**Структурные особенности массивов скальных пород и их влияние на устойчивость карьерных откосов**

Дунаев В.А., Серый С.С., ФГУП ВИОГЕМ

Устойчивость карьерных откосов в массивах скальных пород обусловливается главным образом наличием в них поверхностей ослабления (трещин, разрывных нарушений, плоскостей напластования или слоистости, прослоев пород со слабым сопротивлением сдвигу), их ориентировкой относительно друг друга и плоскости откоса.

Массивы скальных пород по виду и характеру проявления геолого-структурных факторов, влияющих на устойчивость откосов, целесообразно разделить на два контрастных структурных типа: неслоистые и слоистые.

Неслоистые массивы представлены, как правило, магматическими породами, в которых на фоновую прототектоническую трещиноватость накладывается собственно тектоническая в виде трещинно-разломных систем линейного или радиально-кольцевого типа, которые создают наиболее опасные плоскости ослабления. В неслоистых массивах по условиям возникновения и форме обрушений (оползней) пород в уступах (бортах) карьеров можно выделить четыре типа структурных обстановок.

Первый тип – квазиоднородный массив с относительно равномерной интенсивной трещиноватостью. Опасной считается интенсивность трещиноватости при размере образованных ею элементарных блоков менее 0,3 м и слабом сцеплении между ними. Такие условия характерны для крупных зон разломов, особенно участков их сочленения. Обрушение карьерных откосов в неслоистом квазиоднородном массиве происходит по круглоцилиндрической поверхности скольжения (рис. 1,а), радиус которой зависит от прочности породы в образце и степени структурного ослабления горного массива. При наличии в массиве системной трещиноватости поверхность скольжения вписывается в плоскости ослабления, созданные трещинами систем, простирающихся вдоль уступа и падающими в сторону выемки (рис. 1,б).



Рис. 1. Основные типы геологоструктурных обстановок, вызывающих деформации откосов карьеров в массивах скальных неслоистых горных пород

1 – круглоцилиндрическая поверхность скольжения; 2 – плоскость отрыва породного блока; I, II, III – разрывные нарушения (крупные трещины); стрелками показано направление движения породного блока.

Второй тип – поверхность ослабления в массиве (сплошная протяженная трещина или разрывное нарушение) падает в сторону выемки под углом 25-55° и в плане ориентирована вдоль или диагонально к простиранию уступов карьера (рис. 1,в). Сверху она выходит на берму или за контур карьера под рыхлые отложения, перекрывающие скальный массив. При подрезании поверхности ослабления карьерным откосом в том случае, когда угол ее наклона превышает угол трения по этой поверхности, происходит обрушение (оползание) породного блока. Боковые поверхности обрушения ограничиваются обычно трещинами, поперечными к уступам карьера. Граничное значение угла падения поверхности ослабления, равное 25°, достаточно условно. В том случае, если она представлена увлажненным глинистым материалом, скольжение вышележащего породного блока возможно и при меньших значениях этого угла.

Третий тип – две плоскости ослабления, представленные кососекущими относительно уступов карьера трещинами, падают навстречу друг другу, образуя при своем пересечении (сочленении) ребро, наклоненное в сторону выемки. В такой ситуации породный блок клинообразной формы скользит вдоль ребра по лотку (желобу), стенками которого являются указанные плоскости ослабления (рис. 1,г).

Четвертый тип – сочетание разноориентированных сплошных трещин, падающих в сторону выемки. Призма обрушения в данном случае ограничивается полигональной поверхностью скольжения, образованной этими трещинами (рис. 1,д).

Наиболее распространенными и в той или иной мере проявленными на любом достаточно крупном карьере, разрабатывающем неслоистый горный массив, являются деформации откосов, связанные со вторым и особенно третьим типом структурных обстановок.

Слоистые массивы сложены осадочными (вулканогенно-осадочными) и метаморфическими породами. В них также развиты трещины и разрывные нарушения, но главной их особенностью является наличие слоистости и слабых прослоев (в осадочных породах – глинистых, углисто-глинистых, в метаморфических – хлоритовых, серицитовых и талькосодержащих сланцев). Для чехла платформы характерны массивы с субгоризонтальным и пологонаклонным залеганием слоев, а для складчатых областей – массивы, представленные моноклиналью, анти- или синклинальной складкой, ансамблем складок.

Если слоистость пород субгоризонтальна или падает от карьерной выемки, она не участвует в формировании потенциальной поверхности скольжения, а основную роль в этом играют трещины и разрывные нарушения. В этих случаях все рассмотренные выше для неслоистых массивов структурные обстановки, провоцирующие деформации карьерных откосов имеют место и в слоистых массивах. Однако для слоистых массивов более характерны структурные обстановки, обусловленные исключительной или основной ролью в возникновении деформаций карьерных откосов границ раздела слоев и слабых прослоев. Следует выделить 5 главных типов таких обстановок.

Первый тип – субгоризонтальнозалегающая (05°) слоистая толща осадочных пород относительно небольшой прочности со слабым контактом или прослоем пород в основании борта карьера (рис. 2,а). В указанной ситуации возможно формирование в прибортовом массиве клина давления, а затем хрупкое разрушение пород призмы упора с вовлечением в процессе оползания больших (до нескольких десятков миллионов кубометров) объемов пород. Такие деформации обычно начинаются оползнем неустойчивого массива, а завершаются его обрушением. Механизм подобных оползней-обрушений и примеры их проявления на карьерах, разрабатывающих угольные месторождения, изложены в работе Э.Л. Галустьяна [2].



Рис. 2. Основные типы геологоструктурных обстановок, вызывающих деформации откосов карьеров в массивах скальных слоистых

горных пород

1 – слабый контакт или прослой; 2 – разрывное нарушение (крупная трещина); 3 – плоскость отрыва породного блока; 4 – круглоцилиндрическая поверхность скольжения; стрелками показано направление движения породного блока.

Второй тип – слоистость направлена в карьер полого под углом 10-25° и подрезается откосом, причем сами породы достаточно прочные, но выветрелые со слабым сцеплением между элементарными структурными блоками (отдельностью) и прослоями глинистого или углисто-глинистого состава, по которым в основном и формируются поверхности скольжения. В такой обстановке оползни обычно возникают при подрезании со стороны массива породного блока, лежащего на поверхности ослабления, крутопадающим разрывным нарушением, идущим вдоль контура карьера (рис. 2,б). Иногда отрыв тела оползня от массива происходит по ступенчатой границе, образованной сочетанием плоскостей напластования и субперпендикулярных им трещин отдельности (рис. 2,в).

Наиболее известные примеры деформаций в описанной ситуации связаны с массивами карбонатных пород (известняков и доломитов). В частности, за время эксплуатации карьеров Донбасса, разрабатывающих флюсово-карбонатное сырье, при пологом (до 10-12°) залегании продуктивной толщи зафиксированы десятки оползней объемом до 0,5-1 млн. м3 [4]. Неоднократно оползни объемом до 0,3 млн. м3 происходили на участке "Западный отрог" карьера Коршуновского ГОКа, сложенном известняками, падающими под углом 15-20° в сторону выемки.

Третий тип – слоистость пород падает в сторону выемки под углом 25-60° и подрезается более крутыми карьерными откосами (рис.2,г). Это самая распространенная при открытой разработке складчато-слоистых горных массивов ситуация, приводящая к обрушениям одного или нескольких уступов.

Четвертый тип – в массиве крутопадающих слоистых пород имеется пологонаклонная плоскость ослабления (разрывное нарушение), причем слоистость и это нарушение падают в карьер, простираясь вдоль его уступов. При подрезании нарушения карьерным откосом породный блок может оторваться от массива по границе раздела слоев и скользить по плоскости разрывного нарушения (рис.2,д).

Пятый тип – массив сложен яснослоистыми породами субвертикального (90 5-10°) залегания. Разрушение карьерного откоса в данном случае происходит за счет изгиба, межслоевых подвижек, разворота и опрокидывания слоев осадочных, реже метаморфических пород. Собственно изгиб слоев, т.е. их преимущественно пластическая деформация, наблюдается только в массивах осадочных пород относительно невысокой прочности; в частности, на угольных месторождениях. Например, участок северо-восточного борта разреза "Северный" (Экибастузское месторождение), сложенный слоями с отклонениями от вертикального падения 5°, неоднократно деформировался при угле наклона 1416°, тогда как из расчета прочности пород вкрест наслоения он должен быть устойчивым при угле 60° с нормативной величиной коэффициента запаса устойчивости, равной 1,3 [3]. Слои крепких осадочных и особенно метаморфических пород "изгибаются" по ломаной линии, расчленяясь на плитчатые блоки. Локальные обрушения, вызванные субвертикальным залеганием пластов железистых кварцитов, наблюдаются в карьерах Лебединского (западный борт), Ингулецкого (восточный борт) и Полтавского (западный борт) горно-обогатительных комбинатов.

Следует особо сказать о сложноскладчатых массивах метаморфических пород в фундаменте древних платформ (месторождения железистых кварцитов). Нередко они характеризуются изменчивым залеганием слоистости пород. Обычно эта изменчивость не устанавливается по данным детальной разведки месторождений полезных ископаемых, на основе которых проектируются и отстраиваются борта карьеров, что приводит к локальным подрезаниям слоев пород карьерными откосами и их деформациям. Наиболее распространенные причины изменчивости залегания слоистости пород: осложнение крыльев складок флексурными изгибами и другими пликативными нарушениями высоких порядков, ундуляции (поднятие и погружение шарниров складок). Пликативные осложнения крыльев складок могут вызвать деформации уступов борта карьера, ориентированного по простиранию пород, а ундуляции создают опасную обстановку в торцевых частях карьера.

Первичная структура скального массива любого типа (неслоистого или слоистого) существенно усложняется его гипергенной разгрузкой за счет эрозии лежащей когда-то выше современной дневной поверхности толщи пород и процессами выветривания. При оценке устойчивости карьерных откосов обычно учитывается только верхняя зона дезинтегрированных и выветрелых с существенным преобразованием первичного минерального состава пород, которая фиксируется детальной разведкой месторождения. Нижняя зона, в границах которой гипергенные преобразования в массе горных пород слабо заметны, практически не изучается и не учитывается в расчетах устойчивости массива. Мощность нижней зоны может достигать ста и более метров. При кажущейся свежести и высоких прочностных характеристиках пород средний размер блока в ней меньше, чем в совершенно неизмененном массиве, а по трещинам наблюдаются следы проникновения воды и выщелачивания заполнителя. Все это снижает сцепление по трещинам между породными блоками и в целом устойчивость массива, что фиксируется отсутствием гладкого откола при формировании стационарных уступов карьера в нижней зоне способом предварительного щелеобразования. Указанные явления наблюдались авторами в карьере Ковдорского ГОКа.

Геометрия границ зон интенсивного и слабо проявленного гипергенеза в горном массиве подчиняется литолого-структурному контролю. По крутопадающим разрывным нарушениям и в меньшей степени по телам пород, наиболее склонных к гипергенным изменениям, эти зоны, обычно обводненные, уходят на большую глубину, образуя в неизмененном массиве линейные полосы и клинья, аналогичные по своему влиянию на устойчивость карьерных откосов прослоям слабых пород. Такие полосы и клинья широко распространены на Михайловском месторождении КМА, причем глубина их проникновения в массив железистых кварцитов достигает 400 м.

В заключение следует сказать, что охарактеризованные здесь те или иные опасные с точки зрения устойчивости карьерных откосов геологоструктурные обстановки на каждом эксплуатируемом месторождении, где они могут проявиться, имеют свое конкретное воплощение. Для предотвращения опасных деформаций карьерных откосов необходимо знать структуру разрабатываемого массива в прибортовой зоне карьера. Как правило материалов детальной разведки месторождения для этого явно недостаточно из-за редкой сети скважин по вмещающим полезное ископаемое породам и низкой представительности геолого-структурных данных по керну скважин. Наиболее эффективным способом получения достаточно полной и достоверной информации о структуре массива является детальное геологоструктурное картирование карьерного поля и создание на базе его результатов компьютерной модели структуры массива, позволяющей в оперативном режиме оценивать устойчивость карьерных откосов при различных вариантах их ориентировки и конструкции [1].

**Выводы**

В неслоистых массивах главным фактором устойчивости карьерных откосов являются трещинно-разломные системы. По условиям возникновения деформаций откосов в них следует различать 4 основных типа структурных обстановок (квазиоднородная среда; трещина, падающая в сторону выемки и в плане ориентированная вдоль карьерного откоса; две кососекущие трещины, падающие навстречу друг другу и образующие желобообразную поверхность скольжения, наклоненную в карьер; сочетание нескольких трещин, следующих вдоль уступов карьера и имеющих разные углы падения).

В слоистых массивах могут иметь место все отмеченные выше структурные обстановки, но главную роль в деформациях откосов играют границы раздела слоев и слабые прослои. Наиболее опасные структурные обстановки при открытой разработке слоистых массивов – субгоризонтальное залегание пород относительно небольшой прочности со слабым контактом или прослоем в основании борта карьера; пологое (10-25°) залегание достаточно прочных, но трещиноватых, пород с прослоями глинистого состава (эта ситуация особо опасна, когда массив за контуром карьера пересекается следующим вдоль него разрывным нарушением); толща пород с падением слоистости в сторону выемки под углом 25-60° подрезается более крутыми откосами (характерная ситуация для складчато-слоистых массивов с пликативными осложнениями крыльев складок и ундуляциями); крутопадающая слоистая толща нарушена пологопадающей трещиной, причем слоистость пород и эта трещина падают в карьер; субвертикальное залегание яснослоистых пород, простирающихся вдоль уступов карьера.

Первичная структура скальных горных массивов существенно усложняется вертикальной гипергенной зональностью. С точки зрения устойчивости карьерных откосов особое внимание следует уделять нижней зоне гипергенеза, наименее изученной при проведении детальной разведки месторождений полезных ископаемых и линейным осложнениям коры выветривания, проникающим на большую глубину в массив неизмененных пород.

Основным способом получения надежных геологоструктурных данных в прибортовой зоне карьера и оценки устойчивости его откосов на предельном контуре является детальное геологоструктурное картирование карьерного поля и создание на его основе компьютерной модели структуры разрабатываемого массива горных пород.

**Список литературы**

Дунаев В.А., Серый С.С. Методика натурного изучения, геотехнического районирования и моделирования структуры скальных горных массивов в условиях открытой разработки месторождения. – "Горная промышленность", 1999, №1.

Галустьян Э.Л. Крупномасштабные деформации бортов карьеров в слоистых породах. – "Горный журнал", 1990, №5.

Пушкарев В.И. К вопросу напряженно-деформированного состояния и расчета оптимальных параметров откосов в массиве с крутопадающей слоистостью. – "Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых", 1988, №5.

Соболев Е.Г. Исследование причин оползней пород бортов карьеров геофизическими методами. - "Горный журнал", 1986, №11.