

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗАЛОЖЕНИЯ ТОННЕЛЕЙ

Значение инженерно-геологических изысканий

Задачи инженерно-геологических изысканий

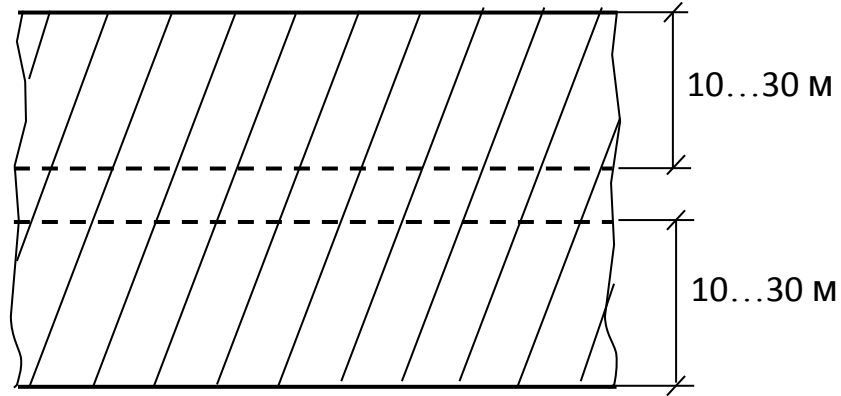
1. Определение общих условий строительства тоннеля
2. Изучение геологического строения горного массива
3. Изучение гидрогеологических условий

Определение «Сложных инженерно-геологических условий»

1. Наличие слабых нескальных пород, не оказывающих сопротивления при деформации обделки под нагрузкой.
2. Наличие несвязных водоносных пород при гидростатическом давлении более **0,1 МПа (10 м воды)**.
3. Наличие слабых скальных и полускальных сильно обводненных пород с притоком воды более **200 м³/час** на забой тоннеля.
4. Величина прогнозируемого горного давления на обделку составляет более **0,6 МПа**.
5. Возможность деградации вечной мерзлоты, приводящей к резкому нарастанию горного давления на обделку тоннеля.

Зоны влияния строящегося тоннеля (подлежащие изысканиям)

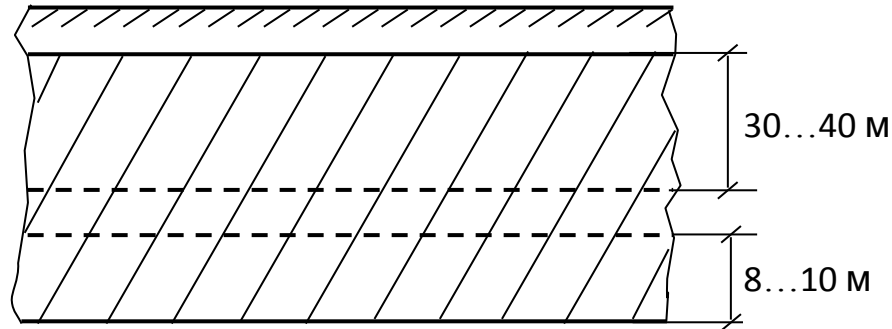
Ширина зоны (план)



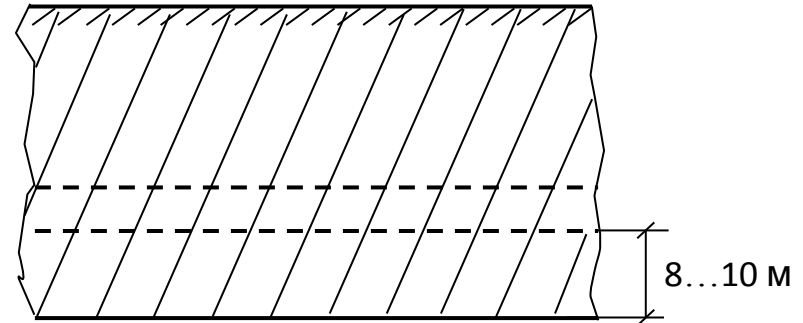
Зоны влияния строящегося тоннеля (подлежащие изысканиям)

Высота зоны (профиль)

В связных, полускальных и
скальных породах
(горный рельеф, ЗСР)



В малосвязных и сыпучих породах
(равнинный рельеф, ОСР)



Аварийные ситуации

вследствие просчетов и недостаточной изученности инженерно-геологических и гидрогеологических условий

Симплонский тоннель – длина 20 км, глубина залегания 2136 м. Возникло очень сильное горное давление, большой приток воды

Лечбергский тоннель – длина 14,6 км, глубина залегания 1560 м. Неучтенное изменение типа и крепости пород – слабые вместо крепких скальных, проходка под рекой с меньшей глубиной заложения, прорыв вод реки в тоннель с пульпой ок. 7000 м³.

Северо-Муйский тоннель – длина 15,3 км, глубина залегания до 1000 м. Прорыв подземных вод и пульпы в зоне намыва ложа р. Ангаракан ок. 5000 м³.

Этапы инженерно-геологических исследований

1. Рекогносцировка местности

Цель: выбор наиболее перспективных вариантов трассы тоннеля.

Методы исследования: изучение архивных литературных и картографических материалов по геологии и гидрологии района строительства, рельефу местности, климату.

2. Крупномасштабная съемка местности

Цель: Выбор оптимального варианта трассы тоннеля.

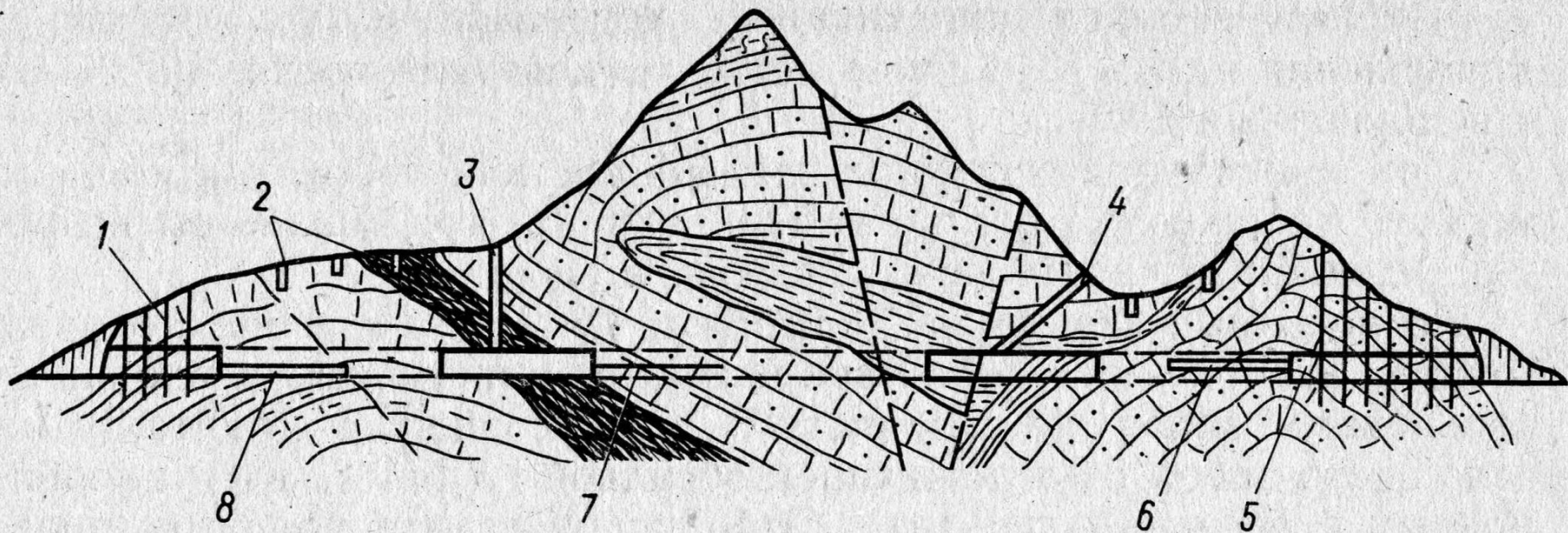
Методы исследования: изучение рельефа и геологического строения горного массива наземными методами, а также аэрофотосъемкой, космической съемкой с общей оценкой ИГУ и характером проявлений физико-геологических и гидрологических процессов, возможных в ходе строительства.

3. Геолого-техническая разведка

Цель: Определение количественных характеристик горных пород и подземных вод для проектирования конструкций тоннеля, выбора способов разработки породы и способов проходки, а также прогнозирования геологического и гидрологического состояния горного массива при проходке тоннеля.

Методы исследования:

- бурение вертикальных скважин с поверхности по трассе тоннеля (основной);
- бурение горизонтальных скважин из забоя тоннеля в процессе проходки;
- устройство геолого-разведочных выработок; (штольни, шурфы, шахтные стволы, пилот-тоннели);
- зондирование;
- геофизические методы.



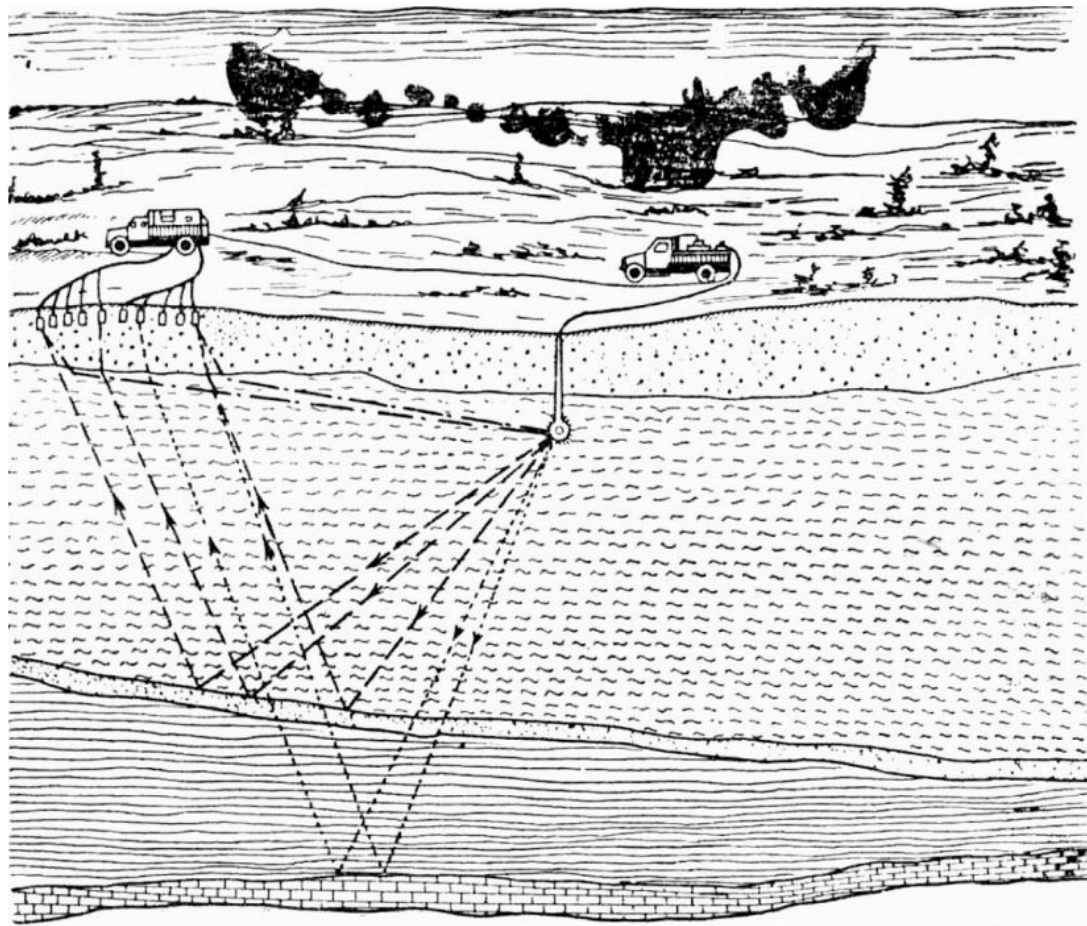
Разведочные выработки по трассе строящегося горного тоннеля:

1 — вертикальные разведочные скважины; 2 — шурфы; 3 — вертикальный шахтный ствол; 4 — наклонный шахтный ствол; 5 — тоннель; 6 — пилот-тоннель; 7 — горизонтальная разведочная скважина; 8 — разведочная штольня

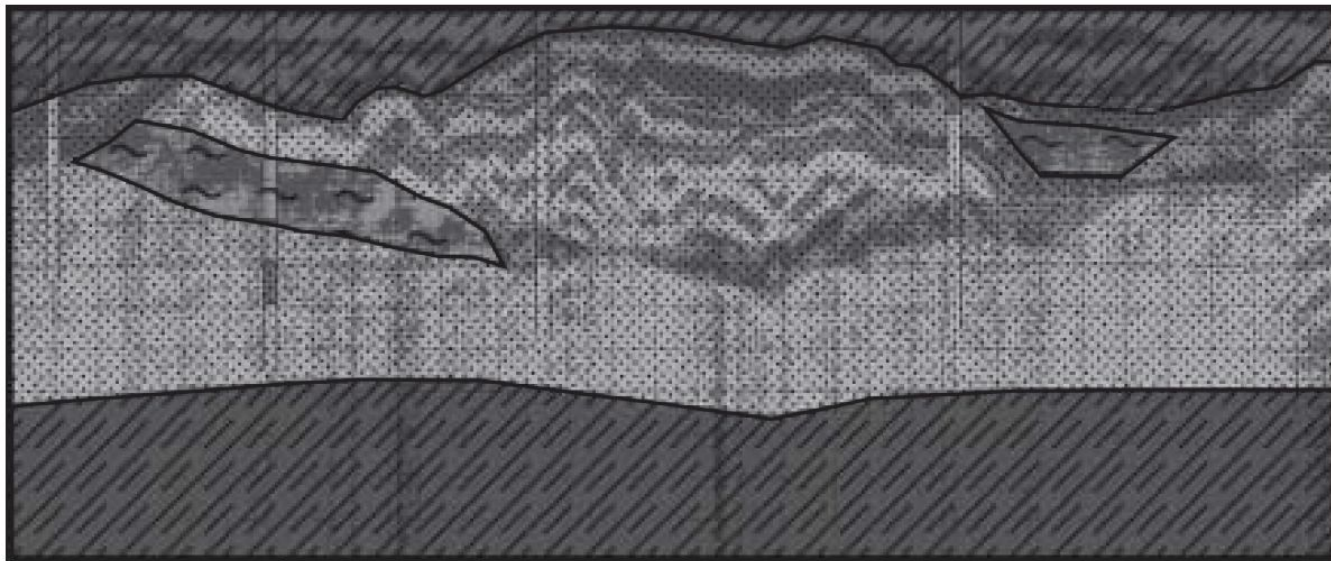
Геофизические методы:

- **сейсмические – сейсморазведка**
 - измерение скорости распространения сейсмических волн в горных породах;
- **гравиметрические – гравиразведка**
 - измерение ускорения свободного падения;
- **магнитометрические – магниторазведка**
 - измерение магнитной восприимчивости горных пород;
- **электрические (электромагнитные) – электроразведка**
 - измерение характеристик электромагнитных свойств горных пород;
- **радиометрия и ядерно-физические методы**
 - измерение интенсивности радиоактивных излучений в горной породе;
- **геотермические – терморазведка (термометрия)**
 - измерение характеристик теплового поля горных пород.

Схема сейсморазведочных работ методом отраженных волн



Пример радарограммы (электроразведка)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:



Сверху - почва, насыпной грунт, глины и суглинки; снизу - глины и суглинки



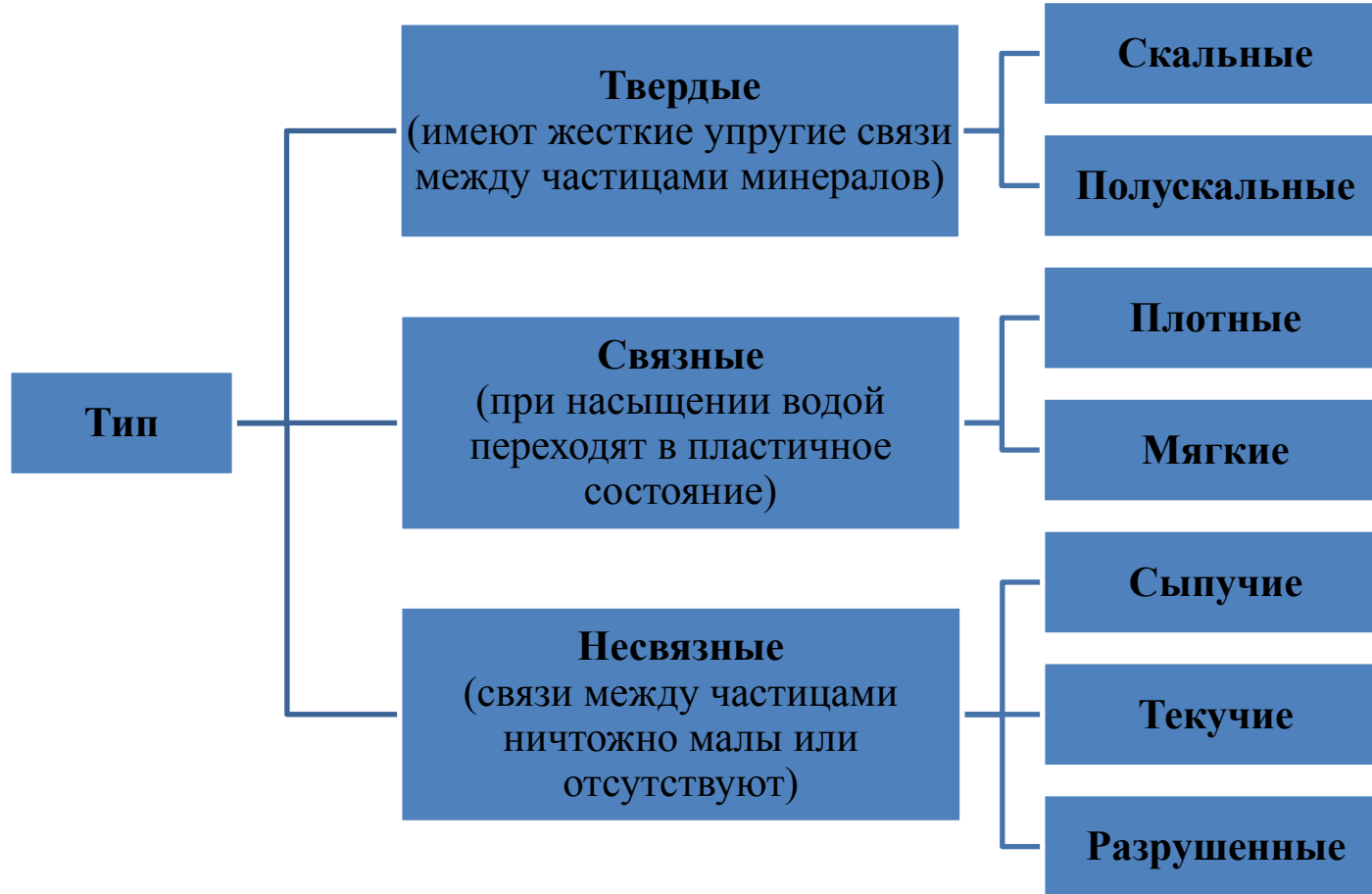
Песок, гравий различной несущей способности; более светлым оттенком показаны слои с более высокой несущей способностью



Ил, грунты с малой несущей способностью

Типы горных пород

Типы горных пород по характеру связей между частицами



Твердые горные породы

Подтип	$R_{сж}$, МПа	Характерные признаки	Виды пород
Скальные	50...350	Крепкие с жесткими связями. При насыщении водой силы сцепления не исчезают.	граниты, базальты, диабазы, гнейсы, крепкие песчаники и известняки
Полускальные	20...50	Цементированные, с жесткими и пластичными связями. При насыщении водой силы сцепления уменьшаются.	слабые песчаники и известняки, доломиты, мергели, песчанистые и глинистые сланцы

Связные горные породы

Подтип	$R_{сж}$, МПа	Характерные признаки	Виды пород
Плотные	10...20	При динамических нагрузках разрушаются хрупко, при длительных нагрузках – пластично.	твердые глины, бокситы, глинистые сланцы
Мягкие	1...10	При высыхании – полутвердые, при насыщении водой набухают.	песчанистые глины, суглинки, супеси

Несвязные горные породы

Подтип	$R_{сж}$, МПа	Характерные признаки	Виды пород
Текучие	менее 0,1	силы сцепления между частицами практически отсутствуют	пески, гравий, галечник
		частицы разделены водой и перемещаются только с ней, особенно неустойчивые породы	водонасыщенные пески, пливуны, обводненные глины и суглинки, лёсс, болотистый грунт
Разрушенные	—	полное отсутствие сил сцепления между частицами породы	взорванные, раздробленные и разрыхленные породы всех типов

Формирование горных массивов.

Горный массив — участок горной системы, расположенный более или менее изолированно и имеющий примерно одинаковую протяжённость в длину и в ширину (например, массив Монблан в Альпах, Моголтау в Тянь-Шане).

Горная система — горы (или их крупная часть), объединённые территориально, имеющие общую причину происхождения и обладающие морфологическим единством.

Горная система состоит из совокупности **горных** хребтов, **горных** массивов, нагорий, межгорных впадин и долин. Отдельные крупные составляющие рельефа **горной системы** (хребты, впадины), представляют собой проявление единого механизма горообразования и связаны между собой.

ГОРНЫЕ СИСТЕМЫ

Гималаи 8848 м (высочайшая вершина земли-Эверест) (в Азии, между Тибетским нагорьем на севере и Индо-Гангской равниной на юге, на территории Китая, Пакистана, Индии, Непала и Бутана)

Памир 7719 м (Центральная Азия, главным образом на территории Таджикистана)

Гиндукуш 7690 м (в Азии, на территории Афганистана и Пакистана)

Тянь-Шань 7439 м (в Центральной Азии, на территории Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана и Китая)

Анды 6960 м (западное побережье Южной Америки)

Кордильеры 6193 м (западное побережье Северной и Южной Америки, от Аляски до Огненной Земли)

Кавказ 5642 м (Эльбрус) (на границе двух частей света – Европы и Азии – между тремя морями – Чёрным, Каспийским и Азовским на территории Грузии, Азербайджана, Армении, Турции и России)

Альпы 4807 м (гора Монблан) (от побережья Средиземного моря до Среднедунайской равнины)

Алтай 4506 м (Наивысшая точка-гора Белуха) (в Южной Сибири и в Центральной Азии, на территории Китая, Казахстана, Монголии и России)

ГОРНЫЕ СИСТЕМЫ

Восточный Саян 3491 м (в Южной Сибири, от Енисея до Байкала)

Пиренеи 3404 м (в юго-западной Европе на территории Испании, Франции и Андорры)

Западный Саян 3121 м (юг Сибири, от верховьев реки Малый Абакан до Восточного Саяна. На севере ограничена Минусинской котловиной, на юге – Тувинской котловиной)

Карпаты 2655 м (в Центральной Европе, на территории Чехии, Словакии, Польши, Венгрии, Украины и Румынии)

Большой Водораздельный хребет 2228 м (восточная часть Австралии)

Аппалачи 2044 м (на востоке Северной Америки, от штата Алабама до о-ва Ньюфаундленд)

Урал 1895 м (между Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнинами. Образует естественную границу между Европой и Азией)

Судеты 1602 м (на территории Чехии, Польши и Германии)

Крымские горы 1545 м (юг полуострова Крым (черноморское побережье), территория Украины)

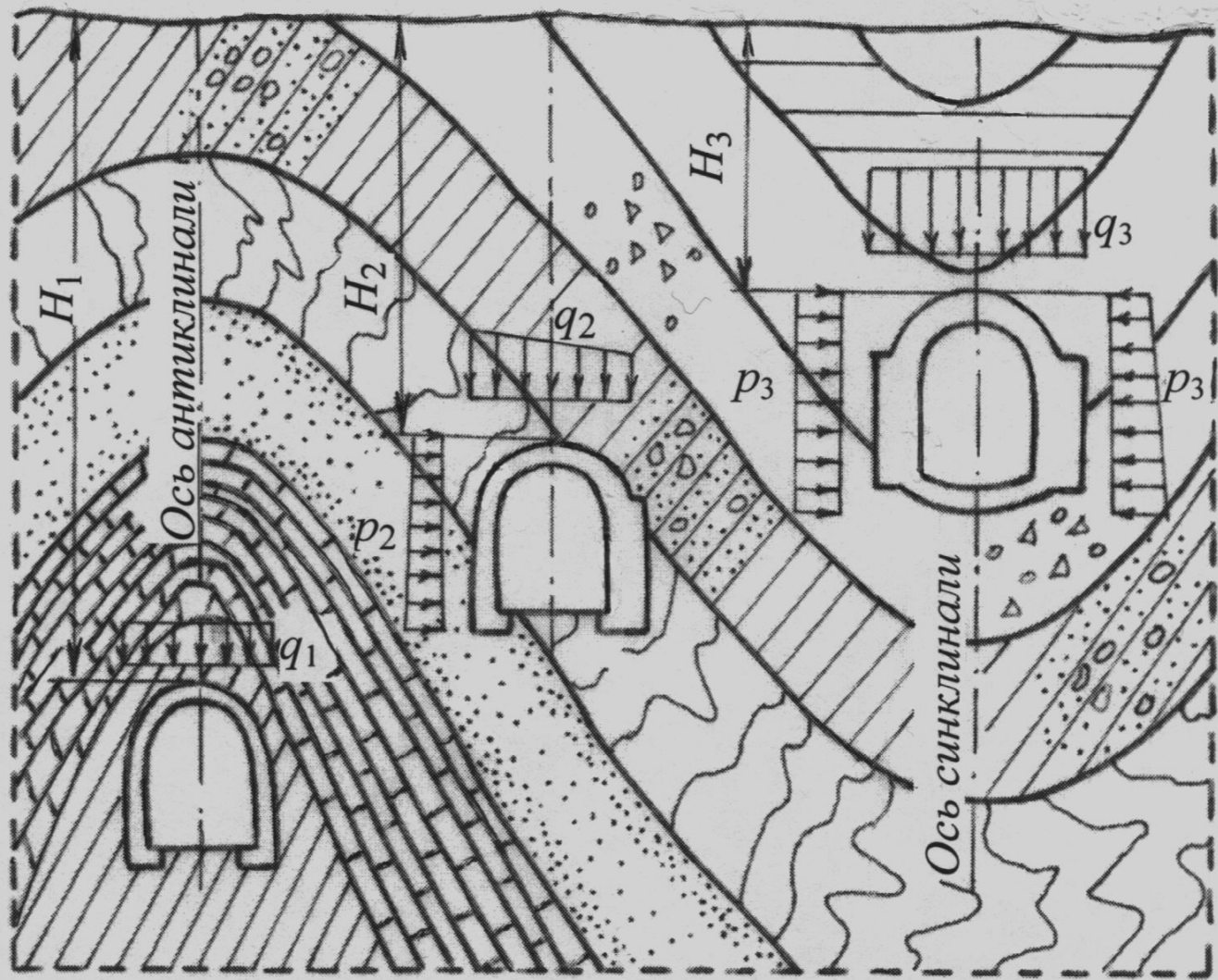
Хибины 1191 м (северная часть Европы, Кольский полуостров)

Влияние условий залегания горных пород на выбор трассы тоннеля

В процессе образования гор действовали вертикальные и горизонтальные глубинные силы.

Горизонтальное давление → складки пластов горных пород.

Вертикальное давление → сдвиги и сбросы пластов пород.



Синклинали – вогнутая конфигурация пластов породы,
боковые склоны гор.

В значительной степени подвержены действию
горизонтальных и вертикальных сил.





Антиклина́ли – выпуклая конфигурация пластов породы.

В меньшей степени подвержены действию
горизонтальных и вертикальных сил.

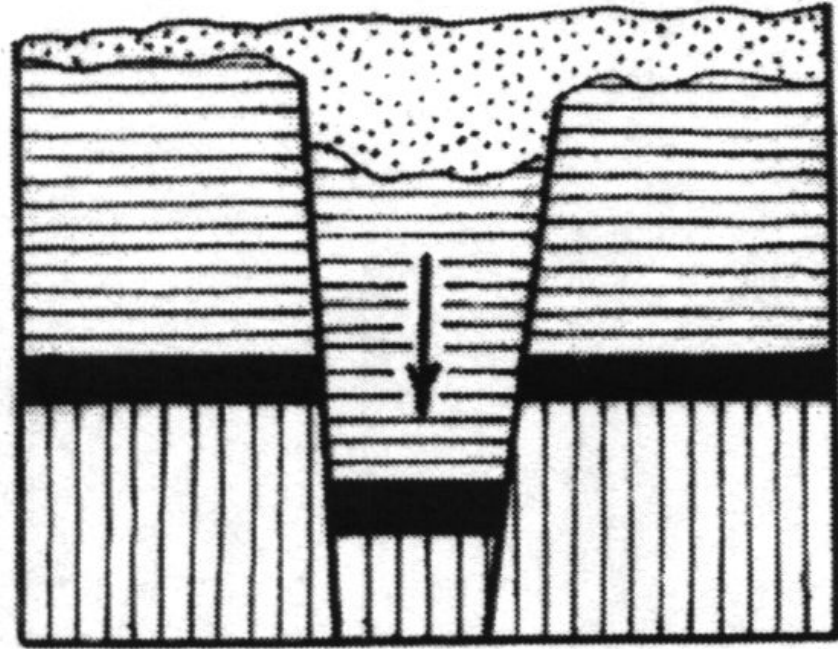






Тектонические разломы, сбросы, взбросы и сдвиги

Грабен



Грабен

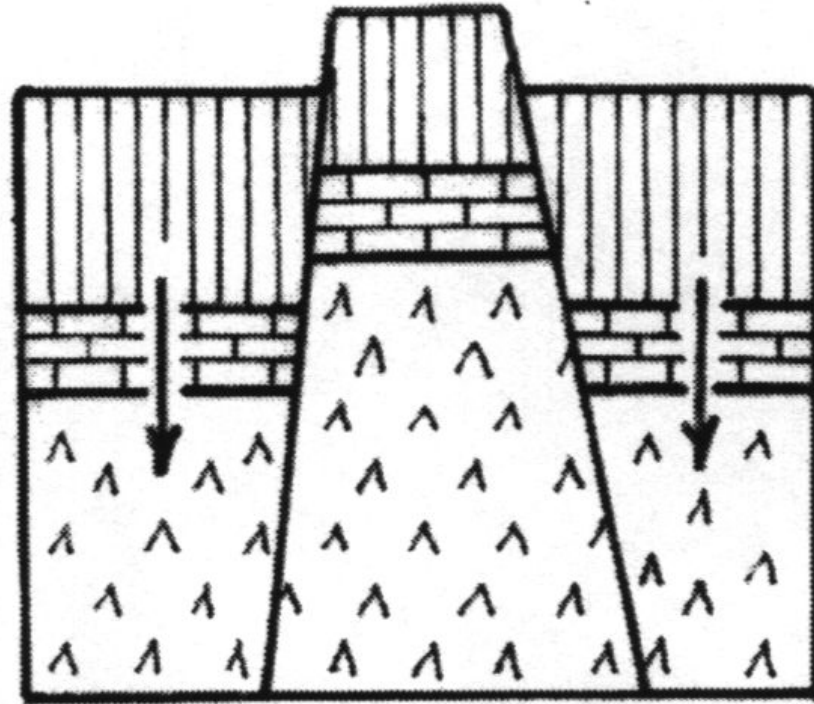


Грабен



Тектонические разломы, сбросы, взбросы и сдвиги

Горст



Горст

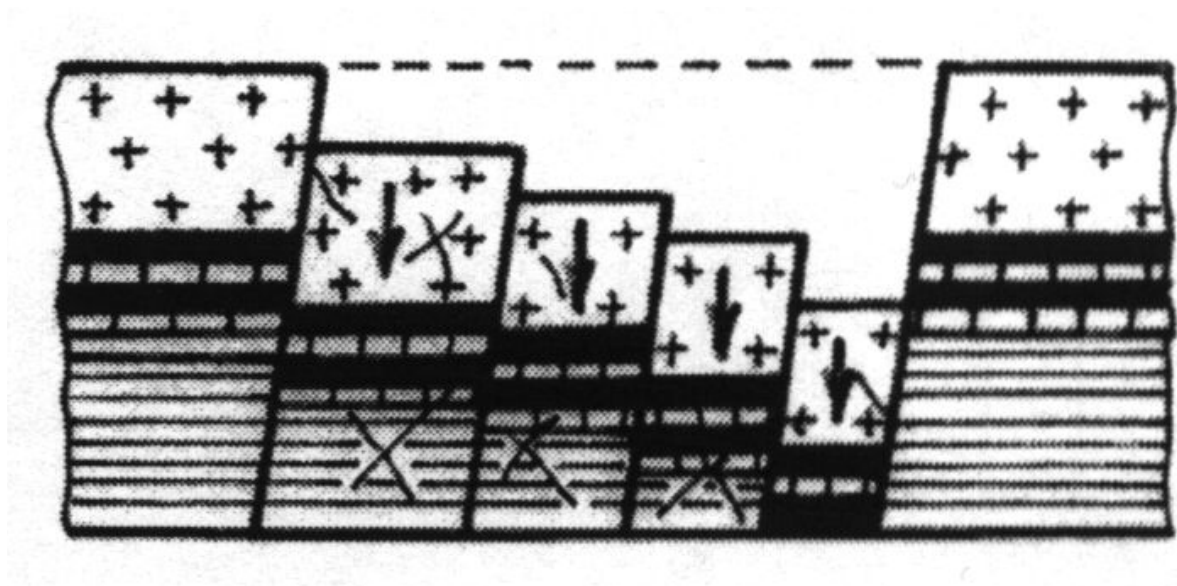


Горст



Тектонические разломы, сбросы, взбросы и сдвиги

Многоступенчатый сброс



Многоступенчатый сброс



171241906

Многоступенчатый сброс



**Ориентация пластов горных пород в пространстве.
Влияние ориентации пластов на выбор трассы тоннеля**

Примеры складчатости горных пород



Примеры складчатости горных пород



Примеры складчатости горных пород



Примеры складчатости горных пород

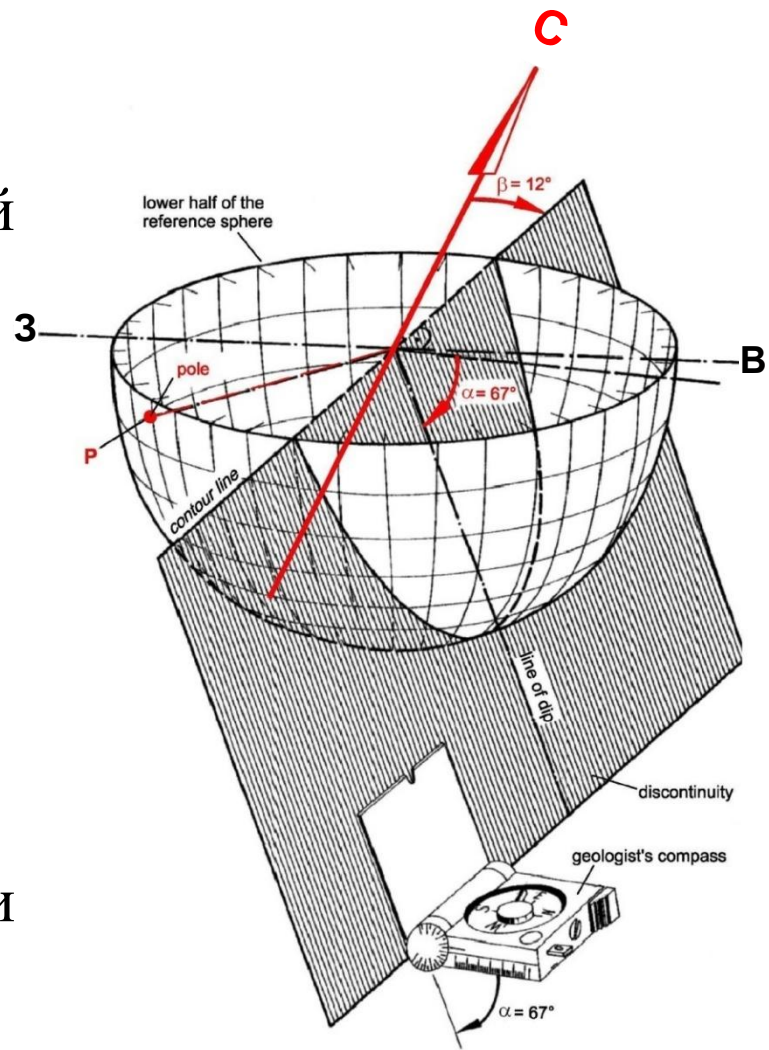


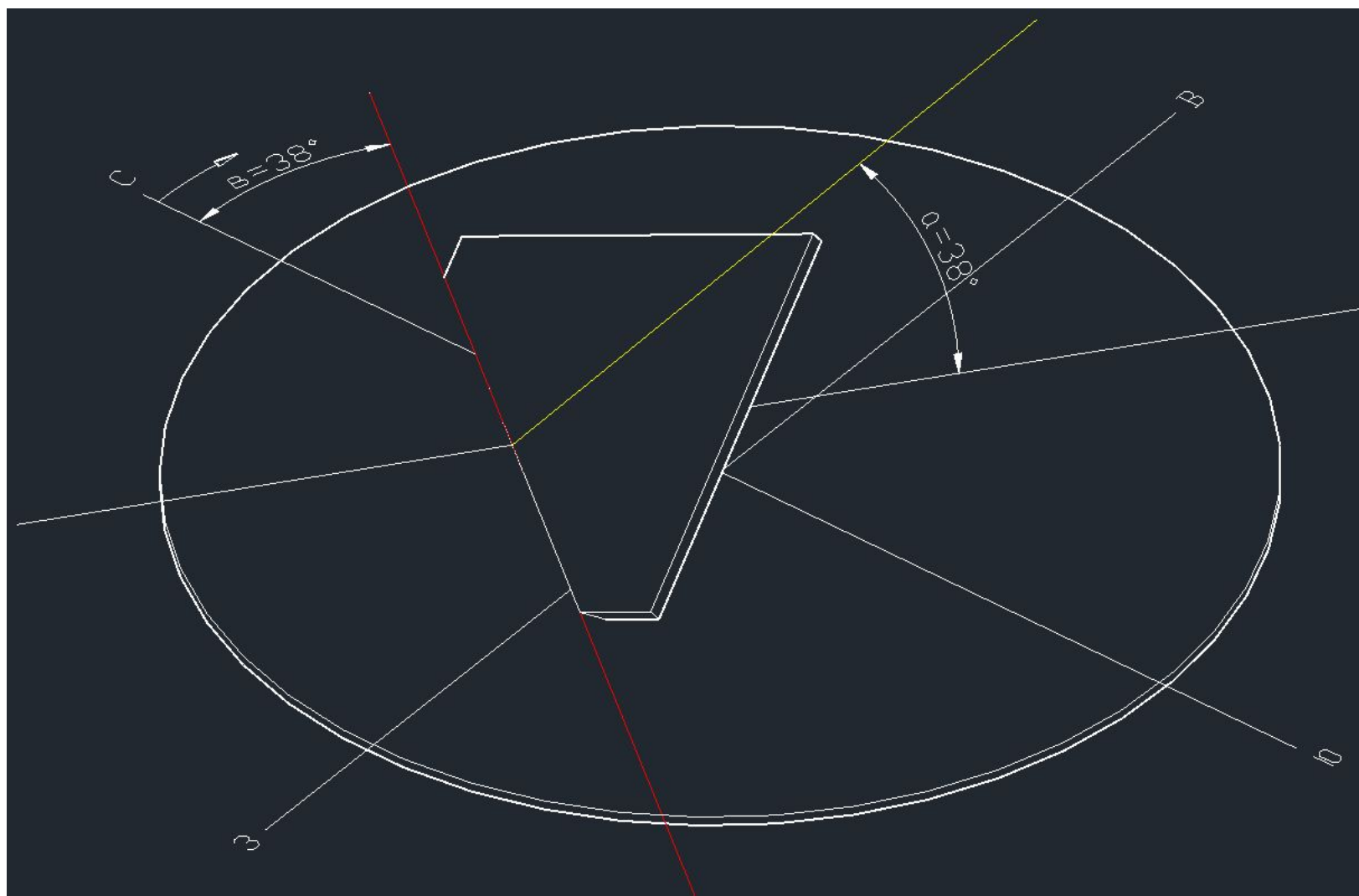
Примеры складчатости горных пород



α – угол падения –
угол между горизонтальной
плоскостью и линией
падения пласта

β – угол простирания –
положительный угол
от Северного направления
по часовой стрелке
до пересечения пласта
и горизонтальной плоскости





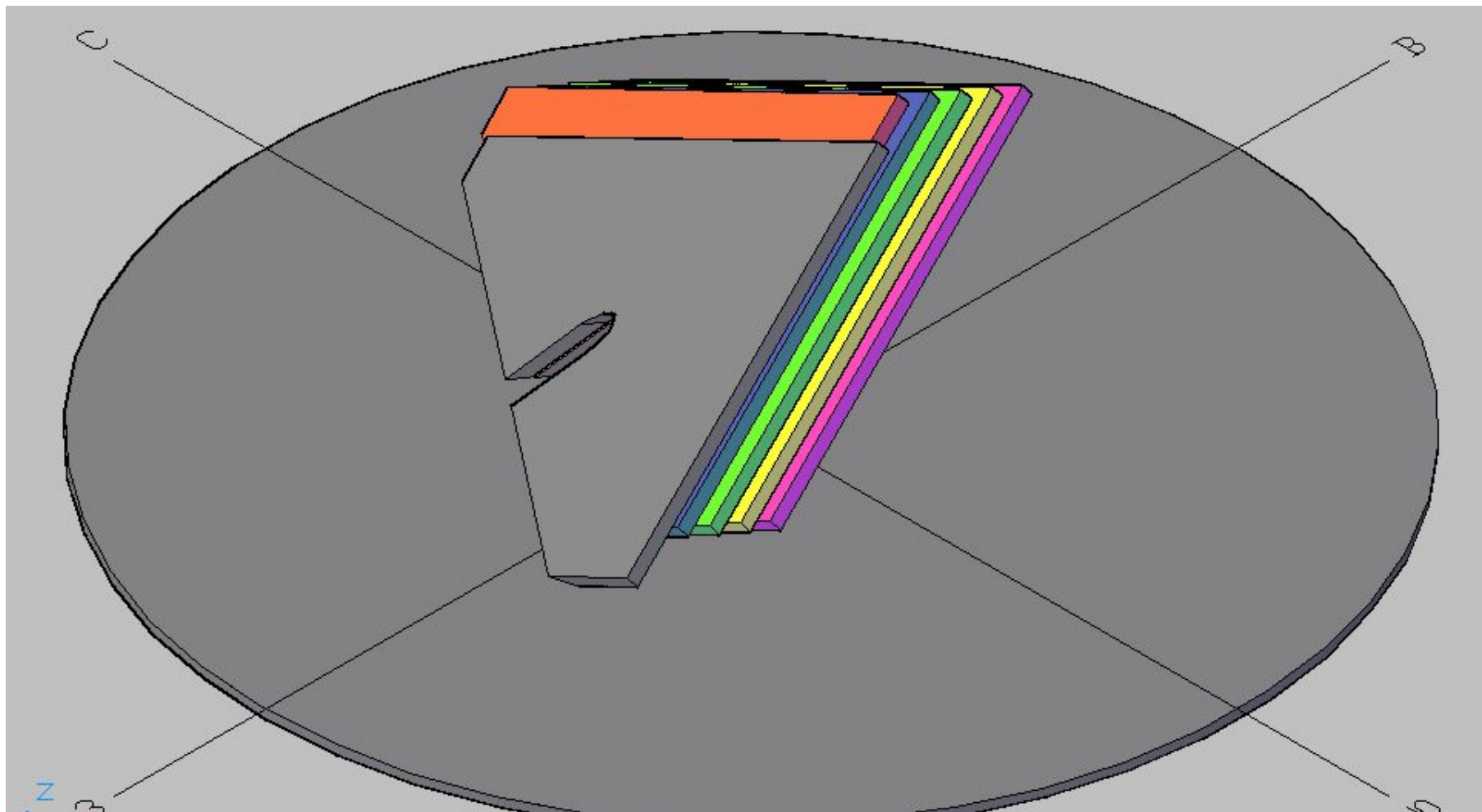
Пример пластов с крутым углом падения



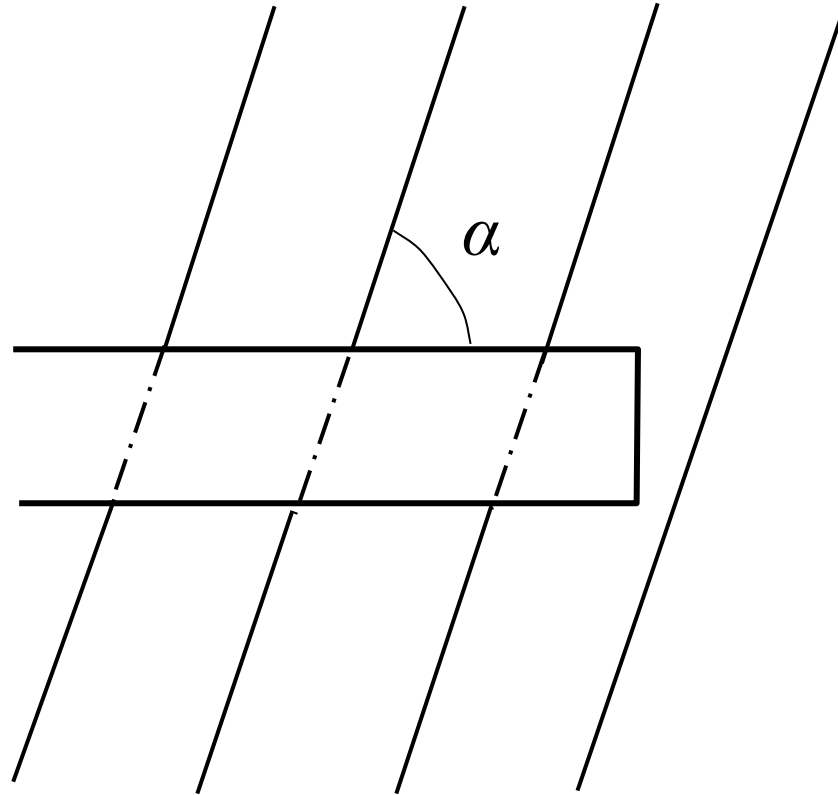
Пример пластов с пологим углом падения



Проходка вкрест простирания

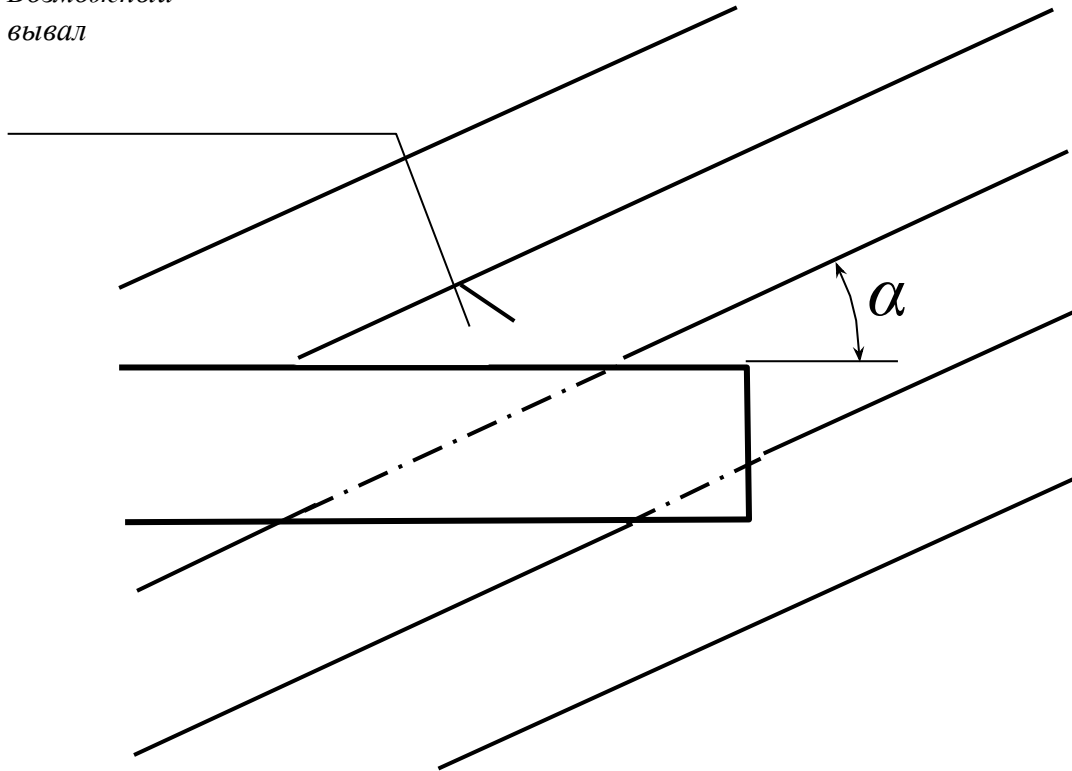


Проходка **вкрест простирания** (\perp линии простирания)
при крутом падении пластов породы ($\alpha = 60 \dots 90^\circ$)

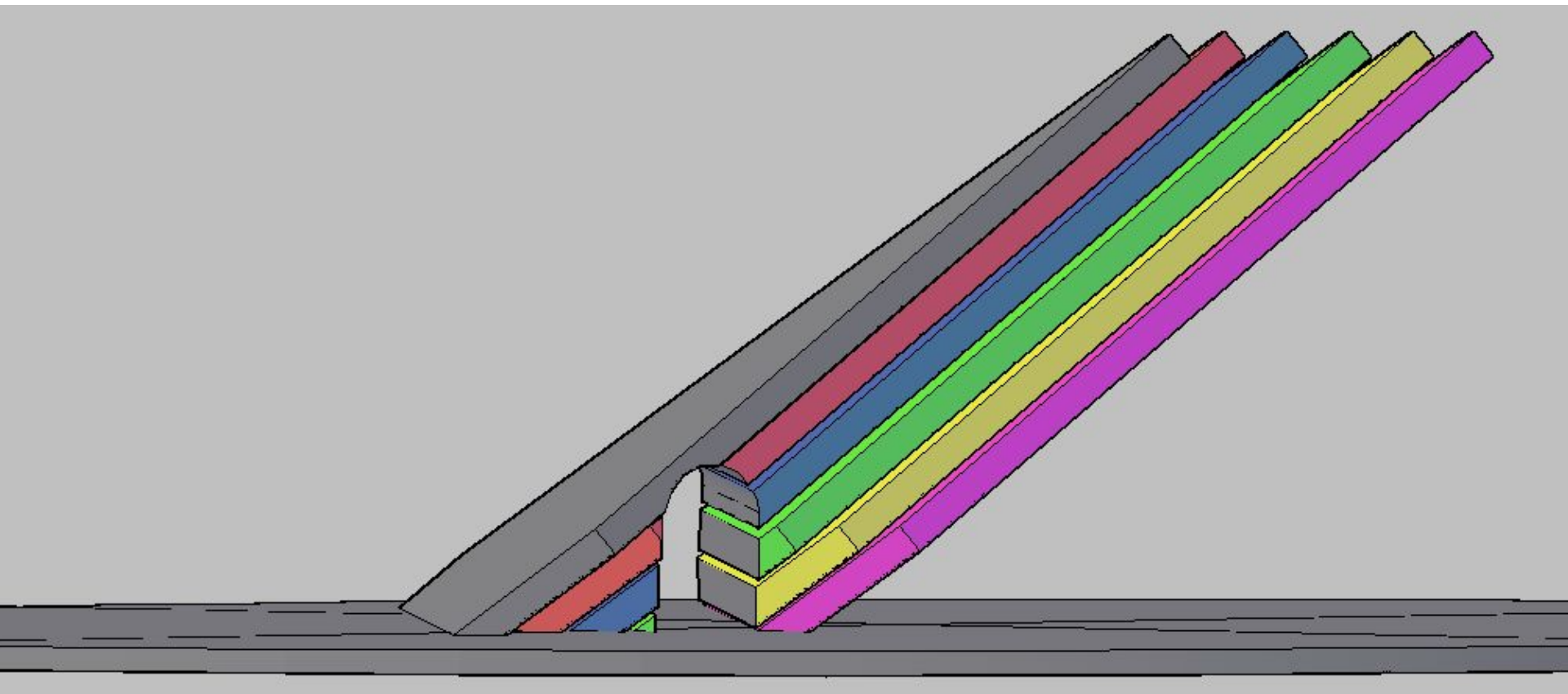


Проходка **вкрест простирания** (\perp линии простирания)
при пологом падении пластов породы ($\alpha \leq 30^\circ$)

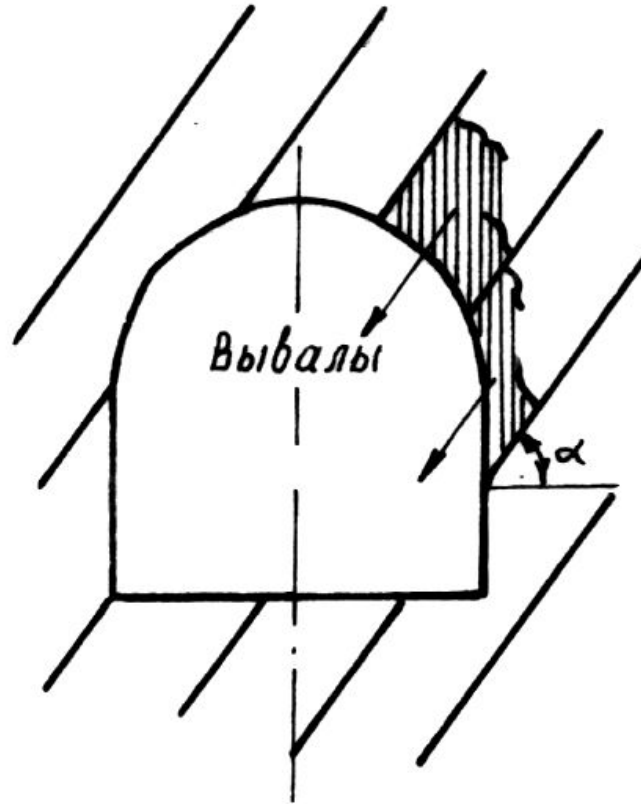
*Возможный
вывал*



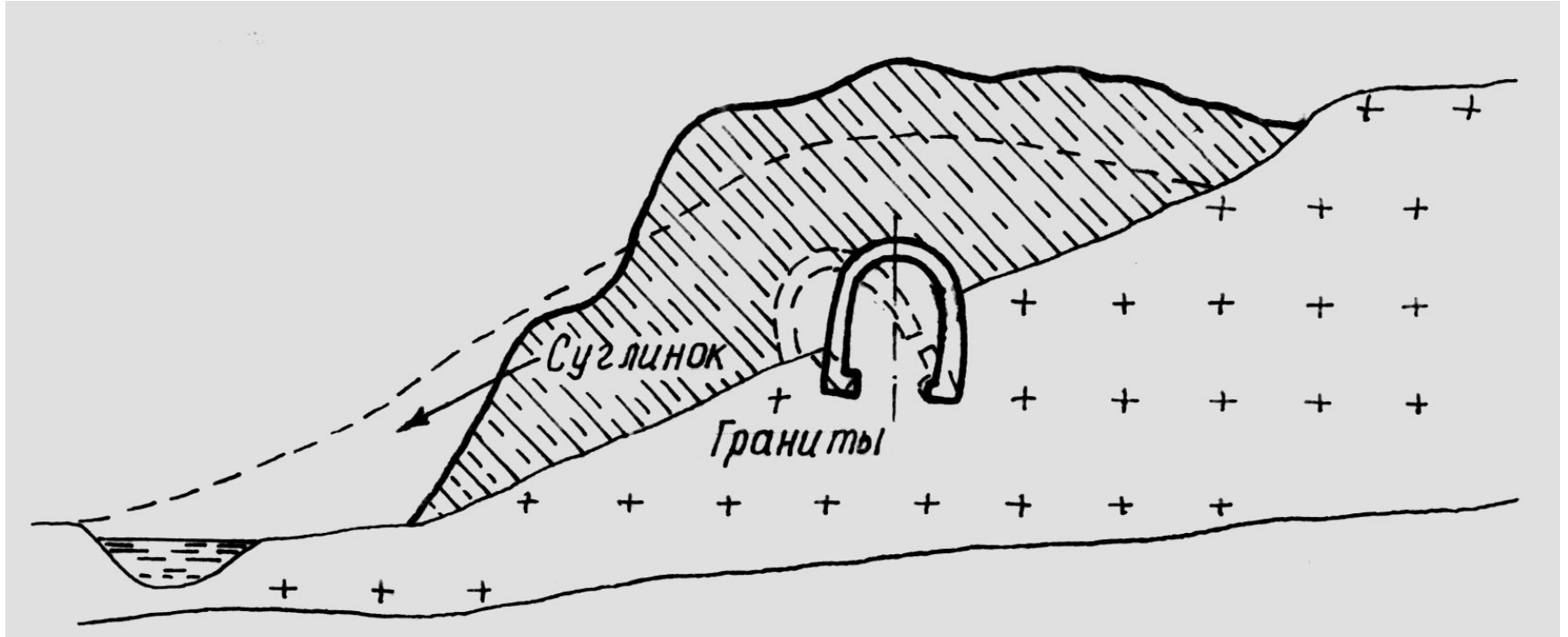
Проходка по простиранию



Проходка по линии простирания



Выраженная граница пород с резко отличающимися свойствами



Расположение тоннеля на контакте рыхлых и скальных пород, угрожающее оползанием массива и разрушением обделки

Гидрогеологические условия породного массива

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ – воды, находящиеся в толщах горных пород верхней части земной коры в жидком, твёрдом и парообразном состоянии.

1. Сооружение тоннеля нарушает естественный гидрогеологический режим
2. Тоннельная выработка является дренажным каналом в горном массиве
3. Подземные воды устремляются в сторону выработки

**Основные факторы риска,
связанные с подземными водами:**

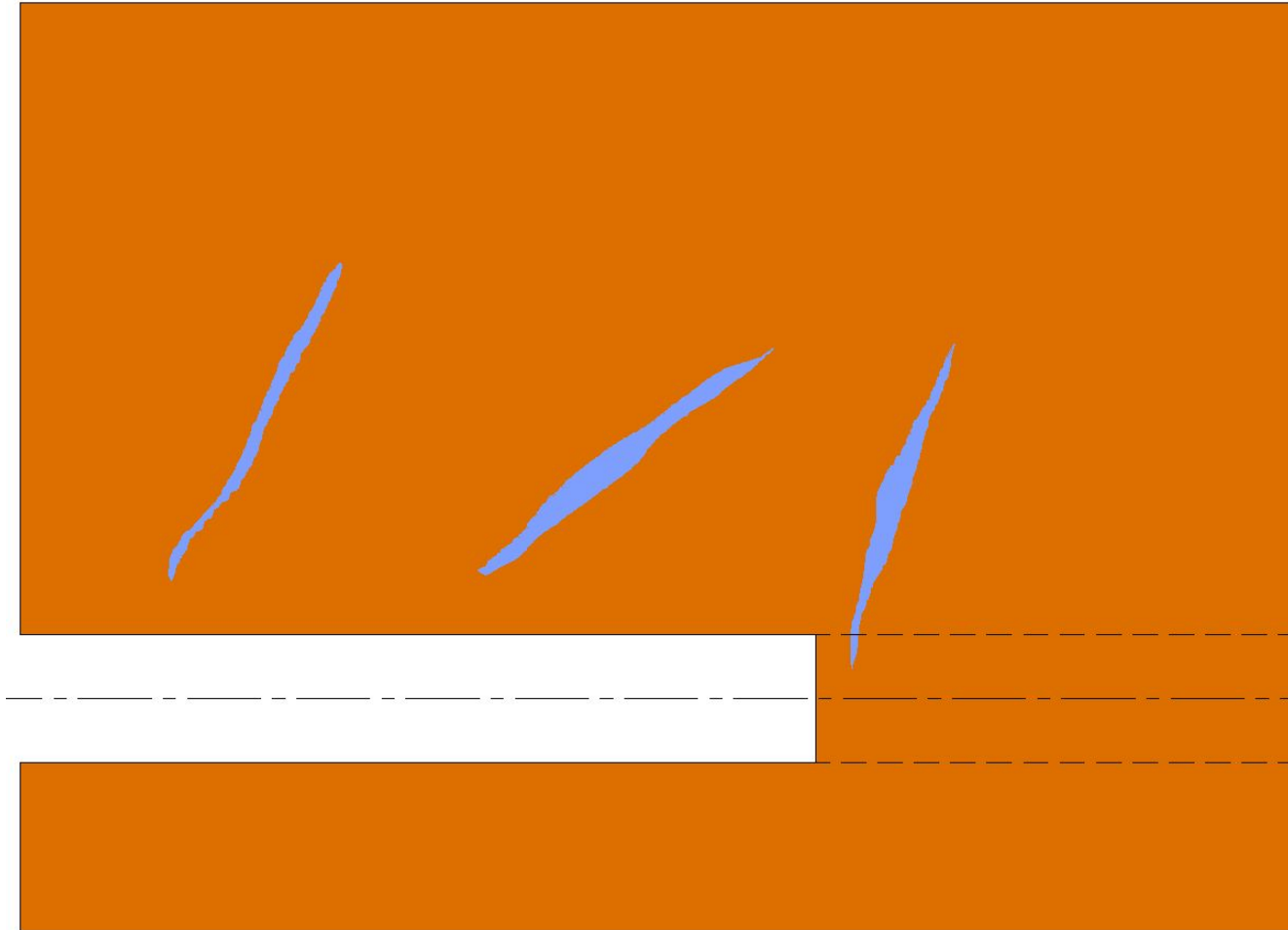
- внезапность проявления (прорывы);
- увеличение горного давления и пучение при обводнении некоторых видов пород;
- провоцирование суффозионной фильтрации;
- агрессивность к бетону, арматуре, металлам (CO_2 , SO_4^{2-} , Mg^{2+});
- возможно образование наледей на своде, стенах и проезжей части.

Классификация трещинных вод по Н.И. Плотникову

Тип трещинных вод	Структурные условия среды для циркуляции вод	Глубина распространения, м	Условия распространения
Трещинно-грунтовые	Региональная трещиноватость коры выветривания скальных грунтов	До 100	Обычно образует бассейны; трещиноватость и водоносность затухает с глубиной
Трещинно-жильные	Зоны тектонических нарушений (разломы и сбросы)	Несколько сотен	Локальное обводнение в форме подземного потока по зонам линейно вытянутых тектонических нарушений
Трещинно-пластовые	Региональная трещиноватость водоносного пласта или свиты в разрезе осадочной водонепроницаемой толщи	В зависимости от залегания трещиноватой водоносной свиты	Обводнение небольшой площади в пределах свиты водоносных пластов
Трещинно-карстовые	Региональная трещиноватость и закарстованность	В зависимости от залегания карбонатных грунтов, иногда до 500	Подземные гидравлически связанные потоки
Карстовые	Локальные карстовые полости и мелкая трещиноватость	В зависимости от мощности слоя карбонатных грунтов и условий формирования карста	Узко локализованные мощные подземные потоки по открытым карстовым полостям

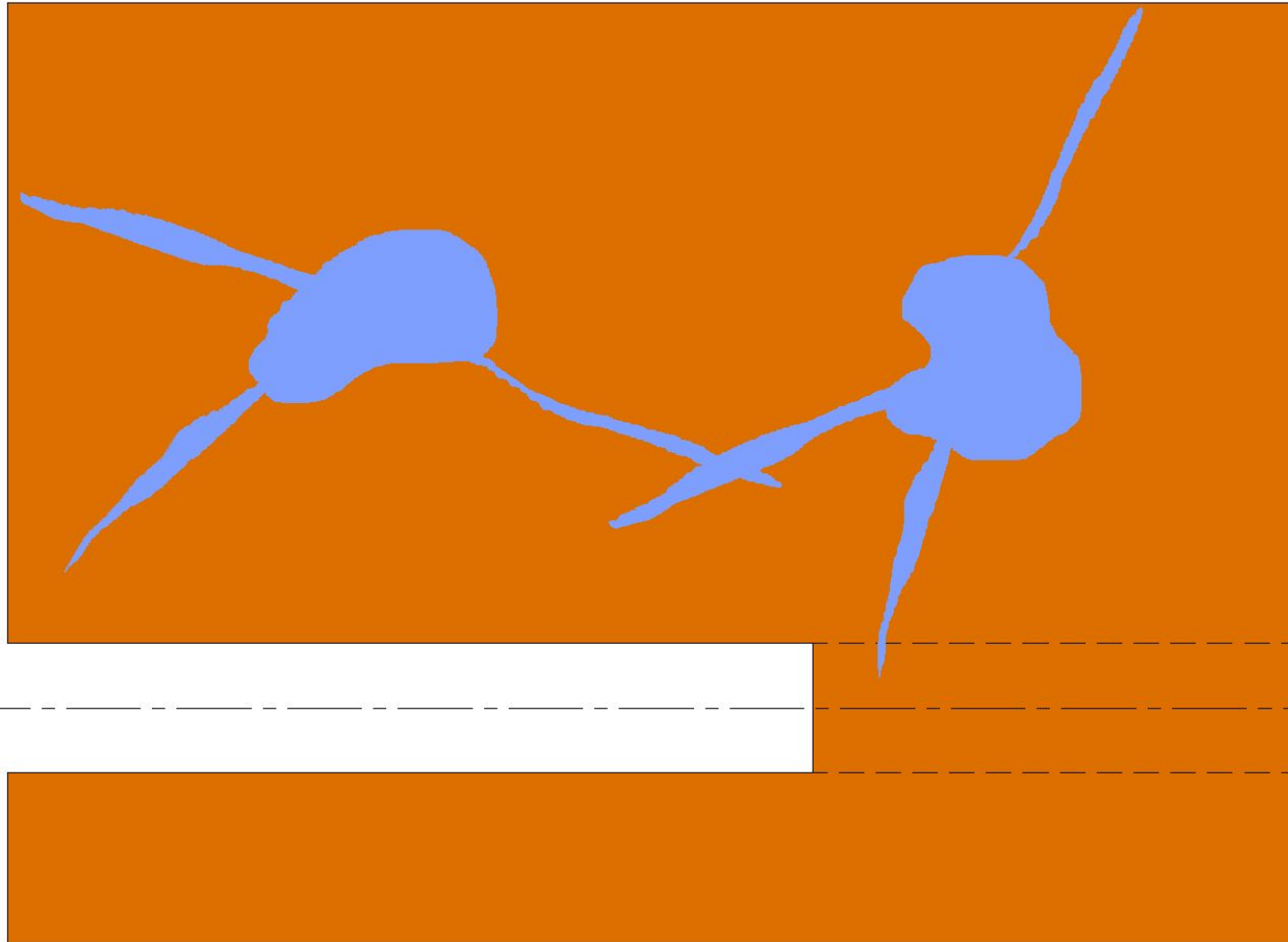
ТРЕЩИННО-ЖИЛЬНЫЕ ВОДЫ – подземные воды, залегающие и циркулирующие в отдельных открытых трещинах, зонах повышенной трещиноватости и тектонических нарушений, распространяющихся обычно на большую глубину.

Трещинно-жильные воды при проходке



ТРЕЩИННО-КАРСТОВЫЕ ВОДЫ – подземные воды, залегающие и циркулирующие в трещиноватых и закарстованных горных породах, характеризующиеся большими ресурсами воды.

Трещинно-карстовые воды при проходке







Температурные (геотермические) условия породного массива

Негативные факторы повышенных температур:

- ухудшение самочувствия проходчиков;
- снижение производительности труда;
- ухудшение условий работы тоннельной обделки.

Статистика по построенным объектам

Тоннель	Высота над уровнем моря наивысшей точки в тоннеле, м	Наибольшая толщина залегающего над тоннелем слоя пород, м	Максимальная температура в тоннеле, °С
Симплон	705,2	2136	55,4
Сен-Готард	1154,55	1706	35,0
Мон-Сенис	1294,7	1654	30,1
Лечберг	1244	1560	34,2
Босрук	734	1300	10,5

Распределение температур в горном массиве



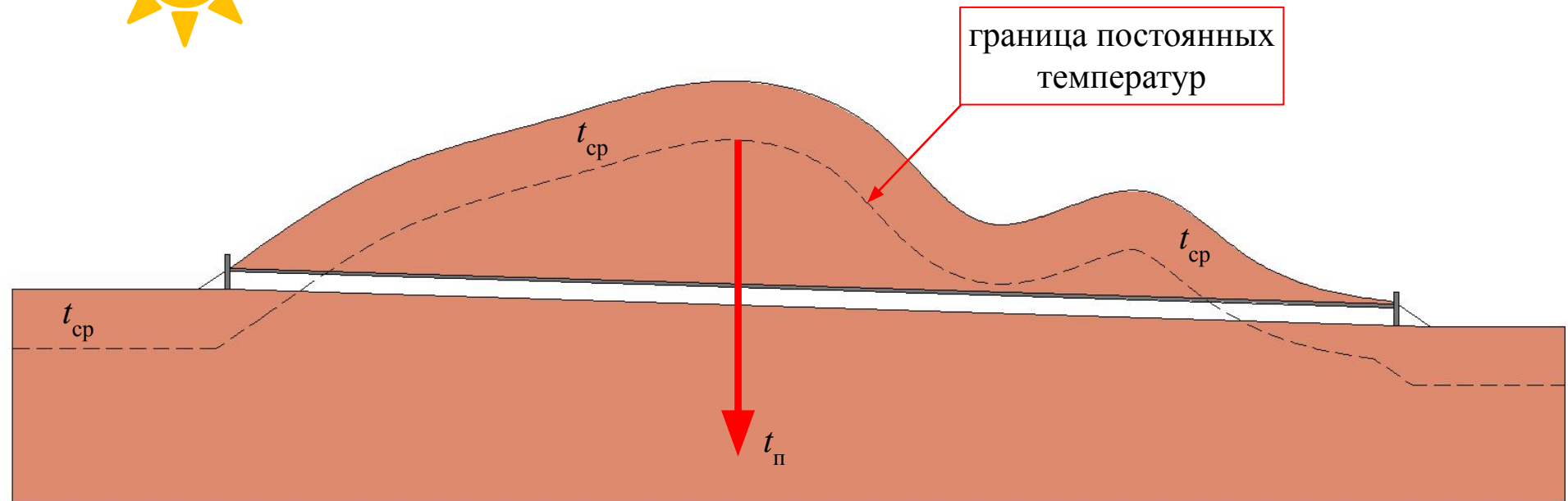
граница постоянных температур

t_{cp}

t_{cp}

t_{cp}

t_{Π}



Геотермическая ступень – глубина, соответствующая повышению температуры на 1°C:

$$\mathbf{n = [м / °С]}$$

Геотермический градиент – удельное изменение температуры с увеличением глубины

(величина на которую повышается температура породы при заглублении;

обычно приводится к 100 м):

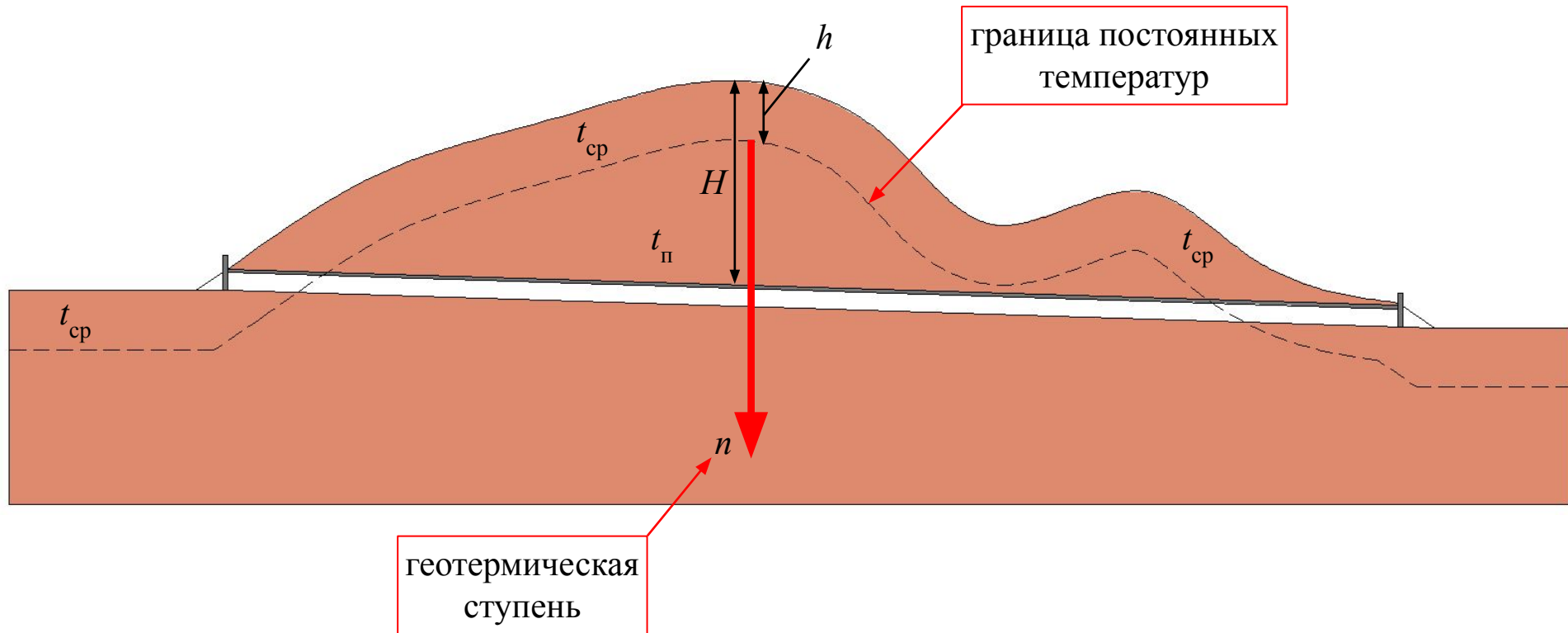
$$\mathbf{v = [°С / 100 м]}$$

Величина **геотермической ступени** зависит от типа местности, рельефа, геологического строения горного массива, циркуляции подземных вод.

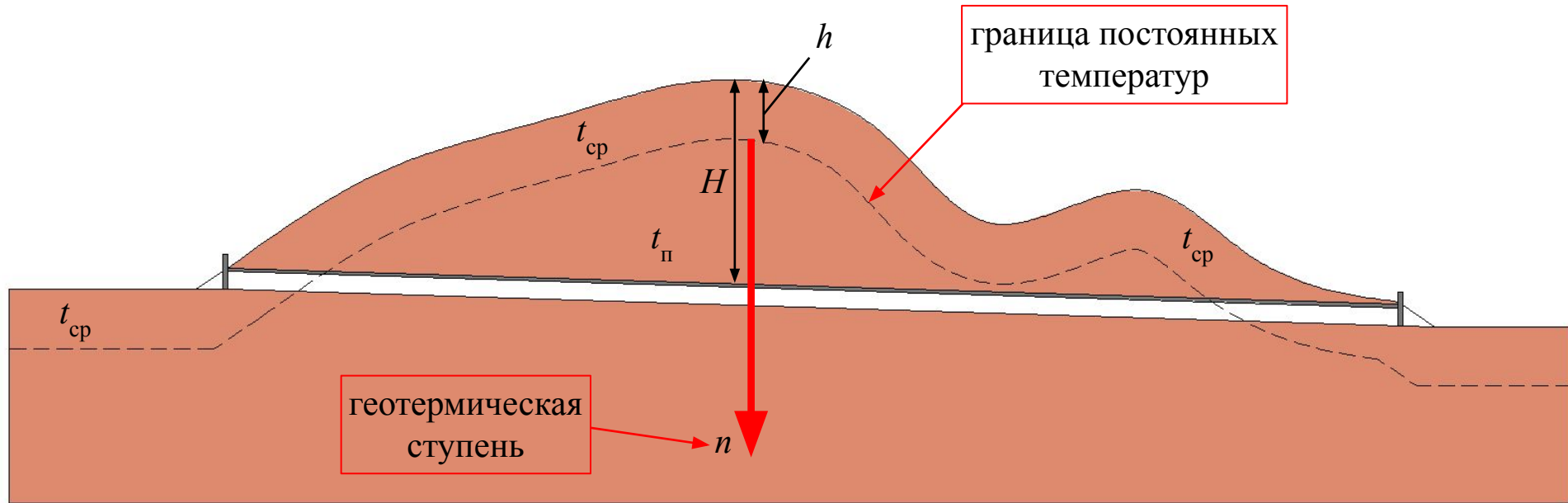
Приблизенно величина геотермической ступени равна:

- под долинами 20...33 м;
- под равнинами 33 м;
- под горными хребтами 33.....70 (в среднем 45) м.

Распределение температур в горном массиве



Распределение температур в горном массиве



$$t_n = t_{cp} + (H - h) / n$$

Газовые условия породного массива

Условия возможного скопления газов:

- антиклинальные складки;
- газонепроницаемые слои в кровле выработки;
- пористые породы (пески, песчаники);
- трещиноватые породы (известняки, доломиты).

Наиболее часто в подземные выработки поступают:

- метан (CH_4);
- угарный и углекислый газы (CO и CO_2);
- сероводород (H_2S);
- сернистый газ (SO_2);
- азот (N);
- аммиак (NH_3);
- радон.

Основные мероприятия:

- перевод выработки на газовый режим;
- усиленная вентиляция;
- применение мер против искрообразования.