

# **ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД (ФГП)**

## Научные и практические задачи ФГП:

- а) установление физических, физико-технических и технологических характеристик горных пород, необходимых для расчета режимов работы и производительности горного оборудования при проектировании и планировании работы горных предприятий;
- б) разработка и создание новых физических методов воздействия на породы, выявление областей их применения, расчет эффективности;
- в) разработка технологий производства горных работ на базе изучения физических свойств пород;
- г) изыскание методов и путей создания систем контроля за составом, состоянием и поведением горных пород в процессах горного производства.

# Разделы ФГП

Раздел	Что изучает
механика пород	механические свойства пород и механические явления, происходящие в породах в процессе разработки МПИ
акустика пород	распространение упругих колебаний в породах и физические процессы, с ними связанные
Термодинамика пород	тепловые свойства и тепловые процессы в горных породах
электродинамика и радиационная физика пород	электрические, магнитные, радиоволновые и ядерные свойства и явления

# История развития

- 40-60-е годы
- **геофизика**- изучает физические свойства Земли в целом и физические процессы, происходящие в её твёрдых сферах, а также в жидкой и газовой оболочках.

60-е годы – по настоящее время

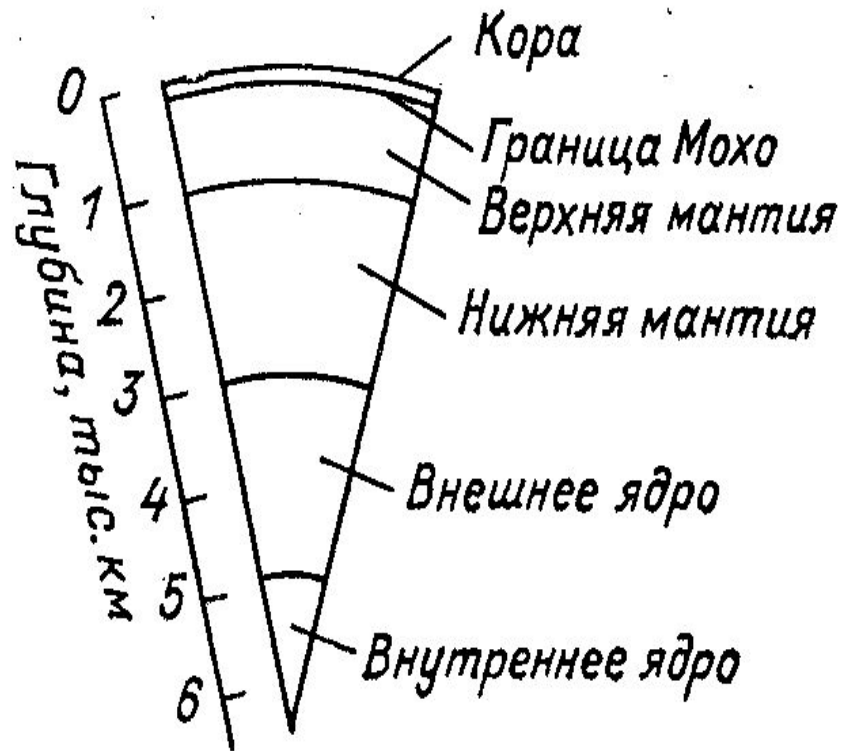
- **Физика горных пород и процессов**- занимается изучением физических свойств горных пород и породных массивов при их взаимодействии с естественными и искусственно создаваемыми физическими полями в ходе проведения горных работ, в частности, при добыче полезных ископаемых и строительстве подземных сооружений.

# **ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГОРНЫХ ПОРОДАХ И ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (состав массива горных пород)**

Земная кора, или литосфера — каменная оболочка Земли толщиной 15—70 км, которая сверху ограничена гидросферой и атмосферой, а снизу — мантией.

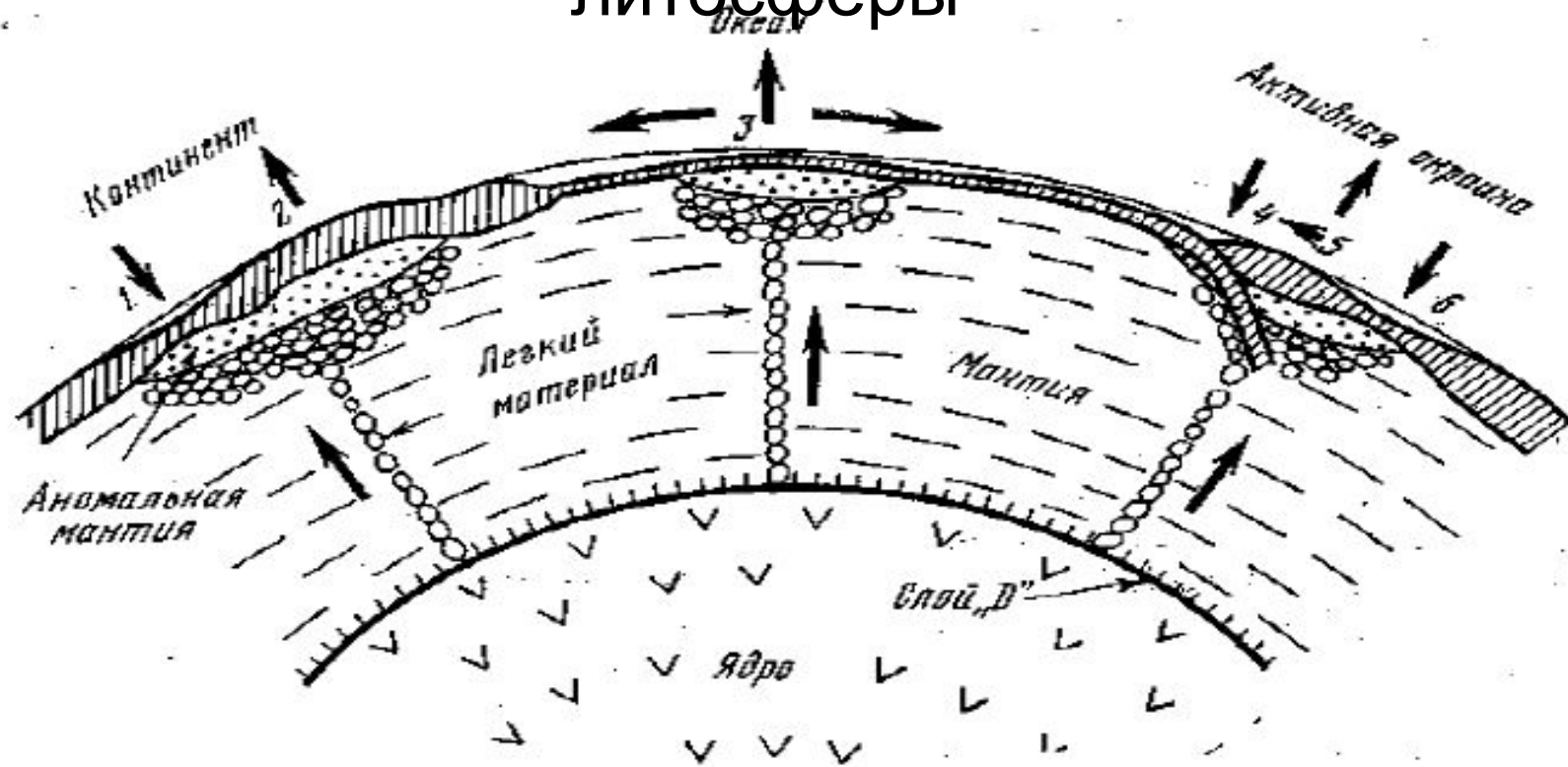
Поверхность, разграничивающая литосферу и мантию - поверхность Мохоровича.

# Общая схема внутреннего строения Земли



- Кора- 32 км
- Верхняя мантия -700-900 км
- Нижняя мантия – 2900 км
- Внешнее ядро – 5100 км
  
- Кора и верхняя мантия - тектоносфера

# Схема происхождения вертикальных и горизонтальных движений литосферы



дифференциация на границе ядро-мантия поднятие лёгкого нагретого материала в астеносферу

вертикальные движения литосферы

горизонтальные движения литосферы

1 – внутреннее море; 2 - крупное поднятие на континенте; 3 – срединно-океанический хребет; 4 – глубоководный желоб; 5 – островная дуга; 6 – краевое море

**Земная кора состоит из горных пород.  
Разделяются на коренные и наносные.**

*Коренные породы — это породы, залегающие на месте первоначального образования и не подвергавшиеся разрушению. Делят на изверженные (магматические), осадочные и метаморфические (видоизмененные).*

*Наносные — это рыхлые осадочные породы, которые образовались в результате разрушения коренных пород.*



# Коренные породы

Породы	образовались в результате	К ним относятся	Доля в земной коре
<b>Изверженные</b>	остывания расплавленной магмы	гранит, сиенит, диорит, габбро, диабаз, базальт	95 %
<b>Осадочные</b>	накопления осадков, главным образом в водной среде, а также в результате деятельности ледников	уголь, аргиллит, алевролит, песчаник, известняк, глина	1 %
<b>Метаморфические</b>	из магматических или осадочных пород, претерпевших изменение (метаморфизм) в недрах земли под влиянием температуры и давления	Кварциты, мрамор	4 %

- ✓ **Горные породы** имеют более или менее однородный состав и строение. Они состоят из зерен одного или нескольких минералов или из минералов и обломков других пород.
- ✓ **Минералами** называются природные химические соединения (реже самородные элементы), являющиеся естественными продуктами различных физико-химических процессов, протекавших в земной коре или на ее поверхности.

К минералам относятся также индивидуализированные элементы, обнаруживаемые в земной коре (самородные металлы и металлоиды). Минералы могут быть газообразные (природный газ), жидкие (нефть, ртуть, вода) и твердые (рудные минералы и др.).

Количество природных соединений ограничено; всего известно около 4100 различных минералов.

Среди минералов различают **породообразующие минералы**, входящие в качестве постоянных компонентов в состав горных пород.

К ним относятся **силикаты**, составляющие не менее 75 % всей земной коры, кварц, оливин, андалузит и др. Из общего количества минералов породообразующих порядка 50—60

Минералы имеют свою пространственную решетку, соответствующую закону распределения вещества внутри кристалла. Известно семь типов (сингоний) кристаллических решеток, характеризующихся отношениями размеров кристаллических осей  $a$ ,  $b$ ,  $c$  (наименьших расстояний между узлами решетки в трех направлениях) и углами между ними  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  :

первая сингония — **триклинная** ( $a \neq b \neq c$ ;  $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ );

вторая сингония — **моноклинная** ( $a \neq b \neq c$ ;  $\alpha = \gamma = 90^\circ$ ;  $\beta \neq 90^\circ$ );

третья сингония — **ромбическая** ( $a \neq b \neq c$ ;  $\alpha = \gamma = \beta \neq 90^\circ$ );

четвертая сингония — **тетрагональная** ( $a = b \neq c$ ;  $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$ );

пятая сингония — **тригональная** ( $a = b = c$ ;  $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ );

шестая сингония — **гексагональная** ( $a = b \neq c$ ;  $\alpha = \beta = 90^\circ$   $\gamma$

$= 120^\circ$  ).

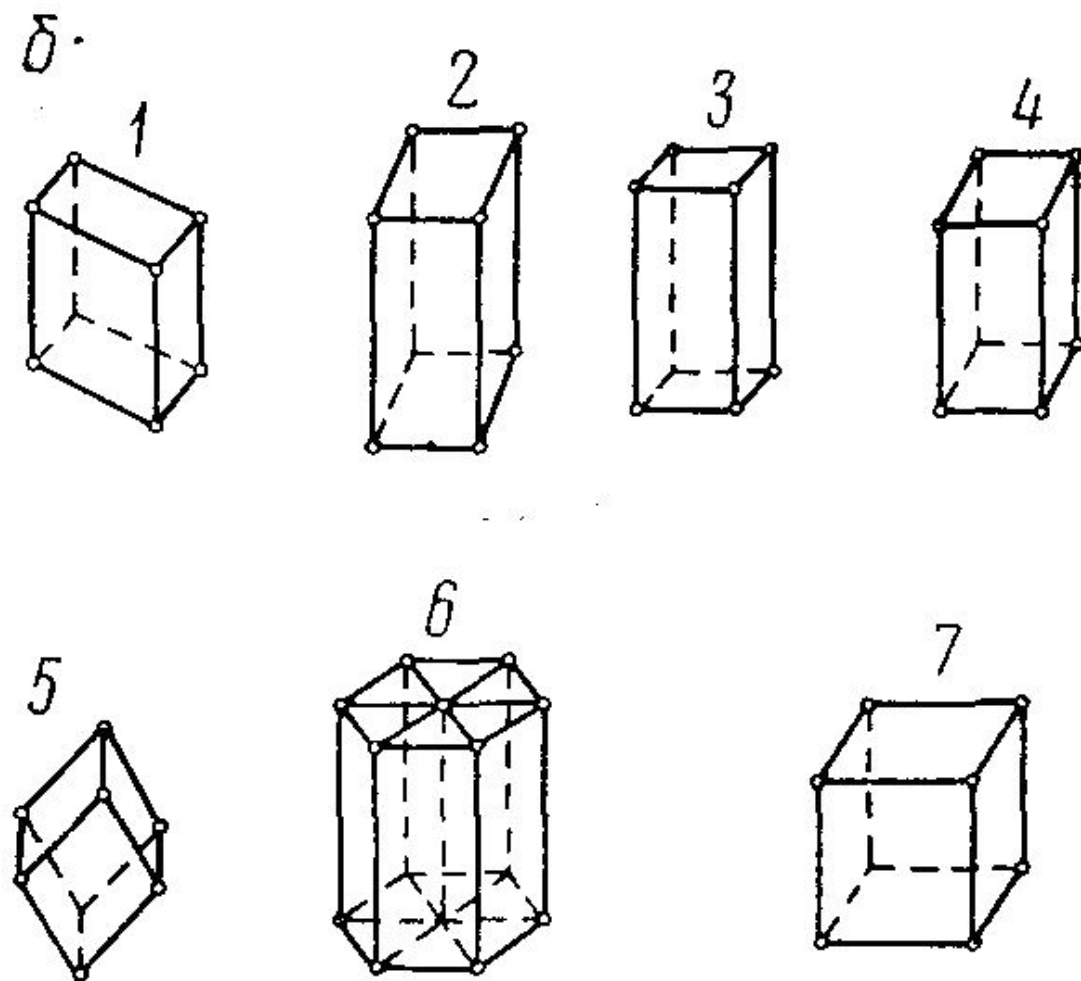
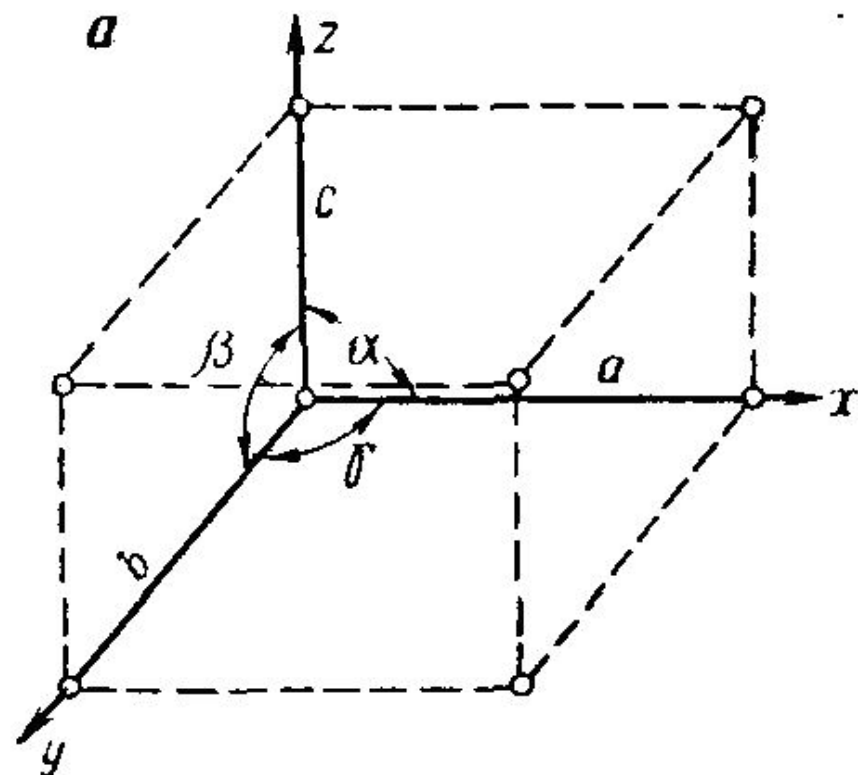


Рис. 1. Пространственные решетки различных кристаллических систем:  
 а — элементы решетки; б — кристаллы триклинной (1), моноклинной (2), ром-  
 бической (3), тетрагональной (4), тригональной (5), гексагональной (6) и куб-  
 ической (7) сингоний

Физические свойства одиночного кристалла определяются его химическим составом и силами связей между частицами, входящими в пространственную решетку.

Существуют следующие типы связей – **ионная (полярная), ковалентная (гомеополярная), металлическая, молекулярная.**

По химическому составу минералы принято делить на следующие группы:

**самородные элементы** (золото, серебро, мышьяк, сера, сурьма, алмаз);

**сульфиды** (халькозин  $Cu_2S$ , сфалерит  $ZnS$ , киноварь  $HgS$ , пирит  $FeS_2$ );

**окислы** (куприт  $Cu_2O$ , корунд  $Al_2O_3$ , гематит  $Fe_2O_3$ , кварц  $SiO_2$ );

**силикаты** (оливин, тальк, мусковит, биотит, серпентин, каолинит, калиевые полевые шпаты );

**соли кислородных кислот** — сульфаты, вольфраматы, карбонаты и т. д. (ангидрид  $CaSO$  . барит  $BaSO$  . шеелит  $CaWO$  . кальцит  $CaCO$  .):

Минералы подразделяются по **генезису** на группы. Различают **магматогенные** минералы, образовавшиеся как непосредственно из магмы, так и из магматогенных горячих растворов, **экзогенные** (осадочные) минералы, возникшие вблизи поверхности Земли при участии агентов выветривания, и **метаморфические** минералы, образовавшиеся на глубине в результате изменения других минералов.

Часто один и тот же минерал может образовываться в различных условиях. Например, слюда может быть магматогенной и метаморфической.

- Горные породы и минералы, которые могут быть использованы в естественном виде или после соответствующей переработки, называются **полезными ископаемыми**. Могут быть твердые, жидкие и газообразные.
- Горные породы, вмещающие полезное ископаемое или заключенные в его толще, называются **пустыми породами**.



- Естественное скопление полезного ископаемого в земной коре, занимающее определенный объем в ней, называется **месторождением полезного ископаемого**.
- Месторождения могут быть **коренными** и **россыпными**.

# Россыпные месторождения

- образовались в процессе физического выветривания коренных горных пород и химического воздействия на них различных факторов.

разделяются на:

- **элювиальные** (залегают на месте разрушения коренных пород),
- **делювиальные** (перемещенные на некоторое расстояние от коренного месторождения),
- **аллювиальные** (перемещенные на значительные расстояния водными потоками),
- **береговые, ледниковые и золовые** (перенесенные элювиальные россыпи силой ветра).

- По добываемому полезному ископаемому различают **рудные** и **нерудные** месторождения.
- **Рудой** называется естественное минеральное вещество, из которого путем переработки извлекаются металлы и полезные минералы.

Среднее содержание основных химических элементов в горных породах

Элементы	Содержание элементов, % по массе, в горных породах*:	
	Магматических и метаморфических	осадочных
Кислород	46	50
Кремний	27	21
Алюминий	8,6	10,6
Железо	6	3,3
Кальций	4,8	10
Натрий	2,5	0,9
Магний	2,8	2
Калий	1,6	1,9
Итого:	99,3	99,7

\* В земной коре 42,5% (по объёму) приходится на базальты и 10,4% - на граниты.

Среднее значение содержания оксидов в земной коре

Оксид	Содержание, % по массе	Оксид	Содержание, % по массе
SiO <sub>2</sub>	60	Na <sub>2</sub> O	3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15	K <sub>2</sub> O	3
CaO	5	TiO <sub>2</sub>	1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	H <sub>2</sub> O	1
FeO	3	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5
MgO	3	MnO	0.15

# Состав и состояние массива горных пород

## Характеристики массивов горных пород



- Под **составом массива горных пород** понимается совокупность слагающих его частей, элементов.
- Поскольку массив горных пород — среда с ярко выраженным масштабным фактором, то и состав его качественно и количественно отличен на различных масштабных уровнях.

# По литологическому составу

- **Происхождение горных пород:**
  - 1) магматические в виде застывшей магмы (гранит, сиенит, дунит, габбро, базальт, диорит);
  - 2) осадочные в виде отложения из воды или воздуха продуктов разрушения магматических пород или органических соединений (известняки, песчаники, трепела, каменные угли);
  - 3) метаморфические в виде преобразованных магматических или осадочных пород под действием высокого давления, температуры и химических растворов (кварцит, сланец, гипс, мрамор, филлит).
- ***Кроме того, существует деление на экструзивные, интрузивные, эффузивные породы.***



- **Магматические породы** (гранит, сиенит, дунит, габбро, базальт, диорит) по содержанию кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) условно подразделяются на кислые (> 65%), средние (52 - 65%), основные (52 - 40%) и ультраосновные (<40%). Наиболее распространенными кислыми породами являются гранит, липарит, кварцевый порфир; средними — диорит, андезит, сиенит, трахит; основными — габбро, базальт; ультраосновными — перидотит, пироксенит, дунит.

# По характеру связей между их твердыми минеральными частицами

группа	подгруппа	определение	пример
1. Твердые (жесткие)		слагающие породы твердые минеральные частицы объединены между собой жесткой связью, обеспечивающей сохранение формы под нагрузкой	
	скальные	кристаллические породы со структурными кристаллическими или аморфными связями. При насыщении водой сцепление у таких пород не изменяется.	граниты, диабазы, базальты, гнейсы, диориты.
	полускальные	сцементированные породы, у которых наряду с жесткими проявляются и пластические связи. При повышении нагрузок до определенных значений деформирование пород происходит по закону пластических деформаций, так же, как и у мягких, рыхлых пород. При насыщении водой силы сцепления у полускальных пород резко снижаются или исчезают совсем.	сцементированные известняки, песчаники, доломиты, мергели, аргиллиты и алевролиты.

# По характеру связей между их твердыми минеральными частицами

Пластичные или связные породы		минеральные частицы соединены водно-коллоидной связью, преимущественно через тонкие пленки воды, обволакивающей частицы. В зависимости от степени насыщения этих пород водой меняется степень их пластичности.	глины, глинистые сланцы, суглинки, бокситы.
Раздельно-зернистые или рыхлые сыпучие породы	песчаные и грубообломочные породы.	связи между минеральными частицами отсутствуют или ничтожно малы, породы представляют собой простые механические смеси частиц одного или нескольких минералов либо обломков твердых пород.	пески, гравийно-галечные отложения, искусственные отвалы пород.

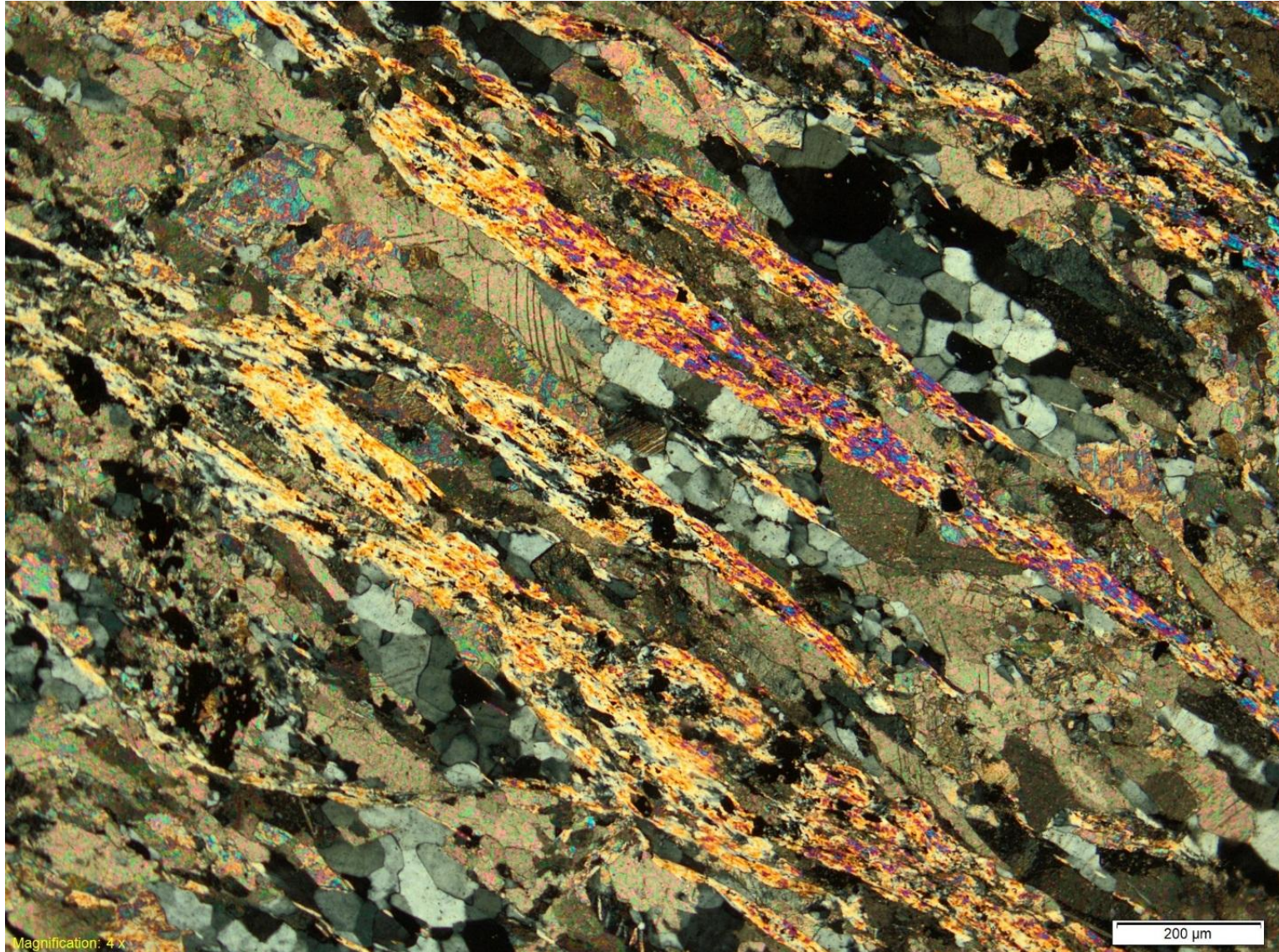
# По характеру связей между их твердыми минеральными частицами

Текучие		минеральные частицы разобщены водой, т. е. способны различным образом перемещаться вместе с насыщающей их водой.	насыщенные водой пески (пывуны), насыщенные водой глины и суглинки.
---------	--	--	---

# ***Петрографический состав массива***

- *Петрографический состав массива* определяет строение массива пород — размеры, форму, взаимное расположение и способ срастания слагающих горные породы минеральных частиц. Петрографический состав во многих случаях определяет механические свойства массива пород.
- Важнейшими характеристиками строения пород являются структура и текстура.

# ПРИМЕР: СЛЮДИСТО-КВАРЦЕВАЯ ПОРОДА



- Цвет темно-серый, структура зернисто-чешуйчатая, текстура сланцеватая, плейчатая. Состав: кварц, слюда.
- Порода тектонически изменена – разбита трещинами, смята в мелкие складки

# ПРИМЕР: Слюдистый кварцит



- Белые и светло-серые зерна - кварц, серые чешуйки и нитевидные линии – слюда, темно-серые, рельефные зерна – доломит, черные – пирит и лейкоксен.

# СТРУКТУРА

- **Под *структурой*** понимают степень кристаллизации пород (кристаллического или аморфного их строения), размеры, форму минеральных частиц и характер связи между ними.



# По степени кристаллизации

Структура	Характеристика породы
Полнокристаллическая	Характеризуются полной кристаллизацией всех слагающих минералов.
Неполнокристаллическая	Породы состоят частично из кристаллических зерен, частично из аморфной, стекловидной сцементированной массы.
Стекловатая	Сплошная стекловидная масса
Порфировая	В общую стекловатую или скрытокристаллическую массу вкраплены кристаллические зёрна
обломочная	Породы обломочной структуры состоят из сцементированных обломков первичных пород, из которых они образованы

# По крупности кристаллических зерен

- Гигантозернистые с размерами кристаллов более 100 мм;
- Грубозернистые — от 10 до 100 мм;
- Крупнозернистые — от 5 до 10 мм;
- Среднезернистые — от 1 до 5 мм;
- Мелкозернистые — до 1 мм.
- Афанитовая - зерна различимы в лупу
- Скрытокристаллическая - Кристаллы не видны даже при увеличении

*ПРИМЕЧАНИЕ: По мере уменьшения размера зерен, как правило, повышается прочность, плотность и упругость горных пород.*

- В породах неполнокристаллической, порфириновой и обломочной структуры механические свойства существенно зависят от характера цементации и состава цементирующего вещества.
- **Состав цемента:** кремнистый, железистый, известковый, глинистый, мергелистый, гипсовый.
- Наибольшей прочностью обладают породы с кремнистой и железистой цементацией

# По типу цементации

- **базальтовый** — зерна минералов не соприкасаются друг с другом и погружены в стекловатую массу, степень цементации очень высока и прочность зависит от характера цементирующего вещества;
- **контактный** — цементирующее вещество присутствует только по контактам зерен, прочность невысокая;
- **поровый** — минеральные зерна непосредственно соприкасаются друг с другом, а поры между ними заполнены цементирующим веществом, прочность более высокая, чем в породах контактной структуры, но ниже, чем в базальтовой;
- **коррозийный** — цементирующее вещество внедряется в минеральные зерна и заполняет все промежутки, прочность очень высокая.

# ТЕКСТУРА

- ***Текстура*** характеризует взаимное расположение однотипных частиц породы в занимаемом пространстве

# ТЕКСТУРА

Текстура	Характеристика породы
Массивная	частицы горной породы плотно прилегают друг к другу, ориентированы произвольно
Пористая	частицы породы прилегают друг к другу неплотно, между ними имеется множество микропустот (пор)
Слоистая	Частицы породы чередуются с другими частицами, образуя слои и напластования.

# ИЗОТРОПНОСТЬ И АНИЗОТРОПНОСТЬ

- Породы упорядоченной текстуры обладают обычно анизотропностью свойств, т. е. существенным различием их показателей в различных направлениях, в частности, по направлениям слоистости, сланцеватости, полосчатости от одноименных показателей в иных направлениях.
- Свойства горных пород неупорядоченной текстуры (например, массивно-кристаллических) оказываются сходными во всех направлениях. Такие породы при решении задач геомеханики можно рассматривать как квазиизотропные тела.

- Для многих осадочных и метаморфических пород с точки зрения пространственных закономерностей изменения их механических свойств существенное значение имеют слоистость, полосчатость и пластовая отдельность.
- Слоистость и полосчатость связаны со сменой минералогического или вещественного состава, причем эта смена может быть резкой или же постепенной.
- Пластовая отдельность — это плоскости, по которым одни пласты или слои отделяются от других. При этом сцепление пород по плоскостям пластовой отдельности обычно значительно ниже, чем сцепление внутри пластов или слоёв пород.



## По минералогическому составу

- породы делятся на мономинеральные, состоящие из одного минерала, и полиминеральные.

## По породообразующему минералу

- кварцевые, силикатные, карбонатные, глинистые, гидрофильные, легкорастворимые.
- Наивысшей прочностью обладают кварцевые с кремнистой цементацией, высока прочность и у силикатных пород. Наличие слюдяных минералов уменьшает прочность, а легкорастворимые минералы резко снижают упругие и прочностные свойства.

# Характеристики состояния массивов горных пород

- напряженное, деформированное, обводненное или необводненное, мерзлое или немерзлое
- связанное или несвязанное
- естественное природное или техногенно нарушенное горными работами

# ОБВОДНЕННОСТЬ

**С одной стороны**, повышение обводненности массива приводит к уменьшению прочностных и деформационных характеристик пород: снижается предел прочности на сжатие, сцепление, существенно снижается модуль упругости и модуль деформации массива, несколько повышается значение коэффициента Пуассона, уменьшается угол внутреннего трения пород.

**С другой стороны**, уменьшение обводненности при осушении месторождения в процессе разработки вызывает консолидацию элементов массива и также отрицательно влияет на устойчивость выработок и сооружений и увеличивает деформацию поверхности.

**Кроме того**, многие глинистые породы при водонасыщении качественно изменяют свои свойства, приобретают подвижность, набухают, разуплотняются. Гипсовые породы при насыщении водой полностью теряют сцепление и также набухают.

# Криогенное состояние массива

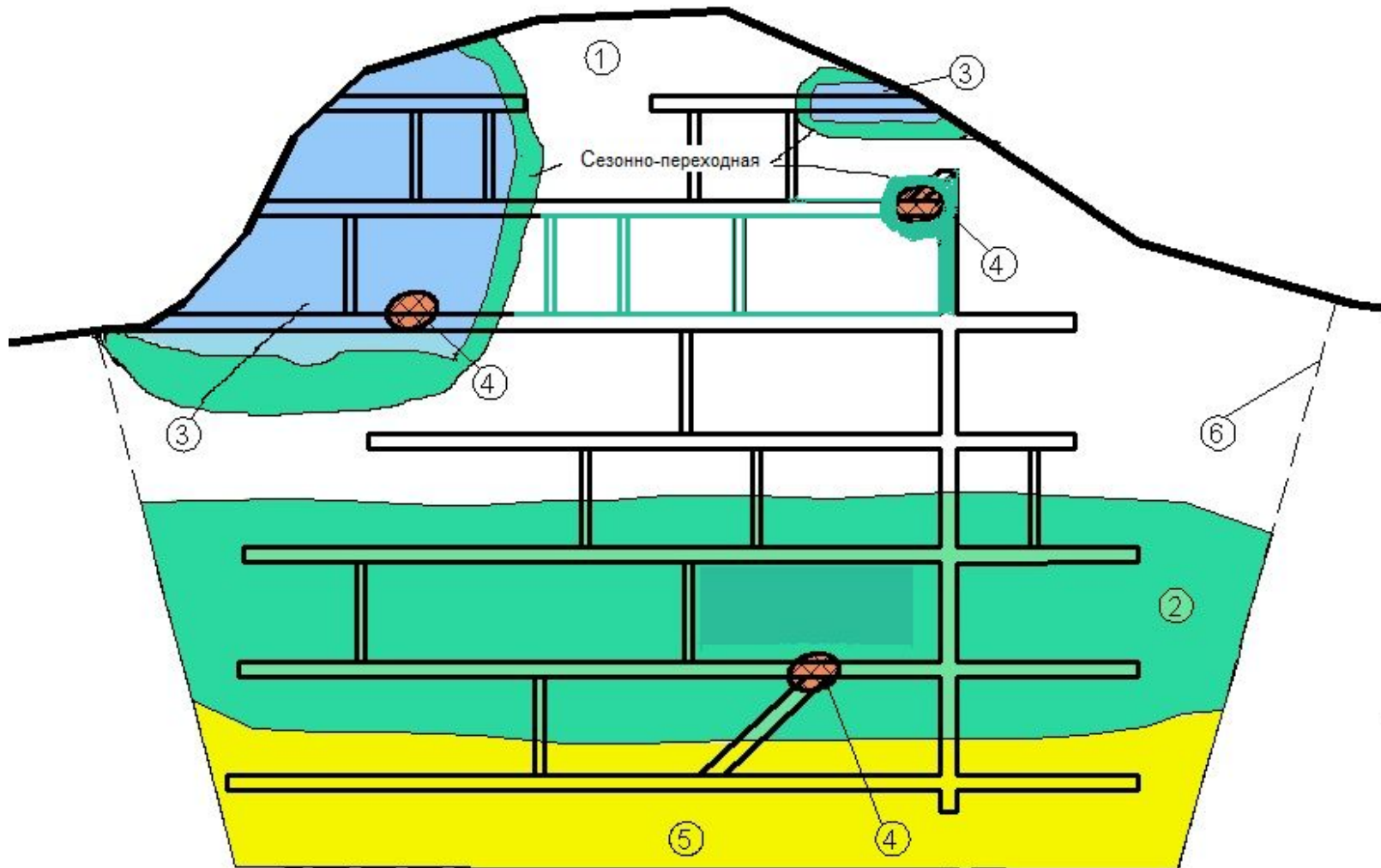


Схема строения  
состояния криолитозоны  
шахтного поля в летний  
период.

- 1 – «постоянная»,
- 2 – «природно-  
переходная»,
- 3 – «сезонная»,
- 4 – «техногенная»,
- 5 – талые породы,
- 6 - контур шахтного поля

# ***Степень связанности горных пород***

- связанные и несвязанные (сыпучие).
- а) твёрдые горные породы; б) связные (глинистые) – глины, бокситы; в) несвязанные (сыпучие, рыхлые) – песок, гравий, брекчии.
- Характеристикой степени связанности является наличие сцепления между элементами массива.
- При малом сцеплении или его уменьшении под воздействием воды или в процессе производства горных работ породы становятся малосвязанными.