

В.А. Ермолов  
В.А. Дунаев  
В.В. Мосейкин

V

# КРИСТАЛЛОГРАФИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОЛОГИЯ КАМНЕ- САМОЦВЕТНОГО СЫРЬЯ

*Под редакцией доктора технических наук,  
профессора В.А. Ермолова*

*Издание 3-е, стереотипное*

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
Российской Федерации по образованию в области  
горного дела в качестве учебного пособия для студентов  
вузов, обучающихся по направлению подготовки  
бакалавров, магистров и дипломированных  
специалистов «Горное дело»*

МОСКВА  
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»  
♦  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
2 0 0 9

---

# ГЕОЛОГИЯ



УДК [548+549+552]:553.8(075.8)

ББК 26.3

Е 74

*Издано при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России»*

*Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253—03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека № 77.99.60.953.Д.012634.11.08*

#### **Рецензенты:**

- проф., д-р геол.-минер. наук *Н.Н. Трофимов*, доц., канд. геол.-минер. наук *А.Ф. Георгиевский* (Российский университет дружбы народов);
- проф., д-р геол.-минер. наук *Г.В. Ручкин* (Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов)

**Ермолов В.А., Дунаев В.А., Мосейкин В.В.**

**Е 74** Кристаллография, минералогия и геология камнесамоцветного сырья: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.А. Ермолова. — 3-е изд., стер. — М.: Издательство «Горная книга», Издательство Московского государственного горного университета, 2009. — 407 с.: ил. (ГЕОЛОГИЯ)

ISBN 978-5-98672-151-4 (в пер.)

ISBN 978-5-7418-0598-5

Рассмотрены вопросы кристаллографии и минералогии камнесамоцветного сырья, основы кристаллооптики горных пород и основных породообразующих минералов. Описаны ассоциации минералов, характерные для различного происхождения горных пород. Значительное внимание уделено геологии месторождений камнесамоцветного сырья. Даны генетическая классификация месторождений, анализ связи месторождений с основными структурными элементами и основных факторов, определяющих условия образования и локализации месторождений.

В.А. Ермолов — д-р техн. наук, проф., В.А. Дунаев — д-р геол.-минер. наук, проф., В.В. Мосейкин — д-р техн. наук, проф. (кафедра геологии МГГУ).

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров, магистров и дипломированных специалистов «Горное дело».

УДК [548+549+552]:553.8(075.8)

ББК 26.3

ISBN 978-5-98672-151-4

ISBN 978-5-7418-0598-5



© В.А. Ермолов, В.А. Дунаев,  
В.В. Мосейкин, 2007, 2009

© Издательство «Горная книга»,  
2009

© Издательство МГГУ, 2007, 2009

© Дизайн книги. Издательство МГГУ,  
2007, 2009

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Россия – одна из самых богатых ювелирными камнями стран. Алмаз, изумруд, александрит, берилл, топаз, хризолит, циркон, цветные халцедоны, агаты, малахит, лазурит, родонит, нефрит, чароит и многие другие драгоценные и поделочные камни есть в недрах нашей страны.

Человек всегда интересовался этими камнями. Не случайно, первая, самая древняя и продолжительная часть истории человечества, теряющаяся во мгле былых тысячелетий, именуется каменным веком. Наши далекие предки хорошо разбирались в свойствах камней, изготавливая из вязкого базальта или нефрита прочные молотки, а из хрупкого с острыми сколами кремня или обсидиана – пожи, скребки, наконечники стрел и копий. Из пирита и кремня высекались искры, разжигавшие огонь. Прозрачные и яркие камни – самоцветы – поражали воображение древних людей, они наделяли эти камни магической силой. Именно камень донес до нас скудные сведения о материальной культуре и быте людей палеолита – древнего каменного века.

В более поздние времена были сформулированы три основных положения, позволяющие считать природные камни (минералы) драгоценными: красота, износостойкость и уникальность.

С развитием горно-добывающей промышленности круг драгоценных камней, применяемых в ювелирных изделиях, расширялся. В настоящее время используется около 200 разновидностей ювелирных камней, однако широкое применение имеют лишь немногие из них. Алмаз, бирюза, опал, рубин, сапфир, жемчуг, изумруд, гранат, топаз, прозрачные разновидности кварца – такова последовательность использования в ювелирных изделиях драгоценных камней в на-

стоящее время за рубежом. Эти камни составляют более 75 % общего объема камней, применяемых в ювелирных изделиях, на долю остальных 190 приходится всего около 25 %.

Современная технология обработки камнесамоцветного сырья немыслима без геологических знаний. В соответствии с типовой учебной программой в настоящем учебном пособии последовательно рассмотрены вопросы кристаллографии и минералогии камнесамоцветного сырья, изложены основы кристаллооптики горных пород и основных породообразующих минералов, приведены сведения об ассоциациях минералов в горных породах и на месторождениях полезных ископаемых, дана генетическая систематика месторождений и описаны условия их образования.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений при подготовке горных инженеров-технологов по специальности 551600 – "Материаловедение и технология новых материалов" по курсу "Кристаллография, минералогия, петрография и геология камнесамоцветного сырья".

Оно может быть полезно студентам других горно-технических специальностей, студентам-геологам, а также геологам и горнякам, занимающимся комплексными поисковыми и разведочными работами на месторождениях и проявлениях камнесамоцветного сырья.

Предисловие, главы 2, 4 написаны проф. В.А. Ермоловым, глава 1 – проф. В.А. Дунаевым, глава 3 – проф. В.В. Мосейкиным, глава 5 – проф. В.А. Ермоловым совместно с канд. геол.-минерал. наук В.Я. Герасименко.

Авторы выражают благодарность В.П. Зервандовой, О.А. Плотниковой, Е.А. Соловьевой, И.А. Честной и М.В. Щеткиной за помощь при подготовке рукописи к изданию.

---

# Глава 1. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

---

## 1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О КРИСТАЛЛАХ

### 1.1.1. Общие положения

В земной коре наиболее распространено твердое кристаллическое состояние вещества. Кристаллическое строение имеет абсолютное большинство минералов, входящих в состав горных пород и руд.

Кристаллы (по-гречески "кристаллос" – лед) издавна привлекают внимание человека своей формой. С ними он сталкивается как в результате горной деятельности, так и при различных технологических процессах. Большая часть минералов являются кристаллами. Кристаллами называют твердые тела, образующиеся в природных или лабораторных условиях в виде многогранников. Поверхность таких многоугольников ограничена более или менее совершенными плоскостями – **гранями**, пересекающимися по прямым линиям – **ребрам**. Точки пересечения ребер образуют **вершины**.

Примерами кристаллов могут служить кубики поваренной соли ( $\text{NaCl}$ ), заостренные на концах шестигранные призмы горного хрусталя ( $\text{SiO}_2$ ), восьмигранники (октаэдры) алмаза (C), двенадцатигранники граната и др. (рис. 1.1).

Размеры подобных образований могут быть весьма большими. Так, в 1958 г. в СССР был найден гигантский кристалл кварца массой около 70 т, длиной 7,5 м и шириной 1,6 м. Однако довольно часто приходится иметь дело с мелкими, микроскопическими кристалликами. Поэтому с первого взгляда может показаться, что кристаллические тела встречаются чрезвычайно редко. Действительно, гигантские кристаллы и кристаллы, хранящиеся в музеях, представляют собой ис-



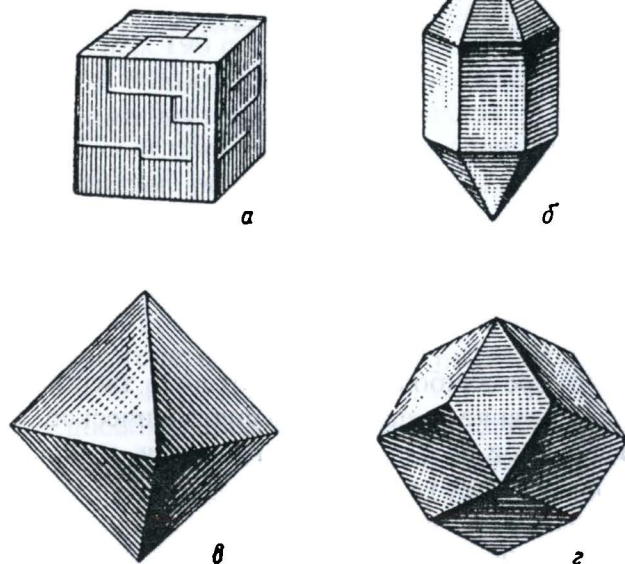


Рис. 1.1. Кристаллы поваренной соли (а), кварца (б), алмаза (в) и граната (г)

ключительные, уникальные экземпляры. Нечасто получают крупные многогранники и в лабораторных условиях. Выращивание их требует большого труда и времени.

Однако, внимательно приглядевшись к окружающим нас предметам, легко убедиться в широком распространении кристаллических образований. Снег, поваренная соль, многие лекарства состоят из мелких кристалликов. Можно найти еще больше таких тел, если обратиться к помощи микроскопа. Так, металлы и сплавы, каменные материалы и многие другие, подобные им образования, состоят из кристаллических зерен. То же самое можно сказать и о подавляющем большинстве горных пород, слагающих земную кору. Многим, конечно, знакома одна из весьма распространенных глубинных горных пород – гранит, состоящая из полевого шпата, кварца и слюды. Зерна этих минералов возникли при медленном застывании огненно-жидкого расплава – магмы и являются кристаллами. Рассматривая отдельные зерна, мы в большинстве случаев наблюдаем не характерные прямоли-

нейные очертания, а криволинейные и неправильные контуры. Последнее объясняется одновременным ростом в магме множества кристаллов, благодаря чему отдельные кристаллы, тесня друг друга, не смогли приобрести многогранную форму.

Оптическим путем доказано, что и такие осадочные горные породы, как песок и глина, состоят, главным образом, из мельчайших кристаллических обломков. Кристаллическими являются и другие осадочные горные породы органического и химического происхождения – известняки, доломиты, каменная соль, гипс и др.

С 1912 г. стало возможно исследовать посредством рентгеновских лучей совокупности мельчайших кристаллических частиц, не улавливаемых микроскопически. Рентгеноструктурный метод позволил расширить круг изучаемых кристаллических веществ. Например, доказано, что сажа, воск, роговица глаза представляют собой агрегаты мельчайших кристаллов. Наконец, методы электронографии, электронной микроскопии и прочие открыли многообещающие пути распознавания и исследования кристаллических веществ. Приведенных фактов достаточно, чтобы сделать вывод об огромной распространенности кристаллов, а также об их исключительно важном практическом значении.

### 1.1.2. Строем кристаллов

Геометрическая, правильная форма кристаллов обусловлена, прежде всего, их строго закономерным внутренним строением. Кристаллы построены из материальных частиц, геометрически правильно расположенных в пространстве. Упорядоченное распределение ионов, атомов и молекул отличает кристаллическое состояние от некристаллического, где степень упорядоченности ничтожна. Примеры закономерной ориентировки атомов (ионов) в минералах галите ( $\text{NaCl}$ ) и кальците ( $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ ) представлены на рис. 1.2.

Каждый кристалл можно представить себе построенным из множества субмикроскопически малых, прилегающих друг к другу одинаковых ячеек, имеющих форму паралле-

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	5
<b>Глава 1. Кристаллография .....</b>	<b>7</b>
1.1. Основные понятия о кристаллах .....	7
1.1.1. Общие положения .....	7
1.1.2. Строение кристаллов .....	9
1.1.3. Свойства кристаллов .....	11
1.1.4. Образование кристаллов .....	14
1.2. Основы геометрической кристаллографии .....	16
1.2.1. Закон постоянства углов .....	16
1.2.2. Элементы симметрии кристаллов .....	18
1.2.3. Стереографические проекции .....	23
1.2.4. Сферические координаты .....	27
1.3. Формы кристаллов.....	36
1.3.1. Простые формы и комбинации .....	36
1.3.2. Понятие о выводе простых форм .....	37
1.3.3. Простые формы низших сингоний .....	43
1.3.4. Простые формы средних сингоний .....	46
1.3.5. Простые формы кубической сингонии .....	54
1.3.6. Разновидности простых форм .....	59
<b>Глава 2. Минералогия .....</b>	<b>62</b>
2.1. Минералы: происхождение, строение, формы выделения .....	62
2.1.1. Общие сведения о минералах и процессах их образования .....	62
2.1.2. Внутреннее строение и состав минералов .....	67
2.1.3. Химический состав минералов .....	74
2.1.4. Морфология кристаллических агрегатов .....	78
2.2. Диагностика минералов .....	83
2.2.1. Оптические свойства минералов .....	84
2.2.2. Механические свойства минералов .....	104
2.2.3. Прочие свойства минералов .....	109
2.2.4. Химические методы диагностики .....	111
2.3. Классификации и описание камнесамоцветного сырья .....	116
2.3.1. Классификации минералов .....	116
2.3.2. Описание минералов .....	121
2.3.3. Драгоценные камни и ювелирные материалы органического происхождения .....	157



<b>Глава 3. Кристаллооптика</b> .....	160
3.1. Основы оптики кристаллов .....	160
3.1.1. Краткие сведения о свете .....	161
3.1.2. Важнейшие оптические свойства минералов .....	162
3.1.3. Оптические индикатрисы в кристаллах различных сингоний .....	166
3.2. Методы исследований минералов под микроскопом .....	169
3.2.1. Поляризационный микроскоп .....	171
3.2.2. Оптические свойства минералов в шлифах .....	173
3.2.3. Методики определения оптических свойств минералов ...	181
3.3. Породообразующие минералы .....	184
3.3.1. Минералы магматических горных пород .....	185
3.3.2. Минералы метаморфических горных пород .....	198
3.3.3. Минералы осадочных горных пород .....	202
<b>Глава 4. Минеральные ассоциации</b> .....	208
4.1. Ассоциации минералов эндогенных образований .....	208
4.1.1. Минералы магматических и метаморфических горных по- род .....	208
4.1.2. Минералы магматических месторождений .....	213
4.1.3. Важнейшие ассоциации минералов в пегматитах .....	216
4.1.4. Минералы контактово-метасоматических месторождений .....	221
4.1.5. Минералы гидротермальных месторождений .....	224
4.1.6. Минералы метаморфических месторождений .....	230
4.2. Ассоциации минералов экзогенных образований .....	232
4.2.1. Минералы кор выветривания .....	232
4.2.2. Минералы осадочных горных пород и месторождений ....	236
<b>Глава 5. Геология месторождений камнесамоцветного сырья</b> ....	242
5.1. Условия образования месторождений .....	242
5.1.1. Генетическая классификация месторождений .....	242
5.1.2. Связь месторождений с основными структурными эле- ментами земной коры .....	245
5.1.3. Геологические и физико-химические факторы, опреде- ляющие условия образования и размещения месторождений ....	248
5.2. Магматические месторождения .....	255
5.3. Пегматитовые месторождения .....	269
5.4. Гидротермальные месторождения .....	291
5.5. Контактново-метасоматические месторождения .....	312
5.6. Метаморфогенные месторождения .....	336
5.7. Месторождения выветривания .....	357
5.8. Осадочные месторождения .....	380
Список рекомендуемой литературы .....	405