



Горное дело

УДК 622.831.32

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УДАРООПАСНОСТИ ТЕКТОНИЧЕСКИ НАРУШЕННОГО РУДНОГО МАССИВА НА ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТАХ НИКОЛАЕВСКОГО ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Д.В.СИДОРОВ¹, М.И.ПОТАПЧУК², А.В.СИДЛЯР²

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Предметом исследования является напряженно-деформированное и удароопасное состояние рудного массива Николаевского полиметаллического месторождения, формируемое под влиянием сложных горно-геологических и горно-технических факторов. Цель работы – установление особенностей формирования техногенных полей напряжений на месторождении, характеризующемся блочным строением, сложной тектонической структурой и наличием большого объема выработанных пространств. Выполнено объемное геодинамическое моделирование напряженно-деформированного состояния горного массива на различных этапах отработки глубоких горизонтов месторождения путем последовательного наращивания информации по структуре, свойствам и геодинамическому состоянию массива горных пород. Оценка характера изменения напряжений с учетом влияния гипсометрии, конфигурации краевой части, физико-механических свойств рудной залежи и вмещающих пород, наличия тектонических нарушений выполнена с использованием разработанных численных алгоритмов, средств автоматизации исходных данных и программного обеспечения «PRESS 3D URAL». Выполненное моделирование позволило установить, что тектонические нарушения в массиве приводят к качественному изменению напряженно-деформированного состояния на отдельных участках рудного массива и в целиках, а именно: снижению напряжений вдоль тектонических нарушений и их росту в близлежащих целиках. Выявленные особенности распределения напряжений в тектонически нарушенном горном массиве Николаевского месторождения позволяют заблаговременно выделить потенциально удароопасные участки как на этапе планирования горных работ, так и в процессе эксплуатации, а также разработать эффективные противоударные мероприятия для повышения безопасности разработки месторождения. Полученные результаты исследований могут быть использованы на предприятиях, имеющих аналогичные горно-геологические и горно-технические условия разработки.

Ключевые слова: тектоника; геомеханическое состояние; напряженно-деформированное состояние; горное давление; удароопасность; целик; геодинамическое моделирование; горные породы

Как цитировать эту статью: Сидоров Д.В. Прогнозирование удароопасности тектонически нарушенного рудного массива на глубоких горизонтах Николаевского полиметаллического месторождения / Д.В.Сидоров, М.И.Потапчук, А.В.Сидляр // Записки Горного института. 2018. Т. 234. С. 604-611. DOI: 10.31897/PMI.2018.6.604

Введение. Месторождения Дальневосточного региона почти повсеместно характеризуются сложным геологическим строением, тектонической нарушенностью, разнообразием условий залегания рудных тел и физико-механических свойств пород, наличием в горных массивах высоких гравитационно-тектонических напряжений. Дополнительные проблемы создает выборочная выемка руды из-за крайне неравномерного распределения запасов в недрах. Активизация геодинамических процессов обычно происходит с переходом на глубокие горизонты и увеличением объемов выработанных пространств, что существенно влияет на устойчивость подрабатываемых массивов и земной поверхности, напряженное состояние целиков и обнажений выемочных камер, а также создает дополнительные предпосылки для формирования условий для проявления горных и горно-тектонических ударов. Особую опасность представляют горно-тектонические удары, которые сопровождаются сильным сотрясением массива, не редко приводящие к разрушению значительного числа выработок и очистных камер, обрушению целиков, снижая безопасность ведения горных работ. К одной из основных причин горно-тектонических ударов относят тектоническую нарушенность горного массива [4, 13, 14].

Большая глубина ведения горных работ, сложная блочная структура недр с активными разрывными нарушениями, высокая удароопасность залежей и значительные площади выработанных пространств с оставленными целиками создают условия для формирования на локальных участках массива горных пород энергоактивных зон. Геодинамическая природа аварийности ставит своей задачей более детальное изучение НДС рудопородного массива на участках разработки месторождения разного масштабного уровня.

В настоящее время накоплен значительный опыт управления удароопасным состоянием массива горных пород, прогнозирования разрушения горных выработок и элементов горных



конструкций (целиков различного назначения) и предотвращения горных ударов. Способы прогнозирования и профилактики горных ударов зависят от масштаба решаемой задачи и относятся к локальному или региональному уровню.

Обзор действующих нормативных документов, обеспечивающих безопасные условия разработки удароопасных месторождений, показывает, что определение степени удароопасности выработок или элементов горных конструкций осуществляется преимущественно локальными методами прогноза удароопасности. Специалисты рудника для прогнозирования удароопасности применяют геомеханические или геофизические методы или (в отдельных случаях) комплекс методов прогноза. Геомеханические методы прогнозирования, применяемые в настоящее время на рудниках России, главным образом базируются на результатах оценки параметров дискования керна в результате бурения прогнозных скважин и (или) вдавливания пуансонов в стенки скважин (МГД); геофизические – на результатах регистрации сейсмических сигналов. Практический опыт показывает, что локальные методы прогнозирования удароопасности являются эффективными преимущественно при выявлении очагов повышенного горного давления в краевых частях выработок на глубину до 5 м.

Для прогнозирования удароопасности на большую глубину используют данные региональных сейсмологических геофизических наблюдений, позволяющих оценить зоны разрушения в массиве горных пород в результате производства горных работ. Для принятия технических решений по планированию горных работ в удароопасных условиях на рудниках строят карты сейсмической активности очистных блоков в изолиниях и совмещают последние с планами горных работ. Непрерывные сейсмологические геофизические наблюдения за сейсмической активностью в очистных блоках осуществляет отдел автоматизированного сейсмического контроля горного давления (АСКГД) рудника. Данные сейсмического контроля позволяют также оценить напряженное состояние в окрестности очага разрушения и установить наличие, характер и параметры подвижек в блочном массиве горных пород. Достоинством регионального метода прогноза удароопасности является непрерывность экспериментальных наблюдений за проявлением горного давления в режиме реального времени и возможность проследить эволюцию активизации деформационных процессов в горном массиве во времени. В то же время метод регионального прогноза удароопасности не лишен недостатков: невозможность корректного прогнозирования горно-тектонических ударов по аппаратурным данным в связи с низкой эффективностью прогноза сейсмических явлений высокого энергетического уровня.

Для профилактики горных и горно-тектонических ударов на рудниках применяется комплекс разгрузочных мероприятий согласно требованиям нормативных документов, в целом обеспечивающий устранение опасных очагов концентраций напряжений в массиве горных пород.

Постановка проблемы. Проблема прогноза опасных геодинамических явлений весьма актуальна на Николаевском полиметаллическом месторождении – самом глубоком из разрабатываемых в Дальневосточном регионе, характеризуется сложной тектонической структурой, значительным объемом выработанных пространств (более 4 млн м³) и глубиной горных работ (более 800 м) [1]. За время эксплуатации месторождения отмечены многочисленные случаи динамических проявлений горного давления, в результате которых месторождение было отнесено к категории опасных по горным ударам с глубины ниже горизонта – 120 м (вертикальная глубина около 600 м).

Литологический комплекс руд и вмещающих пород Николаевского месторождения: плащеобразные залежи и линзы инфильтрационных скарнов, приуроченные к контакту известняков с перекрывающими вулканитами; сложные тела, приуроченные к отторгнутым от основного горизонта глыбам известняков; протяженные жилы и прожилково-вкрапленные зоны, локализованные в покровах вулканитов верхнего этажа – обладают высокими прочностными и деформационными характеристиками и способностью к накоплению потенциальной энергии упругого сжатия хрупкому разрушению в динамической форме [5]. Вся площадь месторождения разбита на три основных структурных блока (северный, центральный и западный) крутопадающим субширотным разломом (85-90 град. на юго-восток) и северо-западной тектонической зоной (почти вертикальной), отнесенным к структурам первого порядка. Выраженное блоковое строение поля месторождения сформировано и определяется также протяженными крутопадающими разрывными тектоническими нарушениями субмеридионального простирания (ТН-1, ТН-2, ТН-3 с углами падения 70-85 град.), сложными дайковыми телами северо-западного направления и поло-



гими нарушениями. Отдельные структурные блоки под воздействием природных и техногенных полей напряжений способны смещаться в подработанном массиве в сторону отработанных пространств, создавая при этом высокие динамические нагрузки в массиве, приводящие к проявлениям горного давления в динамической форме [2, 7, 12].

С 2016-2017 г. горные работы на Николаевском месторождении ведутся в районе следующих очистных блоков рудной залежи «Восток-1»: блок «Север-8» в этаже –375 и –420 м; блок 45 в этаже –380 и –420 м; блок Нижний на гор. 420 м, а также в районе рудной залежи «Харьковская»: блок 7 в этаже –323 и –348 м, блок Крайний ниже гор. 327 м. За последний год более 35 % объемов добычи руды обеспечивалось за счет отработки рудной залежи «Харьковская». По результатам анализа геомеханической и горно-технической обстановки было установлено, что отдельные участки этой рудной залежи представляют потенциальную удароопасность. Кроме этого, системой АСКГД «Prognoz-ADS» в районе ведения горных работ данной рудной зоны отмечается достаточно высокий уровень акустической активности [3]. Несмотря на региональный прогноз удароопасности, который позволяет в целом отслеживать тенденции развития удароопасной обстановки при отработке очистных блоков в блочном массиве горных пород, количественные критерии для оценки опасности горно-тектонических ударов данным методом отсутствуют. В связи с этим необходима прогнозная оценка напряженного и удароопасного состояния рудного массива при отработке участков рудной залежи «Харьковская» в этаже –323 м в зоне влияния тектонических нарушений (ТН) с применением программного комплекса «PRESS 3D URAL», позволяющего заблаговременно определить значения напряжений в рудном массиве по мере продвижения фронта работ и разработать безопасные технические решения по обеспечению геодинамической безопасности горных работ в удароопасных условиях.

Методология. Методическое обеспечение по прогнозированию и предотвращению горных и горно-тектонических ударов должно удовлетворять уровню (масштабу) решаемой задачи.

Основным методом прогноза удароопасности блочного массива горных пород является метод геодинамического районирования недр, позволяющий уточнять геологическое строение и выделять в массиве горных пород потенциально опасные для горного производства тектонически напряженные зоны (ТНЗ) и геодинамически опасные зоны (ГОЗ), или зоны риска. При этом ГОЗ пространственно связаны с ТНЗ. Увеличение градиента нарастания опорного давления в краевой части рудной залежи и целиках приводит к активизации подвижек на плоскостях сместителей тектонических нарушений в ТНЗ и, как следствие, к росту геодинамической опасности при входе горных работ в ГОЗ.

Исследования по обеспечению геодинамической безопасности горных работ проводятся с учетом принципа – «от общего к частному» на основе данных объемной геодинамической модели, включающей информацию по структуре, свойствам и геодинамическому состоянию массива горных пород. Горно-геодинамическая модель позволяет анализировать протекавшие и протекающие геодинамические процессы на месторождениях, а дополнительная горно-геологическая и горно-техническая информация – конкретизировать положение и структуру ГОЗ с учетом параметров горных работ. Конечная цель геодинамического районирования достигается в результате последовательной разработки блочной (геолого-структурной), геодинамической и горно-геодинамической модели месторождения (шахтного поля или его участка).

Проблема эффективного применения существующего программного обеспечения связана со сложностью создания исходной информационной геолого-структурной модели рудной залежи. В основном это требует совокупного учета в геолого-структурной модели следующих геоинформационных данных: элементов залегания и формы элементов рудной залежи, а также широкого диапазона свойств расчетных элементов, включающих геометрические параметры (ширину, длину, высоту), физико-механические свойства руд (пород), параметры тектонических нарушений и профилактические мероприятия. В связи с этим для выполнения прогнозной оценки напряженно-деформированного и удароопасного состояния рудного массива и целиков с совокупным учетом сложного геологического строения залежи «Харьковская», конфигурации краевой части выработанных пространств и целиков, физико-механических свойств руды и породы, наличия тектонических нарушений целесообразно использовать программное обеспечение «PRESS 3D URAL» [9].

Для прогнозирования удароопасности краевой части рудной залежи (целиков) принят надежный энергетический показатель удароопасности, разработанный ВНИМИ:

$$\eta_{уд} = \left| K_{int,p} / K_{int,доп} \right|,$$

где $K_{int,p} = \sqrt{2\pi r} (\sigma_{z,p}(x_p, y_p) - 1) \gamma H$ – коэффициент интенсивности напряжений, характеризующий влияние нагружающей системы на краевую часть рудной залежи, МПа $\sqrt{м}$; r – радиус расчетного рудного элемента, расположенного на границе с выработанным пространством, м; $\sigma_{z,p}(x_p, y_p)$ – дополнительное напряжение в расчетном элементе рудной залежи, определяемое с применением программного обеспечения «PRESS 3D URAL»; γ – средний объемный вес пород, т/м³; H – глубина разработки, м; $K_{int,доп} = 1,4\sigma_{сж} f(M/E_n) \sqrt{m/2}$ – коэффициент интенсивности напряжений, характеризующий сопротивление краевой части рудной залежи действующим нагрузкам, МПа $\sqrt{м}$; $\sigma_{сж}$ – предел прочности руды на сжатие, МПа; m – мощность рудной залежи, м; $f(M/E_n)$ – известная табулированная функция; $M = 0,5E_p$ – модуль спада руды (породы) на запредельной части диаграммы деформирования, МПа; E_p – модуль упругости руды, МПа; E_n – модуль упругости породы, МПа.

Программный комплекс «PRESS 3D URAL» включает реализацию трех основных блоков (рис.1):

1) обработка исходной геологической и технической документации с созданием базы исходных данных объектов: геометрических размеров (ширины, длины и высоты подготовительных выработок, камер и целиков), расположения в 3D-пространстве очистных камер (выработок различного назначения) и несущих рудопородных элементов (рудная залежь, целики различного назначения), физико-механических свойств пород кровли очистных камер и выработок различного назначения, а также рудопородных элементов, параметров тектонических нарушений и граничных условий (рис.2);

2) численно-аналитический расчет;

3) обработка результатов для визуализации и анализа.

Фактической основой для создания объемной модели рудообразующей системы послужил геологический материал в виде равномерной системы взаимоувязанных разрезов. В итоге объемная модель охватывает интервал месторождения по вертикали 300 м, между абсолютными отметками –220 и –520 м. Залегающие в этом объеме залежи контактово-инфильтрационных руд относят к двум типам: сложные пласто- и плащеобразные тела значительных размеров, залегающие в эндо- и экзоконтакте крупной пластины известняков и оконтуренные условно «нижними метасоматитами»; рудные тела сложной морфологии, приуроченные к разрозненным более мелким глыбам известняков, образующих шлейф среди пород основания разреза вулканитов верхнего структурного этажа, оконтуренного чехлом «верхних метасоматитов».

При построении геолого-структурной объемной модели учитывался тот факт, что в формировании архитектуры рудно-метасоматической системы Николаевского месторождения решающую роль сыграл литологический фактор – разновеликие обломки известняков, окруженные силикатной средой, а также их конфигурация и положение в пространстве. При этом главной физико-механической неоднородностью геологической среды рудного поля здесь выступает крупная пластина известняков (олистолит), морфологические особенности которой определили общую структуру месторождения и направление ее активизации в современный период.

При количественном описании ТН-месторождений (вид, тип, элементы залегания, угол внутреннего трения и сцепления пород шва нарушения) использована классификация ВНИМИ, учитывающая характер распределения напряжений у плоскости сместителя тектонического на-

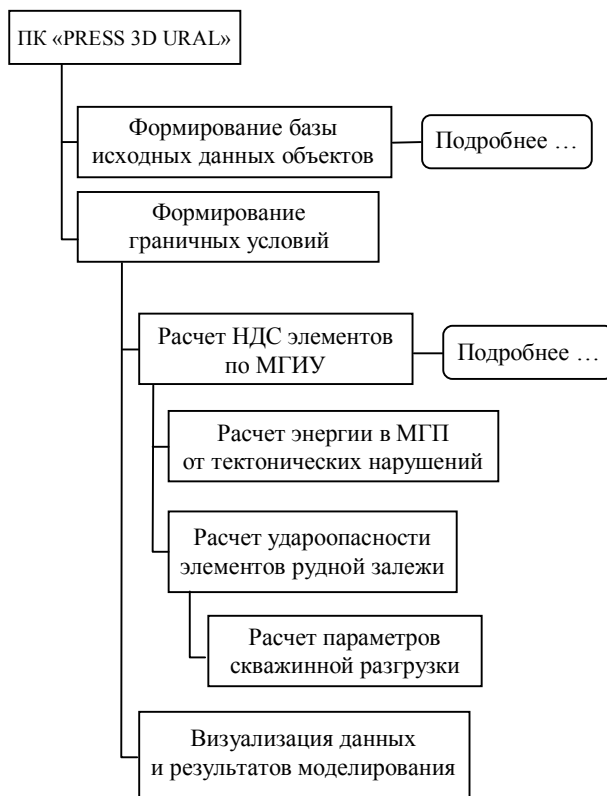


Рис.1. Алгоритм оценки удароопасности рудного массива блочного строения с применением ПО «PRESS 3D URAL»

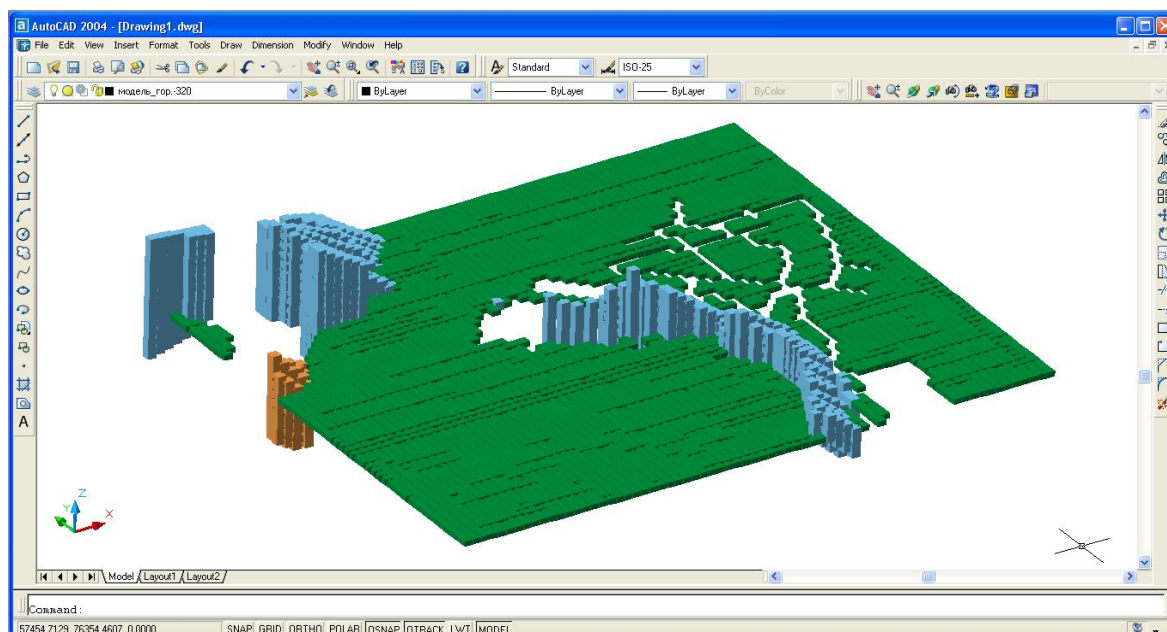


Рис.2. Формирование элементов, принадлежащих рудопородному массиву и горным выработкам

рушения. При этом классификация наряду с напряженным состоянием учитывает и геологическое строение массива в зоне влияния разрывных нарушений, по которому визуально определяется тип нарушения и вид напряженного состояния.

Согласно Указаниям по безопасному ведению горных работ на Николаевском и Южном месторождениях (ОАО «ГМК «Дальполиметалл»), опасных по горным ударам 2008 г. [10, 11], тектонические нарушения, как правило, имеют крутое падение ($70-90^\circ$), характеризуются зонами повышенной трещиноватости и пустотами («продушинами») мощностью до 10-20 м и представляют полосы брекчированных и интенсивно перекристаллизованных известняков, в которых также развиты «продушины». Данные тектонические структуры в соответствии с классификацией ВНИМИ относятся ко II типу и отличаются наличием зоны разгрузки непосредственно у дизъюнктива. За зоной разгрузки в обоих крыльях располагаются переходные зоны, в пределах которых уровень напряжений постепенно повышается. Далее следуют зоны повышенных концентраций напряжений. Геологическими признаками нарушений данного типа в зоне разгрузки является развитая зона дробления шириной 2 м и более. Зона дробления представлена дезинтегрированными несвязанными обломками пород, или обломками, скрепленными мягким пластичным заполнителем (глиной, сланцами и т.д.). Возможно также наличие выветрелых пород, интенсивно разбитых трещинами. Мощность шва составляет 10 см и более. При этом встречаются случаи, когда шов нарушения раскрыт. Часто наблюдается обводненность шва, затыг пород по плоскости дизъюнктива. В рудной залежи зона разгрузки характеризуется также появлением слабой пластичной разновидности руды. В переходных зонах возможно наличие повышенной трещиноватости. В зонах повышенных напряжений породы более плотные и крепкие. При численных расчетах жесткость рудопородных элементов, находящихся непосредственно в окрестности сместителя тектонического нарушения II типа, задается пониженными модулями упругости $E_{т.н} = (1/20) \cdot 51500 \text{ МПа} = 2575 \text{ МПа}$.

Значения нагрузок на почве очистных выработок (граничные условия) непосредственно зависят от взаимодействия кровли и почвы рудной залежи. Для учета влияния этого взаимодействия вводится параметр сдвига. Граничные условия для напряжений, снимаемых с почвы выработки в элементах выработанного пространства за пределами зоны полных сдвижений, принимаются равными единице.

При $\eta_{уд} \geq 1,0$ наблюдается неустойчивость в краевой части рудной залежи, характеризующая ее удароопасное состояние. Для заблаговременного прогнозирования перехода потенциально опасных участков (желтый цвет) в опасные (красный цвет) принята следующая цветовая градация: зеленый при $\eta_{уд} < 0,7$; желтый $0,7 \leq \eta_{уд} < 1,0$ и красный $\eta_{уд} \geq 1,0$ [8] (рис.3, 4).

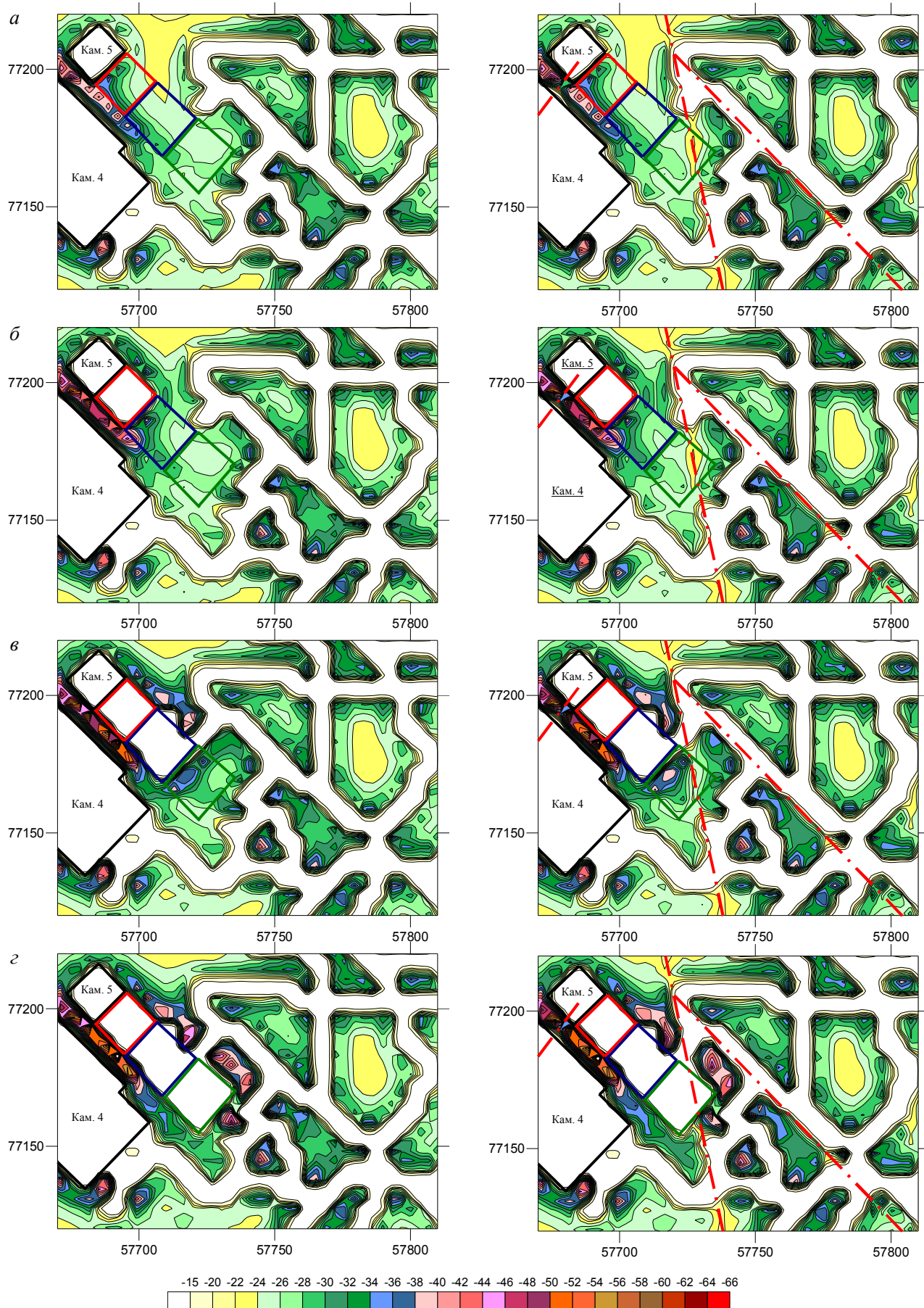


Рис.3. Распределение нормальных напряжений в рудо-породных элементах при развитии очистных работ на гор. -323 м, МПа: без учета влияния ТН (слева) и с учетом влияния ТН (справа):

а-г – этапы I-IV соответственно

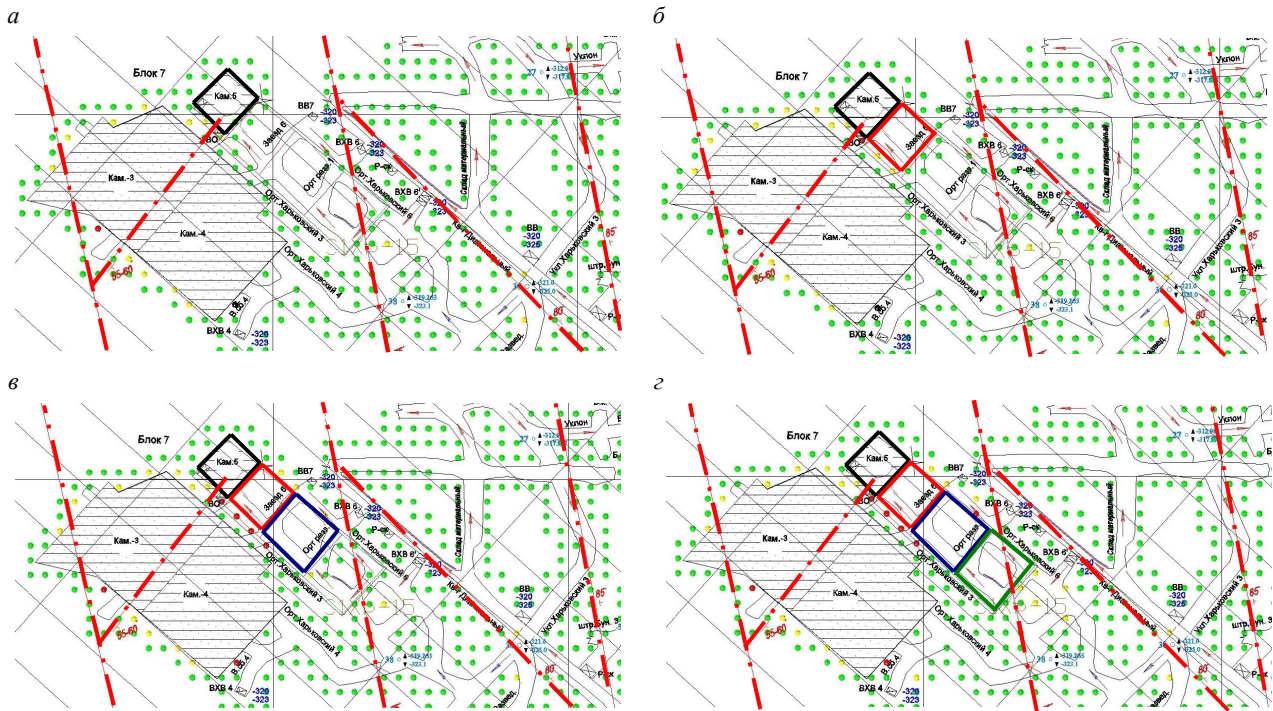


Рис.4. Прогнозное распределение показателя удароопасности при отработке запасов камеры № 5 в рудопородных элементах в проекции на гор. –323 м (с учетом влияния ТН):

а-г – этапы I-IV соответственно

Результаты исследования. Для наиболее эффективного и безопасного планирования горных работ при отработке блока 7 рудной залежи «Харьковская» в этаже –323 м выполнено объемное геодинамическое моделирование, в результате которого были получены данные для оценки влияния ТН на уровень напряжений в процессе последовательной отработки камеры 5 блока 7, а также потенциальной удароопасности конструктивных элементов применяемой системы разработки на этом участке.

При построении объемной геодинамической модели исследуемого участка была сформирована база исходных данных объектов горных выработок и ТН в несколько этапов: привязка плана горных работ к маркшейдерским координатам; задание размеров ячеек электронной сетки (размеров расчетных элементов); покрытие участка сеткой расчетных элементов; выбор элементов, принадлежащих рудопородному массиву (зеленый цвет – рис.2). Элементы, принадлежащие горным выработкам (ортам-заездам, штрекам, очистным блокам и др.), не выделяются (прозрачные). Затем формируется база данных расчетных элементов в несколько этапов: рудопородных элементов для расчета НДС; элементов, принадлежащих выработкам различного назначения с граничными условиями в виде значений напряжений, снимаемых с почвы выработок; тектонических нарушений.

Изменение характера распределения и дополнительных нормальных сжимающих напряжений, действующих в расчетных элементах, принадлежащих плоскости горизонта –323 м по мере подвигания очистного фронта работ, без учета и с учетом влияния ТН показало, что наличие ТН в массиве приводит к качественному изменению НДС массива. Вдоль ТН наблюдается снижение напряжений на 20 % от исходных, а напряжения в близлежащих целиках, напротив, возрастают на 4-6 МПа (рис.3).

Анализ результатов численного моделирования в виде распределения показателя удароопасности при последовательной отработке камеры 5 блока 7 на гор. –323 м позволил выявить участки массива с повышенными концентрациями напряжений. До начала отработки камеры 5 формируется область повышенных концентраций напряжений с юго-западной стороны камеры 3 между очистным пространством камеры 3 и тектоническими нарушениями (рис.4, а).

Последовательная отработка камеры приводит к формированию междукамерного целика, концентрации напряжений в котором возрастают пропорционально увеличению выработанного пространства и достигают критических значений на конечной стадии отработки (рис.4, а). Кроме того, в зону высоких концентраций напряжений попадают подготовительные выработки, прохо-



дящие вдоль обрабатываемой камеры – орт Харьковский 3 и орт Харьковский 6. После третьего этапа отработки в районе участка, где происходит сопряжение вентиляционной сбойки 4 и очистной камеры 4, показатель удароопасности более единицы, что говорит о потенциальной удароопасности данного участка (рис. 4, в).

Заключение. Объемная геодинамическая модель на основе разработанного программного комплекса «PRESS 3D URAL» позволила установить особенности формирования техногенного поля напряжений в рудопородном массиве по мере отработки участка рудной залежи «Харьковская» с учетом влияния сложной конфигурации рудных залежей, выработанного пространства и тектонической структуры. Последовательная отработка камеры 5 очистного блока 7 приводит к формированию потенциально удароопасных участков, к которым относятся междукамерный целик, формируемый между обрабатываемой камерой 5 и выработанным пространством камер 3 и 4, подготовительные выработки, проходящие вдоль обрабатываемой камеры – орт Харьковский 3 и орт Харьковский 6, сопряжение вентиляционной сбойки 4 и очистной камеры 4.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-00018).

ЛИТЕРАТУРА

1. Геодинамическое состояние массива пород Николаевского полиметаллического месторождения и особенности проявления удароопасности при его освоении / И.Ю.Рассказов, Б.Г.Саксин, В.И.Усиков, М.И.Потапчук // Горный журнал. 2013. № 10. С. 6-10.
2. Карта современной геодинамики Азии / К.Г.Леви, С.И.Шерман, В.А.Саньков и др. Масштаб 1: 5000000 / ИЗК СО РАН. Иркутск, 2007.
3. Рассказов И.Ю. Геоакустические предвестники горных ударов // Вестник Дальневосточного государственного технического университета. 2011. № 3-4. С. 121-143.
4. Рассказов И.Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. М.: Изд-во «Горная книга», 2008. 329 с.
5. Рассказов И.Ю. Моделирование геомеханических процессов при отработке Николаевского месторождения, опасно го по горным ударам / И.Ю.Рассказов, М.И.Потапчук, Г.М.Потапчук // Вестник ТОГУ. 2010. № 2. С. 75-84
6. Региональные геодинамические особенности рудных районов Забайкалья и Дальнего Востока России / Б.Ф.Шевченко, Б.Г.Саксин, Г.З.Гильманова, М.М.Довбнич // ГИАБ. 2013. № ОВ4. С.49-60.
7. Саксин Б.Г. Принципы комплексного изучения современного напряженно-деформированного состояния верхних уровней земной коры Амурской литосферной плиты / Б.Г.Саксин, И.Ю.Рассказов, Б.Ф.Шевченко // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 2. С. 53-66.
8. Сидоров Д.В. Применение автоматизированного программного комплекса «PRESS 3D URAL» для прогнозирования удароопасных зон и параметров заблаговременной скважинной разгрузки рудной залежи и целиков в сложных геомеханических условиях // Записки Горного института. 2013. Т. 204. С. 284-293.
9. Сидоров Д.В. Геомеханическое обеспечение камерно-столбовой системы разработки удароопасных месторождений Североуральского бокситового бассейна на больших глубинах: Автореф. дис... д-ра техн. наук / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2016. 44 с.
10. Указания по безопасному ведению горных работ на Николаевском и Южном месторождениях (ОАО «ГМК «Дальполиметалл»), опасных по горным ударам / И.Ю.Рассказов, Г.А.Курсакин, В.Н.Черноморцев, С.П.Осадчий и др. / ИГД ДВО РАН. Хабаровск, 2008. 64 с.
11. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам». Утвер. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2 декабря 2013 г. № 576 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2014. № 22. 78 с.
12. Ханчук А.И. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: В 2-х кн. Владивосток: Дальнаука, 2006. Т.2. 572 с.
13. A new tectonic discontinuity in the Betic Cordillera deduced from active tectonics and seismicity in the Tabernas Basin / C.S.Galdeano, S.Shanov, J.Galindo-Zaldívar, A.Radulov, G.Nikolov // Journal of Geodynamics. 2010. Vol. 50, Iss. 2. P. 57-66.
14. Marcak H. Seismic activation of tectonic stresses by mining / H.Marcak, G.Mutke // J. Seismol. 2013. Vol. 17. № 4. P. 1139-1148.

Авторы: Д.В.Сидоров, д-р техн. наук, профессор, sidorov@spmi.ru (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), М.И.Потапчук, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, potapchuk-igd@mail.ru (Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия), А.В.Сидляк, младший научный сотрудник, alex-igd@mail.ru (Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия)

Статья поступила в редакцию 21.06.2018.

Статья принята к публикации 02.08.2018.