

О ПРОГНОЗЕ ОСЕДАНИЙ ГРУНТОВ В БОРТАХ КАРЬЕРА

Владимир Федорович Юшкин

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории горной геофизики, тел. (383)205-30-30, доп. 313, e-mail: L14@ngs.ru

Дан анализ развития механо-эрозионных процессов в краевой части четвертичных отложений при формировании смещений оползнеопасного участка борта карьера под влиянием природно-климатических факторов. Толща сезонного промерзания породного массива составляет до 2.5 м, что влияет на формирование трещин эрозионно-опасного участка. В результате сезонных среднесуточных перепадов температуры и накопления грунтовых вод существенно активизируется рост трещин в грунтах и породах вдоль кромки бортов карьера. Такие разрушения инициируют «циркообразные» отслоения и оседания грунтов в виде оползней, развивающихся с определенной скоростью по обнажениям откосов, что позволяет прогнозировать краткосрочные оползневые явления. Прогноз состояния техногенных грунтовых массивов основан на применении маркшейдерско-геодезических и сейсмометрических методов контроля геомеханико-геодинамических процессов.

Ключевые слова: четвертичные отложения, борт карьера, трещиноватость пород, эрозионный процесс, формирование трещин, прогноз оседания грунтов, геомониторинг.

ON FORECASTING SOIL SUBSIDENCE OF SOIL IN THE SIDES OF THE QUARRY

Vladimir F. Yushkin

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 54, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, D. Sc., Leading Researcher, Mining Geophysics Laboratory, phone: (383)205-30-30, extension 313, e-mail: L14@ngs.ru

In the work, analysis of development of mechanical erosion processes at edge pare of quarter deposits during forming of displacements of landslide hazard areas of open-pit sides under impact of environmental and climate factors is given. Thickness of season freezing of rock solid is up to 2.5m, it influences on forming of crack at landslide hazard area. As a result of day temperature changing and collection of soil water, crack growth at soils and rock along edge of open-pit side is activated significantly. Such destructions initiate cirque cleavage and soil subsidence in form of landslides developing with special rate on slope outcrops. Geomechanical monitoring of destructions in solid allows to predict reach of strain tolerance at different stages of deposit mining.

Key words: quaternary deposit, quarry side, rock fracturing, erosion process, crack formation, land subsidence, geomechanical monitoring.

Введение

Проблема динамики и механизмов разрушения бортов карьеров имеет фундаментальное значение в изучении взаимодействия горнотехнических систем в условиях месторождений твердых полезных ископаемых, разрабатываемых от-

крытым способом, что позволяет оценить тенденции формирования устойчивых уступов и откосов, как составных частей природно-технических систем. Развитие таких систем определяется как деформационно-сейсмическими процессами в бортах, так и интенсификацией технологий добычи сырья с увеличением глубин отработки полезных ископаемых, особенно в центральной части разрабатываемых геосистем. При этом в многолетнем смысле можно говорить о сбалансированности геосистемы по массе и энергии. Сказанное предполагает мультидисциплинарный характер исследования разрушений бортов карьеров.

Представленная проблема актуальна для оценки развития эрозионных процессов в краевых зонах бортов и прибортовых участков карьеров, где в период эксплуатации месторождений под влиянием природно-климатических факторов циклически происходит сезонный переход промерзающих слоев грунтов и пород из субэврального в субквальное состояние и обратно в результате трансформации их свойств как при частичном промерзании, так и при полном оттаивании с проникновением атмосферных осадков и дренажем грунтовых вод.

В настоящее время накапливаются данные, свидетельствующие о влиянии природно-климатических факторов на развитие разрушений горных пород, образование и расширение подземных полостей, переформирование бортов и откосов в карьерах с учетом способов разработки месторождений твердых полезных ископаемых [1–4]. Системные наблюдения и накопление фактических данных о характере и параметрах развития эрозионных процессов в четвертичных отложениях карьеров формируют представления о породном массиве как о природно-технической геосистеме со специфическим комплексом прямых и обратных связей.

Характеристика района и объекта исследований

Целью работы является изучение пространственно-временной изменчивости процессов эрозии, оценка влияющих факторов и разработка подходов к прогнозу отступления бортов карьеров в результате природно-климатических воздействий.

В комплекс исследований эрозии бортов карьеров входит: изучение структурно-геологического строения и гидрологии слагающих пород; наблюдения динамики и механизмов разрушений участков бортов; сбор гидрометеорологических данных, включая суточные перепады температуры; анализ полученной информации; прогнозирование краткосрочных оползневых явлений.

Горные отводы карьеров юга Западной Сибири располагаются на геологических участках, сложенных четвертичными отложениями. Для рассмотрения выбран карьер на месторождении угля, представленном Караканской синклиналью [5], обособленной от смежных структур Восточно-Караканского и Соколовского месторождений Воробьевским и Виноградовским взбросами. В границах карьера вскрышные породы представлены в основном суглинками и глинами и коренными породами пермского возраста [5] с преобладанием песчаников и алевролитов, близких по прочностным показателям, незначительно различающихся гранулометрическим составом, трещиноватостью, наличием различных включений.

Породы выветривания характеризуются изменчивостью свойств, низкими показателями прочности по сравнению с невыветрелыми разностями. Глубина выветривания изменяется от 20 до 70 м. Породы, не затронутые выветриванием, залегают на глубинах более 20–70 м, для них характерна повышенная прочность, пониженная трещиноватость. Тонкие прослои крепких пород – сидеритизированные разности песчаников на известковом и кремнисто-известковом цементах, а также плотные гравелиты встречаются по всему полю карьера и в междупластиях.

В пределах поля карьера выделяется два типа вод [5]: грунтовые воды четвертичных отложений и подземные воды коренных пород. Глинистый состав четвертичных отложений не способствует формированию в них крупных запасов подземных вод, однако наличие линз и прослоев глин, залегающих среди суглинков, приводит к образованию слабоводообильных безнапорных водоносных горизонтов типа верховодок, носящих преимущественно сезонный характер, питающихся, в основном, за счет атмосферных осадков и талых вод.

Постоянные водоносные горизонты приурочены к аллювиальным отложениям долин рек и крупных логов. Водообильность пород невысокая, характеризуется коэффициентом фильтрации до 1.75 м/сут. Подземные воды приурочены к песчаникам, особенно в верхних частях карьера, где наблюдается повышенная трещиноватость. Гидроизогипсы подземных вод почти полностью отвечают формам рельефа дневной поверхности. Глубины залегания уровней на водоразделах и их склонах колеблются в пределах 15–35 м. В границах карьера уровни подземных вод изменяются от 1 м до 30 м. Толща, вмещающая пласты, характеризуется различной водообильностью, изменяющейся в зависимости от геоморфологического положения точки опробования и трещиноватости пород.

Причины формирования эрозионных трещин в бортах карьера

Для анализа был выбран оползнеопасный участок одного из бортов карьера, эрозионные оседания грунтов в откосах которого формируются в верхних слоях четвертичных отложений [6]. Отслоения, площадь формирования трещин и границы оползня определены по внешним признакам эрозионного разрушения грунтов (рис. 1). Как видно на рисунке, площадь «циркообразных» оседаний кромки борта с учетом показанного масштаба составляет порядка 500 м².

Твердой составляющей эрозионных оползней являются суглинки и песчано-глинистые грунты верхних горизонтов борта карьера. Оползневые потоки сформировались на трех участках эрозионно-опасного надоползневого уступа общей протяженностью по фронту вдоль борта ~300 м по прямой, образуя в плане по кромке борта «цирки» радиусом от 10 до 50 м, в которых заложена тенденция постепенного развития. Протяженность самого крупного оползня превышает 200 м, его ширина достигает 100 м. Прослеживается хорошо выраженная в рельефе борта вертикальная стенка срыва оползня протяженностью по периметру «цирка» ~100 м, высотой до 10 м. Крутизна стенки на всем протяжении близка к 90°.



Рис. 1. Вид оползней борта карьера на карте Викимапии

Как показано в [3, 4], эрозионные разрушения в бортах карьера проявляются при морозобойном растрескивании грунтов и пород в краевой части массива, когда при промерзании сухих грунтов происходит их объемное уменьшение, сопровождающееся образованием трещин и щелей, ориентированных по глубине вертикально или под углами напластований (рис. 2). Пучение влагонасыщенных грунтов и разрушение пород при сезонном замерзании воды, скапливающейся в трещинах и порах вблизи поверхности обнажений, приводит к увеличению объема грунта до 10%, инициируя необратимые деформации в массиве.

Глубины развития трещин-щелей могут достигать по протяженности нескольких метров, при этом возможен их переход в подстилающие породы (см. рис. 2) [7]. Такой механизм проявляется при отсутствии или слабом боковом отпоре в краевой части массива, что имеет место в откосах и бортах карьеров с увеличением глубин их отработки. Как показал модельный эксперимент [7], рост трещин при сжатии блоков (см. рис. 2, б, в) с усилием, равным пределу прочности материала блока на изгиб, происходит постепенно в течение 100 сут., при этом средняя скорость развития трещин может составлять до 30 мм/сут.

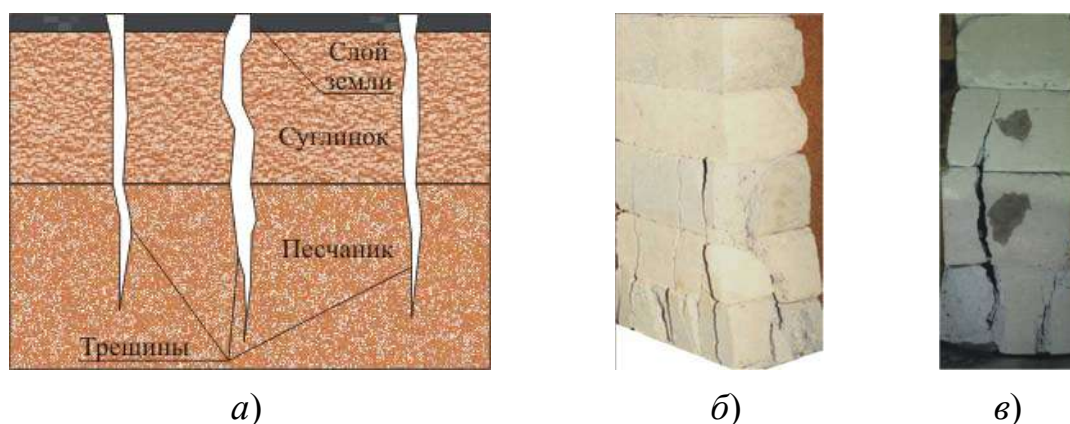


Рис. 2. Схема развития трещин по глубине грунтов и пород при промерзании (а) и в блоках при сжатии «одномерной» модели блочной среды (б, в)

Прогноз развития эрозии в бортах карьера

Прогноз устойчивости бортов карьера состоит в определении сроков достижения допустимых деформаций на различных этапах освоения месторождения и включает: установление геологических особенностей, определение гидрогеологических условий, прогноз геомеханического состояния. Целью прогноза является поддержание оптимальных параметров бортов на основе комплексных систематических наблюдений за их состоянием. Прогноз состояния грунтов и пород в бортах основан на применении инженерно-геологических, гидрологических и маркшейдерских методов контроля эрозионных процессов в массиве. Так за период наблюдений с апреля по ноябрь характерные смещения надолгозлевого уступа на разных участках борта составили от 1.5 до 3 м, при этом эрозионное формирование трещин оседания развивалось по периметру кромки борта.

По результатам измерений геодезическими методами [1, 3, 4] за полугодовой период наблюдений в пределах верхних уступов борта разреза, сложенных грунтами и песчаниками, установлено, что в приповерхностных слоях грунтов скорость эрозии, связанная с расхождением берегов трещин, ориентированных вдоль борта, снижается с удалением от бортовых откосов и повышается на поверхности уступов при увеличении глубин отработки месторождения (см. таблицу).

Параметры расхождений берегов трещин в зависимости от местоположения относительно верхней кромки борта угольного разреза

| Местоположение трещин по борту разреза | Средняя скорость расхождения берегов трещин, мм/сут. |
|---|--|
| Трещины в грунтах на удалении от кромки борта ~70 м | от 1 до 3 |
| Трещины в песчаниках четвертого от поверхности уступа | от 25 до 30 |
| Оседание уступа, сложенного желто-бурыми суглинками | от 16 до 18 |

Примечание. Оседание оползней за период наблюдений носит постепенный характер.

При формировании оползня отмечается активизация эрозии при выпадении осадков, сопровождающаяся, в основном, с некоторым повышением скорости расхождения берегов трещин и увеличением их протяженности вдоль кромки борта по цирку оседания. Расхождение берегов трещин с неизбежностью приводит к снижению сил сцепления по глубине массива и, как следствие, отслоению краевой части уступа в направлении отсутствия бокового отпора.

Заключение

Анализ развития механо-эрозионных процессов в краевой части четвертичных отложений карьера подтвердил влияние природно-климатических факторов на формирование смещений оползнеопасного участка борта по толще сезонного промерзания породного массива. В результате накопления грунтовых вод активизируется рост трещин в грунтах вдоль кромки бортов карьера. Такие разрушения инициируют «циркообразные» отслоения и оседания грунтов в виде оползней, развивающихся с определенной скоростью по обнажениям откосов, что позволяет прогнозировать кратко- и среднесрочные оползневые явления. Определенные экспериментально значения скорости деформирования грунтов в краевой части бортов при отсутствии бокового отпора можно использовать в практике ведения горных работ в карьерах. Прогноз состояния техногенных грунтовых массивов основан на применении маркшейдерско-геодезических и сейсмометрических методов контроля геомеханико-геодинамических процессов в бортах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Опарин В. Н., Середович В. А., Юшкин В. Ф., Прокопьева С. А., Иванов А. В. Формирование объемной цифровой модели поверхности борта карьера методом лазерного сканирования // ФТПРПИ. – 2007. – № 5.
2. Юшкин В. Ф. К проблеме построения 3D моделей структурного мониторинга блочных геосред / Тр. Всеросс. конф. «Проблемы развития горных наук и горнодобывающей промышленности» (3-6 октября 2016 г.). – Новосибирск: Изд-во ИГД СО РАН, 2016.
3. Юшкин В. Ф. О возможном механизме смещений грунтов борта карьера // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2.
4. Юшкин В. Ф. Деформационный мониторинг оседаний грунтов в бортах карьера // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 5. – С. 251–256.
5. Геологическая характеристика Караканского месторождения. [Электронное издание]. – 2019. Режим доступа: <http://student.zoomru.ru/analiz/analiz-sostoyaniya-i-jeffektivnosti-vneoborotnyh/106288.851716.s5.html>.
6. Карта карьеров на Караканском месторождении. [Электронное издание]. – 2019. Режим доступа: <http://www.mining-portal.ru/companies/ktk/vinogradovskiy/>.
7. Юшкин В. Ф., Опарин В. Н., Жигалкин В. М., Симонов Б. Ф., Аршавский В. В., Тапсиев А. П. Особенности разрушения одномерной модели блочных сред при длительном одноосном нагружении // ФТПРПИ. – 2002. – № 4.

© В. Ф. Юшкин, 2019