таблитчатых и призматических кристаллов, не несущих следов окатывания. Большая часть подобного брукита, по-видимому, аутигенного происхождения.

Аллотигенный брукит встречается, вероятно, также в виде таблитчатых, слегка или хорошо окатанных кристаллов, в виде об-

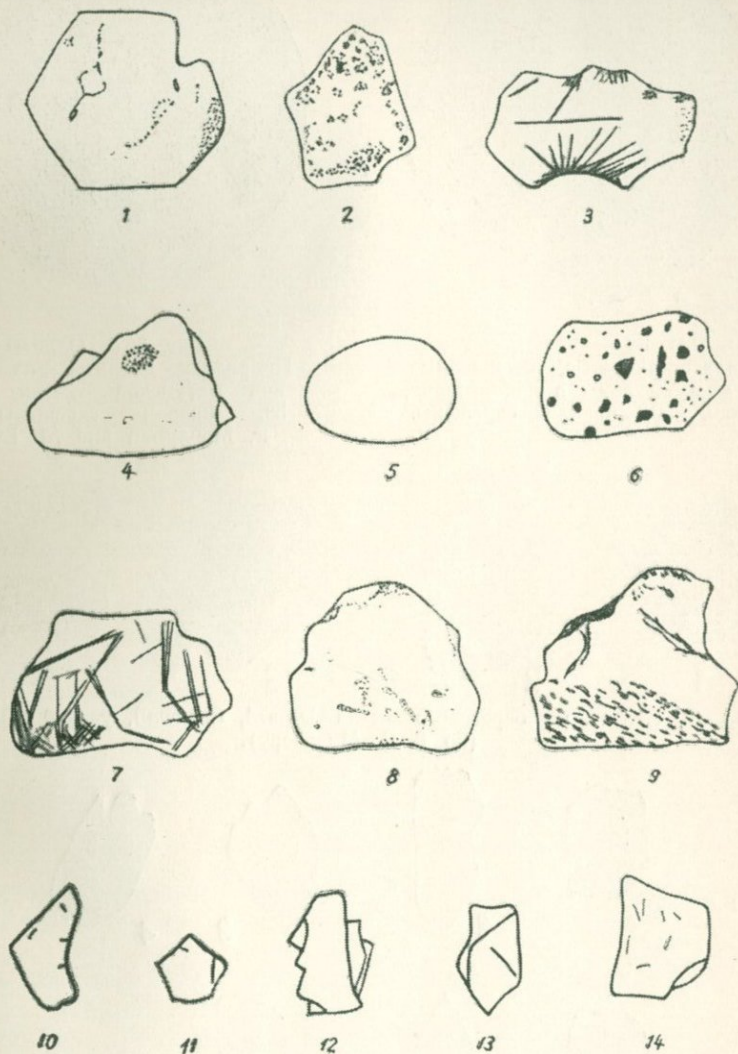


Рис. 43. Минералы из каменноугольных отложений Львовской мульды:
 1—6—биотит; 7—9—хлорит; 10—14—хлоритоид, увелич.
 160 (по Н. С. Вартаковой).

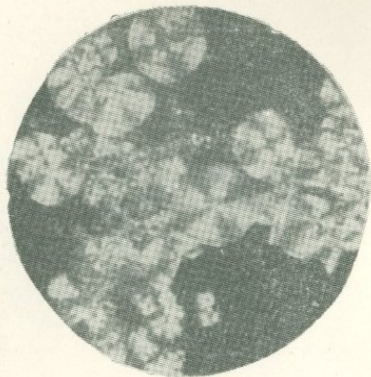


Рис. 38 а. Оолиты.

Радиально-лучистые, осажженные из морской воды в лаборатории, увелич. 50, николи скрещены.

Рис. 38 б. Оолиты.

Природные оолиты из осадков Багамской отмели, увелич. 50, николи скрещены (по P. Monaghan and M. Lytle).

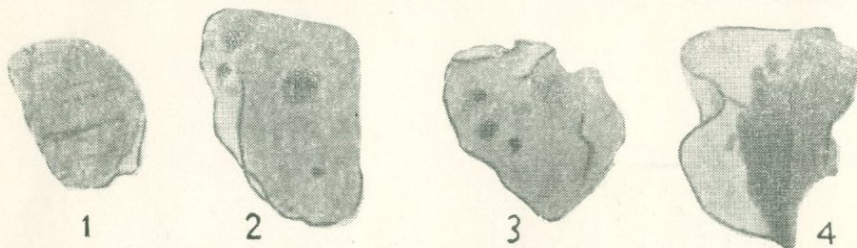


Рис. 42. Биотит из берегового песка Dinard, Cornwall, увелич. 40—70 (по Г. Б. Мильнеру).

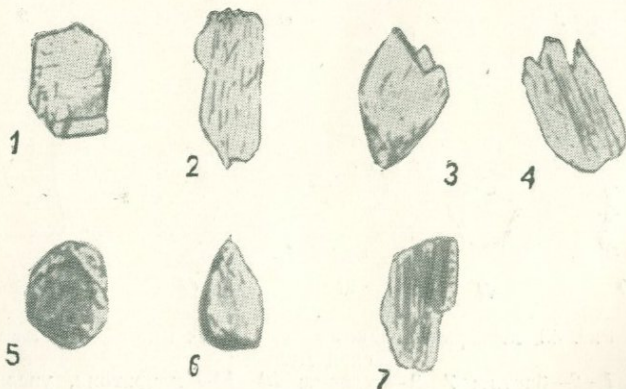


Рис. 52. Глаукофан и роговая обманка:

1, 3 — миоценовые пески Тринидада; 2, 4 — роговая обманка, миоцен Тринидада; 5—7 — глаукофан и роговая обманка из ледниковых отложений Англии, увелич. 40—70 (по Г. Б. Мильнеру).

ломков неправильной формы. Обычно легко определяется по отсутствию погасания, высокому показателю преломления и двупреломлению, аномальной интерференционной окраске, серой или золотистой окраске зерен, наличию штриховатости.

Распространение. Кислые магматические породы, кристаллические сланцы. Брукит является главным образом, вторичным минералом, образующимся при процессах выветривания и диагенеза титансодержащих силикатов и окислов.

В осадочных породах пользуется широким распространением, причем чаще аутигенный, реже — аллотигенный. В значительных количествах брукит содержится во многих осадочных комплексах, например, в каменноугольных отложениях Донбасса, угленосных отложениях Кузбасса, в третичных отложениях юго-восточного Кавказа и др.

Литература: [2, 4, 10, 11, 19, 26, 63, 83, 110, 112, 114 и др.].

Везувиан

Химический состав: $\text{Ca}_3 \text{Al}_2 [\text{SiO}_4]_2 (\text{OH})_4$.

Сингония — квадратная.

Формы — призматические, пирамидальные, таблитчатые.

Спайность — несовершенная по (100) и (110).

Твердость — 6,5.

Удельный вес — 3,34—3,44.

Цвет — желтый, серый, зеленый, бурый, реже — синий, красный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_o = 1,705—1,732$; $N_e = 1,701—1,726$; $N_o - N_e = 0,001—0,006$. Одноосный, отрицательный, реже положительный (вилюит), иногда двуосный с изменяющимся углом оптических осей ($30—60^\circ$).

Удлинение отрицательное, погасание прямое. Плеохроизм $N_o > N_e$ в зеленых, желто-бурых, коричневых тонах, реже — синих, красных тонах.

Особенности в осадках. Обычно зерна призматического табитуса, зеленоватого или желтовато-бурого цвета, слегка плеохроичны.

Распространение. Измененные контактными процессами известняки, реже — кристаллические сланцы, гнейсы и пегматиты. В осадочных породах — редкий минерал. Описан в карбоне Донбасса.

Литература: [63, 110, 72 и др.].

Волластонит

Химический состав: $\text{Ca}_3 [\text{Si}_3 \text{O}_9]$; $\text{CaO}—48,3\%$, $\text{SiO}_2—51,7\%$.

Сингония — триклинная.

Формы — таблитчатые, удлинённые по оси кристаллы, листоватые, шестоватые и другие агрегаты.

Спайность — совершенная по (100), средняя по (001) с углом 74° .

Твердость — 4,5—5.

Удельный вес — 2,78—2,91.

Цвет — белый с сероватым и красноватым оттенками, реже — красный, в шлифе обычно бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей образует угол 4° с осью b .

$n_g = 1,634—1,650$; $n_m = 1,632—1,650$; $n_p = 1,620—1,640$; $n_g - n_p = 0,014—0,013$; $(-)$ $2V = 39—60^\circ$; c $n_p = 31^\circ$ в остром углу β . Дисперсия $r > v$. Удлинение положительное и отрицательное.

Особенности в осадках. Встречается в виде бесцветных угловато-окатанных зерен, удлиненных призматических и таблитчатых зерен и в виде угловатых обломков.

Распространение. Мраморы и известняки, измененные контактовыми процессами, скарны, выбросы некоторых вулканов. В осадочных породах встречается сравнительно редко. Известен в карбонových отложениях Донбасса, в осадочных породах Англии.

Литература: [63, 72].

Вулканическое стекло (рис. 50, 51)

Химический состав: SiO_2 от 46 до 75%.

Сингония — аморфное.

Спайность отсутствует.

Твердость — ~ 6 .

Удельный вес — 2,1—3,0.

Цвет — бесцветное, белое, серое, темно-серое.

Магнитные свойства — немагнитное.

Оптические свойства. Изотропное, $n = 1,490—1,620$.

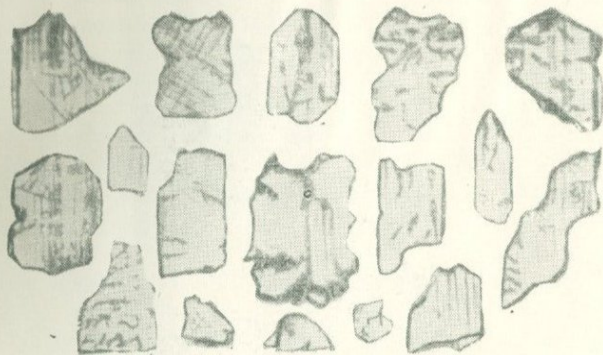
SiO_2 , %	75	70	65	60	55	50	46,5
n	1,490	1,506	1,516	1,528	1,544	1,582	1,620
Удельный вес	2,10	2,35	2,45	2,55	2,65	2,80	3,0

Особенности в осадках. Встречается в виде угловатых и остроугольных зерен с очень неправильными контурами.

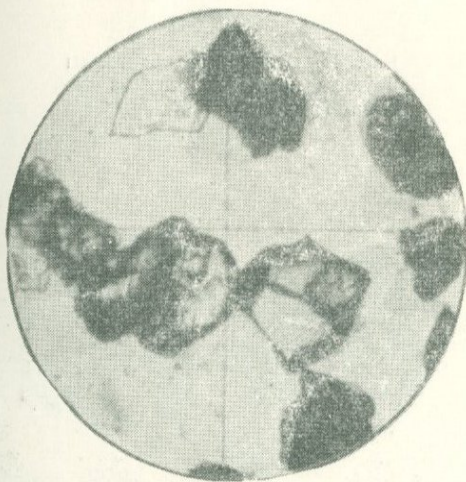
Распространение. Пеплы, туфы, туффиты. В осадочных породах встречается довольно часто в каменноугольных, пермских, юрских, третичных отложениях СССР. Особенно распространено вулканическое стекло в неогеновых отложениях Закавказья, в четвертичных отложениях Закавказья, Сев. Кавказа.

В последнее время обнаружены прослои вулканического пепла в лёссах и лёссовидных суглинках Украины, Сев. Кавказа, Западной Европы, Сев. Америки и др.

Литература: [1, 2, 4, 11, 66, 74, 83, 90, 131 и др.].



a



b

Рис. 44. Брукит:
 а — кристаллы и обломки из Дартмура, по
 Г. Б. Мильнеру, размер зерен 0,2—1,4 мм; б —
 из тяжелой фракции песчаников среднего кар-
 бона Донбасса, увелич. 80.

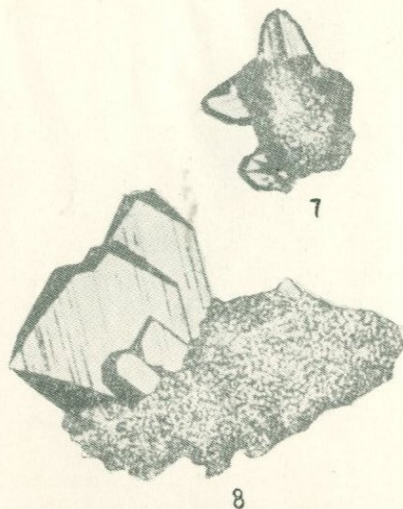


Рис. 45. Вторичные кристаллы брукита по лейкоксену из девона Тимана (по Д. П. Сердюченко).

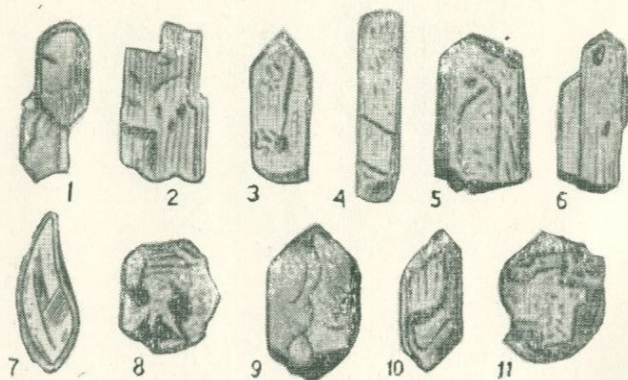


Рис. 46. Гиперстен: 1—3 — песок острова Фиджи; 4—6 — песок острова Мартиника; 7 — береговой песок Аравии; 8 — современный песок Золотого Берега — Зап. Африка; 9—11 — плейстоценовый песок Португалии, увелич. 25 (по Г. Б. Мильнеру).

Галенит

Химический состав: PbS .

Система — кубическая.

Формы — куб, октаэдр, комбинации.

Спайность — совершенная по (100).

Твердость — 2,5—2,75.

Удельный вес — 7,4—7,6.

Цвет — свинцово-серый, непрозрачный, блеск металлический.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Непрозрачный, цвет и черта свинцово-серые, блеск металлический. В отраженном свете свинцово-белый, полированная поверхность изотропна, высокая отражательная способность.

Особенности в осадках. Встречается в виде хорошо образованных кристаллов, зернистых агрегатов, как аутигенный минерал в осадочных породах.

Аллотигенный галенит в общем редок. Встречается в виде бесформенных зерен или кубиков свинцово-серого цвета с металлическим блеском, переходит в церуссит.

Распространение. Гидротермальные жильные месторождения, серебряно-свинцовые руды с кварцем, пиритом, редко — в гранитах, гнейсах. В осадочных породах: известняках, доломитах, карбонатных и сульфидных конкрециях, в углях, фосфоритах, редко в обломочных породах.

Кластический галенит — редкий минерал, чаще встречается в элювии и делювии коренных месторождений.

Литература: [62, 76, 98, 102 и др.].

Галит

Химический состав: NaCl .

Сингония — кубическая.

Формы — куб, зернистые агрегаты, скелетные кристаллы, порошкообразный.

Спайность — совершенная по (100).

Твердость — 2.

Удельный вес — 2,1—2,2.

Цвет — бесцветный, белый, серый, редко — красный, синий.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Изотропный, $n=1,544$.

Особенности в осадках. Встречается как аутигенный минерал в соленосных толщах, в пластах каменной соли, калийной соли, гипса, ангидрита и песчано-глинистых отложениях соленосных толщ. Легко растворяется в воде (до 35%), поэтому в легких фракциях отсутствует. Может быть обнаружен в шлифах и порошках необработанной породы. Как терригенный минерал неизвестен.

Распространение. Соленосные толщи различного возраста,

встречается также в виде единичных кристаллов среди продуктов вулканических возгонов и в выбросах грязевых вулканов.

Минерал исключительно аутигенный.

Литература: [1, 14, 24, 51, 58 и др.].

Гематит (рис. 55)

Химический состав: Fe_2O_3 .

Сингония — гексагональная.

Формы — табличные кристаллы, зернистые агрегаты.

Спайность — отдельность по (0001) и (1011).

Твердость — 5,5—6,5.

Удельный вес — 4,9—5,3.

Цвет — стально-серый, черта красно-бурая — вишневая.

Магнитные свойства — умеренно магнитен.

Оптические свойства. Непрозрачен в толстых пластинках.

В тонких пластинках просвечивает — красный, красно-бурый.

$N_o=3,22$; $N_e=2,94$; $N_o-N_e=0,280$. Оптически одноосный отрицательный. Удлинение положительное. Плеохроичный в срезах $\perp$ базальной плоскости от буровато-красного до желтовато-красного.

Особенности в осадках. Встречается в виде округлых зерен, зерен неправильной формы (аллотигенный), в виде правильных ромбоэдрических или гексагональных пластинок, колломорфных агрегатов, радиально-лучистых агрегатов (аутигенный). В отраженном свете — красновато-бурый. Переходит в лимонит.

Распространение. Метаморфические породы, рудные жилы, реже — магматические породы. В осадочных породах встречается довольно часто. Так, известен в пермских отложениях Приуралья, каменноугольных и пермских породах Донбасса, в третичных отложениях Кавказа и др.

Литература: [2, 4, 11, 63, 82, 83 и др.].

Гетит

Химический состав: HFeO_2 .

Сингония — ромбическая.

Формы — игольчатый, столбчатый, натежные, радиально-лучистые агрегаты, порошкообразные массы.

Спайность — совершенная по (010).

Твердость — 4,5—5,5.

Удельный вес — 4,0—4,5.

Цвет — темно-бурый до черного, цвет черты — бурый с красноватым оттенком.

Магнитные свойства — умеренно или слабо магнитен.

Оптические свойства. $N_g=2,35-2,40$; $N_m=2,35-2,39$; $N_p=2,21-2,26$; $N_g-N_p=0,014$. Двуосный, оптически отрицательный, $2V$ небольшой. Сильная дисперсия $r > v$.

Плеохроизм N_p — желтый, N_m — буровато-желтый, N_g — оранжево-желтый.

Особенности в осадках. В осадочных породах встречается как аллотигенный (угловато-окатанные и окатанные зерна) и аутигенный минерал (столбчатые, игольчатые кристаллы, радиально-лучистые агрегаты, порошки). Окисляется и присоединяет воду, переходит в гидрогетит.

Распространение. В магматических породах, метаморфических породах, гидротермальных жилах, в коре выветривания. В осадочных породах встречается довольно часто: песчано-глинистые пестроцветные отложения, железные руды осадочного генезиса. Большинство терригенных пород в небольших количествах содержит гетит.

Литература: [14, 24, 30, 53, 79, 102 и др.].

Гиббсит (гидраргиллит) (рис. 59)

Химический состав: $\text{Al}[\text{OH}]_3$.

Сингония — моноклинная.

Формы — шестиугольные таблички, чешуйки, конкреции, корки.

Спайность — совершенная по (001).

Твердость — 3.

Удельный вес — 2,3—2,4.

Цвет — белый, сероватый, красноватый, зеленоватый, в шлифе бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $n_g = 1,580—1,595$; $n_m = 1,554—1,581$; $n_p = 1,554—1,567$; $n_g - n_p = 0,015—0,030$. Оптически положителен. Удлинение положительное и отрицательное, угасание косое, 2V небольшой.

Особенности в осадках. Встречается в виде тонких чешуек и чешуйчатых агрегатов, волокон. Аутигенный минерал осадочных пород. Аллотигенный гиббсит встречается значительно реже.

Распространение. Осадочные породы, бокситы. Продукт разложения полевых шпатов, нефелина. Описан в девонских и каменноугольных породах Урала, Подмосковья, Донбасса, Рура и др.

Литература: [5, 14, 24, 67, 105, 117].

Гидрослюды

Химический состав. Гидрослюды — это группа минералов, представляющих собой промежуточные члены ряда слюды — каолинит: иллит, монотермит, браммалит, гидромусковит и др. $0,2 \text{ RO}$ Al_2O_3 3SiO_2 $1,5 \text{ H}_2\text{O}$ $0,5 \text{ aq}$ (монотермит), $R = \text{K}, \text{Mg}, \text{Ca}$; H_2O до 12%.

Сингония — моноклинная.

Формы — чешуйчатые, пластинчатые.

Спайность — совершенная по (001).

Твердость — мягкий (~ 2).

Удельный вес — 2,36—2,50 (?).

Цвет — бесцветный, белый, голубовато-зеленовато-белый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Оптическая ориентировка $N_p \perp (001)$. $N_g = 1,562 - 1,592$; $N_m = 1,555 - 1,581$; $N_p = 1,544 - 1,571$; $N_g - N_p = 0,017 - 0,030$.

Двуосный отрицательный, $2V$ небольшой ($5 - 40^\circ$). Удлинение обычно положительное, реже — отрицательное; $c N_g = (c N_p) = 0 - 9^\circ$.

Особенности в осадках. Составляют основную массу глинистых пород и цемент зернистых пород. Мельчайшие микроскопические и ультрамикроскопические листочки, чешуйки, зерна и агрегаты. Иногда крупные кристаллы размером до $0,2 - 0,4$ мм, плохо ограниченные. Узнаются по высокому двупреломлению (отличаются от каолинита), характерным реакциям окрашивания, термике и рентгенограмме. В электронном микроскопе представляют собой частицы неправильной формы с размытыми краями. Эндотермический эффект при $T 120 - 160^\circ$ и $560 - 600^\circ$, экзотермический эффект отсутствует или слабо выражен ($920 - 940^\circ$).

Распространение. Широко развиты в коре выветривания, почвах, современных морских и частью озерных осадках. Почти всегда содержатся в каолинитах и каолинистых глинах, слагают пласты гидрослюдистых глин, встречаются совместно с монтмориллонитом в глинах и современных осадках. Гидрослюды содержатся во многих осадочных породах, так, например, глины и аргиллиты соленосных формаций почти всегда гидрослюдистые и т. д.

Литература: [2, 4, 30, 40, 47, 55, 63, 73, 82, 83, 102, 120, 131 и др.].

Гипс (рис. 48, 85)

Химический состав: $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$.

Сингония — моноклинная.

Формы — разнообразны: призматический, таблитчатый, часты двойники, зернистые, волокнистые агрегаты и т. п.

Спайность — хорошая по (010) и по (100).

Твердость — $1,5 - 2$.

Удельный вес — $2,31 - 2,32$.

Цвет — бесцветный, белый, иногда пятнистый, розовый, в шлифе бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей $// (010)$. $N_g = 1,530$; $N_m = 1,523$; $N_p = 1,521$; $N_g - N_p = 0,009$; $(+) 2V = 58^\circ$. Дисперсия сильная наклонная $r > v$. Удлинение отрицательное, листочки, развитые по (010), дают угасание $13 - 37^\circ$.

Особенности в осадках. Встречается в виде бесцветных, хорошо образованных кристаллов или в виде пластинчатых обломков по спайности, в виде волокнистых, радиально-лучистых пучков. Наблюдаются также двойниковые кристаллы с симметричным угасанием (37°), зерна неправильной формы и агрегаты, иногда —

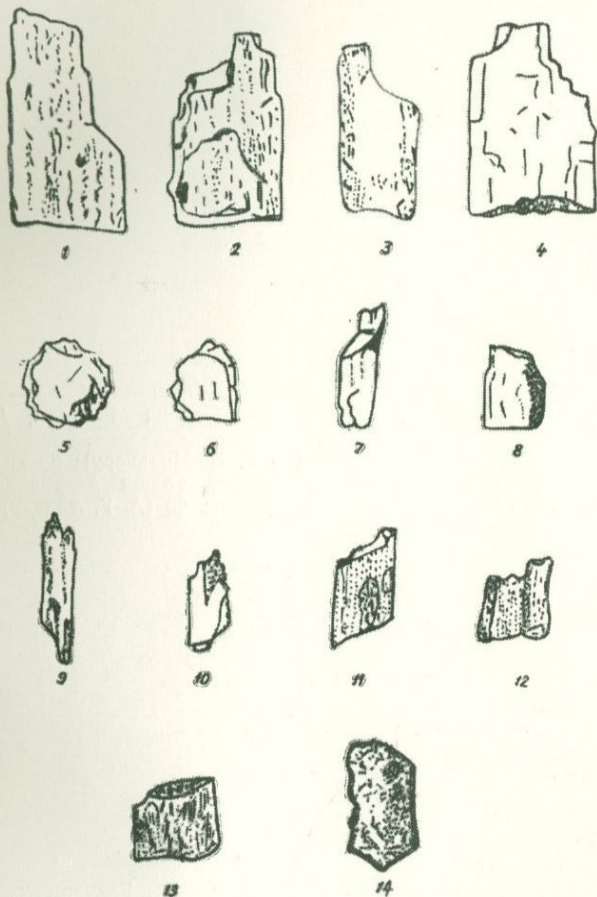


Рис. 47. Мичералы из карбона Львовской
мульды:

1—2—гиперстен; 3—8 — моноклинный пироксен;
9—11 — амфибол; 12—13 — щелочной амфибол.
14 — эгирин — авгита, увелич. 160 (по Н. С. Вар-
тановой).

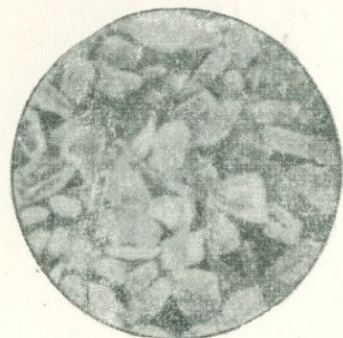
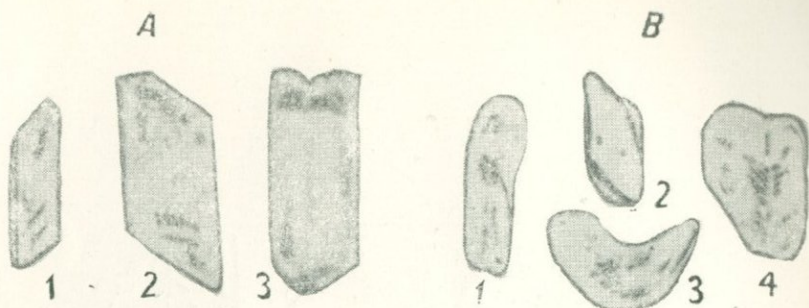
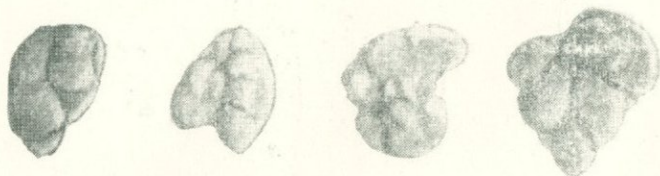
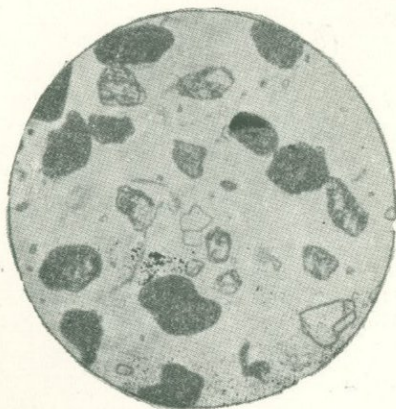


Рис. 48. Гипс: *а* — 1—3 — современные пески Родезии; 1—4 — лондонская глина, увелич. 20—30 (по Г. Б. Мильнеру); *б* — из продуктивной толщи Азербайджана, увелич. 48 (А. Г. Алиеву).



а



б

Рис. 49. Глауконит: *а* — слепки фораминифер, верхний зеленый песок Chaldan Herring, Dorset, увелич. 50 (по Г. Б. Мильнеру); *б* — глауконитовый песок харьковского яруса Днепровско-Донецкой впадины: черное — глауконит, серое — полевой шпат, светлое — кварц и мусковит (по Л. И. Карякину).

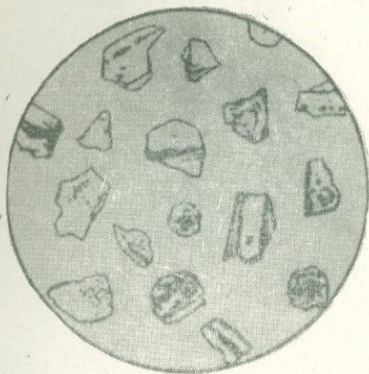


Рис. 50. Вулканическое стекло из эоцена Азербайджана, увелич. 65 при 1 николе (по А. Г. Алиеву).

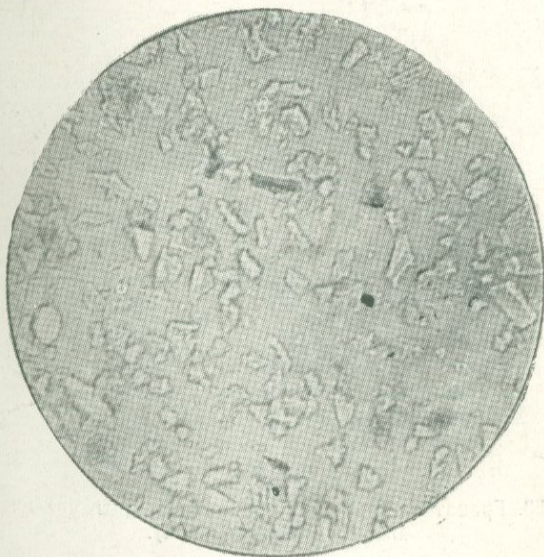


Рис. 51. Вулканическое стекло из четвертичных отложений Кавказа, увелич. 120 при 1 николе, снято в канадском бальзаме.

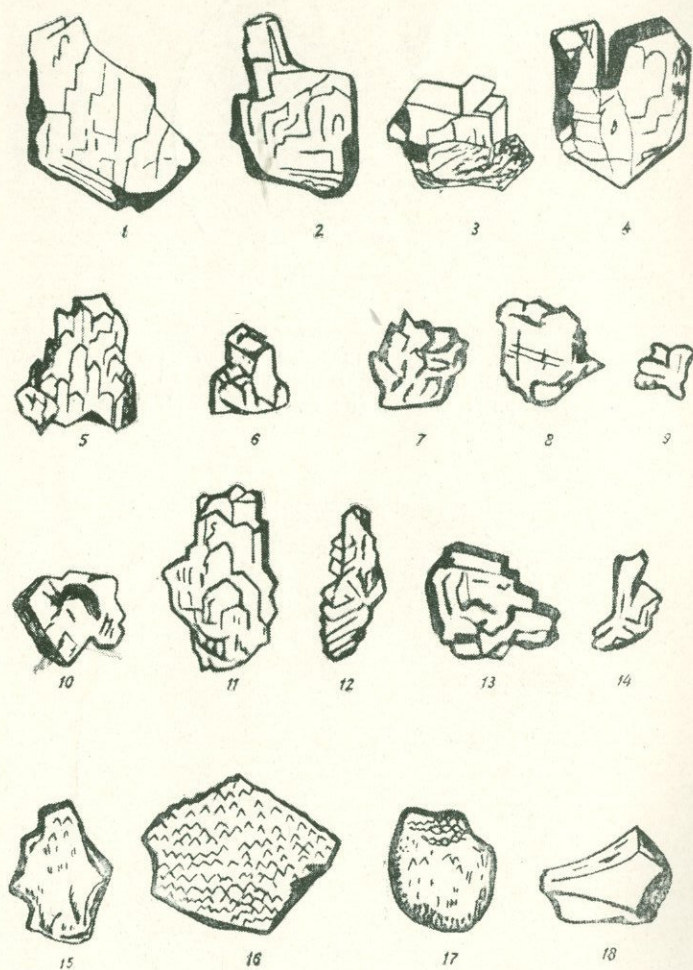


Рис. 53. Гранат из карбона Львовской мулды, увелич. 160
(по Н. С. Вартановой).

псевдоморфозы по раковинам моллюсков, брахиопод и по отдельным кристаллам кальцита (в карбоновых породах Донбасса).

Распространение. Гипс широко распространен в осадочных породах соленосных толщ (первичный, аутигенный), образуя пласты и линзы гипса, ангидрита и гипса, ангидрита и каменной соли. Широко распространен также в глинистых породах других формаций (аутигенный, вторичный), в лёссах и лёссовидных породах и т. п. Из-за растворимости в воде очень часто теряется при выделении фракций. Обломочный гипс представляет собой большую редкость и содержится только в эоловых отложениях некоторых пустынь.

Литература: [2, 4, 6, 28, 30, 63, 82, 83 и др.].

Глауконит (рис. 49)

Химический состав: $K_{<1}(Fe^{+++}, Fe^{++}, Al, Mg)_{2-3} [Si_3 (Si, Al) O_{10}] (OH)_2 n H_2O$.

Сингония — моноклинная.

Формы — редко образует кристаллики псевдогексагонального облика, обычны агрегатные зерна, состоящие из мельчайших чешуек.

Спайность — наблюдается редко по (011).

Твердость — 2—3.

Удельный вес — 2,2—2,8.

Цвет — зеленый, в толстых зернах непрозрачный, в тонких — просвечивает.

Магнитные свойства — умеренно магнитен.

Оптические свойства. Острая биссектриса $N_p \perp (001)$. $N_g = 1,570—1,660$; $N_m \cong N_g$; $N_p = 1,545—1,630$; $N_g—N_p = 0,025—0,030$. (Разновидность глауконита — сколит: $N_g = 1,586$; $N_m = 1,581$; $N_p = 1,559$; $N_g—N_p = 0,030$; разновидность глауконита — селадонит: $N_g = 1,638$; $N_p = 1,608$; $N_g—N_p = 0,030$). $(-)$ $2V = 0—20^\circ$, дисперсия $r > v$. В шлифе зеленый, плеохроизм $N_g = N_m$ — ясно-зеленый, желтовато-зеленый. N_p — светлый, желто-зеленый, соломенно-желтый. $N_g \gg N_m > N_p$. Характерна агрегатная поляризация. Удлинение у селадонита положительное.

Особенности в осадках. При разделении попадает в тяжелую и легкую фракцию. Встречается в виде зерен неправильной формы, окатанных зерен и в виде скоплений неправильной формы (цемент). Выполняет раковины фораминифер. Зерна зеленого цвета от непрозрачного до просвечивающего, агрегатная интерференционная окраска. Переходит в лимонит. От хлорита отличается высоким двойным лучепреломлением и агрегатной поляризацией.

Распространение. Осадочные породы глины, аргиллиты, пески, песчаники, алевролиты, известняки, мергеля, кремнистые породы, фосфориты и т. п. В лавах (селадонит), в коре выветривания (сколит, селадонит). Обычный минерал осадочных пород, пользуется широким распространением в отложениях разного возраста от кембрия до квартала, в современных морских осадках.

Литература: [22, 30, 31, 32, 42, 90, 102 и др.].

Глинистые минералы

Глинистые минералы это одна из наиболее важных и сложных групп минералов осадочных пород. По происхождению они могут быть как аллотигенными, так и аутигенными. Диагностика глинистых минералов из-за тонких размеров частиц очень трудна и недостоверна, если применяется какой-либо один метод исследования (в том числе и один кристаллооптический метод). Определение глинистых минералов при массовой работе петрографа должно производиться комплексно: 1) кристаллооптический метод (ориентированные препараты); 2) реакции окрашивания.

Для наиболее типичных образцов (хотя бы единичных) необходимо производить химические анализы, термические и рентгено-структурные исследования. Последние могут быть заменены электронографическим исследованием. Желательно также производить изучение глинистых минералов при помощи электронного микроскопа.

При кристаллооптическом исследовании рекомендуется приготовление ориентированных препаратов и исследования необработанных порошков в иммерсии. Сводки оптических и некоторых других свойств глинистых минералов даны в таблице 25, 26, 27.

Согласно кристаллохимической классификации глинистые минералы подразделяются на следующие группы (по В. А. Франк-Каменецкому):

Диоктаэдрические (по гидрагиллитовому мотиву).	с двухслойными пакетами	{ группа каолинита группа галлуазита
	с трехслойными пакетами.	{ группа монтмориллонита группа гидрослюда группа мусковита
	с трехслойными и однослойными пакетами	{ некоторые хлориты (кукеит и др).
	слоисто-ленточные силикаты	{ группа сепиолита группа палыгорскита
Триоктаэдрические (по бруситовому мотиву).	с двухслойными пакетами	{ группа серпентина
	с трехслойными пакетами	{ группа сапонита группа биотита, гидро- биотита и вермикулита
	с трехслойными и однослойными пакетами	{ группа хлоритов
Промежуточные (по гидрагиллито-бруситовому мотиву).	с двухслойными пакетами	{ группа кроншtedтита
	с трехслойными пакетами	{ группа лепидолита

Минералы группы каолинита, галлуазита, аллофана

Минералы Константы	Каолинит	Накрит	Диккит	Галлуазит	Аллофан
Ng	1,560—1,570	1,563	1,566—1,568	—	Изотропный
Nm	1,559—1,569	1,562	1,562—1,564	1,470—1,550	$n = 1.47$ — — 1,51 (до 1,57)
Np	1,553—1,563	1,557	1,560—1,562		
Ng—Np	0,006—0,007	0,006	0,006	Низкое, поч- ти изотроп- ный	
2V	(—)20—55°	(—)40—90°	(+)52—82°		
Удлинение	+	+	+		
Угасание с Np	Почти пря- мое, косое 1—4°	Косое 7—13°	Косое 8—10°		
Цвет	Бесцветный, желтовато- буроватый	Бесцветный	Бесцветный	Бесцветный, сероватый, голубоватый, зеле- новатый	Бесцветный, зелено-бу- рый, бледно- голубой
Облик	Псевдогек- сагональные пластинки, чешуйки, вермикули- топодобные агрегаты	Псевдогек- сагональные пластинки	Псевдогек- сагональные пластинки	Листочки, чешуйки, розетки	Агрегаты, землистые массы
Эндотермиче- ский эффект	1) 500—600°	1) 500—600° 2) 600—700°	1) 640—675°	1) 100—150° 2) 545—600°	1) 150°
Экзотермиче- ский эффект	1) 930—1010°	1) 950—1020°	1) 950—1020°	1) 920—1060°	1) 920°
Состав	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_6$	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_6$	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_6$	$Al_{11}[Si_4O_{10}](OH)_6 \cdot 4H_2O$	$mAl_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot pH_2O$

Минералы Константы	Гидробиотит	Гидромусковит (серицит)	Гидрослюда Львовской мульды	Иллит
Ng	1,600 — 1,630 (до 1,582 по Бетехтину)	1,580 — 1,600	1,587	1,510 — 1,574
Nm	Nm = ∞ Ng	Nm = ∞ Ng	1,581	?
Np	Изменчивы, но обычно выше гидромускови- товых	1,550 — 1,560	1,564	? — 1,544
Ng — Np		0,030 — 0,040	0,023	0,030 — 0,035
2V	(—) небольшой или 0°	(—) неболь- шой	(—) 19°	(—) 5° неболь- шой
Удлинение	+	+	+	?
Угасание	Прямое	Прямое	Прямое	П р я м о е
Цвет	Бурый, яблоч- но-зеленый, желто-зеленый	Бесцветный	Бесцветный, синеватый, ко- ричневый	Бурый, желто- бурый, бес- цветный
Облик	Листочки	Чешуйки, листочки	Чешуйки	Чешуйки
Эндотермиче- ский эффект	1) 140 — 150° 2) 240 — 260° 3) 580 — 600° 4) 1000 — 1060° (слабые)	1) ~550° 2) ~800—900° 3) ~1050—1100° (слабые)		1) 100—150° 2) 500—650° 3) 840—900°
Экзотермиче- ский эффект	—	—		1) 950° небольшой
Состав	П е р е х о д н ы й (и и з м е н ч и в ы й)			

слюды

Браммалит	„Монотермит“	Глауконит	Селадонит	Сколит
1,579		1,570 — 1,660	1,638	1,586
?	1,556 (среднее)		1,630	1,581
1,561		1,545 — 1,630	1,625 — 1,608	1,559
0,018	0,015 — 0,020	0,022—0,030	0,013 — 0,030	0,027
(—) большой	(—)	(—) 0 — 20°	(—) небольшой	(—) 0 — 90°
	+	?	+	?
или косое $\sim 1-7^\circ$				
Бесцветный	Бесцветный	Зеленый, жел- то-зеленый	Зеленый	Зеленый
Чешуйки	Чешуйки	Агрегаты мель- чайших чешуек	Пластинки, че- шуйки, волок- на, коломорф- ные агрегаты	
	1) 70—150° 2) 500—600°	1) 70—100° 2) 450—550°		
	1) 950—1050° слабый или его нет	1) 400—450°		

между слюдами и каолинитом

Минералы группы монтмориллонита и палыгорскита

Минералы Константы	Монтмориллонит	„Бейделлит“	Нонтронит	Палыгорскит	Сепиолит
Ng	1,480 — 1,565 (чаще 1,510—1,535)	1,531—1,600 (чаще 1,550 — 1,580)	1,585 — 1,655	1,527 — 1,550	1,505 — 1,545 (чаще 1,520 — 1,535)
Nm	1,513 — 1,565		1,585 — 1,630	—	—
Np	1,465—1,543 (чаще 1,480—1,510)	1,470—1,559 (чаще 1,510—1,540)	1,560—1,625	1,512—1,530	1,490—1,536 (чаще 1,495—1,510)
Ng — Np	0,014—0,032 (чаще 0,020—0,025)	0,020—0,042	0,020—0,045	0,015—0,020	0,009—0,022 (чаще 0,010—0,015)
2V	(—) 15 — 25°	(—) 15 — 25°	(±) от малого до большого, чаще (—) 25—35°	—	(—) 0 — 50°
Удлинение Угасание Окраска	c Np = 0° Бесцветный	Бесцветный, розоватый, желтоватый	+ c Np ~ 0° Светло-желтый, желто-зеленый, оливково-зеленый, бурый	+ Прямое Бесцветный, розоватый, желтоватый	+ c Ng = 0° Бесцветный, бледно-желтый
Габитус	Пластины, чешуйки, волокна	Пластины, чешуйки, волокна	Волокна, чешуйки	Пленки, листы, волокна	Волокна, чешуйки
Эндотермический эффект	100 — 180° 600 — 640° 800 — 900°	120 — 165° 300 — 350° 550 — 650° 830 — 910°	90 — 180° 420 — 580° 830 — 910°	110 — 200° 220 — 380° 425 — 525°	90 — 160° 350 — 450° 550 — 650° 770 — 840° 800 — 850°
Экзотермический эффект	870 — 930°	860 — 960°	850 — 970° 1010 — 1180°		
Состав	$m\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ $p(\text{Al}, \text{Fe}^{+++})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \times$ $\times (\text{OH})_2 n \text{H}_2\text{O}$ Содержание Fe_2O_3 1 — 5%	$\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]_2$ $(\text{OH})_2 n \text{H}_2\text{O}$ Содержание Fe_2O_3 2—8%	$m\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ $p(\text{Al}, \text{Fe}^{+++})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ $n \text{H}_2\text{O}$ Содержание Fe_2O_3 — — 9 — 22%	$\text{MgAl}_2[\text{Si}_4\text{O}_{11}]$ $(\text{OH})_2 4\text{H}_2\text{O} n \text{H}_2\text{O}$	$\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{H}_2\text{O})_2$

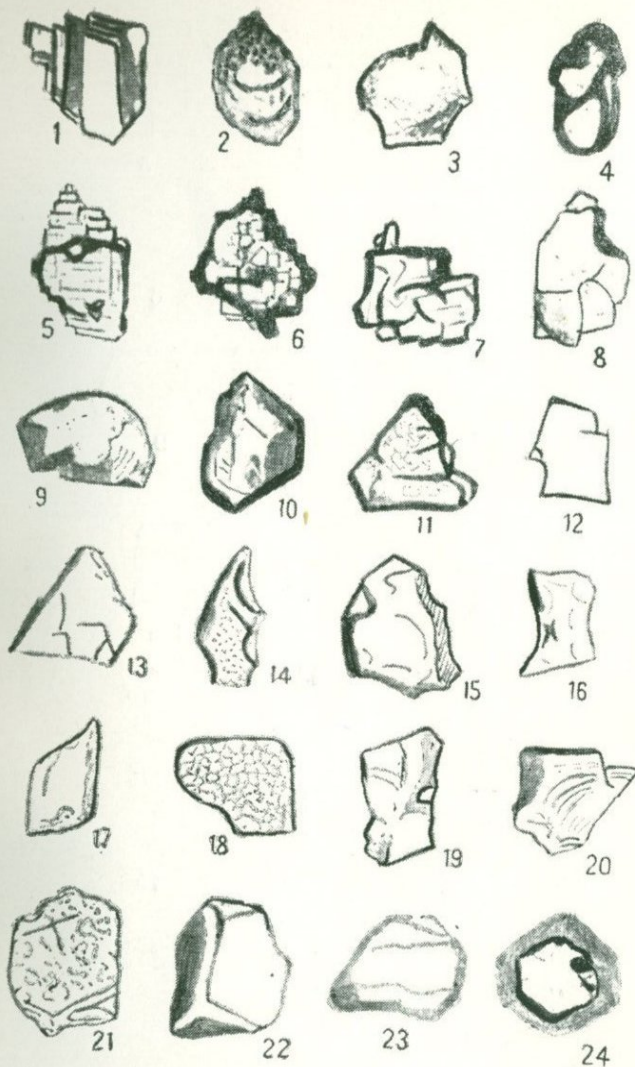


Рис. 54. Гранат из различных стратиграфических горизонтов Англии:
 1—4 — кембрий, силур; 5—9 — карбон, пермь; 10—15 — мезозойские пески; 16—21 — третичные пески; 22 — плиоценовые пески; 23 — ледниковые отложения; 24 — береговой песок; Specton, Jorks, увелич. 25 (по Г. Б. Мильнеру).

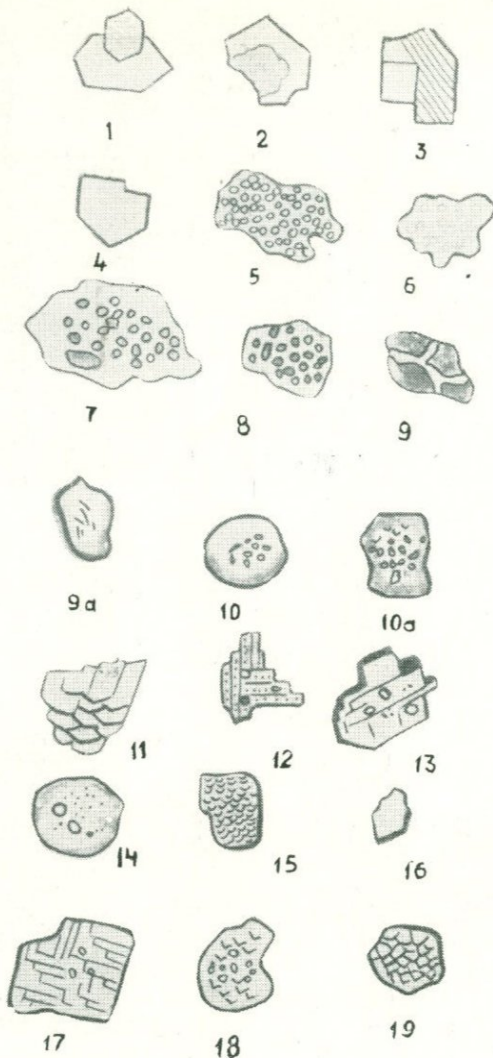


Рис. 55. Минералы из песчаников
среднего карбона Донбасса:
1—4 — гематит; 5—9 — гематит на
слюда и кварце; 9а—19 — гранат;
фракция 0,25—0,01 мм.

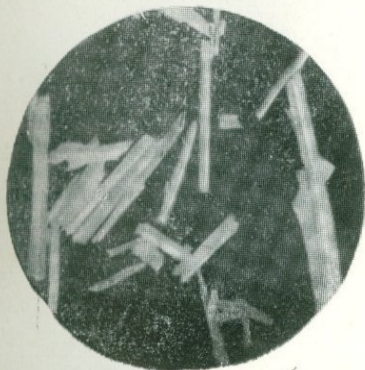


Рис. 56. Галуазит, темнопольный снимок в электронном микроскопе, увелич. 35 700 (по Ф. В. Чухрову).

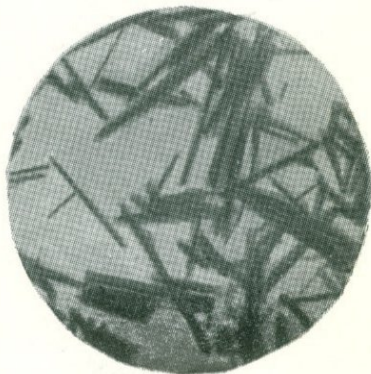


Рис. 57. Галуазит из Казахстана, светлопольный снимок в электронном микроскопе, увелич. 22 500 (по Ф. В. Чухрову).



Рис. 58. Даллит (подолит) колломорфный из Испании, увелич. 44 (по Ф. В. Чухрову).

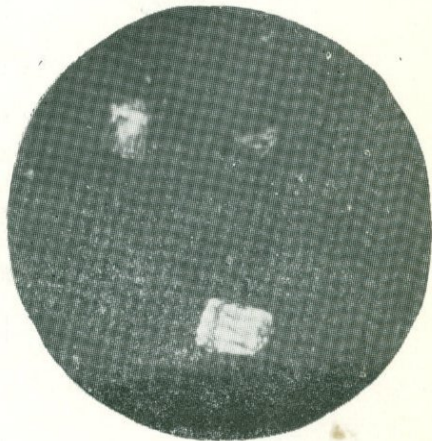
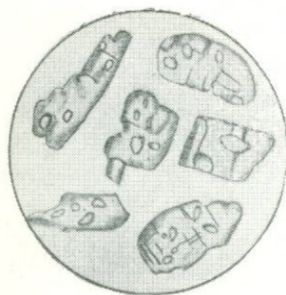
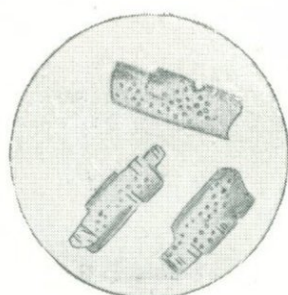


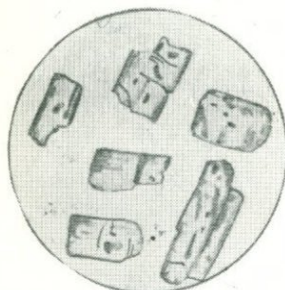
Рис. 59. Гидраргиллит (гипсбит), волокнистые и радиально-лучистые агрегаты. Снято в канадском бальзаме, увелич. 120, николи скрещены.



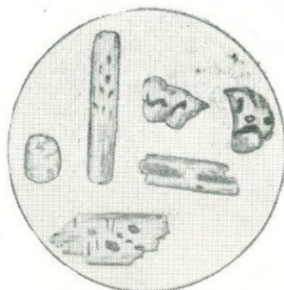
а



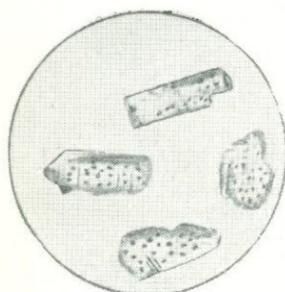
б



в



г



д



е

Рис. 60. Дистен из третичных отложений Азербайджана: а — с жидкими включениями; б — с пузырьками воздуха; в — с пиритом; г — с гидроксидами железа; д — с углистыми частицами; е — с включениями других минералов (по А. Г. Алиеву и др.).

Кроме того, самостоятельно выделяется группа смешанно-слоистых глинистых минералов, представляющих собой упорядоченные и неупорядоченные сростки каолинита и гидрослюда, каолинита и монтмориллонита, каолинита и хлорита и другие. В приводимых ниже таблицах (табл. 25—27) мы рассматриваем наиболее распространенные глинистые минералы. Минералы группы хлорита и группы серпентинита рассмотрены отдельно (см. стр. 174, 186), так же как и минералы группы слюд (см. стр. 173).

Литература: [30, 32, 47, 55, 73, 84, 92, 131, 146 и др.].

Гранаты

Гранаты изотропны или слабо двупреломляют. Показатели преломления изменяются в широких пределах от 1,705 до 2,02. Большинство гранатов окрашено в бурые, красно-бурые, красные, розоватые, зеленоватые тона, однако, нередко бесцветные гранаты (особенно в тонких зернах). В осадочных породах гранаты являются аллотипными — акцессорными минералами. Нередко встречаются гранаты с гранями нарастания или регенерации (гранаты черепитчатого строения и др.). Так как в минералах кубической сингонии формы регенерации и растворения одинаковы, вопрос о генезисе таких зерен пока остается открытым.

Для диагностики гранатов наибольшее значение имеет показатель преломления, удельный вес и химический состав. С этой целью ниже приведены соответствующие таблицы (см. табл. 28, 29).

Гранаты (по Ларсену)

Таблица 28

Название	Состав	n	Удельный вес
Пироп	$3\text{MgO Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,705	3,51
Гроссуляр	$3\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,735	3,53
Пироп	$3(\text{Mg, Fe})\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,742	3,71
Пироп	$3(\text{Mg, Fe, Ca})\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,749	—
Родолит	$3(\text{Mg, Fe})\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,760	3,83
Гессонит	$3(\text{CaO (Al, Fe)}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,763	3,61
Альмандин	$3(\text{Mn, Fe, Ca})\text{O (Al, Fe)}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,766	—
Альмандин	$3(\text{Fe, Ca, Mg})\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,789	3,91
Спессартин	$3(\text{Mn, Fe})\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,794	4,15
Спессартин	$3\text{MnO Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,800	4,18
Альмандин	$3(\text{Fe, Mg, Ca})\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,801	4,09
Спессартин	$3(\text{Mn, Fe})\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,811	4,27
Спессартин	$3(\text{Mn, Fe})\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,814	4,15
Альмандин	$3(\text{Fe, Mn})\text{O Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,818	—
Альмандин	$3\text{FeO Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,830	3,25
Уваровит	$3\text{CaO Cr}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,838	3,41
Андрацит	$3\text{CaO Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,865	3,78
Андрадит	$5\text{CaO Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	1,895	3,75
Меланит	$3\text{CaO (Fe, Ti)}_2\text{O}_3 \cdot 3(\text{Si, Ti})\text{O}_2$	1,94	3,7
Шорломит	$3\text{CaO (Fe, Ti)}_2\text{O}_3 \cdot 3(\text{Si, Ti})\text{O}_2$	1,98	3,85
Ииваарит	$3\text{CaO (Fe, Ti)}_2\text{O}_3 \cdot 3(\text{Si, Ti})\text{O}_2$	2,01	3,70

Минералы Константы	Пироп Py	Py Al	Альмандин Al	Al Sp
<i>n</i>	1,705	1,750	1,830	1,815
Цвет	Красный, реже черный. В шли- фе красный до желто-бурого	Красный, черный	Красный, бурый, фиолетово-розо- вый. В шлифе красный, розовый, в мелких зернах почти бесцветный	Красный, бурый
Удельный вес	3,51	3,75	4,80	4,20
Твердость	7—7,5	7—7,5	7—7,5	7—7,5
Состав	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$	60% Py 40% Al	$Fe_3Al_2Si_3O_{12}$	Al 60% Sp 40%

Гриналит

Химический состав: $Fe_9^{++}, F_2^{--} [Si_4 O_{11}]_2 [OH]_{12} \cdot 2H_2O$.

Сингония — моноклинная (?).

Формы — субмикроскопические кристаллы, аморфные массы. Спайности нет.

Удельный вес — 2,8—3,0.

Цвет — зеленый, желтый, бурый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Изотропный или почти изотропный, $n=1,650—1,681$, сильная дисперсия. В шлифе зеленый, желтый, бурый. Растворяется в HCl.

Особенности в осадках. В осадках и осадочных породах не описан.

Распространение. Встречается в районе Верхнего озера в роговиках с железными рудами метаморфического происхождения.

Литература: [14, 24, 104].

Гроссуляр (рис. 53, 54, 55)

Химический состав: $Ca_3 Al_2 [SiO_4]_3$.

Сингония — кубическая.

Формы — ромбический додекаэдр, тетрагонтриоктаэдр, комбинации.

Спайность — несовершенная по (110).

(по Винчеллу)

Спессартин Sp	Уваровит Uv	Uv Gr	Гроссуляр Gr	Gr An	Андрадит An
1,800	1,860 Обычно дву- преломляет	1,810 Обычно дву- преломляет	1,735 Обычно дву- преломляет	1,800 Обычно дву- преломляет	1,895 Обычно дву- преломляет
Красный, желто-бу- рый. В шлифе розовый	Зеленый	Зеленый, желто-бу- рый	Желтый, бурий, зе- леноватый, красный. В шлифе бесцветный	Черный, красный, желто-бу- рый	Черный, крас- ный, бурий, зеленоватый. В шлифе тем- ный
4,18	3,80	3,70	3,53	3,60	3,75
7—7,5	6,5—7,5	6,5—7,5	6,5—7,5	6,5—7,5	6,5—7,5
$Mn_3Al_2Si_3O_{12}$	$Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$	60% Uv 40% Gr	$Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	60% Gr 40% An	$Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$

Твердость — 6,5—7.

Удельный вес — 3,53.

Цвет — медово-желтый, бледно-зеленый, бурий, красный.

Магнитные свойства — магнитен.

Оптические свойства. Изотропен, $n=1,735$, наблюдается аномальное двойное лучепреломление.

Особенности в осадках. Встречается в виде зерен неправильной формы, угловатых или угловато-окатанных. Зерна несут входящие углы и полураковистый излом, фигуры травления. Окрашен в желтые, буровато-розовые и зеленые тона. Тонкие зерна почти бесцветны.

Распространение. Метаморфические и изверженные породы, скарны. В осадочных породах гроссуляр — обычный минерал, но встречается в небольших количествах. Значительные концентрации обнаруживает в современных осадках: пески морского пляжа, аллювий.

Литература: [11, 19, 26, 41, 44, 63, 80, 108, 110, 115, 118 и др.].

Графит

Химический состав: C.

Сингония — гексагональная.

Формы — таблитчатый, шестиугольные пластинки, листочки, чешуйки.

Спайность — совершенная по (0001).

Твердость — 1—2.

Удельный вес — 2,09—2,32.

Цвет — от стально-серого до черного, блеск металлический, иногда тусклый, сажистый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Непрозрачен, в тонких чешуйках просвечивает синим или зеленовато-серым цветом. Оптически одноосный, отрицательный, $n=1,93—2,07$. В отраженном свете сильно плеохроирует и двупреломляет. В отраженном свете тускло- или сажисто-черный.

(Шунгит — твердость 3, удельный вес — 1,84—1,98, аморфный, часто с кварцем).

Особенности в осадках. Встречается в виде округлых или неправильной формы зерен, чешуек и листочков.

Распространение. Метаморфические породы, гнейсы, сланцы, кварциты, мраморы, пегматиты. В осадочных породах редок. Встречается только вблизи массивов графитоносных пород.

Литература: [14, 72, 110].

Диаспор

Химический состав: $AlO\ OH$ или $NaAlO_2$; $Al_2O_3—85\%$, $H_2O—15\%$. Сингония — ромбическая.

Формы — тонкопластинчатые, таблитчатые, столбчатые, листовые и чешуйчатые агрегаты.

Спайность — совершенная по (010).

Твердость — 6—7.

Удельный вес — 3,3—3,5.

Цвет — желтовато-бурый, белый, светло-фиолетовый, зеленовато-серый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей (010), $Ng=a$; $Ng=1,750$; $Nm=1,722$; $Np=1,702$; $Ng-Np=0,048$; (+) $2V=84^\circ$. Удлинение отрицательное.

Особенности в осадках. Встречается главным образом как аутигенный минерал в бокситах и некоторых глинистых породах, богатых алюминием, в виде тонкочешуйчатых агрегатов микроскопических и ультрамикроскопических размеров. Узнается по оптике, термике и рентгенограмме. Бесцветен или окрашен гидроокислами железа. Кластический диаспор редок.

Распространение. Встречается в месторождениях бокситов, реже — в контакт-метасоматических и гидротермальных месторождениях, а также в метаморфических породах. В осадочных породах, за исключением бокситоносных, минерал редкий.

Литература: [5, 14, 24, 117 и др.].

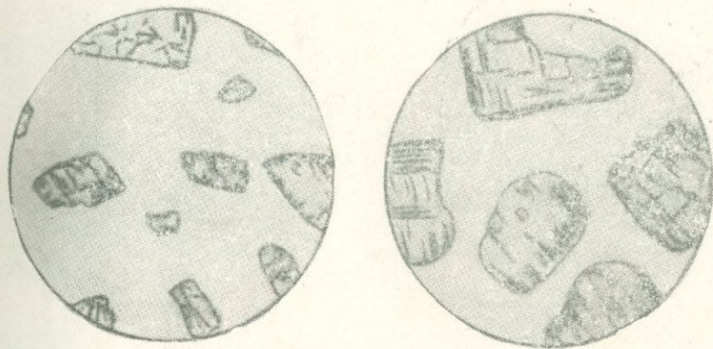


Рис. 61. Дистен из продуктивной толщи Азербайджана, увелич. 48 (по А. Г. Алиеву).

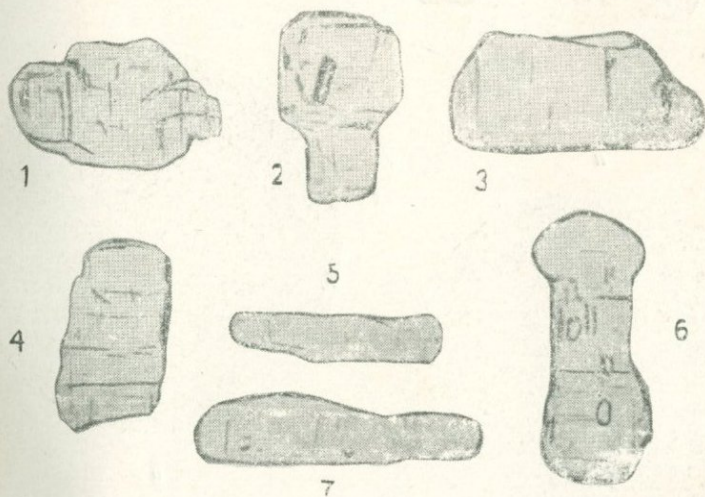
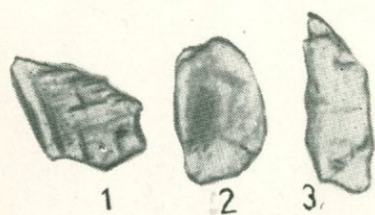


Рис. 62. Дистен из третичных песков Англии (1, 4—6), из аллювия Зап. Африки (2—3), увелич. 60 (по Г. Б. Мильнеру).

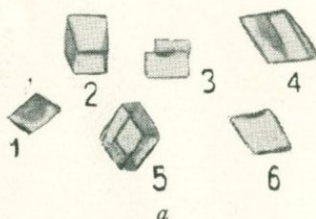


a

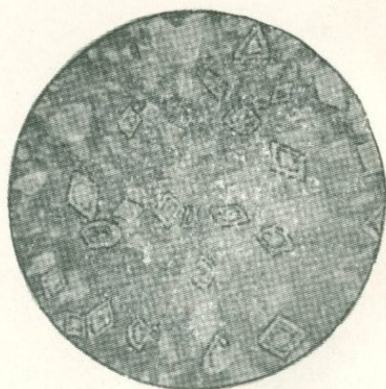
б

Рис. 63. Диопсид:

a — миоценовый песок Калифорнии (1), береговой песок Корнуэльса—Англия (2—3), увелич. 45 (по Г. Б. Мильнеру), *б* — апшеронский ярус Азербайджана (по А. Г. Алиеву).



a



б

Рис. 64. Доломит:

a — песок Portland, Dorset—Англия, увелич. 40 (по Г. Б. Мильнеру); *б* — зональные кристаллы из нижнего карбона Донбасса (по Н. Д. Решетняку).

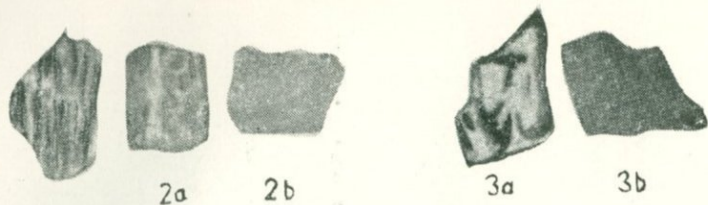


Рис. 65. Дюмортьерит из третичных отложений Англии, увелич. 105—130 (по Г. Б. Мильнеру).

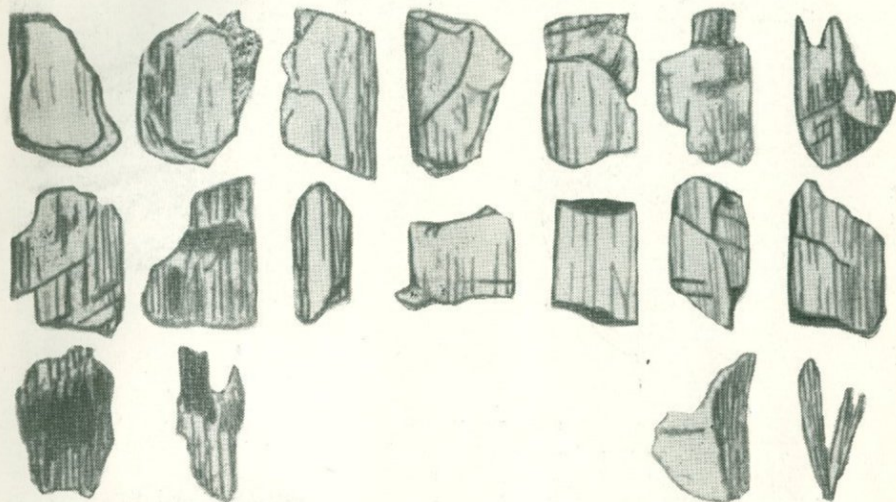


Рис. 66. Дюмортьерит из дартмурского гранита.



Рис. 67. Ильменит из тяжелой фракции диатомита $P_{гз}^{ch}$, Днепровско-Донецкая впадина, увелич. 80 при одном никеле (по Л. И. Карякицу).

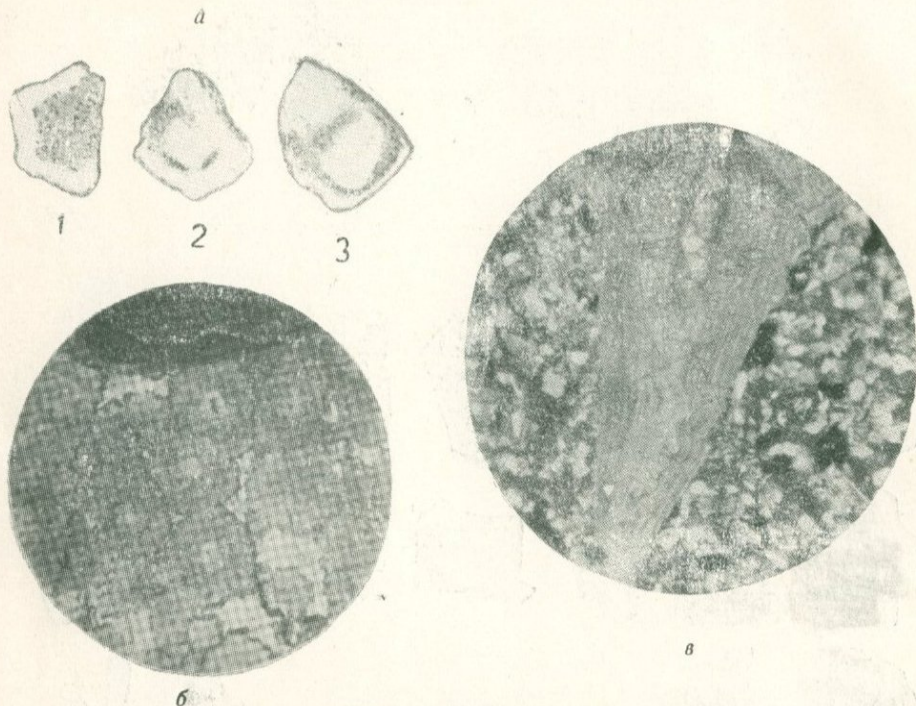


Рис. 68. Кальцит:

a — из третичных песков Англии (1—2), увелич. 80, из береговых песков Корнуэльса — Англия (3), увелич. 40 (по Г. Б. Мильнеру); *б* — из конкреции в среднем карбоне Донбасса концентрического строения; *в* — волокнистый, органических остатков (брахиопод) из песчанников, увелич. 80, николи скрещены.

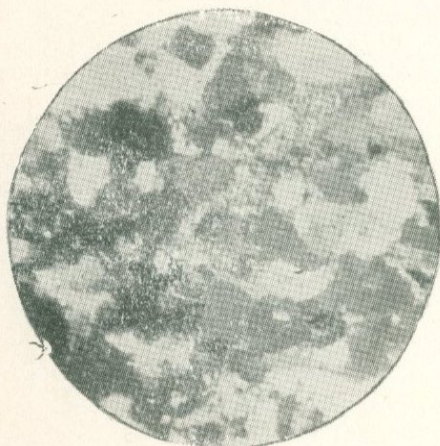


Рис. 69. Кварц и олигоклаз в песчанике среднего карбона Донбасса, увелич. 80, николи скрещены.



Рис. 70. Обломочный и вторичный кварц в песчанике, увелич. 80, николи скрещены.

(кианит)

Химический состав: $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$; Al_2O_3 —63,1%; SiO_2 —36,9%.

Сингония — триклинная.

Формы — столбчатые по оси c кристаллы, уплощенные кристаллы.

Спайность — совершенная по (100), средняя по (010), отдельность по (001).

Твердость — 4,5—6.

Удельный вес — 3,56—3,68.

Цвет — голубой, синий, иногда зеленый, желтый, серый, в шлифе бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Острая отрицательная биссектриса N_p почти перпендикулярна к (100).

$N_g = 1,728$ — $1,734$; $N_m = 1,721$ — $1,722$; $N_p = 1,713$ — $1,718$; $N_g - N_p = 0,012$ — $0,015$; $(-)$ $2V = 82$ — 84° . Косое погасание по отношению к (100)— $cN_g' = 27$ — 32° . Дисперсия слабая $r > v$. Удлинение положительное.

В густоокрашенных разностях легкий плеохроизм.

Особенности в осадках. Встречается в виде угловато-окатанных и призматических зерен, вытянутых по оси c . Почти всегда наблюдается спайность по одному или двум направлениям. Узнается по высокому показателю преломления, низкому двупреломлению, косому угасанию (около 30°). Уплощенные зерна по (010) редки, они имеют почти прямое погасание. Плеохроичные зерна чрезвычайно редки. Часто содержит включения кварца, слюдистых агрегатов («мерцающие» зерна), пирита, пузырьков жидкости и газа и т. п. Морфология зерен дистена весьма разнообразна. В третичных отложениях юго-восточного Кавказа описано до восьми разновидностей дистена.

Распространение. Метаморфические породы, особенно некоторые кристаллические сланцы и гнейсы. В осадочных породах встречается очень часто. Особенно много дистена в третичных отложениях юга СССР, Кавказа и других мест.

Литература: [1, 2, 3, 4, 11, 41, 42, 52, 80, 100, 110, 132 и др.].

Доломит (рис. 64, 85)

Химический состав: $(\text{Ca}, \text{Mg}) [\text{CO}_3]_2$.

Сингония — тригональная.

Формы — ромбоздрический, неправильные зерна, зернистые и пелитоморфные агрегаты.

Спайность — совершенная по ромбоздру.

Твердость — 3,5—4.

Удельный вес — 2,8—2,9 (2,95—3,12, анкерит).

Цвет — бесцветный, белый, бурый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_o=1,679$; $N_e=1,502$; $N_o-N_e=0,179$; одноосный отрицательный, наблюдается псевдоабсорбция. В пластинках по ромбоэдрической спайности $N_e'=1,588$.

Особенности в осадках. Обычно аутигенный минерал в осадочных породах, существенная составная часть в доломитах, известняках, цемент в песчаниках, алевролитах, конкрециях. Встречается в виде правильных ромбоэдрических кристаллов, в виде неправильной формы зерен и агрегатов, в виде пелитоморфных агрегатов.

Узнается по показателю преломления $N_o \leq 1,681$, по ромбоэдрическому габитусу, псевдоабсорбции, иногда наличию зональных кристаллов. Точная диагностика доломита требует применения реакции окрашивания (резорцином). Кластический доломит очень редок.

Распространение. Осадочные породы, гидротермальные жилы, метаморфизованные карбонатные породы.

Литература: [2, 4, 11, 62, 63, 82, 83, 91, 97 и др.].

Дюмортьерит (рис. 65, 66)

Химический состав: $Al_4 [Al_4 B Si_3 O_{19} (OH)]$.

Сингония — ромбическая.

Формы — призматический, иногда двойники.

Спайность — хорошая по (100), менее ясная по (110), отдельность по (001).

Твердость — 7.

Удельный вес — 3,26—3,36.

Цвет — бесцветный, зеленовато-синий, серый, желто-зеленый, розовато-сиреневый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей $\parallel (010)$.

$N_g=1,686-1,692$; $N_m=1,683-1,691$; $N_p=1,659-1,675$; $N_g-N_p=0,011-0,027$; $(-)$ $2V=20-52^\circ$. Угасание прямое, удлинение отрицательное. Сильная дисперсия $r > v$ или $r < v$. Плеохроизм заметный. N_g бесцветный, светло-голубой, N_m бесцветный, светло-синий, светло-фиолетовый, N_p синий, фиолетовый, зеленый, $N_p > N_m > N_g$.

Особенности в осадках. Встречается в виде призматических зерен с неровными краями, с заметной штриховкой // ребру призмы. Сходен с турмалином, но показатели преломления выше. Плеохроизм является одним из важных диагностических признаков.

Распространение. Гранитные пегматиты, гнейсы и другие метаморфические породы. В осадочных породах встречается довольно часто. Описан из различных осадочных пород Англии (главным образом синий).

Литература: [72, 110, 111 и др.].

Химический состав: FeTiO_3 .

Сингония — тригональная.

Формы — таблитчатый.

Спайность отсутствует.

Твердость — 5—6.

Удельный вес — 4,5—5.

Цвет — железо-черный.

Магнитные свойства — умеренно магнитен, сильно магнитен (титаномагнетит).

Оптические свойства. Непрозрачный, в очень тонких пластинках пурпурно-бурый.

В отраженном свете стально-серый, пурпурно-серый, малиново-серый, блеск металлоидный.

Особенности в осадках. Встречается в виде неправильных угловатоокатанных зерен с характерным стально-серым или малиново-серым цветом и металлоидным блеском в отраженном свете. Изменяется в лейкоксен — непрозрачный в проходящем свете, в отраженном свете — белый, реже переходит в рутил, анатаз. Магнит, поднесенный к предметному стеклу, почти не перемещает ильменита, но сильно действует на титаномагнетит и магнетит.

Распространение. Магматические породы, основные и ультраосновные. В осадочных породах обычный минерал, встречается в отложениях различного возраста от кембрия до квартера.

Широко распространен в современных осадках. Значительные концентрации ильменита отмечены в песках пляжей Азовского, Белого, Баренцового морей, Гудзонова залива, побережья Флориды, Новой Зеландии, много его в аллювиальных россыпях.

Литература. Ильменит указывается во всех работах по осадочным породам, значительные концентрации ильменита описаны в следующих работах: [41, 44, 80, 100, 118 и др.].

Карбонаты

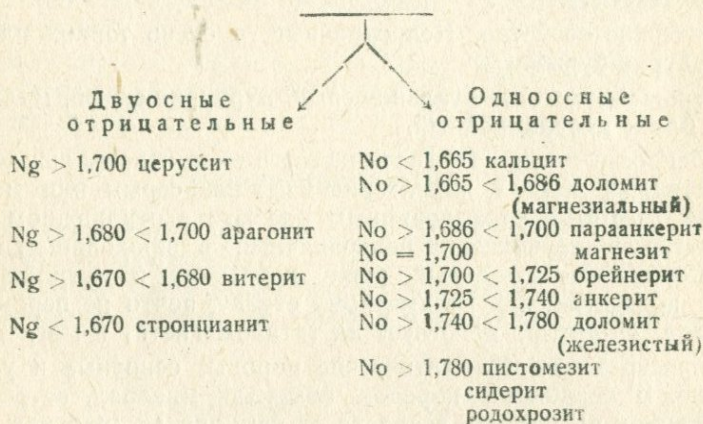
Карбонаты группы кальцита все одноосные отрицательные с очень высоким двупреломлением и высоким показателем преломления от 1,658 до 1,875. Благодаря наличию изоморфных рядов показатели преломления и другие свойства постепенно изменяются и частично перекрываются. Карбонаты группы арагонита — двуосные отрицательные.

Так как в одноосных отрицательных $\text{Ng}=\text{No}$ и наблюдается в любом сечении минерала, можно рекомендовать следующую схему определения карбонатов в иммерсии (см. табл. 30, 31).

Одновременно, если карбонаты крупнозернистые и в препаратах преобладают зерна, выколотые по спайности, определяется Ne' на плоскости спайности по ромбоэдру. Определение карбонатов в шлифах производится с применением реакций окрашивания. Для этого срезается часть покровного стекла, спиртом или кислотом смывается балзам, а затем производится окрашивание. Окрашенный шлиф просматривается под микроскопом (см. схему).

Таблица 30

Схема определения карбонатов в иммерсии



По Ne' на спайной плоскости ромбоэдра:

$Ne' = 1,566$	кальцит
$Ne' = 1,587 - 1,591$	доломит
$Ne' = 1,601 - 1,607$	параанкерит магнезит
$Ne' = 1,607 - 1,613$	брейнерит
$Ne' = 1,625 - 1,633$	анкерит
$Ne' = 1,655$	ферродоломит
$Ne' = 1,673$	пистомезит
$Ne' = 1,702$	родохрозит
$Ne' = 1,747$	сидерит

Химический состав: CaCO_3 .

Сингония — тригональная.

Формы — ромбоэдры (редко), зерна неправильной формы, зернистые агрегаты, пелитоморфные агрегаты.

Спайность — по ромбоэдру совершенная.

Твердость — 3.

Удельный вес — 2,71—2,72.

Цвет — бесцветный, серый, бурый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_o = 1,658$; $N_e = 1,486$; $N_o - N_e = 0,172$; N_e на спайной плоскости — 1,566. Одноосный, отрицательный, удлинение положительное и отрицательное, угасание — косое симметричное или прямое. Очень редко кальцит двуосный.

Особенности в осадках. Обычно кальцит — аутигенный минерал. Встречается в виде бесцветных зерен неправильной формы, зернистых агрегатов, пелитоморфных агрегатов, слагает раковины моллюсков, брахиопод (пластинчатый, столбчатый, волнистый). Образует правильные ромбоэдрические зерна и зерна с полисинтетическими двойниками.

Определяется по показателю преломления $N_o \leq 1,658$, псевдоабсорбции, вскипанию с HCl . При всех реакциях окрашивания кальцит окрашивается, за исключением реакций с большинством органических красителей, окрашивающих магниевые карбонаты.

Кластический кальцит встречается гораздо реже (обломочные известняки).

Распространение. Мраморы, кристаллические известняки, гидротермальные жилы, редко в изверженных породах (антраксолит). Широко распространен в осадочных породах как аутигенный минерал: карбонатные породы, цемент в обломочных породах, конкреции и т. п.

Литература: [2, 4, 10, 11, 19, 26, 30, 39, 40, 42, 62, 63, 82, 83, 90, 91, 102 и др.].

Каменный уголь

Химический состав: $\text{C} - 75-91\%$, $\text{H} - 4-5\%$, $\text{N} - 1-2\%$, $\text{O} - 10-12\%$.

Сингония неизвестна.

Формы — ограненных кристаллов не образует.

Спайность отсутствует.

Твердость — 3.

Удельный вес — 1,2—1,6.

Цвет — черный, тусклый, со стекляннм или полуметаллическим блеском. Непрозрачный, в очень тонких зернах просвечивает.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Одноосный отрицательный.

Минералы Константы	Кальцит	Магнезио- доломит	Пара- анкерит	Анкерит	Ферро- доломит
No	1,658	1,679—1,686	1,698	1,728—1,741	1,765
Ne	1,486	1,502—1,505	1,513	1,531—1,536	1,555
No—Ne	0,172	0,177—0,181	0, 87	0,197—0,205	0,210
Ne' на (10 $\bar{1}1$)	1,566	1,587—1,591	1,601	1,625—1,633	1,655
Спайность совершенная по (10 $\bar{1}1$)					
Угол спайного ромбоэдра	74°55'	—	—	—	—
Удельный вес	2,71	2,87—2,94	3,10—3,15	3,02—3,12	3,2
Твердость	3	3,5—4,0	3,5—4,0	3,5—4,0	3,5—4,0
Отношение к HCl	Бурно вскипает с холодной HCl	Слабо вскипает в холодной HCl	Не вскипает в холодной HCl	Не вскипает в холодной HCl	Не вскипает в холодной HCl
Состав	CaCO ₃	CaMg(CO ₃) ₂ 100—90% CaFe(CO ₃) ₂ 0—8%	CaMg(CO ₃) ₂ 80% CaFe(CO ₃) ₂ 20%	CaMg(CO ₃) ₂ 52—24% CaFe(CO ₃) ₂ 45—70% CaMn(CO ₃) ₂ 2—4%	CaFe(CO ₃) ₂ 100%

$Ng-Np=0,003$. Величина показателя преломления изменяется от 1,75 (длиннопламенные угли) до 2,04 (полуантрациты). Плеохроизм слабый в бурых тонах ($Ng > Np$). Погасание прямое, удлинение положительное. Np совпадает с $\perp$ к напластованию. Все эти данные относятся к гумусовым углям. В толстых зернах непрозрачен, в отраженном свете — черный со стекляннм и металлическим блеском или тусклый, на магнит не реагирует.

Особенности в осадках. Встречается в виде угловатых и угловато-окатанных зерен (аллотигенный), а также в виде примазок, прослоек, обугленных растительных остатков (аутигенный) в породах угленосных формаций.

Распространение. Осадочные породы — угленосные формации. Пользуется широким распространением в каменноугольно-пермских, юрских и третичных отложениях. Кластический каменный уголь встречается редко.

Литература: [54, 63, 92 и др.].

Каолинит (рис. 85)

Химический состав $Al_4 [Si_4O_{10}] (OH)_8$.

Сингония — моноклинная.

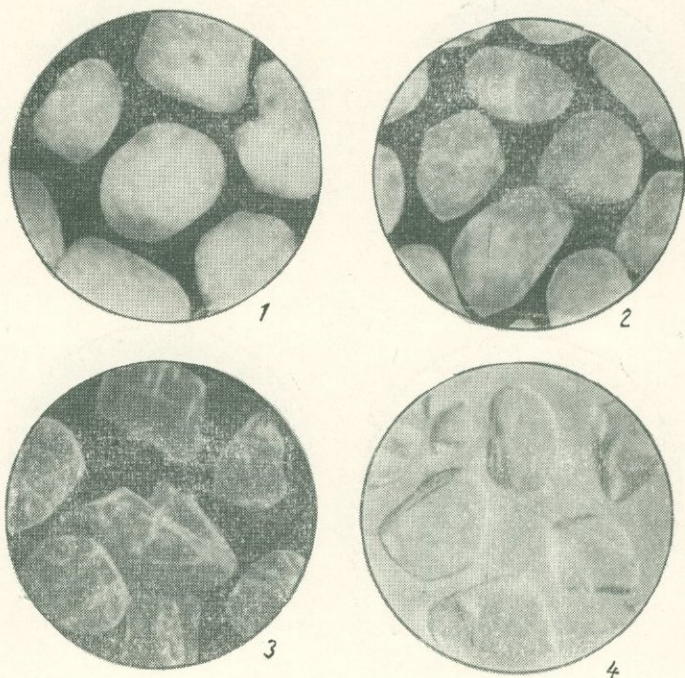


Рис. 71. Различные типы кварцевых зерен:
 1 — кварц непрозрачный; 2 — полупрозрачный; 3 — трещиноватый; 4 — без включений, увелич. 30, снято в глицерине (по Леммлейну и Князеву).

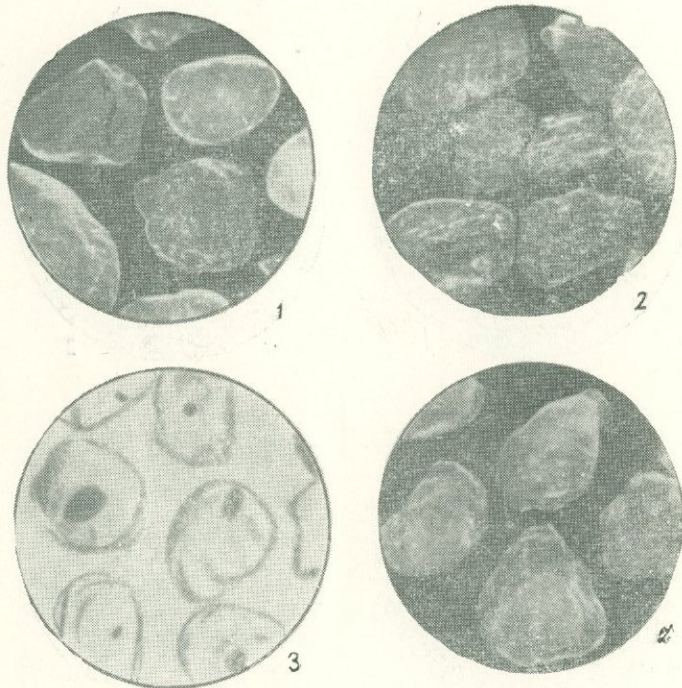


Рис. 72. Различные типы кварцевых зерен:
 1 — кварц опалесцирующий; 2 — с игольчатыми включениями; 3 — с пластинчатыми и изометрическими включениями; 4 — регенерированный, увелич. 30, снято в глицерине (по Леммлейну и Князеву).

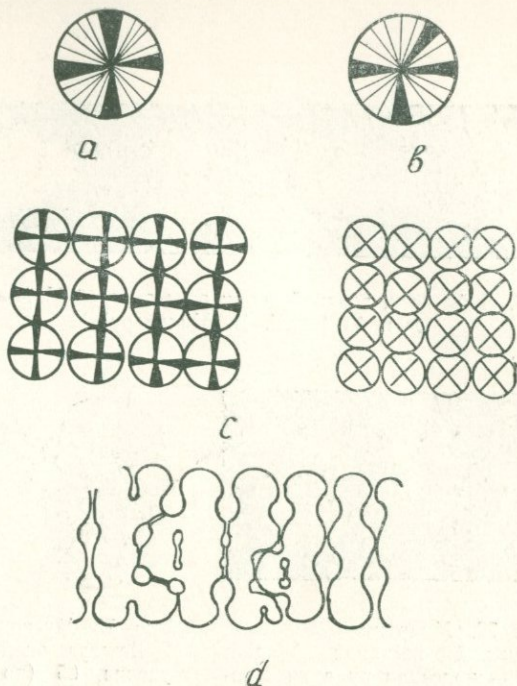


Рис. 73. Сферолиты кварца из среднего карбона Донбасса, увелич. 250, николи скрещены: а, в — отдельные сферолиты; с — группы сферолитов; д — рисунок, наблюдающийся, когда группы сферолитов расположены в несколько слоев друг над другом.

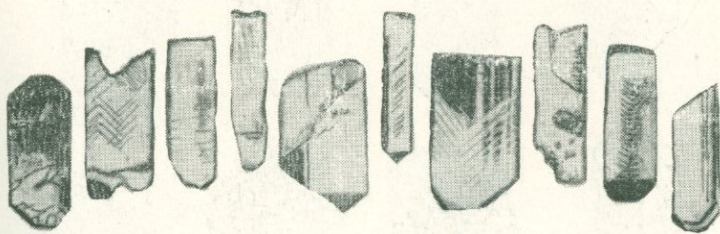


Рис. 74. Касситерит. Типичные кристаллы и обломки из Дартмура. Размер зерен до 8 мм.



Рис. 75. Корунд:
1, 2, 4 — плиоценовый песок, Сант-Кезери, Корнуэльс, увелич. 55—60; 2 — миоценовый песок Лос-Анжелоса—Калифорния, увелич. 50 (по Г. Б. Мильнеру).

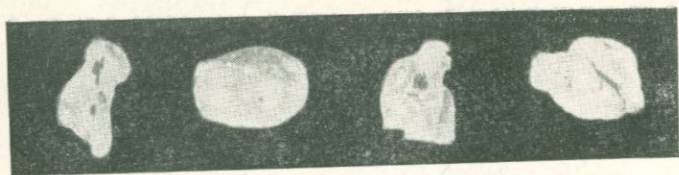


Рис. 76. Лейкоксен, верхний эоцен окрестностей Парижа, увелич. 40 (по Г. Б. Мильнеру).



Рис. 77. Микроклин:
1—2 — торидонский песчаник Англии, увелич. 40; 3 — железная руда из Дорсета, Англия, увелич. 40 (по Г. Б. Мильнеру).

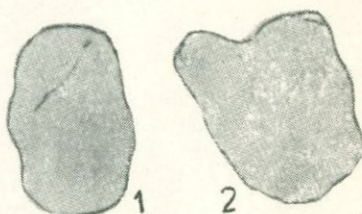


Рис. 78. Мусковит из породы Kelloways, около Molton, Jork, увелич. 65 (по Г. Б. Мильнеру).

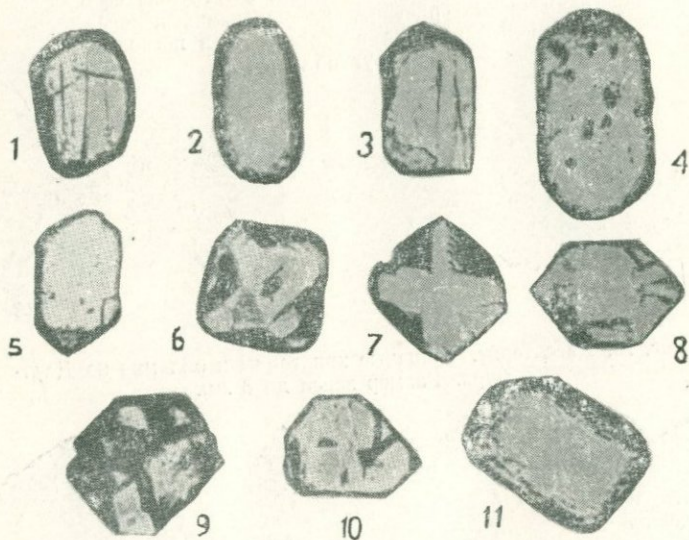


Рис. 79. Монацит:
1, 2 — современные пески Траванокора — Индия, увелич. 70;
3—5 — современные пески Цейлона, увелич. 40; 8—11 —
аллювий Бразилии, увелич. 70 (по Г. Б. Мильнеру).

Магнезит	Брейнерит	Пистомезит	Сидерит	Родохрозит	Арагонит
1,700	1,707—1,719	1,788	1,875	1,816	1,685
1,509	1,517	1,570	1,633	1,600—1,597	1,681
0,191	0,190—0,202	0,218	0,242	0,216—0,219	1,530
1,602	1,607—1,613	1,673	1,747	1,702	0,155

совершенная по (10 $\bar{1}$ 1)

72°30'	—	—	73°0'	73°9' (—) 2V18°	
2,98	3,09	3,35	3,95	3,60—3,69	2,94
3,5—4,5	3,5—4,0	3,5—4,0	3,5—4,5	3,5—4,5	3,5—4
Не вскипает в холодной HCl	Не вскипает в холодной HCl	Не вскипает в холодной HCl	Не вскипает в холодной HCl	Не вскипает в холодной HCl	Бурно вскипает с холодной HCl
MgCO ₃	MgCO ₃ 90—91% FeCO ₃ 8—9%	MgCO ₃ 49,8% FeCO ₃ 50,2%	FeCO ₃	MnCO ₃	CaCO ₃

Формы — кристаллы редки — пластинки псевдогексагонального облика, обычно чешуйки, листочки очень мелких размеров, землистые агрегаты.

Спайность — совершенная по (001).

Твердость — 2—2,5.

Удельный вес — 2,6—2,63.

Цвет — белый, желтовато-буровато-белый, в шлифе и фракциях бесцветен.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей и Ng $\perp$ (010). Np образует угол с $\perp$ к базальной спайности около 3°. Ng=1,560—1,570; Nm=1,559—1,569; Np=1,553—1,563; Ng—Np=0,006—0,007; (—) 2V=20—55°, удлинение положительное (b=Ng), угасание почти прямое с Np=1—4°. Дисперсия слабая $r > v$.

Диккит: Ng=1,566; Nm=1,562; Np=1,560; Ng—Np=0,006; (+) 2V=52—82°, $r < v$, с Np=7—13°, а Nm=15—20°. Удлинение положительное, b = Ng, иногда b = Nm.

Накрит: Ng=1,563; Nm=1,562; Np=1,557; Ng—Np=0,006; (—) 2V=40—90°, $r > v$, ($\perp$ к (001) : Np) 10—12°. Удлинение положительное.

Особенности в осадках. Встречается в виде мельчайших чешуек и агрегатов, в виде довольно крупных вермикулитоподобных или «воротничковых» агрегатов. Встречается как аутигенный, так и аллотигенный минерал осадочных пород, особенно глинистых. Узнается по оптическим свойствам, реакциям окрашивания. Для каолинита характерна кривая нагревания: эндотермический эффект — 560° , экзотермический эффект при $T = 930^{\circ}$.

Распространение. Кора выветривания магматических и метаморфических пород, гидротермальные жилы, почвы.

В осадочных породах — широко распространенный минерал. Слагает основную массу глин и аргиллитов, цемент — в песчаниках и алевролитах. Особенно много каолинита в угленосных осадках и почве угольных пластов (карбон, юра, третичный период).

Литература: [5, 30, 47, 63, 73, 83, 84, 92, 102 и др.].

Касситерит (рис. 74)

Химический состав: SnO_2 .

Сингония — квадратная.

Формы — бипирамиды, призмы, двойники.

Спайность — несовершенная по (100) и по (111).

Твердость — 6—7.

Удельный вес — 6,8—7,1.

Цвет — бурый, черный, красновато-бурый, от непрозрачного до просвечивающего.

Магнитные свойства — немагнитен (изредка магнитен).

Оптические свойства. $N_o = 1,996$; $N_e = 2,093$; $N_e - N_o = 0,096$. Одноосный положительный, удлинение положительное. Иногда псевдодвуосный с малым углом оптических осей. Часто плеохроичен от бурого до желтого, от желтого до серого, от красно-бурого до розового. Прямое погасание параллельно ребру призмы.

Особенности в осадках. Встречается в виде призматических, пирамидальных зерен, неправильных окатанных зерен. Зерна почти прозрачны, окрашены в красные и бурые тона, некоторые — участками просвечивают. Наблюдается плеохроизм. $N_e > N_o$. Содержит включения окислов железа. Иногда зональные кристаллы, колеччатые двойники, штриховка параллельна главной оси.

Распространение. Пегматитовые и гидротермальные рудоносные жилы, измененные магматические породы (главным образом граниты) и грейзены, редко граниты. В осадочных породах встречается, вероятно, довольно часто, но из-за неудовлетворительной диагностики пропускается. При определении касситерита следует применять микрохимические реакции с Zn и HCl . Касситерит часто встречается в аллювиальных россыпях.

Литература: [45, 76, 110 и др.].

Химический состав: SiO_2 .

Сингония — тригональная — α -кварц, гексагональная — β -кварц.

Формы — разнообразны: призматический, комбинации призм и ромбоэдра, призмы и бипирамиды, бипирамидальный; различные зернистые агрегаты.

Спайность — отсутствует или несовершенная по $(01\bar{1}1)$.

Твердость — 7.

Удельный вес — 2,66.

Цвет — бесцветный, белый, дымчатый, фиолетовый (аметист), розовый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_o=1,544$; $N_e=1,553$; $N_e-N_o=0,009$.

Оптически одноосный, положительный, очень редко двuosный ($2E=12-24^\circ$), призматические срезы дают прямое погасание. Удлинение положительное. Кварц из пород, подвергшихся деформации, имеет волнистое погасание. Часты включения пузырьков газов, жидкостей и различных минералов (рутил, апатит, циркон).

Особенности в осадках. Кварц — наиболее распространенный минерал осадочных пород, особенно обломочных. Формы его разнообразны. Встречается в виде окатанных зерен, угловато-окатанных, угловатых, зерен неправильной формы, зернистых и пелитоморфных агрегатов, редко в виде кристаллов идеально правильной формы (вторичный кварц — аутигенный в некоторых обломочных породах, известняках и т. п.). Часто несет следы коррозии и регенерации.

В настоящее время выделяются следующие типы обломочного кварца: 1) прозрачный; 2) полупрозрачный; 3) непрозрачный; 4) с игольчатыми включениями; 5) с изометрическими включениями; 6) трещиноватый; 7) опалесцирующий; 8) регенерированный (Князев и Леммлейн)¹.

Распространение. Магматические, главным образом кислые породы, метаморфические породы, кварцевые гидротермальные жилы, пегматиты. В осадочных породах — обычный минерал, особенно большие концентрации кварца наблюдаются в обломочных породах (некоторые пески и песчаники представляют собой чисто кварцевые породы — содержание SiO_2 до 99%).

Литература. Кварц описывается во всех работах по осадочным породам. Специальные исследования кварца описаны в следующих работах [43, 57].

Кварцин (рис. 73)

Химический состав: SiO_2 .

Сингония — ?

¹ Наблюдение ведут под биноклем; зерна фракции 0,25—0,1 мм и 0,25—0,5 мм помещают в глицерин или жидкость с показателем преломления, близким к n кварца.

Формы — сферокристаллы, волокнистые и радиально-лучистые агрегаты, порошки.

Спайность отсутствует.

Твердость — 7.

Удельный вес — 2,60—2,61.

Цвет — бесцветный, белый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $n_g = 1,540—1,544$; $n_m = 1,535—1,537$; $n_p = 1,530—1,534$; $n_g - n_p = 0,007—0,010$; $2V = 60—87^\circ$. Двуосный положительный или отрицательный. Удлинение положительное, угасание прямое.

Особенности в осадках. Кварцин — аутигенный минерал осадочных пород. Встречается в виде радиально-лучистых и волокнистых агрегатов или в виде отдельных сферокристаллов. Отличается от халцедона положительным удлинением.

Распространение. В коре выветривания магматических пород, в зоне окисления рудных месторождений. В осадочных породах — широко распространенный минерал: встречается в глинах, аргиллитах, в зернистых породах — цемент, в известняках замещает кальцит, в конкрециях и т. п.

Значительные концентрации кварцина известны в углях (прошлой), в породах почвы углей.

Литература: [60, 63, 102, 113, 114].

Квасцы

Химический состав: $KAl [SO_4]_2 \cdot 12H_2O$.

Сингония — кубическая.

Формы — октаэдрические, кубические, обычно землистые массы, корочки.

Спайность отсутствует.

Твердость — 2.

Удельный вес — 1,76.

Цвет — бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Изотропны, $n = 1,456—1,458$. Часто анизотропны. Калиевые квасцы переходят в калинит. Свойства калинита следующие: твердость 2—2,5; удельный вес — 1,75; $n_g = 1,458$; $n_m = 1,452$; $n_p = 1,430$; $n_g - n_p = 0,028$; (—) $2V = 52^\circ$, слабая дисперсия.

Особенности в осадках. Из-за легкой растворимости в воде в осадочных породах редки. Встречаются в глинистых породах, содержащих пирит, в угле. Образуются в результате выветривания пирита.

Распространение. В зоне окисления колчеданных месторождений. Продукты вулканических возгонов. В осадочных породах

угленосных и нефтеносных толщ — в глинах и аргиллитах, содержащих сульфиды железа, в угольных пластах.

Литература: [1, 14, 24, 63].

Клиноцоизит

Химический состав: $\text{Ca}_2 \text{Al}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{12} (\text{OH})$.

Сингония — моноклинная.

Формы — призматические, таблитчатые зерна, шестоватые и зернистые агрегаты.

Спайность — совершенная по (001).

Твердость — 6,5.

Удельный вес — 3,35—3,50.

Цвет — бесцветный, желтый, зеленый, розовый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (010). c Np от 0 до 12° , угол Ng со спайностью по (001) = $14-25^\circ$. Ng = 1,723—1,734; Nm = 1,719—1,729; Np = 1,717—1,724; Ng—Np = 0,005—0,010; (+) $2V = 85^\circ$. Сильная дисперсия $r < v$ или $r > v$. Удлинение положительное и отрицательное. Прямое и косое погасание. Плеохроизм в крупных кристаллах от синева-зеленого до желтого, Nm > Ng > Np.

Особенности в осадках. Встречается в виде зерен призматического габитуса, реже — окатанных. Бесцветный, в толстых зернах окрашен и плеохроичен. Характерен высокий показатель преломления и низкое двойное лучепреломление, часто аномальные цвета интерференции (индигово-синие).

Распространение. Измененные магматические породы, кристаллические сланцы, продукты изменения основных плагиоклазов. В осадочных породах встречается довольно часто, совместно с эпидотом и цоизитом.

Литература: См. эпидот и цоизит.

Корунд (рис. 75)

Химический состав: Al_2O_3 .

Сингония — гексагональная.

Формы — бипирамидальный, боченкообразные кристаллы.

Спайность — несовершенная по (0001).

Твердость — 9.

Удельный вес — 3,9—4,1.

Цвет — бесцветный, синий (сапфир), красный (рубин), желтовато-бурый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. No = 1,768; Ne = 1,759; No—Ne = 0,009. Одноосный отрицательный, удлинение отрицательное, погасание прямое. Сильно окрашенные разности плеохроичны.

Особенности в осадках. Наблюдается в виде зерен неправильной формы, реже встречаются базальные пластинки, обнаружива-

вающие четкую интерференционную фигуру. Окраска часто распределена пятнами. Иногда наблюдается аномальная псевдодвуосная фигура с $2V \pm 50^\circ$, обусловленная двойникованием.

Распространение. Изверженные и метаморфические породы. В осадочных породах встречается довольно часто. Описан в пермских отложениях западного склона Урала, в карбоне Донбасса, в третичных отложениях юго-восточного Кавказа и других местах.

Литература: [11, 19, 45, 61, 63, 82, 83 и др.].

Кордиерит

Химический состав: $Al_3 (Mg, Fe)_2 [Si_5 AlO_{18}]$.

Сингония — ромбическая.

Формы — призматический, часты двойники.

Спайность — хорошая по (010), плохая по (100) и (001).

Твердость — 7—7,5.

Удельный вес — 2,6—2,66.

Цвет — бесцветный или окрашен в оттенки синего и желтоватого цвета.

Магнитные свойства — умеренно магнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (100), $Np \perp (001)$, $Ng = 1,527—1,573$; $Nm = 1,532—1,568$; $Np = 1,522—1,558$; $Ng - Np = 0,006—0,015$. Чаше всего $Ng = 1,539$; $Nm = 1,536$; $Np = 1,532$; $Ng - Np = 0,007$; (—) $2V = 39—99^\circ$. Удлинение отрицательное. Прямое погасание // ребру призмы. В окрашенных разностях плеохроичен, $Nm > Ng > Np$. Дисперсия слабая $r < v$.

Особенности в осадках. Встречается в виде зерен неправильной формы и угловато-окатанных. Часто содержит включения циркона, монацита, полевого шпата, кварца, биотита.

Бесцветен, реже окрашен в синие или желтые тона и плеохроичен. Изменяется при выветривании, образуются слюдистые и хлоритовые агрегаты. Кордиерит — минерал легкой фракции, если бесцветен, может быть принят за кварц; отличие — двуосный, имеет спайность, продукты выветривания.

Распространение. Гнейсы, некоторые кристаллические сланцы, реже — кислые магматические породы. В осадочных породах минерал редкий. Описан в карбонатных породах Донбасса.

Литература: [63, 72, 110, 111 и др.].

Ксенотим (рис. 94)

Химический состав: YPO_4 .

Сингония — квадратная.

Формы — призматический.

Спайность — совершенная по (110).

Удельный вес — 4,45—4,56.

Твердость — 4—5.

Цвет — бурый, буровато-красный, желтый,

Магнитные свойства — умеренно магнитен.

Оптические свойства. $n_e=1,816$; $n_o=1,721$; $n_e-n_o=0,095$. Одноосный положительный, удлинение положительное, погасание прямое. Плеохроизм слабый, в бледно-желтых, буровато-желтых тонах.

Особенности в осадках. Встречается в виде призматических кристаллов с конечными гранями и в виде окатанных зерен. Сходен с окрашенным цирконом. Ксенотим легко отличить от циркона в жидкости с $n=1,750$ — один из показателей преломления ксенотима меньше показателя преломления жидкости, у циркона оба выше.

Ксенотим покрыт пятнами продуктов разрушения, напоминающими пленки окиси церия на монаците. Окрашен в бледно-желтые, оранжевые и розовые тона, в толстых зернах плеохроичен. Для диагностики ксенотима можно применять исследование спектра адсорбции.

Распространение. Граниты, пегматиты, реже гнейсы.

В осадочных породах встречается довольно редко, вероятно, не всегда отличается из-за сходства с цирконом. Описан в карбоновых породах Донбасса, третичных отложениях Сахалина.

Литература: [59, 80, 110, 118 и др.].

Лейцит

Химический состав: $K[AlSi_2O_6]$.

Сингония — при $T > 620^\circ$ — кубическая, ниже — квадратная.

Формы — тетрагонтриоктаэдры, часто двойники, изредка зернистые агрегаты.

Спайность отсутствует.

Твердость — 5—6.

Удельный вес — 2,45—2,50.

Цвет — бесцветный, белый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $n_e=1,509$; $n_o=1,508$; $n_e-n_o=0,001$.

Оптически одноосный, положительный или изотропный. Характерны также полисинтетические двойники.

Особенности в осадках. В осадочных породах неизвестен.

Распространение. Магматические щелочные породы, бедные кремнекислотой, особенно лавы третичного и четвертичного возраста.

Описан в современных морских осадках Малайского архипелага.

Литература: [14, 24, 90].

Лепидокрокит

Химический состав: $FeO \cdot OH$.

Сингония — ромбическая.

Формы — чешуйчатый.

Спайность — совершенная по (010), менее совершенная по (100) и (001).

Твердость — 5.

Удельный вес — 4,09.

Цвет — кроваво-красный.

Магнитные свойства — умеренно магнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей (001), $n_p = b$, $n_g = 2,51$; $n_m = 2,20$; $n_p = 1,94$; $n_g - n_p = 0,57$; (—) $2V = 83^\circ$.

Дисперсия слабая.

Плеохроизм: n_g — буровато-желтый, n_m — оранжево-желтый, n_p — почти бесцветный, желтый.

Особенности в осадках. Встречается в виде тончайших чешуек и пластинок.

Распространение. Крупные скопления известны в месторождениях железных руд осадочного генезиса. В осадочных породах встречается довольно часто среди других гидроокислов железа, особенно в породах с красной окраской.

Литература: [14, 24, 30, 53, 79, 102 и др.].

Лейкоксен (рис. 76)

Химический состав: продукт разложения ильменита.

Сингония — аморфный.

Формы — агрегаты неправильной формы.

Спайность отсутствует.

Твердость — ?

Удельный вес — 3,5—4,5.

Цвет — белый, желтый, бурый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Показатели преломления и двупреломление высокие, двупреломление заметно в просвечивающих пластинках. Непрозрачный, в отраженном свете — белый.

Особенности в осадках. Встречается в виде округлых зерен, непрозрачных в проходящем свете. В отраженном свете — белый или желтовато-белый, имеет вид неглазурованного фарфора. Иногда в зернах лейкоксена сохраняются остатки неизменного ильменита.

Распространение. Продукт изменения ильменита. Встречается совместно с ильменитом. Широко распространен в осадочных породах.

Литература: Описывается в большинстве работ по осадочным породам (см. ильменит).

Лимонит

Химический состав: $FeO \cdot nH_2O$.

Сингония — аморфный (?).

Формы — землистые, натечные агрегаты.

Спайности нет.

Твердость — 1—4 (5,5).

Удельный вес — 3,3—4,0.

Цвет — темно-бурый, желтовато-бурый.

Магнитные свойства — колеблются от магнитного до немагнитного.

Оптические свойства. Непрозрачный, в отраженном свете — ржаво-коричневый. В просвечивающихся тонких зернах — прозрачный, $n=2,05$, буро-желтого цвета.

Особенности в осадках. Встречается в виде неправильных зерен и порошкообразных агрегатов, в виде пигмента на других обломочных зернах. Легко растворяется в HCl и щавелевой кислоте при кипячении.

Псевдоморфозы по сульфидам железа, карбонатам железа, кальциту, магнетиту, гематиту, глаукониту. Главным образом аутигенный минерал, но нередко описывается как обломочный минерал осадочных пород. Часто лимонитом считают смесь кристаллических гидроокислов железа (гетит, гидрогетит и т. д.). Вероятно, правильное название лимонит сохранить только за аморфными разностями.

Распространение. Кора выветривания кристаллических пород, осадочные породы. Минерал широко распространен в осадочных породах. Значительные концентрации образует в месторождениях железных руд осадочного генезиса. Описывается в большинстве работ по осадочным породам.

Литература. Специальное описание лимонита имеется в следующих работах [30, 53, 79, 102].

Магнезит

Химический состав: $MgCO_3$.

Сингония — тригональная.

Формы — ромбоэдры, зернистые, пелитоморфные агрегаты и др.

Спайность — совершенная по ромбоэдру (1011).

Твердость — 4—4,5.

Удельный вес — 2,9—3,1.

Цвет — бесцветный, белый, желтоватый, сероватый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_o=1,700$; $N_e=1,509$; $N_o-N_e=0,191$. Одноосный отрицательный, резкая псевдоабсорбция.

Особенности в осадках. Встречается главным образом как аутигенный минерал в виде зернистых и пелитоморфных агрегатов, реже — в виде ромбоэдрических зерен. Кластический магнезит представляет большую редкость.

Для отличия от других карбонатных минералов следует окрасить одним из органических красителей, например, паранитробензолазорезорцином, без кипячения из всех карбонатов резорцин окрашивает только магнезит, окраска быстро исчезает. (См. стр. 81).

Распространение. Гидротермальные жилы, кристаллические сланцы, измененные магматические ультраосновные породы. В осадочных породах встречается часто в соленосных и карбонатных отложениях, отмечен в современных озерных и лагунных осадках.

Литература: [30, 90, 97, 102 и др.].

Магнетит

Химический состав: $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Сингония — кубическая.

Формы — октаэдры, додекаэдры.

Спайность отсутствует, отдельность по (111).

Твердость — 5,5—6,5.

Удельный вес — 5,16—5,18.

Цвет — серебряно-серый, блеск металлический.

Магнитные свойства — сильно магнитен.

Оптические свойства. Непрозрачен, в проходящем свете — черный, в отраженном — серебристо-серый с металлическим блеском.

Особенности в осадках. Встречается в виде октаэдрических кристаллов, хорошо ограненных или со слегка сглаженными гранями, а также в виде зерен неправильной формы. Выделяется в магнитной фракции. Если поднести магнит к предметному стеклу, зерна магнетита двигаются от движения магнита. Часто покрыт красноватыми и ржаво-бурыми пленками окислов и гидроокислов железа. Встречаются хорошо окатанные зерна. В отраженном свете — серебристо-серый.

Распространение. Магматические и метаморфические породы.

В осадочных породах — широко распространенный минерал. Значительные концентрации образует в некоторых песках пляжей Азовского, Белого и Баренцова морей, побережья Флориды, Гудзона залива, Новой Зеландии и др.

Литература: [41, 44, 80, 100, 118 и др.], (см. также ильменит).

Марказит

Химический состав: FeS_2 .

Сингония — ромбическая.

Формы — таблитчатый, короткостолбчатый, копьевидный, радиально-лучистый, зернистые агрегаты.

Спайность — несовершенная по (110) и (011).

Твердость — 6.

Удельный вес — 4,8.

Цвет — бронзово-желтый, серовато-желтый с зеленоватым оттенком, металлический блеск.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. Непрозрачен, в отраженном свете — белый, серовато-желтый. Полированная поверхность анизотропна.

Особенности в осадках. Зерна неправильной формы и зернистые агрегаты в отраженном свете — серовато-желтые с металлическим блеском. Иногда обнаруживает следы радиально-лучистой структуры, переходит в лимонит. Часто встречается в виде конкреций. Отличить от пирита невозможно. Следует определять эффект анизотропии в шлифах, пирит таким эффектом не обладает.

Распространение. Рудные жилы, осадочные породы. Часто встречается в глинистых породах угленосных и нефтеносных формаций, в угле — в виде зерен, в виде агрегатов и конкреций.

Литература: См. пирит.

Малахит

Химический состав: $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$.

Сингония — моноклинная.

Формы — натечные, радиально-лучистые агрегаты, землистые агрегаты.

Спайность — по (001) средняя.

Твердость — 3,5—4.

Удельный вес — 3,9—4,1.

Цвет — ярко-зеленый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $n_g = 1,909$; $n_m = 1,875$; $n_p = 1,655$; $n_g - n_p = 0,254$; (—) $2V = 43^\circ$; c $n_p = 23^\circ$. В тонких шлифах прозрачен. Удлинение отрицательное.

Особенности в осадках. Встречается в виде цемента в песчано-глинистых породах. Натечные и радиально-лучистые агрегаты, отдельные зерна неправильной формы, пленки. Псевдоморфозы по куприту, азуриту.

Распространение. Зона окисления медных сульфидных месторождений. В осадочных породах встречается редко. Описан в пермских песчаниках Донбасса, на западном склоне Урала и в ряде других мест. Аутигенный минерал осадочных пород.

Литература: [14, 24].

Микроклин (рис. 77)

Химический состав: $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$.

Сингония — триклинная.

Формы — таблитчатый, призматический.

Спайность — ясная по (001), несовершенная по (010) и (110).

Твердость — 6—6,5.

Удельный вес — 2,54—2,57.

Цвет — белый, зеленый, красный, в шлифе и фракциях обычно бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей почти $\perp$ (010), пластинки по (001) дают косое погасание к оси a ($< 5^\circ$). $n_g = 1,529$; $n_m = 1,526$; $n_p = 1,522$; $n_g - n_p = 0,007$; (—) $2V = 83^\circ$. Обычно обнаруживают решетчатую структуру благодаря тонким полисинтетическим двойникам по альбитовому и переклинному законам. Удлинение положительное и отрицательное.

Особенности в осадках. Встречается в виде угловато-окатанных зерен с низким показателем преломления и двойным лучепреломле-

нием, с решетчатой структурой. Иногда содержит включения плагиоклаза, кварца, мусковита, циркона. Часто покрыт бурой пленкой выветривания. Переходит в каолинит.

Распространение. Кислые магматические породы, пегматиты, щелочные магматические породы, некоторые гнейсы. В осадочных породах — широко распространенный минерал. Встречается чаще в более крупнозернистых породах (особенно в крупнозернистых песках и песчаниках), реже в алевролитах и глинах.

Литература: [6, 10, 19, 26, 28, 29, 63, 80, 82, 83 и др.].

Монацит (рис. 79, 93, 94)

Химический состав: (Ce, La, Nd, Pr) PO_4 .

Сингония — моноклинная.

Формы — таблитчатый, реже призматический.

Спайность — совершенная по (001), хорошая по (100) и (010).

Твердость — 5—5,5.

Удельный вес — 4,9—5,3.

Цвет — желтый, желто-бурый, красный.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей $\perp$ (010). $n_g = 1,841$; $n_m = 1,796$; $n_p = 1,795$; $n_g - n_p = 0,045$; (+) $2V = 13-15^\circ$. Удлинение положительное. В толстых зернах плеохроичен. Дисперсия слабая $r < v$. Можно спутать с цирконом. Отличается косым угасанием и тем, что в жидкости с $n = 1,780$ n_p монацита близок к показателю преломления жидкости, в то время как у циркона много больше. Для точной диагностики полезно исследовать спектр адсорбции.

Особенности в осадках. Встречается в виде хорошо окатанных зерен бледно-желтого цвета, в толстых зернах плеохроичен. Встречаются также бесцветные и темно-бурые зерна, иногда — хорошо ограненные кристаллы и угловатые обломки. Для монацита характерны бурые пятна на зернах, продукты выветривания в виде окисных соединений церия. Отмечены газообразные включения.

Распространение. Кислые и щелочные магматические породы, пегматиты. В осадочных породах встречается довольно часто. Описан в среднем карбоне Донбасса, в третичных отложениях Сахалина и в др., а также в аллювиальных россыпях и песках морского пляжа (Бразилия, Индия, Н. Зеландия и др.).

Литература: [59, 80, 110, 118 и др.].

Морденит (рис. 102, 103)

(птилолит)

Химический состав: $(\text{Ca}, \text{Na}_2, \text{K}_2) [\text{Al}_2, \text{Si}_9, \text{O}_{22}] 6 \text{H}_2\text{O}$.

Сингония — моноклинная.

Формы — таблитчатые, волокнистые, радиально-лучистые агрегаты.

Спайность — совершенная по (010).

Твердость — 4—5.

Удельный вес — 2,15.

Цвет — белый с розоватым и желтоватым оттенками.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_g = 1,473—1,482$; $N_m = 1,475—1,477$; $N_p = 1,471—1,478$; $N_g - N_p = 0,002—0,004$. Двуосный положительный и отрицательный (птилолит), $2V$ — большой. Удлинение положительное и отрицательное.

Особенности в осадках. Встречается в виде мелких хорошо ограненных табличек, в виде радиально-лучистых и волокнистых агрегатов. Аутигенный минерал.

Распространение. Гидротермы, кора выветривания, почвы. В осадочных породах встречается довольно часто. Описан в мезозойских отложениях Русской платформы и Приуралья (мел, меловые мергеля, гипсы, аргиллиты), известен также в современных морских илах.

Литература: [22, 77, 78 и др.].

Монтмориллонит (рис. 104, 105)

(нонтронит)

Химический состав: $m \{ Mg_3 [Si_4O_{10}] (OH)_2 \} p \{ (Al, Fe^{+++})_2 [Si_4O_{10}] (OH)_2 \} n H_2O$.

Сингония — моноклиная.

Формы — чешуйчатый, пластинчатый.

Спайность — совершенная по (001).

Твердость — мягкий, 2—2,5 (нонтронит).

Удельный вес — ?, 1,72—1,87 (нонтронит).

Цвет — белый, сероватый, зеленоватый с розоватым оттенком, в шлифе и фракциях почти бесцветный, буровато-травянистый, зеленоватый, нонтронит обычно зеленовато-желтый, буровато-зеленый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей (010). N_p почти $\perp$ (001); $2V = 0—33^\circ$; $N_g = 1,513—1,610$; $N_m = 1,549—1,600$; $N_p = 1,488—1,589$; $N_g - N_p = 0,021—0,032$. Чаще всего $N_g = 1,510—1,550$; $N_m = ?—1,549$; $N_p = 1,480—1,517$; $N_g - N_p = 0,020—0,030$.

Повышение показателей преломления наблюдается в железистых разностях монтмориллонита — нонтроните. Окрашенные разности плеохроичны. Узнается по оптическим свойствам, характерным реакциям окрашивания, а также по данным термики и рентгена. На кривой нагревания отмечают три эндотермических эффекта при T 106—180°, 600—640°, 800—850° и экзотермический эффект при T около 1000°.

Особенности в осадках. Встречается в виде тонких чешуйчатых агрегатов. В воде разбухает.

Распространение. В коре выветривания магматических пород, особенно на вулканических породах, пеплах и туфах. В осадочных породах — широко распространенный минерал. Целиком составляет так называемые бентонитовые глины, кил. Встречается в небольших количествах во многих глинистых породах, реже — в зернистых и карбонатных породах, отмечен в почвах и современных морских осадках.

Литература: [30, 47, 84, 102, 131, 146 и др.].

Мусковит (рис. 78)

Химический состав: $KAl_2 [Al Si_3 O_{10}] (OH)_2$.

Сингония — моноклинная.

Формы — таблитчатые кристаллы, листовато-чешуйчатые агрегаты, тонкочешуйчатые агрегаты мусковита с повышенным содержанием воды именуют серицитом.

Слайность — совершенная по (001).

Твердость — 2—2,5.

Удельный вес — 2,76—3,0.

Цвет — бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен, иногда слабо магнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей и $Ng \perp c$ (010).

$Ng=1,588—1,615$; $Nm=1,582—1,611$; $Np=1,552—1,572$; $Ng—Np=0,036—0,040$; $(-)$ $2V=30—45^\circ$. Погасание прямое, удлинение положительное. Характерна псевдоадсорбция. Содержит включения циркона, рутила, кварца, рудной пыли. При выветривании переходит в гидрослюда и каолинит.

Особенности в осадках. Встречается в виде листочков неправильной формы, часто с рваными краями. Листочки обычно ложатся по спайности (001), вследствие чего имеют низкое двупреломление и характерное облачное погасание или изотропны. Острая биссектриса почти $\perp$ (001), поэтому листочки обнаруживают четкую фигуру. Содержит включения циркона, рутила, рудной пыли, кварца.

Пластинки со спайностью обнаруживают нормальные оптические свойства (высокое двупреломление, прямое погасание). Переходит в гидрослюда и каолинит.

Распространение. Магматические (особенно кислые) и метаморфические породы, пегматиты. В осадочных породах — обычный минерал.

Литература: Описывается в большинстве работ — см. биотит.

Нефелин

Химический состав: $Na [AlSiO_4]$.

Сингония — гексагональная.

Формы — призматический, короткостолбчатый.

Спайность — отсутствует или несовершенная по (0001) и $(10\bar{1}0)$.

Твердость — 5—6.

Удельный вес — 2,6.

Цвет — бесцветный, серовато-белый, красноватый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_o = 1,536—1,549$; $N_e = 1,532—1,544$; $N_o - N_e = 0,003—0,005$. Одноосный отрицательный, удлинение отрицательное, погасание прямое.

Особенности в осадках. В осадочных породах неизвестен.

Распространение. Магматические породы, богатые натрием, пегматиты.

Литература: [14, 24].

Оливин

Химический состав: $(Mg, Fe)_2 [SiO_4]$.

Сингония — ромбическая.

Формы — призматический.

Спайность — несовершенная по (010) и (100).

Твердость — 6,5—7.

Удельный вес — 3,27—3,37.

Цвет — зеленый, оливково-зеленый, бурый.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (001). $Ng = a$; $Ng = 1,712—1,708$; $Nm = 1,692—1,689$; $Np = 1,674—1,672$; $Ng - Np = 0,038$; $(-)$ $2V = 87^\circ$, дисперсия $r > v$. Удлинение отрицательное. Неплеохроичен. Зерна, вытянутые параллельно главной оси, дают прямое погасание.

Особенности в осадках. Встречается в виде зерен неправильной формы, частично перешедших в серпентин и гидроокислы железа. Иногда встречаются хорошо ограненные кристаллы. Окраска зеленая до желтовато-зеленой и буровато-зеленой.

Распространение. Основные и ультраосновные магматические породы. В осадочных породах встречается редко. В современных отложениях аллювия, делювия, песках пляжа по соседству с массивами ультраосновных пород — обычный минерал. Описан в донных отложениях Красного моря.

Литература: [90, 110, 130].

Опал (рис. 80)

Химический состав: SiO_2 и H_2O . Содержание H_2O от 1—5% до 34%.

Сингония — аморфный.

Формы — плотные стеклоподобные массы, натечные агрегаты.

Спайность отсутствует.

Твердость — 5—5,5.

Удельный вес — 1,9—2,5.

Цвет — бесцветен, желтый, бурый, зеленый, красный, черный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Изотропен, $n = 1,400-1,460$ (редко до 1,490), иногда двупреломляет.

Особенности в осадках. Опал — обычный аутигенный минерал осадочных пород. Составляет цемент в обломочных породах, замещает участки в карбонатных породах, слагает конкреции, скорлупки диатомей, раковины радиолярий, скелет губок.

Встречается в виде зерен неправильной формы, натечных агрегатов, шариков (в диатомитах, опоках) и др. Переходит в халцедон и кварцин.

Распространение. Кора выветривания кристаллических пород. Зона окисления рудных месторождений.

Осадочные породы — особенно много опала в кремнистых породах и кремнях.

Литература: [22, 30, 42, 63, 78, 102 и др.].

Ортоклаз

Химический состав: $K[AlSi_3O_8]$.

Сингония — моноклинная.

Формы — призматический.

Спайность — совершенная по (001) и (010) под углом 90° .

Твердость — 6—6,5.

Удельный вес — 2,55—2,58.

Цвет — белый, буровато-желтый, розовый, ярко-красный, в шлифе и фракциях бесцветный или слегка буроватый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей перпендикулярна (010), пластинки (001) обнаруживают прямое погасание, пластинки (010) дают угол 5° .

$N_g = 1,526$; $N_m = 1,523$; $N_p = 1,519$; $N_g - N_p = 0,007$; $(-)$ $2V = 0-70^\circ$. Удлинение положительное и отрицательное. Водянопрозрачный ортоклаз-санидин из кислых эффузивных пород.

Особенности в осадках. Встречается в виде призматических — четырехугольных и угловато-окатанных зерен. Часто зерна покрыты буроватой коркой выветривания. Содержит включения мусковита, кварца, плагиоклаза, рутила, циркона, рудной пыли. Наблюдаются двойники по Карлсбадскому закону. Без точных методов отличить ортоклаз от несдвойникового микроклина невозможно. При выветривании переходит в каолинит.

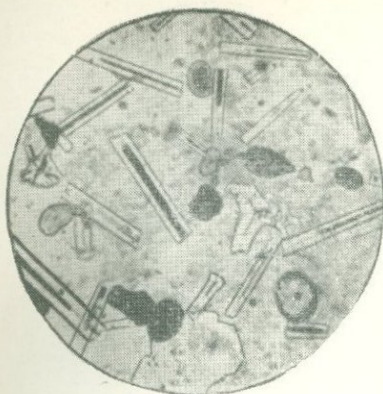
Распространение. Магматические, кислые, средние, частью основные (щелочные) породы, пегматиты, некоторые гнейсы, сланцы.

В осадочных породах ортоклаз обычный минерал.

Литература: [6, 10, 19, 26, 28, 29, 63, 80, 82, 83 и др.]

Обломки горных пород

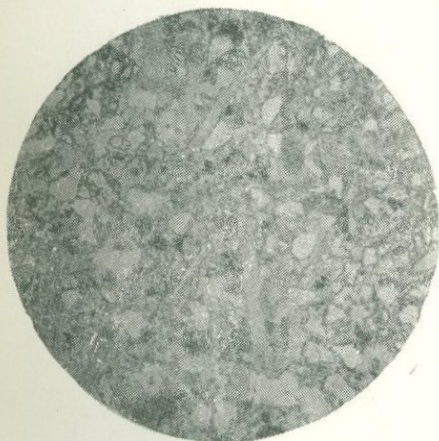
При изучении осадочных пород в шлифах и иммерсии наряду с обломками минералов встречаются обломки горных пород. Обломки пород в незначительном количестве присутствуют почти во



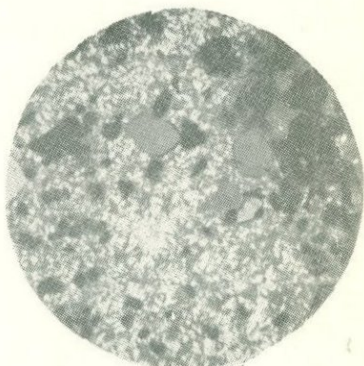
a



б



в

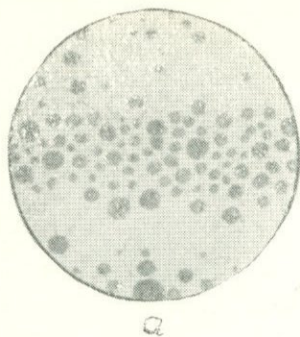


г

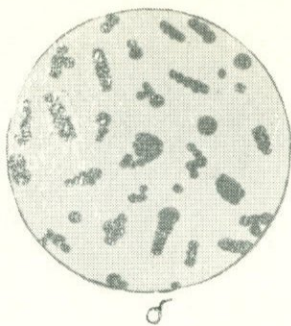
Рис. 80. Опал:

a — иглы кремневых губок из опала, каналы выполнены глауконитом, диатомит Днепровско-Донецкой впадины, увелич. 265 при 1 никеле (по Л. И. Карякину);

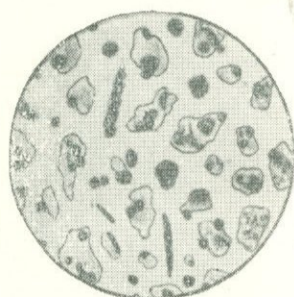
б — песчаник с опаловым цементом. Средний карбон Донбасса, увелич. 80, николи срещены; *в* — халцедоно-опаловый гипоспонгиевый силицит из сеномана окраин Донбасса, увелич. 48 при 1 никеле (по И. И. Литвину); *г* — опало-халцедоно-вый силицит из сеномана окраин Донбасса, увелич. 48, николи скрещены (по И. И. Литвину).



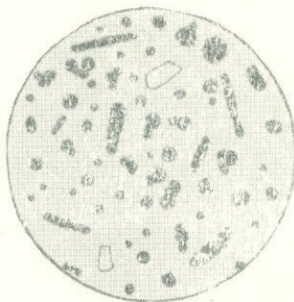
a



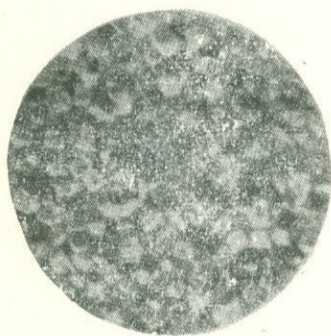
b



g



z



d

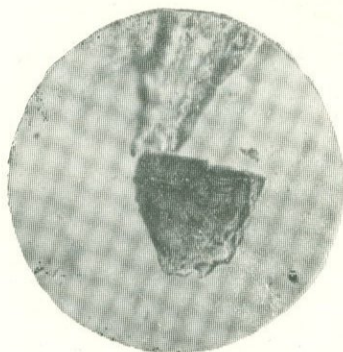


Рис. 83. Пирит:
a—z— из майкопской свиты
Азербайджана (по А. Г. Алие-
ву и др.); d—из продуктивной
толщи Азербайджана, увелич.
48 (по А. Г. Алиеву и др.).

Рис. 84. Пикотит в тяжелой
фракции песчаника нижнего
карбона Донбасса, увелич. 100
при 1 никеле.

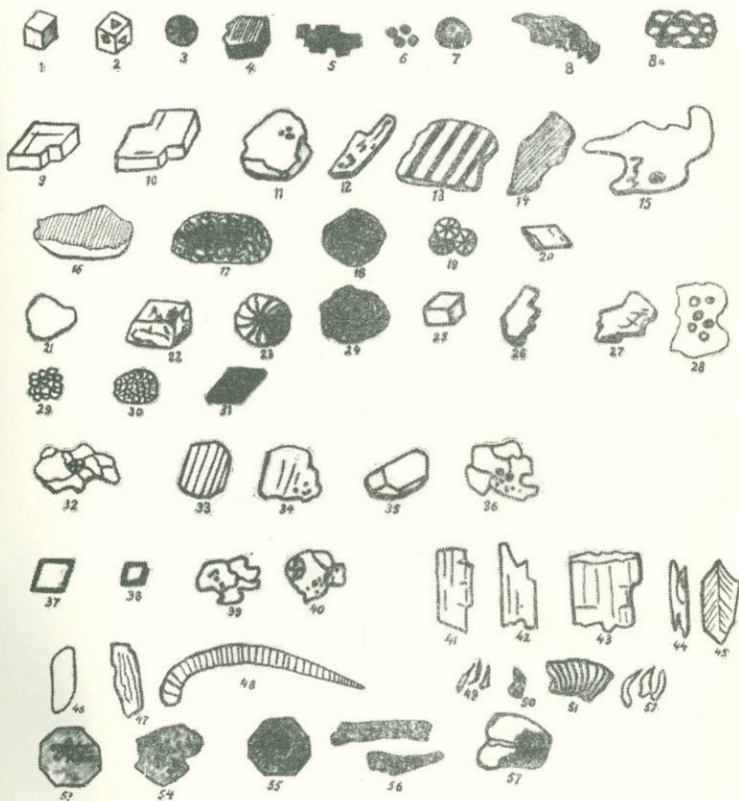


Рис. 85. Минералы из каменноугольных отложений Донбасса: 1—8 — пирит; 9—20 — кальцит и доломит; 21—31 — сидерит; 32—36 — барит; 37—40 — голяцит; 41—43 — ангидрит; 44—48 — гипс; 49—52 — каолинит и леверрьерит; 53—57 — биотит, фракция 0,25—0,01 мм.

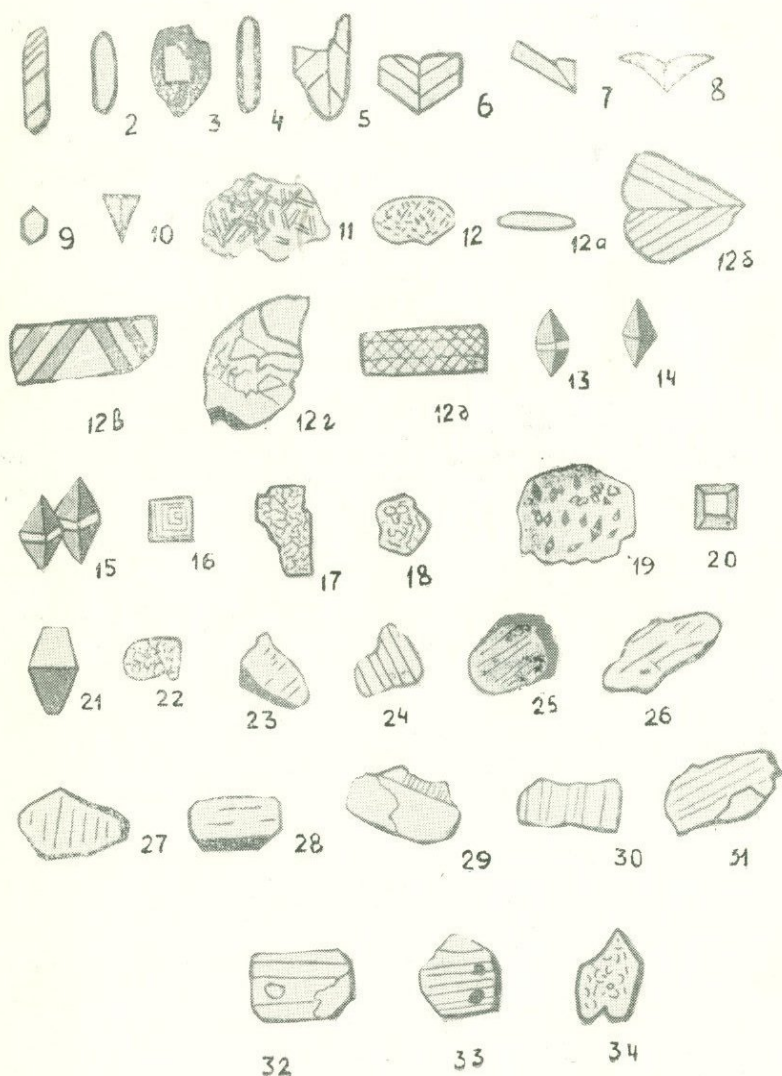


Рис. 86. Минералы двуокиси титана из среднего карбона Донбасса, фракция 0,25—0,01 мм; 1—12 р — рутил; 13—22 — анатаз; 23—34 — брукит.

всех типах песков и песчаников, особенно много их в граувакковых и литоидных (состоящих главным образом из обломков пород) песках и песчаниках. В алевроитовых породах обломки пород в общем редки (в связи с небольшим размером частиц).

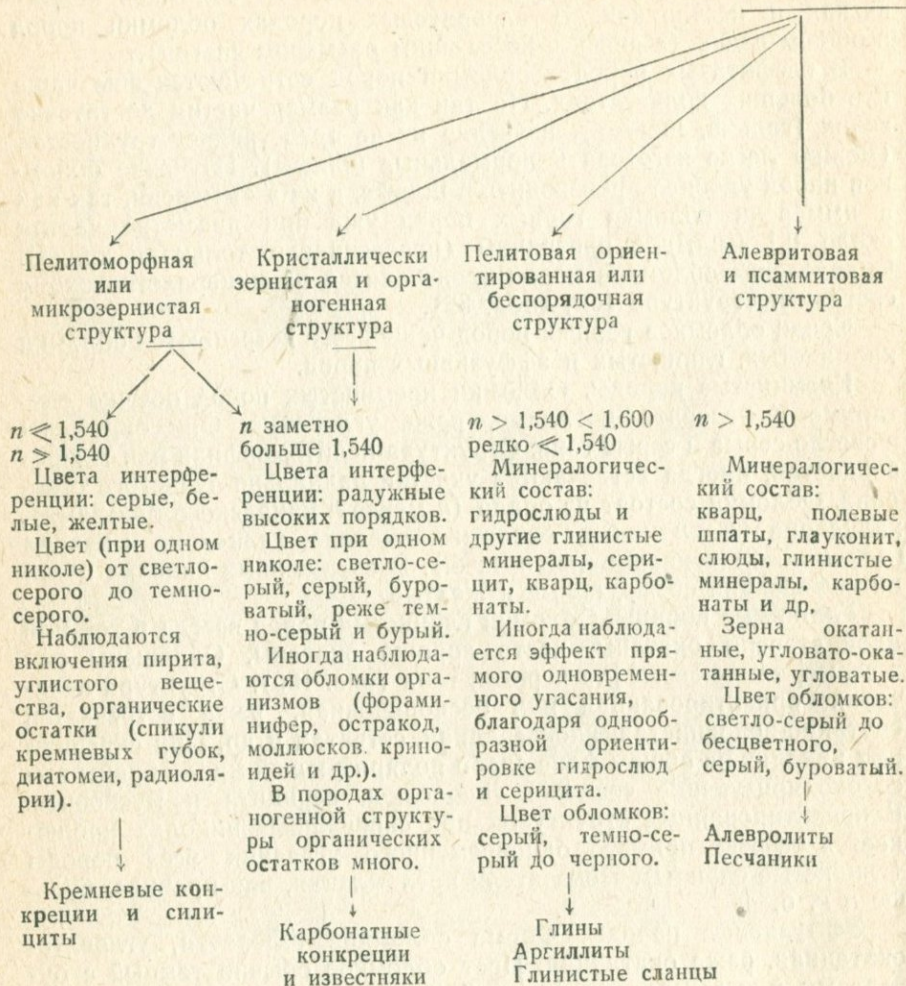
В псефитовых породах обломки пород встречаются еще чаще и в больших количествах. Но так как размер частиц достаточно велик (галька, щебень), изучение их не представляет трудностей (можно легко изготовить нормальные шлифы). Изучение обломков пород удобнее производить в шлифе, а не в иммерсии, так как в иммерсии обломки горных пород уже при диаметре частиц около 0,1 мм мало прозрачны (просвечивают только в краях). Определение обломков пород производится по минералогическому составу и структуре (см. табл. 32).

Среди обломков горных пород чаще всего встречаются обломки кремнистых, глинистых и эффузивных пород.

Кремнистые породы. Обломки кремнистых пород обычно окатанные и угловато-окатанные, реже угловатые. Они окрашены в светло-серые и серые тона. Структура пелитоморфная или микрозернистая, иногда встречаются участки радиально-лучистого строения. Обломки состоят из опала (n менее n канадского бальзама), халцедона ($n < n$ к. б.), опала и халцедона, халцедона и кварца ($n \geq n$ к. б.) и кварца ($n > n$ к. б.). В скрещенных николях цвета интерференции серые, белые и желтые.

Глинистые породы. Обломки глинистых пород всегда в той или иной степени окатаны, часто хорошо окатаны. Окрашены они в серые, темно-серые [до черных] тона (рис. 100). Структура пелитовая ориентированная или беспорядочная, реже встречается спутанно-волокнистая, хлопьевидная, сетчатая и др. При скрещенных николях на общем фоне слабо поляризующей массы видны высокополяризующие чешуйки гидрослюд, серицита и мусковита. В ориентированных структурах при скрещенных николях наблюдается эффект прямого одновременного угасания всей породы (глинистые сланцы). Показатели преломления, как правило, больше n к. б.

Эффузивные породы. Форма обломков угловатая, угловато-окатанная, реже окатанная. Цвет обломков обычно темный с буrowатым или зеленоватым оттенком, реже встречаются светло окрашенные обломки. Структура порфировая и афировая-микрозернистая, витрофировая (стекловатая). Порфировые вкрапления представлены плагиоклазом, ортоклазом, санидином, пироксеном, роговой обманкой и кварцем. Основная масса состоит из микролитов полевых шпатов и темных минералов и стекла. В породах древнего возраста стекло обычно раскристаллизовано.

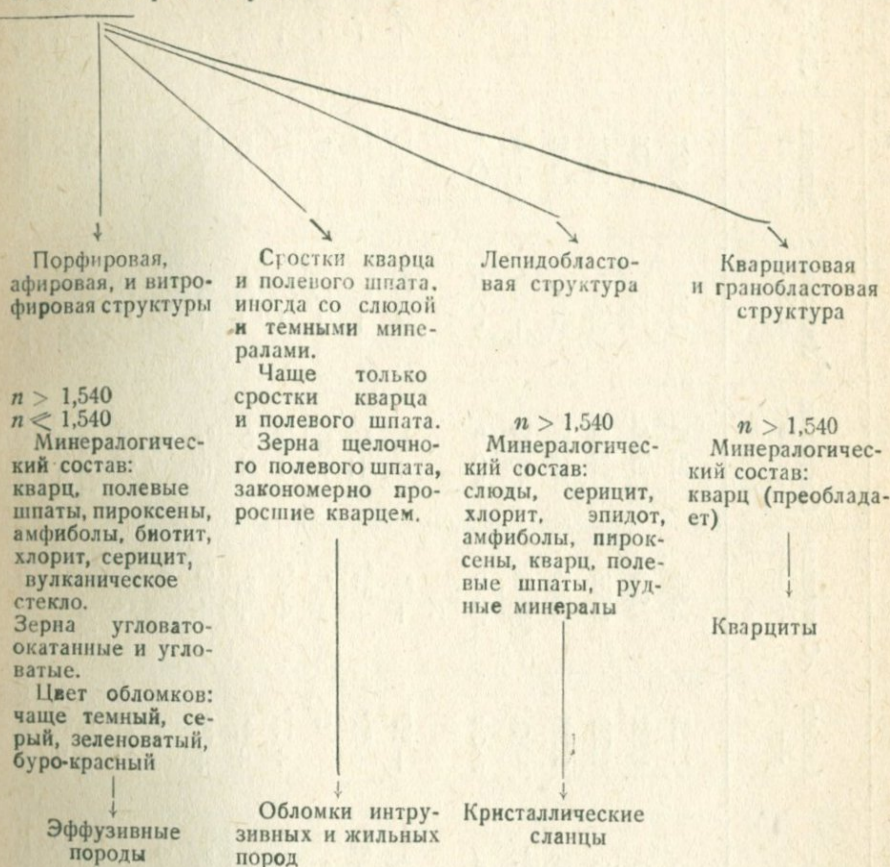


Полевые шпаты

Определение полевых шпатов в шлифе основано на различии светопреломления, оптическом знаке и углах погасания.

Кристаллы с $n < n_{\text{к. б.}}$ относятся к ряду калиевых полевых шпатов (—) и кислым плагиоклазам — альбиту и олигоклазу, примерно до № 10 (+). Минералы с $n > n_{\text{к. б.}}$ относятся к ряду

обломков горных пород



плагиоклазов от № 10 и выше: олигоклаз № 10—17 (+), олигоклаз и андезин (—), андезин и лабрадор (+), битовниг, анортит (—). Плагиоклазы определяются различными методами, из которых следует упомянуть метод определения максимального угла симметричного угасания в разрезах $\perp$ (010) и определение плагиоклазов по показателям преломления.

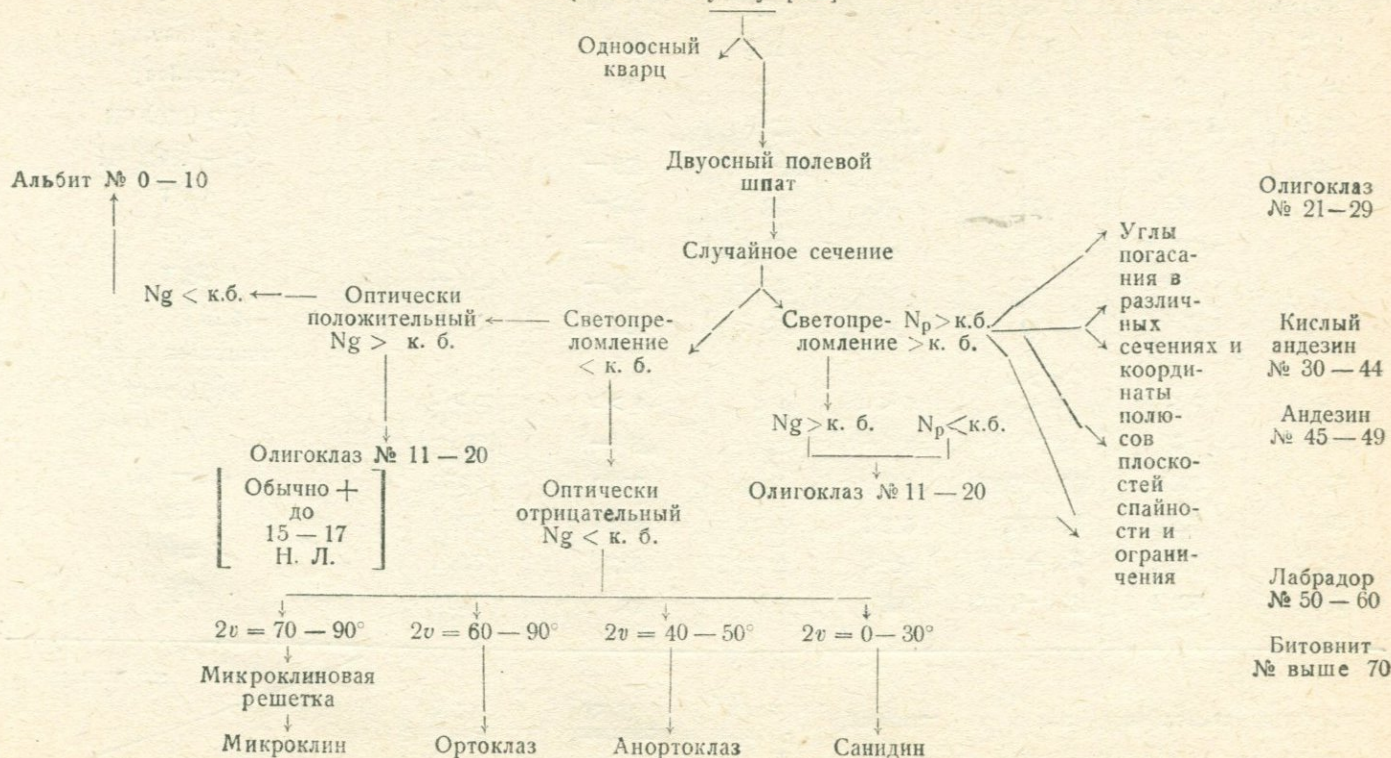
При определении плагиоклазов следует обращать внимание на регенерационные каемки — каемки нарастания на зернах плагиоклазов, они обычно имеют несколько иные оптические свойства, чем зерна обломочного происхождения, а также на новообразованные кристаллы плагиоклазов (аутигенные), которые встречаются в породах наряду с обломочными зернами.

Т а б л и ц а 33

[illegible]

Минералы Константы	Битовнит № 75	Анортит № 95	Микро- клин	Ортоклаз	Санидин	Анортоклаз	Цельзиан
Ng	1,574	1,585	1,529	1,526	1,525—1,530	1,530	1,594
Nm	1,572	1,580	1,526	1,523	Nm = Ng	1,529	1,588
Np	1,565	1,573	1,522	1,519	1,520	1,523	1,583
Ng — Np	0,009	0,012	0,007	0,007	0,005—0,006	0,007	0,010
2V	(—) 86°	(—) 47°	(—) 83°	(—) 70°	(—) 20°	(—) 32—54°	(+) 86°
Дисперсия	$r < v$	$r < v$	$r > v$	$r > v$	$r > v$ $r < v$	$r > v$	?
Углы погасания							
Зона $\perp$ (010)	+ 42°	+ 56°	+ 19°	0°	0°	+ 2°	0°
$\perp$ Ng	— 40°	— 62°	+ 10°	5°	0°	+ 9°	0°
$\perp$ Nm	— 28°	— 40°	+ 15°	0°	+ 5°	+ 1—4°	0°
$\perp$ Np	— 58°	— 58°	88°	90°	90°	89°	0°
На (001) в Np'	— 27°	— 35°	+ 10—15°	0°	0°	+ 2°	0°
На (010) с Np'	— 31°	— 37°	+ 5°	+ 5°	+ 5°	+ 4—10°	? 28°
Твердость	6	6	6	6	6	6	6
Удельный вес	2,73	2,76	2,55	2,57	2,58	2,57	3,38
Состав	Ab 25% An 75%	Ab 5% An 95%	KAISi ₃ K ₈	KAISi ₃ O ₈	KAISi ₃ O ₈	KAISi ₃ O ₈	BaAl ₂ Si ₂ O ₈
Сингония	Триклинная	AnCaAl ₂ Si ₃ O ₈	Триклин- ная	Моноклин.	Моноклин.	Триклинная	Моноклин.

Схема определения полевых шпатов
(по В. Д. Шутову [142])



Определение максимального угла симметричного угасания в разрезе $\perp$ (010)

Для этого находят разрезы с резко выраженными полисинтетическими двойниками по (010). Эти разрезы должны удовлетворять следующим условиям:

1. Границы двойников четкие, при подъеме и опускании тубуса граница не смещается.

2. Когда след плоскости (010) — двойниковый шов ориентирован параллельно нитям микроскопа, двойниковая структура исчезает.

3. Когда след плоскости (010) повернут на 45° относительно нити окуляра, двойниковая структура также исчезает.

Затем измеряют углы погасания одной и второй системы двойников. Углы должны быть равны, если они отличаются на $2-3^\circ$, берут среднее из двух отсчетов. Если углы несимметричны, разыскивают другое зерно.

Измеренные углы отрицательные, когда показатель преломления зерна $n \leq n$ к.б. или когда видны трещины спайности по (010) и (100) и Np' лежит в тупом углу. Измеренные углы будут положительными, когда n зерна $> n$ к.б. или когда видна спайность по (010) и (100) и Np' лежит в остром углу.

Определение номера плагиоклаза производится по диаграмме (рис. 81).

Калиевые полевые шпаты имеют отрицательный оптический знак и низкое светопреломление (обычно ниже 1,530).

Анортоклаз и санидин отличаются от ортоклаза и микроклина величиной угла оптических осей, что можно установить в разрезах, перпендикулярных оптической оси или острой биссектрисе. Микроклин отличается «микроклиновой» решеткой благодаря развитию полисинтетических двойников по двум взаимно-перпендикулярным направлениям и косым погасаниям во всех сечениях. Ортоклаз отличается прямым погасанием и только относительно спайности по (010) угол угасания его около 5° . Если микроклин не имеет характерной решетки, то отличить его от ортоклаза без применения точных методов невозможно.

Некоторые наводящие указания при определении полевых шпатов дают наблюдения над вторичным изменением минералов. Кислые и средние плагиоклазы обычно в той или иной степени серицитизированы. Лодочников утверждает, что во всех случаях известных ему указания о серицитизации щелочных полевых шпатов при проверке не оправдывались — эти минералы оказывались плагиоклазами. Основные плагиоклазы помимо серицита содержат другие продукты изменения — эпидот, цоизит, кальцит. Щелочные полевые шпаты при выветривании мутнеют — каолинизируются, ортоклаз обычно (иногда микроклин) покрывается буровой корочкой — налетом, содержащим окислы железа.

Все изложенное может быть с успехом применено для определения полевых шпатов в иммерсии. Определение полевых шпатов в иммерсии начинается с определения светопреломления, затем

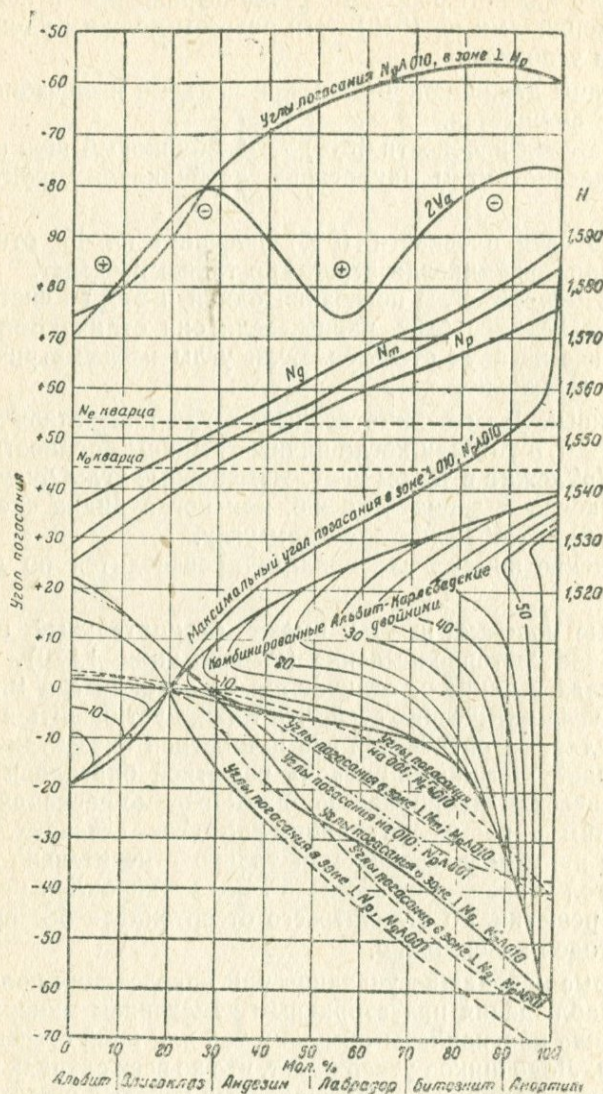


Рис. 81.

осности и знака, далее угла погасания в ориентированных разрезах (см. нашу схему).

Точным методом определения плагиоклазов в иммерсии является определение их показателей преломления в случайных разре-

зах (Ng' и Np') и в изотропных сечениях (Nm). В. Б. Татарский утверждает, что точность этого метода превосходит Федоровский [140]. Существует следующее неравенство:

$$Ng > Ng' > Nm > Np' > Np.$$

Если измерить показатели преломления в случайных сечениях, то по диаграмме изменения показателей преломления плагиоклазов номера плагиоклазов определяются с точностью $\pm 5\%$.

Если измерить показатель преломления плагиоклаза в изотропном сечении, точность определения будет выше.

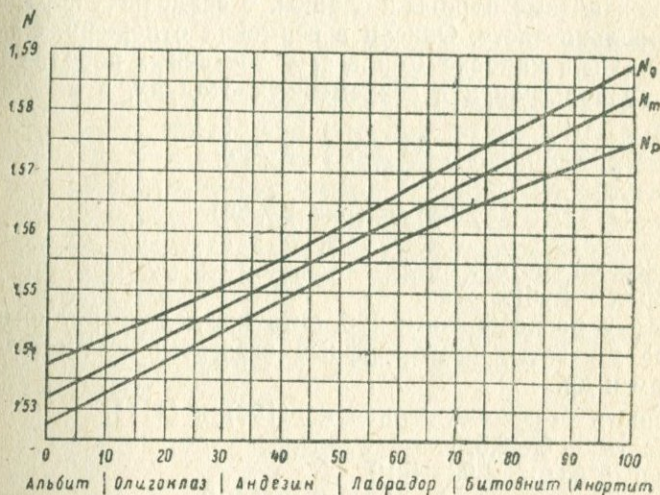


Рис. 82.

В заключение приводим таблицу свойств полевых шпатов (табл. 33), диаграммы (рис. 81 и 82) и схему определения полевых шпатов по В. Д. Шутову (табл. 34). Автор исследовал полевые шпаты легких фракций, приготовленных в виде постоянных препаратов на канадском бальзаме. Исследование производилось на Федоровском столике (размер зерен $< 0,05$ мм). Однако по этой же схеме, пользуясь изложенными здесь указаниями, можно рекомендовать определение полевых шпатов в иммерсии (n жидкости равно 1,538—1,540) при обычной работе петрографа; точность определений будет несколько меньше, но вполне удовлетворительная.

Пикотит (рис. 84)

Химический состав: $(Mg, Fe) (Al, Fe, Cr)_2O_4$.

Сингония — кубическая.

Формы — октаэдрический, зернистые агрегаты.

Спайность — несовершенная по (111).

Твердость — 8.

Удельный вес — 4,08.

Цвет — красно-бурый, желтовато-бурый, зеленовато-бурый.

Магнитные свойства — умеренно магнитен.

Оптические свойства. Изотропен, $n=2,05$. Непрозрачный или просвечивающий, темно-красновато-бурый, зеленовато-бурый.

Особенности в осадках. Встречается в виде окатанных, октаэдрических зерен и неправильных угловатых осколков темного кофейного цвета, красновато-бурого цвета. Характерен раковистый излом.

Распространение. Основные и ультраосновные магматические породы, контактные породы и сланцы. В осадочных породах встречается довольно часто. Описан в пермских отложениях западного склона Урала, в карбоне Донбасса и третичных породах Кавказа. Широко распространен в современных осадках, в аллювиальных россыпях.

Литература: [2, 4, 11, 63, 82, 83 и др.].

Пирит (рис. 83, 85)

Химический состав: FeS_2 .

Сингония — кубическая.

Формы — разнообразны: куб, октаэдр, додекаэдр, комбинации, зернистые агрегаты, колломорфные агрегаты, псевдоморфозы по раковинам и др.

Спайность — несовершенная по (100) и (111).

Твердость — 6—6,5.

Удельный вес — 4,96—5,10.

Цвет — медно-желтый, латунно-желтый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Непрозрачен, в отраженном свете — латунно-желтый с металлическим блеском. Полированная поверхность изотропна.

Особенности в осадках. Встречаются в виде хорошо образованных кристаллов, зернистых агрегатов, почковидных конкреционных образований, колломорфных образований, замещает органические остатки, растительные и животные, образуя псевдоморфозы по ним. Встречается также в виде мельчайших зерен (пыли) в основной массе глинистых пород и углей. Почти всегда — аутигенный минерал, причем по времени образования выделяется не одна генерация пирита.

Как кластический минерал представляет большую редкость. При выветривании по пириту образуются окислы и гидроокислы железа.

Распространение. Гидротермальные рудные жилы, изверженные и метаморфические породы. В осадочных породах — обычный минерал. Встречается в значительных количествах в угленосных и нефтеносных формациях, а также в глинистых и карбонатных породах других формаций.

Литература: [2, 4, 6, 10, 11, 19, 26, 63, 82, 83, 90; 92; 107, 110 и др.]

Пирротин

Химический состав: $\text{Fe}_n \text{S}_{(n+1)}$.

Сингония — гексагональная.

Формы — таблитчатый, призматический.

Спайность — совершенная по (0001) и несовершенная по ($\bar{1}1\bar{2}$ 6).

Твердость — 3,5—4,5.

Удельный вес — 4,58—4,64.

Цвет бронзово-желтый, красновато-желтый, черновато-бурый.

Магнитные свойства — сильно магнитен.

Оптические свойства. Непрозрачен, в отраженном свете — бронзово-желтый, с металлическим блеском. Выделяется в магнитной фракции, реагирует на магнит в иммерсионном препарате. Полированная поверхность обнаруживает эффект анизотропии.

Особенности в осадках. Встречается в виде зерен неправильной зазубренной формы, в отраженном свете бронзово-желтого цвета. Зерна несут охряно-желтые пятна (лимонит по пирротину). Легко растворяется в HCl.

Распространение. Основные магматические породы, рудные жилы. В осадочных породах — редкий минерал.

Литература: [14, 72, 110].

Пирофиллит

Химический состав: $\text{Al}_2 [\text{Si}_4 \text{O}_{10}] (\text{OH})_2$.

Сингония — моноклинная.

Формы — кристаллы редки, обычно плотные массы, состоящие из чешуйчатых агрегатов; порошкообразный.

Спайность — совершенная по (001).

Твердость — ~ 1 .

Удельный вес — 2,61—2,90.

Цвет — белый с желтоватым или зеленоватым оттенками.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_g = 1,600$; $N_m = 1,588$; $N_p = 1,552$; $N_g - N_p = 0,048$; $(-)$ $2V = 53-60^\circ$.

Дисперсия слабая $r > v$.

N_g // удлинению листочков, острая биссектриса $\perp$ к базальной спайности.

Особенности в осадках. Очень мягкий, поэтому встречается только вблизи источников сноса. Отмечен в современных осадках, в осадочных породах почти не встречается.

Распространение. Встречается в метаморфизованных породах и метаморфических породах — сланцах (Овруч на Украине, Мисс на Урале и др.)

Литература: [14, 24, 30, 102].

Пиролюзит

Химический состав: MnO_2 .

Сингония — тетрагональная.

Формы — кристаллы редки, игольчатые и шестоватые; сажистые землистые массы, скрытокристаллические агрегаты, налеты, примазки, корочки, конкреции.

Спайность — совершенная по (110).

Твердость — 5—6 (кристаллы); около 2 — землистые и сажистые массы.

Удельный вес — 4,7—5,0.

Цвет — черный.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. Непрозрачен, в отраженном свете — стально-серый, землистый, пурпурно-серый с полуметаллическим блеском.

Особенности в осадках. Встречается в виде черных зерен неправильной формы, стально-серых, иногда с пурпурным оттенком в отраженном свете. Кристаллическая структура обычно не заметна. Встречается в виде мельчайших конкреций, дендритов на плоскостях напластования и по трещинам. Пиролюзит в большинстве случаев — аутигенный минерал. Кластический пиролюзит представляет исключительную редкость.

Распространение. Осадочные породы. Руды марганца осадочного генезиса. Гидротермальные рудные жилы. В осадочных породах минерал распространен довольно широко. Отмечен в современных морских осадках в виде мелких конкреций.

Литература: [24, 44, 62, 72, 90].

Плеонаст (рис. 116)

(цейлонит)

Химический состав: $(Mg, Fe) Al_2O_4$.

Сингония — кубическая.

Формы — октаэдр, куб, додекаэдр, различные комбинации, некоторые кристаллы богаты гранями.

Спайность — несовершенная по (111).

Твердость — 8.

Удельный вес — 3,5—3,9.

Цвет — черный, темно-бурый, темно-синий, сине-зеленый, зеленый.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. Изотропен, $n=1,713$ — $1,720$ (Мильнер), по Бетехтину — $n=1,750$ — $1,780$, по Ларсену — $n=1,770$.

Особенности в осадках. Встречается в виде буровато-зеленых октаэдрических кристаллов, угловато-окатанных зерен и угловатых обломков неправильной формы. Включений обычно нет, аномалий

поляризации также нет (или очень редко), чем плеонаст отличается от сходных зеленых и бурых гранатов.

Распространение. Магматические породы — основные и ультраосновные, метаморфизованные известняки и другие контактовые породы. В осадочных породах — довольно редкий минерал.

Литература: [72, 83, 110].

Роговая обманка (рис. 47, 52, 94)

Химический состав: $\text{NaCa}_2 (\text{Mg}, \text{Fe}^{++})_4, (\text{Al}, \text{Fe}^{++}) [\text{AlSi}_3 \text{O}_{11}]_2 (\text{OH})_2$.

Сингония — моноклинная.

Формы — призматический, столбчатый.

Спайность — совершенная по граням (110) под углом 124° , несовершенная по (001).

Твердость — 5,5—6.

Удельный вес — 3,1—3,2.

Цвет — зеленый, черно-зеленый, бурый.

Магнитные свойства — умеренно магнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей $\parallel (010)$, $c \text{ Ng} = 15-25^\circ$ (базальтическая роговая обманка — $c \text{ Ng} = 0-10^\circ$). $\text{Ng} = 1,652-1,713$; $\text{Nm} = 1,665-1,711$; $\text{Nr} = 1,634-1,693$; $\text{Ng}-\text{Nr} = 0,018-0,025$; $(-)$ $2V = 38-79^\circ$. Удлинение положительное. Плеохроизм резкий ($\text{Ng} > \text{Nm} > \text{Nr}$) в зеленовато-желтых тонах (базальтическая роговая обманка — в коричнево-бурых тонах). Базальтическая роговая обманка: $\text{Ng} = 1,711-1,796$; $\text{Nm} = 1,698-1,769$; $\text{Nr} = 1,650-1,702$; $\text{Ng}-\text{Nr} = 0,060-0,094$.

Особенности в осадках. Встречается в виде удлинённых и уплощённых пластинок по спайности (110) с неправильными концами, в виде зерен и пластинок по спайности (110), реже наблюдаются угловато-окатанные зерна. Сечения, перпендикулярные призме с двумя системами трещин спайности, очень редки. Преобладают зеленые роговые обманки, бурые встречаются редко. Обычно роговая обманка обнаруживает заметный плеохроизм. Переходит в хлорит. Базальтическая роговая обманка отличается бурым цветом, угасанием и более высокими показателями преломления.

Распространение. Магматические породы от кислых до основных, гнейсы и кристаллические сланцы.

В осадочных породах — довольно широко распространенный минерал, хотя встречается в небольших количествах. Значительные концентрации обнаружены в пермских отложениях Приуралья и юре Донбасса. Много роговой обманки в современных аллювиальных отложениях.

Литература: [2, 4, 10, 11, 19, 26, 39, 40, 61, 63, 82, 83 и др.].

Рутил (рис. 86)

Химический состав: TiO_2 .

Сингония — квадратная.

Формы — призматический, коленчатые двойники, редко полисинтетические двойники.

Спайность — совершенная по (110) и (100).

Твердость — 6—6,5.

Удельный вес — 4,18—4,25.

Цвет — красный, красновато-бурый, желтый, золотистый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $n_e = 2,902$; $n_o = 2,615$; $n_e - n_o = 0,287$.

Одноосный положительный, удлинение положительное, угасание прямое. Плеохроизм от красновато-бурого до бурого или желтого; он обычно представляет собой изменение интенсивности основной окраски, в меньшей степени — тона окраски. Собственная густая окраска маскирует высокую интерференционную окраску.

Особенности в осадках. Встречается в виде призматических зерен (и игольчатых) с пирамидальными верхушками, хорошо окатанных овальных или удлиненных зерен и в виде обломков неправильной формы.

Окраска красно-коричневая, бурая, золотистая. Иногда встречаются зерна с полисинтетическими двойниками, со штриховкой и коленчатые двойники под углом 30 и 60°. Узнается по высокому рельефу (темный ободок), форме, окраске, угасанию.

Мельчайшие иголки встречаются в изобилии на выветрелых цветных слюдах, хлорите, иногда они образуют так называемую «сагенитовую ткань».

Распространение. Магматические породы, кристаллические сланцы. Рутил — обычный минерал осадочных пород, присутствует почти постоянно.

Литература: [2, 10, 11, 19, 26, 63, 83, 110, 112, 114, 118 и др.].

Слюды

Слюды имеют высокие показатели преломления и высокое двупреломление, отрицательный знак и небольшой угол оптических осей, весьма совершенную пинакоидальную спайность, положительное удлинение и прямое погасание относительно этой спайности.

Бесцветные слюды обладают хорошо выраженной псевдоабсорбцией, железистые слюды окрашены в коричневые (редко зеленые) и красноватые тона и резко плеохроичны (см. табл. 35).

Описанные свойства слюд в чистом виде проявляются в шлифах. В иммерсионных препаратах слюды выглядят несколько иначе. Листочки их ложатся на плоскость спайности по базопинакоиду и благодаря этому имеют низкое двупреломление, характерное «облачное погасание» или совершенно изотропны. Окрашенные слюды по этой же причине не обнаруживают плеохроизма. Листочки слюд, лежащие на плоскости спайности, обнаруживают неплохую интерференционную фигуру (острая биссектриса или выход одной оптической оси), реже эта фигура выглядит нечетко.

В осадочных породах обычно слюды несколько выветрелые, гидратизированы или хлоритизированы (цветные слюды), поэтому



Рис. 87. Сидерит из конкреций в глинистых породах среднего карбона Донбасса:
a — концентрический и радиально-лучистый, увелич. 250, николи скрещены; *b* — то же самое, увелич. 480 при I' никеле (по П. В. Зарицкому).

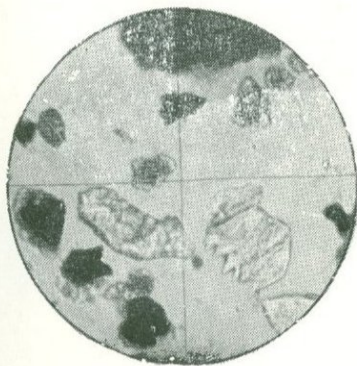
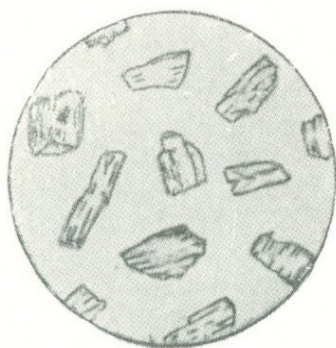
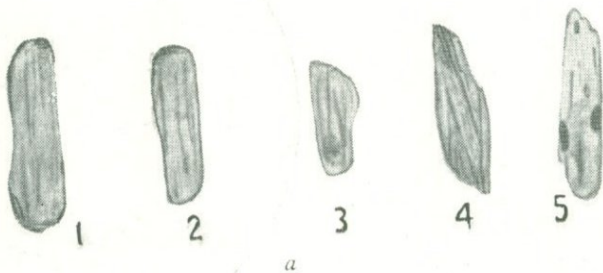


Рис. 88. Ставролит с зазубренными гранями, тяжелая фракция песчаника среднего карбона Донбасса, размер 0,25—0,01 мм.



б

Рис. 89. Силлиманит:

a—1—4 — плиоценовый песок Англии, увелич. 45—60; 5—
современный песок Англии, увелич. 45 (по Г. Б. Миль-
неру); *б* — продуктивная толща Азербайджана, уве-
лич. 48 (по А. Г. Алиеву).

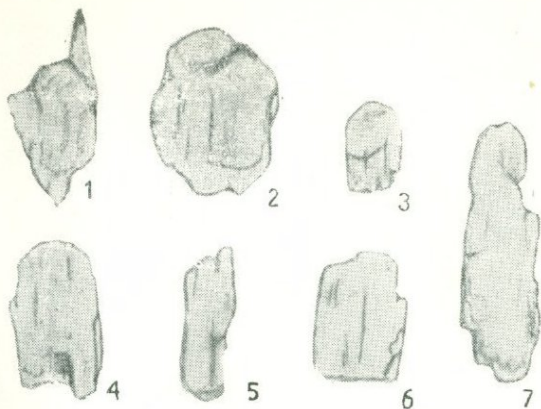


Рис. 90. Сподумен:
1—6 — современный песок Carrickonines, увелич. 60; 7 — река Аппатое, увелич. 80 (по Г. Б. Мильнеру).

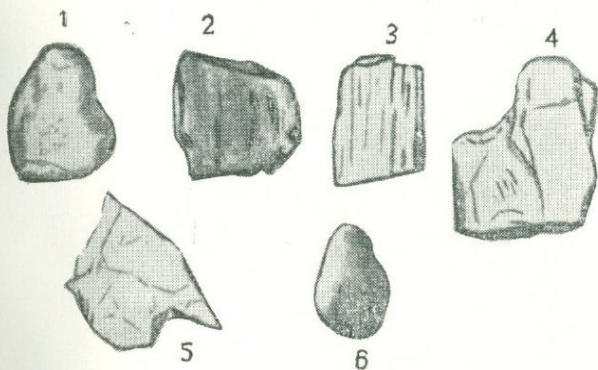


Рис. 91. Ставролит:
1, 2, 6 — третичные пески Англии, увелич. 70;
3—5 — аллювий Зап. Африки, увелич. 70 (по Г. Б. Мильнеру).

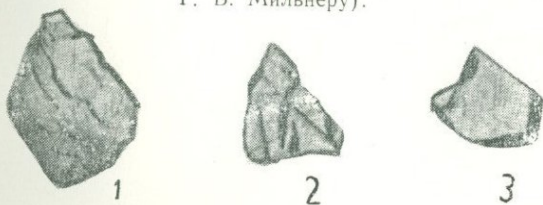


Рис. 92. Сфалерит из среднелейасовых железных руд Йоркшира, увелич. 40 (по Г. Б. Мильнеру).

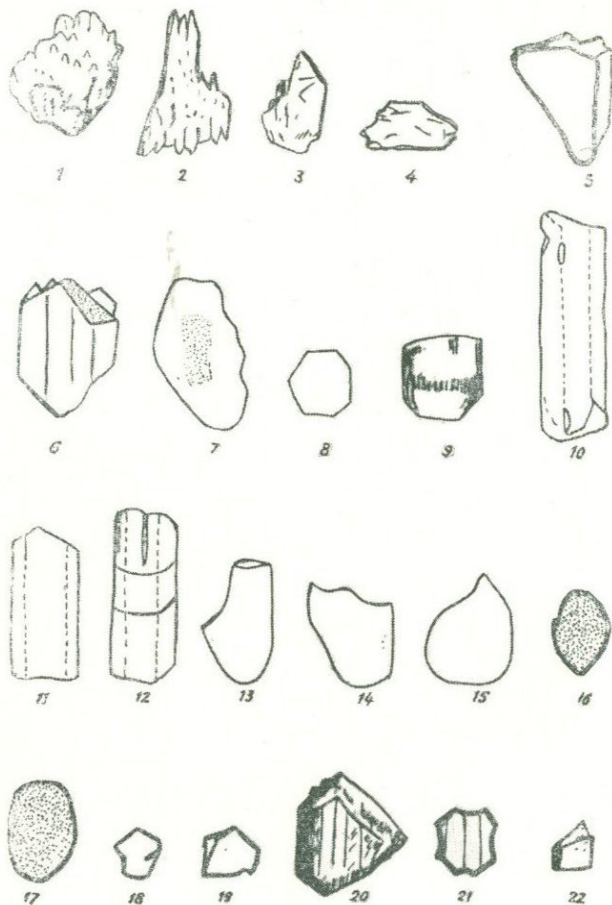


Рис. 93. Минералы из карбона Львовской мульды:
 1—6 — ставролит; 7—15 — апатит; 16—17 — монашит;
 18—19 — сфен; 20—22 — брукит, увелич. 160 (по Н. С. Вар-
 тановой).

показатели преломления и двупреломление несколько ниже, чем указывается в справочниках.

На листочках слюд часто наблюдаются выделения вторичных минералов: рутила (сагенит), анатаза, брукита, сидерита, пирита (цветные слюды). Наиболее часто встречаются мусковит, реже биотит и лепидомелан, другие слюды относительно редки.

Серпентин

(антигорит, хризотил)

Химический состав: $Mg_6 [Si_4 O_{10}] (OH)_8$.

Сингония — неизвестна (антигорит — моноклинный, хризотил — моноклинный); по Мильнеру, серпентин моноклинный или ромбический.

Формы — пластинчатое, волокнистое сложение, натечные формы.

Спайность — совершенная по (001), менее совершенная по (010) у антигорита, у серпентина ее нет.

Твердость — 2,5—3 (антигорита — 3,5).

Удельный вес — 2,5—2,7.

Цвет — темно-зеленый, оливково-зеленый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Антигорит $N_m = 1,55—1,58$; $N_g — N_p = 0,004—0,010$, двуосный отрицательный, (—) $2V$ небольшой. Плеохроизм в зеленых тонах (по Винчеллу). Удлинение положительное. Разлагается в HCl .

Бетехтин указывает следующие константы для антигорита: $N_g = 1,571$ (1,511); $N_m = 1,570$ (1,502); $N_p = 1,560$ (1,490); $N_g — N_p = 0,011$ (0,021).

Для серпентина приводятся следующие константы: $N_g = 1,522—1,555$; $N_p = 1,500—1,543$; двупреломление низкое.

Хризотил по Винчеллу: плоскость оптических осей 010, почти // с. $N_g = 1,555$; $N_m = 1,543$; $N_p = 1,542$; $N_g — N_p = 0,013$; (+) $2V = 30—35^\circ$. Удлинение положительное, угасание прямое, плеохроизм в зеленовато-желтых тонах. Разлагается в HCl , оставляя волокна кремнезема.

В настоящее время антигорит относят к хлоритам, хризотил — к гидрослюдам (Винчелл), серпентин — к группе каолинита.

Особенности в осадках. Встречается в виде зерен неправильной формы, часто агрегатного или волокнистого строения; зеленый или зеленовато-бурый, обнаруживает включения железных руд, узнается по низкому показателю преломления, низкому двойному лучепреломлению, окраске, плеохроизму.

Распространение. Ультраосновные изверженные породы, кора выветривания.

В осадочных породах — минерал в общем редкий.

Литература: [14, 24, 30, 72, 102, 110].

Минералы Константы	Мусковит	Парагонит	Лепидолит
Ng	1,588 — 1,615	1,600 — 1,609	1,555 — 1,610
Nm	1,582 — 1,611	1,599 — 1,605	1,555 — 1,610
Np	1,552 — 1,572	1,564 — 1,577	1,535 — 1,570
Ng — Np	0,036 — 0,040	0,028 — 0,038	0,015 — 0,035
2V	(—) 30 — 45°	(—) 40° ±	(—) 0 — 45°
Дисперсия	—	—	—
Плеохроизм	Бесцветный, псевдоабсорбция	Бесцветный, псевдоабсорбция	Розовый, красный, фиолетовый, бурый
Твердость	2 — 2,5	2	2 — 3
Удельный вес	2,76 — 3,0	2,85	2,8 — 2,9
Состав	$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	$NaAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	$KLiAl_{1,75}[AlSi_3O_{10}](F,OH)_2$

Примечание. У всех слюд наблюдается весьма совершенная спайность

Сидерит (рис. 85, 87)

Химический состав: $FeCO_3$.

Сингония — тригональная.

Формы — ромбоэдрический, зернистые агрегаты, пелитоморфные агрегаты, сферолиты.

Спайность — совершенная по ромбоэдру по $(10\bar{1}1)$.

Твердость — 3,5—4.

Удельный вес — 3,83—3,88.

Цвет — серый, темно-бурый, в шлифе бесцветный или бурый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $N_o=1,872$; $N_e=1,633$; $N_o-N_e=0,238$.

Одноосный отрицательный, наблюдается резкая псевдоабсорбция.

Удлинение положительное и отрицательное.

Особенности в осадках. Встречается в виде зерен неправильной формы, зернистых и пелитоморфных агрегатов, реже — в виде хорошо сформированных кристаллов. Часты радиально-лучистые образования и сферокристаллы с черным крестом в скрещенных николях.

Обычный аутигенный минерал глинистых пород, конкреций, реже встречается в зернистых породах. Кластический сидерит исключительно редок. Неустойчивый, переходит в бурый железняк.

Распространение. Гидротермальные рудные жилы, некоторые

ды

Флогопит	Сидерофиллит	Биотит	Лепидомелан
1,565	1,670	1,600 — 1,660	1,670 — 1,690 (до 1,710)
1,564	1,670	1,600 — 1,660	1,670 — 1,690
1,535	1,616	1,560 — 1,600	1,616 — 1,630
0,030	0,054	0,040 — 0,060	0,054 — 0,066
(—) малый	(—) малый	(—) 0 — 20°	(—) небольшой
—	—	$r < v$ слабая	$r < v$ слабая
—	—	$Ng \cong Nm$ коричневый до непрозрачного	$Ng \cong Nm$ красно-коричневый
Цвет желтовато-бурый, красный, зеленоватый		$Nr =$ желто-коричневый до бесцветного, реже плеохроизм в зеленых тонах	$Nr =$ светло-коричневый
2 — 3	2 — 3	2 — 3	3
2,75	3,19	3,02 — 3,12	3,00 — 3,20
KMg_3	K_2Fe_3Al	$K(Mg, Fe)_3$	KFe_3
$[AlSi_3O_{10}]$	$[Al_3Si_3O_{20}]$	$[AlSi_3O_{10}]$	$[(Al, Fe)Si_3O_{10}]$
$(OH)_2$	$(OH)_4$	$(OH, F)_2$	$(OH)_2$

по базопинакюиду и прямое угасание относительно спайности.

контактные метаморфические породы. Широко развит в осадочных породах, особенно в глинистых. Слагает почти нацело многие карбонатные конкреции. Сидерит часто встречается в угленосных и нефтеносных формациях. Новейшие исследования показывают, что чистый сидерит распространен редко, чаще встречаются минералы изоморфного ряда сидерит—магнезит.

Литература: [2, 4, 19, 21, 26, 63, 82, 83, 98, 102 и др.].

Силлиманит (рис. 89)

Химический состав: $Al [AlSiO_5]$.

Сингония — ромбическая.

Формы — игольчатый, призматический.

Спайность — совершенная по (010).

Твердость — 7.

Удельный вес — 3,23—3,25.

Цвет — бесцветный, оттенки бурый и серый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (010).
 $Ng = c$; $Ng = 1,677—1,684$; $Nm = 1,657—1,670$; $Nr = 1,655—1,661$;
 $Ng - Nr = 0,020—0,023$; $(+)$ $2V = 25—30^\circ$, дисперсия сильная $r > v$.
 В толстых пластинках плеохроирует в бурых, желтых и синих тонах. Угасание прямое, удлинение положительное.

Особенности в осадках. Встречается в виде длинных тонких призм, иголочек и волокон. Иногда встречаются угловато-окатанные и окатанные зерна (тонкие, удлинённые).

Части зерна с продольной трещиноватостью, редко с включениями (слюда, шпинель, стекло). От дистена отличается прямым погасанием и высоким двупреломлением, от топаза и андалузита — высоким двупреломлением, удлинением и 2V.

Распространение. Метаморфические породы, гнейсы, кристаллические сланцы. В осадочных породах встречается довольно часто. В третичных отложениях юга Европейской части СССР — обычный минерал тяжелой фракции.

Литература: [2, 4, 11, 41, 42, 52, 61, 63, 80, 83 и др.].

Сильвин

Химический состав: KCl.

Сингония — кубическая.

Формы — куб, зернистые агрегаты.

Спайность — совершенная по (100).

Твердость — 1,5—2.

Удельный вес — 1,97—1,99.

Цвет — бесцветный, белый, серый, розовый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Изотропен, $n=1,490$. Легко растворяется в воде.

Особенности в осадках. Аутигенный минерал соленосных толщ. Встречается в виде зернистых агрегатов. Как кластический минерал неизвестен.

Распространение. Осадочные породы, соленосные отложения. Залежи калийных солей в пермских отложениях Приуралья, Германии, Сев. Америки, в третичных отложениях Прикарпатья и др. Встречается также среди минералов вулканических возгонов.

Литература: [14, 51, 58 и др.].

Спессартин (рис. 53, 54, 55)

Химический состав: $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$.

Сингония — кубическая.

Формы — ромбический додекаэдр, тетрагонтриоктаэдр.

Спайность — несовершенная по (110).

Твердость — 6,5—7,5.

Удельный вес — 4,18.

Цвет — темно-красный, оранжево-желтый, бурый.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. Изотропен, $n=1,800$. Наблюдаются оптические аномалии.

Особенности в осадках. Встречается в виде зерен неправильной формы, угловатых обломков, угловато-окатанных зерен. Розовый и бурый.

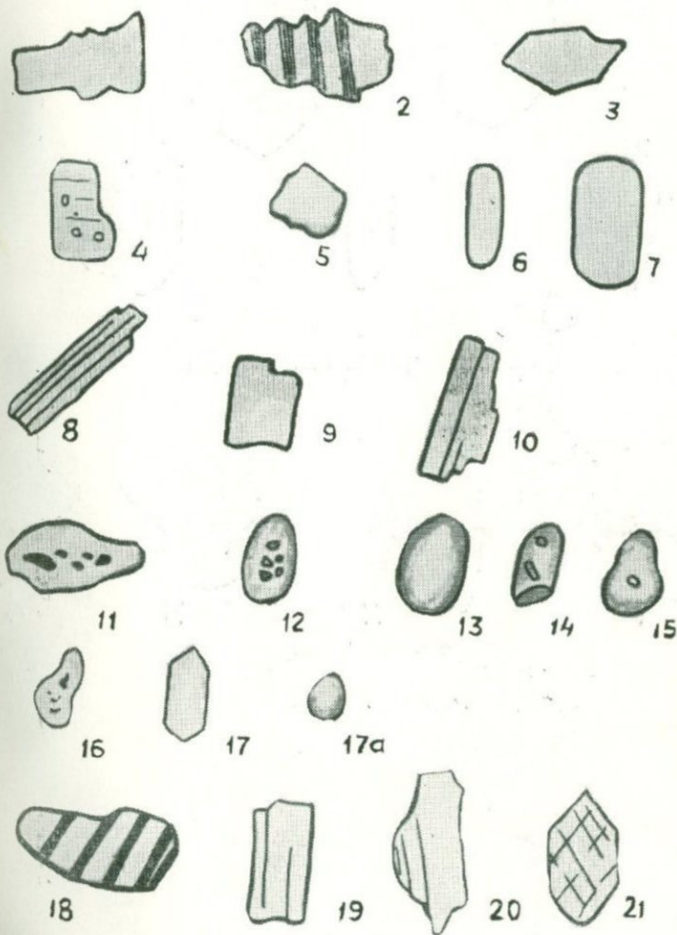


Рис. 94. Минералы из среднего карбона Донбасса, фракция 0,25—0,01 мм; 1—3 — ставролит; 4—5 — дистен; 6—7 — силлиманит; 8—10 — эгирин; 11—12 — сфен; 13—15 — монацит; 16—17а — ксенотим; 18—20 — диопсид; 21 — роговая обманка.

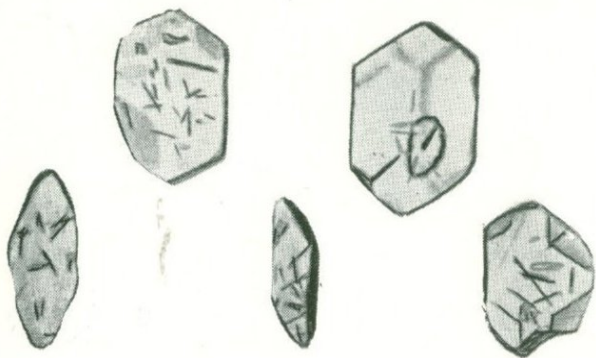


Рис. 95. Сфен из фуллеровой земли, Nutfield, увелич. 200 (по Г. Б. Мильнеру).

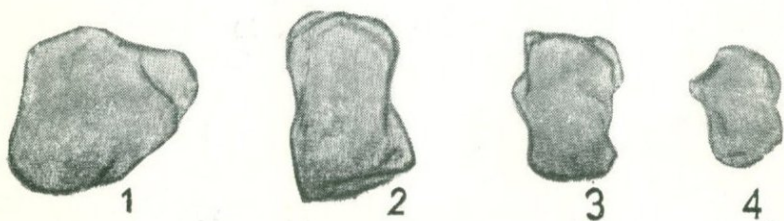


Рис. 96. Топаз:
1—2 — аллювий Нигерии, увелич. 45; 3—4 — третичные пески Англии, увелич. 45 (по Г. Б. Мильнеру).

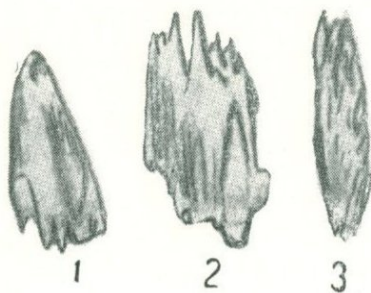


Рис. 97. Тремолит (по Г. Б. Мильнеру).

Распространение. Изверженные и метаморфические породы: кристаллические сланцы, скарны.

В осадочных породах встречается довольно часто, но значительно реже других гранатов, так как является менее устойчивым.

Литература: [11, 41, 44, 63, 80, 108, 110, 113, 118 и др.].

Сподумен (рис. 90)

Химический состав: $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$.

Сингония — моноклинная.

Формы — призматический.

Спайность — совершенная по (110), отдельность по (100).

Твердость — 6,5—7.

Удельный вес — 3,17—3,20.

Цвет — зеленый, зеленовато-белый, лиловато-розовый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (010).
 $n_g = 23-27^\circ$; $n_g = 1,662-1,679$; $n_m = 1,655-1,669$; $n_p = 1,651-1,661$; $n_g - n_p = 0,014-0,027$; (+) $2V = 58-66^\circ$.

Удлинение положительное. В шлифе и фракциях бесцветен, в более толстых зернах окрашен и плеохроичен в зеленых и розовых тонах. Дисперсия слабая $r < v$.

Особенности в осадках. Встречается в виде неправильных, оскольчатых и призматических зерен, хорошо образованные кристаллы редки. Почти всегда имеется призматическая спайность, окрашен в слегка зеленоватые или розоватые тона. Иногда содержит волокнистые продукты разложения и неопределимые включения.

Распространение. Кислые магматические породы, пегматиты, реже — в гнейсах и кристаллических сланцах. В осадочных породах встречается редко.

Литература: [14, 72, 110].

Ставролит (рис. 88, 91, 93, 94)

Химический состав: $\text{Fe}^{++} \text{Al}_4[\text{SiO}_4]_2 \text{O}_2 (\text{OH})_2$.

Сингония — ромбическая.

Формы — короткие и толстые призмы, часты крестообразные двойники, зернистые агрегаты.

Спайность — ясная по (010).

Твердость — 7—7,5.

Удельный вес — 3,65—3,67.

Цвет — красновато-бурый до буровато-черного, в шлифе и фракциях желтый, соломенно-желтый до бесцветного.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (110).

Острая биссектриса $n_g \perp (001)$.

$N_g=1,750-1,762$; $N_m=1,744-1,753$; $N_p=1,739-1,746$; $N_g-N_p=0,011-0,015$; $(-)$ $2V=80-90^\circ$. Дисперсия слабая $r>v$. Плеохроизм обычно от желтого, желто-бурого до соломенно-желтого или бесцветного. Удлинение положительное.

Призматические сечения обнаруживают прямое погасание.

Особенности в осадках. Встречается в виде окатанных, угловато-окатанных, неправильных зерен с зазубренными гранями и пластинчатых зерен. Обычны включения кварца, рутила, турмалина, биотита, углистых частиц. Очень редки крестообразные двойники. Иногда переходит в хлорит и слюды.

Распространение. Метаморфические породы, главным образом кристаллические сланцы, контакт-метаморфические породы.

В осадочных породах встречается довольно часто. Ставролит — обычный минерал в третичных отложениях юга СССР, осадочных породах Англии, третичных отложениях Кавказа и др.

Литература: [2, 4, 11, 28, 41, 42, 52, 63, 76, 82, 83, 110 и др.]

Сфен (титанит) (рис. 93, 94, 95)

Химический состав: $Ca Ti [SiO_4] O$.

Сингония — моноклинная.

Формы — призматический, уплощенный, «конвертообразные» кристаллы.

Спайность — совершенная по (110), несовершенная по (100).

Твердость — 5—5,5.

Удельный вес — 3,4—3,56.

Цвет — бурый, буровато-желтый, оранжевый, оранжево-зеленый. В шлифе почти бесцветный, в тонких фракциях тоже, в крупных зернах окрашен.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (010): N_g почти перпендикулярна (102), образуя угол около 51° со спайностью в тупом углу β .

$N_g=1,943-2,093$; $N_m=1,870-2,040$; $N_p=1,840-1,950$; $N_g-N_p=0,100-0,182$; $c N_g=36-51^\circ$; $(+)$ $2V=20-40^\circ$. Удлинение отрицательное. Плеохроизм $N_g>N_m>N_p$ или $N_m>N_g>N_p$, в желтовато-бурых, розовых и зеленоватых тонах. Дисперсия сильная $r>v$.

Особенности в осадках. Неправильные слегка окатанные или угловатые зерна. Иногда встречаются хорошо образованные «конвертообразные» кристаллы. Обычно толстые зерна окрашены в желто-бурые тона и плеохроичны. Из-за сильной дисперсии полностью не гаснет.

Распространение. Магматические кислые и средние породы, метаморфические породы. В осадочных породах встречается довольно часто.

Литература: [1, 2, 4, 10, 19, 63, 82, 83, 110 и др.]

Сфалерит (рис. 92)

Химический состав: ZnS .

Сингония — кубическая.

Формы — тетраэдр, додекаэдр, комбинация куба и додекаэдра.

Спайность — совершенная по (110).

Твердость — 3,5—4.

Удельный вес — 4—4,1.

Цвет — черный, бурый, желтый, непрозрачный до просвечивающегося.

Магнитные свойства — слабо или умеренно магнитен.

Оптические свойства. Изотропен, $n=2,37$ (в просвечивающихся зернах). Непрозрачный, в отраженном свете — черный, коричнево-черный.

Особенности в осадках. Встречается в виде непрозрачных кристаллов правильной формы или в виде просвечивающихся бурых крупинок с высоким показателем преломления, изотропный. Характерны штрихи, параллельные грани тетраэдра. Жирный блеск, совершенная додекаэдрическая спайность. Легко спутать с пикотитом, гранатом и хромитом. Встречается главным образом как аутигенный, реже — как аллотигенный минерал.

Распространение. Гидротермальные рудные жилы. В осадочных породах встречается в карбонатных и фосфоритовых конкрециях, в некоторых карбонатных породах, минерал аутигенный. Описан в известняках кукуерского яруса Ленинградской области, в фосфоритовых конкрециях Подолии и других мест, в карбонатных конкрециях донецкого карбона.

Литература: [14, 72, 98, 110].

Топаз (рис. 96)

Химический состав: $Al_2[SiO_4](F, OH)_2$.

Сингония — ромбическая.

Формы — призматический, пирамидальный.

Спайность — совершенная по (001).

Твердость — 8.

Удельный вес — 3,53—3,57.

Цвет — бесцветный, желтый, зеленый, красный, синий.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей и острая биссектриса $\perp$ (001).

$N_g = 1,617—1,638$; $N_m = 1,610—1,631$; $N_p = 1,607—1,629$; $N_g - N_p = 0,008—0,010$; (+) $2V = 48—67^\circ$. Удлинение положительное.

Окрашенные кристаллы в толстых зернах плеохроичны. N_g — фиолетово-розовый, N_m — желтовато-розовый, N_p — буровато-желтый.

Призматические сечения дают прямое погасание. Дисперсия $r > v$ слабая.

Особенности в осадках. Встречается в виде бесцветных угловато-окатанных зерен, неправильной формы зерен; хорошо образованные кристаллы редки. Нередки включения, чаще жидкие.

Обычны уплощенные зерна по спайности, дающие хорошую интерференционную фигуру. Если топаз изменен в дамурит (гидро-слюда), отличить его от серицитизированного андалузита очень трудно.

Распространение. Гранит, грейзен и другие контактовые породы. В осадочных породах минерал редкий. Чаще встречается в современных аллювиальных отложениях.

Литература: [11, 45, 72].

Турмалин (рис. 39, 98, 99)

Химический состав: $(\text{Na}, \text{Ca}) (\text{Mg}, \text{Al})_6 [\text{Si}_6 \text{Al}_3 \text{B}_3 (\text{O}, \text{OH})_{30}]$.

Сингония — тригональная.

Формы — призматический.

Спайность отсутствует или несовершенная по призме $(11\bar{2}0)$ и пирамиде (1011) .

Твердость — 7—7,5.

Удельный вес — 2,28—3,30.

Цвет — зеленый, коричнево-бурый, синий, черный, розовый, редко бесцветный.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. $N_o = 1,636—1,698$; $N_e = 1,613—1,667$; $N_o - N_e = 0,020—0,040$. Чаще всего $N_o = 1,642$; $N_e = 1,622$; $N_o - N_e = 0,020$. Одноосный отрицательный, удлинение отрицательное, угасание прямое. Плеохроизм $N_o > N_e$.

Очень редко двuosный с $(-)$ $2V = 5—21^\circ$. Показатели преломления увеличиваются к железистым турмалинам (черные турмалины-шерлы), также растет и удельный вес.

Особенности в осадках. Встречается в виде призматических идеально-образованных кристаллов, с обломанными конечными гранями или слегка окатанными, в виде зерен угловато-окатанных и окатанных, нередко базальные сечения, в виде неправильной формы зерен, угловатых или окатанных. Цвет и плеохроизм сильно меняются. Изредка встречаются бесцветные турмалины. Аутигенный турмалин бесцветен. В зернах часты включения; циркон, рутил, пузырьки, кварц, слюды, полевой шпат, рудные включения (особенно часто). Иногда встречаются зерна с трещинами вдоль удлинения и зазубренными конечными гранями.

Распространение. Магматические кислые и средние породы, пегматиты, пневматолитовые жилы и породы, кристаллические сланцы, гнейсы.

В осадочных породах — обычный минерал, пользуется широким распространением. Обычно турмалин аллотигенный минерал, изредка встречается аутигенный турмалин (в глинистых метаморфизованных породах, карбон Донбасса, девон Тимана).

Литература: [2, 4, 10, 11, 19, 26, 41, 42, 61, 63, 72; 76, 82, 83 и др.].

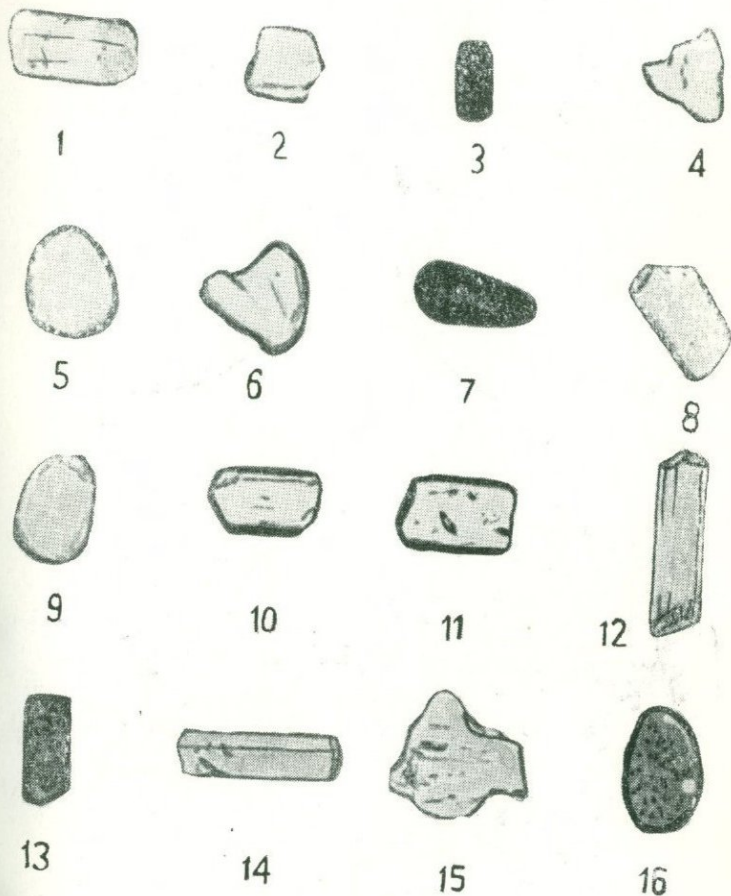
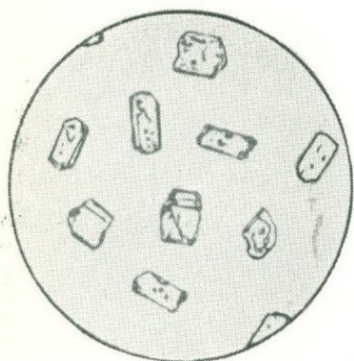
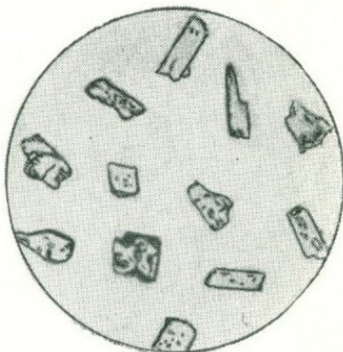


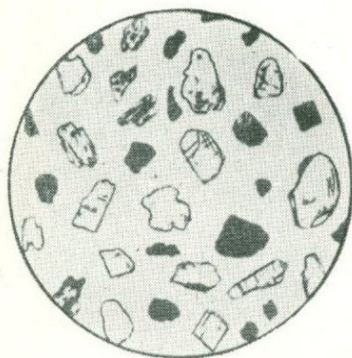
Рис. 98. Турмалин:
 1—9 и 13—16 — из современных и третичных песков Англии, увелич. 40—70; 10—11 — современный песок Бразилии, увелич. 70; 12 — пески Могуга (плиоцен), Тринидад, увелич. 70 (по Г. Б. Мильнеру).



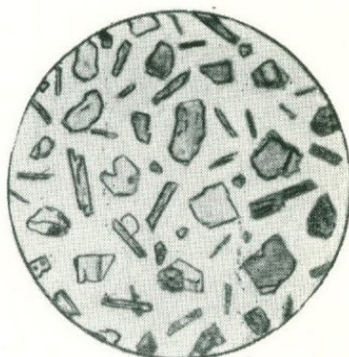
1



2



3



4

Рис. 99. 1—2 — турмалин; 3 — ассоциация дистена и роговой обманки; 4 — ассоциация турмалина, дистена, ставролита и роговой обманки. увелич. 48, апшеронский ярус Азербайджана (по А. Г. Алиеву и др.).

Тальк

Химический состав: $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$.

Сингония — моноклинная.

Формы — хорошо образованные кристаллы редки, обычно листочки, чешуйки.

Спайность — совершенная по (001).

Твердость — 1.

Удельный вес — 2,7—2,8.

Цвет — бледно-зеленый, белый с желтоватым, буроватым и зеленоватым оттенками, в шлифе бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей (100). N_p почти $\perp$ спайности по (001).

$N_g = 1,575$ — $1,590$; $N_m = (?)$; $N_p = 1,538$ — $1,545$; $N_g - N_p = 0,030$ — $0,050$; $(-)$ $2V = 0$ — 30° , дисперсия $r > v$. Удлинение положительное.

Особенности в осадках. Очень мягкий, поэтому встречается в осадках только вблизи источников сноса. Отмечен в делювии и аллювии, в ископаемых осадках не указывается.

Распространение. Встречается в значительных количествах в метаморфизованных сланцах (тальковые сланцы, тальково-хлоритовые сланцы), в коре выветривания. Известен в современных аллювиальных и делювиальных отложениях Урала и др.

Литература: [14, 24, 30, 102 и др.].

Флюорит (рис. 111)

Химический состав: Ca F_2 .

Сингония — кубическая.

Формы — куб, октаэдр, комбинации, зернистые и землистые агрегаты.

Спайность — совершенная по (111).

Твердость — 4.

Удельный вес — 3,18 (до 3,35 у иттро-флюорита).

Цвет — бесцветный, белый, зеленый, синий.

Магнитные свойства. Изотропен, $n = 1,433$ (1,442—1,457—иттро-флюорит), иногда обнаруживает аномальное двупреломление.

Особенности в осадках. Встречается в октаэдрических обломках по спайности и угловато-окатанных зернах. Реже встречаются хорошо окатанные зерна, зерна неправильной формы и зернистые агрегаты. Бесцветные и синеватые, реже зеленоватые, часто пятнистые. Содержит включения жидкости и газов, рудной пыли и др. Определяется по низкому рельефу в шлифе и в иммерсии, изотропности, по октаэдрическому габитусу. Флюорит в обломочных породах, как правило, аллотигенный, в карбонатных породах и соленосных отложениях широко развит аутигенный флюорит.

Распространение. Магматические кислые породы, гидротермальные жилы.

В осадочных породах встречается аллотигенный флюорит (обломочные породы) и аутигенный — в соленосных отложениях (гипс, ангидрит, каменная соль), известняках и доломитах. В доломитизированных известняках Подмосковья описан землистый флюорит — ратовкит.

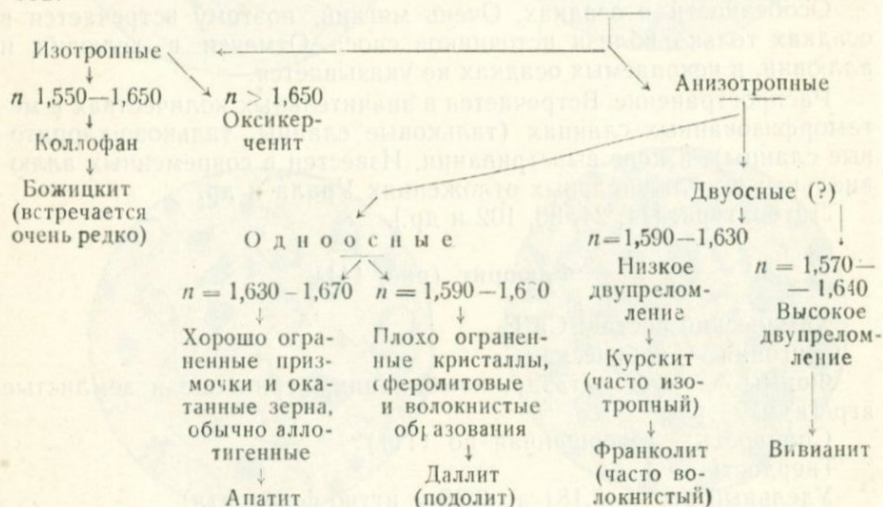
Литература: [38, 87, 97 (аутигенный), 63, 72, 76, 82 (аллотигенный) и др.].

Фосфаты

Фосфаты характеризуются средним показателем преломления и низким двупреломлением, значительная часть фосфатов изотропна, большинство их бесцветны, некоторые желтоватые и буроватые. Фосфаты легко разлагаются HCl, поэтому часто отсутствуют во фракциях. Почти все они являются аутигенными минералами осадочных пород (кроме апатита), табл. 37.

Можно рекомендовать следующую схему определения фосфатов.

Таблица 36



Литература: [20, 21, 30, 37, 63, 77, 98, 99, 102 и др.].

Халцедон (рис. 101)

Химический состав: SiO_2 .

Сингония — неизвестна.

Формы — радиально-лучистые агрегаты, отдельные сферокристаллы, корочки из волокнистых кристаллов, натечные, почковидные агрегаты.

Спайность — ?

Твердость — 6.

Удельный вес — 2,55—2,63.

Цвет — белый, голубовато-белый, синевато-белый, зеленоватый, темно-серый. Разновидности халцедона (оникс, сердолик, агат) окрашены в различные цвета.

Фосфаты

Минералы Константы	Апатит	Даллит (подолит)	Курскит	Франколит (штафелит)	Коллофан	Божицкит	Вивианит	Оксикер- ченит
Ng Nm	1,667—1,634 —	1,635—1,598 —	— 1,595—1,600	1,614—1,627 —	Изотропный $n = 1,569$	Изотропный $n = 1,57—$ $— 1,67$	1,636—1,626 1,603—1,598	Изотропный $n = 1,685$
Np Ng — Np 2V	1,664—1,629 0,007—0,003 Одноосный, редко псев- додвуосный	1,631—1,592 0,004 Одноосный, иногда псев- додвуосный	— 0,007 Чаще кол- лоидный, изотропный, реже микро- кристалли- ческий или радиально- лучистый	— 0,004—0,009 Одноосный, отрицатель- ный, псевдо- гексагональ- ный	1,630		1,580—1,570 0,066—0,047 ($\pm$) 85 + 90°	1,711
Удельный вес	3,18 — 3,21	3,08 — 3,12	2,9 — 3,0	3,1	2,6 — 2,9	2,7	2,71	2,65
Твердость	5	4 — 5	—	4 — 4,5	2 — 3,5	3,5	2,0	3,5
Состав	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F, Cl, OH)	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (CO ₃)	Ca ₈ (PO ₄) ₄ (F ₂ CO ₃)	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (Fe ₂ (OH) ₂ CO ₃)	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (CO ₃ ·F ₂ SO ₄ O) n H ₂ O	Ca ₃ Fe ⁺⁺⁺ ₁₄ (PO ₄) ₄ (OH) ₃₀ (?)	Fe ⁺⁺⁺ ₃ (PO ₄) ₂ 8H ₂ O	R ⁺⁺⁺ Fe ⁺⁺⁺ ₈ (PO ₄) ₅ (OH) ₈ 17H ₂ O
Цвет	Бесцветный, зеленова- тый, бурый, иногда пле- охроничный	Бесцветный, желтовато- бурый	Бесцветный	Бесцветный	Бесцветный или желто- бурый	красно-бу- рый	Бесцветный, на воздухе зеленова- тый, синий, буроватый, плеохронич- ный	Черновато- бурый
Огношение к HCl	Раство- ряется	Раство- ряется	Раство- ряется	Раство- ряется	Раство- ряется	Раство- ряется	Раство- ряется	Раство- ряется

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Одноосный или двуосный (?). $N_o = 1,533 - 1,539$; $N_e \sim 1,530$; $N_o - N_e$ около 0,010. Волокна имеют прямое погасание и отрицательное удлинение. Иногда волокна угасают под углом 30° (лютецит), но удлинение у лютецита положительное и поэтому он, вероятно, относится к кварцину, а не к халцедону (?).

Особенности в осадках. Обычно халцедон — аутигенный минерал осадочных пород. Встречается в виде цемента в зернистых породах и образует скопления и агрегаты небольших размеров в глинистых породах, часто — в карбонатных породах, замещая карбонаты, в железных рудах, бокситах, опоках, кремнях, яшмах. Но иногда встречается как аллотигенный минерал в виде угловато-окатанных и окатанных зерен.

Распространение. В пустотах эффузивных пород и низкотемпературных гидротермах, в коре выветривания. Халцедон обычный аутигенный минерал большинства осадочных пород, редко — аллотигенный минерал обломочных пород.

Литература: [30, 63, 84, 102 и др.].

Халькозин

Химический состав: Cu_2S .

Сингония — ромбическая.

Формы — кристаллы (гексагонального облика) встречаются редко, обычно толстые таблицы и короткие столбики, тонкозернистые агрегаты.

Спайность — несовершенная по (001).

Твердость — 2—3.

Удельный вес — 5,5—5,8.

Цвет — свинцово-серый, черта темно-серая до черного.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Непрозрачен, слабо анизотропен, в полировках наблюдается слабая призматическая спайность, блеск металлический, отражательная способность невысокая. Растворяется в азотной кислоте, раствор приобретает зеленоватый цвет. HCl не действует. Микрхимическая реакция на Cu с $K_4Fe_3(CN)_6$.

Особенности в осадках. Халькозин аутигенный минерал осадочных пород, встречается в виде цемента в песчаниках и алевролитах, реже в других породах, содержащих органическое вещество.

Распространение. Медистые песчаники перми Донбасса и Приуралья, медистые сланцы Германии, Прикарпатье и др. Значительно шире распространен халькозин в зоне вторичного сульфидного обогащения гидротермальных сульфидных месторождений (иногда гидротермальный, низкотемпературный).

Литература: (17, 93, 102 и др.).

Халькопирит

Химический состав: $Cu Fe S_2$.

Сингония — тетрагональная.

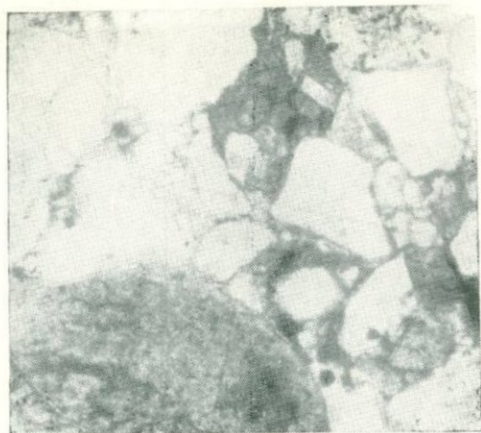


Рис. 100. Обломки горных пород в песчанике среднего карбона Донбасса: крупный серый — аргиллит, с порфировой структурой — эффузив, увелич. 80 при одном никеле.

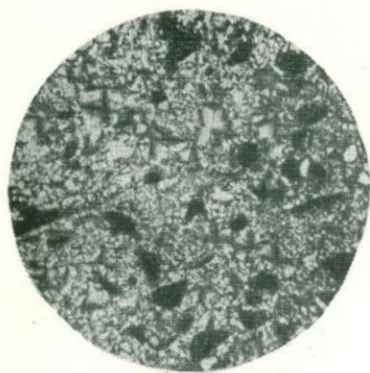


Рис. 101. Халцедон. Халцедоновый силицит сеномана северо-западной окраины Донбасса, увелич. 48, николи скрещены (по И. И. Литвину).

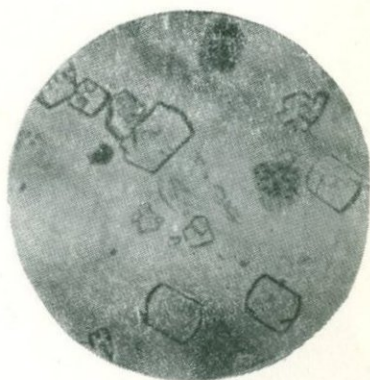


Рис. 102. Морденит из третичных отложений Грузии.

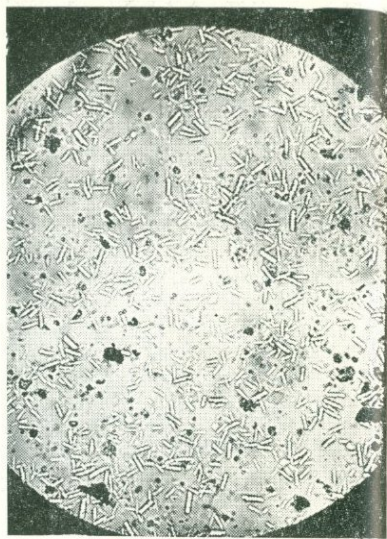
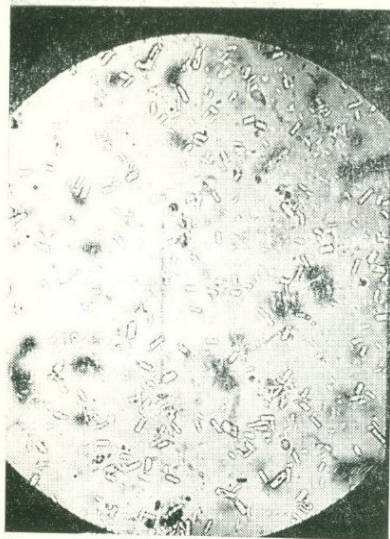


Рис. 103. Морденит из пещего мела с. Печенеги
вблизи г. Харькова: *а* — фракция размером
менее 0,001 мм, высушенная капля, увелич. 280
при 1 николе; *б* — то же в иммерсии с п-л, 540,
увелич. 280 при 1 николе.

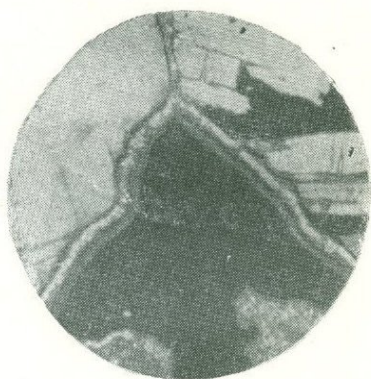


Рис. 104. Туфогенный песчаник
из третичных отложений Калифорнии с монтморилло-
новым цементом: белое — це-
мент, видны также зерна пи-
роксенов и обломки эффузи-
вов, увелич. 60 при 1 николе
(по I. F. Lerbekmo).

Рис. 105. Туфогенный песча-
ник — деталь цемента, видны
две каемки монтмориллонита,
увелич. 320, николи скрещены.

Формы — кристаллы редки (октаэдрического и тетраэдрического облика). Обычно сплошные массы и вкрапления, часты коллоидные образования.

Спайность — несовершенная по (201).

Твердость — 3—4.

Удельный вес — 4,1—4,3.

Цвет — латунно-желтый, темно-желтый с пестрой — радужной побежалостью.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Непрозрачен, слабо анизотропен, блеск металлический, отражательная способность высокая. В азотной кислоте постепенно растворяется с выделением серы. HCl не действует. Микрохимическая реакция на Cu с рубеоновой кислотой на фильтровальной бумаге.

Особенности в осадках. В осадочных породах встречается редко. Отмечен в полостях фосфоритовых и карбонатных конкреций как вторичный минерал.

Распространение. Наиболее широко развит в гидротермальных месторождениях, редко встречается в метасоматических и магматогенных и осадочных породах. Халькопирит описан из фосфоритовых конкреций Подолии, карбонатных конкреций угленосной толщи Донбасса и др.

Литература: [98, 102 и др.].

Хлориты

Хлориты характеризуются слюдоподобным — чешуйчатым габитусом, низким двупреломлением, часто наличием аномальных индигово-синих цветов интерференции, средним показателем преломления, зеленой окраской, наличием плеохроизма.

Хлориты в осадочных породах являются как аллотигенными, так и аутигенными минералами. Так, например, пеннин, клинохлор, прохлорит, корундофиллит, амезит чаще аллотигенные, а тюрингит и шамозит, репидолит, афросидерит почти всегда аутигенные.

Кроме того, в осадочных породах часто встречаются хлоритизированные цветные слюды и другие темноцветные минералы.

Диагностика хлоритов основана на комплексе признаков, среди которых наибольшее значение имеют двупреломление, оптический знак, плеохроизм, показатели преломления, оптическая ориентировка (см. табл. 38).

Литература: [30, 39, 63, 82, 102 и др.].

Хлоритоид (рис. 43, 115)

Химический состав: $\text{Fe}_2 \cdot \text{Al}_2 [\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_{10}] (\text{OH})_4$.

Сингония — моноклинная или триклинная.

Формы — пластинчатый, листоватый, хорошие кристаллы редки.

Спайность — совершенная по (001).

Твердость — 5—6.

Хлориты

Минералы Константы	Пеннин	Делессит	Клинохлор	Корундофиллит	Прохлорит
Nm	1,57 — 1,58	1,59 — 1,61	1,57 — 1,59	1,59	1,59 — 1,62
Ng — Np	0,003	0,003 — 0,004	0,004 — 0,010	0,012	0,004 — 0,010
2V	(±) малый	(—) 0	(+) 0 — 40°	(+) 30°	(+) 20°
Удлинение	+	—	+	—	+
Цвет	Зеленый, красный, фиолетовый, белый	Зеленый, розовый	Зеленый, розовый, белый	Зеленый	Зеленый, бурый, серый
Погасание	cNg = ~ 0°	cNp = 0 — 7°	cNg = 2°30'	cNp = 8 — 10°	cNg = 2°
Дисперсия	$r > v$ (—) $r < v$ (+)	—	—	—	—
Плеохроизм	Ng ≫ Nm > Np (—) Ng < Nm ≪ Np (+)	Ng ≫ Nm > Np	Ng < Nm ≪ Np	Ng < Nm ≪ Np	Ng < Nm ≪ Np
Твердость	2,0 — 2,5	—	2,0 — 2,5	2,5	1,5 — 2
Удельный вес	2,60 — 2,85	2,8	2,62 — 2,78	2,85 — 2,90	4,78 — 4,96
Состав	(Mg, Fe) ₂ Al [AlSi ₂ O ₁₀] (OH) ₈	—	(Mg, Fe) _{1,75} Al _{1,25} [Si _{2,75} Al _{1,25} O ₁₀] (OH) ₈	(Mg, Fe) _{4,25} Al _{1,75} [Al _{1,75} Si _{2,25} O ₁₀] (OH) ₈ 0,16	(Mg, Fe) _{4,5} Al _{1,5} [Al _{1,5} Si _{2,5} O ₁₀] (OH) ₈ 0,00 — 0,01
Отношение FeO — MgO	0,03	0,55	—	—	—

Минералы Константы	Репидолит	Арфосидерит	Амезит	Тюрингит	Шамозит
Nm	1,61 — 1,63	1,63 — 1,65	1,58 — 1,61	1,65 — 1,68	1,62 — 1,66
Ng — Np	0,000 — 0,004	0,000 — 0,004	0,010 — 0,025	0,004 — 0,010	0,010 — 0,012
2V	(+) 0	(—) малый	(+) малый	(—) малый	(—) малый
Удлинение		+	+		+
Цвет	Зеленый, бурый	Зеленый	Голубовато-зеленый	Оливково-зеленый до темно-зеленого	Темно-зеленый до черного
Погасание	$cNg = \sim 0^\circ$	$cNp = 0$	$cNg = 0$	—	—
Дисперсия	—	—	—	—	—
Плеохроизм	$Ng < Nm \leq Np$	$Ng \geq Nm > Np$	$Ng < Nm \leq Np$	$Ng \geq Nm > Np$	$Ng \geq Nm > Np$
Твердость	—	—	2,5 — 3	2 — 2,5	3
Удельный вес	2,8	3,0	2,79	3,15 — 3,19	3,03 — 3,40
Состав			$(Mg, Fe)_4Al_2$ $[Al_2Si_2O_{10}]$ $(OH)_8$	$Fe^{2,5}(AlFe^{3,5})_{1,5}$ $(Si_{2,5}Al_{1,5}O_{10})$ $(OH)_6nH_2O$	$Fe^{2,5}Al$ $[Si_3AlO_{10}]$ $(OH)_6nH_2O$
Отношение FeO — MgO	0,71 — 1,18	2,2	0,0	7,3 — 8,0	до 11,2

Удельный вес — 3,4—3,6.

Цвет — темно-зеленый, зеленовато-черный, зеленовато-желтый, синий.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (010). Ng образует угол с $\perp$ к (001) от 3 до 30°. Nm=1,720 (1,710) — 1,770; Ng—Nr=0,007—0,010 (0,016); (+) 2V=36—68°. Сильная дисперсия $r > v$. Удлинение отрицательное. Плеохроизм сильный или умеренный, Ng — светло-желтый, зеленовато-бурый, желто-зеленый, Nm — серовато-синий, индигово-синий, светло-зеленый, Nr — серовато-зеленый, бесцветный, оливково-зеленый. Довольно часты аномальные индигово-синие цвета интерференционной окраски.

Особенности в осадках. Встречается в виде листочков слюдоподобного облика (напоминающих слюды и хлориты), чешуек и чешуйчатых агрегатов. Легко определяется по высокому показателю преломления ($>1,700$), слюдоподобному облику, зеленой окраске. Иногда содержит включения рутила и других минералов.

Это единственный зеленый или голубой минерал слюдоподобного облика, имеющий показатель преломления $> 1,700$. Железистые биотиты и лепидомеланы окрашены в красные и коричнево-красные тона.

Распространение. Кристаллические сланцы, филлиты. В осадочных породах встречается довольно часто как аллотигенный минерал.

Литература: [19, 26, 63, 83, 110 и др.].

Хромит

Химический состав: $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$.

Сингония — кубическая.

Формы — октаэдр, додекаэдр, комбинации октаэдра и додекаэдра.

Спайность отсутствует.

Твердость — 5,5.

Удельный вес — 4,3—4,5.

Цвет — черный, буровато-черный, непрозрачный, в отраженном свете — черный с металлическим блеском.

Магнитные свойства — умеренно магнитен.

Оптические свойства. Непрозрачен в проходящем свете, в тонких срезах густо окрашен. В отраженном свете — черный с металлическим блеском, $n=2,069$, полированная поверхность изотропна.

Особенности в осадках. Встречается в виде округленно-угловатых, округленных октаэдрических зерен и зерен неправильной формы. Узнается по форме, цвету и блеску в отраженном свете. Для уверенной диагностики необходимы микрохимические реакции и исследование при помощи паяльной трубки.

Распространение. Ультраосновные магматические породы (перидотиты, серпентиниты, пироксениты, дуниты), реже — кристаллические сланцы. В осадочных породах встречается сравнительно редко.

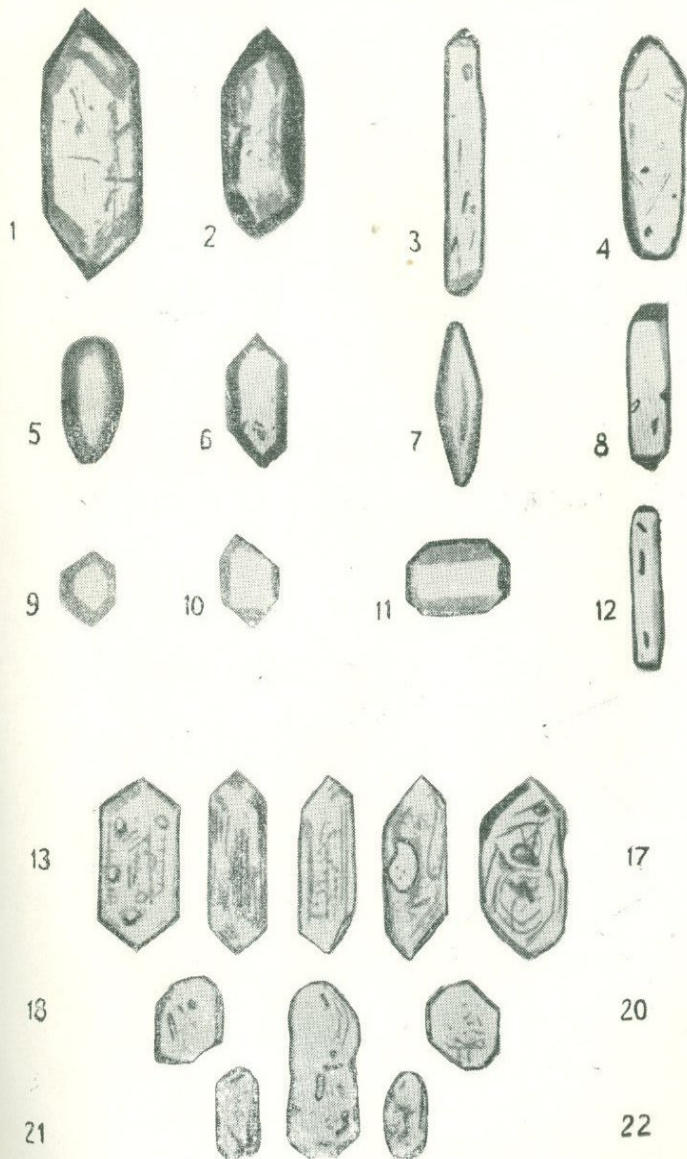


Рис. 106. Циркон: 1—2 — аллювий Африки, увелич. 100; 3—12 — третичные пески Англии, увелич. 100; 13—22 — дартмурский циркон, размер зерен 0,1—4,0 мм (по Г. Б. Мильнеру).

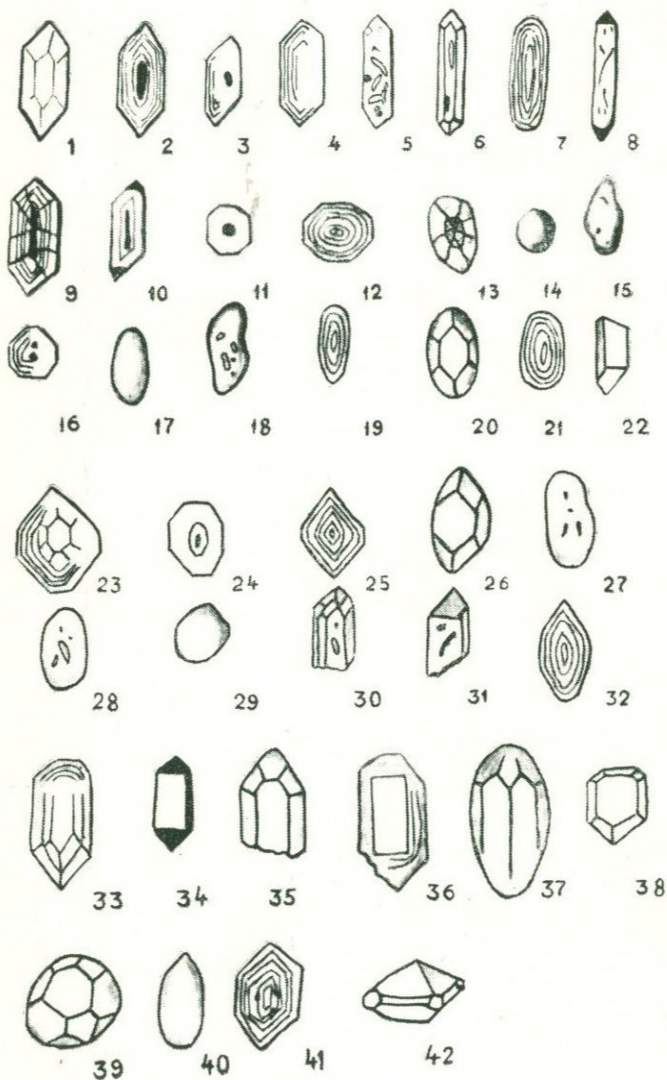


Рис. 107. Циркон из среднего карбона Донбасса, фракция 0,25—0,01 мм,

В современных аллювиальных россыпях встречается часто вблизи массивов магматических ультраосновных пород, описан на Урале, в Южной Африке и др.

Литература: [14, 24, 72, 76 и др.].

Целестин

Химический состав: $\text{Sr} [\text{SO}_4]$.

Сингония — ромбическая.

Формы — таблитчатый, столбчатый, призматический.

Спайность — совершенная по (010), средняя по (201).

Твердость — 3—3,5.

Удельный вес — 3,9—4,0.

Цвет — голубовато-белый, голубовато-серый, реже с красноватым и желтоватым оттенками, в шлифе бесцветный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей // (010). $n_g = a$. $n_g = 1,631$; $n_m = 1,623$; $n_p = 1,622$; $n_g - n_p = 0,009$; $(+)$ $2V = 50^\circ$, дисперсия $r > v$. Прямое погасание параллельно ребру призмы или главной оси. Удлинение положительное.

Особенности в осадках. Наблюдается в виде зерен неправильной формы. Целестин обычно аутигенный минерал осадочных пород, встречается в карбонатных породах, соленосных отложениях, реже — в обломочных породах, в виде цемента, в конкрециях. Сходен с баритом, отличается более низким показателем преломления, $2V$ и двупреломлением.

Для подтверждения диагностики следует проводить качественную реакцию на Sr .

Распространение. Рудные жилы. Осадочные породы. Широко распространен в ангидритах, гипсах и других соленосных породах, в карбонатных породах, реже — в песчаниках в виде цемента. Описан в пермских отложениях Приуралья, Донбасса, в мелу Средней Азии и др.

Литература: [2, 4, 11, 63, 70, 71, 97 и др.].

Цеолиты

Свойства большинства цеолитов близки друг другу — все они легкие минералы, бесцветны в шлифах и иммерсии, оптические константы близки или перекрываются, всегда характеризуются низким светопреломлением и двупреломлением, табл. 40. В осадках и осадочных породах встречаются чаще всего анальцит, шабазит, морденит, ломонтит, филлипсит. Цеолиты — аутигенные минералы осадочных пород. Можно рекомендовать следующую схему для определения наиболее распространенных цеолитов, табл. 39.

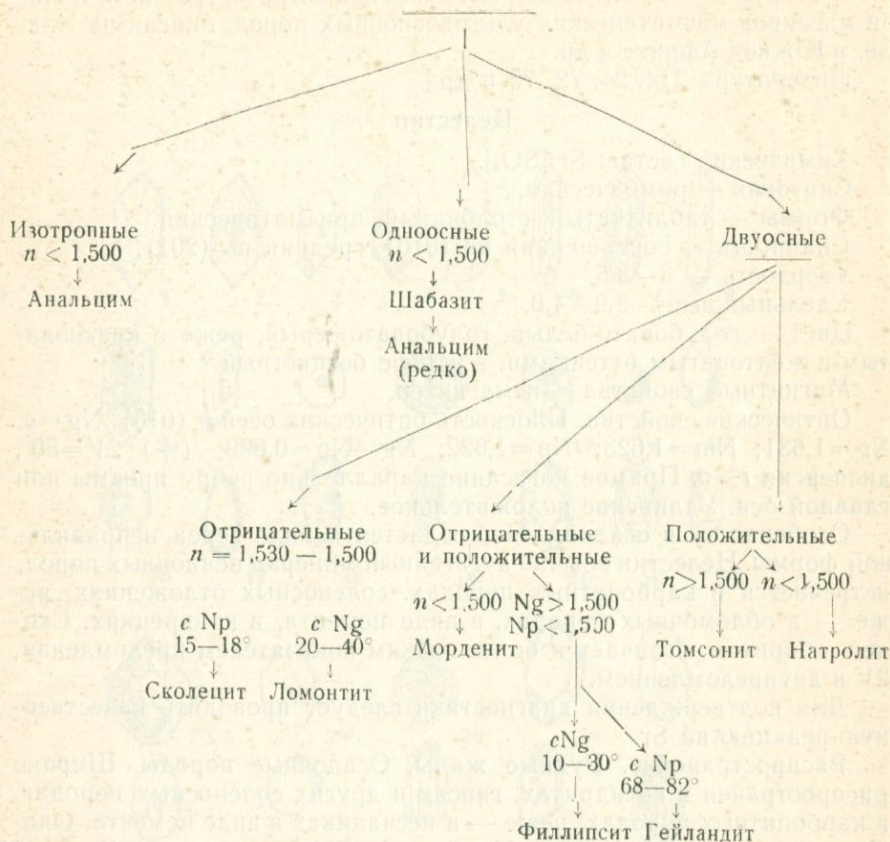
Литература: [22, 44, 78, 83 и др.].

Циркон (рис. 106—110)

Химический состав: $\text{Zr} [\text{SiO}_4]$.

Сингония — тетрагональная.

Формы — призмы, бипирамиды и различные их комбинации.



Спайность — несовершенная по (110) и (111).

Твердость — 7,5.

Удельный вес — 4,2—4,8.

Цвет — бесцветный, желтый, бурый, розовый, пурпурный, бледно-зеленый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. $n_e = 1,968—1,985$; $n_o = 1,923—1,926$; $n_e - n_o = 0,043—0,058$. Оптически одноосный положительный. Удлинение положительное, угасание прямое. В интенсивно окрашенных разностях — плеохроичный. Циркон, содержащий Hf, имеет более высокий показатель преломления: $n_o = 1,936$; $n_e = 1,991$.

Иногда наблюдается аномальная двуосность (—) $2V = 10^\circ$; $n_g = 1,970$; $n_p = 1,930$ (Ларсен).

Особенности в осадках. Зерна циркона в осадочных породах очень разнообразны по форме и другим свойствам. Встречается в виде призматических зерен с конечными гранями идеально правильной формы, слегка окатанных и хорошо окатанных зерен, где

границ кристаллов не видны. Последние почти всегда несколько удлинены или овальные. Встречается также в виде угловатых или неправильных осколков. Обычно бесцветен или слегка желтовато-буроватый, редко окрашенный. Наблюдаются зерна с включениями пузырьков жидкости и газа и различных минералов, зональные зерна. Иногда описывают регенерированные зерна циркона.

Распространение. Магматические, главным образом кислые и средние породы, гнейсы, реже — кристаллические сланцы. В осадочных породах — обычный минерал тяжелой фракции, пользуется широким распространением.

Литература. Циркон указывается почти во всех работах. Более подробное описание дано в следующих статьях и монографиях: [11, 26, 63, 72, 76, 109, 110, 111, 119, 123, 126].

Цоизит (рис. 108, 114)

Химический состав: $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$.

Сингония — ромбическая.

Формы — призматический, зернистые и листоватые агрегаты.

Спайность — совершенная по (010), несовершенная по (100).

Твердость — 6.

Удельный вес — 3,25—3,36.

Цвет — серый, зеленый, иногда розовый, красный, бурый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей || (010), $\text{Ng} \perp (100)$. У цоизита с 5% Fe_2O_3 плоскость оптических осей || (001), $\text{Ng} \perp (100)$. $\text{Ng} = 1,702—1,707$; $\text{Nm} = 1,696—1,702$; $\text{Np} = 1,696—1,701$; $\text{Ng} - \text{Np} = 0,006$, (+) $2V = 30^\circ$, сильная дисперсия $r < v$. Цоизит, содержащий около 5% Fe_2O_3 (β -цоизит):

$\text{Ng} = 1,710—1,718$; $\text{Nm} = ?—1,703$; $\text{Np} = 1,700—1,705$; $\text{Ng} - \text{Np} = 0,018$. Прямое погасание, удлинение положительное и отрицательное.

Особенности в осадках. Встречается в виде призматических в той или иной степени окатанных зерен или зерен неправильной формы. Обычно бесцветный, реже — зеленоватый и буроватый. Характерны аномальные цвета интерференции (индигово-синий α -цоизит).

Распространение. Метаморфизованные магматические основные породы, гнейсы, кристаллические сланцы, скарны, кора выветривания.

В осадочных породах встречается довольно часто, обычно — совместно с эпидотом. Описан в третичных отложениях Кавказа, пермских отложениях Приуралья, среднем карбоне Донбасса и др.

Литература: См. эпидот.

Шеелит

Химический состав: CaWO_4 .

Сингония — тетрагональная.

Формы — бипирамидальный, таблитчатый.

Минералы	Анальцим	Шабазит	Томсонит	Морденит
Константы				
Ng	Изотропный	1,480 — 1,490	1,518—1,545	1,473—1,482
Nm	$n=1,489-1,479$	1,478 — 1,485	1,513—1,532	1,475—1,477
Np			1,511—1,530	1,471—1,478
Ng — Np	Оптические аномалии благодаря двойникованию	0,002 — 0,005	0,006—0,020	0,002—0,004
2V		(+) Небольшой или одноосный	(+) 47—75°	(±) Большой
Дисперсия	Анизотропны, кристаллы двусосные отрицательные	—	$r > v$ ясная	$r < v$ слабая
Твердость	5 — 5,5	4 — 5	5 — 5,5	4 — 5
Удельный вес	2,2 — 2,3	2,08 — 2,16	2,24—2,40	2,15
Цвет	В ш л и ф а х и з е р н а х			
Состав	Na [AlSi ₂ O ₈] H ₂ O	CaNa [AlSi ₂ O ₆] 6H ₂ O	Ca ₂ Na [Al ₂ Si ₂ O ₂₀] 6H ₂ O	(Ca, Na ₂ K ₂) [Al ₂ Si ₂ O ₂₂] 6H ₂ O
Сингония	Кубическая	Тригональная	Ромбическая	Моноклинная
Угасание	—	—	Прямое Ng = b	cNp = 4°

Примечание. При нагревании в запаянной пробирке минералы

Спайность — средняя по (111), несовершенная по (001) и (101).

Твердость — 4,5—5.

Удельный вес — 5,8—6,2.

Цвет — белый, серый, желтоватый, красноватый, редко зеленоватый.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. Прозрачный до просвечивающегося. Ne=1,934; No=1,918; Ne—No=0,016. Одноосный положительный, угасание прямое. Плеохроизма нет.

Особенности в осадках. Встречается в виде окатанных бипирамидальных зерен или зерен неправильной формы молочно-белого цвета. Иногда наблюдается пятнистая буро-желтая окраска.

Распространение. Гидротермальные рудные жилы, пегматиты, контакт-метасоматические месторождения.

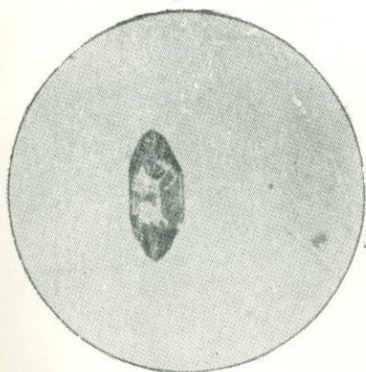
В осадочных породах минерал очень редкий. Встречается главным образом в аллювии и делювии вблизи коренных месторождений.

Литература: [14, 24, 76].

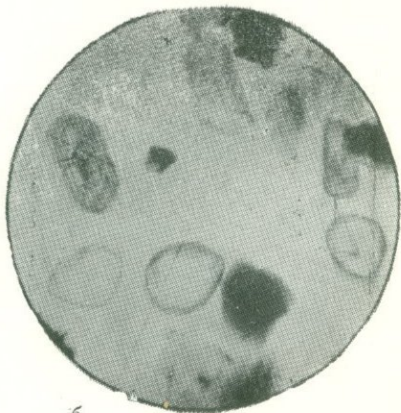
Шпинель

Химический состав: Mg Al₂O₄.

Сингония — кубическая.



a



б

Рис. 109. Циркон из среднего карбона Донбасса: *a* — циркон в тяжелой фракции; *б* — зональные кристаллы циркона, увелич. 250 при 1 никеле.

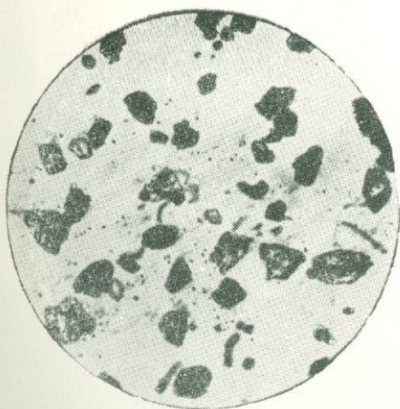


Рис. 108. Цезит — серое; лимонит и глауконит — черное, глауконитовый песок, увелич. 80 при 1 никеле (по Л. И. Карякину).

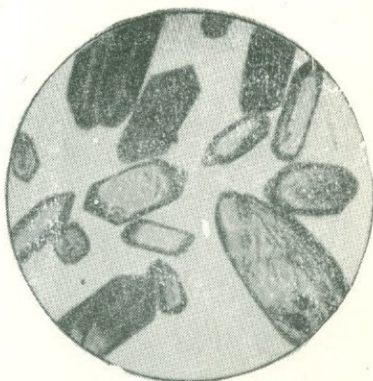


Рис. 110. Циркон, ограниченные и окатанные зерна (по С. Г. Саркисяну).

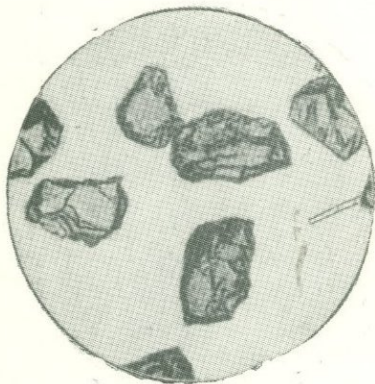


Рис. 111. Флюорит (по С. Г. Саркисяну).



Рис. 112. Янтарь (по Рейборну и Мильнеру).

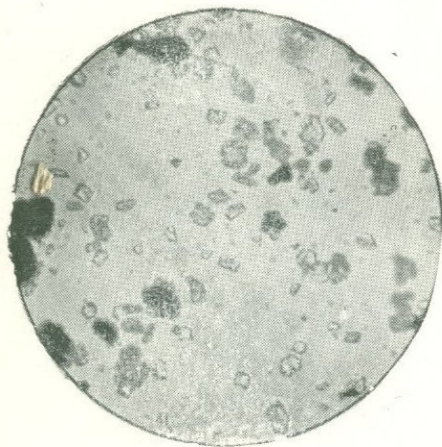


Рис. 113. Ярозит, увелич. 200 при 1 николе.



Рис. 119. Эпидот из продуктивной толщи Азербайджана, увелич. 48 (по А. Г. Алиеву).

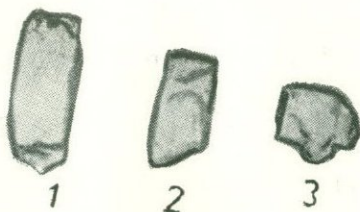


Рис. 114. Цзоизит из миоцено-
вого песка Калифорнии, уве-
лич. 45 (по Г. Б. Мильнеру)

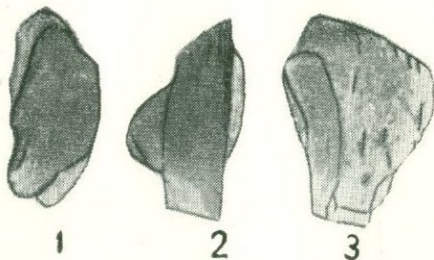


Рис. 115. Хлоритоид из современ-
ных песков Англии, увелич. 45 (по
Г. Б. Мильнеру).



Рис. 116. Плеонаст (цейлонит): 1—2 — аллювий Золотого
Берега Зап. Африки, увелич. 15; 3 — плиоцен Англии, уве-
лич. 30, Траванокоре — Индия, монацитозый песок, увелич.
25 (по Г. Б. Мильнеру).

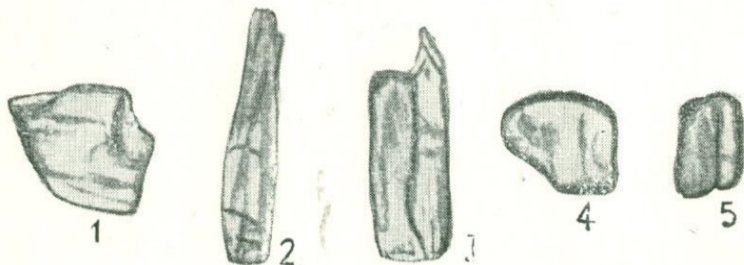


Рис. 117. Энстатит из современных песков Англии, увелич. 40
(по Г. Б. Мильнеру).

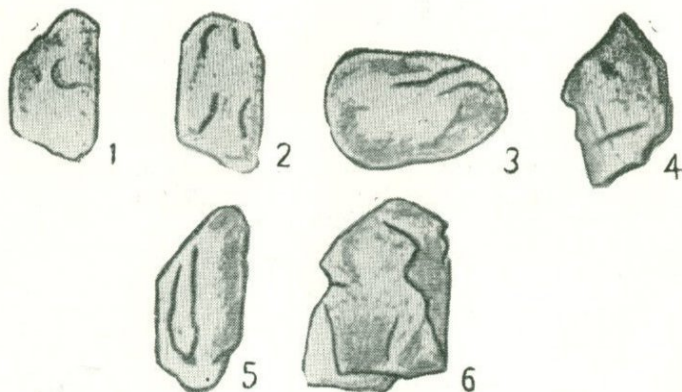


Рис. 118. Эпидот: 1—3 — береговой песок, Hornsea; 4 — береговой песок, Denbigshire; 5 — третичный песчаник из Нового Южного Уэльса; 6 — аллювий Нигерии, все увелич. 25
(по Г. Б. Мильнеру).

Натролит	Сколецит	Ломонтит	Филлипсит	Гейландит
1,485—1,493 1,476—1,482 1,473—1,480 0,011—0,013	1,519 1,518 1,512 0,008	1,516—1,525 1,514—1,524 1,504—1,513 0,011—0,012	1,510—1,500 1,497 1,493 0,003—0,010—	1,505—1,501 1,499—1,497 1,498—1,496 0,006—0,007
(+) 60—63°	(-) 36°	(-) 25—35°	(±) 60—80°	(±) 34°
$r < v$ слабая	$r < v$ ясная	$r < v$ ясная	$r < v$ слабая	$r > v$
5—5,5 2,25	5 2,3	3—4 2,23—2,41	4—4,5 2,2	3,5—4 2,2
о б ы ч н о б е с ц в е т н ы е				
Na ₂ [Al ₂ Si ₃ O ₁₀] 2H ₂ O Ромбическая Прямое Ng = c	Ca [Al ₂ Si ₃ O ₁₀] 3H ₂ O Моноклинная cNp = 15 —18°	(Ca, Na ₂) [AlSi ₂ O ₆] 4H ₂ O Моноклинная cNg = 20 —40°	[K ₂ , Ca] [Al ₂ Si ₄ O ₁₂] 4,5H ₂ O Моноклинная cNg = 10 30° ±	(Ca, Na ₂) [AlSi ₃ O ₈] ₂ 5H ₂ O Моноклинная cNp = 68—82°

вспучиваются и выделяют воду, в HCl разлагаются.

Формы — октаэдры.

Спайность — несовершенная по (011).

Твердость — 8.

Удельный вес — 3,5—3,7.

Цвет — бесцветный (редко), обычно окрашен в различные цвета: красный, розовый, зеленый, синий, фиолетовый.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Изотропен, $n = 1,713—1,726$ (до 1,750, по Ларсену).

Особенности в осадках. Встречается в виде хорошо окатанных и октаэдрических зерен, в обломках — раковистый излом.

Распространение. Известняки, измененные контактовыми процессами, скарны, кристаллические сланцы. В осадочных породах встречается довольно часто. Описан в среднем карбоне Донбасса, в третичных отложениях юго-восточного Кавказа и Грузии.

Литература: [1, 2, 11, 63, 83 и др.].

Эпидот (рис. 118, 119)

Химический состав: $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$.

Сингония — моноклинная.

Формы — призматический, зернистые агрегаты.

Спайность — совершенная по (001), несовершенная по (100).

Твердость — 6—7.

Удельный вес — 3,35—3,50.

Цвет — зеленовато-желтый, темно-зеленый, бутылочно-зеленый, бурый, в шлифе и фракциях в тонких зернах почти бесцветный.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей $\parallel$ (010), c $n_p=0-12^\circ$; n_g образует угол со спайностью по (001) равный $14-25^\circ$. $n_g=1,723-1,779$; $n_m=1,719-1,763$; $n_p=1,712-1,729$; $n_g-n_p=0,023-0,050$. У железистых разновидностей, содержащих также Mn , $n_g=1,779-1,828$; $n_m=1,772-1,788$; $n_p=1,754-1,755$; $n_g-n_p=0,049-0,072$; $(-)$ $2V=68-98^\circ$. Сильная дисперсия $r > v$ по одной оси $r < v$ — по другой. В толстых зернах плеохроичен в зеленых, зеленовато-желтых и бурых тонах ($n_m > n_g > n_p$). Удлинение положительное и отрицательное.

Особенности в осадках. Встречается в виде неправильных угловатых зерен, реже окатанных, — зеленый, бурый или почти бесцветный (в мелких зернах). Оскольчатые зерна напоминают осколки бутылки. Характерна яркая интерференционная окраска, где цвета расположены кольцами, или агрегатная. В толстых зернах — плеохроичен.

Распространение. Метаморфические породы, особенно контактные известняки, скарны, измененные магматические породы, кора выветривания. В осадочных породах встречается довольно часто. Значительные концентрации эпидота обнаружены в пермских отложениях Приуралья, триасе Донбасса, частично в юре Донбасса и Днепровско-Донецкой впадины и т. д.

Литература: [1, 2, 4, 10, 11, 26, 39, 40, 41, 52, 63, 72, 82, 83, 110 и др.]

Янтарь (рис. 112)

Химический состав: $C=78,9\%$, $H=10,5$, $O=10,5$.

Сингония — аморфный.

Формы — скопления неправильной формы.

Спайность отсутствует.

Твердость — 2,—2,5.

Удельный вес — 1,07.

Цвет — коричневый, оранжево-желтый, бледно-желтый, прозрачный и непрозрачный воскообразный.

Магнитные свойства — немагнитен.

Оптические свойства. Изотропен, $n=1,535$ (сукцинит, по Ларсену и Берману). По Винчеллу $n=1,53-1,543$, при выветривании понижается до 1,51 и 1,49.

Особенности в осадках. Встречается в виде округленных сильно исцарапанных шариков и зерен неправильной формы. Благодаря

мягкости быстро разрушается и далеко не переносится. Спутники: лигнит, кусочки бурого угля, остатки растений.

Распространение. В современных песках пляжа в Прибалтике, Германии, Англии. В третичных отложениях Украины (пески полтавского яруса, содержащие линзы бурого угля). В осадочных породах — минерал редкий.

Литература: [24, 76].

Ярозит (рис. 113)

Химический состав: $K Fe_3 (OH)_6 [SO_4]_2$ — калиевый ярозит и $NaFe_3 (OH)_6 [SO_4]_2$ — натриевый ярозит.

Сингония — тригональная.

Формы — ромбоздрические, кубовидные, кристаллы, волокнистые, зернистые агрегаты, землистые массы.

Спайность — совершенная по (0001).

Твердость — 3.

Удельный вес — 3,26.

Цвет — желтый, бурый.

Магнитные свойства — слабо магнитен.

Оптические свойства. $N_o=1,820$; $N_e=1,715$; $N_o-N_e=0,105$. Одноосный отрицательный, реже двуосный.

Натриевый ярозит: $N_o=1,832$; $N_e=1,750$; $N_o-N_e=0,082$.

Плеохроичен, N_o — золотистый или соломенно-желтый, N_e — золотисто-желтый или бесцветный.

Особенности в осадках. Ярозит — обычно аутигенный минерал осадочных пород. Встречается главным образом в глинистых породах, содержащих сульфиды железа, и возникает в результате выветривания. Встречается в виде налетов, примазок, корочек и т. п. Легко тускнеет и переходит в лимонит.

Как кластический минерал неизвестен. Легко растворяется в HCl, поэтому редко описывается.

Распространение. Встречается в зоне окисления сульфидных месторождений, в коре выветривания. В осадочных породах присутствует главным образом как аутигенный минерал. Наблюдается в глинистых породах, содержащих сульфиды железа.

Описан в менелитовых сланцах Карпат, в третичных отложениях Кавказа и многих других.

Литература: [1, 2, 4, 11, 17, 28, 29, 30, 83, 102 и др.].

ЛИТЕРАТУРА¹

1. Авдусин П. П. Грязевые вулканы Крымско-Кавказской петрографической провинции. Петрографические исследования. Изд-во АН СССР, 1948.
2. Алиев А. Г. Петрография третичных отложений Азербайджана. Азнефть-издат, 1949.
3. Алиев А. Г., Даидбекова Э. А., Ибрагимова Б. М. Включения и морфологические особенности дистена в третичных отложениях Азербайджана. Докл. АН Аз.ССР, т. VIII, № 7, 1952.
4. Алиев А. Г., Даидбекова Э. А. Осадочные породы Азербайджана. Изд-во АН Аз. ССР, 1955.
5. Аншелес О. М. Микроскопическое исследование глин, песков и бокситов б. Череповецкой губ. Изв. Геолкома, т. 46, № 2, 1927.
6. Аншелес О. М. Микроскопическое исследование юрских и меловых отложений Урало-Эмбенского нефтеносного района. Вестник Геолкома, № 8—9, 1927.
7. Аншелес О. М., Татарский В. Б. Регенерация полевых шпатов в девонских песках. Изв. ГГРУ, т. 50, вып. 2, 1931.
8. Батулин В. Н. Альбитизация некоторых осадочных пород района Военно-Грузинской дороги. Изв. Геолкома, № 1, 1928.
9. Батулин В. Н. Справочное руководство по петрографии осадочных пород, ОНТИ, 1932.
10. Батулин В. П. К литологии Кузнёцкого бассейна. Труды ЦНИГРИ, вып. 55, 1935.
11. Батулин В. П. Палеогеография по терригенным компонентам. Баку, Азнефтьиздат, 1937.
12. Батулин В. П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. Изд-во АН СССР, 1947.
13. Белянкин Д. С. и Петров В. П. Кристаллооптика. М., Госгеол-издат, 1951.
14. Бетехтин А. Г. Минералогия, Госгеолиздат, 1950.
15. Берч Ф., Шерер Д. и Спайсер Г. Справочник для геолога по физическим константам. М., Изд-во иностр. лит., 1949.
16. Бонштедт-Куплетская Э. М. Определение удельного веса минералов. М., Изд-во АН СССР, 1951.
17. Бобровник Д. П. Ярозит Прикарпатья. Мин. сб. Львов. геол. о-ва, № 5, 1951.
18. Болдырева А. М. К описанию песчаников карбона и девона Донецкого бассейна. Материалы ЦНИГРИ. Петрография и Минералогия, сб. 2, 1922.
19. Болдырева А. М. Сравнительное изучение песчаников карбона свиты C_2^4 и C_2^5 Шахтинского района (Донбасс). Зап. Всес. Мин. о-ва, вып. 1, 1938.
20. Болдырева А. М. Аутигенный анальцит в верхнепермских отложениях Чкаловской и Актюбинской областей. Зап. Всес. Мин. о-ва, вып. 4, 1953.

¹ В списке литературы помещены статьи и монографии, на которые имеются ссылки. Библиографию русских и советских работ по методам исследования и минералогии осадочных пород см. в работах под № 72, 86, иностранных — под № 72, 95, настоящего списка.

21. Бушинский Г. И. Условия накопления сидеритов, вивернитов и бурых железняков в болотах Белоруссии. БМОИП, отд. геол., т. 21, вып. 3, 1946.
22. Бушинский Г. И. Литология меловых отложений Днепровско-Донецкой впадины. Тр. ИГН АН СССР, вып. 156, 1954.
23. Викулова М. Ф. Определение минералогического состава частиц глин d менее 0,001 мм с помощью иммерсионных жидкостей. Сб. Кора выветривания, вып. 1, ИГН АН СССР, 1952.
24. Винчелл А. Н. и Винчелл Г. Оптическая минералогия. М., Изд-во иностр. лит., 1953.
25. Веденеева Н. Е. и Викулова М. Ф. Метод исследования глинистых минералов с помощью красителей и его применение в литологии. М., Госгеолиздат, 1952.
26. Вартанова Н. С. Сравнительная минералогическая характеристика карбона центральной части Львовско-Волынской впадины. Вопросы минералогии осадочных образований. Книга 1-ая. Изд-во ЛГУ, 1954.
27. Вистеллиус А. Б. О необходимом числе зерен, подсчитываемых при иммерсии. Зап. Всес. Мин. о-ва, вып. 3, 1951.
28. Вишняков С. Г. Минералогическое исследование меловых и юрских отложений Урало-Эмбенского нефтеносного района. Изв. Геолкома, т. 48, № 4, 1929.
29. Вишняков С. Г. Количественный минералогический подсчет песчаных образований Урало-Эмбенского нефтеносного района. Зап. Рос. Мин. о-ва, № 1, 1930.
30. Гинзбург И. И. и Рукавишникова И. А. Минералы древней коры выветривания Урала. Изд-во АН СССР, 1951.
31. Глинка К. Д. Глауконит и его происхождение, химический состав и характер выветривания. СПб, 1896.
32. Горбунова Л. И. Глаукониты юрских и меловых отложений центральной части Русской платформы. Тр. ИГН АН СССР, вып. 114, геол. сер. (№ 40), 1956.
33. Грум-Гржимайло С. В. Наблюдение адсорбции мелкокораздробленных минералов под микроскопом. Минеральное сырье, № 8—9, 1936.
34. Грум-Гржимайло С. В. Метод быстрого обнаружения некоторых редкоземельных минералов. Сов. Геология, № 8, 1940.
35. Грум-Гржимайло С. В. Исследование сплавов пеперинов с иодидами. К методике кристаллооптических и петрографических исследований. Сб. статей по иммерсионному методу. Тр. Ин-та Прикладной Минералогии, вып. 61, 1934.
36. Зильберминц В. А. и Маслов В. П. К литологии каменноугольных известняков Донецкого бассейна. Тр. Ин-та Прикладной Минералогии и Металлургии, № 29, 1926.
37. Казаков А. В. Химическая природа фосфатного вещества фосфоритов и их генезис. Тр. н.-и. Ин-та по удобрениям и инсектофунгидам им. Я. В. Самойлова, вып. 139, 1937.
38. Карпинский А. П. О происхождении накоплений плавикового шпата в отложениях московского яруса каменноугольной системы и некоторых других геологических явлениях. Изв. АН СССР, № 15, 1916.
39. Карпова Г. В. Песчаник с роговой обманкой в угленосной толще средней юры Донбасса. Докл. АН СССР, т. 36, № 6, 1952.
40. Канский Н. Е. Литология и палеогеография юрских отложений северо-западной части Донбасса. Автореферат диссертации. Изд-во ХГУ, 1955.
41. Карякин Л. И. Минералогический состав песков побережья Азовского моря между косами Бердянской и Обиточной. Мин. сб. Львов. геол. о-ва, № 2, 1948.
42. Карякин Л. И. Минералогический состав песков харьковского яруса в пределах УССР и их генезис. Зап. Всес. Мин. о-ва, № 3, 1951.
43. Князев В. С. Некоторые данные о характере обломочного кварца в породах продуктивной толщи Азербайджанской ССР и ряда других отложений. Изв. АН СССР, сер. геол., № 4, 1951.

44. Кленова М. В. Геология моря. М., Учпедгиз, 1948.
45. Кобилев А. Г. Литологическая характеристика свит C_4^1 — C_5^1 юго-восточного сектора Б. Донбасса. Мат. по геол. и полезн. ископаемым Азово-Черноморского Геолуправления, сб. № 6, 1938.
46. Коперина В. В. К вопросу об единой методике минералогического анализа терригенной части осадочных пород. Сб. К вопросу о состоянии науки об осадочных породах. М., Изд-во АН СССР, 1951.
47. Коссовская А. Г. Литолого-минералогическая характеристика и условия образования глин продуктивной толщи Азербайджана. Тр. ИГН АН СССР, вып. 153, 1954.
48. Копченова Е. В. Минералогический анализ шлихов. Госгеолиздат, 1951.
49. Комовский Г. и Аболенский Ф. Люминесценция минералов и аппаратура для ее исследования. Проблемы сов. геологии, № 4, 1938.
50. Комовский Г., Солодовкин С. и Ложникова О. Опыт химической обработки нелюминесцирующих минералов. Изв. АН СССР, сер. физ., т. IX, № 4—5, 1945.
51. Коробцова М. С. О каменной соли из Калужского месторождения в Прикарпатье. Мин. об. Львов. геол. о-ва, № 1, 1947.
52. Крашенинникова О. В. Некоторые данные о микропетрографической корреляции кайнозойских отложений Днепровско-Донецкой впадины и смежных районов. Тр. науч. геол. совещ. по нефти, озокериту и горючим газам Укр. ССР. Изд-во АН УССР, 1949.
53. Кротов Б. П. Классификация и номенклатура минералов окиси и гидратов окиси железа. Железорудные месторождения Алапаевского типа, т. 2, АН СССР, СОПС, сер. Уральская, вып. 4, 1936.
54. Крылова Н. Оптические свойства гумусовых углей и метод определения степени углефикации по показателям преломления. Зап. Всес. Мин. о-ва, вып. 1, 1954.
55. Лазаренко Е. К. О гидрослюдах глинистых образований. Мин. сб. Львов. геол. о-ва, № 3, 1949.
56. Ларсен Е. и Берман Г. Определение прозрачных минералов под микроскопом, ОНТИ, 1937.
57. Леммлейн Г. Г. и Князев В. С. Опыт изучения обломочного кварца. Изв. АН СССР, сер. геол., № 4, 1951.
58. Лепешков И. Н. Калийные соли Волго-Эмбы и Прикарпатье. Изд-во АН СССР, 1946.
59. Логвиненко Н. В. Некоторые закономерности процесса осадконакопления в среднем и верхнем карбоне северо-востока Донбасса. Изв. АН СССР, сер. геол., № 5, 1945.
60. Логвиненко Н. В. Кварцин в каменноугольных породах Донецкого бассейна. Зап. Мин. о-ва, № 4, 1947.
61. Логвиненко Н. В. Аллотигенные минералы продуктивной толщи Донецкого карбона. Мин. сб. Львов. геол. о-ва, № 3, 1949.
62. Логвиненко Н. В. и Каплан Б. Я. К петрографии доломитов Бахмутской котловины (Донбасс). Докл. АН СССР, т. 90, № 2, 1953.
63. Логвиненко Н. В. Литология и палеогеография продуктивной толщи Донецкого карбона. Х., Изд-во ХГУ, 1953, Библиография — 602 названия.
64. Логвиненко Н. В. и Заболотная Н. К. Диагностика карбонатных минералов методом окрашивания. Зап. Всес. Мин. о-ва, № 3, 1954.
65. Лодочников В. Н. Основы кристаллооптики. Госгеолиздат, 1947.
66. Луцкий П. И. О находках вулканического пепла в четвертичных отложениях сев. окраины Донбасса. Зап. харьк. сельхоз. ин-та им. Докучаева, т. V (42), 1946.
67. Лучицкий В. И. Типы гиббситовых бокситов и их генетические взаимоотношения. Вопросы минералогии, петрографии и геохимии. Изд-во АН СССР, 1946.
68. Маслов В. Н. Некоторые данные о минералогическом составе отложений дна Черного моря. БМОИП, т. 37, 1929.

69. Меланхолин Н. Нагревательный столик с микрорефрактометром для иммерсионного метода двойной вариации. Тр. Ин-та Прикладной Минералогии, вып. 61, 1934.

70. Миropольский Л. М. К генезису целестина в пермских отложениях окрестностей Казани и северо-востока России. Тр. о-ва исп. природы при Гос. Казан. университете, т. 51, вып. 4, 1926.

71. Миropольский Л. М. Гипс и ангидрит в пермских отложениях Татарской АССР. Уч. зап. Гос. Казан. университета, т. 105, кн. 2, Геология, вып. 15, 1945.

72. Мильнер Г. Б. Петрография осадочных пород. ОНТИ, 1936. Библиография работ по осадочным породам, гл. обр. на английском языке, около 300 названий. В приложении дана библиография русских и советских работ — 314 названий.

73. Петров В. П. Геолого-минералогические исследования уральских белых глин и некоторые выводы по минералогии и генезису глин вообще. Тр. ИГН АН СССР, вып. 95, петрографич. сер. (№ 29), 1948.

74. Православлев Н. и Аншелес О. М. Вулканический пепел из лёссовидных суглинков правого берега р. Кубани около ст. Темижбекской. Тр. Лен. о-ва естествоисп., т. 60, вып. 1, 1930.

75. Преображенский И. А. и Саркисян С. Г. Минералы осадочных пород. Гостехиздат, 1954.

76. Рейборн К. и Мильнер Г. Поиски и разведка аллювиальных месторождений. ОНТИ, 1933.

77. Ренгартен Н. В. Фосфориты из датских и палеоценовых отложений восточного склона Урала. Докл. АН СССР, т. 62, № 6, 1946.

78. Ренгартен Н. В. Минералого-петрографическое исследование меловых и палеоценовых отложений восточного склона Урала. Тр. ИГН АН СССР, вып. 117, геол.-геогр. сер. (№ 41), 1950.

79. Роде Е. Я. Физико-химические исследования уральских железных руд Железорудные месторождения Алапаевского типа, т. 2, АН СССР, СОПС, сер. Уральская, вып. 4, 1936.

80. Савич-Заблочкий К. Н. Ильменитовые пески северного побережья Азовского моря. Зап. Всес. Мин. о-ва, № 2, 1931.

81. Саркисян С. Г. Эгирин в четвертичных отложениях Московской области. Докл. АН СССР, т. 43, вып. 6, 1944.

82. Саркисян С. Г. Петрографо-минералогические исследования верхнепермских и триасовых пестроцветных отложений Приуралья. Изд-во АН СССР, 1949.

83. Саркисян С. Г. и Шаповалова Г. А. Петрография майкопских и сарматских отложений восточной Грузии и палеогеография времени их образования. Изд-во АН СССР, 1952.

84. Седлецкий И. Д. Коллоидно-дисперсная минералогия. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1945.

85. Совещание по осадочным породам. Вып. 1 (доклады), Изд-во АН СССР, 1952.

86. Совещание по осадочным породам. Вып. 2 (доклады), Изд-во АН СССР, библиография советских работ — около 2000 названий, 1955.

87. Сергеев А. О нахождении ратовкита под Москвой. Изв. АН, 1912.

88. Соболев В. С. Федоровский метод. Госгеолиздат, 1954.

89. Соколовский А. Н. К вопросу о структуре песков. Геол. ж. АН УССР, т. 8, вып. 2, 1946; т. 9, вып. 1—2, 1948.

90. Страхов Н. М. и др. Образование осадков в современных водоемах. Сб. АН СССР, 1954.

91. Султанов А. Д. Литология продуктивной толщи Азербайджана. АН Аз.ССР, 1949.

92. Сябряй В. Т. Вторичные каолины и углистые глины Днепровского бурогоугольного бассейна. Изд-во АН УССР, 1948.

93. Татарский В. Б. Микроскопические определения карбонатов группы кальцита и арагонита. Библиография — 48 названий. Гостехиздат, 1955.

94. Татарский В. Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод определения вещества. Изд-во ЛГУ, 1949.
95. Твенгофелл У. Х. Учение об образовании осадков. ОНТИ, 1936.
- Общая библиография иностранных работ.
96. Терентьева К. Ф., Петровская А. Н. и Сыромятников Ф. В. К методике минералогического анализа терригенной части осадочных горных пород. Сб. статей по методике. Тр. ВИМСа, вып. 158, 1940.
97. Теодорович Г. А. Литология карбонатных пород палеозоя Урало-Волжской области. Изд-во АН СССР, 1950.
98. Фурман Е. П. О минералах, выполняющих внутренние полости фосфоритовых конкреций Подолы. Мин. сб. Львов. геол. о-ва, № 7, 1953.
99. Чирвинский В. Н. Химические и минералогические исследования подольских фосфоритов. Зап. Киев. о-ва естествоисп., т. 20, вып. 3, 1907.
100. Чирвинский П. Н. Петрографическое исследование темных песков с северного побережья Азовского моря. Зап. Рос. Мин. о-ва, вып. 1, 1925.
101. Чуева М. Н. Практическое руководство по разделению в тяжелых жидкостях и солях. Госгеолиздат, 1954.
102. Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. Изд-во АН СССР, 1955.
103. Шаповалова Г. А. Петрографическое исследование спириферовых отложений юго-восточной Татарии. М., Изд-во АН СССР, 1951.
104. Швецов М. С. Петрография осадочных пород, Л., Госгеолиздат, 1948.
105. Швецов М. С. Геологическая история центральной части Русской платформы в нижне- и среднекаменноугольную эпоху. ВНИГРИ, Гостоптехиздат, 1954.
106. Шугов В. Д. Обломочные полевые шпаты продуктивной толщи Азербайджана и их палеогеографическое значение. Автореферат диссертации, ИГН АН СССР, 1952.
107. Andre K. *Geologie des Meersbodens*. Leipzig, 1920.
108. Allen V. Weathering and heavy minerals *Journ. Sediment. Petrology*, v. 18, № 1, 1948.
109. Boswell P. G. H. On the Distribution of Purple Zircon in British Sedimentary Rocks. *Min. Mag.*, v. XXI, 1927, p. 310/317.
110. Boswell P. G. H. On the Mineralogy of Sedimentary Rocks, London, 1933.
111. Brammali A. Dartmoor detritals. A study in Provenance. *Proc. Geol. Ass.*, v. 39, 1928, p. 27/48.
112. Brammali A., Harwood H. F. The occurrences of rutile, brookite and anatase on Dartmoor. *Min. Mag.*, v. 20, 1923, p. 20.
113. Cayeux L. *L'etude petrographique des roches sedimentaires*, Paris, 2 vols, 1916.
114. Doelter C. *Handbuch der Mineralchemie*, B. 1 u 2, Drezden—Leipzig, 1905—1915.
115. Dryden A. L. and Dryden Cl. Comparative roles of weathering of Somma common heavy minerals. *Journ. Sediment. Petrology*, v. 16, № 3, 1946.
116. Drosdoff N. and Troug. A method for removing ironoxide coatings from minerals *Am. Min.*, v. 20, № 9, 1935, p. 669/677.
117. Hoehne K. Zur Ausbildung und Genese der Kohlen von Steine in Ruhrcarbon. *Chem. Erde*, 17, № 1, 1954, p. 6/28.
118. Hutton C. O. Heavy detrital minerals. *Bull. Geol. Soc. Am.*, v. 61, № 7, 1950.
119. Fleet W. F. Detritals Minerals in Rocks of English Midlands. *Geol. Mag.*, v. 62, 1925, p. 98.
120. Frank A. J. Petrology of the Pennsylvanian cycles of the Saint—Louis Area. *Journ. of Sediment. Petrology*, v. 14, 1944, p. 29/38.
121. Krumbein N. C. and Pettijohn F. J. *Manual of Sedimentary Petrography*, London, № 9, 1938.
122. Leith C. *Journ. of Sedimentary Petrology*, v. 20, № 3, 1950.
123. Mackie W. The Source of the purple zircons in the Sedimentary rocks of Scotland. *Trans. Edinburg. Geol. Soc.*, v. 11, 1923, p. 200/213.

124. Meyrovitz R. and Larsen E. *Journ. Am. Mineralogist*, v. 36, 1951, p. 446/452.
125. Meyrovitz R. *Journ. Am. Mineralogist*, v. 37, 1952, p. 353.
126. Milner H. B. The Study and correlation of sediment. by petrographic Methods, *Min. Mag.*, v. 28, 1923, p. 80/92.
127. Pettijohn F. J. *Sedimentary Rocks*, N. J., 1949.
128. Spencer E. Albite in limestone from Bengal, *Min. Mag.*, v. 20, 1925, p. 365.
129. Sherman G. Donald, Kanehiro Joshinori. Original development of ferruginous concretions in Hawaiian latosoles. *Soil Sci.*, v. 77, № 1, 1954.
130. Shukri N. M., Higazy R. A. The Mineralogy of Some Bottom deposits of the Northern Red Sea. *Journ. of Sediment. Petrology*, v. 14, № 2, 1944.
131. Swineford A., Frye J. C. Petrographic comparison of Some loess samples from Western Europe with Kansas loess. *Journ. of Sediment. Petrology*, v. 25, № 1, 1955.
132. Versey H. G. The Petrography of the Permian Rocks in the Southern part of the vale of Eden. *The. Quart. Journr. Geol. Soc. of. London*, v. 45, patr 3, 1935, p. 275.

Дополнение к списку литературы (для II издания).

133. Бергман Л. Ультразвук и его применение в технике. Изд-во иностр. лит., 1956.
134. Вахрамеева В. А. Метод комбинированного определения соляных минералов. Труды ВНИИ Галургии, т. 29, 1954.
135. Кожич-Зеленко М. П. Литология каменноугольных пород Ромен и северо-западной окраины Донбасса. Труды ИГН АН УССР, 1941.
136. Кожич-Зеленко М. П. К вопросу о пестроцветных отложениях нижней части мезозоя и верхнего палеозоя Днепровско-Донецкой впадины. *Геол. ж. АН УССР*, т. 11, вып. 1, 1951.
137. Кожич-Зеленко М. П. К литологии каменноугольных отложений северного сектора Большого Донбасса. *Геол. ж. АН УССР*, т. 13, вып. 3, 1953.
138. Методы изучения осадочных пород. Под ред. Страхова. Госгеолтехиздат, 1957.
139. Наковник Н. И. Иммерсионный метод в применении к петрографическим шлифам. Госгеолнефтьиздат, 1948.
140. Татарский В. Б. Определение номера плагиоклаза иммерсионным методом ЗВМО. Вып. 2, 1956.
141. Черкасов Ю. А. Применение «фокального экранирования» при измерении показателей преломления иммерсионным методом. В сб. «Современные методы минералогического исследования горных пород, руд и минералов». Под ред. Е. В. Рожковой, ВИС Госгеолтехиздат, 1957.
142. Шутов В. Д. Новый метод изучения обломочных полевых шпатов в терригенных породах. Вопросы минералогии осадочных образований, книга 3 и 4-ая, Львов, Изд-во Львовского госуниверситета, 1956.
143. Millot G., Neisette G. Essai de dispersion des roches argileuses par les ultra sons. *Compt. Rend.*, 227, 974, 1948.
144. Wetzel W. Ultraschall—Aufbereitung von Gesteinsproben. *Edöl und Kohle*, 3, 212, 1950.
145. P. H. Monaghan and Melba A. Lytle the origin of calcareas ooliths. *Journ. of Sediment. Petrology*, v. 26, № 2, 1956.
146. I. F. Lerbekmo. Authigenic montmorillonoid cement in andesitic sandstones of central Colifornia. *Journ. of. Sediment. Petrology*, v. 27, № 3, 1957.

УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ

Авгит	105, 113	Гастингсит	111
Актинолит	110	Гейландит	194
Аксинит	106	Гематит	126
Аллофан	131	Гетит	126
Алмаз	106	Геденбергит	113
Алунит	107	Гидраргиллит (гипссит)	127
Альбит	108, 164	Гидрослюда	127, 132
Альбит-олигоклаз	108, 164	Гидромусковит	132
Альмандин	108, 136, 135	Гидробиотит	132
Амезит	189	Гиперстен	112
Амфиболы и пироксены	109	Гипс	128, 88
Анатаз	114	Глауконит	129, 133
Ангидрит	115, 91	Глаукофан	111
Андалузит	116	Глазерит	88
Анальцим	117, 193	Глауберит	89
Анкерит	143	Глинистые минералы	130
Анортоклаз	165	Гексагидрит	89
Антофиллит	110	Гессонит	135
Андрадит	117, 137, 135	Гриналит	136
Андезин	164	Гроссуляр	136, 137, 135
Анортит	118, 165	Графит	137
Апатит	118, 185	Группа гидрослюд	132, 133
Арагонит	119, 144	Группа граната	135
Арфведсонит	111	Группа кальцита	143, 144
Астраханит	88	Группа каолинита	131
Афросидерит	189	Группа монтмориллонита	134
Барит	120	Группа полевых шпатов	162, 164, 165
Баркевикит	111	Группа пироксенов	109, 110, 111
Базальтическая роговая обманка	111	Группа амфиболов	109, 112, 113
Берилл	121	Группа слюд	174, 175, 176
Бейделлит	134	Группа фосфатов	184, 185
Биотит	121, 176	Группа хлоритов	187, 188, 189
Битовнит	165	Группа цеолитов	191, 193, 194
Божицкит	185	Даллит (подолит)	185
Брейнерит	144	Диаспор	138
Браммалит	133	Дистен (кианит)	139
Бронзит	112	Диксит	131
Брукит	122	Делессит	188
Везувиан	123	Диопсид	113
Витерит	142	Доломит	139, 143
Вивианит	185	Дюмортьерит	140
Волластонит	123	Жадеит	113
Вулканическое стекло	124	Иваарит	135
Галенит	125	Иллит	132
Галит	125, 85	Ильменит	141
Галлуазит	131	Каинит	91
		Карналлит	91

Кальцит	143	Пикотит	189
Каменный уголь	144	Пирит	170
Каолинит	145, 131	Пирротин	171
Касситерит	146	Пироп	136, 135
Кварц	147	Пирофиллит	171
Кварцин	147	Пиросульфид	172
Квасцы	148	Плеонаст (цейлонит)	172
Кизерит	91	Полигалит	89
Клиноцоизит	149	Прохлорит	188
Клинохлор	188	Репидолит	189
Клиноэзистатит	112	Рибекит	111
Клиногиперстен	112	Роговая обманка	173, 110
Корундофиллит	188	Родохрозит	144
Коллофан	185	Родолит	135
Корунд	149	Рутил	173
Кордиерит	150	Санидин	165
Ксенотим	150	Сепиолит	134
Курскит	185	Серпентин (антигорит, хризотил)	175
Куммингтонит	110	Селадонит	133
Лабрадор	164	Сидерит	177, 144
Лангбейнит	85	Силлиманит	177
Лейцит	151	Сильвин	178, 85
Лепидомелан	176	Сидерофиллит	176
Лепидокрокит	151	Сингенит	89
Лепидолит	175	Сколит	133
Леонит	88	Сколецит	194
Лейкоксен	152	Спессартин	178, 137, 135
Лимонит	152	Сподумен	179
Ломонит	194	Ставролит	179
Магnezит	153, 144	Стронцианит	142
Магнетит	154	Сфен (титанит)	180
Марказит	154	Сфалерит	181
Малахит	155	Тенардит	88
Меланит	135	Томсонит	193
Мирабилит	88	Тюрингит	189
Микроклин	155, 165	Топаз	181
Монацит	156	Тремолит	110
Монотермит	133	Турмалин	182
Морденит (птилолит)	156, 193	Тальк	183
Монтмориллонит	157, 134	Уваровит	137, 105
Мусковит	158, 175	Франколит	185
Накрит	131	Ферродоломит	142, 143
Натролит	194	Филлипсит	194
Нефелин	158	Флюорит	183
Нонтронит	134	Флогопит	176
Обломки горных пород	160, 161, 162, 163	Халькозин	186
Оксикерченит	185	Халькопирит	186
Олигоклаз	164	Халцедон	184
Оливин	159	Хлорит (пеннин, клинохлор, ша- мозит, тюрингит)	188, 189
Опал	159	Хлоритонд	187
Ортоклаз	160, 165	Хромит	190
Параанкерит	142, 143	Целестин	191
Парагонит	175	Цельзиан	165
Парагасит	110	Церуссит	142
Пальгорскит	134	Циркон	191
Пеннин	188	Цоизит	193
Пижонит	112	Шамозит	189
Пистомезит	144	Шабазит	193

Шеелит	195
Шенит	89
Шорломит	135
Шпинель	195
Эгирии (акмит)	113

Энстатит	11
Эпсомит	85
Эпидот	190
Янтарь	197
Ярозит	19

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
88	2—3 сверху	$Nm=1,488;$ $Np=1,881-1,486)$	$Nm=1,483-1,488;$ $Np=1,481-1,486)$
89	18 "	$Ng=1,667$	$Ng=1,567$
100	10 снизу	$1,0-1,5 мм;$	$1-0,5 мм;$
110	7-я графа	$1,665-1,711$	$1,647-1,711$
111	6-я графа	$1,643-1,695$	$1,693-1,695$
150	20 сверху	$Ng=1,527-1,573$	$Ng=1,537-1,573$
180	2 "	$(-) 2V=80-90^{\circ}$	$(+) 2V=80-90^{\circ}$
182	19 "	$2,28-3,30$	$2,98-3,30$

Н. В. Логвиненко. Основы методики исследования осадочных пород.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие ко второму изданию	3
От автора	4
I. Подготовка породы к анализу	5
II. Разделение в тяжелой жидкости	10
III. Разделение минералов по магнитным свойствам	17
III. Разделение минералов по магнитным свойствам	21
IV. Определение минералов в иммерсии	26
1. Порядок работы	66
2. Подсчет	68
3. Изображение результатов анализов	70
4. Изучение типоморфных особенностей минералов	74
5. Изучение глинистых частиц под микроскопом	77
6. Капельный метод	80
7. Изучение глинистых минералов с помощью органических красителей	81
8. Диагностика карбонатных минералов методом окрашивания	85
9. Определение минералов соляных месторождений в капле воды	92
V. Описание шлифов	105
VI. Описание минералов	198
Литература	204
Указатель минералов	

Николай Васильевич Логвиненко

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Редактор *А. С. Нестеренко*
Техредактор *Ю. Ю. Семашко*
Корректоры *Р. Е. Дорф, Л. И. Качанова*

Сдано в набор 18/II 1961 г. Подписано к печати 30/III 1962 г. БЦ 03953.
Формат бумаги 60×92¹/₁₆. Объем: 6,5 бум. л.+24 вкл., 13 печ. л.+24 вкл.
11,1 уч.-изд. л.+3 печ. л. вкл.+24 л. вкл. Тир. 3000. Зак. 548. Цена 86 коп.

Типография Изд-ва Харьковского государственного университета
имени А. М. Горького, г. Харьков, Университетская, 16.

Цена 86 коп.

13462