

Образование зон обрушения и трещиноватости при подземной отработке горючих сланцев

А.Е. ВОРОБЬЕВ, д.т.н., профессор, зав. кафедрой нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела, Российский университет дружбы народов (г. Москва),

А.К. ТУРСУНБАЕВА, д.т.н., кафедры ММиН,

В.С. ПОРТНОВ, д.т.н., профессор, директор ДОУП, Карагандинский государственный технический университет,

Г.Ж. МОЛДАБАЕВА, к.т.н., доцент,

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы),

Р.Б. ДЖИМИЕВА, преподаватель, Владикавказский горно-металлургический техникум, Россия

Ключевые слова: трещиноватость, провал, обрушение, горючие сланцы, подземная отработка, деформация, горные породы.

На месторождениях с крепкими вмещающими породами (особенно при разработке слепых рудных тел несплошными системами) горные выработки сохраняются весьма длительный промежуток времени. Так, например, на Березовском золоторудном месторождении (Россия), разработка которого ведется с 1747 г., только с начала XX века было образовано свыше 4,3 млн. м³ пустот, из которых числятся непогашенными около 2,0 млн. м³ [1]. В то же время пустоты (горные выработки), сформированные при добыче горючего сланца и угля, довольно быстро «погашаются», зачастую с выходом зоны нарушения налегающего горного массива на дневную поверхность. Разработка пластов горючего сланца приводит к изменению напряженного состояния горных пород и их сдвигению, проявляющемуся в образовании обширных зон сдвижения в горном массиве и на земной поверхности [2].

При проведении горных выработок в районе пласта горючих сланцев исходная устойчивость массива близлежащих горных пород нарушается. Оставшиеся после ликвидации горных предприятий в массиве горных пород пустоты (незаложённые горные выработки) являются потенциальными источниками сдвижений подработанной земной поверхности на многие десятилетия и даже сотни лет.

В зависимости от сочетания влияющих факторов процесс сдвижения пород может локализоваться в прилегающем горном массиве или достигать земной поверхности и проявляться в форме воронок (рисунок 1), провалов, террас, трещин, плавных сдвижений и их различных сочетаний [2].

Процессы оседания и сдвижения горных пород (обусловленные горными выработками), достигая поверхности Земли, вызывают ее деформации и формирование мульды сдвижения.

При этом отдельные точки мульды сдвигаются неравномерно, в результате чего возникают вертикальные (наклоны, кривизна) и горизонтальные (растяжение, сжатие) деформации, а также трещины, уступы и провалы.

Сдвиговзброс и сбрососдвиг (формирующие уступы) представляют собой разрывы с вертикальным

или наклонным сместителем и косым смещением по отношению к падению (и простираанию) сбрасывателя, комбинирующие элементы сдвига и сброса. У сбрососдвига склонение вектора перемещения пологое, а у сдвиговзброса – крутое. В обоих случаях висячее крыло смещено вниз.



Рисунок 1 – Провал земной поверхности в виде воронки

Провалы и впадины, образующиеся на дневной поверхности в результате обрушения кровли подземных выработок, весьма различны по форме и размерам, определяются глубиной разработки, объемами извлекаемых из недр горных пород и руд, геометрией рудных залежей или сланцевых и угольных пластов [3]:

– мульдообразные провалы возникают после разработки пластовых залежей средней (1,5-3 м) и большей мощности, горизонтального, волнистого или полого наклонного залегания. В этом случае мульда сдвижения горных пород находится в зоне прогиба кровли. При большой мощности и крутом падении залежи возможно формирование мульдообразных террасированных провалов. Мульда сдвижения в этом случае будет приурочена к зоне прогиба или обрушения;

– каньонообразные провалы образуются над выработанным пространством мощных полого- или крутопадающих залежей. Мульда сдвижения в этих условиях всегда находится в зоне обрушения;

– кольцевые провалы могут возникать на месте разработки штокообразных крутопадающих залежей.

При плавном оседании пород возникает углубление в земной поверхности – мульда оседания (рисунок 2).



Рисунок 2 – Оседание земной поверхности над горными выработками

Так, при наличии горных выработок определенной ширины и длины покрывающие горные породы кровли в порядке удаления от выработки к дневной поверхности, а также в зависимости от их физико-механических свойств нарушаются, образуя мульду оседания. В частности, на Буланашском угольном месторождении отдельные участки подработанных территорий осели на 15-20 м, а в Челябинском буровугольном бассейне (Россия) – на 20-30 м.

Возможность и опасность проявления воздействия горных работ на земную поверхность, связанного с разрушением природной крепости пород, может иметь место без ограничения во времени, при этом оседание участков поверхности в зоне сдвижения неравномерно и увеличивается от ее границ к центру.

Существует три четко выраженные зоны нарушения массива покрывающих пород (таблица), образующиеся в результате ведения горных работ (формирования горных выработок). Причем, несмотря на то, что каждую выделенную зону можно охарактеризо-

вать по образуемым в слое трещинам, их мощности могут значительно изменяться.

Отдельные точки в мульде сдвижения сдвигаются на разные величины, в результате чего возникают вертикальные (наклоны, кривизна, скручивание) и горизонтальные (растяжения, сжатия, сдвиги) деформации, а также провалы и сосредоточенные деформации – трещины и уступы в вертикальной и сдвиги в горизонтальной плоскостях.

Процесс сдвижения горных пород и земной поверхности зависит от следующих основных факторов: физико-механических свойств горных пород; геологических и гидрогеологических условий залегания месторождения; наличия сбросов, трещин, плоскостей слоистости, кливажа и тектонических нарушений; угла падения отдельных слоев горных пород и залежи в целом; мощности залежи; глубины разработки; системы разработки; скорости подвигания горных работ; размеров очистной выработки; нарушенности горных пород ранее проведенными горными работами; рельефа земной поверхности [4].

Физико-механические свойства горных пород определяют форму проявления процесса сдвижения. Из механических свойств горных пород на процессе сдвижения сказывается их сопротивление сжатию, растяжению, срезу и изгибу. Было установлено, что крепкие породы (граниты, кварциты, порфириды, песчаники, известняки и другие) обладают наибольшим сопротивлением сжатию и изгибу. Под влиянием горных разработок эти породы обычно обрушаются. Пластичные же породы (глины, глинистые и песчаные сланцы) подвергаются деформациям без разрыва сплошности, вследствие чего процесс сдвижения происходит в виде плавного прогиба. Сыпучие породы (прежде всего – пески) способствуют развитию процесса течения, а следовательно, образованию провалов и воронок.

Механические свойства горных пород существенно сказываются на величине углов сдвижения и разрывов. В частности, чем крепче породы, тем больше по абсолютному значению углы сдвижения и разрывов.

Зоны обрушения и трещиноватости массива покрывающих горных пород в районе горных выработок месторождения горючих сланцев [4]

Нарушение массива	Характеристика слоя	Последствия
1. Зона обрушения: 1) полного	Обвал породы в выработку, куски неровной пластинчатой формы различных размеров, разбросанные беспорядочно	Значительные проблемы контроля массива горных пород; дальнейшая разработка месторождения может быть невозможна
2) частичного	Слои значительно изогнуты, наблюдается тенденция к образованию трещин и смещению	Определенные трудности с контролем массива горных пород, ведущие к существенным осложнениям добычи
3) верхний предел зоны обрушения	Возможно отделение слоев по плоскости, образование трещин; отдельные слои не повреждены, смещения встречаются редко	Уменьшение проблем контроля массива горных пород; некоторое осложнение добычи
2. Зона трещиноватости	Порода разломана на блоки по трещинам и изломам вследствие отделения слоев; изгиб не крутой, а трещины выражены незначительно	Проблемы контроля горного массива встречаются в основном в мульде оседания; наблюдаемые сложности по добыче в основном незначительны
3. Зона оседания	Изгиб породы постепенный и распространяется на большое расстояние по горизонтали, без образования крупных трещин	Отсутствие фактических проблем контроля горного массива, воздействующих на дальнейшую добычу

Геологическое строение толщи (литологический состав, последовательность и мощность напластований) и ее обводненность в значительной мере определяют основные стороны процесса сдвижения. Так, наличие в геологическом строении толщи месторождения напластований из крепких пород способствует развитию процесса обрушения, а напластования из пластичных пород – развитию прогиба. При этом мощные напластования крепких пород задерживают развитие процесса сдвижения. Обводненность также способствует изменению физико-механических свойств горных пород (в частности увеличению пластичности, явлению текучести, особенно в наносах, и пучению).

Тектонические нарушения и трещиноватость часто являются направляющими плоскостями сдвижения горных пород. Вдоль этих плоскостей породы ослабляются и перемещаются, а это иногда приводит к искажению действительных величин углов сдвижения. Наличие трещиноватости горных пород, а также плоскостей спайности или кливажа не дает оснований рассматривать толщу горных пород как сплошную однородную упругую среду.

Влияние угла падения пород и залежи сказывается на многих параметрах процесса сдвижения горных пород и земной поверхности. От угла падения залежи зависит величина углов граничных, сдвижения и разрывов. Так, при пологом залегании пород обычно преобладает их прогиб, а при крутом – обрушение со сдвигом по напластованию. В первом случае на земной поверхности в мульде сдвижения развиваются большие по величине оседания и меньшие горизонтальные перемещения, а во втором случае горизонтальные сдвижения в 1,5-2 раза превышают вертикальные оседания.

Мощность залежи является одним из главных факторов, влияющих на процесс сдвижения горных пород вмещающего массива. В общем случае, чем больше мощность вынимаемой залежи, тем интенсивнее развивается процесс сдвижения горных пород и тем более преобладает процесс обрушения. Величина деформаций в мульде сдвижения находится в прямой зависимости от мощности вынимаемой залежи.

Глубина разработки. С увеличением глубины разработки конфигурация мульды сдвижения становится настолько плавной, что обнаружить ее на поверхности можно только инструментально. При прочих равных условиях с увеличением глубины разработки величина деформаций быстро уменьшается, а продолжительность процесса сдвижения растет.

Система разработки слагается, как известно, из принятого способа подготовки месторождения к выемке, размеров очистной выемки и оставляемых целиков, способа управления кровлей. Все эти элементы системы разработки существенно сказываются на развитии процесса сдвижения.

Так, сплошная система разработки в сочетании с большими размерами очистной выемки способствует проявлению сдвижения горных пород в виде плавного прогиба. Столбовая система разработки способствует развитию процесса обрушения. При этом оседание земной поверхности часто происходит неравномерно

и сопровождается трещинами. Камерная система при значительных размерах междуканальных целиков может задержать развитие процесса сдвижения. При незначительных размерах междуканальные целики разрушаются, что приводит к развитию процесса обрушения с образованием воронок провалов.

Скорость подвигания очистных забоев. Замечено, что равномерное подвигание забоев способствует равномерному оседанию земной поверхности и наоборот. При остановках забоя плавность процесса сдвижения горных пород иногда нарушается до такой степени, что породы разламываются над забоем и образовавшиеся трещины доходят до поверхности земли. Равномерное быстрое подвигание очистных забоев способствует плавному прогибу подработанных участков поверхности и быстрому подвиганию края мульды сдвижения под подрабатываемыми объектами (если последние попадают на дно мульды).

Влияние рельефа поверхности на процесс сдвижения горных пород сказывается при подработке крутых склонов, особенно гор и холмов. В этих случаях на крутых склонах появляются так называемые заколы, т.е. резко выраженные глубокие трещины. Заколы отделяют нижнюю часть склона от верхней, причем нижняя часть может получить значительные смещения.

При обрушении на земной поверхности образуются зоны обрушения, зоны сдвижения или отдельные провальные воронки.

Провал (провальная воронка) – участок земной поверхности, подвергшийся обрушению под влиянием подземных горных выработок (рисунок 3).

Наиболее опасной из форм сдвижения является образование провалов, когда на земной поверхности внезапно появляются разрушительные для зданий и сооружений деформации.

Провалы образуются над горными выработками, в которых сохраняются пустоты. К таким выработкам прежде всего относятся подготовительные и очистные, пройденные на малой глубине, а также выработки, выходящие на земную поверхность: стволы, шурфы, скважины большого диаметра.



Рисунок 3 – Провал над горными выработками, заполненными водой

В зависимости от глубины разработки, размеров выработанного пространства, геологического строения, физико-механических свойств пород, их обвод-

ненности, наличия крепи в выработках и других факторов, скорость развития процессов, приводящих к появлению провалов, колеблется в довольно широких пределах.

Однако большинство провалов образуется в течение первых 5-10 лет после окончания горных разработок, но иногда они появляются спустя несколько десятков и даже сотен лет (по мере нарушения устойчивости незаложенных горных выработок, разрушения их крепи, нарушения перекрытий шурфов и шахтных стволов и т.д.).

Зоной сдвижения называют участок поверхности, где сдвижение горных пород происходит без разрыва сплошности, а зоной обрушения – участок, где наблюдается оседание террасами с образованием трещин и нарушением сплошности.

Так, высота зоны обрушения составляет от 2- до 6-кратной мощности вынимаемого пласта горючего сланца. Выше последовательно располагается зона трещинообразования, высотой 20-40-кратной мощности пласта.

В результате зона обрушения может подразделяться на несколько областей трещиноватости горного массива [5].

Полная зона обрушения – это область сильно нарушенных слоев горных пород. В данной области происходит обвал породы в выработку и ее разрушение на отдельные куски неровной пластинчатой формы различных размеров. Пласты горючего сланца, расположенные в этой зоне, могут быть неотработываемыми.

Область глубин разработки от 6 до 12 долей глубины разработки является зоной частичного обрушения. В данной зоне процесс образования трещин может быть достаточно сильным, чтобы вызвать их появление в относительно больших блоках породы.

Причем здесь слои могут иметь значительный прогиб, приводящий к образованию трещин, или смещаться под воздействием напряжений сдвига. Сокращать проблемы управления кровлей в этой зоне также сложно, как и осуществлять за ними наблюдение.

Верхний слой зоны обрушения занимает от 12 до 20 долей. Причем слои горных пород этой зоны могут разделяться вдоль поверхностей напластования, а трещины при этом открываться (хотя отдельные пласты остаются нетронутыми).

Над зоной обрушения находится зона трещиноватости, в которой слои горных пород разбиты на блоки вертикальными и горизонтальными трещинами в результате разделения пласта горючих сланцев. Смежные блоки в каждом нарушенном слое соприкасаются полностью или частично вдоль вертикальных или наклонных трещин. Следовательно, горизонтальная сила напряжения здесь передается через поверхность напластования слоя. В данной зоне изгиб горных пород не крутой и трещины менее выражены. Мощность зоны трещиноватости колеблется от 20 до 50 долей глубины разработки.

Проблемы с управлением горным массивом обычно встречаются в области мульды оседания, пласты горючих сланцев в этой зоне могут быть менее сложными для отработки, чем пласты в зоне обрушения. Общая мощность зоны обрушения и трещиноватости изменяется от 30 до 50 долей глубины разработки.

Между зоной трещиноватости и дневной поверхностью расположена зона непрерывной деформации, которую часто называют зоной прогиба. В этой зоне прогиб слоев горных пород плавный и распространяется на протяженные горизонтальные расстояния, без образования крупных трещин. Как правило, ведение горных работ в подобной зоне не вызывает трудностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каракочкая И.А. Мониторинг сдвижения земной поверхности после окончания подземных разработок. Екатеринбург, 2004.
2. Методические указания по технологическому проектированию горно-добывающих предприятий металлургии с подземным способом разработки / ГИПРОРУДА. СПб. 1993.
3. <http://sitc.ru/ton/chapter10.html>.
4. Воробьев А.Е., Аламгир Мд Джалил. Совершенствование технологии разработки мощных пологих пластов угля с учетом охраны окружающей среды в месторождении Барапукурия (Бангладеш). М.: Мэйлер, 2009. 192 с.
5. Шагалов С.Е., Муллер Р.А., Марков В.В. и др. Защита и подработка зданий и сооружений. М.: Недра, 1974. 188 с.