УДК 622.831:624

В.Л.ТРУШКО, *д-р техн. наук, профессор, trushko@spmi.ru*
А.Г.ПРОТОСЕНЯ, *д-р техн. наук, профессор, (812) 328 82 25*
Р.Э.ДАШКО, *д-р геол.-мин. наук, профессор, regda2002@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

V.L.TRUSHKO, *Dr. in eng. sc., professor, trushko@spmi.ru*
A.G.PROTOSENYA, *Dr. in eng. sc., professor, (812) 328 82 25*
R.E.DASHKO, *Dr. in geol. & min. sc., professor, regda2002@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЯКОВЛЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Обсуждаются геомеханические и гидрогеологические проблемы при освоении Яковлевского железнорудного месторождения, включающие особенности изменения прочности руд различного типа. Выполнена оценка возможности прорыва напорных подземных вод в горную выработку. Анализируются результаты натурных наблюдений за деформированием рудного массива вокруг выработок. Проведены численные эксперименты по выявлению влияния недозаклада на напряженно-деформированное состояние водозащитного рудного целика.

***Ключевые слова*:** руда, прочность, подземные воды, мониторинг, освоение, месторождение, крепь, закладка.

GEOMECHANICAL AND HYDROGEOLOGICAL PROBLEMS OF THE YAKOVLEVSKY DEPOSIT DEVELOPMENT

The article deals with geomechanical and hydrogeological problems under the Yakovlevsky ore deposit development including variations in strength properties. The estimation of feasible underground water inrush inside the mining excavation is done. In situ results of ore strata deformation around excavation are discussed. Numerical modeling of stress and strain in the waterproofing ore pillar due to partially backfilling of excavation is carried out.

***Key words*:** ore, strength, underground waters, monitoring, development, deposit, support, backfilling.

Горно-геологические условия первоочередного участка отработки Яковлевского месторождения богатых железных руд могут быть охарактеризованы как уникальные, что определяется следующими факторами:

• наличие семи высоконапорных водоносных горизонтов, приуроченных к осадочной толще нижнекаменноугольного, юрского и мелового возраста, а также к рудному телу, при этом осушается только рудная

залежь с помощью самоизливающихся горизонтальных и наклонных скважин; горные работы ведутся под неосушенными водоносными водоносными горизонтами;

• рудная залежь большой мощности (до 500 м) представляет сложнопостроенный массив коры химического выветривания железистых кварцитов и кристаллических сланцев, в толще которого выделяются два основных типа дисперсных руд с максимальным содержанием железа, превышающим 60-65 % (богатые руды): «синьки» – мартитовые, железно-слюдково-мартитовые образования восстановительной зоны и «краски» – мартит-гидрогематитовые, гетит-гидрогематитовые образования, сформированные в окислительной среде; в общем балансе объем первых из названных руд превышает 60 %, а вторых – несколько более 25 %;

• наличие региональных тектонических разломов северо-западного, субширотного простирания, реже северо-восточного направлений определяет степень дезинтеграции толщи рудного тела, которая трудно прослеживается и диагностируется в горных выработках; более 90 % наблюдаемых обвалов и вывалов в кровле и боках выработок происходят по плоскостям ослабления тектонического генезиса.

На основании ранее проведенных инженерно-геологических исследований* была составлена классификация железных руд с подразделением на четыре типа по прочности и устойчивости в горных выработках в зависимости от состава, плотности, водоустойчивости, наличия первичных и вторичных структурных связей между частицами руды и ее агрегатами.

I тип – крепкие вторично карбонатизированные руды с низкими значениями пористости, прочность на одноосное сжатие превышает 40 МПа и достигает 120 МПа, реже больше, руды водоустойчивые.

II тип характеризуется неполной карбонатизацией, имеет повышенную пористость, прочность на одноосное сжатие снижается от 40 МПа до 10 МПа, водоустойчивость зависит от типа и состава цемента, а также пористости.

Руды I и II типов развиты в самой верхней части рудной залежи, при этом наибольшие мощности встречены в висячем боку. На горизонте –320 м площадь, занимаемая прочными рудами, сокращается до 60 % от общей площади горизонта, а на горизонте –350 м до 30 %. На первоочередном участке работ мощность крепких руд варьирует в пределах 4-18 м. Прочность и водопроницаемость этих руд in situ зависит также от степени их трещиноватости.

III тип имеет низкую прочность – в пределах от 10 до 2 МПа. Структурные связи в них сформированы за счет смешанного состава цемента – карбонатов и железистых хлоритов. Хлориты – продукт химического выветривания формируют слабые структурные связи, которые при взаимодействии с водой размягчаются, что приводит к снижению прочности руд.

IV тип руд – наименее прочный, имеет временное сопротивление сжатию менее 2 МПа и одновременно характеризуется максимальным содержанием железа – более 60 %. При действии гидродинамического давления руды легко переходят в состояние плывунов, особенно «синьки», для которых критический градиент напора составляет 1,0, реже выше. Для этого типа руд характерна высокая пористость, а на отдельных участках в рудах ненарушенного сложения – макропористость. Общая величина пористости превышает 45 %, а при разуплотнении этих руд может достигать 55 %.

Исследования, проведенные в СПГГИ (ТУ), показали, что параметры сопротивления сдвигу руд IV типа зависят от степени

---

* Разработка и внедрение экологически безопасных комбинированных технологий добычи и комплексной переработки руд, обеспечивающих ввод в эксплуатацию и освоение уникального Яковлевского месторождения богатых железных руд / В.С.Литвиненко, Р.Э.Дашко, В.П.Зубов, А.Г.Протосеня, В.Л.Трушко, А.С.Клямко, В.Ф.Плащинский, А.А.Пранович // Приложение к «Запискам Горного института», 2007.

Development and introduction of ecologically safe combined technologies for ore output and for complex retreatment of ores, providing the input into exploitation and exploration of the unique Yakovlevsk deposit of rich iron ores / V.S.Litvinenko, R.E.Dashko, V.P.Zubov, A.G.Protosenya, V.L.Trushko, A.S.Kliamko, V.F.Plaschinsky and A.A.Pranovich // Supplement to the Proceedings of Mining Institute, 2007.

их водонасыщения и прочности структурных связей. В осушенных рудах IV типа угол внутреннего трения постоянен и составляет 23°, а величина сцепления может варьировать от 0,025 до 0,8 МПа в зависимости от наличия остаточных структурных связей, положения слоистости по отношению к сдвигающему усилию, а также величины плотности.

В водонасыщенных рудах IV типа угол внутреннего трения снижается до 8°, а величина сцепления меньше 0,54 МПа. Вторичное увлажнение этих руд в процессе их испытания на сдвиг сопровождается развитием провальных деформаций и снижением сцепления до 0,22 МПа и менее.

Руды IV типа развиты ниже горизонта – 350 м, т.е. в толще непосредственной кровли очистных выработок, которые проходятся на отметке –370 м.

Руды IV типа требуют возведения крепи до груди забоя и даже в отдельных супесях опережающего крепления.

К числу природных факторов, оказывающих принципиальное влияние на уровень безопасного ведения горных работ и выбор системы разработки месторождения, относятся большие напоры неосушенных водоносных горизонтов и наличие слабых водонеустойчивых руд.

Главным требованием к выбору системы разработки рудного тела является исключение опасных деформаций рудного целика, расположенного между очистными выработками на горизонте –370 м и подошвой нижнекаменноугольного водоносного горизонта, мощность которого будет определять интенсивность перетекания вод в рудное тело, его вторичное увлажнение, а также вероятность прорывов подземных вод.

Безопасность ведения горных работ на глубинах свыше 600 м под неосушенными высоконапорными водоносными горизонтами, залегающими над рудным телом, при наличии в его разрезе слабых неустойчивых отложений (IV тип богатых железных руд), требует проведения комплексных геомеханических исследований, в том числе теоретического, экспериментального и методического при обязательном изучении инженерно-геологических, гидрогеологических и геоэкологических условий, что должно создать основу для выполнения количественных прогнозов по устойчивости горных выработок и предупреждения опасных горно-геологических процессов и явлений.

Следует отметить, что в пределах первоочередного участка обработки Яковлевского месторождения между рудной толщей и неосушенным нижнекаменноугольным напорным водоносным горизонтом отсутствует региональный водоупор (рис.1).

В подошвенной части нижнекаменноугольной толщи известняков прослеживаются невыдержанные прослои глин, углистых глин и углей, т.е. существует тесная гидравлическая связь между напорным горизонтом и дренируемым рудным телом. К наиболее опасным процессам, которые могут привести к необратимым последствиям, следует отнести прорывы подземных вод в выработки. В настоящее время при отсутствии дренажа нижнекаменноугольного горизонта значения напоров, действующих на контакте рудное тело – водоносный горизонт, составляют 370-420 м.

Особенно важным является определение безопасной мощности целика между кровлей подземной выработки и подошвой нижнекаменноугольного водоносного горизонта при условии ведения работ на горизонте –370 м. Наиболее низкая абсолютная отметка контакта известняков с рудным телом в пределах лежачего бока составляет –317 м. Следовательно, реальная мощность целика будет равна [–317-(–370)] = 53 м.

Определение предельной величины напора было выполнено по формуле В.А.Мироненко – В.М.Шестакова:

$$H_{\text{пр}} = \frac{m}{\gamma_{\text{в}}}\left(\gamma + \frac{2c}{b - \operatorname{tg}\varphi \times m\zeta}\right), \qquad (1)$$

где m – мощность целика, разделяющего одиночную выработку от напорного горизонта, m = 53 м; $\gamma_{\text{в}}$ и γ – удельный вес воды и пород (руд) целика, соответственно; c и φ – параметры сопротивления сдвигу пород целика – сцепление и угол внутреннего трения; ζ – коэффициент бокового давления в толще пород (руд); b – ширина одиночной выработки, величина b принята равной 13,0 м согласно проекту («СУБР-проект»).

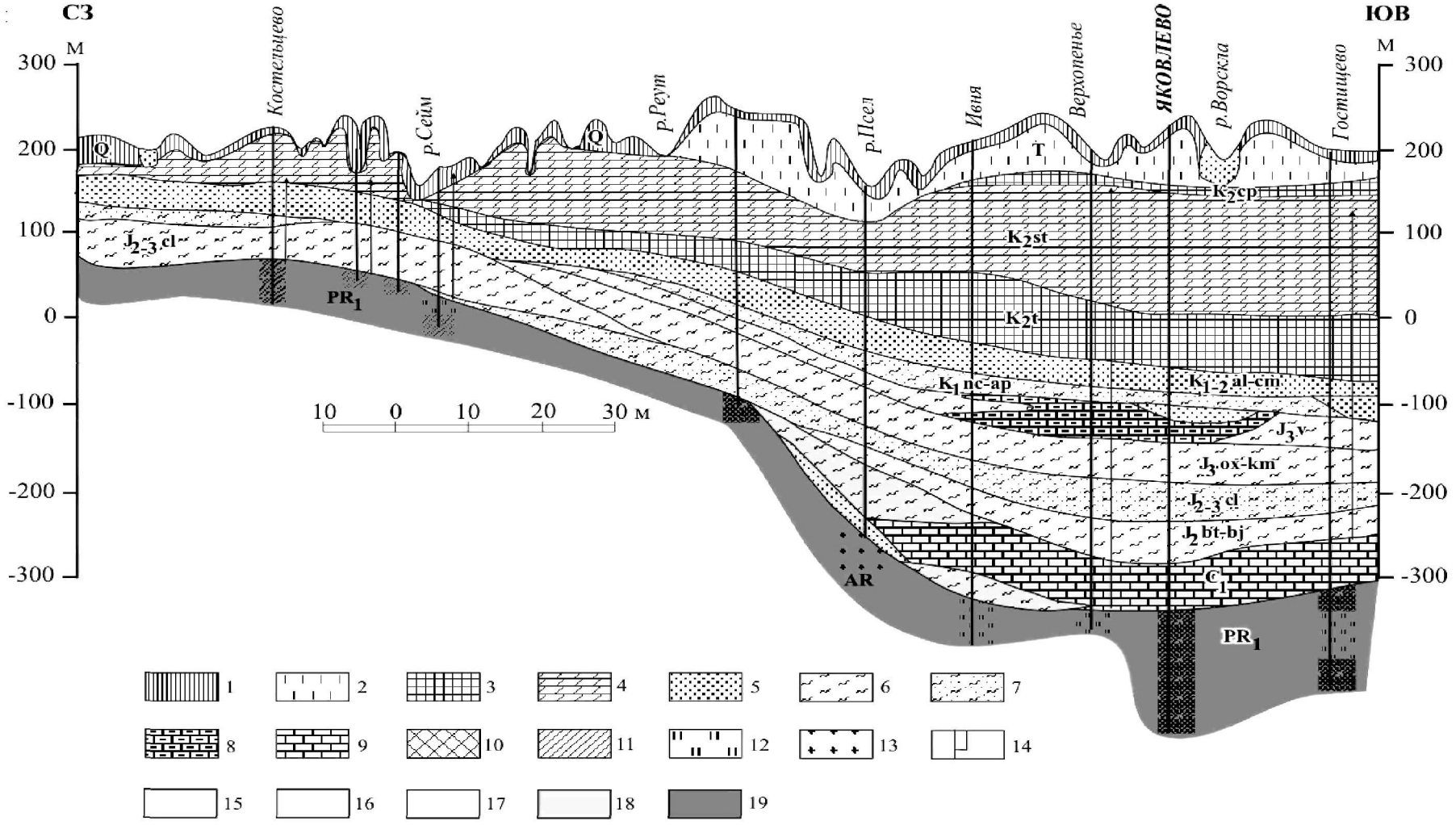


Рис. 1. Гидрогеологический разрез Днепровско-Донецкого артезианского бассейна (показано положение Яковлевского рудника)
1 – суглинки; 2 – переслаивание песков и глин; 3 – мел; 4 – мергели; 5 – пески; 6 – глины; 7 – песчаные глины; 8 – песчаники; 9 – известняки; 10 – руды; 11 – кварциты; 12 – кристаллические сланцы; 13 – граниты; 14 – пьезометрический уровень водоносных горизонтов; 15-19 – гидрохимические хоны с преимущественным распространением вод: 15 – гидрокарбонатных магниево-кальциевых, 16 – гидрокарбонатных кальциевых, 17 – гидрокарбонатных натриевых, 18 – хлоридно-гидрокарбонатных натриевых, 19 – хлоридных натриевых

В расчетах были использованы результаты экспериментальных исследований сопротивления сдвигу БЖР, проведенных на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии СПГГИ (ТУ).

Первый вариант расчета произведен в предположении, что руды осушены и в таком случае $\varphi = 23°$ ($\mathrm{tg}\varphi = 0{,}424$), а величина сцепления варьирует в зависимости от положения слоистости к направлению сдвигающего усилия, плотности руды и прочности остаточных структурных связей. Коэффициент бокового давления был замерен in situ в условиях Яковлевского рудника и составил $\zeta = 0{,}67$.

Второй вариант расчета выполнен при условии перетекания подземных вод из нижнекаменноугольного горизонта и вторичного увлажнения БЖР. При этом снижаются угол внутреннего трения и величина сцепления, а также изменяется величина удельного веса руд.

Анализ формулы (1) показывает, что расчет предельного (безопасного) напора может быть выполнен только при условии, что $b > \mathrm{tg}\varphi \times m\zeta$. При обратном соотношении $b < \mathrm{tg}\varphi \times m\zeta$ прорыв подземных вод невозможен.

Расчет по формуле В.А.Мироненко – В.М.Шестакова ведется в предположении, что деформации целика развиваются в форме поперечного сдвига. Такие деформации обычно характерны для условий, когда ширина одиночной выработки соизмерима или значительно меньше мощности целика. Последний вариант рассматривается в нашем случае. Этот метод расчета позволяет получить наиболее высокие значения критических (предельных) напоров, при превышении которых возрастает вероятность прорывов вод из неосушенного нижнекарбонового горизонта.

Если толща потолочины находится в осушенном состоянии и $\varphi = 23°$ ($\mathrm{tg}\varphi = 0{,}424$), то произведение $\mathrm{tg}\varphi \times m\zeta = 0{,}424 \times 53 \times 0{,}67 = 15{,}06$ м. В этом случае прорыв невозможен, поскольку проектная ширина выработки $b = 13{,}0$ м.

Соответственно, расчет имеет смысл производить в условиях неосушенных руд, когда угол внутреннего трения снижается для БЖР до 8° ($\mathrm{tg}\varphi = 0{,}14$). В таком случае значение трехчленного компонента формулы для определения $H_{пр}$ будет составлять $\mathrm{tg}\varphi \times m\zeta = 0{,}14 \times 53 \times 0{,}67 = 4{,}97 \sim 5{,}0$ м, т.е. $b > \mathrm{tg}\varphi \times m\zeta$.

При условии обводнения $\gamma_{руды} = 34{,}5$ кН/м^3. Для оценки величины $H_{пр}$ принципиальное значение имеет также величина сцепления руды, которая в зависимости от степени сцементированности БЖР может меняться. Согласно исследованиям, проведенным на образцах ненарушенного сложения в состоянии полного водонасыщения, которые были отобраны в транспортном орте, средняя величина сцепления составляет 0,5 МПа. Определение $H_{пр}$ с использованием приведенных параметров ($\varphi = 8°$; $c = 500$ кПа; $\gamma = 34{,}5$ кН/м^3; $b = 13{,}0$ м; $m = 53$ м; $\zeta = 0{,}67$) показали, что предельно-допускаемый напор каменноугольного горизонта не должен превышать 845 м, что почти в два раза выше действующего напора.

Наиболее опасная ситуация возникает при вторичном увлажнении БЖР. Как показали экспериментальные исследования вторично увлажненных БЖР, величина сцепления варьирует в пределах 0,025-0,22 МПа, а значение φ составляет 8°. При этом величина b остается постоянной и равной 13,0 м.

Значения $H_{пр}$ при варьировании параметра сцепления вторично увлажненных БЖР:

Ширина пролета выработки b, м	13,0		
Удельный вес руды, КН/м^3	30,0		
Величина сцепления, МПа	0,22	0,15	0,025
Предельно допускаемый напор подземных вод, $H_{пр}$, м	~450,5	~358	192

Примечание. Минимальный действующий напор $H_д = 370$ м.

Следовательно, вторичное увлажнение БЖР при мощности потолочины 53 м и ширине пролета одиночной выработки, равной 13,0 м, будет создавать условия для реализации прорыва подземных вод из нижнекаменноугольного водоносного горизонта при неблагоприятном разрезе толщи – преобладающем развитии БЖР.

Обеспечение устойчивости подземных выработок в ходе ведения очистных работ возможно при снижении величины b, либо увеличении мощности потолочины. Увеличение мощности потолочины при прочих равных условиях способствует росту безопасных пролетов. Следовательно, при проектной ширине выработки b = 13,0 м прорыв подземных вод невозможен только в полностью осушенном рудном теле.

Выполнена оценка водопроницаемости водозащитной потолочины (целика) и параметров нижерасположенного искусственного железобетонного перекрытия при их совместном взаимодействии в условиях разработки рыхлых руд низкой прочности.

Строительство искусственного защитного перекрытия является ответственным этапом разработки месторождения. Назначение защитного перекрытия – обеспечить безопасные условия разработки рудного тела под перекрытием, исключить крепление выработок и камер первого слоя под перекрытием, исключить возможность неуправляемого обрушения рудного массива над выработанным пространством, снизить осадки вышележащего рудного массива и пород карбона до безопасного уровня, по условию образования в них водопроводящих трещин.

При отработке первой очереди рудного тела система предполагает отработку первоочередного участка двумя подэтажами. Первый подэтаж (верхний) высотой 22,5 м отрабатывается слоевой системой разработки с выемкой руды заходками. В вынимаемом первом слое подэтажа создается защитное железобетонное перекрытие. Второй подэтаж (нижний) отрабатывается камерной системой с самообрушением руды. Обе системы разработки являются системами с закладкой отработанного пространства твердеющими смесями. Отработка верхнего подэтажа ведется с опережением нижнего подэтажа.

Интересен опыт разработки на руднике «Ватана» (Атлантическое побережье Канады) месторождения, представленного гематитовыми пластами мощностью до 10 м, падающими в направлении океана под углом 8°. Глубина океана над наиболее удаленной частью месторождения достигает 500 м. Отработку рудного тела производят камерной системой разработки с шириной камер 6-7 м и шириной междукамерных целиков 4-6 м. Мощность водозащитной потолочины между горизонтом очистных работ и дном океана составляет не менее 60 м.

Для выбора способов управления горным давлением и параметров крепи выработок проведены экспериментальные натурные наблюдения.

Инструментальные наблюдения, выполненные в экспериментальной выработке горизонта –425 м, позволили выявить закономерности и особенности деформирования массива железно-слюдковой мартитовой руды.

Участок экспериментальной выработки протяженностью 85 м пройден по простиранию плотной железно-слюдковой мартитовой руды с коэффициентом крепости по Протодьяконову f = 1-1,5 с прослоями более крепких хлоритизированных руд. Выработка сечением в свету 11,2 м^2 в проходке 14,5 м^2 закреплена крепью КМП-А3. Наблюдения проводились с помощью глубинных и контурных замерных станций.

Анализ смещений рудного массива показывает, что можно выделить три периода времени, различающиеся интенсивностью смещений (см. таблицу).

В первые 20 сут с максимальной скоростью реализовались 24 % смещений контура кровли и 37 % смещений боков выработки. Средняя скорость смещений составила: кровля – 0,3 мм/сут, бока – 0,35 мм/сут. Разница между величинами скоростей не превышает 14 %, поэтому их можно считать равными.

В период 20-240 сут после проведения выработки реализовалось 32 % смещений кровли со средней скоростью 2,5 мм/мес. и 53 % смещений боков со средней скоростью 1,4 мм/мес. Отношение скоростей смещений кровля – бока составляет 1,8.

Третий период характеризуется незначительным ростом смещений. Через 240 сут реализовалось 6 % смещений кровли со средней скоростью 0,9 мм/мес. и 5 % смещений боков со средней скоростью 0,6 мм/мес. Отношение скоростей смещений кровли и боков 1,5.

Результаты деформирования массива железно-слюдковой мартитовой руды вокруг выработки

Железно-слюдковая мартитовая руда	Полурыхлая		Рыхлая
Тип крепи	КМП-А3	Анкеры «Swellex»	КМП-А3
Площадь сечения в свету / в проходке, м^2	11,2/14,3	12,2 / 12,4	14,9/18,3
Размеры зоны деформации, м / (доли приведенного радиуса):			
Лежачий бок	(2,6-2,7) / (1,2-1,3)$R_{пр}$	(3,0-3,2) / (1,5-1,6)$R_{пр}$	(2,4-2,6) / (1,0-1,1)$R_{пр}$
Кровля	(2,2-2,4) / (1,0-1,1)$R_{пр}$	(2,4-2,6) / (1,2-1,3)$R_{пр}$	(2,8-3,0) / (1,2-1,3)$R_{пр}$
Висячий бок	(2,8-3,0) / (1,3-1,4)$R_{пр}$	(3,0-3,2) / (1,5-1,6)$R_{пр}$	(2,6-2,8) / (1,1-1,2)$R_{пр}$
Характер относительных смещений рудного массива:	• Стабилизация смещений отсутствует, средняя скорость смещений в боках 2,1 мм/мес., в кровле 4,0 мм/мес.	• Средняя скорость смещений в боках 0,7 мм/мес., в кровле 2,3 мм/мес.	• Стабилизация смещений отсутствует, средняя скорость смещений в боках 3,5 мм/мес., в кровле 6,6 мм/мес.
	• Смещения кровли на 30 % превышают конвергенцию боков	• 65-85 % смещений реализуется в первые 40 сут., далее зависимость прямолинейная с различной скоростью смещений	• Через 20-30 сут – прямолинейная зависимость смещений от времени с различной скоростью
	• Деформации в кровле более чем в 2 раза превышают деформации в боках	• Смещения боков составляют в среднем 40 % от смещений кровли	• Смещения кровли превышают конвергенцию боков на глубине 0,1$R_{пр}$ в 5,8 раза, на 0,34$R_{пр}$ в 3 раза
	• Одинаковые смещения боков	• Одинаковые смещения боков	
Лежачий бок	• 80-90 % смещений реализуется в первые 60-80 сут	• 60-70 % смещений реализуется в первые 20-40 сут	• 80-90 % смещений реализуется в первые 10-15 сут, далее скорость смещений 0,5 мм/мес.
	• Вид и интенсивность деформаций рудного массива изменяется с глубиной и во времени	• Через 40 сут средняя скорость смещений 0,67 мм/мес.	• Значительные смещения приконтурной зоны размером 0,8 м с локальными разрушениями контура на глубину до 0,4 м
Кровля	• 50 % смещений реализуется в первые 10 сут	• 75-85 % смещений реализуется в первые 20-40 сут	• 70 % смещений реализуется в первые сутки, далее скорость смещений 2,2 мм/мес.
	• Приконтурная зона размером до 1-1,2 м (0,5-0,6) $R_{пр}$ склонна к вывалу	• Через 40 сут средняя скорость смещений 1,33 мм/мес.	• Рудный массив испытывает только деформацию разуплотнения со склонностью к вывалообразованию
Висячий бок	• Приконтурная зона интенсивно разуплотняется в первые сутки	• 60-70 % смещений реализуется в первые 20-40 сут	• 80-90 % смещений реализуется в первые 10 сут, далее скорость смещений 0,5 мм/мес.
	• Волнообразный характер смещений: смена вида деформаций по глубине и во времени	• Через 40 сут средняя скорость смещений 0,67 мм/мес.	• Разуплотнение приконтурной зоны размером до 1,3 м с тенденцией к разрушению

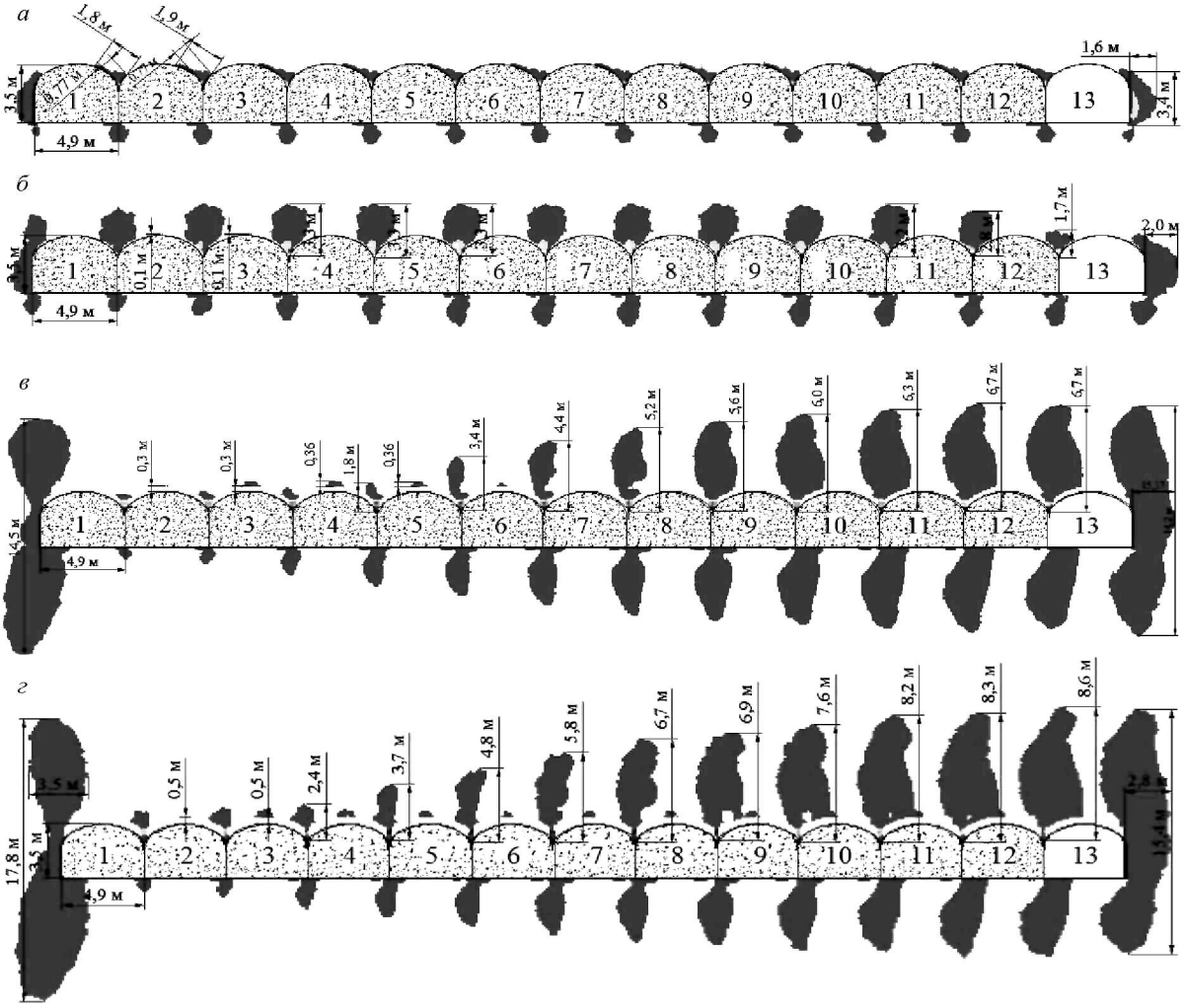


Рис.2. Зависимость динамики формирования зон предельного состояния в кровле защитного перекрытия при проведении и закладке ортов через целик в три пролета выработки от величины недозаклада: *а* – полная закладка; *б-г* – недозаклад 0,1, 0,3 и 0,5 м соответственно; 1-4-7-10-13 – порядок проведения, выработок первой очереди; 2-5-8-11 – второй очереди; 3-6-9-12 – третьей очереди

Процесс деформирования рыхлой руды на участке выработки сечением в свету 14,9 м^2 с крепью КМП-А3 в рыхлой железнослюдковой мартитовой руде отличается от деформирования плотной руды. Четко различаются два периода времени. После интенсивного роста смещений в первые 20 сут волнообразный знакопеременный процесс смещений заменяется линейной зависимостью смещений от времени. В лежачем боку выработки в первые 10-15 сут после ее проведения произошло 80-90 % смещений. Значительные смещения приконтурной зоны размером до 0,8 м вызвали локальное разрушение контура на глубину до 0,4 м и возникновение бокового отпора со стороны крепи КМП-А3. Этим объясняется интенсивное уплотнение руды на участке 0-1,0 м в первые 10-15 сут с последующим снижением интенсивности деформирования и заменой на деформацию разуплотнения на участке 1,3-2,0 м.

На основе полученных натурных данных разработаны методы расчета нагрузок на крепь горных выработок.

Строительство искусственного защитного перекрытия производится путем проходки параллельных выработок (очистных заходок) и закладки их бетоном (рис.2). При строительстве защитного перекрытия одной из основных проблем, влияющих на состояние рудной потолочины, является полнота закладки выработок бетоном.

Натурными экспериментами установлено, что средняя величина линейных переборов за крепью очистных заходок составляет для выработок при буровзрывном способе проходки 0,44 м и комбайновом – 0,3 м. Величина переборов оказывает определяющее влияние на параметры недозаклада.

Выполнены численные эксперименты по выявлению влияния величины недозаклада на формирование зон предельного состояния вокруг выработок в рудном массиве*.

При полной, на все сечение, закладке выработок, пройденных вприсечку к бетону, зона предельного состояния к боку выработки увеличивается в два раза по сравнению с одиночной выработкой. Нагрузка на крепь и размеры зон предельного состояния практически не зависят от пролета подработанного пространства (рис.2, *а*). Недозаклад в 0,1; 0,3; 0,5 м увеличивает зону предельного состояния в боку выработки в 2,8; 3,5; 4 раза по сравнению с одиночной выработкой и составляет 2,0; 2,5 и 2,8 м.

При недозакладе в 0,1 м и более зона предельного состояния наблюдается не только в боку, но и в кровле смежных выработок (рис.2, *б-г*). Размер зоны в кровле зависит от величины пустот в выработке и увеличивается пропорционально пролету подработанного пространства. Зона предельного состояния растет равномерно по мере увеличения подработанного пространства и стабилизируется на уровне, зависящем от величины недозаклада (рис.2).

Очевиден эффект зависания рудной потолочины над подработанной площадью. Стабилизация размеров зоны предельного состояния наблюдается с момента посадки потолочины на бетонное перекрытие.

Дальнейшее проведение выработок вприсечку к бетонной закладке в направлении развития проходческих работ по нарушенному целику будет осложнено возможными отслоениями и вывалами с боков и кровли.

Постепенное осушение рудного тела с помощью горизонтальных и слабонаклонных самоизливающихся дренажных скважин на горизонте –425,0 м обеспечивает отсутствие какого-либо проявления разгрузки подземных вод на горизонте –370 м, где в настоящее время проводятся очистные работы. Вместе с тем, снижение абсолютных отметок уровня руднокристаллического водоносного горизонта в результате проведения дренажных мероприятий при развитии фронта горных работ ведет к увеличению градиента напоров, что способствует перетеканию вод из нижнекаменноугольного водоносного горизонта в рудное тело.

Расширение фронта очистных работ и разуплотнение БЖР в кровле выработок создает условия для увеличения площади перетекания подземных вод из нижнекаменноугольного горизонта на горизонты –370 м и –425 м.

Расчет времени перетекания был выполнен по формуле Цункера:

$$t = \frac{n\Delta H}{K}\left[\frac{m}{\Delta H} - \ln\left(1 + \frac{m}{\Delta H}\right)\right],$$

где n – пористость руд; ΔH – действующая разность напоров в нижнекаменноугольном и руднокристаллическом горизонтах; K – коэффициент фильтрации; m – мощность целика.

Как следует из результатов расчета, даже минимальные коэффициенты фильтрации не обеспечивают гарантии отсутствия вторичного увлажнения БЖР в период отработки рудного тела в первые годы при функционировании выработок на горизонте –370 м:

Мощность целика, м	Пористость БЖР, %	Коэффициент фильтрации, м/сут	Время перетекания, сут
53	40	0,04	44
	45	0,005	396
	50	0,008	275
60	35	0,004	385
	40	0,001	1760
	50	0,002	1100

Примечание. Расчет произведен в предположении, что величина ΔH = 440 м.

* *Антонов Ю.Н.* Геомеханическое обоснование устойчивости параллельных взаимовлияющих горизонтальных выработок в рудном массиве: Автореф. дис. … канд. техн. наук / СПГГИ. СПб, 2009.

Antonov Yu.N. Geomechanical substantiation of stability of parallel interacting horizontal workings in ore massif: Synopsis of thesis for competition of the PhD degree. Saint Petersburg, 2009.

Предупредить вторичное увлажнение возможно за счет интенсификации дренажных работ на горизонте –425 м. С целью повышения безопасности ведения горных работ в зонах возможного перетекания необходима организация комплексного гидрогеомеханического мониторинга, включающего наблюдения за дебитом скважин, составом подземных вод, а также инструментальных наблюдений за деформациями защитных целиков.

Гидрогеодинамический мониторинг в подземных выработках на горизонтах –425 м и –370 м ведется с 2007 г., хотя первые результаты по особенностям перетекания вод из нижнекаменноугольного горизонта были получены еще в 2004 г. Анализ этих данных позволил установить основные тестовые элементы гидрохимических наблюдений, которые позволяют оценить интенсивность перетекания: содержание сероводорода, хлоридов, гидрокарбонатов, фторидов, а также общей минерализации воды.

Сравнительная оценка данных мониторинговых наблюдений за гидродинамическим и гидрохимическим режимами подземных вод, которые проводились в 2007 и 2009 годах, позволили установить, что за этот период значительно расширились зоны перетекания подземных вод из нижнекаменноугольного горизонта на горизонт –425 м. В пределах отдельных горных выработок (разведочные штреки 5 и 7) отмечается прямая гидравлическая связь с горизонтом –425 м. Вместе с тем, суммарный объем откачиваемых вод практически не изменился за счет постепенного уменьшения дебита дренажных скважин, оборудованных для осушения рудного тела.

Усиление интенсивности перетока из нижнекаменноугольного горизонта требует оборудования дополнительного числа дренажных скважин для предупреждения вторичного увлажнения БЖР на горизонте –370 м.