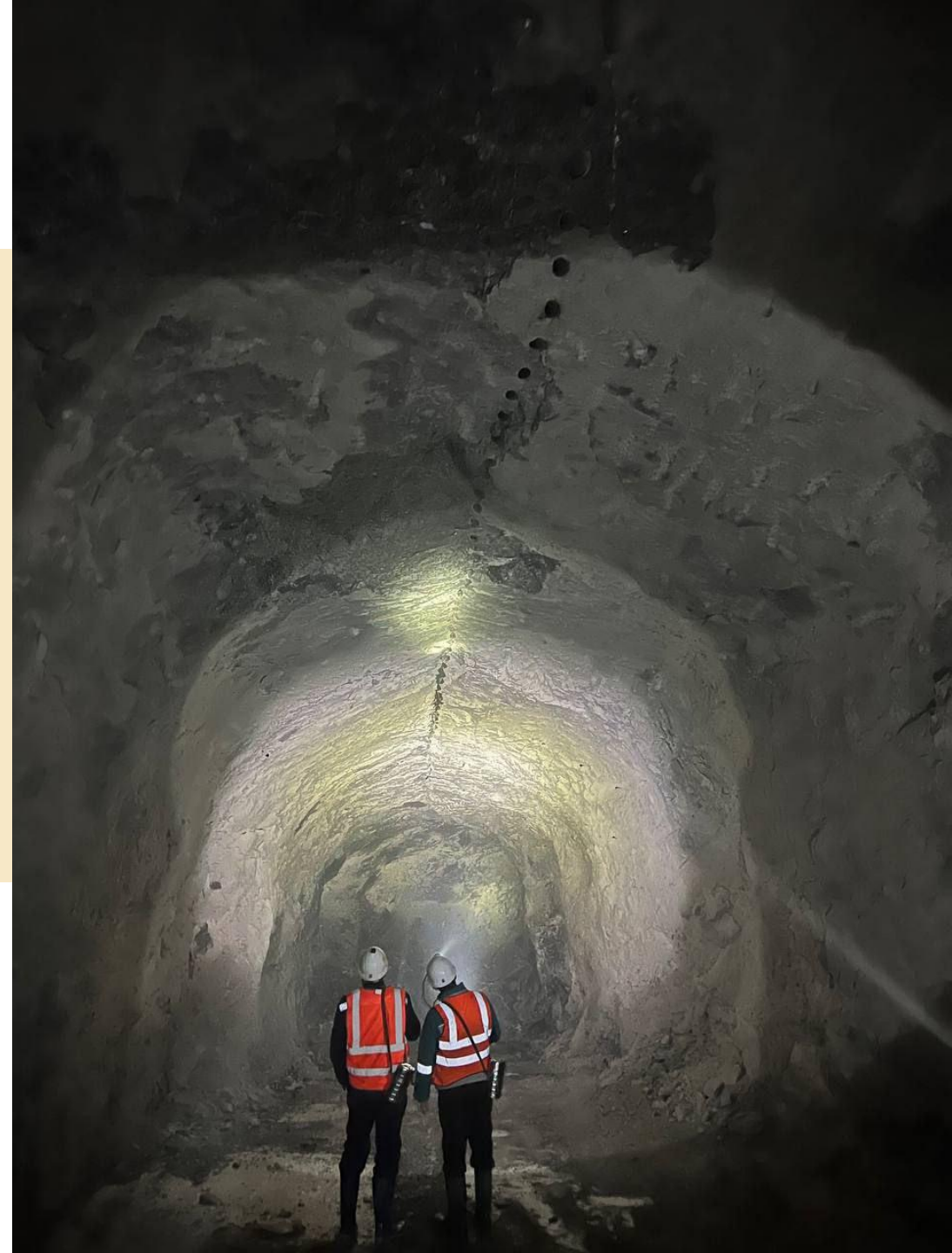


«Обеспечение геотехнической безопасности на действующих горных предприятиях в условиях интенсификации и цифровизации горных работ. Натурные данные, прогноз, планирование и контроль»

Докладчик:

Заместитель генерального директора по научной работе
ООО «Геотехническое бюро»

к.т.н. Синегубов Вячеслав Юрьевич



Актуальность: вызовы при углублении горных работ

~7% ВВП генерирует добывающий сектор России

> 50 лет в среднем эксплуатируется рудник

Показатели рудника среднего масштаба за 1 год:

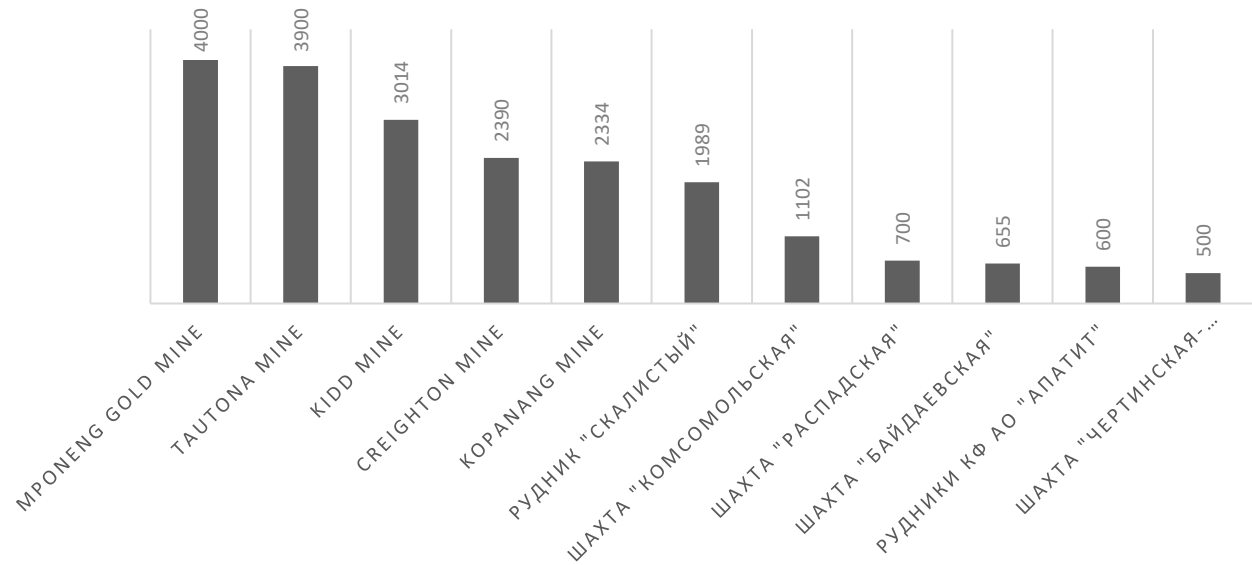
>40 млн тонн руды

>50 км выработок

>10 000 замеров смещений

>5000 сейсмических событий

Глубины месторождений в России и мире



Последствия отсутствия реагирования на новые вызовы, диктуемые природой с углублением горных работ



Горно-тектонические удары, техногенные землетрясения



Локальные динамические проявления горного давления



Разрушение защитной потолочины, целиков



Обрушение горных выработок

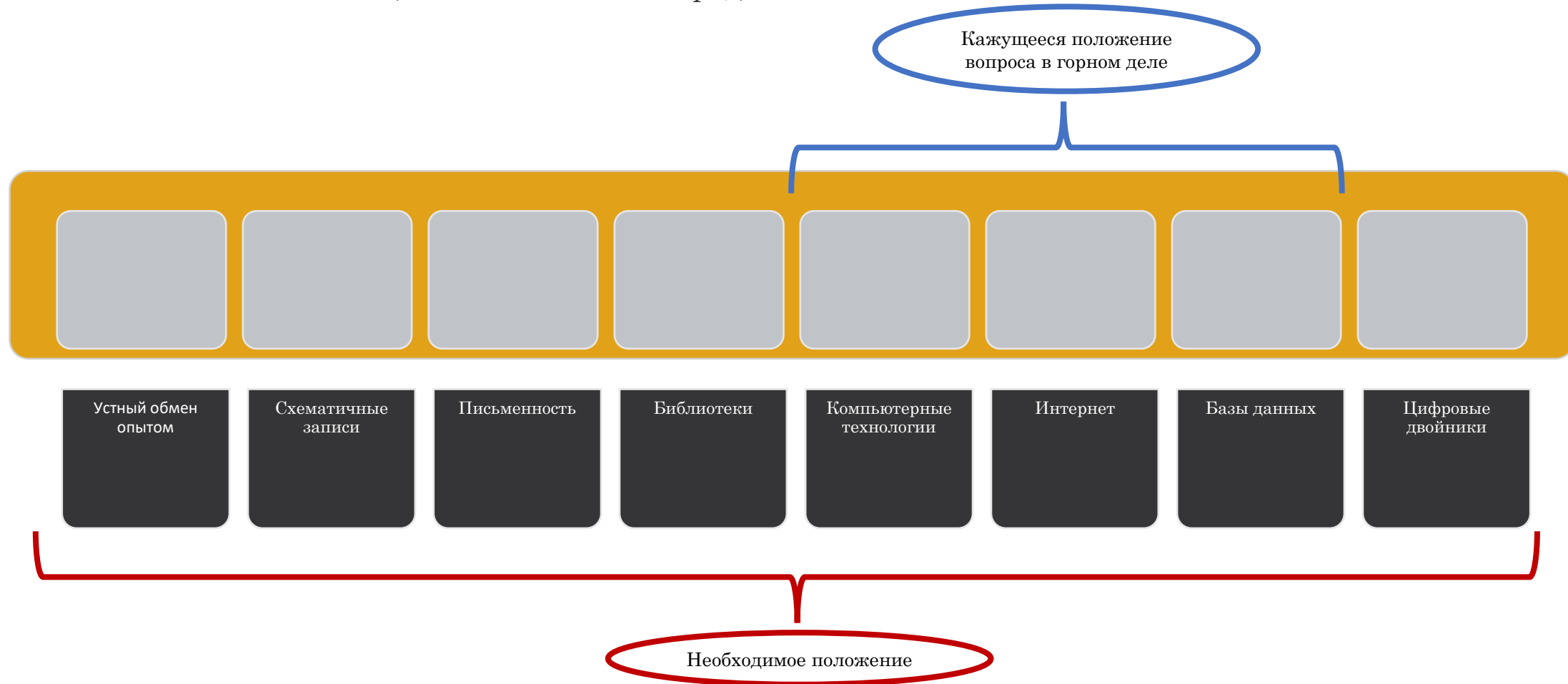


Подработка земной поверхности – разрушение зданий, сооружений

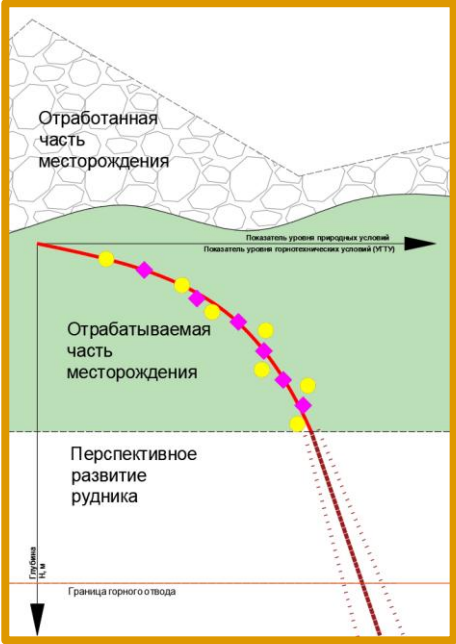
Эволюция накопления и передачи знаний

История накопления, хранения и передачи данных в горном деле напрямую соотносится с этими процессами в других сферах человечества

Основные этапы эволюции накопления и передачи знаний



Потенциал использования массива натуральных данных



Отработанная и отрабатываемые части месторождений представляют собой десятки Тб ценнейшей информации



Тип данных	Метод уточнения проектных данных	Результат	Повышение точности
Геологическая характеристика	Эксплуатационная доразведка	Структура массива, его блочное строение	Учет неоднородности массива
Физико-механические свойства пород и руд	Корреляция лабораторных и полевых данных через RMR/Q-системы	Реальное поведение массива	Учет механизма разрушения
Смещения породных обнажений	Решение обратных задач при известных параметрах	Расчет действующих напряжений	Определение реальных граничных условий
Деформации и разрушения	Анализ повреждений	Верификация численных моделей и прогноз поведения участков -аналогов	Калибровка параметров прочности
Параметры сейсмических событий	Статистический анализ	Прогноз зон динамического разрушения	Раннее предупреждение рисков

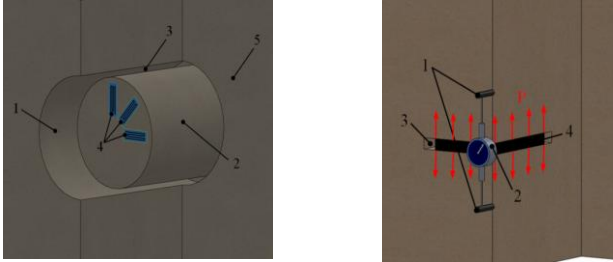
Повышение безопасности эксплуатации элементов системы разработки на глубоких горизонтах



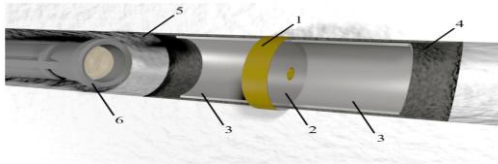
Выполнение условия точности измерений

Классические методы и средства натурных исследований геомеханических процессов

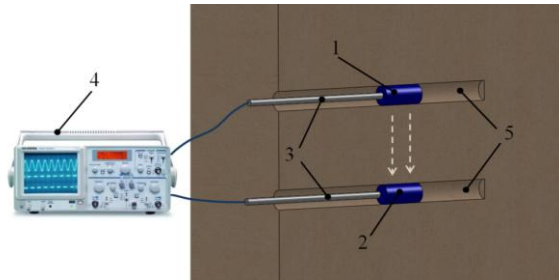
1. Методы измерения деформаций + формулы теории упругости (методы разгрузки и компенсационной нагрузки)



2. Методы измерения давлений в устанавливаемых на объекте приборах + тарированные зависимости (методы разностей давлений, упругих включений, метод буровых скважин)



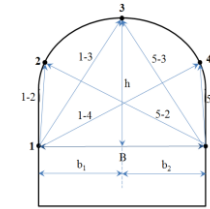
3. Геофизические методы + корреляционные зависимости (акустический, ультразвуковой, электрометрический, радиометрический)



Практические варианты решения проблемы

1. Использование классических методов измерения напряжений на локальных участках месторождения.
2. Использование методов решения обратной задачи при изучении напряженного состояния массива с повышенной точностью.

4. Методы основанные за наблюдениями за смещениями горных пород + решении задач теории упругости (методы контурных и глубинных реперов)



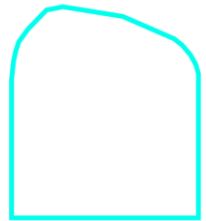
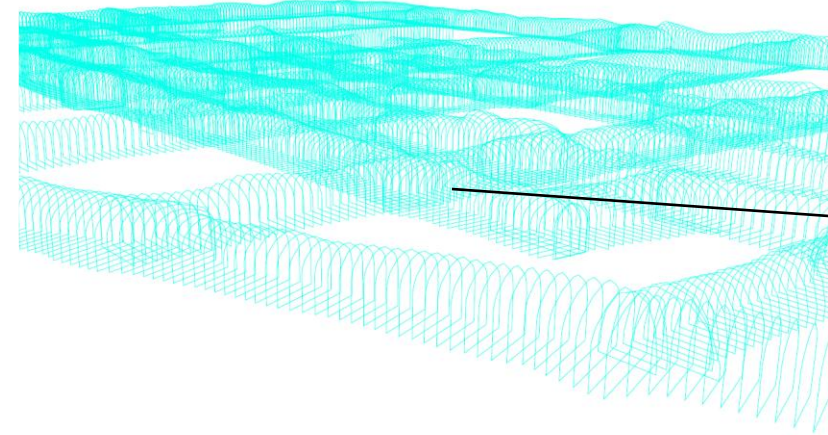
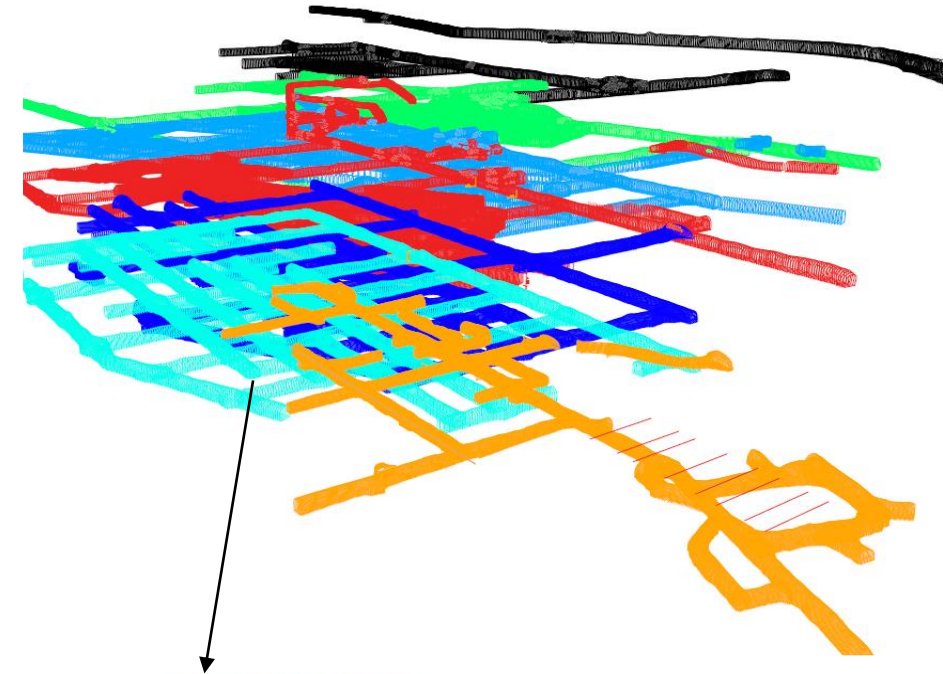
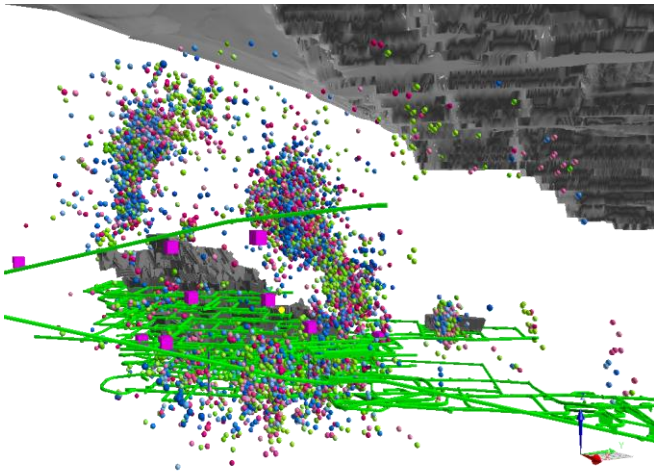
5. Методы основанные на оценке формирования зон разрушения + решении задач прочности (оценка размеров зон хрупкого разрушения)



Выполнение условия массовости измерений

Практические варианты решения проблемы

1. Система мониторинга деформационных процессов и процессов разрушения горных выработок при правильном учете и интерпретации позволит воссоздавать картину НДС в массиве до проходки выработок (решение обратных задач).
2. Использование горных выработок, областей сдвижения, целиков и других объектов рудников как натуральных моделей.
3. Зонирование участков месторождений на подобные и аналогичные.



Классифицирование условий ведения горных работ на основе методов подобия и аналогов

Цель: выявить факторы, влияющие на локальные изменения напряжений.

- Группировка зон или условий по принципам подобия
- Анализ успешности опыта ведения работ в аналогичных зонах для выбора мер управления горным давлением.

условие
однозначности

геометрическое
подобие

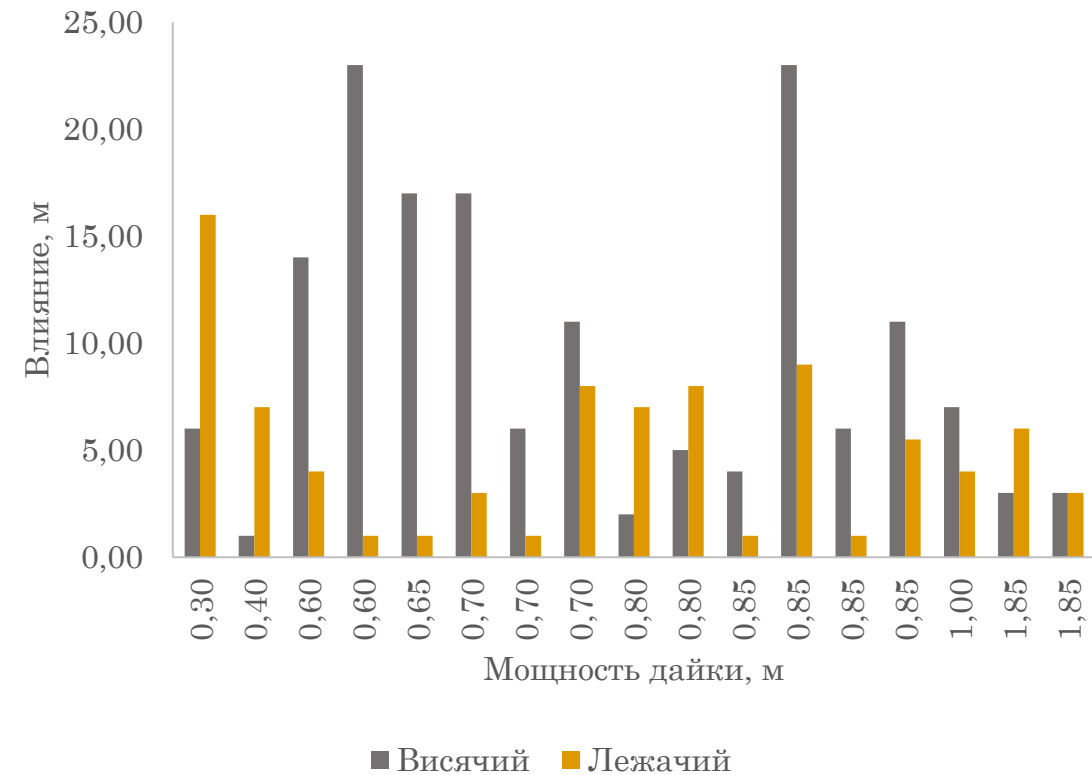
подобие
состояния
массива

ПРИРОДНЫЕ

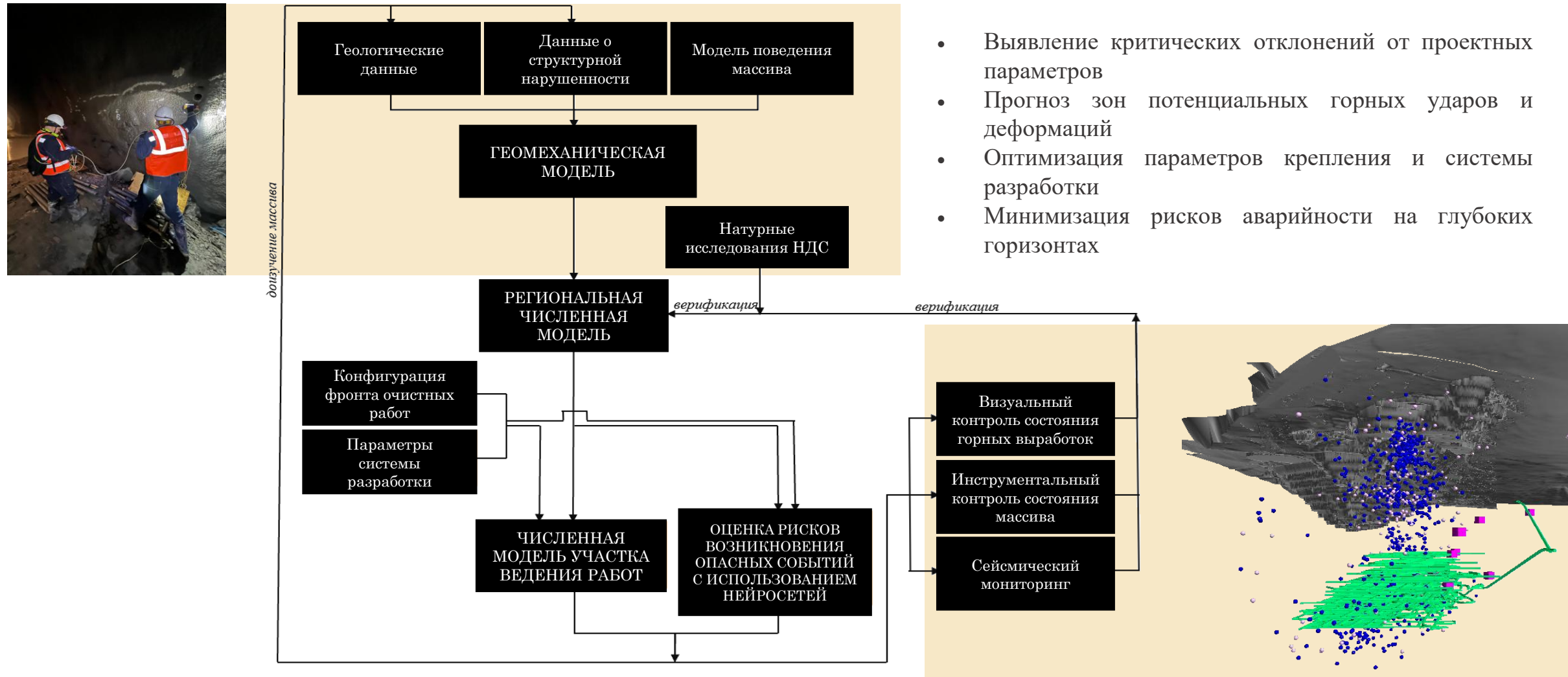
- Глубина удароопасности согласно ФНиП
- Преимущественное направление действия напряжений
- Строение и параметры рудного тела
- Типы вмещающих пород
- ФМС и структурная нарушенность
- Критерии $\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p}$; $\frac{\sigma_z}{\sigma_p}$; $\frac{\sigma_{сж}}{c}$

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ

- Тип отработки – открытая, подземная
- Глубина ведения работ
- Система разработки
- Способ разрушения породы
- Соотношение ширины и высоты горных выработок



Цифровой двойник с геомеханической точки зрения:



Классификация условий и использование теории подобия

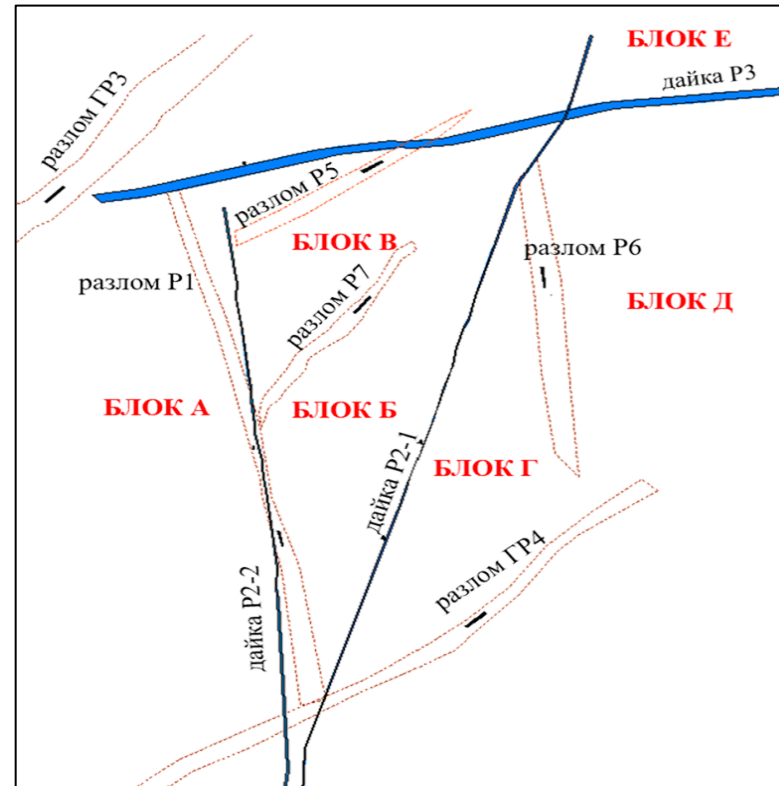


10/20

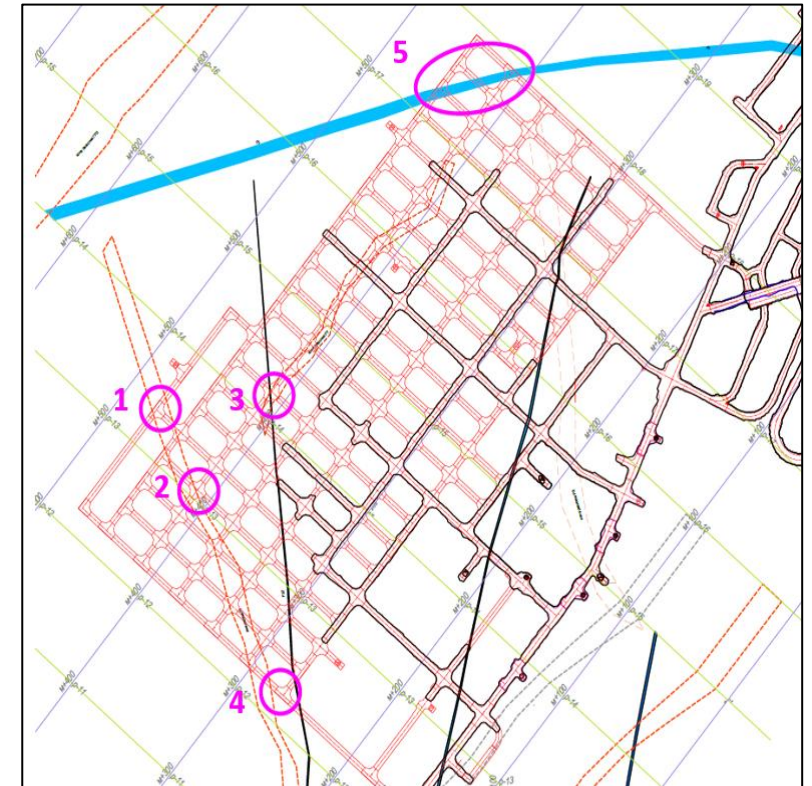
Критерии подобия для месторождения Олений ручей:

- Прочность руды и породы ($\sigma_{сж}$)
- Коэффициент Пуассона (ν)
- Характер влияния тектонического нарушения на рассматриваемый участок
- Литология нарушения
- Мощность нарушения

Выявление подобных блоков



Прогнозные зоны



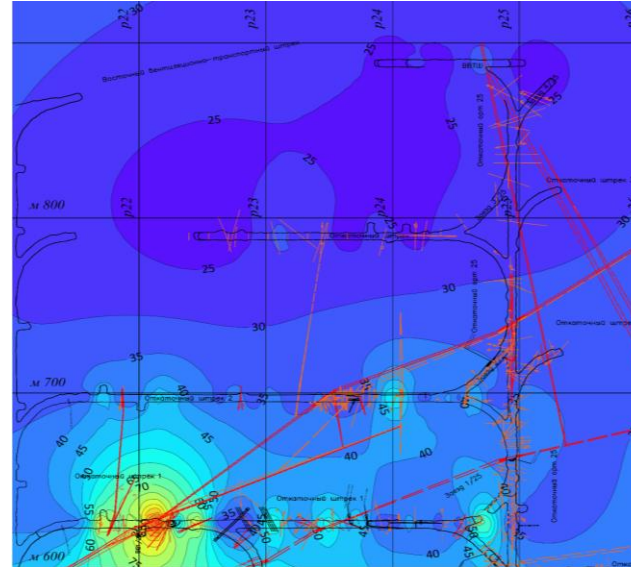
Критерии подобия участков соблюдаются за счет применения единых способов строительства горных выработок, а также повторяющихся горно-геологических условий (использование геологических планшетов и результатов визуального обследования горных выработок).

Ретроспективное воссоздание НДС блочного массива решением обратной задачи для валидации цифрового двойника

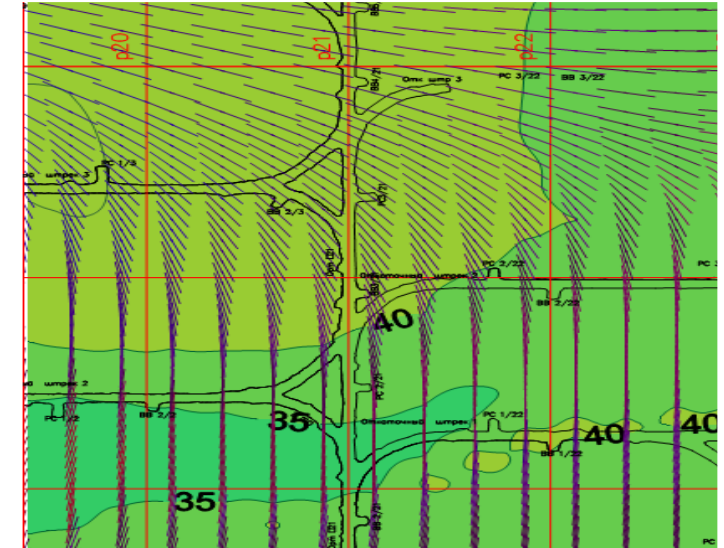
Последовательность:

1. Замер маркшейдерской службой рудника фактических контуров горных выработок на участках хрупкого разрушения.
2. Определение пространственного расположения конкретных измеренных сечений (угол поворота плоскости сечения относительно севера).
3. Определения размеров хрупкого разрушения путем вычитания из размеров фактического контура проектных размеров.
4. Вычисление максимального напряжения, действующего в плоскости сечения

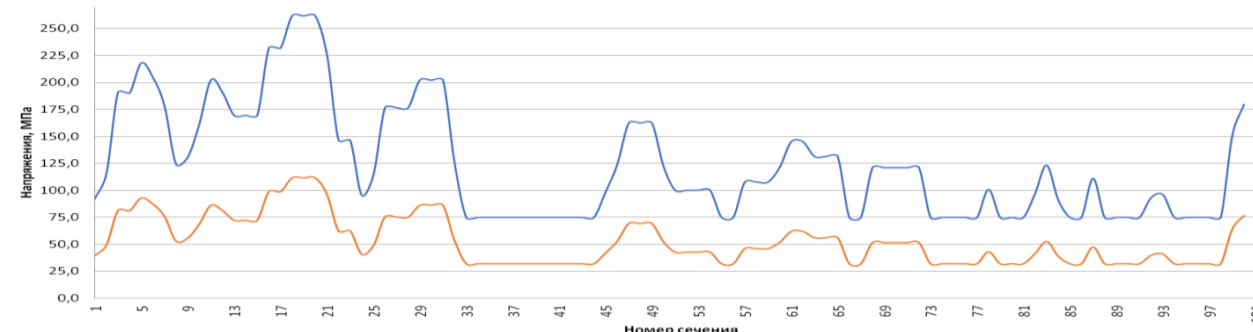
Распределение напряжений в плане горизонта



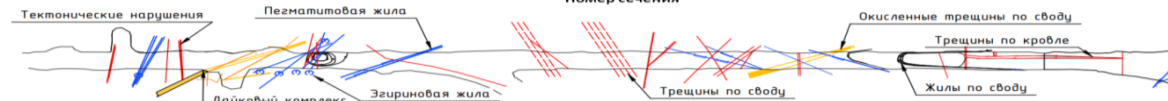
Распределение напряжений в результате численного моделирования



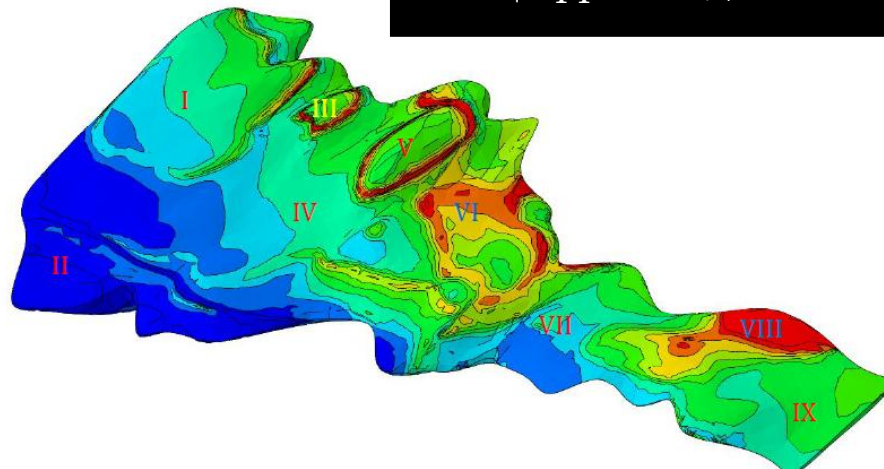
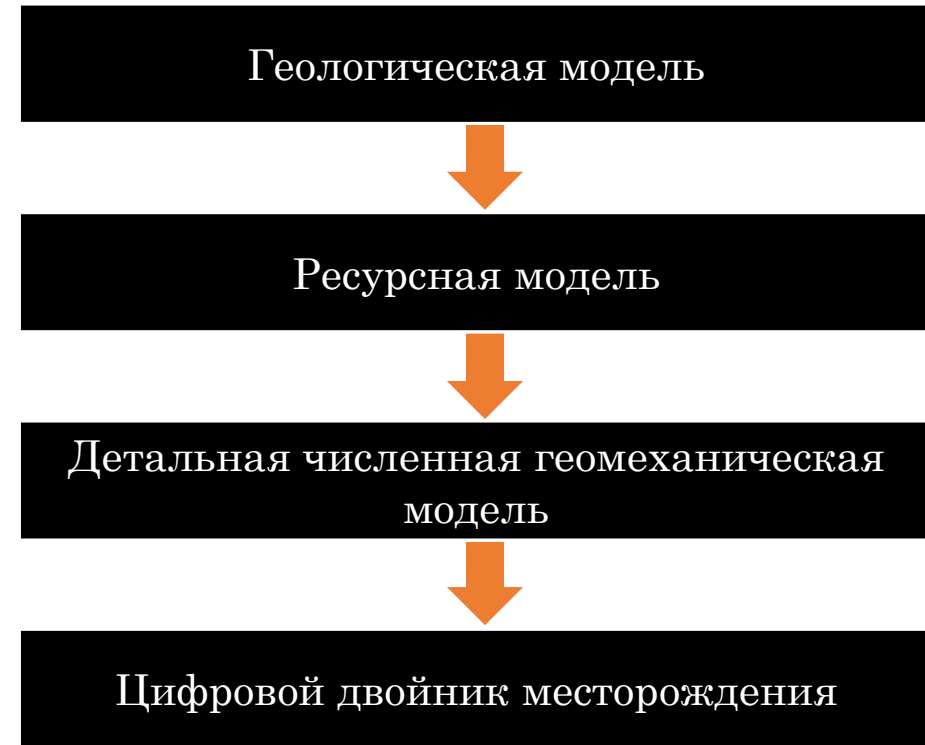
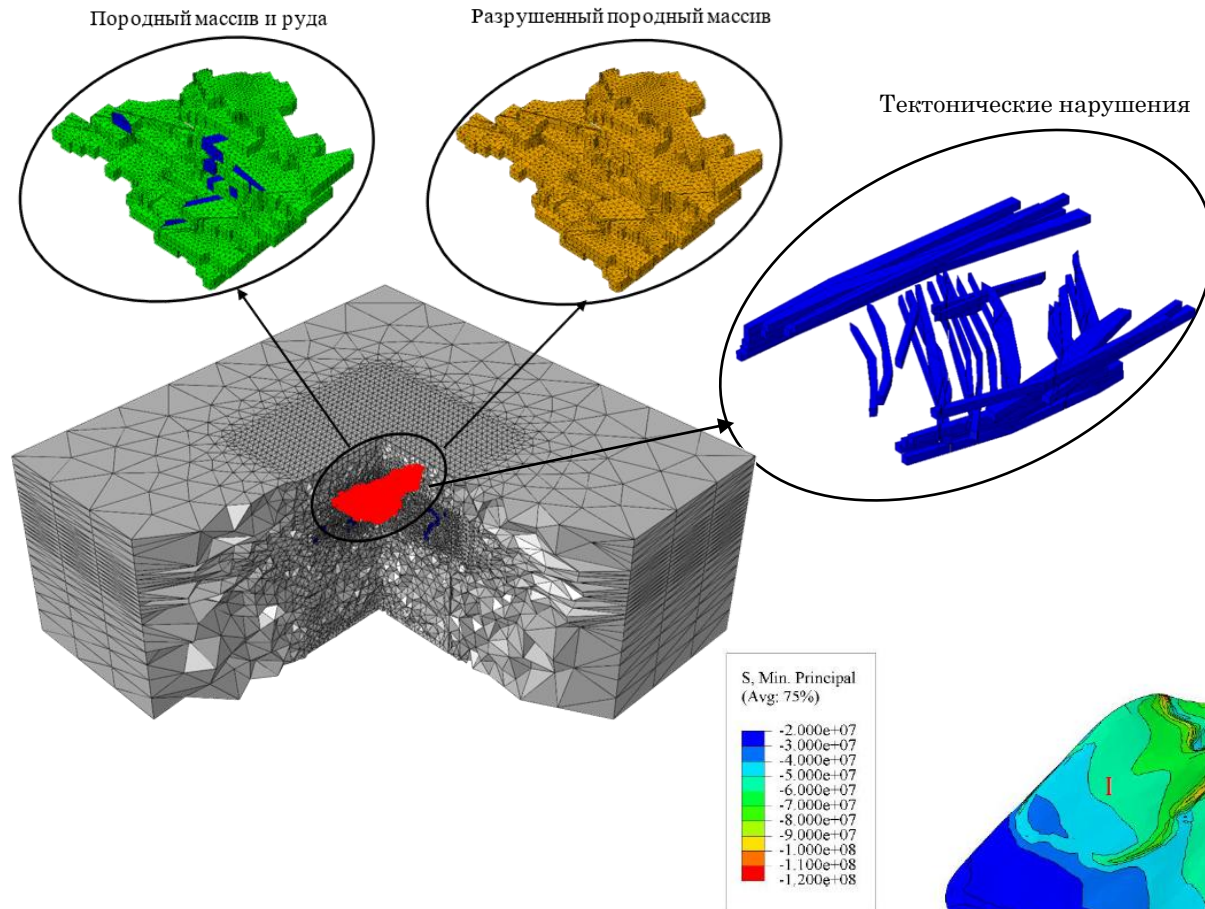
Распределение напряжений по трассе откаточного штрека



в плоскости сечения
фоновые напряжения



Геологическое и численное моделирование



Эпюра распределения напряжений в рудном теле

Подведение итогов: управление горным давлением на глубоких горизонтах



13/20

