

ОБ ИЗМЕНЕНИИ УПРУГИХ ПАРАМЕТРОВ ГРУНТОВ В БОРТАХ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

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

Показано изменение упругих параметров грунтов в бортах угольного разреза в процессе развития механико-эрозионных процессов в краевой части четвертичных отложений под влиянием природно-климатических факторов. По записям сейсмических колебаний на профиле уступа определены пределы сезонного изменения динамического модуля упругости при промерзании приповерхностного слоя влажного грунта. Установлено увеличение практически в 3 раза динамического модуля Юнга. Представленные результаты служат подтверждением усиления активности естественного разрушения грунтов краевой части бортов угольного разреза под влиянием сезонных природно-климатических факторов.

Ключевые слова: четвертичные отложения, борт угольного разреза, формирование древовидных трещин, эрозионный процесс, прогноз оседания грунтов, геомониторинг.

ON THE CHANGE OF ELASTIC PARAMETERS OF SOILS IN THE SIDES OF COAL CUTS UNDER THE INFLUENCE OF NATURAL AND CLIMATIC FACTORS

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

The article describes the change in the elastic parameters of soils in the sides of a coal mine during the development of mechanical erosion processes in the marginal part of the Quaternary deposits under the influence of natural and climatic factors. According to the records of seismic vibrations on the profile of the ledge, the limits of the seasonal change in the dynamic modulus of elasticity during freezing of the surface layer of wet soil are determined. An increase of almost 3 times the dynamic Young's modulus is established. The presented results confirm the increase in the activity of natural destruction of soils of the edge part of the sides of the coal mine under the influence of seasonal climatic factors.

Key words: quaternary deposit, board coal mine, forming dendritic cracks, erosion process, land subsidence, geomechanical monitoring.

Введение

Толща сезонного промерзания грунтов в условиях угольных разрезов юга Западной Сибири достигает 2 – 2.5 м, что естественным образом влияет на развитие трещин в откосах и уступах бортов. В результате среднесуточных перепадов температуры, выпадения осадков, дренажа грунтовых вод активизируется

формирование в грунтах и породах массива протяженных по глубине древо-видных трещин, наиболее существенно проявляющееся в краевой части бортов [1]. При этом наблюдаются «циркообразные» отслоения и оседания грунтов в виде оползней и обрушений, что связано с изменениями упругих параметров грунтов в результате промерзания и оттаивания. Такие процессы развиваются с определенной скоростью. Их изучение и контроль позволяет прогнозировать образование эрозионно-опасных участков в уступах и откосах бортов [1].

Определение упругих параметров грунтов основано на применении маркшейдерско-геодезических и сейсмометрических методов контроля геомеханико-геодинамического состояния горных массивов. Системные наблюдения и накопление фактических данных о природе, характере и параметрах развития эрозионных процессов в четвертичных отложениях угольных разрезов формируют представления о породном массиве как о природно-технической геосистеме со специфическим комплексом прямых и обратных связей. Целью настоящей работы является продолжение начатого в [1] изучения пространственно-временных процессов эрозии грунтов, оценка влияющих факторов и разработка подходов к прогнозу отступления бортов под влиянием природно-климатических факторов.

Особенности разрушений четвертичных отложений

Условия залегания твердых полезных ископаемых юга Западной Сибири обусловлены преобладанием четвертичных отложений в кровле месторождений, склонных к эрозионным проявлениям в бортах [1], а также присутствием полускальных и скальных пород, в основном песчаников и алевролитов с примесью аргиллитов, которые на горизонтах добычи приходится вскрывать. Соотношения литологических разностей вмещающих пород и угля по свитам, характерные для полей угольных разрезов Кузбасса, приведены в табл. 1 [2]. Коэффициенты фильтрации таких пород довольно низкие [3] – могут изменяться от 0.017 до 2.5 м/сут. при среднегодовых значениях порядка 0.2 – 0.4 м/сут.

Таблица 1

Соотношение литологических разностей пород
угольного разреза по свитам

Наименование литологической разности	Усятская свита, %	Кемеровская свита, %	Ишановская свита, %	Всего, %
Уголь	9.0	29.0	10.0	19.0
Алевролит	41.0	31.0	44.0	37.0
Аргиллит	2.0	1.0	3.0	2.0
Песчаник	45.0	38.0	39.0	40.0
Угленосный аргиллит	1.0	0.2	2.0	0.5
Переслаивание алевролита с песчаником	1.0	0.3	2.0	1.0
Переслаивание алевролита с аргиллитом	1.0	0.5	–	0.5

Природно-климатические условия Кузбасса резко континентальные [3], что существенно влияет на развитие геомеханико-эрозионных процессов в приобортовой части разрабатываемых открытым способом месторождений твердых полезных ископаемых исследуемого региона. Годовой температурный фон изменяется в зимний период от $-41 \div -45^{\circ}\text{C}$ до $30 \div 35^{\circ}\text{C}$ – в летний. Глубины промерзания грунтов местами достигают $1.6 \div 2.5$ м, в среднем составляя 1.8 м.

Глинисто-песчаные формации подвержены выветриванию, сопровождающейся разуплотнением пород с потерей прочности грунтов. Особенно заметны изменения свойств пород в открытых горных выработках, где в бортах в результате пучения глинистых разностей и пластических деформаций при отсутствии бокового отпора в краевой части происходит переформирование горного давления. Этому способствует, в частности, монтмориллонитовый состав глинистых составляющих, валунных суглинков, других осадочных пород, приводящих к высокой коллоидальной активности геосреды, которая легко теряет устойчивость с нарушением естественной структуры как при увлажнении осадконакоплениями с дневной поверхности [1, 2], так и в результате температурных перепадов, механических воздействий технологических взрывов.

В отложениях бортов угольного разреза образуются древовидные трещины шириной порядка 1 – 1.5 м, ориентированные практически вертикально вдоль кромки бортов (рис. 1, 2) с перепадами стенок по высоте от 1 м до 1.5 м, местами до 2 м, достигающие по протяженности сотен метров при ширине до 7 м.



Рис. 1. Трещина в четвертичных отложениях борта



Рис. 2. Развитие трещин в аргиллитах и алевролитах

Определение параметров грунтов по сейсмологическим данным

Для выявления изменений прочности грунтов в процессе эрозионного переформирования бортов угольных разрезов становится актуальным мониторинг разрабатываемых залежей сейсмологическими методами. Это позволит на основе сейсмических измерений осуществлять интерпретацию участков пород

в местах их залегания с использованием упругих параметров грунтов, определять профили эрозионных разрушений по глубине массива, выделять границы устойчивости добычных забоев, прогнозировать отступление бортов в результате эрозии четвертичных отложений. В сейсмологии [4] параметры грунтов в массиве определяются динамическим модулем Юнга E_d и коэффициентом Пуассона (μ_d) [3]:

$$E_d = \frac{v_s^2 \rho (3v_p^2 - 4v_s^2)}{v_p^2 - v_s^2}, \quad (1)$$

$$\mu_d = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)}, \quad (2)$$

где: v_p – скорость распространения упругих продольных и v_s – поперечных волн; ρ – плотность грунтов, характеризуется как масса единицы объема или, что одно и то же, как объемный вес, отнесенный к ускорению силы тяжести g .

Сейсмический инструментальный мониторинг параметров грунта позволяет отслеживать изменения его геомеханических свойств в приповерхностных слоях бортов угольных разрезов под влиянием изменений природно-климатических факторов. Записи сейсмических сигналов по трассе измерений, возбуждаемых ударами бойка с заданной энергией с дневной поверхности в период промерзания грунта в осенне-зимний период, позволяют определить сезонные изменения его динамических модулей упругости (1), (2). Сдвиговые отслоения грунтов обусловлены снижением сил сцепления и трещинообразованием в периоды сезонных изменений температуры, когда по фронту промерзания и оттаивания насыщенный влагой грунт может находиться в двух состояниях: мерзлом и талом.

Результаты обработки измерений, проведенных в условиях угольного разреза Кузбасса, приведены табл. 2. Расстояние по трассе измерений составило 58 м. Скорость продольной волны определялась по годографу первых вступлений волны, поперечной – по годографу максимальных амплитуд. Плотность грунта (суглинок) с учетом увлажнения к началу промерзания принята равной 1.6 т/м^3 .

Таблица 2

Результаты измерения параметров распространения упругих волн в грунтах и определения динамических модулей упругости

Наименование параметра	Даты измерений в осенне-зимний период			
	6 ноября	26 ноября	18 декабря	12 февраля
Скорость продольной волны, м/с	695	1036	1149	1190
Скорость поперечной волны, м/с	161	178	172	191
Динамический модуль Юнга, МПа/м ²	5.38	14.61	14.1	17.4
Коэффициент Пуассона, о.е.	0.47	0.48	0.49	0.49

Анализ сезонного упрочнения грунтов в бортах угольного разреза

Оценка изменений свойств грунта в краевой части борта угольного разреза в период промерзания показывает, что сезонные колебания температуры естественным образом приводят к нарушениям сплошности в приповерхностных слоях, инициируют как усиление прочностных свойств влажного грунта при промерзании, так и образование трещин при оттаивании в результате сжатия-расширения минеральных частиц. Этот факт подтверждают приведенные в табл. 2 данные более чем трехкратного изменения динамических модулей упругости. Такие изменения прочности грунта по глубине промерзания приводят к снижению сил сцепления в материале грунта и естественным образом вызывают структурные изменения в результате естественного образования и развития глубинных трещин в прибортовой части разрабатываемого горного массива.

Заключение

Рассмотрены изменения упругих параметров грунта в четвертичных отложениях борта угольного разреза под влиянием природно-климатических факторов. По записям сейсмических колебаний на профиле уступа протяженностью 58 м определены пределы сезонного изменения динамических модулей упругости при промерзании приповерхностного слоя влажного грунта, при этом установлено увеличение практически в 3 раза динамического модуля Юнга, а также изменение коэффициента Пуассона приблизительно на 4%. Представленные результаты служат подтверждением усиления активности естественного разрушения грунтов краевой части бортов угольного разреза под влиянием сезонных изменений природно-климатических факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юшкин В. Ф. О прогнозе оседаний грунтов в бортах карьера / Сб. материалов XV Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019». Международная научная конференция «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». – 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/\(https://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65635b2ad68b5c53b89521306d36_0.html\)](http://www.allbest.ru/(https://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65635b2ad68b5c53b89521306d36_0.html)).
3. Архив погоды, город Киселевск, Кемеровская обл. [Электронное издание]. – 2019. Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru>
4. Геофизические методы исследования земной коры. [Электронное издание]. – 1997. Режим доступа: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1161636&uri=index.html>
5. 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.

© В. Ф. Юшкин, 2020