

УДК 622.271

А.В. Яковлев

ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРОВ В СКАЛЬНЫХ МАССИВАХ

Семинар № 16

Более 40 лет устойчивые углы наклона бортов карьеров принимаются на основании расчетов по методике ВНИМИ, которая базируется на сравнении сдвигающих идерживающих сил, действующих на участок массива по вероятной поверхности скольжения. Несмотря на то, что проектные углы наклона бортов карьеров приняты с нормативным коэффициентом запаса устойчивости, горные работы на большинстве глубоких карьеров сопровождаются оползневыми явлениями различного масштаба. До сих пор возникновение оползневых процессов связывали с недостаточной изученностью инженерно-геологических условий месторождений на стадии проектирования карьеров, поэтому по мере развития горных работ уточнялись свойства массива и слагающих его пород с целью корректировки устойчивых параметров бортов карьеров. Однако на многих предприятиях оползневые процессы чаще всего продолжаются.

Одной из главных причин возникновения оползневых процессов в прибрежных массивах, сложенных скальными породами, является воздействие тектонического поля напряжений, наличие которого можно обнаружить различными способами, в том числе:

- по результатам инструментальных маркшейдерских наблюдений;
- по штрихам и бороздам на заполнителях контактов трещин и нарушений;

- по дискованию керна из разведочных скважин.

Исследование воздействия тектонических напряжений на прибрежной массивами были проведены на Кiem-baevskom асбестовом карьере, Коршуновском и Рудногорском карьерах Коршуновского ГОКа, Главном карьере Качканарского ГОКа.

Основой для изучения действия тектонических сил является исследование структурно-тектонического строения и деформационного поведения прибрежных массивов карьеров.

Чтобы понять, какие процессы происходят в конкретном прибрежном массиве, сначала следует изучить геологические условия и генезис месторождения, поскольку в пределах карьера обнаруживается соседство различных по происхождению, составу и свойствам массивов. Также различаются и свойства контактов пород. В пределах одного массива можно встретить как седиментационные и залеченные контакты, которые в настоящее время неподвижны, так и раскрытие и подвижные контакты с зеркалами скольжения, бороздами, штрихами и треугольниками выкрашивания. Часто штрихи и борозды на одной и той же поверхности отражают несколько направлений подвижек, что свидетельствует о неоднократном изменении тектонического поля напряжений.

Как правило, в оползневом процессе выделяются три стадии: подготовительная, активная и затухания. Наши исследования были направлены на изучение стадии подготовки оползневого процесса, при которой под воздействием тектонических сил происходит образование поверхности или зоны скольжения.

Результаты проведенных в течение нескольких лет инструментальных маркшейдерских наблюдений показывают, что на всех исследованных карьерах наблюдаются знакопеременные перемещения реперов, что при определенных условиях вызывает дезинтеграцию прибортовых массивов.

Так, на Кiemбаевском асбестовом карьере генеральное смещение всех пунктов опорной маркшейдерской сети за период 1974-98 г.г. было направлено на север с примерно одинаковой амплитудой. В 1999-2000 годах преобладало западное перемещение наблюдаемых точек массива, а в 2001 году оно изменилось на восточное и северо-восточное. На Коршуновском карьере также наблюдаются переменные перемещения пунктов опорной сети. И это не может быть объяснено деформациями разгрузки массива от вынутого объема пород.

Особенно заметно переменный характер тектонического воздействия на массив прослеживается при проведении инструментальных наблюдений в мониторинговом режиме на участках бортов, подверженных оползневым процессам. Такие наблюдения в течение нескольких лет проводятся нами по наблюдательной станции, заложенной на нескольких горизонтах оползневого участка северо-западного борта Главного карьера Качканарского ГОКа. Здесь массив претерпевает сложное деформирование, периодически переходя от под-

готовительной стадии, когда преобладают тектонические деформации, к периоду активизации перемещения оползневой призмы в выработанное пространство карьера под действием гравитационного поля с последующим затуханием деформаций и переходом в тектонический этап деформирования. Наблюдения за изменением направленности перемещений реперов позволяют оценить, какое поле напряжений преобладает в конкретный момент времени, и прогнозировать периоды активизации оползня.

Поскольку на всех исследованных карьерах было обнаружено тектоническое поле напряжений, далее необходимо было изучить, как это поле напряжений влияет на состояние массива.

При картировании структурно-тектонического строения массива обнаруживаются неподвижные и кинематические плоскости контактов, поэтому следовало определить, почему тектонические напряжения вызывают подвижность одних контактов и не оказывают существенного влияния на другие контакты.

Если обратиться к разрушению образца породы под действием направленной нагрузки, оказывается, что оно подчиняется определенному закону, так как зона разрушения выстраивается под определенным углом к направлению приложенной нагрузки. То же самое происходит в массиве. Часть дизьюнктивов, ориентированных под определенным углом к тектоническому воздействию, приобретает подвижность. Как правило, этот угол встречи напряжения и дизьюнктива составляет $25\text{--}50^\circ$. Подвижка вызывает развитие трещин скола и трещин отрыва, а также раскрытие залеченных трещин. Так как тектоническое поле напряжений имеет переменный характер, участки массива

ва периодически претерпевают деформации сжатия и растяжения. В результате массив дезинтегрируется с образованием поверхности или зоны скольжения.

Анализ напряженного состояния массива производится на основе картирования кинематических трещин и нарушений. По результатам этого анализа можно определить ориентировку и оценить уровень главных напряжений в массиве, что является основой для создания модели деформирования прибортового массива.

При оценке уровня максимальной компоненты поля напряжений с применением кернового бурения на участках, где наблюдается выход керна в виде дисков, необходимо ориентировать скважину нормально к этой компоненте, тогда интенсивность дискования керна в скважине окажется максимальной для соответствующей области массива. В прибортом массиве карьера вектор действия максимальной компоненты поля напряжений почти всегда параллелен линии падения борта на соответствующем участке или отклоняется от него на незначительный угол. Поэтому для оценки максимальной компоненты скважину с отбором керна следует бурить нормально к линии падения борта. Отношение толщины диска к его диаметру характеризует величину максимального главного напряжения.

Тектоно-физический способ оценки напряжений базируется на основных принципах, разработанных О.И. Гущенко. Наличие зеркал скольжения в швах трещин позволяет выполнить оценку действующих напряжений в прибортом массиве с достаточной степенью достоверности для практических целей. При этом следует иметь в виду, что максимальная компонента тензора напряжений в момент

оформления уступа частично релаксируется. Ее новое значение может составить 60-90% максимального напряжения, которое вызвало перемещение по шву дизьюнктива. Расчет значения максимальной компоненты тензора напряжений требует информации о четырех параметрах:

- угол наклона борта на участке, α ;
- угол падения дизьюнктива, β ;
- угол трения по контакту, φ' ;
- сцепление контакту, c' .

Значение максимальной компоненты σ'_1 можно найти по формуле:

$$\sigma'_1 = \frac{c'}{\sin(\alpha - \beta) [\cos(\alpha - \beta) - \sin(\alpha - \beta) \tan \varphi']}.$$

С помощью этой зависимости можно оценить значение σ'_1 для условий, когда вектор максимальной компоненты тензора напряжений почти перпендикулярен линии простирации борта, то есть азимут штрихов на выделяемых кинематических плоскостях совпадает с линией падения борта, а угол падения кинематических плоскостей лежит в диапазоне $\pm 10^\circ$. Однако этот вектор может быть направлен к линии простирации борта под любым другим углом. В этом случае на возможность межблочного перемещения окажет влияние минимальная компонента тензора напряжений, которая с некоторой глубиной от поверхности обнажения не будет равна нулю. Вместо одного направления перемещения по соответствующим плоскостям дизьюнктиков проявится целый спектр направлений плоскостей перемещений.

Присутствие двух и более направлений штриховки на кинематических плоскостях требует дальнейшего анализа кинематических плоскостей с помощью стереограммы на базе сеток Вульфа или Шмидта. Максимальной анизотропии поля напряжений соот-

ветствует тот центр на стереограмме, который представляет наиболее высокие значения угла трения по контакту и сцепления. Выбор соответствующего кинематического центра позволяет перейти к следующему этапу оценки поля напряжений – определению максимальной и минимальной компонент тензора напряжений на стереограмме, соответствующих начальному периоду трансформации поля напряжений. Производится несколько вспомогательных построений, после чего наносится точка выхода максимального и минимального главных напряжений, которые ортогональны друг другу. После этого на стереограмме находят углы между σ'_1 и соответствующей плоскостью дисъюнктива, по которой произошло смещение контактирующих блоков. Теперь для каждой из выбранных кинематических плоскостей составляется уравнение равновесия к моменту перемещения:

$$0,5(\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin^2 \delta = (\sigma'_1 \sin^2 \delta + \sigma'_3 \cos^2 \delta) \operatorname{tg} \varphi' + c',$$

где δ – угол между σ'_1 и соответствующей кинематической плоскостью, град.

Решая систему уравнений для двух или трех кинематических плоскостей того же кинематического центра, определяются σ'_1 и σ'_3 .

Эти два способа оценки напряженного состояния массива, а именно, по интенсивности дискования керна и по анализу кинематических плоскостей, являются наиболее простыми в исполнении и достаточно достоверными для осуществления последующих инженерных расчетов устойчивости бортов карьеров.

В результате проведенных исследований установлено, что главной причиной оползневых процессов в скальных массивах является воздействие тектонического поля напряжений, под влиянием которого происходит дезинтеграция массива, сопровождающаяся перемещением породных блоков по швам существующих и вновь образовавшихся трещин и нарушений, снижением прочностных свойств массива, формированием в нем поверхности или зоны скольжения, релаксацией тектонических напряжений и переходом к гравитационной стадии деформирования. **ГИАБ**

Коротко об авторе

Яковлев А.В. – кандидат технических наук, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 16 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.С. Коваленко

