



Динамическая модель развития продольного профиля оврага .

Натурные исследования формирования оврагов на начальной стадии их развития привели к разработке следующей концепции эволюции продольного и поперечного профиля оврага .

а) В ходе размыва грунтов образуется эрозионный врез, форма продольного профиля которого определяется уравнением деформации:

$$B \frac{\partial z_0}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

Здесь z_0 - минимальная отметка дна оврага; x и t продольная координата и время; B ширина вреза; $Q_s = Q S_{cp}$ - объемный расход взвешенных наносов; Q - расход воды; S_{cp} средняя по глубине потока концентрация наносов. Форма поперечного сечения эрозионного вреза, сформированного за время Dt - прямоугольник с шириной B и высотой Dz_0 . В качестве характерного времени Dt целесообразно принять время прохождения паводка.

б) В период между паводками поперечный профиль эрозионного вреза трансформируется склоновыми процессами: оползанием, оплыванием грунта и пр. Формируется устойчивый откос. На начальных этапах развития оврагов склоновые процессы происходят интенсивно, оползает грунт мелкими блоками. В результате формируются прямые и слабовыпуклые склоны эрозионных форм, а прямоугольный эрозионный врез трансформируется в трапецию с шириной по днищу $B_v = 2z/(tg(\varphi) + B)$, глубиной $z = z_f \cdot z_f \cdot W \cdot tg(\varphi)$, и шириной поверху $B_v = 2z/(tg(\varphi) + B)$.
Здесь W - объем вреза; $z_f = B \cdot tg(\varphi) / 2$; φ - крутизна устойчивого откоса.

Баланс взвешенных наносов определяется уравнением неразрывности для дисперсоида:

$$\frac{1}{B} \cdot \frac{\partial Q_s}{\partial x} = v \mathcal{A}_0 - k_0 \omega S_{cp} \quad (2)$$

Здесь $v \mathcal{A}$ скорость взмыва частиц наносов; S_0 донная мутность; ω - гидравлическая крупность; k_0 коэффициент осаждения наносов.

Интенсивность взмыва наносов представляется в виде:

$$v \mathcal{A}_0 = k_3 q J$$

Здесь v - средняя скорость потока; q - удельный расход воды Q/B ; J - уклон свободной поверхности воды; k_3 - коэффициент эролируемости грунтов.

На основании уравнений деформации, баланса наносов и формулы для расчета интенсивности размыва грунтов записывается уравнение для расчета трансформации продольного профиля оврага

$$\frac{\partial z}{\partial t} - k_3 q \frac{\partial z}{\partial x} - k_0 \omega S_{cp} = 0 \quad (3)$$

Величина $k_0 \omega S_{cp}$ определяется интегрированием уравнения баланса наносов по длине оврага:

$$k_0 \omega S_{cpi} = k_3 q J + (k_0 \omega S_{cpi(i-1)} - k_3 J) \exp \frac{k_0 \omega \Delta x}{q}$$

Индекс i определяет изменение мутности на отрезке Δx от x_{i-1} до x_i .

Для решения уравнения (3) используется явная четырехчленная двухуровневая консервативная схема типа предиктор - корректор:

Коэффициенты эролируемости грунтов получены по материалам натуральных экспериментов и сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов размываемости грунтов k_3 , зависимости от их гранулометрического состава (при полном влагонасыщении)

тип грунта	% содержания частиц < 0.01 мм	k_3
глина.....	90	$1.3 \cdot 10^{-3}$
суглинок	45	$6.3 \cdot 10^{-3}$
песок пылеватый	25	1.39

Верификация динамической модели развития продольного профиля оврага на начальной стадии его развития была проведена по данным наблюдений за формированием антропогенных оврагов на территории Бованенковского ГКМ на полуострове Ямал. Сравнение рассчитанных и измеренных продольных профилей дало хорошее совпадение. Для условий формирования оврагов в зоне развития многолетнемерзлых пород модель была дополнена блоком расчета термоэрозионных процессов.