

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

А. К. АНАНЯН

ОБ УСТОЙЧИВОМ ПРОДОЛЬНОМ ПРОФИЛЕ РУСЛА РЕКИ

В озеро Севан впадают 28 рек, для которых уровень озера является базисом эрозии. В дальнейшем спуск уровня озера будет приостановлен на определенной высоте. В связи с этим является актуальным решение следующей задачи. В момент времени t продольный профиль русла выражен кривой AB (рис. 1). Через время T створ (базис эрозии) понижается на величину H . За время T профиль реки принимает новое высотное положение, которое выражено кривой AC .

Требуется определение устойчивой картины продольного профиля между створами A и C если высота z_n начального и $z_k - H$ конечного створов реки остается неизменной по времени. При этом, очевидно, должны быть заданы: твердый сток в створе A , который река

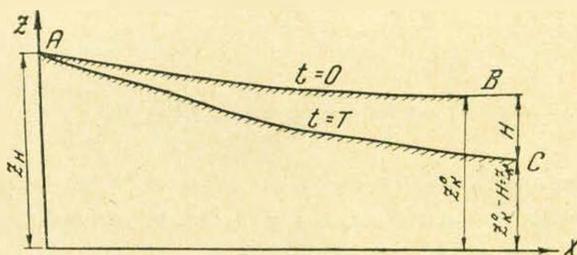


Рис. 1.

транспортирует из верхних участков, гранулометрический состав грунтов, из которых сложено русло, руслоформирующий расход и отметки горизонта воды в озере или глубина воды в створе C^* .

Учитывая, что боковая эрозия рек по сравнению с донной мала, допустимо решение плоской задачи.

Поставленная задача решается на основе совместного применения уравнений транспорта твердого стока

$$G = q \cdot \varphi \left(\frac{h}{d}, A(d) \frac{i \sqrt{g h i}}{\tau \kappa \omega} \right) \quad (1)$$

и неравномерного движения жидкости

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} = -\alpha \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2g} \right) - \frac{u^2}{C^2 h} \quad (2)$$

* Из условия задачи не требуется знать профиль русла при $t=0$.

Для расчета транспортирующей способности потока воспользуемся формулой М. Великанова:

$$G = q s_{cp} = q \frac{A(d) i \sqrt{g h i}}{\sigma \omega} \quad (3)$$

Для сопоставления воспользуемся также формулами В. Гончарова

$$G = \frac{C d}{u_0^3} \left(\frac{d}{h} \right)^{1/n} u^3 (u - u_0) \quad (4)$$

и И. Егизарова

$$G = q k i \left(\frac{h i}{\sigma d f_0} - 1 \right), \quad (5)$$

где G — твердый сток, $i = -\frac{dz}{dx}$ уклон дна реки в данном створе, h — глубина потока, σ , ω , d соответственно относительная плотность, гидравлическая крупность и диаметр частиц, k — коэффициент Кармана, u — средняя скорость потока, u_0 — начальная скорость сдвига твердых частиц, $A(d)$, C , k , f_0 постоянные.

Дифференцируя (3) по x и исключая $\frac{dh}{dx}$ из уравнения (2), получим:

$$\frac{d^2 z}{dx^2} + p \frac{dz}{dx} + D = 0, \quad (6)$$

где

$$p = i \left[3h \left(1 - \frac{\alpha q^2}{g h^3} \right) \right]^{-1}, \quad D = p \frac{q^2}{C^2 h^3}. \quad (7)$$

Линеаризируя уравнение (6), путем осреднения p и D для небольшого интервала изменения i и h , интегрируя при граничных условиях $z(0) = z_n$ и $z(L) = z_k$, получим:

$$z(x) = z_n - \frac{z_n - z_k - \lambda L}{1 - e^{-\rho L}} (1 - e^{-\rho x}) - \lambda x, \quad (9)$$

где

$$\lambda = \frac{q^2}{C^2 h^3}. \quad (10)$$

Формула (9) получена при постоянном коэффициенте шероховатости по длине русла реки.

Если принять, что коэффициент шероховатости между начальным и конечным створами меняется, например, по экспоненциальному закону $n = n_0 e^{\alpha x}$, получим:

$$z(x) = z_n - \frac{M}{2\alpha_0 p - 4\alpha_0^2} (1 - e^{-2\alpha_0 x}) - \frac{z_n - z_k - \frac{M}{2\alpha_0 p - 4\alpha_0^2} (1 - e^{-2\alpha_0 L})}{1 - e^{-\rho L}} (1 - e^{-\rho x}), \quad (11)$$

где
$$M = \frac{q^2 n_0^2 p}{h^{10/3}} \quad (12)$$

При постоянном коэффициенте шероховатости формула (9) сохраняет свой вид за исключением коэффициента p , который в силу (4) будет равен

$$p = i \left[h \left(3 - \frac{2u_0}{zu} \right) \left(1 - \frac{\alpha q^2}{gh^3} \right) \right]^{-1} \quad (13)$$

и в силу (5) будет равен

$$p = 2i \left[h \left(3 - \frac{\sigma f_0 d}{hi} \right) \left(1 - \frac{\alpha q^2}{gh^3} \right) \right]^{-1} \quad (14)$$

На рис. 2 сплошной линией показан натуральный продольный профиль русла реки Аргичи—одного из крупных притоков озера, а штрих-пунктирными линиями результаты расчета. Надо полагать, что русло реки еще не успело получить устойчивую форму ввиду сравнительно быстрого спуска устья, поэтому имеется некоторое расхождение между натурой и расчетами.

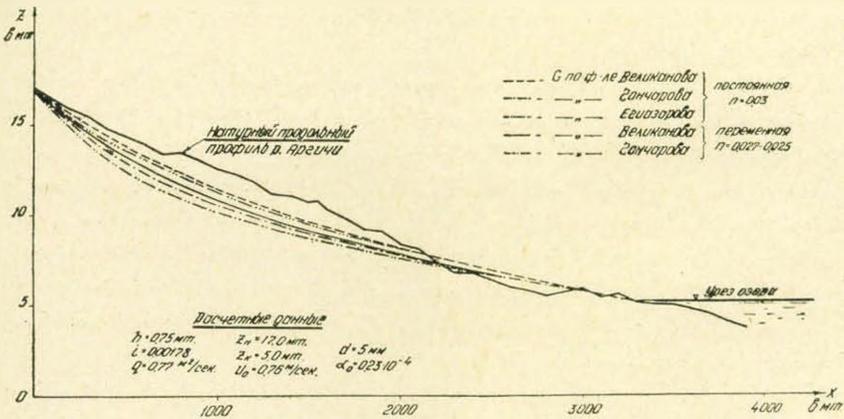


Рис. 2.

Если современную высоту базиса эрозии притоков озера оставить неизменной, то можно предположить, что картина устойчивых профилей русел примет вид, близкий к кривым, представленным на рис. 2.

Аналогичные расчеты были выполнены для других притоков озера.

Для практических расчетов нами рекомендуется пользоваться формулами, выведенными на основе выражения (1), так как результаты расчета близки к данным натуральных измерений твердого стока.