

## УТОЧНЕНИЕ УСЛОВИЙ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЧНЫХ РУСЕЛ

Боровков В.С.<sup>1</sup>, Брянская Ю.В.<sup>1</sup>, Волинов М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «МГСУ», <sup>2</sup>ГНУ «ВНИИГиМ имени А.Н.Костякова», Россия

Оценка устойчивости речных русел к размыву и заилению необходима при разработке русловыправительных сооружений, решении гидроэкологических и гидротехнических задач, вопросов регулирования и поддержания судоходных водных путей.

Поиски критериев устойчивости речных русел в настоящее время ведутся по двум основным направлениям, одно из которых основывается на анализе факторов, определяющих взвешивание, транспорт и осаждение внутри руслового материала и наносов, поступающих с водосборных территорий. Другое направление опирается на гидрологические связи и морфометрические параметры речных русел. Этот подход позволяет использовать обширный материал гидрологических наблюдений и русловых изысканий. Внимание к этому подходу возросло после работ К.В.Гришанина, который предложил инвариант устойчивого русла в виде следующего комплекса.

$$M = \frac{h \left[ \left( \frac{\rho_m}{\rho} - 1 \right) g B \right]^{1/4}}{Q^{1/2}}, \quad (1)$$

где  $\rho$ ,  $\rho_m$  – плотность воды и внутрируслового твердого материала;  $B$ ,  $h$  – ширина и глубина русла соответственно;  $Q$  – расход воды для расчетного периода.

Ценность предложенного инварианта  $M$  очевидна для решения многих инженерно-экологических задач, связанных с регулированием русел, а так же при проектировании судоходных прорезей.

К.В.Гришаниным была сделана попытка теоретического обоснования этого критерия. При этом сформулирован ряд априорных допущений и предположений, открывающих возможность для его уточнения. Комплекс  $M$  рассматривается как универсальная постоянная для прямолинейных участков речных русел, значение которой для рек любой водности и протяженности оказывается близким к  $0,92 \pm 0,15$ . С учетом этого К.В.Гришанин делает следующее заключение: «на устойчивых участках рек с мелкозернистыми донными отложениями величина  $M$  инвариантна не только локально, но и повсеместно – она приблизительно одна и та же на всех устойчивых прямолинейных участках». При  $M > 1$  русло заливается, при  $M < 1$  происходит размыв русла.

Выполненный анализ данных натуральных изысканий на многих водных объектах показал, что на величину  $M$  оказывает влияние относительная шероховатость  $\frac{d}{h}$  (где  $d$  – крупность внутрируслового материала), заметное при малых глубинах водотока и крупном русловом материале, однако для равнинных рек изменение  $\frac{d}{h}$  слабо влияет на величину  $M$ . С учетом степени влияния относительной шероховатости, установленной на основе анализа натуральных данных, получено выражение критерия устойчивости речных русел в виде:

$$M = 0,82 \left( \frac{h}{B} \frac{h}{d} \right)^{1/4} i^{1/6} \quad (2)$$

Полученное выражение (2) показывает, что величина комплекса  $M$  определяется главными геометрическими характеристиками русла: шириной  $B$ , глубиной  $h$ , а также крупностью донных наносов  $d$ . Уклон русла, связанный с сопротивлением русла и входящий в (2) в весьма малой степени, оказывает слабое влияние на комплекс  $M$ , который для равнинных водотоков можно записать в виде:

$$M = K \left( \frac{h}{B} \frac{h}{d} \right)^{1/4} \quad (3)$$

где числовой коэффициент  $K$  – слабо изменяющаяся величина, близкая к 0,35.

Для рек горно-предгорной зоны величина  $K$  изменяется в пределах от 0,57 до 1,3, что объясняется влиянием существенно больших уклонов. Для наиболее крупных и средних равнинных рек опытные значения  $M$  остаются близкими к аппроксимации

$$M = 0,35 \left( \frac{h}{B} \frac{h}{d} \right)^{1/4} \quad (4)$$

Полученное выражение (4) может быть использовано для оценочных расчетов устойчивости равнинных рек.

Таким образом, получена обобщающая форма критерия устойчивости русел рек (2), справедливая как для равнинных рек, так и для рек горно-предгорной зоны.