

**ГЕОТЕХНОЛОГИЯ**

УДК 622.28, 622.831

А.А. Неверов, С.А. Неверов, А.М. Никольский, Ж.К. Алимсеитова

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ КОМБИНИРОВАННОЙ ВЫЕМКИ С ЗАКЛАДКОЙ И ОБРУШЕНИЕМ К ТЕХНОЛОГИИ ЭТАЖНОГО ОБРУШЕНИЯ**

Сокращение добычи богатых высокоценных руд и вовлечение в отработку залежей минерального сырья средней и ниже средней ценности на сегодняшний день приобретают все большую актуальность. Особенно остро эта проблема начинает проявляться на рудниках Норильской группы полиметаллических месторождений [1, 2].

В настоящее время широко применяемые технологии с закладкой, с одной стороны, создают эффективные условия управления напряженно-деформированным состоянием массива пород, с другой – неспособны обеспечить разработку залежей руд средней ценности на конкурентоспособном уровне. Несомненно, в этих случаях распространения будут получать более дешевые системы с обрушением [1, 2]. При этом огромный научный интерес представляют вопросы плавного перехода от одной технологии к другой.

В настоящей статье предлагается в условиях

применения комбинированной системы разработки с твердеющей закладкой и обрушением рассмотреть влияние зоны принудительного обрушения налегающей толщи над закладочными массивами на область стыковки технологии с системой этажного обрушения в зависимости от тектонотипа массива горных пород [3]. В связи с этим была решена упругая трехмерная задача о напряженно-деформированном состоянии (НДС) массива горных пород с оценкой их устойчивости в области перехода комбинированной технологии в этажную выемку с обрушением (рис. 1) [4].

Краевые условия задачи были приняты в соответствии с моделями геосреды, приведенными в табл. 1 [5-8]. Обоснование горнотехнической ситуации осуществлялось применительно к глубоко-залегавшей (1000 м) пологой рудной залежи мощностью 20 м. Анализировались два варианта перехода комбинированной технологии в систему

Таблица 1. Соответствие геомеханических моделей геосреды типу тектонических структур

Геомеханическая модель	Связь напряженного состояния с глубиной*	Тип тектонической структуры
<b>Геодинамическая</b> 300 ≤ H ≤ 1300; 2.0 ≤ λ ≤ 5.0	$\sigma_{H \max} = \alpha \lambda^\kappa \ln(\gamma H) - \delta \approx \sigma_1;$ $\sigma_{h \min} = \frac{(\sigma_{H \max} + \sigma_v)}{2} \approx \sigma_2;$ $\sigma_v \approx \gamma H \approx \sigma_3$	Устойчивые фундаменты и стабильные щиты платформ. Мобильные сейсмоактивные складчатые системы. Сложный тектонический режим.
<b>Тектоническая</b> 300 ≤ H ≤ 2000; 1.2 ≤ λ ≤ 2.0	$\sigma_{H \max} = 2,8 e^{\kappa \lambda} \gamma H^{0,7} \approx \sigma_1 \text{ или}$ $\sigma_{H \max} \approx \psi \lambda^\kappa \gamma H + \theta \approx \sigma_1;$ $\sigma_{h \min} = (0,6 \div 0,85) \sigma_{H \max} \approx \sigma_2;$ $\sigma_v \approx \gamma H \approx \sigma_3$	Мобильные сейсмоактивные складчатые системы, геосинклинальные складчатые и подвижные пояса, тектонические шарьяжи. Невыдержанный тектонический режим.
<b>Геостатическая</b> 300 ≤ H ≤ 5000; 0.8 ≤ λ ≤ 1.2	$\sigma_{H \max} = \lambda \gamma H \approx \sigma_1 \approx \sigma_2;$ $\sigma_{h \min} = (0,8 \div 1,0) \sigma_{H \max} \approx \sigma_3;$ $\sigma_v \approx \gamma H \approx \sigma_1 \approx \sigma_2; \quad \sigma_1 \approx \sigma_2 \approx \sigma_3 \approx \gamma H$	Молодые подвижные платформы, грабены, шарьяжи. нетектонический и сбросовый режимы.
<b>Гравитационная</b> 300 ≤ H ≤ 5000; λ = $\frac{\nu}{1-\nu}$	$\sigma_{H \max} \approx \lambda \gamma H \approx \sigma_2;$ $\sigma_{h \min} \approx \lambda \gamma H \approx \sigma_3; \quad \sigma_v \approx \gamma H \approx \sigma_1$	Платформенные осадочные чехлы, подвижные щиты и платформы, рифты, Каледониды в виде шарьяжей.

\* Примечание: γ – удельный вес пород, МН/м<sup>3</sup>; H – глубина залегания, м; λ – коэффициент бокового давления, (распора); ν – коэффициент Пуассона; κ – эмпирический коэффициент, учитывающий деформационно-прочностные свойства пород. Для прочных пород κ = 0,17÷0,30, для пород средней прочности и ниже κ = 0,10÷0,17; α, δ, ψ и θ – эмпирические коэффициенты пропорциональности, α ≈ 32÷37, δ ≈ 65÷80, ψ ≈ 0,8÷0,9, θ ≈ 5÷10.

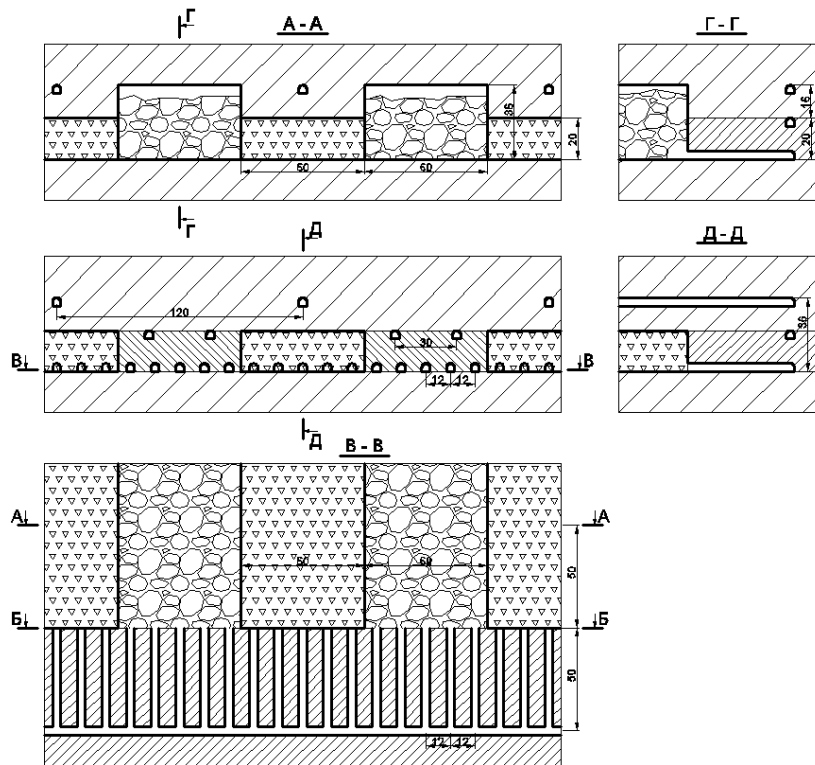


Рис. 1. Горнотехническая ситуация при переходе комбинированной технологии выемки с закладкой и обрушением на отработку системой с обрушением

с обрушением: I-вариант – классический (без обрушения пород над заложёнными камерами); II-вариант – с принудительным погашением налегающих пород над закладкой на расстоянии 100 м до линии перехода.

Область расчета включала 5 последовательно вынимаемых панелей с общей длиной фронта отработки по простиранию 300 м и пролетом выработанного пространства 200 м (рис. 2). Руда, вмещающие породы и закладка при моделировании принимались с физико-механическими свойствами, характерными для вкрапленных полиметалли-

ческих рудных залежей месторождений Норильского региона.

Сравнительная оценка геомеханических полей напряжений и устойчивости пород в сложившейся горнотехнической ситуации в районе перехода геотехнологий в зависимости от вида исходной модели геосреды приведена в табличной форме. В табл. 2-4 приведены качественные картины распределения напряжений и возможные зоны запрельного деформирования пород (по критерию Кулона-Мора) по характерным сечениям. В табл. 5 – количественные данные абсолютных величин

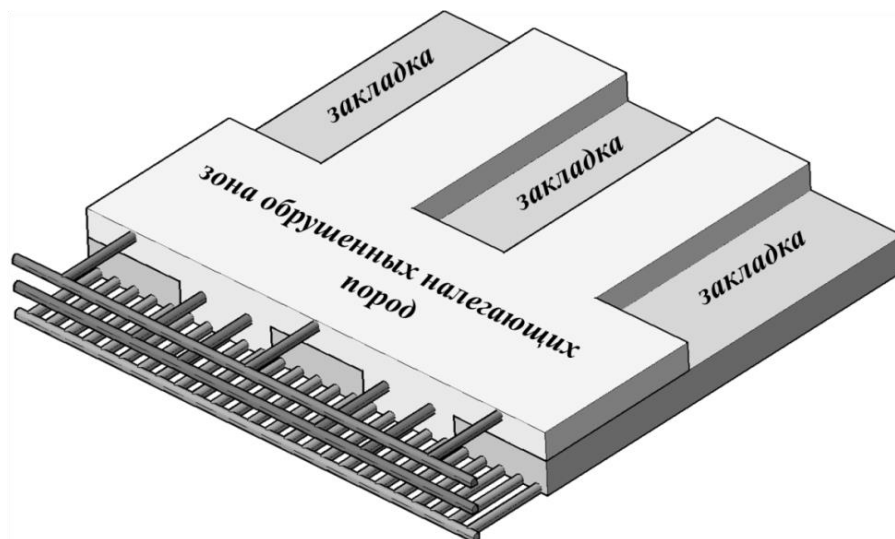
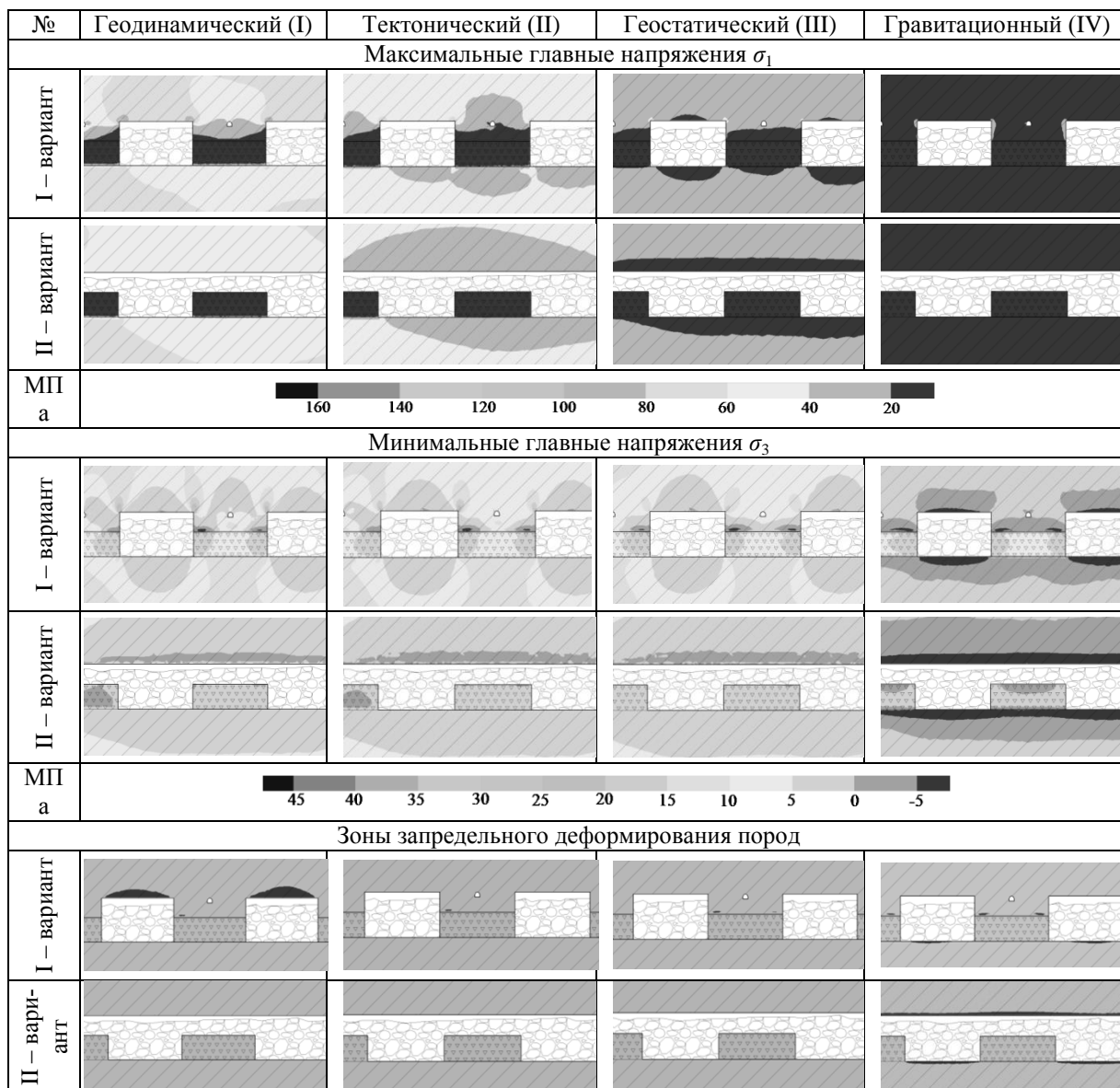


Рис. 2. Горнотехническая ситуация при переходе комбинированной технологии с предварительно погашенной кровлей над заложёнными камерами на отработку системой этажного обрушения

Таблица 2. Характер распределения напряжений и устойчивость пород в поперечном разрезе над зоной обрушения в 50 м от линии перехода



действующих напряжений в массиве пород.

Анализ результатов исследований НДС массива пород и их устойчивости в разрезе над зоной обрушения в 50 м от линии перехода показал:

- максимальные сжимающие напряжения  $\sigma_1$  наблюдаются в кровле над зоной обрушения налегающих пород при геодинамическом и тектоническом типах геосреды (соответственно  $\sigma_1$  составляет 60 и 40 МПа). При этом в I-варианте их концентрация выше на 15-20 %;

- закладочные массивы при наличии зоны обрушения над ними испытывают минимальные нагрузки;

- в почве над заложенными камерами и погашенными целиками породы горнотехнической конструкции, предусматривающей посадку кровли

над закладочными массивами испытывают напряжения  $\sigma_1$  в 1,1-1,15 раза выше, чем в I-варианте;

- потеря устойчивости пород отмечается в кровле и почве зоны обрушения в условиях гравитационной модели геосреды – II-вариант, а также в налегающей толще над погашенными целиками в массивах с геодинамическим распределением исходных напряжений – I-вариант.

Напряженно-деформированная ситуация в сечении по линии перехода комбинированной технологии в систему с обрушением свидетельствует о следующем:

- в условиях отсутствия зоны обрушения над закладочными массивами при всех видах геомеханических моделей на участках в районе центральной части камеры с твердеющей закладкой и

Таблица 3. Зоны запредельного деформирования пород в продольном разрезе по центру камеры с закладкой

№	Геодинамический (I)	Тектонический (II)	Геостатический (III)	Гравитационный (IV)
I – вариант				
II – вариант				

рудного целика, а также их кровли наблюдается рост максимального главного напряжения  $\sigma_1$  (от 1,1 до 2,0 раза);

- кровля и борта буро-доставочных ортов в варианте с принудительным погашением налегающих пород над закладкой испытывают повышенные максимальные касательные напряжения  $\tau_{\max}$ , превышающие в 1,1-1,5 раза, чем в случае без обрушения пород над заложеными камерами;

- применительно к обоим вариантам горнотехнической ситуации перехода одной технологии в другую обширные зоны запредельного деформирования горных пород в кровле и бортах выработок формируются в условиях геодинамической и гравитационной моделях геосреды;

- наличие области разрушения пород в районе кровли над закладочными массивами и рудным целиком во II-варианте при гравитационном характере распределения исходных напряжений в недрах позволяет обеспечить плавное сдвижение налегающей толщи с развитием опасных деформаций вглубь массива и возможный выход их на дневную поверхность.

Влияние рассматриваемой горнотехнической ситуации на НДС призабойной области этажной выемки в центральном продольном сечении камеры с закладкой и целика с обрушением показало:

- вблизи закладочных массивов в призабойной зоне по рудной залежи в I-варианте неза-

висимо от геомеханической модели геосреды главная компонента  $\sigma_1$  на 10-15 % больше, чем при наличии зоны обрушения над закладкой. Аналогичная картина наблюдается в районе целика по рудной залежи;

- наличие в кровле и почве выработанного пространства значительных по величине растягивающих усилий  $\sigma_3$  во II-варианте в условиях гравитационного распределения исходного поля напряжений способствует развитию областей запредельного деформирования пород;

- в I-варианте при геодинамическом типе изменения напряжений в массиве за счет трехкратного превышения горизонтальной максимальной природной компоненты минимальной в кровле над зоной обрушения отмечается потеря устойчивости пород;

- для обоих вариантов стыковки геотехнологий устойчивость пород наблюдается в тектонической и геостатической моделях.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ НДС массива пород и устойчивости конструктивных элементов горнотехнической обстановки перехода комбинированной геотехнологии в систему этажного обрушения в различных типах геомеханических условий разработки на глубине 1000 м и мощности рудной залежи 20 м позволил установить:

- наличие участка обрушенных налегаю-

Таблица 4. Зоны запредельного деформирования пород в продольном разрезе по центру целика с обрушением

№	Геодинамический (I)	Тектонический (II)	Геостатический (III)	Гравитационный (IV)
I – вариант				
II – вариант				

Таблица 5. Напряженно-деформированное состояние горнотехнической ситуации

Наименование анализируемого участка	Напряжения, МПа (I, II, III и IV – тип геомеханической модели)											
	$\sigma_1$				$\sigma_3$				$\tau_{max}$			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
<b>в разрезе над зоной обрушения в 50 м от линии перехода</b>												
в центре камеры с твердеющей закладкой	<u>8,5</u> 4	<u>13</u> 3	<u>14</u> 3	<u>15</u> 1	<u>4</u> 0	<u>5</u> 0	<u>6</u> 0	<u>7</u> 0	<u>2,25</u> 2	<u>4</u> 1,5	<u>4</u> 1,5	<u>4</u> 0,5
в кровле над заложеной камерой	<u>18</u>	<u>15</u>	<u>14</u>	<u>14</u>	<u>7</u>	<u>5,5</u>	<u>4</u>	<u>2</u>	<u>5,5</u>	<u>4,75</u>	<u>5</u>	<u>6</u>
в кровле над зоной обрушения целика	<u>62</u> 53	<u>41</u> 34	<u>18</u> 15	<u>0,5</u> 0,5	<u>0</u> 0	<u>1</u> 0	<u>-1</u> 0	<u>-6,5</u> -9	<u>31</u> 26,5	<u>20</u> 17	<u>9,5</u> 7,5	<u>3,5</u> 4,75
в почве над заложеной камерой	<u>40</u> 45	<u>20</u> 25	<u>16</u> 10	<u>13</u> 0,5	<u>11</u> 0	<u>10</u> 0	<u>10</u> 0	<u>0</u> -5	<u>14,5</u> 22,5	<u>5</u> 12,5	<u>3</u> 5	<u>6,5</u> 2,75
в почве над зоной обрушения целика	<u>50</u> 55	<u>32</u> 35	<u>14</u> 14	<u>0,5</u> 0,5	<u>0</u> 0	<u>1</u> 0	<u>0</u> 0	<u>-8,5</u> -9,2	<u>25</u> 27,5	<u>15,5</u> 17,5	<u>7</u> 7	<u>4,5</u> 4,85
<b>в разрезе по линии перехода</b>												
в районе центра камеры с твердеющей закладкой	<u>40</u> 35	<u>31</u> 28	<u>30</u> 21	<u>38</u> 35	<u>10</u> 5	<u>8</u> 3	<u>7</u> 3	<u>4</u> 2	<u>15</u> 15	<u>11,5</u> 12,5	<u>11,5</u> 9	<u>17</u> 16,5
в районе центра рудного целика	<u>60</u> 54	<u>46</u> 43	<u>40</u> 38	<u>60</u> 56	<u>1</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>29,5</u> 27	<u>23</u> 21,5	<u>20</u> 19	<u>30</u> 28
в районе кровли над заложеной камерой	<u>82</u> 40	<u>80</u> 40	<u>70</u> 40	<u>60</u> 56	<u>27</u> 0	<u>25</u> 3	<u>25</u> 1	<u>15</u> 5	<u>27,5</u> 20	<u>27,5</u> 18,5	<u>22,5</u> 19,5	<u>22,5</u> 25,5
в районе кровли над рудным целиком	<u>60</u> 50	<u>46</u> 43	<u>43</u> 41	<u>54</u> 52	<u>2</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>29</u> 25	<u>23</u> 21,5	<u>21,5</u> 20,5	<u>27</u> 26
в районе кровли над зоной обрушения целика	<u>130</u> 135	<u>125</u> 135	<u>120</u> 135	<u>100</u> 120	<u>38</u> 35	<u>34</u> 35	<u>36</u> 35	<u>24</u> 20	<u>46</u> 50	<u>45,5</u> 50	<u>42</u> 50	<u>38</u> 50
в кровле буродоставочного орта (в границах руд. целика)	<u>80</u> 84	<u>76</u> 82	<u>30</u> 40	<u>54</u> 56	<u>5</u> 2	<u>3</u> 2	<u>5</u> 0	<u>20</u> 0	<u>37,5</u> 41	<u>36,5</u> 40	<u>12,5</u> 20	<u>17</u> 28
в бортах буродоставочного орта (в границах руд. целика)	<u>120</u> 130	<u>115</u> 125	<u>115</u> 125	<u>130</u> 130	<u>10</u> 18	<u>10</u> 15	<u>12</u> 15	<u>22</u> 15	<u>55</u> 56	<u>52,5</u> 55	<u>51,5</u> 55	<u>54</u> 57,5
<b>в разрезе по центру камеры с закладкой</b>												
в кровле над заложеной камерой	<u>26</u>	<u>24</u>	<u>22</u>	<u>15</u>	<u>8</u>	<u>8</u>	<u>5</u>	<u>2</u>	<u>9</u>	<u>8</u>	<u>8,5</u>	<u>6,5</u>
в кровле над зоной обрушения	– 57	– 37	– 23	– 0,5	– 0	– 0	– 0	– -5	– 28,5	– 18,5	– 11,5	– 2,75
в призабойной области по рудной залежи	<u>66</u> 61	<u>62</u> 53	<u>60</u> 50	<u>70</u> 60	<u>12</u> 5	<u>14</u> 5	<u>14</u> 5	<u>11</u> 4	<u>27</u> 28	<u>24</u> 24	<u>23</u> 22,5	<u>29,5</u> 28
<b>в разрезе по центру целика с обрушением</b>												
в кровле над зоной обрушения	<u>63</u> 55	<u>42</u> 36	<u>22</u> 20	<u>0,5</u> 0,5	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>0</u> 0	<u>-4</u> -6	<u>31,5</u> 27,5	<u>21</u> 18	<u>11</u> 10	<u>2,25</u> 3,25
в призабойной области по рудной залежи	<u>63</u> 57	<u>50</u> 48	<u>44</u> 44	<u>54</u> 56	<u>0</u> 0	<u>2</u> 2	<u>2</u> 2	<u>2</u> 0	<u>31,5</u> 28,5	<u>24</u> 23	<u>21</u> 21	<u>26</u> 28
в призабойной области обрушения налегающих пород	<u>63</u> 57	<u>52</u> 50	<u>50</u> 52	<u>58</u> 61	<u>0</u> 0	<u>2</u> 2	<u>2</u> 2	<u>2</u> 0	<u>31,5</u> 28,5	<u>25</u> 24	<u>24</u> 25	<u>28</u> 30,5
<b>в призабойной зоне в 10 м от линии перехода</b>												
в районе центра камеры с твердеющей закладкой	<u>65</u> 63	<u>54</u> 52	<u>52</u> 50	<u>54</u> 56	<u>24</u> 12	<u>18</u> 10	<u>22</u> 10	<u>14</u> 10	<u>20,5</u> 25,5	<u>18</u> 21	<u>15</u> 20	<u>20</u> 23
в районе центра рудного целика	<u>61</u> 59	<u>50</u> 48	<u>48</u> 46	<u>52</u> 54	<u>6</u> 10	<u>6</u> 6	<u>6</u> 6	<u>5</u> 7	<u>27,5</u> 24,5	<u>22</u> 21	<u>21</u> 20	<u>23,5</u> 23,5

Примечание: в числителе I-вариант, в знаменателе – II-вариант

щих пород над заложеными панелями приводит к разгрузке горной конструкции в призабойной зоне от действия максимальных сжимающих напряжений;

– в кровле и почве области отработки в условиях гравитационной модели геосреды формируются зоны с повышенными растягивающими

напряжениями  $\sigma_3 = -10$  МПа, что способствует развитию и выходу обрушения на дневную поверхность и как следствие к снижению горного давления на флангах участка выемки;

– наибольшая устойчивость горных пород в элементах рассматриваемой горнотехнической ситуации отмечается при тектоническом и геоста-

тическом типе геомеханических условий разработки;

– в геодинамической и гравитационной моделях геосреды за счет высоких по величине соответственно горизонтальной и вертикальной составляющей в краевой части массива и кровле залежи формируются зоны обрушения пород;

– сформированная сплошная (единая) зона обрушенных пород по фронтам очистных работ (по целику и камере), к моменту перехода на систему этажного обрушения, благоприятно сказывается

на устойчивости пород в призабойном массиве;

– вариант, предусматривающий посадку налегающих пород над заложенными камерами, является предпочтительнее, чем классический в виду большей устойчивости пород в области линии перехода одной технологии в другую и возможности активизации процессов выхода опасных деформаций (обрушения) на дневную поверхность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фрейдин А. М., Неверов А. А., Неверов С. А., Филиппов П. А.* Современные способы разработки рудных залежей с обрушением на больших глубинах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.
2. *Неверов А.А.* К вопросу об отработке пологих мощных рудных залежей с закладкой и обрушением / А.А. Неверов, С.Ю. Васичев, А.М. Фрейдин / Труды Всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды», 9-12 октября 2012 г. в II т. Т. I. – Новосибирск: ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН. 2012.- С. 130-135.
3. Патент РФ № 1606667. Способ управления давлением / Фрейдин А.М., Какоило В.Н., Шалауров В.А., и др. – опубл. в БИ, 1990, № 42.
4. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975.
5. *Неверов С.А.* Типизация рудных месторождений с ростом глубины по виду напряженного состояния. Часть II. Тектонотипы рудных месторождений и модели геосреды / С.А. Неверов // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.* – 2012. – № 3. – С. 25-35.
6. *Неверов А.А.* Геомеханическое обоснование нового варианта камерной выемки пологих мощных залежей с выпуском руды из подконсольного пространства // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.* – 2012. – № 6. – С. 87-97.
7. *Неверов А.А.* Геомеханическая оценка комбинированной геотехнологии при отработке мощной пологой рудной залежи / А.А. Неверов // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.* – 2014. – № 1. – С. 119-131.
8. *Фрейдин А.М.* Идентификация тектонотипов массивов горных пород и ее приложение / А.М. Фрейдин, С.А. Неверов, А.А. Неверов // *Горный журнал Казахстана.* – 2013. – № 5. – С. 20-28.

#### Авторы статьи

Неверов Александр Алексеевич,  
к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории подземной разработки рудных месторождений ИГД СО РАН, e-mail: nnn\_aa@mail.ru  
Неверов Сергей Алексеевич,  
к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории подземной разработки рудных месторождений ИГД СО РАН, e-mail: nsa\_nsk@mail.ru  
Никольский Александр Михайлович,  
к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории подземной разработки угольных месторождений ИГД СО РАН, e-mail: nikosya@mail.ru  
Алимсеитова Жанар Кенесхановна,  
к.т.н., старший преподаватель кафедры географии, землеустройства и кадастра, факультета географии и природопользования Казахского Национального Университета им. аль-Фараби, 050038 Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, д. 71, тел.8(727) 3773335, вн. 1488, e-mail: zhanar\_igd@mail.ru

*Поступило в редакцию 14.02.2015*