

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОПОЛЗНЕЙ

Е.Б. Угненко, профессор, д.т.н., О.Н. Тимченко, аспирант, ХНАДУ

Аннотация. Разработана теоретическая модель процесса формирования грунтовых оползней. Для описания влагопереноса в ненасыщенных грунтах при разных погодных условиях используются уравнения, которые учитывают зависимость гравитационного потенциала грунтовых сил от объемной влажности грунта.

Ключевые слова: математическая модель, прогнозирование, грунтовые оползни, влагоперенос, геологическая структура оползневой зоны.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЯВИ ҐРУНТОВИХ ЗСУВІВ

Є.Б. Угненко, професор, д.т.н., О.М. Тимченко, аспірант, ХНАДУ

Анотація. Розроблено теоретичну модель процесу формування ґрунтових зсувів. Для опису вологопереносу в ненасичених ґрунтах за різних погодних умов використовуються рівняння, що враховують залежність гравітаційного потенціалу ґрунтових сил від об'ємної вологості ґрунту.

Ключові слова: математична модель, прогнозування, ґрунтові зсуви, вологоперенесення, геологічна структура зсувонебезпечної зони.

MATHEMATICAL MODEL OF SOIL LANDSLIP ORIGIN FORECASTING

Ye. Ugnenko, Professor, Candidate of Technical Science,
O. Tymchenko, Postgraduate student, KhNAHU

Abstract. The theoretical model of soil landslide formation process is developed. The equations that take into account the dependence of the gravitational potential of soil forces on the soil volumetric humidity are applied for the description of the moisture transfer process in non-saturated soil under various weather conditions.

Key words: mathematical model, forecasting, soil landslide, moisture transfer process, geological structure of slip region.

Введение

Грунтовые оползни – один из самых распространенных экзогенных геологических процессов, нередко наносящих значительный ущерб народному хозяйству. Успех борьбы с оползнями во многом определяется уровнем наших знаний о природе оползней, механизме их развития, достоверностью прогнозных заключений.

Детальное изучение геологической структуры оползневой зоны является особо важным и необходимым этапом изучения механизма и кинематики оползневого процесса, что вызывает необходимость проведения геолого-разведочных работ, главным образом буровых и геофизических [1].

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является прогнозирование времени наступления грунтового опол-

зня. Задача распознавания оползня сводится к решению уравнения влагопереноса с соответствующими граничными условиями на поверхности почвы и на границе контакта исследуемой толщи осадочных пород.

Прогнозирование возникновения грунтовых оползней

Гидрологические факторы могут оказывать существенное влияние на ход развития оползневых процессов. Воздействия этих факторов бывают силовыми (фильтрационное давление, повышение массы пород при увлажнении) и снижающими прочность пород за счет повышения естественной влажности, диффузионного выщелачивания, суффозии [2].

Таким образом, задача распознавания оползня сводится к решению уравнения влагопереноса с соответствующими граничными условиями на поверхности почвы и на границе контакта исследуемой толщи осадочных пород с подстилающей породой, которая может быть либо коренной, либо плотной осадочно-го происхождения с малым коэффициентом фильтрации. Если толща горных пород предполагаемого оползня состоит из нескольких слоев различных типов, на границах их соприкосновения должны выполняться следующие условия:

- а) равенство потоков влаги;
- б) условия сопряжения влажности горных пород.

Очевидно, что в реальных условиях свободная поверхность исследуемой на оползень толщи пород в общем случае не будет параллельна поверхности соприкосновения с подстилающими породами. Будем исходить из принципа максимального неблагоприятства и рассмотрим наиболее упрощенный осредненный вариант задачи, когда поверхности почвы и подстилающих пород параллельны (рис. 1).

На рис. 1 пунктирной линией нанесено некоторое среднее положение свободной поверхности почвы. Начало координат расположим на поверхности почвы. Ось y направим вниз. Уравнения влагопереноса для различных метеоусловий приведены в [2].

При отсутствии на поверхности почвы дождевого потока процесс влагопереноса в почве описывается уравнением

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \left\langle \cos \beta \left\{ D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} - \frac{K(\theta)}{\theta_{\max} - \theta_{gl}} \left(\frac{\theta - \theta_{gl}}{\theta_{\max} - \theta_{gl}} \right)^{n-1} \Gamma \right. \right. \right. \quad (1)$$

$$\left. \left. \left. \Gamma_{\frac{\dot{y}}{K}} (\theta - \theta_{gl}) + n \gamma \frac{\partial \theta}{\partial y} \frac{\psi_{\text{б}}}{\psi_{\text{ю}}} \right\} - s(y, t), \right.$$

где θ – объемная влажность почвы; β – угол наклона поверхности почвы к горизонту; θ_{gl} – характерная влажность почвы на глубине после полного гравитационного стекания; $D(\theta)$ и $K(\theta)$ – соответственно коэффициент диффузии влаги в почве и коэффициент гидравлической проводимости; $s(y, t)$ – изменение объемной влажности в почве в единицу времени за счет поглощения воды корнями растений.

Уравнение (1) удовлетворяет следующим граничным условиям:

- а) равенству потоков влаги через поверхность почвы при $y=0$:

$$\cos \beta \frac{\partial}{\partial y} \left(D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} + K(\theta) \frac{\theta - \theta_{gl}}{\theta_{\max} - \theta_{gl}} \right) = q; \quad (2)$$

- б) условию сопряжения влажностей пород при $y=H$:

$$\theta(H, t) = \frac{\theta_{\max}}{\theta_{\max}^p} \theta_p(H, t); \quad (3)$$

- в) условию равенства потоков влаги при $y=H$:

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} + \frac{K(\theta)}{\theta_{\max} - \theta_{gl}} \frac{\theta - \theta_{gl}}{\theta_{\max} - \theta_{gl}} \right) \Gamma$$

$$\Gamma_{\frac{\dot{y}}{K}} (\theta - \theta_{gl}) + nH \frac{\partial \theta}{\partial y} \frac{\psi_{\text{б}}}{\psi_{\text{ю}}} =$$

Рис. 1 Схема к расчету

$$= \frac{M}{H} D_p(\theta) \frac{\partial \theta_p}{\partial y} + \frac{K_p(\theta)}{\theta_{\max}^p - \theta_{gl}^p} \frac{\theta_p - \theta_{gl}^p}{\theta_{\max}^p - \theta_{gl}^p} \frac{y^{n-1}}{H^n} \Gamma$$

$$\Gamma \left(\frac{\partial \theta_p}{\partial y} + nH \frac{\partial \theta_p}{\partial y} \right)_{y=H} ; \quad (4)$$

$$\Gamma) \quad \theta_p(\Gamma, t) = \theta_{gl}^p \quad (5)$$

при начальных условиях

$$\theta(y, 0) = \theta_0(y), \theta_p(y, 0) = \theta_{gl}^p, \quad (6)$$

которые определяются опытным путем.

Здесь q – интенсивность выпадения осадков. Индекс P в приведенных выше граничных и начальных условиях относится к подстилающей толще пород. Все остальные величины имеют прежний смысл.

При наличии на поверхности почвы дождевого потока глубиной h уравнение влагопереноса в ненасыщенной почве примет вид

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \cos \beta \frac{M}{H} D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} - \frac{K(\theta)}{\theta_{\max} - \theta_{gl}} \frac{\theta - \theta_{gl}}{\theta_{\max} - \theta_{gl}} \frac{y^{n-1}}{H^n} \Gamma \right.$$

$$\left. \Gamma \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} + n(h+y) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) \right\} - s(y, t). \quad (7)$$

Граница насыщенной зоны будет перемещаться в глубину почвы со скоростью [2]

$$v_f = K_f \cos \beta / \theta_{\max}, \quad (8)$$

где K_f – осредненный коэффициент фильтрации почвы, учитывающий неоднородность состава пород.

Если подстилающие породы водонепроницаемые, то при $Y=H$ выполняется условие равенства нулю потока влаги:

$$\cos \beta \left\{ -D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} + \frac{K(\theta)}{\theta_{\max} - \theta_{gl}} \frac{\theta - \theta_{gl}}{\theta_{\max} - \theta_{gl}} \frac{y^{n-1}}{H^n} \Gamma \right.$$

$$\left. \Gamma \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} + n(h+y) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) \right\}_{y=H} = 0. \quad (9)$$

)

При решении приведенных выше задач влагопереноса (1) – (9) можно определить промежуток времени, за который исследуемая на появление сползания толща пород достигнет полного насыщения влагой при различной интенсивности выпадения осадков.

Критерий возможного разрыва сплошности пород и их срыва с подстилающих пород может быть записан следующим образом:

$$\alpha_{\min} = \arctg k_f, \quad (10)$$

где α_{\min} – минимальный угол наклона поверхности подстилающей толщи пород к горизонту, при котором возможен срыв полностью насыщенной влагой породы со склона; k_f – коэффициент трения скольжения, определяемый экспериментальным путем.

Выводы

Данная математическая модель, описывающая возможность появления грунтовых оползней, не охватывает все возможные варианты, а является лишь первым ее приближением.

При расчете влагопереноса в таких грунтах пользуются осредненными коэффициентами диффузии влаги $D_{av}(\theta)$ и коэффициентами гидравлической проводимости $K_{av}(\theta)$.

Литература

1. Рудько Г.И. Инженерная геодинамика Западной Украины и Молдовы : монография / Г.И. Рудько, В.А. Осюк. – Львов : Изд-во «МАКЛАУТ», 2007. – 808 с.
2. Золотарев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований / Г.С. Золотарев. – М. : МГУ, 1990. – 384 с.

Рецензент: В.И. Клименко, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 24 марта 2010 г.