

В.С. САРКИСЯН, В.А. МКРТЧЯН

ОБ ОЦЕНКЕ ТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОТОКА
ГОРНЫХ РЕК

Методом множественной корреляции получена зависимость для определения расхода донных наносов, которая апробирована на р.Воротан и может быть использована для определения объема и конфигурации тела отложений донных наносов.

Ключевые слова: транспортирующая способность, метод множественной корреляции, отложения донных наносов.

Твердый сток горных рек, особенно сток донных наносов, претерпевает значительные колебания во времени и в пространстве. При большом объеме наносов поток несет их в количестве, соответствующем полной транспортирующей способности. Однако чаще всего в русле реки находится значительно меньше руслового материала. Кроме того, более крупные камни прикрывают мелкие и препятствуют их движению, в связи с чем происходит явление так называемой самоотмостки и резкого сокращения транспорта донных наносов. Все это обусловило разработку большого количества расчетных зависимостей, каждая из которых, разумеется, апробирована и для определенных условий дает хорошие результаты.

Согласно [1], соотношения, предложенные для определения расхода донных наносов, могут быть разбиты на три основные группы. В основу формул первой группы положена связь между расходами наносов и касательным напряжением на дне потока (влекущей силой); формулы второй группы выведены на основе представлений о средней скорости потока и сплошности их движения; в формулах третьей группы учитывается стохастический характер движения наносов

Формула И.В. Егiazарова для расхода влекомых наносов, полученная на основе метода размерностей, имеет вид [2] *

$$P = 0,015Q\rho\sqrt{i}\left[\frac{Ri}{\rho'f_0d_{50}} - 1\right], \text{ т/с}, \quad \rho' = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}, \quad (1)$$

где ρ_s , ρ_w - плотность наносов и воды, т/м^3 ; Q - расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; i - уклон реки; R - часть гидравлического радиуса, условно определяющая транспорт наносов; $f_0 = Ri / \rho'd_{\max}$ - коэффициент сопротивления подвижного русла [3]; d_{50} - медианный диаметр частиц, находящихся в движении при заданном расходе воды; h - средняя глубина потока.

* Размерность величин и обозначения здесь и далее приводятся в соответствии с источником .

Для широких безгрядовых русел вместо R в формулу вводится h , а медианный диаметр заменяется средним. Тогда формула (1) принимает вид

$$P = 0,015Q\sqrt{i} \left[\frac{d_{\max}}{d_{\text{cp}}} - 1 \right], \text{ т/с}, \quad (2)$$

где d_{cp} и $d_{\max}$ - средневзвешенный и максимальный диаметры донных наносов.

Формула Г.И. Шамова имеет вид [4]

$$q_s = k(v - v_{0н}) \left(\frac{v}{v_{0н}} \right)^3 \left(\frac{d}{h} \right)^{1/4}, \quad \text{кг/(с·м)}, \quad v_{0н} = 3.83d^{1/3}h^{1/6}, \quad (3)$$

где k - размерный коэффициент, значение которого определяется согласно [4], для песчаных наносов $k=0,95 \text{ кг/м}^2$.

Формула В.Н. Гончарова имеет вид [5]

$$P_{\text{вл}} = 1,2B(1 + \varphi)v_{\text{нпд}}d_{\text{cp}} \left(\frac{v_{\text{cp}}}{v_{\text{нпд}}} \right)^{4,33}, \text{ кг/с}, \quad v_{\text{нпд}} = \left(\frac{2g(\rho_s - \rho_w)d_{\text{cp}}}{\rho_w} \right)^{1/2} \lg \left(\frac{8,8h_{\text{cp}}}{d_{95}} \right), \quad (4)$$

где $v_{\text{нпд}}$ - предельная неподвижная скорость; d_{95} - диаметр крупных частиц донных наносов, доля которых в общем количестве составляет 5%; φ - параметр, значение которого определяется согласно [6].

Расчетная формула Г.А.Эйнштейна, полученная для песка и гравия крупностью 0,3...28,6 мм, имеет вид [7]

$$\varphi = \frac{2,17}{\exp(0,39\psi) - 1}, \quad \psi = \frac{\rho'd}{hi}, \quad (5)$$

где ψ может рассматриваться как показатель устойчивости русла.

Для устойчивых русел при $E^{0,39\psi} \gg 1$ это уравнение упрощается:

$$\varphi = 2,17 \times \exp(-0,39\psi).$$

Формула Мейер-Петера получена посредством статистической обработки данных измерений расходов донных наносов для горных рек и имеет вид [6]

$$P_m = \Psi d^{3/2} (g\rho')^{1/2}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad \Psi = 12(\varphi^{-1} - 0,047)^{3/2}; \quad \varphi = \frac{\rho'd}{\mu Ri}; \quad \mu = \left(\frac{C_m}{18 \lg(12R/d_{90})} \right)^{3/2}, \quad (6)$$

где ψ , φ , μ - безразмерные коэффициенты.

На основе вышеприведенных формул были рассчитаны расходы донных наносов р.Воротан в верхнем бьефе Спандарянского водохранилища по среднемесячным и среднегодовым расходам воды. Для этого предварительно была проведена следующая работа. По измеренным данным расходов воды, средней скорости, глубины и ширины потока в створе с.Борисовка, который совпадает со створом верхнего бьефа Спандарянского водохранилища, построены морфометрические зависимости (рис.1). Результаты расчетов приведены в виде графика (рис.2). Анализ данных расчетов и кривых, приведенных на

рис.2, показал значительное расхождение между значениями стока донных наносов, полученных по зависимостям разных авторов.

Из множества факторов, определяющих транспорт наносов, можно выбрать три основных: среднюю глубину потока, среднюю скорость потока и размеры перемещаемых частиц, а остальные как их производные.

Исходя из этого, формулу для определения расхода донных наносов можно записать в следующем виде:

$$G = A \left(\frac{v_{cp}}{v_0} \right)^a \left(\frac{d_{cp}}{d_{max}} \right)^b \left(\frac{h}{d_{cp}} \right)^c, \text{ кг/с}, \quad (7)$$

где A , a , b , c - константы, которые можно определить на основании данных измерений. Для нахождения этих констант использовался метод множественной корреляции. Коэффициенты A , a , b , c находятся по способу наименьших квадратов. Уравнение после логарифмирования приводится к виду: $\lg G = \lg A + a \lg x + b \lg y + c \lg z$, где $x = \frac{v_{cp}}{v_0}$,

$$y = \frac{d_{cp}}{d_{max}}, \quad z = \frac{h}{d_{cp}}.$$

Константы A , a , b , c находятся из условия

$$\sum [\lg A + a \lg x_i + b \lg y_i + c \lg z_i - \lg G_i]^2 = \min.$$

В итоге получается система уравнений

$$\begin{cases} \lg A + a \sum x_i + b \sum y_i + c \sum z_i - \sum \lg G_i = 0, \\ \lg A \sum x_i + a \sum x_i^2 + b \sum y_i x_i + c \sum z_i x_i - \sum \lg G_i x_i = 0, \\ \lg A \sum y_i + a \sum x_i y_i + b \sum y_i^2 + c \sum z_i y_i - \sum \lg G_i y_i = 0, \\ \lg A \sum z_i + a \sum x_i z_i + b \sum y_i z_i + c \sum z_i^2 - \sum \lg G_i z_i = 0. \end{cases}$$





Рис.1. Морфометрические зависимости р.Воротан в створе с.Борисовка

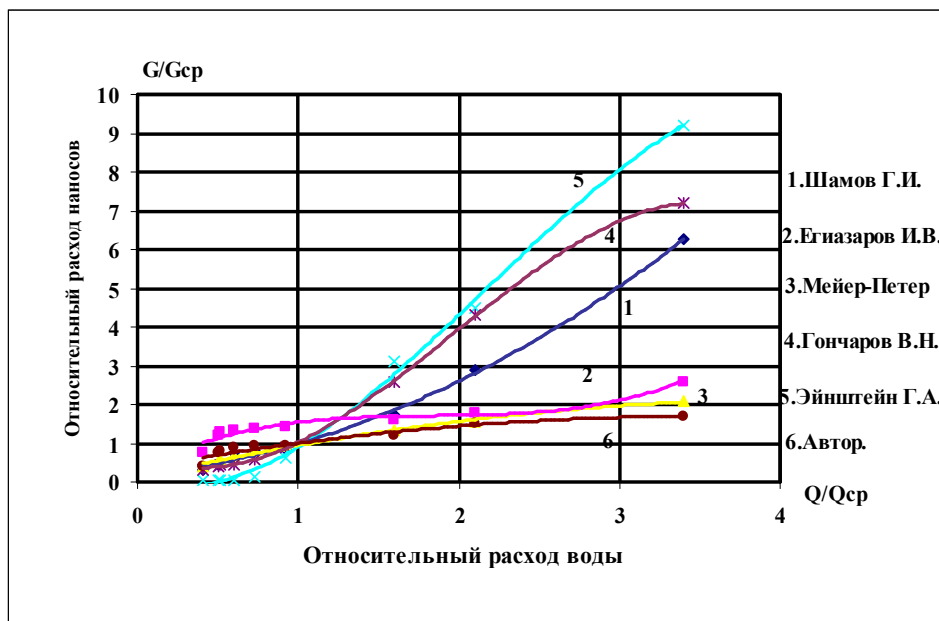


Рис.2. Сопоставление результатов расчетов расхода донных наносов по формулам разных авторов для р.Воротан – с.Борисовка

Для уточнения эмпирических коэффициентов были использованы результаты лабораторных испытаний по определению расхода донных наносов, воспроизводящих процессы, происходящие в естественных руслах, проведенные В.Н.Гончаровым, которые были статистически обработаны (рис.3).

В результате решения системы получается следующая формула для определения расхода донных наносов:

$$G = A \left(\frac{v}{v_0} \right)^{2.4} \left(\frac{d}{d_{\max}} \right)^{0.23} \left(\frac{h}{d} \right)^{-0.42}, \text{ кг/с}, \quad (8)$$

где A - размерный коэффициент, зависящий в основном от состава донных наносов, находящихся в движении. После проведения расчетов для рек Армении установлено, что его значение колеблется от 2,3...3,7. В среднем его величина равна 2,5.

По полученной зависимости был рассчитан расход донных наносов в створе р.Воротан - с.Борисовка. Величина расхода донных наносов в указанном створе равна 0,42 кг/с, что за год составляет 13,8 тыс.т. Результаты расчетов приведены в сводной таблице.

Поскольку в Армении измерения расходов донных наносов никогда не проводились, поэтому, чтобы убедиться в достоверности полученных результатов, они сравниваются с расходом взвешенных наносов, которые измеряются в створе р.Воротан - с.Борисовка. Результаты сравнения расчетных и натурных данных показали, что для прогноза времени занесения русла р.Воротан в зоне

выклинивания кривой подпора Спандарянского водохранилища может быть рекомендована формула (8) .

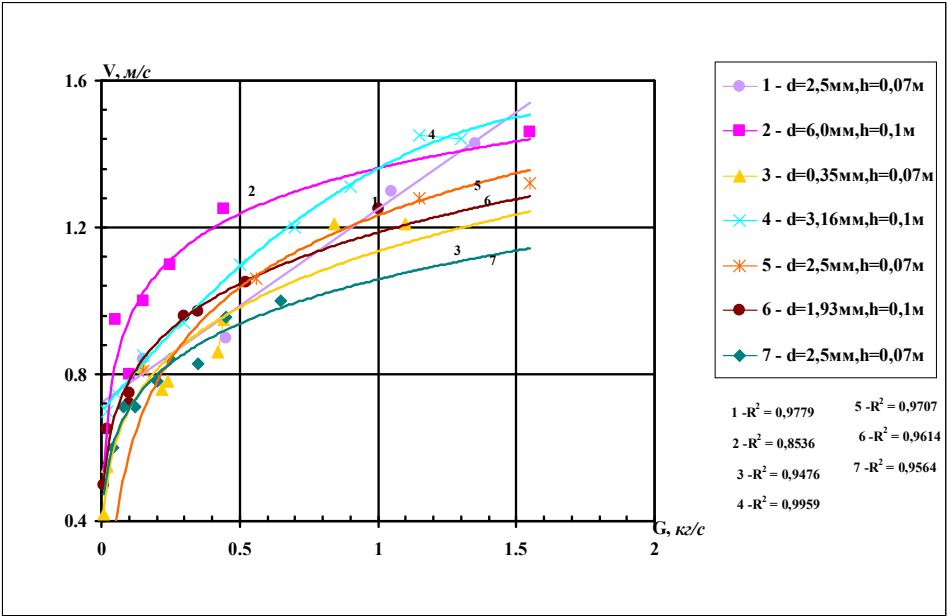


Рис.3. Кривые расходов донных наносов при различных средних диаметрах частиц и глубине потока с нанесенными на графиках опытными точками

Таблица

Результаты расчетов среднегогодового стока донных наносов р.Воротан

Авторы	Результаты расчетов					
	расход донных наносов, кг/с	сток донных наносов, тыс.т	сток донных наносов с учетом уноса мелкой фракции, тыс.т	сток взвешенных наносов без учета мелкой фракции донных наносов, тыс.т	сток взвешенных наносов с учетом мелкой фракции донных наносов, тыс.т	отношение донных наносов к стоку взвешенных наносов, %
Шамов Г.И.	1,15	36,5	14,4	18,9	41,0	35
Егиазаров И.В.	55,0	1730	682,9	18,9	1066	64
Мейер - Петер	7,93	250	98,7	18,9	170,2	58
Гончаров В.Н.	2,20	69,4	27,4	18,9	60,9	45
Эйнштейн Г.А.	13,2	416,3	164,3	18,9	270,9	61
Автор	0,44	13,8	5,4	18,9	27,3	20

Зависимость (8) для транспорта донных наносов, апробированная на реках Воротан и Раздан, может быть использована для определения объема и конфигурации тела отложений донных наносов, которые выпадают из потока по мере уменьшения скорости горного потока в зоне выклинивания кривой подпора водохранилища.

Таким образом, несмотря на большое количество разнообразных формул для расчета транспорта твердых частиц, единственным критерием для их достоверной оценки могут служить натурные данные с подробным измерением всех параметров: характеристик бассейна, расходов воды, донных и взвешенных наносов, гранулометрии наносов, находящихся в движении, а также донных отложений, профиля отложений и т.д. Только в этом случае можно оценить принятые и разработать новые зависимости с коэффициентами, учитывающими характерные региональные особенности как транспортируемых частиц, так и всего бассейна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков. - Л.: Гидрометеиздат, 1969.- 420 с.
2. Егизаров И.В. О расходе влекомых наносов. - Изд.АН СССР, 1949. -Т.2.- С.321-338.
3. Караушев А.В. Речная гидравлика. - Л.: Гидрометеиздат, 1969.- 415с.
4. Шамов Г.И. Речные наносы. - Л.: Гидрометеиздат, 1959.- 378с.
5. Einstein H.A. The Bed-load function for sediment transportation open channel flows.- In: Sedimentation. Fort. Collins (Colorado). - 1972.- ap.B. P. 1- 78.
6. Mayer-Peter E. and Muller R. Formulas for Bed-load transport. International Association for Hydraulic Research: 3rd Meeting Stockholm.- 1948. - P. 3 - 46.
7. Гончаров В.Н. Движение наносов. - М.;-Л., 1938. – 312 с.
8. Руководство по гидрологическим расчетам при проектировании водохранилищ . - Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 283 с.

ЕГУАС. Материал поступил в редакцию 25.02.2007.

Վ.Ս. ՄԱՐԿՍՅԱՆ, Վ.Ա. ՄԿՐՏՉՅԱՆ ԼԵՈՒԱՅԻՆ ԳԵՏԵՐԻ ՀՈՍՔԵՐԻ ՓՈԽԱՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Բազմակոռելյացման մեթոդով մշակվել է հատակային բերվածքների ելքի որոշման բանաձև, որը ստուգաբանվել է Որոտան գետի պայմաններում, և կարող է օգտագործվել հատակային գետաբերուկների կուտակման, մարմնի ծավալի և ընդհանուր տեսքի որոշման համար:

Առանցքային բաղադրանք. բազմակոռելյացման մեթոդ, փոխադրունակություն, հատակային գետաբերուկների կուտակում:

V.S. SARKISYAN, V.A. MKRTCHYAN ON TRANSPORTING ABILITIES ESTIMATION OF THE MOUNTAIN RIVER FLOW

The dependence for determination of the bottom alluvium consumption approved on r. Vorotan is obtained by the plural correlation and it can be used for determination of the volume and configuration of the sedimentation of bottom alluvium body.

Keywords: transporting ability, plural correlation method, sedimentation of bottom alluvium.