

**О.Н. Белоусова, В.В. Михина**

# **Общий курс петрографии**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 91  
ББК 26.8  
О-11

**О.Н. Белоусова**  
О-11 **Общий курс петрографии / О.Н. Белоусова, В.В. Михина – М.: Книга по Требованию, 2024. – 348 с.**

**ISBN 978-5-458-45069-0**

В книге излагаются основы петрографии горных пород. Даются общие понятия о горных породах, методах их изучения, сообщаются краткие сведения из истории развития петрографии. Излагается материал по кристаллооптике в объеме, необходимом для применения кристаллооптического метода при изучении минералов и горных пород с помощью поляризационного микроскопа. Описываются главные типы пород, отмечается зависимость их физико-механических свойств от состава и строения. В заключение даются методические рекомендации к петрографическому описанию пород. Книга представляет собой учебное пособие для студентов геологических специальностей вузов.

**ISBN 978-5-458-45069-0**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

[www.samizday.ru/reprint](http://www.samizday.ru/reprint)



## ВВЕДЕНИЕ

*Петрография (петрология)*— наука геологического цикла, в задачу которой входит всестороннее изучение горных пород.

Под названием «*горная порода*» понимается природный минеральный агрегат более или менее определенного состава и строения, являющийся продуктом геологических процессов и образующий в земной коре самостоятельные тела.

В зависимости от условий формирования горные породы делятся на три генетические группы: 1) магматические породы, образовавшиеся в процессе кристаллизации сложного природного силикатного расплава—магмы; 2) осадочные породы, возникшие в поверхностных экзогенных условиях за счет продуктов разрушения любых других пород, и 3) метаморфические породы, являющиеся продуктом перекристаллизации и приспособления пород любого генезиса к изменившимся в пределах земной коры физико-химическим условиям.

Несмотря на специфику геологической обстановки, в которой образуются различные генетические типы пород, все породы взаимосвязаны переходными разностями, стирающими четкие границы между ними. Магматические и осадочные горные породы имеют промежуточную группу вулканогенно-обломочных пород. И магматические и осадочные горные породы могут быть в разной степени метаморфизованы, причем в определенных термодинамических условиях метаморфизм может привести к расплавлению пород и возрождению магмы, завершая этим круговорот материи Земли.

Практическое значение горных пород велико. С горными породами генетически связано большинство полезных ископаемых—железо и платина, золото и полиметаллы, драгоценные камни и редкоземельные элементы. Горные породы являются месторождением различных полезных ископаемых как рудных, так и нерудных, питьевых и минеральных вод, нефти и газа. Нередко горные породы сами являются объектом эксплуатации, как, например, апатиты и фосфориты, бокситы и соли, поделочные и строительные камни. И, наконец, горные породы в их естественном залегании

служат основанием для гидротехнических, промышленных или других сооружений. Поэтому специалисты инженерно-геологического, гидрогеологического и геофизического профилей должны знать не только физико-механические свойства пород, но и понимать, чем они обусловлены, а для этого надо уметь определять состав горной породы, ее строение, условия залегания и образования, т. е. знать основы петрографии, что и является задачей настоящего курса.

Петрография тесно связана с минералогией, общей геологией, стратиграфией, геотектоникой и учением о месторождениях полезных ископаемых. Многие петрографические вопросы не могут быть решены без знания химии, физики, физической химии, термодинамики и других точных наук.

**Методы изучения горных пород.** Изучение горных пород включает полевые и лабораторные исследования.

В процессе полевых исследований выясняется геологическая обстановка формирования пород, условия их залегания, морфология слагаемых ими тел, макроскопическая характеристика минерального состава и строения пород. Комплекс применяемых лабораторных методов зависит от свойств изучаемой породы и тех задач, которые стоят перед исследователем. Современные лабораторные методы исследования горных пород чрезвычайно разнообразны и, как правило, требуют для их выполнения специальной подготовки.

Универсальным методом исследования горных пород является изучение их в шлифах под микроскопом. Для большинства горных пород этот метод позволяет быстро и достаточно точно определять минеральный состав породы, детали ее строения, характер и степень вторичных изменений и ряд других особенностей. Для точного определения констант минералов применяются федоровский метод, иммерсионный метод и др.

При изучении вещественного состава горных пород широко используется химический анализ, значение которого особенно велико для скрытокристаллических, стекловатых и тонкодисперсных пород. Для некоторых осадочных пород необходим гранулометрический анализ в сочетании с минералогическими определениями. В настоящее время все большее развитие получают термический, спектральный, рентгеноструктурный, радиологический и другие методы исследования.

Существует обширный комплекс специальных методов по изучению физико-механических свойств горных пород — их твердости, пористости, деформируемости, устойчивости к выветриванию, магнитности, электрического сопротивления и т. п., имеющих особое значение при инженерно-геологических, гидрогеологических и геофизических исследованиях.

**Некоторые сведения из истории развития петрографии.** В качестве самостоятельной ветви геологических знаний петрография начала обособляться с середины XIX в., с момента введения в

практику исследования горных пород поляризационного микроскопа.

Микроскопическое изучение горных пород широко раздвинуло рамки исследований и послужило толчком к интенсивному изучению их состава и строения. Этот период принято называть *описательным (физиографическим)* направлением в петрографии. Первый учебник петрографии был составлен в 1866 г. немецким ученым Ф. Циркелем. В России впервые петрографические описания пород с применением микроскопа были опубликованы в 1867 г. А. А. Иностранцевым и И. Блюммелем, затем в 1869 г. — А. К. Карпинским. В 1923 г. в Германии появилась капитальная работа Г. Розенбуша, заложившая основы систематики горных пород.

Параллельно совершенствовались методы *кристаллооптических исследований*, в развитие которых большой вклад внес Е. С. Федоров (1891), разработавший оригинальную методику определения оптических констант породообразующих минералов с помощью сконструированного им прибора, названного федоровским столиком. Методика Е. С. Федорова получила дальнейшее развитие в работах его учеников и последователей — В. В. Никитина, А. К. Болдырева, А. Н. Заварицкого и в настоящее время широко применяется петрографами Советского Союза и зарубежными специалистами.

Быстро накапливающийся описательный материал послужил основанием для создания количественно-минералогических классификаций магматических пород, различные варианты которых были предложены С. Шендом (1927), А. Джохенсенем (1931), П. Нигли (1931) и др.

На рубеже XIX—XX вв. наряду с микроскопическими исследованиями изучение горных пород начало развиваться по нескольким направлениям, среди которых главными явились химическое, физико-химическое и экспериментальное.

*Химические исследования* ставили целью выявление закономерностей в изменении химического состава магматических пород. В этой области велика роль Ф. Ю. Левинсона-Лессинга, одного из создателей отечественной петрографической школы, который наряду с разработкой многих проблем теоретической и практической петрографии предложил метод обработки данных химических анализов и разработал систематику магматических пород на основе их химического состава. Дальнейшие исследования позволили выделить особый раздел петрографии — петрохимию. Особенно большой вклад в развитие петрохимических исследований внес А. Н. Заварицкий, усовершенствовавший метод пересчета химических анализов и разработавший новую химическую классификацию магматических пород (1941, 1944).

В задачу *физико-химических исследований* входило изучение процессов кристаллизации и дифференциации магмы, т. е. выявление причин разнообразия магматических пород. Такого рода

исследования были начаты И. Фогтом (1890), А. Е. Лагорио (1891), И. И. Морозевичем (1892—1897), Н. Боуэном (1902—1908). В наше время важнейшие работы в указанной области проводились А. С. Гинзбергом, А. Н. Заварицким, В. А. Николаевым, В. С. Соболевым, Д. С. Коржинским и другими учеными.

Целью *экспериментальных исследований* являлось изучение процессов образования минералов и горных пород в условиях, приближающихся к естественным. В развитии экспериментального направления большая роль принадлежит коллективу ученых геофизической лаборатории Карнеги в Вашингтоне: Н. Боуэну, Дж. Грейгу, К. Горансону и др., получившим исключительно важные данные о процессах кристаллизации силикатных систем. Технические возможности в отношении получения сверхвысоких температур и давлений позволили изучать системы с летучими компонентами, что расширило представления об условиях кристаллизации природных расплавов и дало возможность установить области термодинамической устойчивости важнейших порообразующих минералов.

Развитие инженерно-геологических и геофизических исследований активизировало изучение физико-механических свойств горных пород и привело к появлению новой ветви в петрографии — *петрофизики*. Работы в этом направлении в нашей стране были начаты Ф. Ю. Левинсоном-Лессингом и продолжены Б. В. Залесским, Б. П. Беликовым, М. П. Воларовичем и др. В последние годы появилось большое число фундаментальных исследований в области установления зависимости физико-механических свойств горных пород от их состава и строения. К такого рода работам следует отнести книги «Физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР» (1964), «Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород» (1968), учебник В. Д. Ломтадзе «Инженерная геология. Инженерная петрология» (1970).

Всестороннее аналитическое изучение магматических пород и параллельно проводившиеся региональные геолого-петрографические исследования привели к возникновению *учения о магматических формациях*, позволяющего рассматривать вопросы происхождения магматических пород как закономерных ассоциаций, связанных с тектонической жизнью Земли. В развитие этого учения большой вклад внесли советские ученые: Ю. А. Билибин, Г. Д. Афанасьев, О. А. Воробьева, В. С. Коптев-Дворников, Е. К. Устиев, Ю. А. Кузнецов.

Как видим из приведенного выше краткого обзора, на протяжении всей истории развития петрографии особое внимание уделялось изучению магматических пород. Изучение метаморфических пород отставало и приобрело самостоятельное значение несколько позднее в результате работ К. Ван-Хайза (1898, 1904), У. Грубенмана (1904, 1910), Ф. Бекке (1903, 1921), И. Д. Лукашевича (1909), П. Ниггли (1913) и др. Большой вклад в развитие

учения о метаморфических породах внес П. Эскола, впервые в 1915 г. сформулировавший принципы метаморфических фаций — основу для создания современной классификации метаморфических пород. В последние годы в этой области много сделано Ф. Тернером, Х. Платеном, Г. Винклером, В. С. Соболевым и другими исследователями. Особое место в создании современной теории метасоматических процессов занимают работы Д. С. Коржинского.

Разработка и применение специальных лабораторных методов исследования осадочных пород значительно расширили возможности их изучения. В 20—30-е годы петрография осадочных пород выделилась в качестве самостоятельной ветви петрографической науки. В результате детального изучения древних осадочных толщ и современных осадков появились теоретические обобщения, посвященные изучению основных закономерностей процессов осадкообразования. К ним относятся работы Н. М. Страхова, Л. В. Пустовалова, М. С. Швецова и др.

ОСНОВЫ КРИСТАЛЛООПТИЧЕСКОГО МЕТОДА  
ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛОВ В ШЛИФАХ

Кристаллооптический метод изучения горных пород основан на использовании поляризованного света, применяемого в поляризационных микроскопах, современные модели которых дают увеличения свыше  $1000\times$ . Такие возможности широко раздвигают рамки исследования, позволяя определять оптические свойства минералов в мелких зернах, изучать минеральный состав и строение породы.

Кристаллооптический метод требует знания основ оптики и геометрической кристаллографии, без чего сущность оптических явлений, наблюдаемых под микроскопом, не будет понятна.

## Глава I

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КРИСТАЛЛООПТИКИ

## ПОНЯТИЕ О СВЕТЕ

*Свет* — сложное природное явление, представляющее собой, с одной стороны, непрерывный поток материальных частиц — фотонов, характеризующихся определенной энергией и количеством движения, с другой стороны — волновое электромагнитное колебание, возникающее при изменении напряжений электрического и магнитного векторов. Оба вектора равны между собой, взаимно перпендикулярны и одновременно перпендикулярны к направлению распространения света.

Если в каждую единицу времени направления колебаний электрического и магнитного векторов меняются так, что в направлении распространения светового луча одновременно происходит поступательное и вращательное движение этих векторов при постоянной скорости их колебаний, то такой свет называется *обыкновенным*, или *естественным* (рис. 1, а). Если колебания световых волн совершаются только в одной определенной плоскости, такой свет называется *плоскополяризованным*, или просто *поляризованным* (рис. 1, б). Плоскость, в которой происходят колебания световых волн, называется *плоскостью колебаний Q*, перпендикулярная к ней плоскость *P* — *плоскостью поляризации*. Плоскополя-

ризованный свет возникает либо при отражении от гладкой поверхности (частичная поляризация), либо при прохождении света через кристалл. Поляризация света кристаллом рассматривается ниже подробно.

Электромагнитные колебания являются гармоническими и, как всякие гармонические колебания, характеризуются такими элементами, как длина волны, амплитуда, фаза, частота и т. д. Видимый свет обусловлен волнами, имеющими длину от 380 до 780  $\mu\text{м}$ \*. В этом интервале каждая волна определенной длины

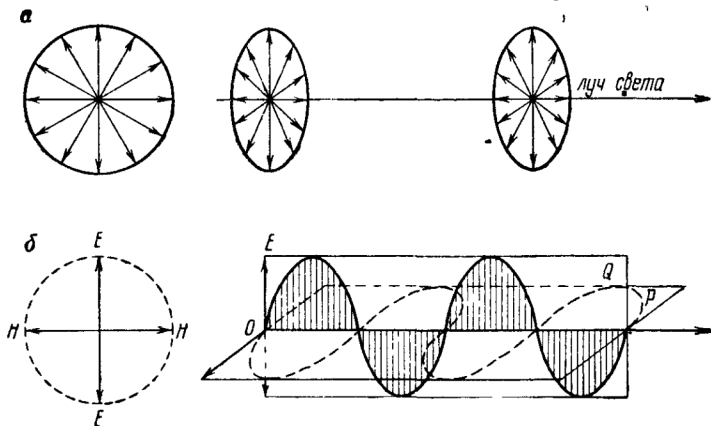


Рис. 1. Схема электромагнитных колебаний:

*a* — естественного света; *b* — плоскополяризованного света. *E* — вектор электрической напряженности; *H* — вектор магнитной напряженности

имеет определенный цвет. Суммарный эффект всех волн дает белый цвет. Сложность его состава обнаруживается при разложении света призмой. Обычно в спектре видимого света различают следующие цвета: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый.

## ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

Скорость распространения света зависит от оптической плотности среды. При переходе света из одной среды в другую на границе раздела сред происходит изменение скорости света, что вызывает эффект преломления света. Если луч падает нормально к границе раздела двух сред, то при переходе из одной среды в другую он изменит только скорость, сохранив направление (рис. 2, *a*). Если луч падает косо к границе раздела двух сред, то при переходе из одной среды в другую луч изменит и скорость и направление. Угол между падающим лучом и перпенди-

\*  $\mu\text{м}$  — миллимикрон — тысячная доля микрона или миллионная доля миллиметра;  $1 \mu\text{м} = 10^4 \text{ \AA}$  ( $\text{ \AA}$  — ангстрем).

куляром к плоскости раздела двух сред называется углом падения (на рис. 2, б угол падения обозначен буквой  $i$ ); угол между лучом преломленным и тем же перпендикуляром называется *углом преломления* (обозначен буквой  $r$ ). Согласно закону Снеллуса — Декарта  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \text{const.}$

Для данных двух сред отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная, равная отношению скорости распространения света в среде I ( $v_1$ ) к скорости распространения света в среде II ( $v_2$ ). Это отношение обозначается буквой  $n$  и называется *показателем преломления среды II относительно среды I*.

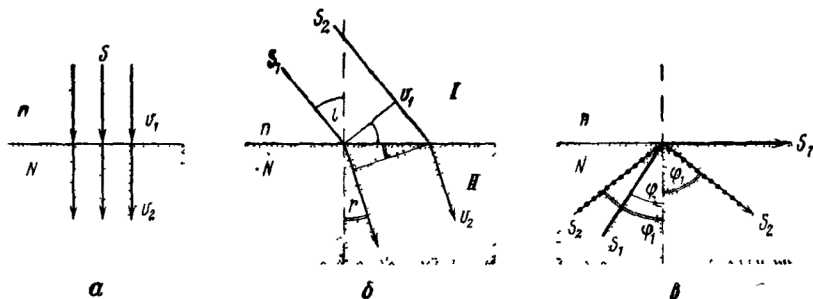


Рис. 2. Преломление лучей на границе двух сред:

а — при нормальном падении лучей к границе раздела, б — при наклонном падении лучей, в — явление полного внутреннего отражения

Отношение скоростей света в воздухе (или пустоте)  $v_0$  к скорости света в данной среде  $v_1$  называется *показателем преломления* данной среды. Показатель преломления — величина отвлеченная и для минералов всегда больше единицы. Если  $\frac{v_0}{v_1} = n_1$ , а  $\frac{v_0}{v_2} = n_2$ , то  $\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$ . Из приведенного равенства следует, что *показатели преломления двух сред обратно пропорциональны скоростям света в этих средах*.

Луч света при переходе из среды с меньшим показателем преломления в среду с большим показателем преломления, в соответствии с законом преломления, приближается к перпендикуляру, проведенному к плоской границе раздела двух сред; при обратном ходе — отклоняется от него. При некотором угле падения  $\varphi$ , называемом *предельным*, луч преломленный скользит вдоль границы раздела двух сред (рис. 2, в). Если угол падения  $\varphi_1$  больше предельного, падающий луч не выходит за границу раздела, претерпев *полное внутреннее отражение*. В этом случае *угол падения равен углу отражения*. Чем больше разница между пока-

зателами преломления обеих сред, тем меньшую величину имеет предельный угол и тем большая часть лучей, падающих на границу раздела двух сред, получит полное внутреннее отражение. Указанное явление вызывает на стороне среды с большим показателем преломления концентрацию лучей в виде узкой световой полоски, которая позволяет устанавливать относительную величину показателей преломления сравниваемых сред и таким образом служит целям диагностики минералов.

### ИЗОТРОПНЫЕ И АНИЗОТРОПНЫЕ МИНЕРАЛЫ

Все минералы делятся на *оптически изотропные (равносвойственные)* и *анизотропные (неравносвойственные)*. Это важнейшее качество минералов определяется их различным внутренним строением. К оптически изотропным относятся минералы аморфные и минералы кубической сингонии; к анизотропным — минералы средних и низших сингоний.

*Минералы кубической сингонии* относятся к высшей категории симметрии. Схема их внутреннего строения характеризуется равенством параметров элементарной ячейки (единичных отрезков) по кристаллографическим осям  $a_x = a_y = a_z$ , что и предопределяет равносвойственность кристаллов кубической сингонии. Скорость прохождения света и величина показателей преломления для любого направления в кристалле постоянны и меняются только от одного минерального вида к другому.

*Минералы средних сингоний* (тригональной, тетрагональной, гексагональной) характеризуются равенством параметров элементарной ячейки по осям  $x$  и  $y$  и неравенством по оси  $z$ :  $a_x = a_y \neq a_z$ . Таким образом, в кристаллах данного типа симметрии появляется одно единичное неповторяющееся направление, совпадающее с осью  $z$ . Скорости света при прохождении вдоль оси  $z$  и вдоль осей  $x$  и  $y$  и показатели преломления для этих направлений различны.

*Минералы низших сингоний* (ромбической, моноклинной, триклинной) отличаются неравенством параметров по всем трем кристаллографическим осям  $a_x \neq a_y \neq a_z$  и, следовательно, наличием трех единичных направлений и соответственно трех различных показателей преломления.

### ДВОЙНОЕ ЛУЧПРЕЛОМЛЕНИЕ

Важнейшим свойством оптически анизотропной среды (кристаллов средних и низших сингоний) является способность поляризовать свет — разлагать естественный свет на две волны, электромагнитные колебания которых совершаются в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с различными скоростями и, следовательно, с различными показателями преломления.

Эффект разложения одного луча на два, названный *двойным лучепреломлением, или дупреломлением*, был обнаружен в 1669 г.

датским ученым Э. Бартолином в кристалле прозрачного кальцита (исландского шпата). Было замечено, что при рассмотрении через кристалл какого-либо небольшого предмета, например точки на бумаге, видно не одно, а два изображения. При вращении кристалла одно изображение остается неподвижным, тогда как другое при повороте кристалла на  $360^\circ$  описывает вокруг первого небольшую окружность (рис. 3, а). Такое явление возможно в том

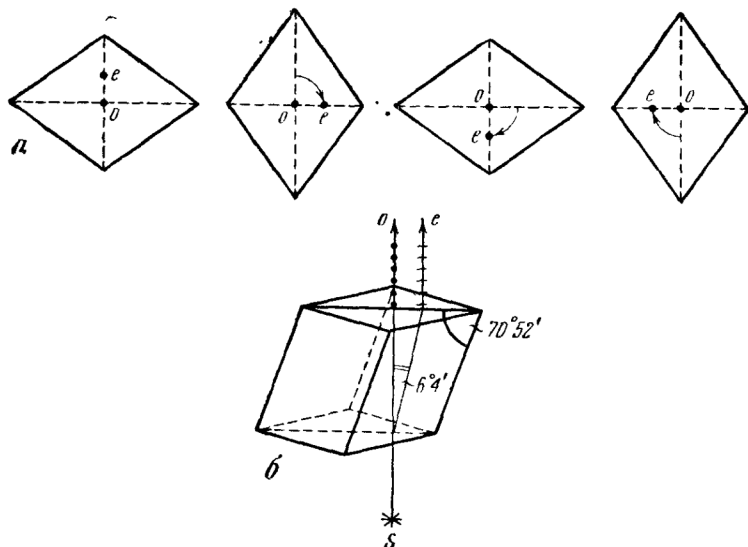


Рис. 3. Двупреломление в ромбоэдре исландского шпата

а — положение лучей обыкновенного (о) и необыкновенного (е) при вращении кристалла; б — направление лучей обыкновенного и необыкновенного при прохождении через кристалл

случае, если один луч проходит через кристалл не меняя направления (точка  $o$  неподвижна), тогда как другой луч преломляется и идет по отношению к первому под некоторым углом (точка  $e$  описывает окружность). Выйдя из кристалла, оба луча сохраняют направление, параллельное первоначальному, но оказываются поляризованными во взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 3, б). Следовательно, один луч имеет постоянный показатель преломления, его назвали *обыкновенным* и обозначили  $n_o$  (ordinary — обыкновенный); другой луч имеет переменный показатель преломления, его назвали *необыкновенным* и обозначили  $n_e$  (extraordinary — необыкновенный).

В кристаллах средних сингоний существует направление, где  $n_o = n_e$ , при прохождении вдоль которого луч не испытывает двупреломления. Это направление совпадает с осью симметрии