

Управление горным давлением при системах с закладкой

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

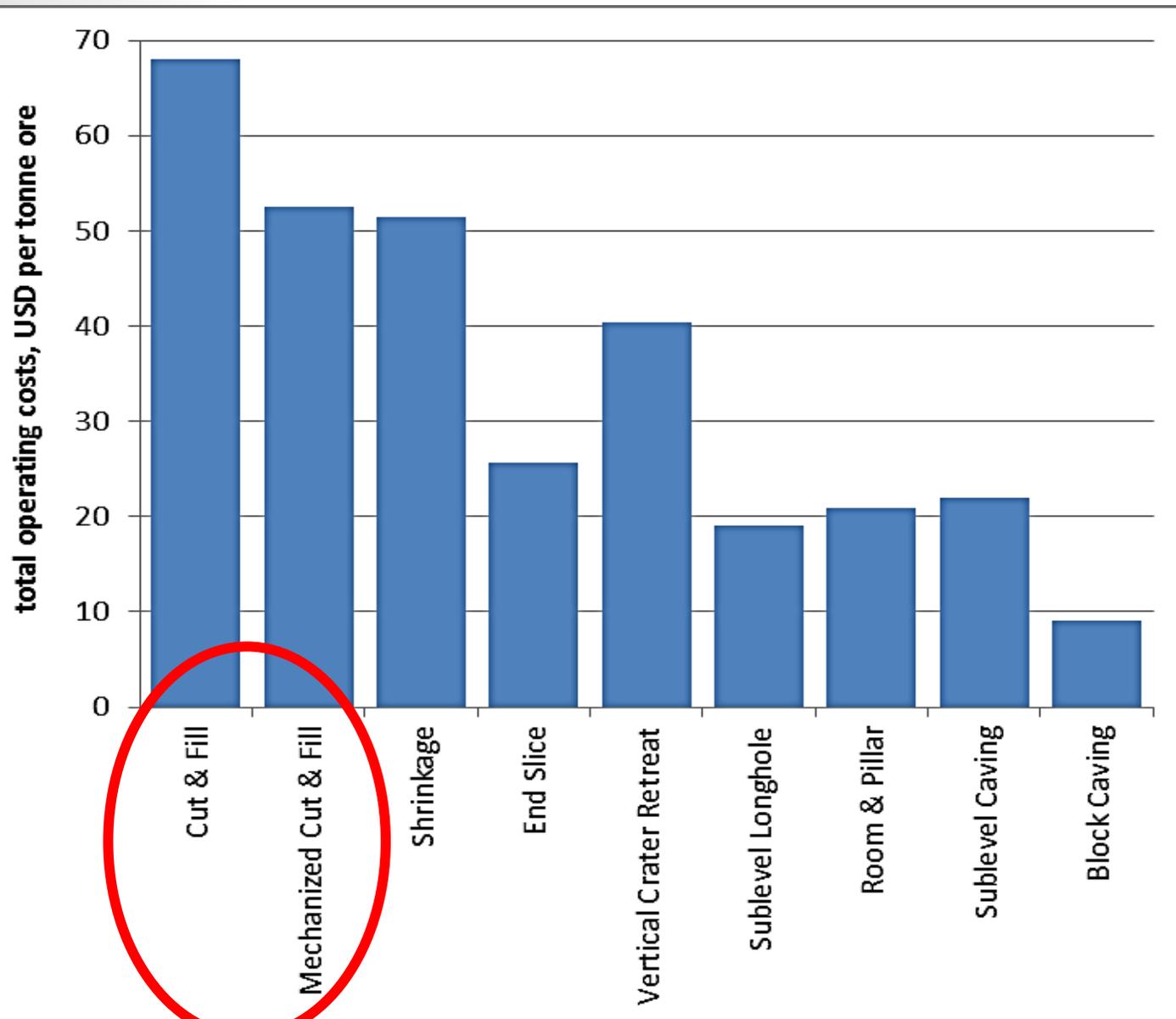
Location: Moscow, 2022

Условия применения систем разработки с закладкой по ПТЭ:

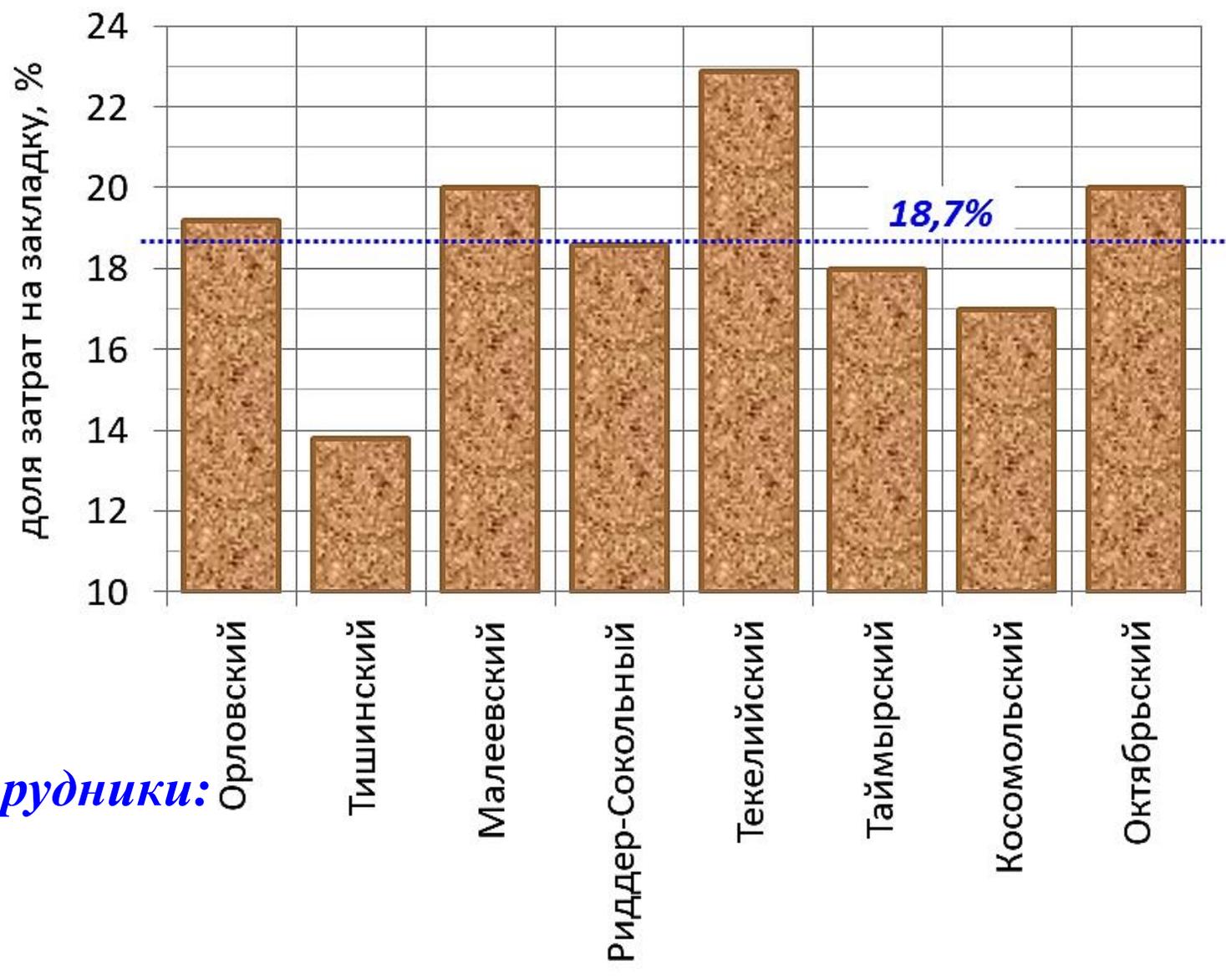
- *руды – средней устойчивости и выше;*
- *породы - средней устойчивости, требующие искусственного поддержания;*
- *высокая ценность руды;*
- *опасность горных ударов на больших глубинах;*
- *опасность самовозгорания руды;*
- *охрана водоносных горизонтов и сооружений на земной поверхности от вредного влияния горных работ*

Основные технологические схемы:

- *камерно-целиковая система;*
- *сплошная камерная система;*
- *система горизонтальных слоев в восходящем и нисходящем порядке.*



Системы с закладкой → самая высокая себестоимость добычи руды из-за затрат на закладку выработанного пространства



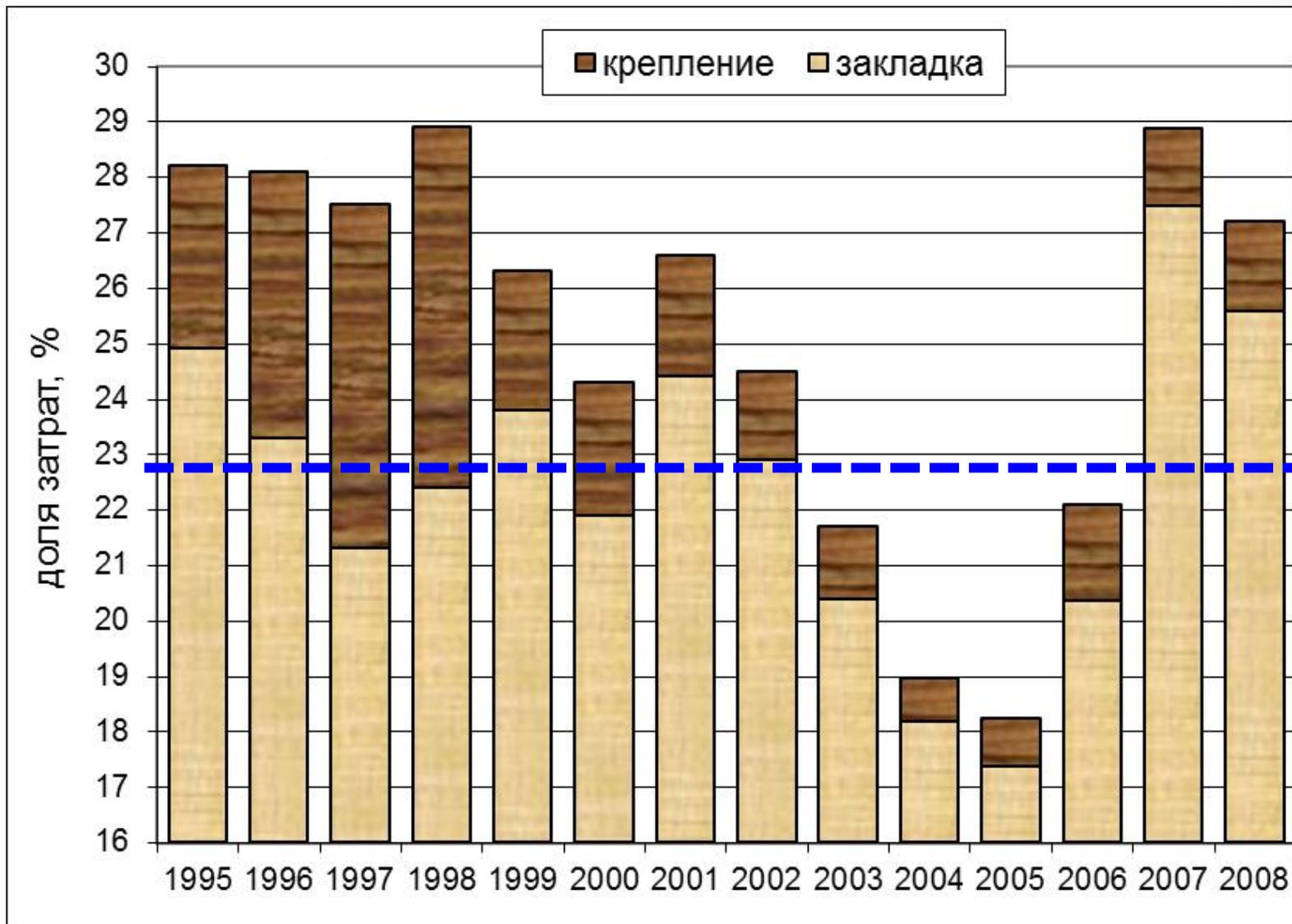
Системы с закладкой → самая высокая себестоимость добычи руды из-за затрат на закладку выработанного пространства

Затраты на управление горным давлением = (крепь + закладка) в себестоимости добычи руды

Орловский рудник

применяемые системы разработки с закладкой:

- *горизонтальными слоями в нисходящем порядке*
- *подэтажно-камерная*



ПТЭ:

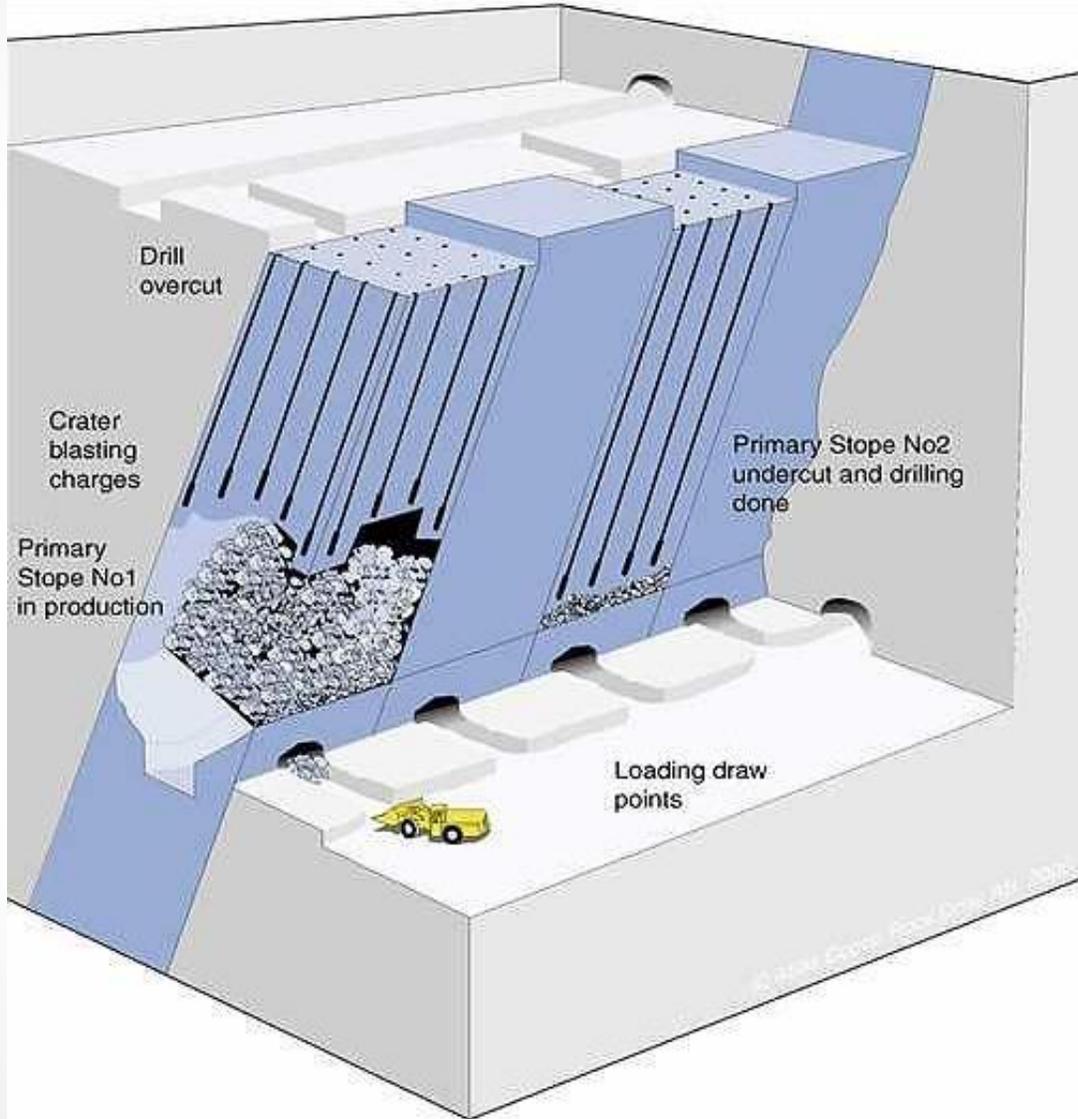
Система с камерной выемкой руды и закладкой

§ 227. Систему с камерной выемкой руды и последующей закладкой выработанного пространства рекомендуется применять для сплошной отработки рудных тел средней и выше средней мощности с любым углом падения при рудах и вмещающих породах, обеспечивающих устойчивость камер в период очистной выемки и закладки...

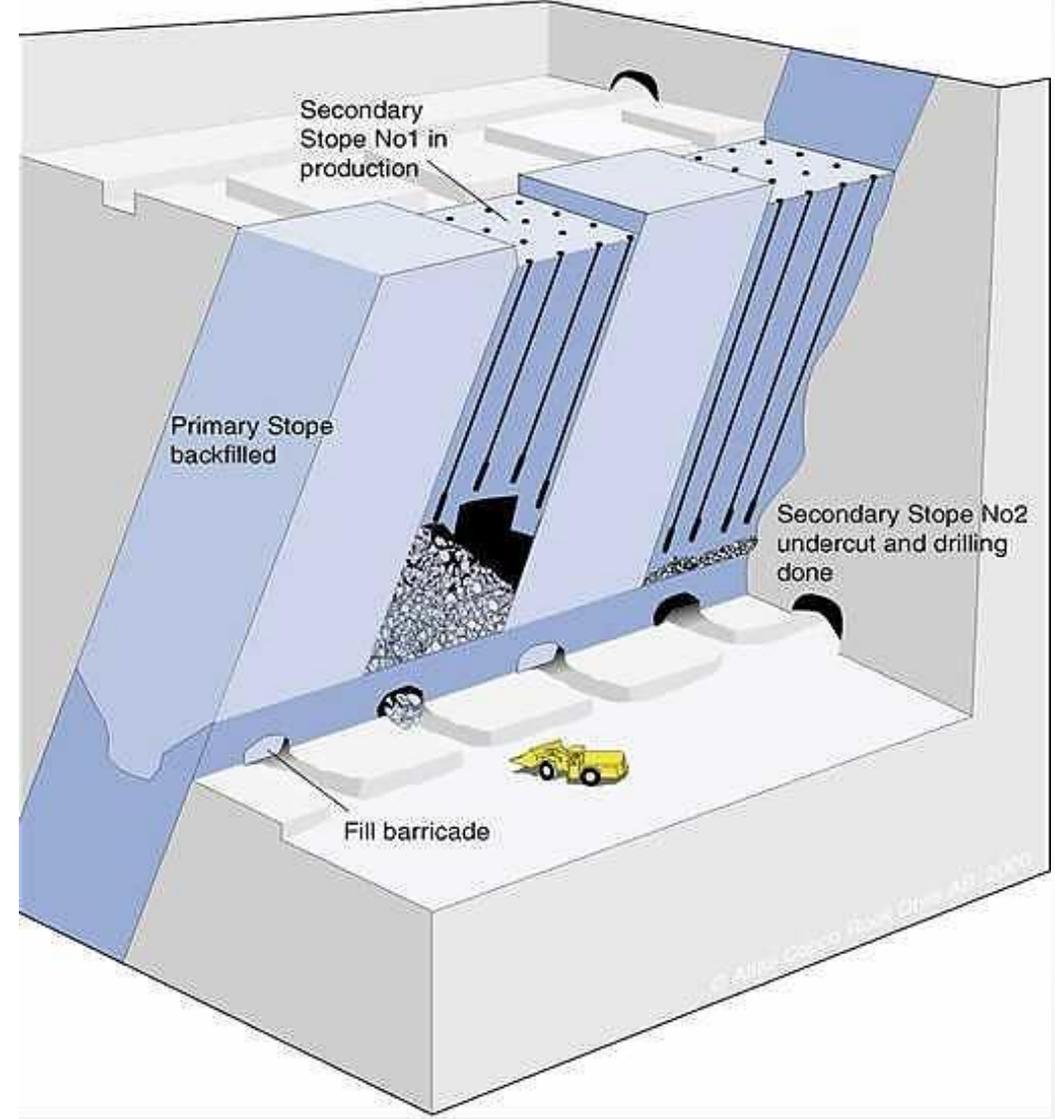
§ 228. Блок вынимать несколькими камерами в определенной последовательности, обеспечивающей полноту выемки руды и сохранность массива налегающих пород. Количество камер в блоке, их параметры, последовательность отработки и закладки определяются проектом в зависимости от конкретных горнотехнических условий.

§ 229. В зависимости от устойчивости руд и вмещающих пород очистную выемку в камерах вести одной из систем с открытым выработанным пространством или с магазинированием руды.

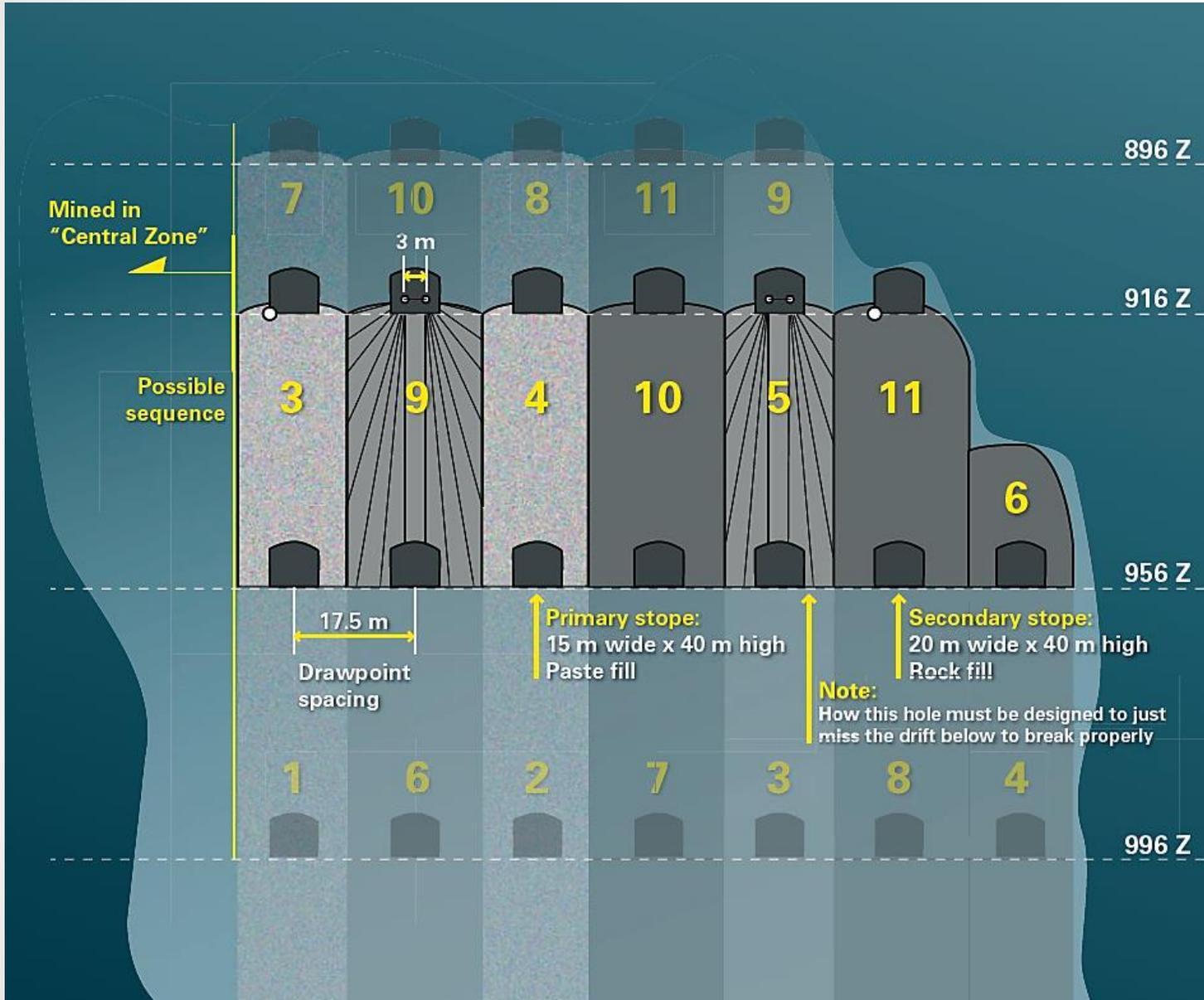
● *отработка первичных камер*

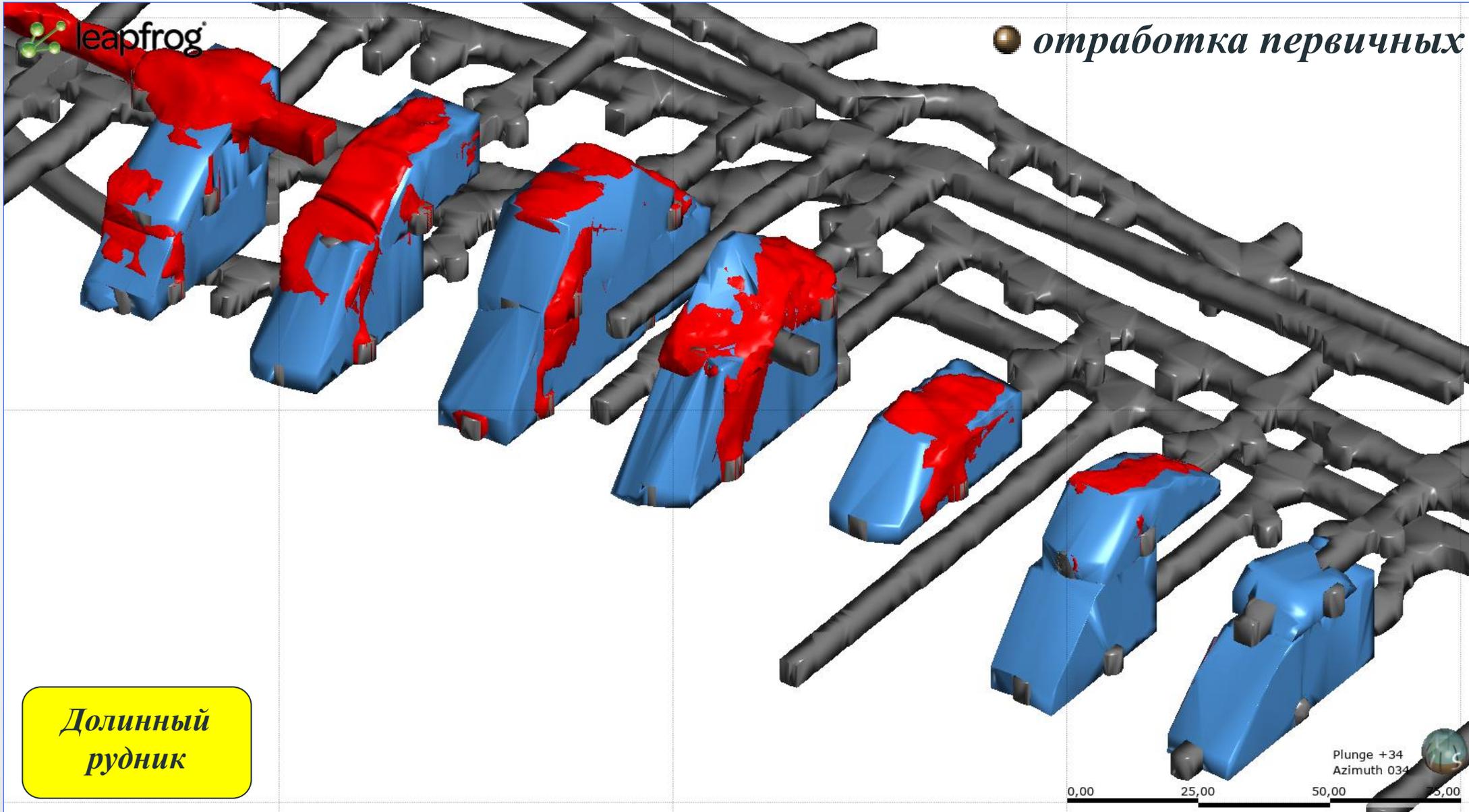


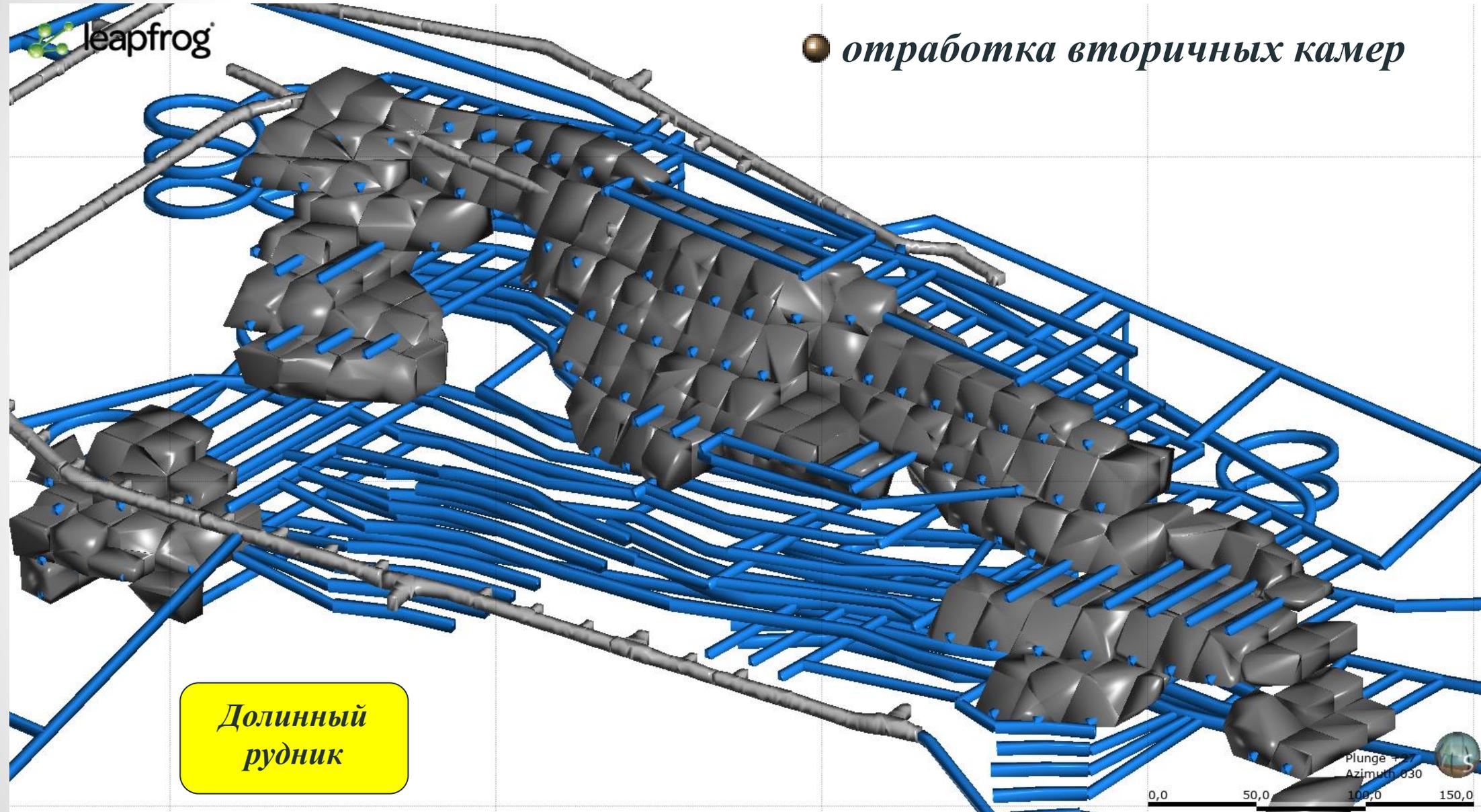
● *отработка вторичных камер*



GARPENBERG, SWEDEN

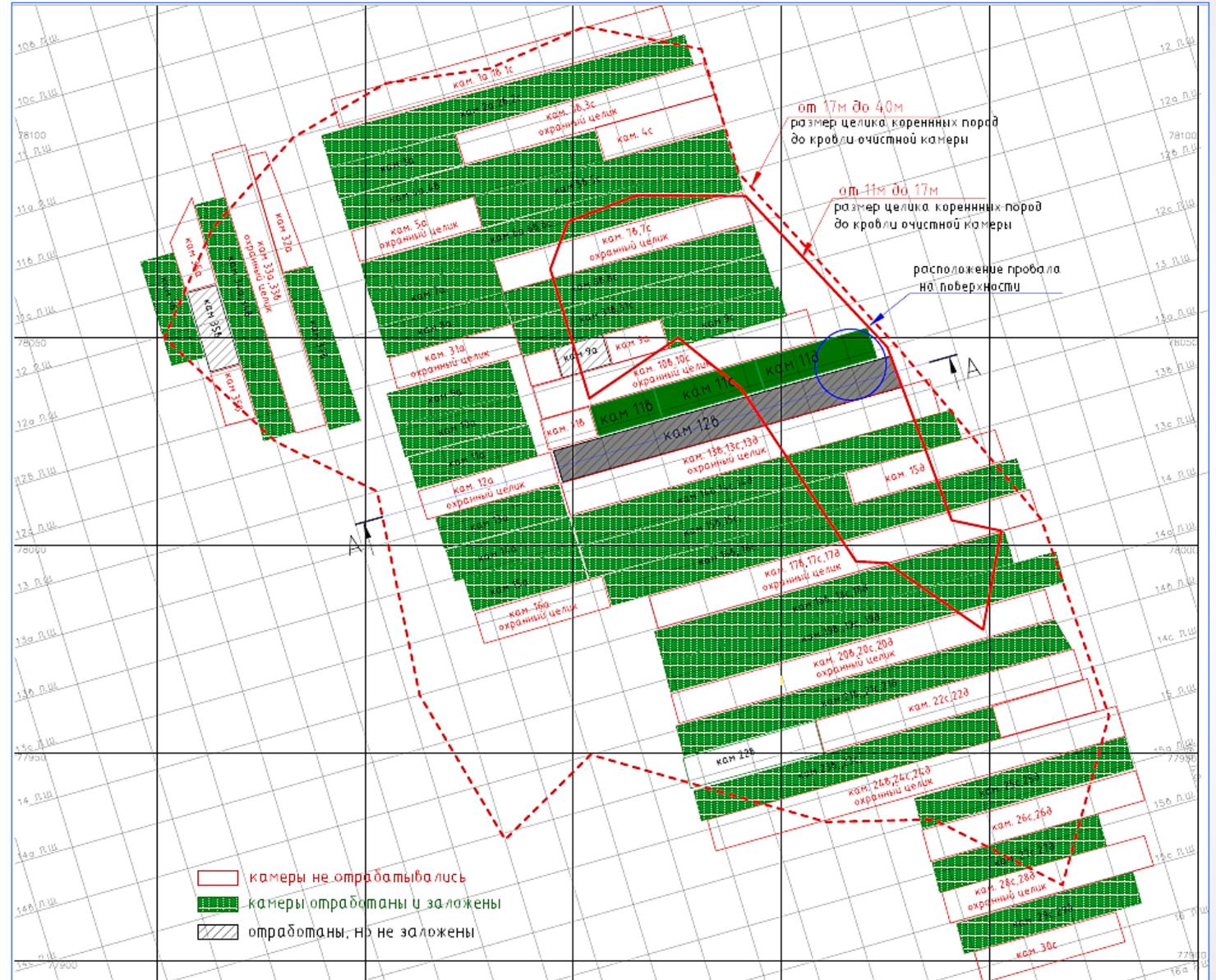






PCP

**Быструшинская залежь
Блок 30**



● *определение параметров камер*

это отдельная тема

Оценка устойчивости камер и целиков

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

Location: Moscow, 2022

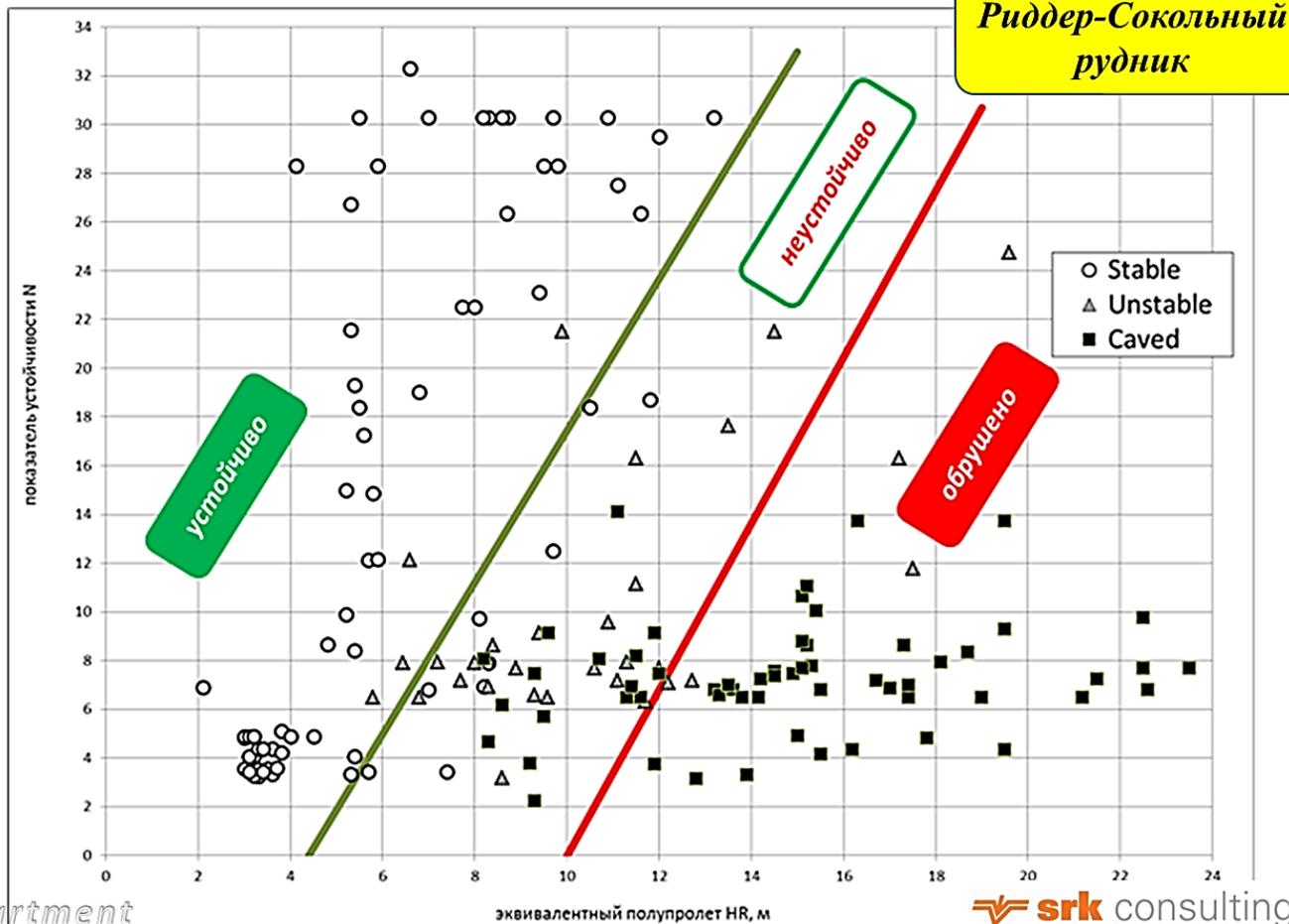
 **srk** consulting

© SRK Consulting (Russia) Ltd 2020. All rights reserved.

● определение параметров камер

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ УСТОЙЧИВОСТИ И ОБРУШЕНИЯ КАМЕР ПО МЕТОДИКЕ МЭТЬЮЗА

Количество камер: устойчивых = 70;
неустойчивых = 32; обрушенных = 60
всего = 161



GT Department

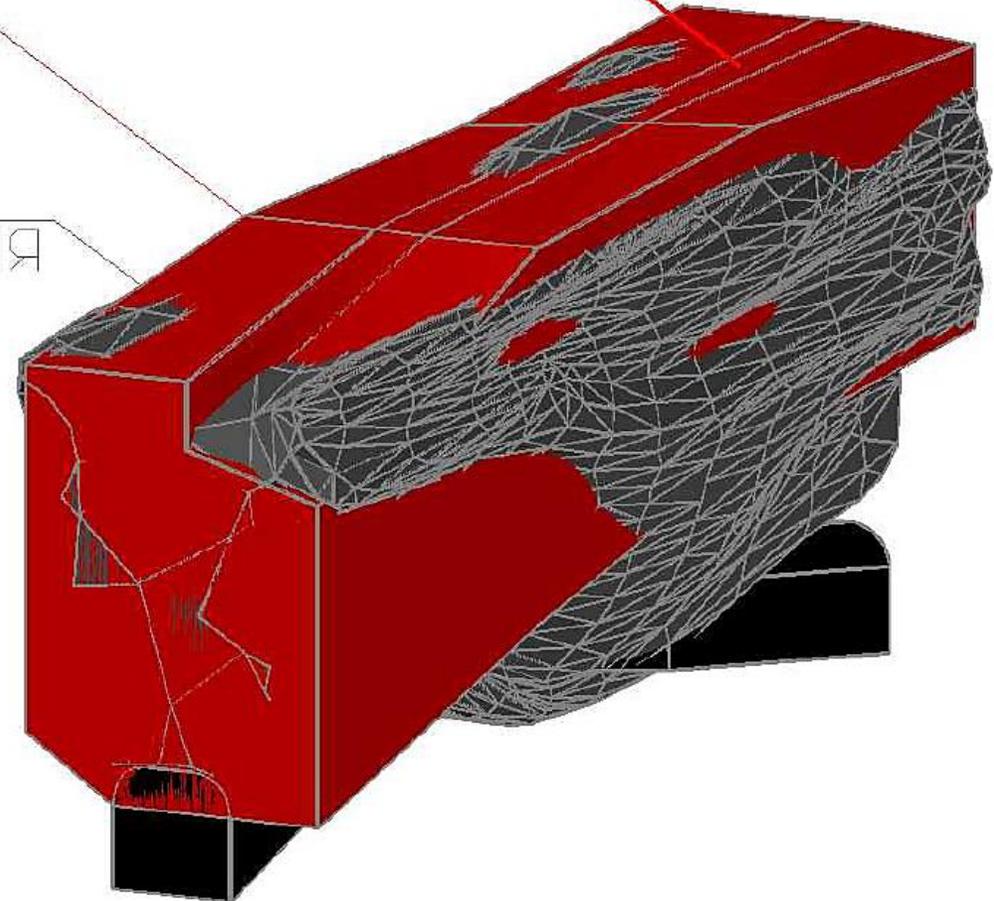
srk consulting

*Маркшейдерский контроль
размеров камер → CMS*

ПРОЕКТНЫЙ
КОНТУР

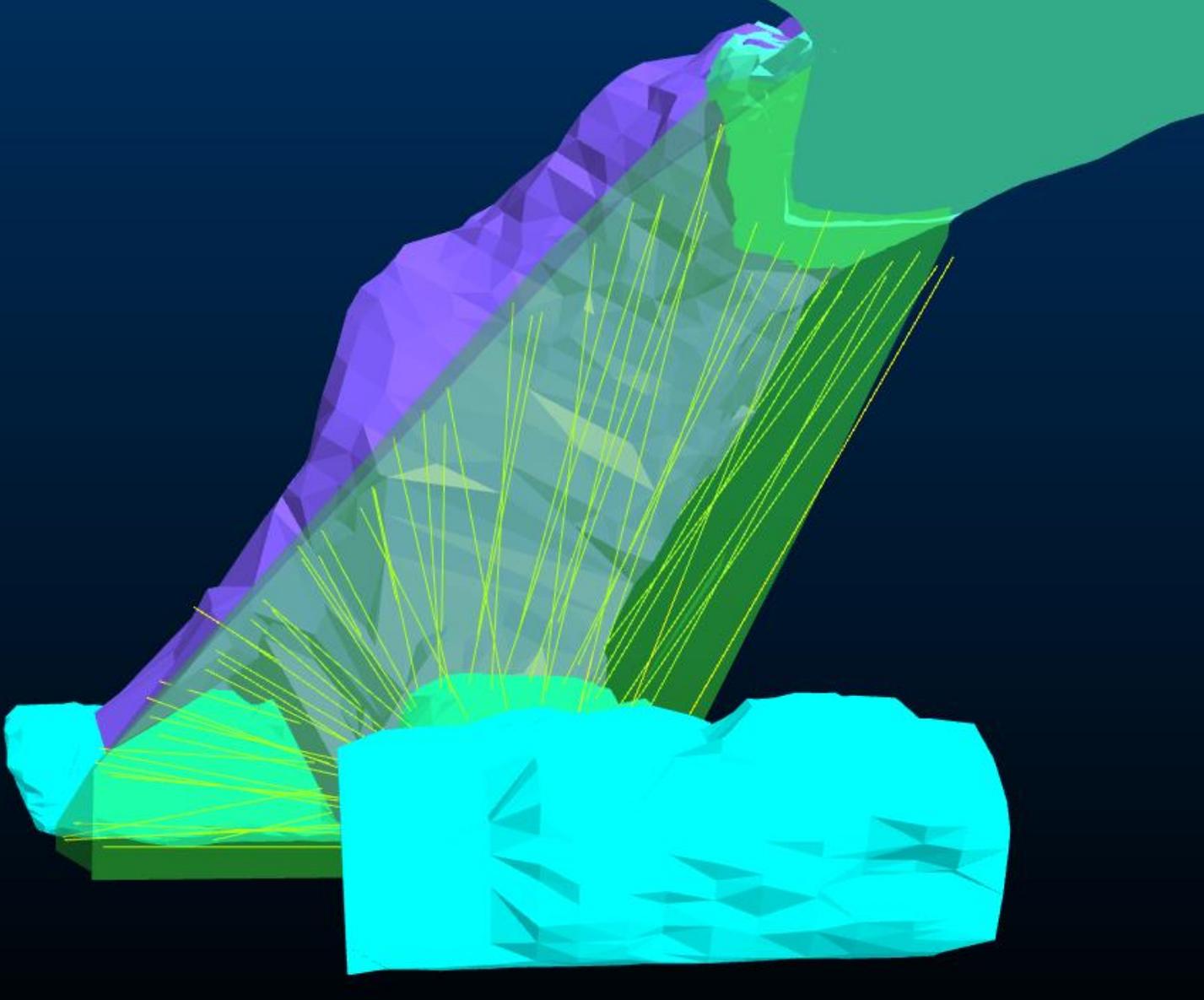
РЕЗУЛЬТАТ
СКАНИРОВАНИЯ

Камера 31с



*кровля = устойчива
борта = перебор*

*Маркшейдерский контроль
размеров камер → CMS*

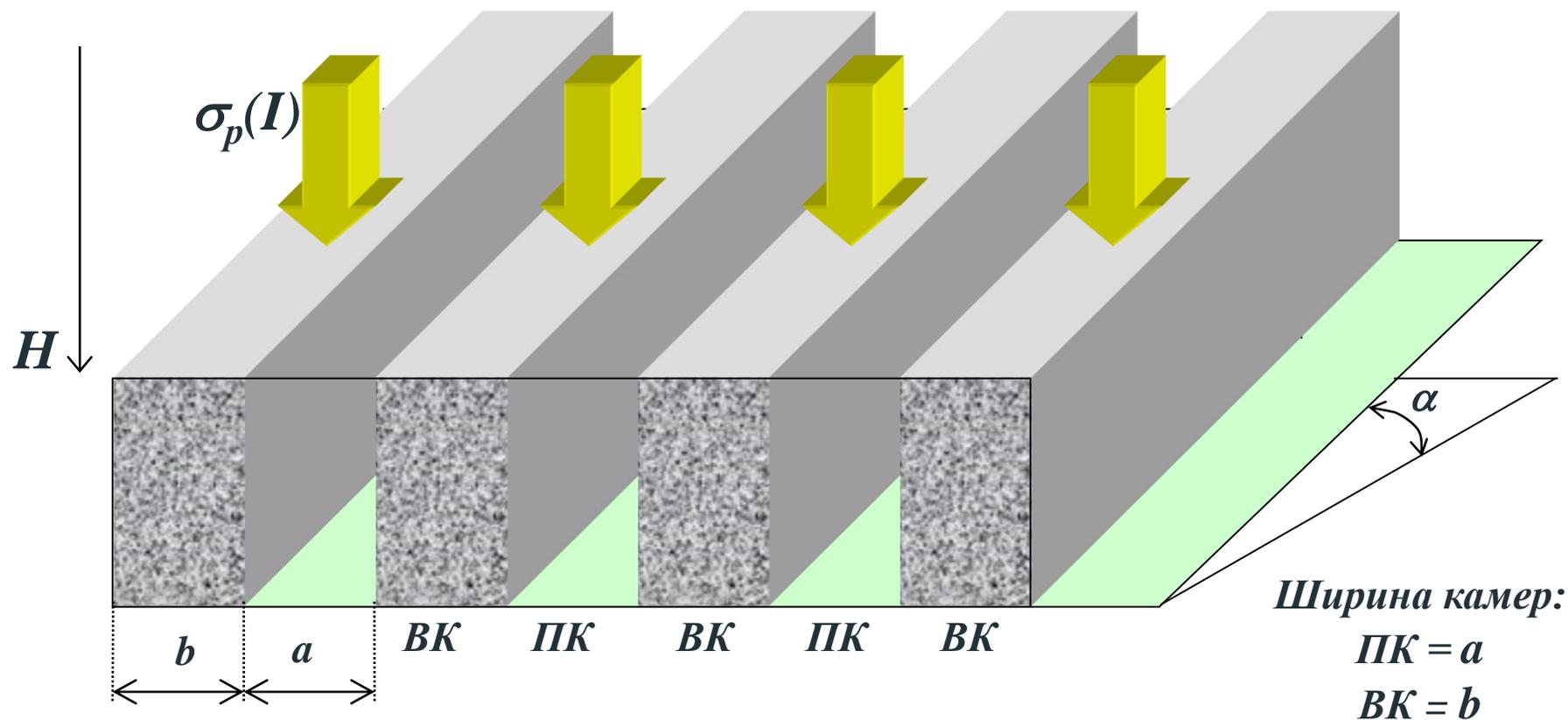


*висячий бок камеры
обрушается*

Нагрузки на целики при выемке камер в 2 очереди:

● **стадия отработки первичных камер (ПК)**

$\sigma_p(I)$ – действующие напряжения в рудных целиках (р) на стадии отработки ПК (I) на глубине H



● **Давление на рудные целики (p) после выемки ПК (I):**

$$\sigma_p(I) = \gamma H \cdot (\underbrace{\cos^2 \alpha + \lambda \cdot \sin^2 \alpha}_{\text{коэффициент}}) \cdot (a + b) / b$$

Если $a = b$ и $\alpha = 0^\circ$, тогда: $\sigma_p(I) = 2\gamma H$

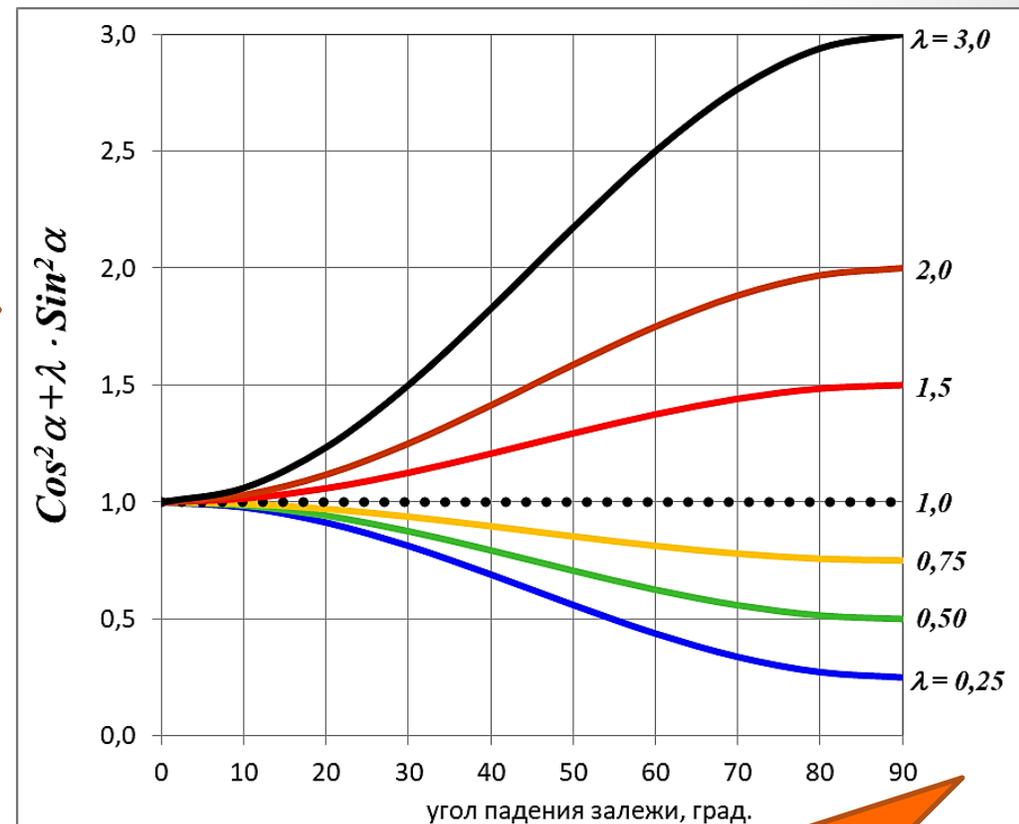
Если $a = b$ и $\alpha = 90^\circ$, тогда: $\sigma_p(I) = 2\lambda\gamma H$

На горизонтальных залежах давление на рудные целики (ВК) формируется вертикальным давлением γH ;

При вертикальном залегании - горизонтальным давлением $\lambda\gamma H$ вкрест простирания залежей.

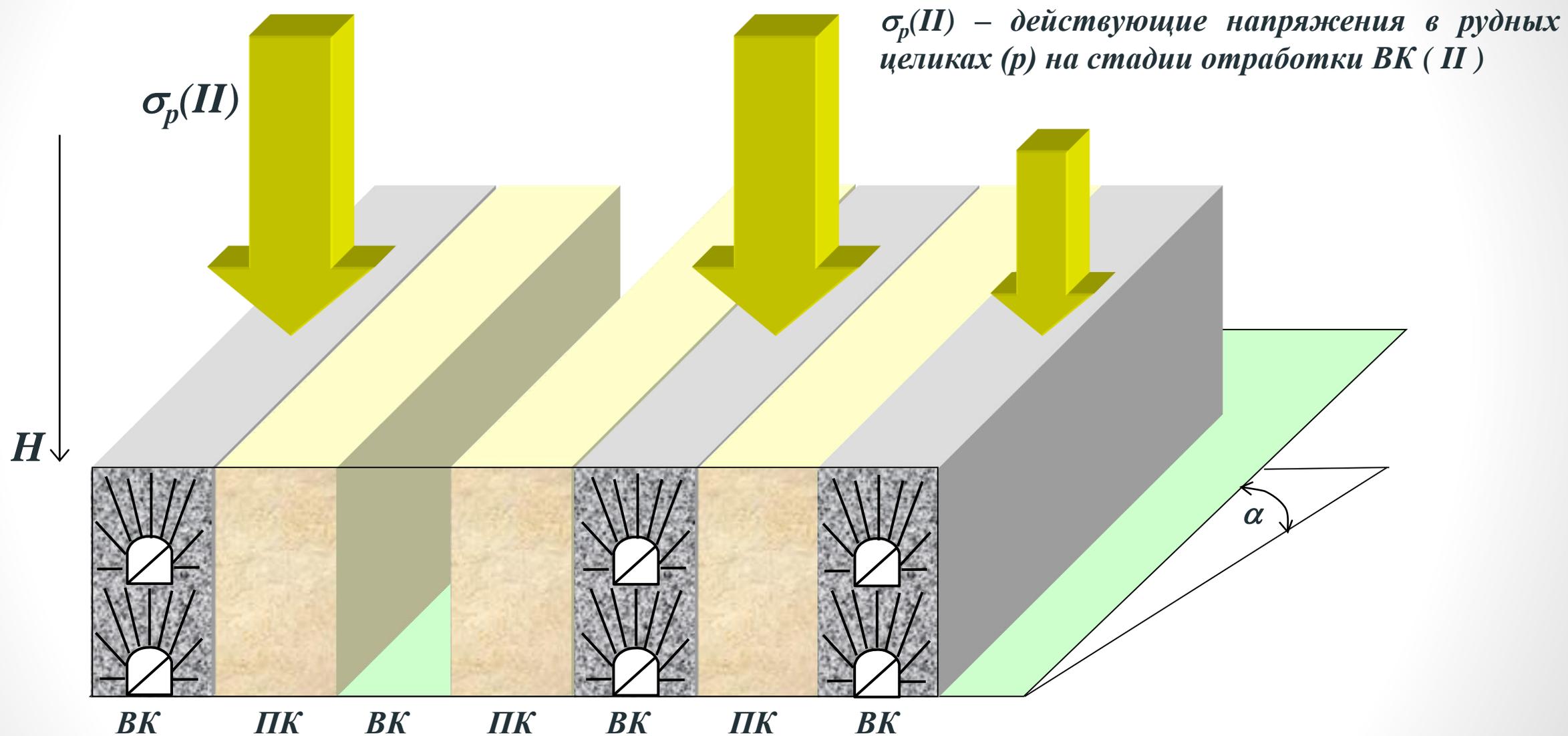
● **Давление вмещающих пород на закладку в ПК:**

$\sigma_3(I) \sim 0$ из-за усадки закладки, недозакладки камер



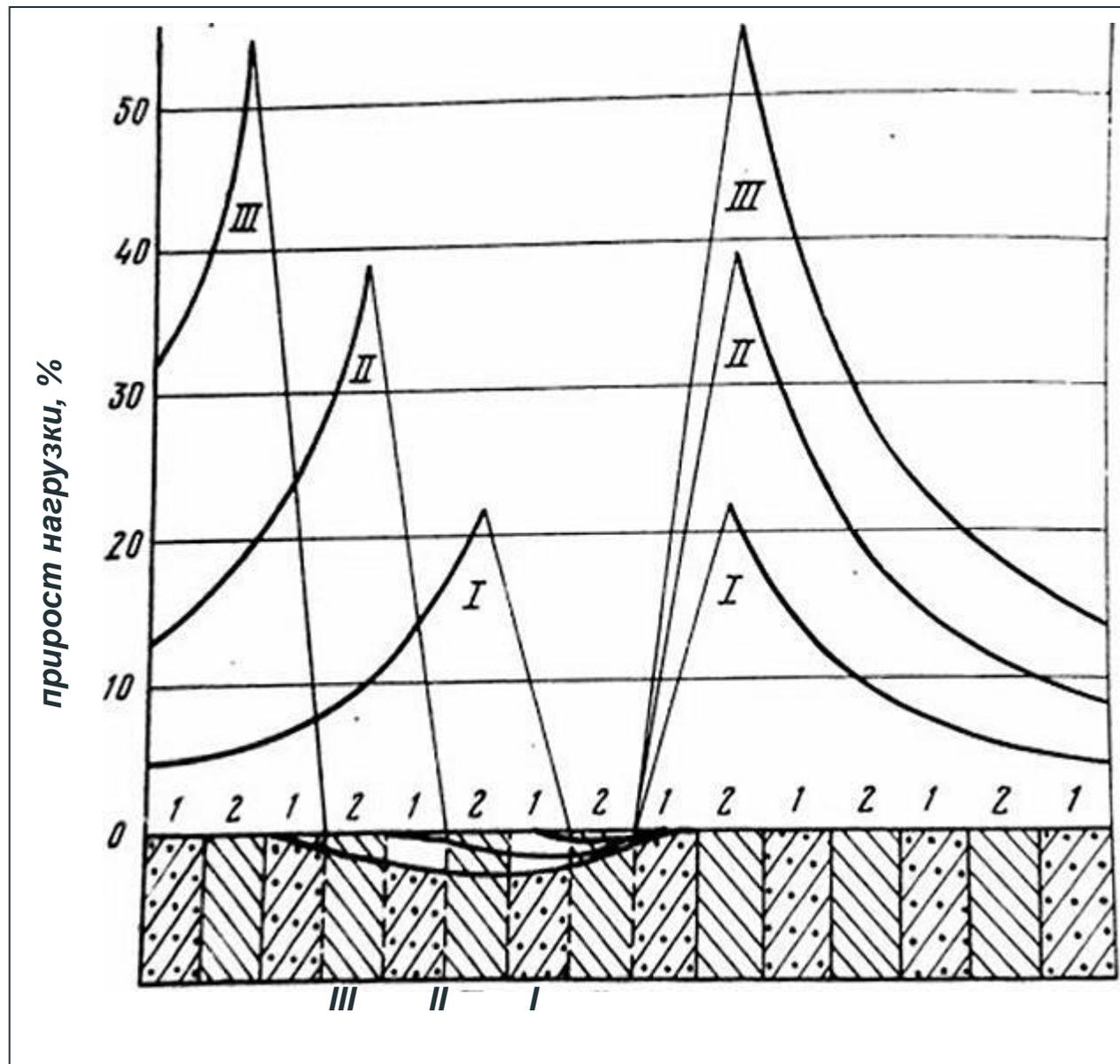
поэтому крайне важно знать характер природного напряженного состояния массива

● *стадия обработки вторичных камер (ВК)*



● стадия обработки вторичных камер (ВК)

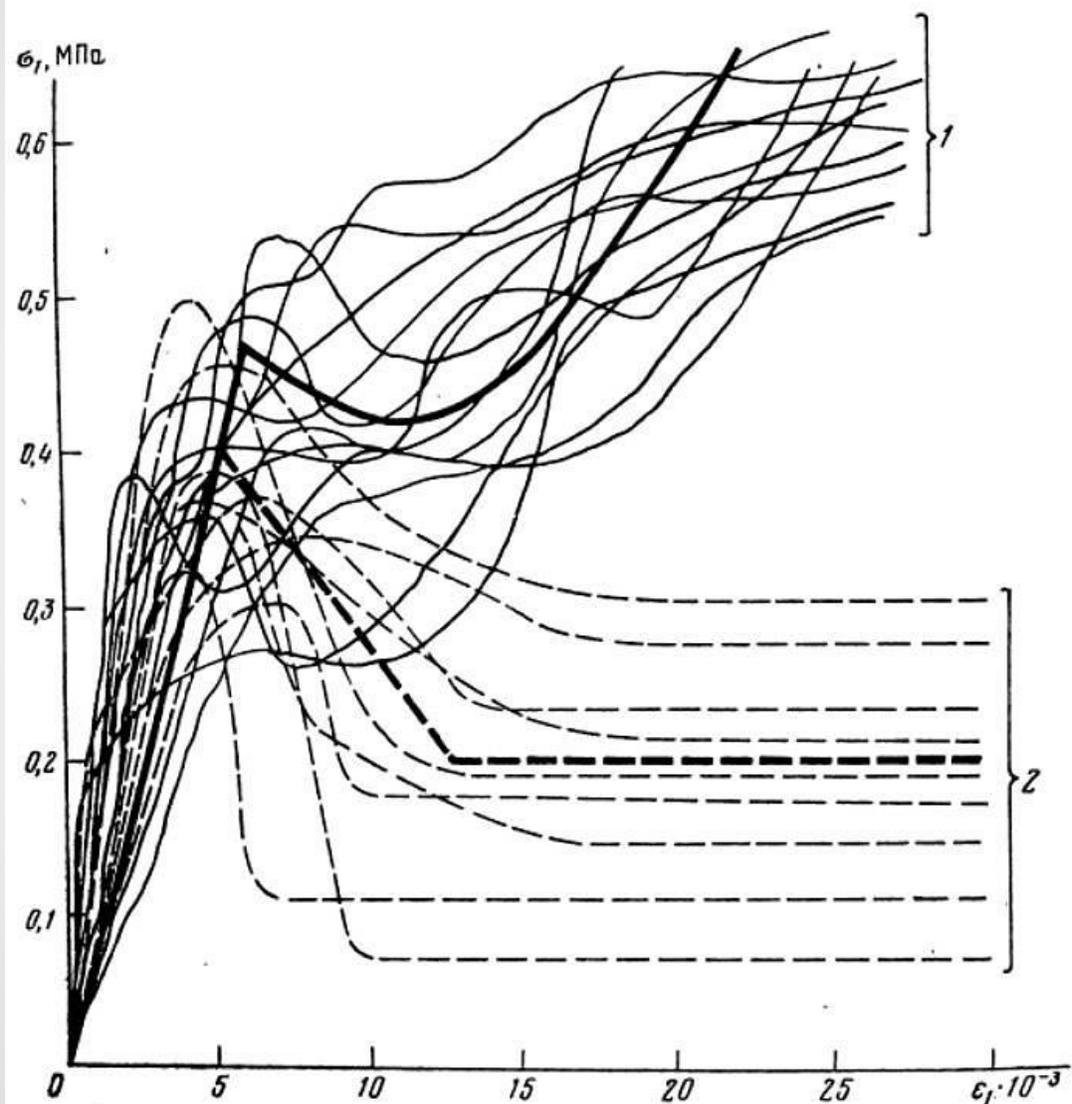
при обработке ВК давление с обработанных рудных целиков перераспределяется на оставшиеся



I, II, III = обработаны одна, две, три ВК

1, 2 = ПК, ВК

Упрочнение целиков закладкой



по результатам моделирования на эквивалентных материалах очень разное ($K_y = 1,1 \div 3,6$) и зависит от:

- соотношения свойств закладки и руды (чем ближе свойства закладки к руде, тем больше упрочнение);
- высоты целиков (чем выше целик, тем больше упрочнение);
- ширины заложённых камер (чем шире массив закладки, тем меньше упрочнение)

продольная деформация $\epsilon_1 \cdot 10^{-3}$	сопротивление σ_1 , кПа / коэффициент вариации, %		коэффициент упрочнения
	в закладке (2)	без закладки (1)	
5,00*	472 / 20	408 / 16	1,16**
10,0	401 / 19	222 / 36	1,81
12,5	420 / 16	216 / 35	1,94
18,8	486 / 17	213 / 39	2,28
25,0	514 / 12	213 / 39	2,41

Макаров А., 1982

* в предельном состоянии

** статистически незначимо

статистически значимое упрочнение целиков закладкой появляется только на стадии их разрушения

- *Давление на оставшиеся рудные целики (ВК) в процессе выемки ВК:*

$$\sigma_p(II) = \sigma_p(I) \cdot K_k / K_o$$

где $K_k \sim 1,3 \div 1,5$ – коэффициент концентрации опорного давления;

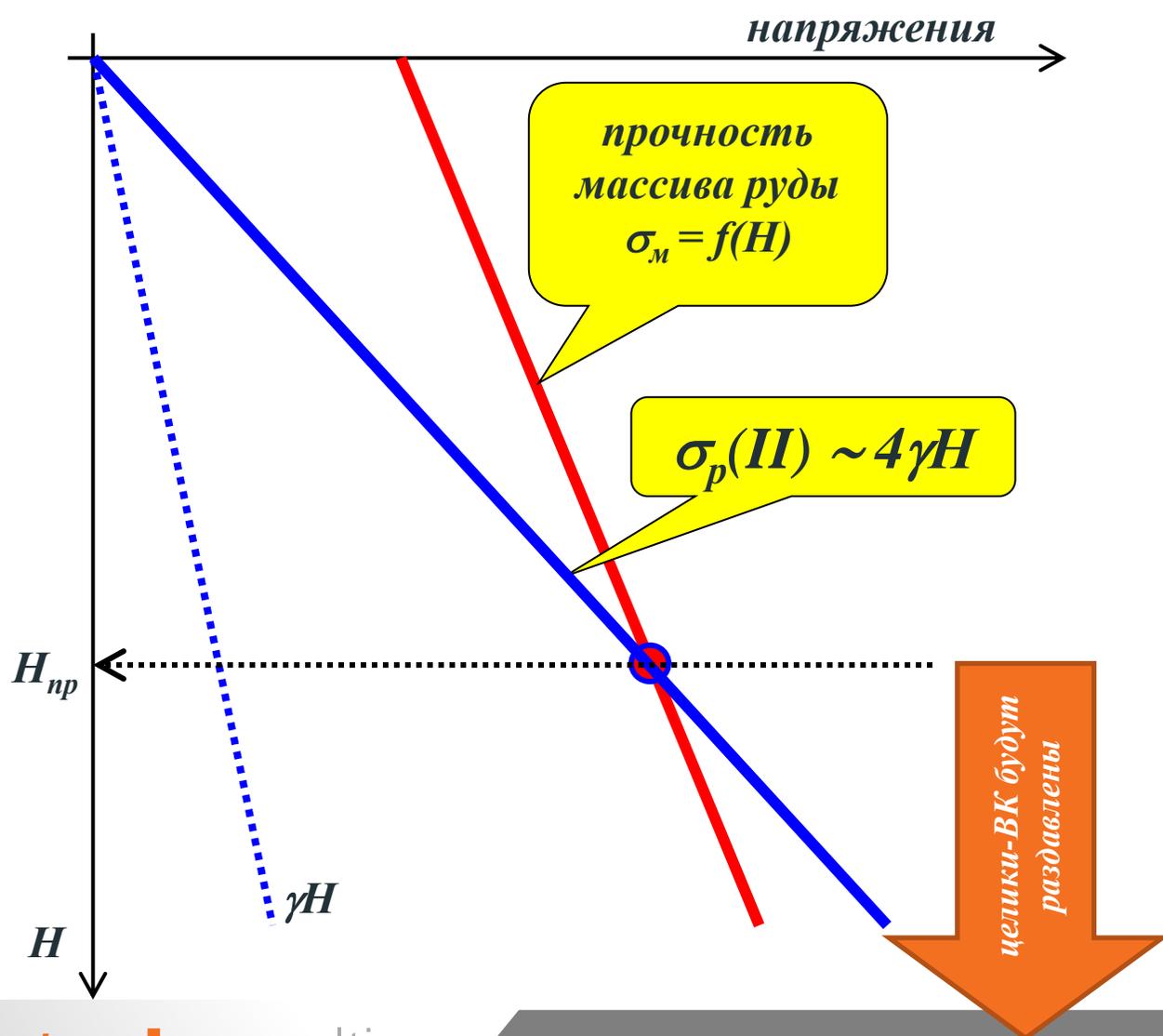
$K_o = 0,6 \div 0,7$ – коэффициент ослабления целика нарезными выработками

$$\sigma_p(II) \sim 2 \sigma_p(I)$$

- *на горизонтальных залежах: $\sigma_p(II) \sim 4\gamma H$*
- *на вертикальных залежах: $\sigma_p(II) \sim 4\lambda\gamma H$*

*на стадии отработки ВК
действующие напряжения в
оставшихся рудных целиках
УДВАИВАЮТСЯ !!!*

● *Предельная глубина применения камерно-целиковых систем разработки*



Жезказган:
 $H_{пр} \sim 400 \text{ м}$

Норильск:
 $H_{пр} \sim 200 \text{ м}$

Гайский ГОК:
 $H_{пр} \sim 750 \text{ м}$

Тишинский рудник:
 $H_{пр} = 600 \text{ м}$

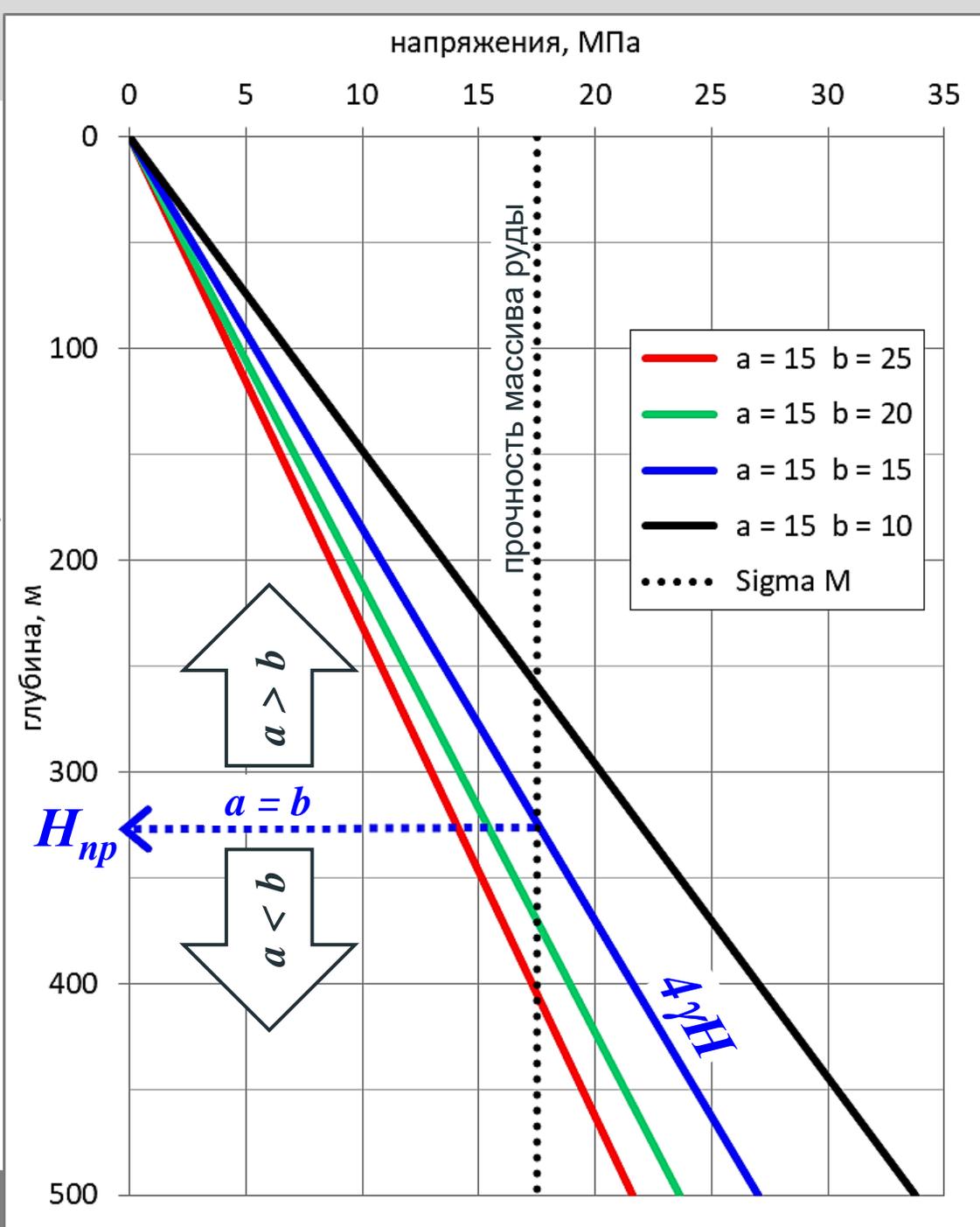
Глубже предельной глубины необходимо переходить на сплошную камерную систему разработки с закладкой



Давление на рудные целики (p) после выемки ПК (I):

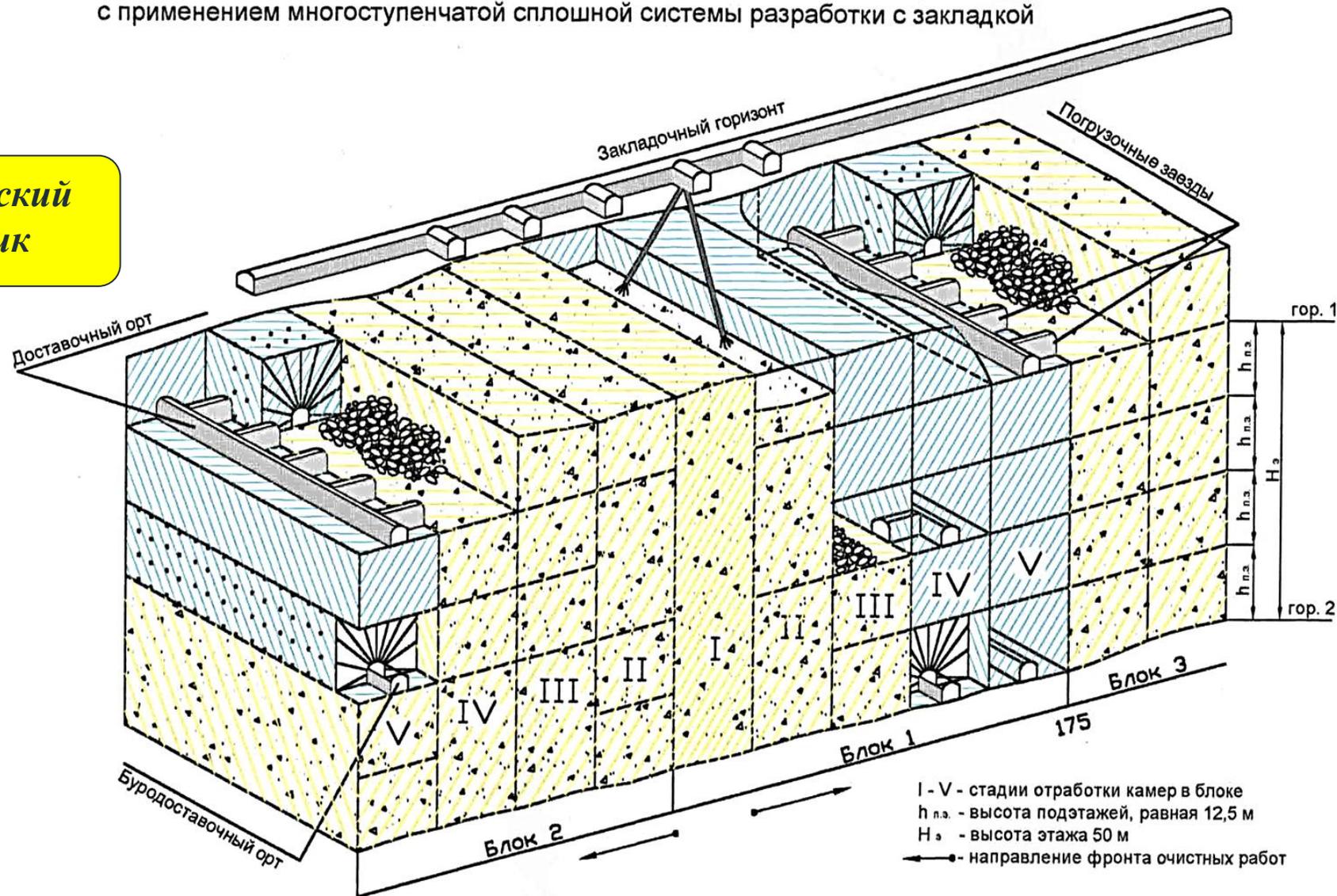
$$\sigma_p(I) = \gamma H \cdot (\cos^2 \alpha + \lambda \cdot \sin^2 \alpha) \cdot \underbrace{(a + b) / b}$$

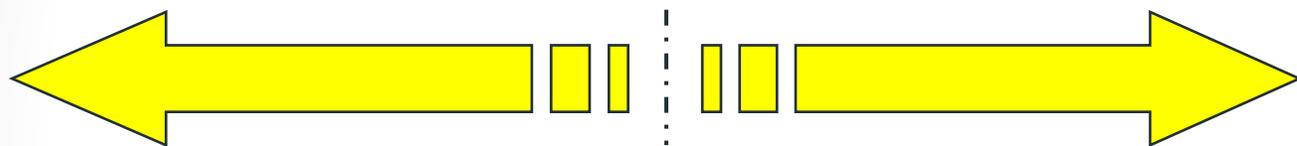
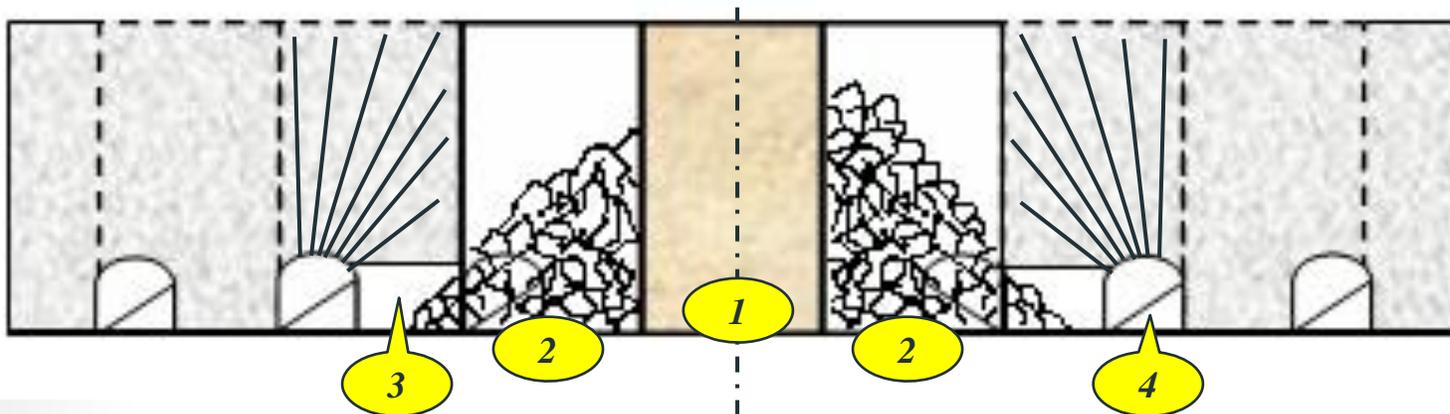
a	b	a/b	(a+b)/b
15	25	0,60	1,60
15	20	0,75	1,75
15	15	1,00	2,00
15	10	1,50	2,50



Технологическая схема отработки выемочного участка в составе двух блоков с применением многоступенчатой сплошной системы разработки с закладкой

Малеевский
рудник

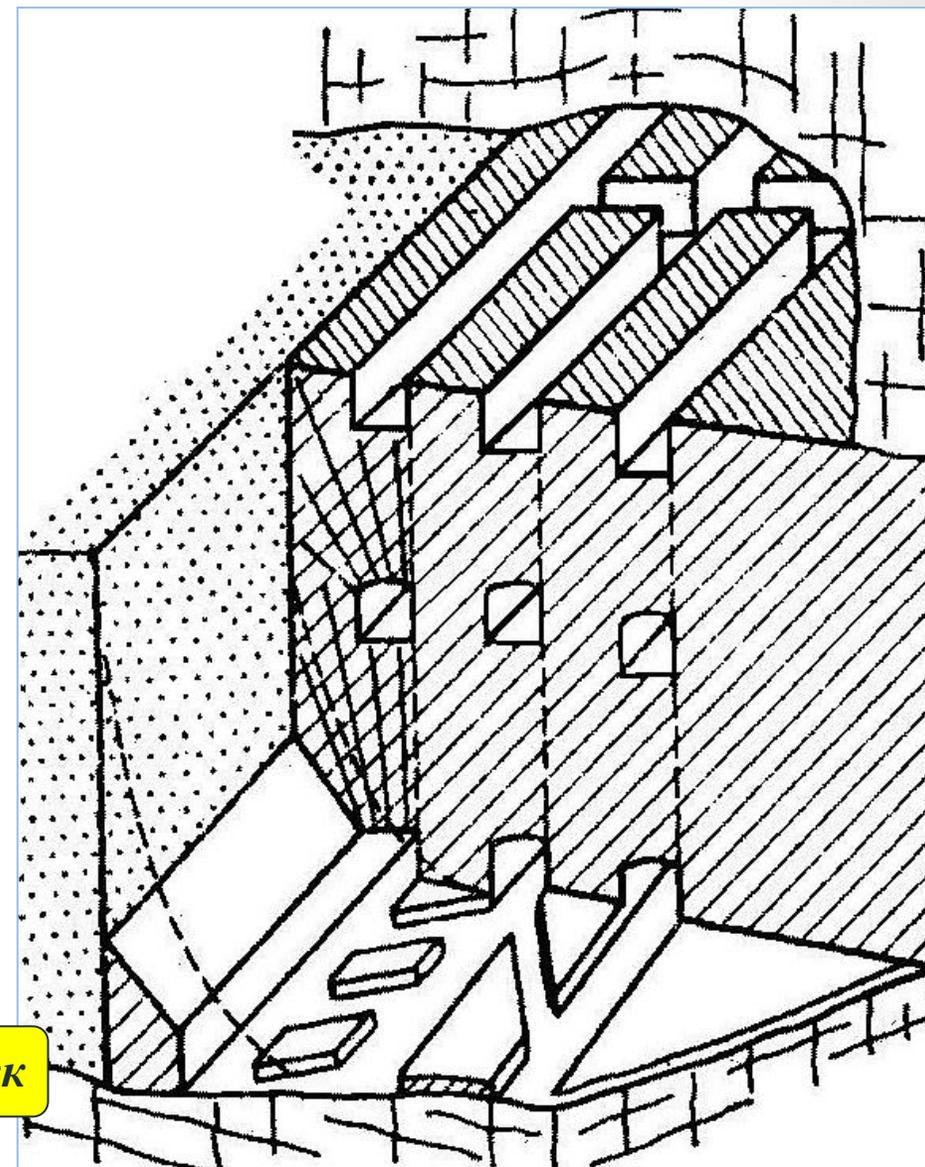




*Сплошная камерная система с выемкой камер
вприсечку без оставления рудных целиков*

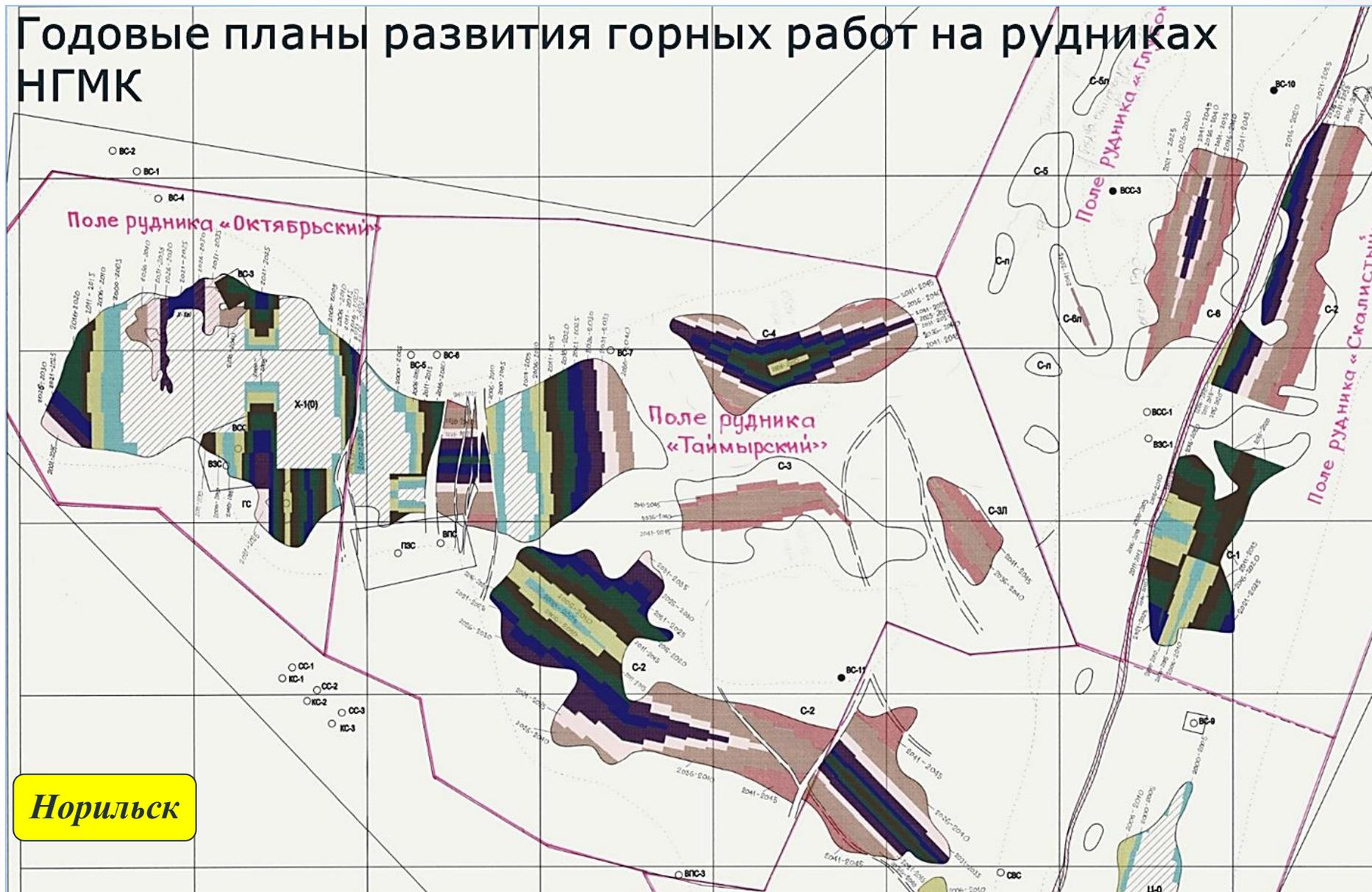
- 1 – отработано, заложено (разрезная лента)*
- 2 – отбойка, отгрузка вприсечку к закладке*
- 3 – погрузочные заезды*
- 4 – буро-погрузочный орт*

Норильск

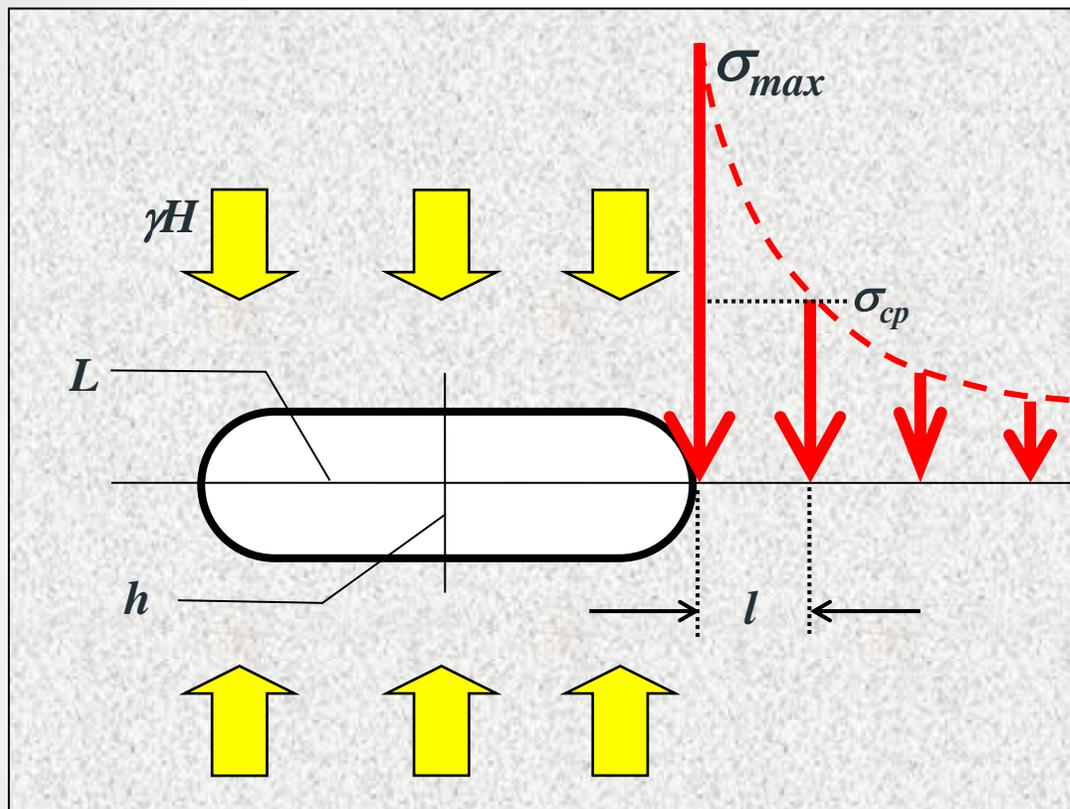


Сплошная камерная система с выемкой камер вприсечку

Годовые планы развития горных работ на рудниках НГМК



● Опорное давление на границе сплошной отработки



Модель = распределение напряжений у границ эллиптического отверстия (Колосов Г.В., 1909 – Инглис К., 1913):

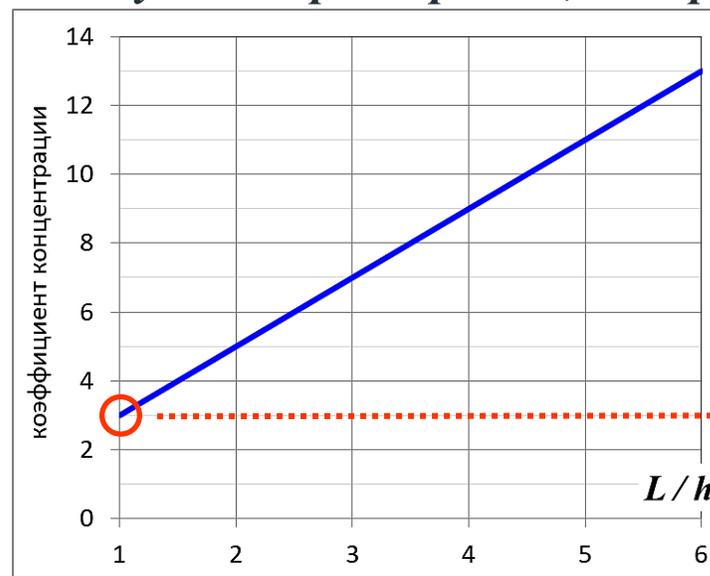
$$\sigma_{max} = \gamma H (1 + 2 \cdot L/h)$$

коэффициент концентрации напряжений на границе отработки

L – пролет отработки; h – выемочная мощность;
 H – глубина горных работ; l – пролет очистной камеры

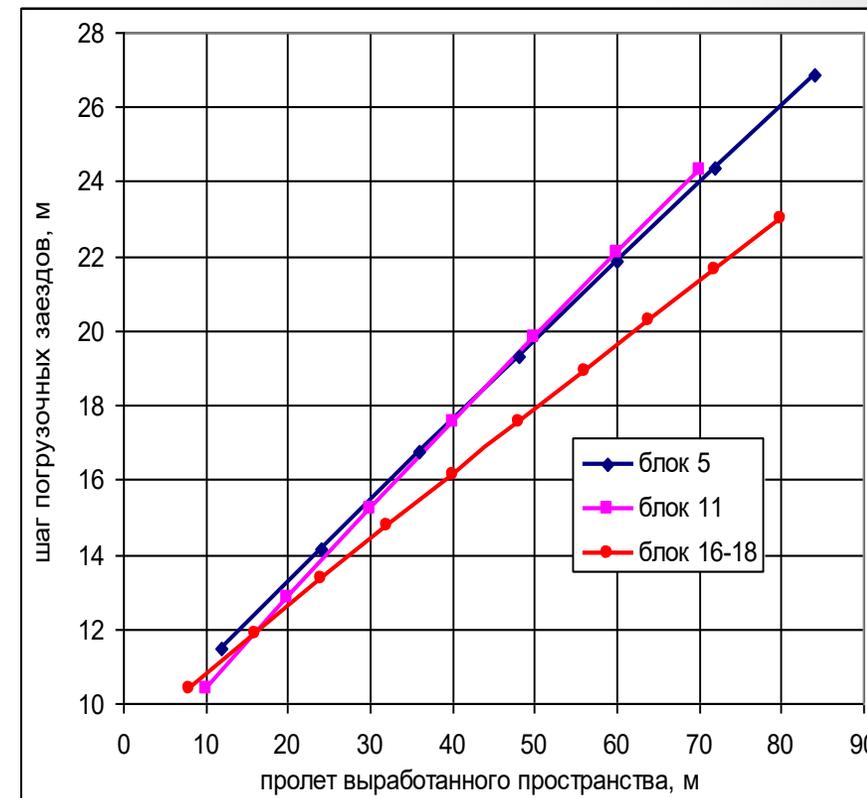
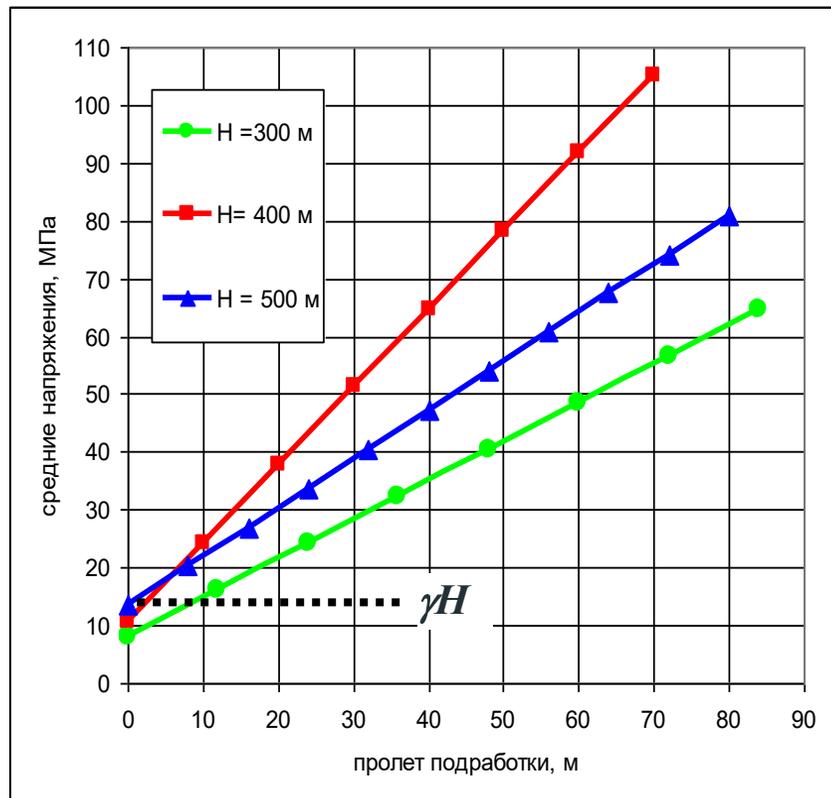
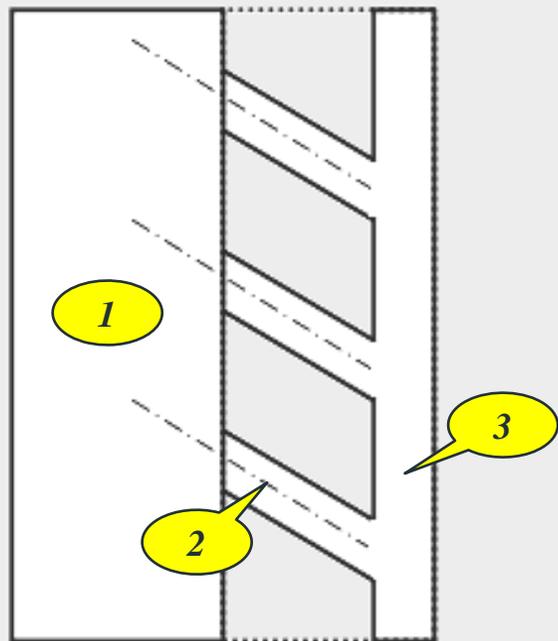
На ширине очистной камеры:

$$\sigma_{cp} = \gamma H (1 + 1,5 \cdot L/h)$$



при $L/h = 1$ эллипс → круг, решение Куриша Б., 1898

● Расчет параметров рудного днища в зоне опорного давления



- 1 – обрабатываемая камера
- 2 – погрузочные заезды
- 3 – буро-погрузочный орт

**Артемьевский
рудник**

● При использовании камерных систем возможны два режима нагружения закладки:

1. Если подработанная толща сохраняет **устойчивость**, тогда давление вмещающих пород на закладку σ_3 :

$$\sigma_3 = E_3 / E_p \cdot \sigma_p$$

режим заданных смещений

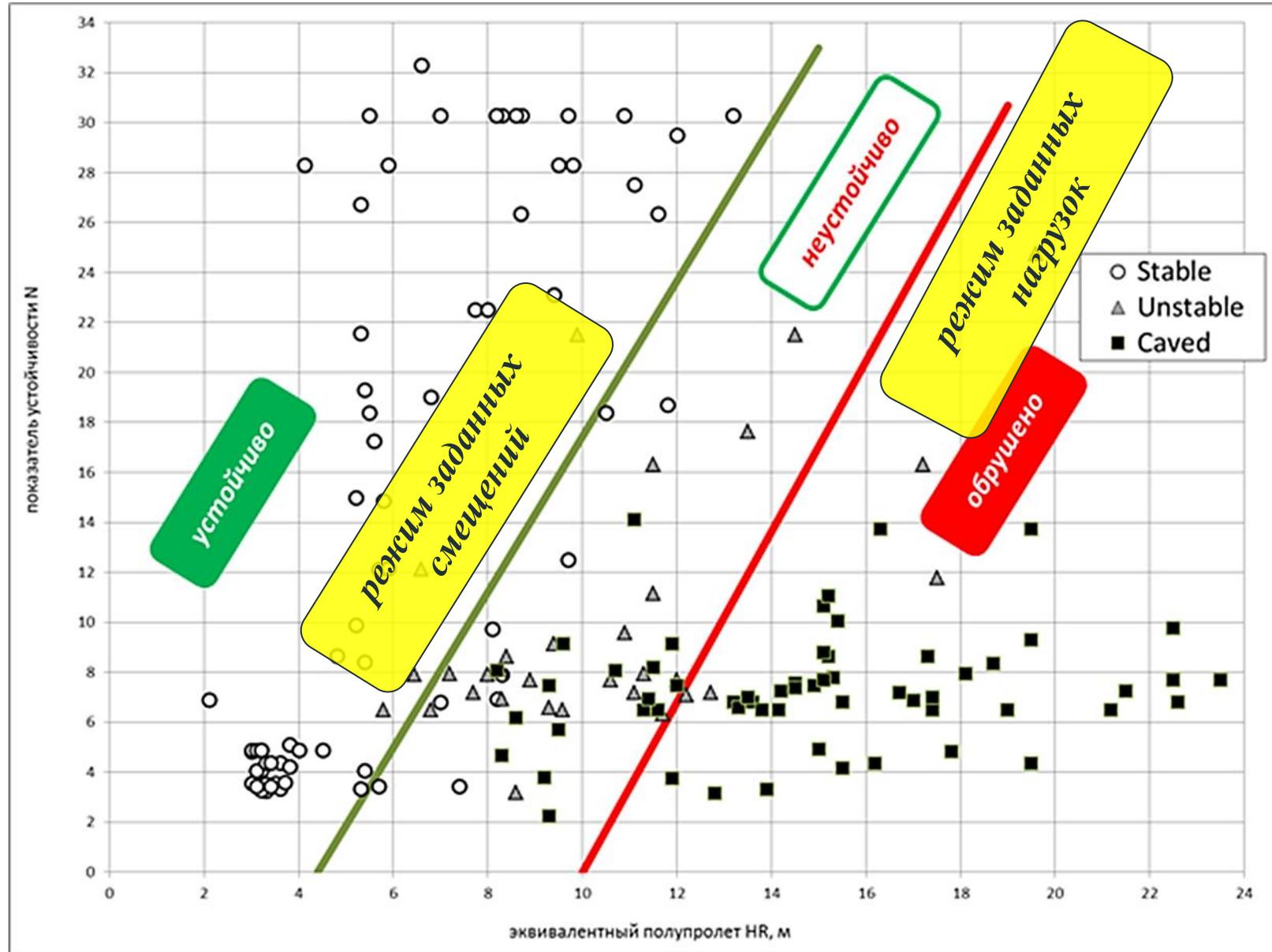
E_3, E_p – модули деформации закладочного и рудного массивов; σ_p – давление на рудный / породный массив
если $E_3 / E_p = 1 \div 3\%$, тогда $\sigma_3 = (0,01 \div 0,03) \cdot \sigma_p$

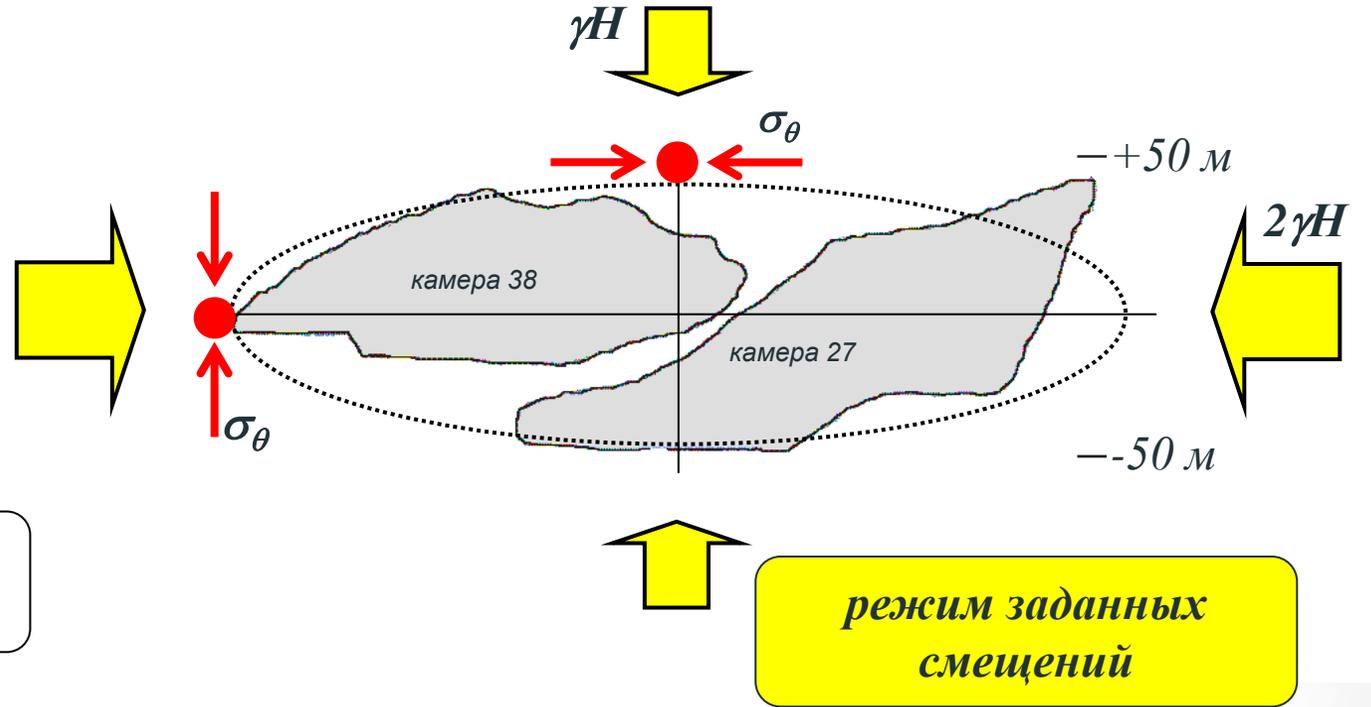
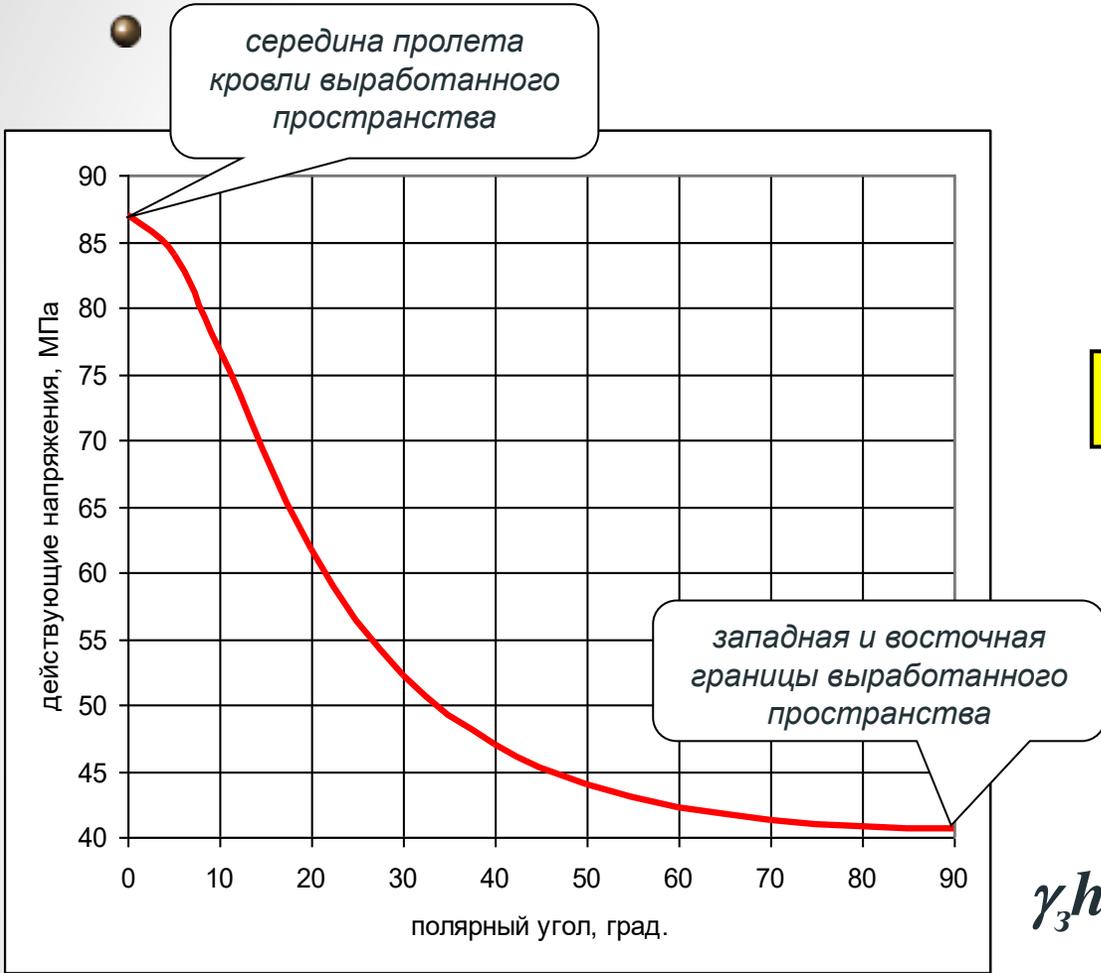
2. Если подработанная толща **обрушается** (сдвигается), тогда давление вмещающих пород на закладку определяется весом пород в контуре зоны обрушения (сдвижения):

$$\sigma_3 = \gamma h_{обр}$$

режим заданной нагрузки

$h_{обр}$ – высота зоны обрушения / сдвижения с разрывом сплошности





$$\gamma_3 h_3 + \sigma_3 = 1,8 + 0,2 \sim 2,0 \text{ МПа}$$

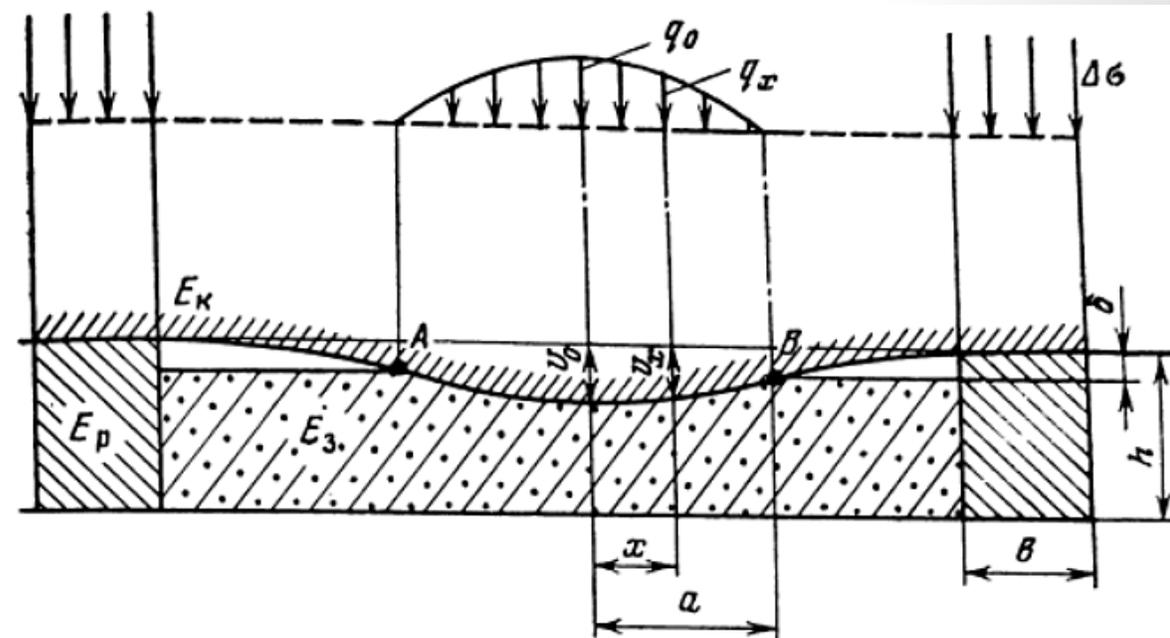
90% + 10%

режим заданных
смещений

Выработанное пространство, заполненное закладкой, является **мягким включением в жесткую упругую среду** вмещающего массива.

Если налегающая толща над отработанной панелью сохраняет устойчивость и прогибается упруго, тогда закладка нагружается там, где прогиб кровли панели превышает величину недозакладки ($x < a$).

Закладка является мягкой упругой постелью для жесткой прогибающейся кровли



Упругий прогиб кровли панели (Мусхелишвили, 1966):

$$v_x = v_0 \sqrt{1 - (x/L)^2} + \Delta h_{\text{ц}}$$

где $v_0 = 2(1 - \nu^2)\gamma HL / E_m$

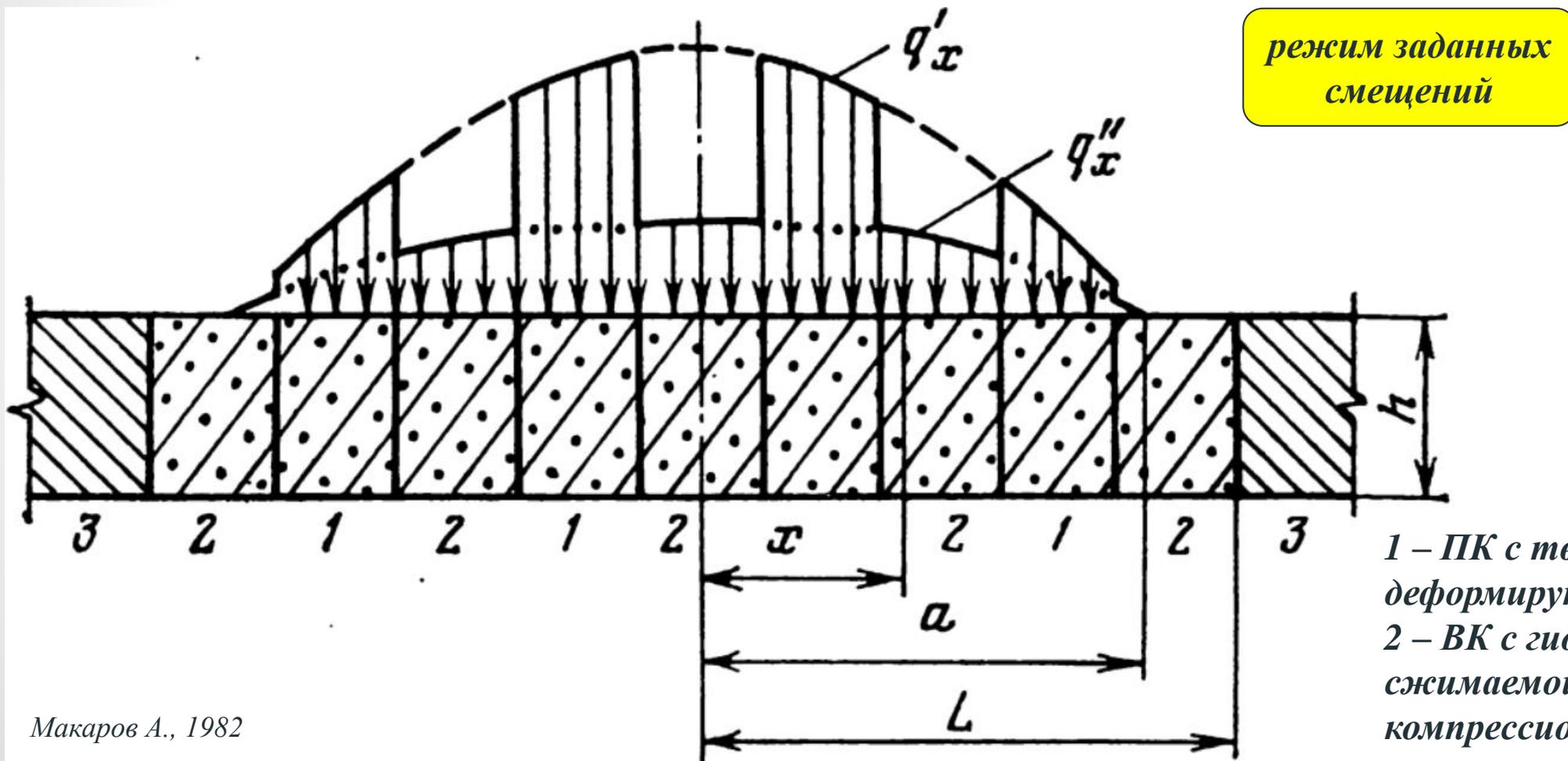
Давление на закладку q_x определяется по схеме упругого основания Винклера E :

$$q_x = k(v_x - \delta)$$

k – коэффициент упругого основания

δ – величина недозакладки камер

Если ПК заполнены упругой твердеющей закладкой, а ВК – несвязной гидравлической закладкой, распределение давления на искусственные массивы получается двухмодальным из-за разных коэффициентов постели.



1 – ПК с твердеющей закладкой, деформирующейся упруго;
 2 – ВК с гидравлической закладкой, сжимаемой в режиме компрессионного уплотнения

Макаров А., 1982

Нагруженность закладки

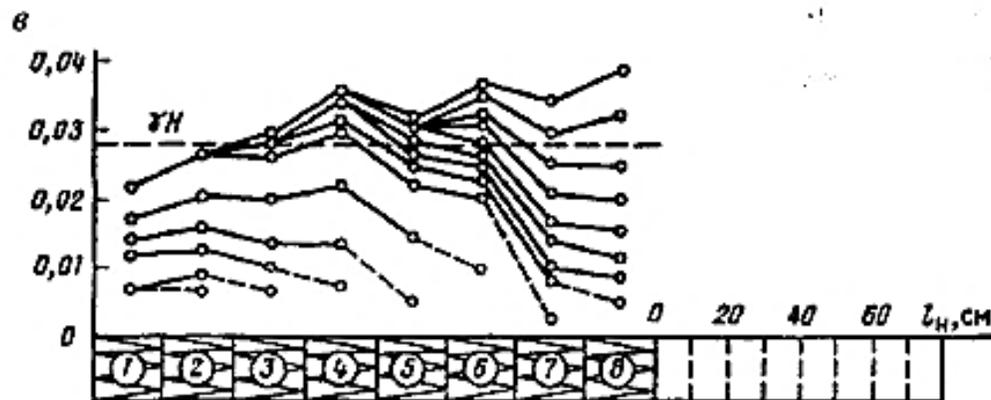
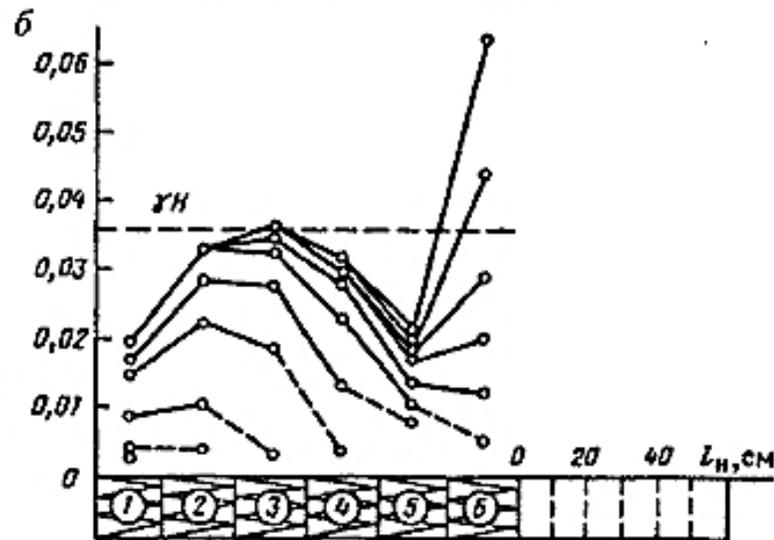
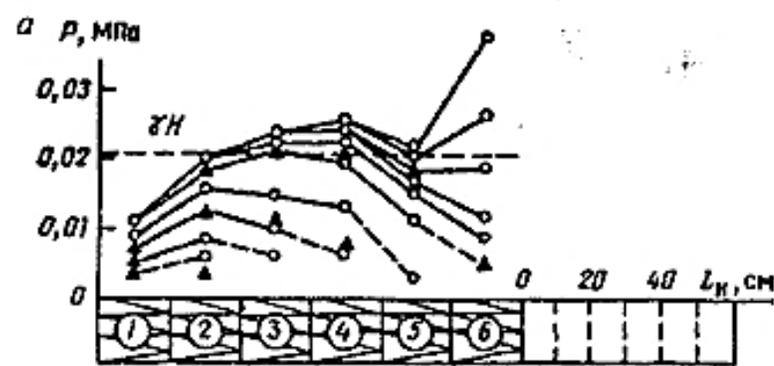
- *Нагрузка на закладку при добыче руды сплошной камерной системой*

режим заданной нагрузки

По мере увеличения площади выработанного пространства увеличиваются:

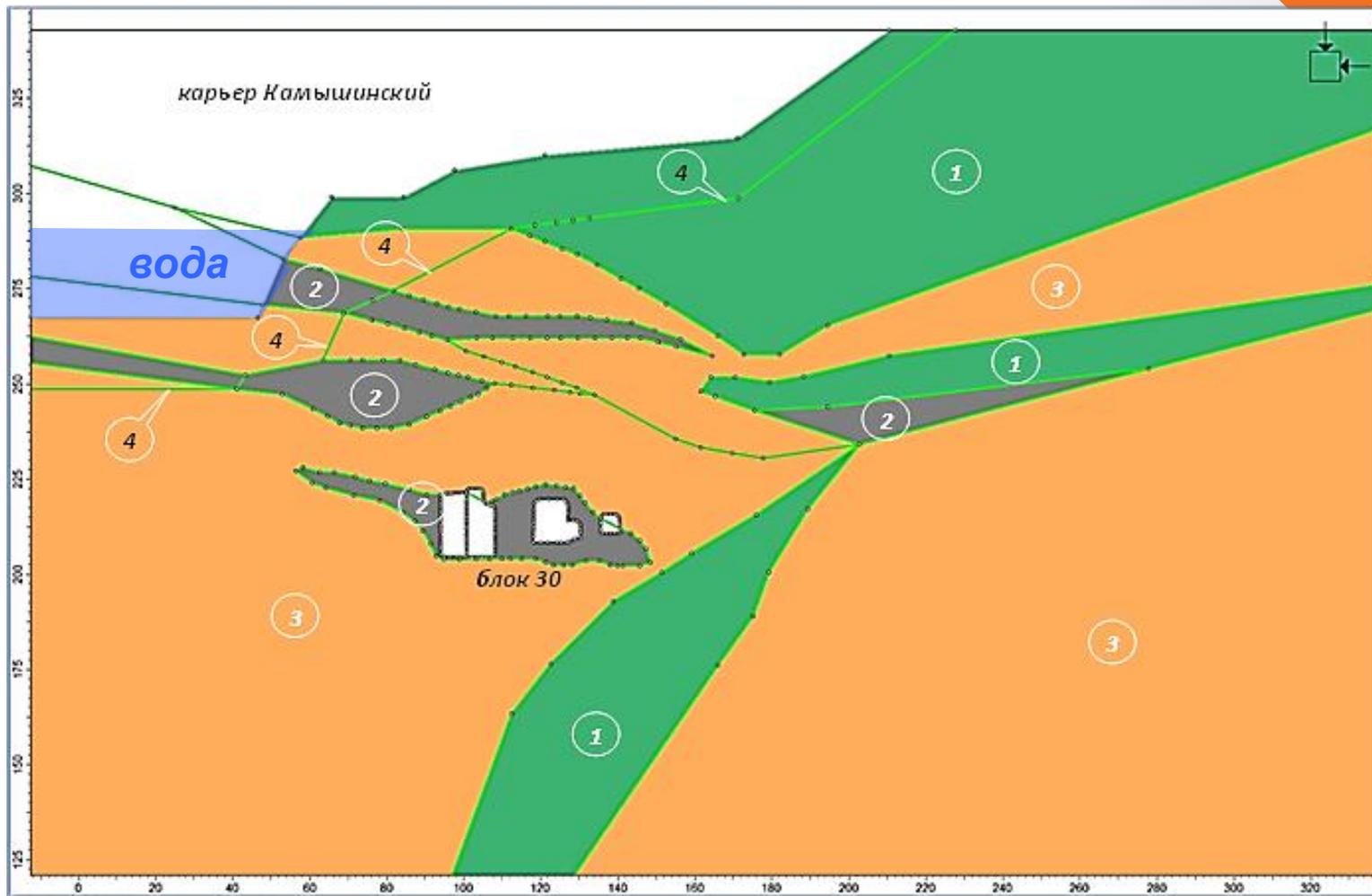
- *высота зоны сдвижения с нарушением сплошности (обрушения)*
- *давление сдвигающейся части налегающей толщи на закладку выработанного пространства*

Казикаев Д.М. Геомеханика подземной разработки руд. – М., изд. МГГУ, 2009



Ошибки в определении размеров камер приводят к обрушениям

Артемовский рудник

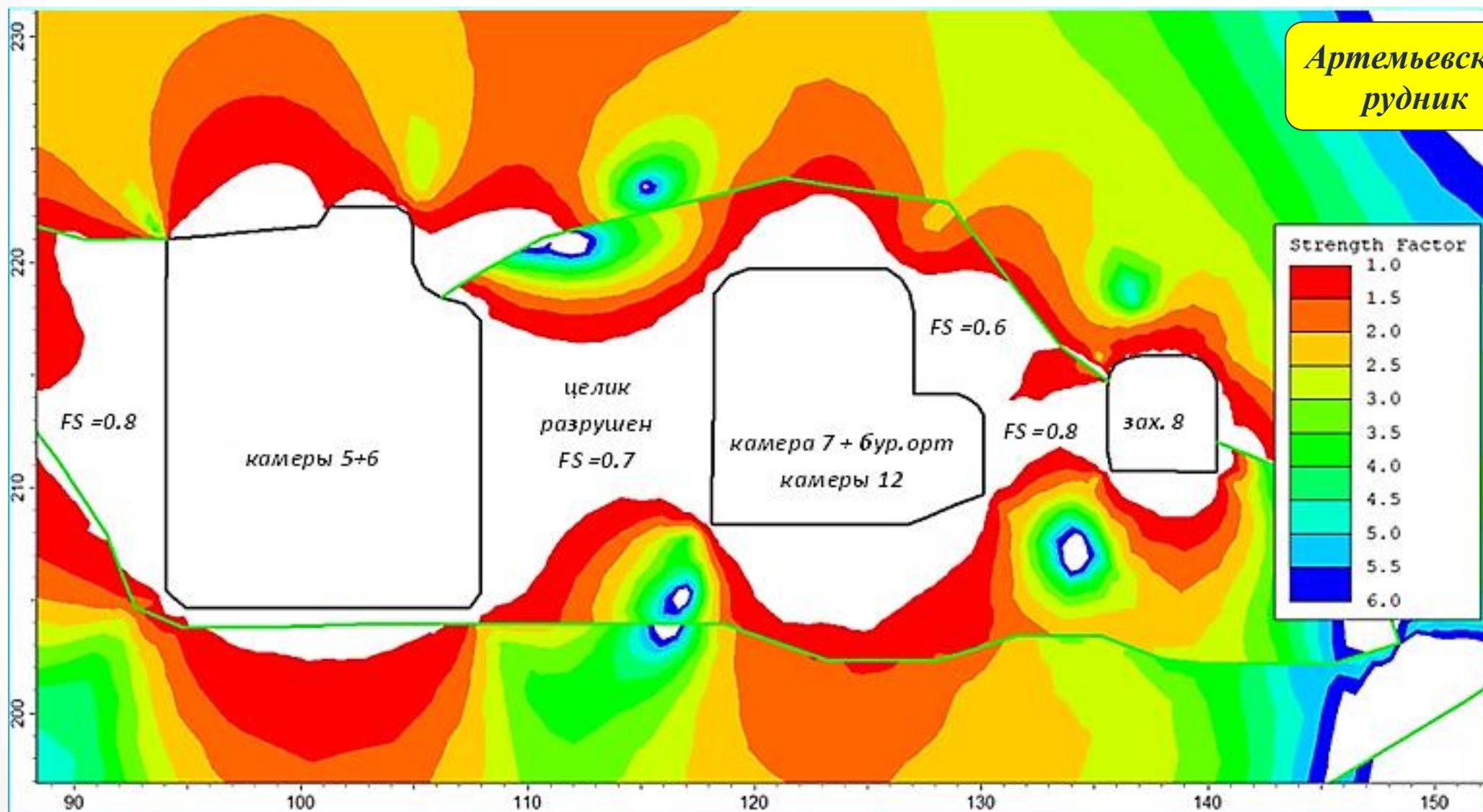


Коды массивов / доменов:

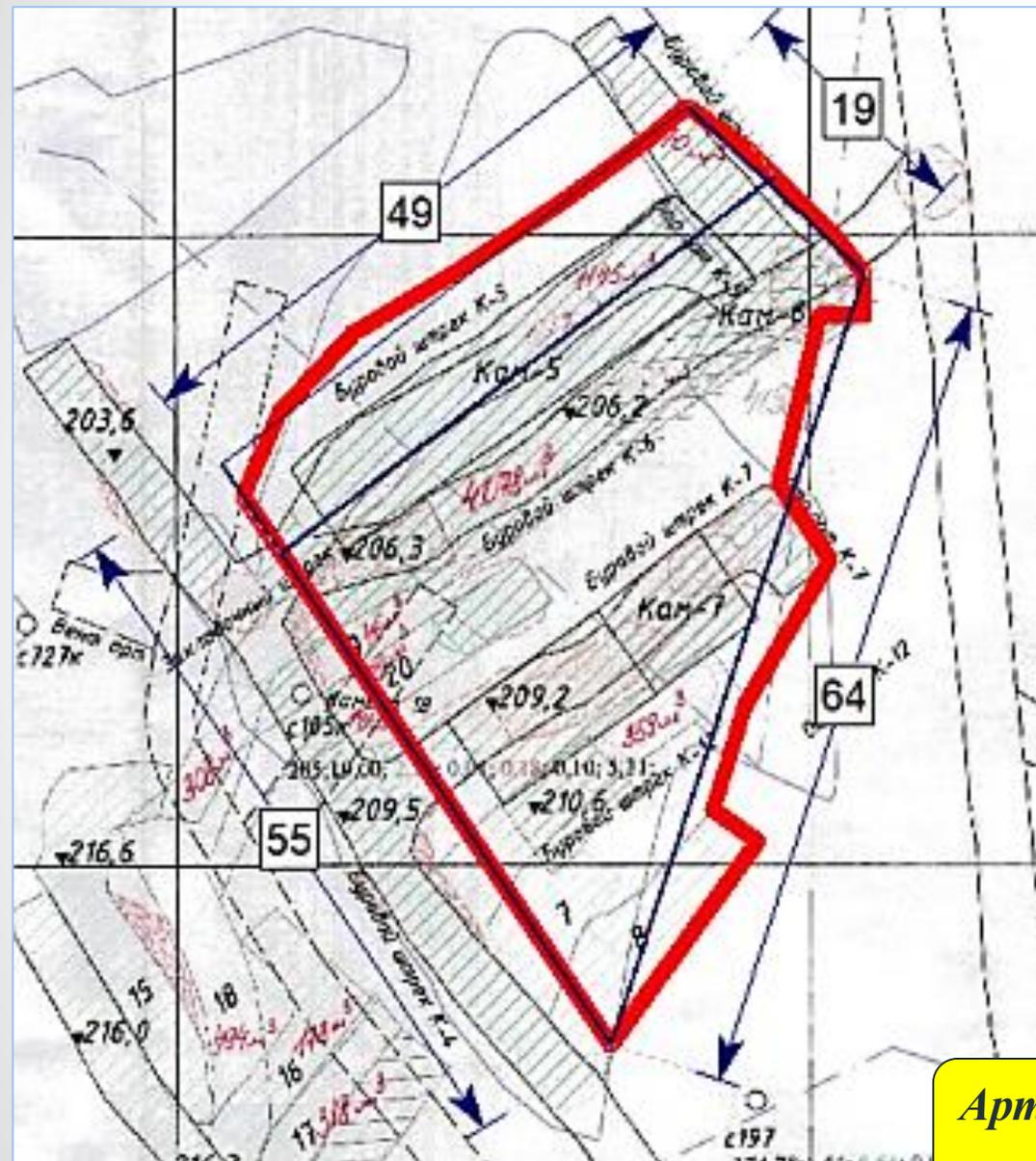
- 1 - диабазы + порфиры + альбитофиры;
- 2 - вкрапленная руда в хлоритолитах;
- 3 - лавы + лавобрекчии + алевролиты;
- 4 – граница повреждения массива карьерными взрывами

коды	породы / руды	Q
1	диабазы + порфиры + кварц. альбитофиры	30
2	вкрапленная руда в хлоритолитах	0,1
3	лавы + лавобрекчии + алевролиты	6

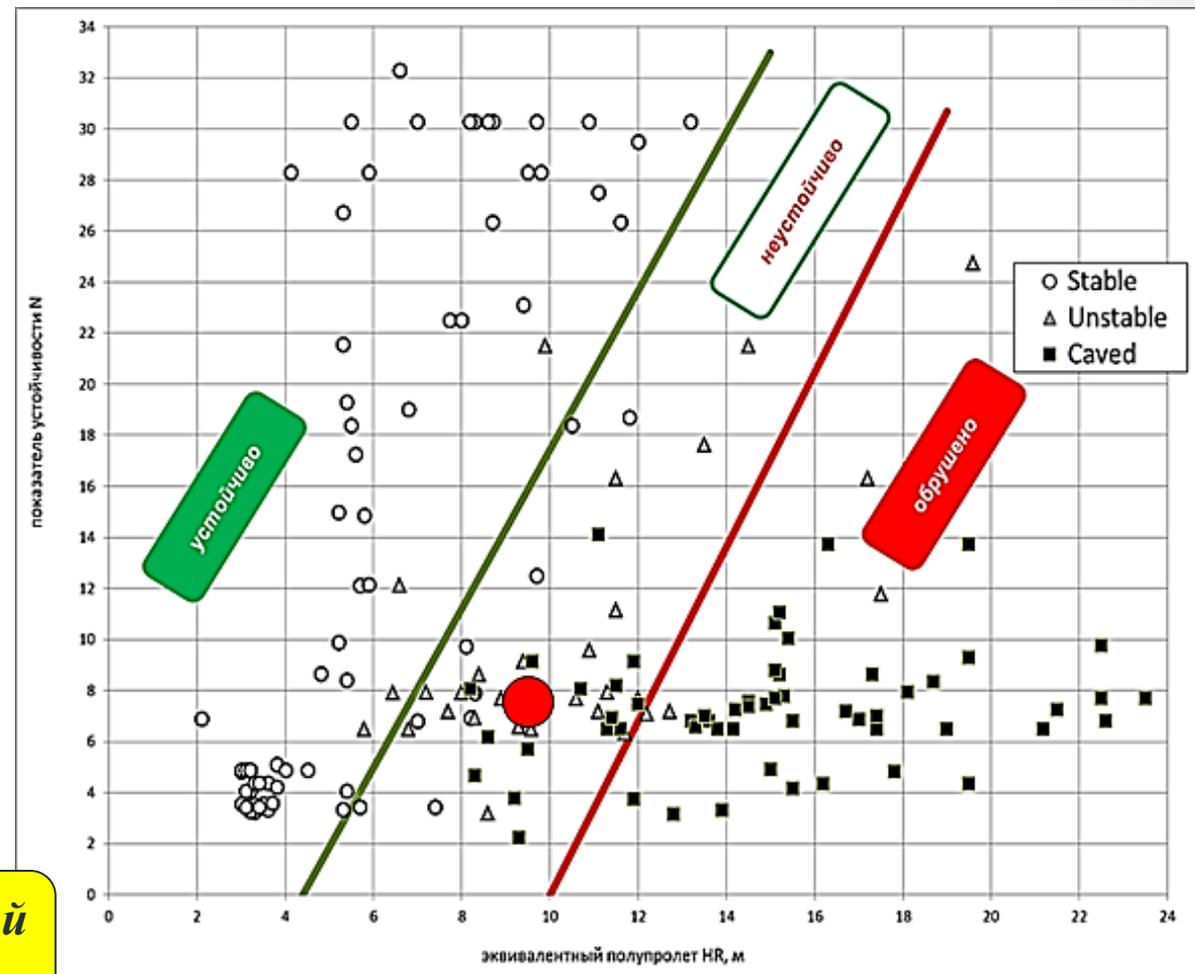
Ошибки в определении размеров камер приводят к обрушениям



После разрушения целиков обнажение кровли блока 30 с $HR = 9,5$ м по методике Мэтьюза-Потвина является неустойчивым



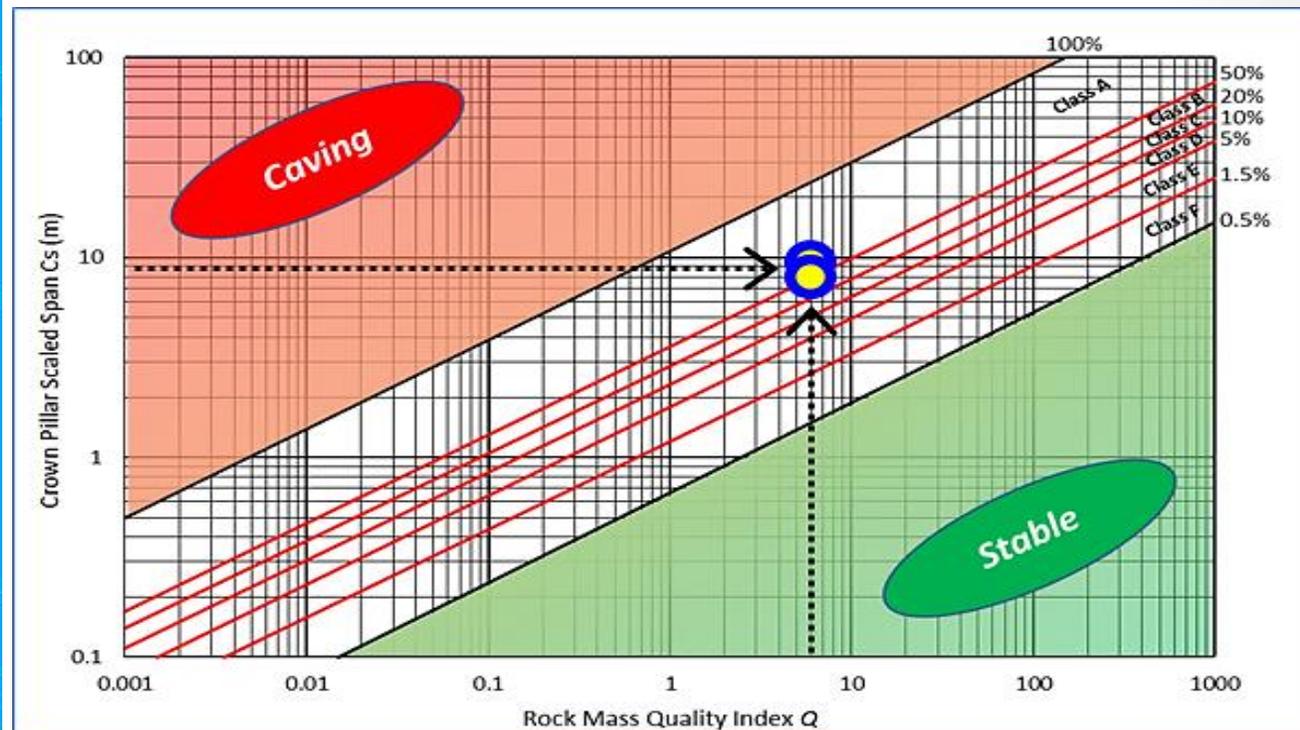
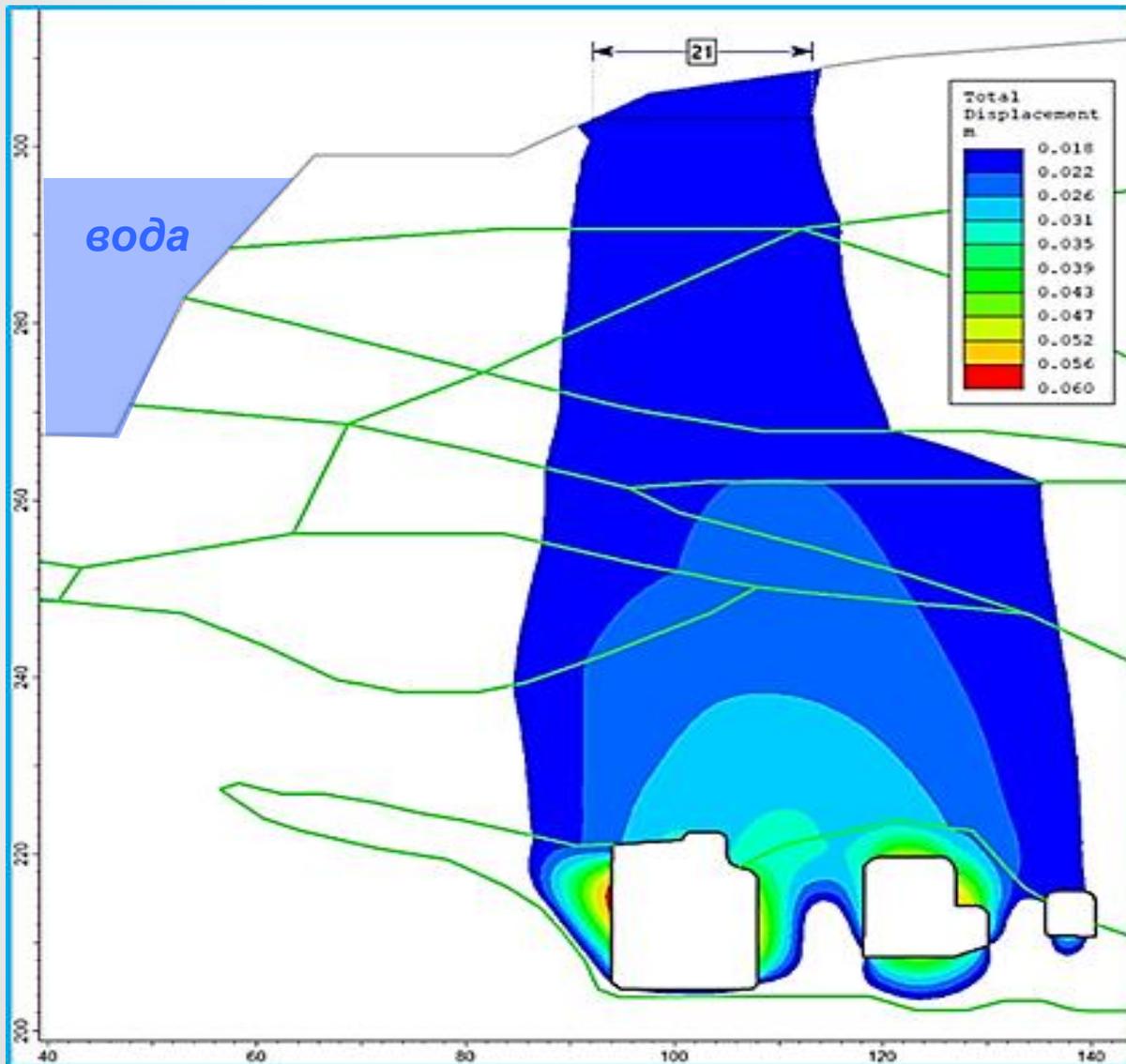
Артемьевский рудник

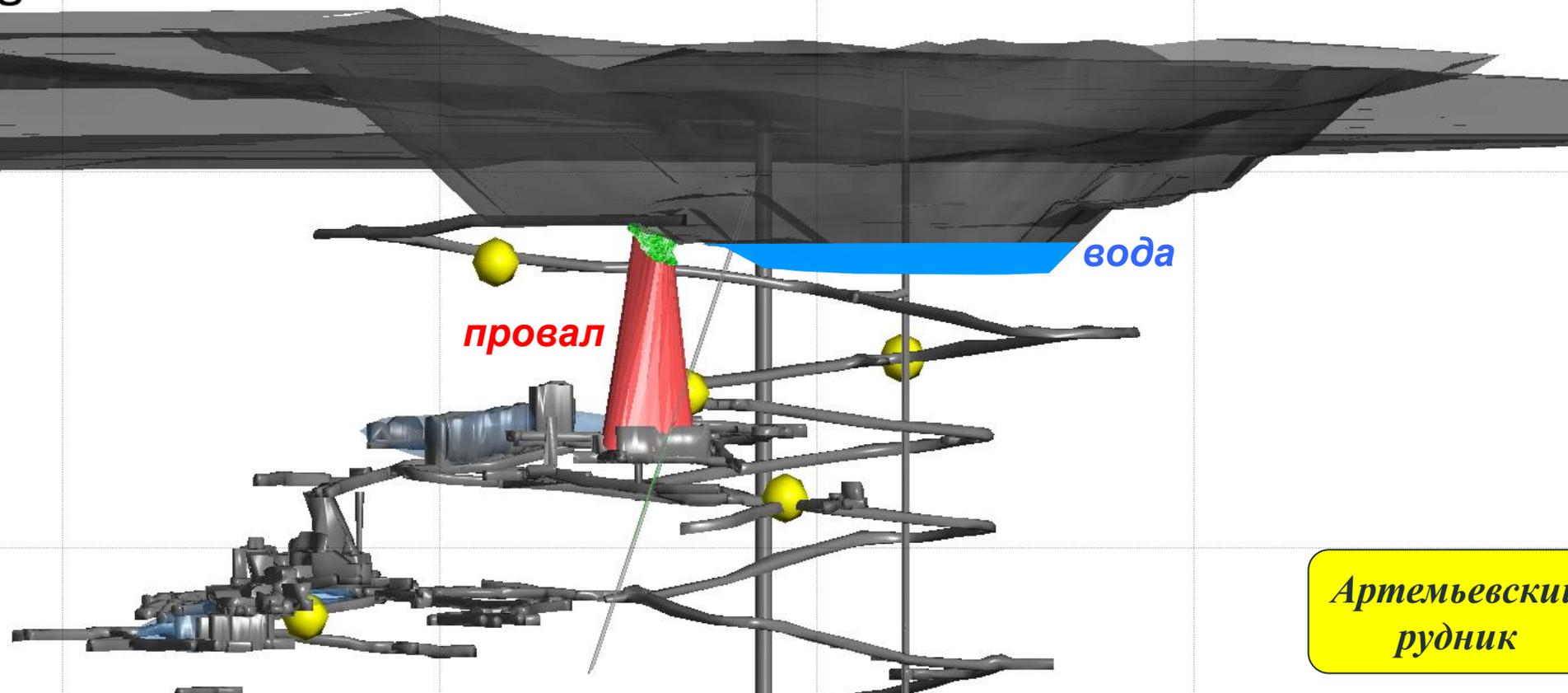


Ошибки в определении размеров камер приводят к обрушениям

Артемьевский рудник

После разрушения целиков потолочина над блоком 30 с масштабированным пролетом $SS = 8,0 \div 9,4$ м и $Q = 6$ по методике Картера имеет вероятность обрушения ~50%

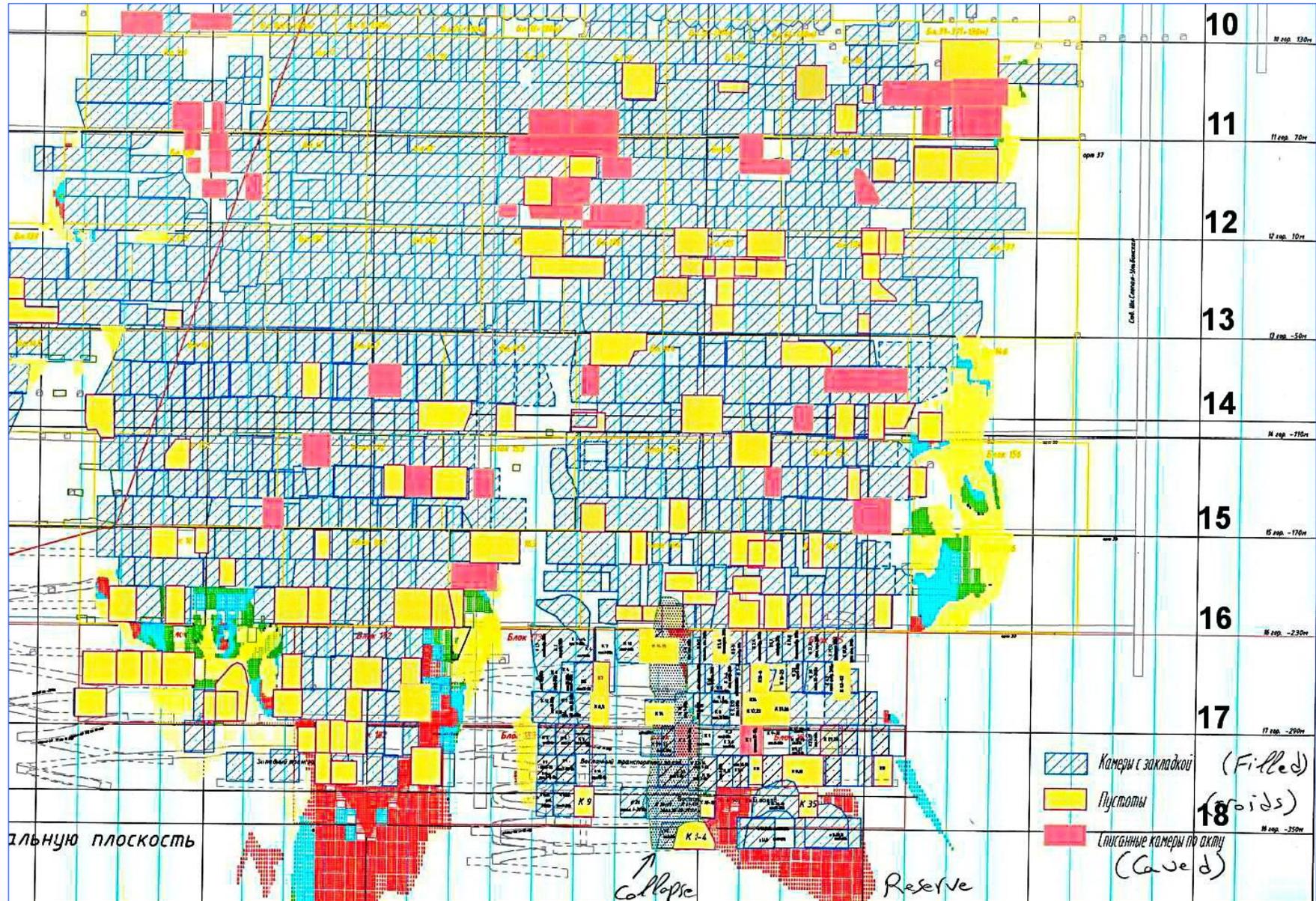




Артемьевский
рудник

01.02.2019 в борту Камышинского карьера на промплощадке портала наклонного съезда образовался провал на площади 20×24 м глубиной 12 м над отработанными в 2017÷18 г. камерами 5,6,7 блока 30. Глубина от кровли камер до борта карьера составляет $64 \div 78$ м. Расстояние от границы провала до воды в карьере (367 тыс. м^3) составляло 50 м. Возникла угроза прорыва воды и рыхлых пород в подземный рудник. К счастью, этого не произошло.

проекция на вертикальную плоскость



Тишинский рудник



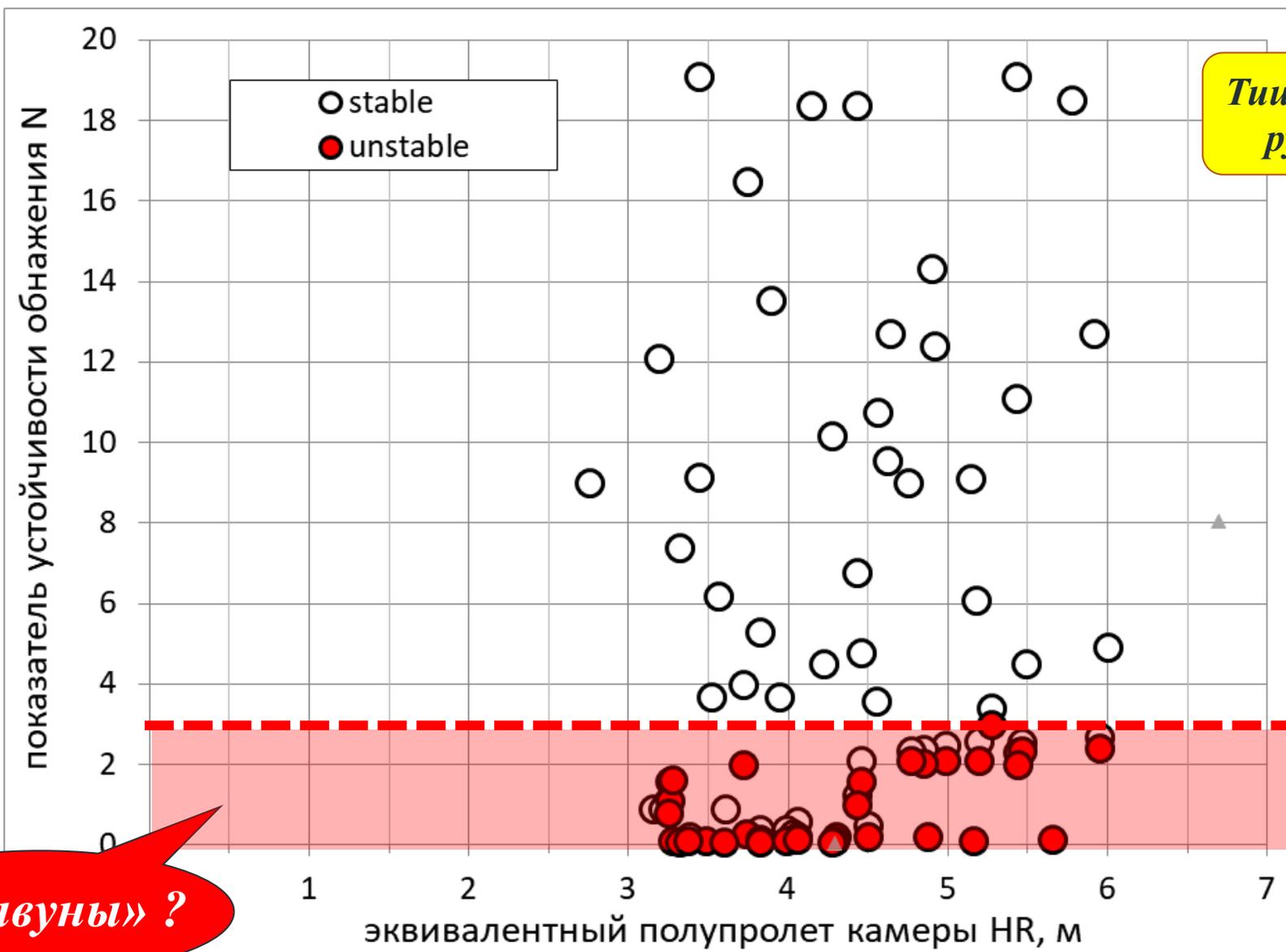
24.08.2018 на отметке **-270 м (17 гор.)** произошло обрушение откаточной выработки, в которое провалилась ПДМ САТ R1300 с оператором. Обрушились нижележащие отработанные и незаложенные камеры, а также потолочины между ними, начиная с отметки **-370 м**. Обрушение развилось вверх до отметки **-210 м**. Общая высота «крысиной норы» (Chimney – дымоход; Sinkholes – бездонная яма) = **160 м**. Спасательная операция по обнаружению погибшего оператора ПДМ не увенчалась успехом

Горная масса в зоне обрушения представлена смесью обломков сланцев, известково-углисто-глинистых алевролитов и глиноподобной обводнённой массы серицит-кварцевых, карбонат-кварц-серицитовых пород крупностью от первых мм до 0,4 м

Тишинский
рудник

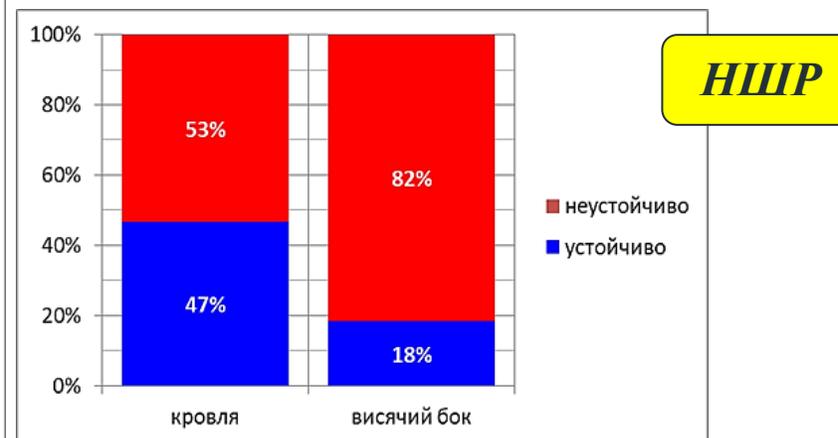
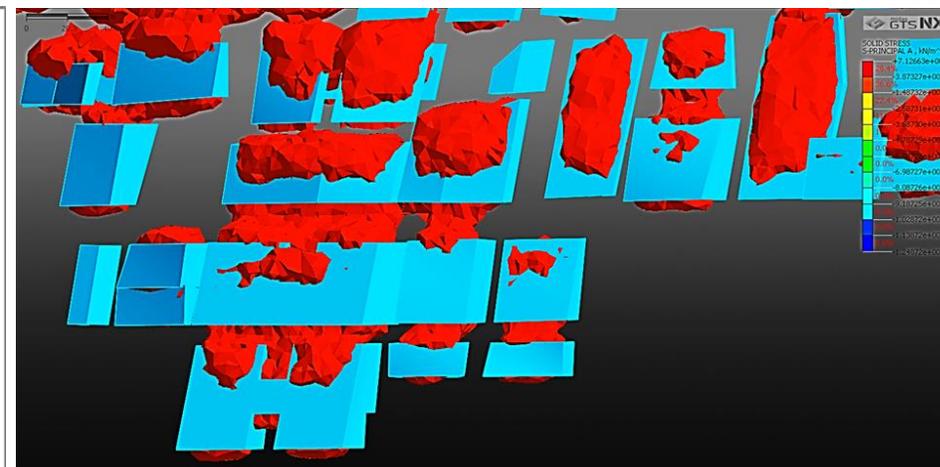
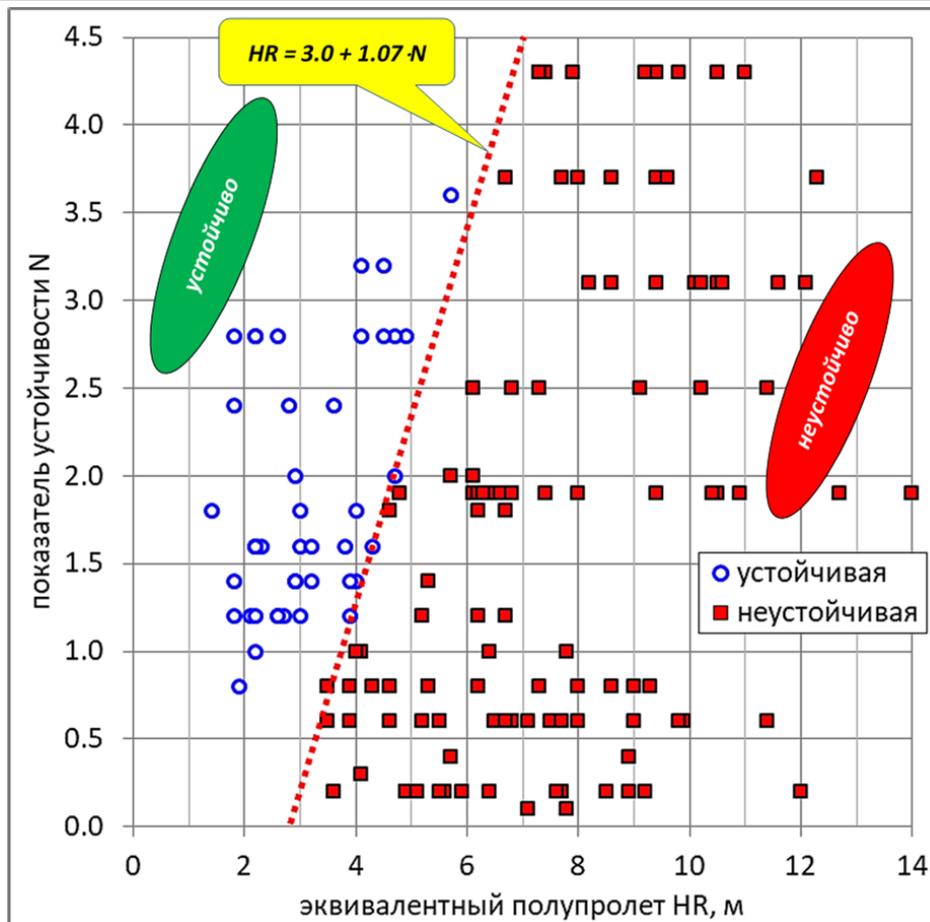


Количество камер:
устойчивых = 54
неустойчивых = 32



Аварии произошли в результате нарушения технологии очистных работ в виде:

- *обрушения камер (камерная выемка руды в неустойчивых рудах / породах неприемлема);*
- *неконтролируемого перевыпуска отбитой руды и обрушенной горной массы из аварийных камер в объемах, превышающие проектные (потеря контроля над выработанным пространством);*
- *сдвижение неустойчивых руд / пород под действием силы тяжести в выработанное пространство обрушающихся (аварийных) камер есть всплывание пустот;*
- *невозможность погашения всплывших пустот закладкой из-за отсутствия путей ее подачи в аварийные камеры.*

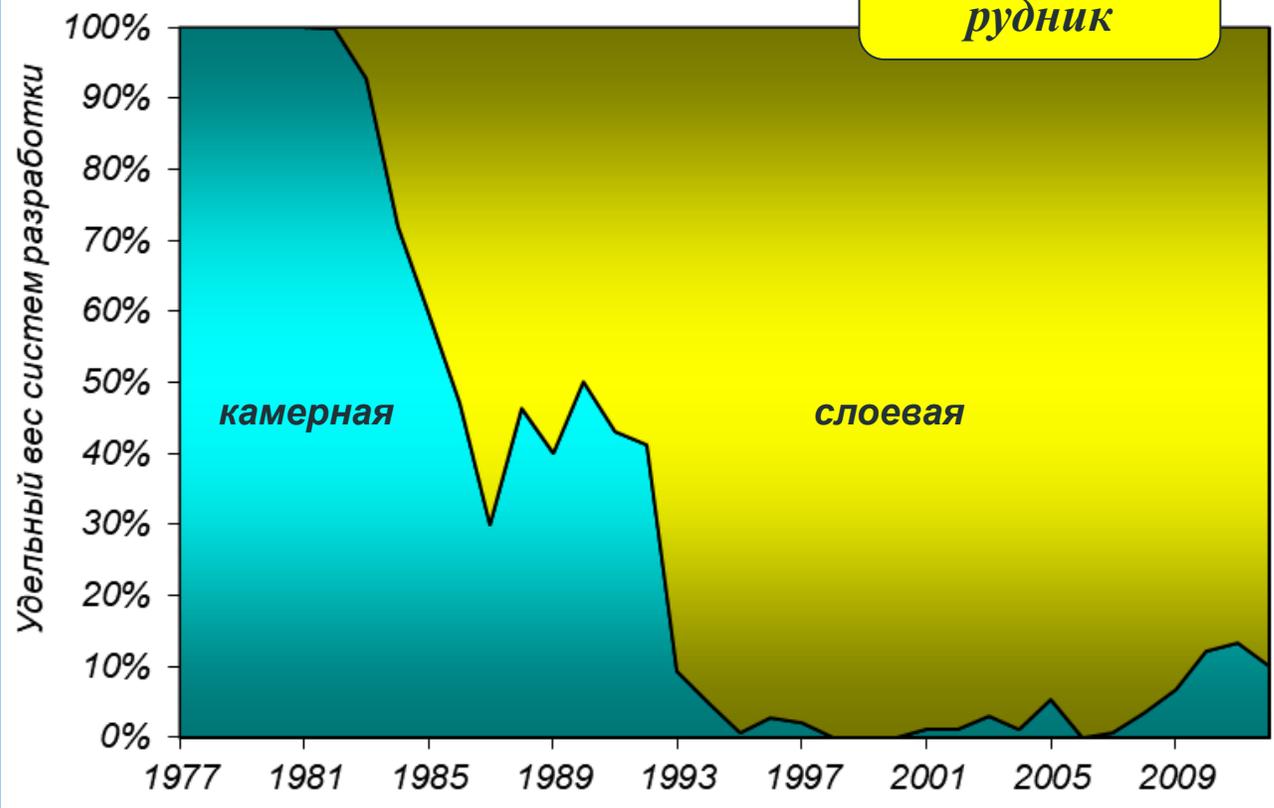
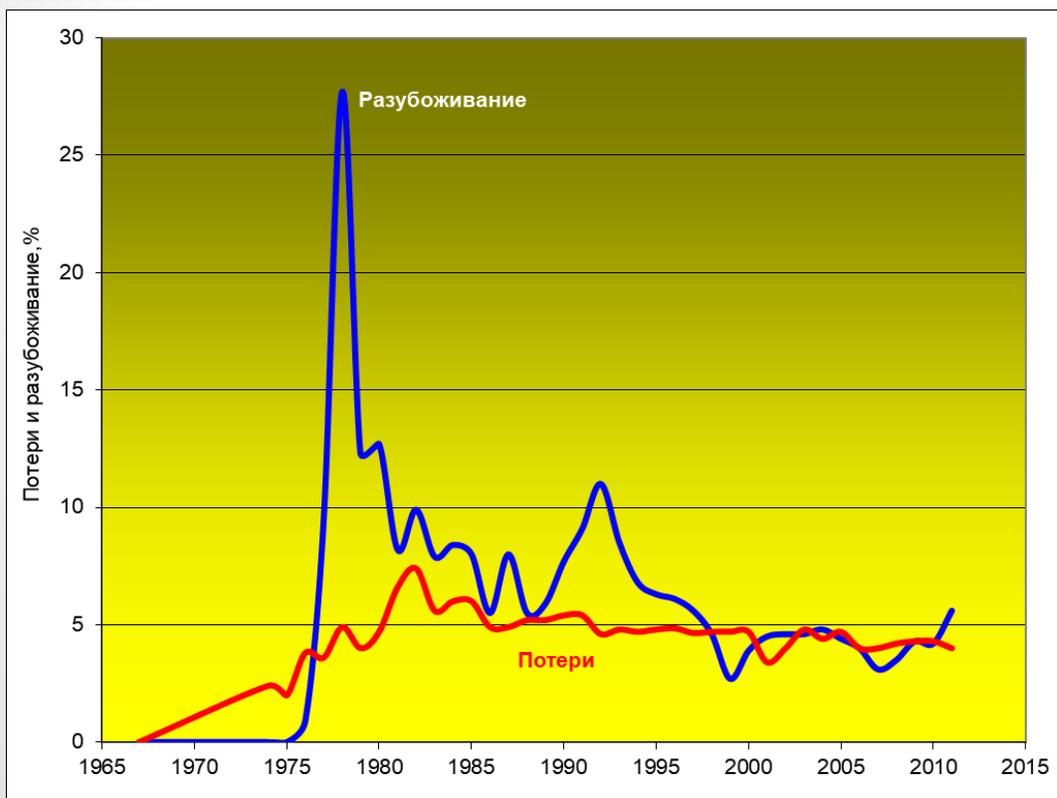


При «хронической» неустойчивости камер и целиков необходимо менять технологию добычи руды, переходя к:

- *системе горизонтальных слоев с закладкой или*
- *системе подэтажного обрушения*

Системы разработки:

- *горизонтальными слоями в нисходящем порядке*
- *подэтажно- камерная*



из-за неустойчивости камер и, как следствие, высокого разубоживания руды пришлось отказаться от камерной системы и перейти к слоевой системе разработки в нисходящем порядке

ПТЭ:

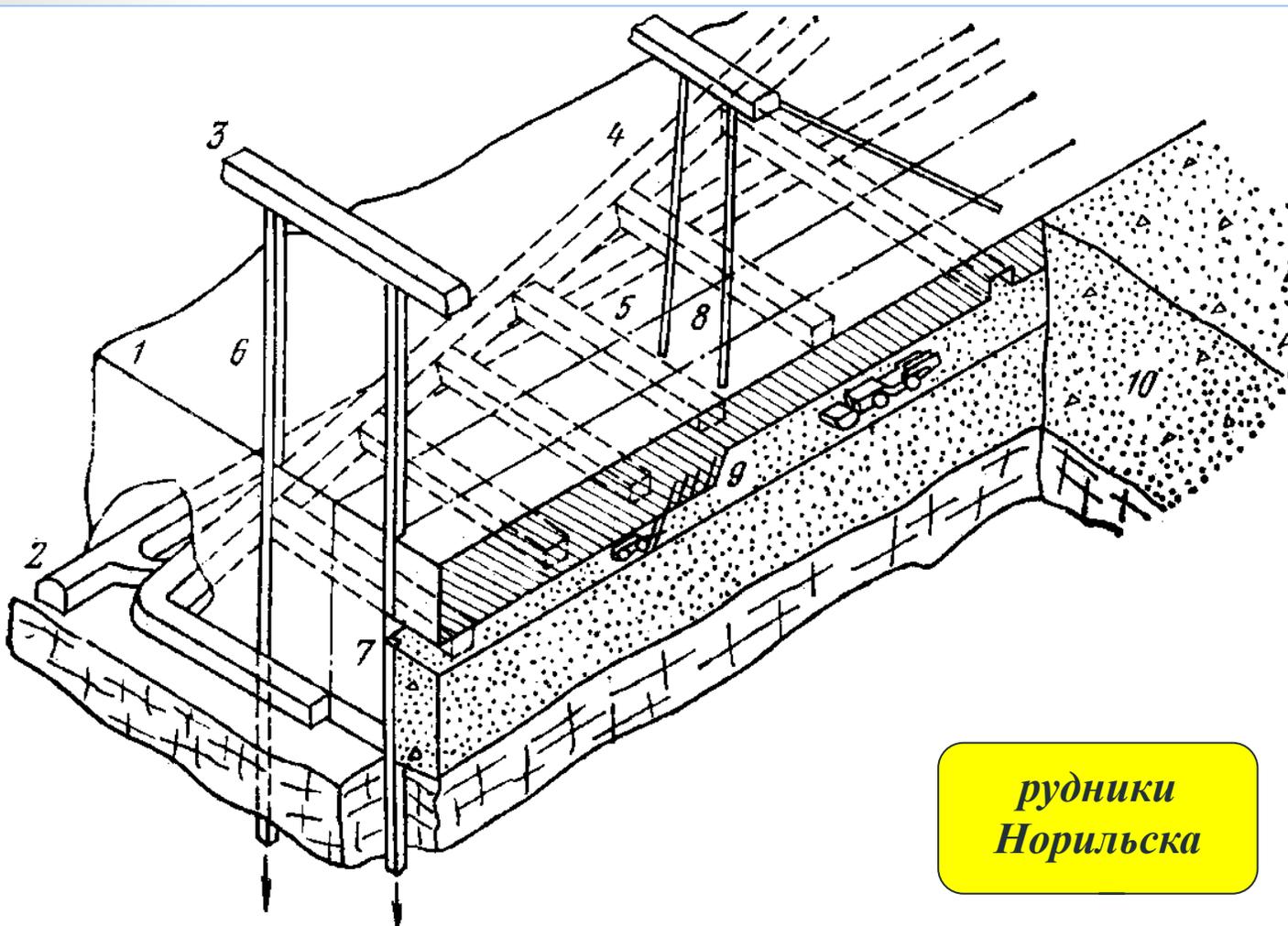
Система горизонтальных слоев с закладкой

§ 210. Систему горизонтальных слоев с закладкой можно применять для отработки крутонападающих рудных тел любой мощности и мощных рудных тел с любым углом падения, при рудах средней устойчивости (маломощные рудные тела) и устойчивых, залегающих в породах средней устойчивости.

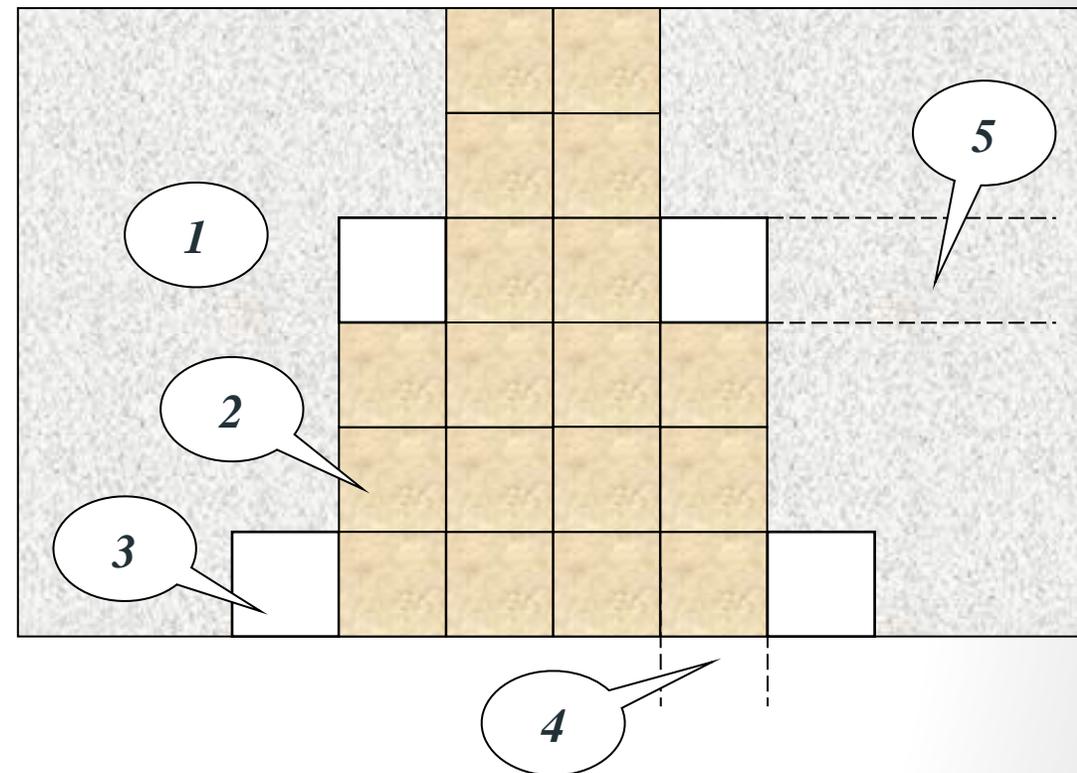
§ 213. Выемку руды в камере (блоке) допускается осуществлять горизонтальными слоями в направлении снизу вверх или сверху вниз в зависимости от горнотехнических условий по проекту. При неустойчивых рудах выемка должна производиться слоями сверху вниз с обязательным применением твердеющей закладки.

§ 214. Закладку подавать в блок (камеру) с верхнего горизонта по закладочному восстающему, расположенному, как правило, в середине блока (камеры).

- *В восходящем порядке - для отработки руд выше средней устойчивости*

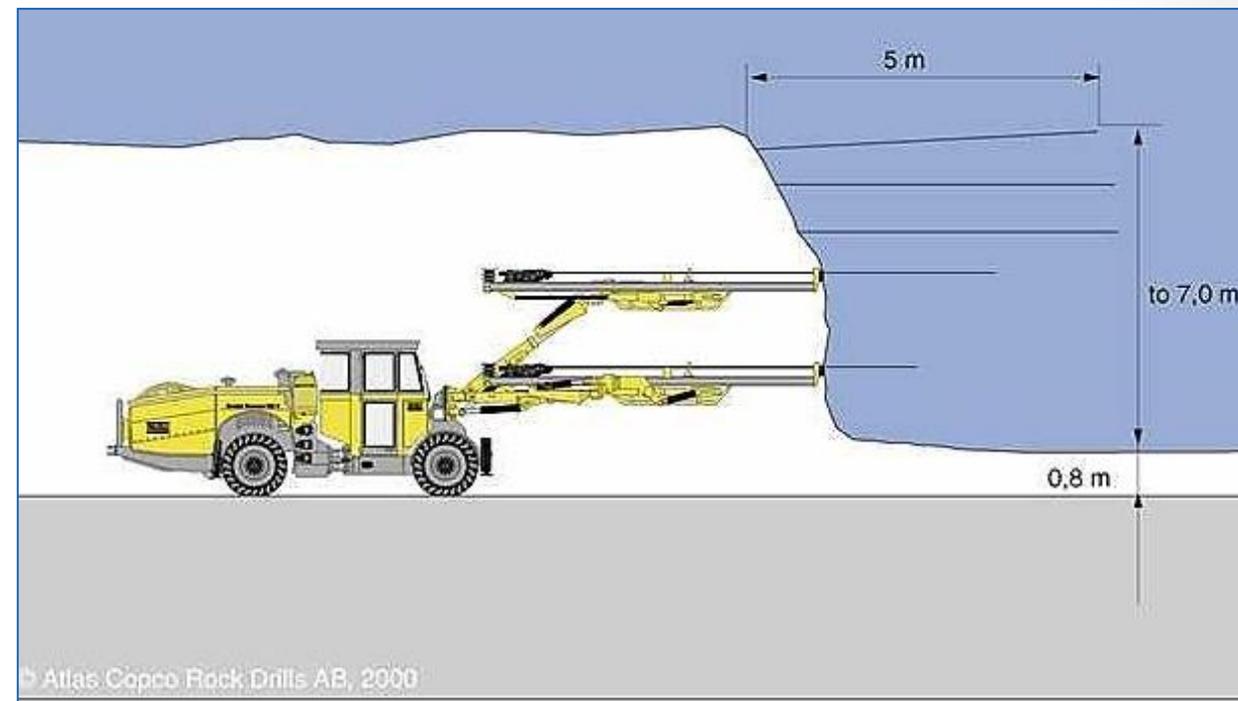
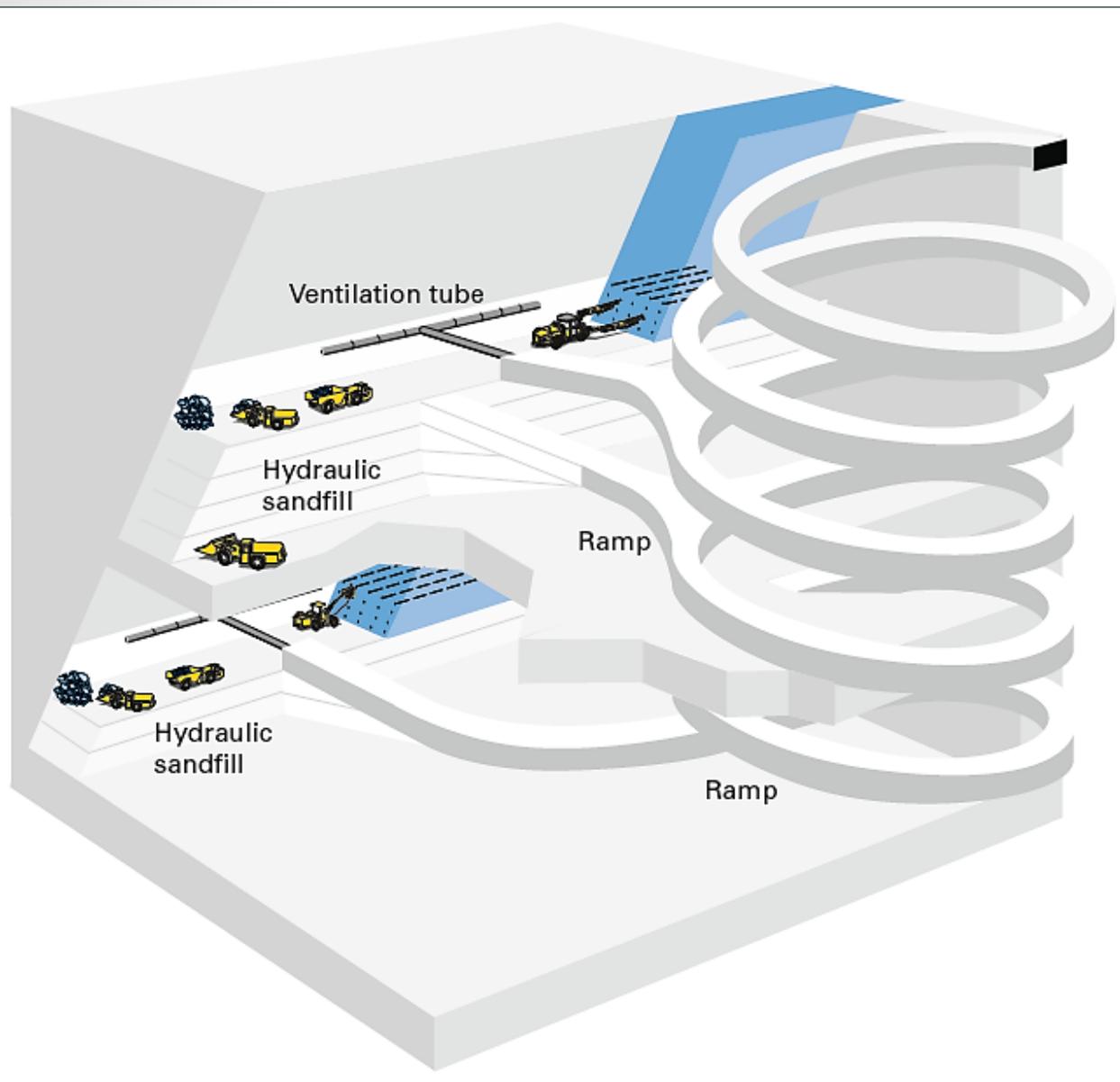


*рудники
Норильска*



- 1 – руда;*
- 2 – закладка;*
- 3 – очистные заходки;*
- 4 – вертикальные ленты;*
- 5 – горизонтальные слои*

Для восходящего порядка отработки слоев необходима устойчивость руды выше средней

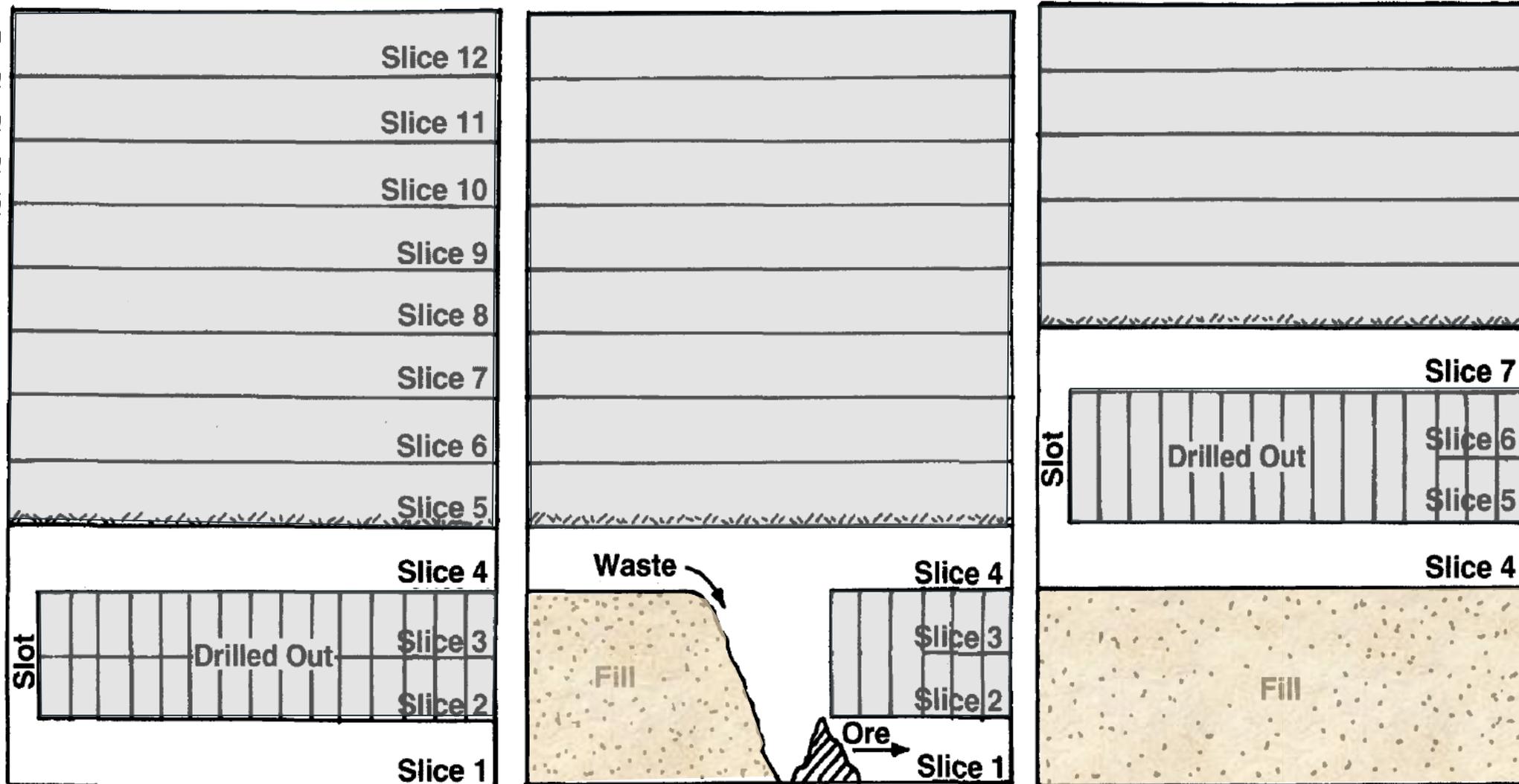




*Mount Isa Mine
Australia*

Авосо Mining - восходящая слоевая выемка со скважинной отбойкой, торцевым выпуском (т.е. без захода в выработанное пространство) и породной закладкой

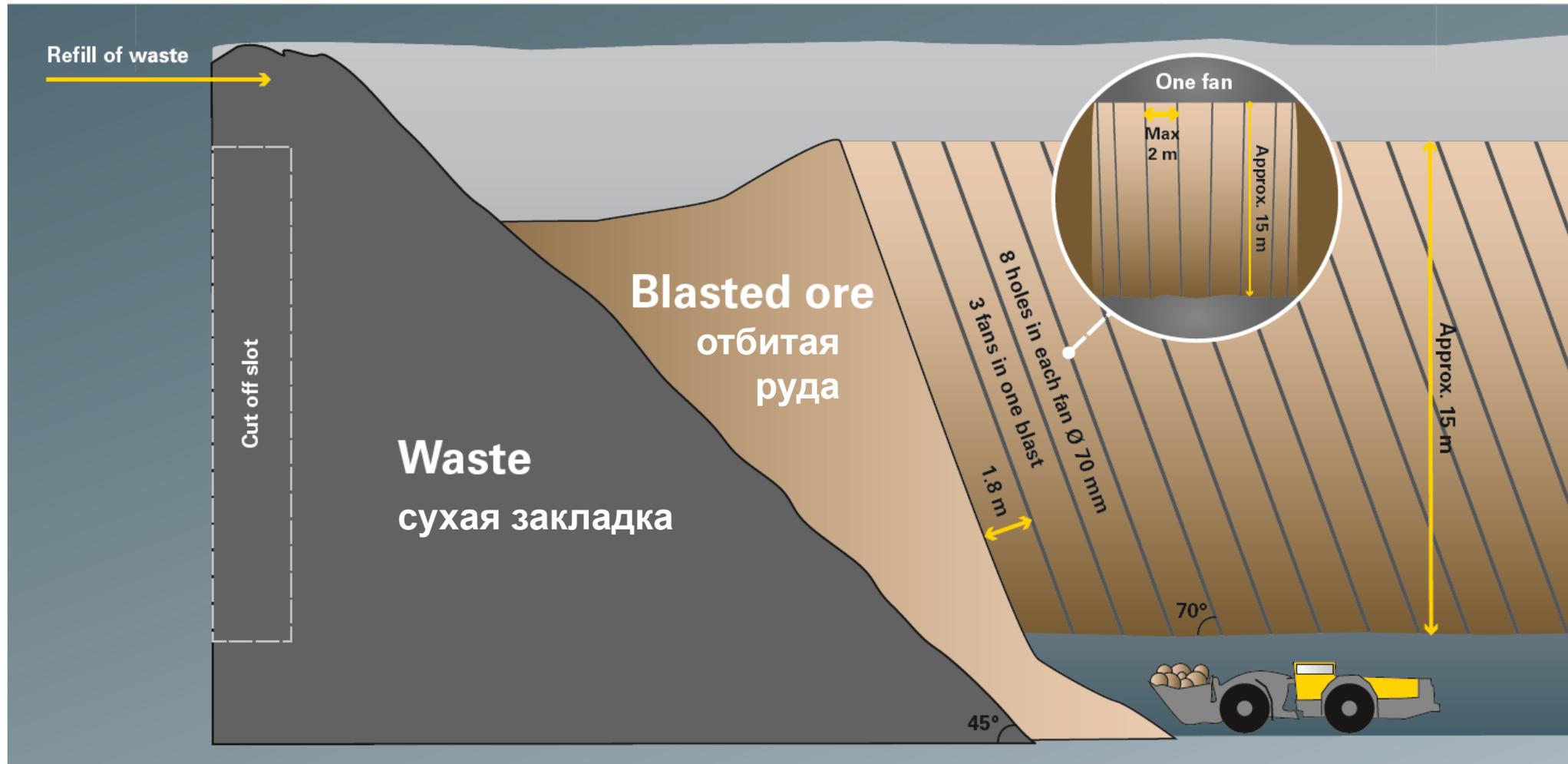
Для восходящего порядка отработки необходима устойчивость руды выше средней

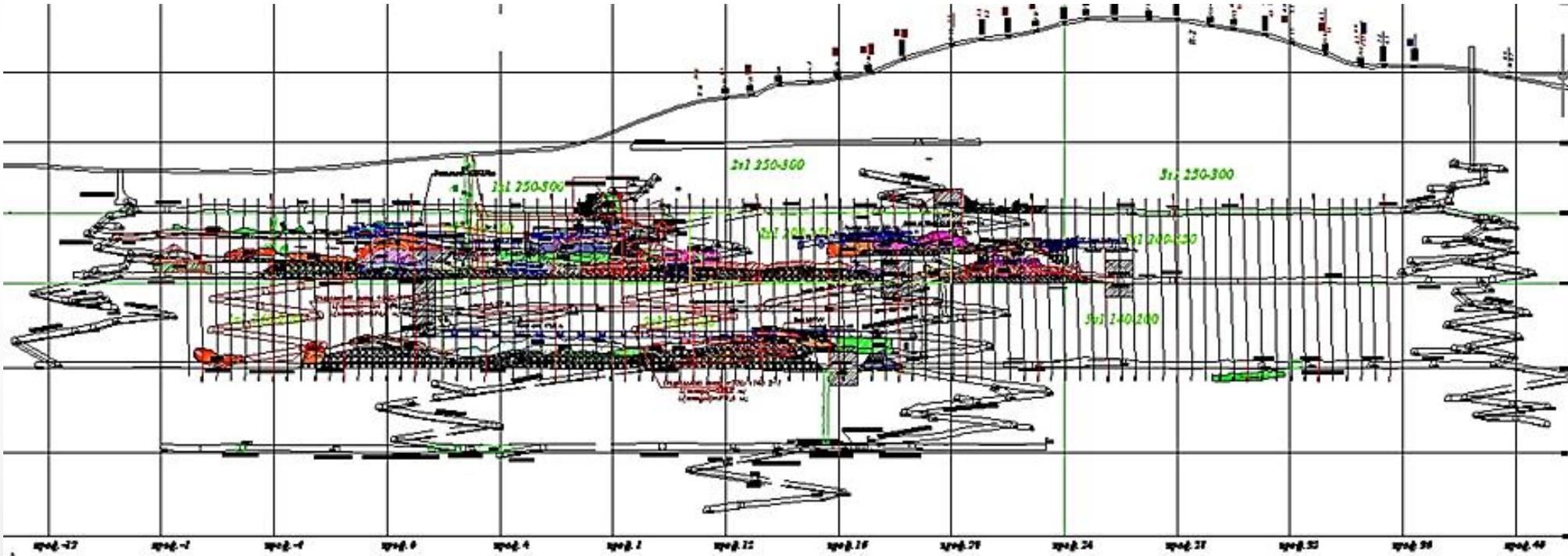
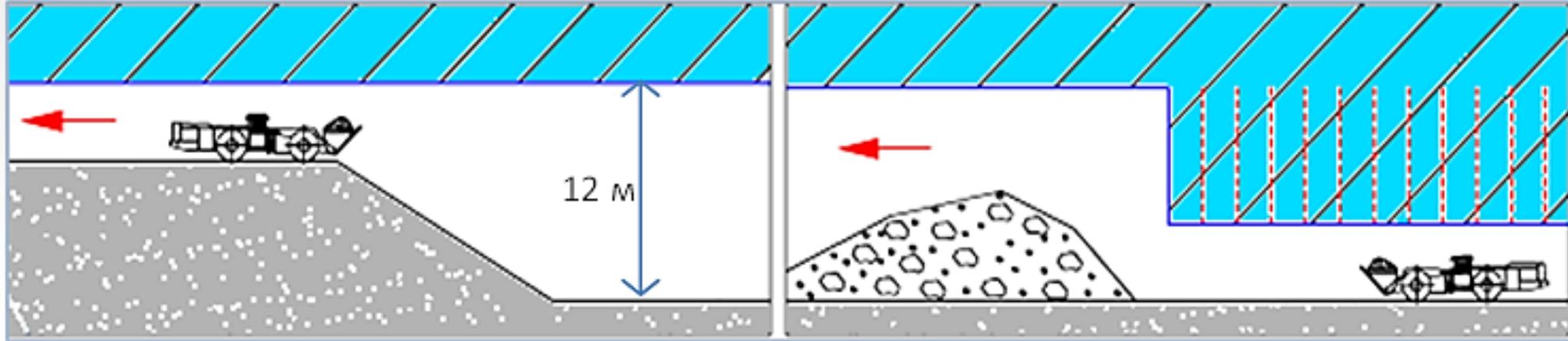


Avoca Mining



GARPENBERG, SWEDEN

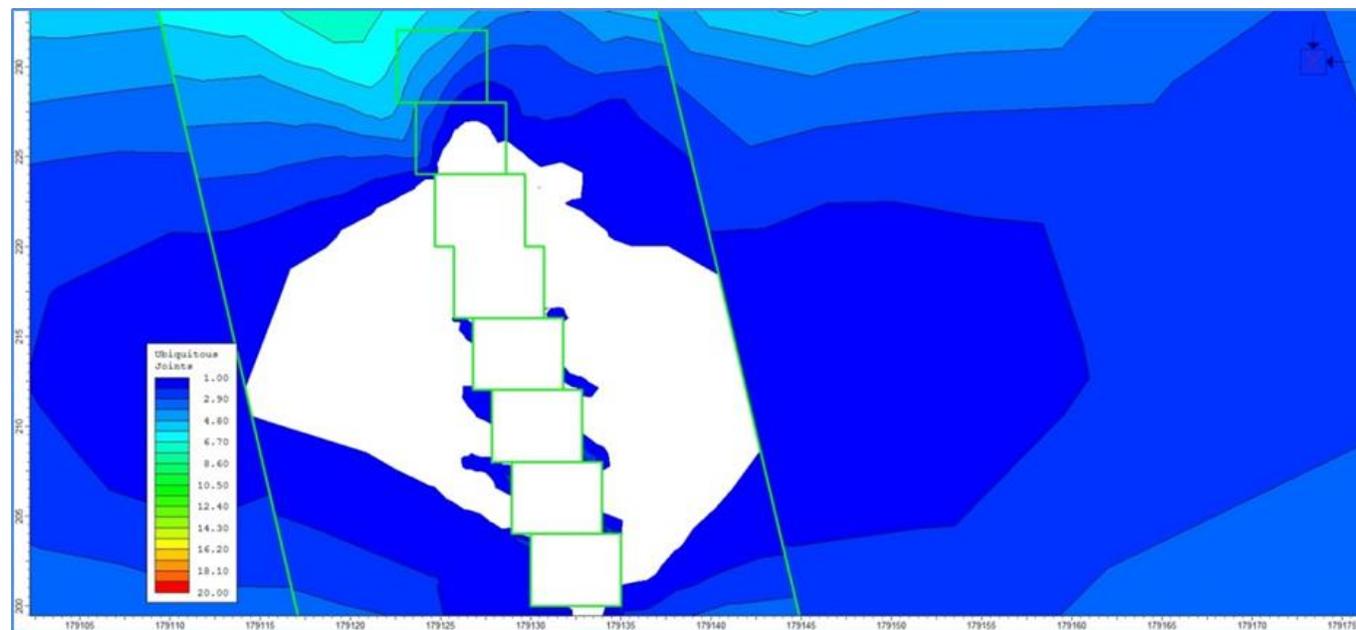
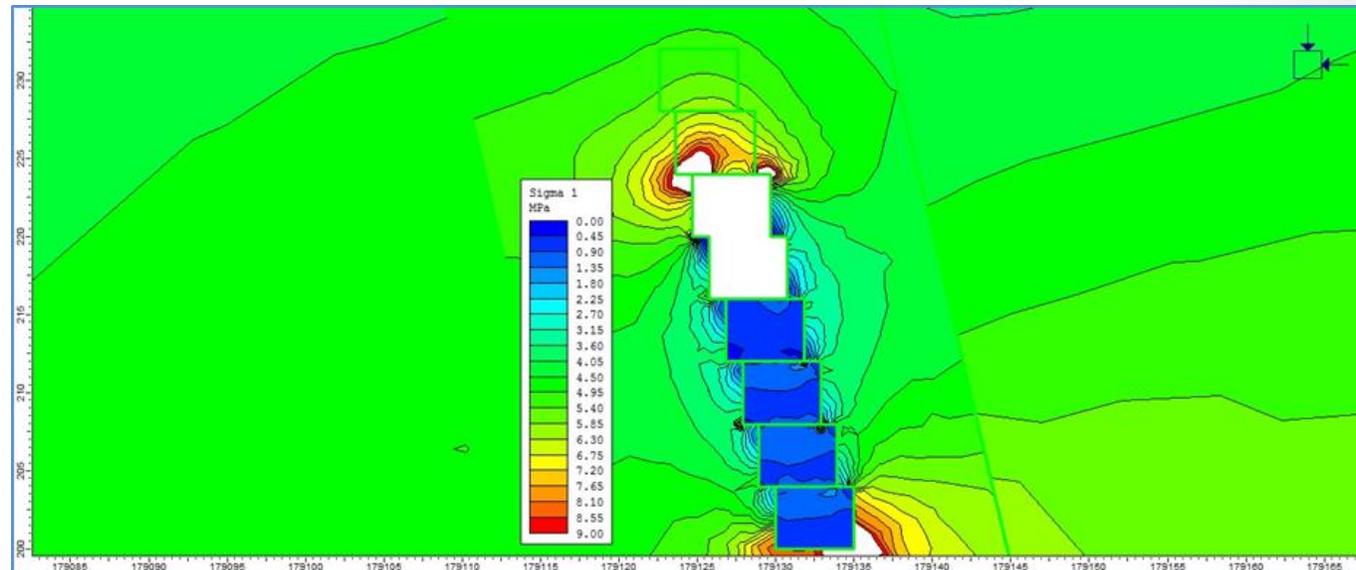


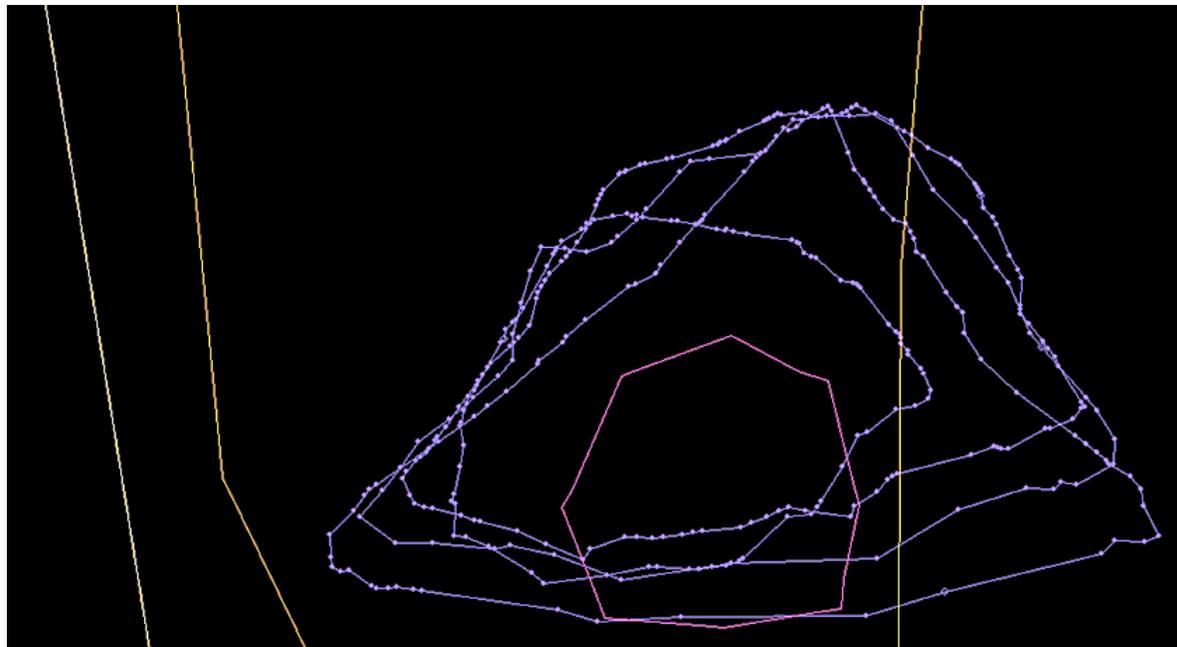
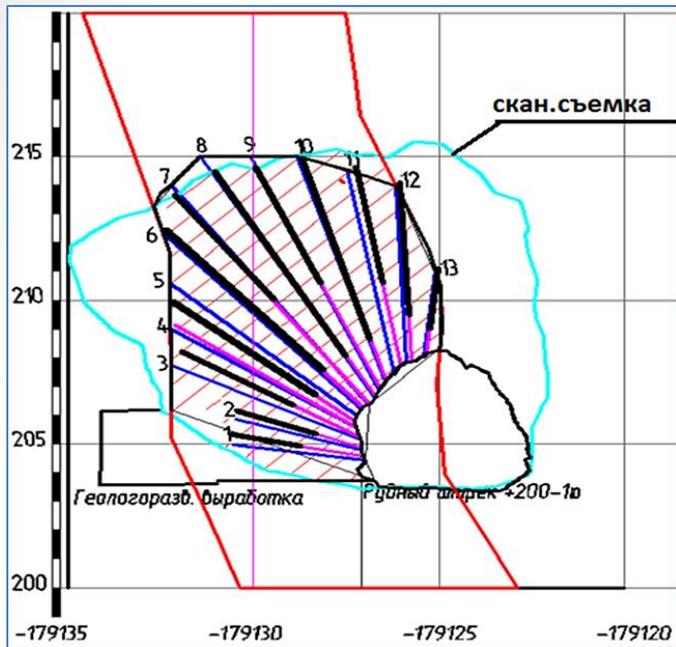


*рудник
Майский*

*рудник
Майский*

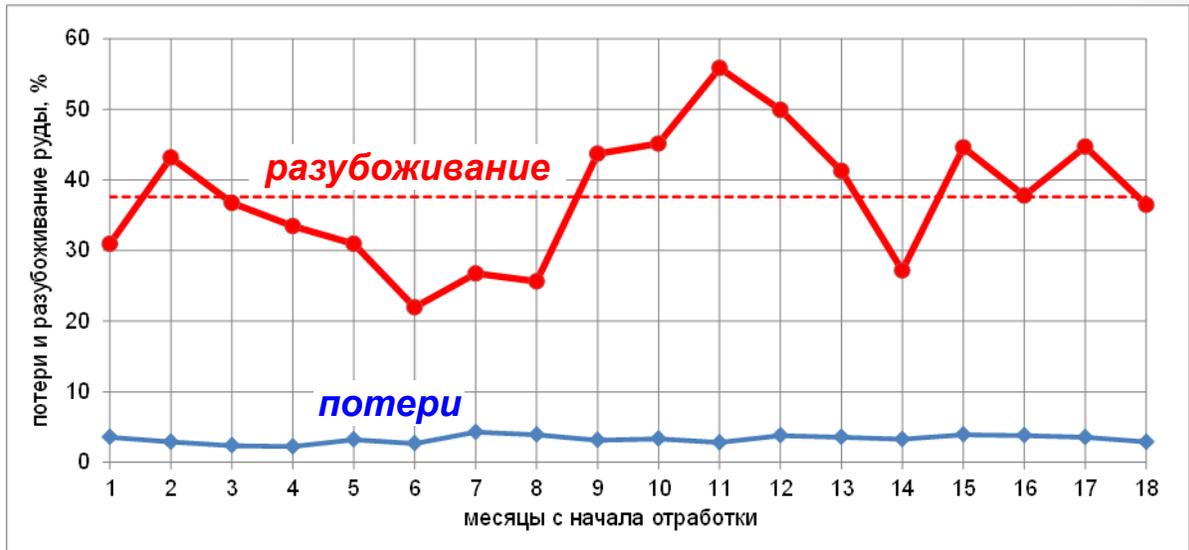
в условиях Майского рудника сухая закладка не обеспечивает надежного поддержания слабых пород висячего и лежащего боков рудного тела, т.к.: $E_3 / E_M = 7\%$



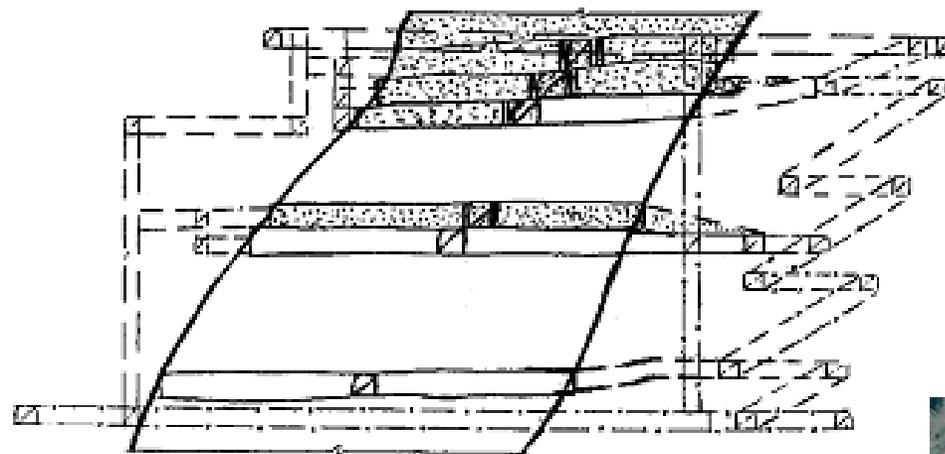
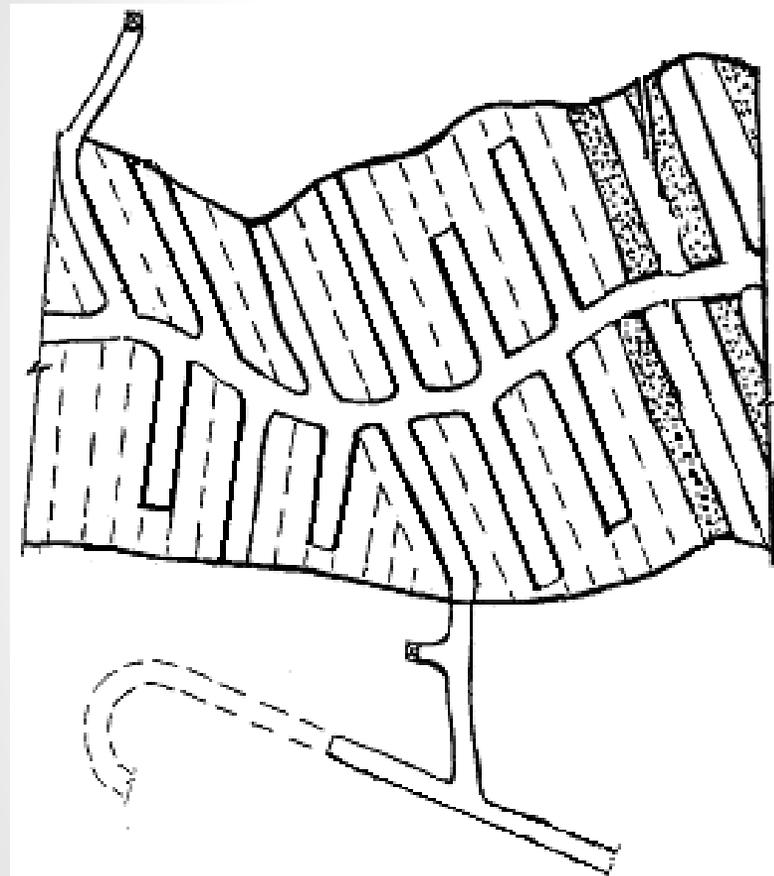


**рудник
Майский**

- *наблюдаемые на практике повсеместные отслоения и обрушения горной массы следует квалифицировать как неустойчивое состояние руды и пород в очистных заходках;*
- *расчеты ИрГТУ (2010) об устойчивом состоянии очистных заходок с обнажениями до 1000 м², положенные в основу проекта ПМИ (2011), не подтвердились на практике;*
- *при неустойчивом состоянии руды и пород нахождение людей и техники в открытом выработанном пространстве (очистных заходках) недопустимо по условиям безопасности.*

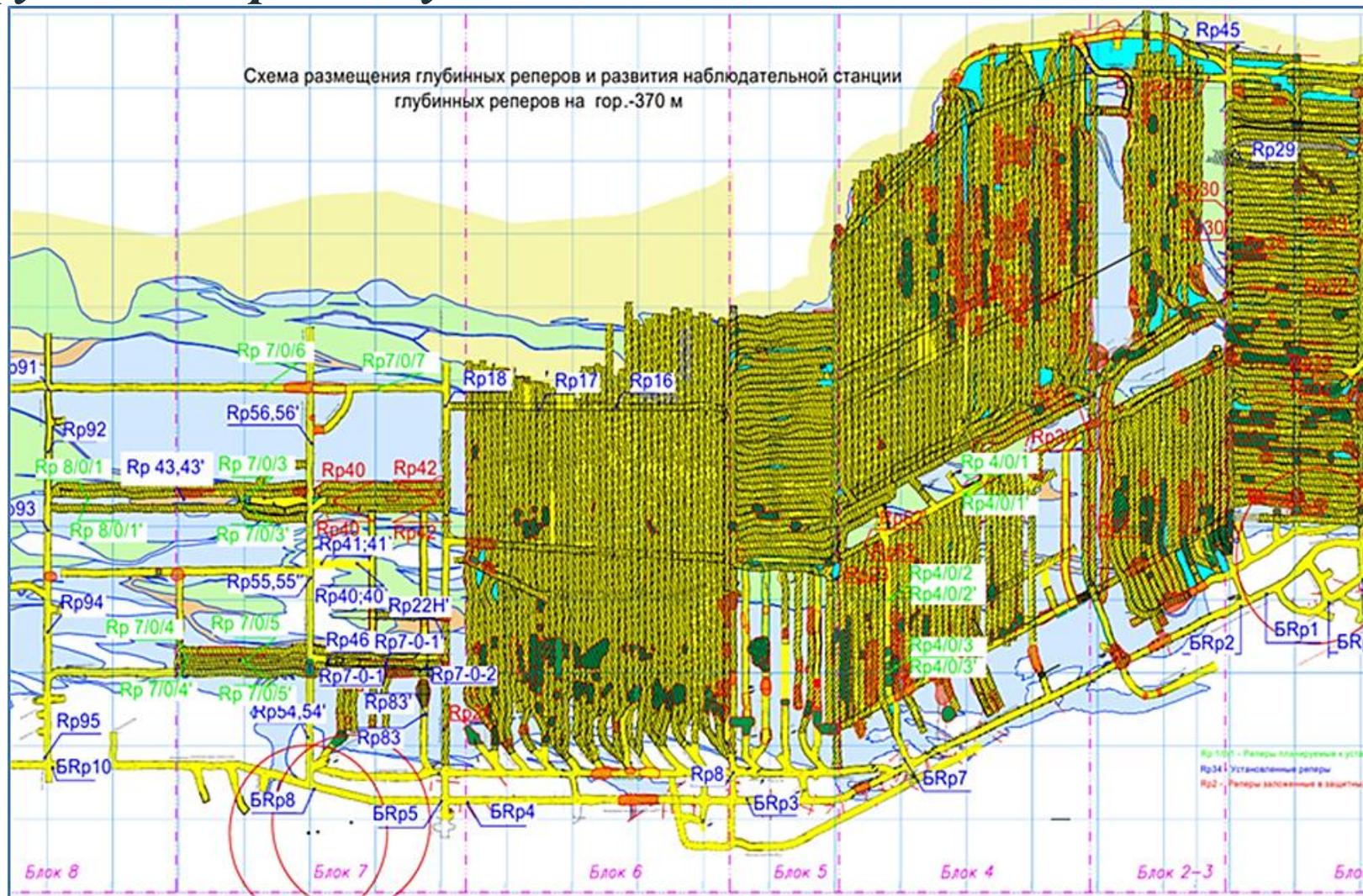


● *В нисходящем порядке под искусственной кровлей из твердеющей закладки отработки руд ниже средней устойчивости*



**Орловский
рудник**

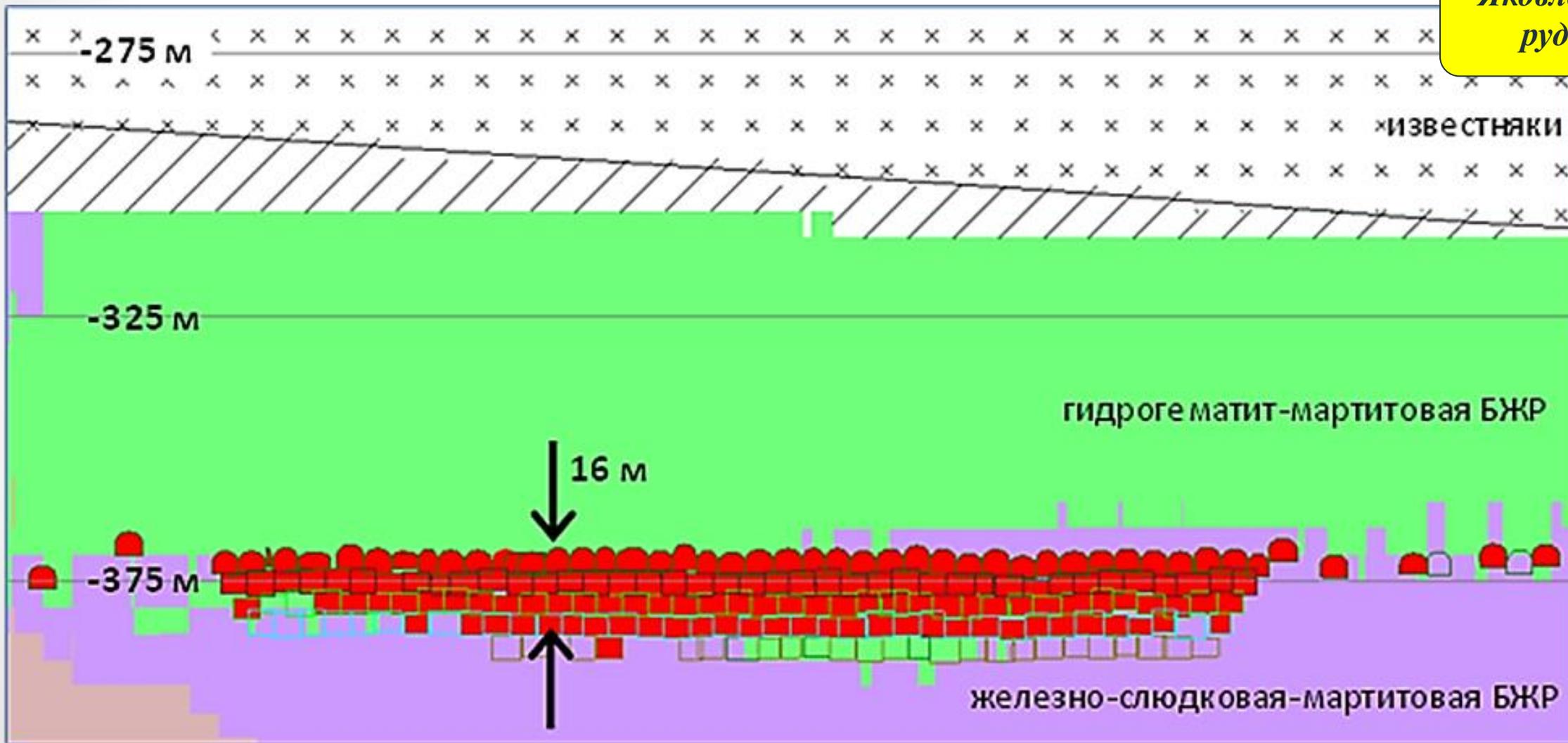
- *В нисходящем порядке под искусственной кровлей из твердеющей закладки - для отработки руд ниже средней устойчивости*



**Яковлевский
рудник**

● *В нисходящем порядке под искусственной кровлей из твердеющей закладки - для отработки руд ниже средней устойчивости*

**Яковлевский
рудник**



● Слоистая структура массива твердеющей закладки

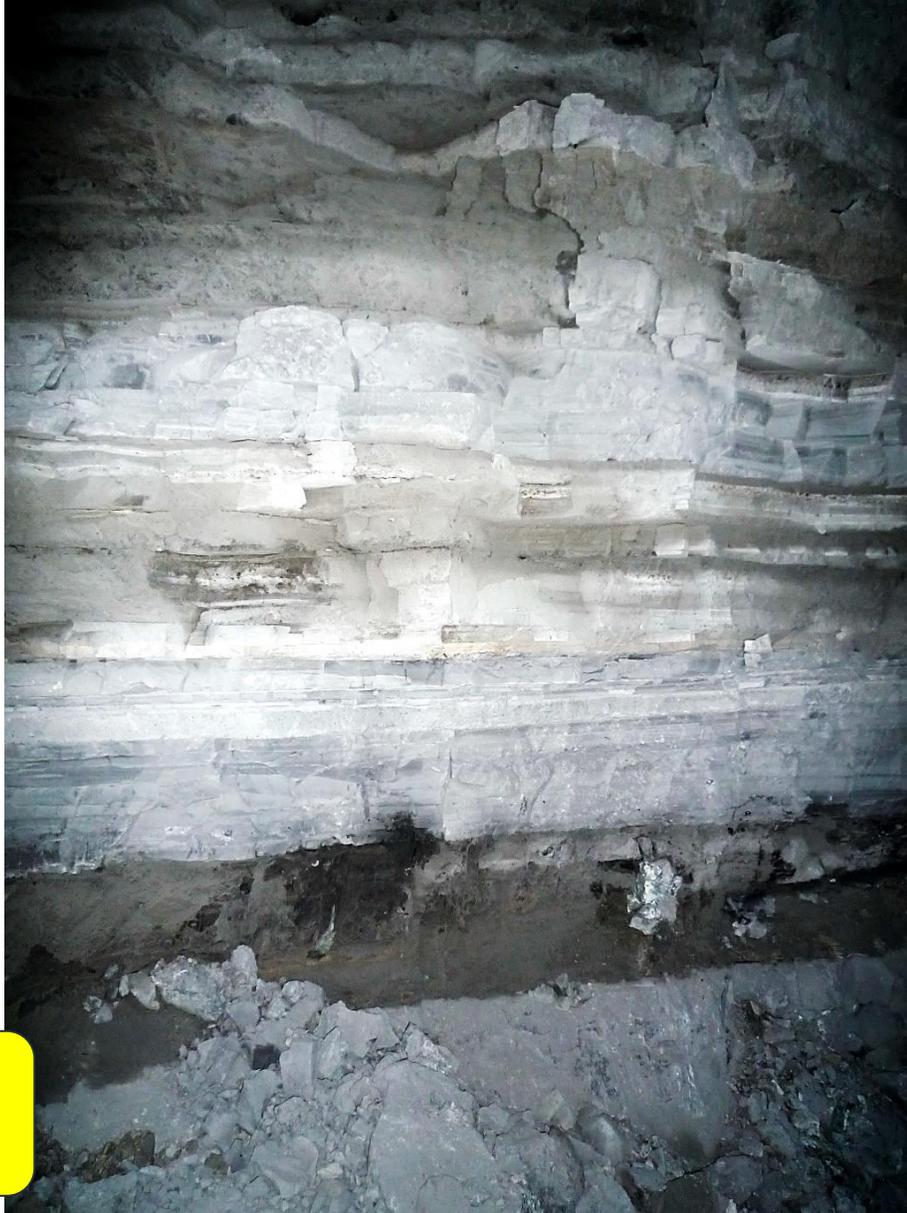
Малеевский
рудник

Таймырский
рудник



Твердеющая закладка

*Слоистая структура
массива твердеющей
закладки*



*Артемьевский
рудник*

Твердеющая закладка

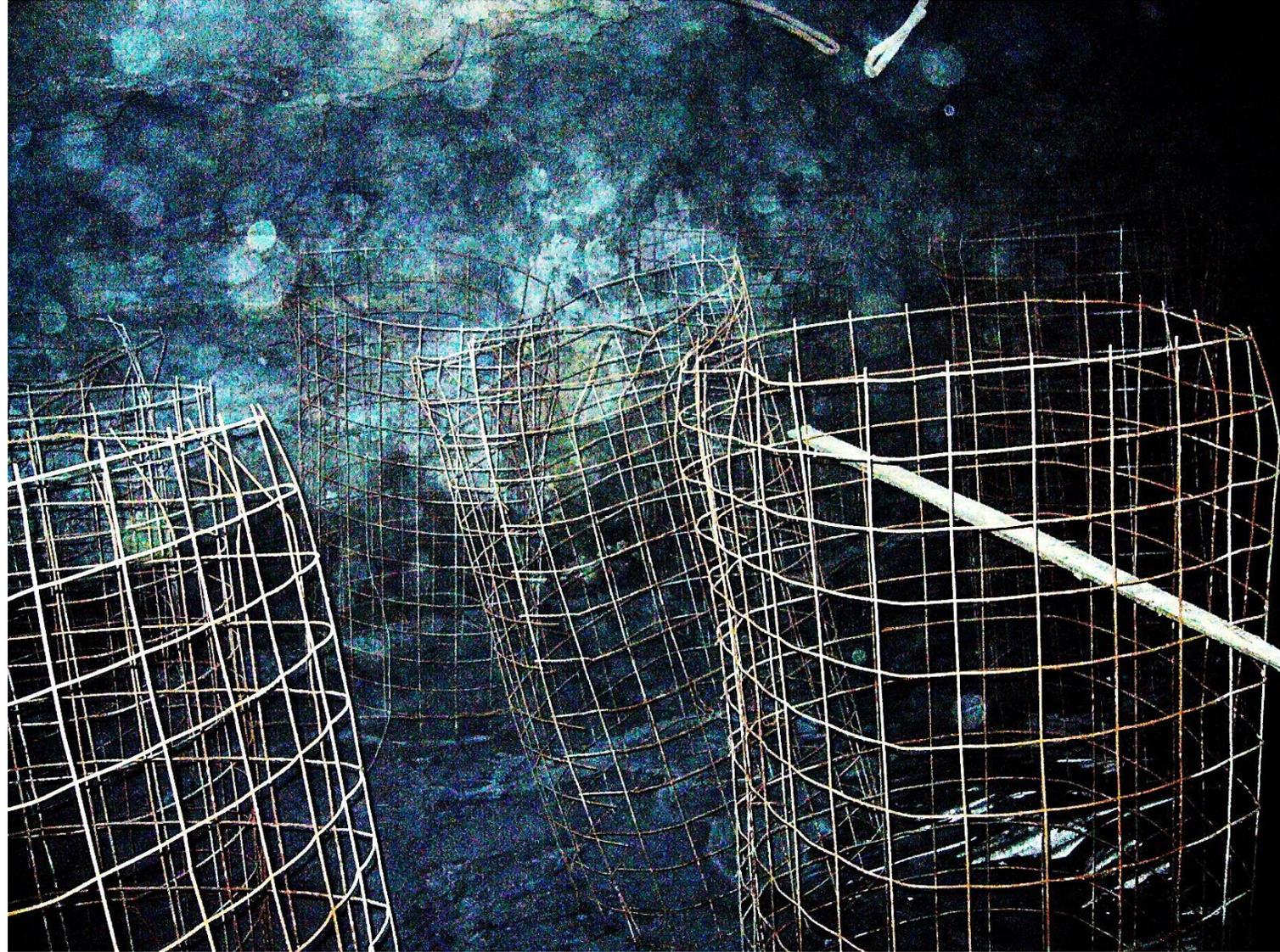
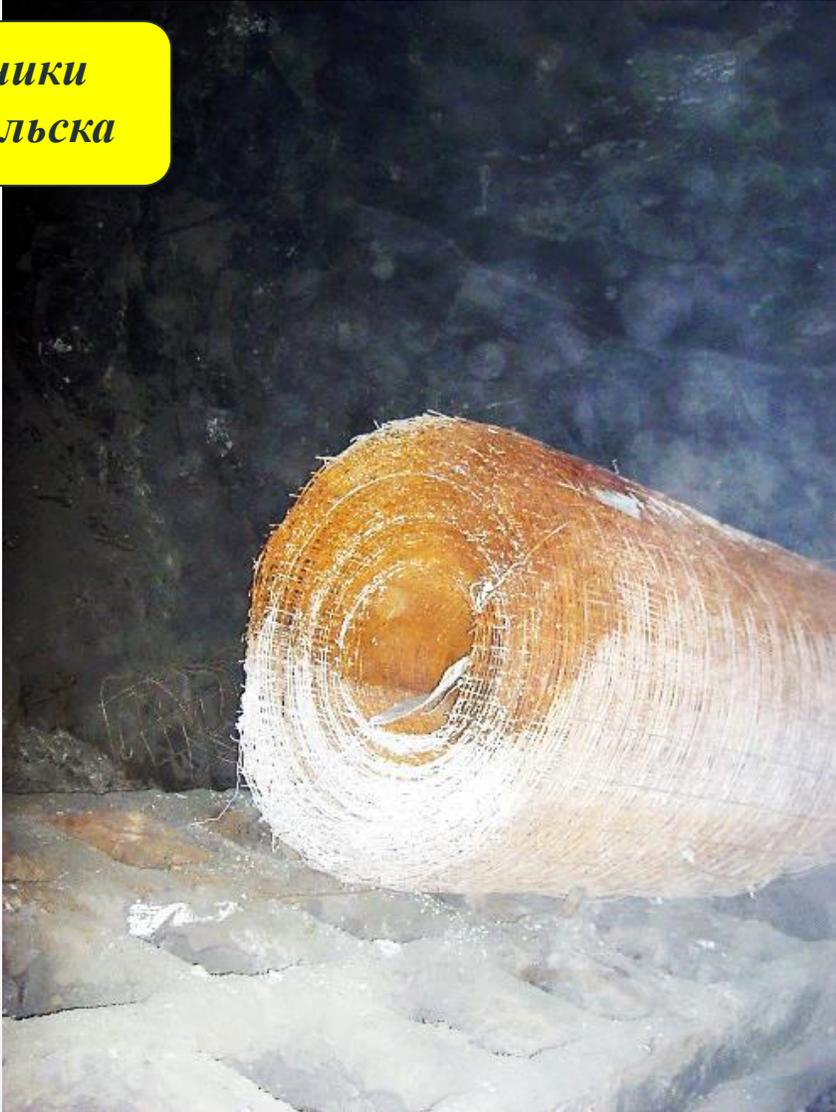
*Вывалы неармированной
закладки при ее
обнажении снизу*



*Малеевский
рудник*

● Вертикальная армировка искусственной кровли

*рудники
Норильска*



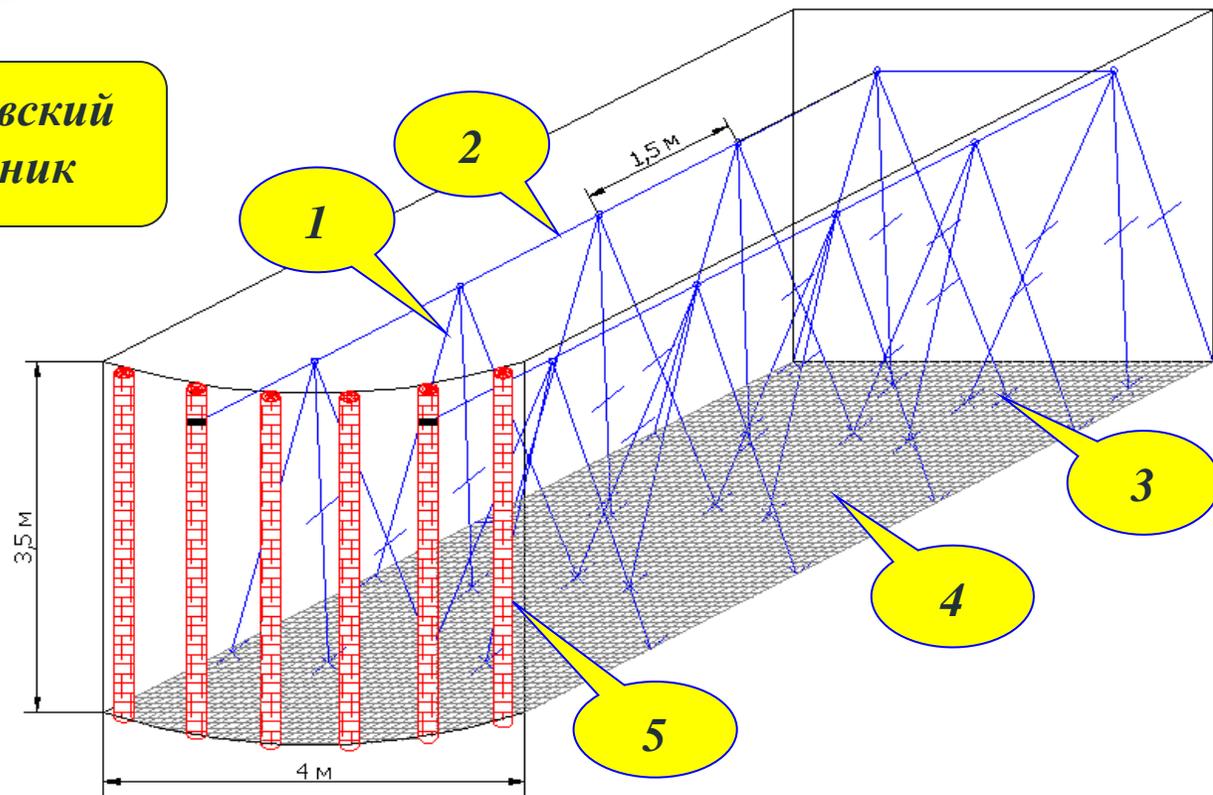
Вертикальная армировка искусственной кровли



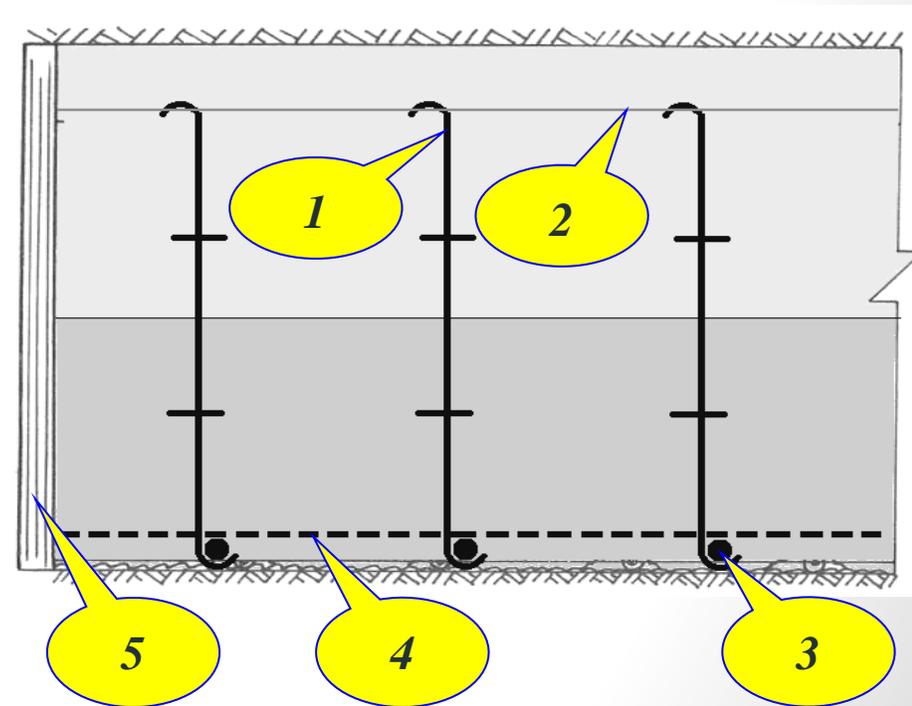
*рудники
Норильска*

Комбинированная армировка искусственной кровли из твердеющей закладки

Орловский
рудник



- 1 – арматурные стержни;
- 2 – связующая проволока;
- 3 – поддерживающие элементы;
- 4 – сварная металлическая сетка;
- 5 – стойки перемычки



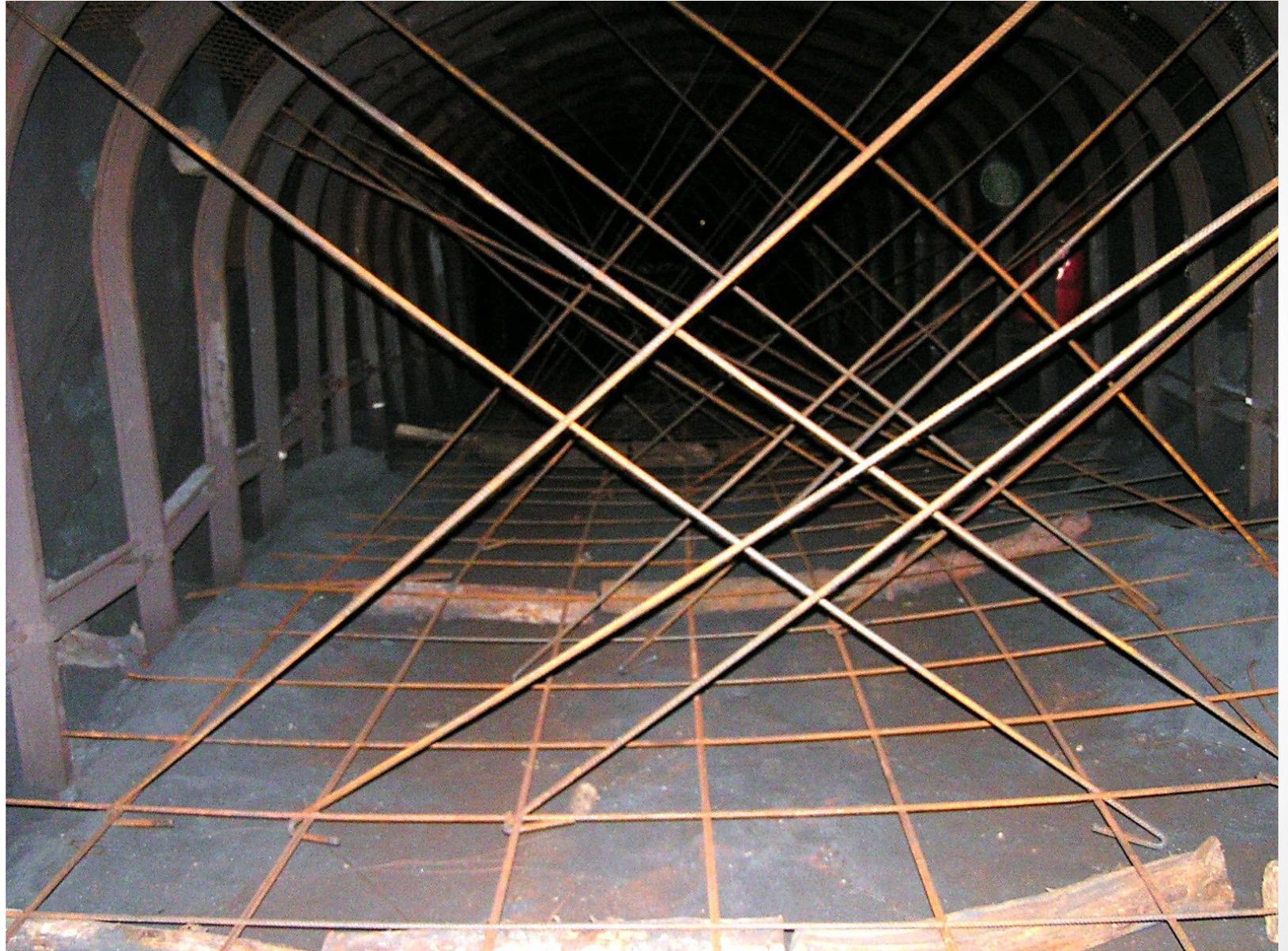
Комбинированная армировка искусственной кровли из твердеющей закладки

Орловский
рудник



*армирование = опережающее крепление
искусственной кровли*

*Комбинированная
армировка
искусственной кровли из
твердеющей закладки*



*Яковлевский
рудник*



*Комбинированная
армировка искусственной
кровли из твердеющей
закладки*

*Яковлевский
рудник*

Состояние армированной искусственной кровли



*Яковлевский
рудник*

Состояние армированной искусственной кровли



*Орловский
рудник*

Состояние армированной искусственной кровли



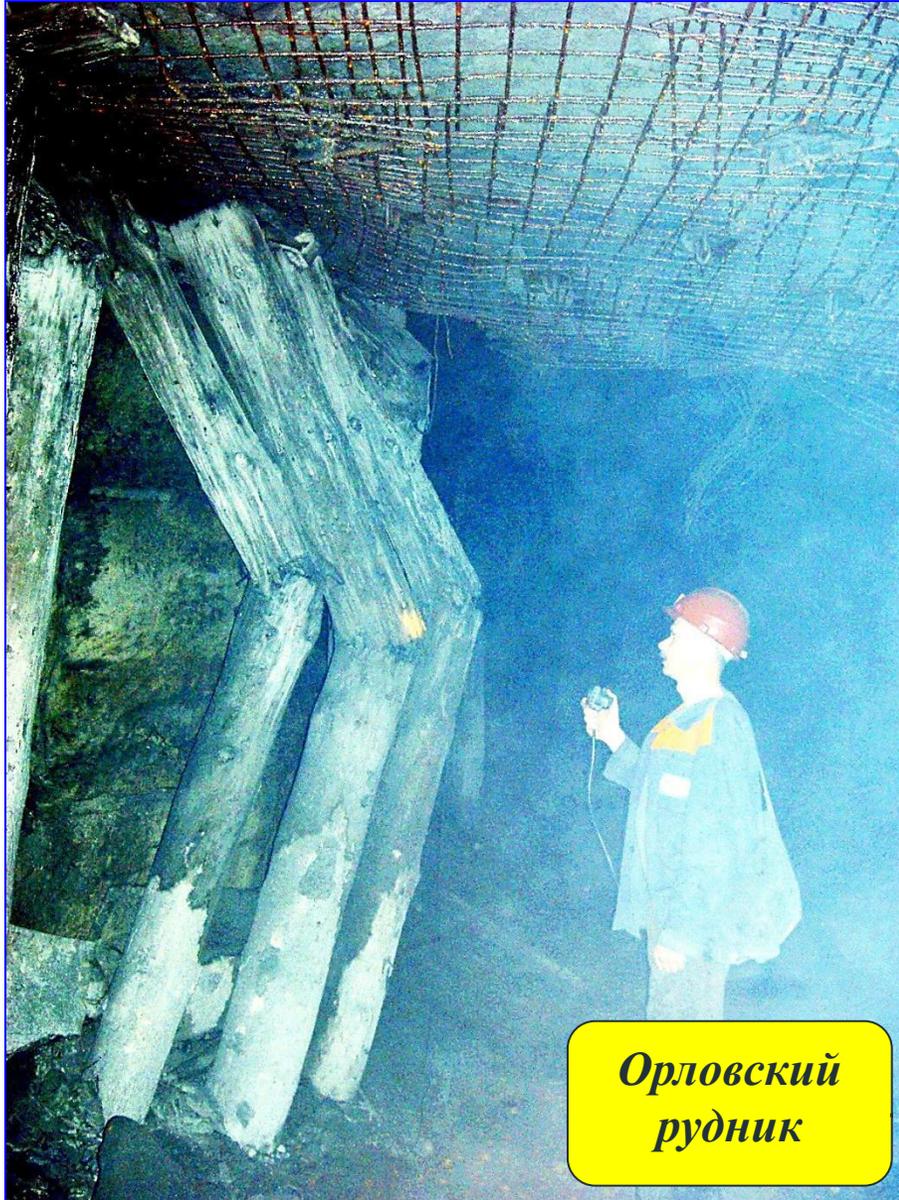
*Орловский
рудник*

Состояние армированной искусственной кровли

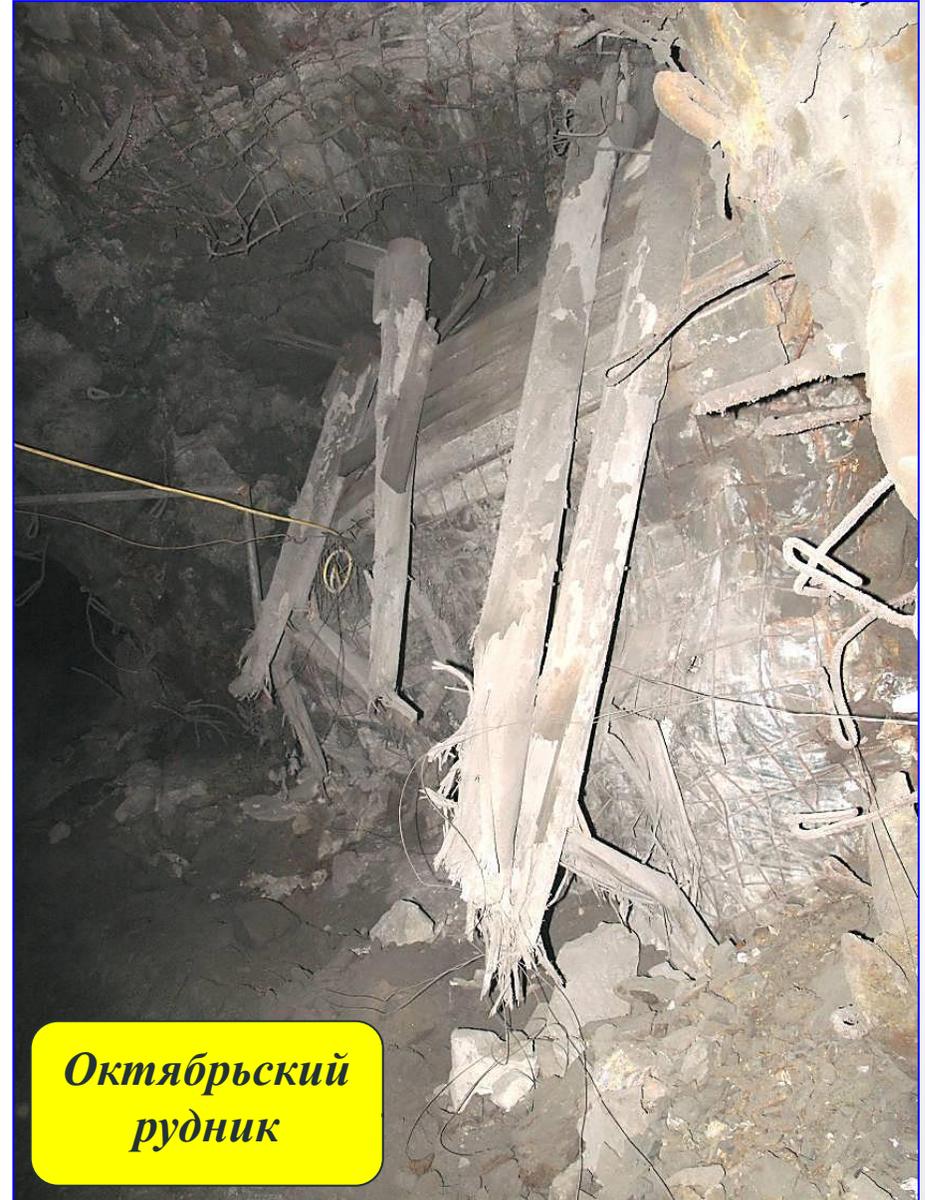


*Орловский
рудник*

*Оседание
армированной
искусственной
кровли в ходе
отработки слоя*



**Орловский
рудник**

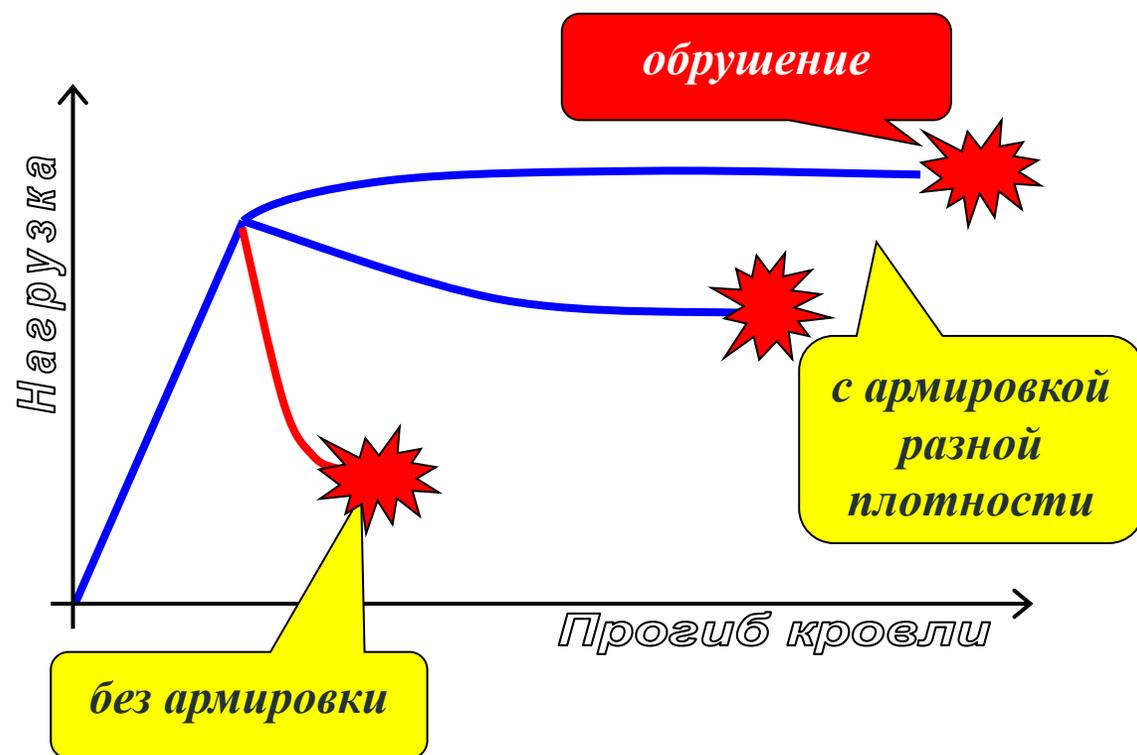


**Октябрьский
рудник**

*Оседание
армированной
искусственной
кровли в ходе
отработки слоя*



**Орловский
рудник**



Армировка закладки обеспечивает плавный прогиб искусственной кровли до 20 см при обнажении ее нижележащим слоем на площади очистного блока

Параметры армировки: шаг установки арматуры по длине и ширине заходки – 1,5 м; длина арматуры – 3,0 м; диаметр арматуры – 14 мм; диаметр проволоки сварной сетки – 5 мм; ячейка сварной сетки – 100×100 мм.

Расход металла на армировку – 22 кг/пог.м

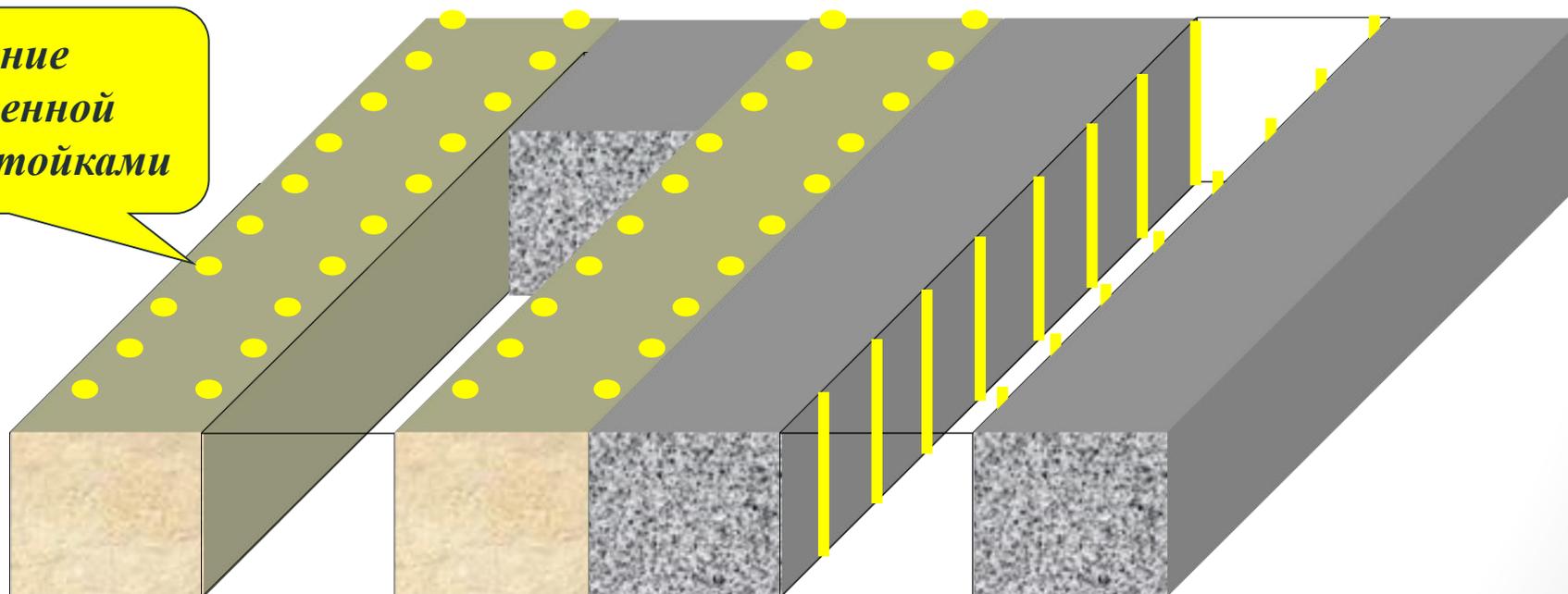
**Орловский
рудник**

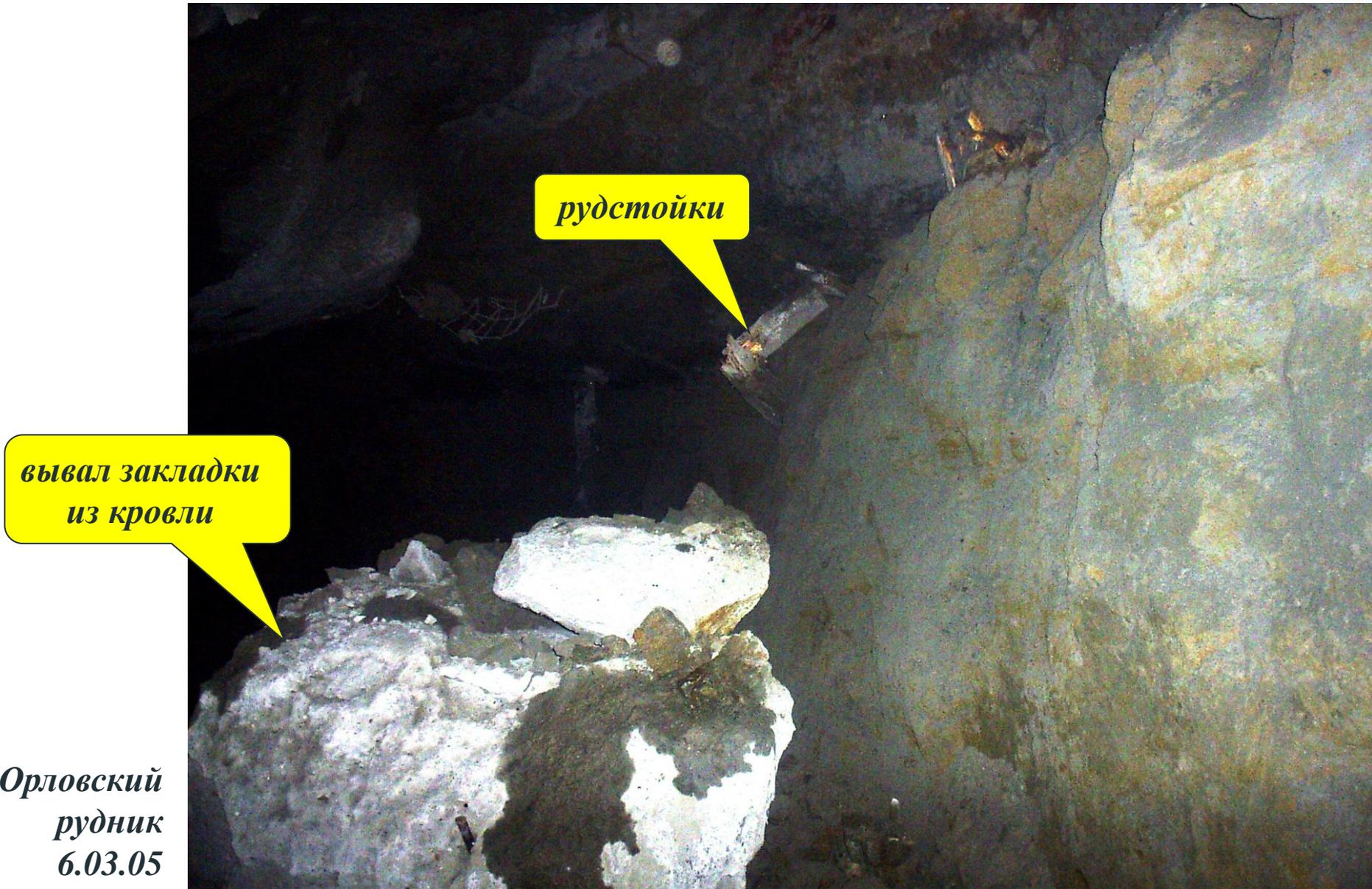
● *Дополнительные меры по поддержанию искусственной кровли для компенсации недозакладки*

**Орловский
рудник**



**крепление
искусственной
кровли рудстойками**





рудстойки

*вывал закладки
из кровли*

*Орловский
рудник
6.03.05*

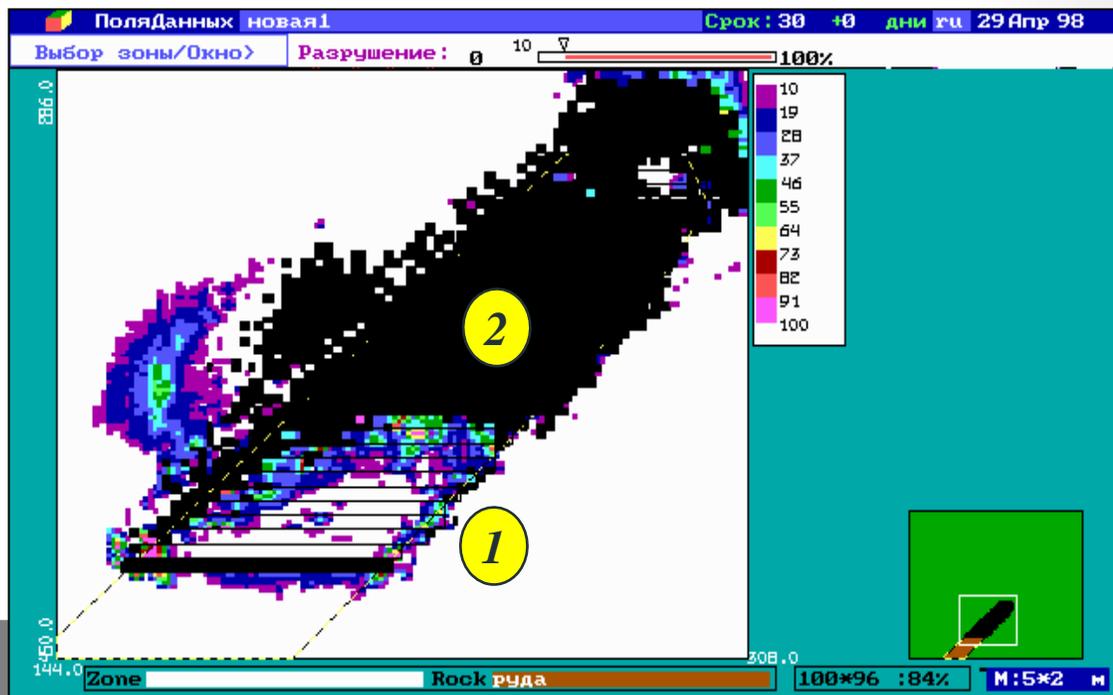
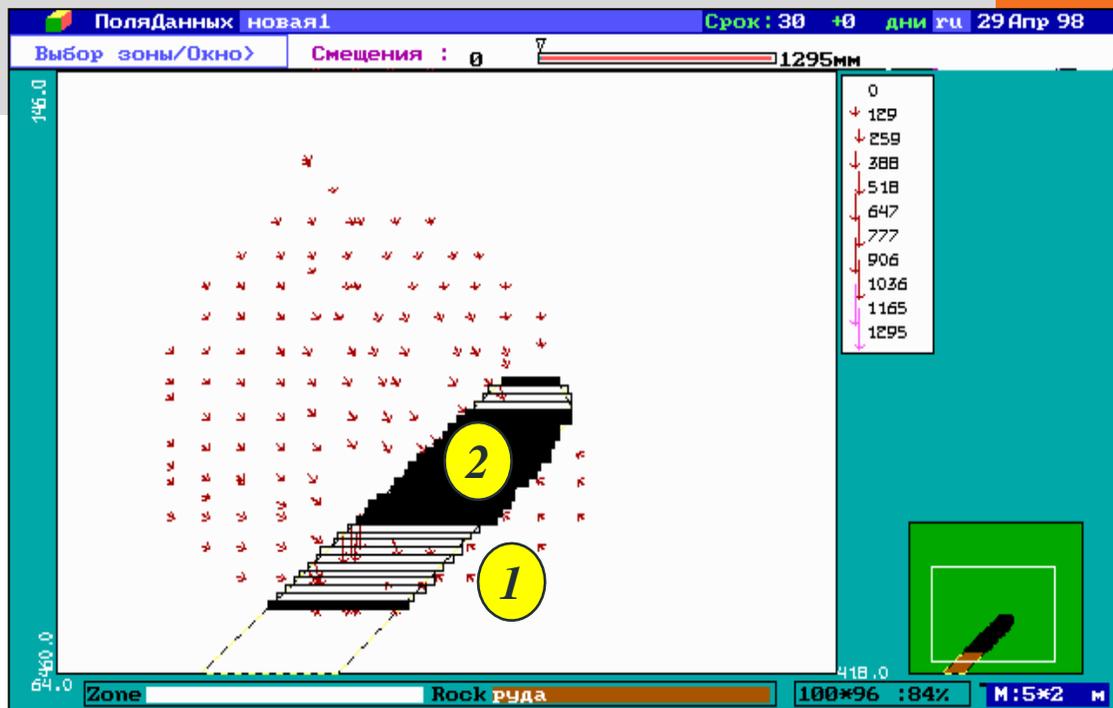
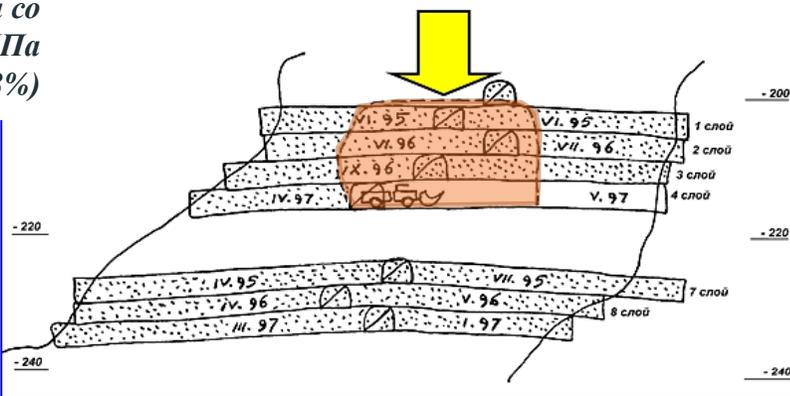
Система горизонтальных слоёв

20.05.97 г.

При отработке заходки 20 4 слоя блока 12с 9 гор. обрушилась закладка трех вышележащих слоев по всей ширине заходки на протяжении 25 м. Перед обрушением кровля начала оседать и ломать крепь. Под обрушением погибли 2 крепильщика. Машинист ПДМ травмирован, оказавшись под завалом.

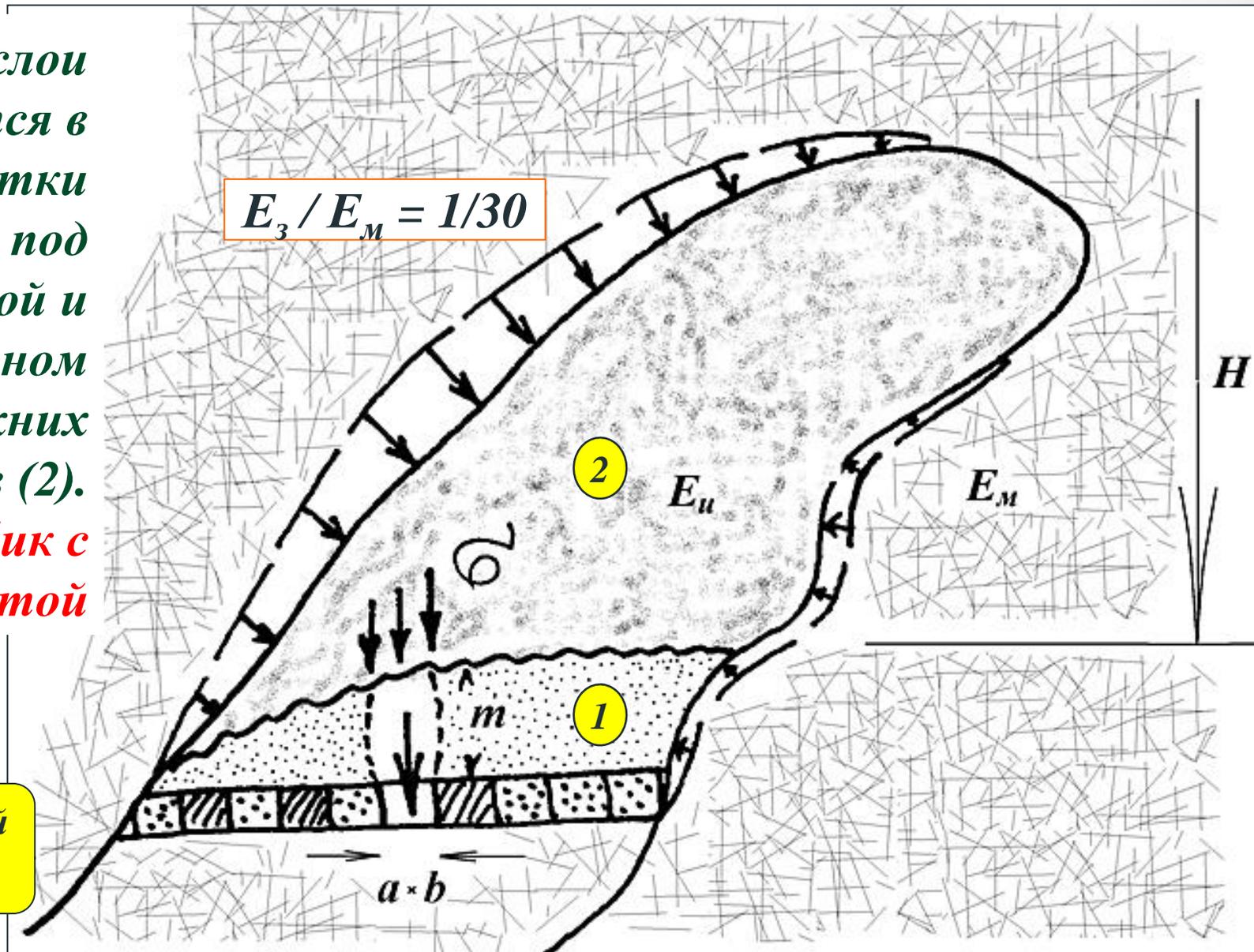
Прочность закладки = 1,8 МПа со стандартным отклонением 0,5 МПа (вариация 28%)

меньше проектной в 2,2 раза!
БРАК!!!



Нижележащие жесткие слои закладки (1) выдавливаются в очистные выработки отработываемого слоя под давлением раздавленной и находящейся в пластичном состоянии закладки верхних горизонтов (2).

Модель процесса – тубик с пастой

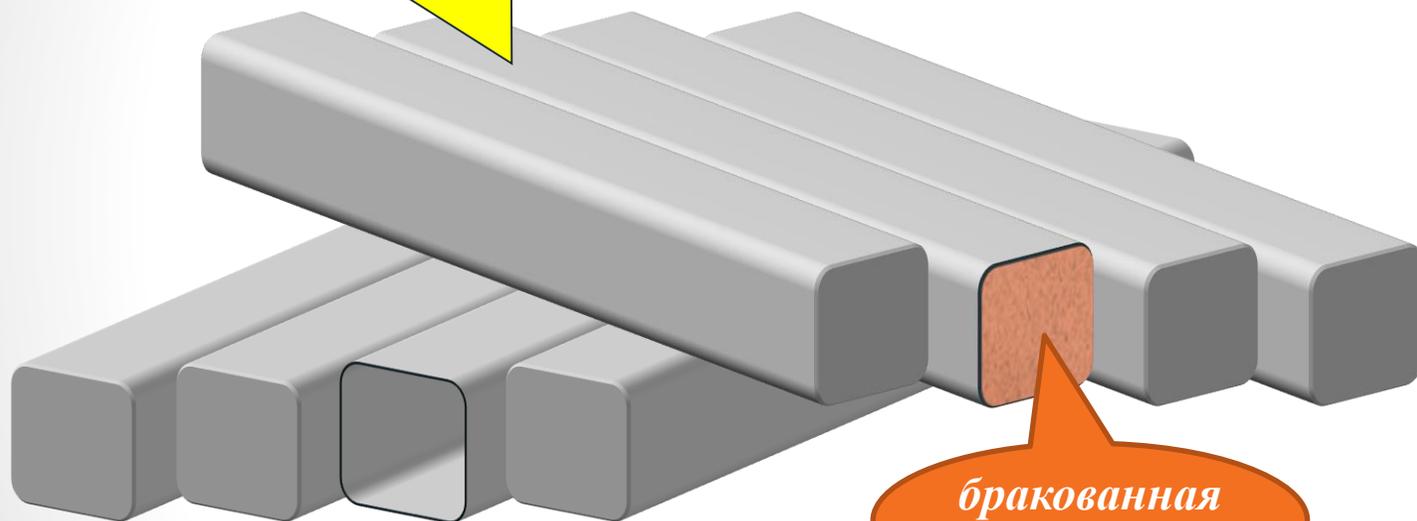


$$n = 2m / l_3 \cdot C / \sigma$$

Орловский рудник

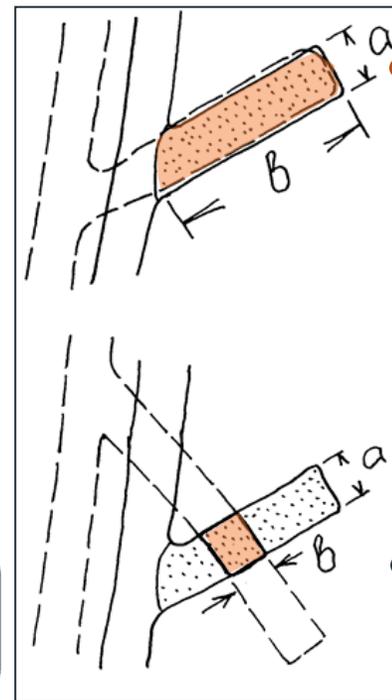
Дополнительные меры по поддержанию искусственной кровли:

*перекрещивающееся
расположение очистных
заходок в смежных по
высоте слоях*



принцип костра, сруба

*бракованная
закладка*



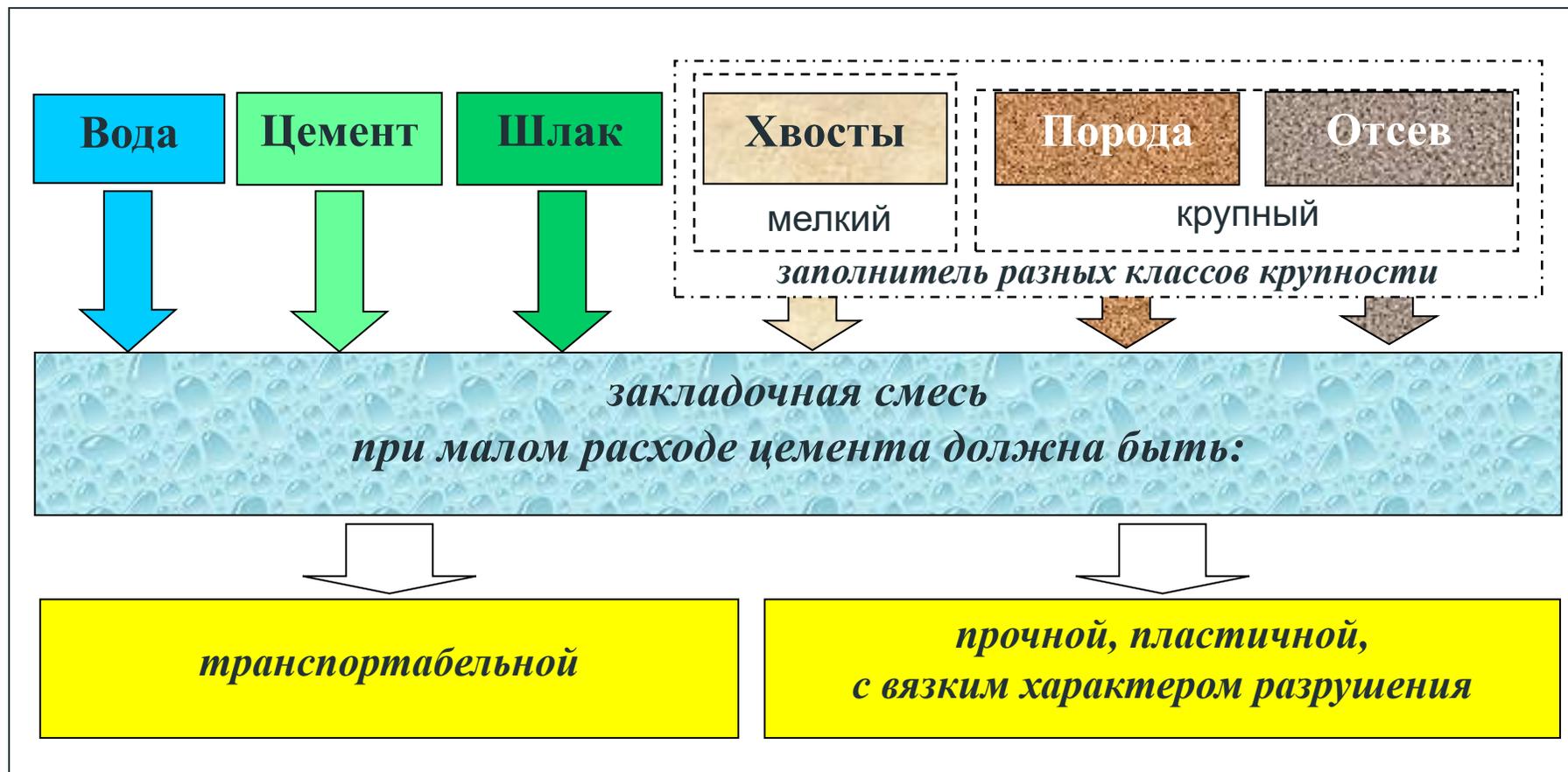
соосные заходки

*Запас прочности
искусственной кровли
на срез (пробка тубика):
 $n = 2m/l_3 \cdot C/\sigma$*

заходки вкrest

*при расположении заходок
вкrest устойчивость
искусственной кровли из
бракованной закладки
повышается в 1,7 раза !!!*

Подбор составов закладки



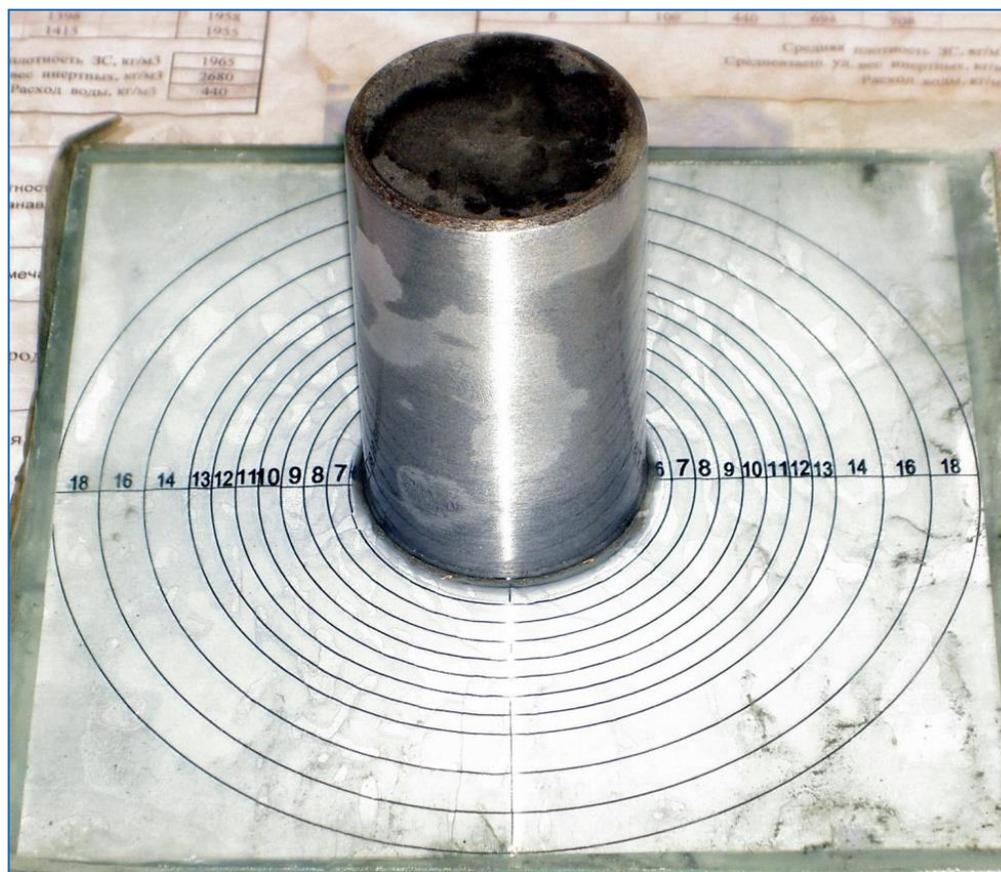
Баланс материалов в 1 м³ смеси:

$$\frac{Ц}{\gamma_{ц}} + \frac{Ш}{\gamma_{ш}} + \frac{П}{\gamma_{п}} + \dots + \frac{В}{\gamma_{в}} = 1$$

● *Обеспечение транспортабельности закладочной смеси*

Нормативные требования к грансоставу материалов закладочной смеси:

<i>крупный</i>	<i>+2,5 мм</i>	<i>10-15%</i>
<i>средний</i>	<i>- 2,5 ...+ 0,074 мм</i>	<i>55-65%</i>
<i>мелкий</i>	<i>-0,074 мм</i>	<i>30-35%</i>

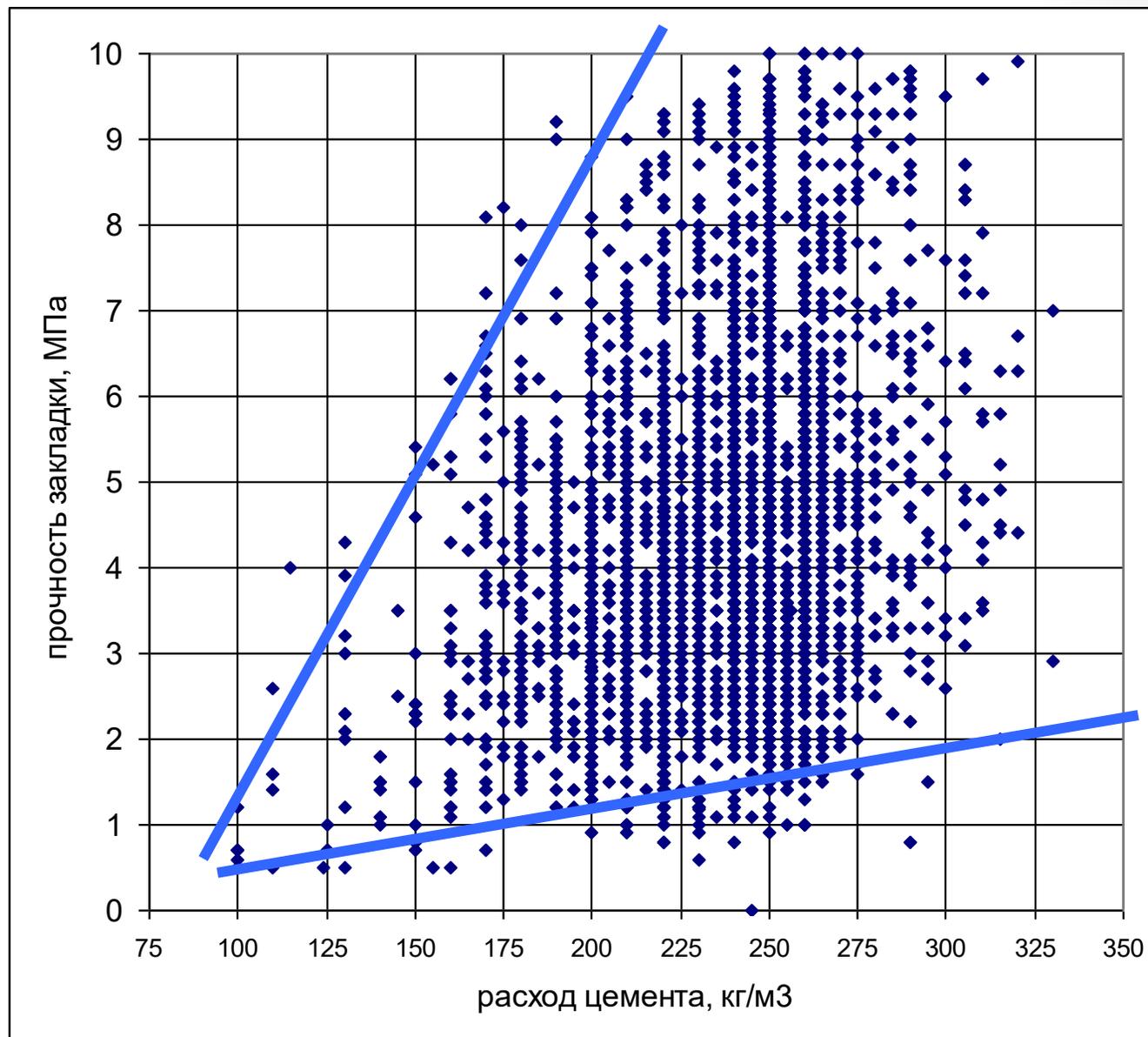


Определение подвижности смеси по распылу на стекле вискозиметром Суттарда (ГОСТ 125-79)

*Прочность твердеющей закладки
в зависимости от расхода
цемента (Ц):*

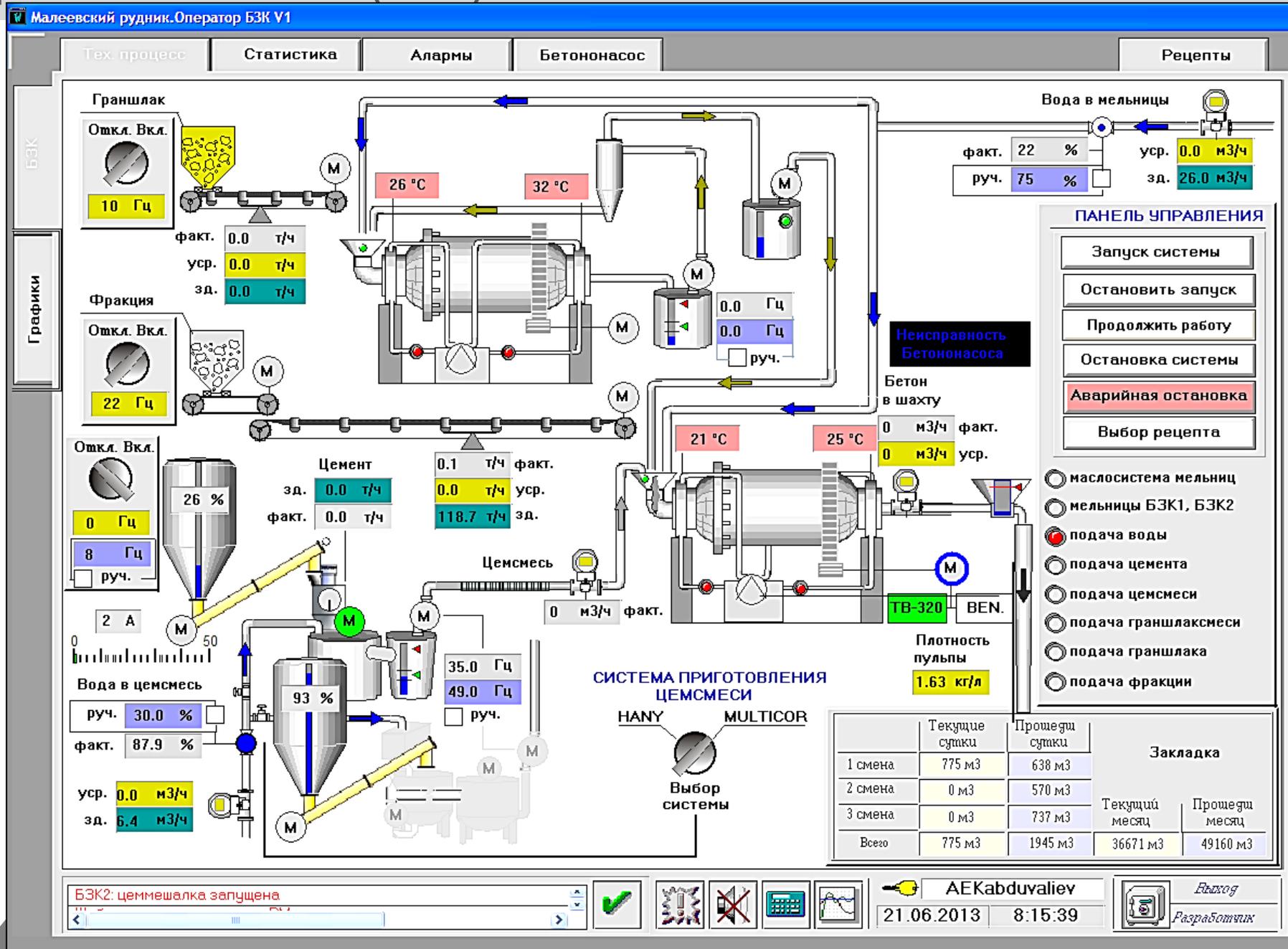
**Орловский
рудник**

*около 4 тыс. проб
в течение 1987÷97 г.г.*



Технологическая схема БЗК

Малеевский
рудник



БЗК

Графики

Тверд. тело т/ч	Тверд. тело кг/л	Тверд. тело м3/ч
118.58	2.60	45.61
Вода м3/ч	Тверд. тело %	Вода м3/ч
35.02	77.20	35.02
Пульпа т/ч	Пульпа кг/л	Пульпа м3/ч
153.60	1.91	80.63

УСТАНОВКИ КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Фракция (т/ч)	Граншлак (т/ч)	Цемент (т/ч)	Вода в мельницы (м3/ч)	Вода в цемент (м3/ч)
118.68	0.0	0.00	26.04	6.40

Рецепт А
без граншлака

Произв. мельн.	80.00	153.60
Легк. фр.	1439.00	
Цемент	0.00	
Вода	450.00	
Содерж. цем. в тверд. %	0.00	
Содерж. воды в цем. молоке %	100.00	
Отношение вода / цемент	65635.00	

Рецепт В

Произв. мельн.	100.00	192.00
Легк. фр.	1110.00	
Цемент	70.00	
Вода	465.00	
Граншлак	308.00	
Содерж. цем. в тверд. %	4.70	
Содерж. воды в цем. молоке %	79.01	
Отношение вода / цемент	1.21	

Рецепт С

Произв. мельн.	115.00	220.80
Легк. фр.	1175.00	
Цемент	60.00	
Вода	450.00	
Граншлак	264.00	
Содерж. цем. в тверд. %	4.00	
Содерж. воды в цем. молоке %	80.52	
Отношение вода / цемент	1.33	

Наличие тв. в пульпе (%)	77.20	Плотность цемента (кг/л)	3.10	Плотность фракции (кг/л)	2.60	Плотность граншлака (кг/л)	2.80	Плотность шлак. пульп. (кг/л)	1.70	Твердое в фракции (%)	97.00	Твердое в граншлаке (%)	98.00
--------------------------	-------	--------------------------	------	--------------------------	------	----------------------------	------	-------------------------------	------	-----------------------	-------	-------------------------	-------

Малеевский
рудник

БЗК2: цементшалка запущена



АЕKabduvaliev

21.06.2013

8:17:40



Выход



Разработчик

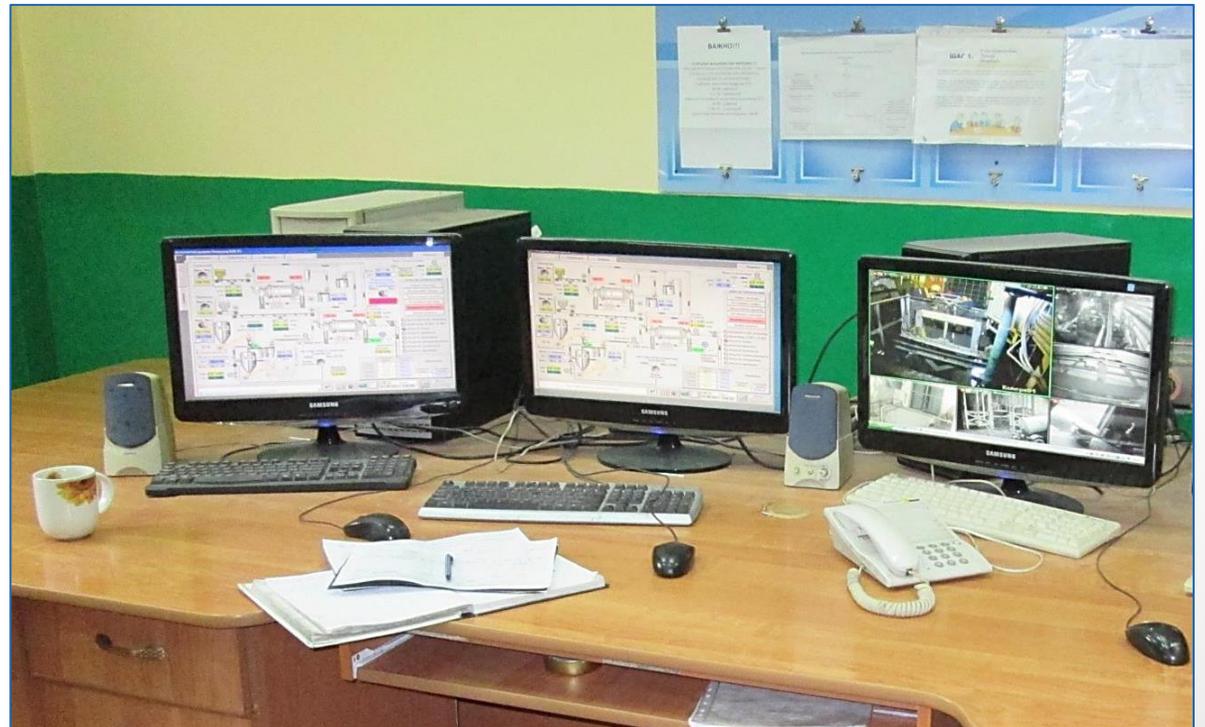
гидравлическая
закладка камер 4
очереди (7%)

твердеющая закладка
5 МПа на днище
камер (8%)

твердеющая закладка
3,5 МПа в камеры
высотой 30 м (85%)

*Контроль
прочности
закладки*

*Малеевский
рудник*



Набор прочности закладки во времени:

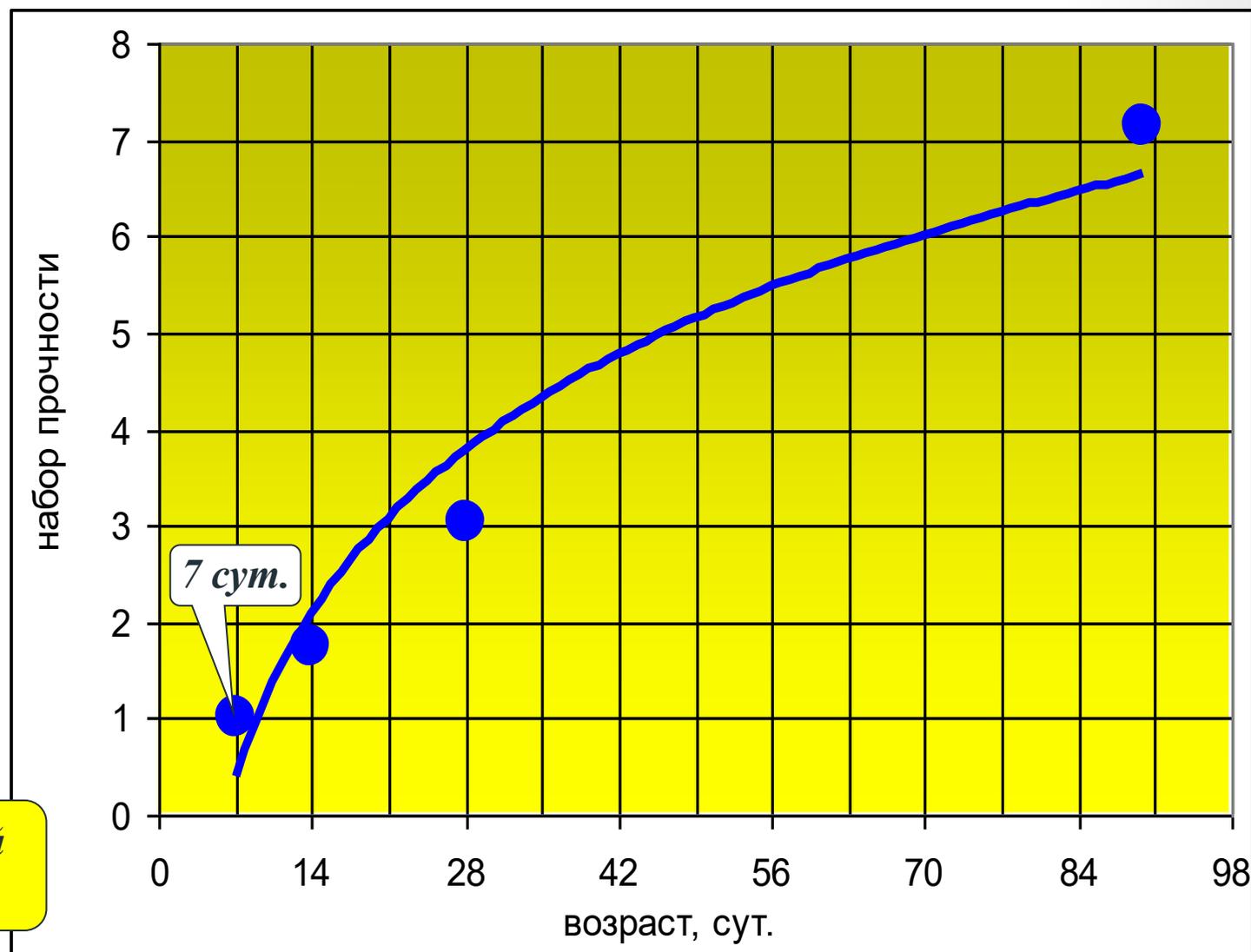
- *малые сроки твердения*
(для слоевых систем разработки)

$$\frac{\sigma(t)}{\sigma(7)} = 2,5 \ln t - 4,6$$

$\sigma(t)$ – прочность закладки с возрастом t ;

$\sigma(7)$ – прочность закладки с возрастом 7 суток

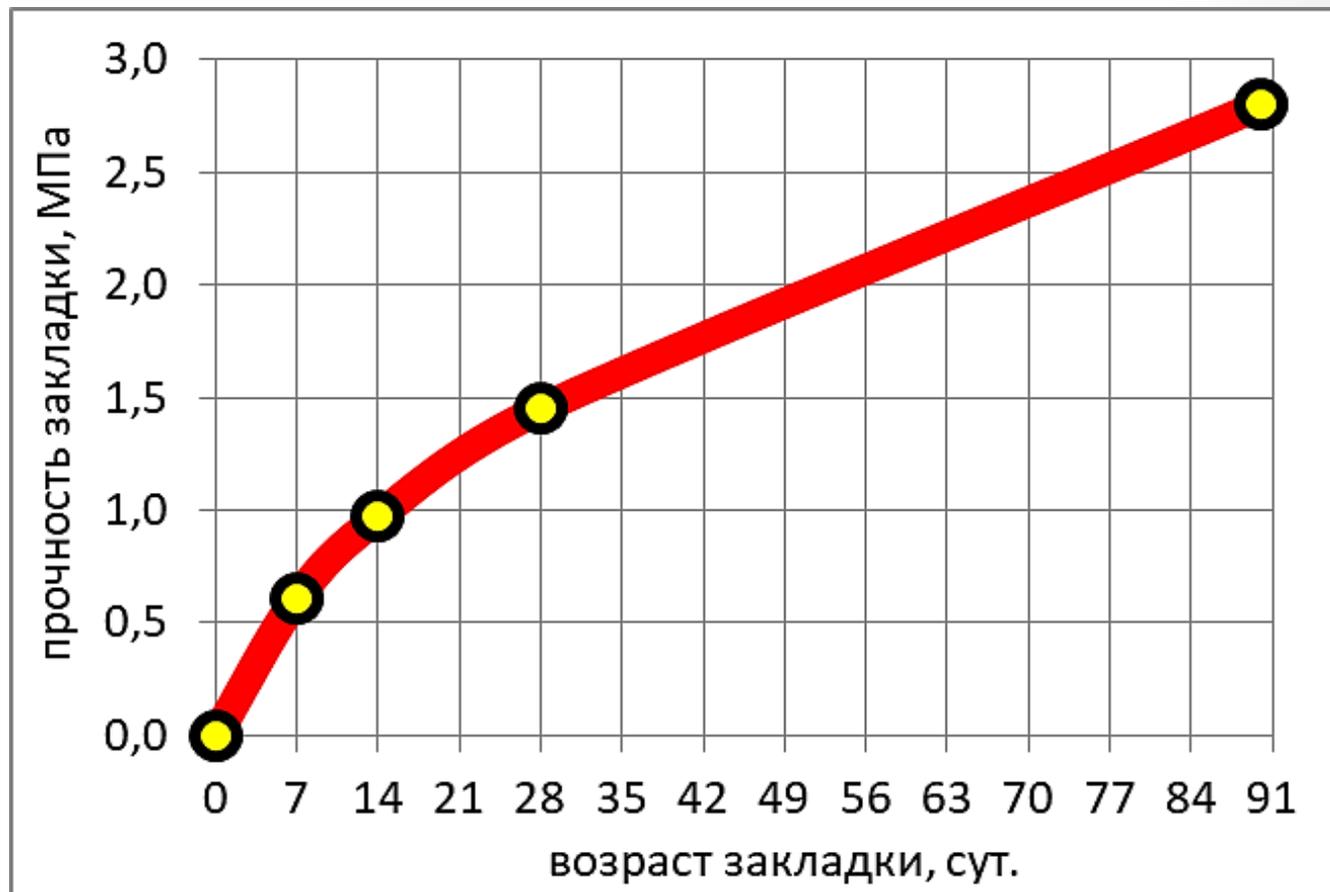
Орловский
рудник



Набор прочности закладки во времени:

- *малые сроки твердения (для слоевых систем разработки)*

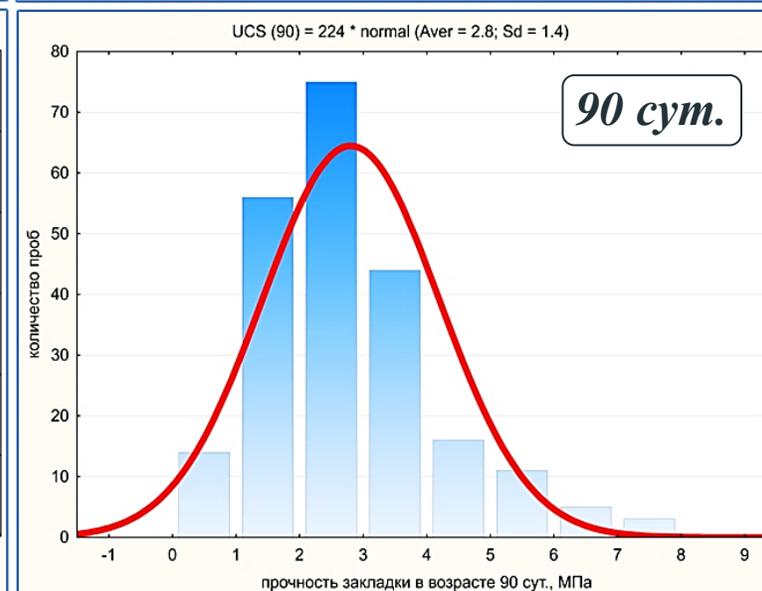
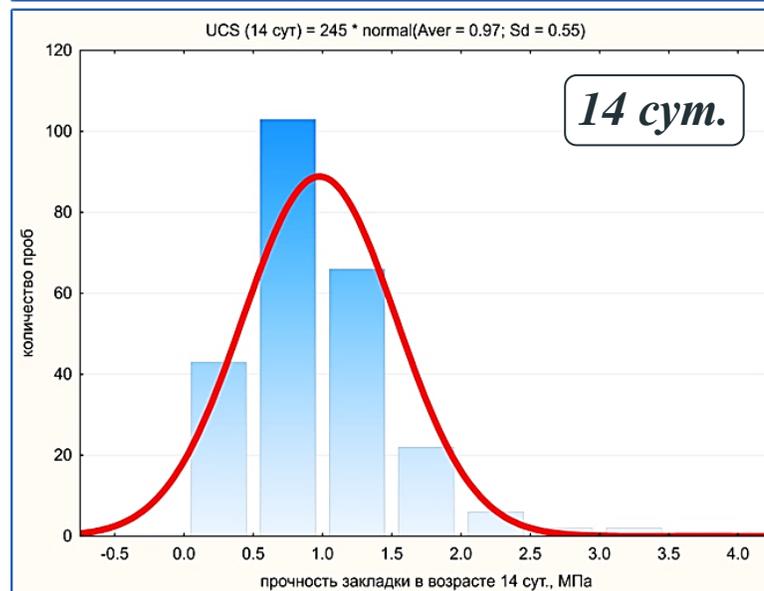
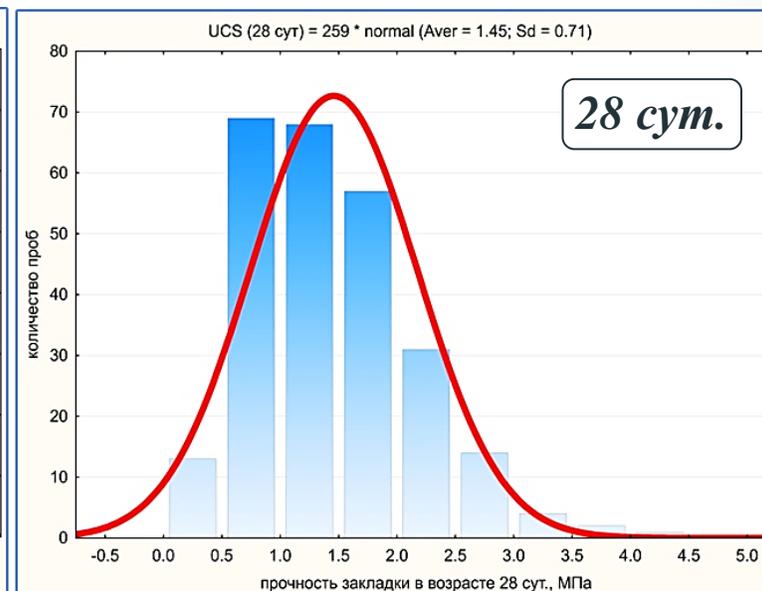
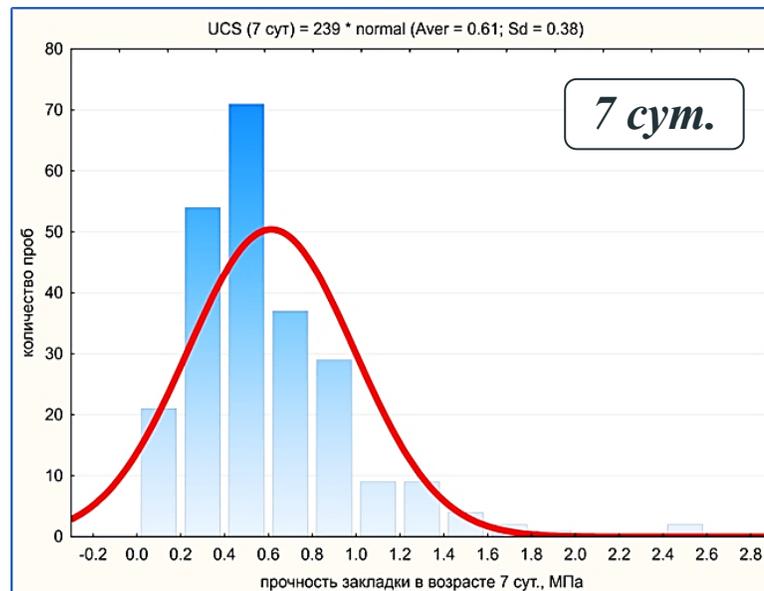
*Артемьевский
рудник*



возраст	0	7	14	28	90
кол-во проб	0	239	245	259	224
средняя, МПа	0	0,61	0,97	1,45	2,8
стандарт, МПа	0	0,38	0,55	0,71	1,4
вариация	0	62%	57%	49%	50%

Разброс прочности закладки

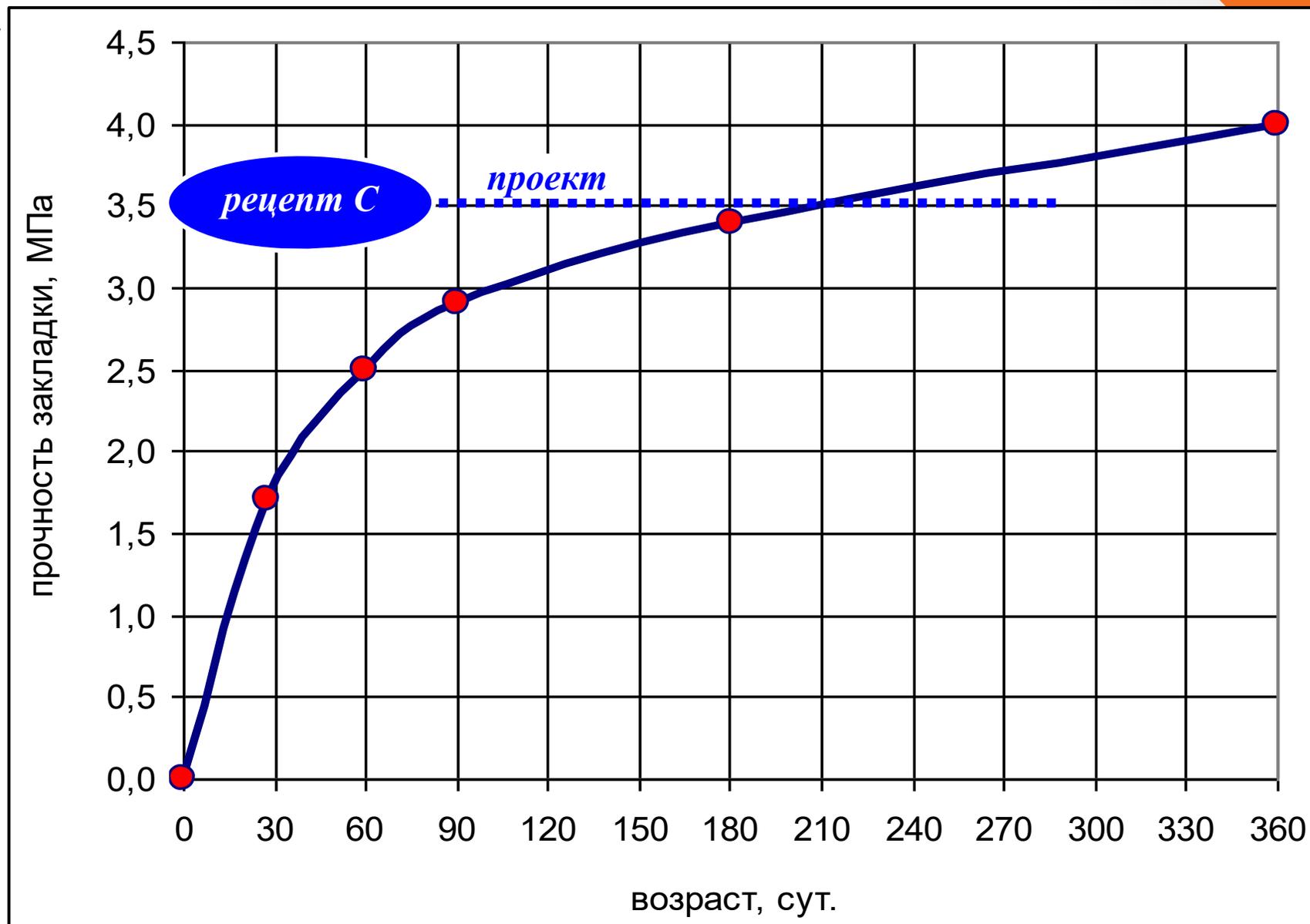
Артемовский
рудник



Набор прочности закладки во времени:

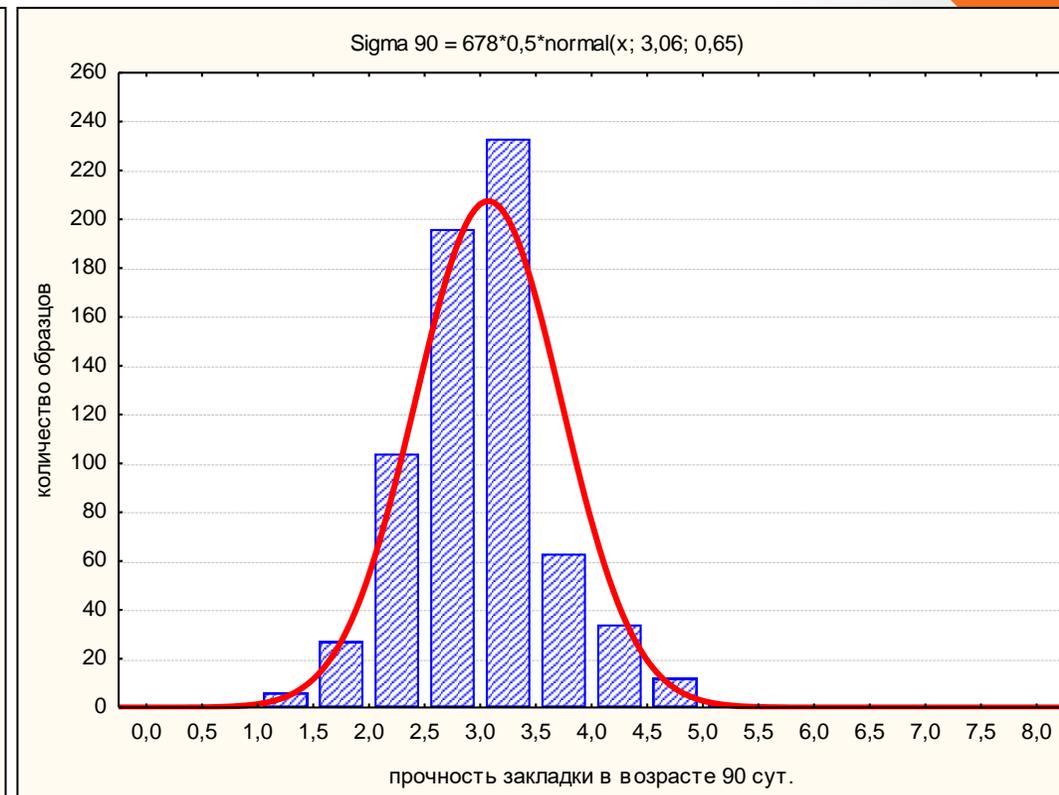
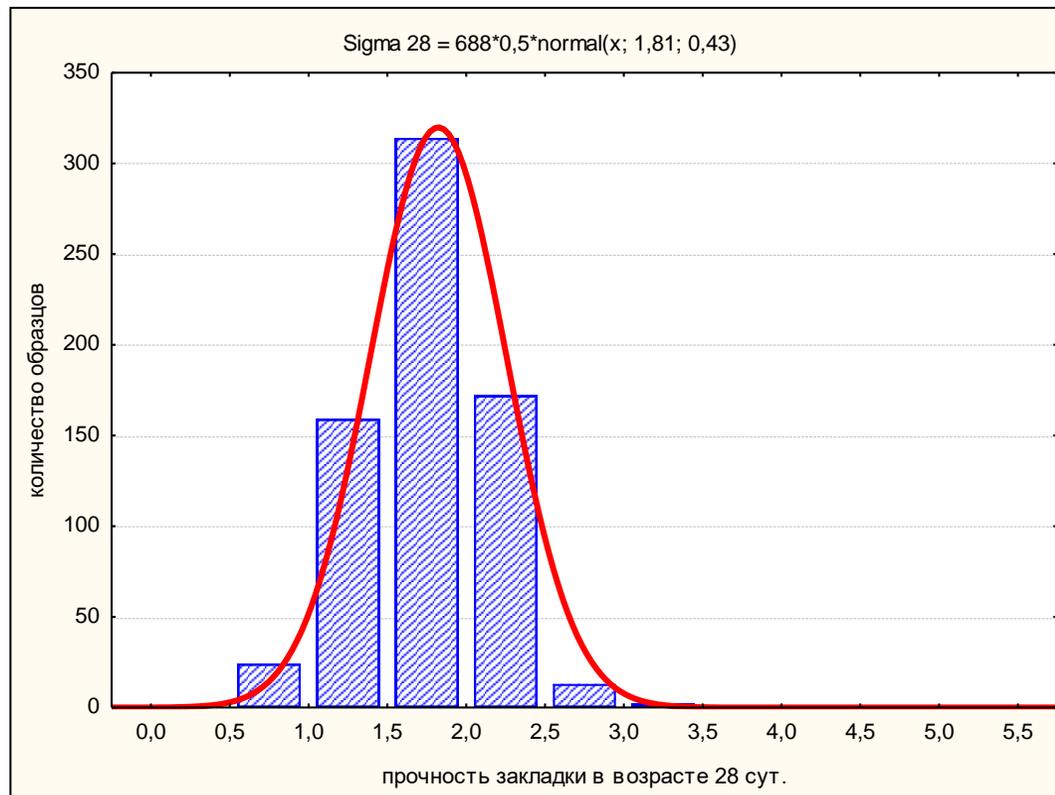
- средние сроки твердения (для камерных систем разработки)

Малеевский
рудник



Разброс прочности закладки

Малеевский рудник



Показатель	28 сут.	90 сут.
количество образцов	688	678
средняя прочность, МПа	1,8	3,1
стандарт. отклонение, МПа	0,4	0,7
коэффициент вариации, %	24	21

Процесс приготовления закладки в плане дозирования исходных материалов и технологии их мельничного помола достаточно устойчив. Это достигнуто за счет:

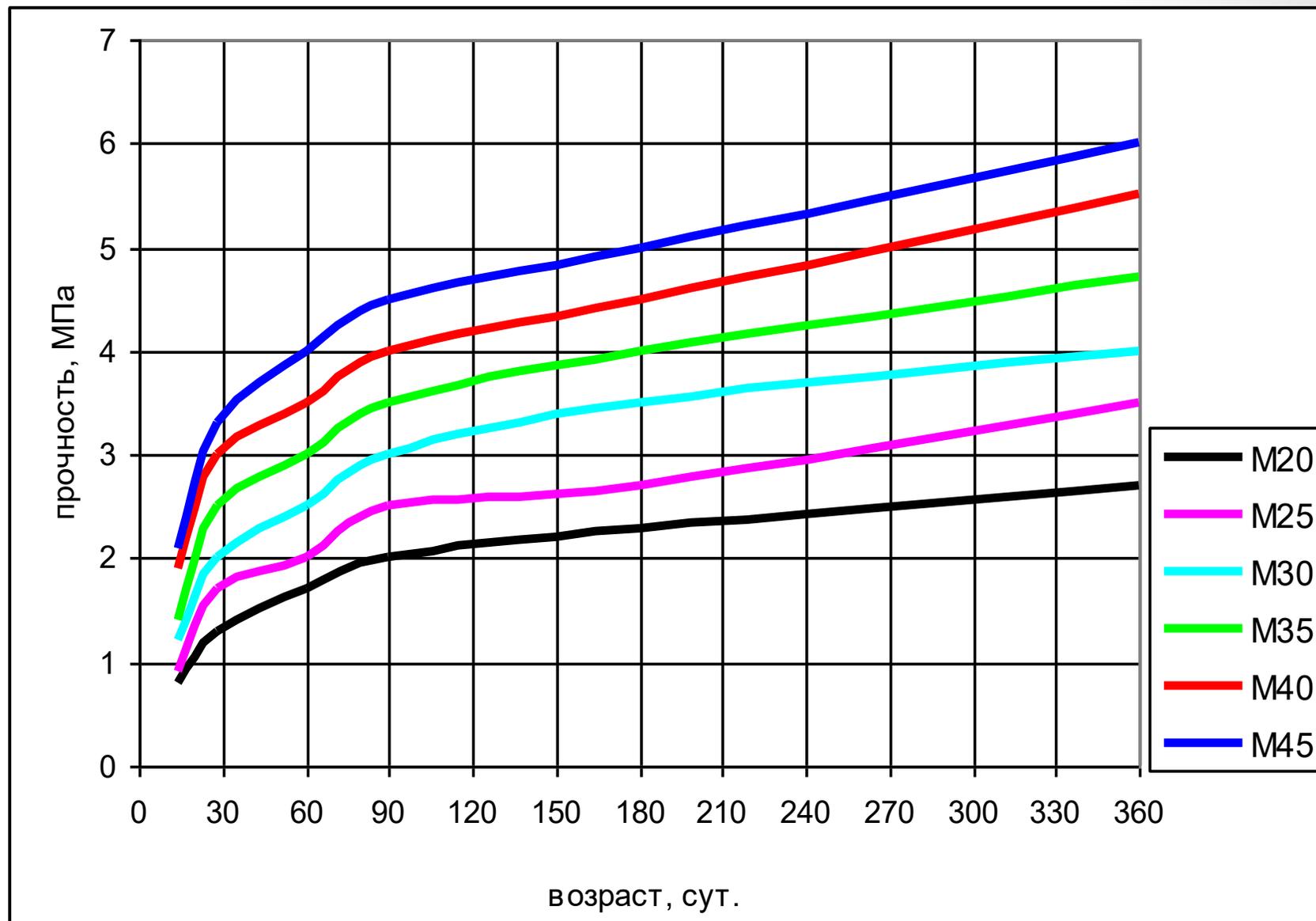
- а) приборного контроля всех технологических процессов;
- б) компьютерного (полуавтоматического) управления всех технологических процессов.

Набор прочности закладки во времени:

- *средние сроки твердения (для камерных систем разработки)*

**Тишинский
рудник**

*Смеси на основе
сложного вяжущего*



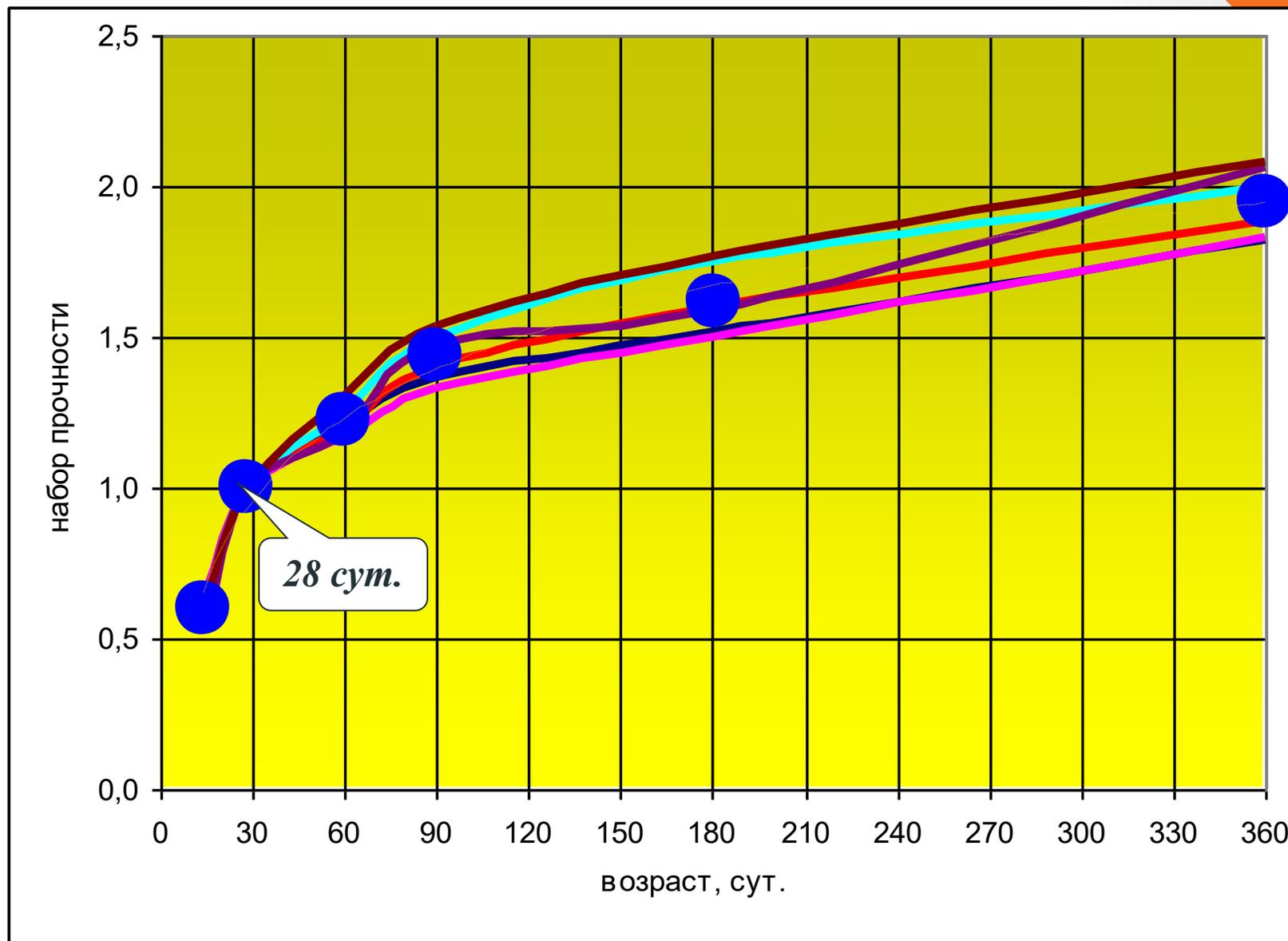
Набор прочности закладки во времени:

- *средние сроки твердения (для камерных систем разработки)*

$$\frac{\sigma(t)}{\sigma(28)} = 0,4 \ln t - 0,4$$

**Тишинский
рудник**

*Смеси всех марок на
основе сложного
вяжущего*

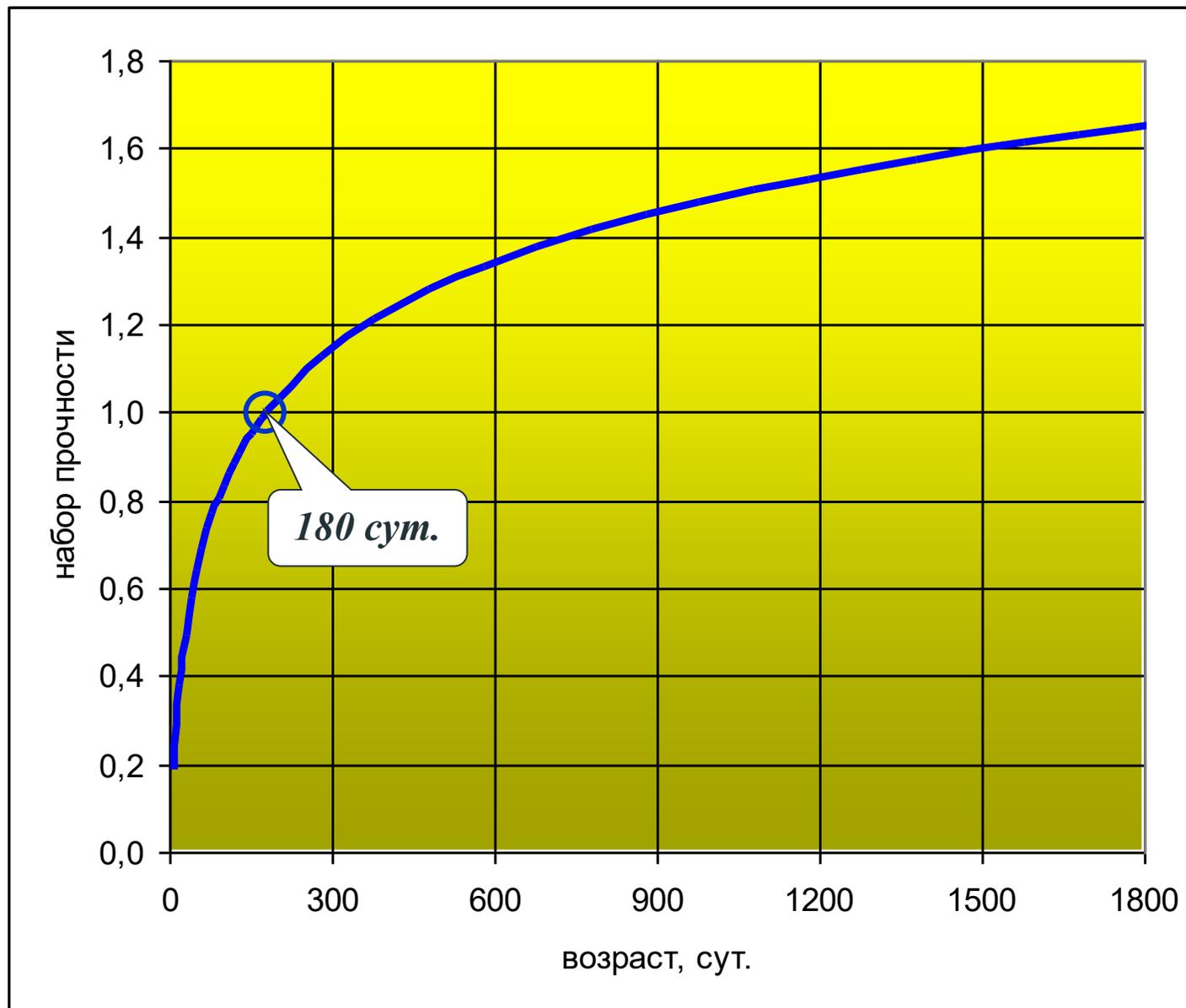


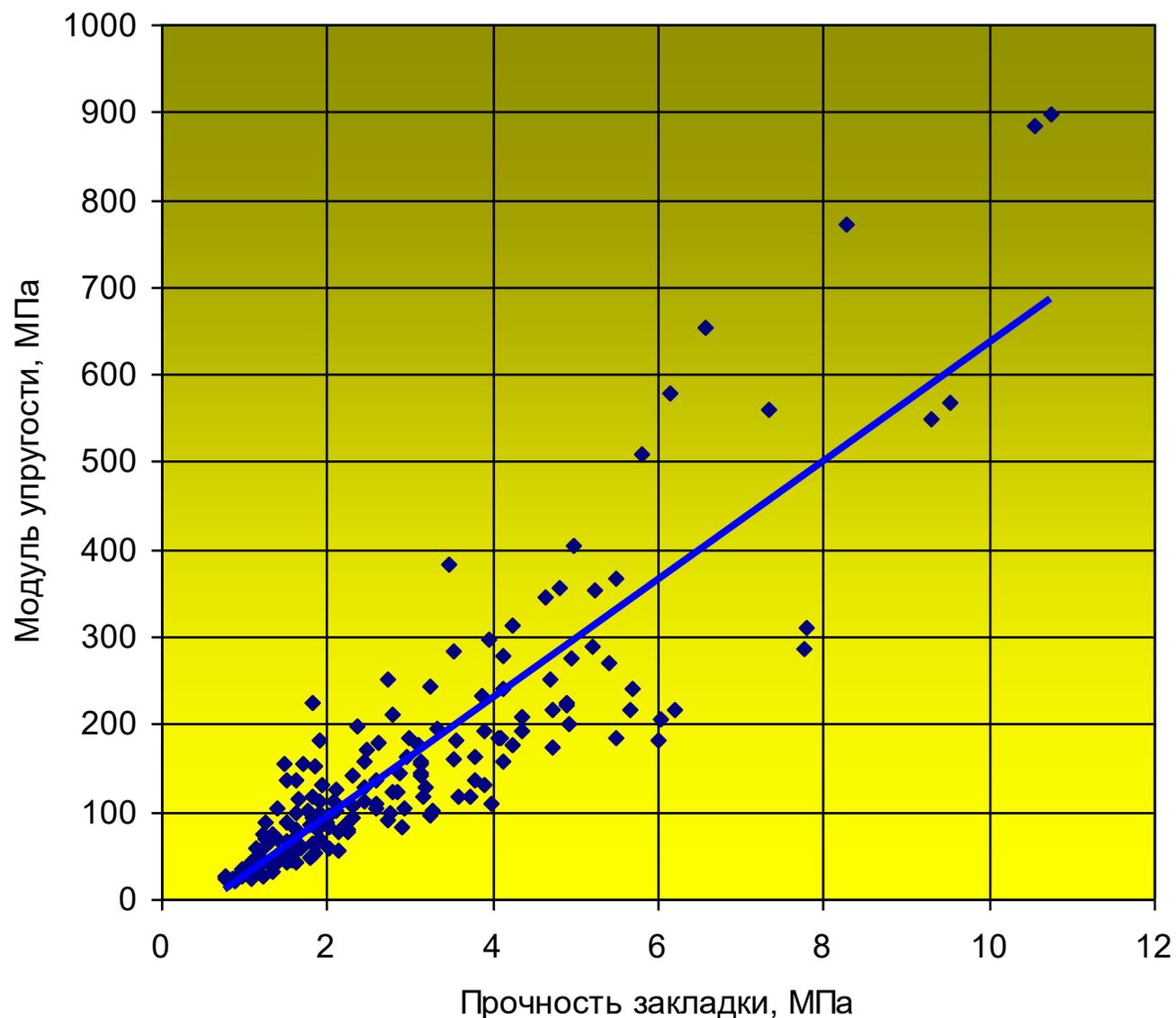
Набор прочности закладки во времени:

- большие сроки твердения (для камерных систем разработки)

$$\frac{\sigma(t)}{\sigma(180)} = 0,65 \lg t - 0,47$$

рудники
Норильска



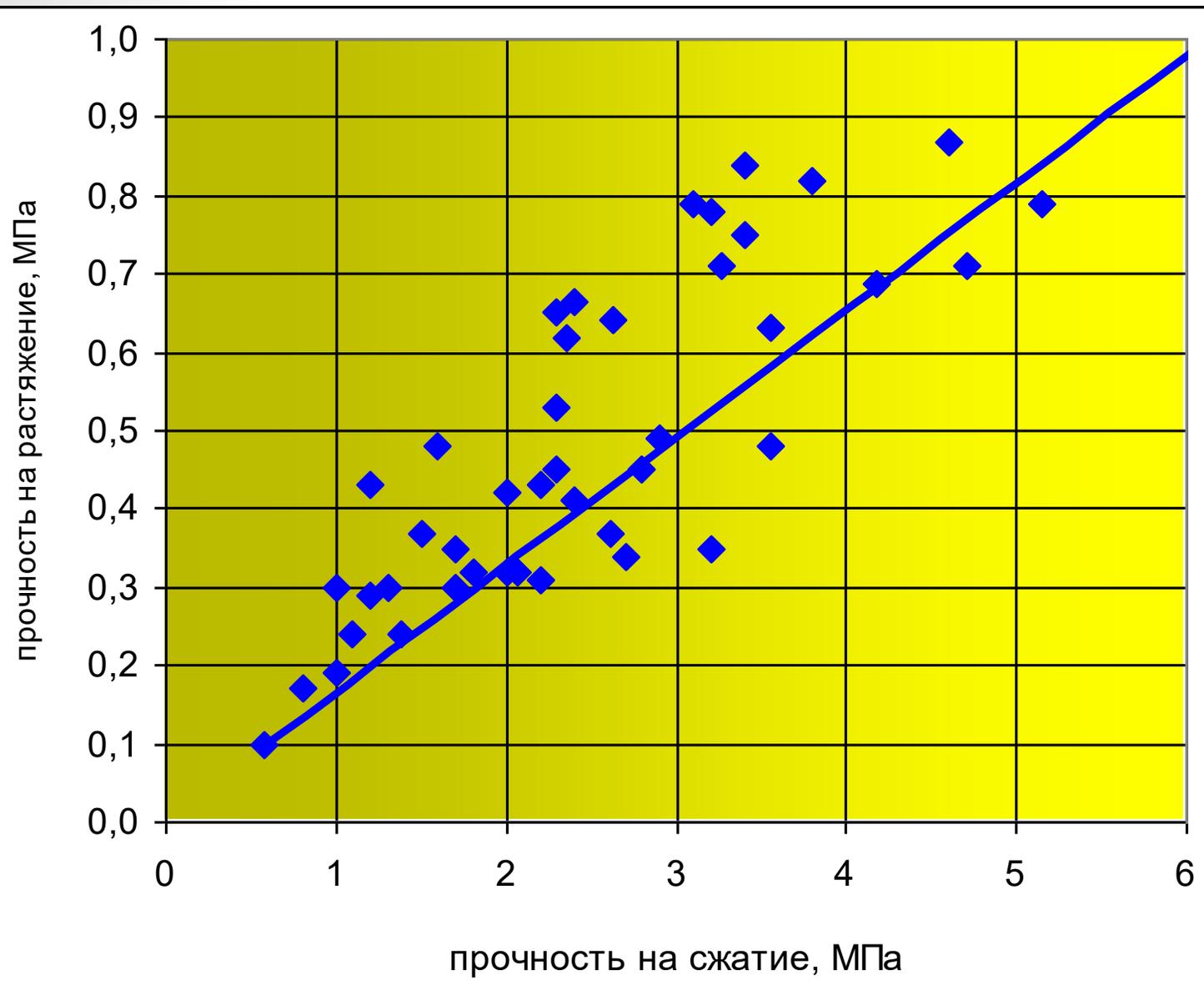


Модуль упругости закладки:

$$E = 50\sigma_{сэж}$$

коэффициент корреляции – 0,82

*Орловский
рудник*



Прочность на растяжение:

$$\sigma_r = 0,2 \sigma_{сж}$$

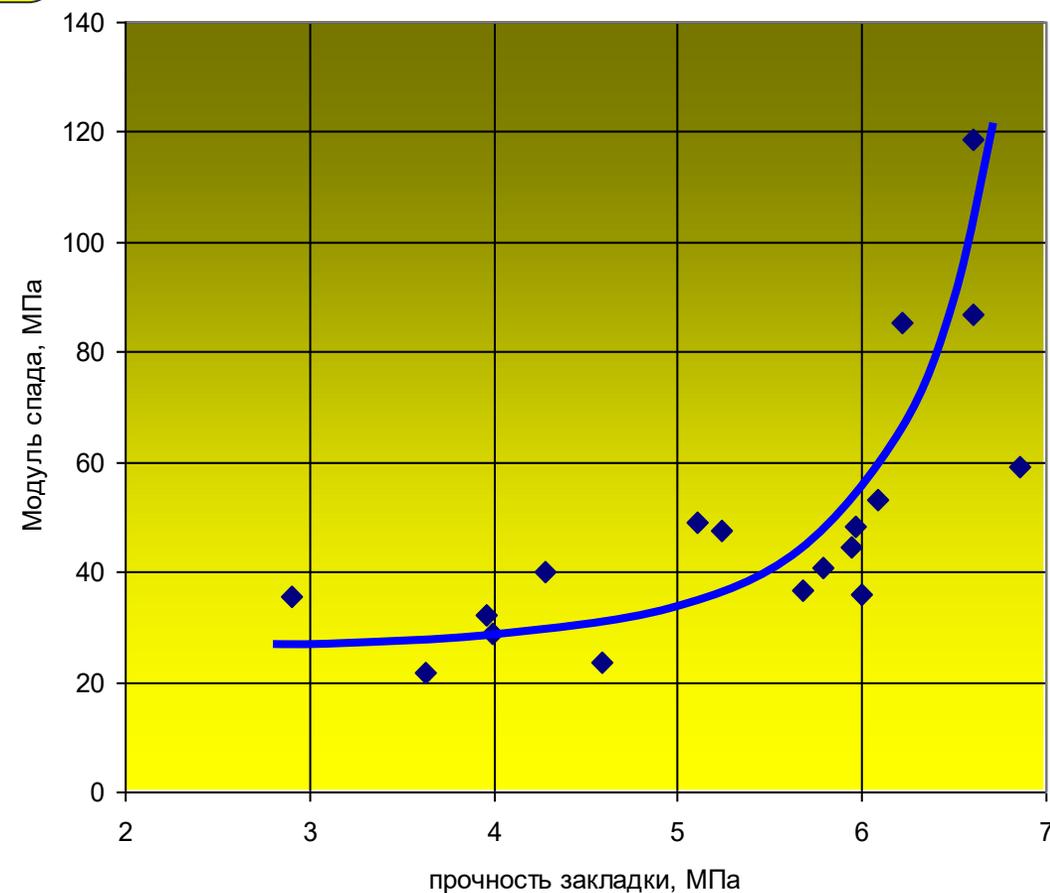
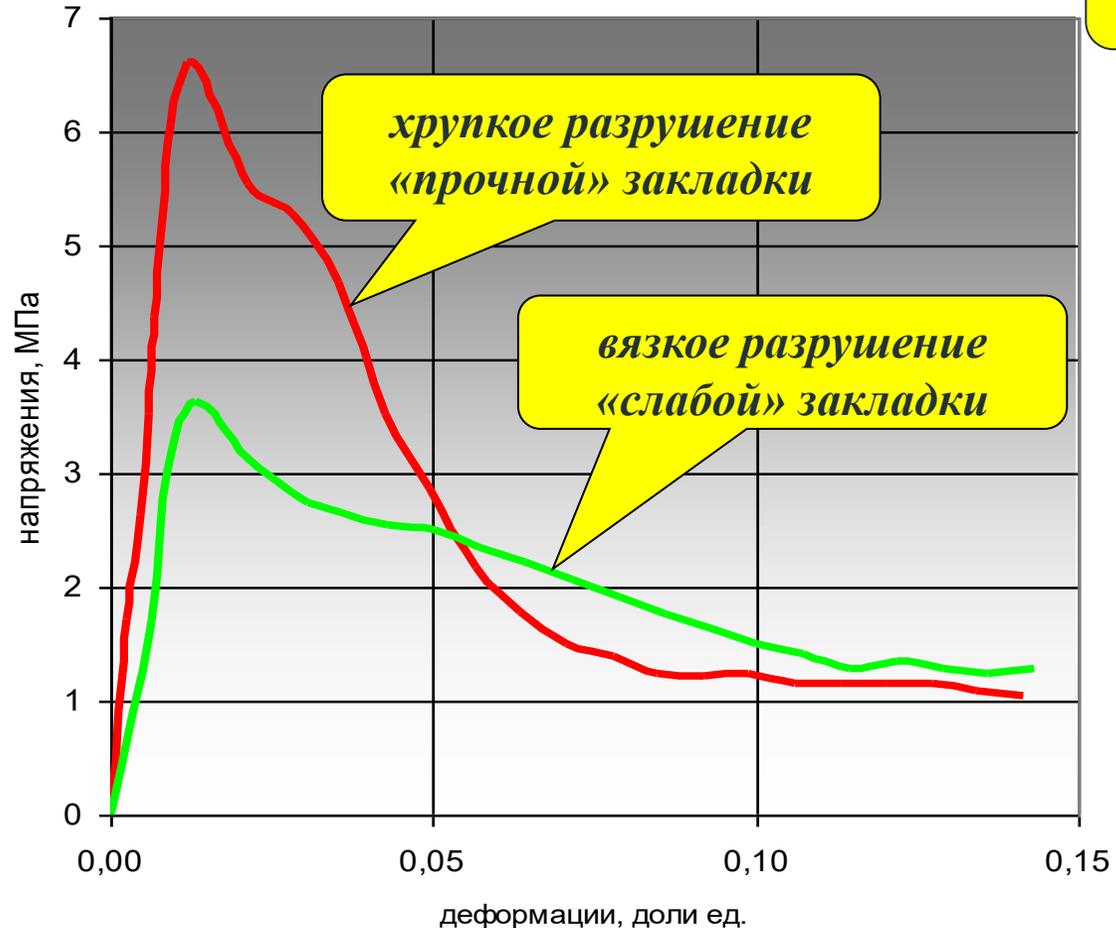
или

$$\sigma_{сж} = 6 \sigma_r$$

*Орловский
рудник*

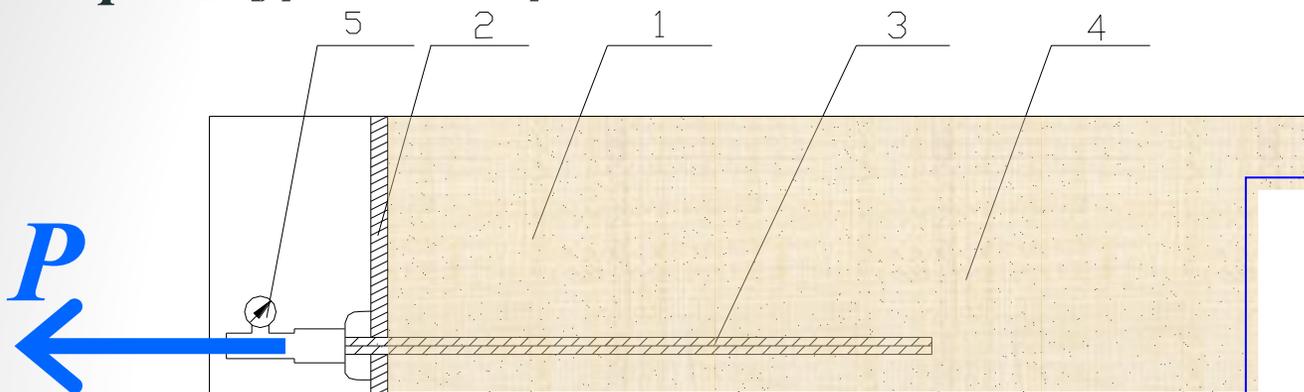
Орловский
рудник

Модуль спада



чем больше прочность закладки, тем больше ее хрупкость

Определение фактической прочности закладки в шахте по усилию выдергивания P арматурного стрежня из закладочного массива (ВНИИцветмет)

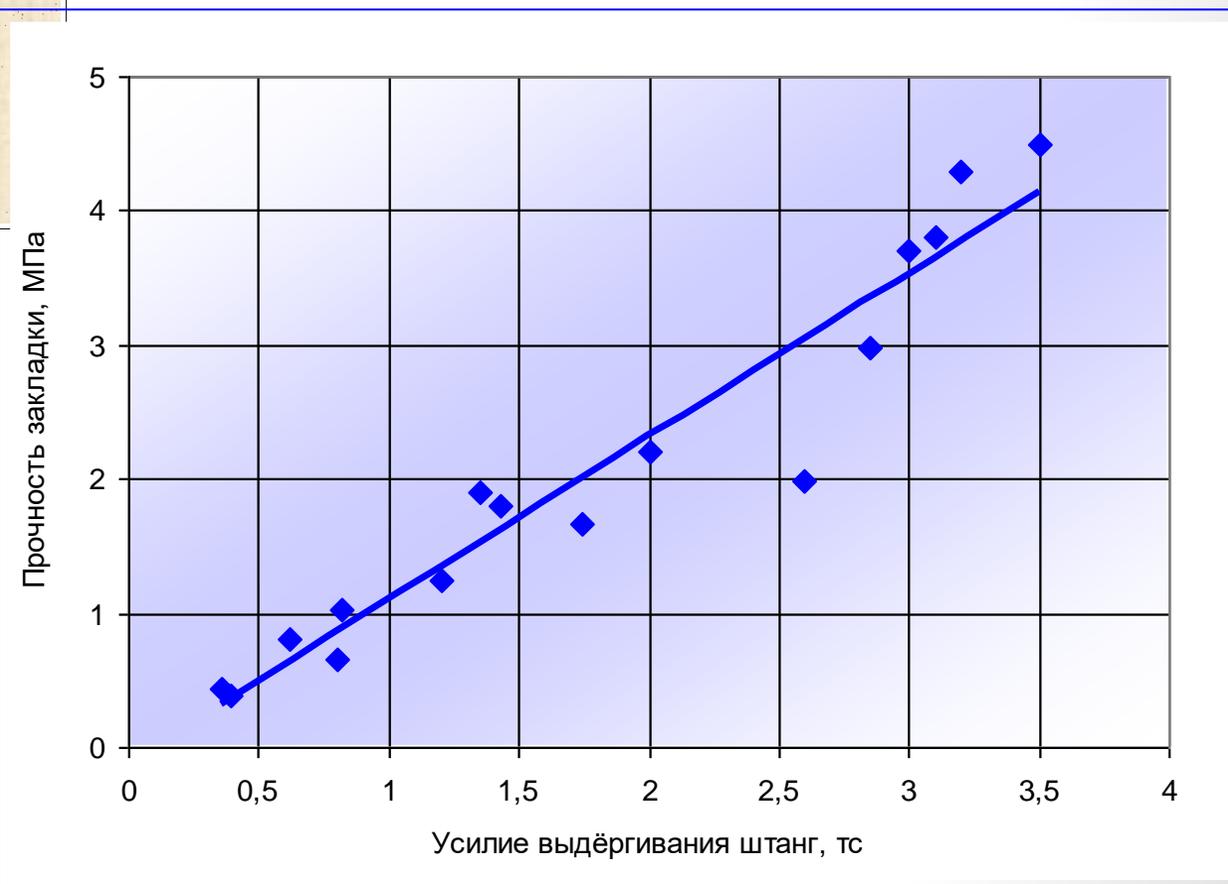


1 – закладка; 2 – перемычка; 3 – арматура; 5 – домкрат

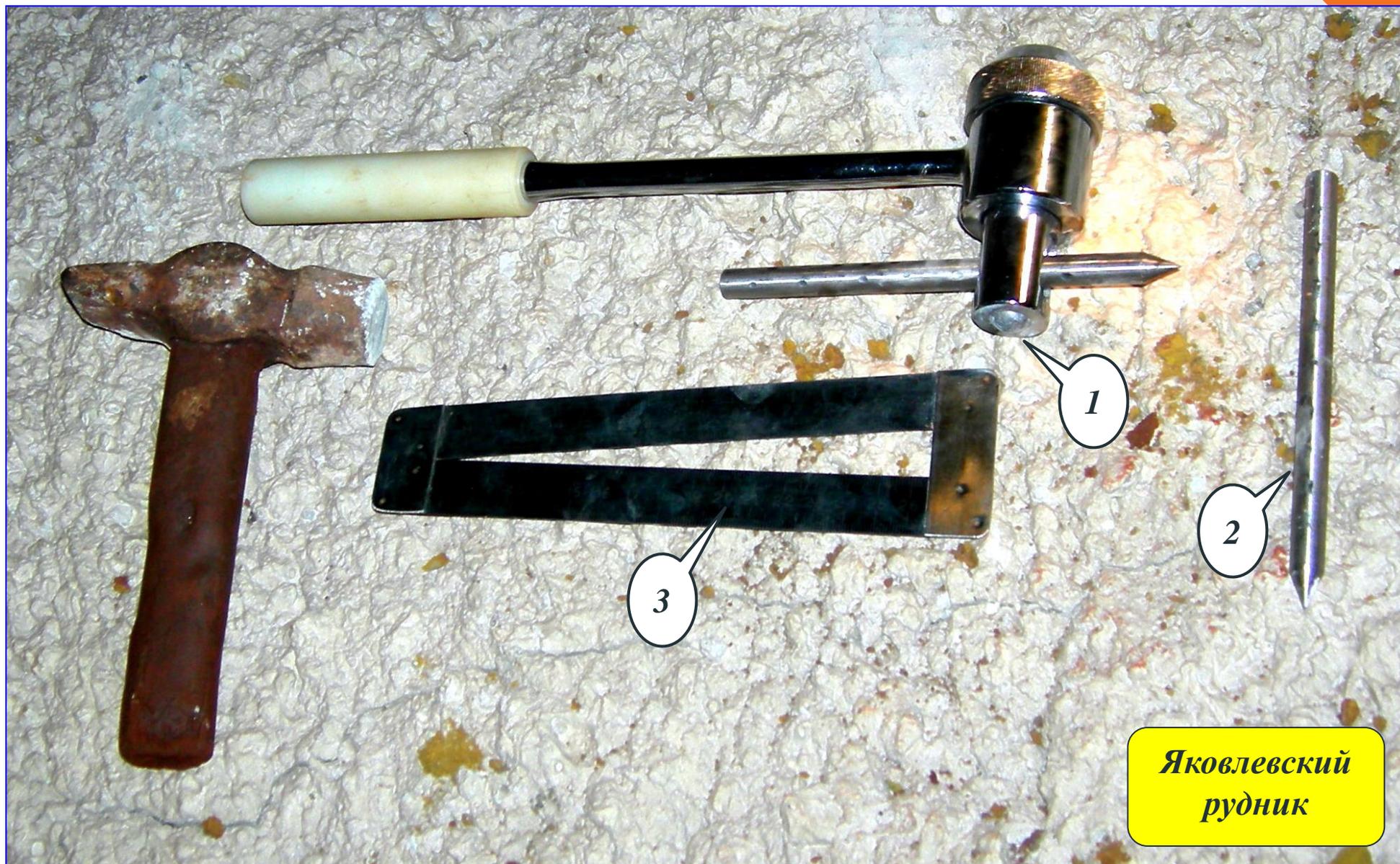
Для стержня длиной 400 мм и $\varnothing 16$ мм:

$$\sigma_{сж} = 1,2P - 0,1, \text{ МПа}$$

Орловский
рудник



Определение фактической прочности закладки в шахте молотком Кашкарова



*Яковлевский
рудник*

*Определение
фактической
прочности
закладки в шахте
молотком
Кашкарова*



тест (удар)



замер отпечатка

*Яковлевский
рудник*

Тарировка молотка Кашкарова при испытании прочности закладки в лаборатории



1) тест (удар)



2) замер диаметра отпечатка на закладке

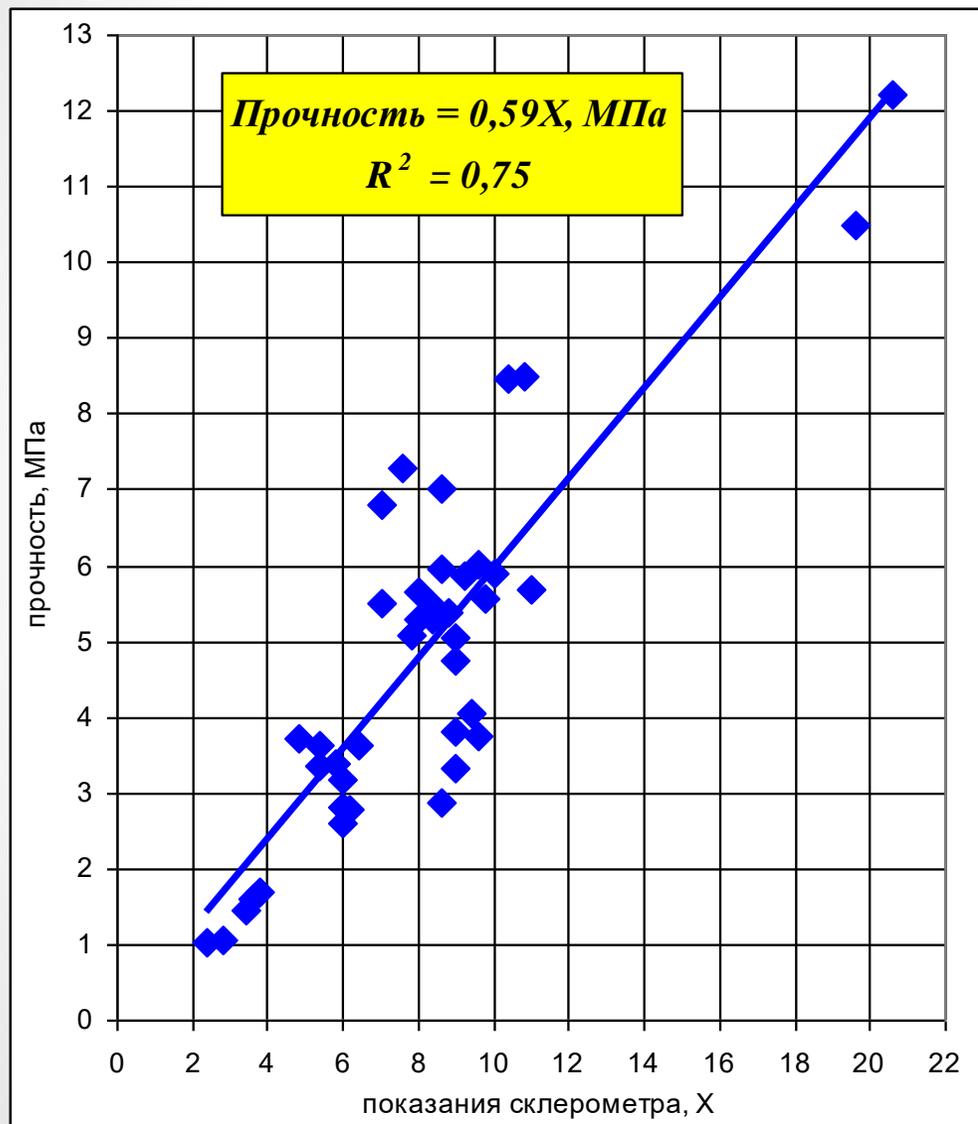
Яковлевский
рудник

3) замер отпечатка на мерном стержне



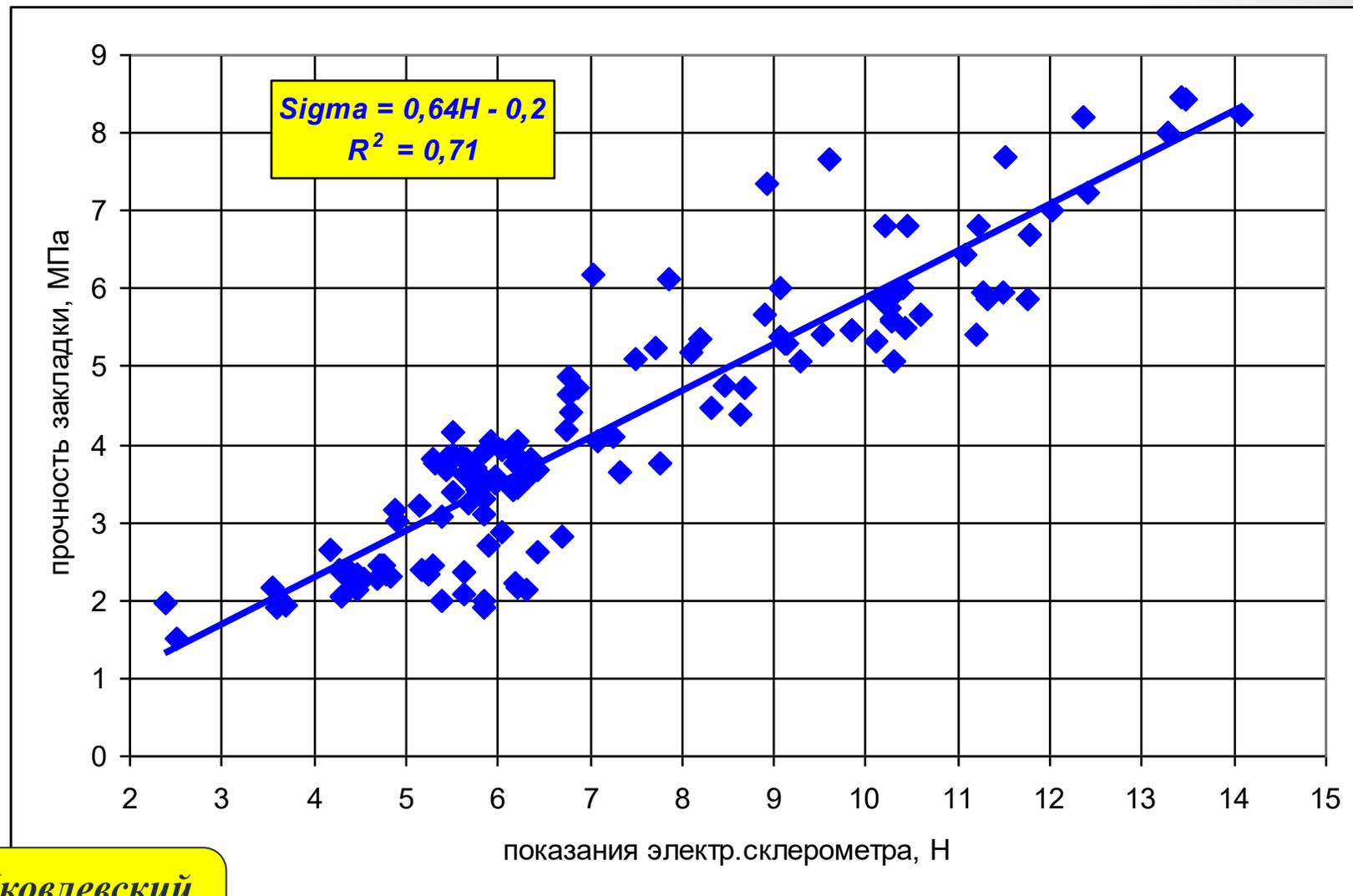
Прочность закладки = f (соотношение диаметров отпечатков)

Определение фактической прочности закладки в шахте молотком Шмидта



Определение фактической прочности закладки в шахте электронным

склерометром



Яковлевский
рудник

*Определение
фактической
прочности закладки в
шахте электронным
склерометром*



*Яковлевский
рудник*

Подбор составов закладки

Для сложного вяжущего

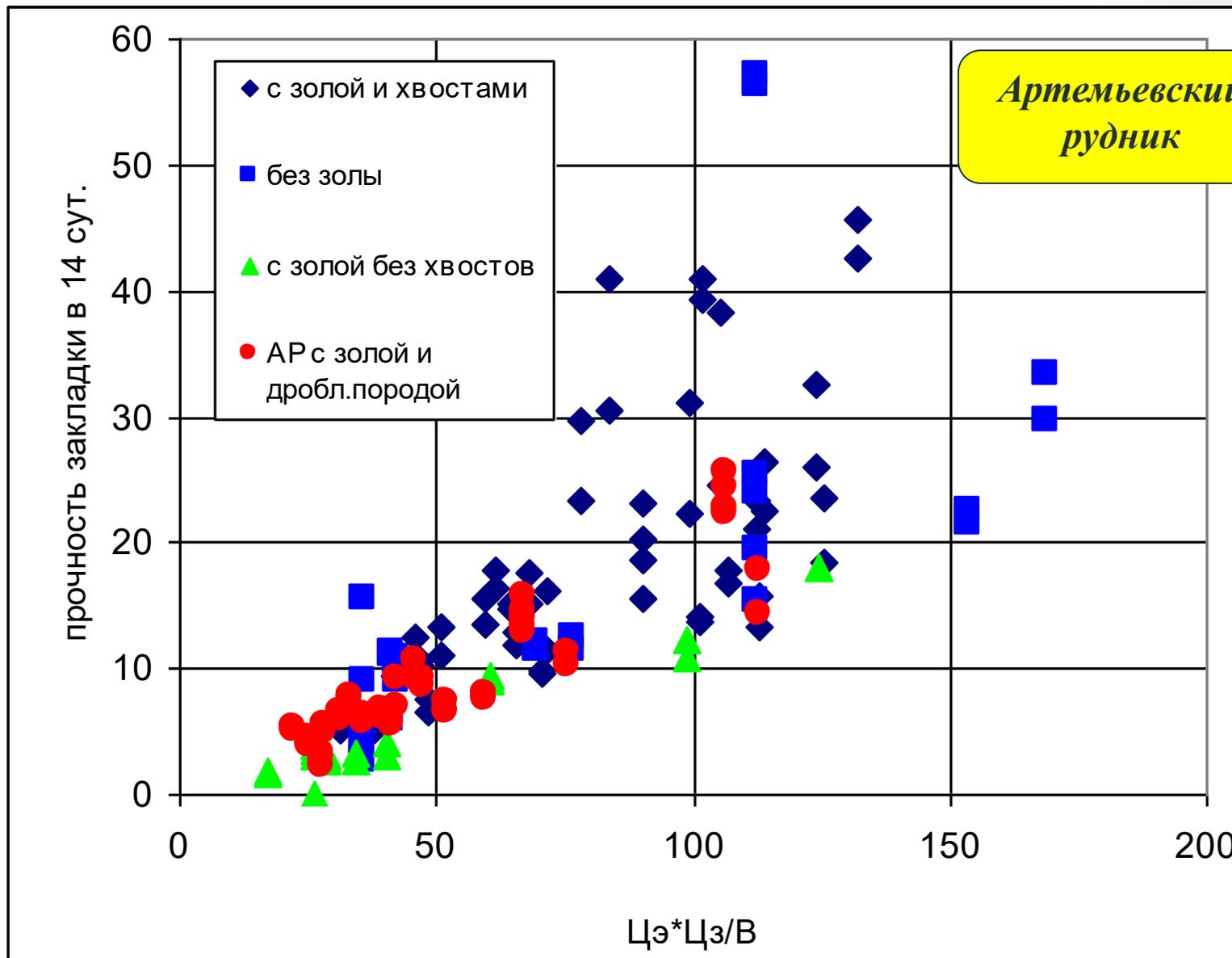
(цемент + зола-уноса,
цемент + молотый шлак)

определяют эквивалентный расход
цемента.

Цемент (Ц) + зола-уноса (З):

$$Ц_э = Ц + 0,125 \cdot З$$

$$\sigma_{сж} = f\left(Ц_э \cdot \frac{Ц_э}{B}\right)$$



Для системы горизонтальных слоев в нисходящем порядке: двухслойная искусственная кровля из твердеющей закладки - несущий слой высотой 1,5 м (1) и доливка (2).

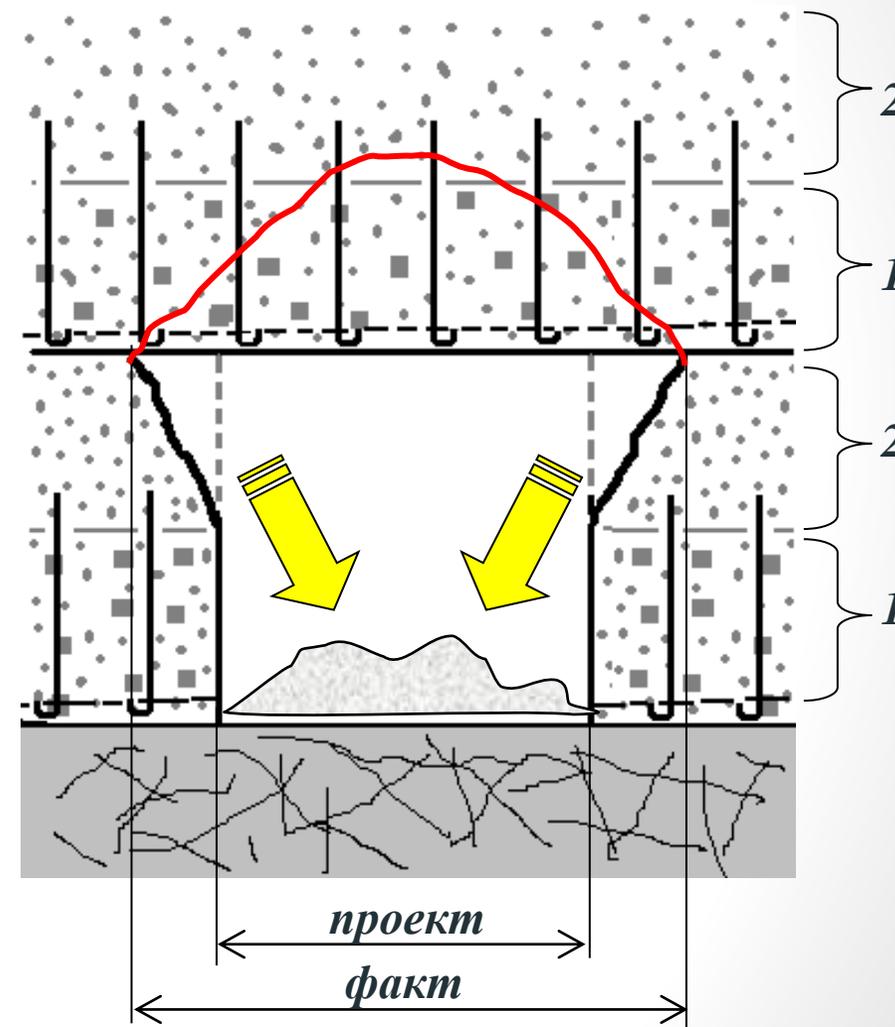
Несущий слой 1 (50%):

$$\sigma_{сж} = 4 \text{ МПа}$$

Доливка 2 (50%):

$$\sigma_{сж} = 1 \text{ МПа}$$

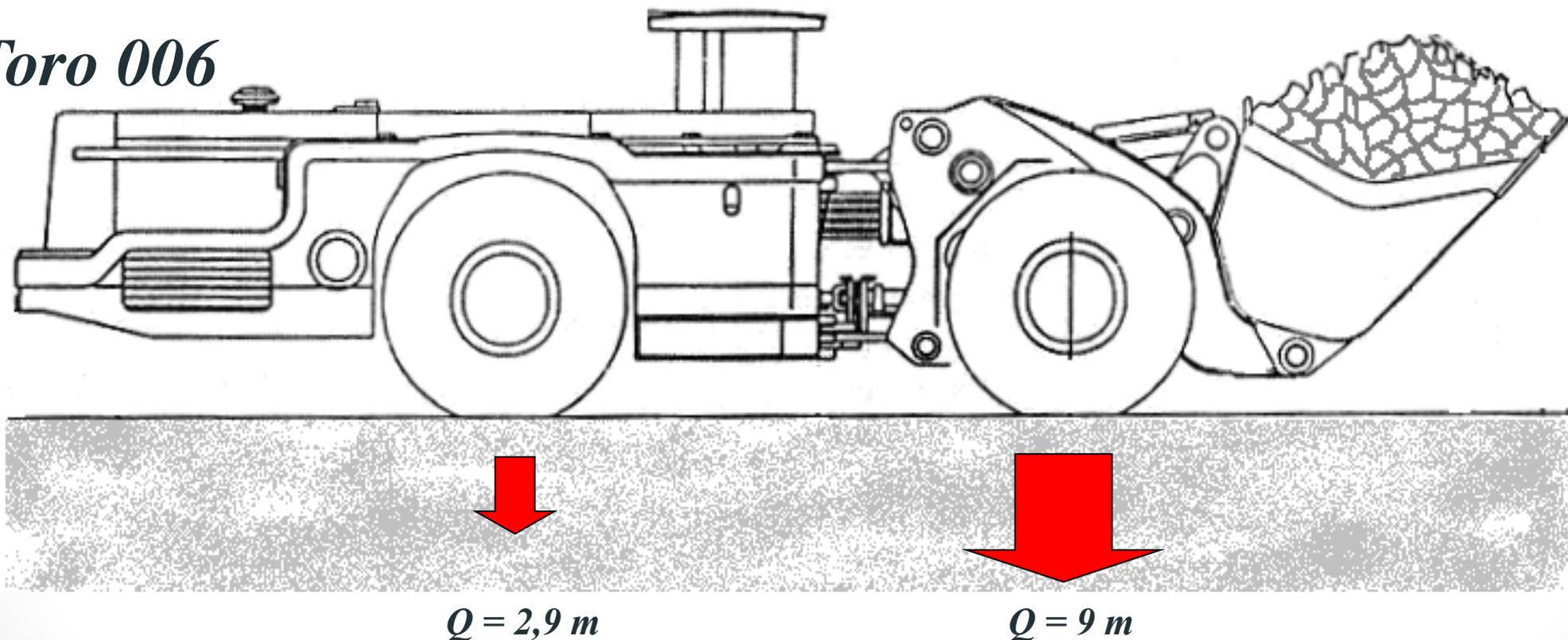
Орловский,
Артемьевский
рудники



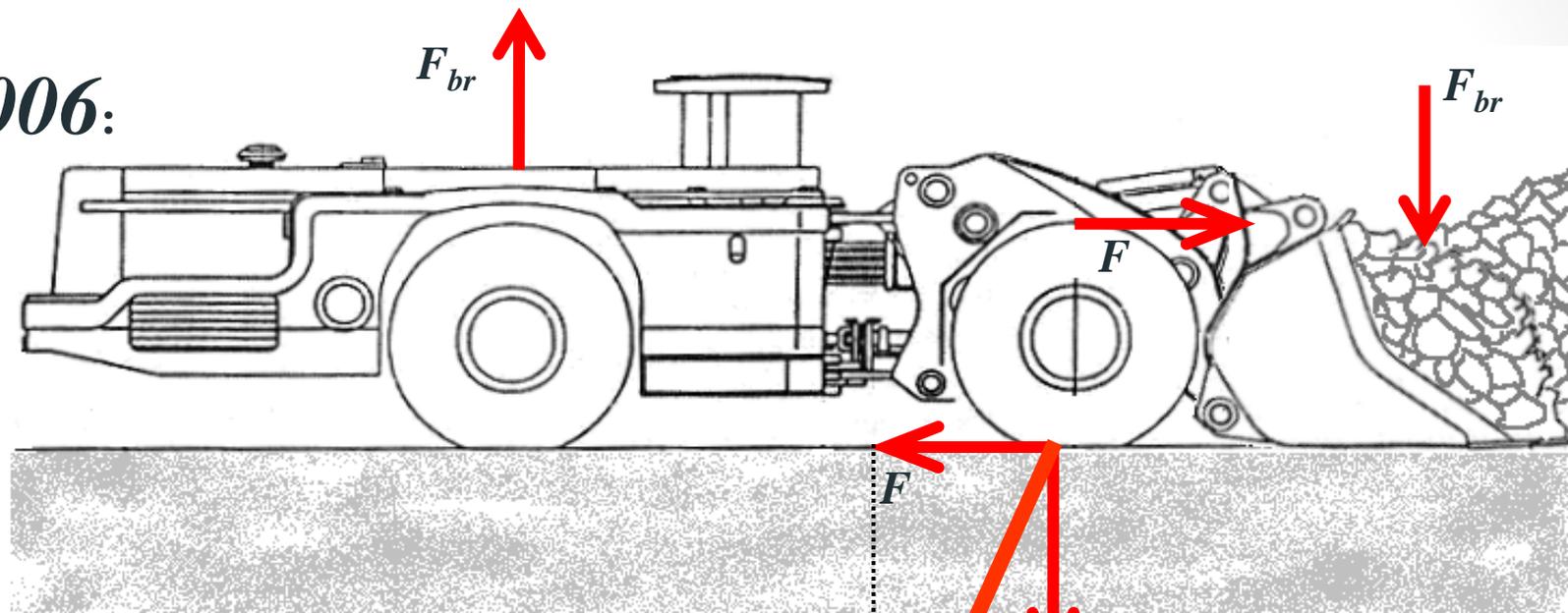
Для системы горизонтальных слоев в восходящем порядке :

- основная часть закладки (75%) – прочностью 1 МПа из расчета устойчивости на сейсмическое воздействие;*
- верхний опорный слой толщиной 0,5-1,0 м (25%) для работы самоходного оборудования на поверхности закладки.*

Toro 006



Toro 006:

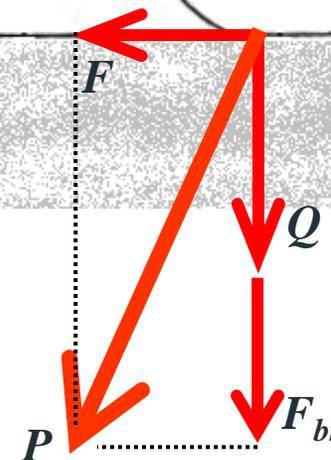


В момент погрузки:

$F_{br} = 6,9 \text{ т}$ - *усилие вырывания ковша (Breakout force);*

$F = (Q + F_{br}) \cdot f = 4,8 \text{ т}$ - *усилие черпания (Penetration force);*

Максимальная нагрузка на поверхность закладки в период черпания $P = 16,6 \text{ т}$.



$$\sigma_{сэж} = 2 \text{ МПа}$$

Thanks !

Good luck !

Questions?

