

Управление горным давлением при отработке крутопадающих залежей системами с magazинированием

Presenter: Александр Борисович Макаров, главный консультант по геомеханике SRK Consulting (Russia) Ltd

Location: Moscow, 2022



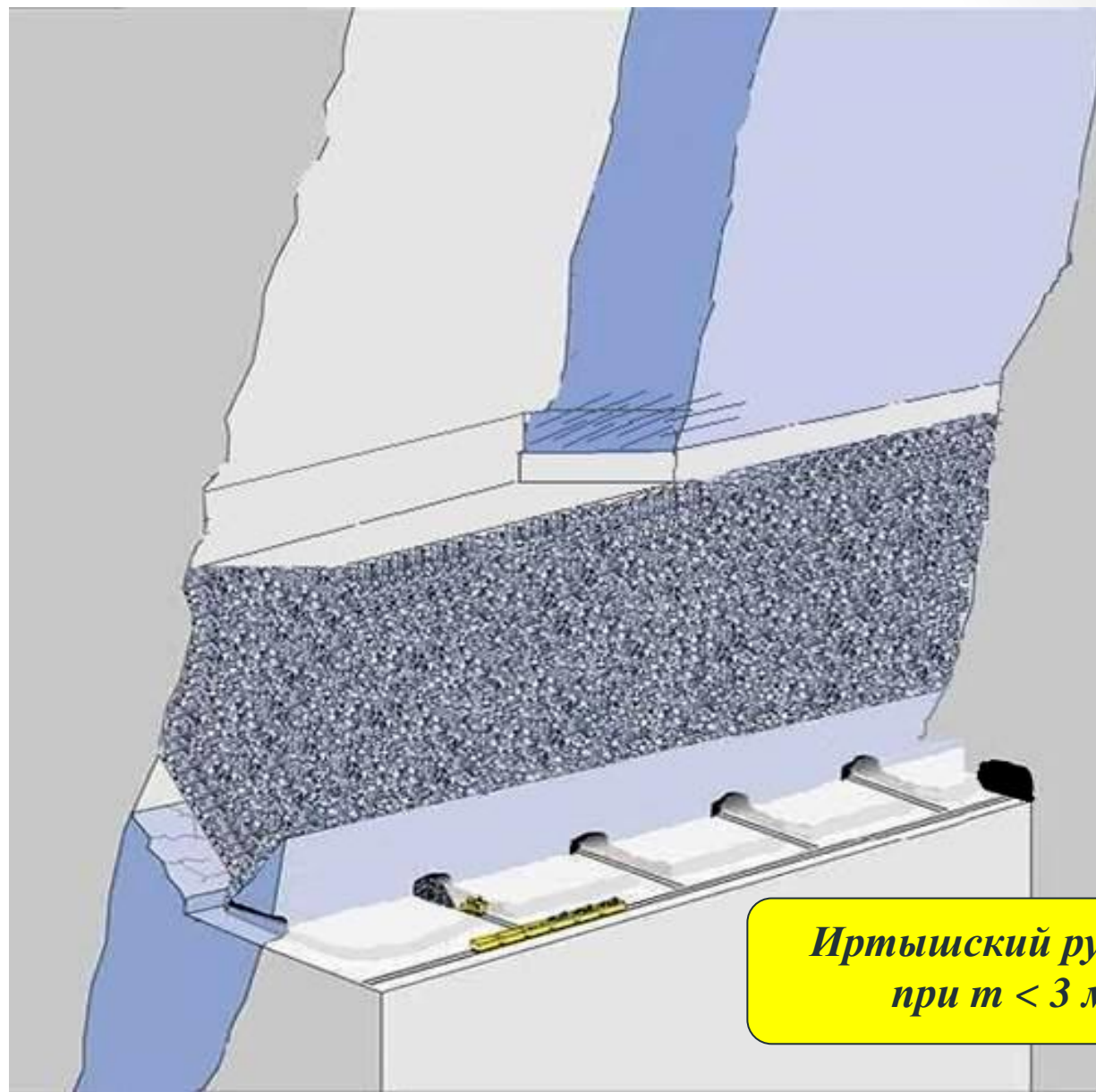
● *Временное поддержание выработанного пространства замагазинированной рудой*

Shrink stoping

Abbau mit Magazinierung

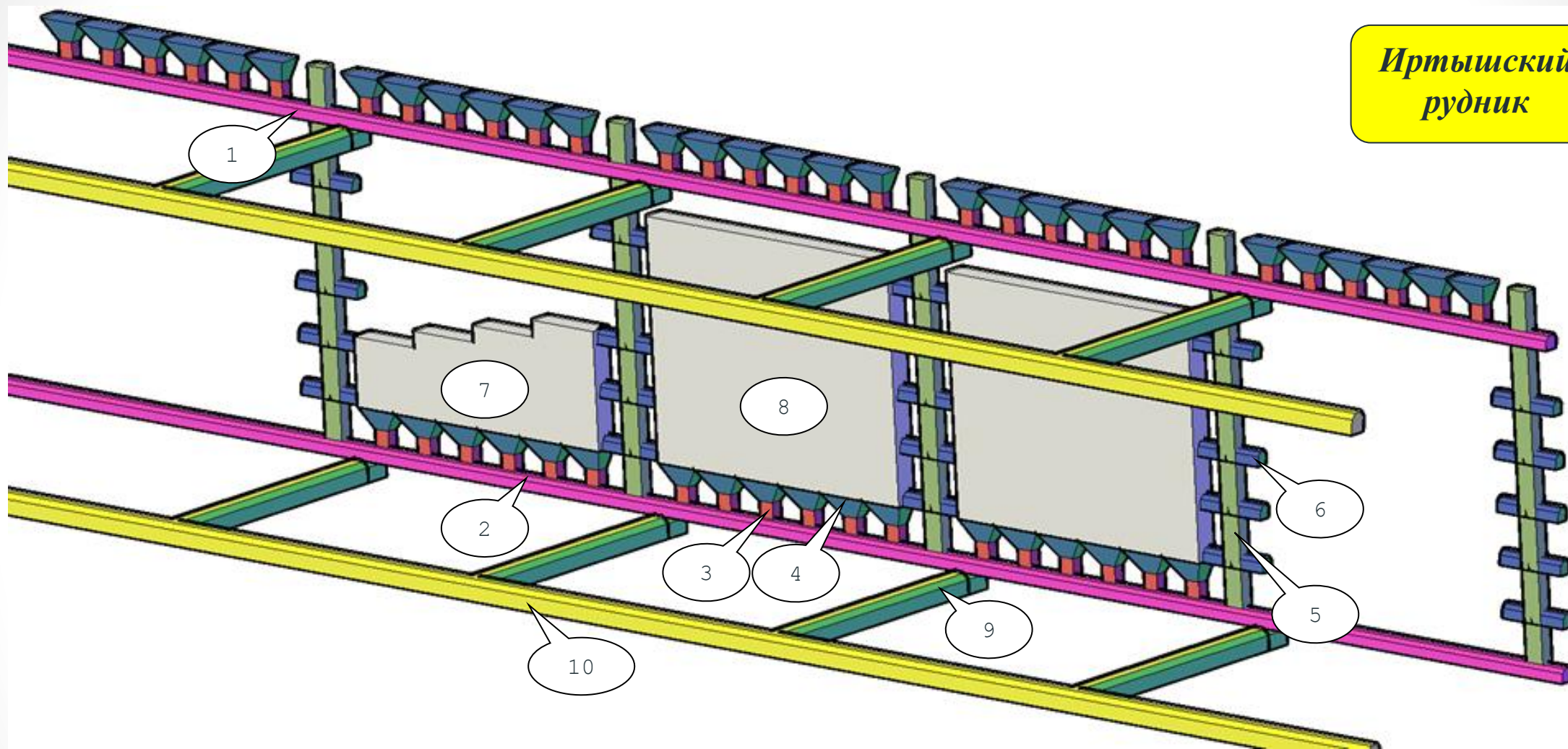
ПТЭ:

- *при углах падения более 55°;*
- *руда должна быть **устойчивой**,
не склонной к окислению и
слеживанию;*
- *вмещающие породы должны
быть **от средней устойчивости**
до устойчивых*



*Иртышский рудник
при $t < 3$ м*

**Иртышский
рудник**



1 – скреперный штрек вышележащего горизонта; 2 - скреперный штрек обрабатываемого горизонта; 3 – дучки; 4 – воронки; 5 – МХВ; 6 – ходки (вентсбойки); 7 – отбитая и замагазинированная руда в блоке; 8 – очистное пространство; 9 – откаточный орт; 10 – полевой откаточный штрек

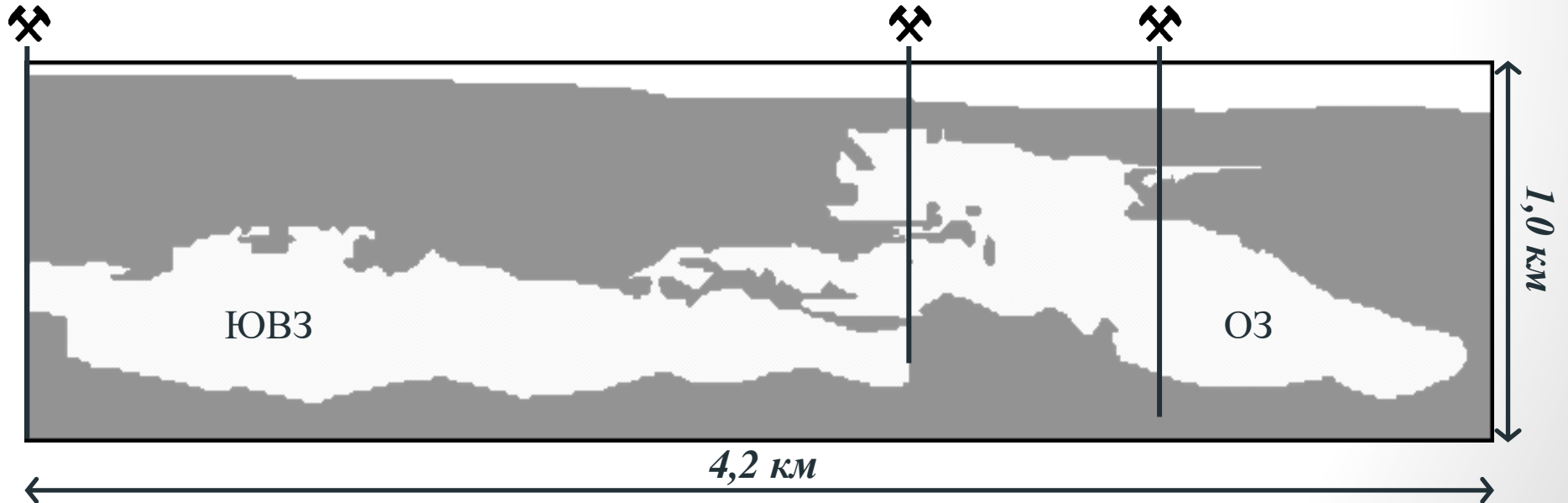


Вертикальная проекция Иртышского месторождения

шх. Иртышская

РЭШ

шх. Вспомогательная

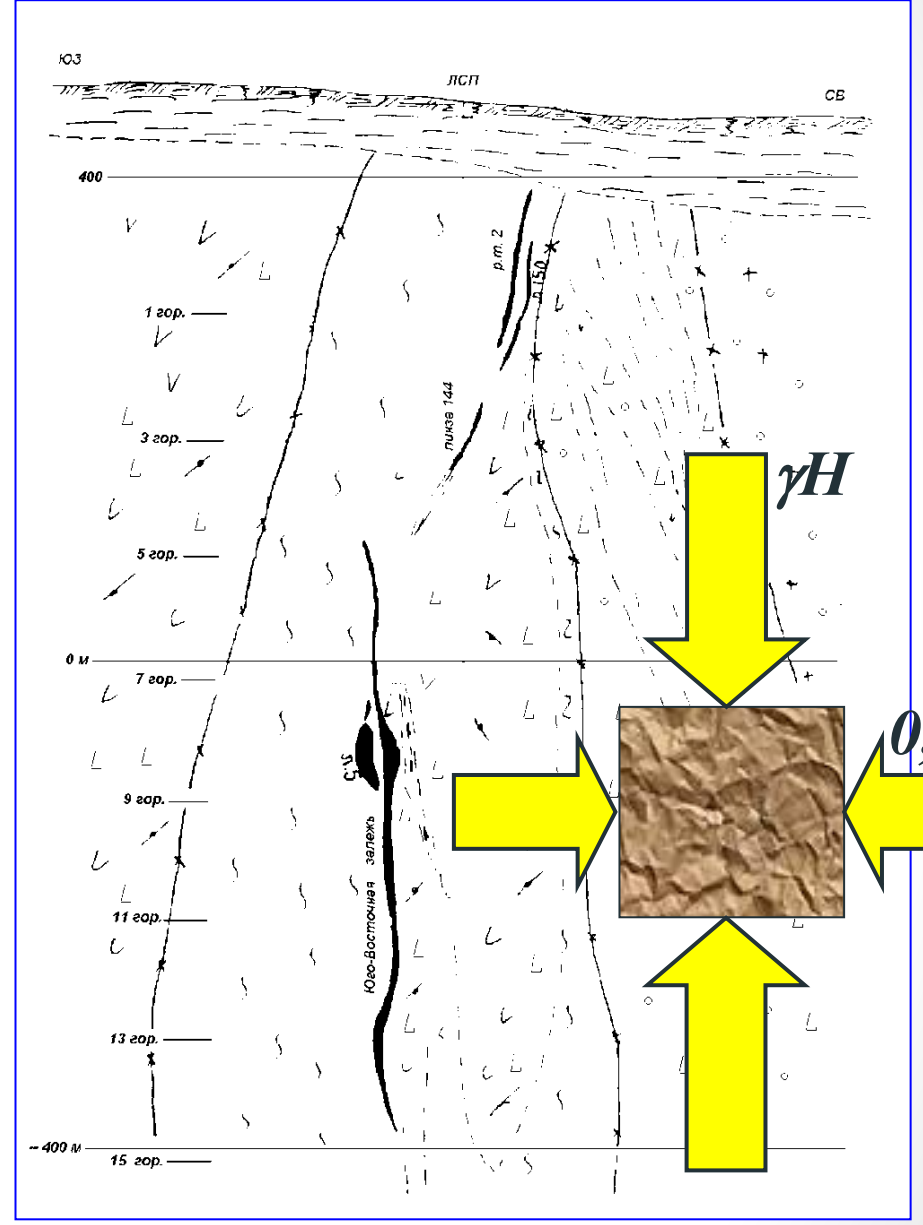


вкрест простирания:

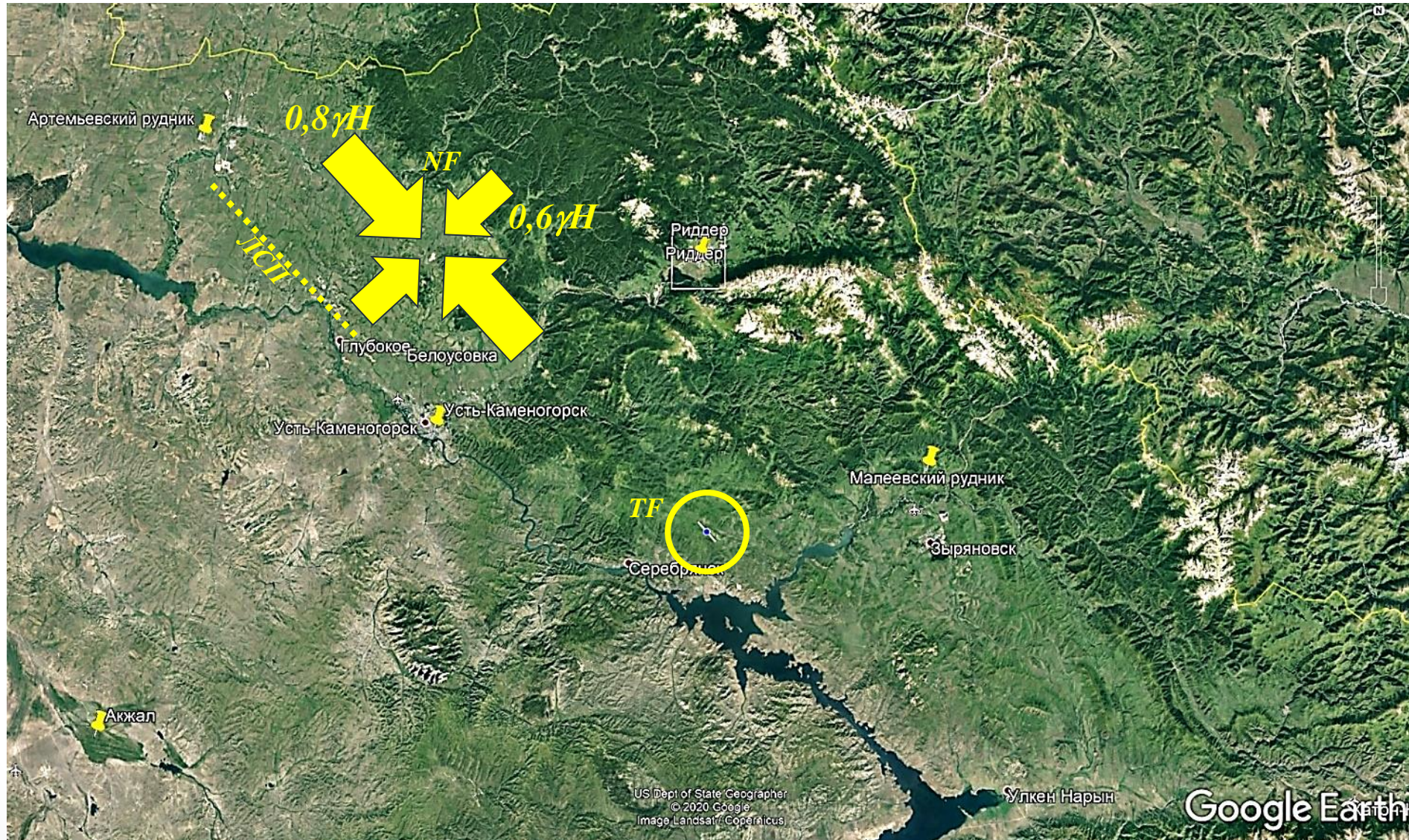
$$\lambda_{\perp} = 0,6 \div 0,7$$

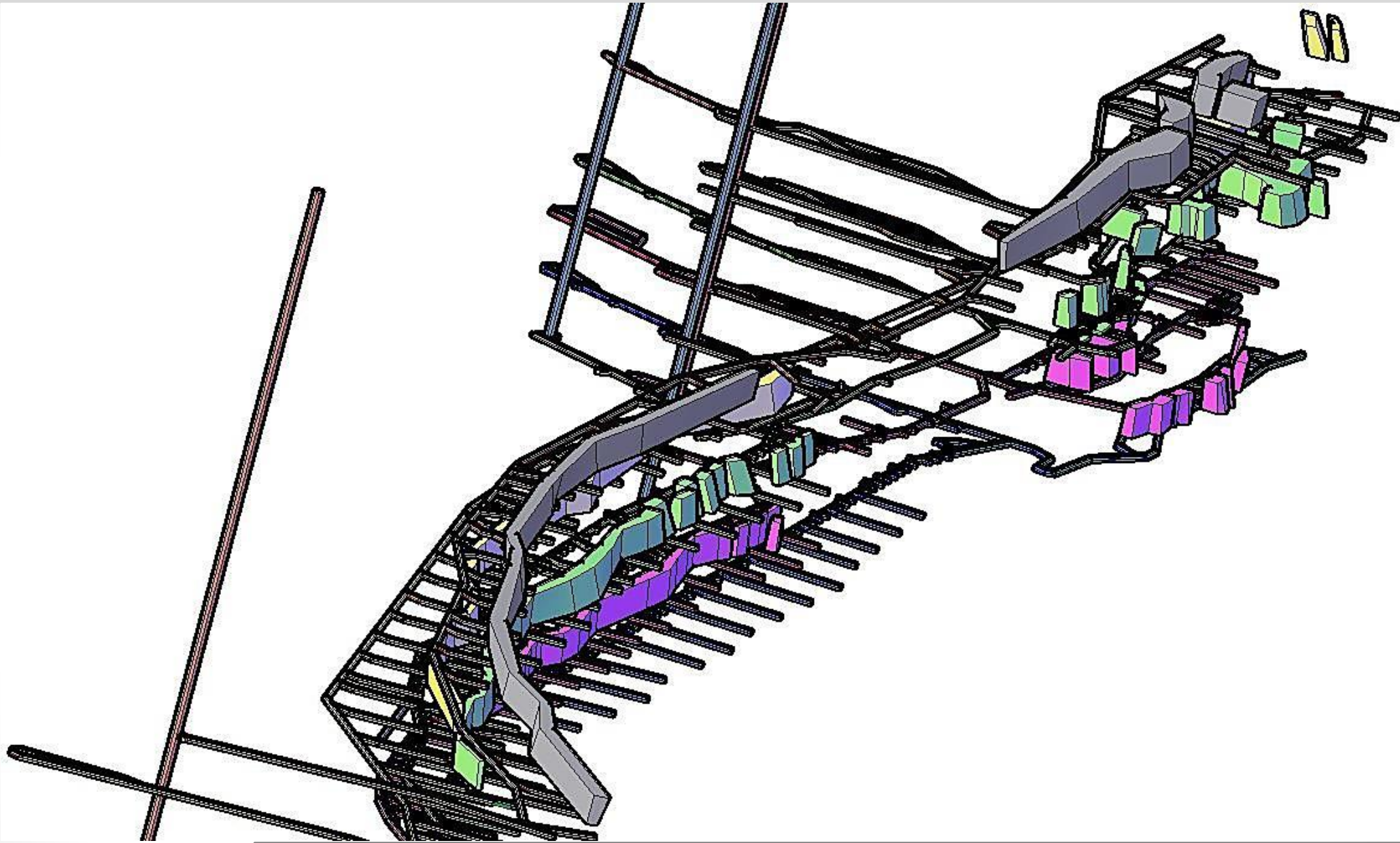
по простиранию:

$$\lambda_{\parallel} = 0,8$$

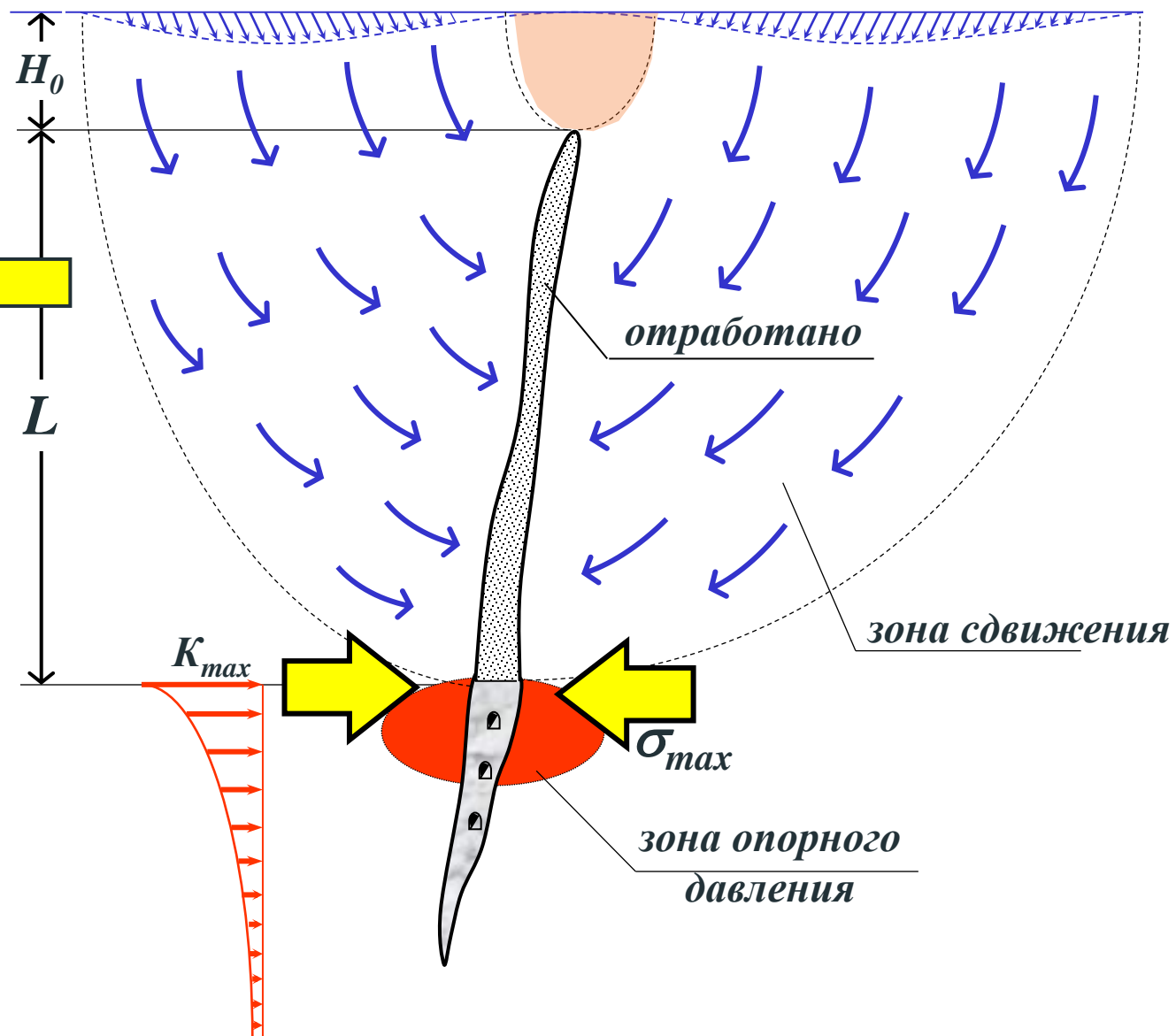
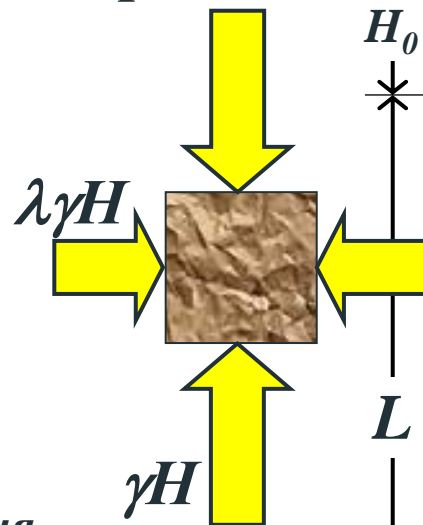


in situ Field Stress → WSM





Геомеханические процессы при отработке слепых крутопадающих залезей

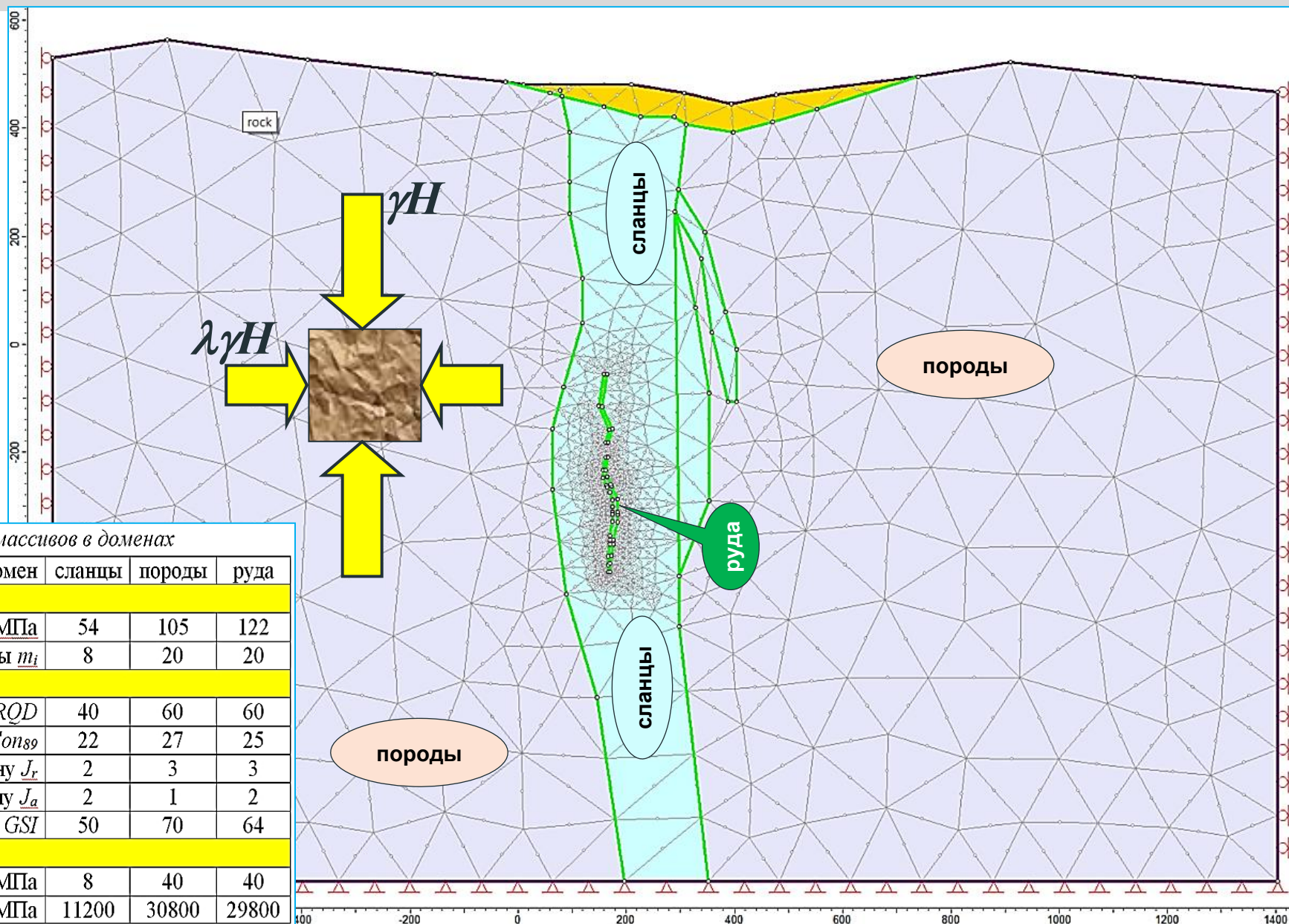


Концентрация опорного давления
(горизонтального) ниже границы
отработки и зон сдвижения:

$$\sigma_{\max} = K_{\max} \cdot \lambda \gamma H$$

$$K_{\max} = 1 + \frac{L}{100} + \frac{H_0}{400}$$

Геомеханические процессы при отработке слепых крутопадающих залежей



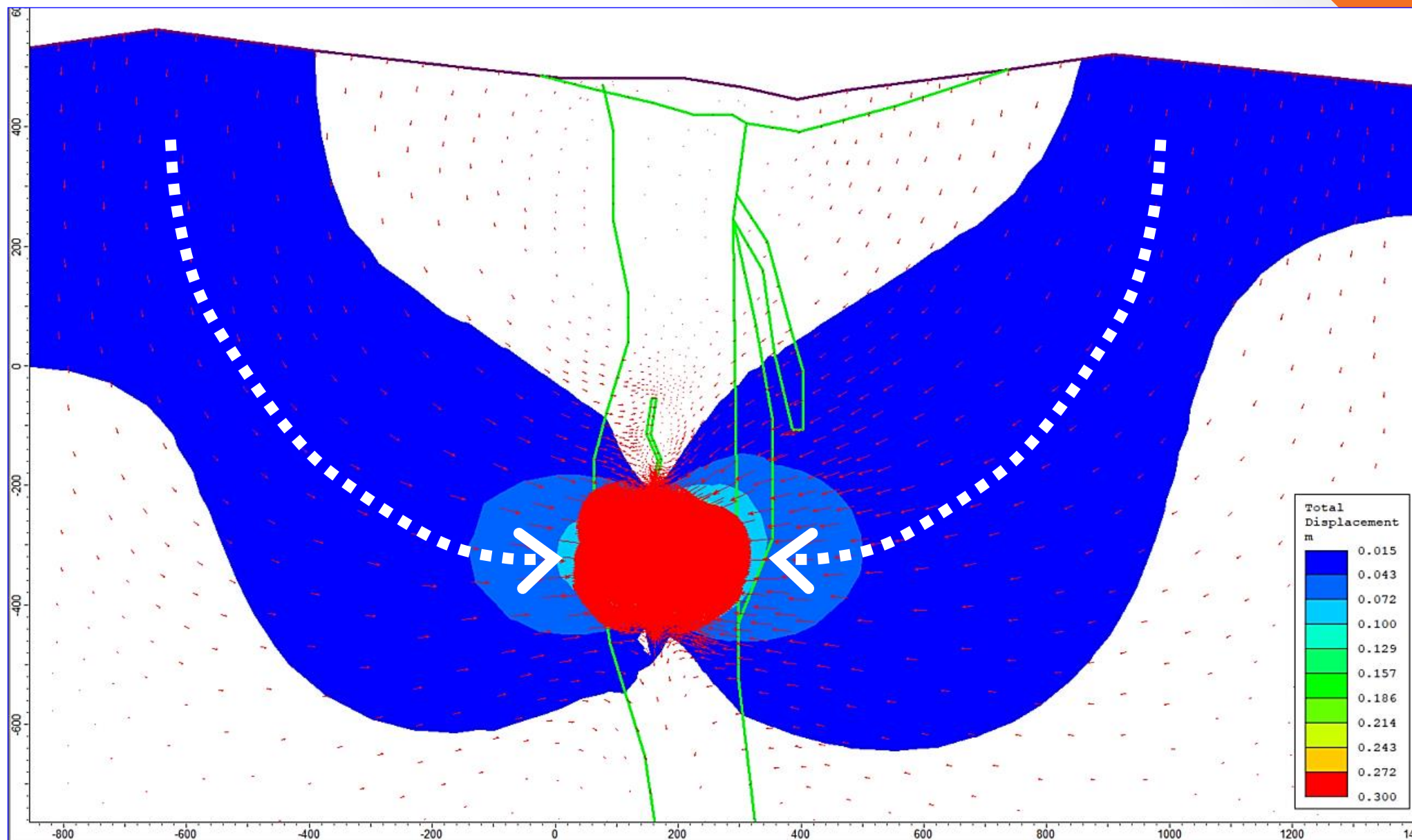
Свойства пород и трещиноватых массивов в доменах

	домен	сланцы	породы	руда
свойства пород в образцах				
прочность при одноосном сжатии UCS , МПа		54	105	122
показатель типа породы m_i		8	20	20
характеристики трещиноватости				
показатель интенсивности трещиноватости RQD		40	60	60
показатель свойств трещин по Бенявскому J_{Con89}		22	27	25
показатель шероховатости трещин по Бартону J_r		2	3	3
показатель измененности трещин по Бартону J_a		2	1	2
геологический индекс прочности массива GSI		50	70	64
свойства трещиноватых массивов				
прочность массива при сжатии, МПа		8	40	40
модуль деформации массива, МПа		11200	30800	29800

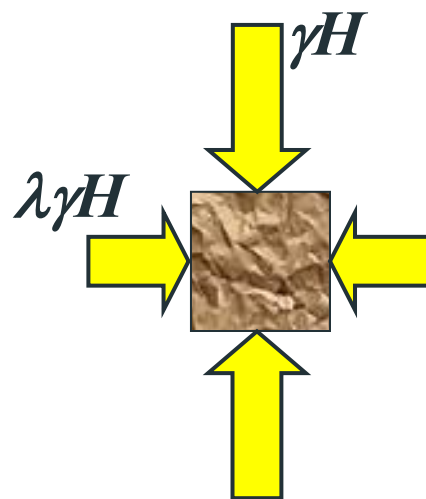
Сдвижение при отработке слепых залежей

границы зон
сдвижений:

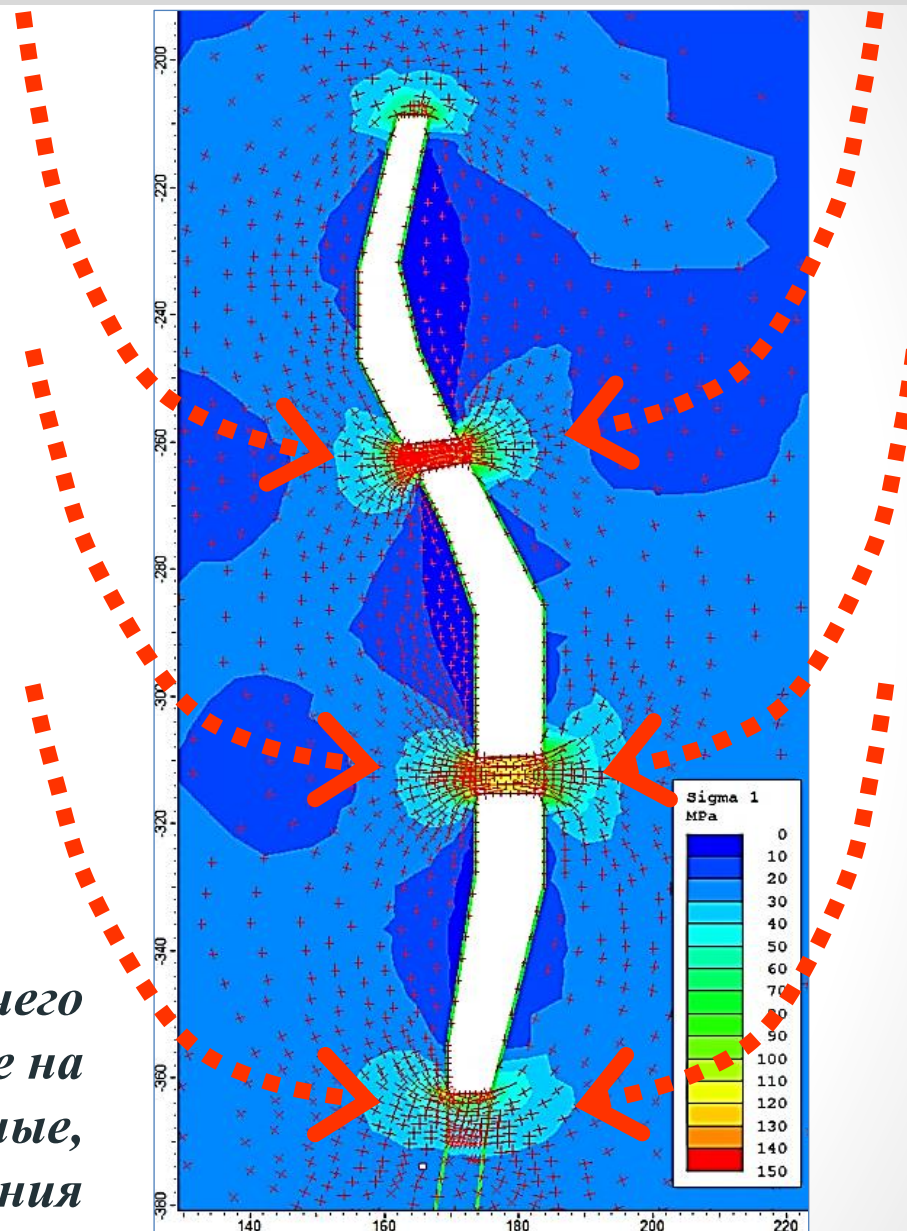
смещение 15 мм



Геомеханические процессы при отработке слепых крутопадающих залежей

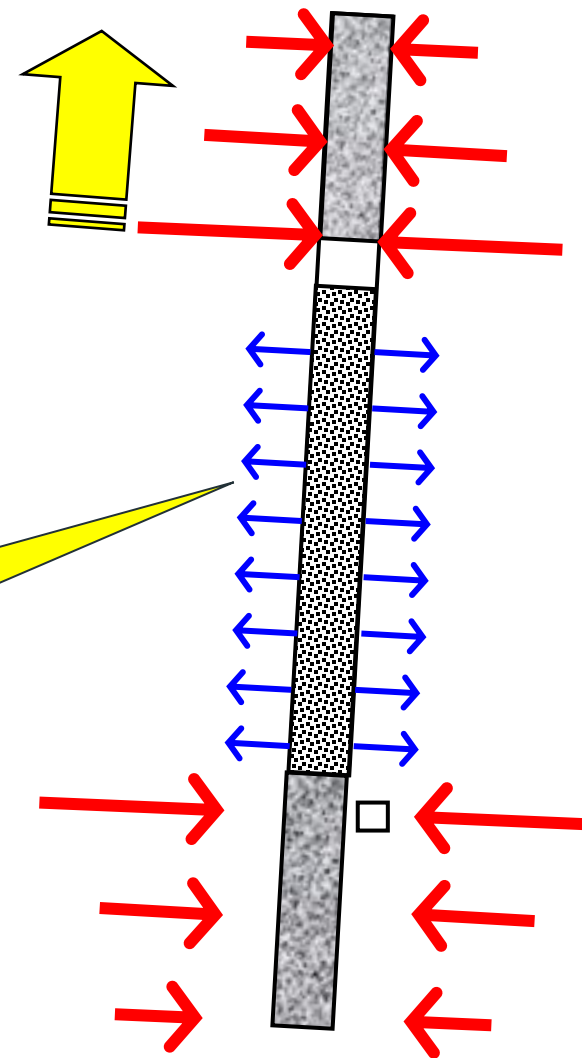


Встречное сдвижение пород висячего и лежачего боков формирует горизонтальное давление на рудные целики: междуэтажные, междукамерные и в зоне опорного давления



● *Временное поддержание выработанного пространства замагазинированной рудой*

замагазинированная в выработанном пространстве руда временно (в период отработки блока) поддерживает породы висячего и лежащего боков

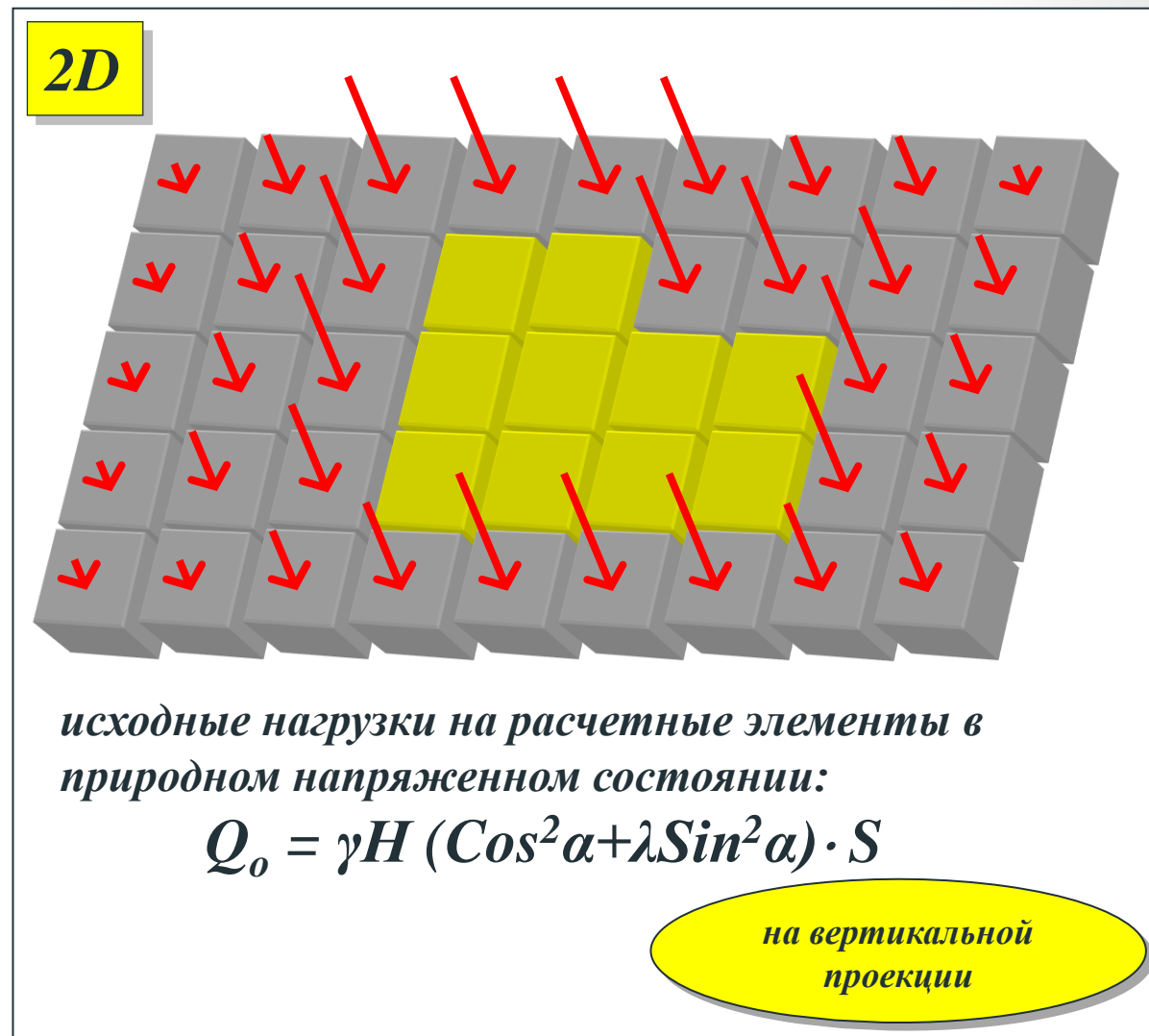
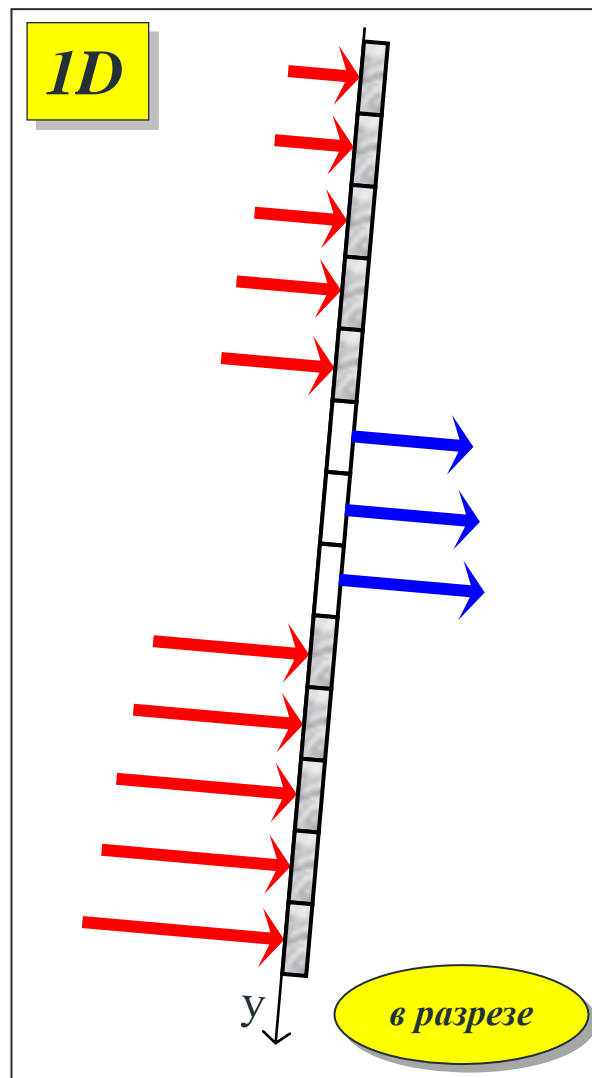


Инженерный метод расчёта напряжений в крутопадающих рудных телах Одинцева В.Н. (ИПКОН РАН)

- *При $t \ll L_{\text{прост}}$ и $t \ll L_{\text{над}}$ моделью выработанного пространства является тонкая щель, поэтому задача расчета напряжений, нормальных к плоскости рудного тела, превращается в плоскую, двумерную (2D)*
- *При $L_{\text{над}} \ll L_{\text{прост}}$ размерность задачи понижается до линейной, одномерной (1D)*

В основу метода положены закономерности распределения напряжений в окрестности тонких разрезов, трещин (Панасюк В.В., 1968).

Инженерный метод расчёта напряжений в крутопадающих рудных телах ИПКОН РАН



Инженерный метод расчёта напряжений в крутопадающих рудных телах

Одинцева В.Н. (ИПКОН РАН)

1D

$$P_{ji} = \frac{E_j}{E} \frac{F_i}{R_{ij} \sqrt{r_j}}$$

$$F_i = \frac{Q_i}{\sum_{j=1}^M \frac{E_j}{E} \frac{1}{R_{ij} \sqrt{r_j}}}$$

$$\sum_{j=1}^M P_{ji} = Q_i$$

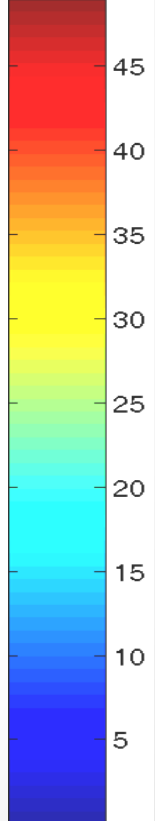
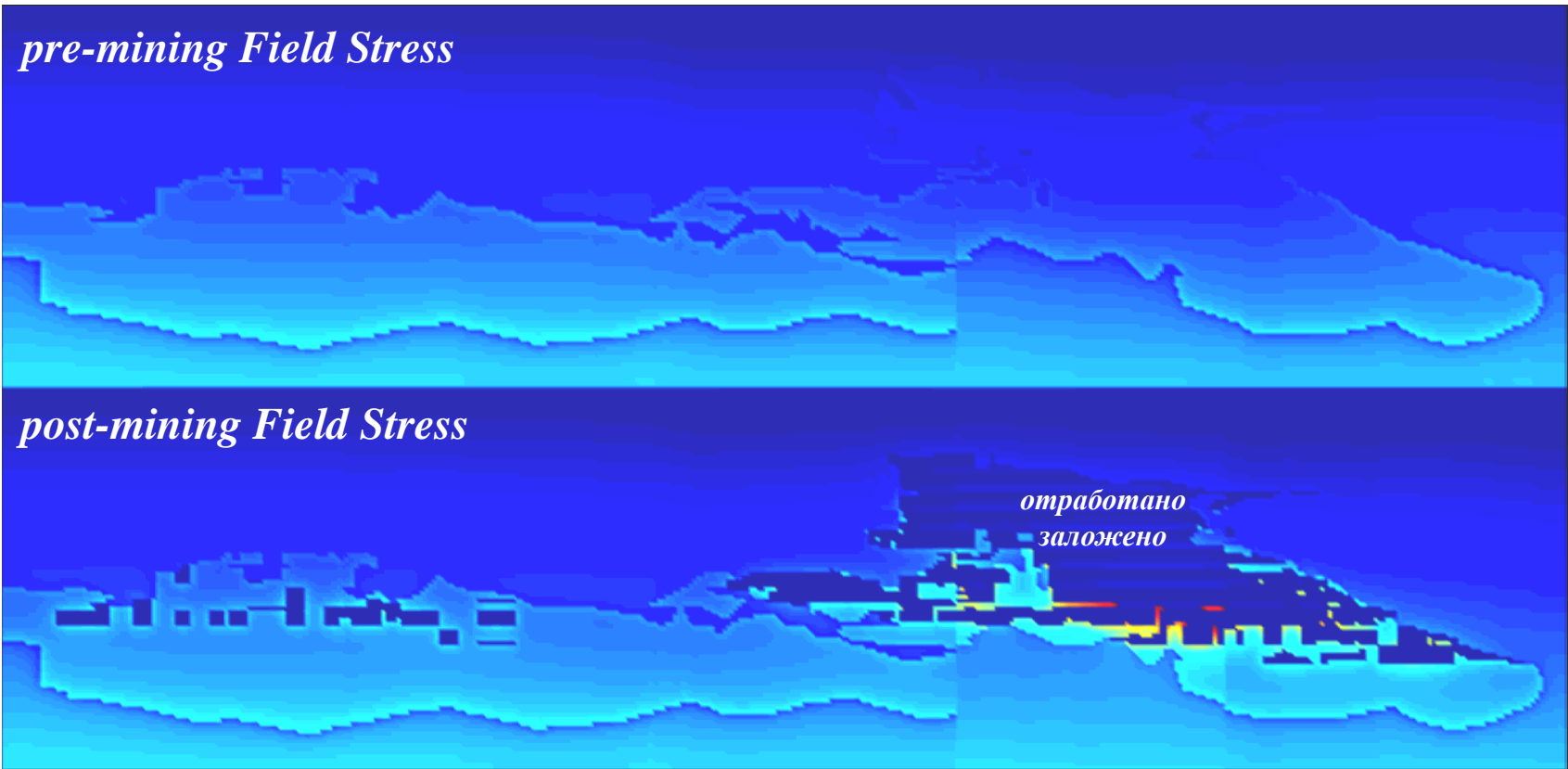
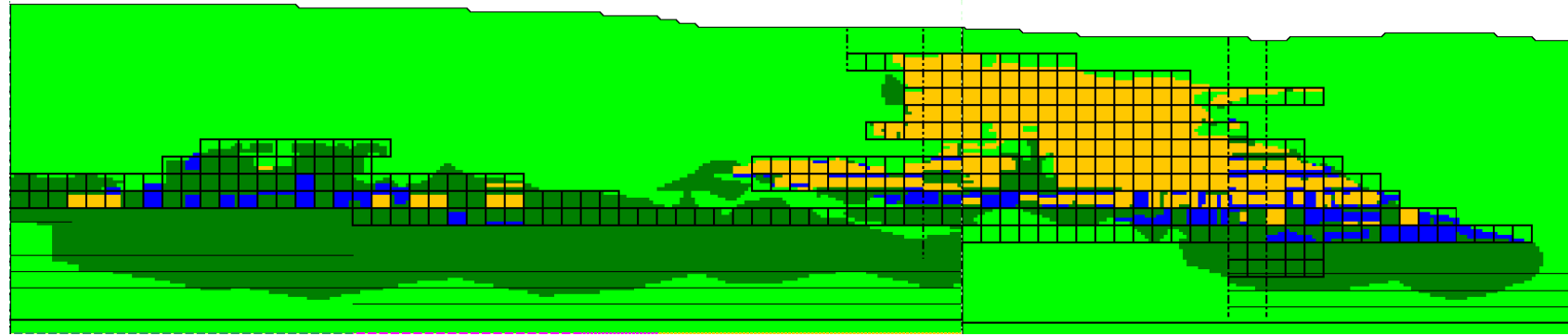
2D

$$P_{ji} = \frac{E_j}{E} \frac{F_i}{R_{ij}^2 \sqrt{r_j}}$$

$$F_i = \frac{Q_i}{\sum_{j=1}^M \frac{E_j}{E} \frac{1}{R_{ij}^2 \sqrt{r_j}}}$$

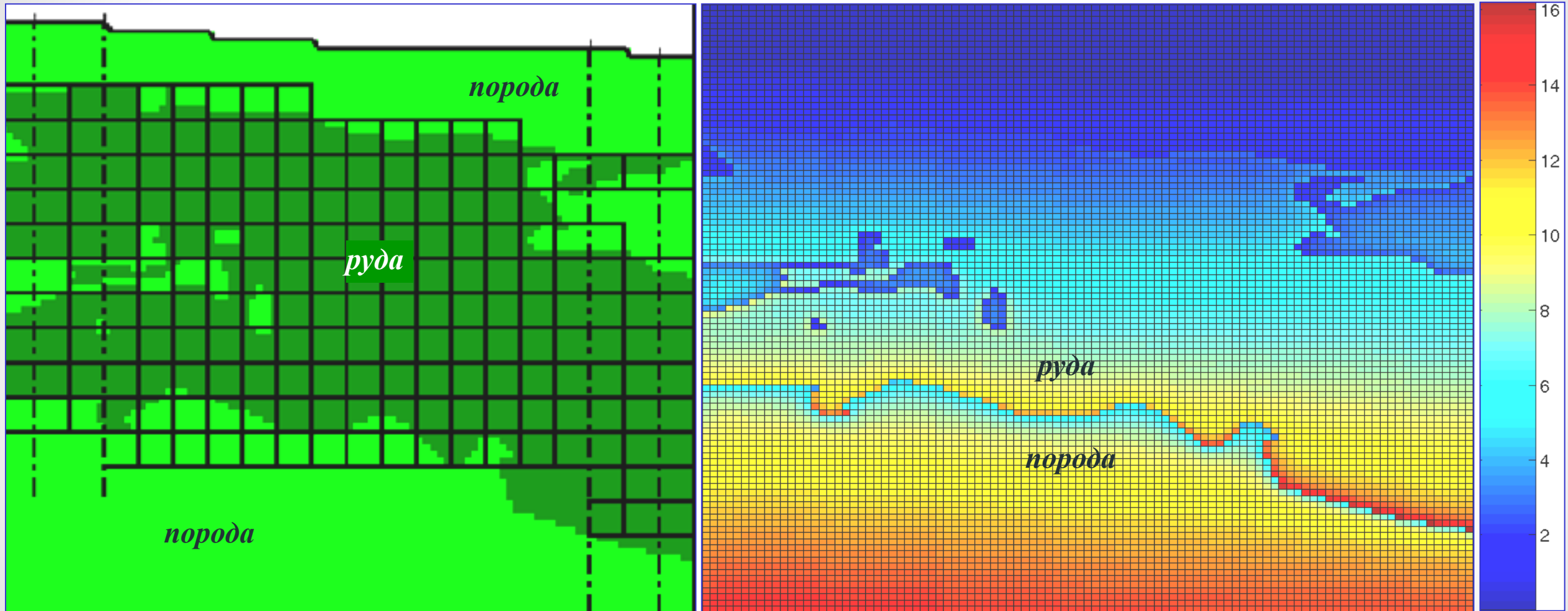
P_{ji} – нагрузка на j -тый несущий элемент массива ($j = 1, 2, \dots, M$) после обработки i -тых элементов массива ($i = 1, 2, \dots, N$); Q_i – нагрузка на отработанный i -тый элемент; R_{ji} – расстояние от i -того до j -того элемента; r_j – расстояние от i -того несущего элемента до границы выработанного пространства

*Расчет
напряженного
состояния массива
Иртышского
рудника*



действующие горизонтальные напряжения, МПа

pre-mining Field Stress



$$E_n : E_p = 2300 \text{ МПа} : 5600 \text{ МПа} = 1 : 2$$

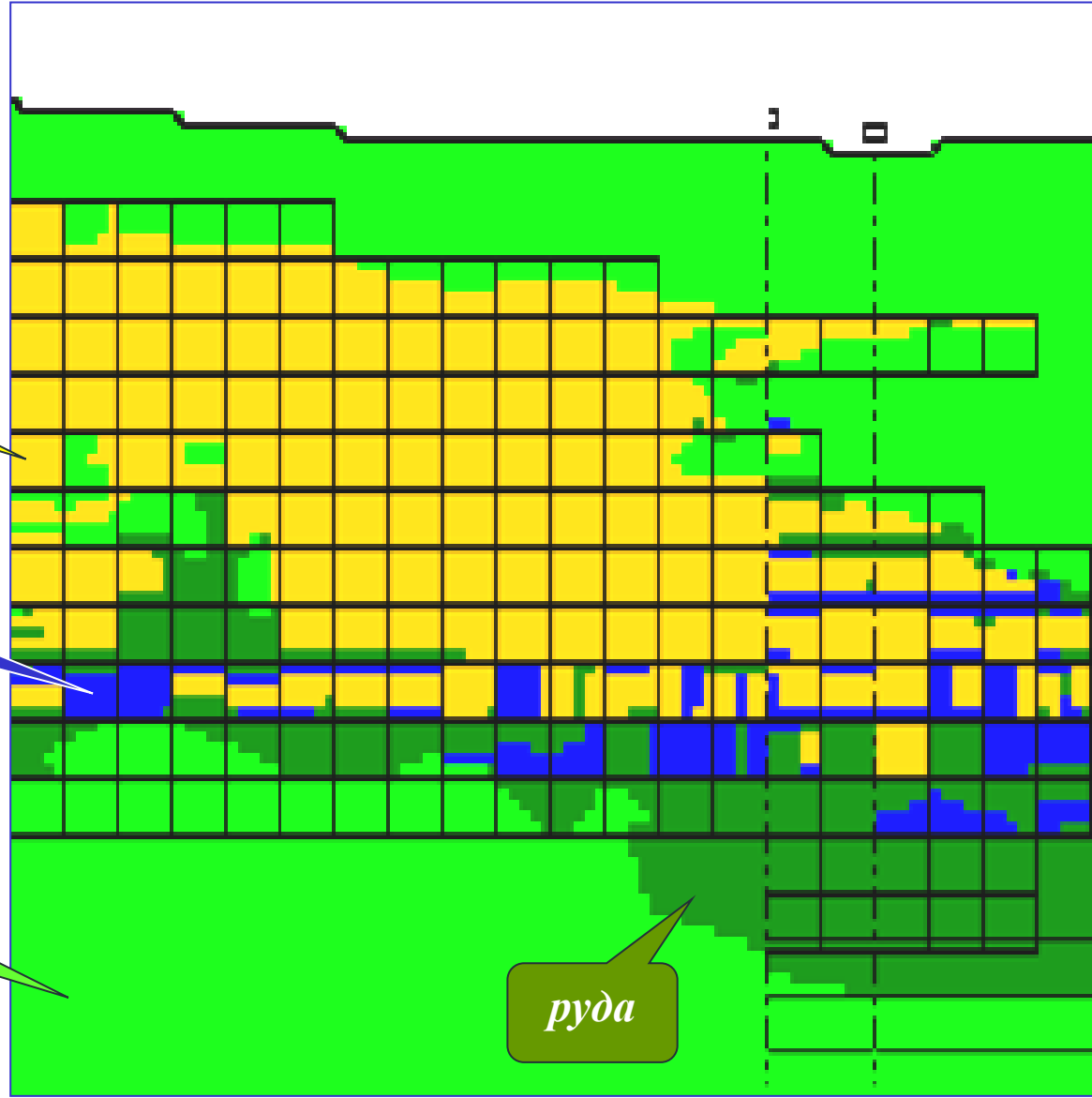
*Деталь расчетной схемы
Иртышского рудника*

*отработано
и заложено*

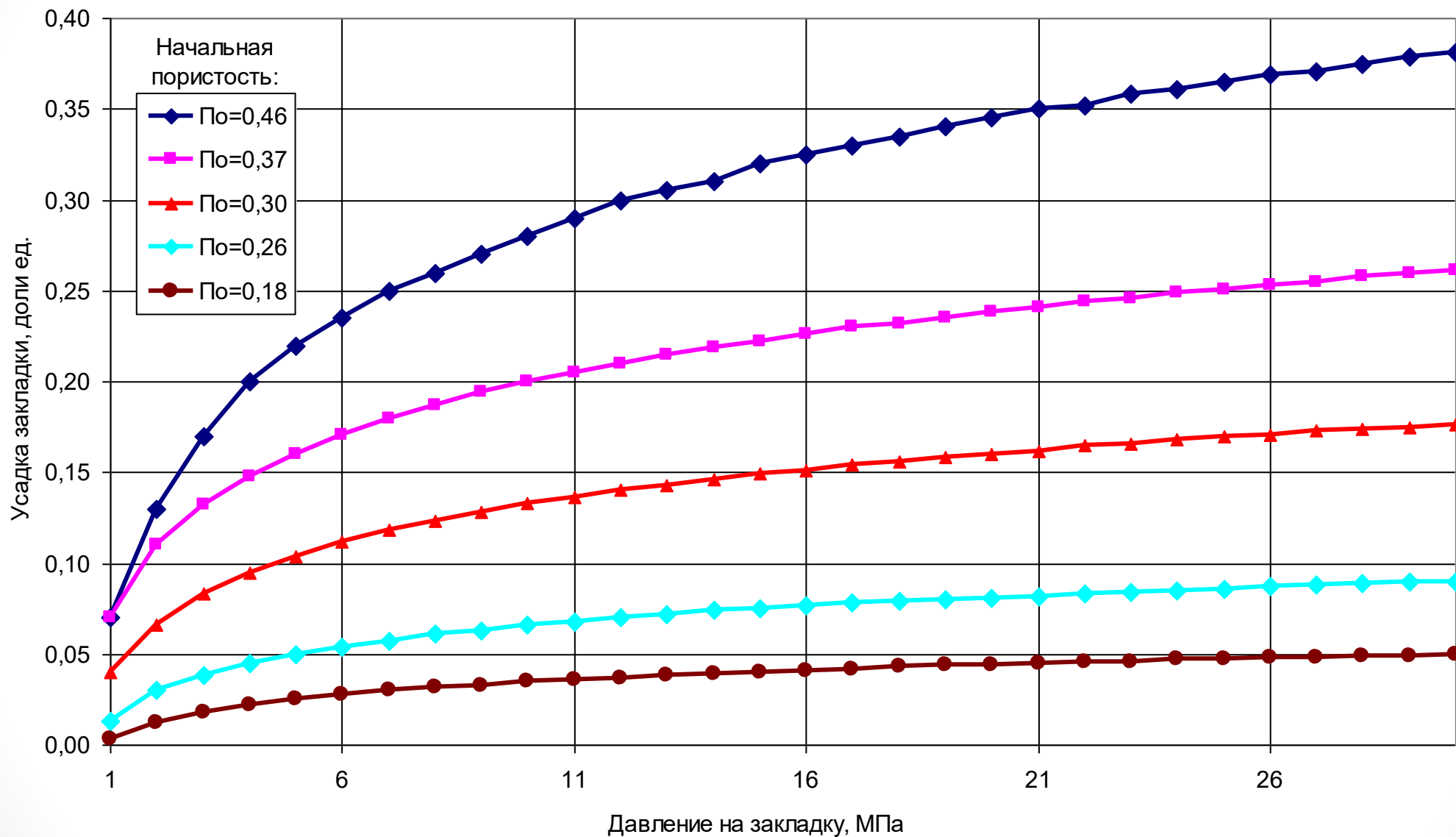
*выработанное
пространство*

*породный
массив*

руда



Усадка породной закладки, дробленой замагазинированной руды под давлением



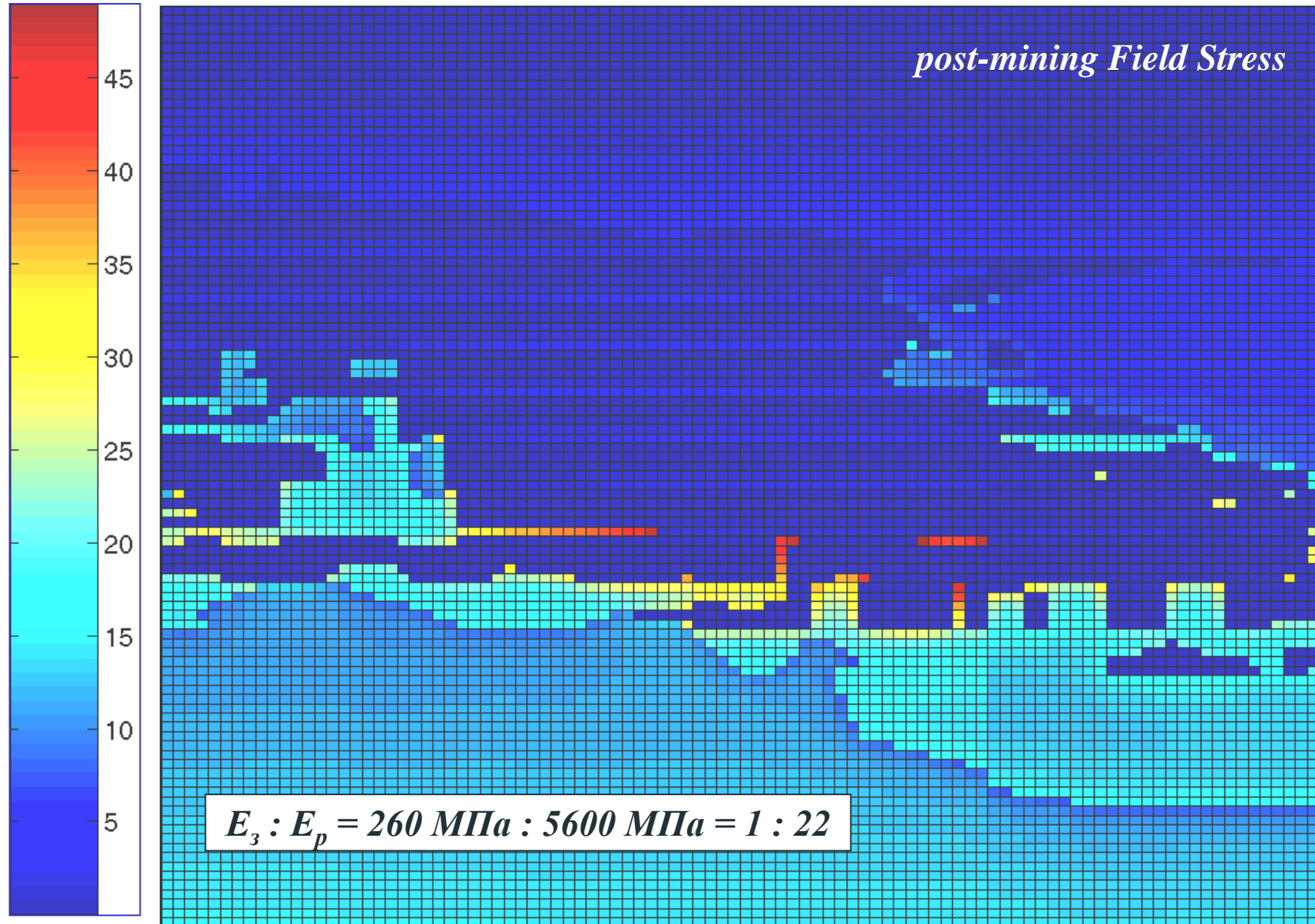
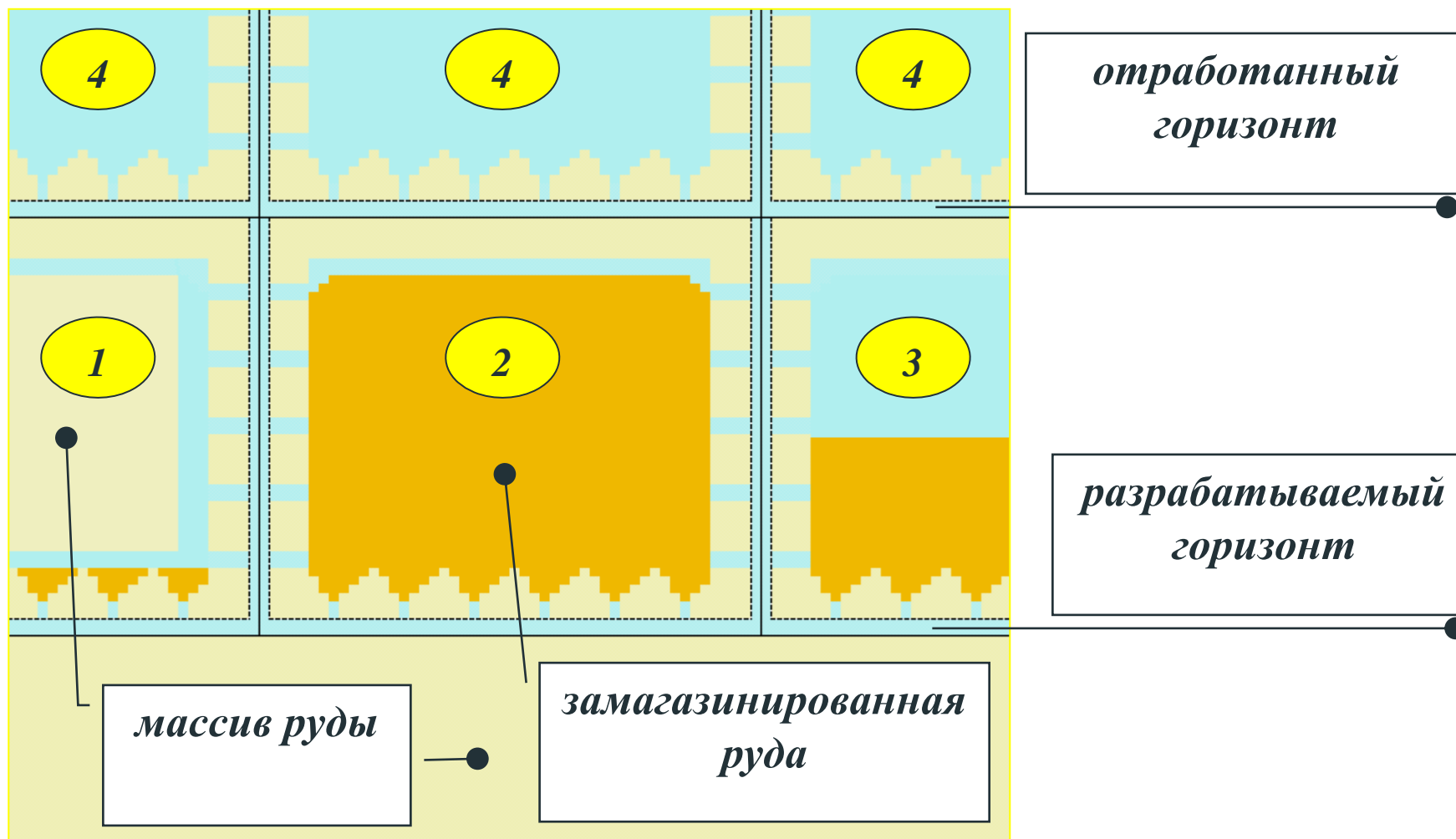
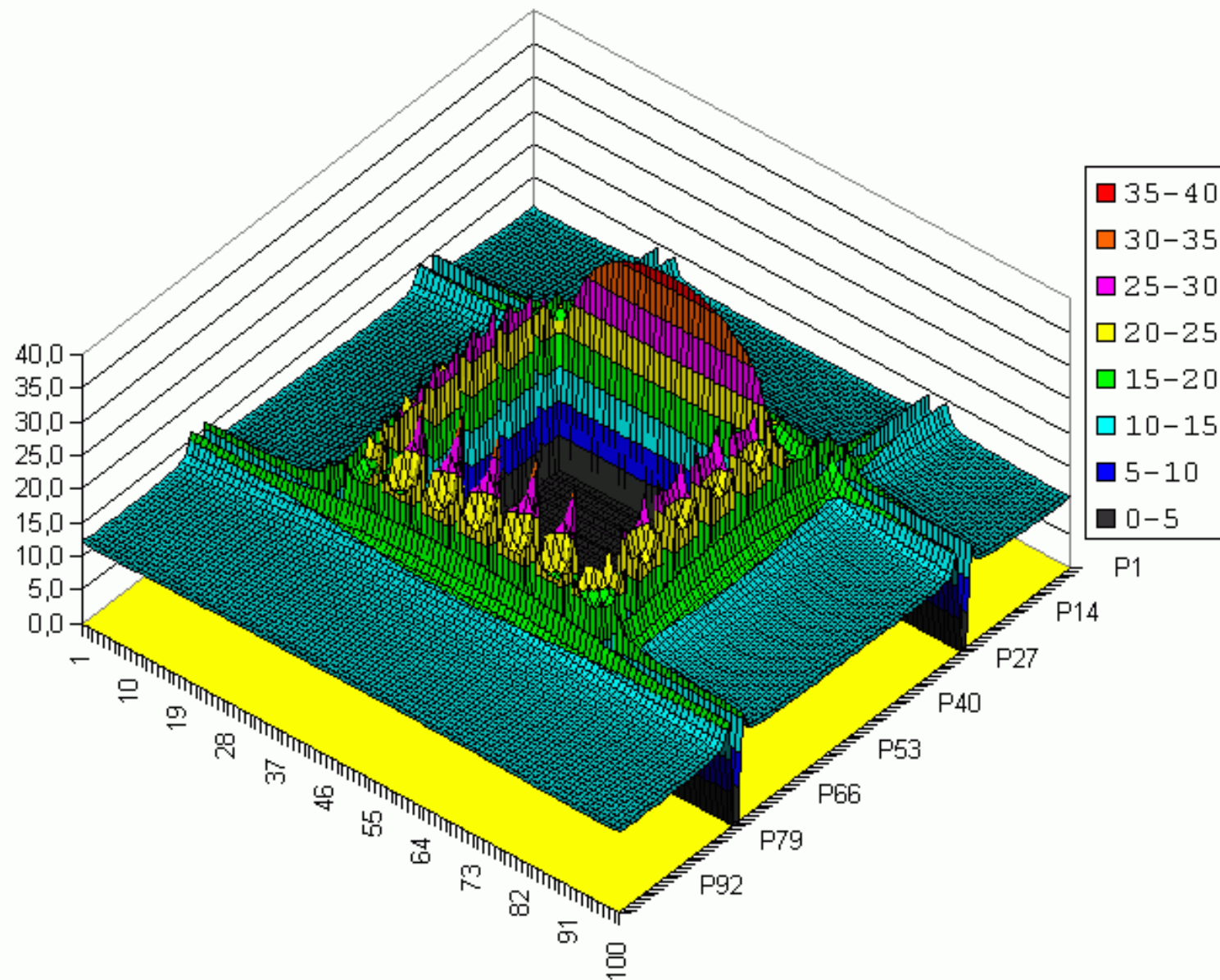


Схема моделирования развития горных работ

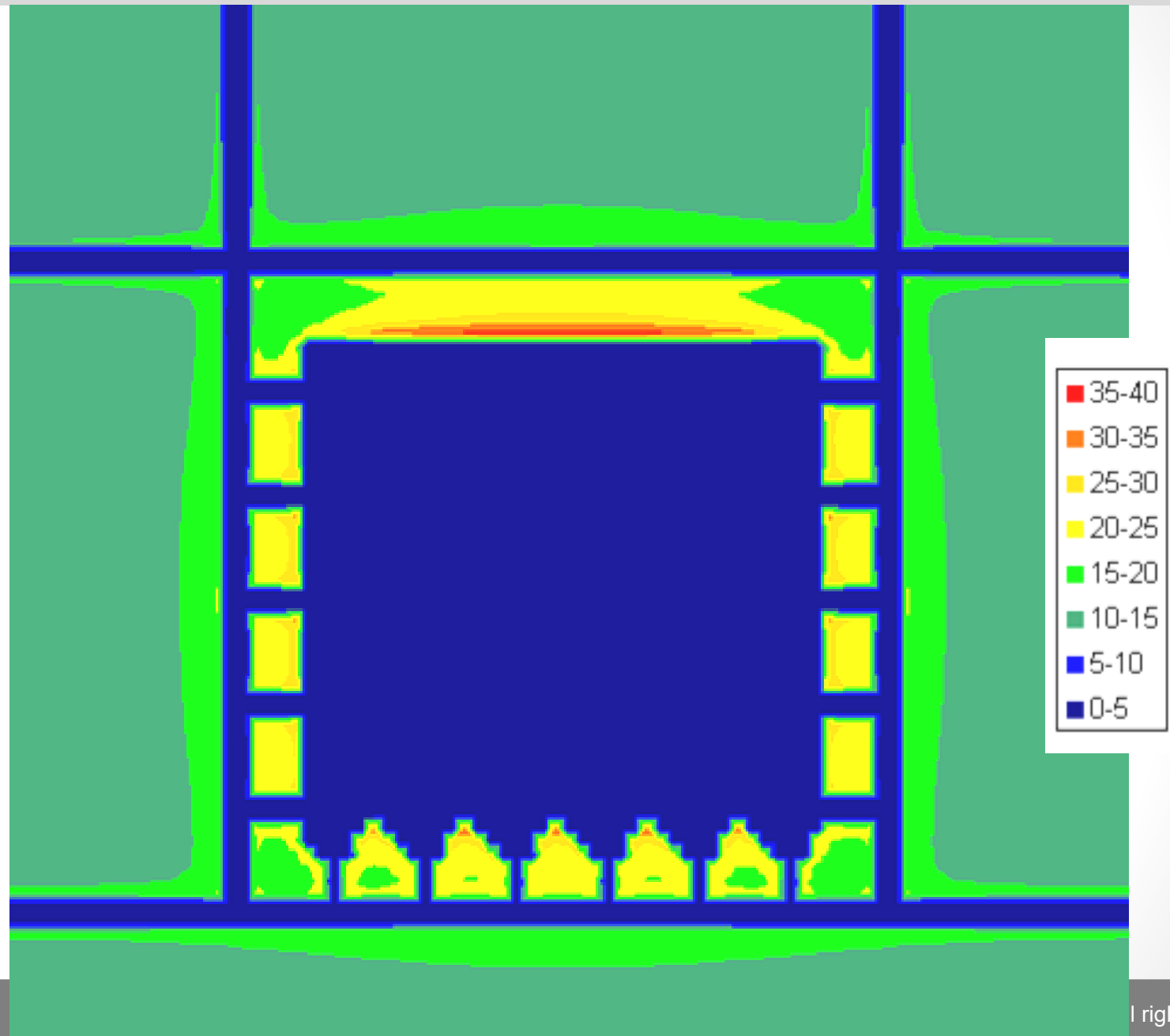


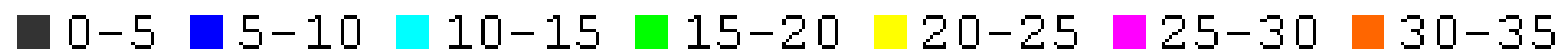
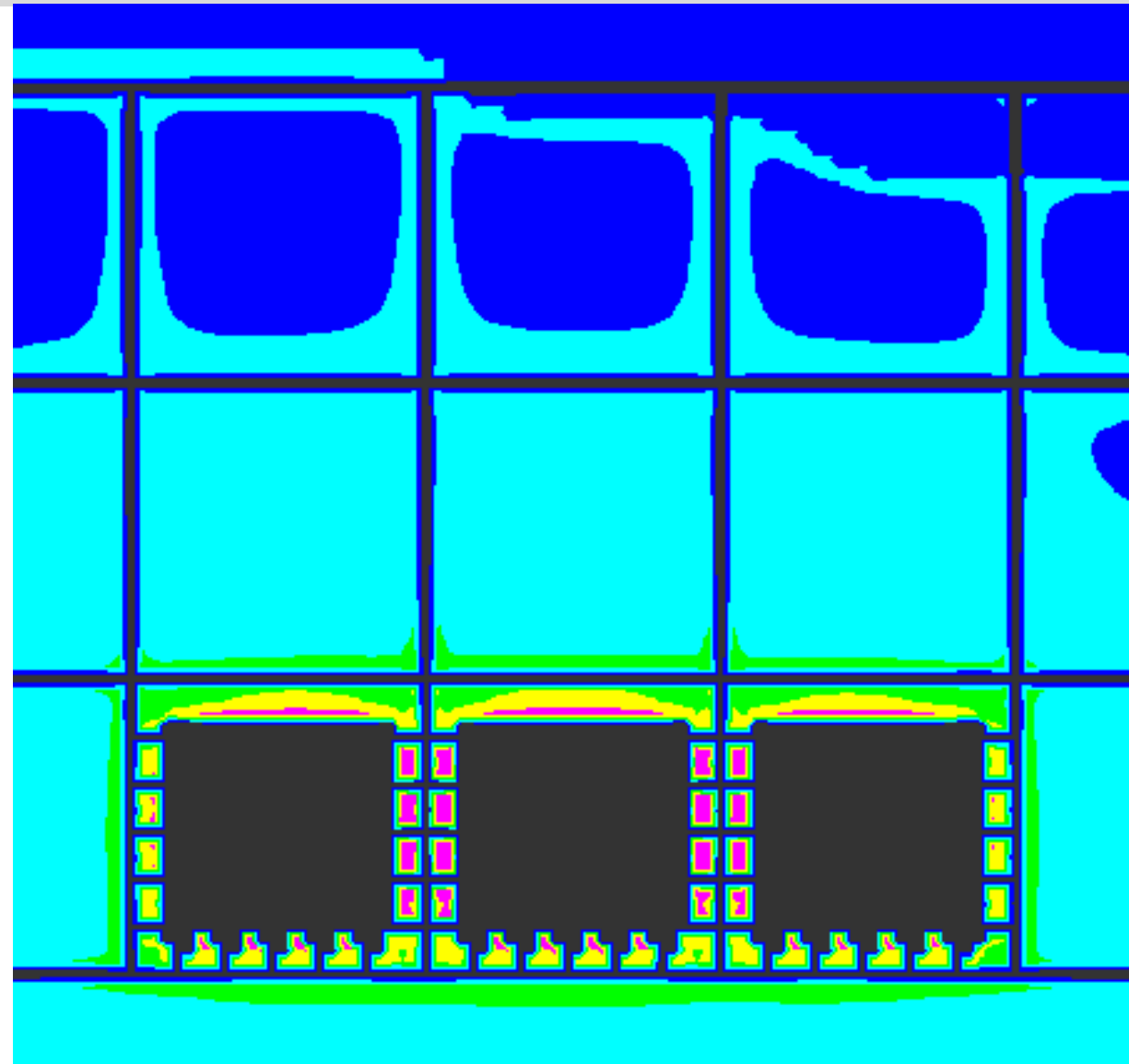
очистные блоки: 1 – подготовка; 2 – отбойка; 3 – выпуск; 4 – отработаны

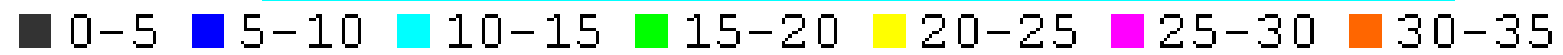
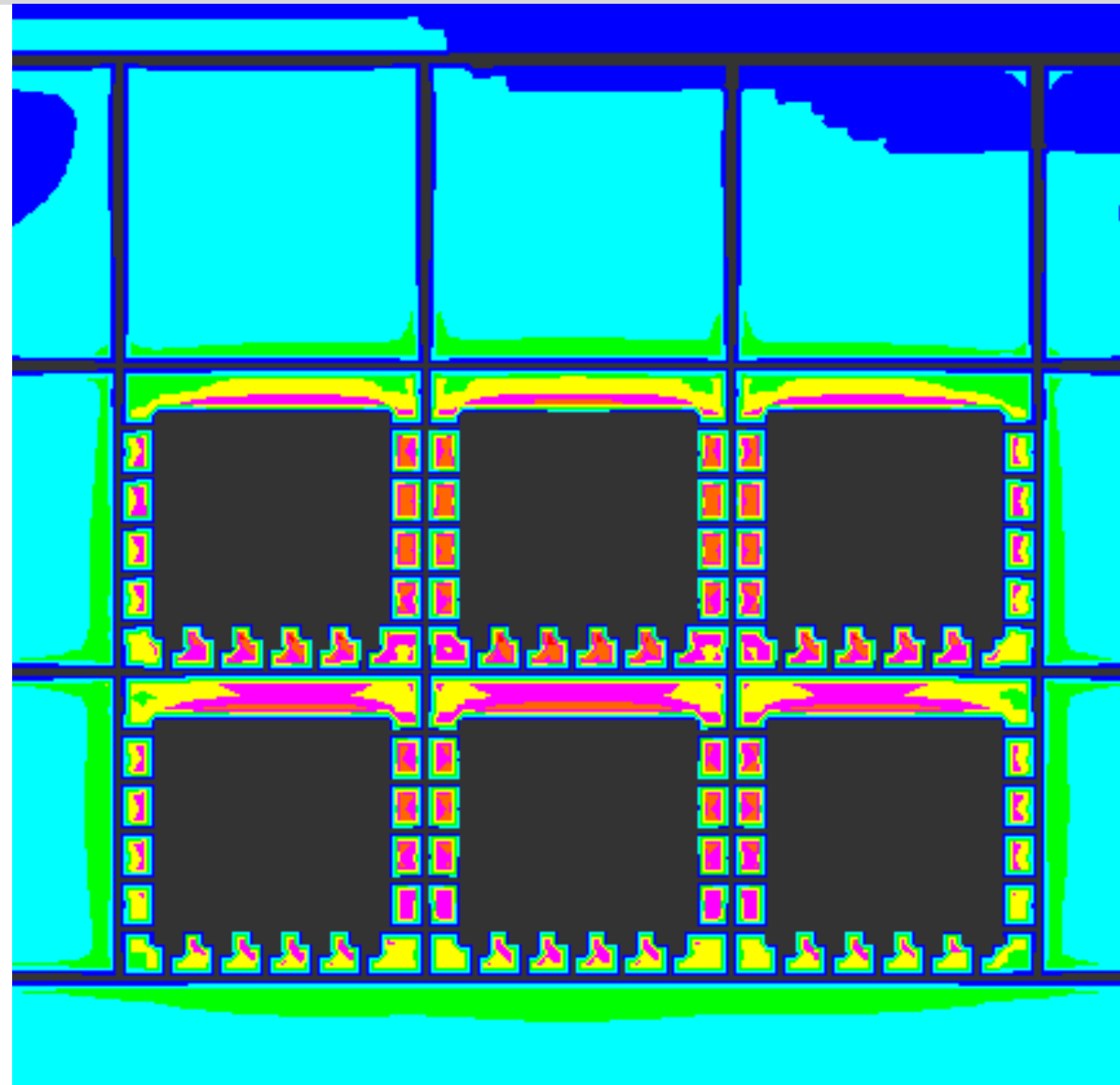
Распределение действующих напряжений в конструктивных элементах блока



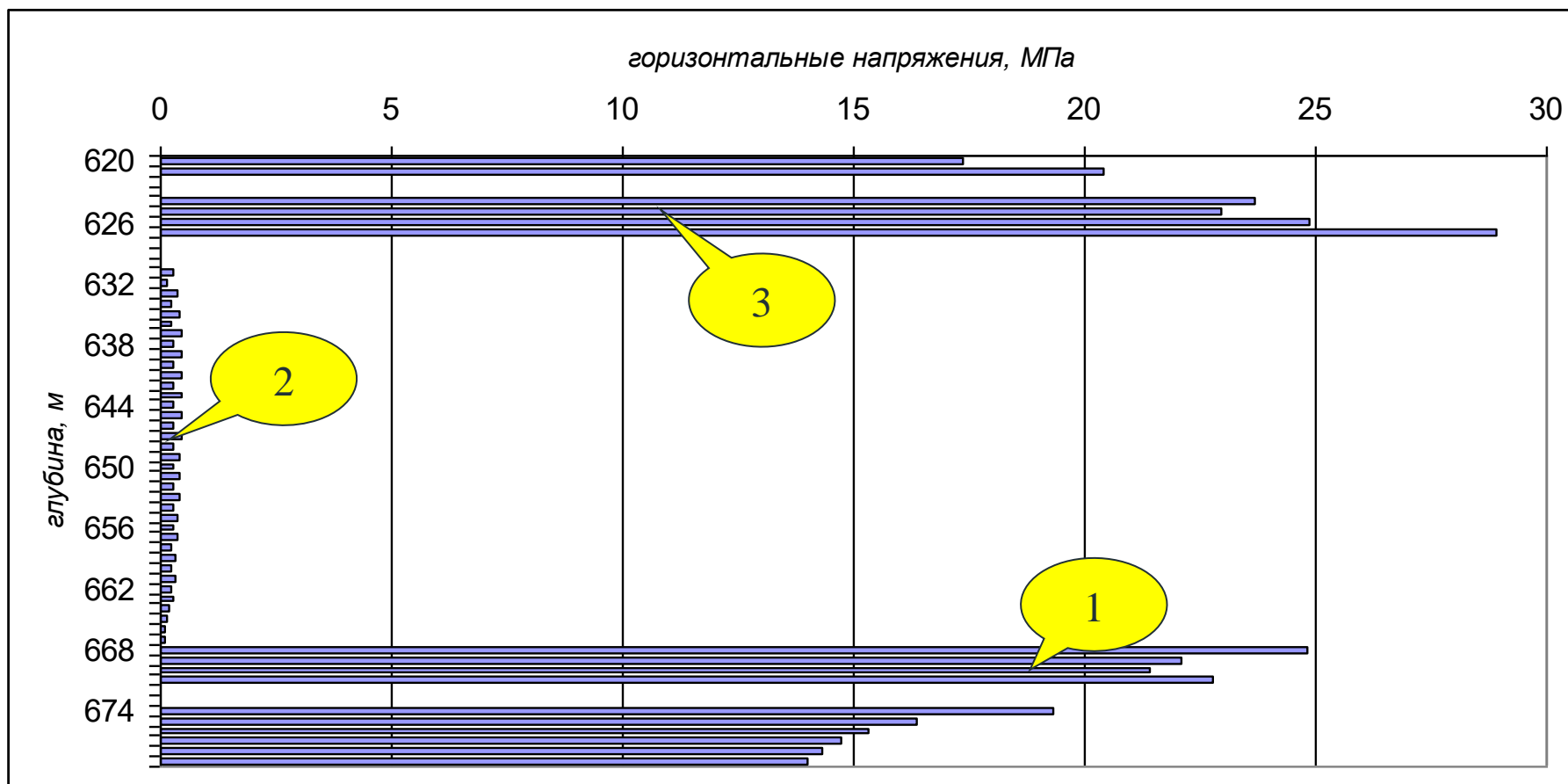
Распределение действующих напряжений в конструктивных элементах блока





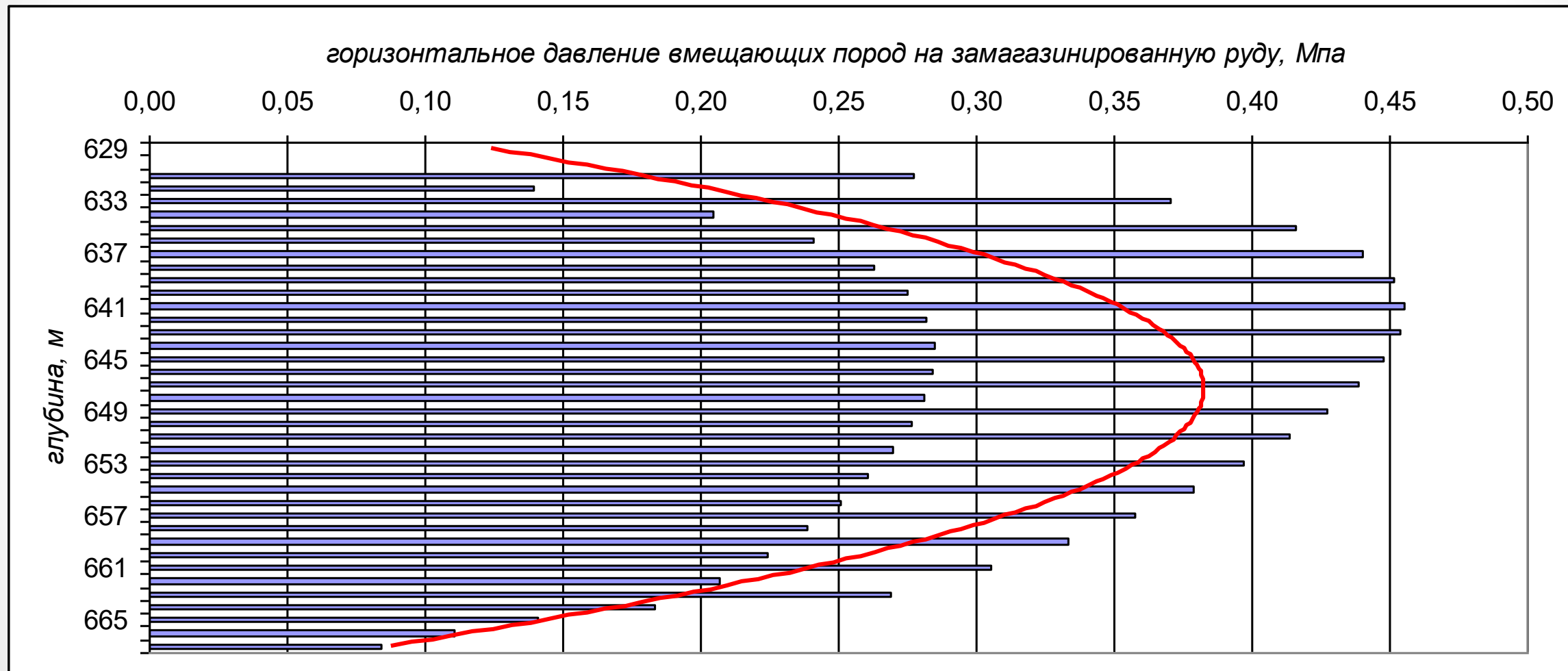


Распределение горизонтальных напряжений по оси блока



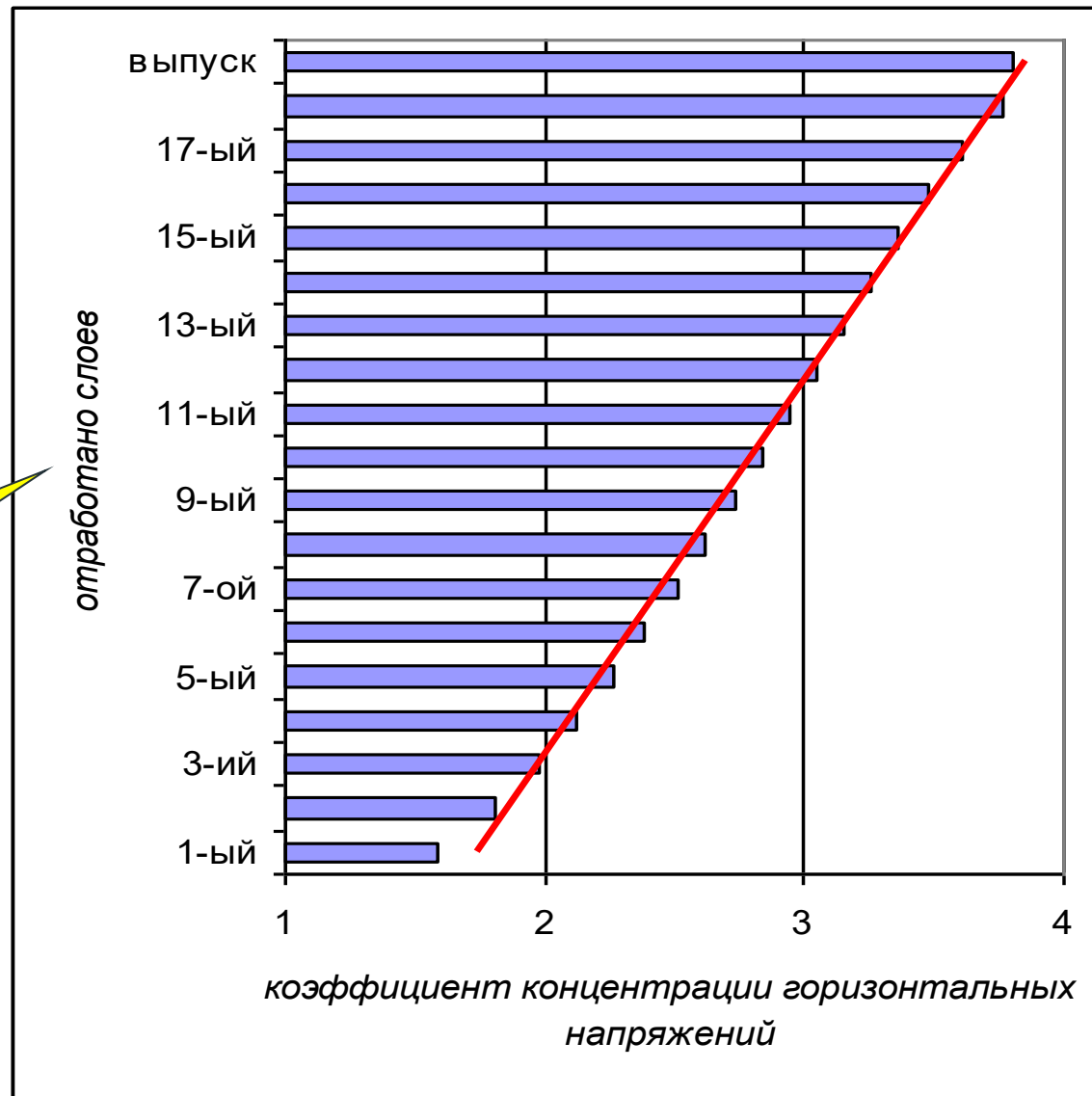
1 – в гребнях выпускных воронок; 2 – в замагазинированной руде; 3 – в подштрековом целике вышележащего горизонта

Распределение горизонтальных напряжений по оси блока в замагазинированной руде



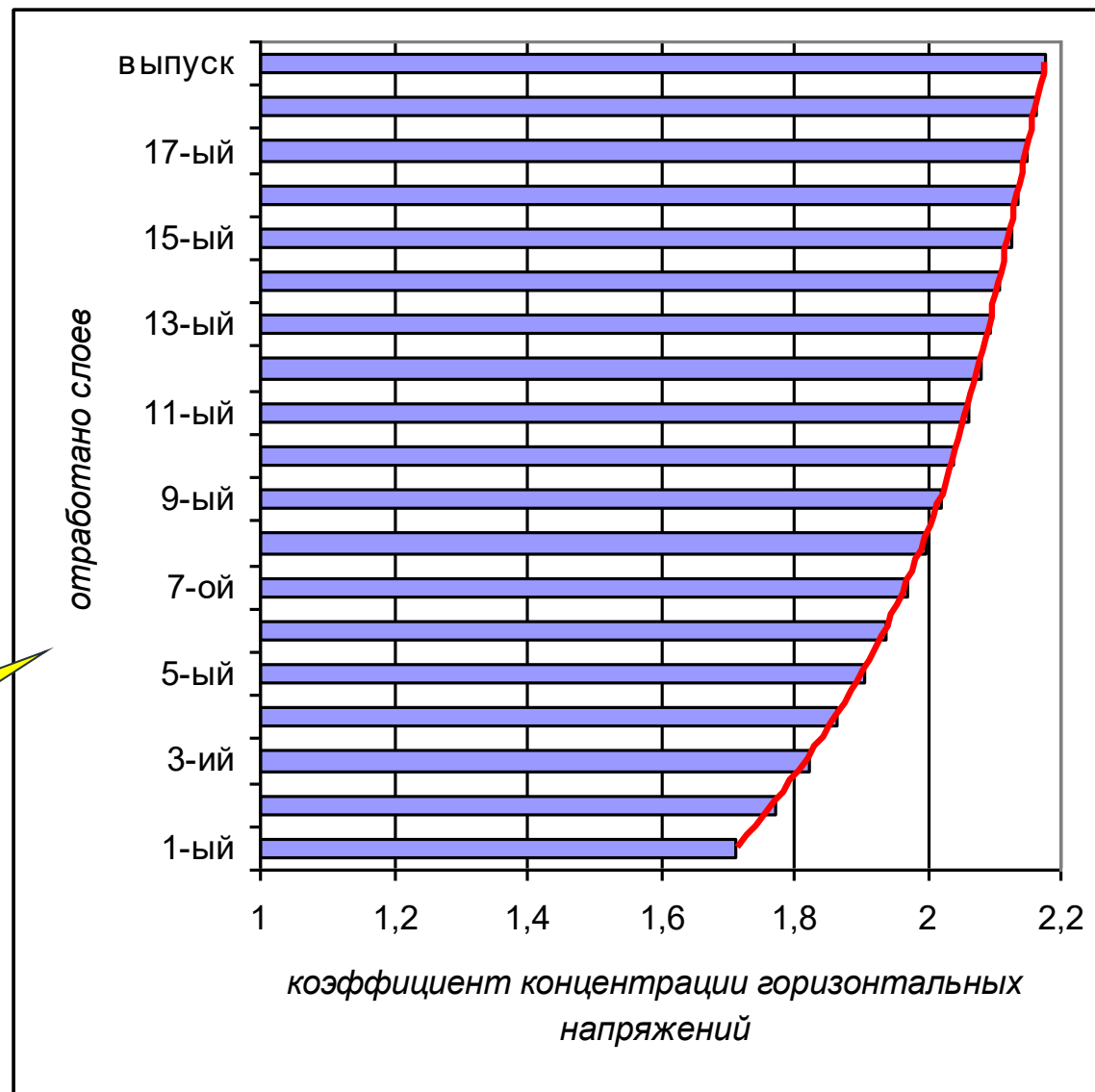
*Тенденции изменения
горизонтальных
напряжений по мере
отбойки запасов блока*

*в кровле
выработанного
пространства
(магазина)*



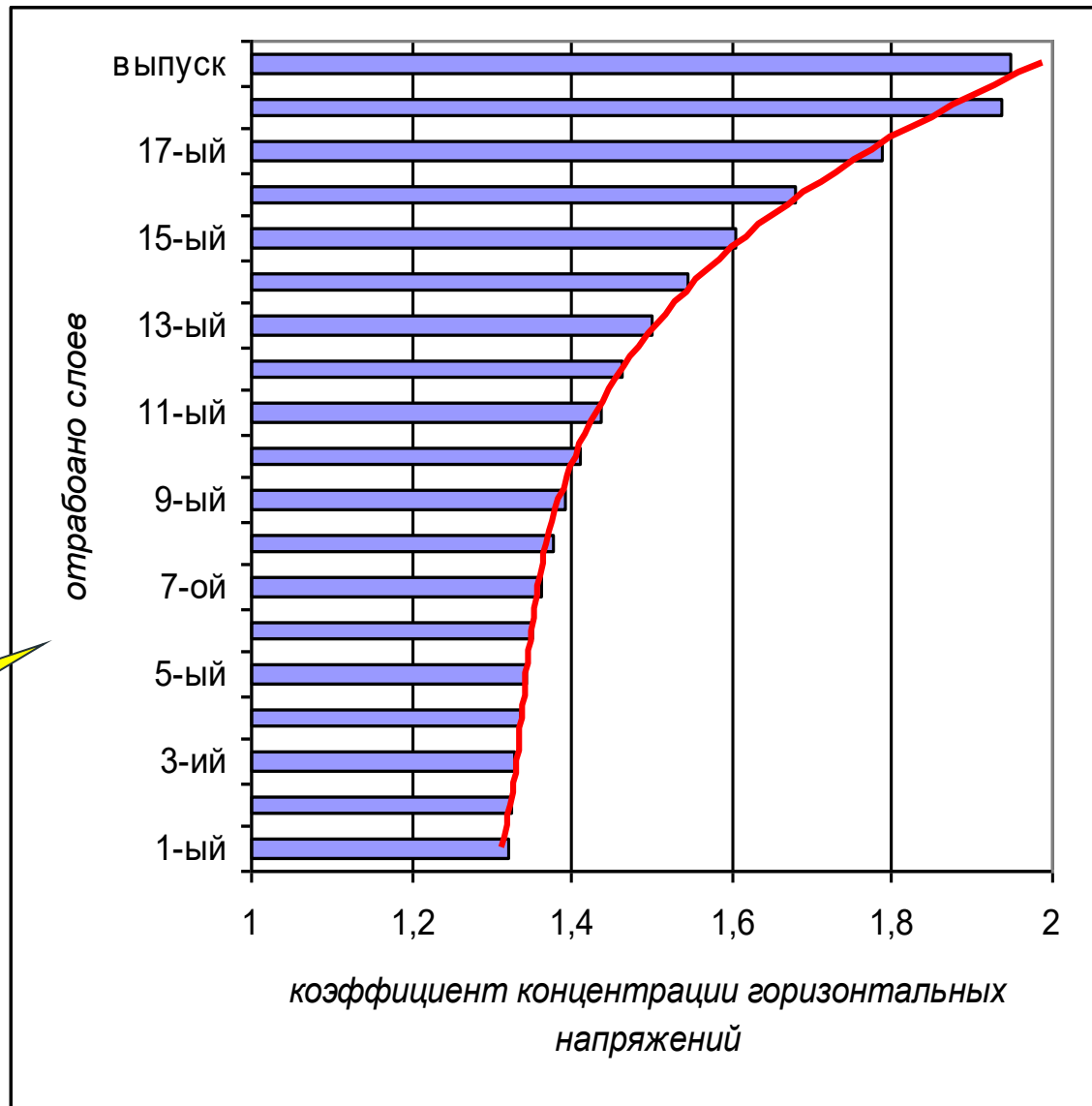
*Тенденции изменения
горизонтальных
напряжений по мере
отбойки запасов блока*

*в кровле
скреперного
штрека*

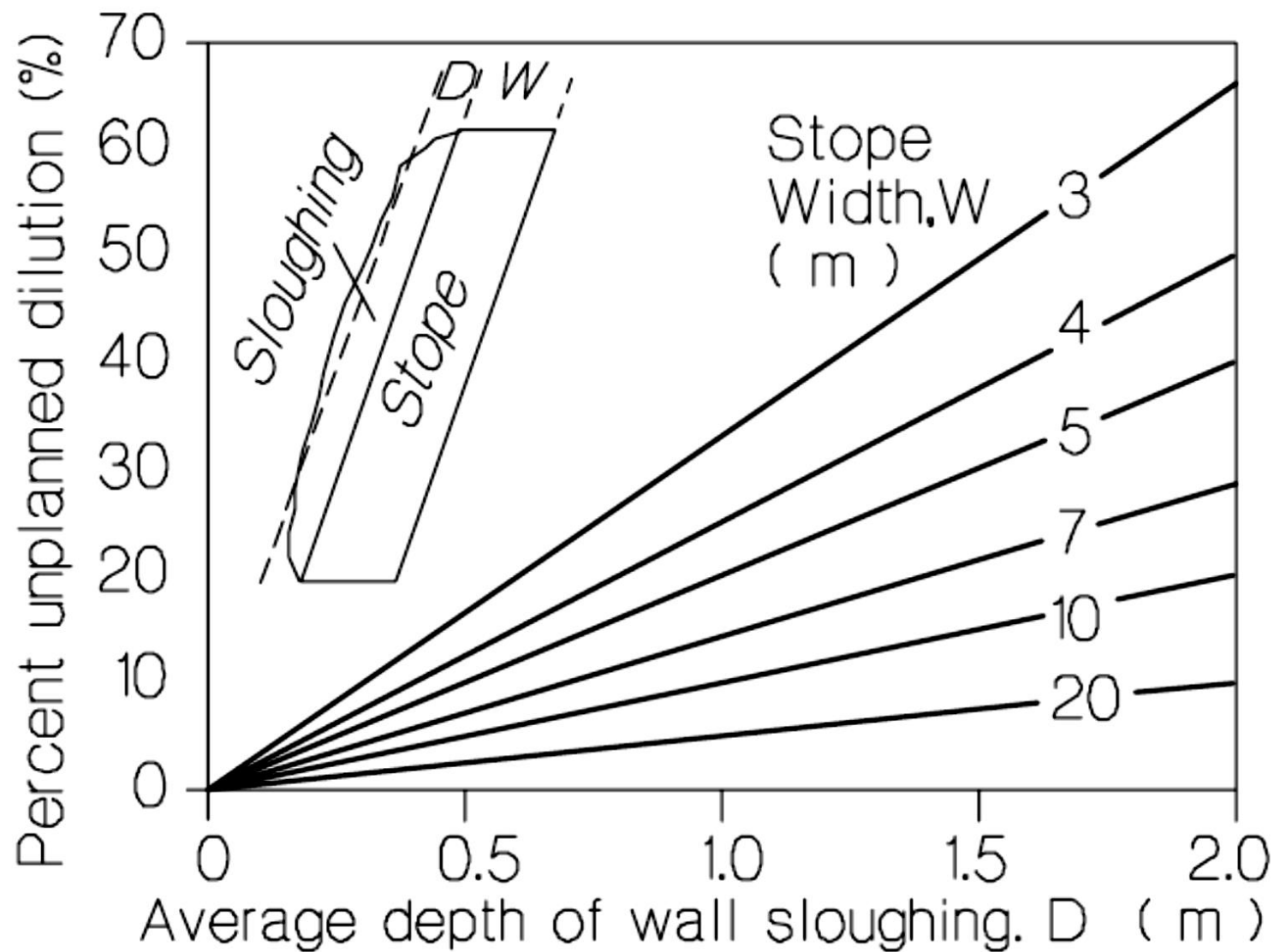


Тенденции изменения горизонтальных напряжений по мере отбойки запасов блока

*в подштрековом
целике*



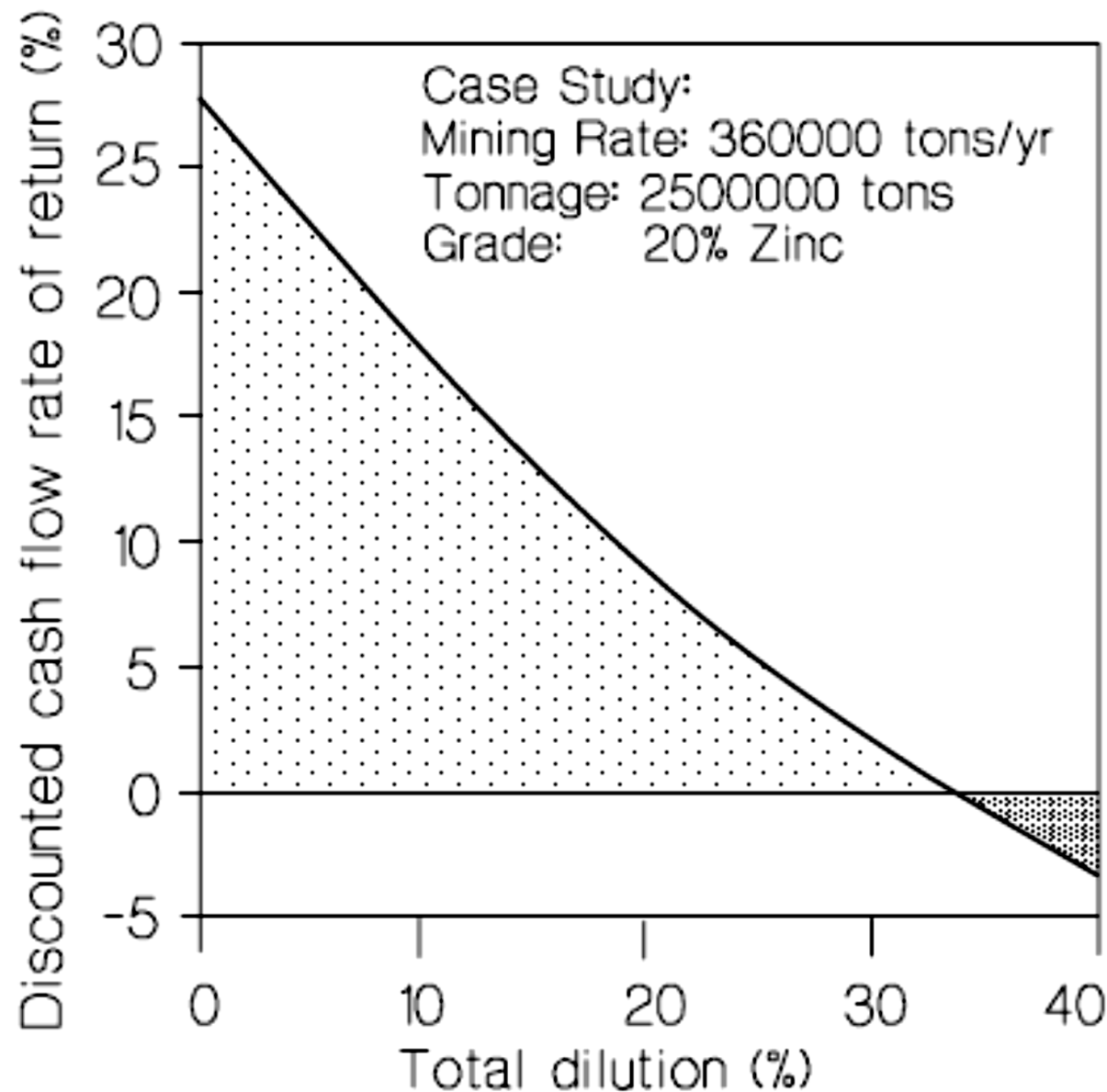
Разубоживание руды при отработке крутонападающих залежей



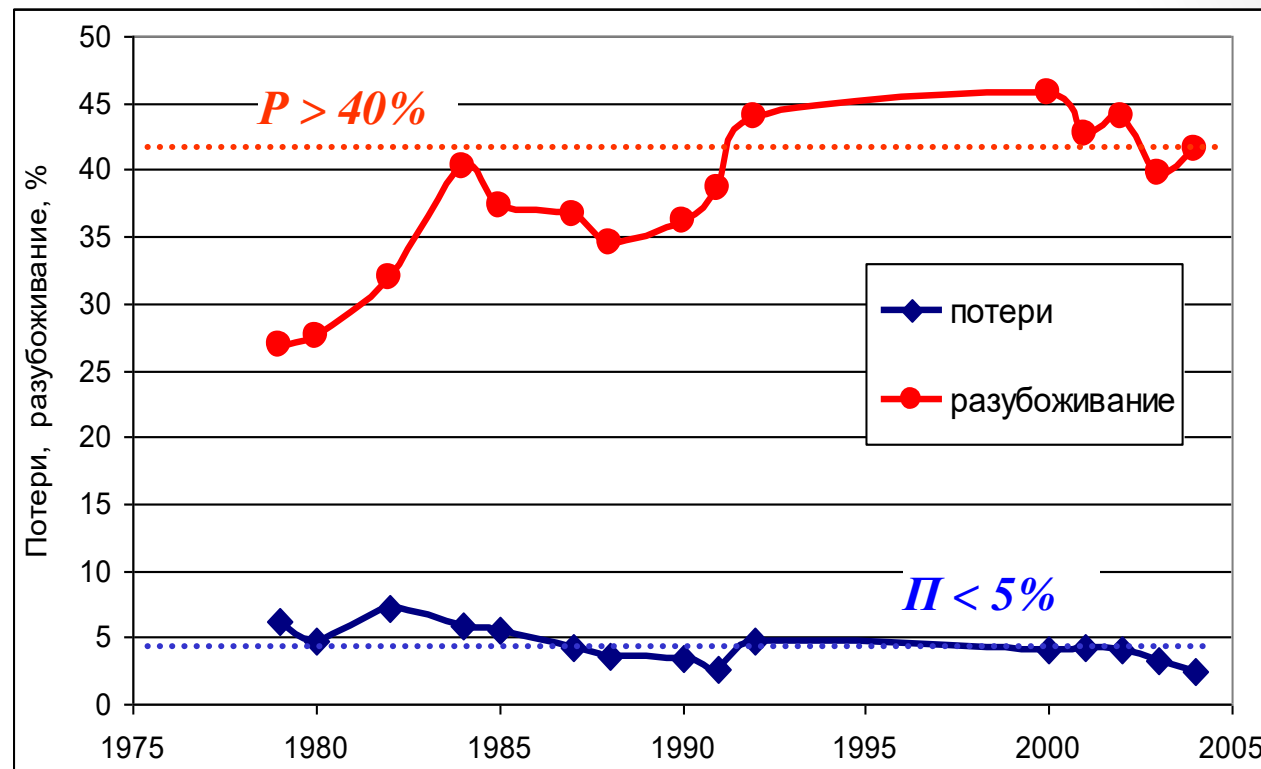
*Разубоживание
руды при
отработке
крутопадающих
залей*



Экономический ущерб от разубоживание руды



Показатели извлечения руды из крутопадающих залежей

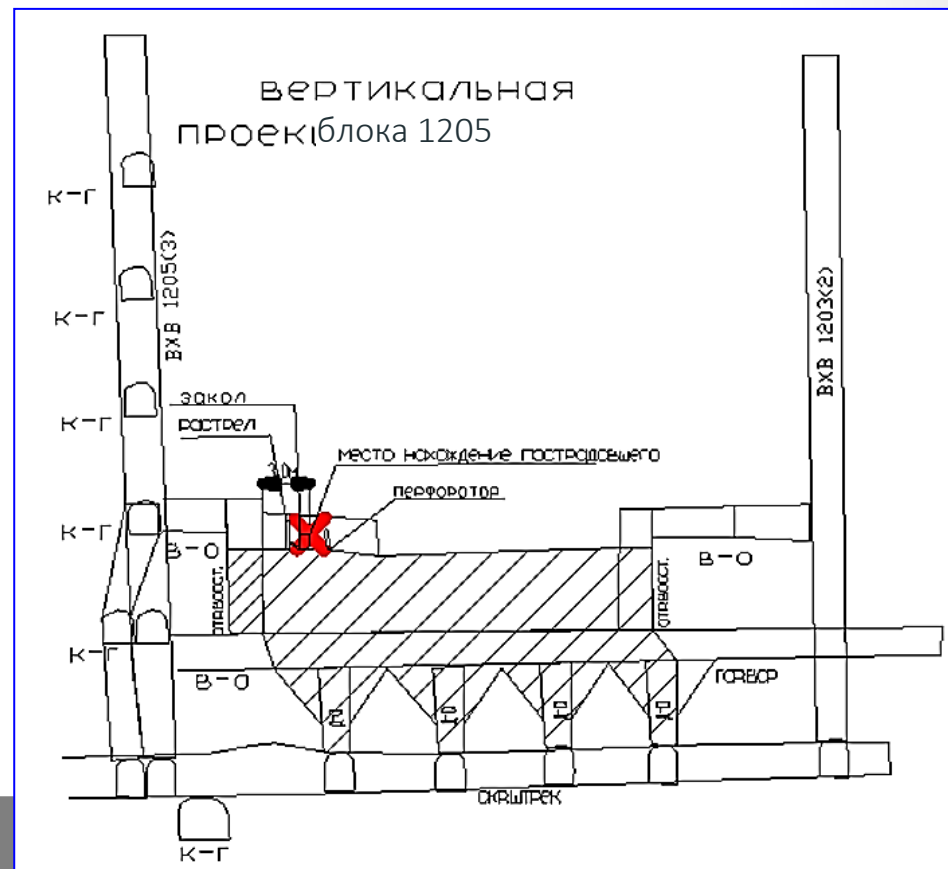
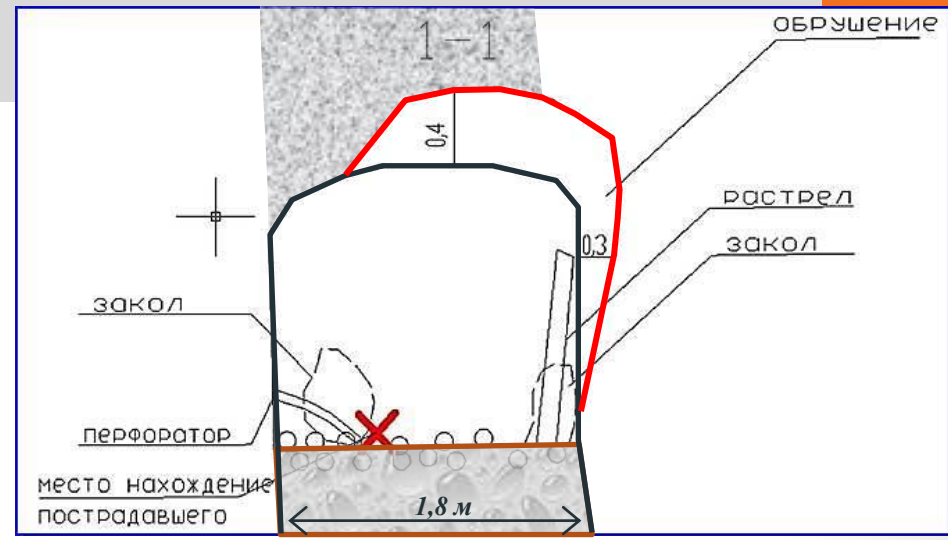
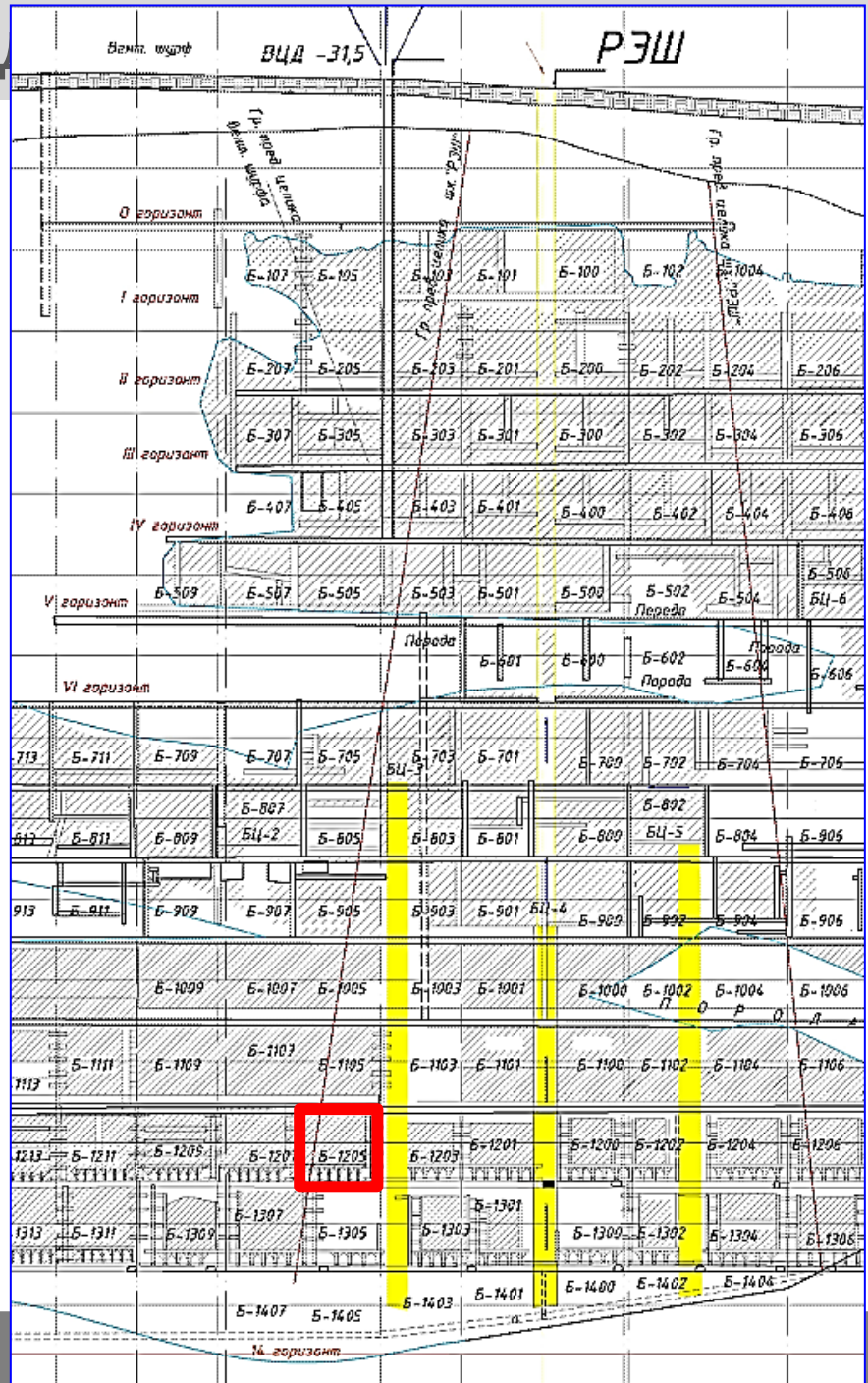


Мероприятия по снижению разубоживания руды:

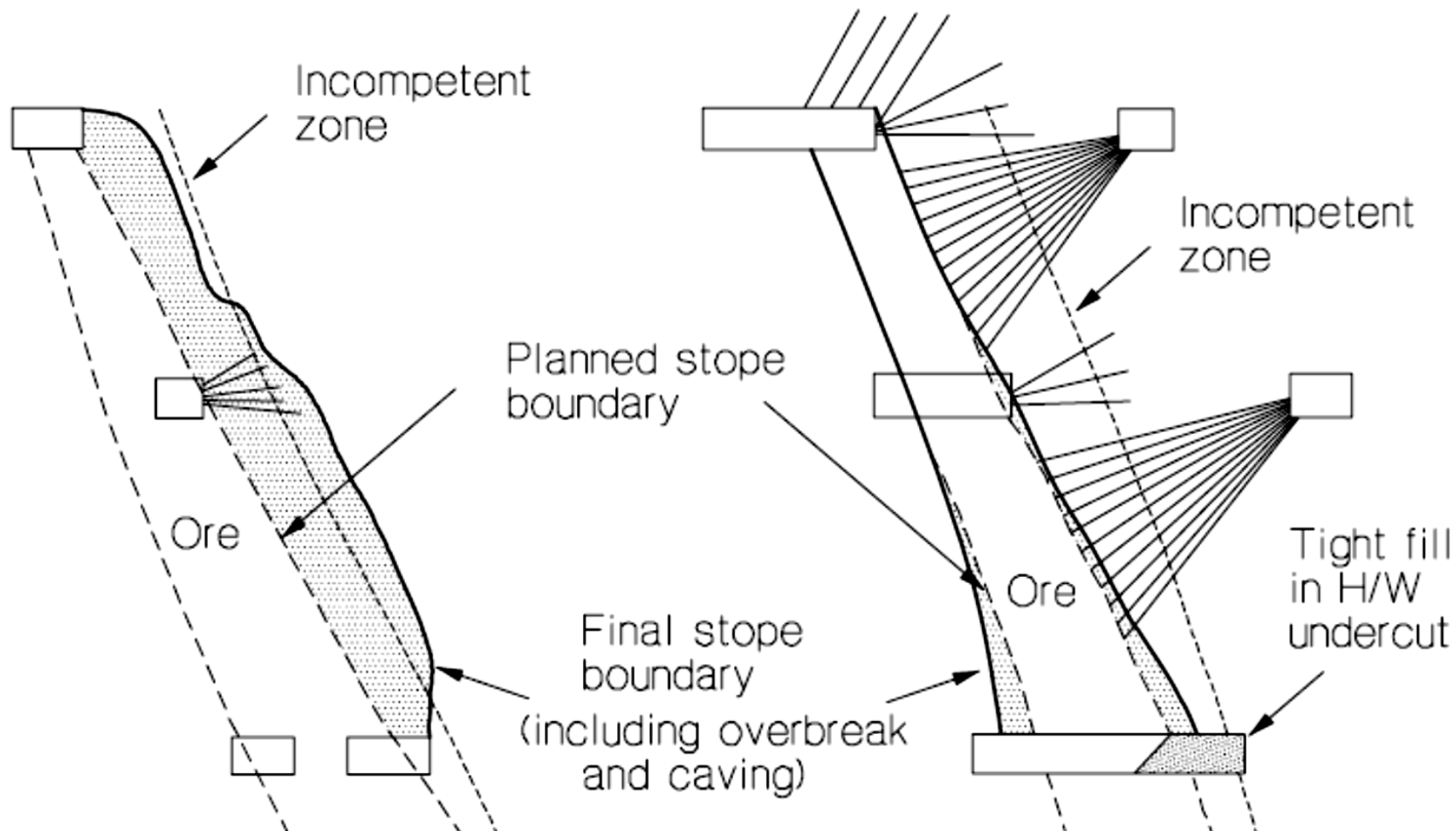
крепление пород висячего и лежачего бока в магазине

- *растрелами из рудстойки (при $t < 2$ м);*
- *анкерами (при $t > 2$ м).*

03.06.2017. Смертельный Н.С. с Бакытом Сейтханом, проходчиком Иртышского рудника, в магазине блока 1205 от падения горной массы с борта и кровли рудной ленты 3 при установке рудстоек 3 при установке рудстоек



Тросовое крепление висячего бока крутопадающих залежей для снижения разубоживания руды



Тросовое крепление висячего бока крутопадающих залежей



*Тросовое крепление
висячего бока
крутопадающих
залей*



ПТЭ:

§ 296. Сближенными следует считать такие рудные тела, отработка одного из которых в пределах данного эксплуатационного этажа повлечет на безопасность и эффективность отработки других.

§ 297. Целесообразность совместной или отдельной отработки сближенных рудных тел, а также порядок и безопасность отработки их при отдельной выемке решаются специальным проектом.

При выявлении в процессе эксплуатации сближенных рудных тел целесообразность их совместной или отдельной дальнейшей отработки и необходимые меры безопасности решаются в специальном проекте, который утверждает главный инженер предприятия по согласованию с генеральным проектировщиком.

§ 298. В зависимости от горнотехнических условий совместная или отдельная выемка сближенных рудных тел ведется системами разработки с соблюдением требований главы 10 настоящих ПТЭ.

§ 299. Отдельная выемка сближенных рудных тел при мощности породного прослоя менее 2,5 м должна предусматривать погашение этого прослоя в период очистных работ.

§ 300. При отдельной выемке сближенных рудных тел системами с магазинированием выпуск руды по окончании отбойки необходимо вести с максимально возможной интенсивностью. На всех стадиях выпуска и отбойки поверхность замагазинированной руды в смежных рудных телах необходимо поддерживать на одном уровне.

ПТЭ:

§ 289. Отработка ленточных целиков допускается следующими методами:

- а) системами подэтажного или слоевого обрушения при заложённых камерах;***
- б) массовым обрушением междуэтажных целиков с последующей выемкой междукамерных целиков системами слоевого или подэтажного обрушения, если смежные камеры после обрушения заполнены;***
- в) массовым обрушением междукамерных и междуэтажных целиков при незаполненных камерах. Этот метод может быть применен при бедных рудах и сравнительно устойчивых вмещающих породах. Обрушение всех целиков в блоке должно производиться в один прием;***
- г) обрушением междукамерных и междуэтажных целиков при камерах, заполненных замагазинированной рудой (одновременно или последовательно сверху вниз по мере выпуска магазина). Этот метод может быть применен в условиях, когда вмещающие породы обрушаются с отставанием и не вызывают высоко-го разубоживания;***
- д) системами подэтажных штреков (ортов), с доставкой руды силой взрыва, с магазином руды и другими при камерах, заложённых твердеющей закладкой;***
- е) системами с закладкой, с креплением и закладкой при заложённых камерах (в случае разработки ценных руд или необходимости сохранения поверхности).***

ПТЭ:

§ 290. Массовое обрушение междукамерных и междуэтажных целиков на открытые камеры допускается только участками не более двух междукамерных целиков и части междуэтажного целика на длину трех камер.

Междукамерные целики, отделяющие один участок обрушения от другого, обрабатывать системами с обрушением.

При массовом обрушении междукамерных целиков и потолочин рекомендуется предварительно вынимать целики горизонта воронок и днища камер вышележащего этажа системой подэтажного обрушения.

§ 291. Целики горизонта воронок и надштрековые целики обрабатывать системами слоевого или подэтажного обрушения.

При необходимости сохранения откаточного горизонта на период работ в нижнем этаже надштрековый целик может быть погашен одновременно с погашением потолочин нижележащего этажа.

ПТЭ:

§ 292. Потолочины отрабатывать одним из следующих способов:

- а) массовым обрушением одновременно с междукammerными целиками на открытые камеры;***
- б) массовым обрушением на замагазинированную руду (при сплошном магазинировании);***
- в) системами слоевого или подэтажного обрушения при заполненных камерах сухой закладкой или обрушенными породами вышележащего горизонта и тщательно заполненным выработанным пространством под потолочиной;***
- г) системами с креплением и закладкой в случае применения этих систем отработки камер (блоков).***

§ 293. Выемку барьерных, предохранительных (охранных) целиков производить, одним из вышеперечисленных способов при погашении шахтного поля или в случаях, если не требуется их дальнейшее сохранение.

Thanks !

Good luck !

Questions?

