

ПРОБЛЕМЫ ОПОЛЗНЕЙ НА КАРЬЕРАХ

Б.Р. Ракишев, Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, Республика Казахстан

А.С. Ковров, Национальный горный университет, Украина

А. У. Кожантов, К. Сейтулы, Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, Республика Казахстан

Рассмотрена проблема нарушения геомеханической устойчивости бортов карьеров и возникновение оползневых явлений в массивах вскрышных пород. Проанализированы виды деформаций породного массива и выявлены наиболее значимые факторы нарушения устойчивости откосов уступов и бортов карьеров. Рассмотрены примеры оползней на крупнейших карьерах Казахстана, России, Украины, Германии, США.

Введение. При открытой разработке месторождений имеют место разнообразные деформации бортов карьеров и отвалов в виде оползней, обрушений и обвалов, осыпей и оплывин, просадок. Наиболее опасными и масштабными нарушениями карьерных откосов являются оползни, которые по объемам достигают от десятков тысяч до миллионов кубических метров вскрышных пород. Формы поверхности скольжения и их расположение в массиве зависят от физико-географических и геологических факторов, физико-механических свойств вмещающих горных пород, геометрических параметров откосов, технологии открытых горных работ и других факторов.

Управление откосами уступов карьера является важной составной частью экономики горного предприятия. Эффективность этого управления характеризуется обеспечением безопасного ведения горных работ и сокращение объемов вскрыши при сохранении устойчивости откосов уступов. При этом устраняются убытки, связанные с оползневыми явлениями, нарушением графика ведения горных работ, разрушением транспортных коммуникаций, потерей полезного ископаемого и простоями горно-транспортного оборудования [1].

Состояние вопроса, выделение нерешенной части проблемы. По имеющимся данным, на двух третях карьеров черной металлургии наблюдаются нарушения устойчивости откосов объемом более 1000 м^3 , причем эти процессы интенсифицируются с увеличением глубины карьеров. Так, если при глубине карьеров до 100 м лишь на половине из них зафиксированы деформации откосов, то с переходом на большие глубины доля карьеров с нарушениями устойчивости откосов возрастает до 80 %. Выполненный в ВИОГЕМ анализ показал, что 75 % деформаций возникают в песчано-глинистых отложениях и только 25 % приходится на откосы твердых (скальных) и полутвердых (полускальных) трещиноватых пород. Как видно из рис. 1 деформации откосов происходят в основном в виде оползней и обрушений.

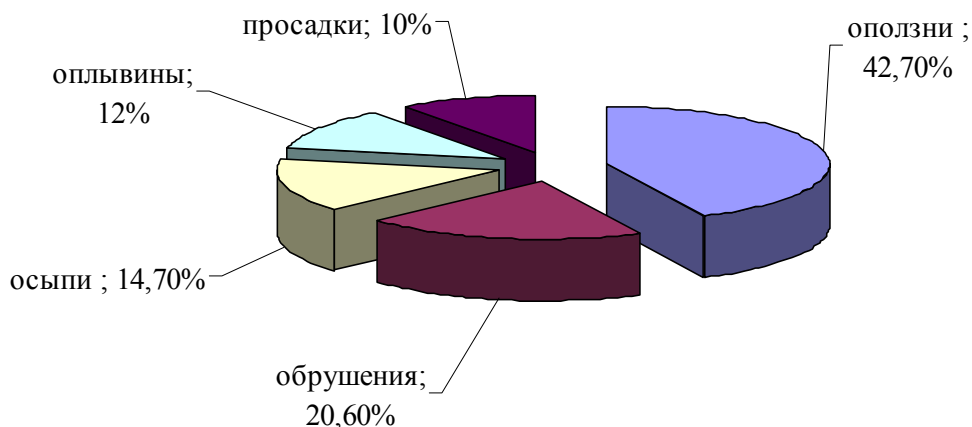


Рис. 1. Виды деформаций откосов на карьерах (по данным ВИОГЕМ)

Для карьеров агрохимического сырья доля оползней составляет 85 %, в то время как на остальные деформации приходится всего 15 %; примерно такое же соотношение характерно и для угольной промышленности. Это связано с распространением на карьерах этих отраслей комплексов преимущественно слабых и полускальных пород, в то время как на рудных карьерах до 80 % горной массы является скальной [2].

Формулировка целей. Учитывая актуальность проблемы управления долговременной устойчивостью откосов уступов и бортов карьеров целью работы является обзор оползней на крупнейших карьерах мира и анализ их причин.

Изложение основного материала исследования. Основными причинами нарушения устойчивости откосов на карьерах являются следующие:

– неблагоприятные структурно-литологические условия: тектонические нарушения, изменение угла падения слоев, наличие прослоев глины и других обводненных зон, падающих в сторону выработки;

– изменение физико-механических свойств пород: потеря прочности пород на контактах в результате изменения их влажности, уменьшение прочности пород во времени;

– отрицательное влияние подземных вод, оказывающих гидростатическое и гидродинамическое воздействие на массив горных пород;

– динамическое воздействие на массив горных пород горно-транспортного оборудования, массовых взрывов и землетрясений.

Возникновение и развитие деформационных процессов откосов и бортов карьеров снижает основные преимущества открытых горных работ, наносит значительный материальный ущерб горному предприятию, нарушает правильное и безопасное ведение горных работ, вызывает значительные потери полезного ископаемого массива [3].

Для каждого конкретного объекта открытых горных работ учет вышперечисленных факторов для прогноза оползнеопасных ситуаций является индивидуальным. Для комплексной геомеханической оценки состояния прибортового массива пород используются данные инженерно-геологических изысканий, результаты маркшейдерских измерений сдвижения пород, численное моделирование, лазерное сканирование бортов карьеров и т.д.

Ниже рассмотрены отдельные случаи возникновения оползней на крупнейших карьерах с анализом вызвавших их причин.

В Республике Казахстан добывается открытым способом основная часть цветных металлов: медь, свинец, цинк – выпускается большое количество редких и благородных металлов, быстрыми темпами развивается добыча железных и других руд. Деформации откосов уступов, бортов карьеров и отвалов в большей или меньшей мере отмечаются на многих карьерах. Причинами проявления осыпей, обрушений, оползней, просадок и оплывин являются несоответствие углов наклона карьерных откосов геологическим условиям или недостаточная изученность этих условий (структурно-тектонические особенности горного массива и его физико-механические свойства); отсутствие дренажа или его неэффективность; неправильное ведение горных работ (например, буровзрывных); неправильное представление о характере деформационного явления и его недооценка; применение неправильного метода расчета параметров и оценка его устойчивости.

Коунрадское месторождение расположено в Центральной части Казахстана в 17 км севернее озера Балхаш и представлено медно-молибденовым оруденением, приуроченным к штоку гранодиоритпорфиритов. Главные рудные минералы: халькопирит, молибденит, пирит, основные компоненты руд: медь, молибден, серебро. Проектные параметры карьера следующие: длина по поверхности 2000 м, ширина 1700 м, максимальная глубина 570м, высота уступа в предельном положении 20–30 м, ширина предохранительных берм 10–15м, углы наклона бортов в предельном положении 29–33°, углы откоса уступов с погашением 60°. На Коунрадском карьере в периоде 1974 по 2002 гг. зафиксировано более 50 деформаций отдельных уступов в виде обрушений. Неудовлетворительное состояние бортов карьера Коунрад обусловлено следующими основными причинами: влиянием трещиноватости на устойчивость уступов и бортов карьера; воздействием буровзрывных

работ на разрушение породного массива за пределами взрывааемых блоков; склонностью горных пород, разрушенных массовыми взрывами, к интенсивному выветриванию; длительным сроком стояния уступов и бортов в предельном контуре карьера.

Саякское меднорудное месторождение является сырьевой базой Балхашского горно-металлургического комбината. Оно расположено в центральном Казахстане в 150 км восточнее г. Балхаш и в 40 км севернее озера Балхаш. Размеры карьера «Саяк-1» в плане составляют 1300–780 м, а «Тастау» – 1000–4000 м. Оба карьера имеют два дна: в основной части глубина карьера «Саяк-1» составляет 255–265 м, а в южной части 145 м; соответственно глубина карьера «Тастау» в основной части составляет 150 м, а в юго-западной части 65 м. Углы наклона северного и южного бортов карьера «Саяк-1» приняты 30,5° и 32°, западного – 43° и восточного – 45°. Углы наклона откосов уступов изменяются от 60° до 75°. Углы наклона бортов карьера «Тастау» приняты в среднем 45°, а откосов уступов от 55° до 75°. Ширина транспортных берм карьеров равна 20 м, предохранительных берм 8–10 м. Высота рабочих уступов проекту принята 15 м. Отработка карьеров производится с параллельным подвиганием уступов с применением буровзрывных работ и погрузкой породы и руды экскаваторами ЭКГ-4,6 и ЭКГ-8 в автосамосвалы марки БелАЗ3548А.

Обследование поверхности откосов карьеров показало, что крупные нарушения их устойчивости (оползни, обрушения) здесь не имеют места. Центральная зона разломов, секущая восточный борт карьера Саяк-1 перпендикулярно, не представляет опасности для устойчивости всего борта в целом. Однако преобладание перемятых мелкоблочных пород на отдельных участках является причиной интенсивного выколаживания откосов.

Свинцово-цинковое месторождение Акжал, отрабатываемое открытым способом, сложено в основном известняками и песчаниками. Рудовмещающими на месторождении являются скальные породы, представленные коренными риодацитами и эффузивами, которые относятся к крепким и очень крепким породам, среднее значение предела прочности на сжатие в водонасыщенном состоянии составляет 400–1630 кгс/см. Для условий карьеров Акжалского месторождения при глубине, не превышающей 240 м, угол наклона бортов согласно нормам технологического проектирования принят 45°. Углы наклона откосов уступов на карьере приняты от 45° в верхней части до 65° – в нижней части. Ширина предохранительных берм составляет 8–12 м. На проектном контуре отстраиваются уступы высотой 30 м. Ширина транспортных берм принята 15,5–21 м в зависимости от объёма грузопотоков. В настоящее время все уступы карьера сложены сильно трещиноватыми породами, представляющим определенную опасность при ведении горных работ. Исследованиями установлено, что трещиноватость оказывает значительное влияние на устойчивость уступов, на выбор и обоснованные схемы заоткоски и технологии отработки месторождения [4].

Карьеры по добыче железной руды *Курской магнитной аномалии* (КМА) являются одними из крупнейших объектов открытой разработки месторождений минерального сырья в России.

На карьере *Михайловского ГОКа* (г. Железногорск, Курская область, Россия) характерны практически все виды нарушений устойчивости, встречающиеся на открытых разработках, причем для всех трех эксплуатируемых карьеров виды нарушений устойчивости бортов, характер их формирования и причины типичны. В уступах карьера, сложенных четвертичными породами, характерными видами нарушений устойчивости являются обрушения, осыпи (при заоткоске под углами 60–80°), промоины (эрозия за счет выветривания и поверхностных вод).

Обрушения достигают по фронту 8–20 м при глубине развития деформаций 2–4,5 м, при этом шаг обрушения 0,5...1,5 м. В результате обрушенные массы заполняют нижележащую площадку до 2/3 высоты уступа. Нижняя часть уступа выколаживается до 15–30°, а угол наклона откоса уступа снижается до 35–40°. Если уступ увлажняется подземными водами, что характерно для ложбин стока, то в таких местах обрушенные массы насыщаются водой,

приобретают текучую консистенцию и в результате формируются оплывины. Смещение переувлажненных масс приводит к обнажению откоса и дальнейшему развитию обрушений.

На *Михайловском карьере* повсеместно в период строительства и часто в период эксплуатации происходит вымывание апт-неокомских глин и отложение вымытого материала на нижней площадке уступа, на его откосах. Породная масса обычно медленно (при избыточном увлажнении в период дождей относительно интенсивно) смещается по откосам, образуя в пределах уступов локальные конуса выноса. Вынос породы из нижней части уступа обуславливает местные обрушения и оползни вышележащих пород. В итоге, при длительном стоянии формируются мощные оплывины, смещающиеся на нижележащие горизонты. Наличие крутой депрессионной воронки способствует развитию гидродинамического давления, направленного в сторону откоса, что при критических значениях гидравлического градиента вызывает вынос фильтрационным потоком мелких твердых частиц. Суффозионные воронки, особенно в песках неокома, достигают значительных (до 2,5 м) размеров.

На *Лебединском и Стойленском карьерах* КМА нарушения массива пород наблюдаются в виде оползневых деформаций, обрушений, суффозий и оплывин. Ввиду значительной обводненности песчано-глинистых отложений оползни обрушения со временем переходят в оплывины. Недостаточной осушенностью пород объясняется и широкое развитие суффозионных процессов в песках и песчаных глинах, что приводит в дальнейшем к постепенному обрушению вышележащих пород и периодическим оползневым смещениям.

Развитие деформаций массива горных пород в бортах карьеров, как и возникновение нарушений устойчивости, захватывает какой-то период времени. Любое нарушение устойчивости, даже обрушение, имеет «скрытую» стадию подготовки, в процессе которой происходит последовательное разрушение многочисленных структурных связей пород.

Выветривание пород приоткосных зон карьеров обуславливает развитие во времени осыпей откосов, сложенных преимущественно твердыми породами. На развитие осыпей оказывают влияние следующие факторы: угол наклона уступа, интенсивность трещиноватости и ориентировка трещин относительно поверхности уступа, способы заоткоски уступов, технология буровзрывных работ, климатические условия района, вещественный состав горных пород.

На *карьерах Никопольского марганцевого бассейна* (Украина) имеют место оползни вскрышных уступов, в которых породы смещались по контактам между глинистыми породами. Оползнями охватывались длительное время необновлявшиеся участки уступов с различной степенью обводненности. Так, на Богдановском карьере деформации уступов (высота 20 м, угол наклона 38–40°) происходили через 8–12 месяцев после их формирования. Очевидно, что, наряду со структурными особенностями массива, на устойчивость уступов оказывает влияние фактор времени.

Исследования длительной прочности глин при оценке устойчивости бортов буроугольных карьеров Украины, выполненные УкрНИИпроектом, позволили получить интересные данные благодаря использованию обратных расчетов. Установлено, что фактор длительной прочности в обеспечении устойчивости бортов *карьеро́в Днепровского буроугольного бассейна* является одним из определяющих. Так, для сложенных монтмориллонитовыми глинами уступов углы наклона откосов при времени стояния 2–3 месяцев и 10 лет соответственно составляют 38° и 20°.

Закономерности развития во времени деформаций уступов обеспечивают надежное производство вскрышных работ с использованием управляемого обрушения пород, геомеханические аспекты использования которого исследовались специалистами ВНИМИ и ИГТМ АН Украины. Наиболее детальные натурные исследования механизма обрушения выполнялись в 1966–1967 гг. ВНИМИ на *Роздольском серном месторождении* (Львовская область, Украина). Инструментальные наблюдения проводились по профильным линиям, заложеным в оползневой зоне северного борта Северного участка Роздольского карьера. Уступ, сложенный супесями и суглинками, оползал по контакту четвертичных отложений и

тортонских (палеогеновых) глин. Построенная по результатам маркшейдерских наблюдений поверхность скольжения в верхней части является криволинейной, в нижней – плоской и совпадает со слабым контактом. Полученные значения максимальных скоростей смещения реперов в пределах подрабатываемого массива (от верхней бровки к нижней) существенно изменялись – от 0,20 до 0,95 м/сут, что, очевидно, связано с различной величиной действующих напряжений по выделенным в оползневом теле зонам.

Изучение возможности применения управляемого обрушения на карьерах Предкарпатья показало, что при высоте сложенного супесями и суглинками уступа $H_y = 30$ м предшествующая обрушению скорость смещения заложенных на верхней площадке уступа реперов составляет 0,15–0,17 м/сут, ширина призмы обрушения (0,28–0,32) H_y . Объем остаточного развала, при котором начинается новый цикл обрушения, равен 0,5–0,6 от первоначального объема оползших пород.

Четкая взаимосвязь между геометрическими параметрами бортов карьеров и фактором времени вскрыта также и на месторождениях, где во вскрышной толще преобладают литифицированные песчано-глинистые породы (аргиллиты, алевролиты, песчаники). В результате анализа оползневых деформаций на карьере «Нчанга» (Замбия) предложено оценивать прочность пород с помощью показателя, характеризующего прочность на сдвиг за единицу времени. Нарушения устойчивости сложенных выветрелыми алевролитами и сланцами бортов карьера «Блэк Рок» (Австралия) объясняются возникновением порового давления в глинистом материале – заполнителе трещин, а также в глиноподобных выветрелых массах.

Карьеры «Фортуна» и «Фрехен» Рейнского бурогоугольного бассейна (Германия) превышают в глубину 200 м и в перспективе достигнут около 300 м. На карьерах бассейна оползни бортов, в песчано-глинистых породах которых встречаются разрывные нарушения, происходят как по природным поверхностям ослабления, так и при горизонтальном положении части поверхностей скольжения. В 1958 г. произошел оползень восточного борта карьера «Цукунфт-Вест», захвативший все уступы. Отделившийся от борта оползневой клин имел высоту около 90 м и содержал девять породных и угольных слоев. Сбросов рядом с нарушенным участком борта не было, подземные воды, как показали проведенные исследования, в данном случае не оказывали решающего влияния на образование оползня. Возникновение этого и ряда других оползней бортов на карьерах Германии («Фишбах», «Инден», «Фрехен») связано с проявлением фактора длительной прочности глинистых пород и их контактов с другими литологическими разностями.

Учет реологических процессов при оценке длительной устойчивости специалисты Германии рекомендуют осуществлять эмпирическим путем на основе инструментальных наблюдений в условиях конкретных объектов. Однако остается открытым вопрос об определении параметров откосов (по допустимым деформациям) в случаях изменения горно-геологических условий (с ростом глубины или при освоении новых месторождений).

На бурогоугольных карьерах Германии наиболее четко реологические процессы проявляются в бортовых массивах Среднегерманских карьеров, вскрышная толща которых представлена связными породами (глинами, пылеватыми суглинками). Особенно часто оползни приурочены к зонам гляциальных нарушений и залегания ленточных глин. Оползни, связанные со снижением прочности глинистых пород во времени, возникли на карьерах «Шлабендорф», «Кляйнлейтши Вельцов», «Мульденштейн».

Влияние фактора времени на устойчивость откосов бортов в глинистых породах установлено также на угольных карьерах Болгарии.

Применительно к тектонически нарушенным массивам скальных пород представляют интерес результаты многолетних исследований механизма процесса деформирования откосов в карьере «Чинхуа» (Китай). Рудное тело, сложенное изверженными ультраосновными породами, прорывает толщи метаморфических пород – мигматитов, мраморов, сланцев. Напластования пород параллельны продольной оси карьера. Разбитый на блоки сбросами и тектоническими трещинами сжатия массив деформируется в результате

скольжения и опрокидывания отделившихся блоков. Реологические процессы в разрабатываемом массиве связываются с наличием поверхностей ослабления различных порядков. Реологическое поведение скального массива характеризуется в данном случае как «структурная ползучесть» [2].

Деформационные процессы, имеющие место в прибортовых массивах сложенных скальными породами, приводят к масштабным оползням, ликвидация последствий которых связана с колоссальными затратами.

Так, 11 апреля 2013 г. к юго-западу от Солт-Лейк-Сити (штат Юта, США) на *меднорудном карьере Бингем-Каньон (Kennecott Utah Copper Bingham Canyon Mine)* произошел мощный оползень. Карьер принадлежит Rio Tinto Group, международной горно-геологической компании с штаб-квартирой в Великобритании (рис. 2).



Рис. 2. Оползень в карьере Бингем-Каньон, штат Юта, США, 11 апреля 2013 года.
(Фото: AP Photo/The Deseret News, Ravell Call) [5]

Бингем Каньон – самый глубокий в мире среди горнодобывающих карьеров. Его размеры достигают около километра в глубину, около 4 км в диаметре. Добыча медной руды здесь началась в 1863 году. Для транспортировки горного сырья руды сейчас осуществлялась 64 огромными карьерными автосамосвалами грузоподъемностью 231 тонн. О пострадавших во время оползня не сообщалось, несмотря на то, что на карьере трудились около 1400 человек. Горняки были готовы к неблагоприятному развитию событий, так как информация о сдвигении массива пород на несколько дюймов в сутки поступала в течение нескольких месяцев. Причины оползня связаны с тектоническими нарушениями, массовыми взрывами и динамическими нагрузками от горнотранспортного оборудования. Принятые меры по укреплению бортов карьера результатов не дали. В результате самый большой в мире карьер Бингем-Каньон был закрыт на неопределенный срок вследствие гигантского оползня, который засыпал технику и оборудование, а также обрушил часть комплекса зданий производственного назначения. Котировки акций Rio Tinto снизились на 0,5% на фоне сообщения компании о том, что она приостанавливает работы в Бингем-Каньоне, предположительно, на несколько месяцев [5].

Выводы. Анализ исследований инженерно-геологических явлений на карьерах позволяет сделать следующие выводы:

- 95 % всех деформаций составляют оползни, переходящие в оплывины;
- время существования уступов в устойчивом состоянии в зависимости от инженерно- и гидрогеологических условий и их параметров различно;
- деформациям подвержены отдельные уступы или несколько уступов, но не борт, сложенный песчано-глинистыми отложениями в целом;
- существует взаимосвязь между физико-механическими свойствами пород, геометрическими параметрами уступа и временем его существования в устойчивом состоянии [2].

Список литературы

1. Астафьев Ю. П. Управление состоянием массива горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых / Астафьев Ю. П., Попов Р. В., Николашин Ю. М. – Киев; Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 272 с.
2. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ / А.М. Гальперин; Учебник для вузов. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2003. – 473 с.
3. Голуб В. В. Обоснование метода расчета устойчивости бортов карьеров, формируемых в массиве горных пород сложной структуры: Дис... канд. техн. наук: 05.15.09 / НАН Украины; Институт проблем природопользования и экологии. – Д., 2004. – 230 с. – Библиогр.: с. 212–227.
4. Нуриева М.Б., Касымканова Х.М. Устойчивость бортов рудных карьеров и отвалов. Алматы: КазНТУ, 2006, 131 с.
5. <http://mirfactov.com/v-ssha-na-mednom-karere-proizoshel-gigantskiy-opolzen/>– Сайт интересных фактов.

ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ОСВОЄННЯ МОТРОНІВСЬКО-АННІВСЬКОЇ ДІЛЯНКИ МАЛИШЕВСЬКОГО РОДОВИЩА

*А.М. Гайдін, ТОВ «Інститут ГІРХІМПРОМ», Україна
Б.Ю. Собко, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
О.М. Лазніков, Вільногірський ГЗК, м. Вільногірськ, Україна*

Розглянуті природні умови Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського титан-цирконієвого родовища, які відрізняються від освоєних тим, що рудний поклад залягає нижче рівня підземних вод. Це викликає особливості змін довкілля під впливом експлуатації родовища. Даються рекомендації щодо зменшення негативного впливу гірничих робіт на довкілля.

Вступ. Дотепер Вільногірський гірничо-збагачувальним комбінатом (ВГЗК) розробляється частина Малишевського титан-цирконієвого родовища, розташована вище рівня ґрунтових вод. З початку 2014 року розпочаті розкривні роботи на Мотронівсько-Аннівській ділянці. Вона розташована в Пятихатському і Верхньодніпровському районах Дніпропетровської області на відстані 6-8 км від кар'єрів діючого ВГЗК. Проектом передбачена система і технологія гірничих робіт, аналогічна діючим кар'єрам.

Розкриття покладів ведуть крокуючими екскаваторами. Видобуту руду передбачено доставляти автотранспортом до вузла «розпульовки», де розмивати гідромонітором. Гідросуміш перекачують на збагачувальну фабрику, де спочатку з руди вилучають глинисті