

Дмитрий Жиров

научный сотрудник,
начальник отдела
Геологический институт
Кольского научного центра РАН

Вадим Рыбин

старший научный сотрудник,
кандидат технических наук,
доцент
Горный институт Кольского
научного центра РАН

Сергей Климов

ведущий инженер
Геологический институт
Кольского научного центра РАН

Галина Мелихова

главный гидрогеолог
ОАО «Мурманская
геологоразведочная
экспедиция»

Александр Завьялов

инженер
ОАО «Ковдорский ГОК»

Проведение комплексного инженерно-геологического районирования

для обоснования объектов и видов работ по закреплению/стабилизации уступов карьера

ЧАСТЬ II**Аннотация**

На примере Ковдорского бадделейт-апатит-магнетитового месторождения рассмотрены результаты комплексного инженерно-геологического районирования, а также обоснования комплекса мероприятий по обеспечению безопасности горных работ. Это дает возможность адекватной оценки и управления рисками за счет своевременного планирования и осуществления мероприятий по стабилизации уступов карьера.

Ключевые слова:

районирование, прогноз, опасные геологические (геофизические) и техногенные процессы, массив пород, карьер, рудник

Современные реалии горного дела в условиях обостряющегося дефицита невозобновляемых природных ресурсов определяют необходимость освоения все более глубоких горизонтов месторождений твердых полезных ископаемых (ТПИ)

В соответствии с развиваемой Горным институтом КНЦ РАН концепцией оценки устойчивости, учитывающей одновременное действие значительных тектонических и гравитационных напряжений, к наиболее опасным относятся участки (выделены красной заливкой на рис. 1):

- разгруженные, где фактически измеренные значения НДС меньше расчетных;
- контрастных флуктуаций параметров НДС;
- с проявлением обстановки растяжения (с отрицательными значениями напряжений).

Таким образом, на основе анализа результатов исследований современного поля напряжений в приконтурном массиве пород наиболее благоприятными зонами с точки зрения геомеханики являются северный и северо-западный участки, окрашенные на схеме районирования (рис. 1) зеленым цветом. В пределах этих зон массив пород умеренно сжат, а максимальная компонента главных напряжений σ_{\max} — субгоризонтальна со значениями в среднем 10–30 МПа.

Менее благоприятными зонами представляются южный

и юго-восточный участки борта карьера, которые отображены светло-зеленым и желтым цветом. Здесь напряженное состояние массива пород характеризуется меньшими значениями действующих напряжений, σ_{\max} в половине измерений субвертикальна (сжатие от 6 до 12–15 МПа), а минимальная компонентна главных напряжений σ_{\min} изменяется в пределах от 0,5 до 9 МПа. Розовым цветом отмечены наименее благоприятные участки, которые характеризуются:

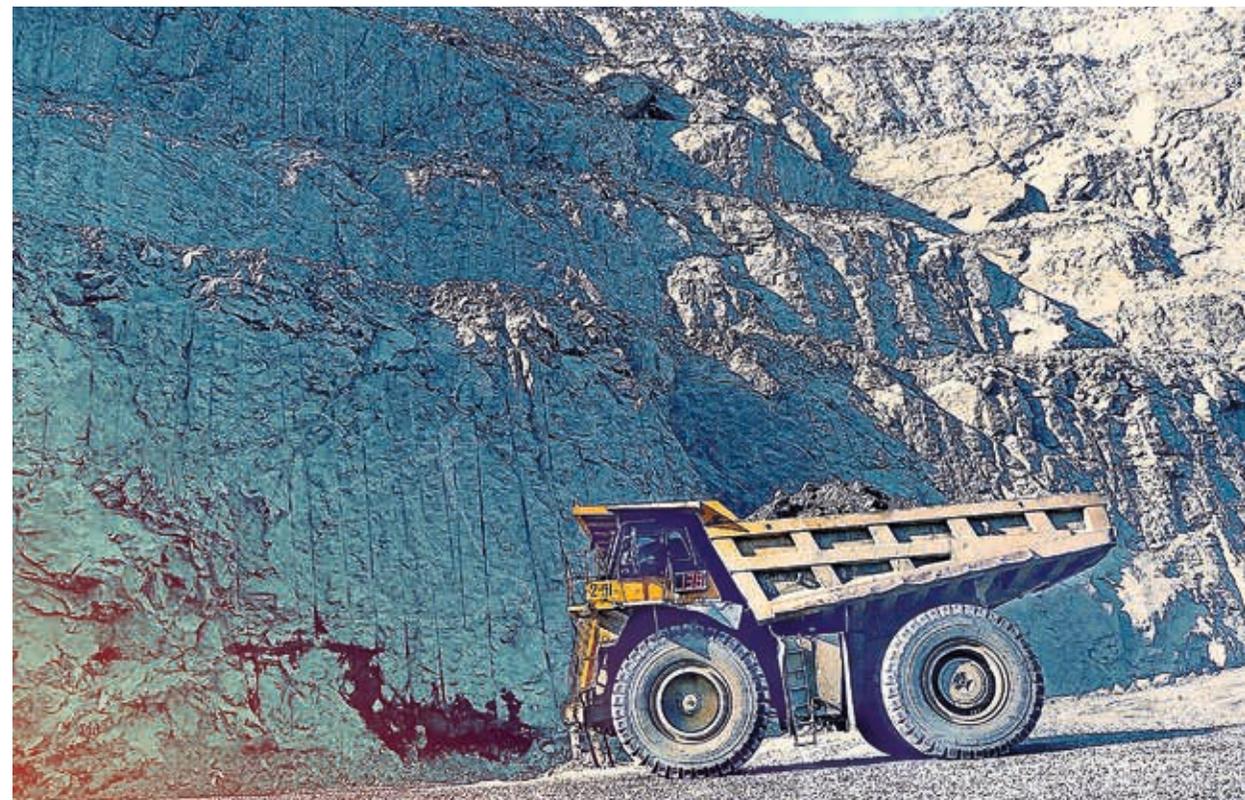
- локальными зонами растяжений (до -2 МПа);
- контрастными параметрами НДС (от -2 до 15 МПа, изменчивость ориентации главных осей);
- наличием в массиве пород геолого-структурных

Для наиболее проблемных участков необходимо, прежде всего, применение щадящей технологии взрывных работ

неоднородностей высокого ранга, параметры залегания которых относительно конечного контура карьера могут представлять опасность для устойчивости группы уступов.

Таким образом, по результатам районирования наиболее опасными с точки зрения НДС являются В, ЮВ и СЗ участки борта карьера. При этом для верхних, дезинтегрированных, горизонтов этот фактор не считается значимым (в ходе выветривания и дезинтеграции пород произошла разгрузка). Для наиболее проблемных участков необходимо, прежде всего, применение щадящей технологии взрывных работ в ходе постановки уступов в конечный контур, а также разработка специальных мероприятий по разгрузке массива и по закреплению уступов.

Фактор структурных неоднородностей, разрывной тектоники и трещиноватости с опасным залеганием относится к наиболее важным



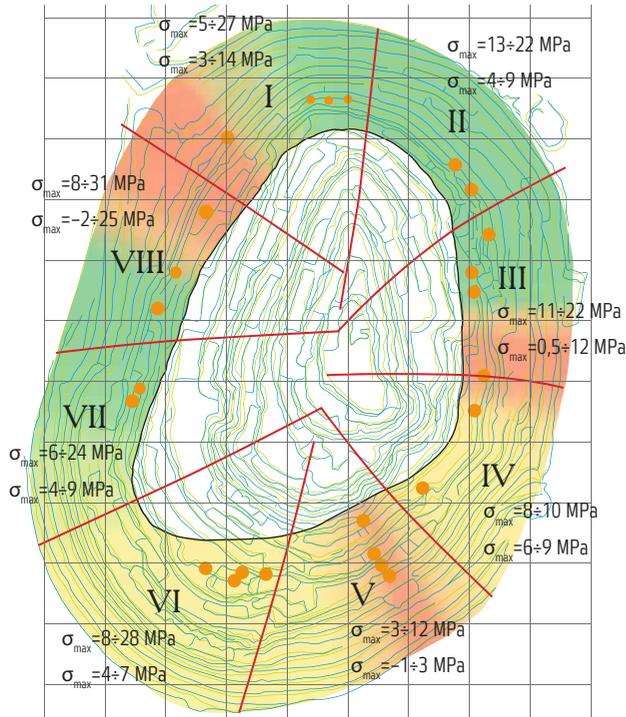


Рис. 1. Схема районирования карьера рудника «Железный» по величинам действующих напряжений с учетом геолого-структурных особенностей строения массива горных пород

I-VIII — инженерно-геологические секторы

● места заложения наблюдательных станций

■ наиболее благоприятные зоны с точки зрения действующих в массиве пород напряжений

■ менее благоприятные зоны
■ наименее благоприятные зоны

и значимым. Все остальные без исключения геолого-геофизические процессы и явления либо управляются, либо реализуются при непосредственном влиянии элементов разрывной тектоники. Поэтому их изучению уделено особое внимание.

Основой компиляции, обобщения и анализа структурных неоднородностей и трещиноватости являлось несколько баз данных пространственно распределенных замеров. Прежде всего, это данные картирования трещиноватости

Огромная база данных точных замеров (около 25 000) накоплена в период 2008–2013 гг.

за исторический период 1970–2012 гг. (около 18 000 замеров), собранные сотрудниками ВИОГЕМ [1ф–3ф; 8ф]. Особенностью этого массива данных является точная привязка в местных координатах рудника и длительность периода наблюдений, позволяющая восстановить картину трещиноватости с учетом уже отработанных блоков карьера. Огромная база данных точных замеров (около 25 000) накоплена в период 2008–2013 гг. в ходе документации ориентированного ядра инженерно-геологических скважин, выполненной Геологическим институтом КНЦ РАН совместно с ОАО МГРЭ [4ф–7ф]. Информативность этой выборки трудно переоценить: к ядру точно привязана фотодокументация, геологическое описание, графики геофизических исследований скважин (ГИС), результаты межскважинного акустического просвечивания, данные замеров плоскостных элементов, кинематических признаков смещения и многое другое. Весь этот объем материалов служит основой для 3D моделирования всех значимых структурных неоднородностей законтурного массива на 150–200 м вглубь, что выполняется впервые в отечественной и, возможно, в мировой практике. Достижения в этом направлении позволяют точно геометризовать и прогнозировать положение элементов разрывной тектоники с точностью привязки менее 1 м. Кроме того, многопараметрическая система документации и обработки трещиноватости в совокупности с современными инструментами 3D визуализации и анализа предоставляют возможность достаточно тонко идентифицировать

и дифференцировать элементы, а также осуществлять прослеживание и геометризацию интересующих структур относительно текущего и вариантов проектного контура карьера (рис. 2).

Оценочными критериями опасности структурной неоднородности служат:

- залегание относительно борта карьера;
- линейные размеры, притертость / тектоническая обработка поверхности;
- интегральное качество поверхности (сцепление) и масштаб потенциально возможной деформации.

К опасным структурным элементам отнесены (от наиболее к наименее):

- разломы с отчетливо проявленной внутренней и внешней зоной дробления, катаклаза и милонитизации с падением

под 33–60° в сторону карьерной выемки;

- протяженные разрывные нарушения и дизъюнктивы (с установленным характером относительного смещения и хорошо притертыми зеркалами скольжения и глиной трения) с падением под 33–60° в сторону карьерной выемки;

- протяженные центриклинальные трещины с волнистой формой поверхности и существенным раскрытием берегов;

- пересечение двух и более трещин, линия сопряжения которых падает в сторону карьерной выемки под углом 40–70°;

- зоны трещиноватости и катаклаза;

- протяженные притертые трещины и тектонизированные контакты геологических тел с падением под 33–60°

в сторону карьерной выемки и др.

Результаты обработки и анализа трещиноватости, а также 3D моделирования сведены в слой инженерно-геологического районирования по критерию значимых структурных неоднородностей (рис. 3). В нем учтены сведения по тектонике и трещиноватости, а также применен подход зонирования по секторальному признаку (с выделением относительно однородных по параметрам трещиноватости секторов). Из структурных неоднородностей на карту вынесены только подпадающие под категории весьма опасные и опасные (разломы и разрывные нарушения максимальных рангов), из которых два — в пределах ЮВ и В участков борта — сопровождаются масштабными

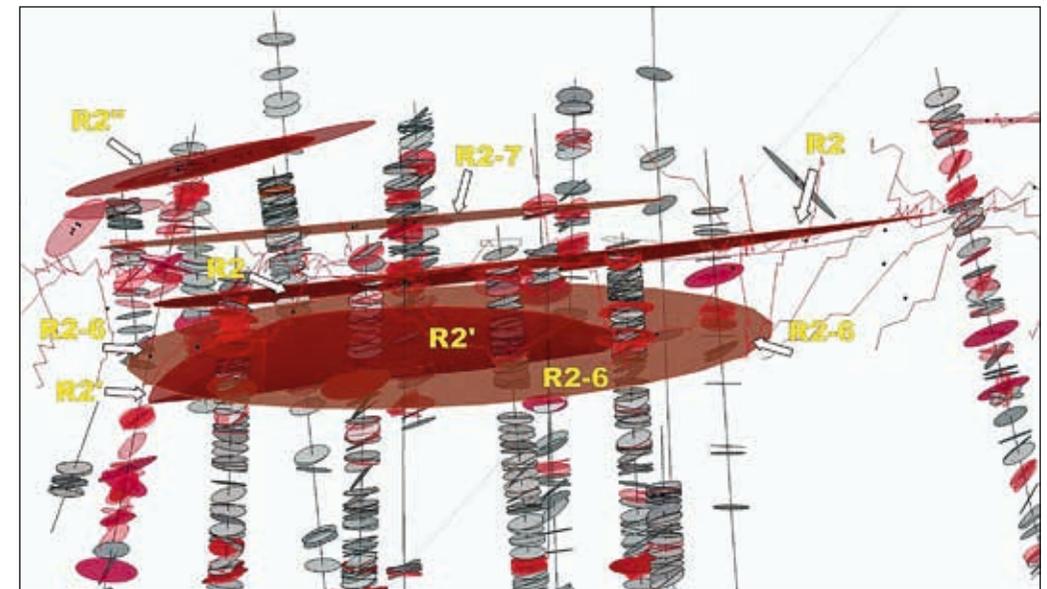


Рис. 2. Пример 3D анализа и геометризации основных тектонических элементов ослабленной зоны на ЮВ борту карьера: подсечение в ИГ-скважинах и положение основных структурных элементов относительно друг друга, вид сверху вниз вдоль разлома R2, контуры карьера скрыты. Розовые и красные интервалы — в различной степени тектонизированные элементы по данным документации ориентированного ядра



Наибольшую опасность представляют крупнообъемные участки с неустойчивым состоянием массива пород с возможностью реализации масштабных плоскостных или комбинированных обрушений группы уступов или всего борта в целом



обрушениями и развитием крупнообъемных деформаций / обрушений плоскостного типа. Поэтому они являются первоочередными для изучения, анализа и принятия решений по стабилизации /закреплению. Остальные элементы с угрожающим для устойчивости уступов залеганием используются в районировании наряду с другими факторами интегрально или индивидуально при анализе ситуации и рисков на локальных участках (в ходе более крупномасштабных исследований).

Фактор деформаций и нарушения целостности уступов и участков борта. Как уже отмечалось выше, обнаруживается тесная связь

деформаций с разрывной тектоникой, однако она не является полностью обусловленной и на 100% коррелируемой. В карьере задокументировано множество структурных элементов, которые индивидуально и в сочетаниях (клиновидных подсечениях) образуют критические залегания по отношению к элементам конструкции карьера, однако фактически реализуется в виде деформаций и обрушений только часть из них. Таким образом, мы считаем этот фактор интегральным результатом проявления совокупности нескольких видов негативных геолого-геофизических и техногенно-индуцированных явлений / процессов.

Наиболее типичными задокументированными деформациями в карьере рудника «Железный» являются (по степени уменьшения распространенности):

- осыпи и вывалы скальных пород незначительных объемов (до первых десятков м³);
- разномасштабные клиновидные и комбинированные обрушения (от первых м³ до первых тысяч м³);
- малообъемные плоскостные обрушения (от первых м³ до первых сотен м³);
- оползни дезинтегрированных пород приповерхностной части карьера (десятки-тысячи м³);
- плоскостные обрушения средне- и крупнообъемные

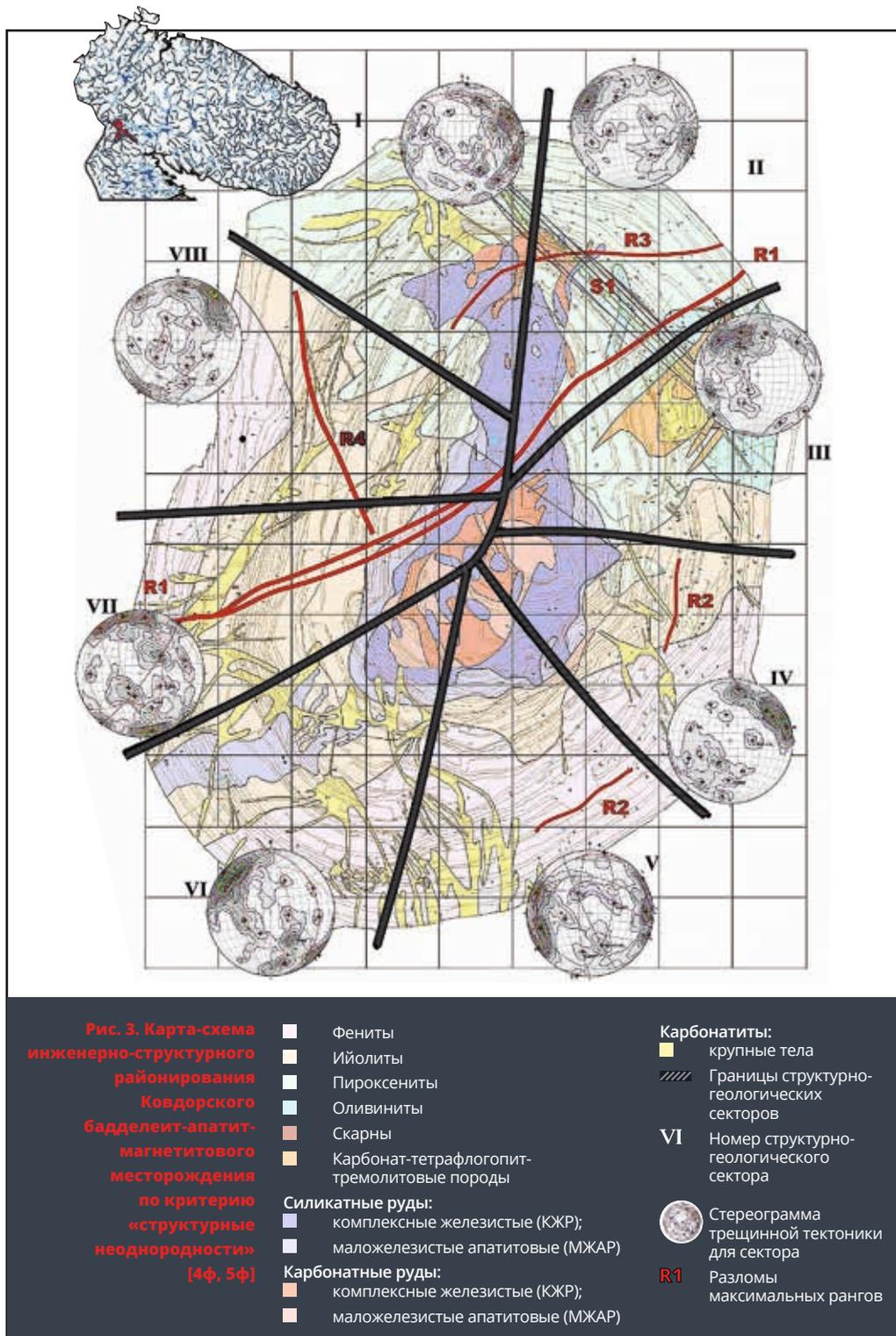
(от десяти до первых сотен тыс. м³).

Отмечается следующая вертикальная специализация деформаций. К приповерхностным разрушающим деформациям относятся осыпи, фильтрационные деформации, оплывание, выпор, поверхностная эрозия. Глубинные разрушающие деформации включают оползни, различные виды оплывины [1]. Наибольшую опасность представляют крупнообъемные участки с неустойчивым состоянием массива пород с возможностью реализации масштабных плоскостных или комбинированных обрушений группы уступов или всего борта в целом.

Из выявленных наиболее опасных (категории весьма опасных-опасных) структурных неоднородностей стоит отметить зоны фактически и возможных обрушений — оползней на В и ЮВ бортах карьера, приуроченных к соответствующим крупным ослабления / разрывным нарушениям. Они имеют значительную протяженность по простиранию и на глубину, геометризованы и заверены по результатам проводки многочисленных инженерно-геологических скважин. Остальные фактически проявленные нарушения целостности и формы уступов могут быть отнесены в зависимости

от масштабности к категориям опасные-менее опасные элементы.

Таким образом, по результатам проведения тематических исследований нами получена серия карт-слоев карт, характеризующих места проявлений и ранжирующих степень интенсивности по одному или более видам рассматриваемых процессов и/или явлений. Пространственное совмещение/наложение нескольких (наиболее интенсивно проявленных) опасных факторов в одном месте маркирует первоочередные участки для первоочередного внимательного рассмотрения вопроса о необходимости их закрепления. С целью упрощения принятия



Соответствие рекомендованных типовых способов крепления/стабилизации элементов конструкции карьера выявленным разновидностям структурных неоднородностей

№	Тип структурных неоднородностей	Рекомендованные типовые способы крепления, стабилизации и сохранения устойчивости конструкции карьера
1	Зона дезинтеграции пород (площадная и линейная кора выветривания)	Приведение склона к углу естественного откоса, проведение профилактических и склоноукрепительных мероприятий: перехвата и отвода грунтовых вод (осушение-дренаж вокруг объектов эрозии), засева склона растительностью, обустройства укрепительной обрешетки, закрепления поверхности склона проливкой специальных составов, забутовки оврагов и оползней скальной породой и др.
2	Нарушенная зона верхней части уступа и приконтурного массива	Сетчатая, пассивная анкерно-сетчатая и тросово-сетчатая крепь/завесы.
3	Зона развития мало- и среднеобъемных деформаций клиновидного и комбинированного типов	Активная (предварительно нагруженная) и/или пассивная анкерная (анкерно-штанговая и анкерно-тросовая крепь) с заведением замка за поверхность вглубь массива пород трещин на 3-5 метров.
4	Зона развития мало- и среднеобъемных деформаций плоскостного типа (нарушение устойчивости части уступа)	Групповое анкерное крепление предварительно нагруженными штангами (нагельми) с заведением замка за поверхность вглубь массива пород трещин на 3-5 метров и анкерами с тросовым или сеточным закреплением поверхности склона-уступа.
5	Протяженная «ослабленная» зона в виде ровной или волнистой плоскости (или пакета плоскостей), потенциально опасная с точки зрения реализации обрушения плоскостного типа в пределах уступа-нескольких уступов	Изменение конструкции карьера или групповое предварительно натяженное анкерно-тросовое (тяги), штанговое (анкерное) или свайное крепление с заведением замка за поверхность вглубь ненарушенного массива пород на 5, 8 и 10 м, дополнительно – варианты смоло-полимерного инъецирования – омоноличивания поверхности (-ей) разрывного нарушения.

таких решений был проведен поиск соответствий типовых вариантов и схем закрепления/стабилизации уступов для выделенных разновидностей инженерно-геологических осложнений (структурных неоднородностей). В первую очередь все объекты были классифицированы по уровню глубинности закрепляемого объекта (от поверхности уступа/склона) с выделением 3 основных типов:

- ближняя зона (до 3-6 м от контура);
- средняя зона (от 5 м до 15-18 м от контура);
- дальняя зона (от 20 м до 100-120 м от контура).

Этим группам соответствуют основные типы нуждающихся в закреплении/стабилизации объектов:

- приповерхностная площадная зона интенсивной дезинтеграции пород, линейные с штаффелитами зоны дезинтеграции пород и зоны тектонического дробления и катаклаза;
- техногенно нарушенная зона верхней части уступа и приконтурного массива;
- зоны интенсивного развития клиновидных и комбинированных мало- и среднеобъемных деформаций, опасных с точки зрения развития нарушения целостности/устойчивости части уступа;
- зоны развития плоскостных структурных элементов и отдельные крупные трещины — разрывные нарушения, опасные с точки зрения развития деформаций и обрушений уступов-групп уступов.

Таким образом, в соответствии с этими классификациями определено 5 групп объектов по целевому назначению закрепления во взаимосвязи с рекомендованными, оптимальными по достигаемому эффекту способами, средствами и технологией закрепления (см. таблицу). При этом были учтены: пространственное положение и морфология структурной неоднородности, границы и интенсивность проявления различных опасных геолого-геофизических процессов, глубина закрепляемой зоны, используемые материалы и методика крепления, объем возможной деформации, величины ожидаемого гравитационного давления и действующих сил в опасной



Основной продукцией Ковдорского горно-обогатительного комбината являются железная руда, апатитовый и бадделитовый концентраты

плоскости или поверхности и др. Например, для техногенно нарушенной трещиноватой приповерхностной зоны уступов целевым предназначением будет предотвращение вывалов и падений кусков/отдельностей породы, а для протяженной притертой плоскости, падающей под углом 33–60° в сторону карьерной выемки, в средней зоне дальности необходимо достичь закрепления вышележащего («висячего») блока (частично разбитого и дезинтегрированного) с мало нарушенной («подстилающей») частью массива пород. Очевидно, что для этих случаев применяемые

расчетные схемы, способы, техника и методы закрепления различаются принципиально: для приповерхностной разбитой части уступа целью является предотвращение смещения отдельных кусков и блоков относительно друг друга (сетчатая, анкерно-сетчатая или анкерно-тросовая завеса), а для плоскости — удержание подвешенной части массива пород за счет сил трения и прочности на растяжение и срез элементов крепи (анкерная пассивная или предварительно натяженная крепь с заведенными замками за поверхность структурной неоднородности).

Результаты проведенного инженерно-геологического и геомеханического районирования в целях оптимизации работ по закреплению/стабилизации уступов и участков борта выявили и ранжировали по интенсивности проявления опасные геолого-геофизические факторы, наметили первоочередные объекты для проведения специализированных работ с обоснованием целесообразности, важности и очередности выполнения мероприятий по закреплению/стабилизации. Также показана невозможность применения только одного типового технического решения

в масштабе всего карьера. При этом следует акцентировать внимание на факторе времени — своевременности принятия решения. В качестве примера показателен ЮВ участок борта карьера (см. R2 в секторе V на рис. 3), в отношении которого момент для разработки и осуществления мероприятий по закреплению был упущен по ряду объективных обстоятельств. К настоящему времени практически все интересующие уступы уже поставлены в конечное положение, препятствующее доступу людей и техники к необходимым горизонтам. Соответственно предприятие поставлено перед необходимостью внесения коррекции в действующий проект с частичным изменением конструкции элементов контура на этом участке. В противоположность этому в отношении подобной по масштабу и опасности крупной структурной неоднородности — разлома R2 (№ 62) на В борту (см.

сектор IV рис. 3) — еще сохранилась возможность разработки и реализации проекта по закреплению участка. Таким образом, заблаговременное проведение инженерно-геологического и геомеханического районирования позволяет повысить точность и обоснованность прогноза рисков нарушения устойчивости элементов конструкции карьера на различных этапах развития рудника, а также своевременно обосновать комплекс мероприятий по обеспечению безопасности горных работ. Тем самым у предприятия появляется реальная возможность для адекватной оценки и управления рисками за счет своевременного планирования и осуществления соответствующих мероприятий.

По результатам выполнения всех промежуточных стадий и операций, связанных с инженерно-геологическим и геомеханическим районированием в карьере рудника «Железный» ОАО «Ковдорский

К настоящему времени практически все интересующие уступы уже поставлены в конечное положение, препятствующее доступу людей и техники к необходимым горизонтам

ГОК», было выделено в рамках действующего проекта отработки 7 первоочередных объектов, для которых предложены рекомендации и типовые решения по техническим средствам и технологиям закрепления/стабилизации элементов конструкции карьера. В настоящее время исследование продолжается в направлении адаптации результатов к вариантам конечного контура нового проекта и к промежуточным опасным состояниям рабочих уступов.

Приведенные в настоящей статье результаты получены при финансовой поддержке грантов РФФИ 12064 офи_м (науч. рук. проф., д.т.н. А.А. Козырев) и РФФИ 12055 офи_м (науч. рук. акад. РАН Ф.П. Митрофанов), а также хозяйственных договоров НИР с ОАО «Ковдорский ГОК».

Список литературы и фондовых источников размещен в электронной версии журнала