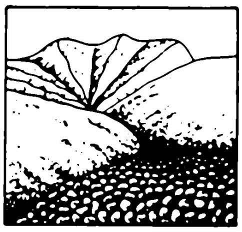
Труды Международной конференции

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Пятигорск, Россия, 22-29 сентября 2008 г.



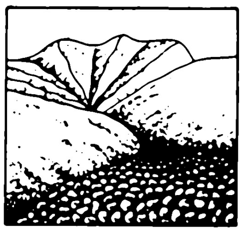
Ответственный редактор
С.С. Черноморец

Институт «Севкавгипроводхоз»
Пятигорск 2008

Proceedings of the International Conference

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Pyatigorsk, Russia, 22-29 September 2008



Edited by
S.S. Chernomorets

Sevkavgiprovodkhoz Institute
Pyatigorsk 2008

УДК 551.311.8
ББК 26.823

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды Международной конференции. Пятигорск, Россия, 22-29 сентября 2008 г. – Отв. ред. С.С. Черноморец. – Пятигорск: Институт «Севкавгипроводхоз», 2008, 396 с.

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the International Conference. Pyatigorsk, Russia, 22-29 September 2008. – Ed. by S.S. Chernomorets. – Pyatigorsk: Sevkavgiprovodkhoz Institute, 2008, 396 p.

Ответственный редактор: С.С. Черноморец
Edited by S.S. Chernomorets

Редакция английских аннотаций: К. Маттар и О. Тутубалина
English versions of abstracts edited by K. Mattar and O. Tutubalina

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).
Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman’s book on Debris Flows (Moscow: Geografgiz, 1951, p. 51).

ISBN 978-5-91266-010-8

Гидравлические уравнения связных селевых потоков и их некоторые частные решения

О.Г. Натишвили, В.И. Тевзадзе

Институт водного хозяйства, Тбилиси, Грузия

Hydraulic equations for cohesive debris flows and their particular solutions

O.G. Natishvili, V.I. Tevzadze

Institute of Water Management, Tbilisi, Georgia

Предлагаются гидравлические уравнения неравномерного и волнового режимов движения связных селевых потоков, основанные на энергетическом принципе. Они дают возможность описать одномерное движение потока с переменным расходом вдоль пути для призматических русл с учетом неньютоновских (реологических) свойств селевой смеси. Полученные уравнения позволяют запроектировать селесбросный канал с заданными параметрами селевого потока селепропускного сооружения и фиксированного угла свободного растекания потока, равного 11-13°. Рассматривая неустановившееся движение в форме волнового потока, когда волны имеют непрерывный характер, получается, что скорость V_B в три раза превышает среднюю по сечению скорость потока. Так как селевая смесь при глубине менее чем h_0 не передвигается на наклонной поверхности общеизвестное уравнение, характеризующее скорость динамической волны выражается следующим образом: $C=\sqrt{gH\cos\theta_1}$, где $\cos\theta_1$ предельное значение наклона плоскости дна водотока при котором селевая смесь определенной глубины начинает перемещаться. Предлагаемые гидравлические уравнения неравномерного и волнового режимов движения связных селевых потоков могут послужить базой для решения ряда нерешенных задач, относительно их перемещения, как в призматических, так и непризматических руслах.

This article concerns the hydraulic equations for non-uniform and wave motions of a cohesive debris flow, depending on energy principles. They provide descriptions of one-dimensional motion for flows with variable discharge along the travel path for prismatic channels, allowing for non-Newtonian (rheological) properties of debris flows. These derived equations allow the design of a discharge levee for defined properties of a debris flow, a debris flow escape structure and a fixed angle of free flow equal to 11-13°. Considering the non-uniform wave motion with continuous waves, we determine that wave velocity V_B exceeds the average flow velocity in a cross-section by three times. Taking into account that the debris flow at a depth less than h_0 does not move on the inclined surface, the well-known equation, which defines the velocity of dynamic waves, will be defined as follows: $C=\sqrt{gH\cos\theta_1}$, where $\cos\theta_1$ is the limiting value for the gradient of channel bed, which allows motion of debris flow at a defined depth.

С целью вывода одномерного динамического уравнения связного селевого потока используется уравнение гидравлики в основе которого лежит энергетической принцип (Чоу, 1969):

$$H = z + h + \frac{V^2}{2g} = z + h + \frac{Q^2}{2g\omega} \qquad (1)$$

где H - полная энергия в рассматриваемом сечении русла;

z - расстояние от дна русла в каком либо рассмотренном сечении до горизонтальной плоскости сравнения;

h - полная глубина потока в рассматриваемом створе;

ω, V, Q - соответственно площадь живого сечения, средняя по живому сечению скорость и расход потока;

Дифференцируя уравнении (1) по длине x для призматических русел дает:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dh}{dx} + \frac{1}{2g}\left(\frac{2QdQ}{\omega^2 dx} - \frac{2Q^2}{\omega^3}\frac{d\omega}{dx}\right) \tag{2}$$

После несложных преобразований из (2) получаем:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i - i_{mp} - \dfrac{Qq_1}{g\omega^2}}{1 - \dfrac{Q^2 b}{g\omega^3}} \tag{3}$$

где $i = -\dfrac{dz}{dx}$ - уклон дна водотока;

$i_{mp} = -\dfrac{dH}{dx}$ - уклон трения;

$q_1 = \dfrac{dQ}{dx}$ - средний расход потока на единицу длины;

B_b - ширина русла.

Зависимость (3) представляет собой дифференциальное уравнение одномерного движения связного селевого потока с перемененным расходом вдоль пути для призматических русел.

В том случае, когда $q_1 = 0$ уравнение (3) выражает дифференциальное уравнение гидравлики с постоянным расходом потока вдоль пути (Натишвили и Тевзадзе, 2007).

При равномерном режиме движения селевого потока (что можно использовать в качестве «рабочей абстракции») с учетом его специфики будем иметь (Натишвили и Тевзадзе, 2003, 2007):

$$Q = \frac{bgih^3}{\nu} f(\beta) \tag{4}$$

где- $f(\beta) = \dfrac{\beta}{2}\left(\beta^2 - 1\right) + \dfrac{1}{3}\left(1 - \beta^3\right)$ (5)

$\beta = h_0 / h$ - относительная глубина потока;

h_0 – глубина ядра (безградиентного слоя) потока, показатель неньютоновского (реологического) поведения среды;

$\nu = \mu/\rho$ - климатический коэффициент вязкости;

μ - динамический коэффициент вязкости;

ρ - плотность связного селя.

В том случае, когда русло непризматическое, взамен (3) можно воспользоваться уравнением:

$$\frac{dh}{dx}=\frac{i-i_{mp}-\frac{Qq_1}{g\omega^2}+\frac{Q^2}{g\omega^3}\frac{\partial\varpi}{\partial x}}{1-\frac{Q^2B}{g\omega^3}} \tag{6}$$

Здесь B – ширина потока на рассматриваемом участке.

Общее решение (3) и (6) затрудняется. Поэтому рассмотрим случай когда $i \neq 0$, $dh/dx = 0$ и $B = b =$ const. Принимая во внимание, что $i = -\ dz/dx$ и $dx = dQ/q_1$, допуская при этом $q_1 = const$, после интегрирования (3) для русел с прямоугольным поперечным сечением, с учетом начальных и граничных условий $Q = Q_0$ и $z = z_0$, получим:

$$z_0 - z = \frac{Q_0^2 - Q^2}{g}\left(\frac{\nu}{2q_1bh^3 f(\beta)} + \frac{1}{\omega^2}\right) \tag{7}$$

Зависимость (7) позволяет запроектировать селесбросный канал с заданными параметрами селевого потока.

В том случае когда $dh/\ dx = 0$, после несложных преобразований и интегрирования (6) с учетом граничных условий при $x = 0$, $z = z_0$ и $B = b_0$ получим:

$$z_0 - z = k_1x - \ln\left(\frac{b_0}{b_0 + k_2x}\right) \tag{8}$$

где $k_1 = \dfrac{V_0\nu}{h^2gf(\beta)} \cong const, \qquad k_2 = 2tg\theta$

Здесь θ - угол свободного растекания связного селя в плане; по данным экспериментов и полевых наблюдений $\theta = 11° \div 13°$ (Гагошидзе, 1970).

Зависимость (8) дает возможность определить разность отметок между соседними створами при движении связного селя в непризматическом русле с постоянной скоростью $V = V_0 =$ const и постоянной глубиной h.

Не рассматривая равномерный режим движения селевого потока при уклоне русла равный, меньше или больше его нулевого значения, изложенного в работе (Натишвили и Тевзадзе, 2007), обратим внимание на неустановившемся режиме движения в форме волнового потока. Когда волны имеют непрерывный характер уравнение неразрывности для соседних створов принимает вид:

$$Q - \omega V_b = Q + \partial Q - V_b(\omega + \partial\omega) \tag{9}$$

где V_b - скорость непрерывной волны.

Из (9) следует, что

$$V_b = \frac{\partial Q}{\partial\omega} = \frac{\partial(\omega V)}{\partial\omega} = V + \omega\frac{\partial V}{\partial\omega} \tag{10}$$

Из (10) получаем, что скорость непрерывной волны V_b превышает среднюю скорость потока V на величину $\omega\dfrac{\partial V}{\partial\omega}$. В качестве первого приближения, если использовать зависимость (4) и подставить ее в (10), то получим:

$$V_{\text{В}} = \frac{3gih^2}{\nu}f(\beta) \tag{11}$$

Так как

$$V = \frac{Q}{\omega} = \frac{q}{h} = \frac{gih^2}{\nu}f(\beta) \tag{12}$$

нетрудно заметить, что $V_b = 3V$, т.е. получается, что скорость непрерывной волны в три раза превышает среднюю по сечению скорость селевого потока (Натишвили и Тевзадзе, 2003).

За фиксированное время t волна пройдет расстояние x = V_b t.

При динамических волнах, учитывая, что связный сель отличается от ньютоновской жидкости тем, что он способен останавливаться на уклонах отличных от нулевого значения, то динамическое напряжения сдвига понятие условное и выражает постоянную часть касательного напряжения (не зависящая от скорости) во время движения, обозначаемое через τ_0.

В силу отмеченного связная селевая смесь при определенной глубине h_0 не передвигается на наклонной поверхности. Поэтому общеизвестное уравнение, характеризующее скорость динамической волны можно вообразить следующим образом:

$$C = \sqrt{gH\cos\theta_1} \tag{13}$$

где θ_1 – предельное значение наклона плоскости дна водотока, при котором связная селевая смесь определенной глубины и заданной концентрации начинает перемещаться (Натишвили и Тевзадзе, 2003).

Неустойчивость в связном селевом потоке возникает тогда, когда

$$V_в > V + C \tag{14}$$

Учитывая (11), (12) и (13), после некоторых преобразований из (14) получаем:

$$\frac{VH}{\nu} f(\beta) > \frac{1}{4}\frac{\cos\theta_1}{\sin\theta} \tag{15}$$

где $\theta_1 \le \theta$ и $i = \sin\theta$.

Условие (15) для водного потока несколько упрощается, так как $f(\beta) = 0{,}333$ и $\cos\theta_1 = 0$ и оно отображает явление, наблюдаемое во время проливного дождя на наклонных участках улиц в виде равномерно стекающихся волн.

Список литературы

Чоу В.Т. Гидравлика открытых потоков. М.: Стройиздат, 1969, 464 с.
Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Основы динамики селей. Тбилиси, 2007, 213 с.
Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1970, 386 с.
Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Волны в связных селевых потоках. – Метеорология и гидрология, № 2, 2003, с. 91–96.