

УДК 622.273.1:622.834.1

**ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРНЫХ
НАРУШЕНИЙ ПОРОД НА ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ
ПРОВАЛОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Ш.А. Абдибаитов, Б.А. Исаев, А.Р. Абдиев

Проведен обзор работ, посвященных изучению процесса сдвижения на рудных и угольных месторождениях. Выявлено влияние физико-механических свойств пород на характер сдвижения подработанной толщи пород под влиянием подземных разработок, а также учет строения массива и трещиноватости пород при прогнозе условий образования провалов на земной поверхности.

Ключевые слова: обрушение; сдвижение; твердость породы; угол падения; строение; нарушенность; трещиноватость; устойчивость.

**INFLUENCE OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
AND STRUCTURAL INFRINGEMENT OF ROCKS
ON THE PROCESS OF EDUCATION FAILURES EARTH SURFACE**

Sh.A. Abdibaitov, B.A. Isaev, A.R. Abdiev

The review of the works devoted to studying of the shift process in ore and coal deposits is carried out. The influence of physicommechanical properties of rocks on the character of shifting of the undermined strata of rocks under the influence of underground mining, as well as taking into account the structure of the rock massif and fracture of the rocks in the forecast of the conditions for the formation of dips on the earth's surface is revealed.

Keywords: collapse; displacement; thickness of rocks; angle of incidence; structure; disturbance; fracture; stability.

Образование провалов связано с обрушением пород кровли. С уменьшением прочности налегающих пород величина безопасной глубины также изменяется, и в расчетные формулы вводятся соответствующие значения коэффициента в зависимости от прочности пород. Это связано с тем, что характер обрушения пород и параметры процесса сдвижения существенно зависят от физико-механических свойств и структурных особенностей пород.

Процесс сдвижения наиболее широко изучен на месторождениях со слоистым строением пород, к которым относятся все угольные и сланцевые месторождения и более 60 % рудных месторождений. На основании выявленных здесь закономерностей разработаны методы расчета сдвижений и деформаций, позволяющие удовлетворительно решать многие задачи производства [1].

При выемке залежи, залегающей согласно с вмещающими слоистыми породами, по мере увеличения размера выработанного пространства происходит перераспределение напряжений в окру-

жающем массиве. По достижении выработкой предельного пролета прогибающиеся слои кровли обрушаются. С увеличением площади подработки последовательно прогибаются и отслаиваются вышележащие слои.

Необходимо отметить, что признаком обрушения при этом считается нарушение первичной структуры пород, разделение их на не связанные друг с другом элементы – куски, блоки. Наличие в горных породах, выработках или на земной поверхности трещин еще не дает оснований считать, что произошло обрушение. Обрушившиеся породы занимают больший объем, чем в массиве, что препятствует дальнейшему обрушению. В результате последовательного обрушения слоев образуется свод, основанием которого является контур выработки.

При крутых углах падения разработка больших залежей системами с обрушением в сильно сланцеватых породах вызывает расслаивание и прогиб пород в сторону выработанного про-

странства, подобно консольным балкам. На земной поверхности образуются трещины с уступами, обращенными в сторону границ мульды сдвижения. Такие трещины установлены на Советском золоторудном месторождении и в Криворожском бассейне [2], а на угольных месторождениях – в Центральном Донбассе [1].

При разработке мощных крутопадающих залежей происходит также сдвижение пород лежачего бока. Форма сдвижения пород лежачего бока – сдвиг по поверхностям напластования и главным образом по ослабленным контактам различных по своим механическим свойствам пород. Сдвижение пород лежачего бока в форме сдвига по контактам слоев типично для многих месторождений Криворожского бассейна [3].

При складчатом залегании пород характер процесса сдвижения зависит от формы и размера складки. Особенно это заметно на складках синклинальной формы. В тех случаях, когда расстояние между выходами пласта на поверхность на разных крыльях складки соизмеримо с длиной мульды сдвижения, процесс сдвижения развивается и замыкается, как правило, внутри этой складки. В тех случаях, когда размеры синклинальной складки в плане несколько раз превышают размеры мульды сдвижения, на выходе осевой плоскости складки на поверхность (если она попала в зону влияния горных работ) наблюдается значительная концентрация деформаций [1].

В условиях несогласного залегания пород характер процесса сдвижения и обрушения зависит от мощности несогласно залегающих пород и их доли в составе общей толщи. Наиболее часто несогласно с коренными породами залегают третичные и четвертичные отложения (наносы). При мощности менее 20 м и долевом участии менее 10 % наносы практически не оказывают влияния на характер процесса сдвижения. При мощности наносов более 100 м и их долевом участии более 50 %, влияние угла падения на развитие процесса сдвижения полностью сглаживается и характер распределения деформаций в мульде сдвижения получается таким же, как и при горизонтальном залегании коренных пород. В этих условиях происходит обычно сдвиг коренных пород относительно наносов, вызывающий нередко значительные деформации вертикальных стволов шахт.

В тех случаях, когда наносы составляют 10–50 % общей толщи пород, влияние угла падения на процесс сдвижения в той или иной степени сглаживается, при этом характер распределения деформаций в мульде сдвижения подобен характеру распределения при некотором условном угле, занимающем промежуточное положение между углами

наклона коренных пород и наносов. Значение этого условного угла α' во многих случаях удовлетворяет зависимости [1]:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} \alpha - (h/H), \quad (1)$$

где α – угол падения коренных пород; h – мощность наносов; H – глубина горных работ. При отрицательных значениях $\operatorname{tg} \alpha'$ угол α' принимают равным нулю.

Неслоистые вмещающие породы, как правило, отличаются большой крепостью и незначительной деформируемостью. Поэтому сдвижения и деформации в зонах опорного давления при малой и средней глубине разработки невелики, чем объясняется незначительное развитие зоны плавных сдвижений в этих условиях и равенство значений соответствующих углов сдвижения и углов разрыва.

Процесс сдвижения при отработке тонких жил в крепких вмещающих породах проявляется на земной поверхности в виде обрушений выветрелых коренных пород и наносов (Садонское, Березовское и Кочкарское месторождения) или в виде плавных сдвижений (рудники Бестюбе, Степняк, Дарасун). Нередко земная поверхность остается в устойчивом состоянии (Артемовский и Раздольнинский рудники) [2].

Наряду с общими чертами процесс сдвижения горных пород на отдельных месторождениях (даже со слоистым строением пород) имеет свои специфические особенности. Эти особенности определяются в основном условиями залегания пород, системами разработки, способами управления горным давлением и другими влияющими факторами [1].

Практика разработки рудных месторождений показывает, что к обрушению склонны трещиноватые или слоистые слабые породы, имеющие геологические нарушения. Процессы обрушения протекают интенсивнее при отработке пологопадающих и наклонных залежей, имеющих значительную мощность. При медленном подвигании очистных работ происходит постепенное растрескивание, расслоение и самообрушение подрабатываемых пород. Интенсивная же отработка может быть причиной “мгновенной” посадки в виде сплошных крупных блоков пород.

Нарушенность породного массива является важным фактором, от которого зависят как значения деформаций, так и характер их распределения в мульде сдвижения. Как отмечал акад. АН Киргизской ССР С.Г. Авершин, трещиноватость – это одна из важнейших характеристик, определяющих процесс сдвижения горных пород [4]. В изверженных и метаморфических породах, вмещающих рудные месторождения, трещиноватость, как правило, развита в большей степени, чем в осадочных породах, слагающих угольные месторождения.

Таблица 1 – Значение коэффициентов структурного ослабления

Порода, слагающая кровлю		Интенсивность трещиноватости		Значение коэфф. структурного ослабления
Хайдарканское месторождение				
Сланцы	При наличии 1–3 трещин на 8 м			0,7–0,8
	При более интенсивной трещиноватости			0,3–0,6
Слоистые известняки	При наличии 1–3 трещин на 15 м			0,7–0,9
	При более интенсивной трещиноватости			0,5–0,7
Массивные известняки или джаспероиды	При наличии 1–3 трещин на 20 м			0,8–0,95
	При более интенсивной трещиноватости			0,5–0,8
Кадамжайское месторождение				
Кварцевая брекчия	Нарушения	Вдоль и диагонально оси камер	1 трещина на 10 м	0,6–0,7
			2–3 трещины на 10 м	0,3–0,5
		Поперек оси камер	1–3 трещины на 10 м	0,6–0,9
Терексайское месторождение				
Кварцевая брекчия, джаспероиды	Нарушения	Вдоль и диагонально оси камер	1–3 трещины на 10 м	0,6–0,7
			При более интенсивной трещиноватости	0,3–0,5
		Поперек оси камер	1–3 трещины на 10 м	0,6–0,9
			При более интенсивной трещиноватости	0,4–0,7

Исследования на моделях из эквивалентных материалов [5] и натурные наблюдения в шахтных условиях на Кадамжайском и Хайдарканском рудниках [6] показали, что устойчивость кровли камер за счет трещиноватости может уменьшаться в два и более раз по сравнению с ненарушенным массивом. Чем сильнее массив нарушен трещиноватостью, тем меньше будут его прочностные свойства и устойчивость пород при их подработке [5, 7]. С увеличением степени трещиноватости пород активизируется развитие процесса сдвижения, расширяется область влияния горных выработок и уменьшаются углы сдвижения и разрывов. При этом, влияние трещин на устойчивость подработанного массива нами рекомендуется учитывать коэффициентом структурного ослабления k_c , показывающим уменьшение пролета при трещиноватой кровле по сравнению с монолитной

$$k_c = l_{mp} / l, \quad (2)$$

где l_{mp} – пролет кровли камеры, нарушенной трещинами; l – пролет камеры при монолитной кровле.

Установлено также, что коэффициент структурного ослабления для различных пород имеет очень широкое значение и зависит от множества факторов, аналитически учесть которые не всегда возможно.

На основе проведенных исследований [6, 8, 9] установлены значения коэффициента структурных ослаблений k_c в зависимости от свойств пород, слагающих кровлю подработанного массива и интенсивности трещиноватости по месторождениям юга Кыргызстана (таблица 1). Сравнение полученных данных говорит о том, что наибольшее влияние трещиноватость оказывает на устойчивость кровли, сложенной сланцами, наименьшее – массивными известняками и джаспероидами (таблица 1). Это связано с тем, что мощность отдельных слоев сланцев значительно меньше чем известняков. При увеличении мощности слоев увеличиваются площадь и величина сцепления пород по трещинам, что повышает несущую способность кровли.

Наиболее неблагоприятно на устойчивость кровли влияют трещины, ориентированные вдоль и диагонально оси камер. В этом случае в кровле образуются консоли, взаимодействующие между собой по трещине. Трещины, ориентированные поперек оси камер, в меньшей степени ослабляют кровлю и изменяют условия защемления пород кровли по контуру камеры, которые вместо четырехсторонних становятся трех- или двусторонними. При значительной длине камер влияние по-

перечных трещин незначительно. Учет трещиноватости особенно необходим при выборе параметров сдвига на неизученных месторождениях, которым в том числе относятся и Кадамжайское и Хайдарканское месторождения республики.

Следовательно, при определении величины безопасных глубин горных работ и прогнозировании условий образования провалов при наличии в кровле крупных тектонических нарушений в расчетные зависимости необходимо вводить соответствующие данным условиям значения коэффициентов структурного ослабления.

Таким образом, при подземной разработке рудных месторождений в определенных условиях на поверхности могут образовываться провалы. Их особенность заключается в том, что они возникают внезапно и без видимых признаков, создавая опасность для людей и сооружений на поверхности. Провалы поверхности могут привести к появлению разрушительных деформаций в подрабатываемых горных выработках, зданиях, сооружениях и других объектах, нарушению вентиляции рудника в целом, а также к проникновению воды в подземные выработки из подрабатываемых водных объектов.

Обзор и анализ широко известных работ по данной проблеме позволяет сделать вывод, что образование провалов и опасных деформаций земной поверхности зависит не только от мощности залежей, но и от угла падения и геометрических размеров рудных тел в плане.

Причинами возникновения опасных деформаций и образования провалов являются значительные размеры отработанных участков и их соизмеримость с глубиной (отношение $(L/H) \geq 0,8$). Если размеры выработанного пространства остаются небольшими по сравнению с глубиной залегания выработки, то процессы отслоения и изгиба слоев может не достигать земной поверхности, которая остается в устойчивом состоянии.

Важным фактором, от которого зависят как значения деформаций, так и характер их распределения в мульде сдвига, является нарушение породного массива. Устойчивость подработанного массива за счет трещиноватости может

уменьшиться в два и более раз по сравнению с ненарушенным. Поэтому для определения условий образования провалов при наличии в кровле тектонических нарушений в расчетные зависимости необходимо вводить соответствующие данным условиям значения коэффициентов структурного ослабления, значения которых в зависимости от типов пород и интенсивности трещиноватости, может изменяться от 0 до 1.

Литература

1. Турчанинов И.А. Основы механики горных пород / И.А. Турчанинов, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьян. Л.: Недра, 1989. 488 с.
2. Сдвигение горных пород на рудных месторождениях / М.А. Кузнецов, А.Г. Акимов, В.И. Кузьмин и др. М.: Недра, 1971. 224 с.
3. Малахов Г.М. Управление горным давлением при разработке рудных месторождений Криворожского бассейна / Г.М. Малахов. Киев: Наукова Думка, 1990. 204 с.
4. Авершин С.Г. Сдвигение горных пород при подземных разработках / С.Г. Авершин. М.: Углетехиздат, 1947. 245 с.
5. Борщ-Компониец В.И. Горное давление при отработке мощных пологих рудных залежей / В.И. Борщ-Компониец, А.Б. Макаров. М.: Недра, 1986. 271 с.
6. Ялымов Н.Г. Определение размеров камер и целиков при разработке месторождений в горных районах / Н.Г. Ялымов, О.В. Рогожников. Фрунзе: Илим, 1980. 167 с.
7. Галаев Н.З. Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений / Н.З. Галаев. М.: Недра, 1990. 176 с.
8. Ялымов Н.Г. Особенности сдвига пород при разработке месторождений в горных районах Киргизии / Н.Г. Ялымов, В.Е. Бегляков. Ташкент: ТашПИ, 1973. С. 59–65.
9. Ялымов Н.Г. Теоретические основы управления давлением пород при разработке месторождений в горных районах / Н.Г. Ялымов. Бишкек: Илим, 1992. 184 с.