



Расчет неразмывающих скоростей в горных реках Азербайджана

Ф.Ш. Ахмедов, Ф.А. Иманов, Е.В. Джавадзаде

*ОАО «Азерсу», Научно-исследовательский и проектный институт «Суканал»,
Баку, Азербайджан, farda_imanov@mail.ru*

Аннотация. В данной статье представлены расчетные формулы для определения значений средней и придонной допускаемой неразмывающей скорости частиц в руслах горных рек. Полученные формулы основываются на законе сохранения импульса и применимы для однородных и разнородных потоков. Выполнено сравнение рассчитанных значений неразмывающих скоростей, полученных по предложенным формулам и широко применяемыми формулами Ц.Е. Мирцхулава.

Ключевые слова: *горные реки, русло, донные частицы, неразмывающая скорость, подрусловые воды, водозаборные сооружения*

Ссылка для цитирования: Ахмедов Ф.Ш., Иманов Ф.А., Джавадзаде Е.В. Расчет неразмывающих скоростей в горных реках Азербайджана. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Том 1. – Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО «Промоушн», 2020, с. 351–354.

Calculation of non-eroding velocities in mountain rivers of Azerbaijan

F.S. Akhmedov, F.A. Imanov, E.V. Javadzade

*“Azersu” OJSC, Research and Design Institute “Sukanal”, Baku, Azerbaijan,
farda_imanov@mail.ru*

Abstract. This article presents calculation formulas for determining the values of the average and bottom permissible non-eroding velocity of particles in mountain river beds. The formulas obtained are based on the law of conservation of momentum and are applicable for homogeneous and heterogeneous flows. Comparison of the calculated values of non-erosion velocities obtained by the proposed formulas and the widely used formulas of Ts.E. Mirtskhulava.

Key words: *mountain rivers, channel, bottom sediments, non-eroding velocity, under-channel waters, water intake facilities*

Cite this article: Akhmedov F.S., Imanov F.A., Javadzade E.V. Calculation of non-eroding velocities in mountain rivers of Azerbaijan. In: Chernomorets S.S., Viskhadzheva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th International Conference (Dushanbe–Khorog, Tajikistan). Volume 1. Dushanbe: “Promotion” LLC, 2020, p. 351–354.

Введение

Водные ресурсы Азербайджана ограничены и распределены по территории неравномерно. К тому же около 70% поверхностных водных ресурсов приходятся на долю трансграничных рек, которые поступают в Азербайджан сильно загрязненными [Иманов, 2016]. Поэтому в целях водоснабжения широко используются подрусловые воды, т.е. грунтовый поток, формирующийся под руслом горных рек и питающихся за

счёт ниже залегающего грунтового потока и фильтрации речных вод [Алакбаров и др., 2008]. Эти воды забираются в целях водоснабжения через инфильтрационные водозаборы, расположенные вдоль русла реки или же через подрусловые водозаборы, расположенные непосредственно под руслом реки. В Азербайджане, для водоснабжения населенных пунктов построены 12 таких гидротехнических сооружений, с различной производительностью [www.azersu.az].

Эти водозаборные сооружения регулярно подвергаются воздействию паводков. Во время прохождения паводков в результате изменения скоростного режима потока, размываются дно и берега речных русел, уменьшается толщина защитного и фильтрационного слоя над дренажными трубами, в водозаборные сооружения проникают воды повышенной мутности.

Для изучения этого вопроса начаты исследования на двух горных реках (Кусарчай и Кудиалчай), бассейны которых расположены на северо-восточном склоне Большого Кавказа. Производительность водозаборных сооружений на этих реках составляет 60 и 110 л/сек., соответственно.

Планируются работы по комплексному исследованию русловых процессов (устойчивость русел, русловые деформации, формы руслового рельефа и т.д.) на изучаемых участках рек. На основе проведённых исследований будут разработаны рекомендации для улучшения работы водозаборных дренажных сооружений и защиты их от опасного воздействия паводков.

В данной статье приводятся предварительные результаты по исследованию неразмывающей скорости донных отложений, которая для данного грунта характеризует устойчивость его на дне потока. Наиболее распространенными являются формулы Ц.Е. Мирцхулавы, В.Н. Гончарова, И.И. Леви, А.М. Латышенкова, Б.И. Студеничкина [Чалов, 2015].

Расчетные формулы

Известно, что большой диапазон уклонов горных рек и высокая кинетичность потока обуславливают большое разнообразие условий формирования русел. На исследуемых реках водозаборные сооружения построены на расширенных участках, т.е. в предгорной зоне. На этих участках русла рек характеризуются с неразвитыми аллювиальными формами. Здесь существенным фактором развития русла является соизмеримость их глубин с размерами галечно-валунных и валунно-глыбовых руслообразующих наносов [Чалов, 2015].

Согласно Ц.Е. Мирцхулаве [1988], на отдельную частицу грунта, находящуюся на дне потока, действуют сила скоростного напора, подъемная сила и сила тяжести (веса) частицы.

В данной работе частица грунта (обломок горной породы) принята в форме прямоугольной призмы.

По закону сохранения импульса, изменение количества движения обломка горной породы в русле реки равна сумме импульсов действующих сил:

$$mdv = \sum_{i=1}^n F_i dt. \quad (1)$$

С учетом сил, действующих на частицу грунта, выражение (1) можно записать в виде:

$$mdv = \left[mg \sin \alpha + \frac{1}{2} \rho v^2 \omega_1 - \mu (mg \cos \alpha - \rho_b Vg) \right] dt, \quad (2)$$

Здесь: $m = \rho_0 abc$ - масса частицы грунта; $F_1 = mg \cos \alpha = \rho_0 abc g \cos \alpha$ - слагаемая силы тяжести частицы грунта, направленная перпендикулярно ко дну русла; $F_{II} = mg \sin \alpha = \rho_0 abc g \sin \alpha$ - слагаемая силы тяжести частицы грунта, направленная по течению реки; ρ_0 - плотность частицы грунта; ρ_b - плотность воды, свободной от наносов; ρ - плотность селевого потока; ω_1 - площадь частицы грунта по направлению

течения; $F_A = \rho_b v g = \rho_b a b c g$ - сила Архимеда; $F_s = \frac{1}{2} \rho v^2 \omega_1$ - сила давления селевого потока на площадь ω_1 ; μ - общий коэффициент сопротивления, оказываемой движению потока со стороны обломка породы; $\sin \alpha = i$ - уклон исследуемого участка русла; $\cos \alpha = i_1 = \sqrt{1 - i^2}$, определяется по условию $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$. Учитывая это в выражении (2) получим:

$$a b c \rho_0 d v = \left[a b c \rho_0 g i + \frac{1}{2} \rho v^2 a b - \mu (a b c \rho_0 g i_1 - a b c \rho_b g) \right] d t. \quad (3)$$

Поскольку обломок породы принят в форме призмы с размерами a,b,c, то его средний размер определяется по выражению:

$$l = \sqrt[3]{a b c}, \quad (4)$$

и масса по формуле:

$$m = \rho_0 l^3, \quad (5)$$

Учитывая формулы (4) и (5) в выражении (3), получаем:

$$\rho_0 l^3 d v = \left[\rho_0 l^3 g i + \frac{1}{2} \rho v^2 l^2 - \mu (\rho_0 l^3 g i_1 - l^3 \rho_b g) \right] d t. \quad (6)$$

Обе стороны уравнения (6) делим на $\rho_0 l^3$, и получим:

$$d v = \left[g i + \frac{1}{2} \frac{\rho}{\rho_0 l} v^2 - \mu \left(g i_1 - \frac{\rho_b}{\rho_0} g \right) \right] d t. \quad (7)$$

Для равномерных потоков $d v / d t = 0$ и поэтому пишем:

$$g i + \frac{1}{2} \frac{\rho}{\rho_0 l} v^2 - \mu \left(g i_1 - \frac{\rho_b}{\rho_0} g \right) = 0. \quad (8)$$

После некоторых преобразований для обеспечения устойчивости донных частиц, неразмывающая скорость определяется по следующей формуле:

$$v^2 = \frac{2 \rho_0 l g}{\rho} \left[\mu \left(i_1 - \frac{\rho_b}{\rho_0} \right) - i \right]. \quad (9)$$

Обозначая

$$\left[\mu \left(i_1 - \frac{\rho_b}{\rho_0} \right) - i \right] = A \quad (10)$$

и учитывая это в выражении (9), получим:

$$v = \sqrt{\frac{2 \rho_0 l g}{\rho} \cdot A}. \quad (11)$$

В данной работе параметр A определен по рекомендациям Ц.Е. Мирцхулавы [1988] и получено $A=0,52$. Учитывая значение A в выражении (11) значение неразмывающей скорости на уровне выступов шероховатости определяется:

$$U_{\Delta \text{дон}} = \sqrt{\frac{1,04 \rho_0 l_{cp} g}{\rho_b}}. \quad (12)$$

С учетом параметра A , в выражении (10) коэффициент сопротивления определяется:

$$\mu = \frac{A+i}{i_1 \frac{\rho_b}{\rho_0}} \quad (13)$$

При $i=0$, получается:

$$\mu = \frac{A}{1 - \frac{\rho_b}{\rho_0}} \quad (14)$$

Значения неразмывающих скоростей, вычисленные по предложенной формуле оказались меньше соответствующих значений, полученных по известным формулам Ц.А. Мирцхулавы [1988].

Определение неразмывающей скорости для разнородных потоков

Во время паводков плотность речного потока, транспортирующего взвешенные вещества, находится в пределах 1100-1500 кг/м³. По сравнению с чистыми потоками, в таких потоках с увеличением массы единицы объема уменьшается скорость размыва частиц. Для обеспечения устойчивости частицы на дне русла сумма действующих сил в направлении движения потока должна быть равна нулю [Ибад-заде, 1986]. Это означает, что силы, действующие на частицу чистой от примесей потока и потока во время паводка, принимаются равными:

$$\left. \begin{aligned} F_r &= F_c \\ \text{или} \quad \frac{1}{2} \rho_b U_{1\Delta}^2 \cdot \omega_1 &= \frac{1}{2} \rho_c U_{2\Delta}^2 \cdot \omega_1 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где, F_r и F_c - силы действия на частицу, соответственно чистого потока и потока во время паводка; $U_{1\Delta}$ и $U_{2\Delta}$ - неразмывающие скорости, соответственно чистого потока и потока во время паводка. Из уравнения (15) для определения неразмывающей скорости в разнородном потоке опять получается формула (11).

Выводы

На основе закона сохранения импульса получены формулы для определения неразмывающих скоростей в горных реках. Однако, полученные по этим формулам значения неразмывающих скоростей оказались заниженными по сравнению с значениями, полученными по формулам Ц.А. Мирцхулавы. Планируется дальнейшее усовершенствование полученных формул с целью их применения для разработки рекомендаций по улучшению работы водозаборных дренажных сооружений и защиты их от опасного воздействия паводков.

Список литературы

- Алакбаров А.Б., Алиев Ф.Ш., Исафилов Ю.Г. и др. Геология Азербайджана. Т. VIII. Гидрогеология. Баку, Нафта-Пресс, 2008. 380 с.
Ибад-заде Ю.А. Гидравлика горных рек. Москва, Стройиздат. 1986. 160 с.
Иманов Ф.А. Водные ресурсы и их использование в трансграничном бассейне р. Куры. Санкт-Петербург: Свое издательство, 2016. 164 с.
Мирцхулава Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русел. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 304 с.
Чалов Р.С. Русловые процессы (Русловедение). Москва, ИНФРА-М, 2015. 565 с.
[http:// www.azersu.az](http://www.azersu.az)