

***Сдвигение горных  
пород под влиянием  
подземных  
разработок.***

- Выемка пластов полезных ископаемых вызывает образование в недрах земли пустот значительных размеров.
- Породы, залегающие в кровле горных выработок, под действием силы тяжести и горного давления приходят в движение, обуславливая развитие процесса сдвигения всей толщи, включая земную поверхность.

По мере расширения выработанного пространства величина и скорость прогиба кровли возрастают, сплошность слоев нарушается, они расслаиваются, образуются трещины и происходит обрушение слоев кровли в выработанное пространство.

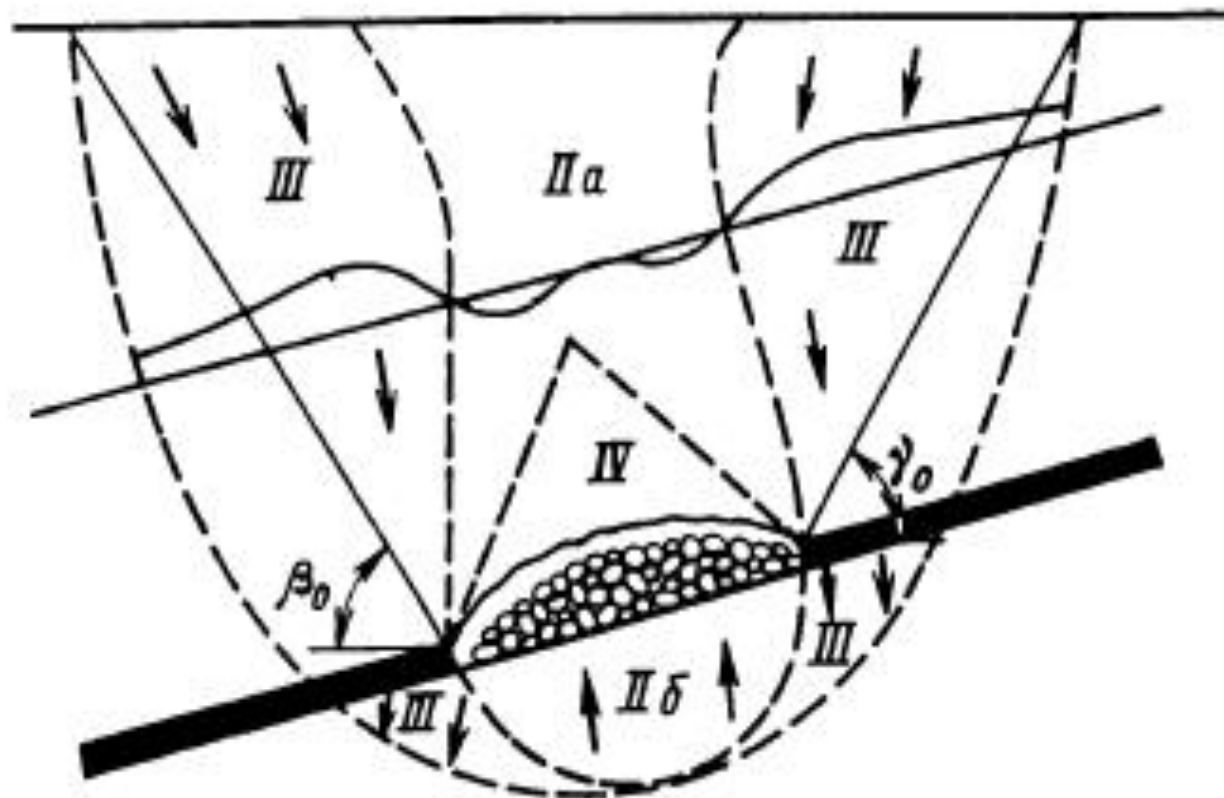
***С увеличением размеров выработанного пространства зона разрушения, называемая сдвижение горных пород, расширяется.***

При некотором соотношении размеров выработанного пространства и глубины горных работ сдвижение достигает земной поверхности.

До подработки массивы горных пород находятся в естественном напряженном состоянии, определяемом, главным образом, гравитационными и тектоническими силами. Проведение выработки вызывает возмущение в первичном поле напряжений, вокруг нее возникают зоны повышенных и пониженных концентраций напряжений. При достижении образовавшихся вокруг выработки напряжений, превышающих прочность горных пород, последние начинают разрушаться. При этом в первую очередь разрушаются породы, непосредственно прилегающие к выработке.

При наличии очистных выработок процесс разрушения пород распространяется на большие расстояния от выработки и может достигнуть земной поверхности. В начальный период, когда очистная выемка еще не отошла от массива на большое расстояние, кровля залежи находится в относительно устойчивом состоянии и ее изгиб происходит в небольших пределах.

# зоны деформаций горных пород вокруг очистной выработки



- Зона обрушения I
- Зона изгиба II
- Зона опорного давления III
- Зона полных сдвижений IV

# Зона обрушения ( I )



Непосредственно **прилегающая к выработанному пространству.**

В ней происходит

- ✓ **отделение** от массива слоев пород,
- ✓ **расчленение** их на блоки
- ✓ **обрушение** в выработанное пространство с нарушением природного строения и связей.

Высота зоны обрушения зависит:

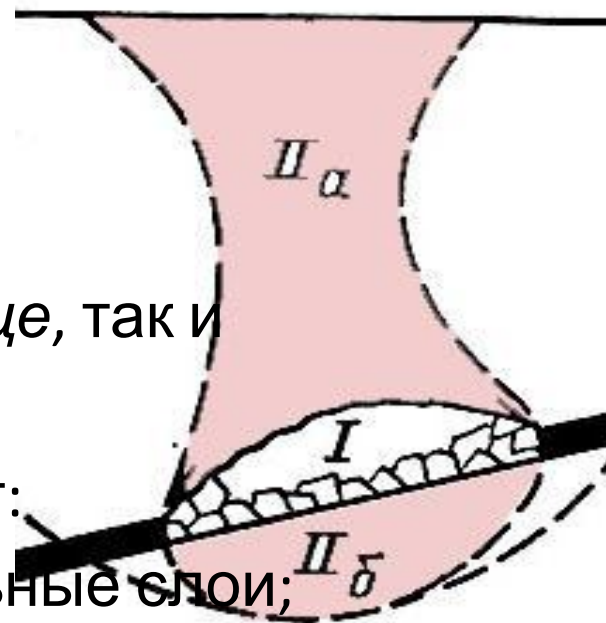
- от соотношения мощностей отдельных слоев кровли и мощности извлекаемого полезного ископаемого,
- крепости слоев непосредственной кровли,
- применяемой системы разработки
- угла падения пласта.
- Высоту этой зоны принимают равной 3-6 кратной вынимаемой мощности пласта.

# Зона изгиба (II)

Наблюдается как в *налегающей толще*, так и в *подстилающих породах*.

Деформации пород в зоне происходят:

- в виде расслоения толщи на отдельные слои;
- их изгиба с сохранением связей между отдельными блоками, образующих систему сквозных водо- и газопроводных каналов.



## Различают две части:

- зону прогиба с образованием трещин, примыкающую непосредственно к зоне полных оседаний (IIa),
- зону прогиба без образования трещин и расслоений, расположенную над зоной прогиба с образованием трещин(II б).

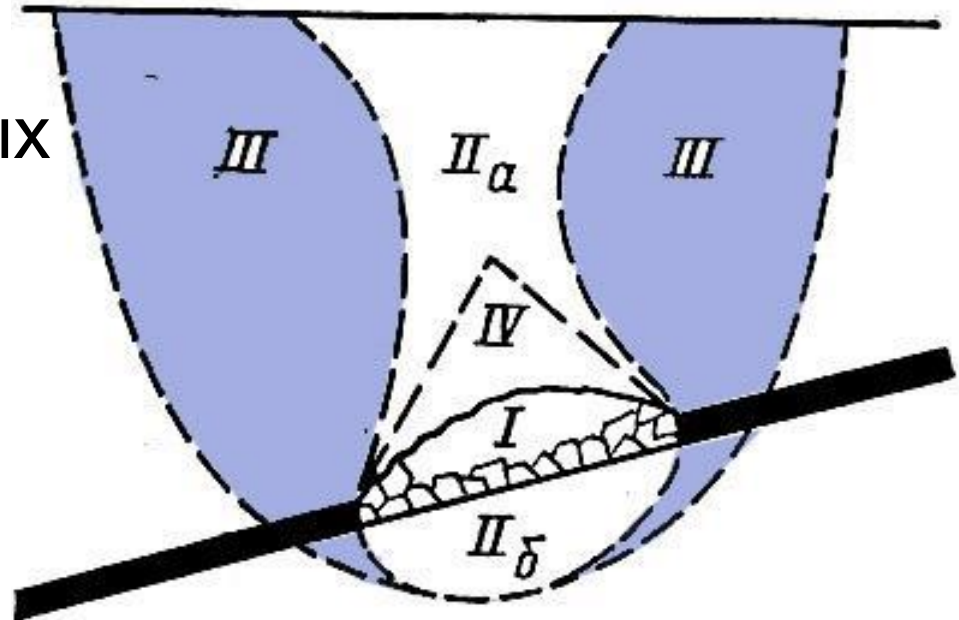
# Зона опорного давления

(III)

*Развивается вокруг очистной выработки за счёт зависания и прогиба пород, где породы сжимаются.*

Величина и характер зоны опорного давления в покрывающих породах зависят:

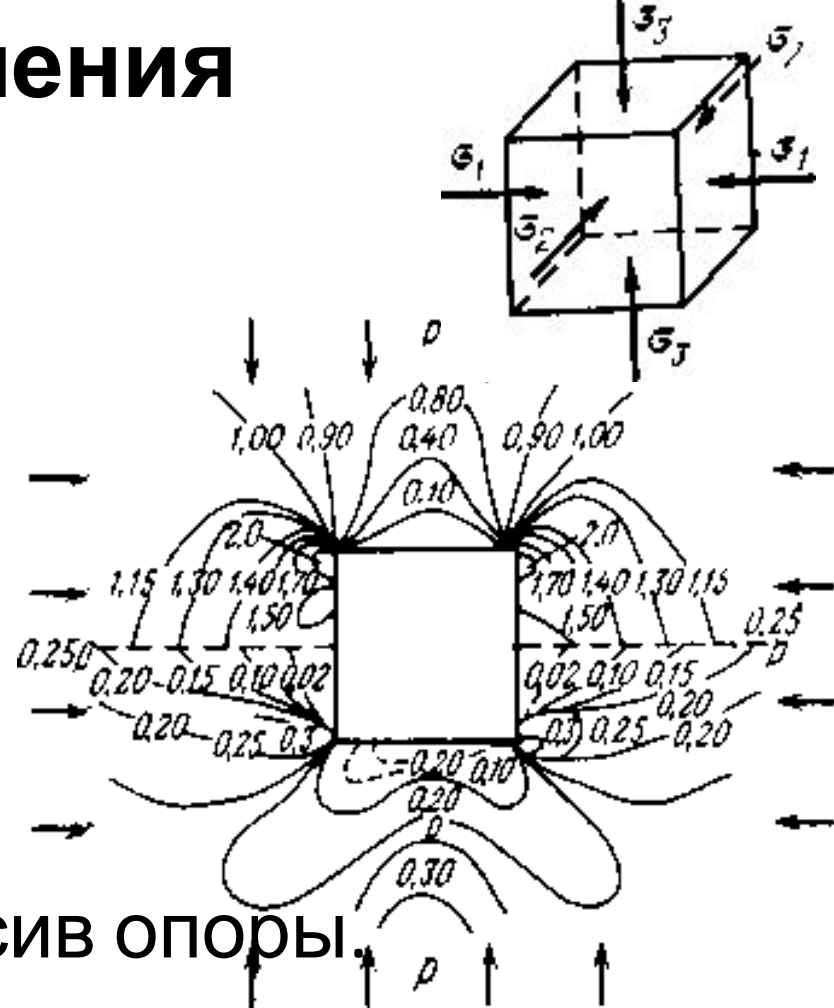
- от зависания пород у границ выработки;
- глубины горных работ;
- свойств пород, в которых пройдена выработка.





# Зона опорного давления (III)

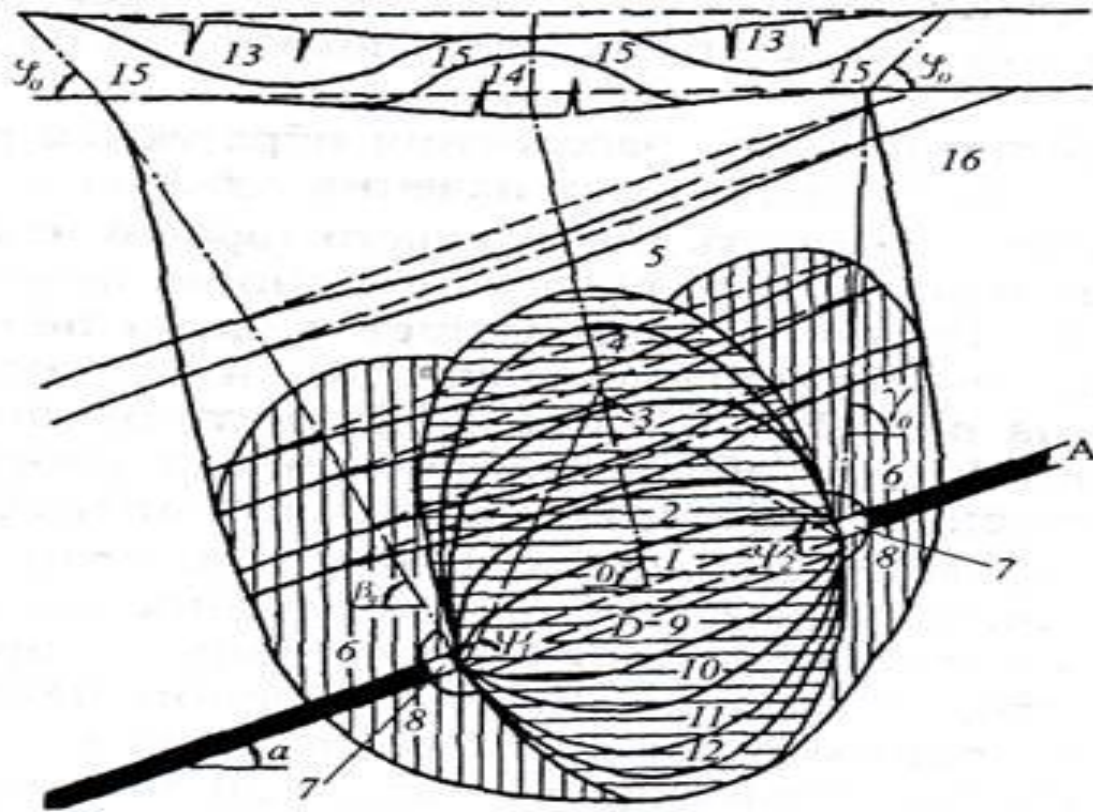
- Опорное давление возникает в массивах горных пород вследствие того, что проведение выработки лишает вышерасположенный массив опоры. Он зависает, и его масса перераспределяется на горные породы, окружающие эту выработку.



# Зона полных сдвижений IV,

Образуется как на поверхности,  
так и в толще пород.

Принято считать, что в зоне полных сдвижений напряженное состояние близко к *гравитационному*.

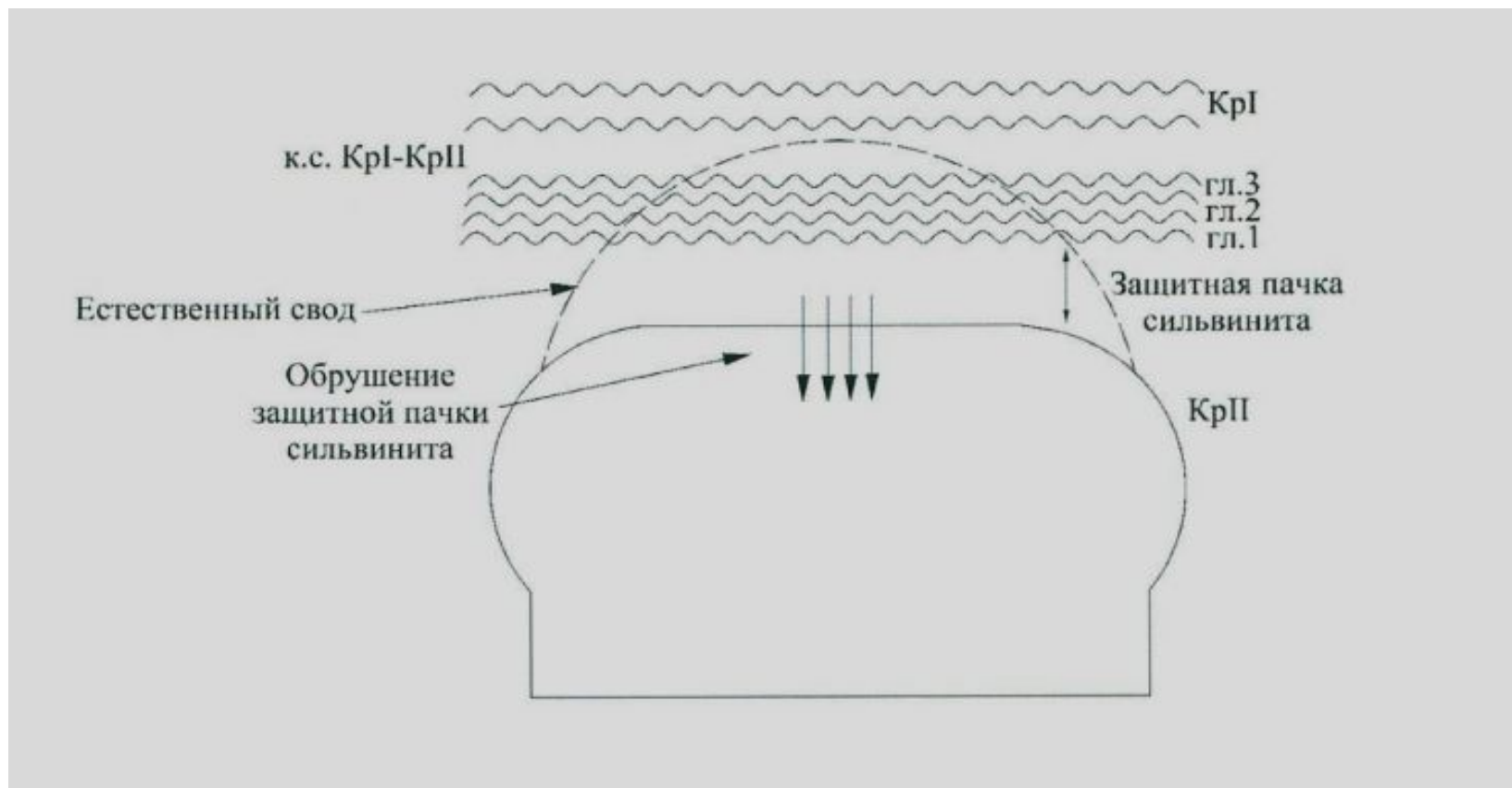


В прилегающем к земной поверхности породном слое в результате изгиба образуются:

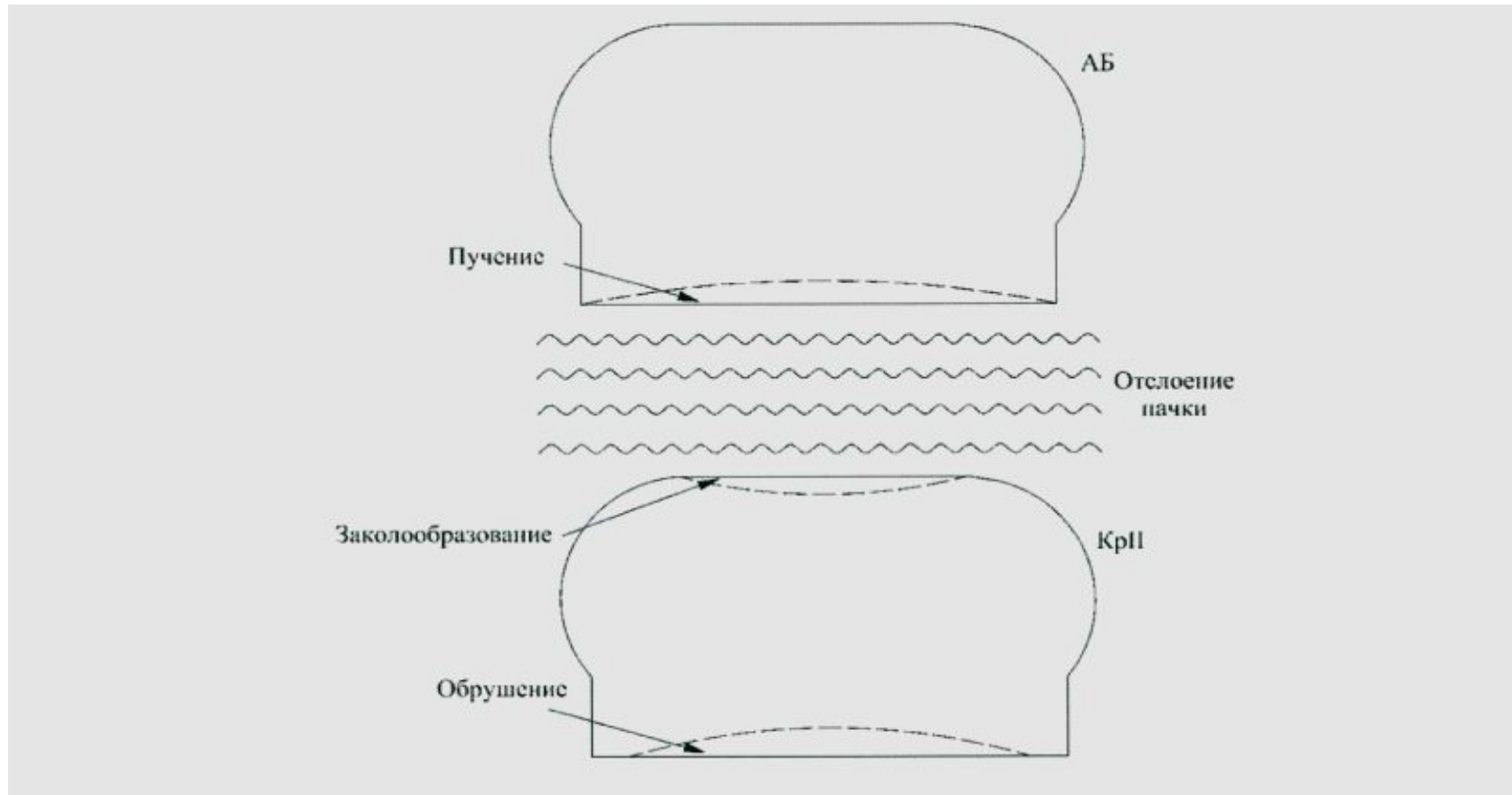
- зоны растяжения в верхней (13) и нижней (14) частях слоя
- зоны сжатия (15)

При определенных углах падения пород происходит сдвиг слоев по плоскости напластования и в подработанной толще появляется зона (16)

# Схематическое изображение обрушения по глинистым прослоям



# Схематическое изображение расслоения потолочины между выемочными штреками по вертикали









Первый провал  
БКРУ-1





Увеличение провала  
БКПРУ-1



04/11/2008

YAPLAKAL.COM

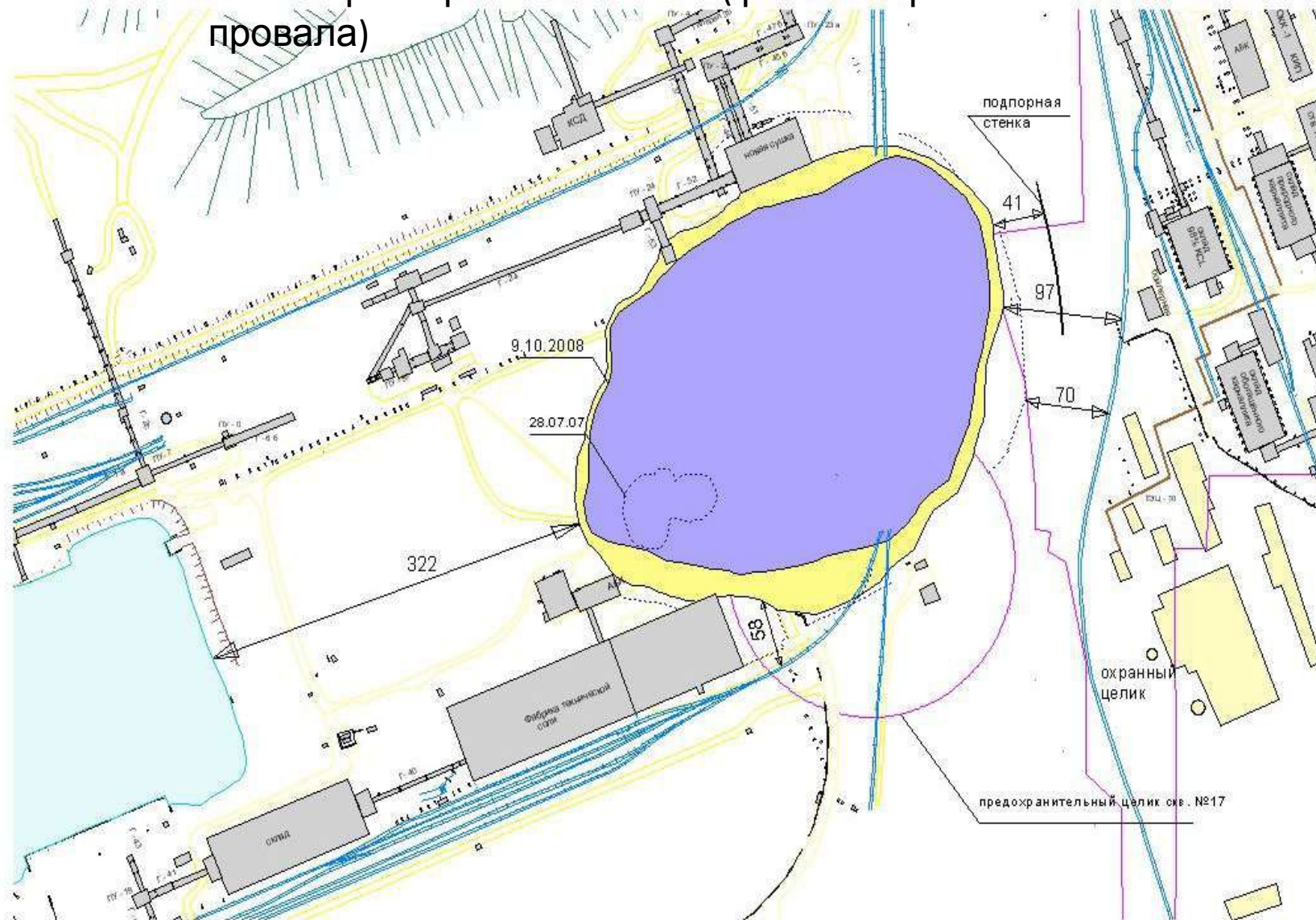


провал БКПРУ-1  
сегодня



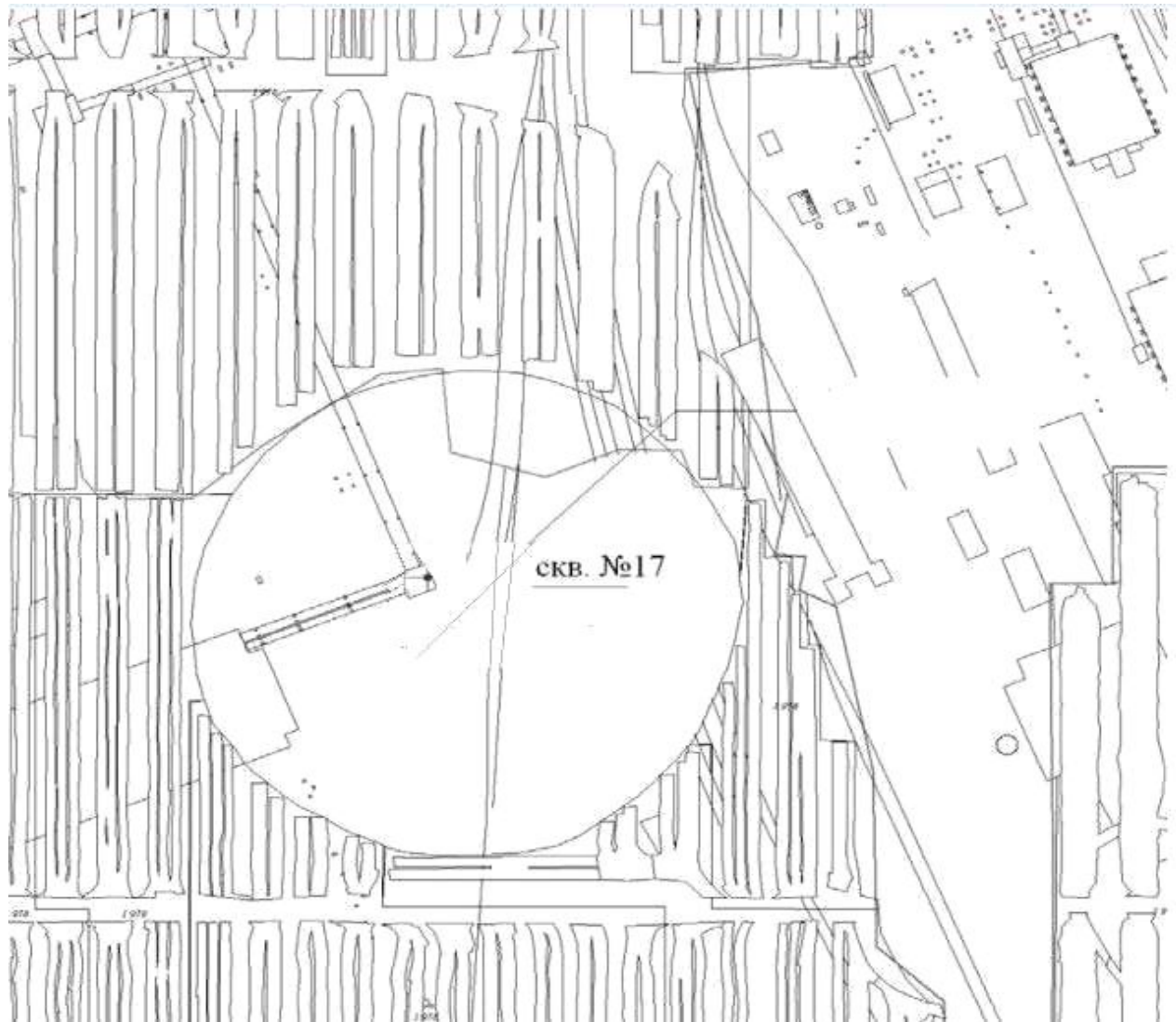
Второй и третий провалы объединились в один

# План горных работ БКПРУ-1 ( район первого провала)





# План горных работ БКПРУ-1 ( район первого провала)



## Основные параметры процесса сдвижения

К параметрам процесса сдвижения, характеризующим качественно и количественно этот процесс, относят:

- *углы сдвижения,*
- *граничные углы,*
- *углы разрыва,*
- *углы полных сдвижений,*
- *углы максимальных оседаний,*
- *абсолютные и относительные сдвижения (оседания, наклон, кривизна, горизонтальные сдвижения, растяжения и сжатия),*
- *скорость и время протекания процесса,*
- *характер распределения величин сдвижений и деформаций в пределах мульды.*



Часть земной поверхности, подвергшаяся сдвигениям и деформациям, называется **мульдой сдвижения**.

В мульде сдвижения различают зоны:

а) **обрушения** – часть мульды, где на земной поверхности происходит образование воронок, провалов, трещин и террас (за границу этой зоны условно принимают контур, ограниченный трещинами шириной не менее 25 см);

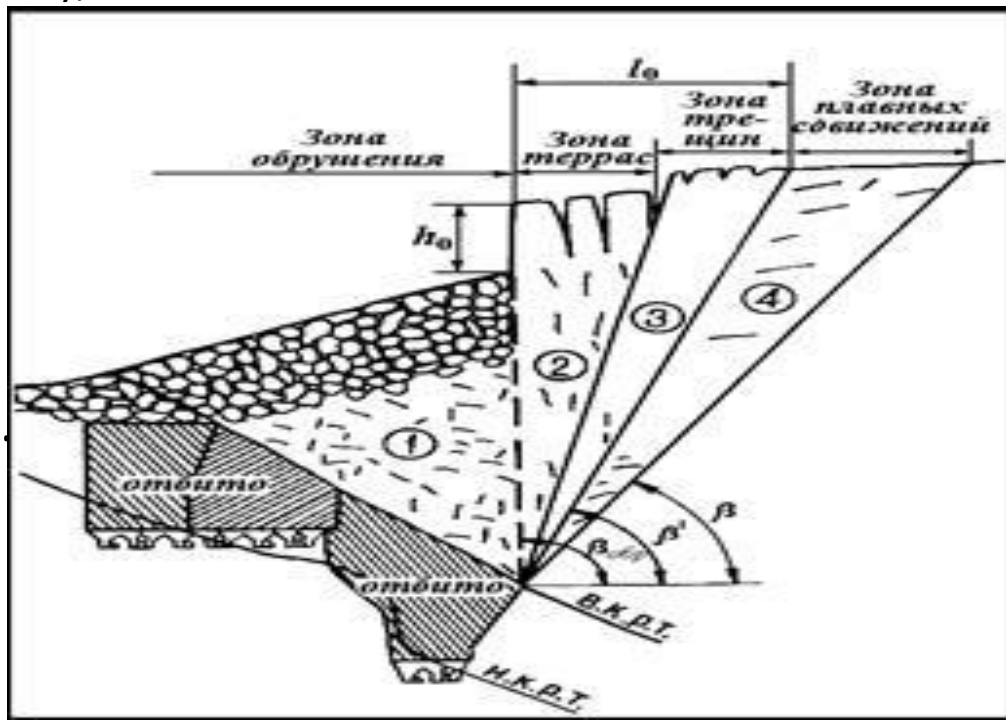
б) **трещин** – где происходит разрыв сплошности земной поверхности и образуются трещины (за ее внешнюю границу принимают контур крайних хорошо различимых трещин);

в) **плавных сдвижений** –

где земная поверхность подверглась сдвигению без разрыва сплошности;

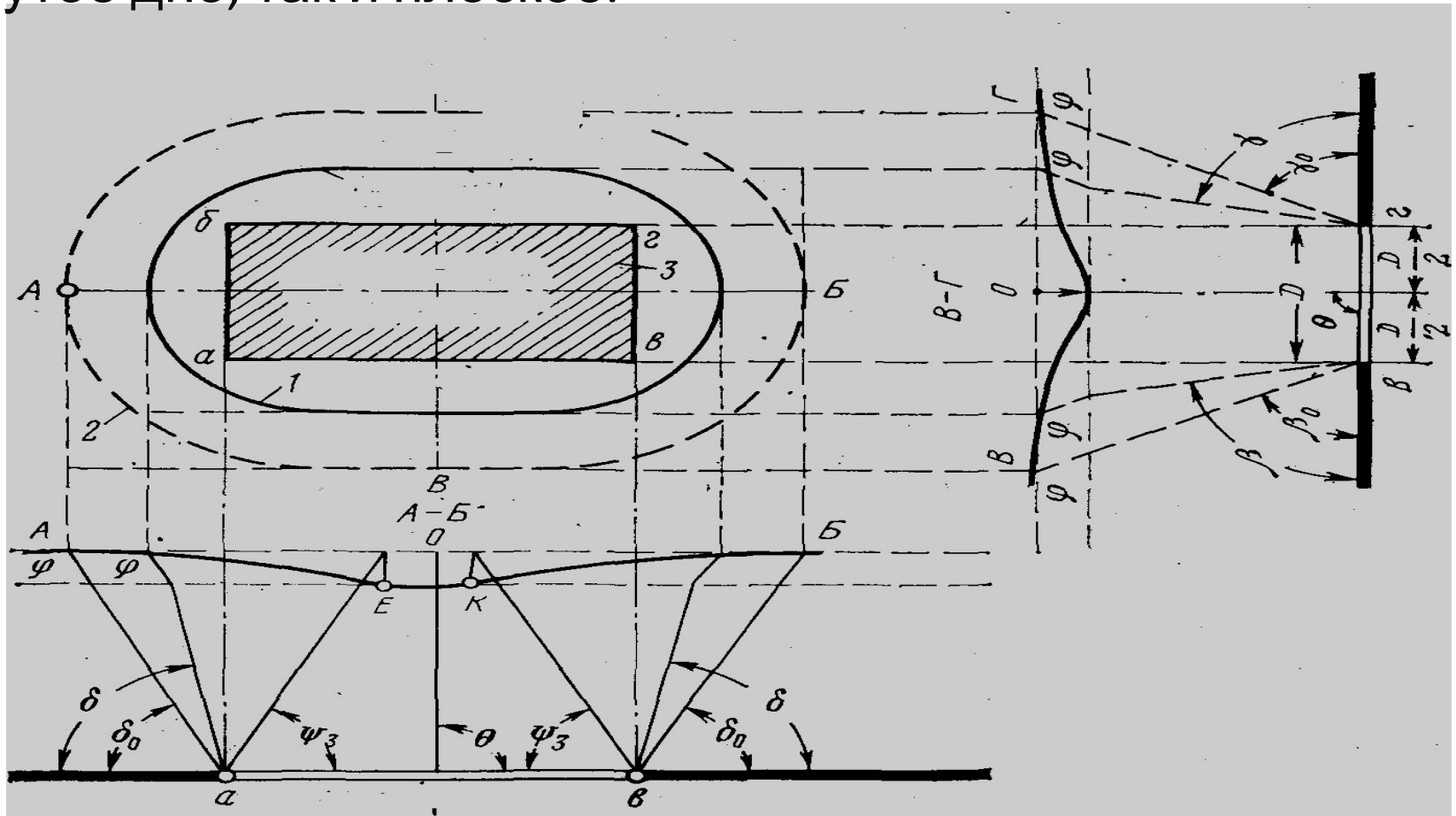
г) **"опасных" сдвижений** – где возникают деформации, опасные для зданий и сооружений.

Распределение сдвижений и деформаций земной поверхности в пределах мульды неравномерно.



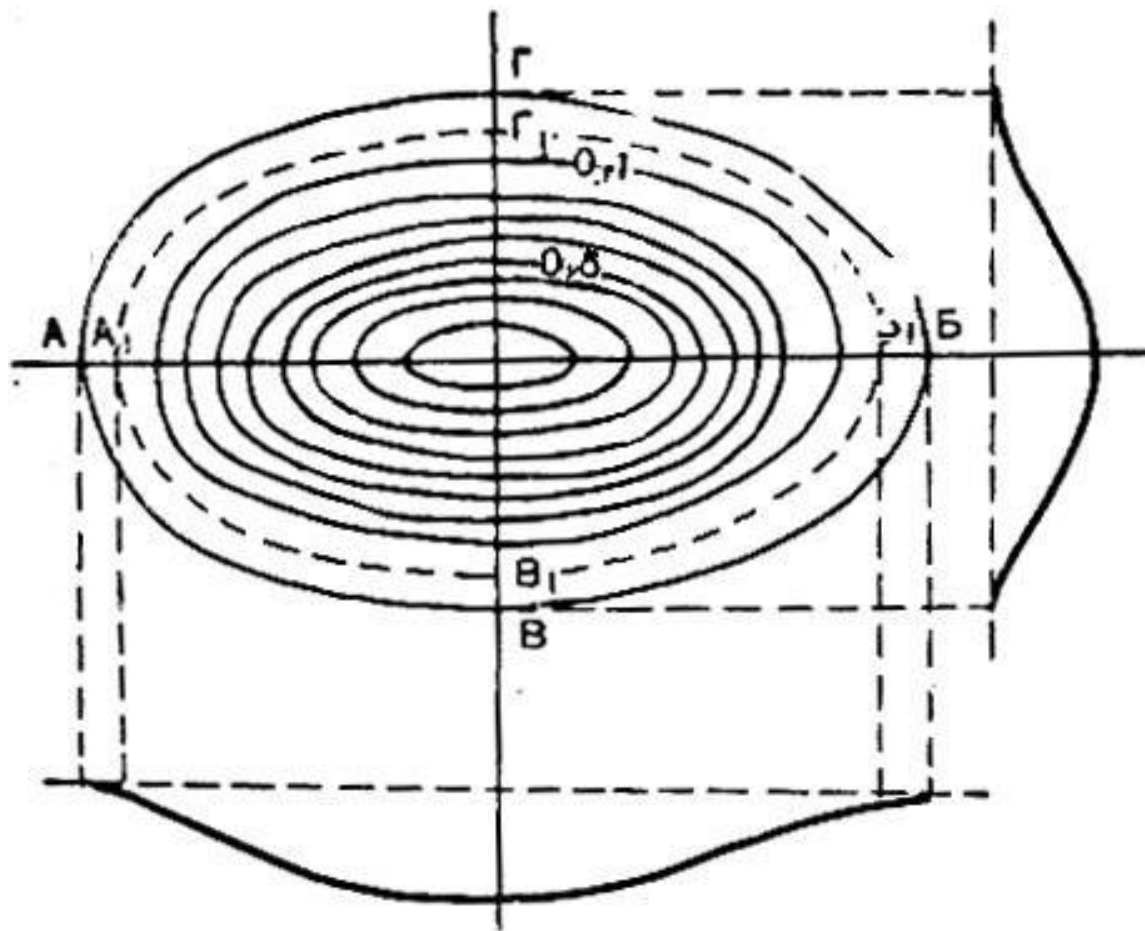
В мульде сдвижения выделяют **два главных сечения**, проходящих через точку максимального оседания  $O$  по простиранию  $AB$  и падению  $B\Gamma$  пласта.

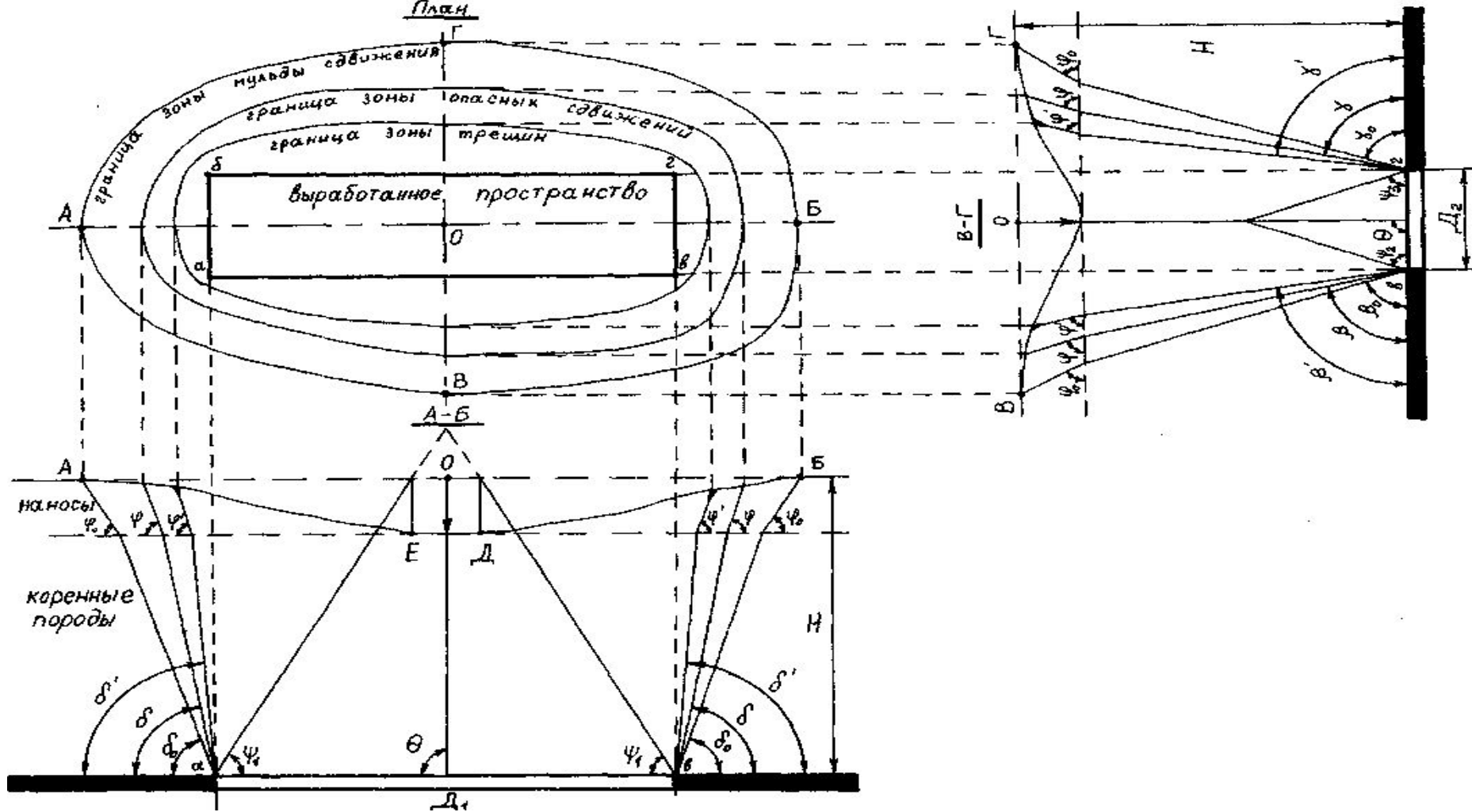
Обычно мульда сдвижения представляет тарелкообразную впадину на земной поверхности. Но может иметь как вогнутое дно, так и плоское.



Мульда сдвижения  
в изолиниях  
оседания через 0,1  
м.

АБ и ГВ – основные  
(главные) сечения  
мульды;  
АГБВ – граница  
мульды сдвижения;  
А<sub>1</sub>Г<sub>1</sub>Б<sub>1</sub>В<sub>1</sub> – граница  
зоны опасного  
сдвижения





Форма и размеры мульды сдвижения, ее расположение относительно выработанного пространства зависят:

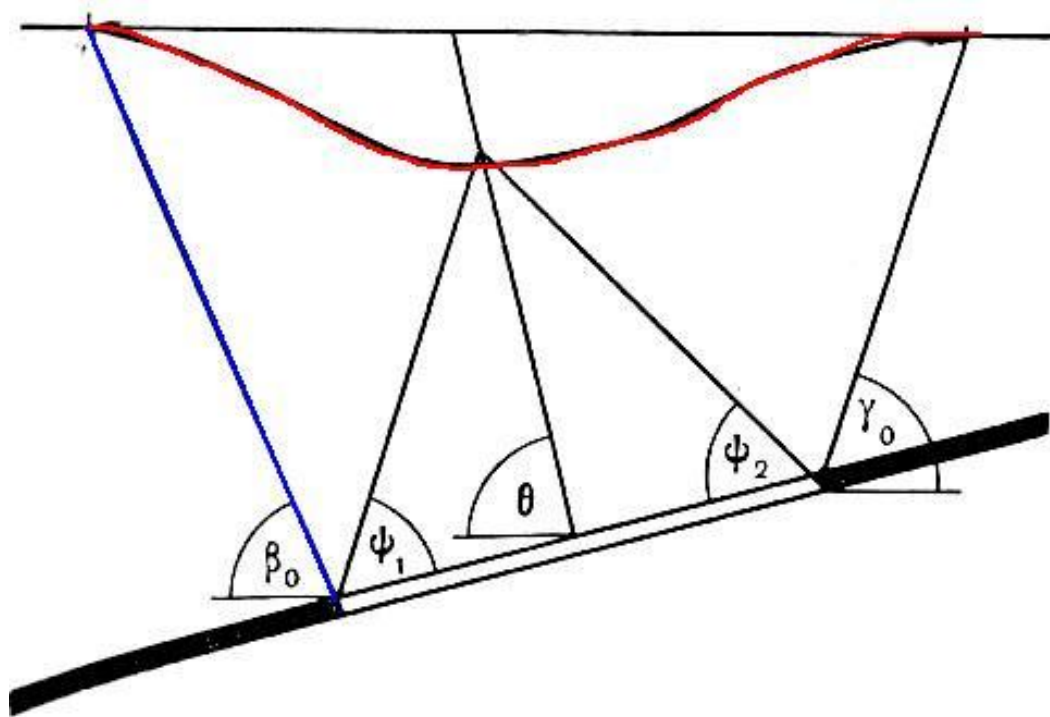
- **от мощности пласта;**
- **угла наклона пласта;**
- **размеров выработанного пространства;**
- **глубины его залегания.**

# **ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ** (элементы) сдвигения земной поверхности

- это величины сдвижений и деформаций, характеризующие процесс сдвигения в пространстве и во времени;
- граничные углы,
- углы сдвигения,
- максимальные (углы обрушения)

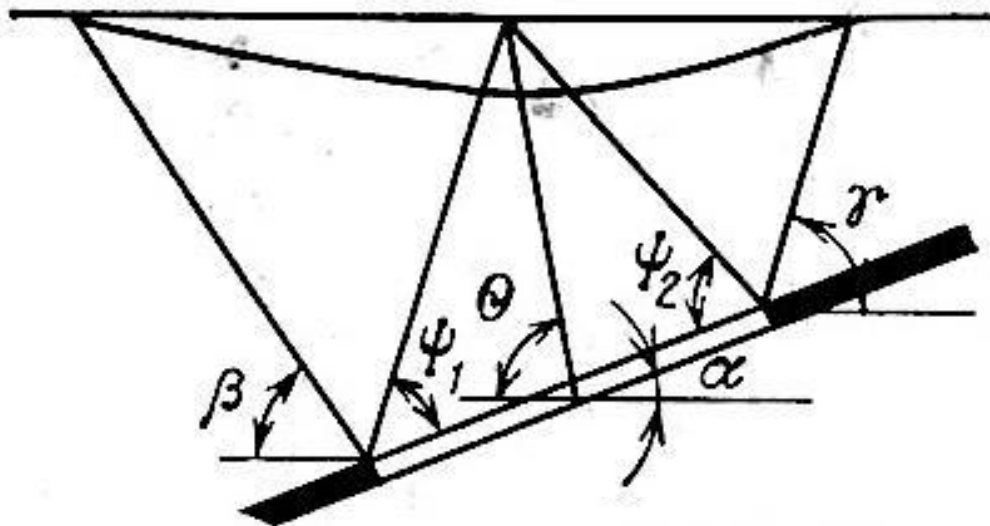
При горизонтальном залегании вырабатываемой залежи мутьда сдвижения располагается **симметрично** относительно границ выработок; при наклонном или крутопадающем залегании она **смещается в сторону падения** залежи.

Граница мутьды сдвижения определяется с помощью углов сдвижения.



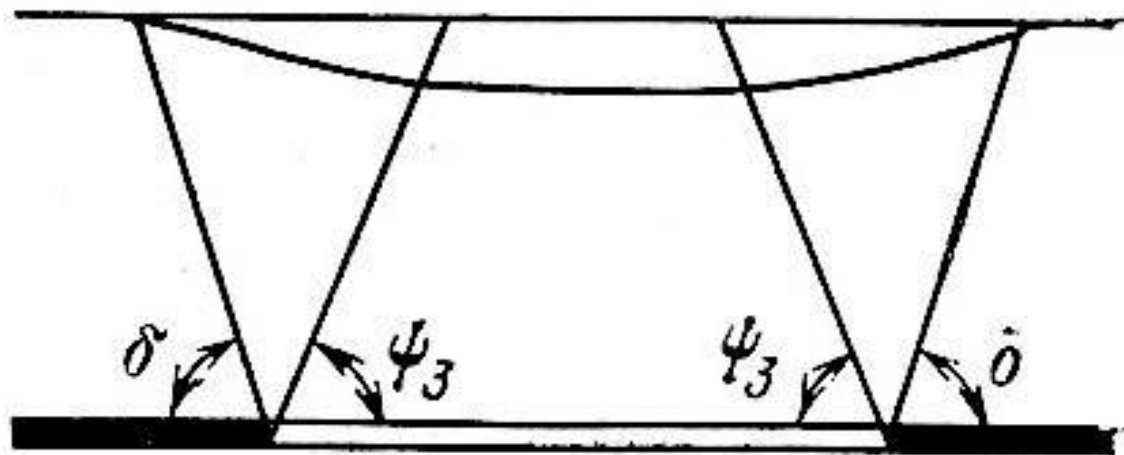
Под **углами сдвижения** понимают углы наклона к горизонту линий, соединяющих границу мутьды сдвижения с границей выработанного пространства.

Различают углы сдвижения **по** простиранию и **вкрест** простирания



**вкрест** простирания

**по** простиранию



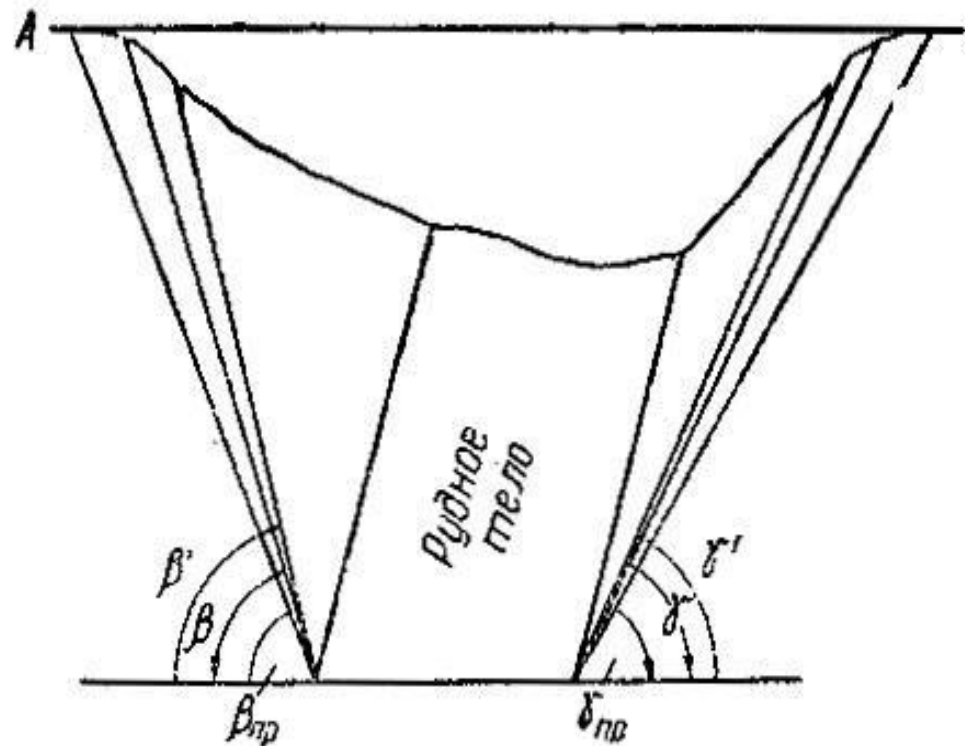
- В зависимости от того, какая точка на поверхности принимается за границу мульды сдвига, различают

Углы **граничные**

( $\beta_{пр.}$ ,  $\gamma_{пр.}$ ) относятся к точке с нулевым сдвижением (наружные)

собственно **углы сдвига** ( $\beta$ ,  $\gamma$ ) относительно точек, сдвигение которых является предельно допустимым с точки зрения повреждения сооружений (средние)

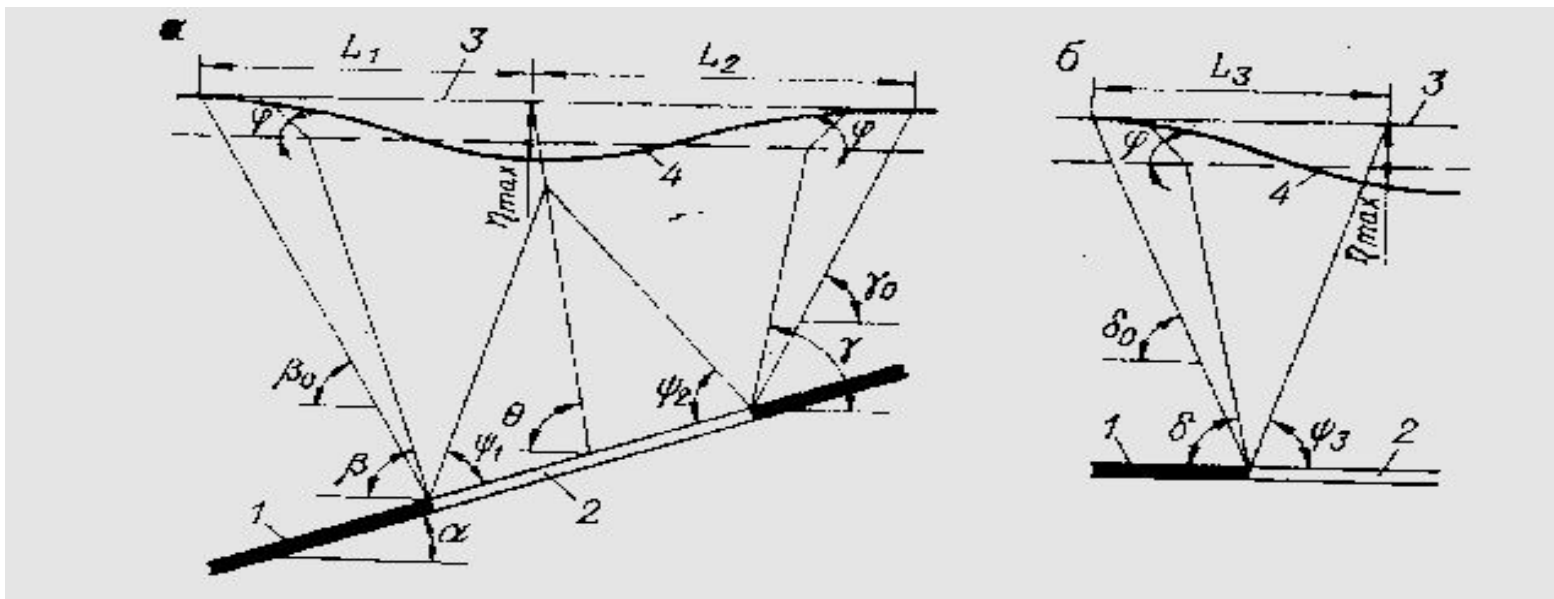
углы **обрушения (разрывов)**  $\beta'$ ,  $\gamma'$  отнесенный к крайней трещине обрушения (ближе к рудному телу).



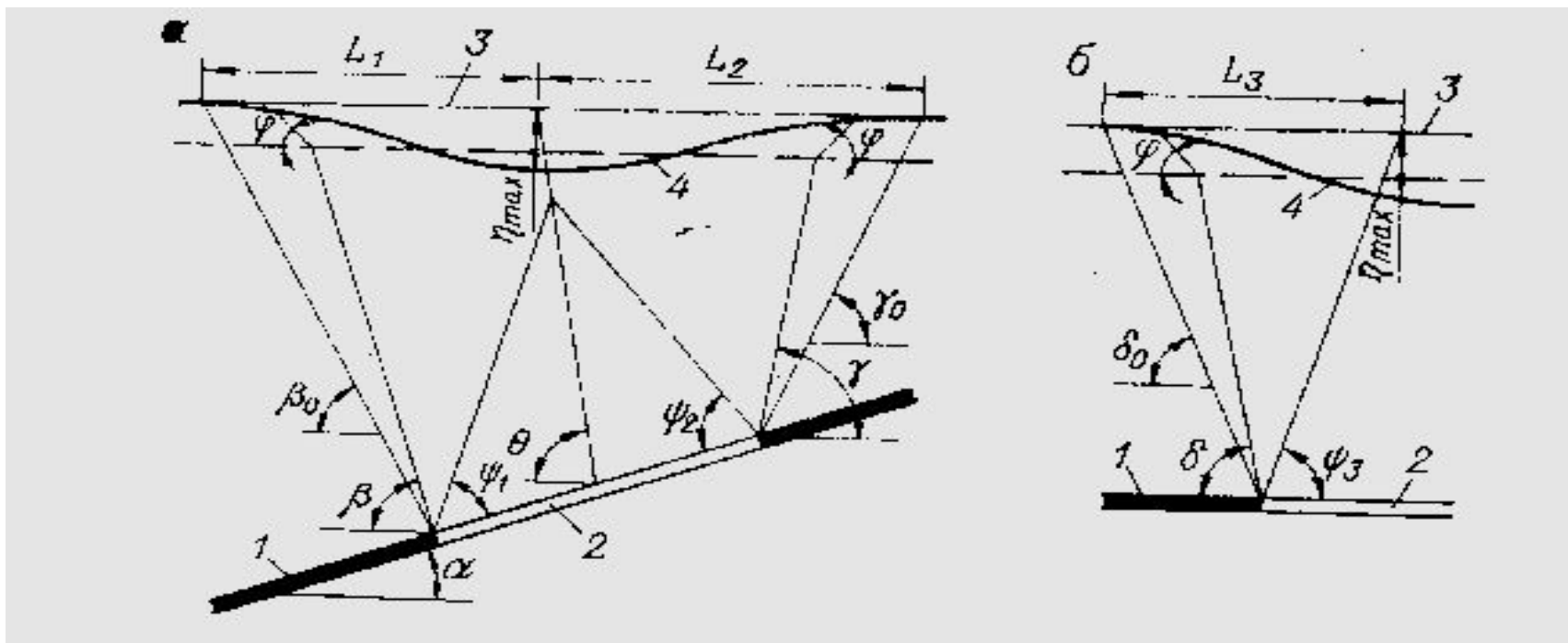


# Углы сдвига

Для обозначения на поверхности зон опасных сдвижений используются углы сдвига – наиболее важный параметр процесса сдвига, с их помощью производится построение предохранительных целиков.



Углами сдвижения ( $\beta, \gamma, \delta$ ) называются внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах в главных сечениях мульды по простиранию и вкрест простирания залежи (пласта) полезного ископаемого горизонтальными линиями и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с границами критических деформаций поверхности.



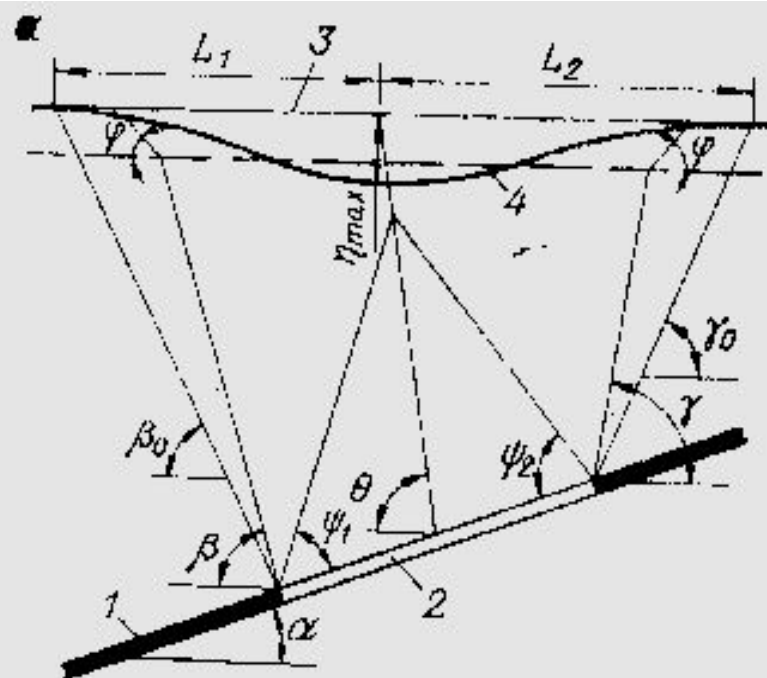
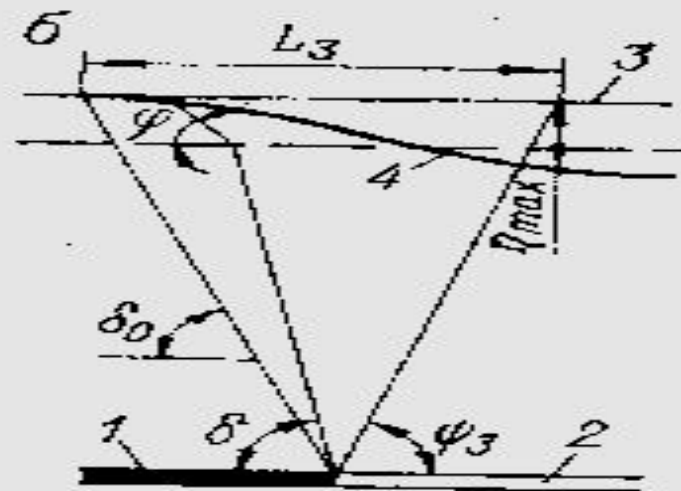
# Углы сдвижения

$\beta$  – угол сдвижения, ограничивающий опасную зону мульды со стороны падения пласта

$\gamma$  (гамма) - угол сдвижения, ограничивающий опасную зону мульды со стороны восстания пласта

$\delta$  (дельта) - угол сдвижения, ограничивающий опасную зону мульды со стороны простирания пласта

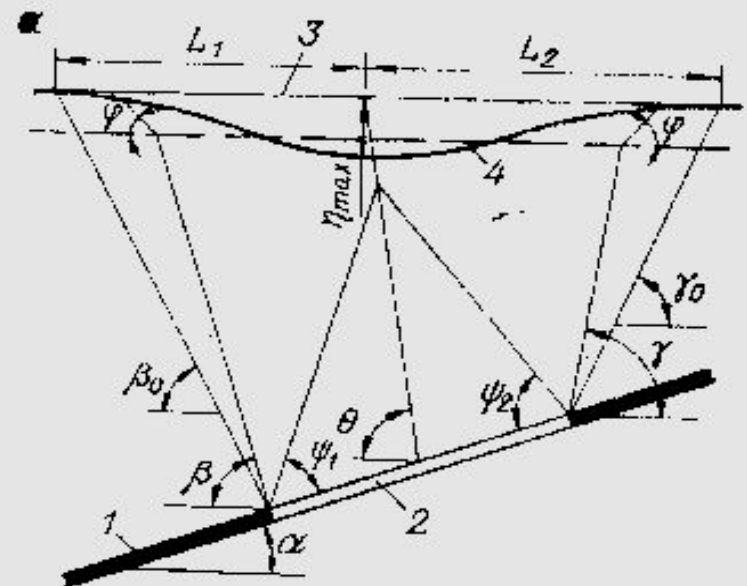
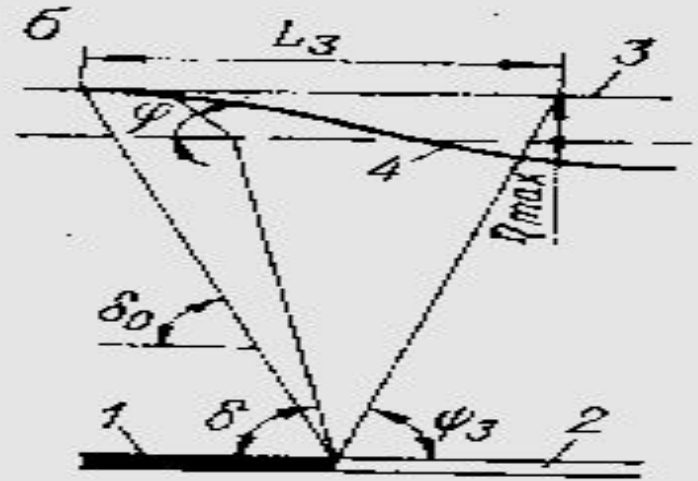
$\varphi$  (фи)) - угол сдвижения в наносах



# Угол полных сдвижений $\Psi$

Определяют зону полной подработки.

Угол полных сдвижений  $\Psi$  (пси) называют внутренние относительно выработанного пространства угла, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды линий пласта и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с границами плоского дна мульды сдвижения.



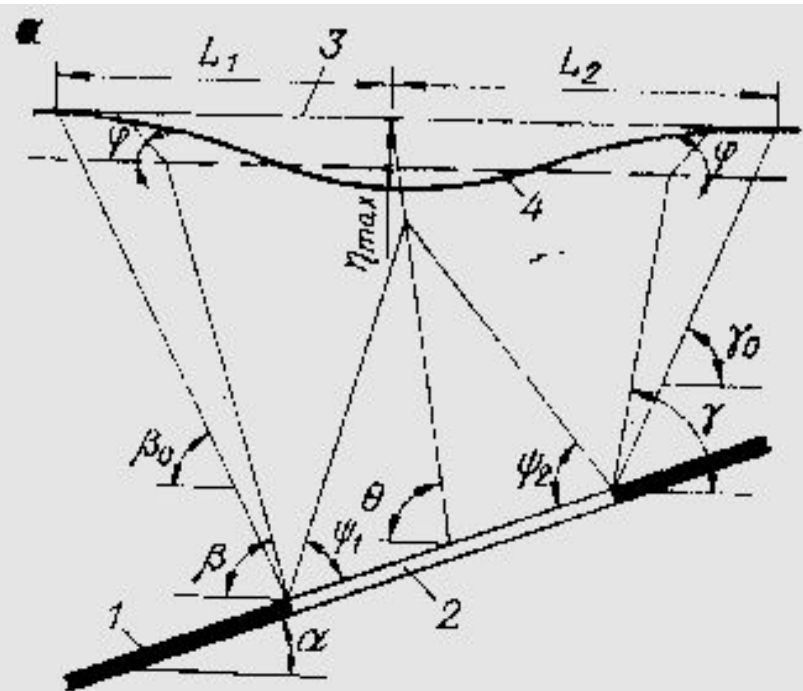
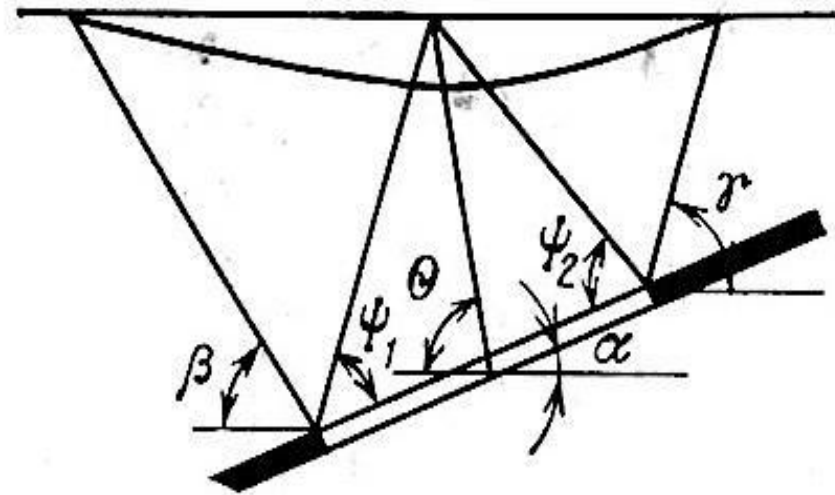


# Угол максимальных оседаний

При отсутствии плоского дна мульды (неполная подработка)

местоположение точки с максимальным оседанием земной поверхности определяется

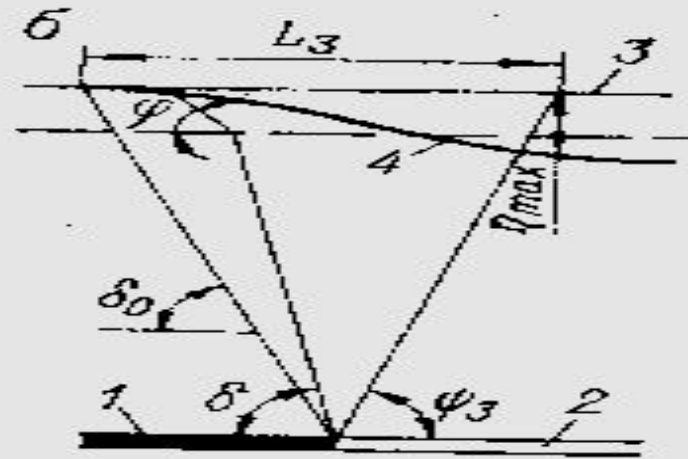
углом максимальных оседаний  $\theta$  (тэта)



# Углы разрывов

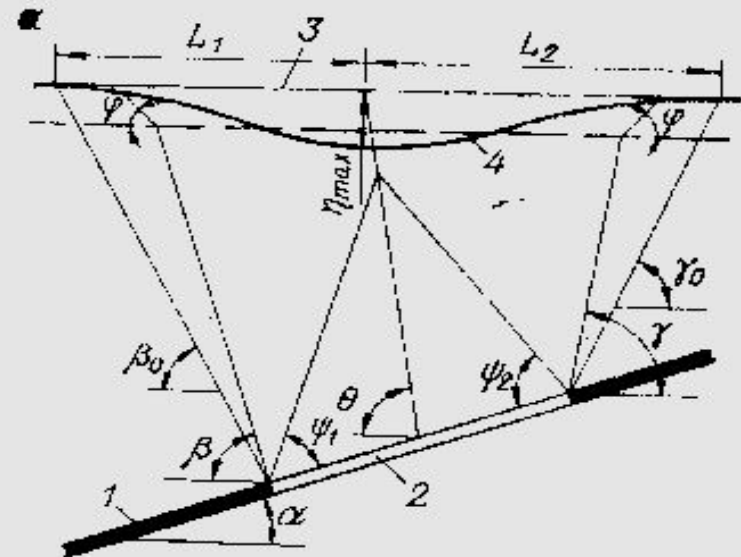
Зона мульды сдвижения, в которой наблюдаются трещины, оконтуривается

углами разрывов (обрушения), называются *внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения, горизонтальной линией и линиями, соединяющими границы выработанного пространства с ближайшими к краям мульды трещинами на земной поверхности.*



## УГЛЫ РАЗРЫВОВ НА РАЗРЕЗЕ

- вкrest простирания пласта  $\beta_0$  и  $\gamma_0$
- по простиранию пласта  $\delta_0$



# ОСЕДАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ



Наблюдения с помощью приборов показали, что сдвигение точек земной поверхности происходит по сложной криволинейной траектории.

*Вектор смещения точек мульды  
сдвижения разлагают на 3  
составляющие:*

# 1. вертикальную (оседание) $\eta$ (эта)

$$\eta = H_0 - H_{II},$$

где  $H_0$  –высотная отметка репера из  
начального наблюдения;

$H_{II}$  - высотная отметка репера из  
последующего наблюдения.

Принято различать *максимальное  
оседание при полной обработке*  $\eta^0$   
и *максимальное оседание при  
неполной обработке*  $\eta_m$

## 2. горизонтальную (горизонтальное сдвигение)

$$\varepsilon_{\delta} \text{ (КСИ)}$$

$$\varepsilon_{\delta} = D_{\pi} - D_0,$$

где  $D_{\pi}$  – расстояние от опорного репера до заданного из последующего наблюдения,

$D_0$  – расстояние от опорного репера до заданного из начального наблюдения.

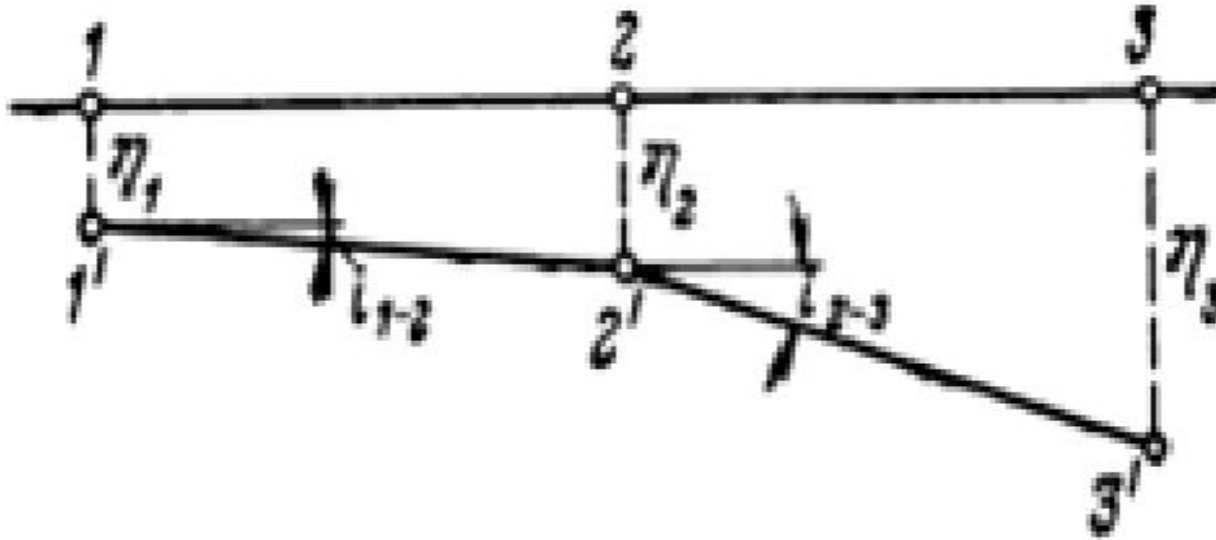
### ***3. перпендикулярную к плоскости сечения***

Последняя величина незначительная и в практике почти не применяется.

**Неравномерность смещения**  
**соседних точек вызывает:**

- **Вертикальные деформации**  
*(наклоны и кривизну)*
- **горизонтальные деформации**  
*(сжатие и растяжение)*

## Вертикальные деформации (наклоны и кривизна)



1, 2, 3 - реперы на поверхности до подработки;

1' 2' 3' - то же, после подработки;

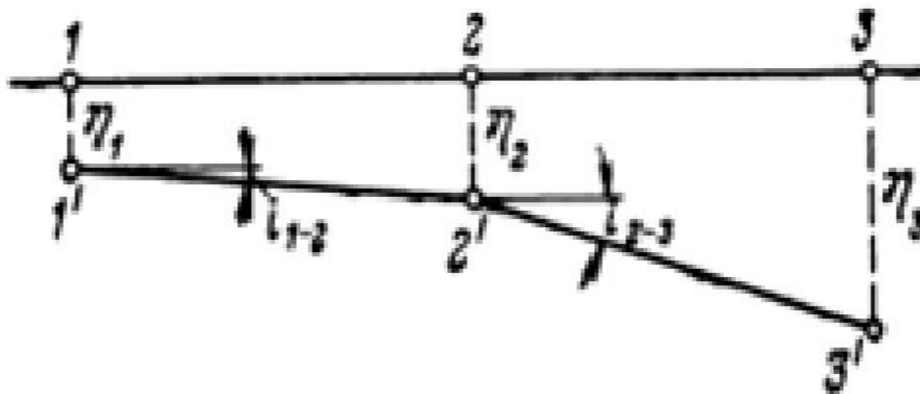
$\eta_1, \eta_2, \eta_3$  - оседания соответствующих реперов;

$S_{1-2}, S_{2-3}$  - расстояния между точками до подработки

**Наклон интервала** в мульде сдвижения вычисляется как отношение разности оседаний двух соседних точек мульды к первоначальному расстоянию между ними.

Например, наклон отрезка 2-3 после подработки выражается углом  $i_{2-3}$ .

$$i_{2-3} = \frac{\eta_3 - \eta_2}{S_{2-3}}.$$



## кривизна мульды сдвижения

$k_p$  — отношение разности наклонов двух соседних интервалов мульды к полусумме первоначальных длин этих интервалов ( $10^{-3}$  м)

Кривизна характеризует неравномерность распределения наклонов в сечении мульды сдвижения.

Различают: измеренную кривизну мульды, получаемую непосредственно по данным измерений, и расчетную кривизну мульды, полученную расчетным путем;

$$k_2 = (i_{2-3} - i_{1-2}) / (L_{1-2} + L_{2-3})^{1/2}$$



## Радиус кривизны

Радиусом кривизны **R** является величина, обратная кривизне.

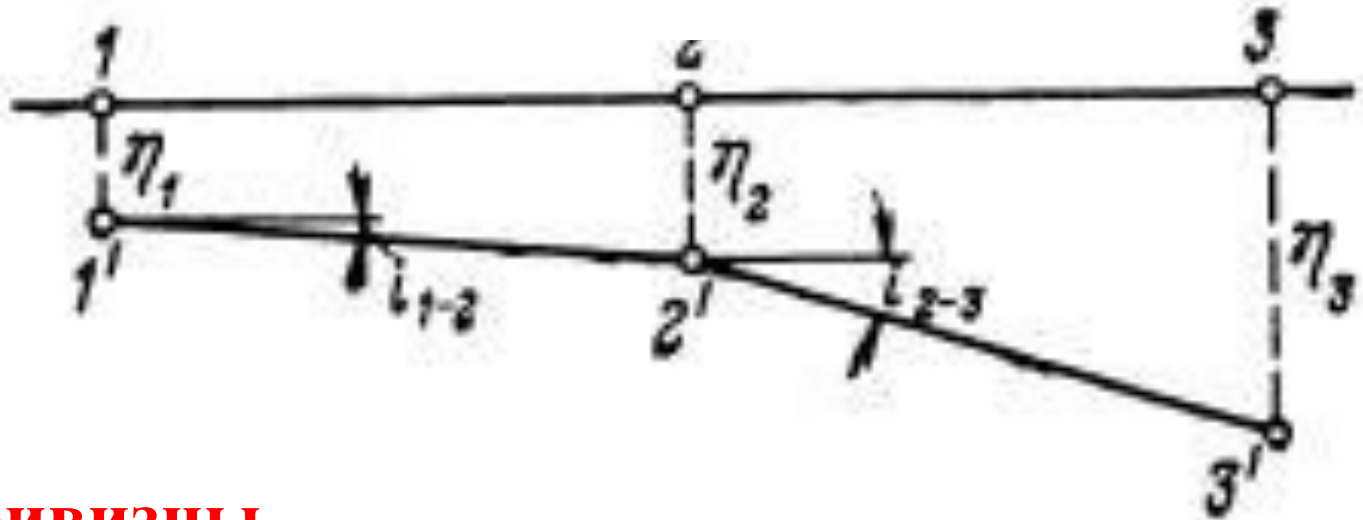
$$R=1/k$$

## Оседание

$$\eta = H_0 - H_{II},$$

## Наклон интервала

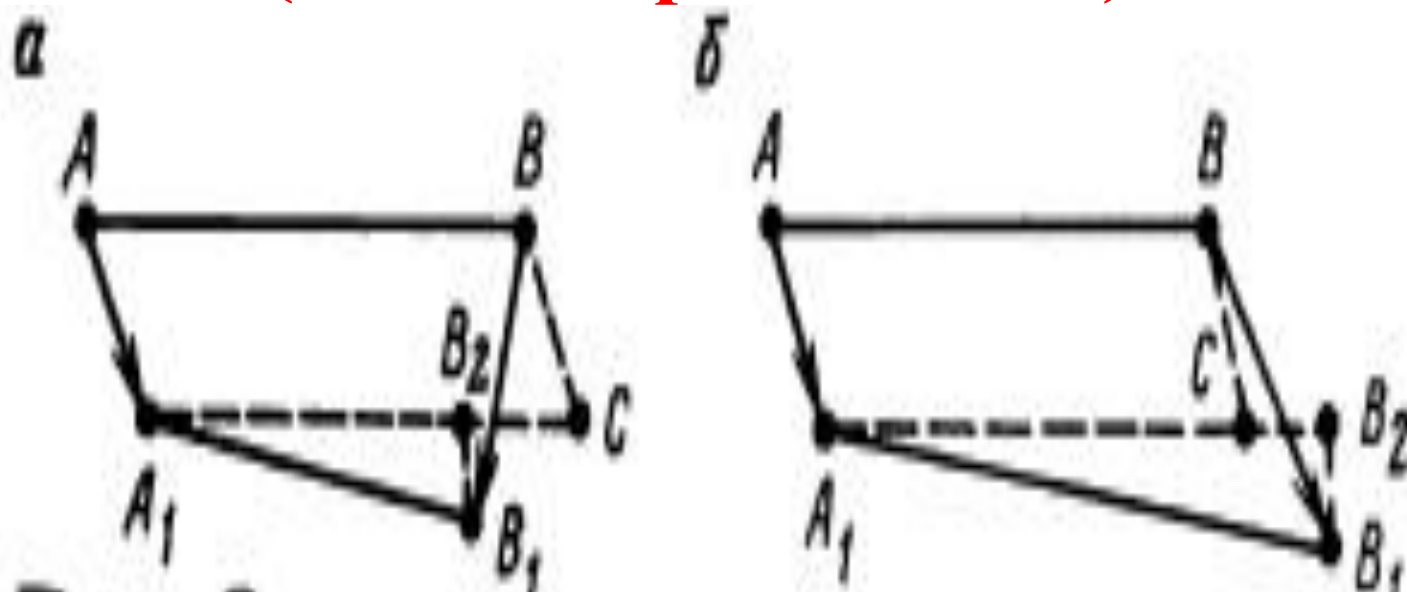
$$i_{2-3} = \frac{\eta_3 - \eta_2}{S_{2-3}}.$$



## Радиус кривизны

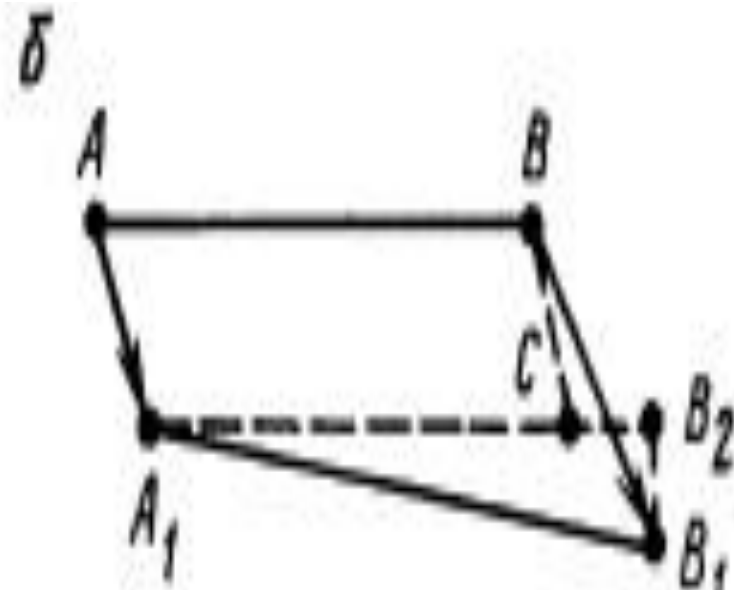
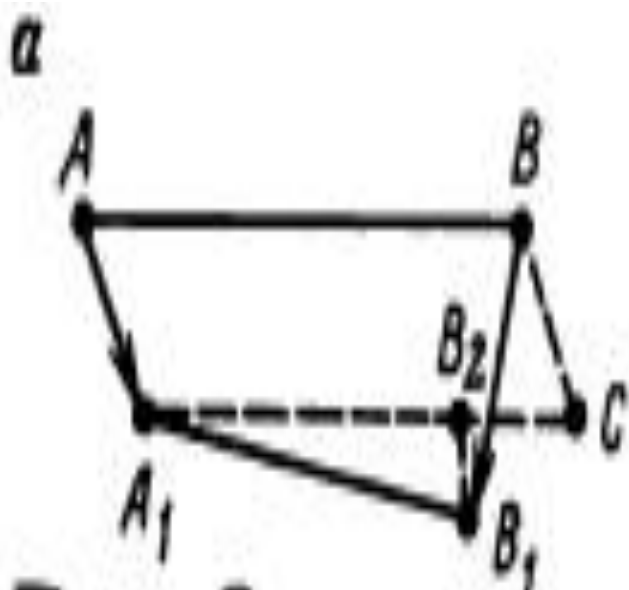
$$k_2 = (i_{2-3} - i_{1-2}) / (L_{1-2} + L_{2-3})^{1/2}$$

# Горизонтальные деформации (сжатие и растяжение)



В результате сдвижения точка  $A$  переместилась в точку  $A_1$ , а  $B$  - в точку  $B_1$ .

В случае *сжатия* отрезка  $AB$  соотношение между векторами  $AA_1$  и  $BB_1$  будет таково, как это показано на (рис. а), а в случае *растяжения* - как на (рис.б).



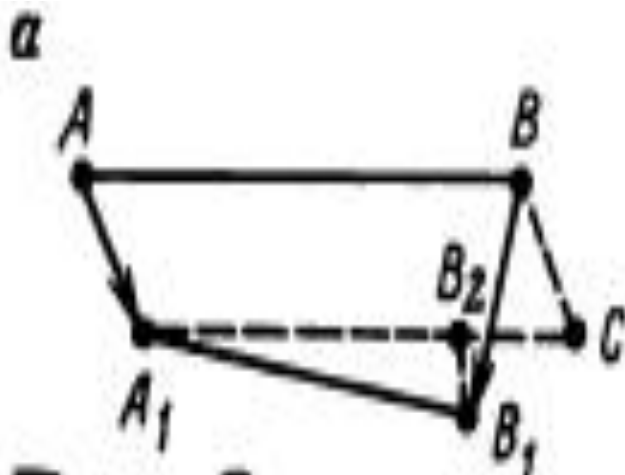
Проведем через точку В линию, параллельную и равную вектору  $AA_1$ . Очевидно, вектор  $A_1B_1$  характеризует расстояние АВ после деформаций поверхности. Относительная горизонтальная деформация будет

$$\epsilon_{AB} = \frac{\overline{AB} - \overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} .$$

# горизонтальная деформация

(растяжение (+) – сжатие (-)) является укорочением или удлинением длины интервала, отнесенными к первоначальной длине.

Горизонтальная деформация- величина безразмерная.



В зависимости от способа определения различают сдвигения и деформации:

- фактические,
- Измеренные,
- Ожидаемые (расчетные).

**Фактические** - сдвигения и деформации, которые в действительности претерпели горные породы и земная поверхность под влиянием выемки полезного

**Измеренные** - сдвигения и деформации, полученные по данным натурных наблюдений на конкретном участке месторождения при определенных длинах интервалов, частоте и точности наблюдений.

**Ожидаемые деформации** определяют путем предрасчета по формулам, таблицам или графикам, составленным на основании обобщения результатов наблюдений в данных (или аналогичным данным) горнодобывающих районах.

## Равномерные оседания и горизонтальные сдвигения

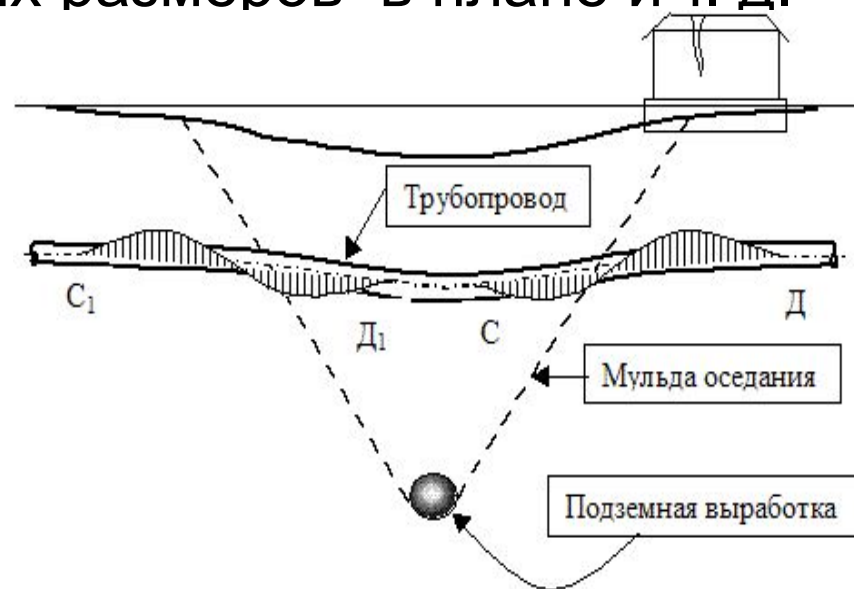
не всегда являются опасными.

Более опасными являются неравномерные сдвигения (деформации наклонов  $i$ , кривизна  $K$  и горизонтальные деформации  $\epsilon$ ).

✓ **Наклоны  $i$**  наиболее опасны для высоких объектов с малой площадью основания (телевышки, дымовые трубы, водонапорные башни),

✓ **горизонтальные деформации** опасны для трубопроводов и железных дорог,

✓ **кривизна** – для зданий больших размеров в плане и т. д.



# Предельно допустимые оседания и деформации, по которым определяют мульды сдвижения

приняты следующие:

- оседание точек — 20 мм;
- наклон мульды сдвижения — 4 мм на 1 м ( $4 \cdot 10^{-3}$ )
- изменение наклона — 2 мм на 1 м ( $2 \cdot 10^{-3}$ )
- растяжение (или сжатие) 2 мм на 1 м ( $2 \cdot 10^{-3}$ )
- Кривизна наклоны мульды сдвижения  $i = 4 \cdot 10^{-3}$ ;
- кривизна  $K_p = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$ ;
- горизонтальные деформации (растяжение)  $e = 2 \cdot 10^{-3}$ .



## Продолжительность процесса сдвижения

В процессе сдвижения принято различать три стадии:

- Начальную (1-1,5мм/сут)
- активную (более 50мм/мес)
- затухающую (менее 30мм/6мес)



Рис. XII.16. Кривая оседания репера для условий Томь-Усинского месторождения

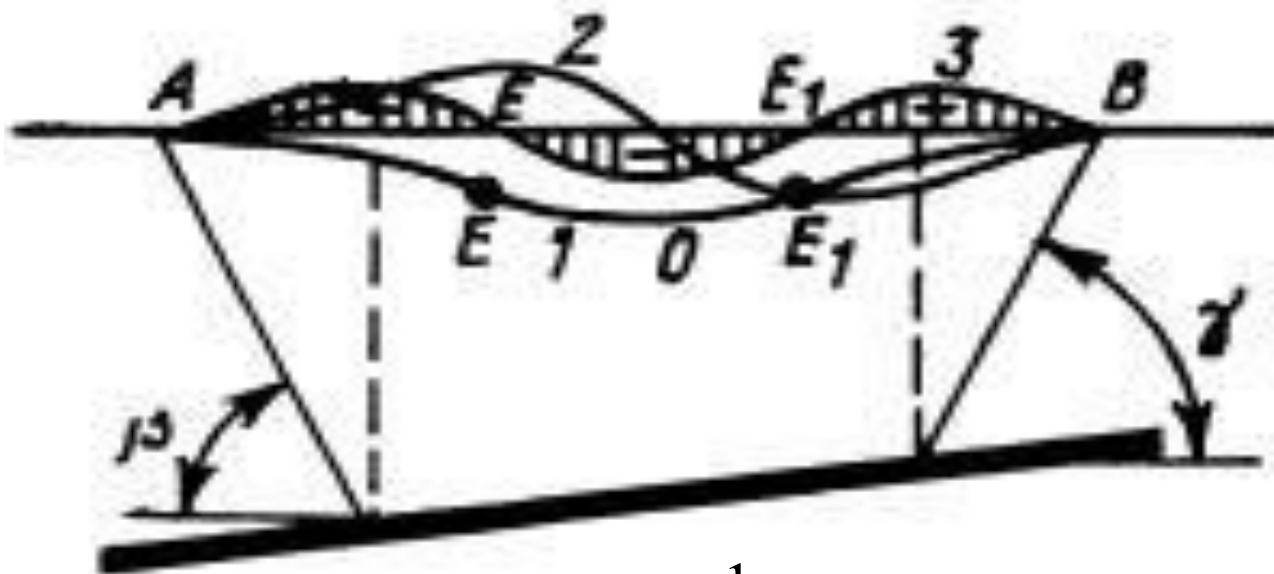
**Траектория движения точек и распределение  
величины сдвижений и деформаций в пределах  
мульды сдвижения**

При решении задач, связанных с охраной  
поверхностных сооружений, необходимо знать  
распределение величин сдвижения и деформаций в  
пределах мульды.

## **следующие элементы:**

- наибольшее значение вертикальной и горизонтальной составляющих сдвига;
- величины наибольших деформаций в главных сечениях мульды по простиранию и вкрест простирания пласта;
- наибольший наклон;
- наибольшую кривизну;
- наибольшее растяжение и сжатие.

*Кривые, характеризующие распределение деформаций поверхности на разрезе в крест простирания при пологом залегании пласта*



кривая 1 - вертикальные сдвигения,  
кривая 2 - горизонтальные сдвигения,  
кривая 3 - горизонтальные деформации.

Кривые наклонов повторяют форму кривых горизонтальных сдвигений  
Кривые кривизны повторяют кривые горизонтальных деформаций

При горизонтальном залегании пласта кроме граничных точек  $A$  и  $B$  важными точками являются точки  $E$ ,  $E_1$  и  $O$ .

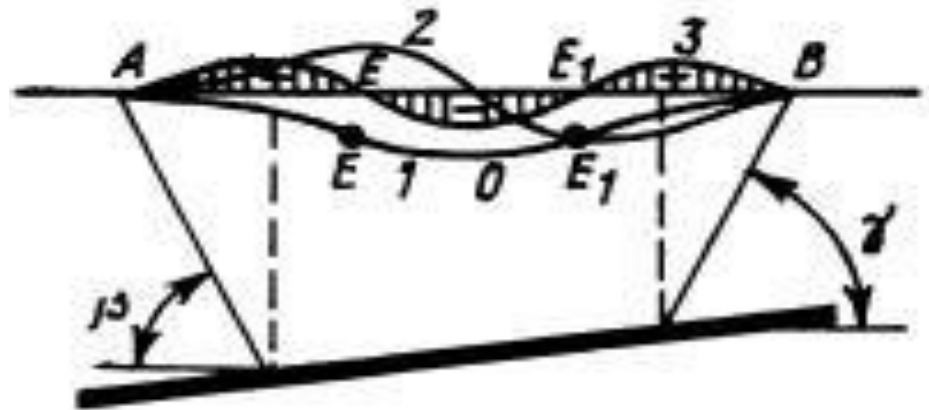
**Точка  $O$**  является:

- местом наибольшего оседания,
- наименьшего горизонтального сдвижения,
- наибольшего сжатия.

**Точки  $E$  и  $E_1$**  являются точками перегиба кривой оседаний.

Они характеризуются:

- наибольшим наклоном, (1)
- наибольшим сдвижением
- нулевой горизонтальной деформацией. (3)
- максимальной кривизной
- максимальным растяжением



При наклонном залегании пласта указанные соотношения изменяются.

С увеличением угла наклона залежи увеличиваются асимметрия кривой 1 в сторону восстания: точка с нулевым горизонтальным сдвижением не совпадает с точкой наибольшего оседания, точки  $E$  и  $E_1$  располагаются несимметрично относительно точек  $O$  и  $O_1$  (отсюда несимметричный вид кривых). С дальнейшим увеличением угла падения пласта резко увеличивается асимметрия сдвижения поверхности.

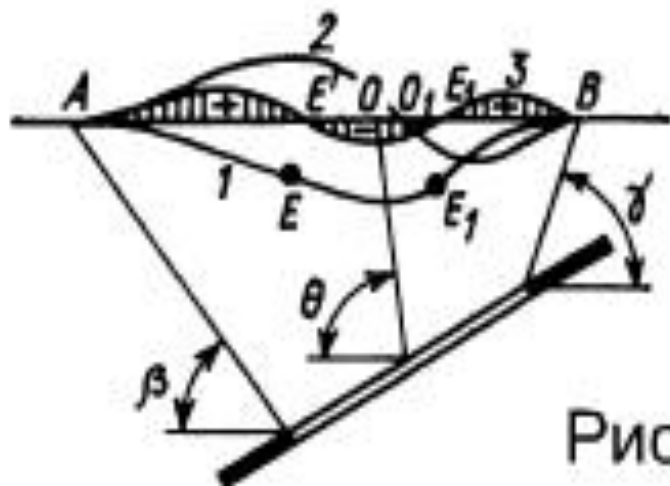
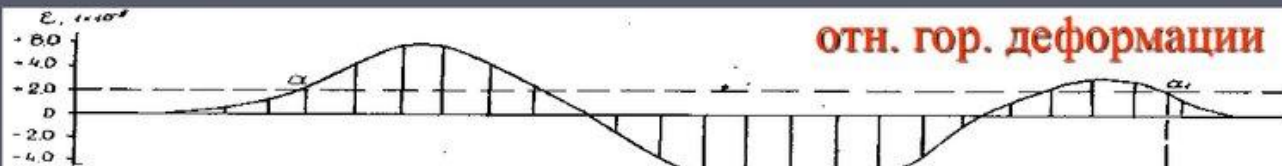
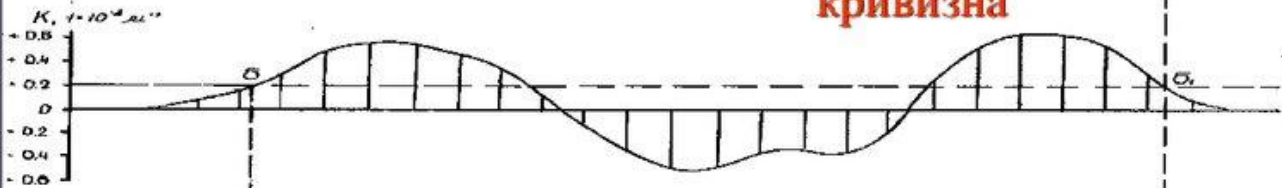


Рис.

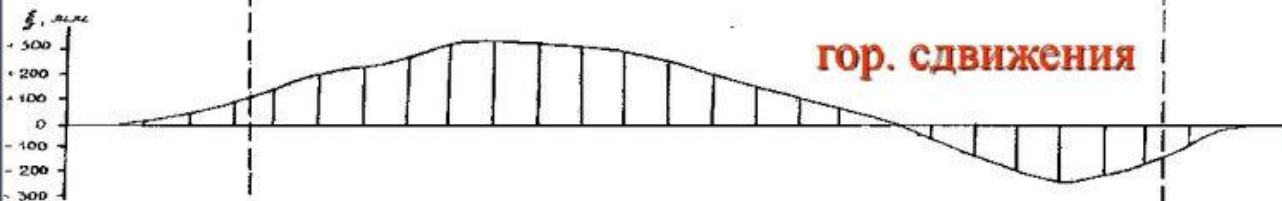
отн. гор. деформации



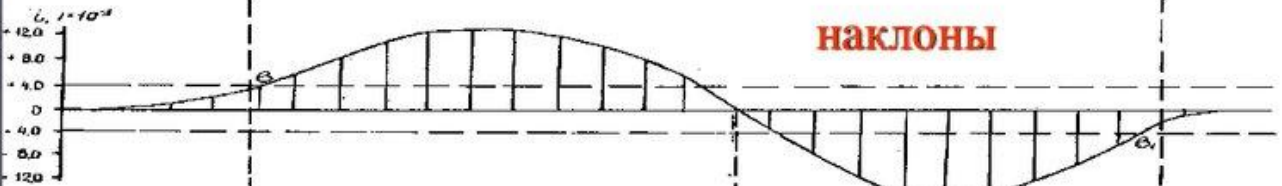
кривизна



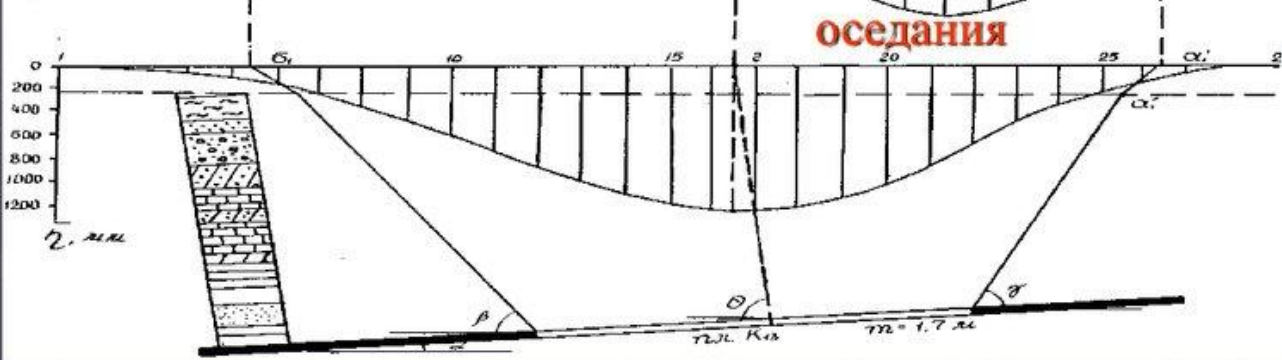
гор. сдвижения



наклоны



оседания



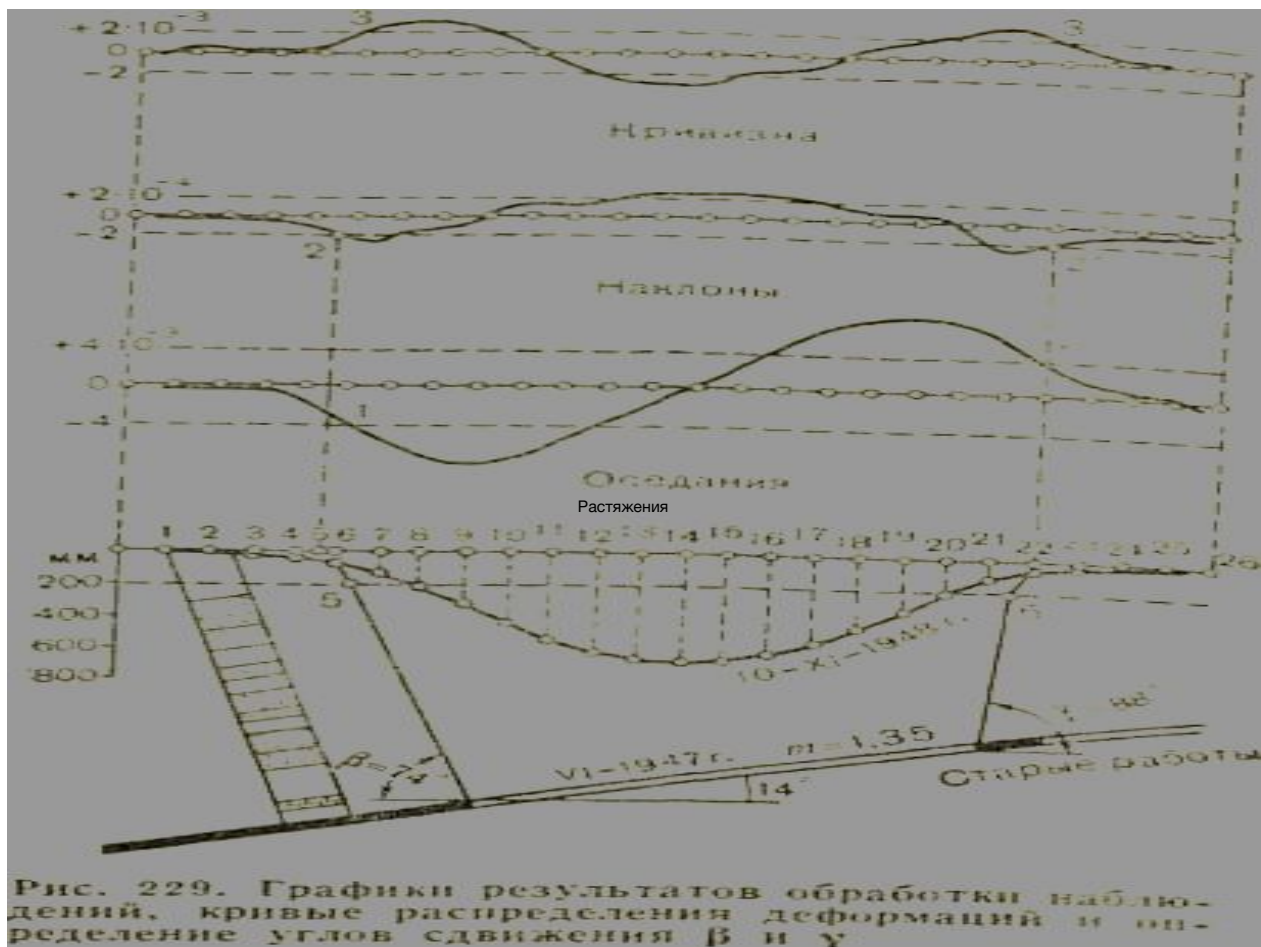
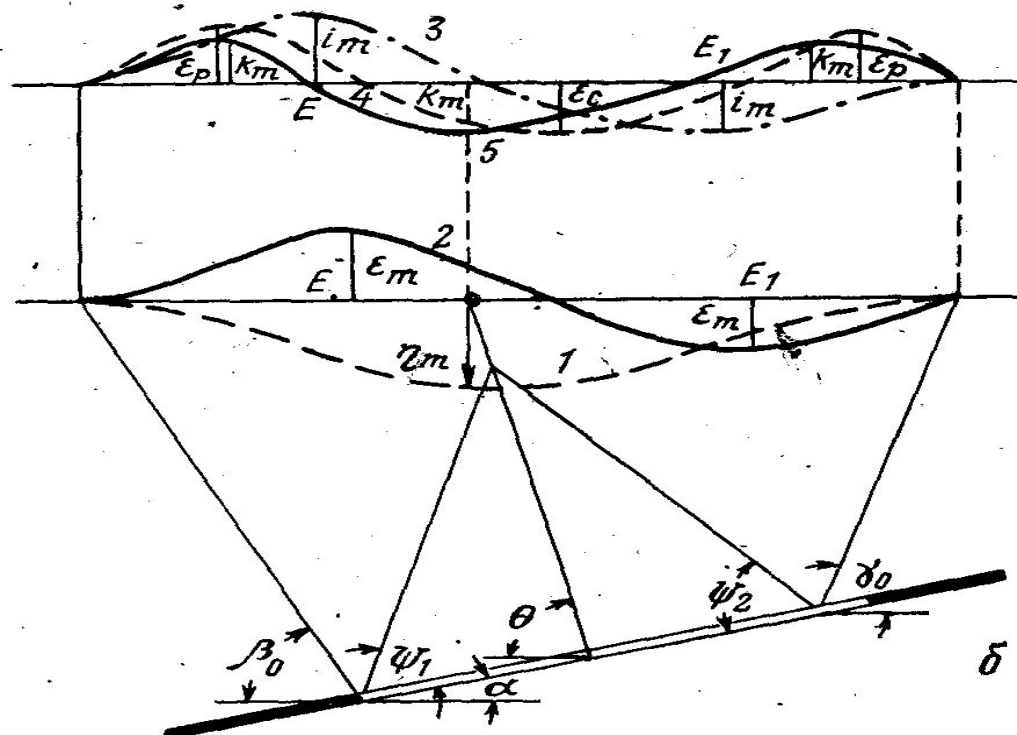
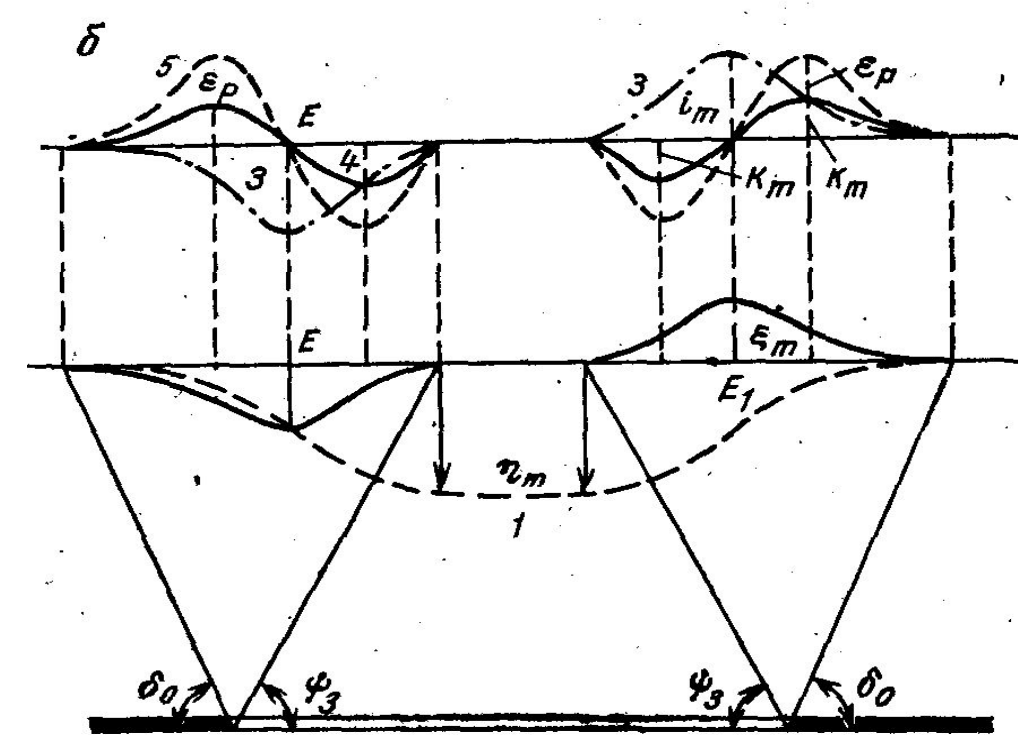


Рис. 229. Графики результатов обработки наблюдений, кривые распределения деформаций и определение углов сдвижения  $\beta$  и  $\gamma$





- 1-оседания
- 2- горизонтальные сдвигения
- 3- наклоны
- 4 – горизонтальные деформации



# коэффициенты подработанности

При повторных подработках происходит активизация процесса сдвижения, т.е. активизируются:

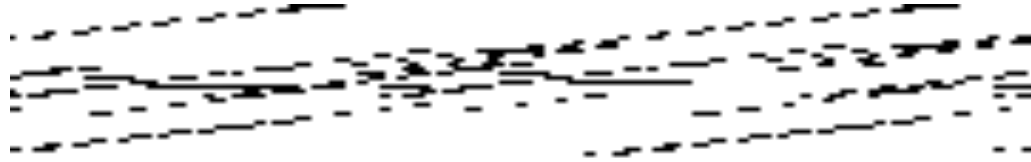
- значения сдвижений и деформаций земной поверхности;
- выполаживание углов сдвижения;
- сокращение продолжительности процесса и увеличение скорости сдвижения.

Степень активизации процесса сдвижения зависит

- от величины междупластья,
- вынимаемой мощности пластов,
- размеров ранее подработанного массива,
- глубины разработки и прочности горных пород толщи.

***Коэффициент подработанности  
земной поверхности -***

**это отношение фактического размера  
выработанного пространства  $D_2$  к минимальному  
размеру  $D_1$ , при котором наступает полная  
подработка земной поверхности **вкрест  
простираня ( $n_1$ ) и по простиранию ( $n_2$ )****



Где  $D_1$  и  $D_2$  – размеры очистной выработки, соответственно, вкрест простирания и по простиранию пласта;  
 $h$  – средняя глубина разработки;  
 $K$  – коэффициент, зависящий от горно-геологических условий.

Коэффициенты подработанности  $n_1$  и  $n_2$  используются для расчёта величин максимального оседания земной поверхности, от которых, зависят все величины сдвижений и деформаций.

При  $n_1 = n_2 = 1$  земная поверхность находится в условиях полной подработки и дальнейшее увеличение размеров выработанного пространства приводит к образованию плоского дна в мульде сдвижения.

## **Графики**

- ✓ оседаний,
- ✓ горизонтальных сдвижений,
- ✓ наклонов,
- ✓ кривизны,
- ✓ растяжений, сжатий

строят в масштабах, удобных для изображения на том же чертеже, на котором показан геологический разрез.

По построенным графикам определяют положение характерных точек в мульде сдвижения относительно границ выработанного пространства:

- ✓ максимального оседания,
- ✓ максимального горизонтального сдвижения,
- ✓ максимального растяжения и сжатия,
- ✓ границы мульды сдвижения,
- ✓ границы зоны опасных сдвижений.

# Факторы, влияющие на процессы сдвигения

Факторы влияющие на процессы сдвигения, могут быть благоприятные и не благоприятные .

К благоприятным факторам относятся:

- наличие над выработанным пространством пород, обладающих способностью прогибаться;
- отсутствие под подрабатываемыми объектами тектонических нарушений;
- пологое залегание разрабатываемой залежи и пород;
- незначительная мощность разрабатываемого пласта или залежи;
- закладка выработанного пространства;
- сплошная система разработки со значительными размерами площади очистной выемки;
- большая величина отношения глубины разработки к мощности вынимаемого полезного ископаемого ( $H : m$ );
- равномерная и быстрая выемка полезного ископаемого;
- спокойный рельеф земной поверхности и значительные по мощности наносы.

- наличие над выработанным пространством пород, обладающих способностью обрушаться или склонных к течению;
- наличие под подрабатываемыми объектами тектонических нарушений;
- крутое падение пород;
- большая мощность разрабатываемого пласта или залежи;
- камерные и столбовые системы разработки с обрушением кровли;
- небольшая величина отношения глубины разработки к мощности вынимаемой залежи ( $H : m$ );
- неравномерное и медленное подвигание очистного забоя;
- резко выраженный рельеф земной поверхности и малая мощность наносов.