

УДК 551.24.035, 622.271

**ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ* МАССИВОВ
СКАЛЬНЫХ ПОРОД В ЦЕЛЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ
НА ПРИМЕРЕ КОВДОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАГНЕТИТОВЫХ
И АПАТИТОВЫХ РУД. ЧАСТЬ 2**Д. В. Жиров¹, Г. С. Мелихова², В. В. Рыбин³, В. А. Сохарев⁴, С. А. Климов¹¹ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН²ОАО «Мурманская геологоразведочная экспедиция»³ФГБУН Горный институт КНЦ РАН⁴АО «Ковдорский ГОК»**Аннотация**

Вторая часть статьи описывает основные черты напряженно-деформированного состояния Ковдорского месторождения магнетитовых и апатитовых руд (карьера рудника «Железный») и методические аспекты инженерно-геологических и геомеханических исследований в целях проектирования и эксплуатации глубоких карьеров. Выполненные междисциплинарные изыскания позволили определить и протестировать комплекс инженерно-геологических и геомеханических исследований, а также мероприятий по мониторингу геологической обстановки в целях проектирования и безопасной эксплуатации глубоких карьеров. Потенциальные риски нарушения устойчивости и целостности уступов и борта карьера значительно снижаются за счет достижения принципиально лучшего по сравнению с традиционным подходом уровня информативности, детальности, точности и достоверности данных об инженерно-геологических, геомеханических и структурных параметрах во всем объеме приконтурного массива пород, вовлеченного в процесс проектирования. Это позволяет обоснованно и дифференцированно формировать конструкцию всех участков борта карьера с учетом их индивидуальных особенностей.

Ключевые слова:

глубокие карьеры, перепроектирование, геомеханический, поле напряжений, инженерный, месторождение, разломы, трещиноватость.

**PECULIARITIES OF THE ENGINEERING-GEOLOGICAL STUDIES
OF ROCK MASSIFS FOR DESIGNING/REDESIGNING DEEP OPEN PITS EXEMPLIFIED
WITH THE KOVDOR DEPOSIT OF MAGNETITE AND APATITE ORES (KOVODOR ALKALINE-
ULTRABASIC MASSIF, NE OF THE FENNOSCANDIAN SHIELD). PART 2**

Dmitry V. Zhiron, Galina S. Melikhova, Vadim V. Rybin, Victor A. Soharev, Sergey A. Klimov

¹Geological Institute of the KSC of the RAS²"MGRE" Stock Company³Mining Institute of the KSC of the RAS⁴"Kovdorsky GOK" Stock Company**Abstract**

The second part of the paper describes main features of the stress-strain state for the Kovdor baddeleyite-apatite-magnetite deposit (Kovdor ultramafic-alkaline intrusion, NE of the Fennoscandian shield) and procedural aspects of geotechnical and geomechanical studies aimed at design and mining of deep open pits. The interdisciplinary studies at the Zhelezny Mine of the Kovdor deposit have allowed designing and successive testing a complex geotechnical and geomechanical research method, as well as monitoring the geological setting

* Исследования выполнены рамках темы НИР № 0231-2015-0013.

in order to design and operate deep open pits. Potential risks of disturbing the stability and integrity of the open pit design can be reduced significantly by achieving a principally better level of detail, accuracy, information content, and reliability of data on geotechnical, geomechanical, and structural parameters in the whole bulk of the peripheral rock mass involved into the designing process as compared to the conventional approach. This allows for rational and differentiated creating the design of the open pit walls taking all their individual features into account.

Keywords:

deep open pits, redesign, geomechanical, stress field, engineering, deposit, faults, fissuring.

Основные черты разрывной тектоники и напряженно-деформированного состояния (НДС) Ковдорского месторождения магнетитовых и апатитовых руд

Для моделирования и прогнозирования опасных геофизических явлений, а также проектирования и безопасной эксплуатации месторождений необходимо знать параметры НДС массива пород, включая его абсолютные величины, ориентацию в пространстве главных осей и иерархию локальных флуктуаций – возмущений. Необходимо отметить, что практически все методы определения современного состояния НДС имеют дело с геомеханическим пространством рудника – измененной геологической средой, в которой исходное поле напряжений преобразовано в результате техногенного воздействия [1]. Соответственно, НДС в этом пространстве не тождественно таковому в геологической среде до начала отработки или за пределами зоны техногенного влияния. В то же время для любого метода численного моделирования, проектирования и прогноза в качестве граничных условий необходимы максимально достоверные и точные параметры исходного (неизмененного) современного НДС (региональной компоненты). Таким образом, остро встает вопрос о получении адекватной информации о пространственном положении и абсолютных значениях главных компонент (осей) современного регионального поля напряжений геологической среды и его флуктуациях, обусловленных природными структурными неоднородностями. Помочь этому призваны реконструкции палео- и современных (последних этапов) стресс-состояний по результатам анализа катакластических разрушений – трещиноватости и разрывной тектонике, которые, по сути, являются фактографической летописью эволюции предельных состояний НДС [2]. Такая реконструкция была выполнена для КММА (рис. 1).

Для реконструкции упомянутых тектонических напряжений массива пород КММА применялись и сопоставлялись результаты, полученные по следующим методам: сопряженных сколовых систем трещин М. В. Гзовского с модификациями [3], поясов В. Н. Даниловича – С. И. Шермана [4, 5], кинематическому методу О. И. Гущенко – Л. А. Сим [2, 6] и катакластического анализа Ю. Л. Ребецкого [7]. Результат считался кондиционным при условии его непротиворечивости данным геологии и результатам, полученным другими основными методами исследований, в том числе замерам параметров (НДС) методом разгрузки [8, 9] и деформационных наблюдений посредством нивелирования и светодальномерных измерений [8–10]. Восстановленное с учетом всех исходных данных современное положение δ_3 – субгоризонтальное с простиранием по азимуту $285\text{--}295^\circ/105\text{--}115^\circ$, что согласуется с гипотезой генерации регионального поля за счет рифтогенеза в Северной Атлантике [11].

Согласно выполненной реконструкции, начало первого и наиболее интенсивного этапа (А) синхронно внедрению рудно-карбонатитового штока. Для него характерна очень интенсивная тектоническая проработка вмещающего массива пород с весьма изменчивыми во времени и пространстве полями напряжений. Помимо этого этапа тектогенеза с образованием парагенезиса прототектонической трещиноватости, было восстановлено минимум три стресс-состояния со следующей последовательной сменой (транспозицией) положения главных осей: 1) δ_3 (максимальное сжимающее) – субгоризонтальное со склонением в $5\text{--}10^\circ$ на ЮЮЗ, δ_1 (минимальное) – субгоризонтальное с небольшим (в $10\text{--}15^\circ$) склонением в направлении ВЮВ; 2) δ_3 – слабонаклонное со склонением в $25\text{--}30^\circ$ на ЮВ, δ_1 – субвертикальное со склонением

под углом 65–70° на СЗ; 3) δ_3 – слабонаклонное со склонением в 30–25° на ВЮВ, δ_1 – субгоризонтальное с простиранием ЮЮЗ-ССВ [11]. Таким образом, в первом приближении получается последовательная смена следующих обстановок (по преобладающему характеру смещений): сдвиговое поле с осью сжатия СВ простирания → взбросовое поле с осью сжатия СЗ простирания → сдвиговое поле с осью сжатия СЗ простирания. Последнее стресс-состояние принимается близким по ориентации главных осей современного НДС неизменной геологической среды.

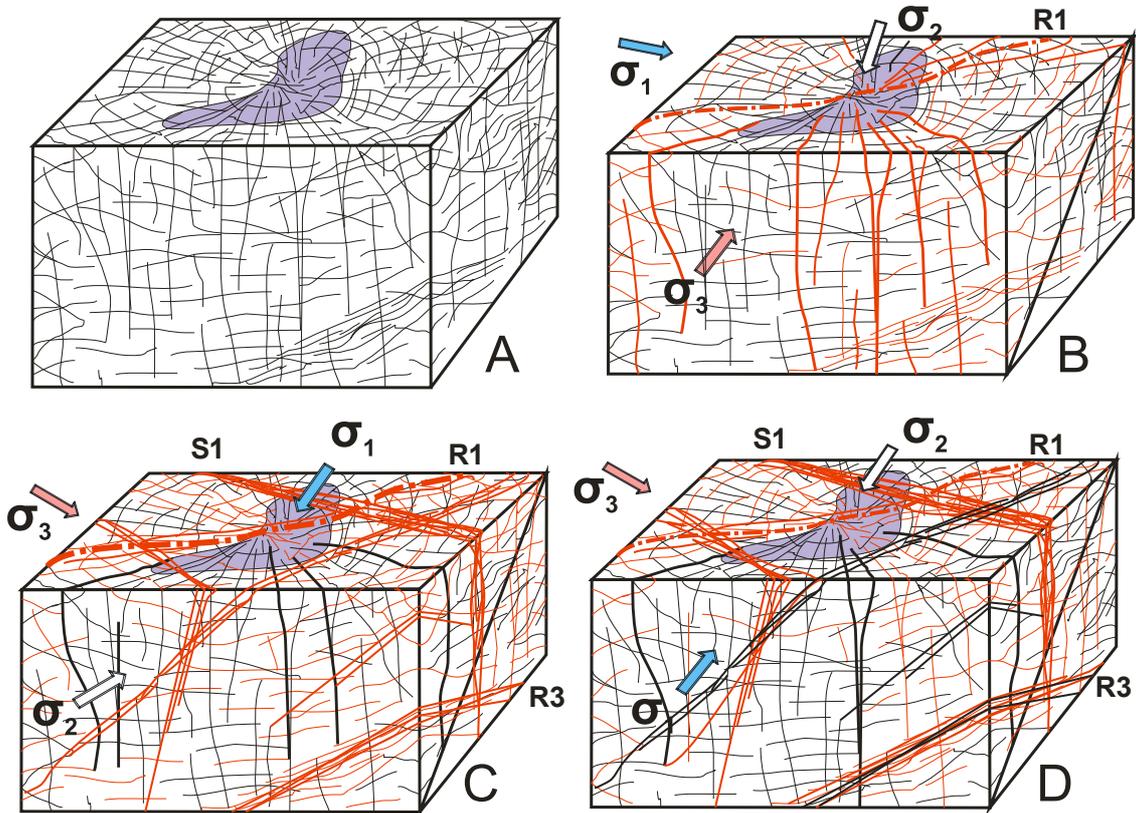


Рис. 1. Основные этапы эволюции трещинообразования массива пород Ковдорского бадделейт-апатит-магнетитового месторождения и реактивации мультикинематических дизъюнктивов. А → В → С → D – последовательность этапов/стадий разрывной тектоники с переиндексацией (транспозицией) осей главных напряжений, по [2]: А – стадия формирования парагенезиса прототектонической трещиноватости; В – стадия образования разлома R1 в сдвиговом (СВ простирания) с подчиненной взбросовой составляющей поле, формирование первых систем тектонических трещин и реактивация, внедрение даек поздних карбонатитов; С – постмагматическая стадия, соответствующая установленному тектонофизическими методами 1-му (взбросовому) полю напряжений; D – завершающий этап, соответствующая 2-му сдвиговому (СЗ простирания) полю напряжений $\delta_1 \geq \delta_2 \geq \delta_3$ (δ_3 – тах сжимающее)

Методические аспекты инженерно-геологических и геомеханических исследований массива пород месторождения в целях проектирования и эксплуатации глубоких карьеров

Следует особо подчеркнуть, что в условиях отсутствия или недостатка исходной информации любой проект карьера будет составлен с большим запасом прочности конструкции, в том числе с заниженными общими углами бортов. При этом, как показывает практика, такая перестраховка не гарантирует 100 %-го отсутствия проявлений опасных геологических процессов с развитием деформаций, обрушений и оползней. Поэтому следует акцентировать внимание на вопросах определения пространственных границ исследований и параметров разведочной сети, а также на методических аспектах инженерно-геологических изысканий.

В отношении границ исследований действующие инструкции рекомендуют проводить инженерно-геологическое изучение месторождения «на площади, в пределах которой возможно сдвижение бортов карьеров» [12, 13]. По опыту наших исследований это требование можно конкретизировать в соответствии со схемой на рис. 2. Главный акцент схемы – нижняя граница (глубина) проведения инженерно-геологического изучения, которая должна выходить за контур призмы возможного обрушения проектируемого карьера на 20–50 м.

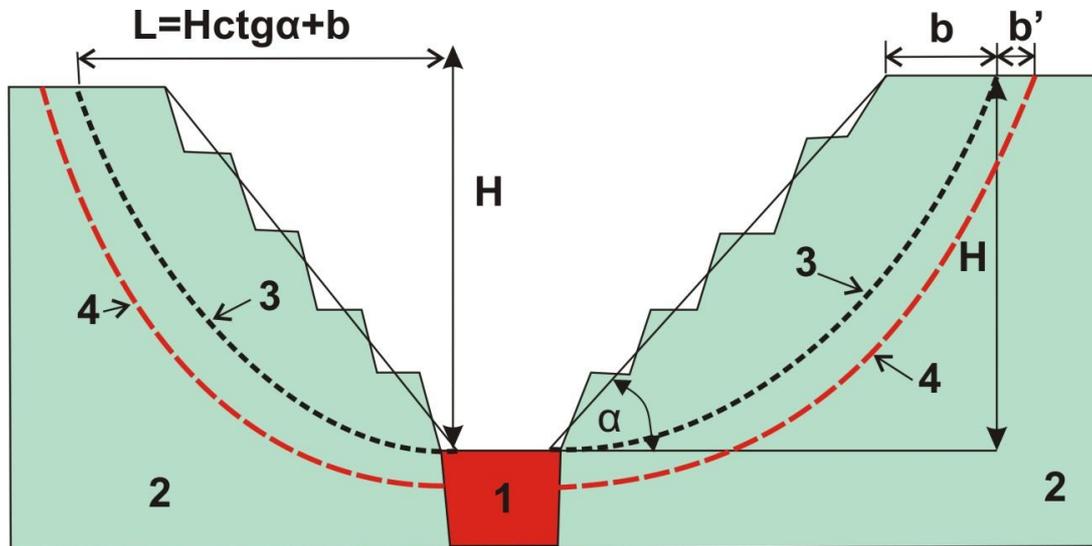


Рис. 2. Пространственные границы инженерно-геологического изучения:

1 – рудное тело; 2 – вмещающие породы; 3 – граница призмы возможного обрушения = граница инженерно-геологического изучения по [14]; 4 – скорректированная граница необходимого инженерно-геологического изучения с учетом возможности принятия оперативных решений/изменений проекта

Согласно схеме, расчет границ проведения инженерно-геологических работ осуществляется по формуле

$$L' = H \cdot ctg \alpha + b + b',$$

где L' – рекомендуемая граница проведения инженерно-геологических исследований, α – общий угол наклона борта, H – планируемая глубина отработки, b – ширина призмы возможного обрушения по поверхности = граница изучения по [14], b' – дополнительное приращение границ изучения для возможности принятия оперативных решений (в пределах 20–50 м).

Для определения детальности и параметров разведочной сети по опыту выполнения аналогичных работ необходимо придерживаться следующих правил:

- каждый расчетный разрез должен опираться на 2–4 инженерно-геологические скважины;
- количество расчетных разрезов, исходя из сложности геологического строения, определяет ответственный проектировщик;
- в случае обнаружения опасных структурных неоднородностей и областей развития опасных геологических (геофизических) процессов разведочная сеть сгущается до параметров 50×50 м и реже – до 25×25 м с целью надежного прослеживания и геометризации выявленных структур.

Рациональный комплекс и последовательность выполнения инженерно-геологических и геомеханических исследований, разработанный с учетом проведенного ранжирования (см. табл. 1), представлен в виде компонентно-организационной диаграммы на рис. 3. Главные акценты расставлены на структурных, инженерно-геологических, геомеханических исследованиях, а также на мониторинге сейсмомодинических явлений и деформационных процессов.



Рис. 3. Компонентно-организационная диаграмма комплекса инженерно-геологических и геомеханических исследований и наблюдений для обоснования проектирования глубокого карьера

Структурные и инженерно-геологические исследования района работ и массива пород месторождения проводятся стадийно, с последовательным уточнением и детализированием ключевых элементов и факторов на каждом из последующих этапов. На подготовительном этапе осуществляется выделение и анализ крупнейших (надранговых по отношению к месторождению/руднику) геолого-структурных элементов посредством дешифрирования аэро- и космодатаснимков (АФС и КФС), а также их сопоставление с геологическими картами разных масштабов и результатами геолого-геофизического изучения объекта исследований. Каждый из выделенных линеаментов и геоморфологических маркеров верифицируется на соответствие прямым (геологические границы и соотношения, результаты буровых и геофизических работ) и косвенным (особенности орогидрографии) признакам. Это позволяет осуществить разбраковку элементов тектоники по надежности и достоверности выделения.

Следующий шаг – документация и анализ геологического строения месторождения и его составных частей (рудных тел, зональности, выявленных разрывных нарушений и т. д.). В ходе выполнения полевых работ непосредственно в уступах карьера детально документируется трещиноватость, границы пород и инженерно-геологических литотипов, а также другие структурные неоднородности массива пород с пространственной привязкой (по трем координатам). Точная координатная привязка замеров позволяет использовать геоинформационные (ГИС) технологии для их визуализации, трассировки, анализа и прослеживания/увязки. С целью обеспечения максимальной информативности также используется методика многопараметрической документации и анализа [8, 15]. Для каждого структурного элемента с нарушением первичной сплошности массива пород (в том числе разлом,

дизъюнктивное нарушение, трещина, дайка и жильное образование, а также линзо-, дайко- или пластообразное геологическое тело постмагматической и/или пострудной стадии внедрения) документируются (включая моду, среднее и размах): азимутальные характеристики и их изменчивость по простиранию и падению, линейные параметры в горизонтальной и вертикальной составляющих, нормальная мощность трещин и жил, характер их выполнения и минерализации, расстояние по нормали до смежных трещин в одной системе, а также кинематические признаки смещений и/или деформаций. По результатам полевого этапа исследований в первом приближении проводится районирование массива пород. Анализ материалов по геологии и тектонике региона и месторождения с учетом данных по региональной сейсмичности и геоморфологии позволяет получить первые представления о региональном поле напряжений (палеонапряжений) и тенденции его развития. Все эти данные в совокупности ложатся в основу тектонической карты (карты-схемы) района и позволяют четко спланировать объемы и виды инженерно-геологических работ, а также параметры сети наблюдений (мониторинга, станций разгрузки и т. д.).

Основным методом получения фактографической информации по законтурному массиву пород служит бурение инженерно-геологических скважин с отбором ориентированного керна, опытно-фильтрационные работы и геофизические исследования в скважинах (ГИС). Комплекс исследований включает собственно проходку скважин, документацию керна в цифровом виде (фото, графика и электронные таблицы), координатную и азимутальную привязку всех структурных элементов, типовой комплекс ГИС для данного вида полезных ископаемых, опытно-фильтрационные работы, акустическое сейсмопрофилирование между отдельными стволами скважин, опробование и проведение специальных физико-механических и геомеханических лабораторных исследований и 3D-моделирование. 3D-модель предоставляет возможность увязки всех координатно привязанных данных, а также их интерпретации и анализа на принципиально новом качественном уровне.

В лабораторных условиях проводятся испытания ориентированных образцов с получением специальных характеристик пород (пределы прочности на сжатие, растяжение и срез, сцепление по плоскости ослабления, модули упругости Юнга и Пуассона и др.), используемых в моделировании НДС и расчетах устойчивости уступов и бортов карьера.

Важным блоком технологического комплекса работ по получению исходных данных для проектирования глубоких карьеров являются геомеханические исследования. Они подразделяются на проводимые *in situ*, лабораторные испытания и расчетно-аналитические (моделирование). Непосредственно в карьере проводятся инструментальные измерения действующих в массиве пород напряжений методом разгрузки в варианте торцевых измерений (рис. 4). Накопленная статистика таких измерений по Кольскому региону свидетельствует о том, что тектоническая компонента напряжений в подавляющем большинстве случаев превышает максимальные расчетные значения по гравитационной составляющей за счет вышележащих пород [8, 9].

Результаты обобщения и анализа замеров НДС массива пород карьера на руднике «Железный», эксплуатирующего КММА, представлены на рис. 5. Рисунок подтверждает тезис о значительной изменчивости и флуктуациях НДС на локальном уровне. Для ряда участков есть возможность оценить динамику изменения параметров НДС в зависимости от времени (срок экспозиции/выветривания). Наилучшим образом это иллюстрирует участок деформации (обрушения) юго-восточного борта карьера, где последовательно в разное время, по мере постановки уступов в конечное положение, были выполнены замеры на четырех станциях наблюдения (НС), заложенных в горизонтальных скважинах. Графики замеров параметров объединены на рис. 6 в одном линейном масштабе. Три верхних НС имеют последовательное понижение на одинарный уступ (12–15 м) и, соответственно, характеризуются различной глубиной и временем экспозиции/выветривания тектонической зоны (разница в постановке уступов от нескольких месяцев до нескольких лет). При этом специфика заложения скважин предусматривает для наблюдательных станций НС-45, НС-7 и НС-7а соизмеримые условия

(бурение от поверхности разрывного нарушения вглубь массива, т. е. вглубь за тектоническую зону), а для НС-18 – иные условия (ствол скважины находится выше рассматриваемой поверхности основного разрывного нарушения).

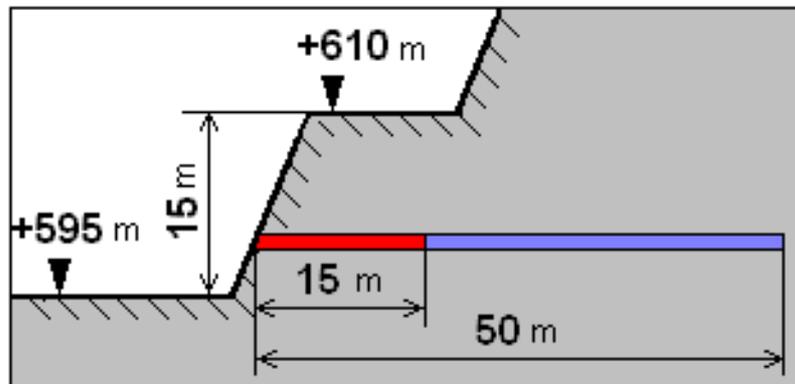


Рис. 4. Типовая конструкция станции по измерению параметров НДС породного массива методом разгрузки; общая длина скважины – 50 м, участок измерений методом разгрузки – 15 м

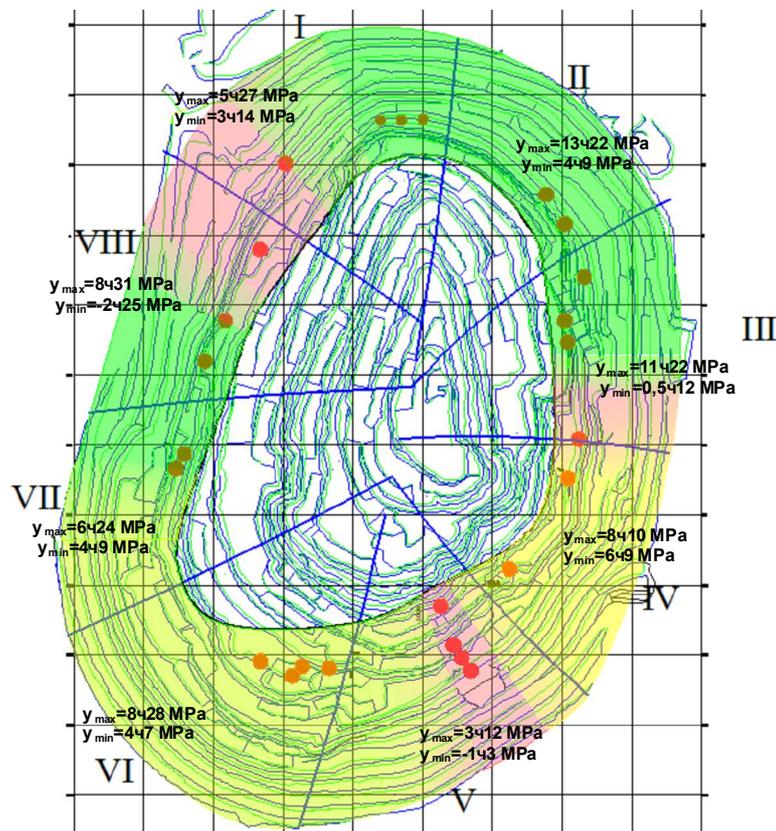


Рис. 5. Районирование карьера рудника «Железный» по величинам действующих напряжений с учетом геолого-структурных особенностей строения массива горных пород, по [9]:

I–VIII – инженерно-геологические секторы; красные точки – места заложения наблюдательных станций; зеленый цвет – наиболее благоприятные зоны, с точки зрения действующих в массиве пород напряжений; желтый – менее благоприятные зоны; красный – наименее благоприятные зоны

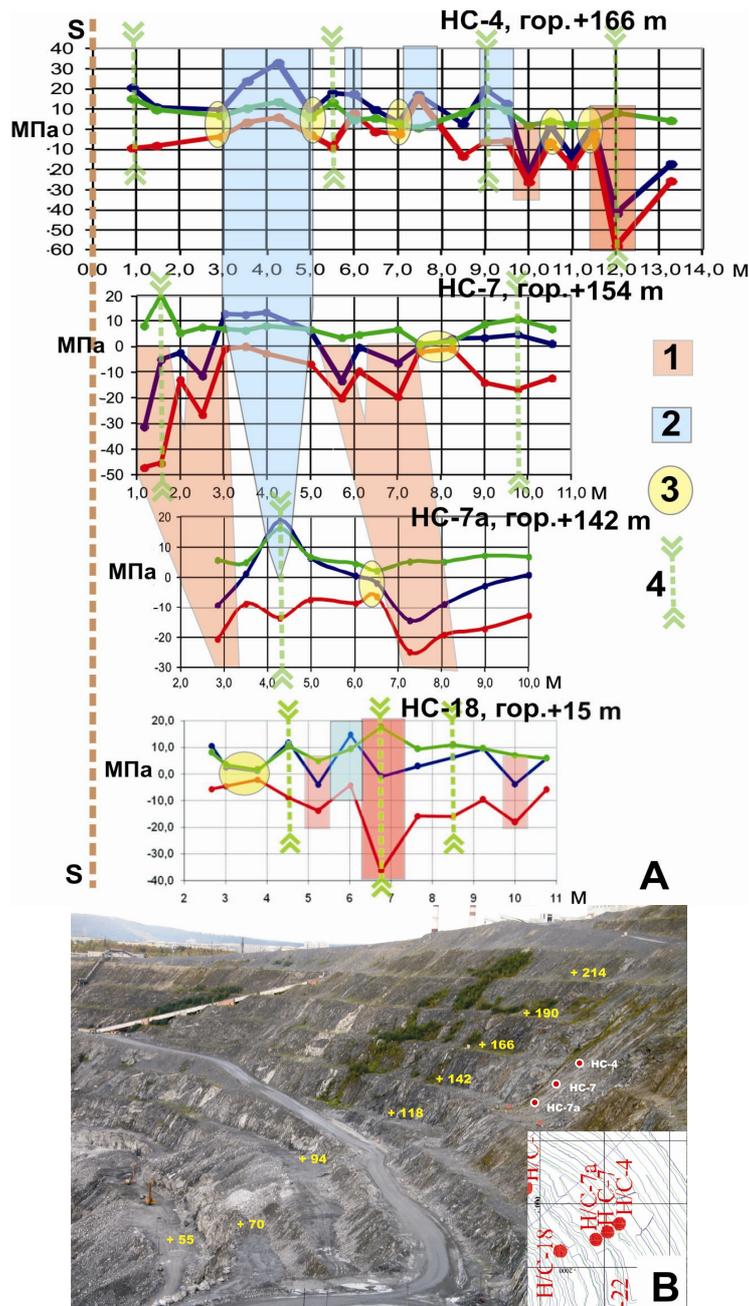


Рис. 6. Сопоставление параметров НДС по разным НС на юго-восточном борте карьера (А): красная линия – максимальная компонента главных напряжений (отриц. знач.); синяя линия – минимальная компонента главных напряжений (положит. знач.); зеленая – касательные напряжения; линия S-S – поверхность карьера; 1 – зона сжатия (значения НДС превышают расчетные; 2 – зона растяжения (значения растягивающего напряжения превышают сжимающее); 3 – зона разгрузки (значения максимального и минимального напряжений и разница между ними стремятся к нулю; 4 – точки замеров максимальных касательных напряжений (от 10 до 20 МПа). Места заложения НС (В)

По результатам анализа результатов измерения мы видим (рис. 6) следующие отличительные особенности структуры поля напряжений в прибортовом массиве:

- верхняя наблюдательная станция (НС-4) – скважина на гор. +166 м показывает самое контрастное поле напряжений с преобладанием состояния «обстановка трехосного растяжения».

Имеются многочисленные пики (4 шт.) растягивающего напряжения до 30 и более МПа, а также многочисленные (6 шт.) пики максимальных касательных напряжений (≥ 10 МПа), а на расстоянии более 11 м от поверхности – мощная зона сжатия (40–60 МПа). Также весьма многочисленны замеры (5 шт.), показывающие условно разгруженное состояние массива пород, когда максимальное и минимальное напряжения и соответственно разница между ними стремятся к нулю. Мы интерпретируем такую картину более длительным по отношению к другим станциям временем экспозиции/разгрузки и более близким расположением станции наблюдения к приповерхностной зоне дезинтеграции/выветривания;

- станции наблюдения НС-7 и НС-7а показывают более однородное поле с преобладанием обстановки умеренного трехосного сжатия, а также меньшее количество пиков максимальных касательных напряжений (≥ 10 МПа). При этом максимальная зона растяжения (в интервале 3–5 м от поверхности) коррелируется/увязывается по всем трем скважинам, а зоны сжатия – только в более «свежих» и удаленных от дневной поверхности станциях НС-7 и НС-7а. В этих же скважинах мы видим всего по одному замеру, соответствующему условно разгруженному состоянию массива пород, и от одного до трех состояний с максимальными касательными напряжениями выше 10 МПа. На станции НС-7а – единственной из рассматриваемых – отмечен замер, характеризующийся одновременным увеличением и растягивающего (преобладающее по значению), и сжимающего напряжения (замер на интервале 4.2 м);

- станция наблюдения НС-18 – самая «свежая» и глубокая от поверхности – пробурена на горизонте +15 м. Она имеет преобладающее состояние трехосного сжатия, однако при этом отмечается более контрастная структура поля напряжений по сравнению со станциями НС-7 и НС-7а. Авторы настоящей статьи объясняют это нахождением измеряемой зоны над поверхностью основного разрывного нарушения.

Таким образом, общее представление о структуре поля напряжений в прибортовом массиве пород должно базироваться на следующих положениях:

- изменчивость НДС в пространстве и во времени (с постепенным развитием негативной тенденции);
- увеличивающаяся со временем под воздействием агентов выветривания и в ходе разгрузки массива пород контрастность (неоднородность) структуры поля напряжений;
- наличие контрастных, разнознаковых состояний поля напряжений вблизи структурно нарушенных зон.

Полученные структурные и инженерно-геологические данные, результаты экспериментального определения параметров НДС массива пород методом разгрузки в варианте торцевых измерений, сейсмомониторинга карьерного поля и мониторинга деформаций и нарушений устойчивости уступов обобщаются и интегрируются в геоинформационную систему, чтобы стать основой для геомеханических расчетов и построения численных моделей различной детальности и наполнения. Математическое моделирование осуществляется методом конечных элементов в упругой постановке в среде программного комплекса Sigma3D, разработанного в Горном институте КНЦ РАН [1]. Программа позволяет задать адекватные исследуемому объекту граничные условия по напряженному состоянию, учесть структурные неоднородности различного иерархического уровня и подробно смоделировать конфигурацию рельефа и геометрию очистных пространств.

Заключение

При помощи рассмотренного комплекса инженерно-геологических и геомеханических исследований методом последовательных приближений создается универсальная геомеханическая и инженерно-геологическая модель массива пород месторождения и рудника. Для нее определяются важнейшие параметры для проектирования/перепроектирования глубоких карьеров:

- локализованные и геометризованные в 3D-модели разломы, разрывные нарушения с опасным для устойчивости уступа и борта в целом залеганием, зоны ослабления, выветривания, дезинтеграции и другие структурные неоднородности;
- напряженно-деформационное состояние пород, включая ориентацию главных осей напряжения и их абсолютные значения;
- физико-механические и геомеханические свойства пород, включая плотность, объемный вес, угол внутреннего трения, прочность сцепления, коэффициент структурного ослабления, V_p , V_s , модуль E , коэффициент Пуассона и др.;
- гидрогеологические характеристики – обводненность пород, положение уровня подземных вод и фильтрационные свойства.

Все эти данные в совокупности с результатами других исследований формируют необходимую и достаточную базу для обоснованного повариантного моделирования и проектирования конструкции карьера в целом, в особенности – потенциально опасных участков с учетом всех их индивидуальных особенностей. Адекватность полученных моделей реальному объекту, а также динамика изменения исходных параметров в процессе разработки месторождения контролируется результатами постоянного комплексного интегрированного мониторинга региональной и локальной сейсмичности, деформаций уступов и гидрогеологического режима. Таким образом, заблаговременное выполнение предложенного комплекса инженерно-геологических и геомеханических исследований создает информационную базу для системы поддержки управленческих решений, позволяющую обосновать:

- проектные и оперативные решения при эксплуатации глубоких горизонтов крупнейших месторождений стратегических полезных ископаемых;
- безопасность ведения горных работ, надежный прогноз мест возможных обрушений и деформаций бортов и уступов карьеров, а также своевременную разработку мер противодействия опасным геолого-геофизическим явлениям и процессам за счет изменения конструктивных параметров (контура, геометрии уступов и горизонтов и т. п.) и/или реализации мероприятий по укреплению уступов;
- рациональное использование недр, т. е. повышение степени извлечения стратегических полезных ископаемых за счет строительства глубоких и сверхглубоких карьеров для эксплуатации глубоких горизонтов.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность за помощь и организационно-техническую поддержку руководству АО «Ковдорский ГОК», сотрудникам геологического отдела комбината и службы мониторинга устойчивости уступов. Замеры параметров и анализ НДС природно-технической системы КММА выполнены в рамках гранта РНФ 14-17-00751 (научный руководитель – проф., д. т. н. А. А. Козырев).

ЛИТЕРАТУРА

1. Закономерности перераспределения полей напряжений при формировании глубокой карьерной выемки // Материалы докладов Третьей тектонофизической конференции «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле», Москва, 8–12 октября 2012 г. / И. Э. Семенова [и др.]; ИФЗ РАН. М., 2012. Т. 2. С. 326–330. 2. Сим Л. А., Жиров Д. В., Маринин А. В. Реконструкция напряженно-деформированного состояния восточной части Балтийского щита // Геодинамика и тектонофизика. 2011. Т. 2, № 3. С. 219–243. 3. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М., 1975. 536 с. 4. Данилович В. Н. Метод поясов в исследованиях трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. Иркутск: Изд-во Иркут. политехн. ин-та, 1961. 47 с. 5. Шерман С. И. О потенциальной способности глубинных разломов к магмоконтролирующей деятельности // Вестник научной информации Забайкал. отд-ния Геогр. о-ва СССР. Чита, 1966. № 5. С. 16–24. 6. Гущенко О. И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений в литосфере. М., 1979. С. 7–25. 7. Ребецкий Ю. Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: ИКЦ Академкнига, 2007. 406 с. 8. Методические основы технологии эффективного и безопасного освоения глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых открытым способом / А. А. Козырев [и др.] // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 4. С. 644–653. 9. Рыбин В. В., Губинский Н. О., Данилов И. В. Опыт определения напряженного состояния прибортового массива пород на карьерах Кольского полуострова // Современная тектонофизика.

Методы и результаты: материалы совещания. М.: ИФЗ РАН, 2009. С. 34–37. **10.** Козырев А. А., Рыбин В. В., Каспарьян Э. В. Особенности развития геомеханических процессов в массивах пород глубоких карьеров // ГИАБ, 2015. № 4. С. 32–39. **11.** Жиров Д. В., Мелихова Г. С., Климов С. А. Инженерно-структурное районирование массива пород Ковдорского месторождения бадделеит-апатит-магнетитовых и маложелезистых апатитовых руд как основа для проектирования крутых бортов карьера // Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли – формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов: сб. докл. всерос. науч.-техн. конф. Апатиты: КНЦ РАН, 2014. Т. 1. С. 92–103. **12.** Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1986. 172 с. **13.** Инженерно-геологические, гидрогеологические и геоэкологические исследования при разведке и эксплуатации рудных месторождений / сост. В. И. Кузькин [и др.]. М.: РИЦ ВИМС, 2002. **14.** Фисенко Г. Л., Пустовойтова Т. К., Кагермазова С. В. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий угольных месторождений, подлежащих разработке открытым способом. Л.: Недра, 1986. 113 с. **15.** Комплексная методика инженерно-структурных исследований и мониторинга геомеханического состояния массива пород в целях проектирования и эксплуатации глубоких карьеров / Д. В. Жиров [и др.] // Современная тектонофизика. Методы и результаты: материалы совещания. М.: ИФЗ РАН, 2011. Т. 1. С. 100–109.

Сведения об авторах

Жиров Дмитрий Владимирович – начальник отдела инноваций Геологического института КНЦ РАН
E-mail: zhirov@geoksc.apatity.ru

Мелихова Галина Сергеевна – главный гидрогеолог ОАО «МГРЭ»
E-mail: melihovags@mgre.ru

Рыбин Вадим Вячеславович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Горного института КНЦ РАН
E-mail: rybin@goi.kolasc.net.ru

Сохарев Виктор Александрович – главный геолог АО «Ковдорский ГОК»
E-mail: Viktor.Sokharev@eurochem.ru

Климов Сергей Андреевич – ведущий инженер Геологического института КНЦ РАН
E-mail: klim-sa@yandex.ru

Author Affiliation

Dmitry V. Zhirov – Head of the Innovation Department of the Geological Institute of the KSC of the RAS
E-mail: zhirov@geoksc.apatity.ru

Galina S. Melikhova – Chief Hydrogeologist of the "MGRE" Stock Company
E-mail: melihovags@mgre.ru

Vadim V. Rybin – PhD (Eng.), Leading Researcher of the Mining Institute of the KSC of the RAS
E-mail: rybin@goi.kolasc.net.ru

Victor A. Sokharev – Chief Geologist of the "Kovdorsky GOK" Stock Company
E-mail: Viktor.Sokharev@eurochem.ru

Sergey A. Klimov – Leading Engineer of the Geological Institute of the KSC of the RAS
E-mail: klim-sa@yandex.ru

Библиографическое описание статьи

Жиров Д. В. Особенности инженерно-геологического изучения массивов скальных пород в целях проектирования глубоких карьеров на примере Ковдорского месторождения магнетитовых и апатитовых руд. Часть 2 / Д. В. Жиров [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2016. – № 1. – С. 19–29.

Reference

Zhirov D. V. Peculiarities of the Engineering-Geological Studies of Rock Massifs for Designing/Redesigning Deep Open Pits Exemplified with the Kovdor Deposit of Magnetite and Apatite Ores (Kovdor Alkaline-Ultrabasic Massif, NE of the Fennoscandian Shield). Part 2 / D. V. Zhirov [et al.] // Herald of the Kola Science Centre of the RAS. – 2016. – Vol. 1. – P. 19–29.