УДК [622.834: 622.271/272]: 622.33

С.П.БРЯКОВ, *канд. техн. наук, старший научный сотрудник, s_bryakov@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

S.P.BRYAKOV, *PhD. in eng. sc., senior research assistant, s_bryakov@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ НА КАРЬЕРАХ И УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ

Приведены примеры оползневых явлений в Российской Федерации, вызванные совместным ведением открытых и подземных горных работ и подземной подработкой склонов. Деформационные процессы происходили вследствие недостаточной и несвоевременной изученности массива горных пород. Приведены примеры исследований прочностных и деформационных характеристик прибортового массива на рудном и угольном месторождениях РФ при применении комбинированной разработки открытым и подземным способами.

Ключевые слова: комбинированная разработка, техногенные деформационные явления, нарушенность прибортового массива.

SUBSTANTIATION OF THE NECESSITY OF SOLVING THE PROBLEM OF TECHNOGENEOUS DEFORMATION PHENOMENA PREVENTION IN PIT QUARRIES AND COAL SECTIONS

The article contains the examples of landslide phenomena in Russian Federation caused by joint surface and underground mining and also underground slope undermining. Deformation processes occurred as a consequence of deficient and improper study of rock mass. Some examples of investigation of strength and deformation characteristics of the near-pit edge mass at one ore- and one coal deposit with application of the combined surface and underground mining methods are given.

Key words: joint mining, technogeneous deformation phenomena, disturbance of near-pit edge mass.

Разработка месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способами сопровождается нарушением экологического равновесия и геодинамического режима движения подземных вод, а также изменением напряженно-деформированного состояния массива горных пород, приводящим к возникновению катастрофических явлений на земной поверхности типа обвалов, обрушений и оползней, наносящих громадный ущерб природе, производству и решению социальных вопросов в обществе.

С увеличением глубины разработок, достигающей в настоящее время 700 м, вероятность возникновения глобальных деформационных явлений увеличивается из-за недостаточности исследований вопросов геомеханики массива, подработанного на большой глубине, детальных геологических и инженерно-геологических изысканий и систематических инструментальных наблюдений за земной поверхностью.

Как правило, глобальные техногенные явления происходят в сильно рассеченной холмисто-гористой местности, которая вследствие недоступности недостаточно изучена или не изучена вообще с геологической точки зрения. В зависимости от литолого-структурного строения, высоты и угла склона или угла наклона борта карьера (угольного разреза) процесс деформирования земной поверхности или борта карьера происходит относительно мгновенно или имеет затяжной во времени характер.

Были изучены техногенные деформации крупных массивов горных пород на рудных и угольных предприятиях РФ и СНГ. Из табл.1 видно, что деформации массивов горных пород различной литологии были вызваны действием как естественных, так и технологических факторов. Основными естественными факторами являются трещиноватость и структура массива горных пород. К технологическим факторам относятся взрывные работы на рудниках, карьерах, шахтах и угольных разрезах, параметры открытых и подземных выработок, порядок и направленность ведения открытых и подземных горных работ, приводящие к подрезке слабых литологических контактов и потере устойчивости массива вследствие изменения напряженно-деформи рованного состояния.

Как видно из табл.1, степень нанесенного ущерба горным предприятиям зависит от размеров подработанного участка, его литолого-структурной характеристики и от вида технологического процесса.

Рассмотренные техногенные деформационные явления свидетельствуют о том, что при проектировании и планировании совместного развития открытых и подземных горных работ недостаточно учитываются литолого-структурная характеристика массива горных пород и изменение его напряженно-деформированного состояния на разных стадиях предполагаемого развития горных работ. Это вызвано отсутствием данных о размерах структурных блоков горных пород и размерах зон нарушенности породного массива для различных инженерно-геологических условий.

Таким образом, для решения вопросов предотвращения техногенных деформационных явлений исследования должны проводиться по следующим направлениям:

1) разработка методики прогноза трещиноватости и структуры массива горных пород на труднодоступных участках месторождений;

2) создание методики расчета деформационных характеристик массива, нарушенного дизъюнктивами или подработанного горными выработками;

3) разработка методики изменения деформационных и прочностных характеристик массива горных пород, подработанного открытым и подземным способами при комбинированной разработке месторождений;

4) создание геомеханических схем комбинированной разработки для различных горно-геологических условий;

5) разработка рекомендаций по инструментальным наблюдениям за деформированием породного массива в различных горно-геологических условиях.

Прогноз трещиноватости и структуры массива горных пород на труднодоступных участках разрабатываемого или планируемого для разработки месторождения основывается на результатах изучения структуры и трещиноватости массива горных пород на доступных участках с учетом генезиса месторождения.

Из деформационных характеристик трещиноватого и нарушенного дизъюнктивами или горными работами массива горных пород деформация сдвига и скорость смещения наиболее четко определяют его напряженно-деформированное состояние. Деформация сдвига рассчитывается на основании лабораторных испытаний образцов горных пород или по результатам инструментальных наблюдений. Скорость смещения массива устанавливается по результатам инструментальных наблюдений и является интегральной величиной.

При достижении деформацией сдвига предельного значения происходит разрушение массива горных пород с различной степенью нарушенности участков, зависящей от их расположения относительно дизъюнктива или участка ведения горных работ. Степень нарушенности массива характеризуется размером элементарного структурного блока, условиями залегания пород и направленностью плоскостей трещин относительно действующих нормальных и касательных напряжений. Предельный размер сдвига массива определяется как средневзвешенная величина по длине линии потенциальной поверхности скольжения.

Методика изменения деформационных и прочностных показателей массива горных пород, подрабатываемого при комбинированной разработке месторождения, основывается на изучении развития и стабилизации

Таблица 1

Деформации массивов горных пород при совмещении подземных и открытых горных работ

Месторождение	Тип деформации	Объем деформации, м^3	Степень изученности деформированного объекта	Нанесенный ущерб
Тырныаузское вольфрамомолибденовое	Обвал пилообразной скалы в зону обрушения по поверхности протяженной трещины с углом падения 30-35°	1,5 млн	Не зафиксирована трещина, смещение верхней части ствола «ПИК» относительно нижней 170 мм в течение 16 мес	Разрушены ствол шахты и железобетонное крепление камеры подъемной машины и ее верхней подшивной площадки ствола шахты «Слепая»
	Оползень земной поверхности склона с уклоном 35-60°	10 млн	Не зафиксированы тектонические трещины синклинальной складки; общий размер смещения – около 6 м за 7 лет наблюдений	Нарушен порядок нарезки уступов в верхней части борта карьера «Мукуланский»
	Оползень рабочего борта карьера «Мукуланский»	4 млн	Недостаточно изучены параметры залегания и прочностные свойства согласно падающего с откосом тектонического разлома	Нарушены транспортные бермы карьера
Абаканское железорудное	Обрушение откосов высотой 100 м с углом наклона 50-65° и высотой 50-60 м с углом наклона 55-70°	Несколько сотен тысяч	Не учтена тектоническая трещина большого протяжения, согласно падающая в карьер и подрезанная уступом	Увеличение объема вскрыши
Кочбулакское золоторудное	Оползень (обрушение) склона с углом наклона 25-45°	–	Не изучены сочетания тектонических зон и контакта рыхлых пород со скальными породами при проходке двух штолен	Угроза безопасной эксплуатации штолен
Ткварчельское угольное [2]	Оползни четвертичных отложений со склонов с углами наклона от 20 до 80°	10-100 тыс.	Не зафиксированы согласно падающие со склоном тектонические нарушения, отсутствуют инструментальные наблюдения после обнажения склонов вырубкой леса	Смещение жилых и производственных строений и опор линии высоковольтной передачи
Ахалцихское буроугольное	Оползень склона с углом наклона 10° по контакту четвертичной и пестроцветной толщ	10 млн	Направление очистных работ к подножию склона с обрушением кровли при отсутствии инструментальных наблюдений и недостаточная изученность геологических условий	Деформация железобетонной крепи стволов шахты на глубине 100 м
Ткибульское угольное [4]	Трещинообразование склона с уклоном 30-35° и с уступами обрушения	–	Отсутствие инструментальных наблюдений при одновременной отработке нескольких угольных пластов (в одной вертикальной плоскости) без опережения забоев	Нарушены безопасные условия работы Каменного карьера
Коркинское угольное:				
Восточный борт	Оползень со смещением до 850 мм и образованием трещины закола на земной поверхности на расстоянии 300 м от верхней бровки борта с углом наклона 15°	–	Не учтено наличие слабых аргиллитовых прослоев в угольных отработанных подземным способом пластах, подрезанных открытыми выработками	Повреждены железнодорожные пути, жилые здания и дороги
Южный борт	Контактный оползень мощностью тела до 30 м, активизирующийся в весеннее и дождливое время года	–	Не изучено разуплотнение согласного с бортом синклинального залегания слоев горных пород, подрезанных открытыми горными работами	Повреждены карьерные железнодорожные пути и земная поверхность

процесса сдвижения, вызванного ведением как открытых, так и подземных горных работ.

Несмотря на широкое применение комбинированного способа разработки месторождений и ведение подземных горных работ под склонами или в гористой местности РФ, вопросы геомеханики ставились и решались лишь на нескольких месторождениях, расположенных в Криворожском, Челябинском бассейнах и в Кабардино-Балкарии (Тырныауз).

В зависимости от совмещения во времени и в пространстве подземных и открытых горных работ деформационные и прочностные показатели подработанного массива в разной степени отличаются от подобных показателей неподработанного массива.

Изменение прочностного показателя (сцепления массива) для горно-геологических условий (пластообразное залегание горных пород под углом 50-70° и разработка системой подэтажного обрушения) Кривбасса (табл.2) показывает, что после ведения подземных горных работ сцепление массива, сложенного как рыхлыми, так и скальными породами, уменьшается в 2-2,5 раза. Однако параметры зоны нарушенности пород по высоте не установлены. Зона беспорядочного обрушения пород равна четырехкратной нормальной мощности рудной залежи.

В осадочной толще угольных месторождений изменение сцепления массива горных пород необходимо коррелировать с глубиной его залегания и расположением относительно отработанного угольного пласта. Проведенными исследованиями в Челябинском бассейне установлено изменение прочности подработанного массива с учетом этих факторов. Из данных (табл.3) видно, что в Коркинском разрезе сцепление подработанного массива в установленных зонах нарушенности уменьша-

Таблица 2

Размер сцепления для горно-геологических условий Криворожского бассейна [3], т/м^2

Горные породы	Неподработанный массив		Подработанный массив		
	Натурные испытания	Съемки обнажений	Натурные испытания	Съемки обнажений	Лабораторные испытаниям
Суглинки лессовидные	4,0	–	–	2,4	–
Суглинки красно-бурые	3,9	–	–	24	–
Глина темно-серая	4,5	–	–	3,0	–
Глина пестроцветная	5,1	–	–	3,6	
Джеспилиты и роговики:					
по напластованию	8,3	6,5	8,5	–	–
по трещинам	19,0	15,0	9,0	–	13,0
под углом к поверхности ослабления	1000	29,0	–	39,0	–
Хлоритовые сланцы					
по напластованию	5,5	4,5	5,5	–	–
по трещинам	104	16,9	10,4	7,0	–
под углом к поверхности ослабления	46,5	–	24,0	–	–

Таблица 3

Размер сцепления неподработанного (в числителе) и подработанного (в знаменателе) массива для горно-геологических условий Челябинского бассейна (синклинальное и моноклинальное залегание покрывающих горных пород, подработанных системами с обрушением)[1], т/м^2

Зона нарушенности массива	Коркинский разрез				Красногорский разрез	
	Глубина от земной поверхности, м					
	0-40	40-70	70-130	Более 130	0-60	60-100
Зона разрушения до 15 м	2,0 / 9,6	2 / 31,0	4,0 / 59,0	4,0 / 130,0	2,0 / 18,7	4,0 / 25,6
Зона трещин 15-50 м	3,3 / 9,6	7,7 / 31,0	13,0 / 59,0	23,0 / 130,0	5,5 / 18,7	6,4 / 25,6
Зона плавного прогиба более 50 м	6,9 / 9,6	16,3 / 31,0	29,0 / 59,0	51,0 / 130,0	115 / 18,7	14,3 / 25,6

Таблица 4

Максимальные деформационные характеристики прибортового массива для различных геологических условий и вариантов комбинированного способа разработки месторождений Челябинского бассейна

Угольный разрез (параметры борта)	Вариант комбинированной разработки	Условия залегания горных пород	Максимальные деформационные характеристики				Характер нарушения прибортового массива
			Деформации сдвига $\gamma \cdot 10^{-3}$, мм/м	Горизонтальные деформации $\varepsilon \cdot 10^{-3}$, мм/м	Наклоны $i \cdot 10^{-3}$, мм/м	Скорость смещения, мм/сутки	
Красногорский (H = 125 м, α = 22°)	Открытоподземный	Моноклинальное несогласное с бортом, крутое, β =45°	90	65	38	3,4	Образование трещин в средней части борта
Батуринский (H = 80 м, α = 33°)	Подземно-открытый	Моноклинальное несогласное с бортом, пологое, β = 10°	45	100	10	0,65	Образование трещин надвига в нижней части борта
Копейский (H = 80 м, α = 18°)	Одновременный	Синклинальное согласное с бортом, пологое, β = 12÷25°	90	11	10	1, 8	Образование оползней по всей высоте борта
			25	15	18	1,7	Образование трещин закола на земной поверхности
Коркинский: Восточный борт (H = 310 м, α = 22°)	Подземно-открытый	Мульдообразное согласное с бортом, β = 0÷55°	40	15	10	0,6	Образование трещин на земной поверхности
Северный борт (H = 400 м, α = 22÷23°)	Одновременный	Синклинальное несогласное с бортом, пологое, β = 15÷20°	–	85	–	3,3	Образование оползня в верхней части борта
			–	2	–	1, 8	Образование трещин на уступах борта

ется от 4,8 до 32,5 раз (зона разрушения), от 2,9 до 5,6 раза (зона трещин), от 1,4 до 2,5 раз (зона плавного прогиба). В Красногорском разрезе уменьшение сцепления менее значительно, а именно: от 6,4 до 9,4 раза (зона разрушения), от 3,4 до 4 раз (зона трещин), от 1,6 до 1,8 раза (зона плавного прогиба). Следует отметить, что приведенные значения характеризуют массив с часто чередующимися слоями песчаников, алевролитов, аргиллитов и углефицированных пород.

При применении комбинированного способа разработки происходит изменение прочностных свойств контактов горных пород. Исследованиями установлено, что в условиях Коркинского разреза сцепление по контакту равно нулю (при 2 т/м^2 в неподработанном массиве), а угол трения уменьшается с 15 до 6° вследствие совместного ведения горных работ.

По результатам инструментальных наблюдений и визуальных обследований за состоянием бортов угольных разрезов Челябинского бассейна рассчитаны деформационные характеристики прибортового массива для различных вариантов комбинированного способа разработки и геологических условий (табл.4). Сравнение приведенных данных позволяет с некоторым допущением заключить следующее:

1. Деформации сдвига и горизонтальные деформации при подземно-открытом варианте превышают аналоги при открытоподземном, что предопределяет выбор варианта разработки месторождения до глубины 150 м. Превышение значений наклонов и скорости смещения при открытоподземном варианте вызвано углом залегания горных пород (табл.4).

2. С точки зрения деформаций при мульдообразном залегании горных пород предпочтителен подземно-открытый вариант.

3. Одновременное ведение горных работ сопровождается образованием трещин на борту разреза при скорости деформирования 1,5-

2 мм/сутки. Образование оползней на борту высотой 100-150 м и с углом наклона 20° происходит при скорости смещения, равной 2 мм/сутки, в условиях синклинального согласного с бортом залегания горных пород. В условиях же несогласного с бортом залегания оползнеобразование происходит при скорости смещения 3-4 мм/сутки, если высота борта около 400 м, а угол наклона 22-23°.

По прочностным и деформационным характеристикам произведены расчеты параметров устойчивых уступов и бортов и разработаны рациональные схемы ведения открытых и подземных горных работ на изученных месторождениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бряков С.П.* Исследование деформаций и устойчивости бортов карьеров при комбинированном способе разработки (на примерах месторождений Кузнецкого и Челябинского бассейнов): Автореф. дис. … канд. техн. наук / ВНИМИ. Л., 1975. 27 с.

2. *Колбенков С.П.* Подработка склонов гор и русел на Ткварчельском угольном месторождении / С.П.Колбенков, Н.И.Митичкина. М.: Углетехиздат, 1956. 23 с.

3. *Можжерин В.М.* Влияние подземной разработки мощных залежей на физико-механические свойства горных пород Кривбасса / В.М.Можжерин, А.Ф.Смирнов, В.С.Кравец // Осушение месторождений, специальные горные работы, рудничная геология, маркшейдерское дело / ВИОГЕМ. Белгород, 1974. С.171-176.

4. Сдвижение горных пород / ВНИМИ. Л., 1976. 129 с.

REFERENCES

1. *Bryakov S.P.* Investigation of deformations and open-pit slope stability with using the combined mining method (at the deposits of Kuznetsk and Chelyabinsk coal basics): Reseearch Paper … PhD in eng. sc / VNIMI. Leningrad, 1975. 27 p.

2. *Kolbenkov S.P.*, *Mitichkina N.I.* Undermining of mountain slopes and valley floors at the Tkvarchel coal deposit / Moscow: Ugletechizdat, 1956. 23 p.

3. *Mozzherin V.M.*, *Smirnov A.F.*, *Kravets V.S.* Influence of underground mining of thick deposits jn physico-mechanical properties of rocks at the Krivbas / VIOGEM. Belgorod, 1974. P.171-176.

4. Rock movement / VNIMI. Leningrad, 1976. 129 p.