

УДК 662.831.32

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ
ЮЖНО-ХИНГАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ РУД**

И. Ю. Рассказов, Б. Г. Саксин, М. И. Потапчук, В. И. Усиков

*Институт горного дела ДВО РАН,
ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия*

Приведены результаты геомеханических исследований по оценке потенциальной удароопасности массива горных пород Южно-Хинганского месторождения марганцевых руд (участок “Поперечный”), находящегося на начальной стадии освоения. Выполнено геодинамическое районирование и изучены горно-геологические, горнотехнические условия разработки месторождения, определены параметры физико-механических свойств вмещающих пород и руд. Методами численного моделирования оценено напряженное состояние массива горных пород на различных стадиях отработки месторождения. Установлена склонность нижней части Южно-Хинганского месторождения к горным ударам.

Горно-геологические условия разработки, геодинамическое районирование, горные породы, физико-механические свойства, напряженно-деформированное состояние, математическое моделирование, система разработки, целики, удароопасность

При подземной разработке месторождений твердых полезных ископаемых одной из наиболее сложных является проблема предотвращения горных ударов, внезапных выбросов угля, породы и газа и других динамических явлений [1 – 4]. Известно, что наиболее эффективное решение этой проблемы достигается на стадиях проектирования и строительства горных предприятий, когда существует возможность заблаговременно предусмотреть комплекс региональных и локальных профилактических мер, резко снижающих опасность динамических проявлений горного давления.

В связи с этим была поставлена и решена задача оценки склонности к горным ударам Южно-Хинганского месторождения марганцевых руд, осваиваемого в настоящее время. Месторождение расположено на территории Октябрьского района Еврейской автономной области в южной части Буреинского срединного массива на стыке крупных современных морфологических элементов региона: Среднеамурской рифтогенной впадины и Буреинского хребта. В структурном отношении рудное поле месторождения приурочено к Самарской синклинали зоне, сложенной метаморфизованными осадочными породами протерозойско-нижнекембрийского возраста. Эта зона входит в состав крупного Кимканского прогиба. Район месторождения

характеризуется сложной складчато-чешуйчатой структурой с четкой субмеридиональной упорядоченностью пликативных и дизъюнктивных дислокаций. На западной и восточной периферии рудного поля осадочные толщи прорваны плитообразными межформационными телами гранитов и дайками диабазов каледонского возраста [5–7].

Южно-Хинганское месторождение сформировано в условиях мелководного морского бассейна в депрессиях дорудного карстового рельефа и изначально представляло собой единый стратифицированный рудоносный объект. В настоящее время на уровне современного эрозионного среза оно имеет вид разобщенных тектоническими подвижками фрагментов, которые выполнены тремя вытянутыми в меридиональном направлении полосами, отстоящими друг от друга на 2–5 км. Каждая полоса, в свою очередь, расчленяется на несколько рудных участков. Анализ региональных материалов показал, что на блоковую и разломную структуру месторождения решающее влияние оказали процессы мезокайнозойской активизации региона, которые охватили его территорию при формировании Хингано-Яуринской вулканической зоны и Среднеамурской рифтогенной впадины.

Основные запасы Южно-Хинганского месторождения сосредоточены на участке “Поперечный”, который представляет собой линейный рудоносный блок шириной 40–80 м (в среднем 50 м) и длиной 240 м, содержащий крутопадающий рудовмещающий горизонт, разбитый поперечными и продольными разломами на блоки более высокого ранга. Рудные тела — крутопадающие маломощные пластообразные залежи, которые прослеживаются по простиранию на сотни метров. Залежи в большинстве случаев выдержаны, но встречаются пережимы, раздувы, а также выклинивания (рис. 1). Рудный горизонт расчленен разломами на крупные и мелкие блоки, смещенные друг относительно друга до 100 м. Размеры блоков по высоте 10–150 м, по длине 100–1000 м (преобладают 100–200 м). По содержанию марганца и железа рудный горизонт разделяется на два пласта: нижний марганцеворудный и верхний железорудный. Общая мощность рудного горизонта колеблется в пределах 25–35 м. Мощность марганцеворудного пласта составляет 2–9 м (средняя 3.5 м), железорудного пласта — 18–25 м.

Исследования физико-механических свойств пород и руд Южно-Хинганского месторождения показали (таблица), что практически все они (за исключением слоистых и сланцеватых доломитов) достаточно прочные (предел прочности на одноосное сжатие изменяется от 82.3 до 174 МПа и высокоупругие (модуль Юнга 72.5–98.6 ГПа). Особенно прочные породы — кремнистые и плотные доломиты, кремнистые сланцы и руда с магнетитовыми микрокварцитами. Большое количество кремнезема в породах и рудах характеризует их как весьма хрупкие (показатель хрупкости для всех типов пород и руд месторождения превышает 15), способные накапливать значительную потенциальную энергию и разрушаться в динамической форме.

Установлена значительная вариация прочностных и упругих параметров пород внутри групп, связанная с разнообразием их литологического состава. Негативным фактором является то, что все горные породы (F_1 , F_2 , F_3), в пределах которых планируется очистная выемка, почти в 2 раза прочнее, чем окружающие их M_2 и L . Это приведет к более высокому уровню напряжений на участках массива горных пород, где будут вестись основные горные работы. Полученные данные дают основания считать горные породы и руды Южно-Хинганского месторождения склонными к горным ударам.

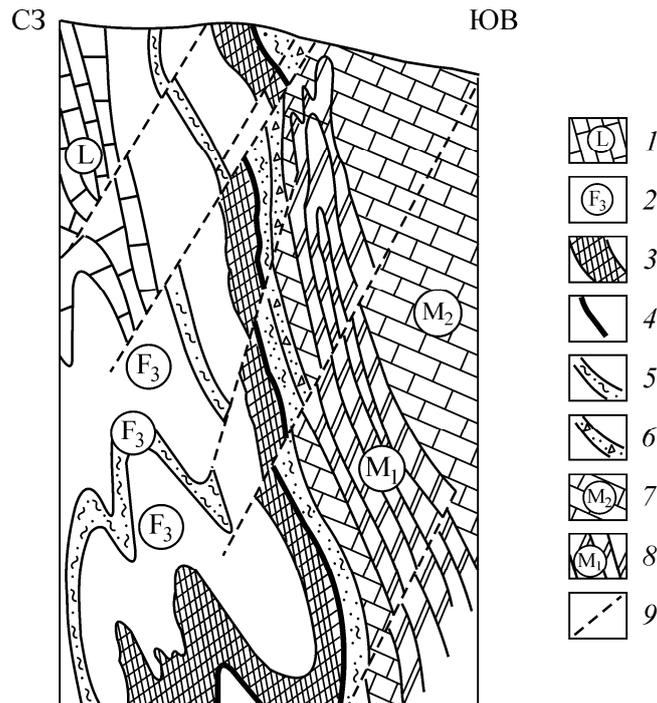


Рис. 1. Геологический разрез через Центральный блок участка “Поперечный” Южно-Хинганского месторождения [6]: 1–6 — терригенно-карбонатные отложения нижнего-среднего кембрия: 1 — лондоковская свита (L): черные известняки с пачками углисто-глинистых и кремнисто-глинистых сланцев в основании; 2–6 — рудоносная свита: 2 — надрудный горизонт (F₃): глинистые, углисто-глинистые и кремнисто-глинистые сланцы с прослоями доломитового песчаника; 3–4 — рудный горизонт: железорудный пласт (F₂), магнетитовые, магнетит-гематитовые микрокварциты с линзами брекчий (3); слоистая браунит-родохрозит-гаусманитовая руда (4); 5–6 — подрудный горизонт (F₁): доломитовые песчаники с кремнисто-глинистыми сланцами (5); седиментационные доломитовые брекчии (6); 7–8 — мурандавская свита (M): терригенно-карбонатные отложения верхнего протерозоя – нижнего кембрия: слоистые и сланцеватые доломиты с прослоями различных сланцев (7); кремнистые доломиты, плотные доломиты (8); 9 — тектонические нарушения

Параметры физико-механических свойств пород участка “Поперечный” Южно-Хинганского месторождения

| Группа пород по стратотипу | Порода | Плотность, 10 ³ кг/м ³ | Предел прочности при одноосном сжатии, МПа | Коэффициент Пуассона | Модуль Юнга, ГПа |
|--|--|--|--|-------------------------------|--------------------------------|
| L (лондоковская свита) | Черные битуминозные массивные и плитчатые известняки | $\frac{2.42 \div 2.91}{2.71}$ | $\frac{24.9 \div 120.9}{82.3}$ | $\frac{0.30 \div 0.54}{0.43}$ | $\frac{60.9 \div 89.9}{72.5}$ |
| F ₃ (рудносная свита – надрудный горизонт) | Углисто-глинистые и кремнисто-глинистые сланцы с доломитовыми песчаниками | $\frac{2.7 \div 3.48}{2.96}$ | $\frac{29.4 \div 248.1}{112.1}$ | $\frac{0.21 \div 0.37}{0.28}$ | $\frac{41.5 \div 106.1}{74.6}$ |
| F ₂ (рудоносная свита – рудный – железорудный горизонт) | Руда с магнетитовыми микрокварцитами и хлорит-доломитовыми брекчиями | $\frac{2.62 \div 3.77}{3.22}$ | $\frac{25.1 \div 120.6}{98.4}$ | $\frac{0.13 \div 0.47}{0.28}$ | $\frac{39.2 \div 111.2}{75.3}$ |
| F ₁ (рудоносная свита – подрудный горизонт) | Кремнистые и углисто-глинистые сланцы, доломитовые брекчии и песчаники с прослоями | $\frac{2.60 \div 2.84}{2.75}$ | $\frac{28.6 \div 222.1}{121.0}$ | $\frac{0.19 \div 0.33}{0.26}$ | $\frac{52.5 \div 98.8}{74.4}$ |

Примечание. Порядок групп в таблице соответствует их позиции в геологическом разрезе участка. В знаменателе приведены средние значения показателей.

Для оценки напряженного состояния верхней части земной коры в районе разработки месторождения выполнено его геодинамическое районирование, включающее: комплексную морфо-структурную интерпретацию разномасштабных топографических карт и объемный анализ современного рельефа земной поверхности; целевой анализ радарных снимков (srtm30, srtm3) с построением соответствующих неотектонических карт; обобщение сведений о региональном природном фоне напряженно-деформированного состояния геосреды [8, 9]. Комплексный подход позволил выявить кинематику разноранговых разломов и блоков последних этапов развития территории, определить вертикальные и горизонтальные неотектонические перемещения, а также современную активность тектонических элементов разного масштабного уровня.

По результатам морфометрического анализа установлено, что Южно-Хинганское месторождение располагается в пределах регионального линейного блока субмеридиональной ориентировки в зоне интенсивных вертикальных перемещений земной коры, выраженных в современном рельефе. Кроме того, месторождение находится на периферии кольцевой сводовой структуры, положение которой контролируется узлом пересечения крупных диагональных и ортогональных систем разломов. В пределах участка “Поперечный” выделяются три тектонических блока (рис. 2). Наиболее протяженный Центральный блок характеризуется устойчивым падением рудного горизонта на восток. Северное окончание блока интенсивно нарушено поперечными северо-западными разломами. Южный блок отличается наибольшей тектонической нарушенностью вмещающих пород и рудного горизонта и является наиболее геодинамически активным, поскольку пространственно совпадает с узлом сочленения крупных систем линейных меридионального, северо-западного и широтного направлений. Северный блок имеет неустойчивое в плане положение рудного горизонта на разных глубинах.

На схеме блочного строения (см. рис. 2) приведены полученные ранее данные о параметрах полей региональных напряжений и деформаций по исследуемому и соседним районам [9–11]. Описанные подвижные блоки имеют сдвиговую кинематику, интенсивность которой нарастает на юг, что хорошо увязывается с общим направлением дрейфа тектонического “потока”, а также с характером современного поля напряжений, зафиксированным на соседних объектах.

На рис. 3 показана детальная морфотектоническая схема, построенная на основе оцифрованного плана масштаба 1 : 2000. В этом масштабе диагональная сеть линейных элементов выражена слабее, чем на региональных материалах, однако отчетливо проявляются субмеридиональные компоненты ортогональной сети. По многим признакам, в частности по аналогии со структурами соседнего Хингано-Олонойского вулканогенного прогиба и общим направлением современного движения Амурской тектонической плиты, это структуры самые молодые и, вероятно, активные в настоящее время.

Полученные по результатам геодинамического районирования данные говорят о том, что район Южно-Хинганского месторождения характеризуется аномально высокой расчлененностью современного рельефа, свидетельствующей о его сложной неотектонической позиции. Это выражается в активизации многочисленных разломов, которые были заложены на ранних этапах развития, и в формировании новых тектонических нарушений. Выявлена неоднородность современного природного поля напряжений, в котором более высокие значения прогнозируются в массиве горных пород Северного блока.

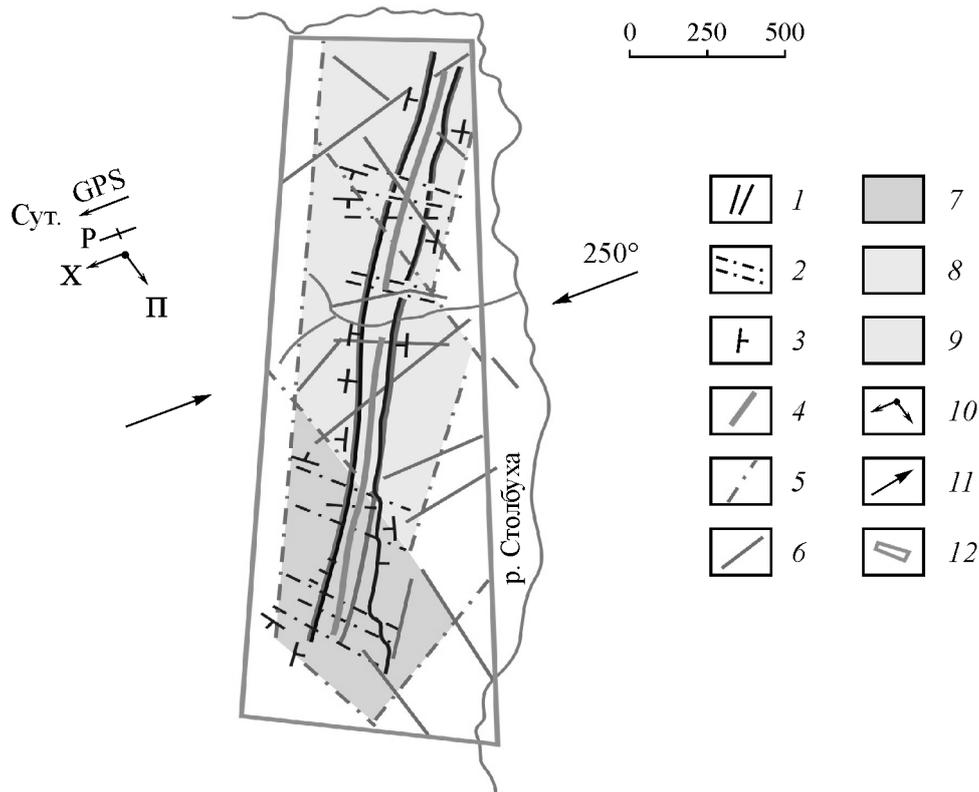


Рис. 2. Блоковая делимость участка “Поперечный” Южно-Хинганского месторождения на последнем этапе развития территории: 1–4 — структура рудоносного блока, созданная на предыдущих этапах развития (данные геолого-разведочных работ): 1 — разломы, ограничивающие рудоносный блок, 2 — поперечные разломы, формирующие более мелкие блоки, 3 — преобладающее направление падения сместителей, 4 — положение рудоносного горизонта; 5–9 — разломно-блоковая структура, формирующаяся на последнем этапе (результаты визуального морфоструктурного анализа топокарты): 5 — разломы, ограничивающие блоки IV порядка, 6 — разломы, ограничивающие более мелкие блоки, 7 — наиболее геодинамически активный Южный блок, 8 — Северный блок повышенной геодинамической активности, 9 — Центральный блок; 10–11 — сведения о направлении главного горизонтального сжатия и установленном направлении горизонтального дрейфа: 10 — направление главного горизонтального сжатия: “Х” — на Хинганском месторождении, “Р” — по результатам численного моделирования; направление горизонтального перемещения: “П” — Амурского тектонического потока; “Сут.” — по данным GPS измерений в районе д. Сутара; 11 — направление современного горизонтального сжатия, принятое в граничных условиях; 12 — контуры участка “Поперечный”

Расчетными методами с использованием данных GPS измерений и дистанционного зондирования поверхности земной коры в районе Южно-Хинганского месторождения реконструировано природное поле напряжений, которое формируется в верхней (нагорной) части массива под действием гравитационных сил, а в нижней части массива с глубины 300 м усложняется за счет дополнительного действия тектонических сил. В массиве глубинной части месторождения прогнозируется действие неравнокомпонентного поля напряжений, в котором преобладают горизонтальные сжимающие напряжения. Наибольшее из них ориентировано в северо-восточном направлении и в 2.5–3 раза превышает гравитационную составляющую от веса налегающей толщи пород. Эти параметры напряженного состояния близки по величине полю напряжений в массиве Хинганского оловорудного месторождения [4], расположенного в сходных геодинамических условиях, которое может выступать в качестве объекта аналога.

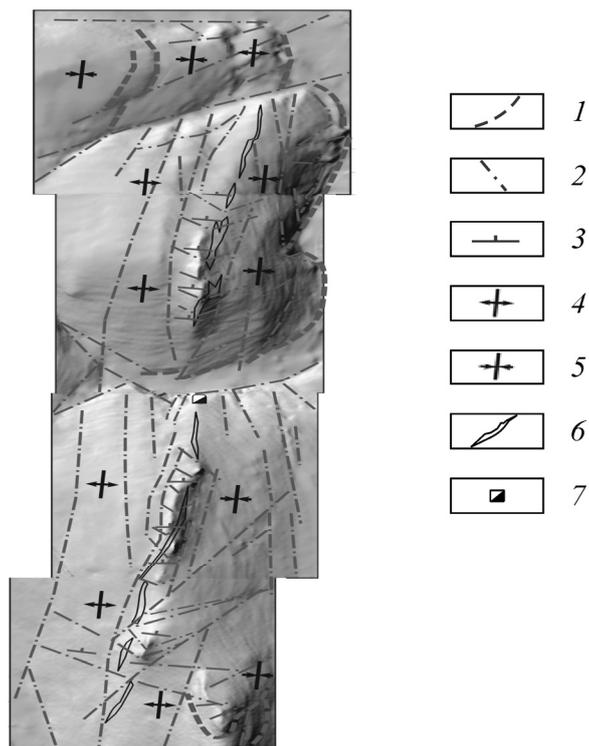


Рис. 3. Детальная морфотектоническая схема Южно-Хинганского месторождения (участок “По-перечный”): 1 — фронтальные крошки тектонических чешуй; 2 — разрывные тектонические нарушения, выявленные по рельефу; 3 — направления падения сместителей сбросо-сдвигов; 4 — режим растяжения; 5 — режим сжатия; 6 — рудные зоны; 7 — устье штольни

Южно-Хинганское месторождение предполагается разрабатывать подземным способом. Схема вскрытия предусматривает проходку двух наклонных стволов, место заложения которых определено с учетом результатов геодинамического районирования, и спаренных уклонов. Для выемки запасов планируется применение системы разработки с магазинированием руды (при мощности рудного тела до 3 м) и системы разработки подэтажными штреками (при мощности рудного тела 2.5–3.0 м и выше), со шпуровой или скважинной отбойкой. Предусматриваются следующие параметры систем разработки: длина выемочных блоков до 60 м; ширина выемочных блоков определяется мощностью рудного тела, но не менее 1.0 м; высота выемочных блоков определяется высотой этажей и составляет 60–70 м. При применении системы разработки подэтажными штреками выемочный блок делится на подэтажи высотой 15–17 м.

Для исследования закономерностей перераспределения исходных напряжений в массиве горных пород под влиянием горных работ применялся метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в плоской и объемной постановке задач [12–13].

Оценку напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород Южно-Хинганского месторождения выполняли в два этапа: вначале изучали изменение НДС в массиве пород с глубиной по мере отработки месторождения и понижения горных работ, а затем более детально исследовали перераспределение напряжений в районе очистных блоков с выделением зон повышенных напряжений в элементах систем разработки.

Построение расчетных моделей и задание граничных условий проводили в соответствии с уже апробированным подходом, изложенным в работе [13]. Выбранная система координат совпадает с направлениями главных компонент тензора напряжений: первые главные напряжения

действуют в горизонтальной плоскости вкрест простирания рудного тела (координата x ; вторые главные напряжения — по простиранию рудного тела (координата y); третьи главные напряжения ориентированы вертикально (координата z). Сдвиговые компоненты в этой системе координат нулевые.

При постановке задач принято, что в массиве верхней нагорной части месторождения (с поверхности до глубины 300 м) действует гравитационное поле напряжений. В нижней части месторождения в формировании исходного напряженного состояния массива горных пород принимают участие как гравитационные, так и главным образом тектонические силы. Для исследуемой области месторождения в интервале глубин 300–480 м приняты следующие граничные условия:

$$\sigma_{300} = \begin{bmatrix} 10.7 & 0 & 0 \\ 0 & 26.8 & 0 \\ 0 & 0 & 8.24 \end{bmatrix}; \quad \sigma_{480} = \begin{bmatrix} 10.7 & 0 & 0 \\ 0 & 26.8 & 0 \\ 0 & 0 & 13.2 \end{bmatrix}.$$

Результаты расчетов представлялись в виде изолиний средних нормальных напряжений (среднего давления) $\sigma_{\text{ср}} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$, интенсивности касательных напряжений $\tau_{\text{инт}} = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_{\text{ср}})^2 + (\sigma_2 - \sigma_{\text{ср}})^2 + (\sigma_3 - \sigma_{\text{ср}})^2}$, а также главных нормальных напряжений ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$), горизонтальных σ_x и вертикальных σ_y компонент тензора напряжений. Изменение напряженного состояния отдельных участков массива горных пород оценивали с применением коэффициентов концентрации нормальных $K_\sigma = \sigma_{\text{ср},i} / \sigma_{\text{ср}}^{\text{исх}}$ и касательных $K_\tau = \tau_{\text{инт},i} / \tau_{\text{инт}}^{\text{исх}}$ напряжений, где $\sigma_{\text{ср},i}, \tau_{\text{инт},i}$ — среднее давление и интенсивность касательных напряжений в определенной точке поля; $\sigma_{\text{ср}}^{\text{исх}}, \tau_{\text{инт}}^{\text{исх}}$ — среднее давление и интенсивность касательных напряжений исходного поля напряжений.

По результатам моделирования установлено, что при отработке месторождения формируется сложное техногенное поле напряжений. С углублением горных работ в отдельных областях массива, к которым относятся безрудные участки, зоны тектонических нарушений, межэтажные и иные целики и краевые части массива, происходит рост нормальных и касательных напряжений, особенно заметный в нижней части месторождения. В этаже –20... –120 м и ниже (глубина 300 м и более) значение первых главных нормальных напряжений σ_1 в надштрековых и подштрековых целиках при отработке вышележащих запасов превышает 90 МПа (рис. 4).

Для оценки напряжений в конструктивных элементах предлагаемых систем разработки (подэтажными штреками и с магазинированием руды) выполнено объемное моделирование поэтапной отработки очистного блока.

Анализ результатов численного моделирования НДС на различных стадиях отработки очистного блока показал, что при отработке месторождения *системой подэтажными штреками* наиболее высокий уровень напряжений отмечен в междукамерных целиках, преимущественно в краевых частях со стороны подэтажного штрека. По мере отработки очистного блока происходит прямо пропорциональный рост максимальных сжимающих и касательных напряжений, значения которых достигают максимума (85 и 40 МПа соответственно) при полной отработке блока. Полная отработка очистного блока приводит к формированию области повышенных напряжений в центральной части надштрекового целика со стороны отработанной камеры (главные нормальные и касательные напряжения достигают 65 и 35 МПа соответственно).

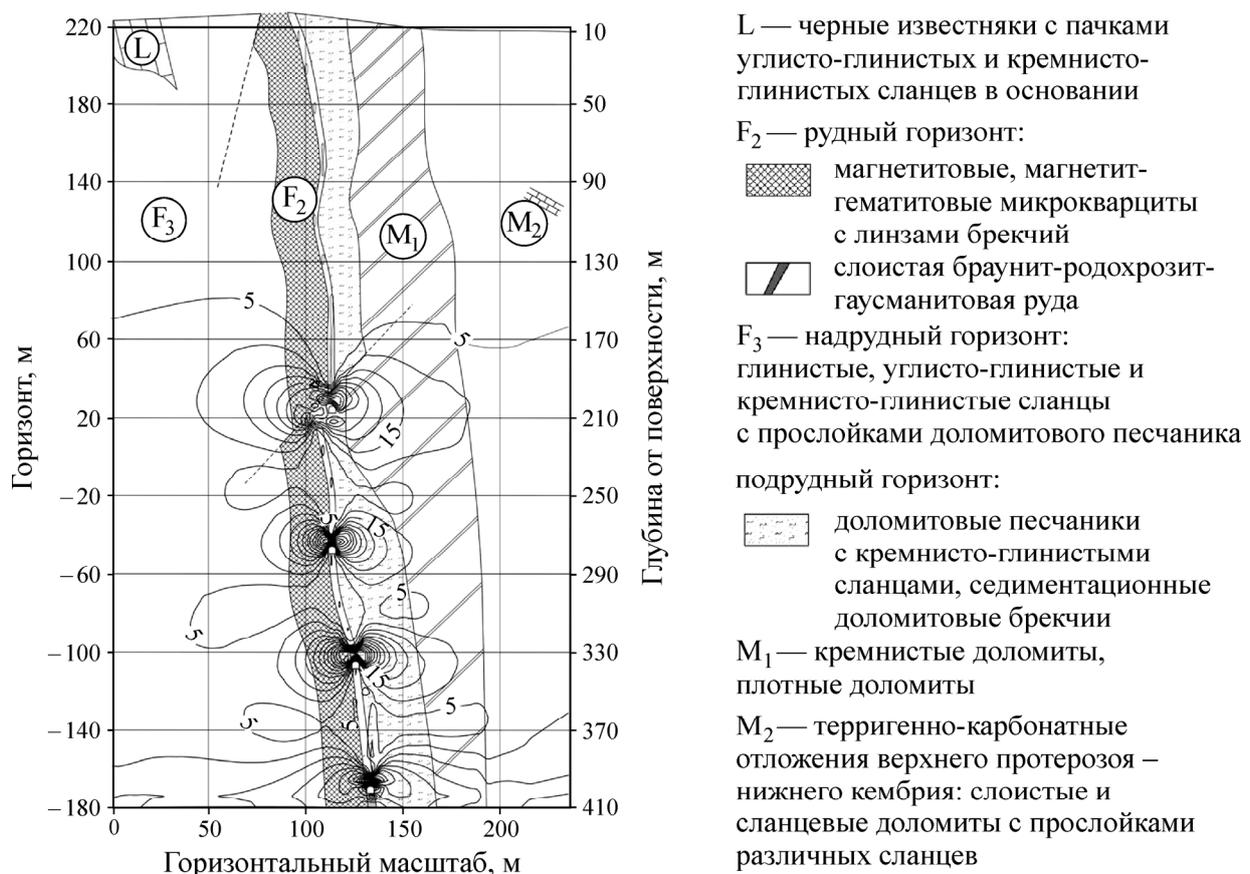


Рис. 4. Распределение максимальных главных нормальных напряжений σ_1 в массиве горных пород в разрезе по профильной линии LXII при отработке рудных запасов центральной части месторождения до гор. – 180 м

Применение системы разработки с магазинированием руды также приводит к формированию в районе очистного блока сложного природно-техногенного поля напряжений. Высокая концентрация напряжений (рис. 5) наблюдается в междукамерных целиках и в краевых частях рудного блока еще на промежуточной стадии отработки очистного блока (при высоте магазина 20 м). Увеличение высоты магазина приводит к росту первых главных σ_1 и касательных напряжений в целиках на 20–25%. Наиболее нагруженными являются междукамерные целики со стороны отработанного очистного блока. Особенно сложная потенциально удароопасная ситуация складывается при полной отработке блока (полном выпуске магазинированной руды из очистного блока), когда значения первых главных напряжений σ_1 приближаются к пределу прочности на сжатие, а касательных — к пределу прочности на сдвиг.

В целом результаты моделирования свидетельствуют о том, что начиная с глубины 300 м (ниже отметки –20 м) отдельные участки массива (целики, безрудные участки, зоны тектонических нарушений) характеризуются повышенным уровнем напряжений, который приближается к пределу прочности горных пород. Это обстоятельство указывает на возможность проявления горного давления в динамической форме при отработке нижней части Южно-Хинганского месторождения. Полученные результаты исследований послужили основанием для его отнесения к категории склонных к горным ударам и дали возможность обосновать и заложить в проект комплекс профилактических мер по предотвращению опасных геодинамических явлений, охране и поддержанию горных выработок на удароопасных участках.

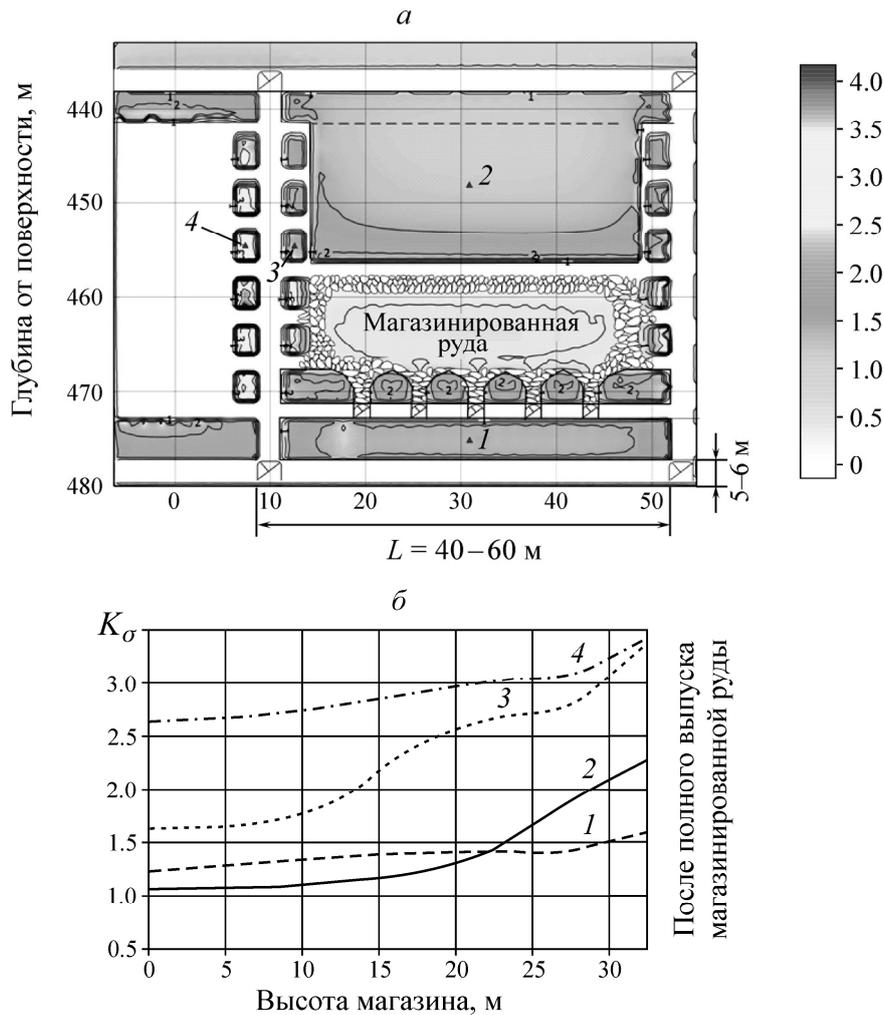


Рис. 5. Изменение коэффициента концентрации нормальных напряжений K_σ в элементах системы разработки с магазинированием руды на различных стадиях отработки блока: *a* — в проекции на наклонную плоскость рудного тела; *б* — в характерных точках элементов системы разработки: 1–4 — характерные точки массива в надштрековом (1), уменьшающемся временном рудном (2) и охранных межблочных (3, 4) целиках

ВЫВОДЫ

Южно-Хинганское месторождение марганцевых руд характеризуется сложной тектонической структурой, его массив сложен прочными (предел прочности на одноосное сжатие изменяется от 82.3 до 174 МПа) и высокоупругими (модуль Юнга лежит в диапазоне 72.5–98.6 ГПа) породами. Большое количество кремнезема в породах и рудах характеризует их как весьма хрупкие (показатель хрупкости для всех типов пород и руд месторождения превышает 15), способные накапливать значительную потенциальную энергию и разрушаться в динамической форме.

Реконструированное в районе месторождения природное поле напряжений формируется в верхней части массива под действием гравитационных сил, а в нижней части массива с глубины 300 м усложняется за счет дополнительного действия тектонических сил. В массиве глубинной части прогнозируется действие неравнокомпонентного поля напряжений, в котором преобладают горизонтальные сжимающие напряжения, наибольшее из которых ориентировано в северо-восточном направлении и в 2.5–3 раза превышает гравитационную составляющую от веса налегающей толщи пород.

Начиная с глубины 300 м (ниже отметки –20 м) в отдельных участках массива (межэтажные целики, безрудные участки, зоны тектонических нарушений) наблюдается повышенный уровень напряжений (80–100 МПа), приближающийся (а в некоторых случаях превышающий) к пределу прочности горных пород на сдвиг и сжатие. Под влиянием очистной выемки происходит перераспределение исходных напряжений и их концентрация на отдельных участках массива, включая над- и подштрековые и межкамерные целики, уровень нормальных напряжений в которых при различных технологических схемах изменяется на глубоких горизонтах от 85 до 95 МПа и выше. Высокую потенциальную удароопасность представляет также уменьшающийся рудный целик при системе разработки с магазинированием руды.

Геомеханические условия Южно-Хинганского месторождения и выявленные закономерности распределения напряжений в элементах систем разработки дают основания для его отнесения к склонным к горным ударам. Для ведения горных работ на удароопасных участках обоснован комплекс профилактических мер по предотвращению опасных проявлений горного давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петухов И. М., Егоров П. В., Винокур Б. Ш. Предотвращение горных ударов на рудниках. — М.: Недра, 1984.
2. Бич Я. А., Муратов Н. А. Профилактика горных ударов. — Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1990.
3. Мельников Н. Н., Козырев А. А., Савченко С. Н. и др. Прогноз и профилактика горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений с позиций нелинейной геодинамики // ФТПРПИ. — 2001. — № 9.
4. Рассказов И. Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. — М.: Горная книга, 2008.
5. Диденко А. Н., Каплун В. Б., Малышев Ю. Ф. и др. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии. — Владивосток: Дальнаука, 2010.
6. Кулиш Л. И. Метаморфические марганцевые комплексы Дальнего Востока. — Хабаровск: ДВИМС, 1974.
7. Архипов Г. И. Дальневосточная черная металлургия: Железорудносировая база и возможности развития. — Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2005.
8. Батугина И. М., Петухов И. М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. — М.: Недра, 1988.
9. Усиков В. И. Динамика и строение тектонических потоков. Анализ 3D-моделей рельефа // Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: VII Косыгинские чтения: материалы Всерос. конф. — Хабаровск: ИТиГ им. Ю. А. Косыгина, 2011.
10. Рассказов И. Ю., Курсакин Г. А., Берман Б. И. и др. Динамические проявления горного давления на Хинганском месторождении // Горн. журн. — 1992. — № 3.
11. Рассказов И. Ю. Численное моделирование современного поля тектонических напряжений в области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов // Тихоокеанская геология. — 2006. — Т. 25. — № 5.
12. Зотеев О. В. Моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород численными методами // Изв. вузов. Горн. журн. — 2003. — № 5.
13. Рассказов И. Ю., Курсакин Г. А., Потапчук М. И., Мирошников В. И., Фрейдин А. М., Осадчий С. П. Геомеханическая оценка технологии разработки глубоких горизонтов месторождения Южное // ФТПРПИ. — 2012. — № 5.

Поступила в редакцию 26/VIII 2013