

УДК 622.831; 622.2; 622.235

А. А. Еременко, В. А. Еременко, Л. Н. Гахова

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ АРТЕМЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

При переходе горных работ на нижележащие горизонты на Артемьевском месторождении в Казахстане резко ухудшаются условия эксплуатации наклонных залежей богатых полиметаллических руд.

Отработка рудных запасов производится системами разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства в нисходящем и восходящем порядке, а также камерно-целиковой с твердеющей закладкой. Вследствие этого повышаются требования к технологии, включающей отработку залежей со своевременной закладкой выработанного пространства.

Данная проблема имеет множество аспектов, из которых не в полной мере изучены такие стороны, как использование особенностей геотехнологии с обеспечением управления геомеханическими процессами в районе выемки камер и целиков, где наблюдается обрушение горных пород. Особое место занимают исследования по установлению влияния масштаба горных работ на напряженно-деформированное состояние массива и интенсивность разрушения камер [1, 2].

В связи с этим разработка и обоснование новых технологических решений на основе геомеханической оценки состояния массива позволит повысить безопасность и эффективность ведения горных работ.

Геологическая, горнотехническая и геомеханическая характеристика Артемьевского месторождения

Артемьевское месторождение представляет собой систему пластообразных залежей, локализуемых в двух субпараллельных ветвях единой рудной зоны: Северо-Восточной (Основная, Промежуточная, Восточная и Юго-Восточная залежи) и Юго-Западная (Западная и Центральная залежи) [3]. Рудные залежи месторождения располагаются в мощной зоне дробления, находящейся на контакте пород гериховской и таловской свит. Породы гериховской свиты слагают висячий бок рудных залежей, таловской свиты — лежащий бок.

Выделено семь рудных залежей (с северо-запада на юго-восток): Камышинская, Основная, Промежуточная, Восточная, Юго-Восточная, Западная и Центральная. Основная часть Камышинской залежи отработана Камышинским карьером.

Наиболее крупной залежью месторождения является Основная. В ней сосредоточено 53% всех запасов месторождения. Основная залежь расположена на глубинах от 160-200 м на северо-западе до 600 м на юго-востоке. По простиранию залежь

прослежена на 1300 м. В плане залежь имеет неправильную форму. Наблюдаются резкие изменения угла ее падения (от 0 до 60°), ширины (от 60 до 400 м) и мощности с раздувами и пережимами по падению и по простиранию. Основная залежь представлена Главным рудным телом и серией сопровождающих его рудных линз со стороны обоих контактов.

Главное рудное тело представляет собой линзу сложной формы. Она имеет общее склонение на юго-восток под углом 10-15°. Углы падения его изменяются от 0 до 10-30°, достигая на отдельных участках 60°. Горизонтальная часть рудного тела представляет собой компактную плиту с резкими перепадами мощности от 8 до 42 м и отдельными пережимами до 2 м. Сплошность рудного тела иногда нарушается дайками плагиигранит-порфиров.

Руды и породы по устойчивости представлены 5 категориями [3-5]. На основании проведенных исследований институтом ВНИИцветмет установлена возможность оценки проявления горного давления в динамической форме на месторождении при ведении горных работ [4, 5]. Оценка напряженного состояния массива горных пород показала, что в массиве месторождения горизонтальные напряжения равны действующей силе тяжести налегающей толщи пород от дневной поверхности до глубины ведения очистных работ.

Годовая производительность рудника оценивается в 1,5 млн т/год.

Выбор систем разработки производился по горно-геологическим факторам с учетом требований безопасности труда, охраны недр и минимизации себестоимости добычи руды. Высокая ценность руд и их пожароопасность предопределили применение систем разработки с закладкой выработанного пространства:

1. Система горизонтальных слоев с закладкой в нисходящем порядке. Подготовка блока включает проходку штреков и транспортных заездов на уровне откаточного горизонта, наклонного съезда под углом 6-12° между верхним и нижним горизонтами, рудоспусков и вентиляционно-закладочных восстающих. В зависимости от условий наклонный съезд располагают в рудном теле или во вмещающих породах [3, 4].

Запасы блока отрабатывают слоями в нисходящем порядке в пределах этажа или подэтажа. Для увеличения фронта работ добычу руды ведут, как правило, одновременно на двух-трех подэтажах. При этом расстояние по вертикали между одновременно обрабатываемыми слоями в



Рис. 1. Расположение камер в блоке 5^б на горизонте 4. 1 – камеры с закладкой; 2 – камеры без закладки; 3 – обрушение горных пород; 4 – штрек; 5 – орт; 6 – наклонный заезд

смежных подэтажах не менее 15 м. Развитие работ в слое начинают с проходки из наклонного съезда или из заезда на слой разрезного слоевого штрека (орта) под углом 3-5°. Первый слой обрабатывают под рудной кровлей, а последующие — под искусственной. Выемку руды в слоях осуществляют заходками, которые обрабатываются из разрезной выработки.

2. Система горизонтальных слоев с закладкой в восходящем порядке. Сущность восходящей слоевой выемки руды с первоочередной обработкой вертикальной разрезной ленты состоит в разделении выемочного участка на вертикальные ленты, ориентированные по восстанию залежи. Их отработка осуществляется слоями снизу вверх с закладкой и оставлением между кровлей слоя и

Таблица. Физические свойства налегающих пород Артемьевского месторождения

Руды и породы	Плотностные свойства, от ÷до/ср.			Прочностные свойства, от ÷до/ср.		Упругие свойства, от ÷до/ср.		Расчетный коэффициент крепости
	Объемная масса, $\gamma \times 10^{-3}$, кг/м ³	Плотность, $\rho \times 10^{-3}$, кг/м ³	Пористость, %	Прочность на сжатие, $\sigma_{сж}$, МПа	Прочность на растяжение, σ_r , МПа	Модуль упругости, $E \times 10^{-4}$, МПа	Коэфф. Пуассона, μ	
Порфириты диабазовые	2,71÷2,97 2,81	2,77÷3,01 2,84	0,35÷3,47 1,42	77÷221 221	5÷13 8	6,19÷9,49 8,03	0,17÷0,31 0,24	6-16 11
Порфириты андезитодацитовые	2,61÷2,81 2,70	2,70÷2,84 2,74	0,71÷4,0 1,82	56÷165 107	5÷10 7	4,93÷8,79 6,91	0,04÷0,26 0,18	7-17 11
Алевролиты	2,68÷2,84 2,72	2,68÷2,84 2,72	0,74÷3,20 1,74	56÷218 96	4÷26 8	6,76÷8,68 7,78	0,15÷0,31 0,23	4-10 6
Альбитовые кварцевые	2,58÷2,70 2,64	2,65÷2,68 2,69	1,11÷1,87 1,36	60÷181 119	6÷16 10	6,46÷8,45 7,14	0,14÷0,22 0,20	4-8 6
Лавы кварцевых альбитофиров	2,64÷2,68 2,67	--	-	90÷130 100	7÷9 8	6,21÷7,54 6,93	0,15÷0,23 0,20	6-19 13
Лавобрекчии кварцевых альбитофиров	2,67÷2,74 2,71	-	-	30÷100 60	6÷8 7	6,64÷7,60 7,00	0,17÷0,22 0,19	3-10 6
Порфириты дипаритовые	2,63÷2,70 2,65	2,66÷2,74 2,68	1,11÷2,23 1,41	9÷200 160	5÷13 9	6,98÷8,8 7,70	0,14÷0,21 0,18	6-19 13
Метасоматиты	2,73	2,85	3,51	46	12	8,11	0,23	3-9 6

закладкой свободного технологического пространства. Восходящий порядок может применяться при разработке руд устойчивых и средней устойчивости. Сплошная слоевая система с закладкой в восходящем порядке применяется для отработки участков раздувов залежей в рудах с устойчивостью не ниже средней. Слоевая система разработки со стадийной выемкой и закладкой в восходящем порядке используется для отработки флангов рудных залежей средней и малой мощности.

3. Подэтажно-камерной системой разработки отрабатываются участки сплошных полиметаллических и медно-колчеданных руд с устойчивостью выше средней и мощностью более 8-10 м. Устойчивость пород кровли в период очистной выемки и закладки обеспечивается отбойкой камер с допустимыми пролетами. Для исключения смешивания разных технологических сортов руды отрабатываемые камеры располагаются в одном технологическом сорте руды.

Следует отметить, что на некоторых участках рудника из-за отставания закладочных работ начинается обрушение руды и налегающих пород, что приводит к потерям и разубоживанию руды, а также к увеличению объема подготовительно-восстановительных работ.

Так, например, отработка камер К-2с, К-5, К-6 и К-8 осуществлялась в блоке 5^б, отм. 63 ÷ 88 м, гор. 4 на глубине 350-360 м (рис. 1). Суммарный объем выработанного пространства камер составил 38900 м³.

Напряженно-деформированное состояние горных пород в окрестности выработанных пространств рудной залежи

Исследовалось напряженное состояние массива горных пород в окрестности отработанных пространств. Исходное напряженное нетронутого массива - $\sigma_y^\infty = -\gamma H^0$, $\sigma_x^\infty = -\lambda\gamma H^0$, при $\lambda=1$, где $\sigma_y^\infty, \sigma_x^\infty$ - соответственно вертикальный и горизонтальный компоненты напряжений, λ - коэффициент бокового распора, γ - объемный вес пород, МН/м³, H^0 - глубина расположения исследуемой области.

Физико-механические свойства околорудной зоны приняты по данным, полученным по образцам из керна геологоразведочных скважин, и учитывались интегрально в зависимости от типов вмещающих пород и руд. Пределы прочности на сжатие и растяжение, сцепление, угол внутреннего трения и коэффициент структурного ослабления принимался по значениям соответствующих параметров налегающих пород (табл.).

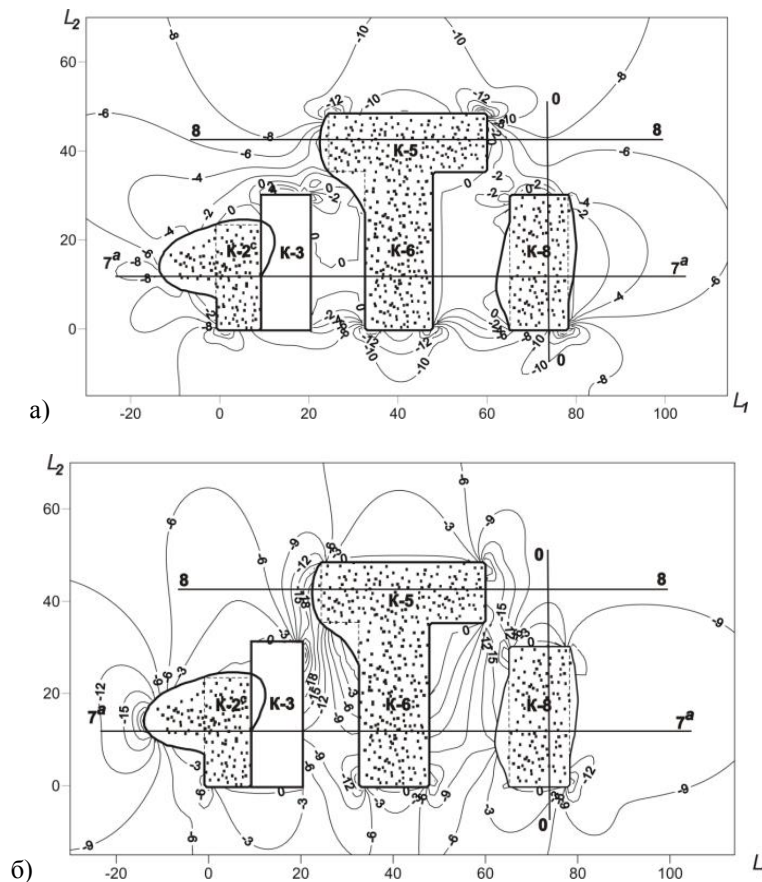


Рис. 2. Схема расположения камер К-2с, К-3, К-5, К-6, К-8 (в плане) и распределение сжимающих напряжений (-4 ÷ -32 МПа) в блоке 5Б на гор. 4, а, б - напряжения в локальной системе координат L_1, L_2 ; 1 - обрушение в бортах камер; 0 - 0, 8 - 8, 7^а - 7^а - вертикальные разрезы

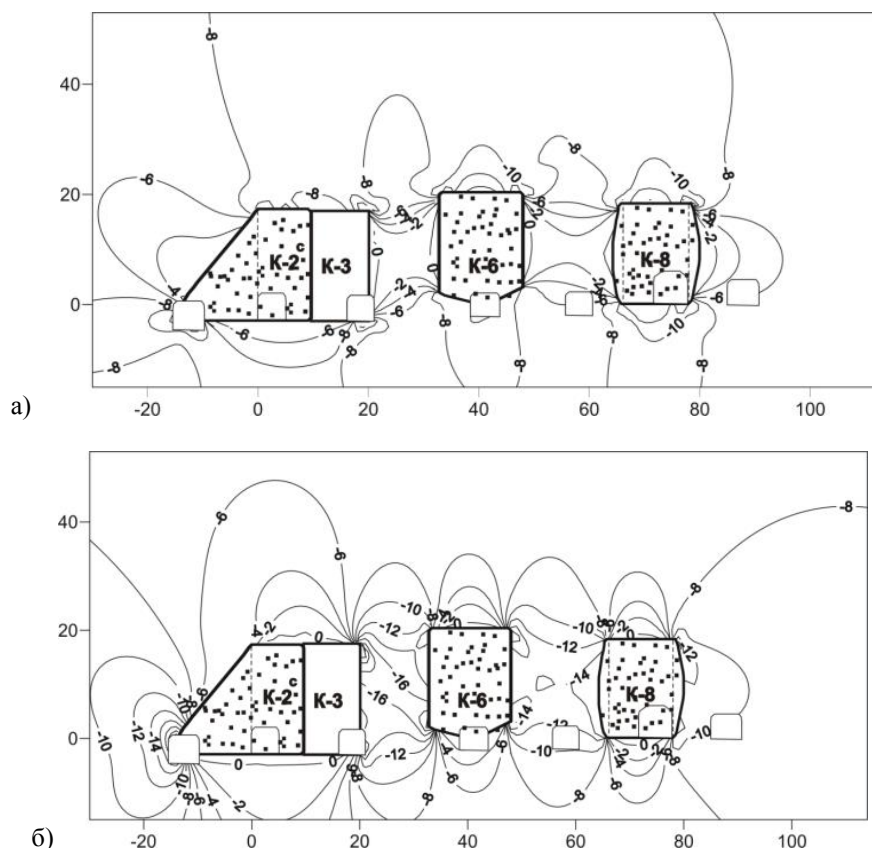


Рис. 3. Распределение горизонтальных (а) и вертикальных (б) напряжений (МПа) в районе камер К-2^с, К-3, К-6, К-8 (разрез 7^а – 7^а)

В качестве математической модели использовался аппарат метода граничных интегральных уравнений для многосвязных кусочно-однородных областей [6, 7].

Результаты расчетов представлены в виде графиков изолиний компонентов тензора напряжений (σ_x , σ_y) и напряжениями σ_s , сравниваемыми со сцеплением массива и позволяющими для анализа воспользоваться критерием Кулона-Мора [7, 8]:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2 \cos \varphi} - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \operatorname{tg} \varphi,$$

где $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ - главные напряжения; φ - угол внутреннего трения.

С учетом коэффициента структурного ослабления сцепление массива принято $C^M = 3$ МПа. Зоны массива, в которых рассчитанные напряжения σ_s превосходят сцепление массива ($\sigma_s \geq C^M$), являются зонами возможного неупругого деформирования.

Исследовалось НДС массива в районе камер К-2с, К-5, К-6, К-8 (заполненных закладочным материалом) и камеры К-3 (без закладки). В массиве горных пород со стороны северного, южного, восточного и западного бортов (рис. 1) сжимающие напряжения вкрест и по простиранию камер составили соответственно -10 (-12) ÷ -2 (-4) МПа (рис. 2); с восточной и западной сторон — -3 (-12) МПа.

В вертикальной плоскости между отм. 62 – 90 м сжимающие горизонтальные и вертикальные напряжения составили -4 ÷ -8 и -6 ÷ -10 МПа (рис. 3). Расположение зон неупругих деформаций в окрестности камер в плане наблюдается между К-3 – К-6 и К-6 – К-8, а также у бортов камер на расстоянии 2-3 (10) м (рис. 4). В вертикальной плоскости эти зоны представлены на рис. 5.

Вокруг камеры К-3^ю, объем которой равен 12950 м³, а также в целике между К-3^ю и К-2, сформировалось поле напряжений с северной и южной стороны (рис. 6).

Сжимающие напряжения по и вквост их простирания колебались от -2 (-8) до -10 МПа; максимальные горизонтальные и вертикальные сжимающие напряжения достигают -20 МПа (рис. 7). Зоны неупругих деформаций сформировались на расстояниях от 2-3 до 7 м от контура камер; в целике шириной около 12 м также наблюдалась зона неупругих деформаций (рис. 8).

Влияние объема выработанного пространства на НДС массива при отработке блоков

Анализ влияния объема выработанного пространства (V тыс. м³) на величины напряжений проводился для условий отработки камер К-2^с, К-3, К-5, К-6, К-8, К-40, К-3^ю, К-17, К-35 и др. на гор. 4 без и с закладкой обнажений, при этом объ-

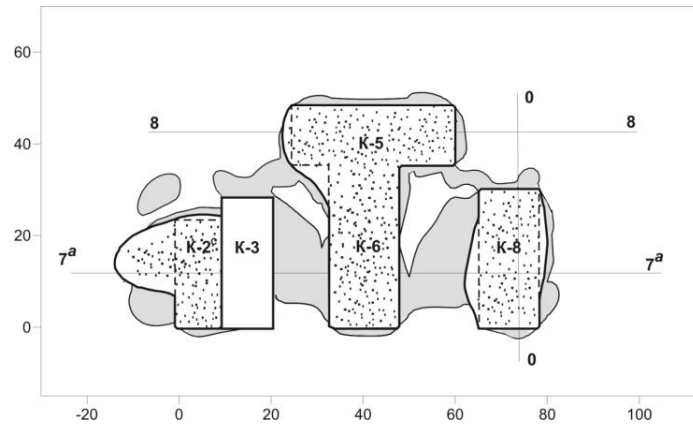


Рис. 4. Расположение зон неупругих деформаций в окрестности камер К-2^с, К-3, К-5, К-6, К-8 (в плане)

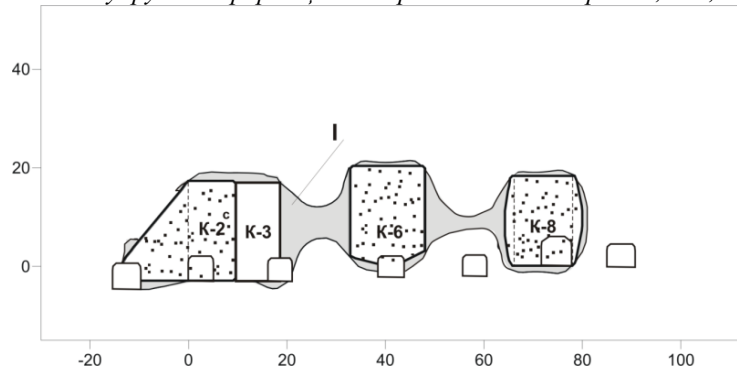


Рис. 5. Зона неупругих деформаций (I) в районе камер К-2^с, К-3, К-6, К-8 (разрез 7^а – 7^а)

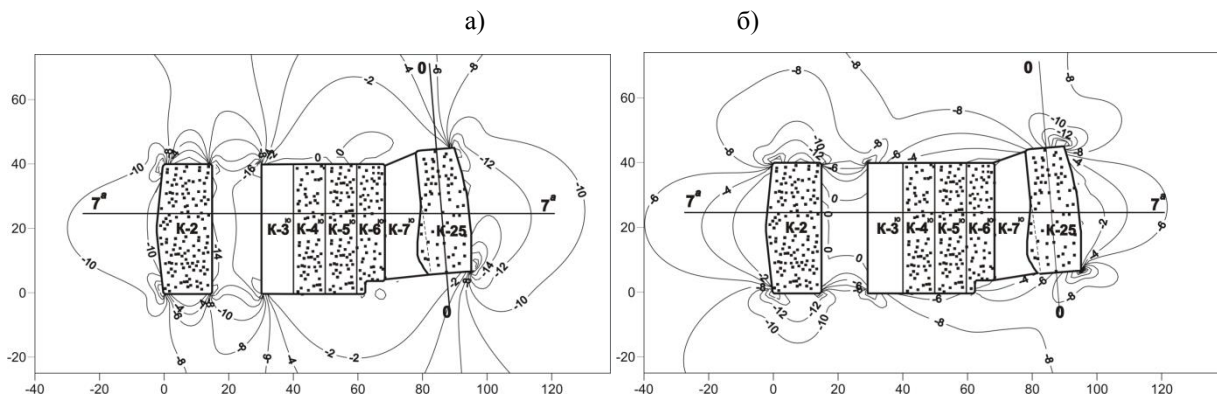


Рис. 6. Распределение напряжений (МПа) по простиранию (а) и вкост простирания (б) камер К-2, К-3^ю, К-4^ю, К-5^ю, К-6^ю, К-7^ю, К-25 (в плане). 7^а-7^а, 0 – 0 – вертикальные разрезы

ем выработанного пространства колебался от 4 до 58,5 тыс. м³.

Рис. 9 отражает изменение максимальных сжимающих напряжений (σ_{\max}) в районе обрабатываемых камер. Установлено, что σ_{\max} по простиранию камер (в плане) с северной и южной сторон увеличиваются с -6 до -12 МПа при объемах выработанного пространства, равных 4,8-30 тыс. м³, с восточной и западной сторон снижаются до 6 МПа.

В вертикальной плоскости камер зоны σ_{\max} изменяются от 7 до 12,5 МПа, при изменении объемов выработанного пространства 4,8 ÷ 58,9 тыс. м³ (рис. 10). С восточной и западной сторон наибольший градиент (с 7 до 11 МПа) изменений σ_{\max} отмечается при увеличении V до 10 тыс. м³, при

этом в кровле и днище камер с увеличением объемов их отработки σ_{\max} изменяются с 12,5 МПа до 7,5 МПа.

Анализ влияния объемов выработанного пространства на распределение зон неупругих деформаций в районе камер К-2с, К-3, К-5, К-6, К-8, К-40 в плане и в вертикальной плоскости свидетельствует о следующем:

- при увеличении V от 4,8 до 58,9 тыс. м³ зоны неупругих деформаций на гор. 4 (в плане) распространяются на глубину (L , м) 1,5 ÷ 7 м от всех границ камер, оставаясь на уровне 3,8 – 4 м до объемов 50 тыс. м³; резкое увеличение расстояний до 7 м с восточной и западной сторон и снижение до 2 м с северной и южной сторон происходило при изме-

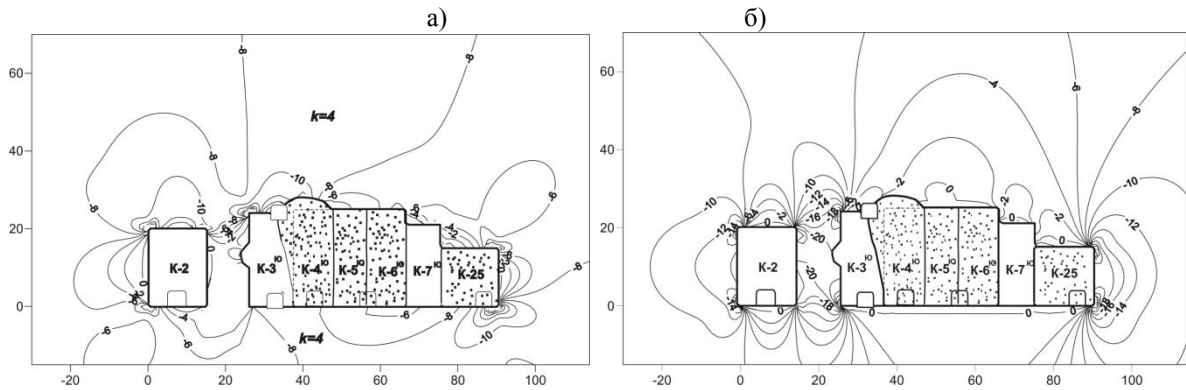


Рис. 7. Горизонтальные (а) и вертикальные (б) напряжения (МПа) в окрестности камер К-2, К-3^ю, К-4^ю, К-5^ю, К-6^ю, К-7^ю, К-25 (разрез 7^а-7^а). k=4- категория устойчивости вмещающего массива

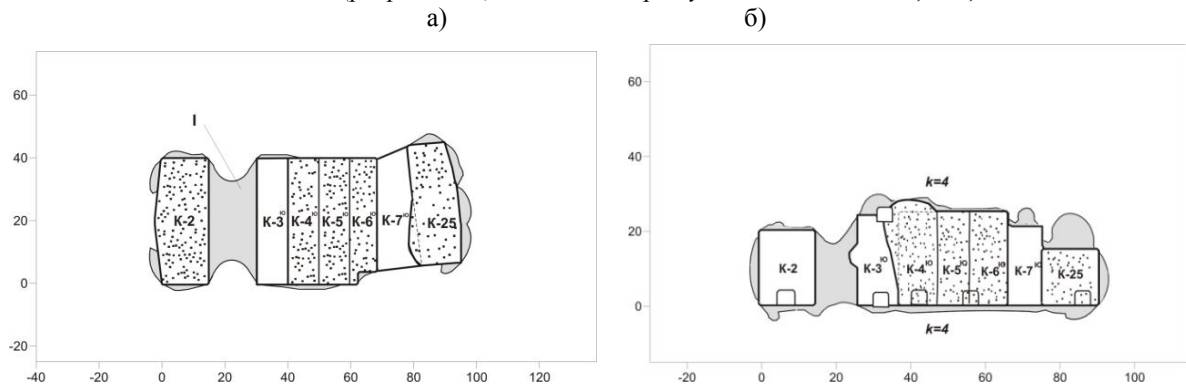


Рис. 8. Зона неупругих деформаций (I) в окрестности камер К-2, К-3^ю, К-4^ю, К-5^ю, К-6^ю, К-7^ю, К-25; а - в плане; б - в вертикальном разрезе (7^а-7^а). k=4 – категория устойчивости вмещающего массива

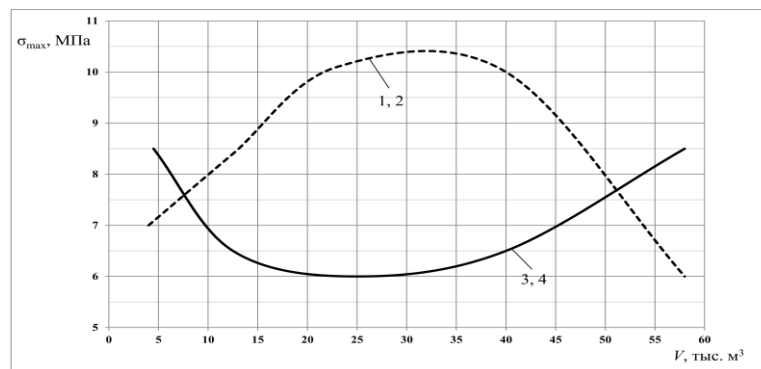


Рис. 9. Изменение σ_{max} в районе обрабатываемых камер на горизонте 4 при различных объемах выработанного пространства. 1-4 – величины сжимающих напряжений по простираанию камер, соответственно, с северной, южной, восточной и западной стороны от границ камер

нении V от 50 до 58,9 тыс. м³ (рис. 11);

- в вертикальном сечении с увеличением V во всех направлениях наблюдается увеличение глубины зон неупругих деформаций: максимальных значений L с северной и южной стороны отработанного пространства достигают при $V \approx 20$ тыс.м³, с западной и восточной сторон – при $V \approx 25$ тыс.м³; при дальнейшем увеличении объемов выработанного пространства размеры зоне неупругих деформаций не увеличиваются (рис. 12).

Определение рациональной ширины целиков между камерами при отработке блоков

Проведены исследования по определению рациональной ширины целиков между камерами. В процессе отработки камер на горизонте 4 образовались целики: между камерами К-5 и К-40 – 60 м; К-8 – 20 м; К-17 – 12 м; К-12 и К-14; К-15 и К-17 – 10 м; К-35 и К-40 – 55 м.

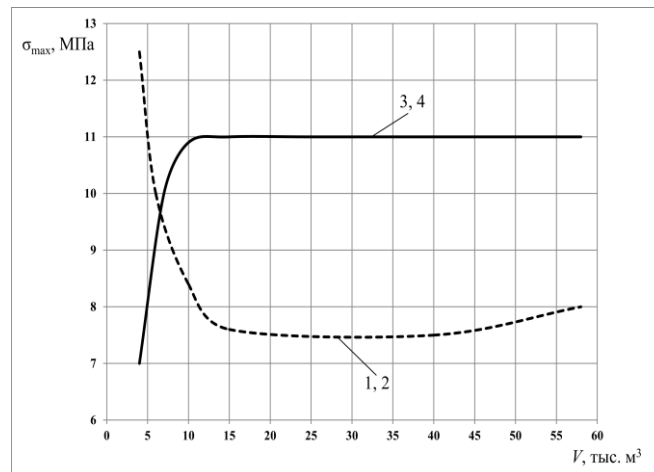


Рис. 10. Изменение σ_{\max} в районе отработанных камер на горизонте 4 при различных объемах выработанного пространства, 1-4 – распределение напряжений вкrest простираения камер, соответственно, в кровле, днище, с восточной и западной сторон

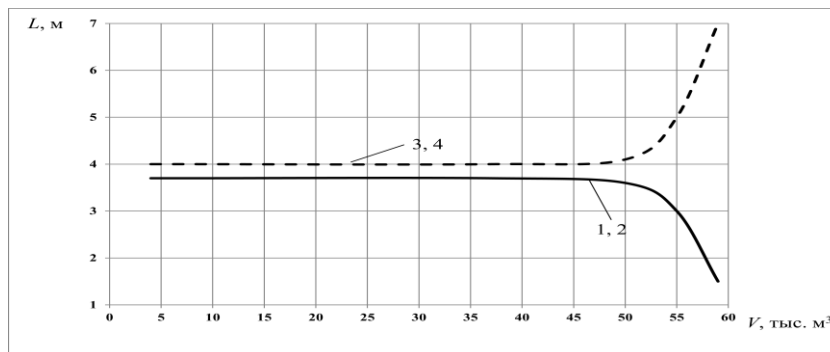


Рис. 11. График изменения глубины зон неупругих деформаций (L) в алевролитах в районе обрабатываемых камер (в плане) при различных объемах выработанного пространства. 1 – 4 – l , соответственно, с северной, южной, восточной и западной сторон от границ камер

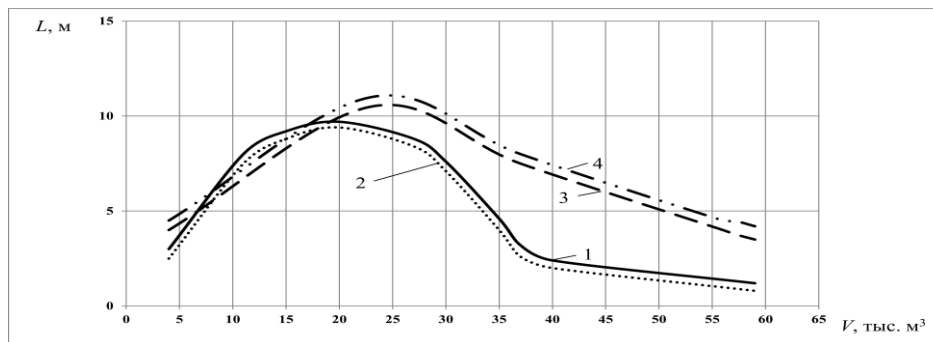


Рис. 12. График изменения глубины зон неупругих деформаций (L) в алевролитах в районе обрабатываемых камер (разрез по вертикали) при различных объемах выработанного пространства. 1 – 4 – l , соответственно, с северной, южной, восточной и западной сторон от границ камер

Установлено, что даже при росте объема выработанного пространства до 58,5 тыс. м³ зоны неупругих деформаций с северной и южной сторон уменьшаются до 10 м, а с восточной и западной увеличиваются до 15 м. В кровле и днище камер при объеме 4,8 тыс. м³ зоны составили 10 м, а с восточной и западной сторон — 12 м (рис. 13). С увеличением объема выработанного пространства зоны в

кровле и днище снизились до 5 м, а с восточной и западной сторон увеличились до 12 м. Установлено, что для повышения безопасности и эффективности очистных работ следует ширину блоков между камерами принимать не менее 10-15 м.

Выводы

1. Для условий Артемевского полиметаллического месторождения определены величины

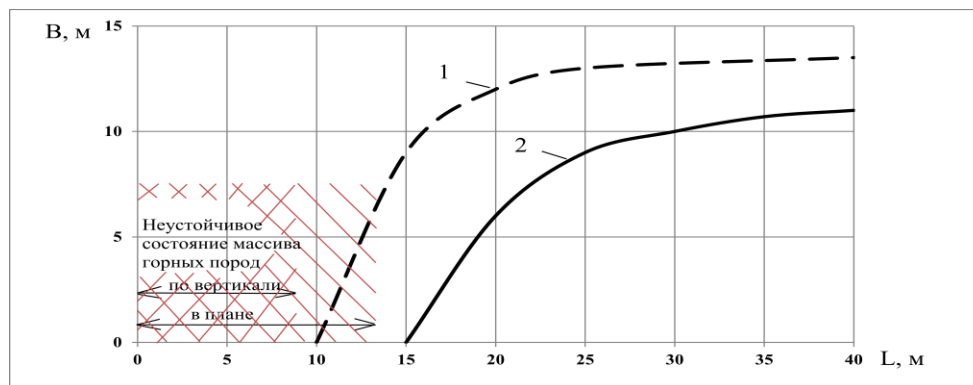


Рис. 13. Изменение величины зоны неупругих деформаций (В) в целиках и во вмещающем массиве горных пород на гор.4. 1, 2 – распределение зон соответственно в плане и по вертикали

сжимающих горизонтальных и вертикальных напряжений в окрестности отработанных камер, а также зоны неупругих деформаций в массиве горных пород, позволяющие давать оценку устойчивости массива при очистной выемке рудных запасов без и с закладкой камер. Установлено, что на глубине ведения очистных работ максимальные сжимающие напряжения с увеличением объема выработанного пространства от 4,8 до 58,9 тыс. м³ колеблются от –7 до –12 МПа, при этом в кровле и днище камер напряжения снижаются от –12 до –7,5 МПа, а с восточной и западной сторон - увеличиваются от –7 до –12 МПа.

2. Установлено, что с увеличением объема

выработанного пространства от 4,8 до 58,9 тыс. м³ происходит рост зон неупругих деформаций в массиве (в плане), при этом максимальная глубина этих зон может достигать 7 м и более. В вертикальной проекции выработанного пространства максимальные расстояния распространения этих зон достигают 10-12 м при объемах от 18 до 25 тыс. м³.

3. Определено, что при выемке рудных запасов на гор. 4 при ширине целиков между выработанными пространствами 10-15 м и менее наблюдается наложение зон неупругих деформаций, что приводит к разрушению бортов камер и обрушению горных пород в выработках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко А. А., Еременко В. А., Колтышев В. Н. Исследование геомеханического состояния массива горных пород на железорудных месторождениях при увеличении объема выработанного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 1. – С. 67-68.
2. Еременко А. А., Еременко В. А., Гайдин А. П. Горно-геологические и геомеханические условия разработки железорудных месторождений в Алтае-Саянской складчатой области — Новосибирск: Наука, 2009. — 224 с.
3. Оценка устойчивости руд, пород и искусственного массива на Артемьевском руднике в зависимости от времени стояния обнажений. ДГП «ВНИИцветмет», отчет: Усть-Каменогорск, 2009. – 71 с.
4. Инструкция по выбору типов и параметров крепи для Артемьевского рудника Медно-химического комбината ДГП «ВостНИГМИЦМ», Усть-Каменогорск, 2006. — 48 с.
5. Макаров А. Б. Практическая геомеханика. Пособие для горных инженеров. – М.: Горная книга, 2006. – 391 с.
6. Gakhova L. N. Solving problems of stressed states of a mass having block structure / Geocology and Computers. - Moscow: Balkema. - 2000.
7. Курленя М. В., Барышников В. Д., Гахова Л. Н. Развитие экспериментально-аналитического метода оценки устойчивости горных выработок // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. – С. 20-28.
8. Курленя М. В., Барышников В. Д., Гахова Л. Н. Влияние частичного затопления карьера "Айхал" на напряженно-деформированное состояние рудной потолочины // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 4. – С. 23-31.

Авторы статьи

Еременко Андрей Андреевич – доктор технических наук, профессор, зам директора по научной работе Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, e-mail: yeryom@misd.nsc.ru

Еременко Виталий Андреевич - доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем комплексного освоения недр РАН, e-mail: eremenko@ngs.ru

Гахова Лидия Николаевна - старший научный сотрудник Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, e-mail: gakhova@mail.ru

Поступило в редакцию 3.02.2015