

Об изменении прочностных свойств четвертичных отложений в бортах карьера под влиянием природно-климатических факторов

Д. Е. Рублев^{1}*

¹Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация
*e-mail: denmiir@211.ru

Аннотация. Рассматриваются особенности изменения свойств четвертичных отложений в бортах карьера под воздействием климатических факторов при выпадении дождей и просыхании грунта в результате дренажа и испарения влаги. Методами сейсмодиформационного мониторинга по записям сейсмосигналов и метрических измерений смещений реперов на створах краевой части борта в зоне разлома определены пределы изменения годографов и скорости смещений грунта при его увлажнении и просыхании. Разброс годографов в пределах от 15 до 25% является существенным для развития эрозии и требует контроля для предотвращения аварийных ситуаций. Данные результаты свидетельствуют об естественной самоорганизации разрушения пород краевой части борта карьера под влиянием сезонных природно-климатических факторов за счет изменения прочности приповерхностных слоев грунта.

Ключевые слова: борт карьера, механо-эрозионные процессы в грунтах, геомониторинг

On the change in the strength properties of quaternary deposits in the sides of the quarry under the influence of natural and climatic factors

D. E. Rublev^{1}*

¹Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk,
Russian Federation
*e-mail: denmiir@211.ru

Abstract. The features of changing the properties of quaternary deposits in the sides of the quarry under the influence of climatic factors during rainfall and drying of the soil as a result of drainage and evaporation of moisture are considered. Using the methods of seismodeformation monitoring based on the records of seismic signals and metric measurements of the displacement of the reference points on the edges of the side in the fault zone, the limits of the change in the hodographs and the rate of displacement of the soil during its moistening and drying are determined. The spread of hodographs in the range from 15 to 25% is essential for the development of erosion and requires control to prevent emergencies. These results indicate the natural self-organization of the destruction of rocks of the marginal part of the side of the quarry under the influence of seasonal natural and climatic factors due to changes in the strength of the near-surface layers of the soil.

Keywords: quarry wall, mechanical erosion, geomonitoring

Введение

Изменение свойств четвертичных отложений на юге Западной Сибири [1] под воздействием сезонных природно-климатических факторов естественным образом влияет на развитие механо-эрозионных процессов и образование рас-

слоений в грунтах и породах бортов карьеров и угольных разрезов. Накопление осадков, дренаж подземных, дождевых и талых вод, изменение температуры окружающей среды приводят к эрозионным переформированиям структуры **разрабатываемых массивов [2–4] в результате** наличия в последних неоднородностей различных размеров, **образования дефектов и развития на их основе систем протяженных по площади и глубине древовидных трещин, наиболее существенно формирующихся** в откосах краевой части бортов и уступов.

Методы и материалы

При увлажнении четвертичных отложений в откосах бортов наблюдаются «циркообразные» смещения грунтовых масс, развивающиеся с определенной скоростью, что связано с изменениями **упруго-прочностных параметров и сил сцепления грунтов в результате дренажа дождевых и талых вод**. Мониторинг таких процессов реализуется методами неразрушающего контроля с дневной поверхности с помощью сейсмодеформационных измерений в бортах карьеров по аналогии с [1], что позволяет контролировать устойчивость уступов и откосов, прогнозировать формирование эрозионно-опасных участков в бортах.

Изменение прочностных параметров верхних слоев грунта при увлажнении можно контролировать сейсморазведочными методами [3, 5, 6] с помощью определения динамического модуля Юнга E_d и коэффициента Пуассона μ_d , значения которых зависят от скорости распространения продольных v_p и поперечных v_s волн, вычисленных на основе построения годографов по записям исходных сигналов распространения механических колебаний в грунтах от ударов бойком [5].

Важными информативными параметрами образования механо-эрозионных оседаний грунта, характеризующими их динамику, в том числе на этапе прогрессирующе опасной оползневой активизации «овражного» типа, являются значения величин векторов смещения грунта и скорости их смещений.

Для определения **скорости продольных и поперечных волн** на разломе верхнего горизонта карьера, сложенного осадочными грунтами (глины и суглинки) были оборудованы два сейсморазведочных створа длиной ~60 м каждый, ориентированные перпендикулярно кромке борта (рис. 1). Сигналы механических колебаний были получены возбуждением колебаний в грунтах вертикальными ударами бойка с энергией 420 и 160 Дж. Прием сигналов осуществлялся с помощью геофонов GS20-DX вертикальной ориентации. Деформирование борта определялось с использованием метрических измерений по реперам.

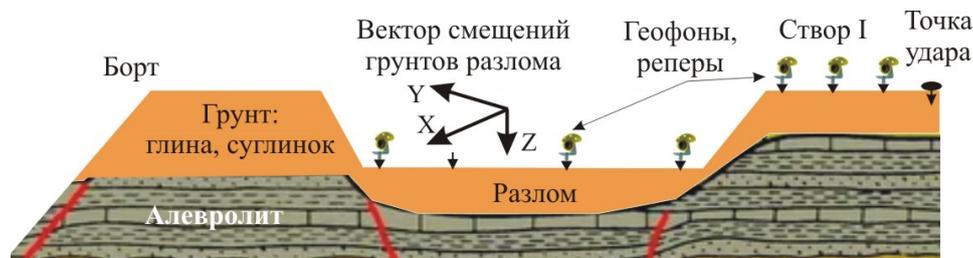


Рис. 1. Схема расстановки геофонов сейсмостанции и реперов тахеометра по сечению борта в зоне разлома. В центре показаны векторы смещений верхнего слоя грунта по разлому в направлении краевой части борта

Результаты

По данным метеостанции г. Киселевска [3] (Кемеровская обл.; широта 54.03, долгота 86.65, высота над уровнем моря 297 м) осадки по совокупности таяния снежного покрова и дождей за период с апреля по октябрь 2021 года изменялись в карьере в соответствии с графиком, как показано на рис. 2, при этом общее количество дождевых осадков за указанный период составило ~326 мм. Фактически выпадение осадков непосредственно на территории разреза может отличаться от сезонного разброса за соответствующий период наблюдений.

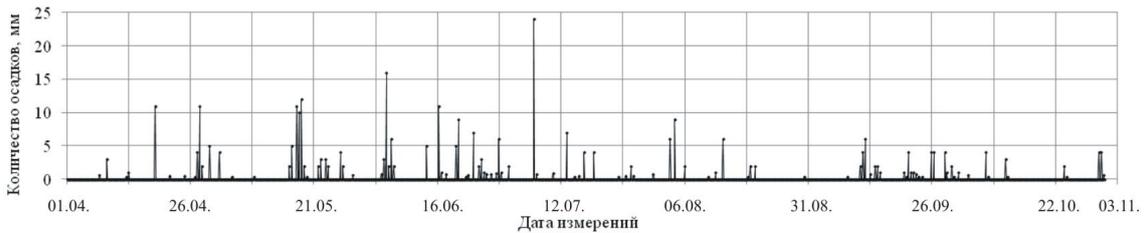


Рис. 2. Выпадение дождей с 01.04. по 01.10.2021 г. по данным метеостанции г. Киселевска (замеры через 3 часа). Максимум осадков (~24 мм) зафиксирован 06.07

Графики годографов, полученные при обработке сейсмосигналов, зарегистрированных 1, 7, 22 июля, 4, 26 августа и 26 октября, приведены на рис. 3. Расстояние по створу измерений I составило 44 м, по створу II – 56 м. Годографы характеризуют изменение свойств грунтов в приповерхностных слоях массива в результате чередования увлажнений дождевыми осадками и просыхания при испарении и дренаже влаги за рассматриваемый период метеонаблюдений (рис. 3), что отражается на развитии трещин в краевой части борта.

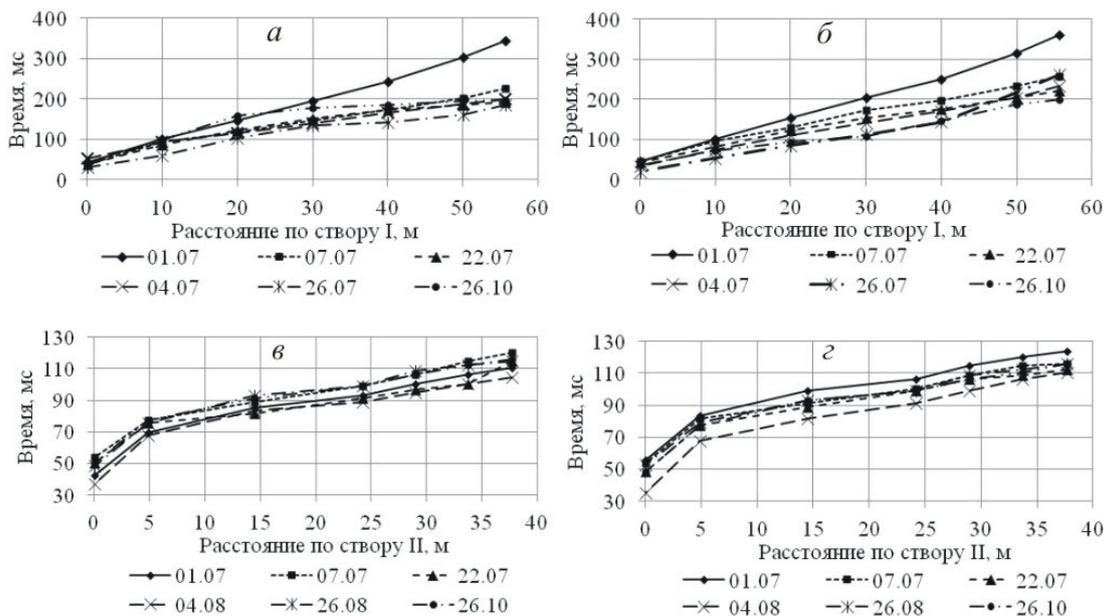


Рис. 3. Графики изменения годографов по створам измерений I (а) и II (б) при энергии удара 420 Дж и створам I (в) и II (г) при энергии удара 160 Дж

По данным метрических измерений по реперам средние смещения, связанные с ростом расхождения берегов трещин за период с начала июля по конец августа 2021 года составили в среднем по створу I – 31.4 мм, по створу II – 36 мм. Практически средняя скорость смещений реперов по створу I за указанный период составила в среднем 3.24 мм/сут., минимальная – 2.61 мм/сут., максимальная – 3.69 мм/сут.; по створу II – соответственно 3.6, 3.25 и 3.94 мм/сут.

Обсуждение

Показанные на рис. 3 годографы отражают изменение геомеханических свойств грунтов в приповерхностных слоях массива в результате чередования периодов увлажнения их при выпадении дождей и просыхания вследствие дренажа и испарения влаги при теплой погоде, что отражается на состоянии прочностных параметров [5] верхних слоев массива в краевой части борта. Отмечаются изменения годографов в сторону увеличения их числовых значений при просыхании грунтов, когда происходит замедление распространения колебаний в приповерхностных слоях в результате образования микротрещин. В периоды дождей наблюдается обратный процесс, когда грунт, увлажняясь, изменяет свои свойства в результате частичного «схлопывания» наблюдаемых на поверхности микротрещин. Разброс годографов при увлажнении-просыхании грунтов в пределах от 15 до 25% является существенным при развитии эрозии и требует постоянного контроля для предотвращения аварийных ситуаций.

По результатам многократных визуальных осмотров образование и частичное схлопывание трещин активно проявляется лишь в краевой части борта и практически отсутствует на значительном удалении от его кромки. Факт формирования трещин вдоль кромки борта объясняется отсутствием бокового отпора, когда слои грунтов, расширяясь при увлажнении, смещаются в сторону свободного пространства, изменяя свои свойства по глубине массива, что и отражается на изменении годографов регистрируемых колебаний.

Установлено, что приращения смещений зависят от профиля местности, местоположения створа на кромке борта, геологических условий, высоты уступа, глубины карьера. При этом наблюдается неравномерная цикличность смещений грунта вдоль створов реперов. Это объясняется образованием разнородных трещин в результате насыщения грунта влагой в периоды дождей, последующего дренажа и просыхания, что согласуется при сопоставлении с данными метеорологических наблюдений. Особенностью трещин, образующихся в краевой зоне борта при отсутствии бокового отпора, является то, что при повторных насыщениях грунта влагой трещины частично «схлопываются».

Заключение

При организации мониторинга реализовано и установлено следующее:

- выбраны и оборудованы геофонами и деформометрическими реперами два смежных измерительных створа в зоне протяженного эрозионно-разломного отслоения грабенного типа, простирающегося вдоль кромки борта карьера;

- осуществлен сбор, накопление и обобщение натурной информации о развитии деформационно-волновых процессов и изменении механических свойств грунтов, деформации грунтовых отложений при отсутствии бокового отпора в краевой части борта под влиянием природно-климатических факторов.

Благодарности

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00051, а также в рамках проекта НИР (номер государственной регистрации 121062200075-4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юшкин В. Ф. О прогнозе оседаний грунтов в бортах карьера / Сб. материалов XV Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019». – Новосибирск: СГУГиГ, 2019. – Т. 2, № 5. – С. 132-137. [Электронное издание]. – 2019. Режим доступа: <http://geosib.sgugit.ru/wp-content/uploads/2019/sborniki/T2-5.pdf>
2. Геологическое строение и горно-геологическая характеристика угольного месторождения (Кузбасс). [Электронное издание]. – 2012. Режим доступа: <http://www.allbest.ru/> (https://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65635b2ad68b5c53b89521306d36_0.html).
3. Архив погоды, город Киселевск, Кемеровская обл. [Электронное издание]. – 2021. Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru>
4. Юшкин В. Ф. Об изменении упругих параметров грунтов в бортах угольных разрезов под влиянием природно-климатических факторов / Сб. материалов XVI Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2020». — Новосибирск: СГУГиГ, 2020. — Т. 2. — С. 234-238. [Электронное издание]. — 2020. Режим доступа: <http://geosib.sgugit.ru/wp-content/uploads/2020/sborniki/tom2/234-238.pdf>
5. Геофизические методы исследования земной коры. [Электронное издание]. – 1997. Режим доступа: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1161636&uri=index.html>
6. Юшкин В. Ф. Особенности распространения сейсмической волны взрыва по склону борта угольного разреза / Сб. трудов «Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук». – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2019. – Т. 6, № 1. – С. 271-276.

© Д. Е. Рублев, 2022