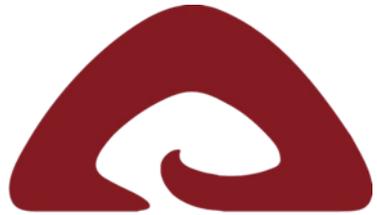




АУДИТ

***геомеханического обеспечения
безопасности горных работ и
мониторинга устойчивости откосов
Васильковского карьера***

Подготовлено для  **ALTYNTAU**

- *Оценка геомеханической изученности Васильковского месторождения*
- *Анализ рисков обрушения горной массы при отработке Васильковского карьера*
- *Оценка эффективности существующей системы мониторинга устойчивости откосов Васильковского карьера*
- *Подготовка рекомендаций по дальнейшему геомеханическому изучению массива и развитию системы мониторинга устойчивости карьерных откосов*

***1. Оценка
геомеханической изученности
Васильковского
месторождения***

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

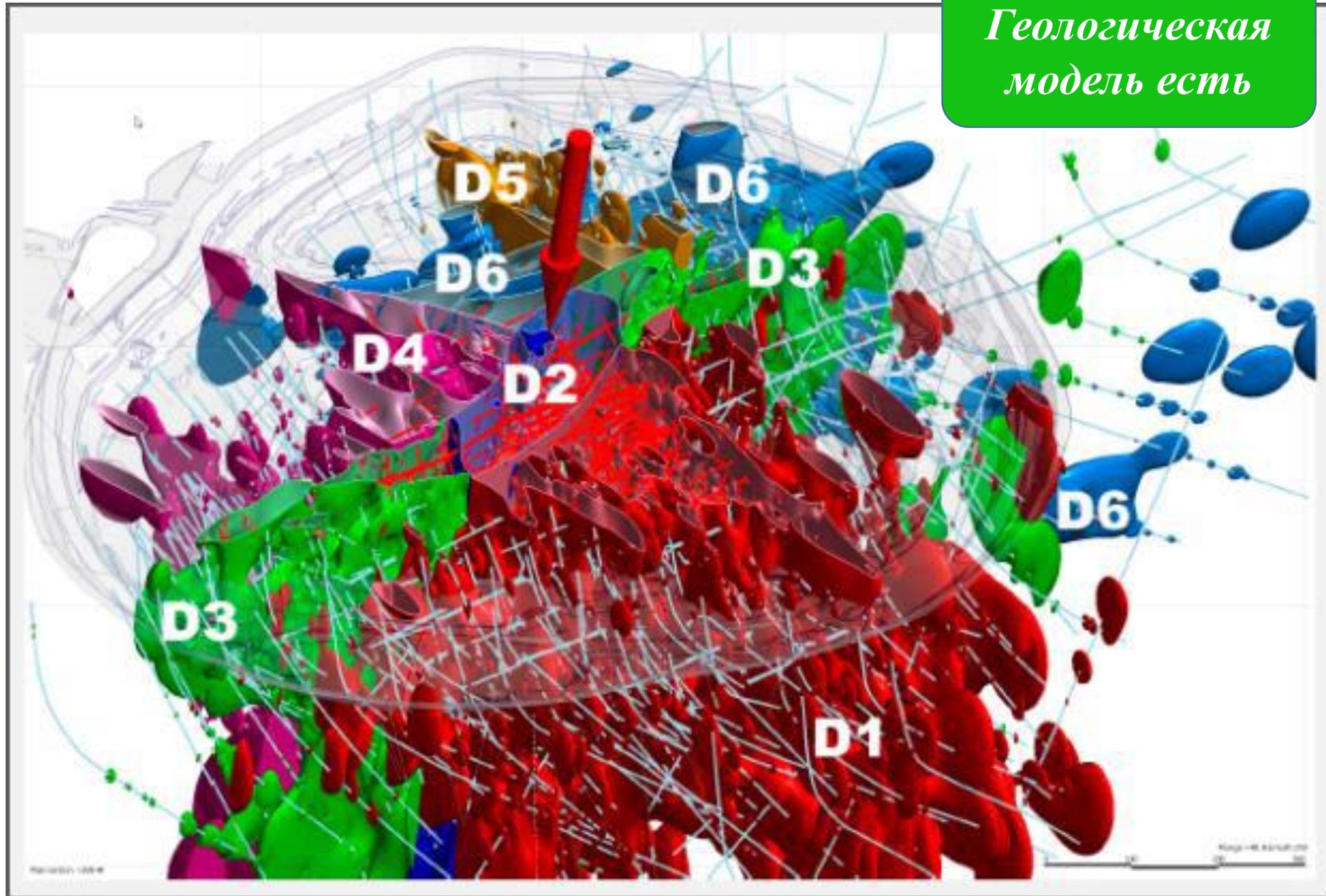


ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

отображает пространственное распределение минерализации для оконтуривания балансовой и забалансовой руды, подсчета запасов. Используется при планировании горных работ.

3D геологическая модель Васильковского месторождения (Orefind, 2014); D1÷D6 – домены минерализации

Геологическая модель есть



ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

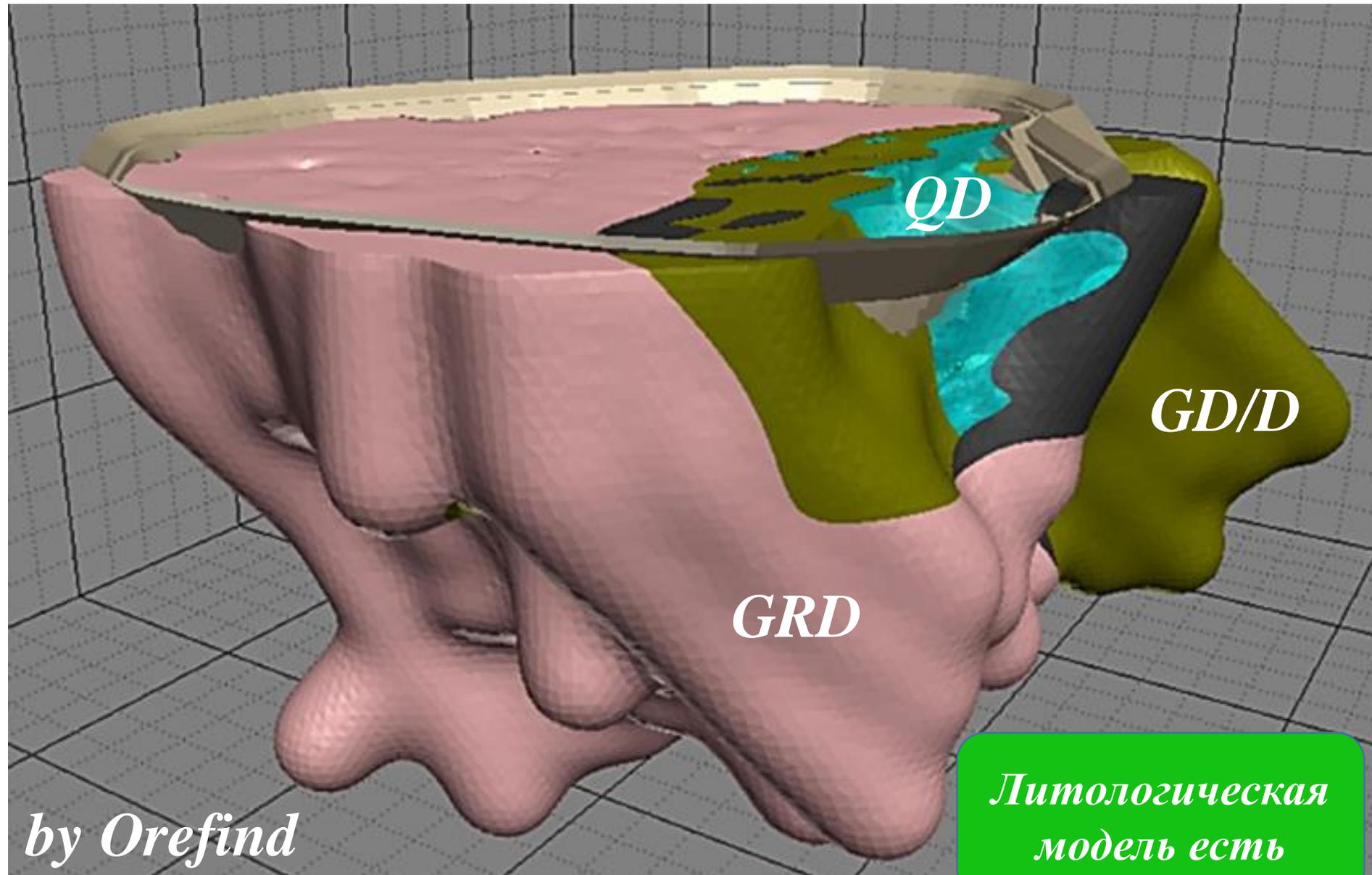
*отображает
пространственное
размещение основных
типов вмещающих пород.
Используется при
расчете устойчивости
бортов карьеров*

*литологическая
модель массива
(Orefind, 2014):*

GRD – гранодиориты;

*GD/D – габбродиориты
/диориты;*

*QD – кварцевые
диориты*

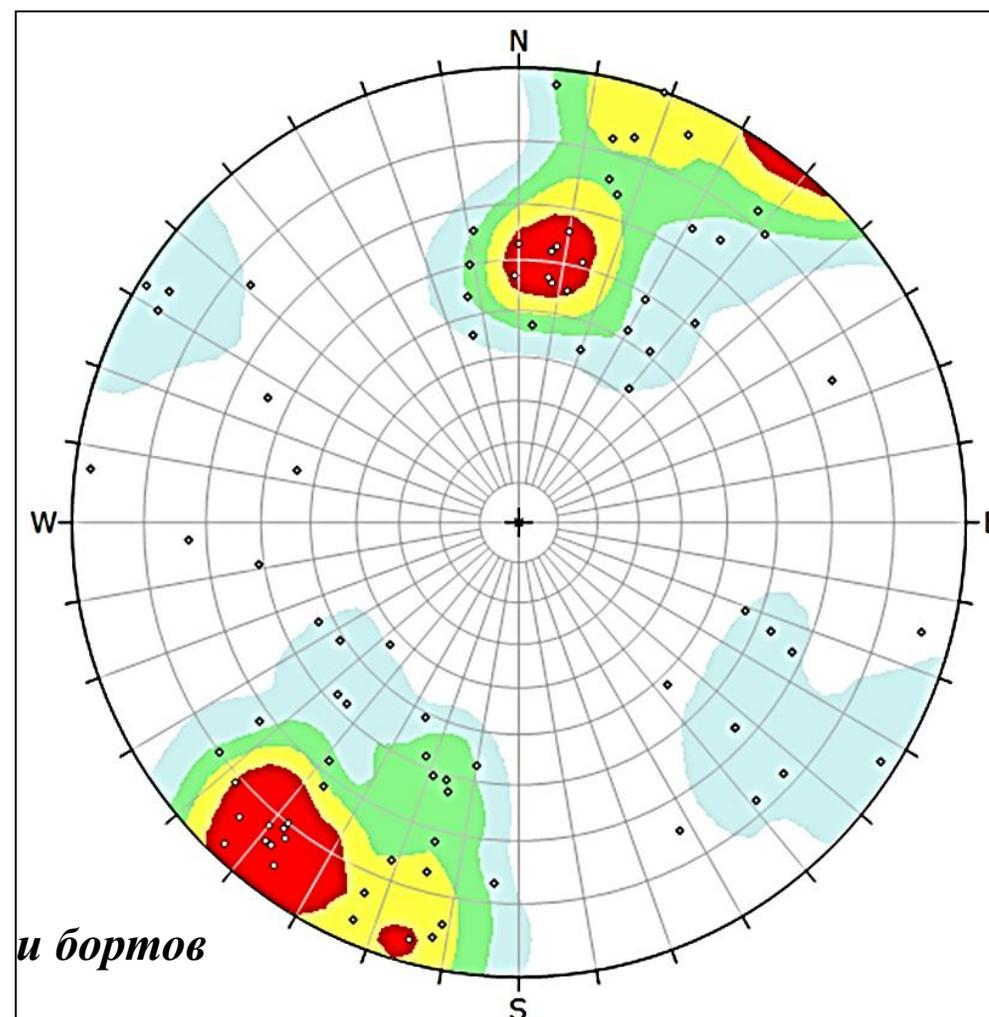
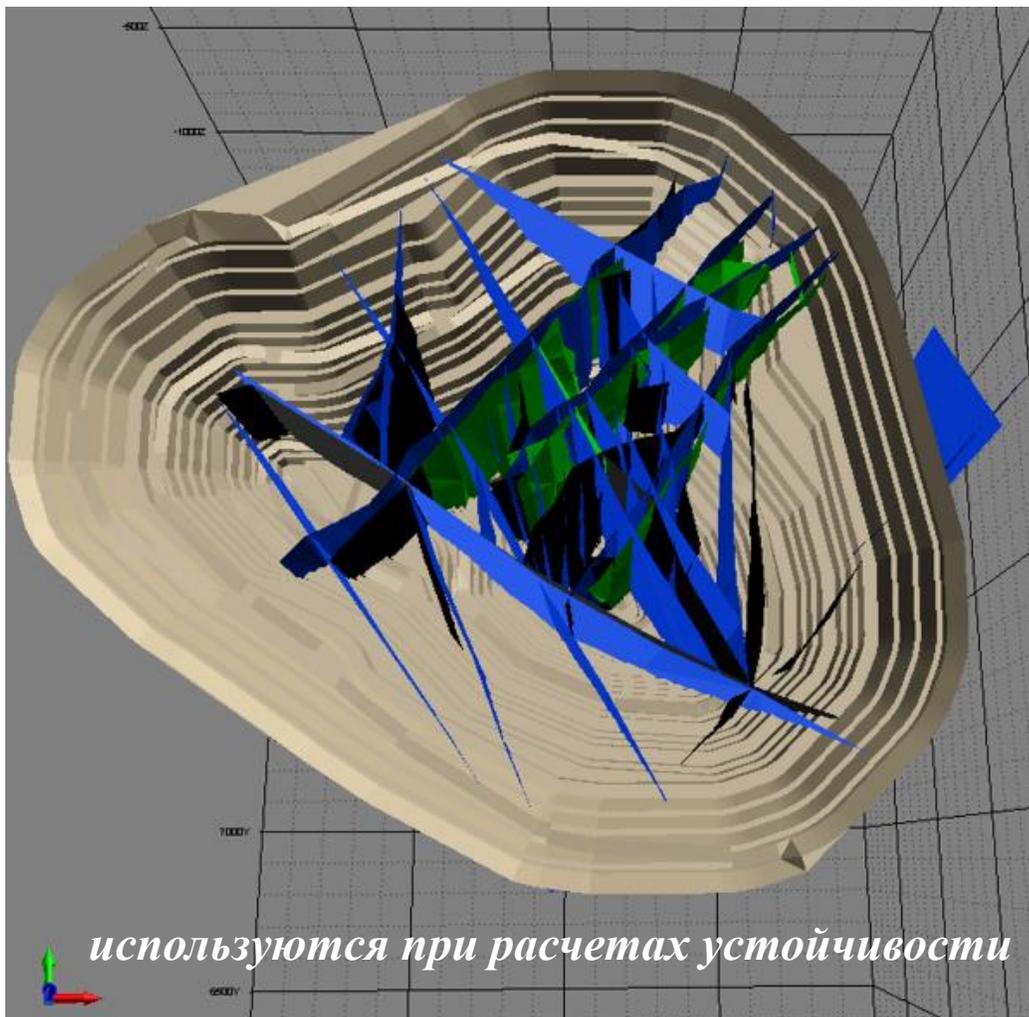


СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ МАССИВА

создается на двух уровнях:

МОДЕЛЬ РАЗЛОМОВ

МОДЕЛЬ СЕТИ ТРЕЩИН

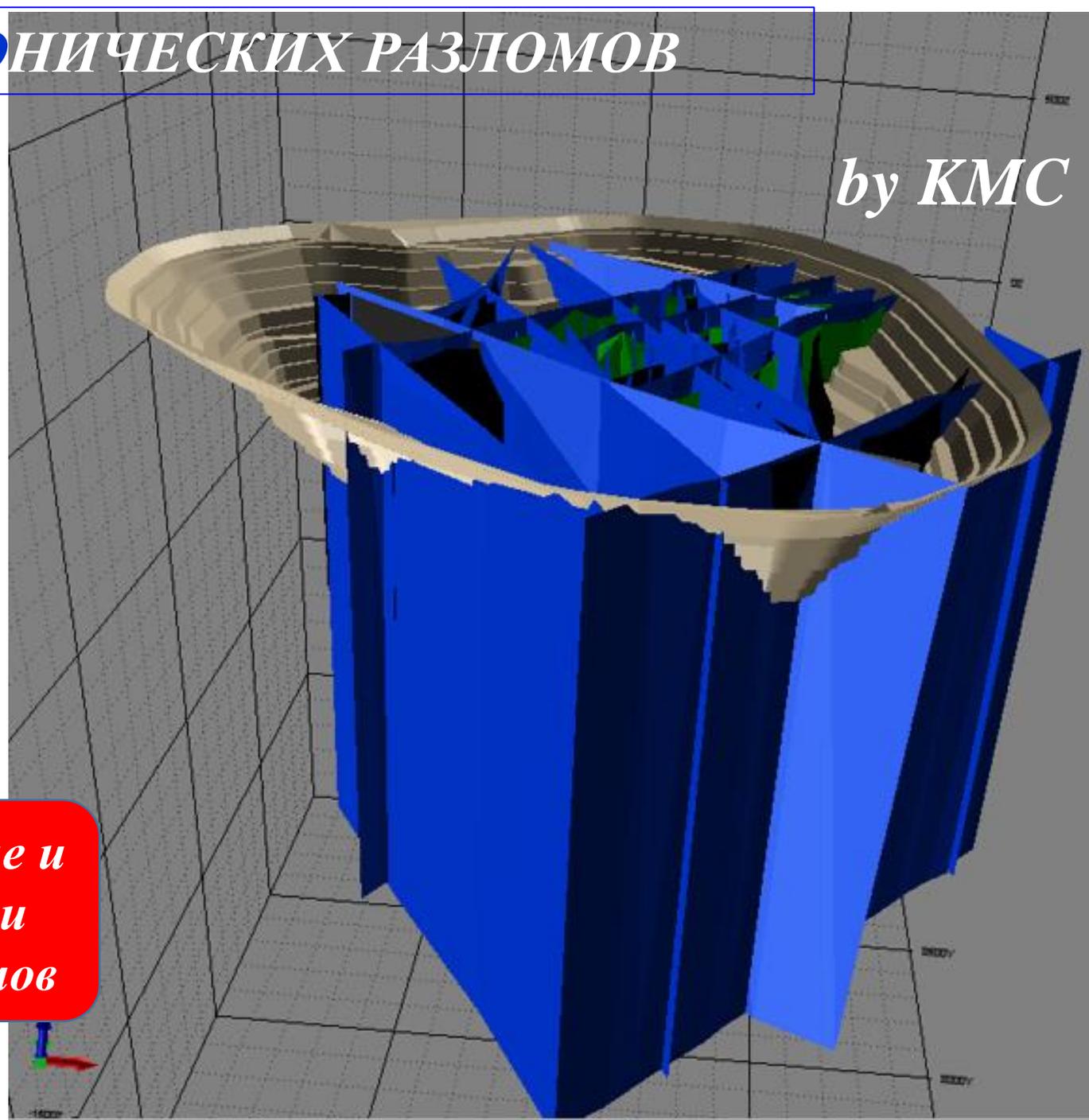


используются при расчетах устойчивости уступов и бортов

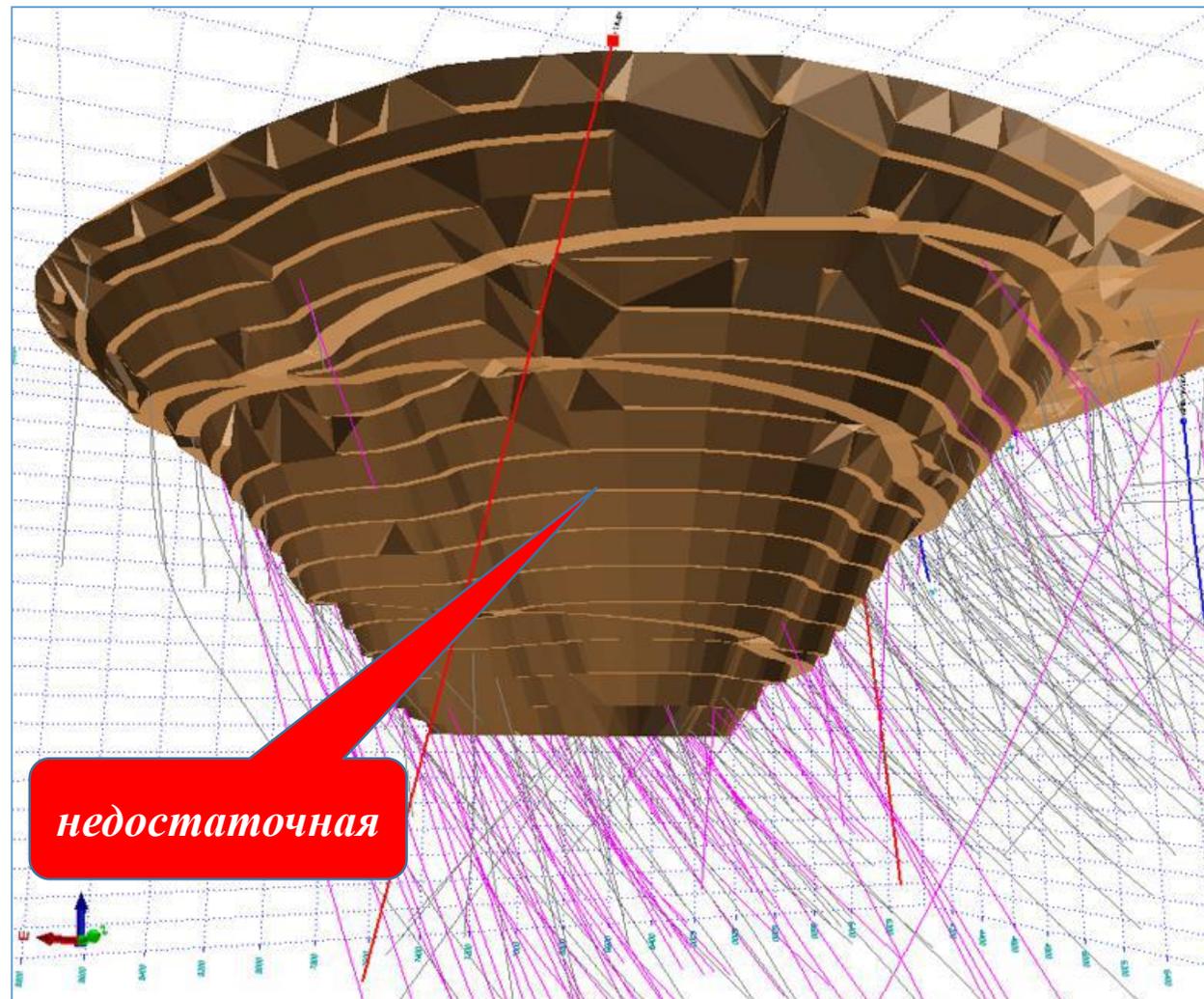
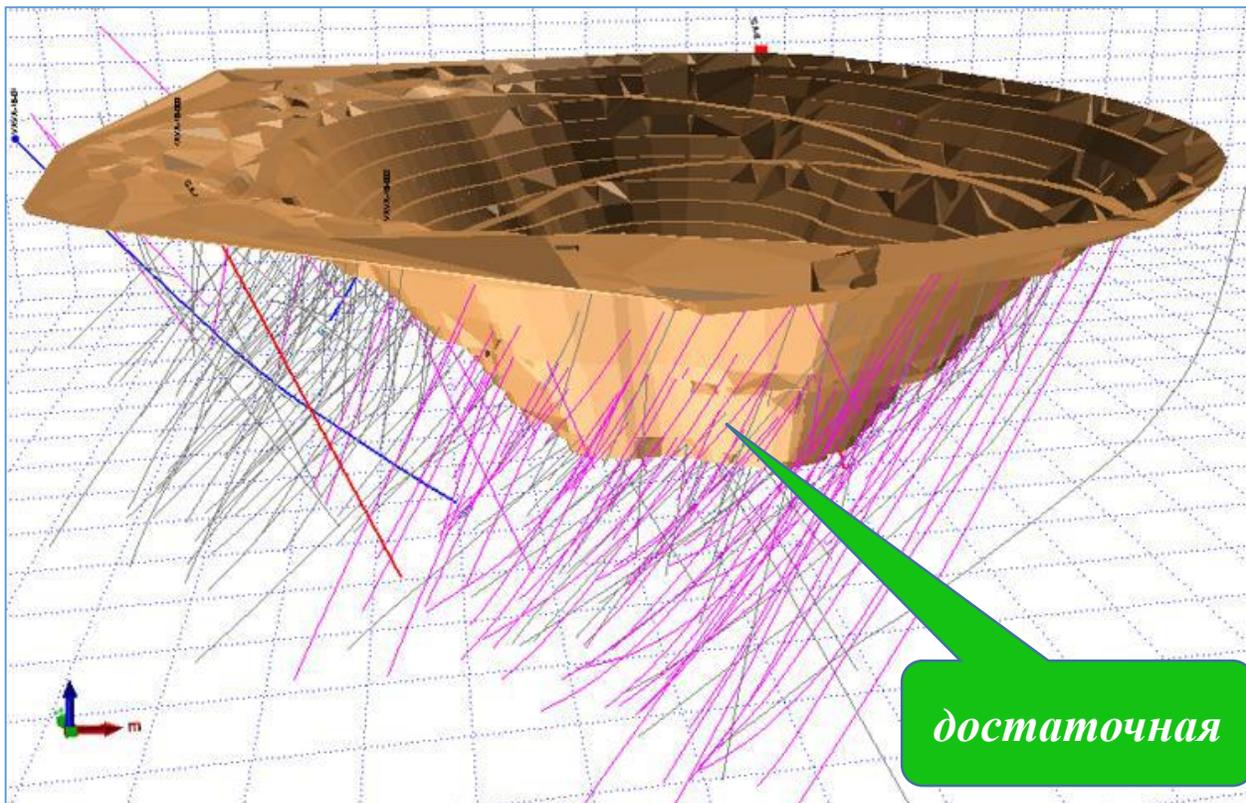
Упрощенная модель тектонических разломов массива Васильковского месторождения построена КМС в 2009 г.

После этого в 2010 ÷ 2016 г.г. пробурено еще 120 км скважин, которые необходимо использовать при корректировке модели тектонических разломов

Необходимо пополнение и корректировка модели тектонических разломов



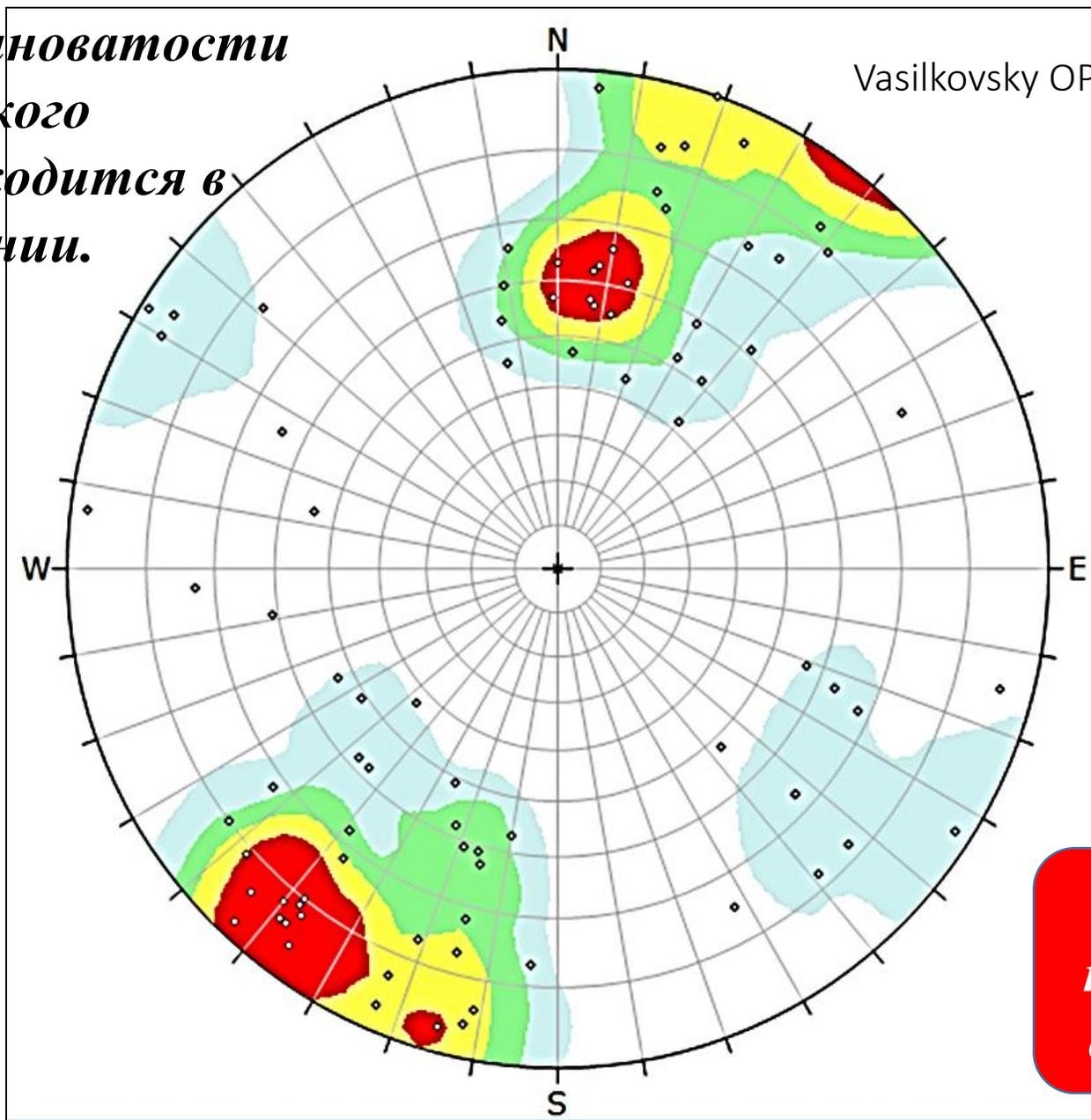
Неравномерность изученности скважинами структуры массива за контуром карьера



Для пополнения модели разломов необходима инженерная доразведка структуры массива в отдельных секторах карьера

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ МАССИВА

Изученность трещиноватости массива Васильковского месторождения находится в зачаточном состоянии.



Symbol	Feature
◊	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
Light Blue	0.00 - 2.80
Green	2.80 - 5.60
Yellow	5.60 - 8.40
Red	8.40 - 11.20
Dark Red	11.20 - 14.00

Maximum Density	13.66%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	2.4%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	88 (88 Entries)
Hemisphere	Upper
Projection	Equal Angle

обработка в программе Dips

Необходима съемка трещиноватости по всем бортам карьера

Необходимо:

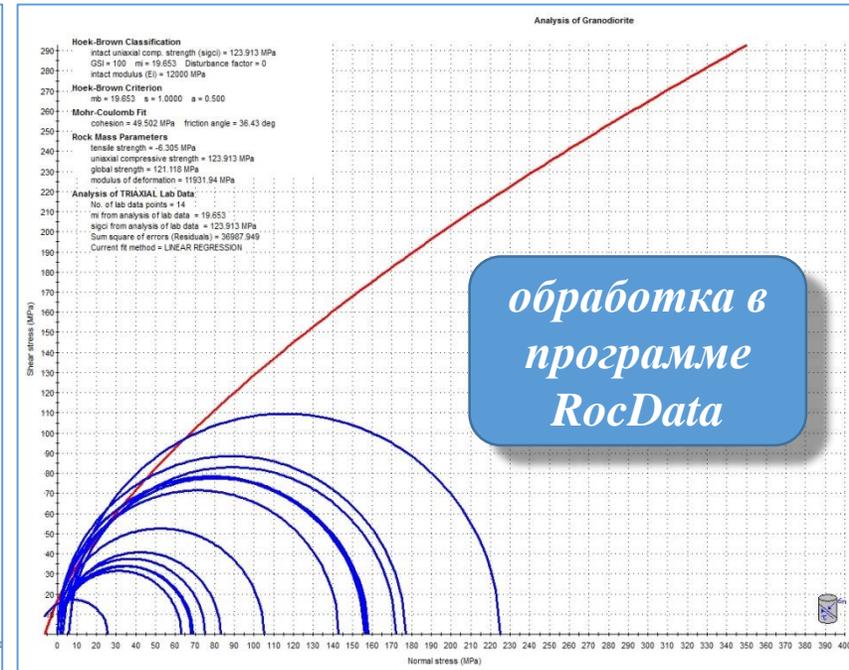
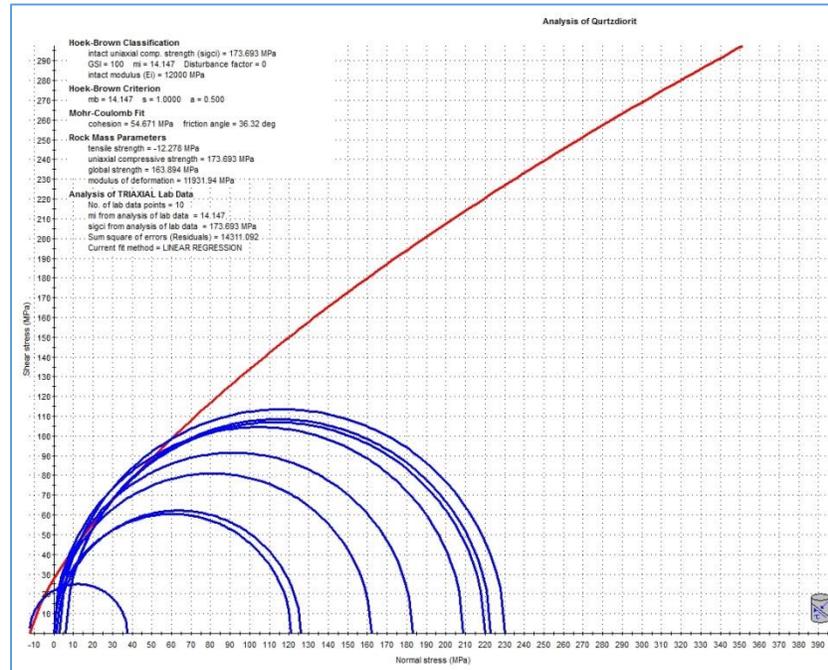
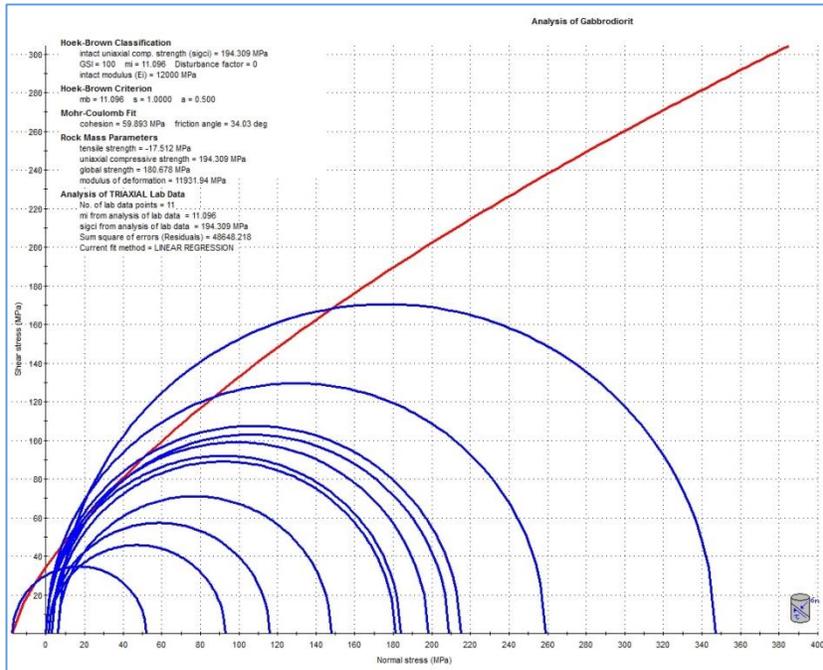
- свести в единую базу все имеющие разрозненные данные;
- выполнить съемку трещиноватости на всех доступных карьерных откосах

Результаты изучения свойств пород университетом Curtin (2008)

габбродиориты GD/D

кварц. диориты QD

гранодиориты GRD



обработка в программе RocData

Всего 48 образцов трех типов пород (GRD, GD/D, QD) в выветрелом и невыветрелом состояниях подвергались трем типам испытаний (по 2÷8 образцов каждого типа пород). Свойства пород на глубоких горизонтах планируемого Васильковского карьера (до глубины 630 м) являются абсолютно неизученными

Требуется пополнить базу данных о прочности вмещающих пород

СВОЙСТВА ТРЕЩИН

Результаты изучения сопротивления сдвигу по трещинам

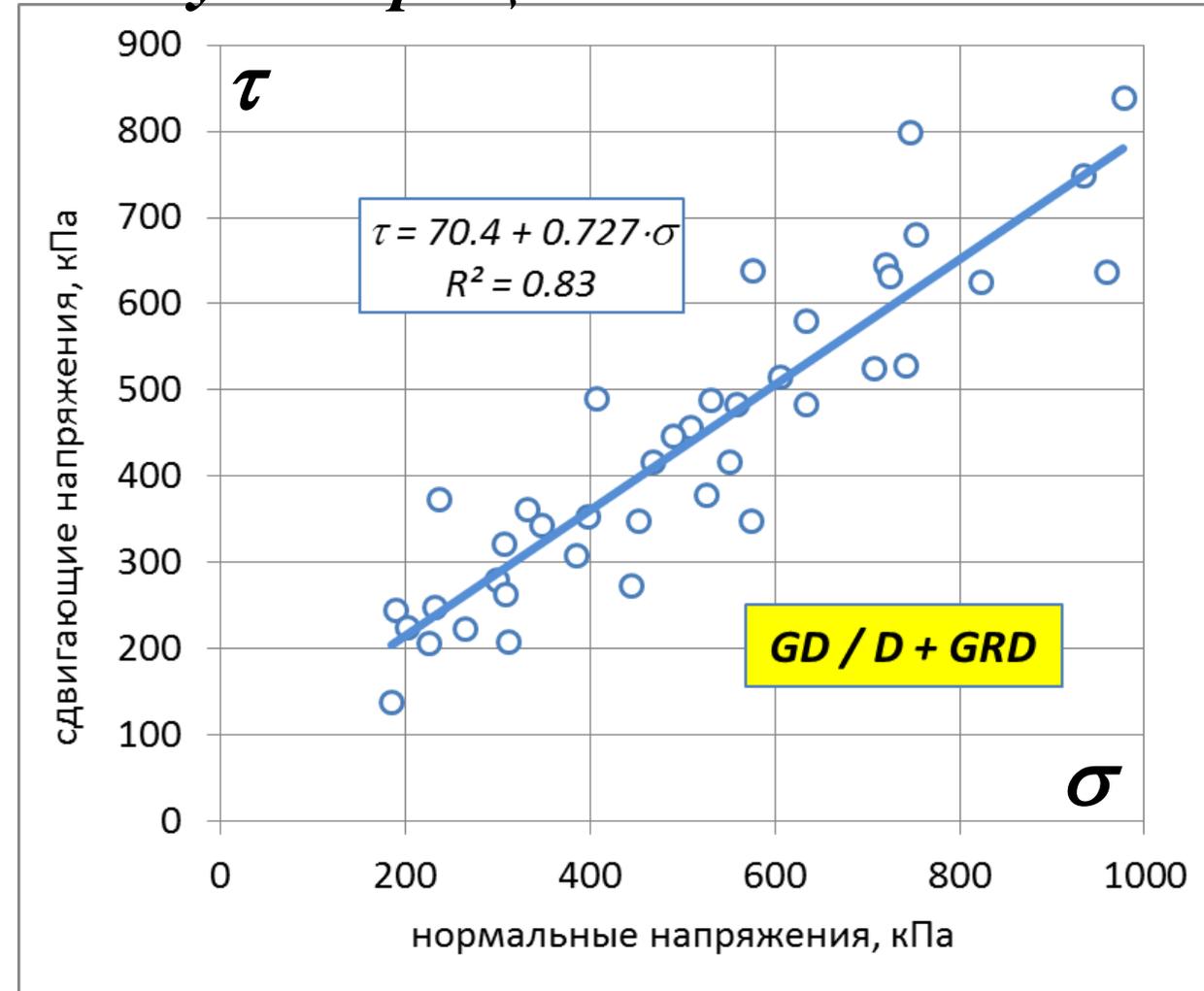
университетом Curtin (2008):

сцепление по трещинам $C' = 70$ кПа

угол трения по трещинам $\phi' = 36^\circ$

*очень большой угол, т.к.
низок уровень σ*

Для обоснования новых параметров бортов Васильковского карьера с более крутыми углами наклона базу данных о прочностных свойствах трещин следует пополнить дополнительными испытаниями на прямой сдвиг при более высоких уровнях нормальных напряжений.



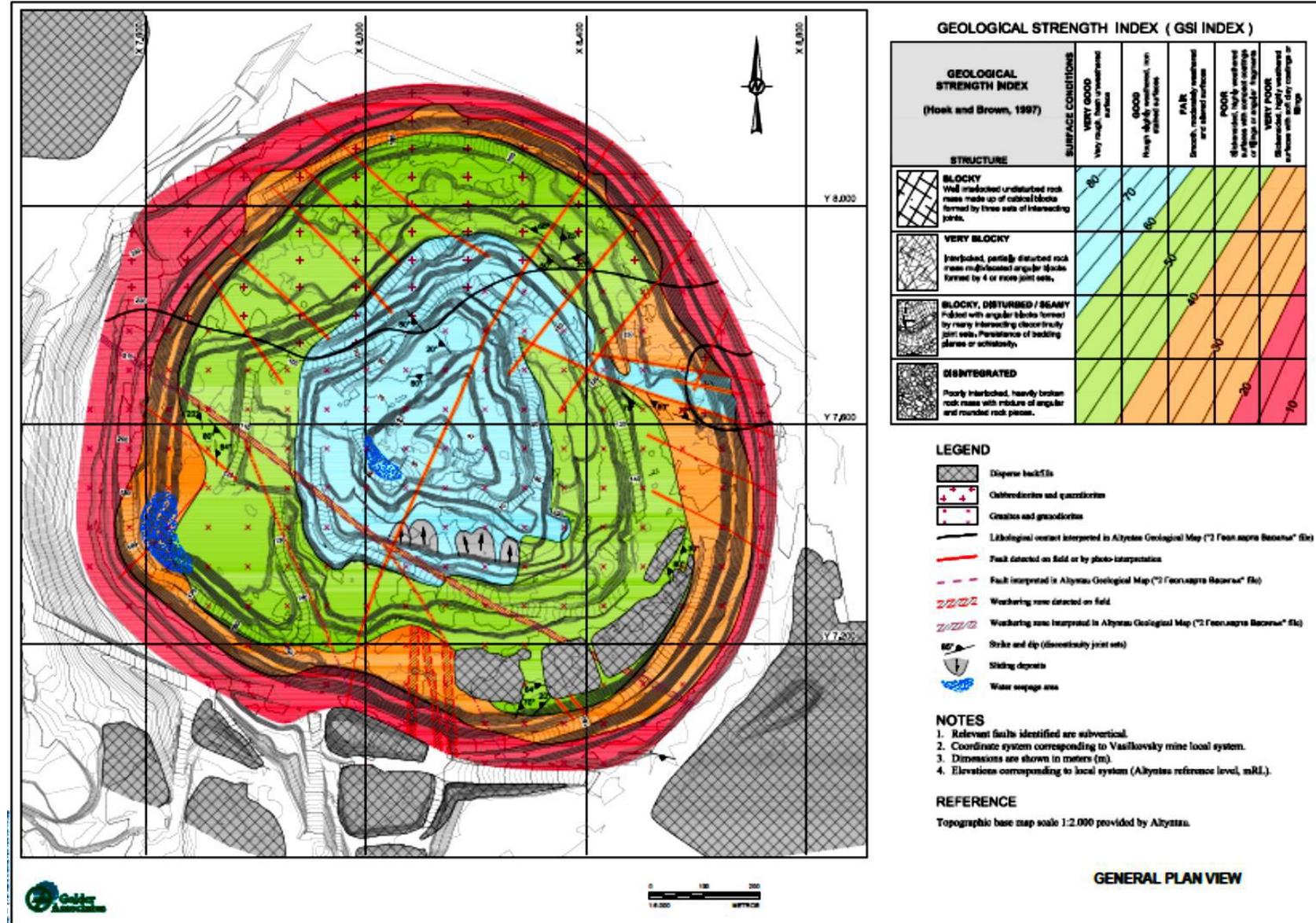
Паспорт сопротивления сдвигу по трещинам в GD/D + GRD

СВОЙСТВА ТРЕЩИНОВАТОГО МАССИВА

Оценка геологического индекса прочности GSI массивов компанией Golder Associates (2016)

Значения $GSI = 60, 50, 30, 15$ определены ГА экспертным методом

Для более точной оценки прочностных свойств массивов необходимо рассчитать GSI по формулам Э. Хука (2013) и по базе данных разведочных скважин построить 3D модель прочностных свойств трещиноватых массивов

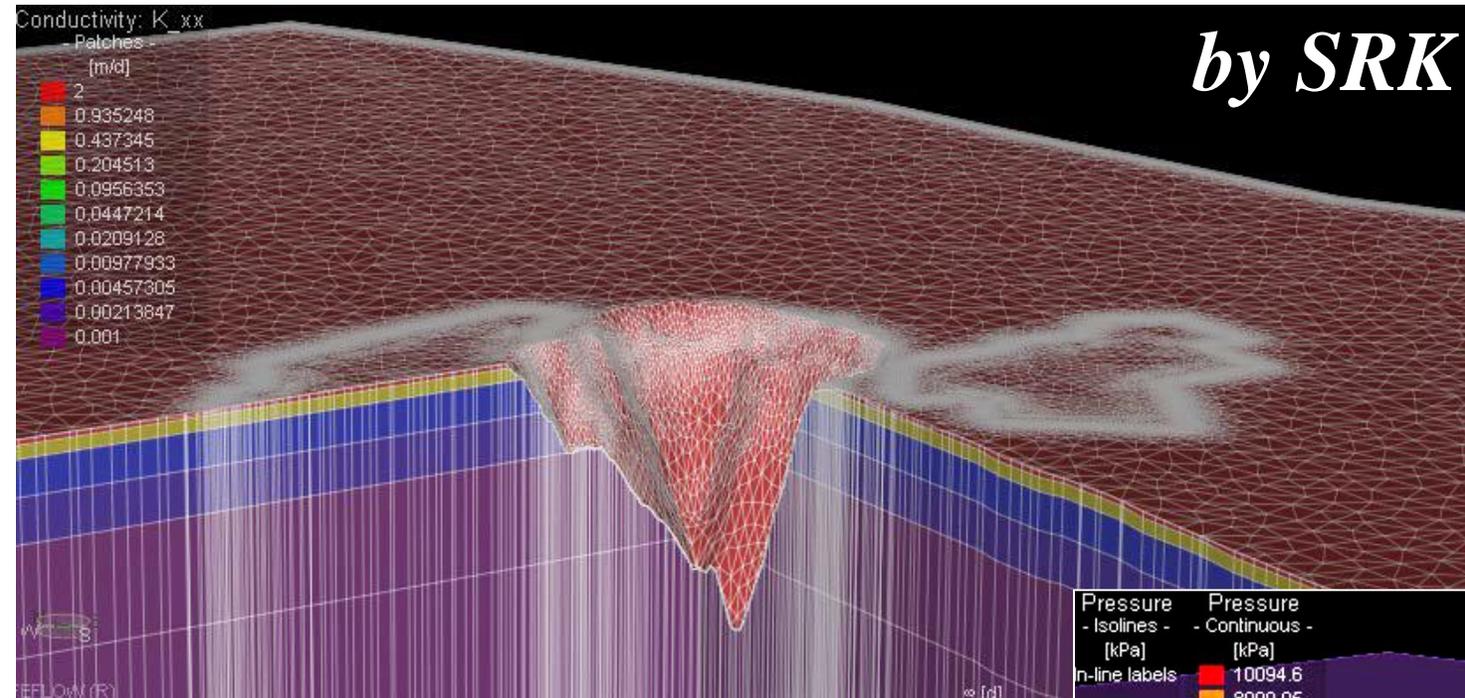




ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

by SRK

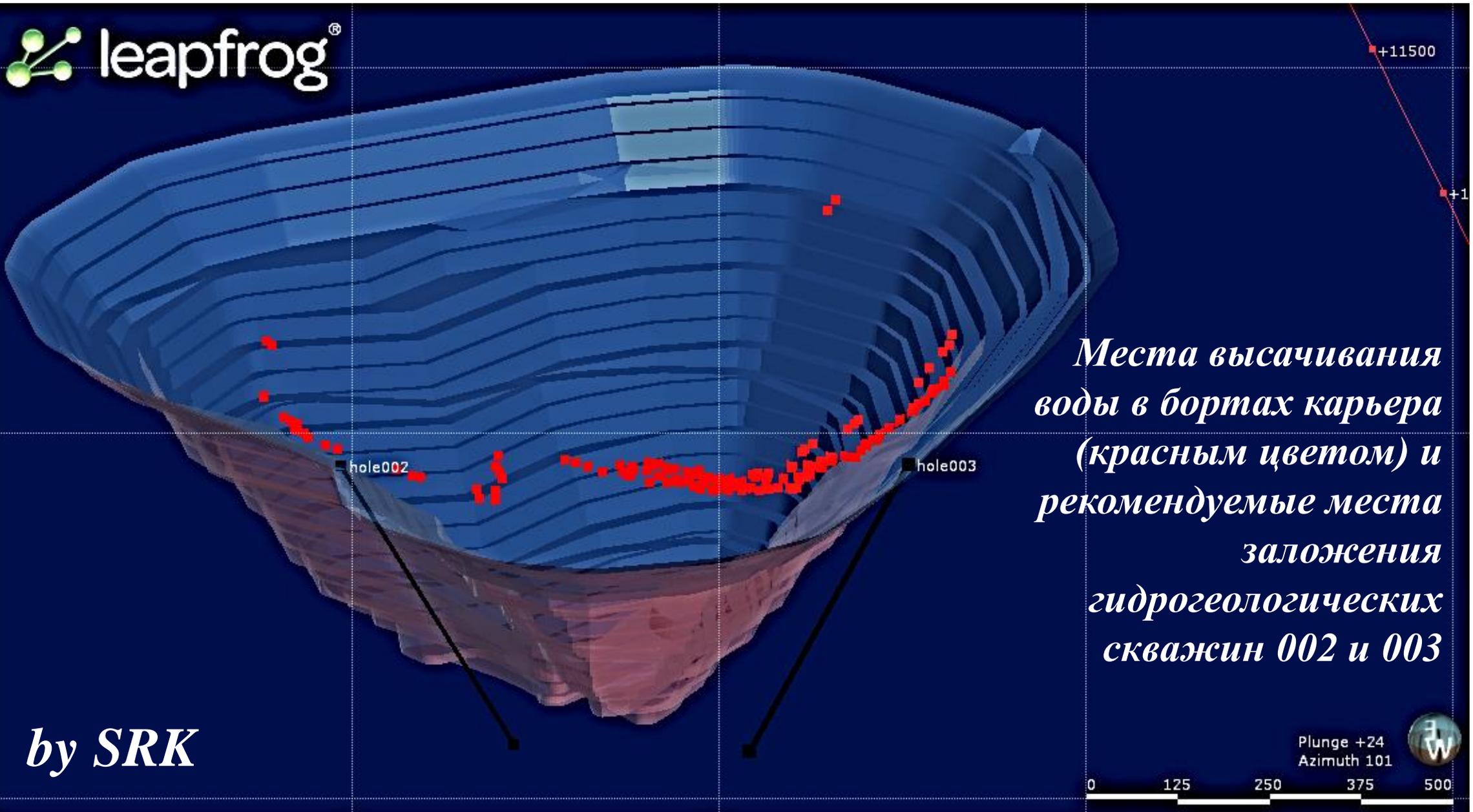
Гидрогеологические свойства прибортовой части массива изучены слабо, не позволяют качественно определить режим подземных вод на прогнозный период. Необходимо доизучить гидрогеологические свойства прибортового массива



Предварительная гидрогеологическая модель требует более достоверных исходных данных, которые необходимо получить пакерными испытаниями гидрогеологических скважин

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

leapfrog®



*Места высачивания
воды в бортах карьера
(красным цветом) и
рекомендуемые места
заложения
гидрогеологических
скважин 002 и 003*

by SRK

Plunge +24
Azimuth 101



0 125 250 375 500

***2. Анализ рисков обрушения
горной массы при отработке
Васильковского карьера***

МАСШТАБЫ ОБРУШЕНИЙ

Три уровня риска обрушения горной массы:

- 1. Отдельные уступы*
- 2. Группа уступов между съездами*
- 3. Борт в целом*

*при любой, даже
весьма высокой
геомеханической
изученности массива
вероятность
обрушения карьерных
откосов во всех трех
масштабах все равно
остается.*



*с увеличение изученности
массива риски потери его
устойчивости
снижаются*



КРИТЕРИИ ПРИЕМЛЕМОСТИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСТУПОВ И БОРТОВ КАРЬЕРОВ, ПРИНЯТЫЕ В МЕЖДУНАРОДНОЙ ПРАКТИКЕ

Guidelines for open pit slope design. Editors: John Read, Peter Stacey – CSIRO Publishing, 2009

Тип откоса	Ситуация	Параметры неустойчивости		Критерии приемлемости		Комментарии
		Потеря ширины бермы (%)	Объем обрушений (кт/м)	FoS	PoF (%)	
Уступ	Конечный борт, расположен не рядом с транспортным съездом	<25 25-50 >50	<0.5/<1.0 <1.0/<2.0 >2.0		<35 <25	Ширина бермы должна удерживать весь объем обрушений, вероятность которых >30%; для минимизации повреждений и трещинообразования на откосах конечного борта карьера должно применяться контурное взрывание
	Конечный борт, расположен рядом со съездом	<25 25-50 >50	<0.5/<1.0 <1.0/<2.0 >2.0		<30 <20	
Участок борта между трансп. съездами	Конечный борт	<25	<5 >5	>1.20 >1.25	<25 <20	Анализ устойчивости должен учитывать конкретное влияние структурных особенностей породного массива; должны предусматриваться два отдельных наклонных съезда к дну карьера; необходимо проведение замеров напоров грунтовых вод для их дренирования
		25-50	<5 5-10 >10	>1.30 >1.35 >1.45	<22 <20 <18	
		>50	<10 10-20 >20	>1.35 >1.40 >1.50	<20 <18 <15	
Борт в целом	Конечный борт		<25 25-50 >50	>1.30 >1.45 >1.60	<12 <10 <8	Анализ устойчивости должен учитывать структурные особенности породного массива, все объекты инфраструктуры должны располагаться за пределами периметра карьера

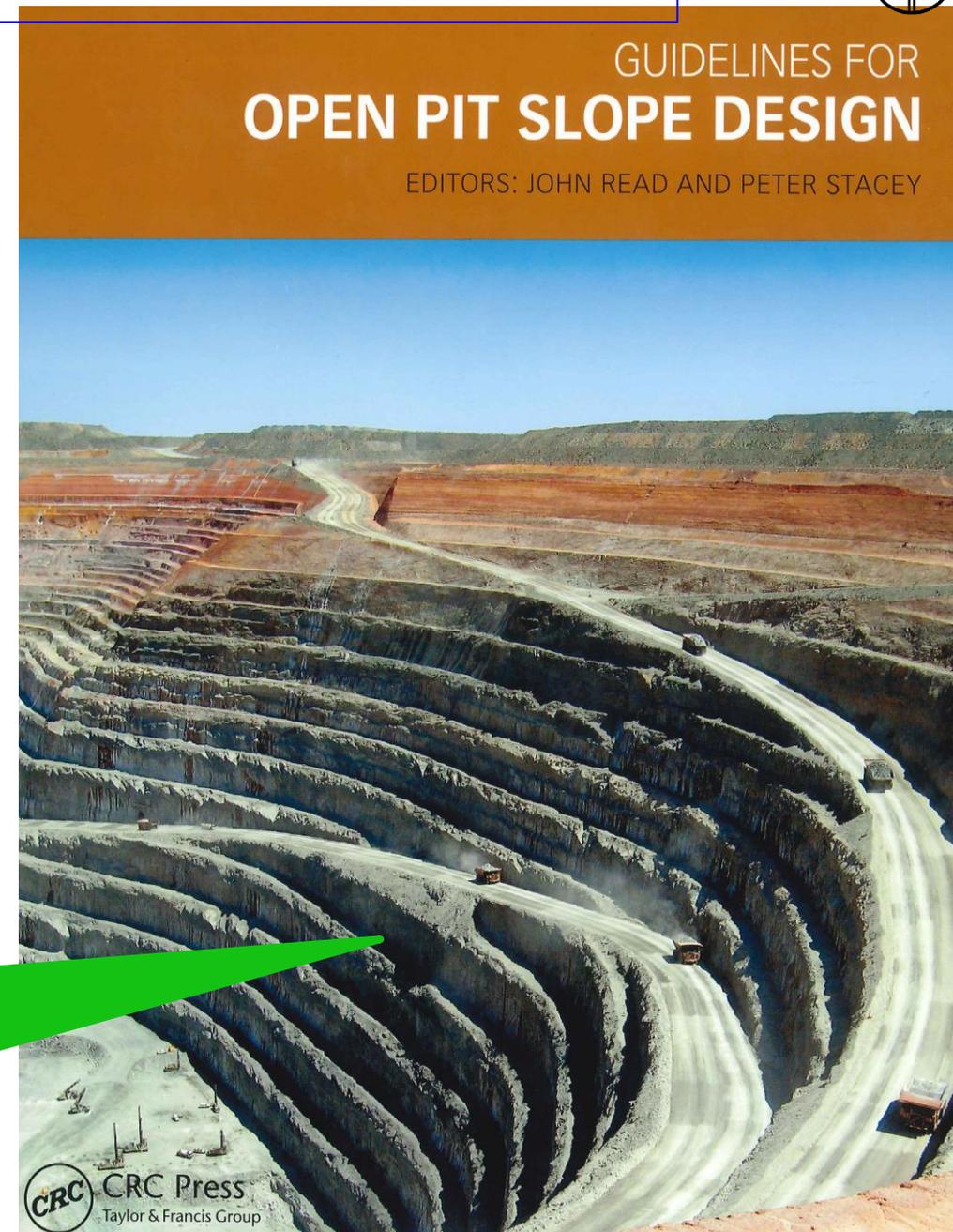
FoS (Factor of Safety) – коэффициент запаса устойчивости; PoF (Probability of Failure) – вероятность обрушения, %

вероятность обрушения отдельных уступов по природным и техногенным трещинам должна быть меньше $PoF < 20\div 35\%$

Управление данным риском осуществляется:

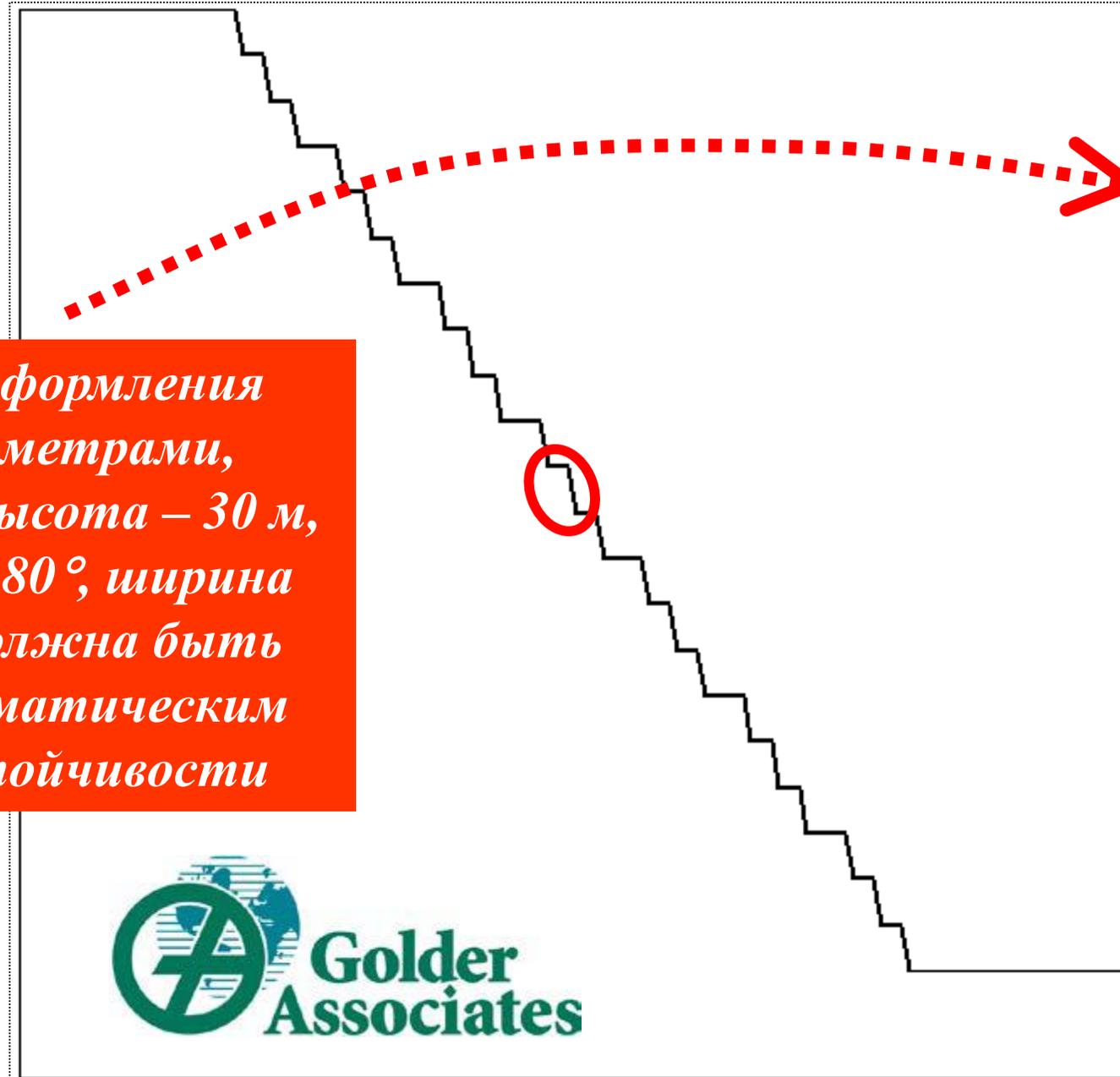
- *обоснованием допустимых параметров уступов (высота, угол заоткоски, ширина бермы) с помощью кинематического анализа их устойчивости по данным о трещиноватости массива;*
- *специальными технологиями отстройки уступов на предельном контуре заоткосными работами;*
- *оборкой заколов*

вывалы блоков пород по трещинам не создают угрозы безопасности и не препятствуют нормальной работе карьера Mega Pit, Sunrise Dam Gold Mine (Western Australia)





КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ УСТУПОВ



Slope height dimensions

Slope height:	630
Bench height:	30
Number of benches:	21
Number of step outs:	20
Benches per stack:	3
Number of stacks:	7
Number of berms:	6

Slope angles

Crest-to-toe inter-ramp:	55
Toe-to-toe inter-ramp:	53.5
Overall horizontal (m):	441.131
Stack slope angle:	65
Stack horizontal (m):	41.97
Bench slope angle:	80
Bench horizontal (m):	5.29

Slope width dimensions

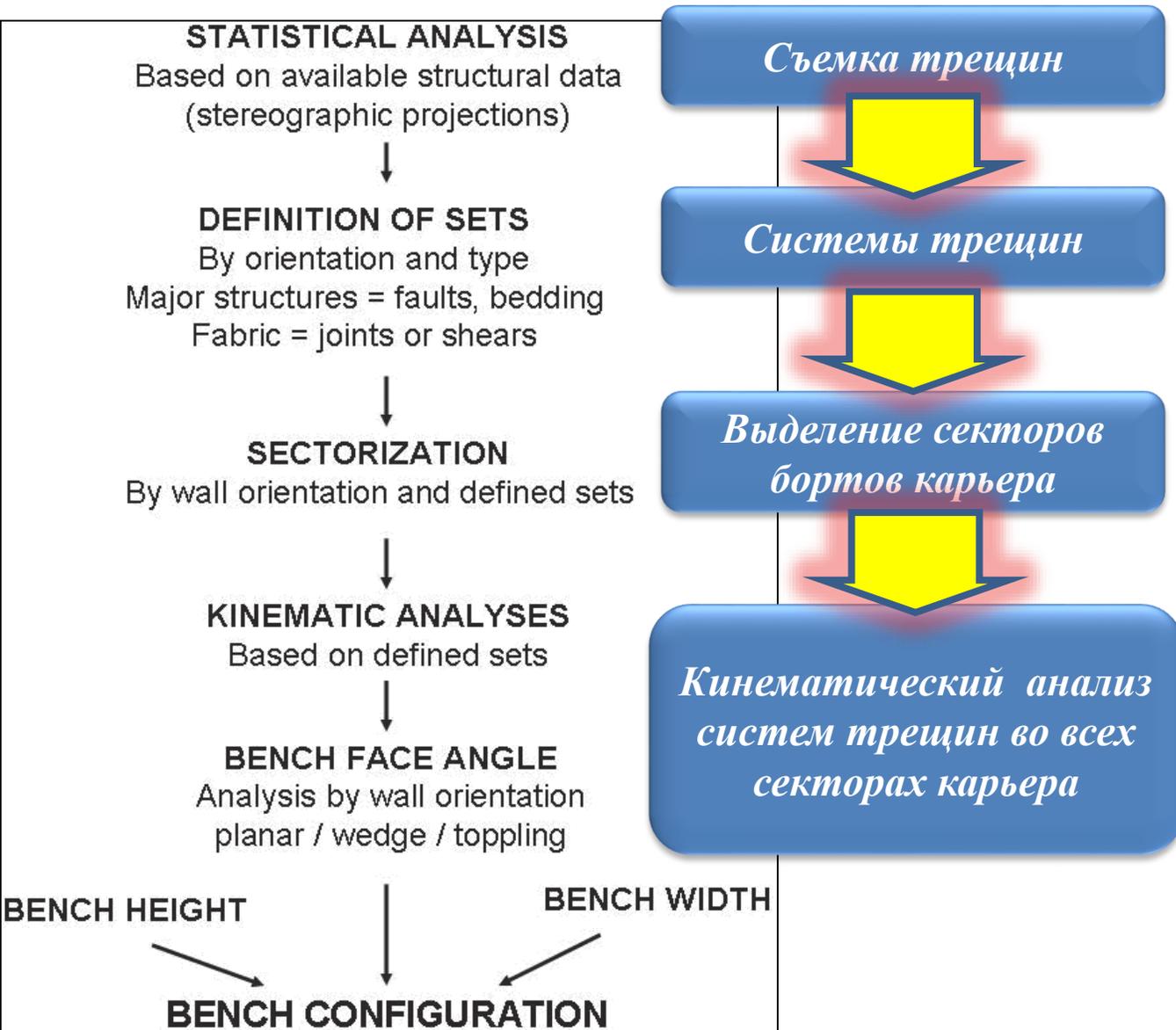
Catchment berms (m):	24.56
Step out widths (m):	13.05

Возможность оформления уступов с параметрами, принятыми GA (высота – 30 м, угол заоткоски – 80°, ширина бермы – 13 м), должна быть обоснована кинематическим анализом их устойчивости



КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ УСТУПОВ

Процедура кинематического анализа:



Цель кинематического анализа:
определение в каждом секторе карьера параметров уступов, удовлетворяющих принятым на предприятии критериям допустимости их неустойчивости (вероятность обрушения, эффективная ширина бермы после срабатывания и удержания осыпи)

Для кинематического анализа необходимо знать:

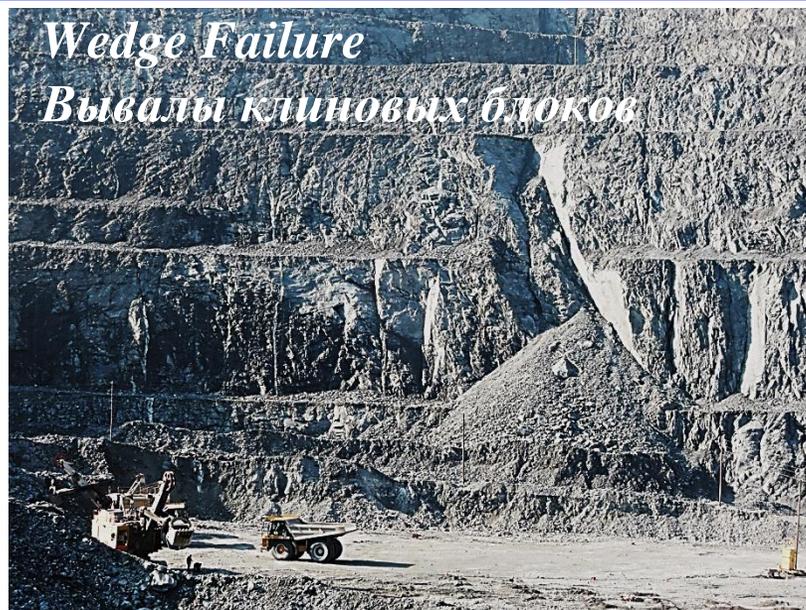
- ориентировки систем трещин;
- размеры трещин в системах;
- показатели сопротивления сдвигу по трещинам (C' , φ')

ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ НЕУСТОЙЧИВОСТИ УСТУПОВ

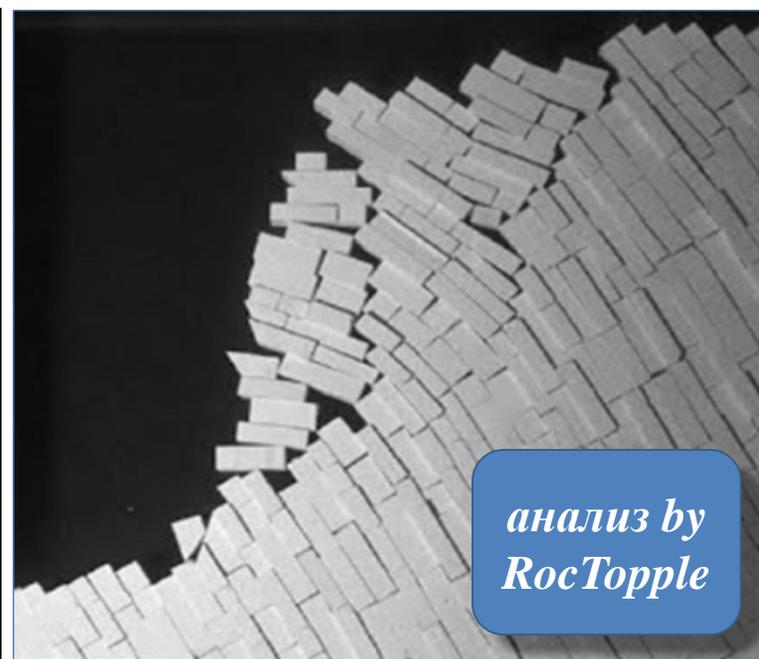
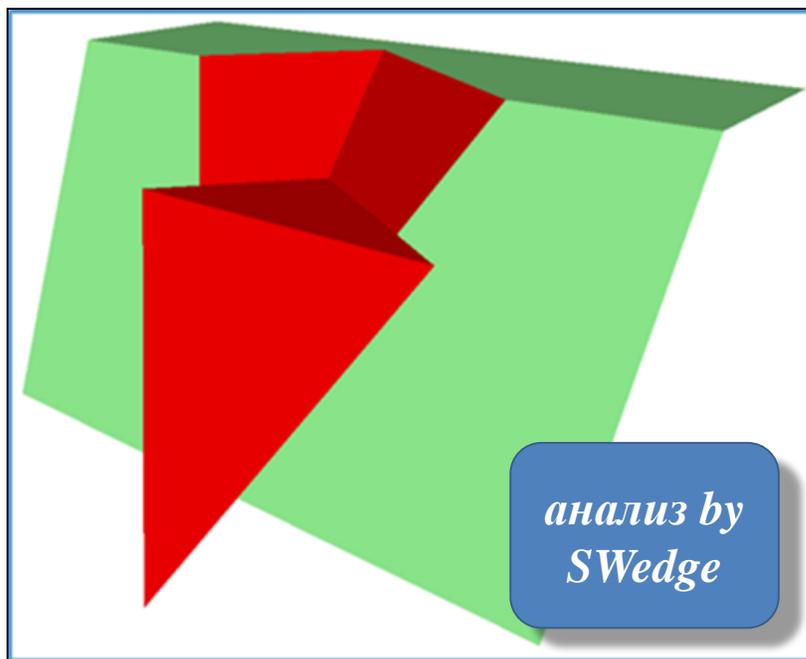
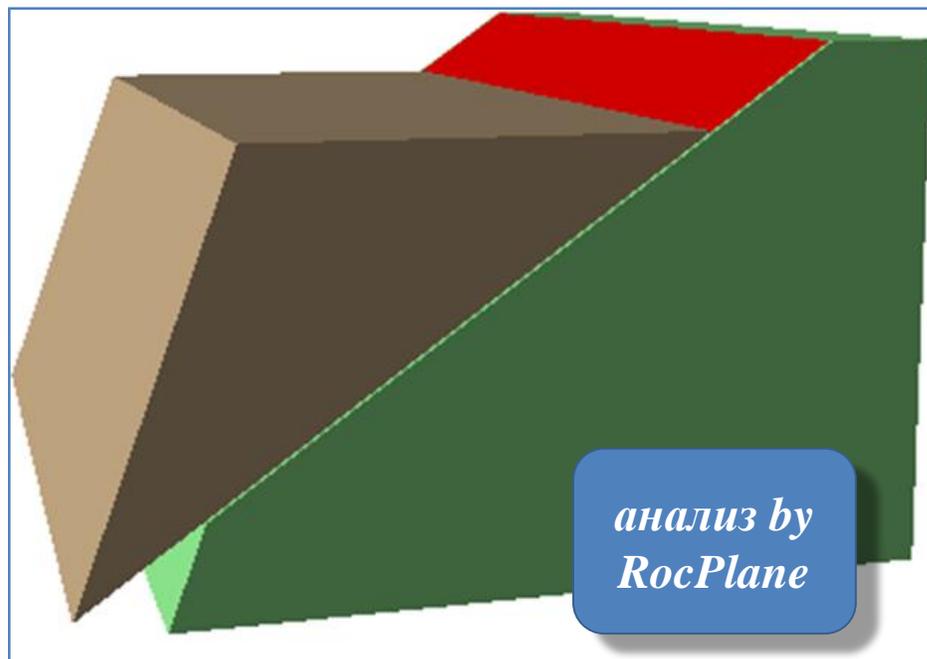
Planar Sliding Плоское скольжение



Wedge Failure
Вывалы клиновых блоков



Topping Опрокидывание



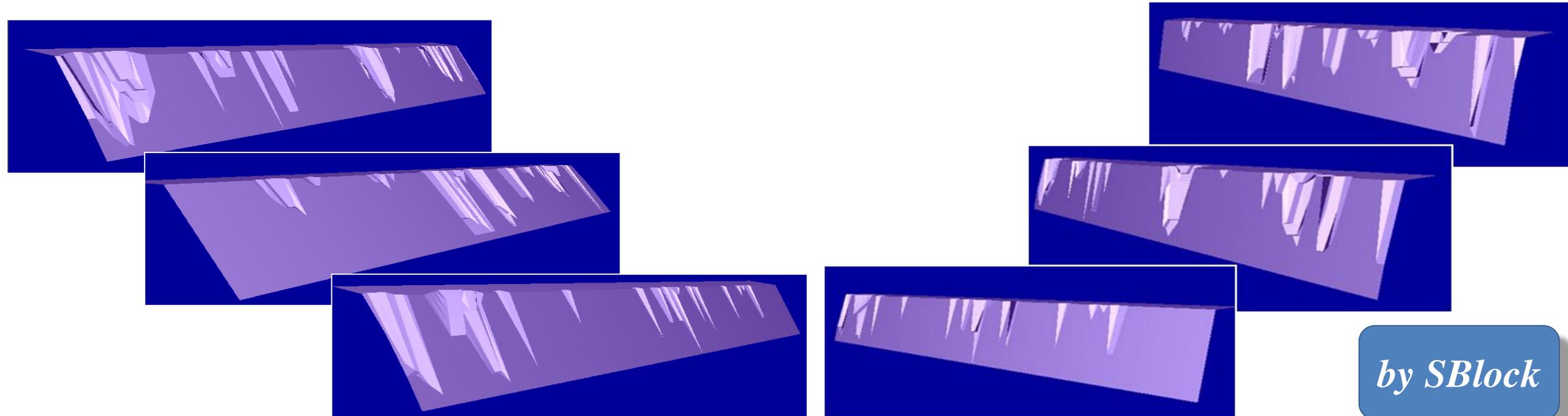
Статистический подход к обоснованию параметров уступов с помощью SBlock

Исходными данными для расчетов являются средние значения и диапазоны варьирования элементов залегания систем трещин, длин трещин, расстояний между ними в каждой системе, сцепления и угла трения по трещинам, проектные параметры уступов и их направление.

Результатами расчетов являются средний объем обрушения породы на 1 пог.м уступа, вероятность обрушения его верхней бровки, средняя эффективная ширина бермы после срабатывания верхней бровки и удержания осыпи и др., в т.ч. ожидаемое состояние уступов в 3D

Ожидаемый вид уступов с углом заоткоски 55° в лежащем боку карьера

Ожидаемый вид уступов с углом заоткоски 75° в висячем боку карьера





ЗАОТКОСКА УСТУПОВ

является эффективным способом снижения риска обрушений пород



ОБОРКА УСТУПОВ



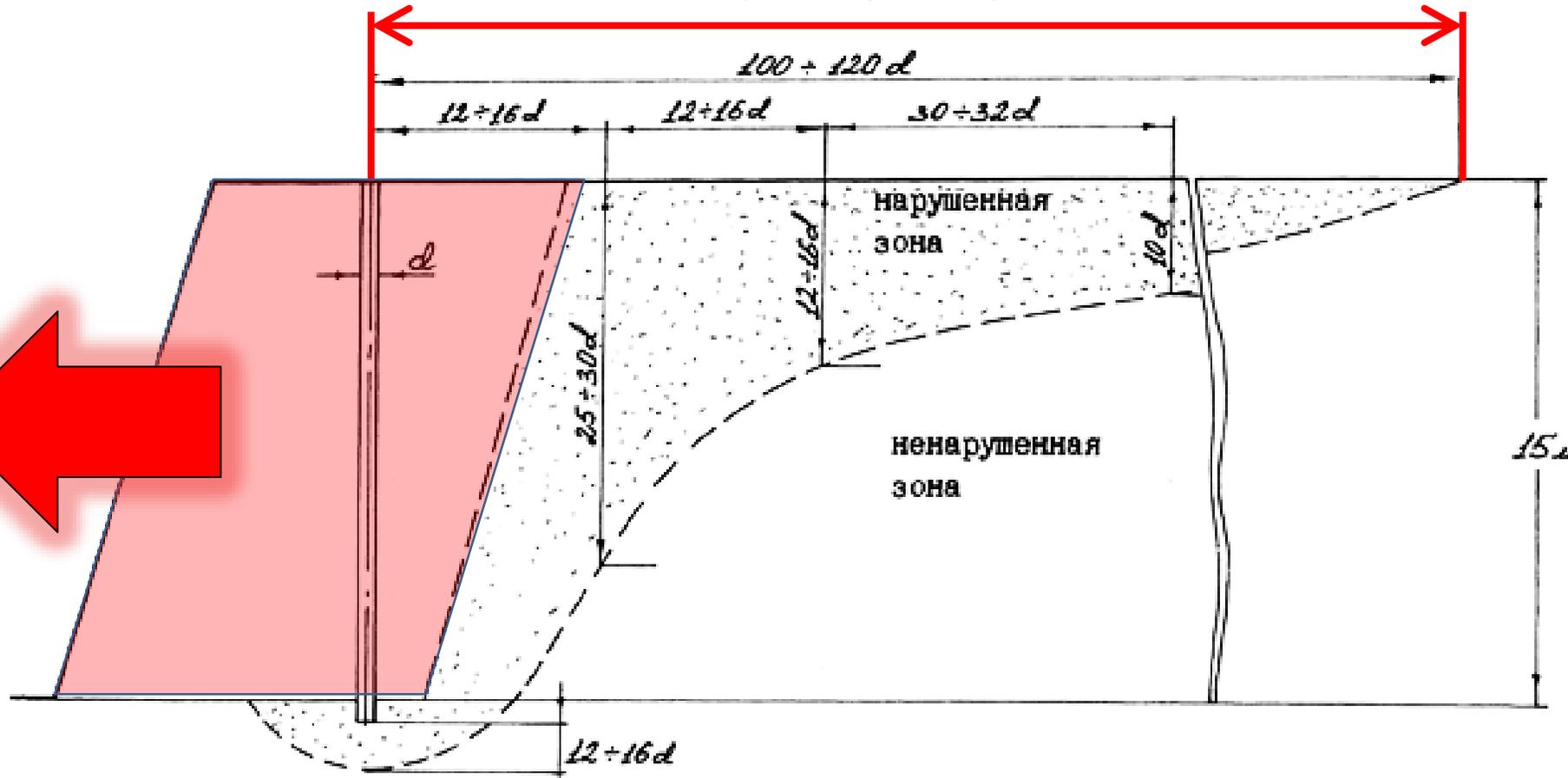
ЗАКОЛ
*из-за неоптимальных
параметров взрывания
контурной щели*

*Необходимо провести НИР по
определению оптимальной
технологии постановки уступов
на предельный контур и ее
параметров с исключением
перебура скважин в бермы*

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПОВРЕЖДЕНИЕМ МАССИВА ВЗРЫВОМ

Типовые представления о масштабах повреждения массива массовым взрывом за контуром отбойки. В конкретных условиях размер зоны должен определяться натурными наблюдениями

???

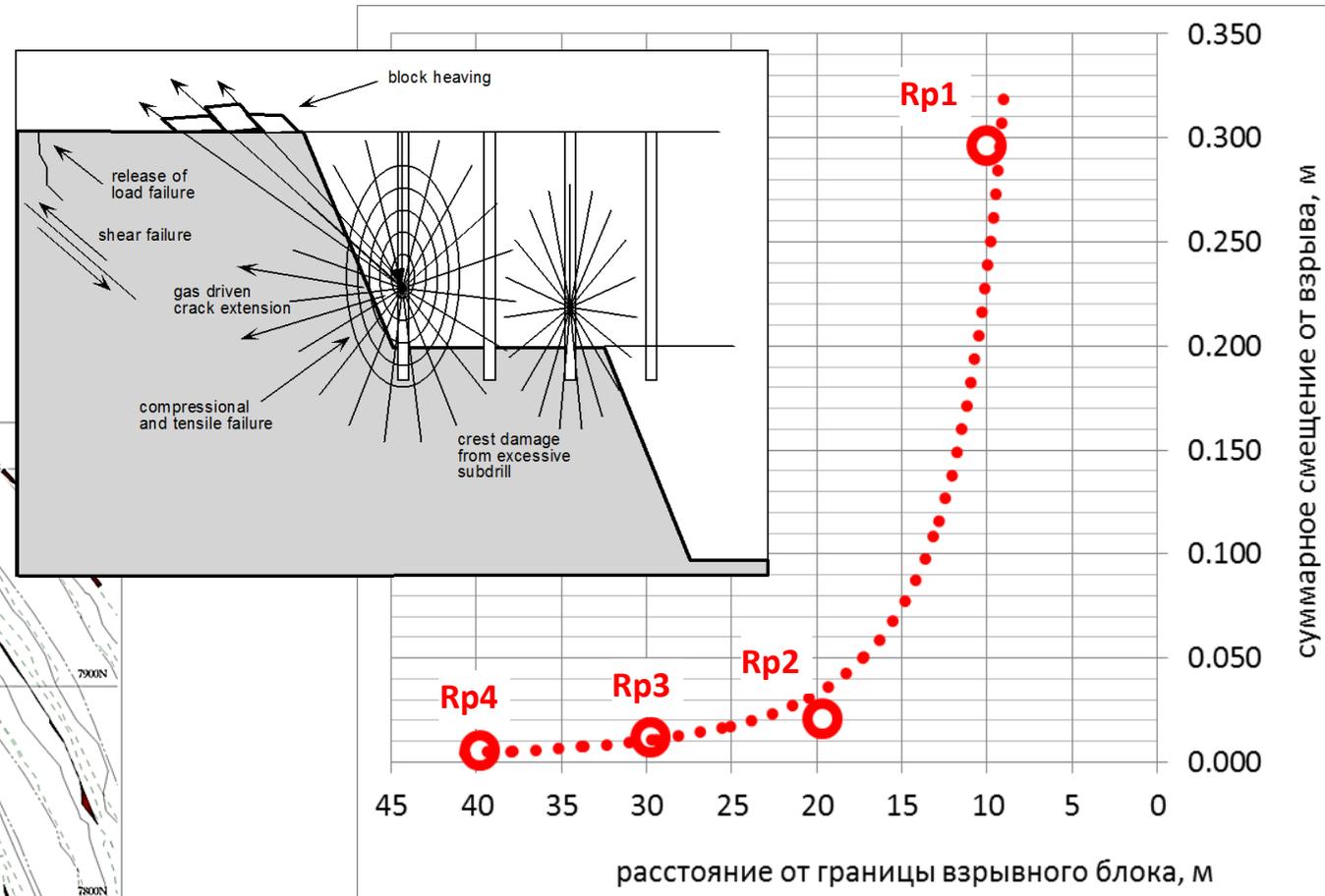
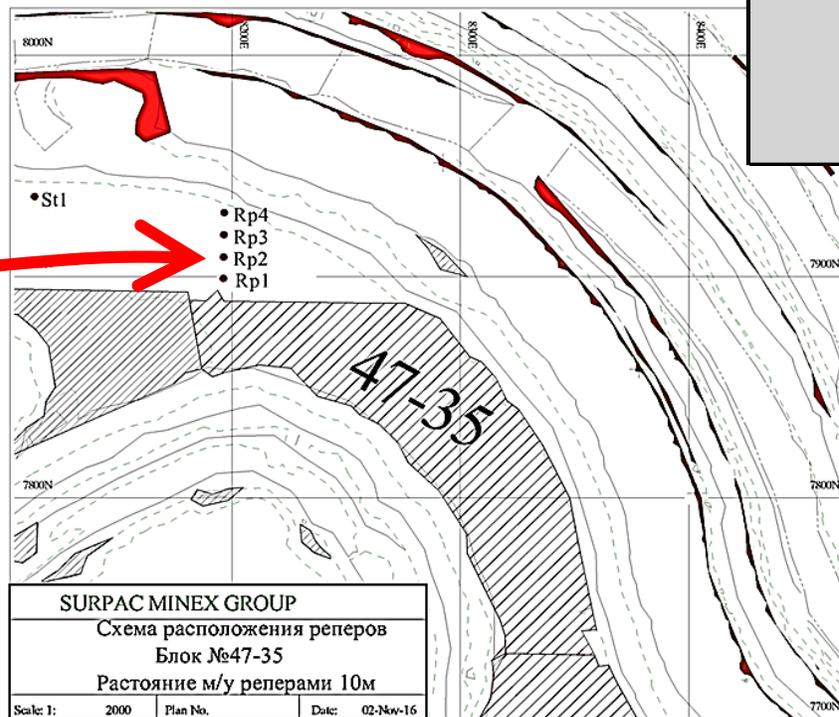


Рекомендовано вести маркшейдерские замеры для определения размеров зоны повреждения массива массовыми взрывами за контуром отбойки для установления ширины приконтурной ленты

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПОВРЕЖДЕНИЕМ МАССИВА ВЗРЫВОМ

Натурные наблюдения при массовом взрыве блока 47-35 на гор.+55 м 01.11.6 г.

Взрывом 72,8 т эмульсионного ВВ Rioflex в 583 скважинах (в т.ч. 46 контурных скважин) с интервалом замедления 42 мсек между рядами отбито 91,5 тыс.м³ горной массы.



По результатам замеров ширина зоны повреждения массива за контуром отбойки составила около 40 м



РИСК ОБРУШЕНИЯ ГРУППЫ УСТУПОВ

Guidelines for open pit slope design. Editors: J. Read, P. Stacey – CSIRO Publishing, 2009:

вероятность обрушения группы уступов по тектоническим разломам должна быть меньше $PoF < 15\div 25\%$.

Данный риск для Васильковского карьера является наиболее существенным из-за недостаточной изученности структуры контурного массива

Управление данным риском осуществляется:

- инженерной доразведкой структуры массива за проектным контуром карьера;*
- пополнением и корректировкой модели тектонических разломов;*
- оценкой свойств трещиноватых массивов с помощью геологического индекса прочности GSI по данным разведочных скважин;*
- контролем порового давления подземных вод в прибортовых массивах;*
- расчетом устойчивости бортов карьеров с учетом тектонических разломов;*
- мониторингом устойчивости бортов*



РИСК ОБРУШЕНИЯ БОРТА В ЦЕЛОМ

Guidelines for open pit slope design. Editors: J. Read, P. Stacey – CSIRO Publishing, 2009:

вероятность обрушения борта в целом должна быть меньше $PoF < 8\div 12\%$.

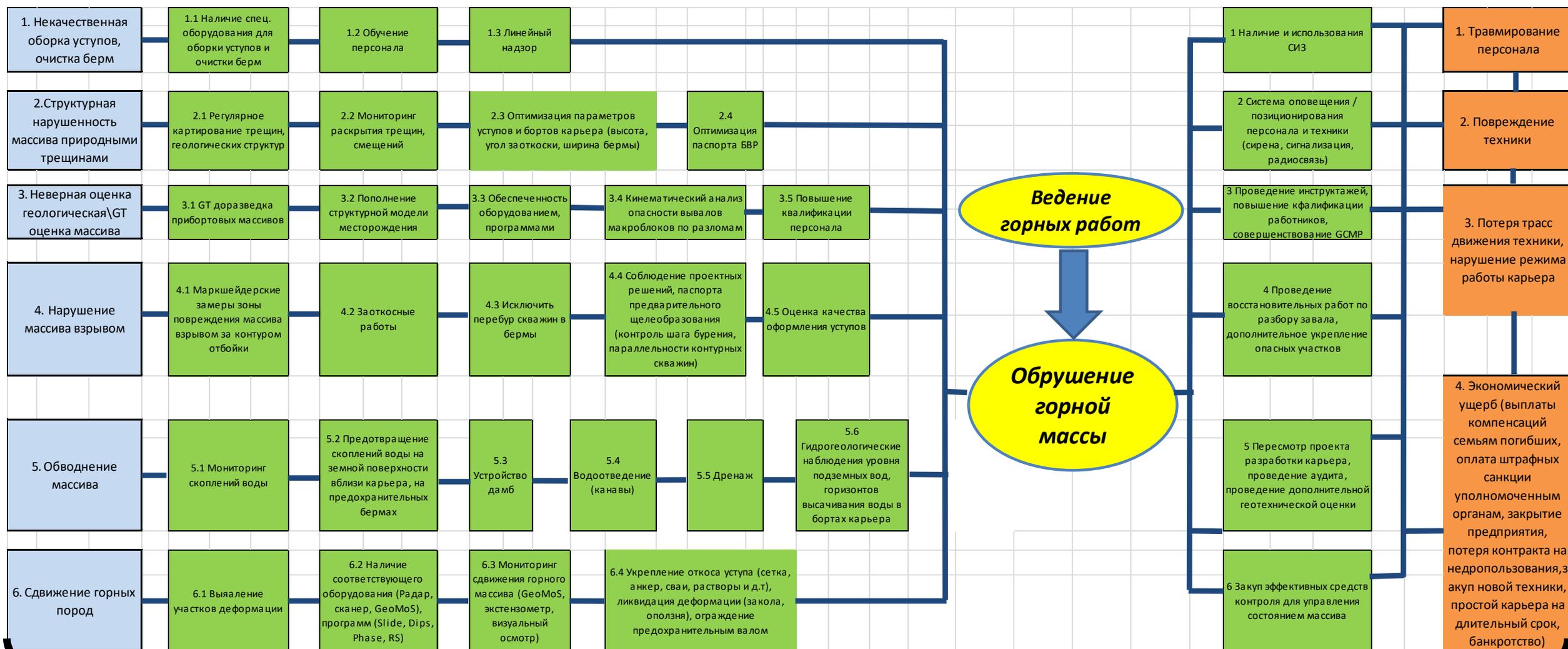
Управление данным риском осуществляется теми же мероприятиями, что и в масштабе группы уступов (см. предыдущий слайд)

Анализом катастрофической опасности падения/обрушения горной массы с откосов карьера определены:

- наиболее вероятные причины ее возникновения в разных масштабах;*
- мероприятия, способные предотвратить или снизить риск падения горной массы;*
- возможные последствия внезапного падения/обрушения горной массы;*
- мероприятия, способные предотвратить или минимизировать нежелательные последствия падения/обрушения горной массы с карьерных откосов;*

Выявленные причины опасности падения/обрушения горной и мероприятия, снижающие данный риск сведены в диаграмму «галстук-бабочка»

Анализ риска обрушения горной массы методом «галстук-бабочка» (bowtie analysis)



GСMP



TARP

***3. Оценка эффективности
существующей системы
мониторинга устойчивости
откосов Васильковского
карьера***

На Васильковском карьере мониторинг устойчивости ведется с помощью:

- *визуальных обследований состояния уступов и берм с целью обнаружения и признаков разрушения и деформаций откосов. Плановые инспекции бортов карьера проводятся 2 раза в месяц. Внеплановые инспекции проводятся по мере необходимости: при обнаружении каких-либо опасных зон, участков;*
- *контроля развития трещин с помощью простейших проволочных экстензометров;*
- *автоматического призмного мониторинга системой GeoMos (робот-тахеометр, группировка из 40 отражательных призм на контролируемых участках бортов карьера и программное обеспечение).*

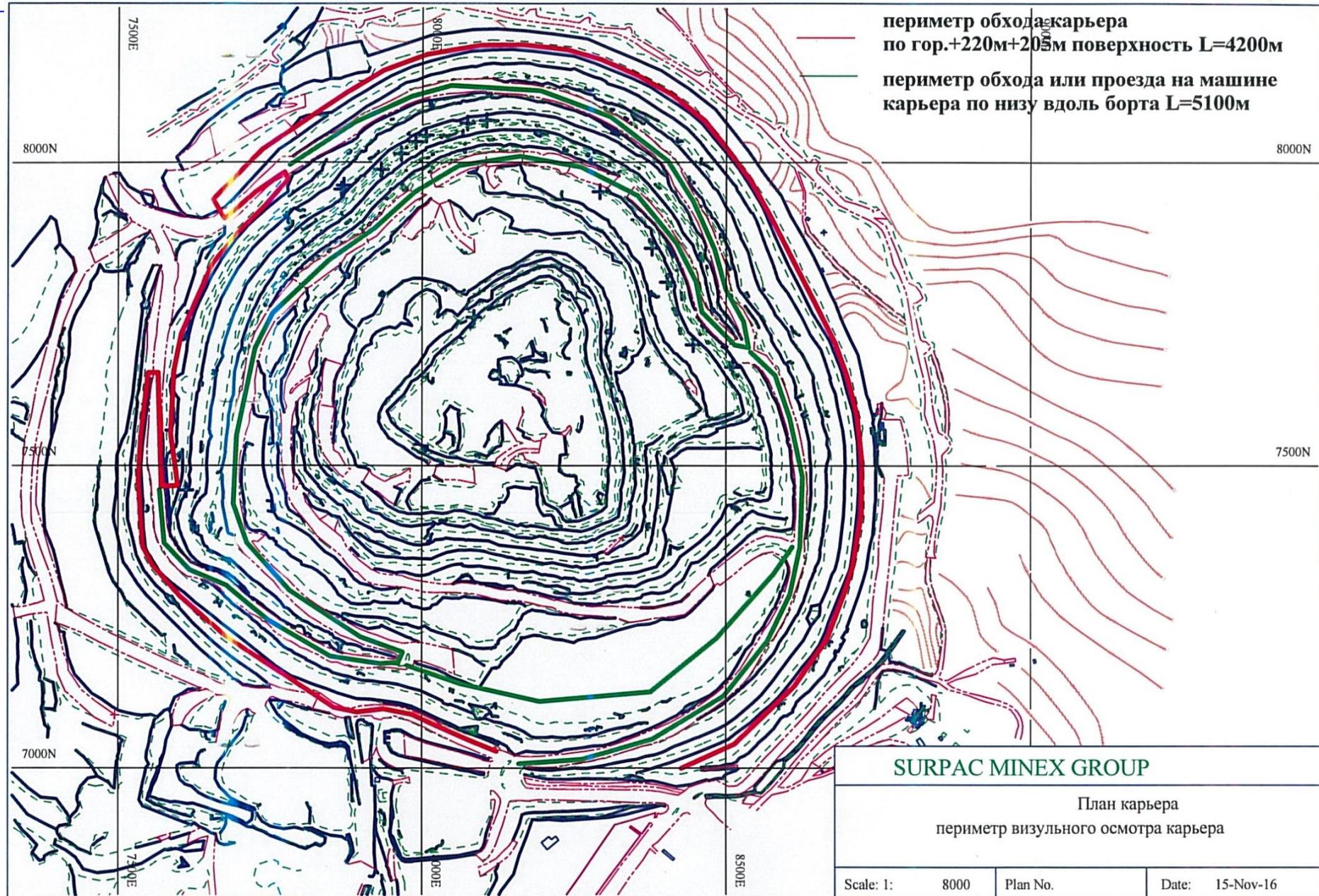
Потенциалом обнаружения опасных участков обладают только визуальные обследования. Ими можно обнаружить только явные признаки неустойчивости типа вывалов или появления и раскрытия крупных трещин на уступах и бермах.

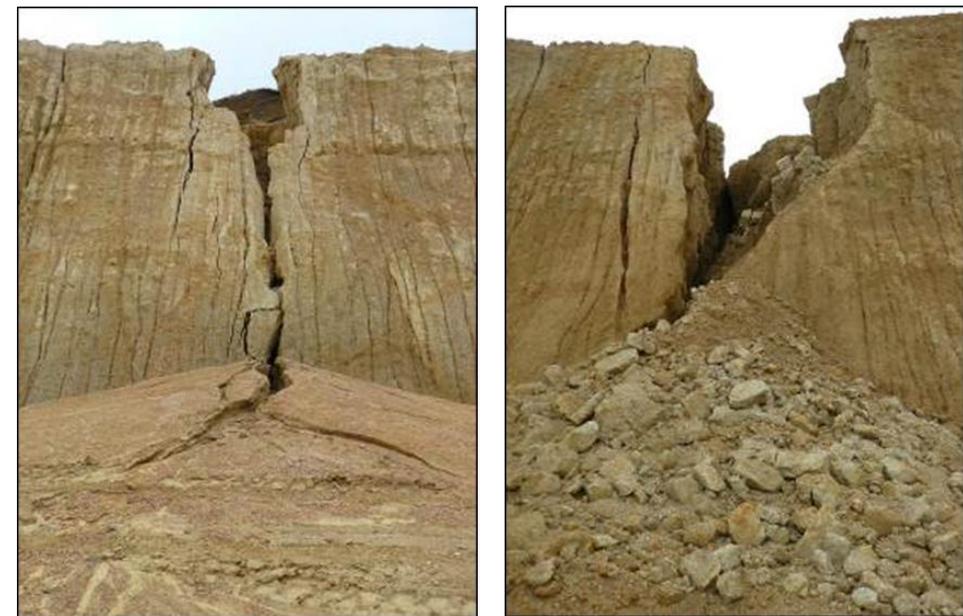
Поэтому существующая система мониторинга устойчивости откосов Васильковского карьера не обладает способностью заблаговременного обнаружения опасных участков, на которых деформации находятся в начальной стадии развития.



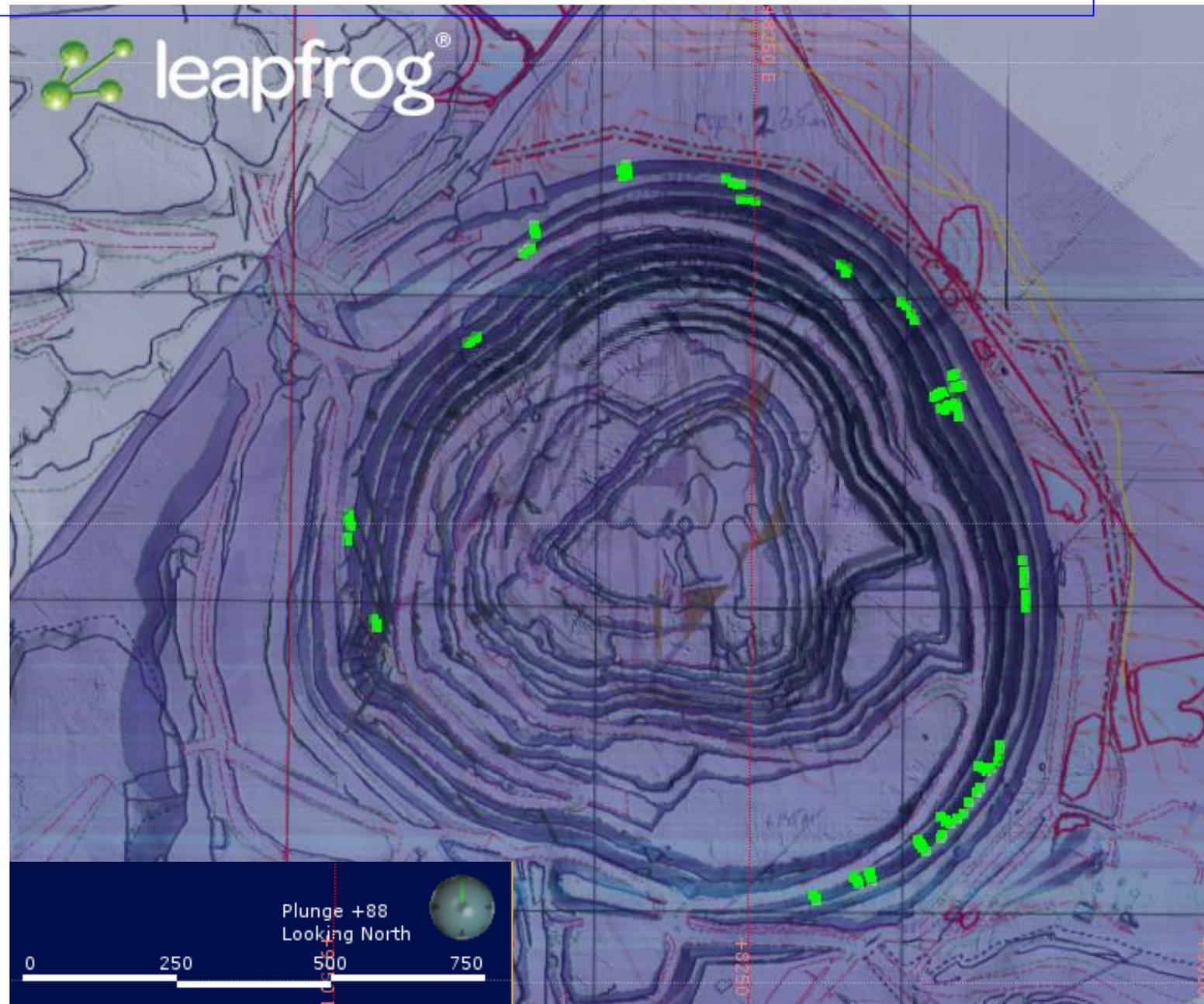
МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

*Маршруты
визуальных
обследований
состояния
уступов и берм*





Места локальных деформаций уступов типа промоин (желтым цветом) в выветрелых рыхлых породах, выявленные визуальными обследованиями





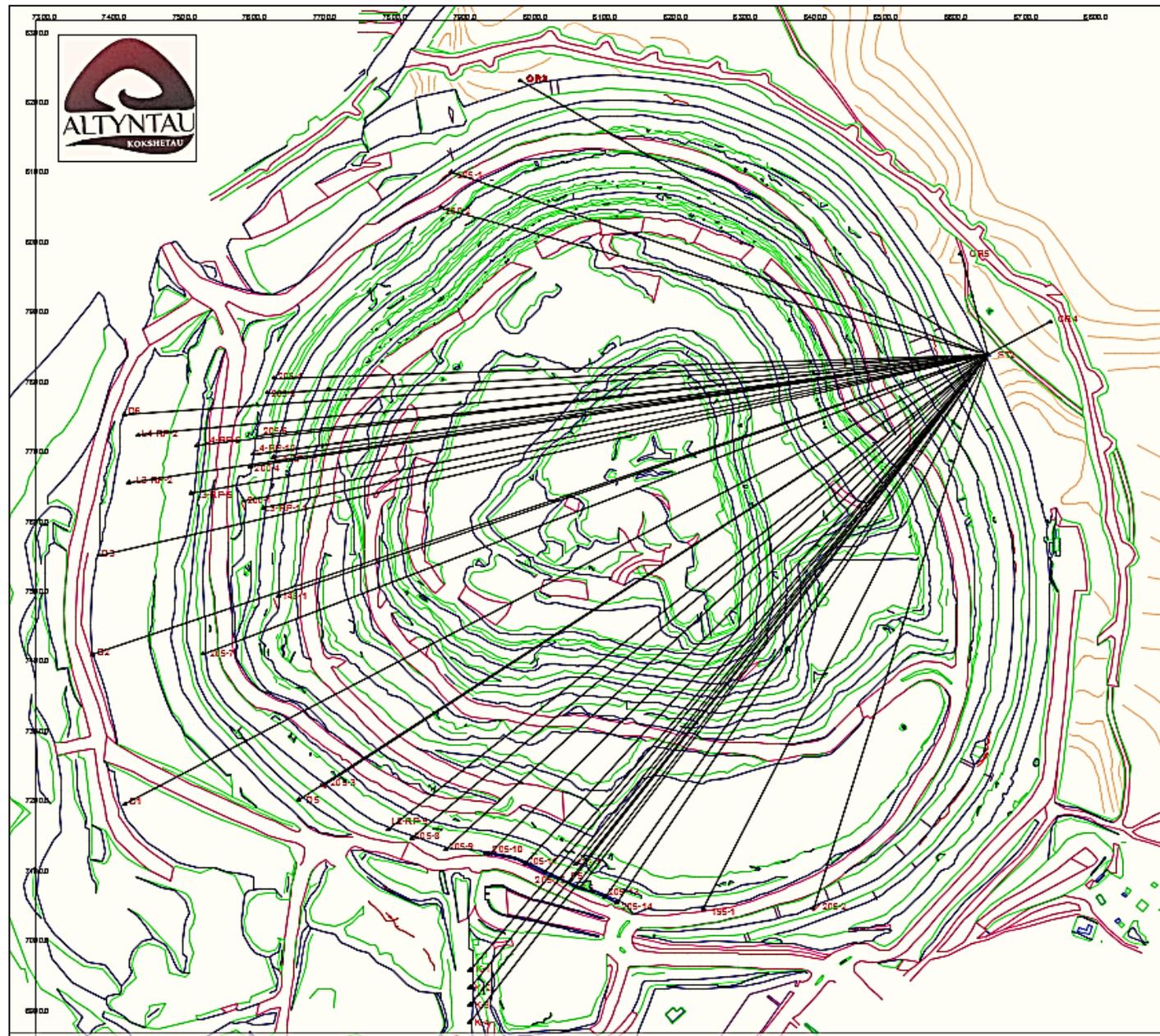
МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Места установки отражательных призм системы GeoMos

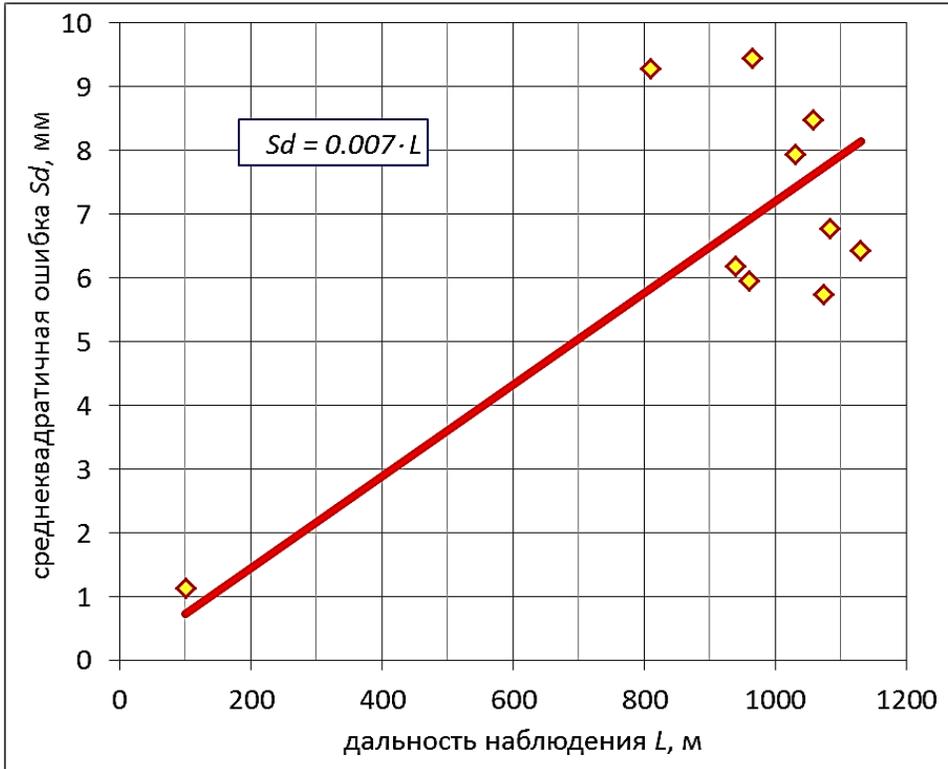
*Площадь точечного покрытия карьерных откосов мониторингом GeoMos:
~ 400 тыс. м²*

Система GeoMos покрывает мониторингом только 30% от общей поверхности бортов Васильковского карьера со средней плотностью 1 призма на 10 тыс.м² карьерных откосов.

Этого недостаточно для обеспечения безопасности горных работ на Васильковском карьере.



Погрешности измерений системы GeoMos



При дальности наблюдений $L = 800 \div 1100$ м среднеквадратичные ошибки определения координат мониторинговых точек составляют $Sd = 6 \div 10$ мм. По оценке КарГТУ точность измерений системой GeoMos ± 10 мм.

В крепких скальных породах смещения карьерных откосов до обрушения могут не превышать $10 \div 20$ мм, т.е. находиться в пределах точности работы GeoMos.

Система GeoMos пригодна для мониторинга смещений бортов карьера в рыхлых выветрелых породах, но ее технических возможностей недостаточно для контроля устойчивости бортов в крепких скальных породах. Их мониторинг должен осуществляться на основе иных физических принципов

Основные задачи системы мониторинга:

- *обеспечение безопасных условий работы для персонала и оборудования;*
- *заблаговременное предупреждение о наличии потенциально неустойчивых зон для возможности изменения плана горных работ с целью минимизации влияния смещения пород в откосе;*
- *предоставление геомеханической информации для анализа механизмов развивающихся нарушений устойчивости, разработки планов корректирующих мер и проектирования последующих бортов;*
- *оценка устойчивости реализованной конструкции борта.*

МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Рекомендуемые методы мониторинга в зависимости от масштаба возможных обрушений

**Guidelines for open pit slope design. Editors:
J. Read, P. Stacey – CSIRO Publishing, 2009**

Размер неустойчивого блока, м ³	Скорость разрушения	Последствия	Метод обнаружения	Обычный метод реагирования
1÷10	Средняя	Камнепад - безопасность	Визуально	Обезопасивание, перехват на берме безопасности
10÷1000	Быстрая — стремительная	Безопасность	Визуально Радарный мониторинг	Перехват на берме безопасности
1000÷100 000	Медленная — быстрая	Эксплуатационные показатели	Визуально Призменный мониторинг Радарный мониторинг Сейсмический мониторинг	Крепление, восстановление Изменение проектного контура откоса
100 000÷1 000 000	Медленная — средняя	Эксплуатационные и финансовые показатели	Призменный мониторинг Радарный мониторинг Рефлектометр/ инклинометр Сейсмический мониторинг	Крепление, восстановление Изменение проектного контура откоса Повторная вскрыша
больше 1 000 000	Медленная — средняя	Форс-мажор	Съемка Рефлектометр / инклинометр Сейсмический мониторинг Радарный мониторинг	Модификация откоса (перепроектирование) Закрытие рудника(>10 м ³) Восстановление

Радары для мониторинга устойчивости бортов:

IBIS компании IDC GeoRadar (Италия); более 170 радаров на 80 карьерах по всему миру



*Радар IBIS установлен
- с 2015 г. на карьере Железный
Ковдорского ГОКа (Еврохим).
- Закуплен, но еще не установлен
на карьере Восточный (Полюс)*

*SSR (Slope Stability Radar) компании
GroudProbe (Австралия); более 100
радаров по всему миру*



В РФ пока не представлен

*MSR (Movement Slope Radar)
компании Reutech Mining (ЮАР);
более 130 радаров по всему миру*

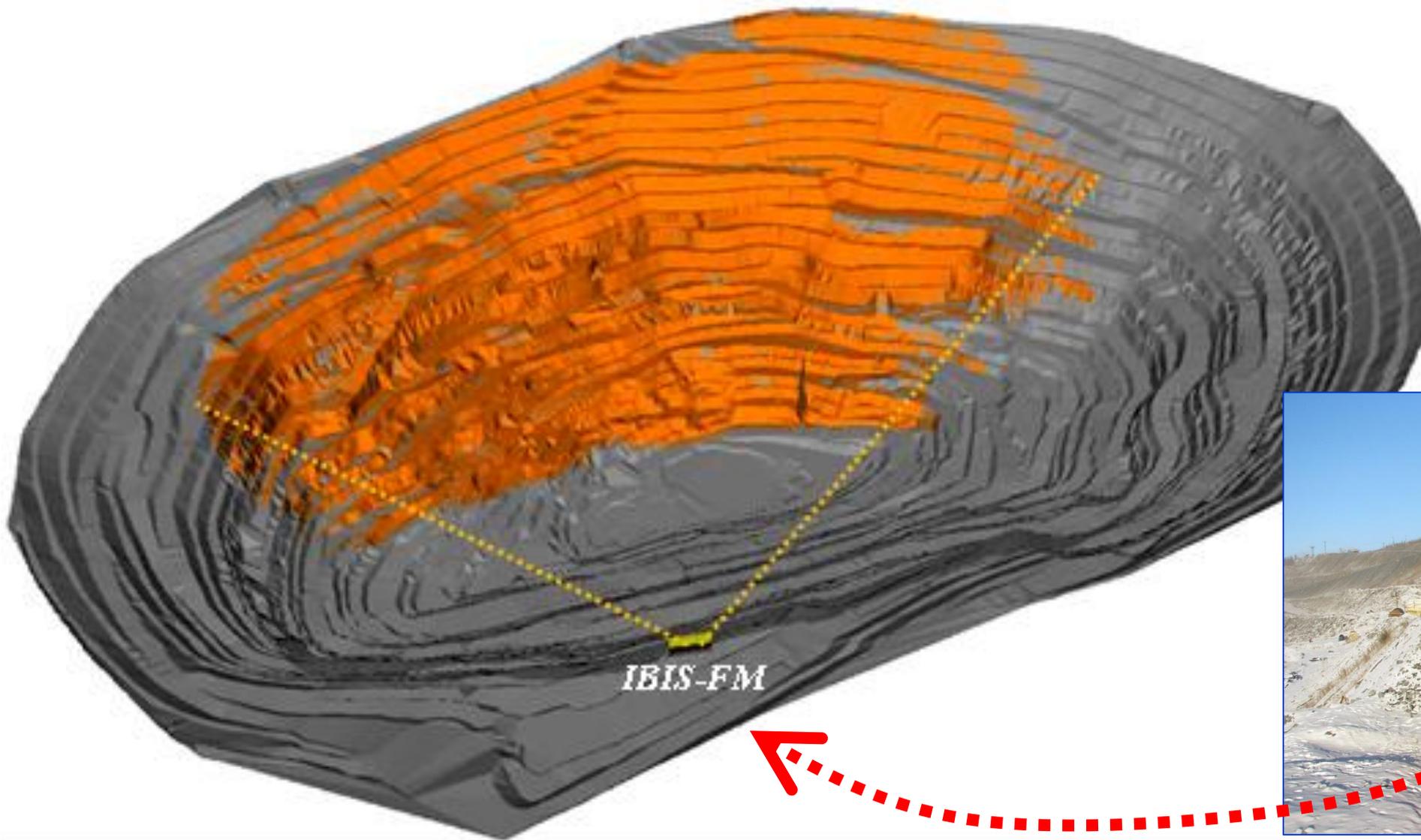


*Радары MSR-300 установлены с
2016 г. на карьерах:
- Березитовый (Нордголд)
- Восточный (Полюс)
- Черниговец (СДС Уголь)*



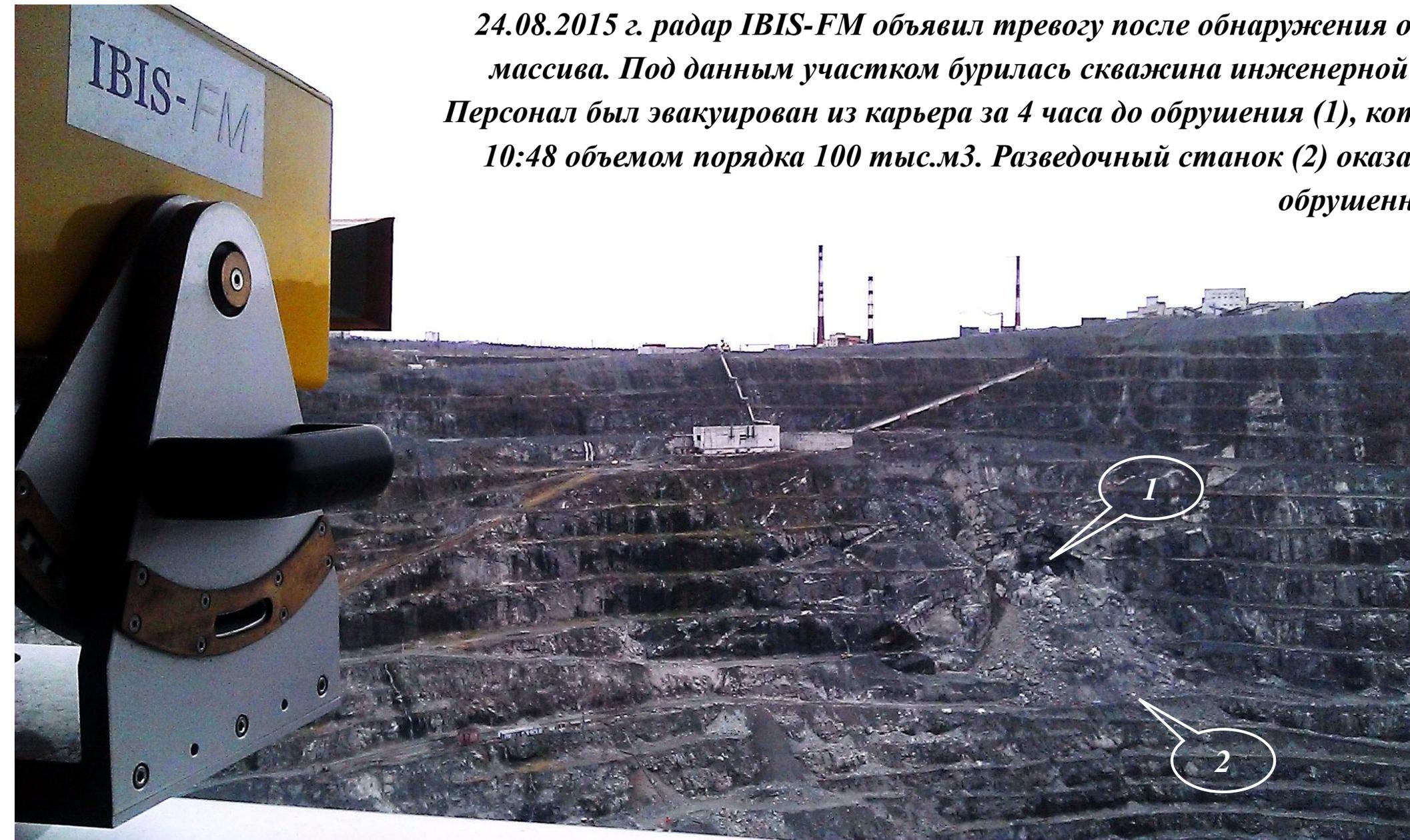
МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Зона покрытия радаром IBIS-FM восточного борта карьера Железный (по простиранию - более 1500 м, по высоте – более 100 м). Расстояние до контролируемого борта – больше 1 км.

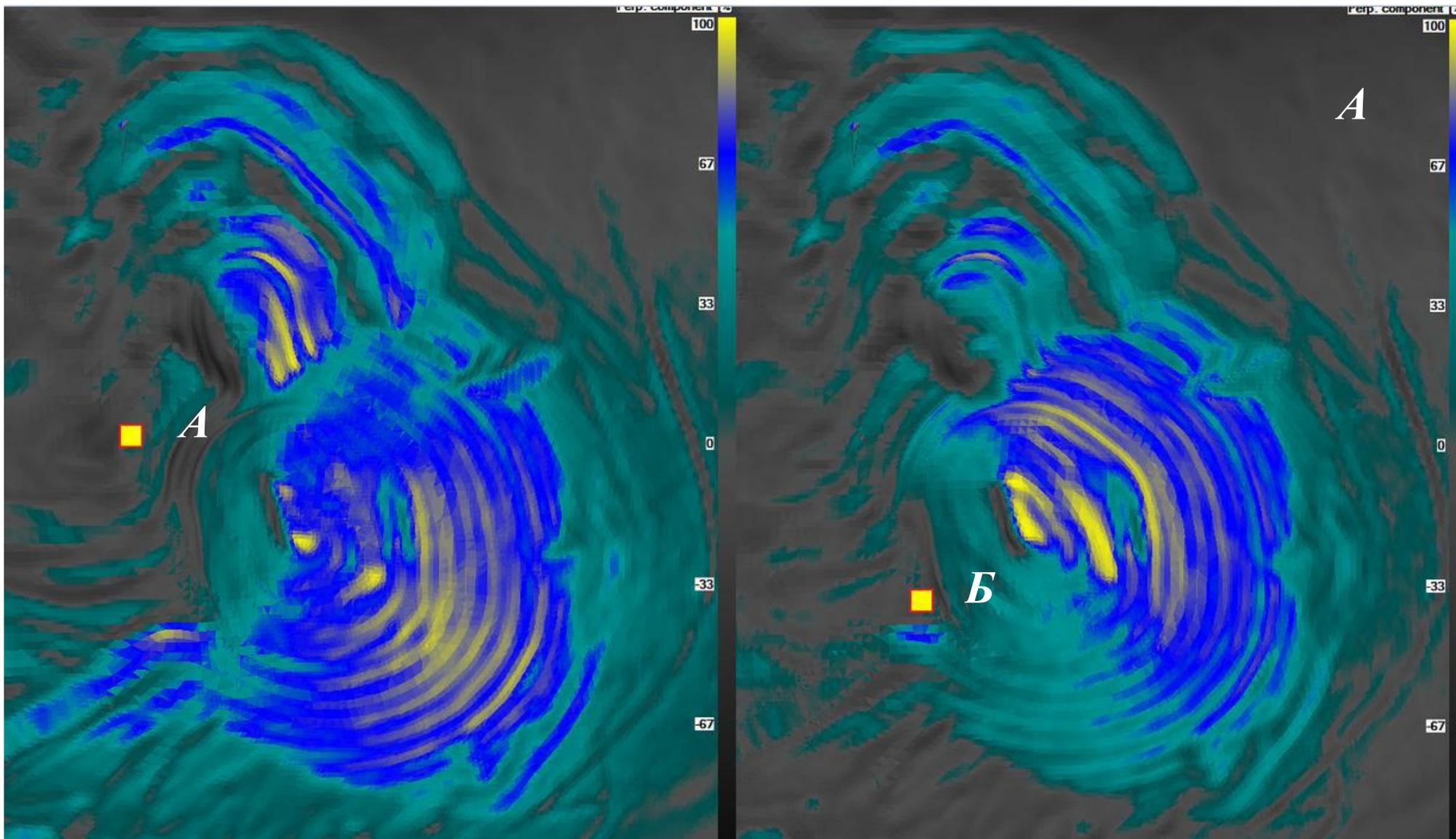


МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

24.08.2015 г. радар IBIS-FM объявил тревогу после обнаружения опасных смещений массива. Под данным участком бурилась скважина инженерной разведки массива. Персонал был эвакуирован из карьера за 4 часа до обрушения (1), которое произошло в 10:48 объемом порядка 100 тыс.м³. Разведочный станок (2) оказался присыпанным обрушенной горной массой.



Выбор места установки радара MSR-300 на карьере Березитовый



МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

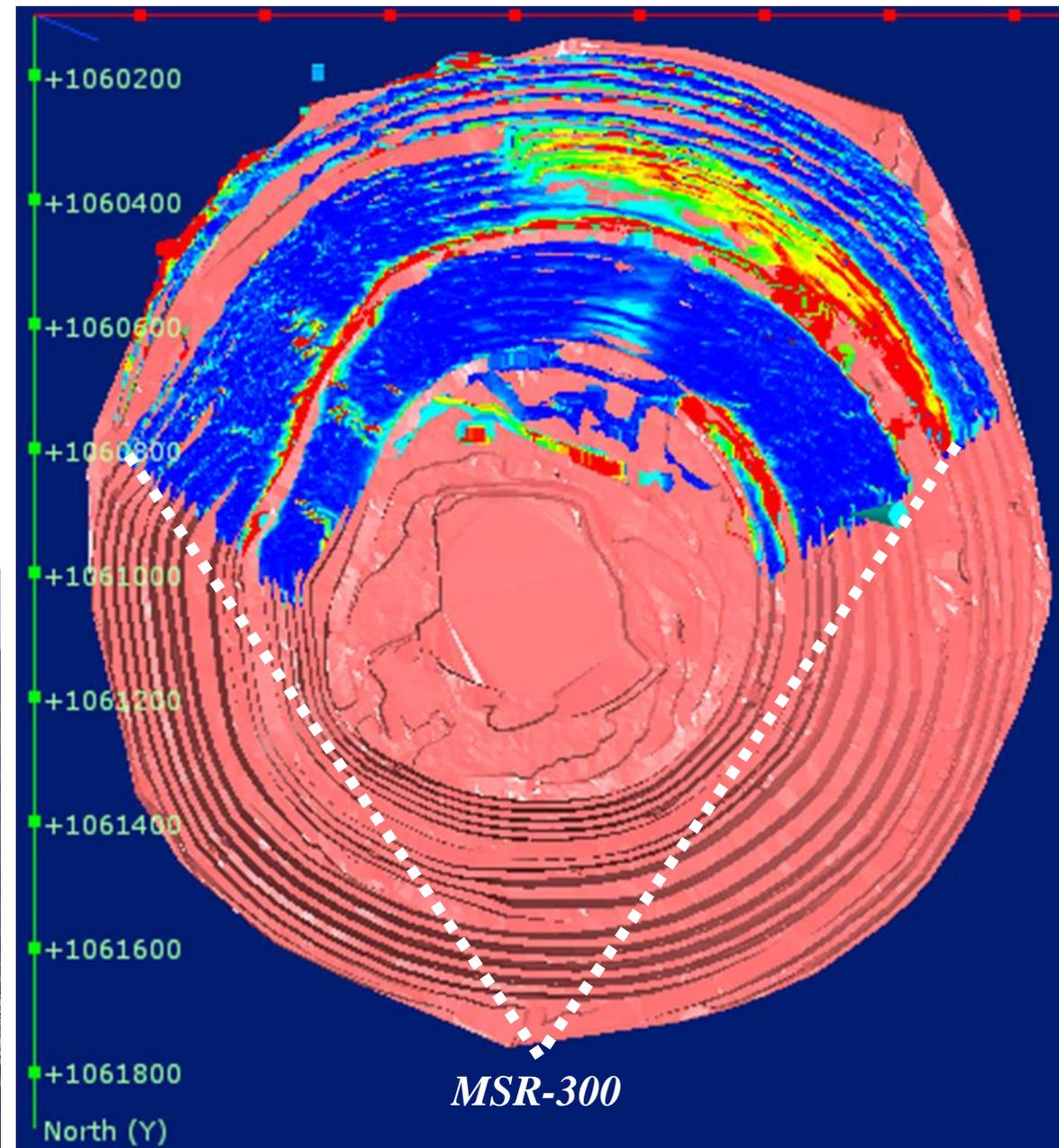
*Радар MSR-300
на карьере Березитовый*





МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

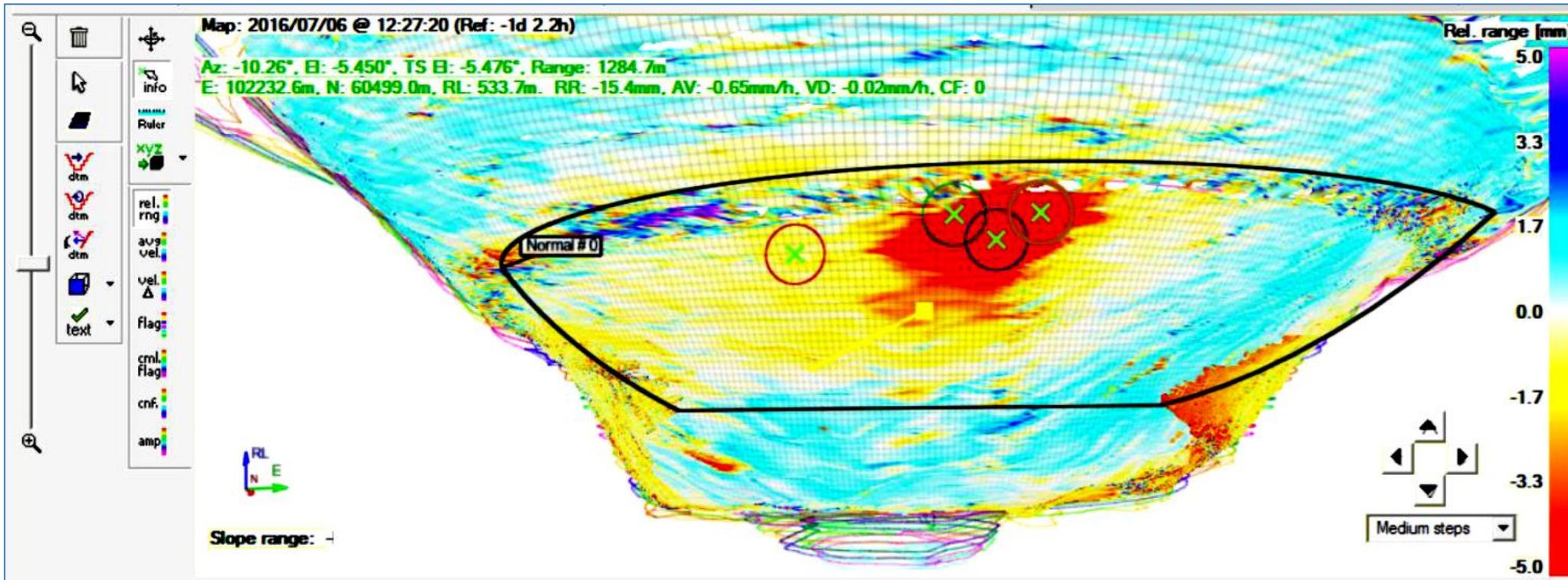
*Зона покрытия радаром MRS-300
южного борта карьера Восточный*



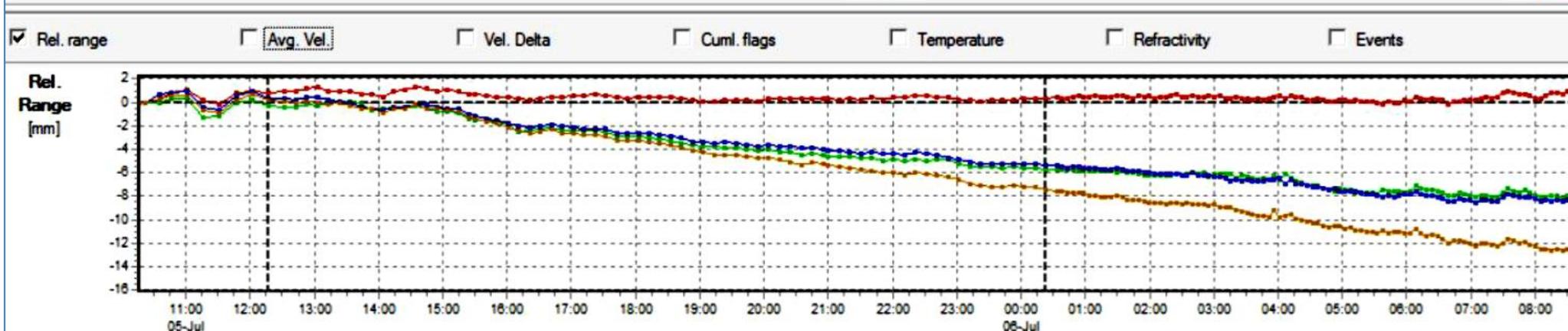


МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Развитие смещений южного борта карьера Восточный по данным радара MRS-300



Картина смещений (мм) на 12:27:20 06.07.2016 г.



МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Развитие обрушения # 182 южного борта карьера Восточный 18.07.2016 г. в 18:00



Кадр видеозаписи с камеры
горного диспетчера

Скорость смещений (мм/час) по данным MSR-300 (16÷19).07.2016 г.



МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Мониторинг устойчивости откоса радаром MSR рабочей зоны карьера

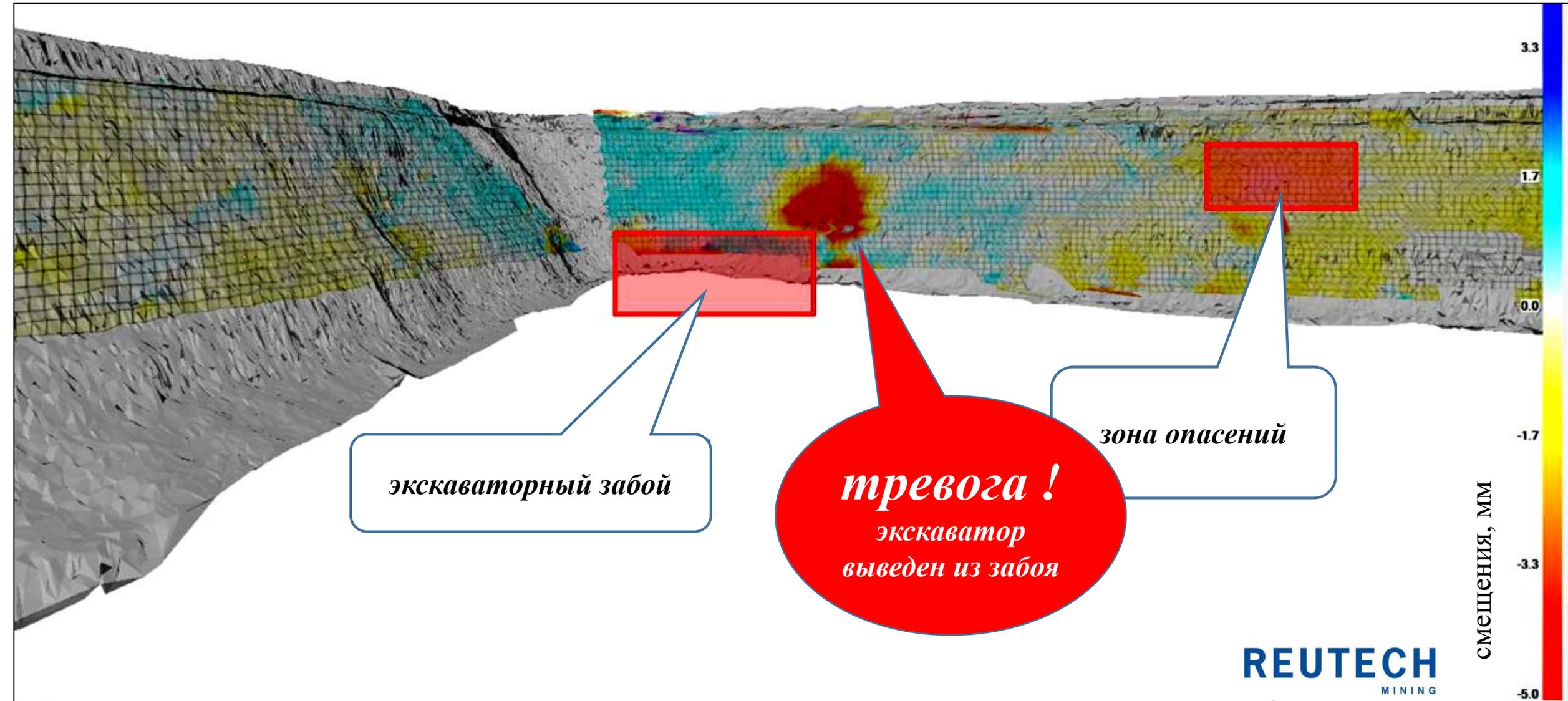


*экскаваторный
забой*

*зона
опасений*

МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Мониторинг устойчивости откоса радаром MSR рабочей зоны карьера



МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Мониторинг устойчивости откоса радаром MSR рабочей зоны карьера



обрушение

*экскаватор был
заблаговременно
выведен из забоя*



МОНИТОРИНГ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ

Доктор Alan Yue из University of Queensland, Australia проанализировал данные о 200 обрушениях бортов карьеров, которые контролировались разными инструментами мониторинга. В этом анализе успех мониторинга определялся предсказанием разрушения склона с достаточным временем для предупреждения. В итоге получена оценка эффективности каждой системы наблюдений:

Состав системы мониторинга	Эффективность
Визуальный контроль	32%
Призменный мониторинг	45%
Визуальный + призменный	63%
Визуальный + призменный + лазерный мониторинг	86%
Радарный мониторинг	93%
Визуальный + призменный + радарный мониторинг	98%
Визуальный + призменный + лазерный + радарный	99%

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Выводы и рекомендации из 31 пункта приведены в отчете «Аудит геомеханического обеспечения безопасности горных работ и мониторинга устойчивости откосов Васильковского карьера» от 14.11.16 г.

Спасибо за внимание.

Успехов ! Удачи !