



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

Издательство МИСИ – МГСУ

**ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.  
ГЕОЛОГИЯ (МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ)**

Учебно-методическое пособие



ISBN 978-5-7264-2000-4

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2019

Москва  
2019

УДК 624.131.1  
ББК 26.3  
И62

*Авторы:*

П.И. Кашперюк, Н.А. Платов, [А.Д. Потапов], В.С. Крашенинников,  
А.А. Лавруевич, О.К. Криночкина

*Рецензенты:*

доктор геолого-минералогических наук, профессор *С.А. Лаухин*,  
профессор кафедры инженерной геологии МГРИ – РГГРУ;  
кандидат геолого-минералогических наук, доцент *Э.З. Кучуков*,  
доцент кафедры инженерных изысканий и геоэкологии НИУ МГСУ

И62 **Инженерные изыскания в строительстве. Геология (минералогия, петрография)** [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / П.И. Кашперюк и др. ; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (3,09 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2019. — Режим доступа: [http://lib.mgsu.ru/Scripts/irbis64r\\_91/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS](http://lib.mgsu.ru/Scripts/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS) — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-2000-4 (сетевое)

ISBN 978-5-7264-1999-2 (локальное)

В учебно-методическом пособии рассмотрены вопросы происхождения, формирования и строения минералов и горных пород. Предназначено для самостоятельной работы обучающихся при подготовке к практическим занятиям и лабораторным работам по дисциплине «Инженерные изыскания в строительстве. Геология (минералогия, петрография)».

Для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство.

*Учебное электронное издание*

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2019

## Оглавление

Введение .....	6
1. ИЗУЧЕНИЕ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ .....	7
1.1. Основные задачи изучения дисциплины «Инженерные изыскания в строительстве. Геология (минералогия, петрография)» .....	7
1.2. Основные понятия.....	8
1.3. Генезис минералов .....	8
1.4. Классификация минералов.....	10
1.5. Методика визуального определения породообразующих минералов.....	11
1.6. Диагностические показатели минералов .....	12
1.7. Указания к выполнению лабораторной работы по изучению минералов визуальным методом .....	17
2. ОСНОВЫ КРИСТАЛЛОГРАФИИ .....	19
2.1. Краткий очерк о кристаллографии .....	19
2.2. Общие понятия и определения .....	20
2.3. Главные законы кристаллографии.....	22
2.4. Кристаллографическая классификация .....	27
2.5. Свойства кристаллов.....	32
2.6. Изучение горных пород с помощью петрографических методов .....	34
2.7. Теоретические основы кристаллооптики .....	35
2.7.1. Понятие о естественном и поляризованном свете и свойствах световых лучей.....	35
2.7.2. Характер волновой поверхности и оптический знак кристаллов.....	37
2.7.3. Световые эффекты в кристаллах.....	38
2.8. Поляризационный микроскоп.....	42
2.8.1. Устройство и назначение дополнительных линз.....	42
2.8.2. Особенности устройства призм Николя.....	43
2.8.3. Препараты для исследования .....	45
2.8.4. Технические требования к подготовке микроскопа для работы .....	46
2.9. Методика исследования шлифов .....	47
2.9.1. Исследование шлифа в проходящем свете при одном поляризаторе .....	47
2.9.2. Исследование шлифа в проходящем свете при скрещенных николях .....	49

3. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ .....	51
3.1. Изучение магматических горных пород .....	51
3.2. Основные понятия.....	53
3.2.1. Генезис .....	53
3.2.2. Структура и текстура.....	54
3.2.3. Инженерно-геологические особенности магматических горных пород.....	56
4. ИЗУЧЕНИЕ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД.....	57
4.1. Основные понятия.....	57
4.2. Инженерно-геологические особенности осадочных пород .....	59
5. ИЗУЧЕНИЕ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД.....	63
5.1. Основные понятия.....	63
5.2. Инженерно-геологические особенности метаморфических горных пород .....	66
6. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ .....	68
Заключение .....	69
Библиографический список .....	70
Приложения .....	71

## ВВЕДЕНИЕ

Данное пособие поможет будущему инженеру-строителю решать практические задачи, важнейшей из которых является оценка инженерно-геологических свойств горных пород. Это необходимо как с целью их использования в качестве среды основания сооружений, так и для оценки пригодности как строительных материалов. Так как все породы состоят из минералов, курс начинается с освоения основ минералогии, а именно с изучения наиболее распространенных породообразующих и некоторых важных для строителей акцессорных минералов. Для надежного определения свойств минералов обучающимся необходимо освоить основы кристаллографии и кристаллооптики, которым посвящен второй раздел данного пособия.

Обучающийся, переходя к разделу, посвященному изучению горных пород (петрографии), благодаря усвоению навыков самостоятельного определения минералов по визуальным признакам должен научиться различать их в составе горных пород и понимать зависимость свойств пород от минерального состава и текстурно-структурных особенностей. Последнее тесно связано с условиями формирования горных пород и потому им в пособии придается немаловажное значение.

Так, благодаря логично выстроенному материалу дисциплины, обучающиеся смогут самостоятельно различать наиболее распространенные горные породы, определять их пригодность в качестве оснований будущих сооружений, а также давать прогнозы их возможного использования как строительных материалов.

# 1. ИЗУЧЕНИЕ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

## 1.1. Основные задачи изучения дисциплины

### «Инженерные изыскания в строительстве. Геология (минералогия, петрография)»

Инженер-строитель, встречаясь в своей практике с горными породами, решает весьма сложную и трудоемкую задачу: оценивает инженерно-геологические свойства пород как с целью их использования в качестве среды основания сооружения, так и для получения строительных материалов.

Одной из задач дисциплины «Инженерная геология» является подготовка бакалавров к изучению ряда технических дисциплин, таких как «Механика грунтов, основания и фундаменты», «Строительные материалы», «Технология строительного производства», а также к решению геологических вопросов при проектировании и строительстве конкретных сооружений. Для этого обучающиеся должны получить комплекс теоретических знаний на лекциях, а также практических навыков в процессе выполнения практических и лабораторных работ. В частности, на лабораторных занятиях по изучению минералов обучающиеся исследуют коллекции из 20...30 наиболее распространенных породообразующих и некоторых акцессорных минералов (таких как пирит и сера, являющихся вредными примесями с точки зрения строителей) и приобретают навыки определения диагностических свойств и признаков минералов, видимых невооруженным глазом.

Определить причины формирования тех или иных свойств горных пород без изучения слагающих их элементов — минералов — невозможно. Поэтому в процессе изучения дисциплины «Инженерная геология» обучающимся необходимо приобрести практические навыки самостоятельного определения минералов по внешним свойствам и признакам, научиться различать минералы в горных породах, понимать зависимость свойств горных пород от их минерального состава и условий формирования.

Многообразие природных условий формирования минералов привело к чрезвычайно обширному их количеству. Список вновь открываемых минералов постоянно пополняется, в связи с чем изучить все минералы в лаборатории инженерной геологии невозможно. Однако известно, что главным «строительным материалом» горных пород является небольшое количество минералов. Изучив эти главные породообразующие минералы, обучающийся сможет прогнозировать проявление их свойств в горных породах — главном объекте изучения инженерной геологии.

Основная цель освоения визуального метода определения минералов — научить обучающихся самостоятельно различать наиболее распространенные минералы в составе горных пород. Обучающиеся изучают свойства минералов, распространение их в горных породах и влияние этих минералов на свойства самих горных пород. Наряду с этим овладение визуальным методом определения минералов по внешним диагностическим признакам, глубокое освоение этих признаков на примере наиболее характерных породообразующих минералов позволит обучающимся при необходимости определять и другие минералы.

В результате выполнения лабораторных работ по изучению минералов и горных пород обучающиеся, осматривая вскрытые котлованы на строительных площадках, должны самостоятельно определить, какие горные породы находятся в основании будущего сооружения.

Выполнение лабораторных работ по породообразующим минералам также дает возможность изучить различные методы классификации минералов, их генезис, химический состав, внутреннюю структуру, особенности наиболее характерных свойств, в том числе представляющих особый интерес для инженера-строителя. К таким особенностям относятся устойчивость к выветриванию, растворимость в воде, прочность.

В процессе выполнения лабораторных работ после внимательного рассмотрения коллекций образцов минералов, нахождения диагностических признаков и определения минералов обучающиеся производят записи в лабораторном журнале, фиксируя в нем также наиболее характерные свойства минералов, сведения о которых можно получить из учебников, справочников, конспектов лекций, настоящего пособия и объяснений преподавателя.

Для проверки полученных знаний после завершения лабораторных работ обучающиеся должны выполнить контрольную работу: по образцам определить минералы и их классификационную принадлежность; указать их представительность в горных породах; оценить их инженерно-геологические и другие свойства.

## 1.2. Основные понятия

**Минералогия** (от *лат.* минера — руда) — наука о минералах, изучающая генезис, состав, строение, распространение и свойства минералов.

**Минералы** — однородные по составу и строению природные химические соединения или элементы, образованные в результате определенных процессов в земной коре и на ее поверхности.

По своему агрегатному состоянию большинство минералов являются твердыми (кварц, графит и др.), но встречаются минералы жидкие (ртуть, вода) и газообразные (сероводород, углекислый газ).

К настоящему времени известно несколько тысяч минералов, однако лишь около 50 имеют широкое распространение. Они в основном и слагают горные породы.

Широко распространенные в земной коре минералы, являющиеся обязательной составной частью горных пород, получили название *главных*, или *породообразующих*, минералов. Главные минералы в составе определенной группы образуют более или менее постоянные сочетания и обуславливают основные свойства породы. Например, в гранитах породообразующие минералы различных групп составляют: полевые шпаты — до 60 %, слюды — до 15 %, кварц — 25...35<sup>1</sup> %; в составе мрамора преимущественное распространение имеет минерал кальцит (до 90...100 %) [2].

Минералы, не являющиеся неотъемлемой частью горной породы, получили название *второстепенных*, или *акцессорных*, минералов. Второстепенные минералы встречаются в небольшом количестве, но иногда оказывают существенное влияние на свойства пород. Например, наличие пирита (даже в количестве 1...2 %) в составе гранита делает последний не пригодным в качестве облицовочного камня, а щебня из гранита или диорита — в качестве заполнителя бетона.

В некоторых породах присутствуют случайные минералы, называемые *примесями*; роли в основных свойствах этих пород они почти никогда не играют.

Дисциплина «Инженерная геология» изучает наиболее важные породообразующие и некоторые акцессорные минералы, играющие существенную роль в формировании строительных свойств горных пород [1].

## 1.3. Генезис минералов

Рассмотрим *генезис* (от *греч.* происхождение, возникновение) минералов. Минералы образуются в сложных термодинамических и физико-химических условиях в недрах и на поверхности земной коры. Каждый отдельный минерал образуется при определенных температурах, давлении, концентрации минерального вещества. В связи с этим минералы устойчивы только в определенных условиях, при изменении которых происходит разрушение минералов и их переход в другие вторичные образования.

Минералы *магматического генезиса* образуются при остывании, дифференциации и кристаллизации магмы<sup>2</sup> и ее производных (газов, горячих водных растворов и др.). Процесс магматического минералообразования сложен и разнообразен; в нем выделяют дифференциацию и кристаллизацию магмы. При кристаллизации магмы в процессе остывания из расплава последовательно выпадают различные минералы, а при дифференциации — более тяжелые минералы, богатые окислами таких металлов, как железо, магний, хром и др., опускаются, а обогащенные кремнеземом, т.е. более легкие (легкие), — поднимаются.

При затвердении магмы:

- начинается ее кристаллизация при температуре около 1200 °С. При постепенном понижении температуры образуются пироксен (чаще всего авгит), амфибол (чаще роговые обманки), слюды (биотит, мусковит), полевые шпаты, кварц и параллельно — анортит, альбит;

- пегматитовый процесс приводит к формированию крупно- и гигантокристаллических пород в виде жил, где образуются полевые шпаты, кварц, слюды. Это постмагматический процесс, связанный с остыванием расплава;

- гидротермальным путем в различных трещинах, пустотах в виде жил образуются многочисленные гидротермалиты и рудные минералы — пирит и др.;

- вулканический процесс характеризуется образованием стекол различного состава (обсидиан), самородной серы.

<sup>1</sup> Петрографический кодекс России (утв. МПР РФ). — 2-е изд. — СПб. : ВСЕГЕИ, 2008. — 200 с.

<sup>2</sup> Магма (от *греч.* густая масса) — расплав сложного силикатного состава, содержащий следующие химические элементы, %: кислород — 47,0; кремний — 25,9; алюминий — 8,0; железо — 4,6; кальций — 3,0; магний — 1,9; натрий — 2,5; калий — 2,5; другие элементы — 1.

Минералы *осадочного*, или *экзогенного*, *генезиса* образуются в результате процессов, протекающих в верхней части земной коры или на ее поверхности. Под воздействием комплекса атмосферных, водных и других факторов (кислород, углекислый газ, микроорганизмы, вода и водные растворы различного состава, колебания температур, различная интенсивность солнечного излучения) минералы магматического генезиса существенно изменяются. В результате гидролиза, гидратации, окисления, растворения и других процессов они преобразуются в новые устойчивые соединения в химическом и физико-химическом отношениях. Процесс разрушения одних минералов и образования новых называется *выветриванием*, результатом которого являются такие вторичные минералы, как гидрослюды, каолинит, монтмориллонит, сульфаты, коллоидные окислы и гидроокислы железа и кремния (лимонит, опал и многие другие).

В процессе жизнедеятельности животных, растительных организмов, а также микроорганизмов, особенно в мелководных заливах морей, образуется ряд биогенных минералов, таких, например, как лимонит, глауконит, опал.

К экзогенному способу образования минералов относится также кристаллизация минеральных солей из водных растворов в озерах и морских заливах в периоды интенсивного испарения воды, когда раствор становится перенасыщенным. Это происходит в областях с жарким, засушливым климатом, поэтому минералы, образовавшиеся здесь (галит, гипс, ангидрит, кальцит и др.), являются индикаторами засушливого климата, что широко используется при палеогеографических реконструкциях.

Минералы *метаморфического генезиса* образуются в результате воздействия высоких температур, больших давлений и флюидов<sup>3</sup> на минералы магматического и осадочного генезиса. Возникающие новые физико-химические условия энергично преобразуют минералы. Метаморфические минералы имеют преимущественно силикатный состав. К их числу относятся серпентин, асбест, хлорит, тальк, актинолит, родонит, гранат и др. [3, с. 8–10].

В земной коре минералы находятся преимущественно в кристаллическом состоянии и лишь незначительная часть — в аморфном. Различие между кристаллическим и аморфным состояниями вещества заключается в том, что в кристаллическом теле ионы и атомы располагаются в определенном, характерном для данного вещества порядке, который диктуется его кристаллической решеткой. В аморфном веществе в расположении частиц нет никакой закономерности. Различие во внутреннем строении кристаллических и аморфных веществ вызывает различие их свойств. Прежде всего это выражается в том, что кристаллические вещества, как правило, анизотропны, а аморфные почти всегда изотропны.

*Анизотропность*, или *анизотропия* — фундаментальное качество кристаллических веществ, которое выражается в различии их свойств в разных направлениях, так как в кристаллическом веществе связи между частицами могут быть различны в этих направлениях. *Изотропность* проявляется в статистически одинаковых свойствах веществ во всех направлениях.

К числу характерных свойств большинства кристаллических минералов относится их способность образовывать кристаллы (свойство самоограничения). Это означает, что каждому минералу присуща своя кристаллическая форма, зависящая от типа химических связей решетки, химического состава и условий его образования. В кристалле различают следующие элементы: грани или плоскости, ограничивающие кристаллы; ребра — линии пересечения граней; вершины — точки пересечения ребер; гранные углы — углы между гранями. Вершины кристаллов соответствуют узлам пространственной решетки, ребра — рядам, а грани — плоским сеткам пространственной решетки.

Для всех кристаллов одного и того же вещества действует *закон постоянства гранных углов*: углы между соответствующими гранями кристалла минерала одинаковы и постоянны. Этот закон позволяет определить минералы даже по мелким обломкам кристаллов, если они хоть в какой-то мере сохраняют естественные грани.

Важным свойством кристаллического вещества является его *однородность*, которая проявляется в том, что любые части вещества имеют одинаковые свойства. Любой обломок графита в одном направлении легко расщепляется по параллельным плоскостям на листочки, а в других — с трудом ломается по неровным поверхностям. Это обусловлено одинаковым внутренним строением любого обломка.

Известны случаи, когда в различных природных условиях вещества одинакового химического состава образуют минералы, имеющие разное внутреннее строение и, следовательно, разные физические свойства. Такое явление называется полиморфизмом. В качестве примера полиморфного превращения можно привести две минеральные модификации углерода — графит и алмаз.

<sup>3</sup> Флюиды (от *лат.* текучий) — жидкие или газообразные компоненты магмы или циркулирующие в глубинах земной коры насыщенные газами растворы. В их составе, предположительно, преобладают перегретые пары воды, фтор, хлор, углекислота и многие другие элементы и соединения.

## 1.4. Классификация минералов

В процессе практического ознакомления с минералами изучается их классификация по химическому составу, отражающая особенности возникновения минералов и формирования их свойств.

Минералы классифицируются по различным принципам: по происхождению, химическому составу, кристаллохимическим и кристаллографическим особенностям, сопротивляемости к выветриванию, растворимости и др.

Наиболее важной с инженерно-геологической точки зрения является классификация минералов по *химическому составу*. В практическом плане такая классификация дает возможность судить о генетических особенностях минералов и формировании их основных свойств [4, с. 4–5].

Значительные возможности для уточнения генезиса минералов, установления их структуры и формирования свойств открывает *кристаллохимическая классификация*. В соответствии с ней для характеристики типа строения минерала его химический состав изображается структурной химической формулой. Например, оливин (Mg, Fe)·[SiO<sub>4</sub>] содержит в своем составе ортокремневые соединения магния или железа. В кристаллических решетках минералов одни ионы (или их группа) могут изоморфно замещаться другими. Изоморфно замещающиеся элементы разделяются запятыми и записываются в круглых скобках, а постоянный радикал — в квадратных.

Широкие перспективы для уточнения генезиса минералов, установления их структуры и влияния на свойства открывает кристаллохимическая классификация. В соответствии с этой классификацией, как было показано выше, для характеристики типа строения минерала его состав изображается структурной химической формулой (например, K[Si<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>8</sub>]).

*Химическая классификация* основана на эмпирически полученных формулах, отображающих соотношение химических элементов в составе данного минерала. Она базируется на химическом составе анионной части соединения, т.е. в ее основу положена предпосылка, что металлоидная часть минералов позволяет лучше группировать их в сходные «классы», так как обуславливает ряд внешних признаков: кристаллическую форму, оптические свойства и др.

Сокращенная химическая классификация минералов приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Классификация наиболее распространенных минералов по химическому составу**

Класс	Группа	Подгруппа	Вид
Силикаты	Алюмосиликаты	Полевые шпаты	Ортоклаз, плагиоклазы
		Фельдшпатоиды	Нефелин, лейцит
		Слюды	Мусковит, биотит
	Метасиликаты	Пироксены	Авгит
		Амфиболы	Роговая обманка, актинолит
	Ортосиликаты	—	Оливин
Вторичные силикаты	Глинистые минералы	Тальк, серпентин, асбест, хлорит, родонит, хризолит, каолинит, монтмориллонит, гидрослюды (иллит, глауконит)	
Карбонаты	—	—	Кальцит, доломит, магнезит
Оксиды	—	—	Вода, кварц, кремний, гематит, халцедон, корунд
Гидрооксиды	—	—	Лимонит, опал
Сульфаты	—	—	Ангидрит, гипс, мирабилит
Сульфиды	—	—	Пирит, марказит, халькопирит, киноварь
Галоиды	—	—	Галит, сильвин, флюорит
Фосфаты	—	—	Апатит, фосфорит
Вольфраматы	—	—	Вольфрамит, шеелит, ферберит
Самородные элементы	—	—	Графит, сера, серебро, золото, медь

Последовательность классов в таблице дана в соответствии с распространенностью минералов в земной коре. Наиболее распространены минералы класса силикатов.

Приведем краткую характеристику выделенных классов минералов по их количественному соотношению в земной коре и преимущественному пути образования:

- *силикаты* — наиболее многочисленный класс, включающий свыше 600 минералов. В количественном отношении силикаты составляют по весу не менее 85 % всей земной коры. Их образование (за исключением вторичных) идет преимущественно из магматических расплавов и, таким образом, генетически предшествует почти всем минералам;

- *карбонаты* — к ним относятся более 80 минералов. Наиболее распространены кальцит, магнетит, доломит. Происхождение в основном экзогенное и связано с водными растворами. Слабо устойчивы к выветриванию, разрушаются в кислотах, слабо растворимы в воде;

- *оксиды и гидрооксиды* — объединяют около 200 минералов, на их долю приходится до 17 % всей земной коры. Наиболее распространены кварц, опал, лимонит. Происхождение как магматическое, так и экзогенное;

- *сульфаты* — этот класс объединяет до 260 минералов. Их происхождение связано с реакциями в водных растворах как на поверхности, так и в недрах земли. Сравнительно хорошо растворяются в воде. Наибольшее распространение имеют гипс и ангидрит;

- *сульфиды* — насчитывают до 200 минералов, не относящихся к минералам массового распространения. Большинство сульфидов образуется из гидротермальных растворов, но встречаются сульфиды магматического происхождения. В зоне выветривания сульфиды разрушаются, поэтому примеси сульфидов в строительных материалах снижают их качество;

- *галоиды* — объединяют около 100 минералов. Происхождение экзогенное, связано в основном с реакциями в водных растворах. Наиболее распространен галит. Галоиды входят в состав осадочных горных пород и хорошо растворимы в воде.

Минералы классов фосфатов, вольфрамов и самородных элементов встречаются довольно редко, в строительной практике применяются мало и поэтому в данном пособии не рассматриваются (за исключением серы и графита).

## 1.5. Методика визуального определения порообразующих минералов

В основу визуального метода определения порообразующих минералов положен принцип учета совокупности внешних признаков минерала и некоторых его свойств, являющихся диагностическими показателями, к которым относятся морфологические, механические, оптические, химические и другие особенности минералов.

Все кристаллические минералы отличаются заметно выраженным *габитусом* — определенными очертаниями, отображающими внутреннее строение минерала и условия его образования. По габитусу все минералы можно разделить на изоморфные зерна, вытянутые пластинки, иголки, волокна и др. Реже встречаются кристаллы с четко выраженными геометрическими формами в виде различных многогранников: кубов, призм, пирамид, моноэдров, диэдров, тетраэдров, гексаэдров и др. В природе минералы могут встречаться в виде одиночных кристаллов, их сростков (друзы, щетки), а также минеральных агрегатов.

*Одиночные кристаллы* представляют собой четко выраженный геометрический многогранник, который формируется в условиях медленной кристаллизации и свободного роста в пространстве. Наиболее распространены одиночные кристаллы горного хрусталя, гипса, кальцита, полевых шпатов и некоторых других минералов.

*Двойник* — два кристалла, сросшиеся в определенном направлении. Наиболее характерным примером является двойник гипса — «ласточкин хвост».

В зависимости от условий образования и химического состава минералы нередко образуют весьма характерные по виду естественные скопления зерен или кристаллов, называемые *минеральными агрегатами* [4, с. 5–6].

Отметим наиболее типичные из них:

- *дендриты*, получаемые при быстрой кристаллизации минералов, когда отдельные кристаллы нарастают друг на друга, образуя фигуры, напоминающие ветви дерева (самородная медь, серебро, лед на стенке и др.);