

УДК 622.272.6

**ОБОСНОВАНИЕ ОТРАБОТКИ ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСХОДЯЩЕЙ ВЫЕМКОЙ С ПОРОДНОЙ ЗАКЛАДКОЙ**

**С. А. Неверов, А. А. Неверов, С. А. Щукин,
Ю. Н. Шапошник, А. М. Никольский**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: shaposhnikyury@mail.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Для геомеханической оценки условий подземной отработки золоторудного месторождения при выемке маломощной крутопадающей залежи ниже дна карьера разработана параметрическая трехмерная модель горнотехнической конструкции. Численным моделированием получены прогнозные карты распределения напряжений в рудопородном массиве, нарушенном горными выработками. Выполнено обоснование устойчивости междуэтажного целика на глубине 140 м с учетом надработки и подработки на высоту не менее двух этажей. Установлены безопасные параметры и условия применения камерной и слоевой систем разработки с породной закладкой.

Массив пород, нарушенность, горнотехническая конструкция, численное моделирование, система разработки, напряженно-деформированное состояние, устойчивость, параметры, безопасность

DOI: 10.15372/FTPRPI20200409

На примере действующего золоторудного месторождения со сложными горно-геологическими и техногенными условиями приведена оценка технической возможности безопасной и эффективной выемки подкарьерных запасов крутопадающих маломощных рудных тел. По структуре месторождение представляет крупную залежь кварцевых и кварц-полевошпатовых метасоматитов протяженностью до 3 км и шириной 150 – 400 м. Метасоматиты сформированы по плагиогранитам. Вмещающие породы на месторождении — сланцы различного состава, прорванные дайками андезитов и дацитов [1 – 5].

На рассматриваемом участке месторождения широко развиты разрывные нарушения субширотного простирания в виде зон рассланцованных, катаклазированных, трещиноватых, дезинтегрированных пород мощностью 3 – 20 м. Превалируют породы с кварцевой составляющей, обладающие повышенной хрупкостью, чем обуславливается трещиноватость с развитыми областями дробления. Основные факторы ослабления рудовмещающих пород (метасоматитов) — рассланцевание и тектоническая трещиноватость различного порядка [1 – 5]. Физико-механические свойства нарушенного техногенной деятельностью трещиноватого массива горных пород месторождения приведены в табл. 1.

Для данного участка рудной залежи характерна высокая степень дезинтеграции пород в силу широкого распространения крутопадающих и пологозалегающих тектонических нарушений. На устойчивость горного массива влияют сопряжения ортогональной и кольцевой систем нарушений. В подобных условиях рудная залежь представлена структурно-напряженными участками. Породы раскалываются по плоскостям сланцеватости при любых механических воздействиях.

ТАБЛИЦА 1. Физико-механические свойства пород месторождения

Порода	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град
Дациит	84.3	10.2	17.0	0.13	15.6	53.0
Сланец	43.9	4.4	11.3	0.18	7.3	56.2
Плагиигранит	106.0	20.5	21.0	0.12	24.2	43.4
Метасоматит	74.3	6.0	11.6	0.15	10.6	59.5
Углеродистый сланец	36.6	3.9	12.6	0.19	6.2	55.3

В настоящее время карьер на месторождении состоит из Восточной и Западной чаш. До отметок +405 м отработка рудных запасов проведена открытым способом. Погашение подкарьерных запасов ниже отметок +405 м осуществляется подземным способом до горизонта +150 м (рис. 1).

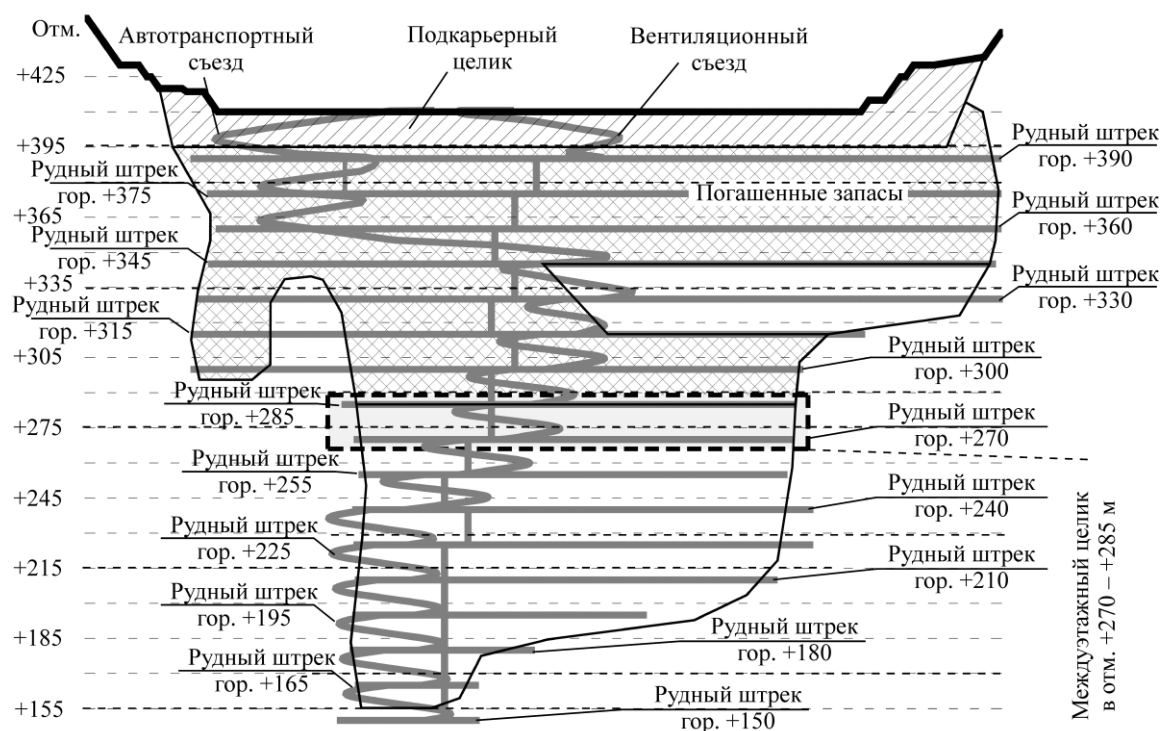


Рис. 1. Принципиальная схема вскрытия участка золоторудного месторождения. Междуэтажный целик в отм. +270 ÷ 285 м выделен штриховой линией

Из транспортного съезда через каждые 15 м по высоте проходят вентиляционно-транспортные квершлага, обеспечивающие возможность подготовки залежей к очистным работам путем проходки рудных подэтажных штреков. На квершлагах, у сопряжений со спиральным съездом, располагаются камеры для складирования и загрузки руды и породы в автосамосвалы, что позволяет исключить въезд на горизонты. Средневзвешенная мощность оставленного предохранительного подкарьерного целика равна 15 м. В настоящее время он разрушен более чем на 50 % по объему (рис. 2).

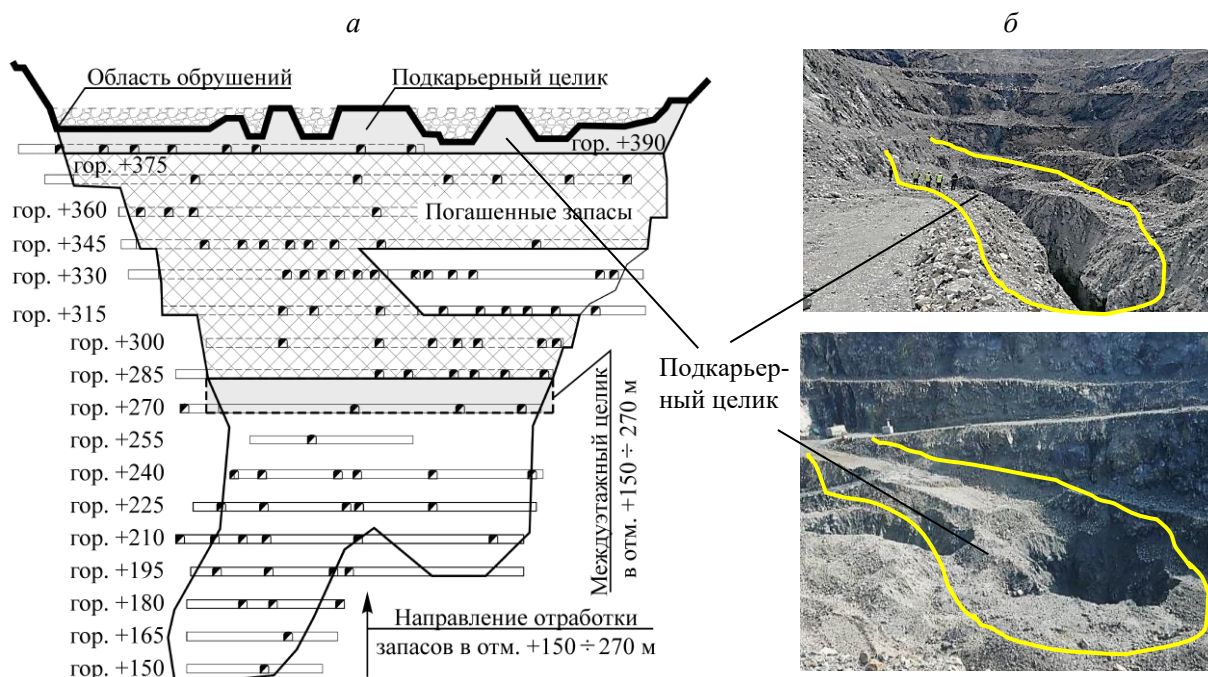


Рис. 2. Вертикальная проекция выработок (а) и состояние провалов (б) в створе подкарьерного целика

Обрушения вмещающих пород наблюдаются в кровле горных выработок на горизонтах +395, +330, +315, +265 м и прогнозируются на других. Анализ этих обрушений показывает, что “куполообразование” происходит при проходке выработок по углеродосодержащим сланцам. Данный факт принят во внимание при выполнении численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива пород при отработке залежей.

Для обеспечения безопасной отработки запасов руд ниже горизонта +270 м оставлен междуэтажный целик в интервале отметок +285 ÷ 270 м. Сложившаяся горнотехническая обстановка на месторождении потребовала проведения геомеханических исследований для анализа устойчивости рудопородного массива при отработке подкарьерных запасов в отметках +410 ÷ 150 м в условиях полного и частичного обрушения предохранительного подкарьерного и сохранения междуэтажного целиков (гор. +285 ÷ 270 м) при применении систем разработки с породной закладкой.

СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ

В соответствии с горно-геологическими условиями месторождения и с учетом нарушенности массива горных пород и ценности добываемых руд для погашения подкарьерных запасов принимаются две системы разработки с восходящим порядком выемки руды на этажах и породной закладкой от проходки горно-капитальных и подготовительных выработок:

- камерная с отбойкой из подэтажных штреков (рис. 3);
- горизонтальными слоями с выемкой руды на подэтажах (рис. 4).

При камерной системе разработки этаж разделяется на подэтажи высотой 12–20 м в зависимости от устойчивости массива пород. Выемка подэтажей осуществляется в восходящем порядке. Отработка запасов подэтажа ведется камерами по простиранию залежи с формированием между ними рудных междукамерных целиков. В условиях погашения смежных камер

на подэтаже возможны два варианта (рис. 3): I — на убывающий целик, в результате чего формируется междукамерный целик (от фланга залежи к центру); II — расходящимися фронтами от междукамерного целика (от центра к флангам). По мере отработки камеры на подэтаже с противоположного фланга проводится закладка пустыми породами, которая является почвой для отработки вышележащих подэтажей. Расстояние от породной закладки до очистного забоя рудного массива подэтажа определяется углом естественного откоса при возведении и расстоянием (площадкой 5–8 м), исключая заброс руды отбиваемого слоя на закладку.

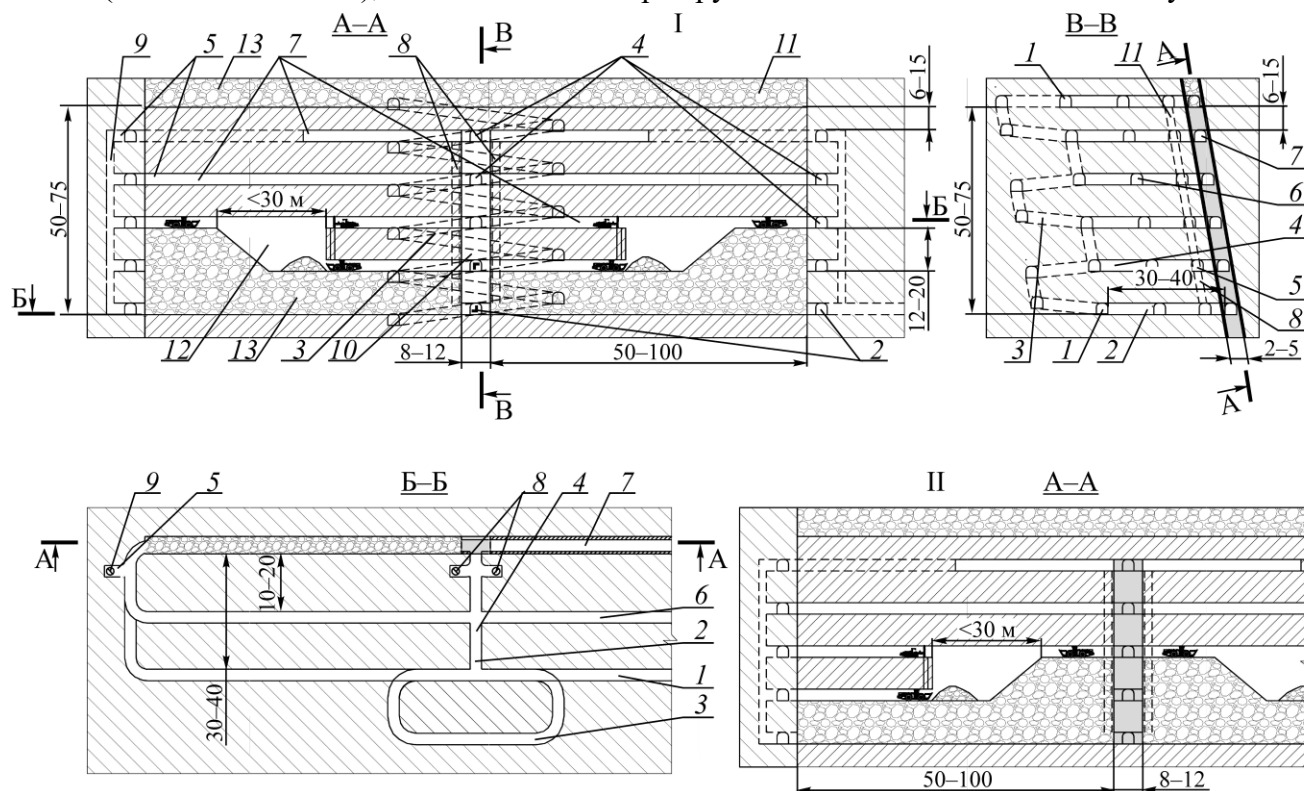


Рис. 3. Принципиальная схема камерной системы разработки с отбойкой из подэтажных штреков и породной закладкой: 1 — полевой откаточный штрек; 2 — полевой доставочный (вентиляционно-доставочный) орт; 3 — участковый спиральный съезд; 4 — заезд на подэтаж; 5 — ниша под рудоспуск и вентиляционный восстающий; 6 — полевые подэтажные штреки; 7 — буродоставочные подэтажные рудные штреки; 8 — рудоспуски; 9 — вентиляционные восстающие; 10 — междукамерный целик; 11 — междуэтажный целик; 12 — очистная камера; 13 — породная закладка; I и II — выемка камер от флангов к центру и от центра к флангам залежи соответственно

Сущность слоевой системы разработки заключается в разделении этажа на подэтажи высотой 12–15 м. Отработка подэтажей в пределах этажа происходит слоями в восходящем порядке. По мере выемки слоев проводится закладка пустыми породами, которая является платформой для рабочих и оборудования, занятых на отбойке и доставке руды при извлечении вышележащих слоев. Основная функция породной закладки, как и при камерной выемке, — формирование бокового подпора открытым обнажениям, исключая неконтролируемое обрушение пород в очистное пространство. Управление горным давлением осуществляется параметрами слоевых очистных выработок, обеспечивающих небольшие площади обнажения пород, а также рудным междуэтажным целиком и естественной устойчивостью рудопородного массива.

Подготовительно-нарезные работы включают проходку из спирального съезда (автоуклона) заездов на подэтажи и полевых подэтажных штреков, с которых проводятся один горизонтальный (центральный) и два наклонных (нисходящий и восходящий) слоевых заездов. Очистные работы включают шпуровую отбойку слоя небольшими секциями (3–6 м) и доставку руды самоходными машинами. Руда транспортируется к рудоспуску или вывозится по спиральному съезду на поверхность. Выемка междуэтажного целика при таких геотехнологиях осуществляется системой с обрушением и торцовым выпуском руды: породная закладка вышележащего этажа выполняет роль обрушенных пород.

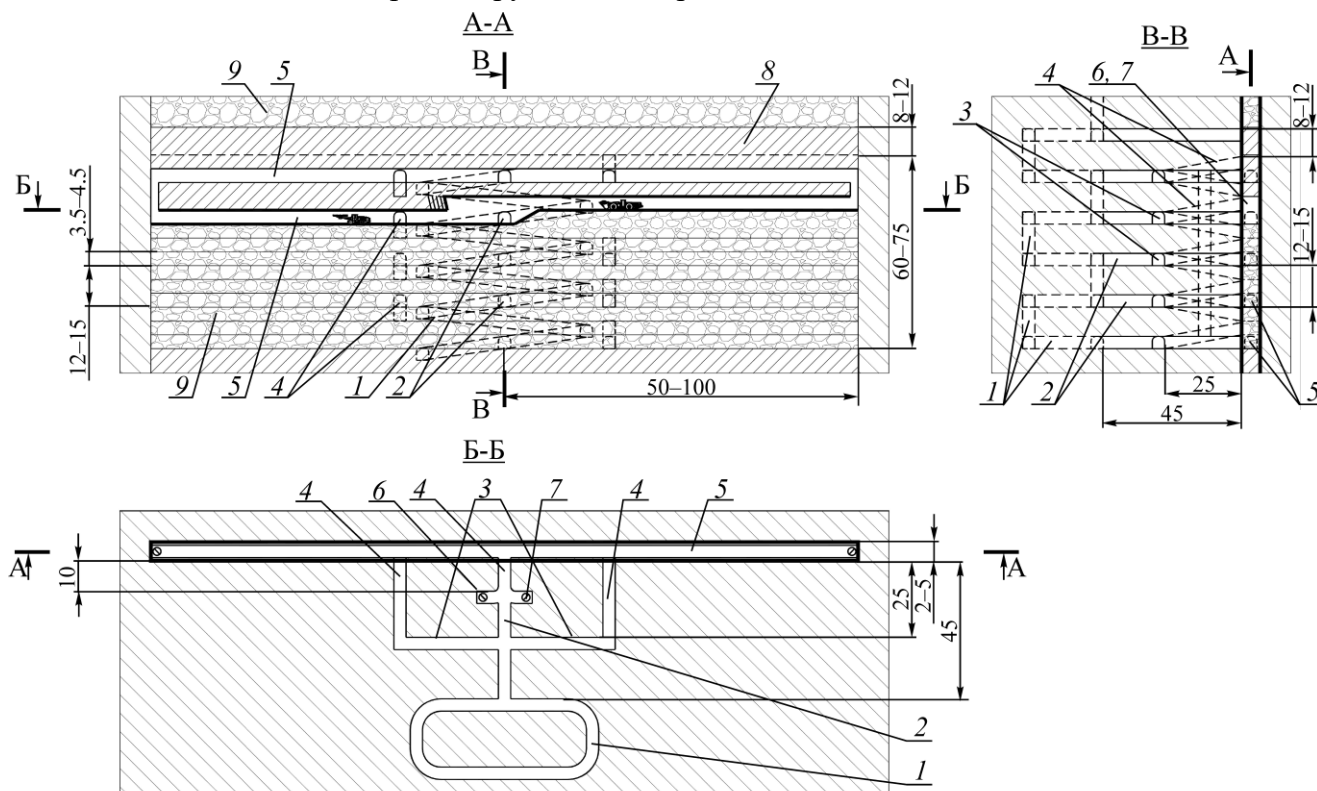


Рис. 4. Принципиальная схема системы разработки с выемкой руды на подэтажах горизонтальными слоями с породной закладкой: 1 — спиральный съезд; 2 — заезд на подэтаж; 3 — полевые подэтажные штреки; 4 — заезды на слои; 5 — подэтажные штреки; 6 — рудоспуск; 7 — вентиляционные восстающие; 8 — междуэтажный целик; 9 — породная закладка

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОРНТЕХНИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ, РАСЧЕТНАЯ СХЕМА И КРАЕВЫЕ УСЛОВИЯ

Для природного поля напряжений, действующего на месторождении, принята гравитационно-тектоническая модель геосреды, характеризующая сложное напряженное состояние [1–7]. Тектоническая особенность массива пород данной рудной зоны — отнесение к области современного сжатия со сдвигом. С учетом рельефа местности для нагорной части месторождения выше уровня дна долины до абсолютной отметки + 360 м характерно гравитационное распределение напряжений:

$$\sigma_y = \gamma H, \quad \sigma_x = \sigma_z = q\gamma H.$$

Глубинный участок ниже уровня подножья гор характеризуется тектоническим видом напряженного состояния. Соотношение напряжений принято следующим:

$$\sigma_y = \gamma H, \quad \sigma_z = 1.75\gamma H, \quad \sigma_x = 1.25\gamma H,$$

где γ — удельный вес налегающих пород, МН/м^3 ; H — глубина залегания пород, м; $q = \mu / (1 - \mu)$ — коэффициент бокового распора; μ — коэффициент Пуассона; $\sigma_y, \sigma_z, \sigma_x$ — вертикальные, максимальные (по простиранию рудных тел) и минимальные (вкрест простирания рудных тел) горизонтальные напряжения соответственно.

Моделирование напряженно-деформированного состояния массива пород и расчеты устойчивости элементов горнотехнической конструкции, включающей предохранительный подкарьерный и междуэтажный целики с погашенными выработанными пространствами в интервале горизонтов $+285 \div 405$ м и $+150 \div 270$ м, выполнены в рамках теории упругости методом конечных элементов в трехмерной постановке задач [8–12]. Схема расчетной области с параметрами ($0 \leq x \leq L_x, 0 \leq y \leq L_y, 0 \leq z \leq L_z$) и краевыми условиями представлена на рис. 5. В модели реализованы конструктивные особенности горнотехнической конструкции отработки участка данного месторождения с интеграцией камерной и слоевой систем разработки.

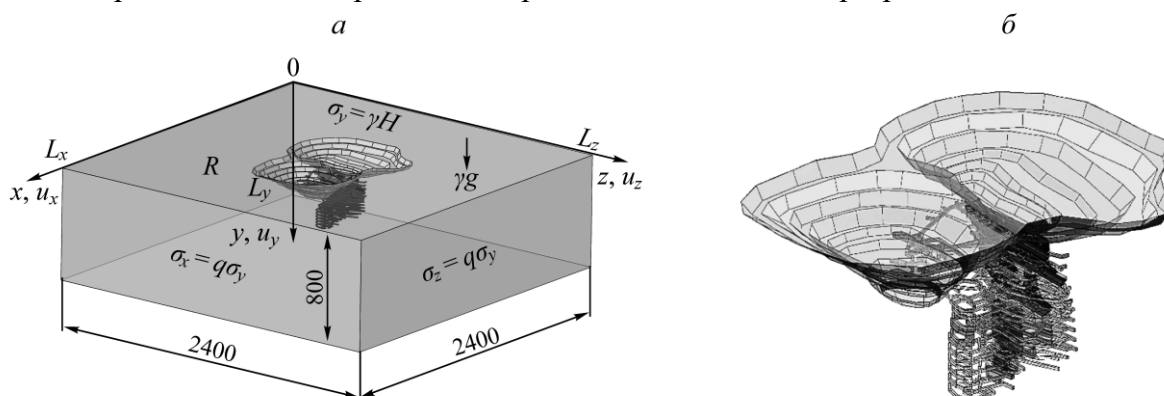


Рис. 5. Расчетная схема для определения напряженно-деформированного состояния массива пород (а) и горнотехническая конструкция, принятая при численном моделировании (б)

Напряженно-деформированное состояние в массиве пород, вызванное техногенным воздействием, устанавливалось из решения системы дифференциальных уравнений, состоящих из статических, геометрических и физических соотношений [8–12] с краевыми условиями в виде сжимающих напряжений и ограничений нормальных перемещений на границах расчетной области:

$$\begin{aligned} -\sigma_y(0, x, z) &= \gamma g H = 0, \quad \tau_{xy}(0, x, z) = \tau_{zy}(0, x, z) = 0, \\ u_y(L_y, x, z) &= 0, \quad \tau_{xy}(L_y, x, z) = \tau_{zy}(L_y, x, z) = 0, \\ -\sigma_z(L_z, x, y) &= q_z \sigma_y, \quad \tau_{yz}(L_z, x, y) = \tau_{xz}(L_z, x, y) = 0, \\ u_z(0, x, y) &= 0, \quad \tau_{yz}(0, x, y) = \tau_{xz}(0, x, y) = 0, \\ -\sigma_x(L_x, z, y) &= q_x \sigma_y, \quad \tau_{yx}(L_x, z, y) = \tau_{zx}(L_x, z, y) = 0, \\ u_x(0, z, y) &= 0, \quad \tau_{yx}(0, z, y) = \tau_{zx}(0, z, y) = 0, \end{aligned}$$

где $\sigma_y, \sigma_x, \sigma_z$ и $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ — вертикальная и горизонтальные нормальные и касательные компоненты тензора напряжений соответственно; g — ускорение свободного падения; u_y, u_x, u_z — вертикальная и горизонтальные компоненты вектора перемещений; q_x, q_z — коэффициенты бокового давления (для глубинной части месторождения $q_z = 1.75$ и $q_x = 1.25$); H — глубина разработки, м.

Оценка устойчивости пород вокруг горных выработок осуществлялась по критерию Кулона – Мора с помощью коэффициента запаса прочности K , выраженного из уравнения прямой, огибающей предельные круги напряжений [13 – 17]:

$$K = \frac{\sin \phi (\sigma_1 + \sigma_3 + 2C \operatorname{ctg} \phi)}{\sigma_1 - \sigma_3} > 1,$$

σ_1 и σ_3 — соответственно максимальные и минимальные главные напряжения, действующие в массиве, МПа; ϕ — угол внутреннего трения пород, град. Значения $K < 1$ в области влияния ≥ 0.5 максимальной ширины или высоты выработки характеризуют ее как неустойчивое обнажение.

Во всех случаях значения напряжений носят абсолютный характер (растяжение со знаком минус, сжатие со знаком плюс) и соответствуют областям модели, по границам которых выполнены разрезы (рис. 6). Подобная иллюстрация результатов моделирования позволяет дать объективную прогнозную оценку напряженно-деформированного состояния и устойчивости массива пород в различных областях подготовительных и очистных выработок, а также междуэтажного целика.

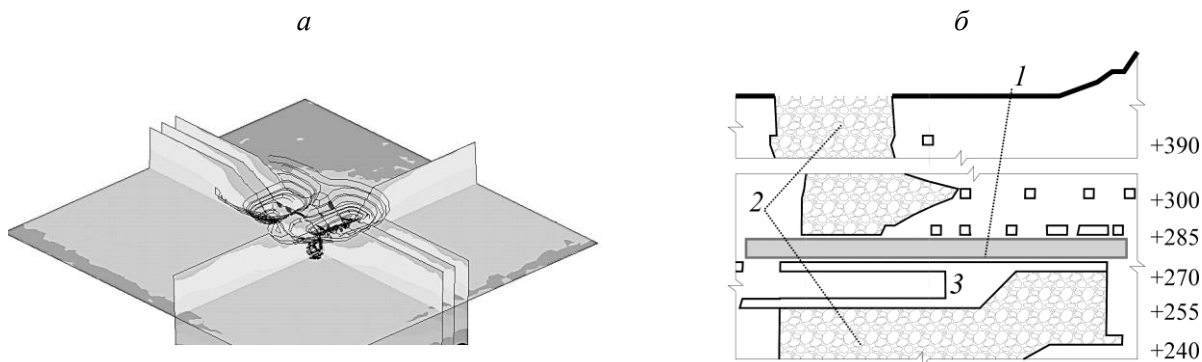


Рис. 6. Аксонометрическое (а) и плоское (б) представления видовых сечений для анализа напряженно-деформированного состояния и устойчивости массива пород для камерной технологии: 1 — междуэтажный целик; 2 — породная закладка; 3 — очистной забой

Геомеханические исследования отработки месторождения в условиях полного обрушения подкарьерного целика с оценкой устойчивости междуэтажного целика в отметках $+270 \div 285$ м при погашении запасов залежи выполнены путем рассмотрения двух сценариев развития работ на различных стадиях выемки.

В первом сценарии (I-S) моделирование горнотехнической ситуации проводилось в условиях полного обрушения подкарьерного целика, погашенных запасов и заложенных породой очистных пространств в интервале горизонтов $+285 \div 410$ м и $+150 \div 270$ м с оставлением междуэтажного целика в отметках $+270 \div 285$ м. Выемка руды на горизонтах $+150 \div 270$ м предусматривается камерной системой разработки. Рассмотрен предельный случай, когда в стадии развития очистной выемки находится первый снизу от междуэтажного целика подэтаж отметки $+255$ м. Подобная горнотехническая обстановка представляет наиболее неблагоприятное состояние для исследуемого междуэтажного целика.

Второй сценарий (II-S) соответствует первому, но вместо камерной системы разработки при отработке запасов в интервале горизонтов $+150 \div 270$ м рассматривается слоевая выемка и этап добычи руды в предпоследнем слое до границы междуэтажного целика. Основная область при анализе расчетов — массив пород в отметках $+150 \div 410$ м с полным комплексом подготовительно-нарезных выработок, включая междуэтажный целик и борта карьера (рис. 6).

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ МАССИВА ПОРОД

Результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния и оценка устойчивости рудопородного массива, характерные для основных элементов выработок (кровли, бортов и почвы) и горнотехнической конструкции, показаны на рис. 7, 8. С учетом принятого исходного поля напряжений, соответствующего гравитационно-тектонической модели геосреды, горизонтально ориентированные напряжения максимальны в глубинной части месторождения (ниже дна карьера).

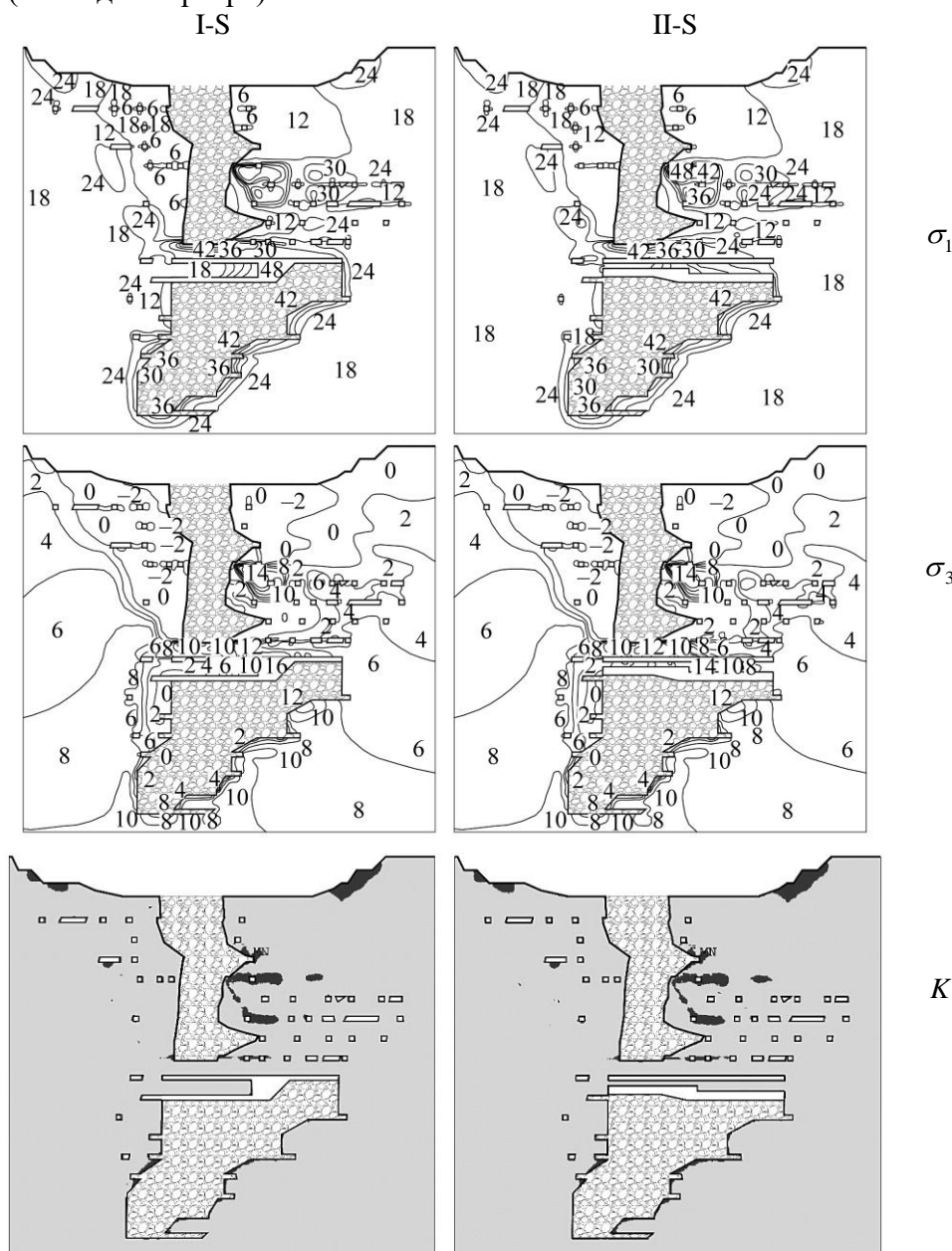


Рис. 7. Характер распределения максимальных σ_1 и минимальных σ_3 главных напряжений и прогнозируемые области потери устойчивости массива горных пород K в разрезе по простиранию рудной залежи

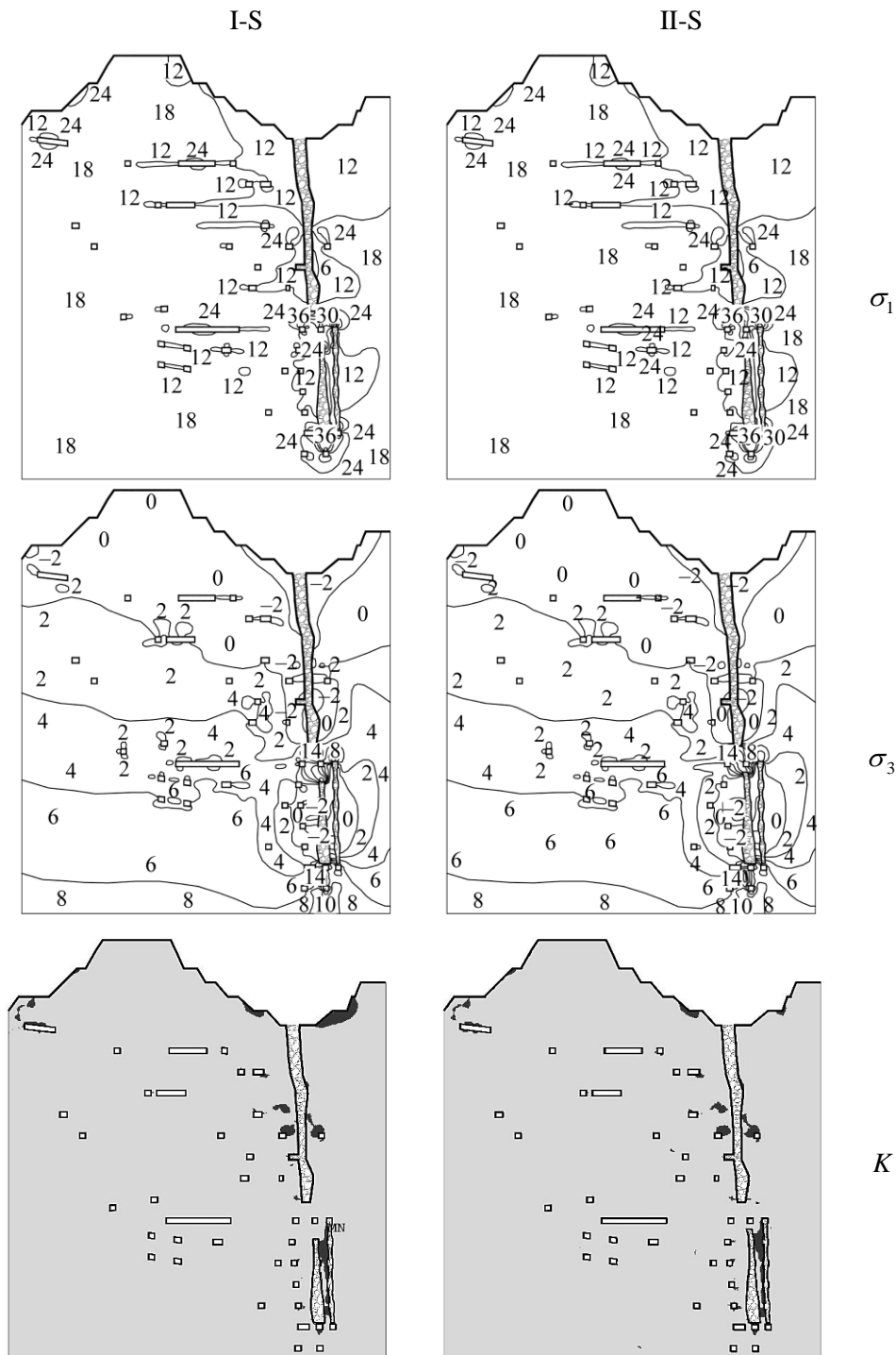


Рис. 8. Характер распределения максимальных σ_1 и минимальных σ_3 главных напряжений и прогнозируемые области потери устойчивости массива горных пород K по разрезу вкрест простирания рудной залежи впереди очистного забоя

Максимальные главные напряжения σ_1 в конструктивных элементах горнотехнической конструкции достигают наибольших значений 30–48 МПа в области очистных забоев и примыкающих к ним подготовительно-нарезных выработок, а также в междуэтажном целике

(до 48 МПа). Минимальные главные напряжения σ_3 в данных элементах горнотехнической конструкции составляют соответственно: в области очистных забоев 2–6 МПа, в междуэтажном целике — 6–14 МПа. Области растяжения формируются на большинстве сопряжений выработок и заметны в границах влияния погашенных выработанных пространств на протяжении падения залежи, начиная с горизонта +270 м, более явно проявляясь в кровле выработок.

Характер распределения напряжений в массиве пород и междуэтажном целике, устойчивость основных элементов данной горнотехнической конструкции аналогичны для сценариев I-S и II-S. Различия в абсолютных значениях находятся в пределах погрешности, что позволяет интерпретировать с геомеханической позиции развитие горных работ при применении камерной системы разработки и слоевой выемки с породной закладкой на предельной стадии отработки этого участка как идентичные друг другу. Из-за недостатка информации о нарушении рудопородного массива и наличия локальных участков ослабления слоевая система разработки предпочтительна в связи с более эффективным регулированием вертикальных пролетов обнажений.

Междуэтажный целик, согласно установленным закономерностям распределения напряжений, находится в объемном сжатии, что положительно сказывается на его устойчивости даже в условиях повышенных напряжений σ_1 (благоприятный момент — отсутствие зон растяжения). На глубинах ниже горизонта +270 м большая разница между максимальными σ_1 и минимальными σ_3 главными напряжениями в элементах горнотехнической конструкции и выработках в области влияния погашенных очистных пространств отрицательно сказывается на устойчивости. В выделенных областях разрушению одинаково подвержены кровля и бока выработок, а также все сопряжения, “примыкающие” к добычным забоям. Кровля выработок нижних горизонтов более неустойчива, чем их бока.

Потеря устойчивости массива горных пород повсеместно наблюдается в приконтактной зоне погашенного выработанного пространства со стороны висячего и лежащего боков рудной залежи, которая распространяется вглубь массива на расстояние 2–6 м. Это обусловлено формированием обширных участков с растягивающими напряжениями, интенсивно проявляющихся в интервале отметок +390 ÷ 330 м.

Расположение горных выработок от очистных работ на расстояние более двукратной мощности залежи обеспечивает их необходимую устойчивость и безопасность эксплуатации. Но принимая во внимание сложные горно-геологические условия залегания, развитую тектонику, наличие ослаблений и мало прогнозируемую нарушенность горных пород, в границах влияния очистных работ можно ожидать возникновение локальных участков обрушений в виде развития куполов в кровле и вывалов в бортах выработок.

Горные выработки, расположенные за областью влияния погашенного и заложенного породой выработанного пространства находятся в устойчивом состоянии, определяемом степенью нарушенности массива пород. Рассмотрение камерной (I вариант) и слоевой (II вариант) систем разработки с закладкой выработанного пространства породой потребовало проведения обобщающего геомеханического анализа для установления не только безопасных параметров каждой из систем, но и наиболее безопасного способа выемки.

С учетом характеристик залежи рудной зоны месторождения в качестве безопасных параметров технологий выемки принимается мощность рудных тел $m = 4.0$ м (ширина очистного пространства). Для определения безопасных параметров рудных междуэтажных и междукамерных целиков при расчетах их ширина (мощность) варьировалась. В табл. 2

приведены интервалы изменения параметров моделируемых систем разработки с породной закладкой. Отличительные особенности горнотехнической конструкции системы разработки горизонтальными слоями от камерной геотехнологии выемки — меньшая площадь обнажения пород в пределах рабочего забоя (за счет выемки слоями высотой 4–5 м) и отсутствие междукамерного целика.

ТАБЛИЦА 2. Параметры камерной и слоевой систем разработки с породной закладкой, м

Параметр	Камерная система (I вариант)	Слоевая система (II вариант)
Мощность залежи	4.0	
Глубина разработки от дна карьера	В интервале глубин 140–260	
Высота этажа по вертикали	70–74	70.0
Высота подэтажа по вертикали	15.0	13.5
Ширина междукамерного целика	8–12	—
Общая длина пролета отработки по простиранию	150	
Длина камеры	70	150
Высота междуэтажного целика	6–10	10
Расстояние от полевых штреков до залежи	10–15	25–30
Расстояние от автоуклона до залежи	30–60 (40–70)	30–60

Фрагменты результатов численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород и их устойчивости в конструктивных элементах геотехнологий при формировании в выработанном пространстве искусственного массива из породной закладки приведены на рис. 9. Максимальные главные напряжения σ_1 , возникающие в междуэтажном целике, изменяются для варианта I и II: 1–49 и 21–42 МПа соответственно. Высокие сжимающие усилия при слоевой выемке обусловлены предельным пролетом обнажения длиной 150 м. Минимальные главные напряжения σ_3 находятся в диапазонах 14–17 и от 11–15 МПа. Отсутствие растягивающих усилий благоприятно сказывается на устойчивости междуэтажного целика. Работоспособность междуэтажного целика в обоих вариантах добычи обеспечивается нахождением в объемном сжатии с достаточной устойчивостью. При отработке участков залежей мощностью более 4 м высота междуэтажных целиков должна составлять не менее 10 м.

При камерной системе разработки напряженно-деформированное состояние междукамерного целика характеризуется так же, как и в междуэтажном целике, объемным сжатием, что увеличивает устойчивость последнего. Концентрация максимальных главных напряжений σ_1 изменяется от 35 до 49 и от 30 до 40 МПа при ширине междукамерных целиков 8 и 12 м соответственно. Зон растяжения не наблюдается, значения минимальных главных усилий σ_3 составляют 12–18 и 8–14 МПа. Разница между напряжениями σ_1 и σ_3 способствует повышению устойчивости междукамерных целиков, которая определяется только степенью нарушенности. Ширина междукамерных целиков 12 м более надежна с геомеханической точки зрения.

Массив пород вокруг полевых подэтажных штреков находится в объемном сжатии для всех вариантов систем разработки, а максимальные главные напряжения в кровле и бортах выработок сопоставимы между собой: $\sigma_1 = 8–20$ МПа. Характер изменения минимального главного давления σ_3 соответствует σ_1 по аналогии их равенства для кровли и боков полевых штреков, а σ_3 изменяется от 0 до 12 МПа. В камерной системе разработки при отнесении полевых выработок от залежи на 15 м их устойчивость возрастает в 1.2–1.3 раза

по сравнению с расстоянием в 10 м. Размещение полевых выработок при данной мощности залежи на расстояние в 10 м приемлемо, а при большей мощности необходимо относить выработки на расстояние не менее 15 м.

Камерная система разработки
(междуэтажный целик — 6 м,
междукамерный целик — 8 м) (I вариант)

Слоевая система разработки
(II вариант)

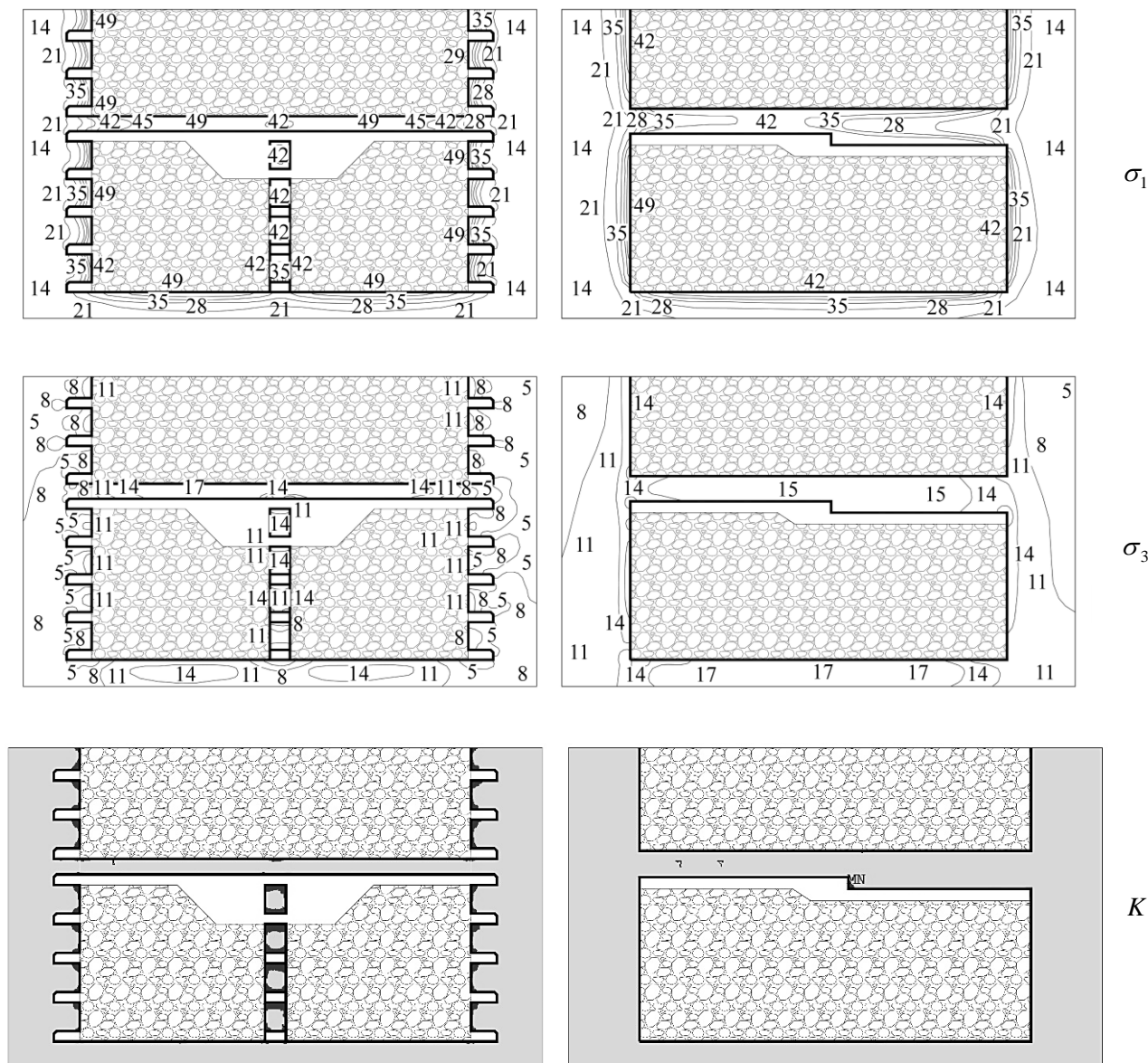


Рис. 9. Характер распределения максимальных σ_1 и минимальных σ_3 главных напряжений и прогноз областей возможных обрушений горных пород K в основных элементах систем разработки по простиранию рудной залежи

Автотранспортный уклон, отнесенный от рудной залежи на расстояние 30–70 м (это обусловлено необходимостью исключения попадания выработки в зону сдвижения от подработки и сохранения ее на весь срок службы выемки запасов) независимо от других параметров геотех-

ногий, испытывает нагрузки: в кровле $\sigma_1 = 12 - 20$ МПа, $\sigma_3 = 4 - 8$ МПа; в боках $\sigma_1 = 8 - 14$ МПа, $\sigma_3 = 4 - 10$ МПа. Напряжения не выходят за параметры предельных характеристик горных пород, что свидетельствует о достаточной устойчивости выработки. При возникновении локальных участков потерь устойчивости, особенно на сопряжениях с подэтажными штреками, попадании в зоны ослабления или сильной нарушенности автотранспортный уклон подлежит обязательному креплению.

Напряжения, возникающие в рудопородном массиве вокруг выработок и очистных забоев (анализируется наихудшая горнотехническая обстановка при погашении запасов), не превышают предельные характеристики горных пород, что свидетельствует об удовлетворении требованиям устойчивости. Существует высокая вероятность разрушения пород в основных элементах выработок при повышении нарушенности горного массива. В подобных условиях выработки подлежат обязательному креплению с применением индивидуальных и комбинированных видов крепей.

Для глубин 150–250 м от дна карьера рекомендуются следующие параметры систем разработки с породной закладкой:

— при камерной технологии длина пролета камеры должна составлять не более 65 м, высота междуэтажных целиков — не менее 10.0 м, ширина междукамерных целиков — не менее 12 м (при длинах камер — 60–65 м), расстояние от полевых подготовительных и капитальных выработок до залежи — не менее 10 и 30–60 м соответственно;

— при слоевой выемке в условиях простирания залежи на расстояние более 100 м ее необходимо делить на камеры с оставлением междукамерных целиков шириной не менее 10 м, максимальный пролет (длина) очистного слоя — не более 100 м, высота междуэтажных целиков — не менее 10.0 м при мощности залежи до 6.0 м, расстояние от полевых подготовительных и капитальных выработок до рудного тела — не менее 10 м (с учетом наклона заездов на слои эти расстояния составляют 25–30 м) и 30–60 м соответственно.

Выполненные геомеханические исследования показали, что с ростом мощности извлекаемых рудных тел при одинаковых параметрах геотехнологий (постоянных размерах целиков для разных мощностей залежей) несущая способность междукамерных и междуэтажных целиков будет снижаться и потребуются увеличение линейных размеров их ширины. Использование породной закладки для обеспечения требуемой безопасности горных работ возможно при отработке рудных тел мощностью не более 4–6 м в породах средней и выше средней нарушенности. Сопоставление вариантов выемки показывает превосходство по степени безопасности геотехнологий с увеличенными параметрами междуэтажных и междукамерных целиков, а также слоевой системы разработки, применение которой оправдывается только в сложных геомеханических условиях и в сильно нарушенных рудопородных массивов.

ВЫВОДЫ

Напряженно-деформированное состояние в рудопородном массиве для геологических и горнотехнических условий рассматриваемого золоторудного месторождения не является критическим. Напряжения предельны в областях очистного пространства, доступы в которые ограничиваются.

Междуэтажный целик в условиях максимальной надработки и подработки независимо от системы разработки находится в объемном сжатии, которое обеспечивает ему достаточную устойчивость. Частичное разрушение может быть вызвано непредвидимым ростом нарушенности горных пород, обусловленной техногенной деятельностью.

Области массива горных пород в зоне очистной выемки находятся в близком к предельному состоянию, что может привести к потере устойчивости и интенсивному трещинообразованию. Сопряжения и протяженные участки подготовительно-нарезных выработок подлежат обязательному креплению.

Установлено, что для интервала глубин +150 ÷ 270 м разрушению наиболее подвержена кровля выработок. На верхних горизонтах из-за формирования сложного напряженного состояния, вызванного наличием карьерной выемки и подработкой массива пород, кровля и бока выработок одинаково подвержены разрушению. Определены параметры камерной и слоевой систем разработки с породной закладкой, обеспечивающие безопасное погашение рудных запасов до глубины 250 м от дна карьера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уткин В. П. Разрывные нарушения Восточного Приморья // Изв. АН СССР. Сер. Геология. — 1977. — № 3. — С. 104–112.
2. Рассказов И. Ю. Численное моделирование современного поля тектонических напряжений области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов // Тихоокеан. геология. — 2006. — № 5. — Т. 25. — С. 104–114.
3. Саксин Б. Г., Рассказов И. Ю., Шевченко Б. Ф. Принципы комплексного изучения современного напряженно-деформированного состояния верхних уровней земной коры Амурской литосферной плиты // ФТПРПИ. — 2015. — № 2. — С. 53–66.
4. Король Р. В., Будник С. И. Некоторые особенности строения южной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса // Геология и металлогения Южного Приморья: тр. ДВПИ. — Владивосток, 1975. — Т. 110. — С. 48–52.
5. Рассказов И. Ю., Саксин Б. Г., Потапчук М. И., Аникин П. А. Оценка геомеханических условий и обоснование мер безопасности при проектировании и ведении подземных горных работ на рудниках Дальнего Востока // ГИАБ. — 2015. — Спец. вып. 30: Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера. — С. 35–46.
6. Кочарян Г. Г., Золотухин С. Р., Калинин Э. В., Панасьян Л. Л., Спунгин В. Г. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород Коробковского железорудного месторождения на участке зоны тектонических нарушений // ФТПРПИ. — 2018. — № 1. — С. 16–24.
7. Усков В. А., Еременко А. А., Дарбинян Т. П., Марысюк В. П. Оценка геодинамической опасности тектонических структур для подземной разработки Северных залежей Октябрьского месторождения // ФТПРПИ. — 2019. — № 1. — С. 86–96.
8. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. — М.: Мир, 1975.
9. Курленя М. В., Серяков В. М., Еременко А. А. Техногенные геомеханические поля напряжений. — Новосибирск: Наука, 2005.
10. Назаров Л. А., Назарова Л. А., Фрейдин А. М., Алимсеитова Ж. К. Оценка длительной сохранности целиков при камерно-столбовой выемке рудных залежей // ФТПРПИ. — 2006. — № 6. — С. 11–21.
11. Серяков В. М., Риб С. В., Басов В. В., Фрянов В. Н. Геомеханическое обоснование параметров технологии отработки угольных пластов в зоне взаимовлияния очистного пространства и передовой выработки // ФТПРПИ. — 2018. — № 6. — С. 21–29.

- 12. Современная геодинамика** массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования / В. Н. Опарин, А. Д. Сашурин, Г. И. Кулаков и др. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — 449 с.
- 13. Болтенгаген И. Л., Кореньков Э. Н., Попов С. Н., Фрейдин А. М.** Обоснование параметров сплошной камерной системы разработки с управляемым обрушением кровли // ФТПРПИ. — 1997. — № 1. — С. 113–122.
- 14. Цой П. А., Усольцева О. М.** Применение кругов Мора для связи и модельной оценки прочностных данных разноразмерных образцов горных пород // ФТПРПИ. — 2019. — № 2. — С. 14–21.
- 15. Литвинский Г. Г.** Аналитическая теория прочности горных пород и массивов: монография. — Донецк: Норд-Пресс, 2008. — 207 с.
- 16. Неверов А. А.** Геомеханическое обоснование нового варианта камерной выемки пологих мощных залежей с выпуском руды из подконсольного пространства // ФТПРПИ. — 2012. — № 6. — С. 87–97.
- 17. Казикаев Д. М.** Геомеханика подземной разработки руд: учебник для вузов. — М.: МГГУ, 2005.

Поступила в редакцию 6/VII 2020

После доработки 8/VII 2020

Принята к публикации 9/VII 2020