

## РАСЧЕТЫ ТВЕРДОГО СТОКА РЕК

Шмакова М.В.

Институт озероведения РАН, Россия

Комплексный подход к рассмотрению основных сил, действующих на движущуюся частицу в системе «речной поток – донные отложения – наносы», позволил разработать метод расчета расхода наносов, основанный на формуле расчета общего расхода наносов  $G$

$$G = 1.59Q \left[ \frac{c}{hg} - (1-f)10^3 I \right], \quad (1)$$

где 1.59 – коэффициент, приводящий массу твердого вещества в воде к истинной массе, б/р;  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $c$  – сцепление частиц грунта при сдвиге, кг/(м·с<sup>2</sup>);  $h$  – средняя глубина потока, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $f$  – коэффициент внутреннего трения, б/р;  $I$  – уклон дна, б/р;  $10^3$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Из формулы (1) следует, что расход наносов  $G$  зависит от физико-механических свойств грунта (сцепление грунта при сдвиге и коэффициента внутреннего трения) и от сдвигающей проекции силы тяжести водного потока.

В результате апробации метода по данным наблюдений на 60 водотоках (около 500 измерений) получены зависимости параметров формулы  $f$  и  $c$  от крупности донных отложений. С увеличением крупности донных отложений увеличиваются значение коэффициента внутреннего трения и значение сцепления частиц грунта при сдвиге.

Для оценки параметров распределения расходов наносов используется композиционный метод, который позволяет найти параметры кривой распределения функции через параметры кривой распределения ее аргументов. Аргументами в формуле (1) являются расход воды и средняя глубина потока, функцией – расход наносов. Кривые распределения суточных расходов воды обеспечены, как правило, достаточно продолжительными и надежными по качеству рядами наблюдений. Средняя глубина потока рассчитывается по кривой  $Q=f(H)$ .

Для приведения суточных расходов воды к нормальному закону распределения используется нормализация суточных значений расходов воды  $\varphi_i = \ln(Q_i + 1)$ . Исходными данными для расчета являются:

1. Параметры распределения нормализованных значений суточных расходов воды (среднее значение, среднее квадратичное значение).

2. Вид и параметры функции  $Q=f(H)$ .
3. Значение среднего уклона русла.
4. Крупность донных отложений.
5. Параметры формулы (1) для разных фаз водности – половодье, межень и период средней водности.

Основными этапами моделирования являются:

1. Генерирование ряда нормально распределенных случайных чисел.
2. Полученный ряд преобразовывается в ряд суточных расходов воды операциями, обратными нормированию и нормализации.
3. Расчет значений средних глубин потока при соответствующих расходах воды по функции  $Q=f(H)$ .
4. Вычисление значений расходов наносов при полученных расходах воды и значениях средней глубины потока по формуле (1).
5. Построение кривой распределения расходов наносов и оценка ее параметры.

Приведенный метод расчета позволяет оценить годовые значения твердого стока:

- для рек, неосвещенных данными наблюдений за расходами наносов;
- для рек, неосвещенных данными наблюдений за расходами воды и наносов (параметры распределения расходов воды оцениваются по картам нормы стока или рекам-аналогам);
- при изменении параметров распределения расходов воды в результате различных антропогенных мероприятий (на водосборе или русле реки) или изменения климата.