Оценка рисков развития деформаций нарушения устойчивости

Методические основы и порядок оценки геомеханических рисков

Необходимость оценки геомеханических рисков обусловлена пространственной изменчивостью свойств массива горных пород, неполнотой его изучения и изменением условий устойчивости по мере развития горных работ. Оценка должна обеспечивать выявление возможных нарушений устойчивости, определение вероятности их реализации и тяжести последствий, выделение участков повышенного риска и выбор мер по его снижению.

Оценку геомеханических рисков следует выполнять в соответствии с требованиями ФНиП №439 и положениями «Методических указаний по оценке рисков…» [4, 9]. Под опасным событием понимается возможная деформация или обрушение уступа, группы уступов либо борта. Инженерно-геологические, гидрогеологические, природные и техногенные условия следует рассматривать как факторы, влияющие на вероятность такого события. Риск необходимо определять для конкретного участка с учётом возможных последствий.

В соответствии с приложением № 9 к ФНиП геомеханический риск определяется сочетанием вероятности обрушения и тяжести его последствий:

$$R = \text{ВО} \cdot \text{ТП}$$

где “ВО” – вероятность обрушения, “ТП” – тяжесть последствий [4]. При качественно-количественной оценке вероятность опасного события устанавливается по фактическим данным, экспертным признакам и результатам инженерных расчётов, а тяжесть последствий оценивается качественно по возможному воздействию на персонал, технологический процесс, оборудование, транспортные съезды и внутрикарьерную инфраструктуру.

Наблюдаемые признаки и расчётные предпосылки следует учитывать раздельно. Результаты кинематического анализа и расчётов устойчивости могут использоваться для обоснования вероятности опасного события, но сами по себе не подтверждают развитие деформации и не определяют уровень риска без оценки возможных последствий.

Оценку следует выполнять в следующей последовательности:

- идентификация возможных опасных событий и влияющих на них факторов;
- пространственная локализация опасностей на уступах, группах уступов и бортах;
- оценка вероятности опасного события и тяжести его последствий;
- определение уровня риска по матрице;
- составление карты и реестра рисков и выбор мер управления.

Для фактического контура опасные события и влияющие на них факторы следует идентифицировать и локализовать по результатам мониторинга, картирования, анализа геомеханической модели и расчётов устойчивости. Для проектного контура необходимо использовать проектную геометрию и соответствующие ей результаты расчётов. Перенос выявленных на фактическом контуре геологических и структурных факторов допускается при обосновании их пространственного положения в проектном контуре. Наблюдаемые деформации нельзя переносить на проектный контур как установленные, их можно использовать только для обоснования возможных механизмов и сценариев нарушения устойчивости при сопоставимых условиях.

Уровень риска определяется по матрице, объединяющей категорию вероятности опасного события и категорию тяжести его последствий. При наличии результатов вероятностного расчёта категорию вероятности следует принимать по количественным интервалам матрицы. В остальных случаях её необходимо устанавливать качественно с учётом фактов проявления события на рассматриваемом участке и на участках с сопоставимыми инженерно-геологическими условиями. Для оценки применяются матрица и шкалы, приведённые в Методических указаниях [9]. Матрица приведена на [ref].

Матрица рисков			**Последствия**				
			Незначительные	Низкие	Средние	Высокие	Чрезвычайные
Вероятность риска			1	2	3	4	5
Качественная		Количественная					
A	Очень высокая	>40%	Средний	Высокий	Высокий	Очень высокий	Очень высокий
B	Высокая	20÷40%	Низкий	Средний	Высокий	Высокий	Очень высокий
C	Средняя	10÷20%	Низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
D	Низкая	1÷10%	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
E	Очень низкая	<1%	Очень низкий	Низкий	Средний	Средний	Высокий

Figure 1: Матрица качественной оценки геомеханических рисков

Шкала качественной оценки вероятности опасного события приведена в [ref].

Категория	Качественная оценка	Характеристика событий
A	Весьма высокая	Событие происходило часто. Событие ожидаемо с высокой степенью вероятности в ближайшее время.
B	Высокая	Событие происходило неоднократно. Произойдёт с высокой степенью определённости.
C	Средняя	Событие происходило ранее и может произойти в будущем.
D	Низкая	Событие может произойти при маловероятном стечении обстоятельств.
E	Очень низкая	Событие может произойти только при непрогнозируемом стечении форс-мажорных обстоятельств.

Table 1: Качественная оценка вероятности неблагоприятного события

Тяжесть последствий следует оценивать по возможному воздействию на персонал, технологический процесс, оборудование, транспортные съезды и внутрикарьерную инфраструктуру. Качественные категории тяжести последствий приведены в [ref].

Таблица 4.2 – Оценка тяжести последствий обрушений бортов и уступов карьера разрезов и откосов отвалов [9]

Незначительные	Низкие	Средние	Высокие	Чрезвычайные
● Обрушение на отдельном участке вне зоны ведения горных работ, не влияющее на технологический процесс	● Ликвидация обрушения требует несколько дней и не влияет на технологический процесс ● Обрушение откосов с коротким периодом эксплуатации ● Обрушения не оказывают влияние на внутрикарьерную инфраструктуру ● Повреждения оборудования отсутствуют	● Краткосрочная ликвидация обрушения ● Простои основного технологического оборудования ● Повреждение оборудования и инфраструктуры, требующие ремонта ● Восстановление съезда или ремонт путей откатки	● Потеря подготовленных к выемке запасов ● Среднесрочная ликвидация последствий обрушения ● Повреждение и длительные простои основного технологического оборудования и/или инфраструктуры, требующие капитального ремонта ● Потеря основного технологического оборудования и/или инфраструктуры ● Потеря транспортного съезда (при наличии резервного)	● Угроза жизни и здоровью людей ● Потеря транспортного съезда (при отсутствии резервного) ● Нарушение технологического цикла, требующее реконструкции

caption: [Оценка тяжести последствий обрушений бортов и уступов карьера, разрезов и откосов отвалов [9]],)

Факторы, влияющие на устойчивость откосов участка «Центральный-1»

Диагональный разлом и брекчии на глинистом цементе

Диагональный разлом является основным фактором, снижающим устойчивость откосов участка «Центральный-1». Он представляет собой протяжённую зону раздробленных и трещиноватых пород. В пределах этой зоны распространены брекчии, в которых обломки пород связаны глинистым или кварцевым цементом. На отдельных участках брекчии сменяются зонами дробления и интенсивной трещиноватости. Состав, мощность и степень нарушенности пород изменяются по простиранию, поэтому прочность массива в зоне разлома распределена неравномерно [13].

Наиболее выражено влияние Диагонального разлома на восточном борту. Выходы брекчий на глинистом цементе наблюдаются преимущественно в северной и южной частях борта, где зона разлома пересекает закругления карьерного контура и охватывает группы смежных уступов. Значительная часть приповерхностного объёма брекчий уже сработана. При этом на закруглениях сохраняются участки, в пределах которых несколько уступов сложены брекчиями либо непосредственно примыкают к ним. Основная часть восточного борта также расположена вблизи плоскости разлома, вследствие чего область его влияния не ограничивается отдельными видимыми выходами брекчий.

В границах распространения брекчий на восточном борту возрастает частота небольших осыпей и локальных деформаций уступов. Пространственное совпадение этих проявлений с выходами слабых пород позволяет связать снижение локальной устойчивости с зоной Диагонального разлома. Вместе с тем отдельные осыпи нельзя объяснять только присутствием брекчий, поскольку на состояние откосов одновременно влияют трещиноватость, выветривание, обводнение и нарушение приконтурного массива при буровзрывных работах. Распределение наблюдаемых деформаций, осыпей и водопроявлений показано на [ref].

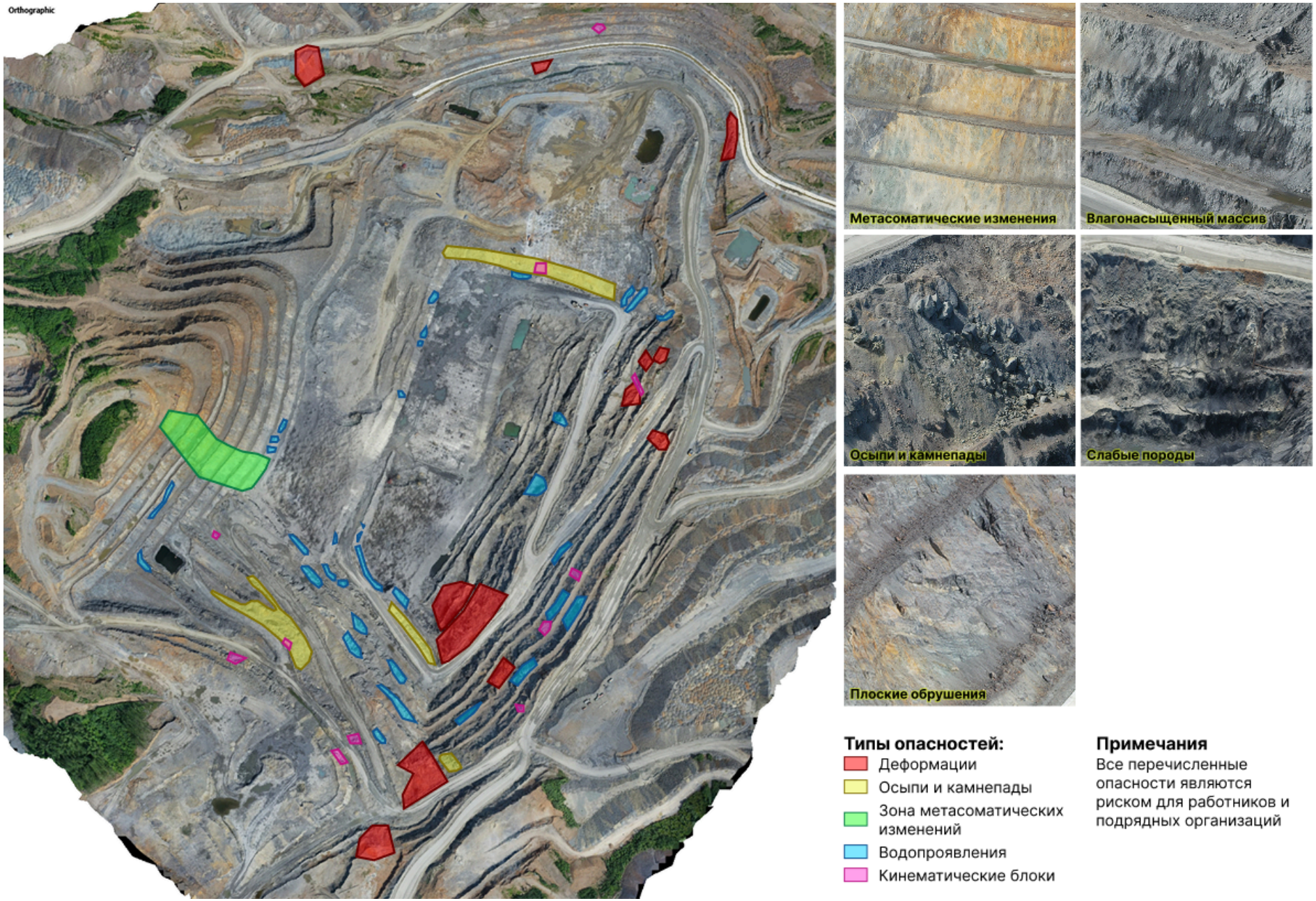


Рис. 2. Рабочая карта идентифицированных геомеханических опасностей на эксплуатируемом карьере

Внутри разломной зоны чередуются брекчии с различным типом цемента. Брекчия на кварцевом цементе (BRQ) значительно прочнее брекчии на глинистом цементе (BRC): средняя прочность образцов на одноосное сжатие при естественной влажности составляет соответственно 43.96 и 5.39 МПа, в водонасыщенном состоянии – 22.29 и 1.88 МПа. Обе разновидности относятся к размягчаемым породам, однако после водонасыщения BRC сохраняет крайне низкую прочность. Поэтому наиболее неблагоприятны участки, где в зоне разлома преобладает глинистый цемент и одновременно происходит увлажнение пород.

Для BRC характерен значительный разброс механических показателей, связанный с изменчивым содержанием глинистого цемента и различной степенью цементации обломков. Эти результаты характеризуют материал брекчии, тогда как устойчивость массива дополнительно зависит от мощности и выдержанности её выходов, обводнения и положения относительно откоса [1].

Неблагоприятное влияние брекчий усиливается при увлажнении. На восточном борту в пределах и вблизи зоны Диагонального разлома ([ref], [ref]) отмечаются участки намокания и локальные водопроявления. В северной части борта водоток Маломыр отведён от карьерной выемки по водоотводному сооружению. Поэтому при оценке состояния откосов необходимо учитывать не только атмосферную инфильтрацию и фильтрацию по трещиноватым породам, но и возможное поступление воды из элементов поверхностного водоотведения.



Рис. 3. Влияние Диагонального разлома на южной части восточного борта



Рис. 4. Влияние Диагонального разлома на северной части восточного борта

Влияние Диагонального разлома не ограничивается восточным бортом. При подходе западного борта к проектному контуру зона разлома располагается в нижней части расчётного откоса и пересекается потенциальными поверхностями скольжения. Именно на нижнем участке поверхности скольжения формируется значительная часть удерживающих сил. Поэтому низкое сопротивление сдвигу брекчий на глинистом цементе непосредственно ограничивает расчётную устойчивость борта. При водонасыщении прочность глинистого цемента дополнительно снижается, что усиливает влияние разломной зоны.

Такой механизм прослеживается на проектном разрезе 6-6 западного борта. Найденная поверхность скольжения включает ослабленную разломную зону вблизи подошвы. Для неё получены КЗУ = 1.081 по методике ВНИМИ и 1.086 по критерию Хука–Брауна, что ниже принятого критерия 1.30. Результат относится к проектной расчётной схеме и не означает, что соответствующая деформация уже развивается на фактическом контуре.

Трещиноватость, сланцеватость и локальные разрывные нарушения

В скальных породах участка «Центральный-1» трещины и сланцеватость ограничивают кинематически обусловленные блоки. Одна протяжённая поверхность, падающая в сторону выработки, может формировать плоское скольжение. Пересечение двух систем создаёт клиновидный блок. Крутопадающие в массив трещины могут приводить к опрокидыванию.

Параметры залегания трещин отличаются высокой изменчивостью. На участке выделено девять структурных доменов с разными наборами систем. Внутри отдельных систем разброс составляет 10–53° по углу падения и 10–78° по азимуту падения [13]. Поэтому система трещин не может быть представлена одной расчётной плоскостью. На одном участке часть возможных положений трещин формирует выход блока в откос, а другая часть не создаёт такой геометрии.

Высокая изменчивость трещиноватости обусловлена строением месторождения. Массив сформирован несколькими этапами складчатых и разрывных деформаций. Локальная складчатость изменяет положение сланцеватости, а оперяющие нарушения Диагонального разлома и зоны его сочленения с Центральным и Северным разломами накладывают друг на друга трещины разных направлений. Поэтому наборы систем и их разброс меняются между структурными блоками. На вскрытых горизонтах систематическое изменение направлений трещин с глубиной не установлено. Для проектного контура изменчивость учитывается по структурным доменам [13].

Основной риск связан с неблагоприятным положением и взаимным пересечением протяжённых трещин. Он возрастает в зонах локальных разрывных нарушений, при раскрытии и выветривании трещин, поступлении по ним воды и нарушении приконтурного массива буровзрывными работами. Влияние этих факторов рассматривается совместно при оценке конкретных участков фактического и проектного контуров.

Гидрогеологические факторы

На участке «Центральный-1» на устойчивость откосов влияют инфильтрация атмосферных осадков, поверхностный сток, выходы подземных вод из массива и поступление воды из элементов карьерного водоотлива. Водопроявления распределены неравномерно и приурочены к трещиноватым и тектонически нарушенным зонам, слабым породам, транспортным бермам и водоотводным сооружениям.

В коренных породах подземные воды преимущественно циркулируют по зонам экзогенной трещиноватости и тектонического дробления. Питание этих зон связано в том числе с атмосферной инфильтрацией и поверхностными водами, поэтому разрывные нарушения и трещины образуют основные пути поступления воды в прибортовой массив [14]. По результатам обследования 2022 года обводнённость карьера «Центральный» в целом оценивалась как средняя. На южном борту отмечались отдельные участки интенсивного увлажнения и капежа [14].

В северной части карьера вблизи борта расположены руслоотвод реки Маломыр и водотоки системы карьерного водоотлива. Сосредоточение значительных объёмов воды у карьерного контура создаёт возможность её поступления в прибортовой массив при фильтрации через ложе водотоков и техногенные грунты, нарушении водоотводных сооружений или переливе. Дополнительными путями поступления воды могут служить участки пересечения водотоков с транспортными съездами и насыпями [1].

На бортах вода проявляется в виде локального намокания, капежа, высачивания и отдельных сосредоточенных выходов ([ref]). На южном и западном бортах преобладают разобщённые проявления, тогда как в северо-восточной части выделяются более протяжённые обводнённые участки. В верхней части восточного борта наблюдаются преимущественно следы временного поверхностного стока после осадков и снеготаяния, а ниже по борту – намокание, высачивание и перетоки по бермам и транспортным съездам в направлении нижних горизонтов. Общей закономерностью является приуроченность водопроявлений к трещиноватым, тектонически нарушенным и деформированным породам, поверхностям ослабления и слабым сланцеватым разностям. Следы размыва и ожелезнения, а также повторение намокания на нескольких уступах указывают на устойчивые пути фильтрации и переток воды с вышележащих горизонтов [1].



Рис. 5. Характерные водопроявления на бортах карьера. Слева – сосредоточенный выход воды на сопряжении южного и западного бортов, ТН №16. Справа – протяжённая зона намокания и осыпей на северо-восточном участке, ТН №31

Вода влияет на устойчивость несколькими взаимосвязанными механизмами. Поверхностный сток размывает рыхлые и раздробленные породы, выносит мелкий материал и способствует накоплению осыпей у основания уступов. Фильтрация по трещинам и поверхностям ослабления увеличивает обводнённость приконтурного массива. Заполнение трещин водой может снижать эффективные нормальные напряжения и сопротивление сдвигу. На участках распространения BRC к этим механизмам добавляется подтверждённое лабораторными испытаниями размягчение глинистого цемента. Наиболее неблагоприятны участки, где намокание совпадает с выходами BRC, зонами дробления или неблагоприятно ориентированными поверхностями ослабления.

Для проектного контура гидрогеологические условия учтены в геофильтрационной модели и расчётных разрезах. Основная часть прогнозного водопритока приходится на северную часть карьера, меньшие объёмы – на западную и восточную части, минимальные – на южную. Поэтому

при оценке проектного контура наибольшее значение имеют гидрогеологические условия северного борта, где прогнозируемый подземный водоприток сочетается с близким расположением поверхностных водоотводных сооружений [13].

Выветривание и приповерхностное ослабление массива

По данным скважин построена трёхмерная модель зоны выветривания и определена её нижняя граница ([ref]). Глубина этой границы по отдельным скважинам изменяется от 3 до 22 м от устья, поэтому выветрелые породы не рассматриваются как слой постоянной мощности. Положение зоны относительно фактического и проектного контуров определяется по модели. Эта же граница используется в расчётах устойчивости при разделении выветрелых и невыветрелых пород и назначении их расчётных свойств [13].

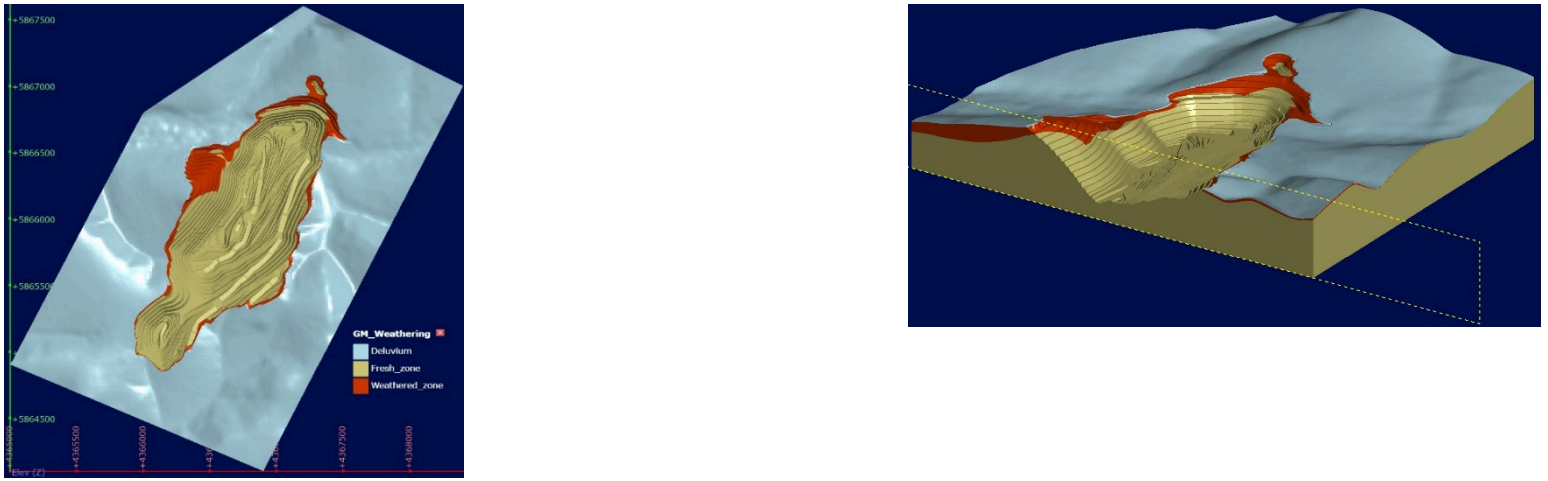


Рис. 6. Положение зоны выветривания относительно проектного контура: слева – вид сверху, справа – вид с юго-востока [13]

Основное геомеханическое значение выветривания связано с ухудшением качества массива. В скважинах за пределами фактического контура среднее значение RQD в выветрелых породах составляет 17,8 %, а в невыветрелых – 90 %. При этом средняя прочность на одноосное сжатие образцов выветрелых углеродисто-кварцевых сланцев при естественной влажности равна 30,7 МПа против 33,2 МПа для невыветрелой разности. Такое соотношение показателей указывает, что ведущим механизмом снижения устойчивости являются повышенная нарушенность массива и ухудшение состояния контактов, а не резкое снижение прочности ненарушенной породы [1, 13].

Повышенная нарушенность создаёт условия для разуплотнения приконтурной части массива, мелких вывалов и осыпей. Поступление воды по раскрытым трещинам и размыв мелкообломочного материала усиливают эти процессы. В материалах наблюдений 2022 года выветривание указано в числе совместно действующих причин оползня верхней группы уступов и локальных вывалов на восточном и юго-западном участках [14].

Для фактического контура влияние выветривания учитывается на верхних уступах, где граница выветрелых пород, установленная по скважинам и уточнённая по наблюдениям на обнажениях, совпадает с признаками разуплотнения, осыпания, размыва или намокания [13].

Техногенные факторы

Нарушение приконтурного массива при буровзрывных работах

При буровзрывных работах энергия взрыва может распространяться за проектный контур выемки и дополнительно нарушать оставляемую часть массива. В скальных породах раскрываются существующие и образуются наведённые трещины, нарушается верхняя бровка и увеличивается число блоков, способных отделяться от откоса. Для брекчий на глинистом цементе основным проявлением такого воздействия является дополнительное разрыхление. Это увеличивает интенсивность осыпания и облегчает поступление воды в приконтурную часть зоны разлома. Совместное влияние разрыхления и обводнения особенно неблагоприятно, поскольку прочность BRC при водонасыщении резко снижается.

Негативное влияние БВР определяется качеством постановки уступа в конечное положение. Техническим проектом для ограничения законтурного разрушения предусмотрено предварительное щелеобразование вдоль проектного контура [15]. Отказ от него или нарушение технологии повышает передачу энергии взрыва в оставляемую часть массива. В приконтурной зоне раскрываются естественные трещины и могут образовываться дополнительные трещины отрыва у верхней бровки. В результате увеличивается число неустойчивых блоков и возрастает вероятность локальных вывалов и осыпей. На участках распространения BRC дополнительное разрыхление также облегчает проникновение воды в ослабленный массив.

Связь конкретного нарушения откоса с БВР следует устанавливать по свежим трещинам, переборам, разрушению верхней бровки и повторяющемуся осыпанию после взрыва с учётом состояния участка до производства работ. Без такого сопоставления влияние взрыва нельзя однозначно отделить от естественной трещиноватости и выветривания.

Протяжённые группы уступов и состояние берм

На фактическом контуре протяжённые группы уступов, не прерываемые транспортными съездами или широкими бермами, практически отсутствуют. Значение имеет состояние отдельных предохранительных берм. На участках осыпания, показанных на [ref], скопления обломочного материала уменьшают эффективную ширину берм и их способность задерживать последующие вывалы. В результате обломочный материал с отдельного уступа может выходить на нижележащие горизонты.

На проектном контуре выделены три участка с протяжёнными группами уступов: две группы включают по 5–6 уступов, ещё одна – 6 и более. Их положение показано на [ref].

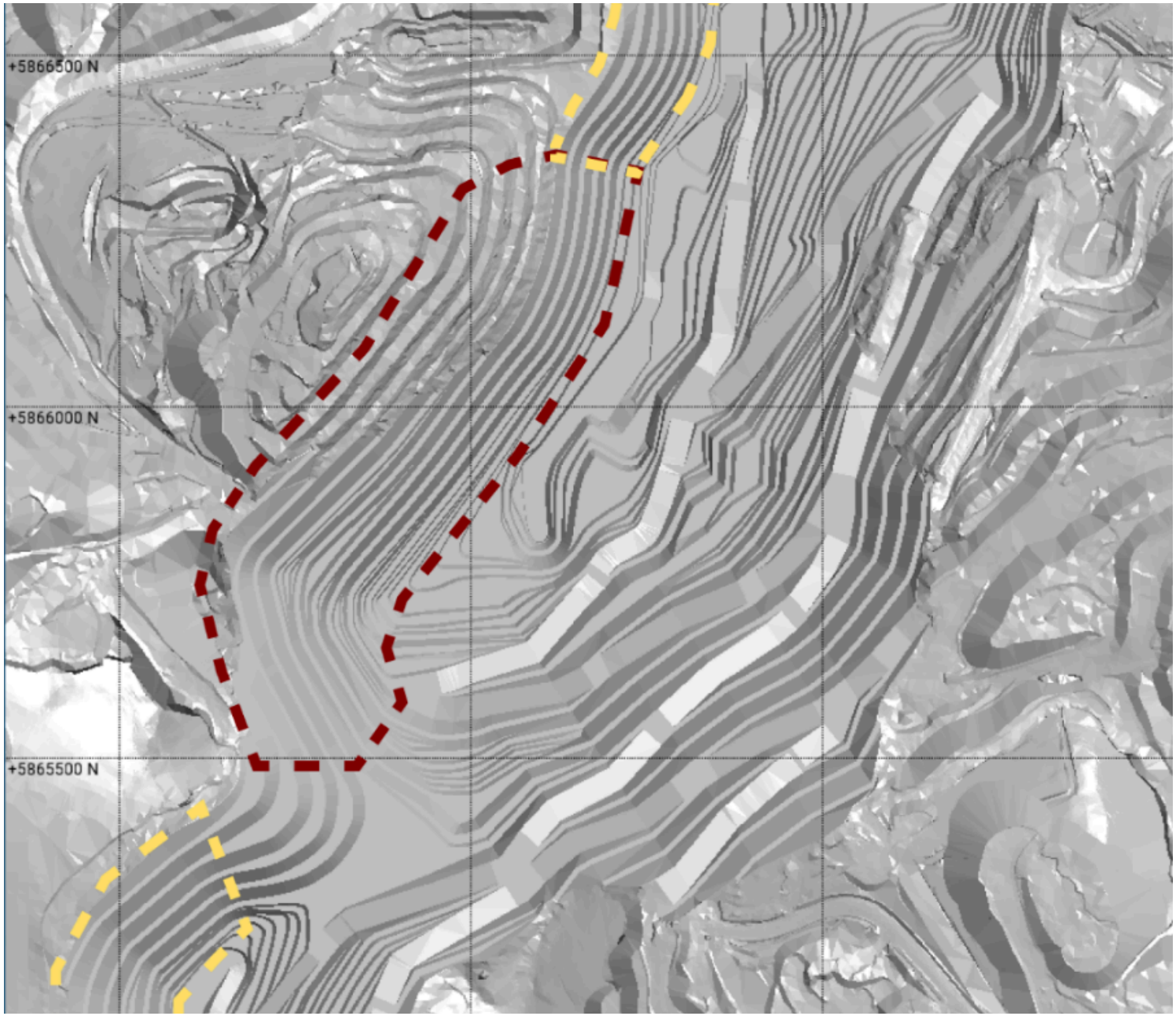


Рис. 7. Положение протяжённых групп уступов на проектном контуре карьера «Центральный-1»

На этих участках пять и более уступов объединены в одну группу без разделения широкой геотехнической бермой. При наличии поверхности ослабления, пересекающей смежные уступы, деформация может развиваться в масштабе всей группы. Промежуточные предохранительные бермы при этом могут быть перекрыты материалом с верхних уступов, вследствие чего зона распространения обломочного материала достигает нижележащих горизонтов. Таким образом, объединение уступов в протяжённые группы не является причиной потери устойчивости, но увеличивает возможный масштаб деформации и тяжесть её последствий.

Качественная оценка геомеханических рисков

Качественная оценка выполнена для фактически эксплуатируемого контура карьера «Центральный-1». По результатам визуального картирования и анализа фотограмметрической модели составлена карта участков геомеханического риска.

На карте выделены следующие типы опасных участков и проявлений:

- деформации в выветрелых породах и брекчиях на глинистом цементе;
- осыпи и камнепады в скальных породах;
- водопроявления;
- кинематически обусловленные блоки;
- зоны метасоматических изменений.

Качественная карта подготовлена на основе рабочей карты ([ref]), на которой зафиксированы наблюдаемые деформации, осыпи, камнепады, кинематически обусловленные блоки и водопроявления. При назначении уровней риска положение этих объектов сопоставлено с размещением производственной инфраструктуры карьера, определяющим возможную тяжесть последствий.

По данным наблюдений деформации групп уступов с формированием крупных подвижных блоков, ограниченных тектоническими нарушениями, не выявлены. Сами тектонические нарушения также не рассматриваются как сформированные макроблоки. В зонах их влияния пониженное качество и повышенная трещиноватость массива, в том числе низкие значения RQD, создают предпосылки для локальных деформаций уступов и последовательного вовлечения смежных участков откоса. Поэтому на фактическом контуре тектонические нарушения учитываются как факторы развития локальных деформаций, а не как установленные контуры макродеформаций.



Рис. 8. Влияние Меридионального (восточного) разлома на северной части карьера

На [ref] приведена качественная карта геомеханических рисков фактического контура. Уровень риска показан цветом заливки, а тип выделенного объекта – цветом границы. Цвета заливки соответствуют уровням принятой матрицы на [ref], поэтому заливка и граница приведены в легенде как две независимые шкалы.

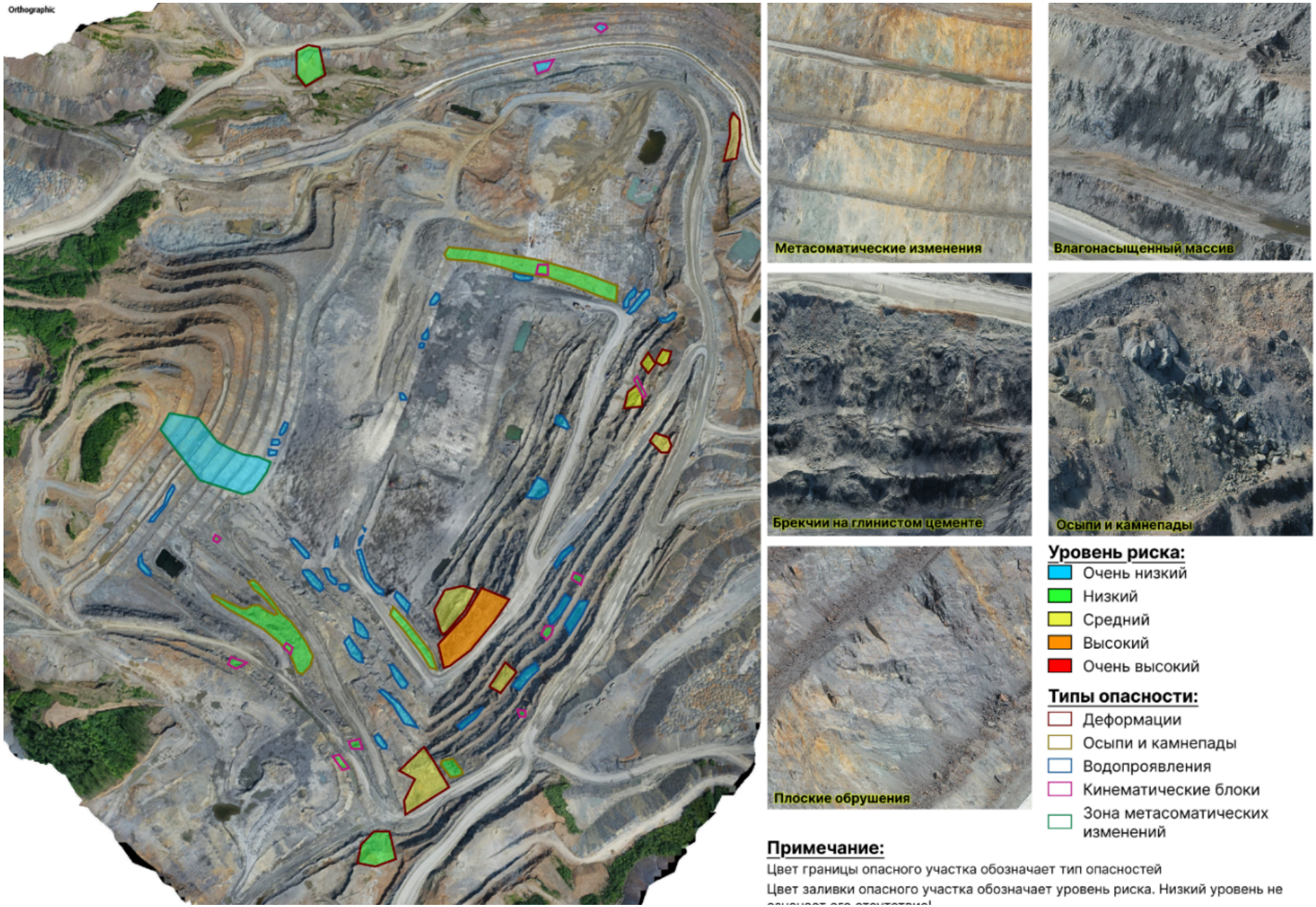


Рис. 9. Карта качественной оценки геомеханических рисков фактического контура карьера «Центральный-1»

По результатам качественной оценки на фактическом контуре карьера «Центральный-1» выделено 63 участка геомеханического риска. Из них один участок отнесён к высокому уровню, семь – к среднему, остальные – к низкому или очень низкому.

Карта отражает типы опасностей и уровни риска на дату использованной фотограмметрической съёмки и мониторинга. Она подлежит актуализации при изменении геометрии уступов, появлении новых деформаций, изменении состояния водоотводных сооружений или получении новых данных мониторинга [9].

Полученная карта характеризует состояние фактического контура и не является прогнозом для проектного положения борта. На проектный контур могут переноситься только обоснованные геологические и структурные факторы. Возможные опасные события, их вероятность и последствия для проектной геометрии подлежат самостоятельной оценке.

Тектонические нарушения представляют собой потенциально ослабленные участки массива. В их пределах прочность пород может быть ниже, чем в ненарушенной части массива. Неблагоприятное влияние тектонических нарушений на устойчивость уступов зависит от их пространственного положения относительно борта, состава пород в зоне нарушения, состояния заполнителя и ориентировки сопутствующих систем трещин.

Положение основных тектонических нарушений показано на плане карьера ([ref]). По данным наблюдений на момент выполнения работы деформации групп уступов с формированием крупных подвижных блоков на рассматриваемом карьере не выявлены. Основные проблемы устойчивости связаны с Диагональным разломом, вдоль которого ориентирован восточный борт карьера.

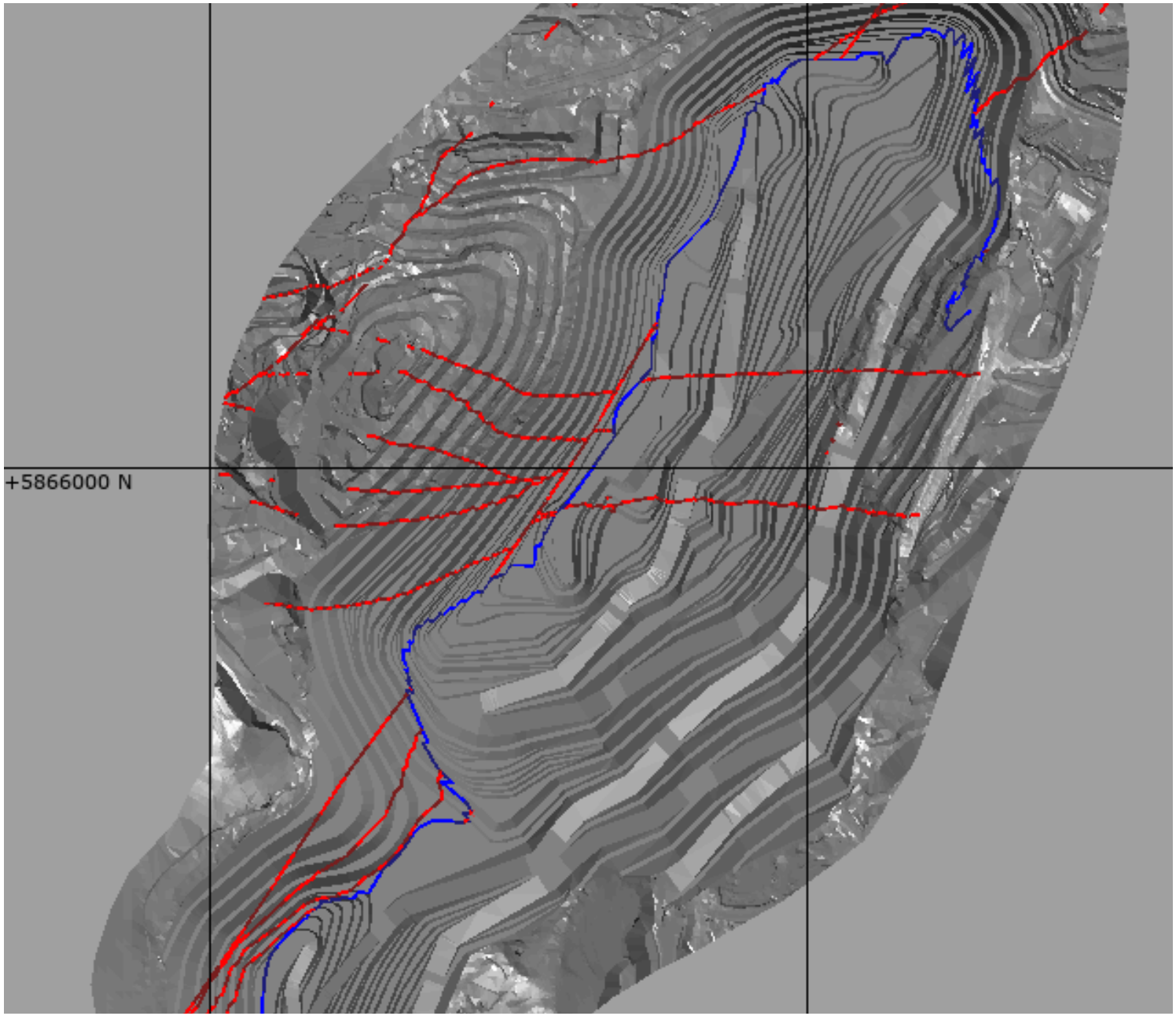


Рис. 10. План с проекцией тектонических нарушений на проектный контур

В южной части восточного борта несколько уступов пересекают зону Диагонального разлома. В пределах этой зоны развиты брекчии на глинистом цементе. Они образуют ослабленный слой, сопутствующий тектоническому нарушению. Распространение брекчий в пределах нескольких уступов формирует протяжённый участок с неблагоприятными условиями устойчивости ([ref]).

В северной части восточного борта Диагональный разлом также пересекает уступы. Здесь формируется отдельная группа уступов, устойчивость которой может снижаться вследствие присутствия брекчий на глинистом цементе и структурного ослабления массива в зоне разлома ([ref]).

Выделенные участки следует рассматривать как зоны возможного развития локальных деформаций уступов и последовательного вовлечения смежных участков откоса. При этом имеющиеся данные не подтверждают формирование макродеформаций, состоящих из крупных структурных блоков.

Количественная оценка геомеханических рисков

На этапе проектирования выполнена количественная оценка риска обрушений на основе вероятностных расчётов устойчивости бортов и уступов карьера. Вероятностные расчёты и кинематический анализ выполнены в сертифицированном программном обеспечении Digger Slope (ООО «Скиентия», Россия).

Методика и основные результаты расчётов приведены в разделе 1.5. В рамках кинематического анализа для отдельных уступов определены участки, в пределах которых геометрические условия залегания систем трещин допускают формирование кинематически неустойчивых блоков. Для выделенных блоков выполнена вероятностная оценка и определены соответствующие уровни риска. Результаты представлены раздельно для различных механизмов деформирования (Рисунки 1.20, 1.22).

Пространственное положение выделенных кинематических блоков и результаты их оценки приведены на [ref]. Каждый контур соответствует потенциальному кинематическому блоку в пределах рассматриваемого уступа. Цвет заливки характеризует установленный уровень риска: очень низкий, низкий или средний. Цвет контура показывает расчётный тип деформации. Отдельно обозначены плоские и клиновидные механизмы, в том числе варианты с формированием трещины отрыва.

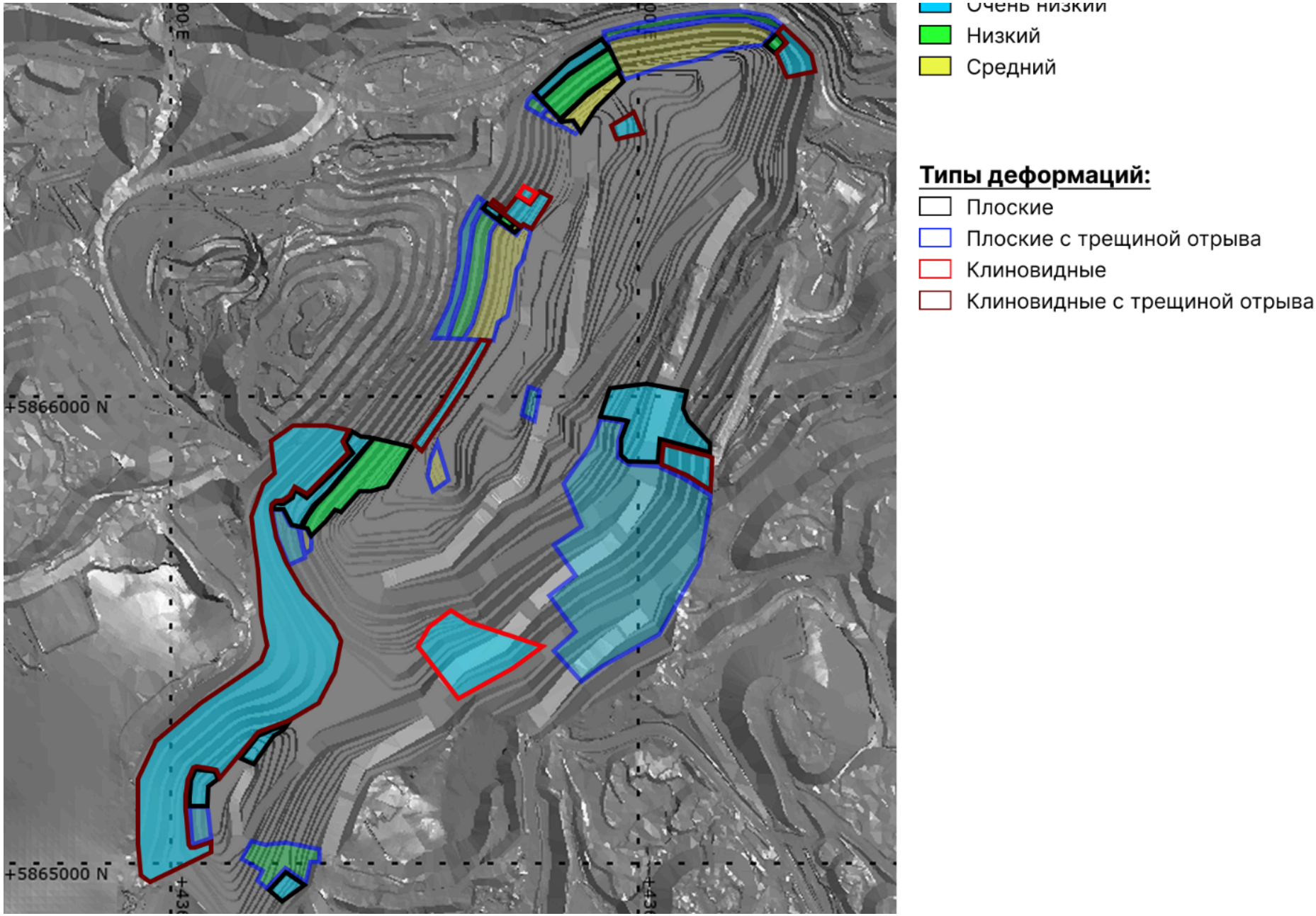


Рис. 11. Карта рисков по кинематическому расчёту по уровням и типам опасностей

По результатам расчётов потенциальные кинематические блоки распределены по карьеру неравномерно и приурочены к отдельным участкам уступов. Наиболее значительные по площади выделенные области относятся преимущественно к очень низкому уровню риска. Участки с низким и средним уровнями риска имеют локальное распространение. В пределах рассматриваемых уступов установлены как плоские, так и клиновидные механизмы деформирования, включая блоки, для которых расчётная схема предусматривает формирование трещины отрыва.

Дополнительно учтены результаты расчётов устойчивости полного борта. Для фактического контура минимальный коэффициент запаса устойчивости получен на профиле 5, положение которого показано на Рисунке 2.4. По методике ВНИМИ КЗУ составил 1.240, что на 0.060 ниже принятого значения 1.35. По критерию Хука–Брауна получено КЗУ $= 1.416$. Результаты приведены в Таблицах 2.3 и 2.4.

Профиль 5 расположен на юго-западном борту. Найденная расчётная поверхность скольжения проходит через зону Диагонального разлома в нижней части борта. На отдельных уступах в районе профиля наблюдается осыпание пород. Эти проявления не подтверждают развитие единой деформации по найденной поверхности скольжения, но согласуются с присутствием неблагоприятной трещиноватости. Район профиля 5 следует учитывать как участок первоочередного контроля состояния уступов, водопроявлений и локальных деформаций.

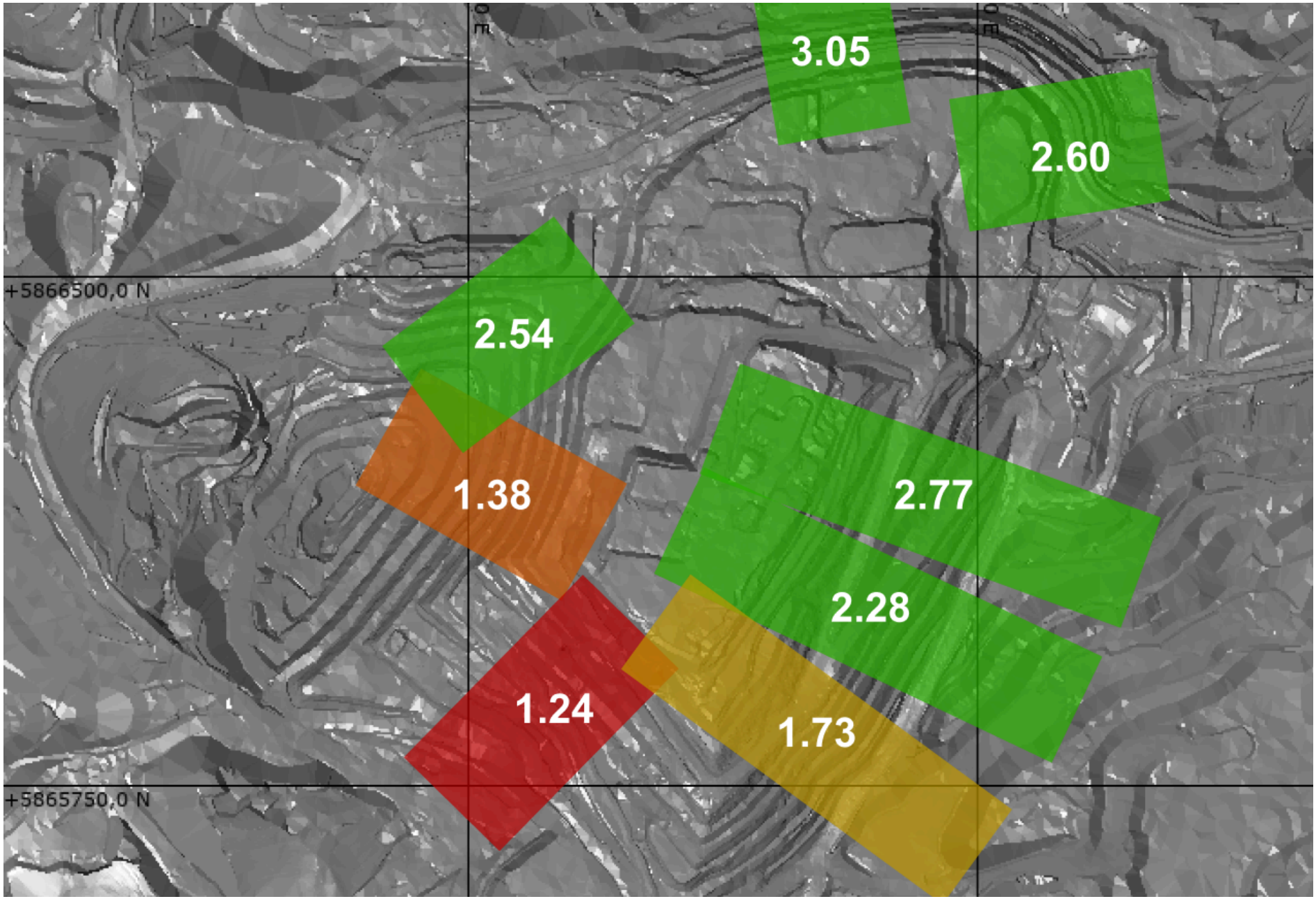


Рис. 12. Тепловая карта коэффициентов запасов устойчивости бортов карьеров на фактический контур

Для проектного контура условие КЗУ $= 1.35$ не выполняется на профилях 5, 6, 8 и 11 по обеим применённым методикам. Положение профилей показано на Рисунке 2.5, результаты приведены в Таблицах 2.5 и 2.6. Эти участки характеризуют проектные условия и не являются фактически установленными деформациями. Полученные результаты следует учитывать при корректировке проектного контура и последующей актуализации оценки рисков.

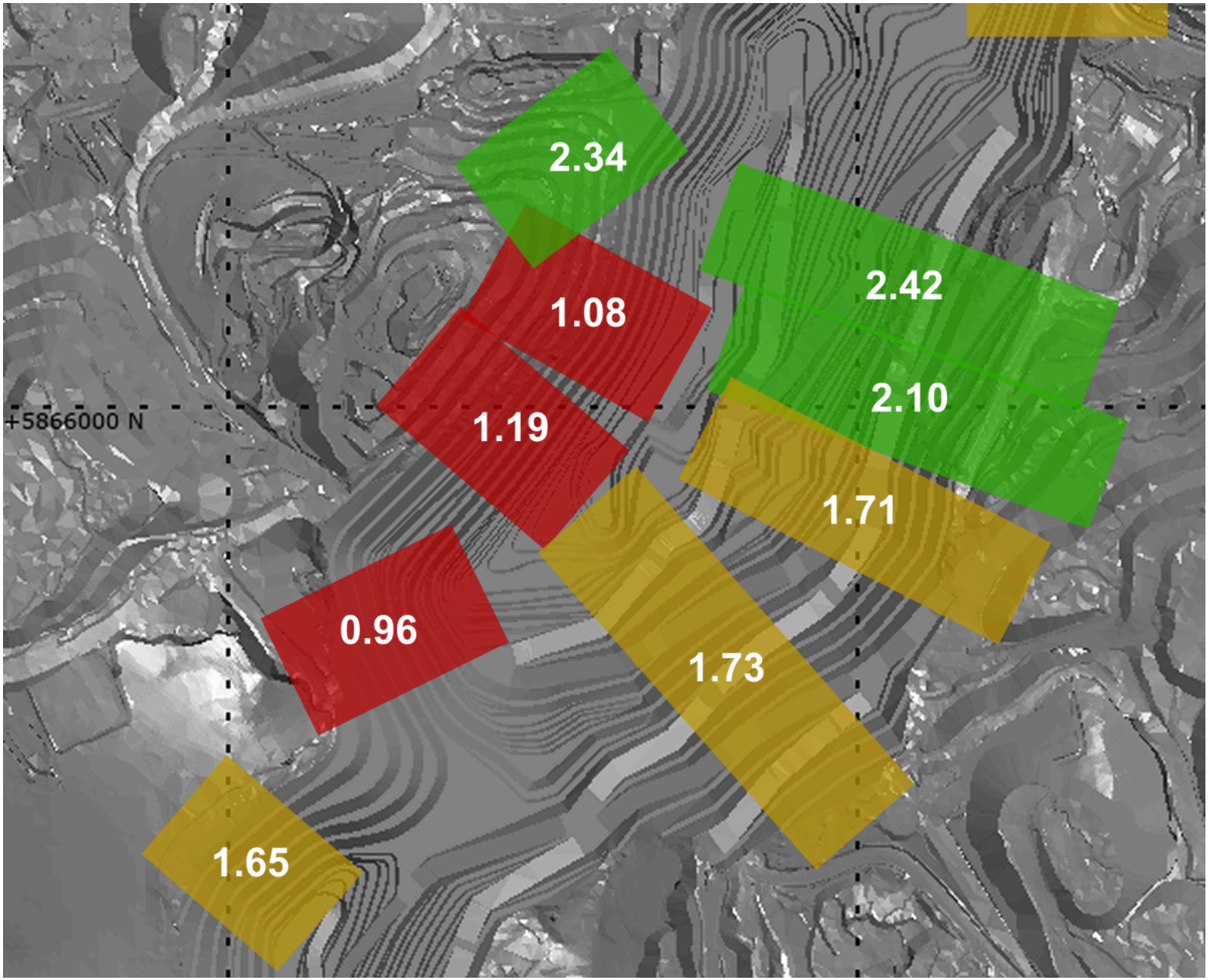


Рис. 13. Тепловая карта коэффициентов запасов устойчивости бортов карьера на проектный контур

Реестр геомеханических рисков

Результаты качественной и количественной оценки сведены в реестр рисков и на карту рисков ([ref], Таблице 2). Для каждого опасного события или деформационного процесса указаны установленные факторы и признаки, качественный уровень риска до выполнения мероприятий, рекомендуемые меры и ожидаемый качественный уровень риска после их выполнения.

Присвоение качественных уровней риска выполнено экспертной группой на основании принятой матрицы, фактического состояния откосов, условий эксплуатации и возможных последствий. После выполнения мероприятий уровни риска подлежат пересмотру по результатам повторного обследования и данных мониторинга.

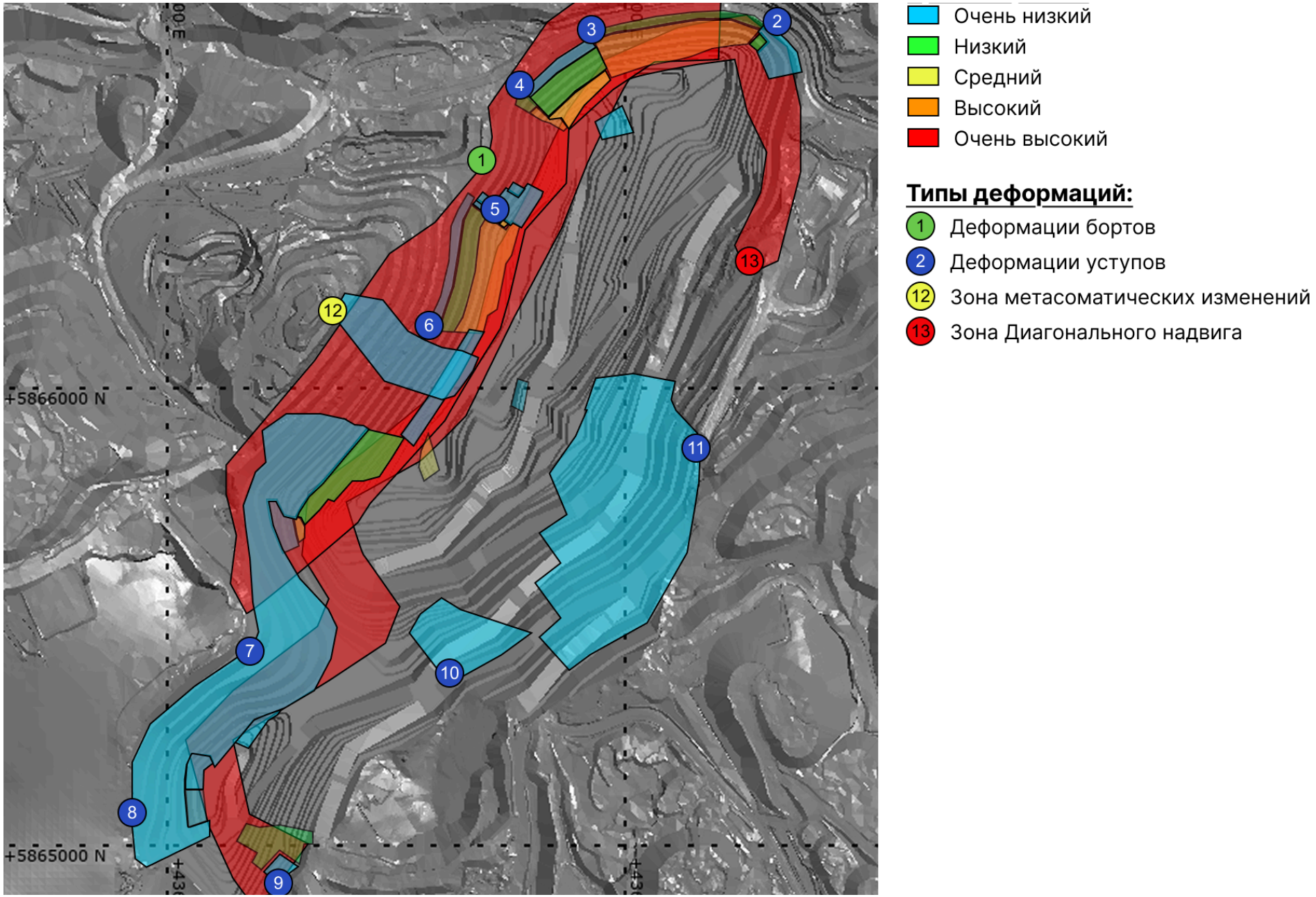


Рис. 14. Итоговая карта риска на проектный контур

Риск	Факторы риска	Категория риска (по матрице)	Рекомендуемые меры по снижению риска	Категория риска после осуществления мер
Нарушение устойчивости западного и южного борта карьера	• Залегание Диагонального разлома в основании западного борта • Наличие брекчий на глинистом цементе, сопутствующих Диагональному разлому • Снижение прочности и размягчение глинистого цемента при водонасыщении	C5	• Отвод поверхностных вод за пределы зоны разлома и управление режимом подземных вод • Исключение свободного стока по откосам и бермам всего карьера, с первоочередным контролем зоны брекчий на глинистом цементе • Контроль приконтурного взрывания и определение фактической глубины повреждения массива • Локальная корректировка геометрии борта после подтверждения вариантным расчётом • Изменение направления и порядка отработки на участках прогнозируемого снижения устойчивости • Радарный мониторинг участков и установление порогов оповещения, остановки работ и ограничения доступа • Регулярная проверка пьезометрии и расходов действующих дренажных сооружений	E5
Нарушение устойчивости группы уступов в зоне Диагонального разлома	• Ориентировка восточного борта вдоль Диагонального разлома • Пересечение зоной разлома нескольких уступов в южной и северной частях восточного борта • Наличие брекчий на глинистом цементе, сопутствующих	C4	• Детальное картирование положения Диагонального разлома и границ распространения брекчий на каждом вновь обнажаемом уступе • Отвод поверхностных и технологических вод за пределы зоны разлома • Исключение свободного стока воды по откосам и бермам в пределах брекчий на глинистом цементе • Контроль состояния верхних бровок, заколов,	D4
Водопритоки трещинно-карстовых вод в нижние горизонты из-за вскрытия обводненных блоков скальных пород	• Наличие закарстованных известняков в подстилающей толще • Снижение прочности и размягчение глинистого цемента	D2		D1

Таблица 2. Перечень (реестр) рисков участка Центральный