



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Курс: «Технология бурения эксплуатационных скважин
при отработке месторождений урана методом
подземного выщелачивания»

Лекция 3

Тема: «Свойства горных пород и их влияние на ПСВ»



Лектор старший преподаватель ТПУ - Бер Александр Андреевич



Влияние физико-механических свойств
горных пород на эффективность
сооружения геотехнологических скважин
и технологию их оборудования для
подземного выщелачивания.

Физико-механические свойства горных пород

- **Добыча** твердых полезных ископаемых с использованием буровых скважин наиболее эффективно может производиться при наличии определенных **горно-геологических, гидрогеологических и геотехнологических условий**, основным из них является способность твердых горных пород переходить в подвижное состояние с помощью выщелачивания.
- Слагающие залежь **горные породы представляют собой многокомпонентные системы**, различающиеся по свойствам и формам связей составляющих компонентов.
- Сами месторождения имеют различные горно- и гидрогеологические условия. Поэтому на первом этапе работ требуется детально изучить вещественный состав слагающих залежь горных пород, их физико-химические, химико-технологические и физико-механические свойства, а также гидрогеологию месторождения.

Физико-механические свойства горных пород

- Особое внимание должно быть уделено изучению строения, характера залегания и свойств вмещающих и перекрывающих горных пород, так как эти факторы могут существенно влиять на эффективность применения рабочих агентов, а иногда иметь решающее значение, особенно для месторождений, в которых полезное ископаемое залегает в виде зерен, вкраплений, гнезд и других включений, а вышележащие породы не обладают изоляционными свойствами (пористые, трещиноватые, содержащие легкорастворимые или расплавляемые включения и т. д.).

Физико-механические свойства горных пород и их буримость

Свойства пород и их буримость далее будем рассматривать только для **вращательного бурения**

Физические свойства

- степень связности,
- пористость,
- плотность,
- структура,
- текстура,
- зернистость

Механические свойства

- прочность,
- твердость,
- абразивность,
- упругость,
- хрупкость,
- пластичность

Знание механических свойств необходимо **для выбора:**

- породоразрушающего инструмента для конкретной породы,
- параметров технологического режима,
- получения качественных проб полезного ископаемого (**керна**) при бурении разведочных скважин,
- проведения скважины по проектной трассе.

Физико-механические свойства горных пород

Горные породы по происхождению:

- **Магматические**
- **Осадочные**
- **Метаморфические**

Физико-механические свойства горных пород

Магматические породы

Магматические породы подразделяются на:

- **Излившиеся (эффузивные)** породы (базальты, диабазы, андезиты, порфиристы, липариты, фельзиты) **характеризуются** мелкозернистой структурой и имеют **повышенную прочность**, **пониженные абразивные свойства**.
- **Глубинные (интрузивные)** породы (граниты, сиениты, диориты, габбро, перидотиты и др.) имеют крупнокристаллическую структуру и **обладают меньшей прочностью, повышенной абразивностью**. Породы этого комплекса **бурят**, в основном, **алмазными** коронками.

Физико-механические свойства горных пород

Осадочные породы

Осадочные горные породы непостоянны по свойствам и характеризуются **меньшей** прочностью, чем магматические.

Среди пород осадочного комплекса выделяют:

- **рыхлые** — это образования, у которых **частицы не имеют связи** (пески, гравий, галечники),
- **пластичные** (глина, глинистые образования),
- **твердые** породы, **близкие по своим механическим свойствам магматическим** (известняки, доломиты, песчаники, алевролиты, конгломераты и др.).

Породы этого комплекса **хорошо бурятся твердосплавными** коронками, но те из них, которые имеют **повышенное содержание кварца**, других рудных минералов или **сцементированы более твердым цементом**, бурят **алмазными** коронками.

Физико-механические свойства горных пород

Метаморфические горные породы

Метаморфические горные породы образовались из изверженных и осадочных пород под действием **очень больших** давлений и **высоких температур**.

- К ним относятся гнейсы, сланцы, кристаллические кварциты, джеспилиты, роговики, скарны, мраморы и др.
- Эти породы в зависимости от **характера процесса метаморфизма** могут приобретать **повышенную** или **пониженную** прочность, **переходить в рыхлое, раздробленное или твердое монолитное состояние**.

Кристаллические сланцы, мраморы, филлиты легко бурить **твердосплавными** коронками. Эффективное бурение таких кварцевых пород, как роговики, кварциты, джеспилиты, возможно с применением **алмазных** коронок.

Физико-механические свойства горных пород

Горные пород по степени связности разделяются на:

- **Скальные**
- **Связные**
- **Сыпучие**

Физико-механические свойства горных пород

Скальные горные породы

- **Скальные (кварциты, граниты и др.)** породы характеризуются наличием значительных молекулярных сил сцепления и трения между частицами, имеют большую твердость и трудно разрушаются. Многие из них абразивные.
- Бурение **скальных** пород, как правило, ведется **без крепления стенок скважины** за исключением случаев пересечения участков сильно трещиноватых пород.

Физико-механические свойства горных пород

Связные горные породы

- Связные породы (типа глин) характеризуются значительными силами сцепления между частицами. Однако эти силы изменяются в зависимости от влажности.
- После разрушения сплошности (при углубке скважины) силы сцепления могут восстанавливаться полностью или частично под воздействием высокого давления и увлажнения.
- От скальных пород связные породы отличаются высокой пластичностью, небольшой абразивностью и малой прочностью.
- Глинистые породы легко разбуриваются любыми породоразрушающими инструментами.
- Стенки скважин устойчивы и в большинстве случаев не нуждаются в креплении.
- Некоторые глины хорошо впитывают воду, увеличиваются в объеме (набухают) и вызывают сужение ствола скважины.

Физико-механические свойства горных пород

Сыпучие горные породы

- Сыпучие породы (пески, гравий, галечник, дресва) характеризуются почти **полным отсутствием сил сцепления** между частицами.
- Некоторые пески при насыщении водой становятся плавучими. Если они находятся под напором, то заполняют уже пробуренный ствол скважины.
- **Сыпучие породы** способны к оползанию и стенки скважины легко обрушаются, поэтому бурение ведется с креплением обсадными трубами или другими способами закрепления ствола скважины.
- Они **легко разбуриваются** различными породоразрушающими инструментами, абразивны и вызывают повышенный износ последних.

Физико-механические свойства горных пород

Деформационные свойства горных пород

Горные породы под действием приложенных нагрузок

- в одних случаях меняют только свою форму и объем без разрыва сплошности (пластическая деформация),
- в других случаях — разрушаются на отдельные элементы без заметной пластической деформации.

Выделяют такие важные деформационные свойства пород как пластичность, хрупкость и упругость.

- Пластичность - свойство породы необратимо деформироваться от воздействия внешних сил.
- Хрупкость - способность породы разрушаться без заметной пластической деформации
- Упругость - способность породы восстанавливать первоначальную форму или объем после снятия нагрузки.

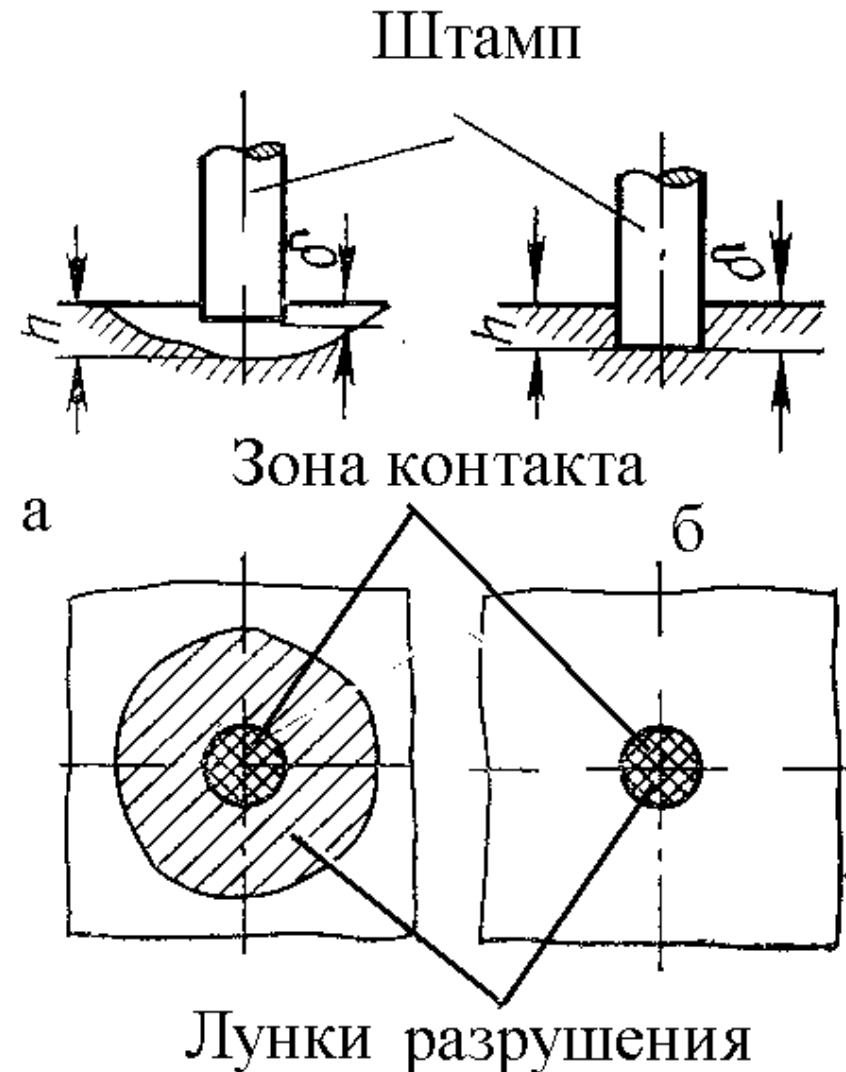
Горные породы (кроме рыхлых и плавучих) в зависимости от деформационных свойств делятся на упруго-хрупкие, упруго-пластичные, высокопластичные

Физико-механические свойства горных пород

Деформационные свойства горных пород

Вдавливание штампа (метод проф. Шрейнера Л.А.)

- ***a*** — для упругих пород;
- ***б*** — для высокопластичных и сильнопористых пород;
- ***δ*** — наибольшая деформация породы,
- ***h*** — глубина лунки разрушения

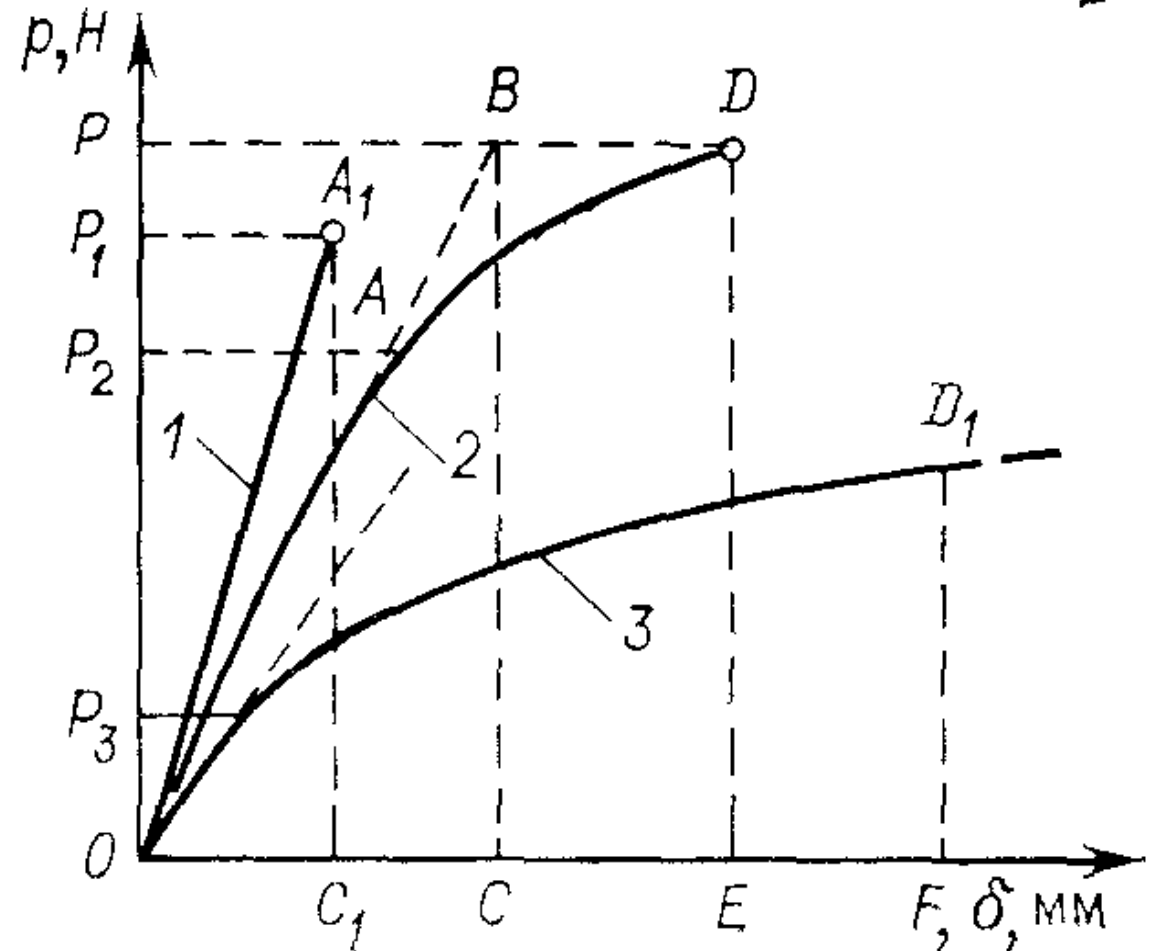


Физико-механические свойства горных пород

Деформационные свойства горных пород

Графики деформации пород

- 1—**хрупкая** порода (кварцит)
- 2— **упруго-пластичная** порода (мрамор)
- 3—**высокопластичные** (глина, каменная соль)
- p - нагрузка, Н
- δ -величина деформации, мм



Физико-механические свойства горных пород

Прочность горных пород

Прочностью горной породы называется способность ее сопротивляться внешним силам, стремящимся разрушить связь между зернами, слагающими эту породу.

Прочность зависит от способа деформации.

Различают прочность на :

- **сжатие,**
- **растяжение,**
- **изгиб и скалывание.**

Физико-механические свойства горных пород

Прочность горных пород

- Наибольшая прочность горных пород проявляется **при сжатии** и характеризуется временным сопротивлением породы сжатию – $\sigma_{сж.}$
- Прочность **на сжатие** определяется на гидравлическом прессе.

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{F},$$

где P — усилие, разрушающее образец, Н;

F — площадь поперечного сечения, по которому образец сжимается, м².

- Прочность породы **при скалывании** в 10—15 раз меньше прочности **при сжатии**
- Прочность породы **при растяжении** в 1,5— 2 раза меньше, чем прочность при **скалывании**
- Поэтому желательно, чтобы **при разрушении пород** в процессе бурения преобладало **скалывание** и **растяжение**

Физико-механические свойства горных пород

Твердость горных пород

- Твердостью называется **способность породы оказывать сопротивление проникновению в нее другого более твердого тела.**
- Это очень важное свойство горных пород, **определяющее глубину внедрения резцов** породоразрушающего инструмента, поэтому влияющее на **скорость бурения** скважин.
- Твердость горных пород **зависит** также от способа приложения нагрузок, которые могут быть **статическими** и **динамическими**.
- В соответствии с этим различают твердость **статическую** и **динамическую**.
- Динамическая твердость в 10 раз меньше **статической**.

Физико-механические свойства горных пород

Абразивность горных пород

- Абразивностью называется **способность горной породы изнашивать породоразрушающий инструмент** в процессе бурения.
- Абразивность породы зависит от **твёрдости** породообразующих минералов, **характера сцепления зерен друг с другом**, крупности и формы зерен, плотности породы и степени ее трещиноватости.
- Наиболее абразивными оказываются породы, в которых **твёрдые** минералы (например кварц, корунд, гранат) сцементированы **менее твёрдым материалом**.
- Процесс абразивного износа - это сумма **отдельных царапаний**, приводящих к срезанию тончайших стружек с резцов породоразрушающего инструмента.

Физико-механические свойства горных пород

Абразивность горных пород

Группа пород по абразивности	I	II	III	IV	V	VI
Степень абразивности пород	Мало абразивные	Умеренно абразивные	Средне абразивные	Абразивные	Сильно абразивные	Весьма абразивные
Горные породы	Мрамор, известняк, алевролит, сланцы	Доломит, скарн, сланец, кремнистый известняк	Диабаз, туфопесчаник, скарнированный диорит	Сиенит, гранодиорит, туф,	Кварц, гранит, кварцевый песчаник,	Яшмовидная порода, кварцит, м/з гранит



Буримость горных пород. Классификация горных пород по буримости

Буримость горных пород

- Под **буримостью** понимают способность горной породы разрушаться под действием различных породоразрушающих инструментов.
- **Буримость** горных пород **определяется** величиной углубки породоразрушающего инструмента в данную породу за единицу чистого времени бурения (механическая скорость **$V_{\text{мех}}$**) и измеряется в метрах в час (м/ч).

Буримость горных пород

Буримость зависит от:

- механической прочности породы,
- твердости,
- абразивности,
- анизотропности

Буримость горных пород

Анизотропность

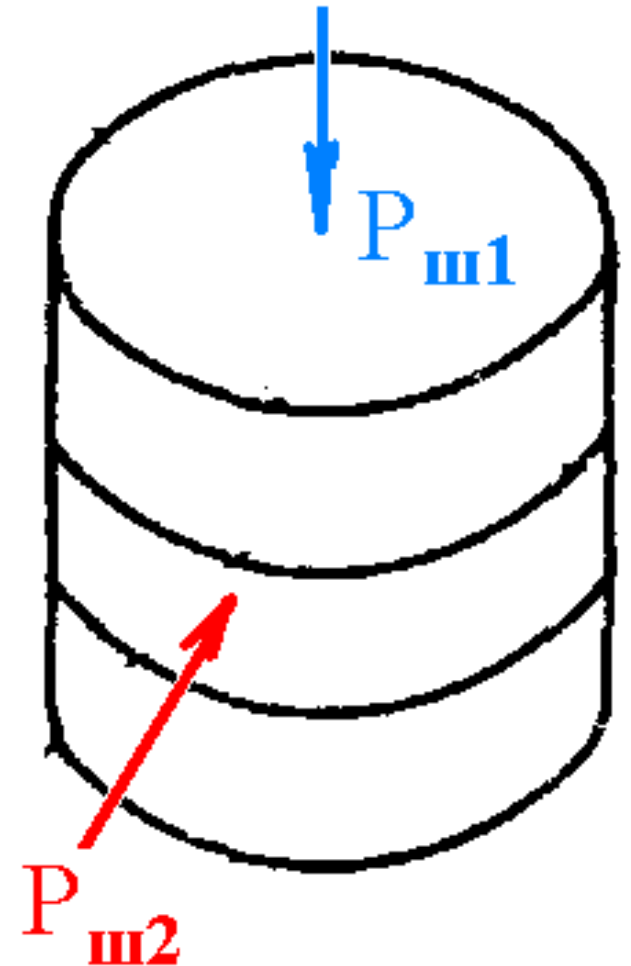
Это - различные физико-механические свойства породы во взаимно - перпендикулярных направлениях. Анизотропность связана с направлением слоистости или трещиноватости породы

- $P_{ш1}$ - Минимальная твердость (наибольшая буримость).
- $P_{ш2}$ - Наибольшее значение твердости (наименьшая буримость)

Степень анизотропности,

$$\eta' = \frac{P_{ш2}}{P_{ш1}},$$

(в разных породах η' изменяется от 1 до 1,75)



Буримость горных пород

- **Буримость** горных пород зависит также от способа бурения, а вернее способа разрушения горных пород.

Для различных способов бурения разработаны свои классификации горных пород по **буримости**:

- при **вращательном** способе бурения все породы разбиты на 12 (двенадцать) категорий,
- при **ударном** — на 7 (семь).

Классификация горных пород по буримости **необходима**, как единый критерий:

- **при** планировании, проектировании, финансировании буровых работ;
- **при** определении потребности в оборудовании, инструменте, материалах;
- **при** нормировании труда рабочих геологоразведочных организаций, работающих в различных геологических условиях.

Буримость горных пород

Определение **категории** горных пород **по буримости**

Для установления **категории породы по буримости** (для **вращательного бурения**) из нее отбирают **две-три пробы** керна и **на приборе** определяют коэффициенты динамической прочности F_d и абразивности K_a .

Рассчитывают **объединенный показатель**

$$\rho_m = 3 \cdot F_d^{0,8} \cdot K_a ,$$

F_d – динамическая прочность $F_d = 0,1 - 30$

K_a – абразивность, $K_a = 0,1 - 5$

- $\rho_m = 2 - 115$ - породы от III до XII категории по буримости

Классификация горных пород по буримости для вращательного бурения

Категория пород по буримости	Породы	Скорость бурения, м/ч
I	Торф, песок без гальки	23—30
II	Глина средней плотности	11—15
III	Плотная глина	5,7—10
IV	Слабые песчаники;	3,5—5,0
V	Аргиллиты	2,5—3,5
VI	Полевошпатовые песчаники	1,5—2,5
VII	Окварцованные известняки	1,9—2,0
VIII	Песчаники кварцевые	1,3—1,9
IX	Крупнозернистые граниты	0,7—1,2
X	Гранодиориты	0,5—0,7
XI	Кварциты,	0,3—0,5
XII	Роговики	0,15—0,25

Влияние физико-механических свойств
горных пород на технологию
оборудования эксплуатационных
скважин подземного выщелачивания

Влияние физико-механических свойств

- **Добыча** твердых полезных ископаемых с использованием буровых скважин наиболее эффективно может производиться при наличии определенных **горно-геологических, гидрогеологических и геотехнологических** условий, основным из них является способность твердых горных пород переходить в подвижное состояние с помощью выщелачивания.
- Как известно, слагающие залежь горные породы представляют собой многокомпонентные системы, различающиеся по свойствам и формам связей составляющих компонентов. Сами месторождения имеют различные горно- и гидрогеологические условия.

Влияние физико-механических свойств

- Поэтому на первом этапе работ требуется детально изучить вещественный состав слагающих залежь горных пород, их физико-химические, химико-технологические и физико-механические свойства, а также гидрогеологию месторождения.
- Это необходимо для выбора способа бурения, бурового оборудования, инструмента, режимов бурения, а также для выбора наиболее целесообразных видов рабочих агентов для выщелачивания урана. Особое внимание должно быть уделено изучению строения, характера залегания и свойств вмещающих и перекрывающих горных пород, так как эти факторы могут существенно влиять на эффективность применения рабочих агентов, а иногда иметь решающее значение, особенно для месторождений, в которых полезное ископаемое залегает в виде зерен, вкраплений, гнезд и других включений, а вышележащие породы не обладают изоляционными свойствами (пористые, трещиноватые, содержащие легкорастворимые или расплавляемые включения и т. д.)

Влияние физико-механических свойств

- При подземном выщелачивании урана определяющим является **пористость** и **проницаемость** залежей. Как правило, чем выше пористость и проницаемость, тем быстрее идет процесс выщелачивания.
- В настоящее время ПВ наиболее широко применяются в породах осадочного комплекса. В геологическом разрезе буровых скважин преобладают песчано-глинистые, карбонатные, аргиллитовые и другие осадочные породы.
- На процессы сооружения геотехнологических скважин и добычи оказывают влияние различные физико-механические свойства горных пород, основными из которых являются прочность, твердость, абразивность, пористость, трещиноватость, водопроницаемость, устойчивость и др.

Влияние физико-механических свойств

Ниже будут рассмотрены только свойства пород, оказывающие большое влияние на технологию оборудования скважин подземного выщелачивания.

- **Пористость и трещиноватость** горных пород в большинстве случаев **оказывают решающее влияние** при сооружении геотехнологических скважин. При отсутствии (или весьма низких значениях) пористости рудные минералы оказываются недоступными для растворов.
- **Пористость и трещиноватость** горных пород имеют существенное значение, так как от них непосредственно зависят: **механическая прочность, абразивность, влагоемкость и другие свойства** горных пород.

Свойства пород влияющие на ПСВ

Пористость

- Под **пористостью** понимают наличие в породе пространства, не заполненного твердым веществом. Такую пористость называют абсолютной или физической. В отличие от физической различают эффективную пористость. Она определяется наличием пор, сообщающихся между собой.
- Пористость оценивается отношением объема порового пространства к полному объему образца породы.
- Пористость характеризуется коэффициентом пористости k_p , представляющим отношение объема пор к объему твердого минерального скелета в данном объеме породы.

Свойства пород влияющие на ПСВ

Пористость

- **Все горные породы** в той или иной степени **пористы**. Особенно большой пористостью обладают **осадочные** породы.
- Пористость изверженных пород наименьшая и измеряется долями или небольшим количеством процентов от объема. Только некоторые излившиеся породы (трахиты, туфовые лавы и др.) обладают высокой пористостью (до 60 %)
- Процесс выщелачивания идет тем быстрее, чем больше активна пористость.

Пористость пород

Породы	Пористость, %
Граниты	1,2
Кварциты	1,0
Известняки	0,6–33,0
Песчаники	3,0–40,0
Глины	45,0
Пески	6,0–48,0

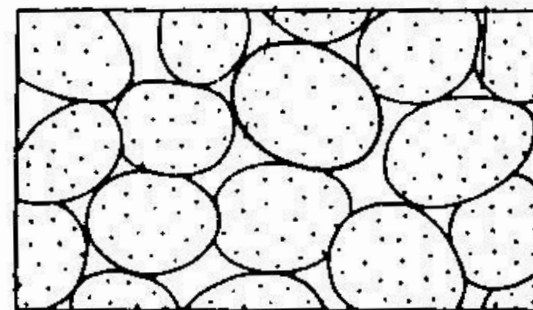
Свойства пород влияющие на ПСВ

Пористость

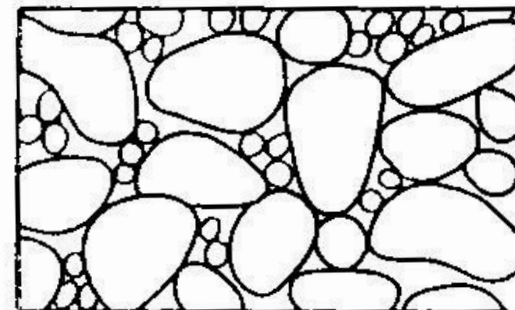
По структуре пористость бывает **межгранулярная** (или межзерновая, межобломочная) – в терригенных породах (обломочных), и **трещинная** – в любых по генезису породах. Трещинная пористость не превышает **3–5 %**, но в формировании проницаемости роль трещин весьма велика.

Виды проницаемых (пористых пород):

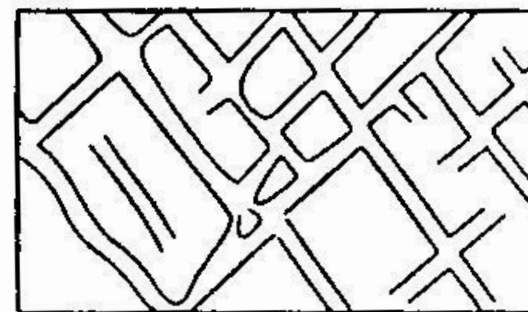
- а** – **высокопорстая**, образованная хорошо отсортированными частицами,
- б** – плохо отсортированная **низкопористая** порода,
- в** – порода с **трещинными порами**.



а



б



в

Свойства пород влияющие на ПСВ

Пористость

Размеры и свойства пор

Диаметр пор	Раскрытость трещин	Свойства флюидов
Макропоры $>0,1$ мм	Сверхкапиллярные $> 0,25$ мм	Вода и растворы движутся в соответствии с законами гравитации
Микропоры $<0,1$ мм	Капиллярные $0,25-0,001$ мм	Действуют преимущественно капиллярные силы- низкая фильтрация
	Субкапиллярные $<0,001$ мм	Движение флюида практически невозможно - непроницаемые

Свойства пород влияющие на ПСВ

Трещиноватость горных пород

- **Трещиноватость** — это совокупность в горной породе **трещин** различного происхождения и разных размеров.
- **Степень трещиноватости** вместе с другими тектоническими нарушениями характеризует структуру массива пород, ее пространственную неоднородность и анизотропность свойств, влияет на прочность и устойчивость пород (деформируемость, водопроницаемость, влагоемкость, сейсмостойкость, твердость, буримость).
- Трещиноватость **осложняет** работу породоразрушающего инструмента на забое, увеличивает водопроницаемость, ведет к снижению процента выхода керна, уменьшает устойчивость пород в стенках скважин, вызывает самозаклинивание керна и т. д.

Свойства пород влияющие на ПСВ

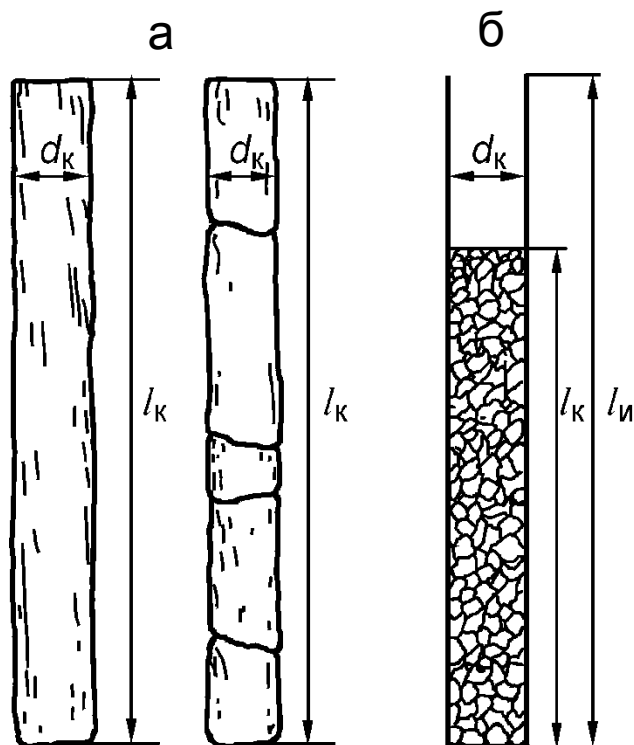
Трещиноватость горных пород

- **Критерием** количественной оценки степени трещиноватости выбирают показатели, учитывающие размеры и густоту трещин, различают три вида показателей:
 - **линейные** (количество и размеры трещин на единицу длины обнажения, горной выработки, скважины);
 - **распределения по площади** (количество, размеры и раскрытость трещин на единицу площади);
 - **объемные** (количество, площадь стенок и объем трещин на единицу объема породы).
- Наиболее простой и удобный критерий оценки трещиноватости горных пород — **выход керна**.
- За количественный показатель трещиноватости принимается **степень раздробленности керна**,
- Определяемая удельной кусковатостью (K_y), которая выражается числом отдельных кусков, столбиков и обломков породы в одном метре выхода керна.

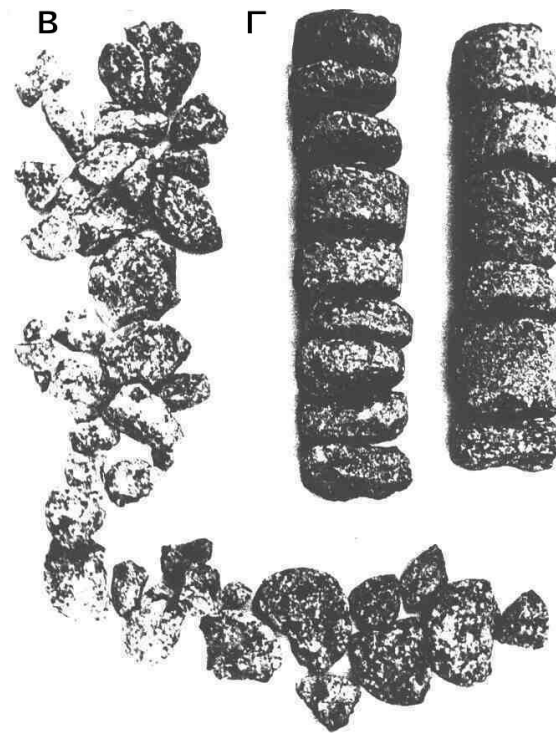
Свойства пород влияющие на ПСВ

Трещиноватость горных пород

Образцы пород при колонковом бурении скважин (бурении с отбором керна)



Образцы получаемого керна при бурении различных пород



а – в виде цельного столбика или кусков цилиндрической формы; **б** – в виде разрушенной массы;
в – в виде отдельных кусочков неправильной формы (обломков); **г** – в виде отдельных плашек (шайб)

Свойства пород влияющие на ПСВ

Трещиноватость горных пород

Количественный показатель трещиноватости

- Это-степень раздробленности керна, определяемая **удельной кусковатостью (K_y)**,
- т. е. **числом отдельных** кусков, столбиков, обломков породы в одном метре выхода керна – **B_k**

$$B_k = \frac{l_k}{l_u} \cdot 100, \%$$

где **B_k** — **выход керна**, %;

l_k — длина извлеченного керна, м;

l_u — длина пройденного интервала, м.

Свойства пород влияющие на ПСВ

Трещиноватость горных пород

Группа горных пород по трещиноватости	Степень трещиноватости пород	Критерии оценки степени трещиноватости пород	
		Удельная кусковатость керна K_y , шт/м	Выход керна B_k , %
I	Монолитные	1—5	100—90
II	Слаботрещиноватые	6—10	90—80
III	Трещиноватые	11—30	80—70
IV	Сильно–трещиноватые	31—50	70—40
V	Раздробленные	>51	<40

Свойства пород влияющие на ПСВ

Проницаемость

- **Проницаемость** – способность пород пропускать **флюиды**.
- **Она** зависит от размера и конфигурации пор, что обусловлено:
 - **размером** зерен пород,
 - **плотностью** их укладки,
 - **взаимным** расположением частиц,
 - **составом и типом** цемента и др.
- Очень большое значение для проницаемости имеют **трещины**.

Свойства пород влияющие на ПСВ

Проницаемость

- **Проницаемость** оценивают во внесистемных единицах **дарси (Д)**. А в системе СИ ей примерно соответствует единица $1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$.
- **Такой проницаемостью** обладает образец горной породы длиной $L = 1 \text{ м}$, площадью сечения в 1 м^2 , пропускающий сквозь себя $1 \text{ м}^3/\text{с}$ жидкости Q динамической вязкостью $\eta = 0,001 \text{ Па} \cdot \text{с}$ при перепаде давления на концах образца $\Delta P = 0,1013 \text{ МПа}$.
- **По величине проницаемости** горные породы разделяются на три порядка в пределах $1 \cdot 10^{-15} - 1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$; последнее соответствует 1 **Д**.

Свойства пород влияющие на ПСВ

Проницаемость

- **Проницаемость** из уравнения Дарси определяется как:

$$k = \eta \frac{q_{\phi} \cdot L}{\Delta P \cdot F},$$

где

- **k** — проницаемость пористой среды, m^2 ;
- **q_{ϕ}** — объемный расход **флюида**, m^3/c ;
- **η** — динамическая вязкость **флюида**, $Pa \cdot c$;
- **$\Delta P = P_1 - P_2$** — перепад давления, Pa ;
- **L** — длина образца пористой среды, m ;
- **F** — площадь фильтрации, m^2 .

Свойства пород влияющие на ПСВ

Проницаемость

- Продуктивные пласты имеют **проницаемость** $10^{-14} - 10^{-13} \text{ м}^2$.
- **Проницаемость** обеспечивается сообщающимися порами между частицами, обломками или кристаллами. Поэтому если размер **пор** **более 10 мкм**, то **проницаемость** возрастает пропорционально **пористости**. Минимальный размер **поры**, в которой может перемещаться **флюид**, **более 1 мкм**.
- Если же **пора** меньше, то поверхностные силы ее стенок делают капиллярное натяжение непреодолимым для **флюида**. Поэтому, например, **глины**, обладая в сухом состоянии пористостью 30%, **непроницаемы** из-за ничтожных размеров своих каналов.

Свойства пород влияющие на ПСВ

Проницаемость

- По значению проницаемости продуктивные пласты делятся на 3 группы:
 - **Низкопроницаемые** (от 0 до 100 мД);
 - **Среднепроницаемые** (от 100 мД до 500 мД);
 - **Высокопроницаемые** (более 500 мД).

Свойства пород влияющие на ПСВ

Фильтрация горных пород

- Это- свойства, характеризующие **проницаемость** горных пород, т. е. их способность пропускать через себя (**фильтровать**) флюиды (жидкости и их смеси) при **наличии на пути фильтрации перепада давления**.
- Показатели фильтрующей способности - **коэффициент фильтрации K_{ϕ}** (характеризует **проницаемость** породы для **определённого флюида** и поэтому зависит от свойств породы и жидкости) и коэффициент проницаемости **K_{Π}** (зависит только от свойств горной породы):

$$K_{\phi} = \frac{K_{\Pi} \cdot \rho}{\eta},$$

- где **ρ** - плотность, а **η** – динамическая вязкость флюида.

Свойства пород влияющие на ПСВ

Фильтрация горных пород

- K_f численно **равен** линейной скорости фильтрации определённого **флюида** при гидравлическом градиенте, равном единице;
- измеряется в м/с, на практике - в м/сут.
- K_{Π} численно **равен** объёмному расходу **флюида** с динамической вязкостью, равной единице, проходящего через единицу площади сечения при единичном перепаде давления на единицу пути фильтрации;
- измеряется в м², на практике - в дарси.
- В зависимости от величин K_f и K_{Π} , значения которых получены для случая фильтрации **пресной воды** через горную породу при $t = 20^{\circ}\text{C}$, породы условно разделены на шесть классов

Свойства пород влияющие на ПСВ

Фильтрация горных пород

Классификация пород по фильтрации и проницаемости

Класс	Породы	K_{Φ} , м/с	K_{Π} , м ²
Очень хорошо проницаемые	Крупные галечники и гравий, чистые или частично заполненные крупнозернистым песком, сильно-закарстованные известняки, сильнотрещиноватые породы	$1,2 \cdot 10^{-3} - 1,2 \cdot 10^{-2}$ и более	$1,2 \cdot 10^{-10} - 1,2 \cdot 10^{-9}$ и более
Хорошо проницаемые	Галечники и гравий, заполненные крупнозернистым песком, крупно- и среднезернистые пески, трещиноватые породы	$1,2 \cdot 10^{-3} - 1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-10} - 1,2 \cdot 10^{-11}$
Проницаемые	Галечники и гравий, заполненные мелкозернистыми и глинистыми песками, средне- и мелкозернистые пески, малотрещиноватые породы, бурые и каменные угли	$1,2 \cdot 10^{-4} - 1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-11} - 1,2 \cdot 10^{-12}$
Слабопроницаемые	Мелкозернистые пески, супеси, песчаники с глинистым цементом, антрациты, слаботрещиноватые породы	$1,2 \cdot 10^{-5} - 1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-12} - 1,2 \cdot 10^{-13}$
Весьма слабопроницаемые	Суглинки, песчаные глины, глинистые сланцы, очень слаботрещиноватые породы	$1,2 \cdot 10^{-6} - 1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-13} - 1,2 \cdot 10^{-15}$
Почти непроницаемые	Плотные глины, мергели, аргиллиты, массивные породы	менее $1,2 \cdot 10^{-8}$	менее $1,2 \cdot 10^{-15}$

Свойства пород влияющие на ПСВ

Фильтрация горных пород

По величине **коэффициента фильтрации** руды разделяются на **четыре** группы.

Коэффициент фильтрации, м/сут (м/с)			
Менее 0,1 (1,2·10⁻⁶) весьма слабопрони- цаемые	0,1 – 1 (1,2·10⁻⁶ – 1,2·10⁻⁵) слабопрони- цаемые	1 –10 (1,2·10⁻⁵ – 1,2·10⁻⁴) проницаемые	более 10 (1,2·10⁻⁴) хорошо проницаемые

Для **подземного выщелачивания урана** наиболее благоприятными являются руды с **Кф = 1 –10 м/сут**

Свойства пород влияющие на ПСВ

Фильтрация горных пород

- **Благоприятными** для подземного выщелачивания по гидрогеологическим условиям будут месторождения полезных ископаемых со следующей характеристикой :
 - водопроницаемость рудных тел (залежей) значительна (желательно, чтобы коэффициент фильтрации был **3–10 м/сут** и более);
 - кровля рудного пласта имеет **слабую водопроницаемость**;
 - соотношение между мощностью рудной залежи и мощностью вмещающих ее водоносных пород (водоносного горизонта) составляет **не более 1:7** (наиболее благоприятное отношение **1:5 и менее**).
- В пластовых осадочных месторождениях наилучшими по последнему признаку для подземного выщелачивания будут рудные тела, целиком заполняющие водоносный горизонт, надежно изолированный разделяющими водоупорами от смежных водоносных горизонтов



Устойчивость горных пород

Устойчивость горных пород

Устойчивость горных пород оказывает большое влияние на **процесс** **сооружения скважин** и **эффективность добычи**.

Это обусловлено следующим:

- а) **необходимостью обсадки** буровых скважин трубами с целью :
 - - **закрепления** стенок скважин;
 - - **обеспечения** спуска и подъема добычных устройств;
- б) **необходимостью** извлечения обсадных и эксплуатационных колонн после окончания срока службы технологических скважин.

Устойчивость горных пород

- **Оценка скорости сужения ствола** скважины в породах, подвергавшихся пластическим деформациям, **позволит определить время**, в течение которого скважина будет сохранять устойчивое состояние до начала производства в ней добычных работ.
- **Это даст возможность спланировать** работы по бурению и непосредственной добыче руд с учетом производительности скважин таким образом, чтобы **процесс бурения** был опережающим на строго определенное время, в зависимости от времени возможного нахождения скважин в устойчивом состоянии.
- **Зная это время, можно** будет **определить** также **количество** одновременно работающих буровых установок **и объемы** опережающего бурения.

Устойчивость горных пород

Устойчивостью горной породы является ее способность не обрушаться при обнажении в вертикальных или наклонных скважинах.

Степень устойчивости горных пород зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- **прочность породы** (сила сцепления между частицами, коэффициент внутреннего трения),
- **физико-геологические свойства породы и её состояние** (трещиноватость, выветренность, влажность и т. д.).
- на устойчивость горной породы будут оказывать существенное влияние **внешние условия**, которые воздействуют на нее при обнажении массива.
- При этом существенное значение приобретает **фактор времени**: чем длительнее воздействие того или иного физического поля или среды, тем в большей степени теряется устойчивость пород.
- По этим признакам все породы, встречающиеся при проведении буровых работ, можно **разделить на четыре группы**:

Устойчивость горных пород

I группа — породы весьма неустойчивые

Сюда относятся породы и полезные ископаемые, практически **не имеющие связи между зернами**. Их прочность зависит от состава и размеров зерен.

- Это - **рыхлые несвязные** породы (пески, гравий, галечник и пр.). Проходка валунно-галечниковых зон или песков, насыщенных водой, желательна с одновременным креплением стенок скважин обсадными трубами.
- Бурение пород вращательным способом может **осуществляться успешно** сплошным забоем с глинистой промывкой.
- Бурение с отбором качественного керна существенно затруднено – требует применения специальных снарядов и технологий.

Устойчивость горных пород

II группа — породы с изменяющейся устойчивостью

- Это породы со сложной связью, исчезающей при насыщении водой или при нагревании, плотные, невысокой прочности, размывающиеся или растворяющихся промывочной жидкостью или оттаивающие при повышении температуры.
- Эта группа объединяет **рыхлые отложения** осадочного происхождения:
 - преимущественно глинистые (глины, суглинки, лёссы),
 - растворимые полезные ископаемые (каменная соль),
 - мерзлые рыхлые породы

Устойчивость горных пород

II группа — породы с изменяющейся устойчивостью

- При бурении в глинистых породах этой группы возникают **значительные трудности**.
- Это связано с одним из важнейших свойств глин, а именно - с их способностью разбухать при увлажнении.
- Увеличение влажности глины любого типа приводит к повышению ее пластичности нередко до перехода в текучее состояние.
- Разбухание глин сопровождается сужением ствола скважины и в ряде случаев — зажиманием (прихватом) бурового снаряда.
- В зависимости от времени соприкосновения жидкости с **глиной - она**, приобретая текучесть, теряет устойчивость.
- Это приводит к тому, что стенки скважин оплывают, размываются, скважина зашламовывается.
- **Мерзлые** рыхлые породы при растеплении теряют связи, образованные льдом, и становятся неустойчивыми. Поэтому в породах данной группы бурение должно производиться в самые кратчайшие сроки с промывкой скважин глинистым раствором.

Устойчивость горных пород

III группа — слабоустойчивые

К этой группе относятся породы:

- С достаточно **прочной связью** между зернами, высокой или средней твердости, почти не размываемые промывочной жидкостью, но сильно трещиноватые.
- Породы с **недостаточно прочной связью** между зернами, невысокой твердости, часто хрупкие, сбрекчированные, легко размывающиеся промывочной жидкостью при бурении.
- В эту группу входят породы **скального типа**, изверженного или осадочного происхождения, но сильно трещиноватые или раздробленные.
- В этом случае **бурение осложняется**, так как происходит потеря промывочной жидкости, образуются вывалы отдельных кусков породы из стенок скважин и т. д.
- **Сюда же относятся** такие породы, как слабо сцементированные брекчии или конгломераты, слабые песчаники и сланцы, а из полезных ископаемых — угли и т. п.
- **При бурении** по таким породам **керн сильно дробится**, истирается и размывается.
- Этому же подвержены в значительной степени и **стенки скважин**.

Устойчивость горных пород

IV группа — устойчивые

- Сюда относятся породы с прочной связью между зернами, высокой или средней твердости, монолитные или слабо трещиноватые, не размываемые промывочной жидкостью.
- К этой группе принадлежат:
 - породы **изверженного** происхождения (граниты, диориты, порфиристы, базальты и т. д.);
 - породы **метаморфические** (кварциты, кристаллические сланцы, гнейсы и др.);
 - крепкие породы **осадочного цикла** (песчаники, известняки, доломиты, сланцы и т. д.) незатронутые выветриванием.
- Условия для бурения в таких породах наиболее благоприятны.

Устойчивость горных пород

Изучение устойчивости стенок скважин производится в настоящее время с помощью **четырёх** основных методов:

- **теоретических разработок**, которые дают более или менее идеализированную картину полей напряжений, деформаций и скоростей деформаций в окрестностях ствола;
- **экспериментального изучения** реологических свойств пород при различных напряженных состояниях, с учетом температуры, влажности и др., позволяющих выбрать и обосновать вид уравнений для расчета прочностных и деформационных характеристик стенок скважины;
- **изучения условий**, влияющих на прочность и деформацию стенок скважин на моделях с последующим пересчетом на натуру;
- **непосредственных** наблюдений и измерений в скважинах.

Наиболее точные данные по устойчивости стенок скважины в конкретных условиях можно получить путем проведения непосредственных наблюдений и измерений в скважинах. Однако это требует много времени и средств.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите физико-механические свойства горных пород.
2. Что такое прочность горных пород?
3. Что такое твердость горных пород?
4. Что такое абразивность горных пород?
5. Что такое буримость горных пород? От каких свойств горных пород зависит буримость?
6. Что такое пористость горных пород? Как она влияет на эффективность ПСВ?
7. Что такое трещиноватость горных пород? Как она влияет на эффективность ПСВ?
8. Что такое фильтрация горных пород? Как она влияет на эффективность ПСВ?
9. Что такое устойчивость горных пород? Как она влияет на эффективность ПСВ?



Спасибо за внимание !