

А.Ю. Сидорчук

ГИДРАВЛИКА СКЛОНОВЫХ ПОТОКОВ МАЛОЙ ГЛУБИНЫ С ШЕРОХОВАТЫМ ЛОЖЕМ

Расчеты интенсивности эрозии почв на склонах плоскостными и струйчатыми потоками требуют знания скорости этих потоков. Выбор формулы для расчета скорости потока определяется его режимом – ламинарным, транзитным или турбулентным, так как именно от режима потока зависит характер связи между скоростью, глубиной, уклоном и шероховатостью. Для ламинарного потока такая связь описывается законом Пуазейля: скорость прямо пропорциональна квадрату глубины и уклону в первой степени. В турбулентном потоке в шероховатом русле скорость прямо пропорциональна квадратному корню из глубины и уклона, здесь применима формула Шези. Для транзитных режимов единой формулы связи не существует.

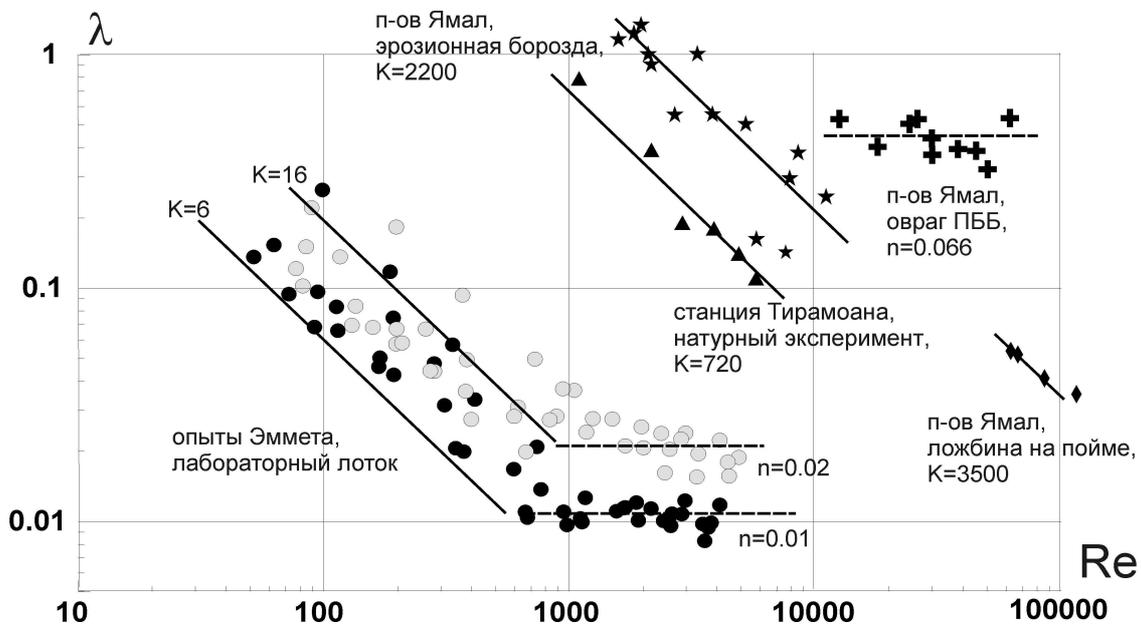
Все эти формулы эмпирические и получены в результате многочисленных экспериментов в трубах и открытых потоках. Результаты экспериментов часто оформляются в виде зависимости гидравлического сопротивления λ от числа Рейнольдса Re . Подавляющее большинство этих экспериментов проведено в потоках с большой относительной глубиной, где отношение глубины к высоте выступов шероховатости превышало (обычно существенно) 10-15. Результаты таких экспериментов вошли во все учебники по гидравлике: утверждается, что переход от ламинарного к турбулентному режиму происходит при числах Рейнольдса (вычисленных по гидравлическому радиусу потока) в диапазоне 300-580. Этот переход, также как характеристики ламинарного потока, не зависят от относительной глубины потока (см., например, учебник по гидравлике Богомолова и Михайлова, 1972, с. 84). Это утверждение противоречит немногочисленным опубликованным данным измерений в потоках с малой относительной глубиной, согласно которым переход от ламинарного к турбулентному режиму, как и характеристики ламинарного потока, зависят от шероховатости ложа (см. рис. X 8 в том же учебнике, с. 189, а также измерения Эммета (Emmett, 1970), приведенные на рис).

В этой связи представляют интерес наши измерения, проведенные в натуральных и экспериментальных потоках с относительной глубиной менее 10. Из многочисленных измерений, проведенных на полуострове Ямал (Сидорчук, 1999), рассмотрим гидравлику потоков в трех обстановках: в эрозионной борозде, в пойменной ложбине и в овраге. Наблюдения проводились во время снеготаяния в июне 1997 г, при разных расходах воды по длине водотоков измерялись уклоны, скорости течения, глубины и ширины потока. В овраге у пос. ПББ, выработанном в средних суглинках, на участке с уклоном 0.02-0.03 ширина потока изменялась от 0.8 до 2.3 м, средняя глубина – от 6 до 17 см, средняя скорость течения – от 0.33 до 0.74 м/с. Поток турбулентный, с отсутствием зависимости между гидравлическим сопротивлением λ и числом Рейнольдса Re . Шероховатость ложа потока значительная – среднее значение коэффициента в формуле Маннинга $n=0.066$, при изменчивости в диапазоне 0.04-0.09. В эрозионной борозде, промытой в таких же суглинках, продольный профиль невыработанный – уклон изменялся от 0.01 до 0.1, ширина – от 0.2 до 0.8 м, средняя глубина – от 1.6 до 3.5 см и средняя скорость

течения – от 0.096 до 0.98 м/с. Поток ламинарный, с обратной пропорциональной зависимостью между гидравлическим сопротивлением и числом Рейнольдса:

$\lambda = K/Re$, коэффициент $K=2200$. Ламинарный режим сохраняется в борозде при числах Рейнольдса около 10000. Примерно таким же был режим в экспериментальном лотке на станции Тирамоана (Сидорчук, 2009), ламинарный поток сохранялся при числах Рейнольдса 6000-7000.

Хорошо известны опыты в трубах, когда ламинарный режим сохранялся при числах Рейнольдса (вычисленных по диаметру трубы) вплоть до 20000-40000 [Ekman, 1910]. Это достигалось максимальным снижением шероховатости труб и устранением источников дестабилизации ламинарного потока. В случае с потоками малой относительной глубины ламинарный режим сохраняется вплоть до значений числа Рейнольдса 10000 при очень высокой шероховатости ложа потока и, видимо, благодаря этой шероховатости. Этот феномен делает невозможным априорное определение режима склонового потока и выбор расчетной формулы для оценки скорости потока без построения диаграммы $\lambda \sim Re$.



Наиболее интересным оказался поток в пойменной ложбине с уклоном 0.04-0.05, шириной 2.5-3.5 м, средней глубиной 20-30 см, со средней скоростью потока 0.9-1.3 м/с. Здесь ламинарный режим сохранялся до чисел Рейнольдса около 100000, видимо, благодаря значительной шероховатости заросшего высокой осокой ложа ($K=3500$). Однако этот случай допускает и иную интерпретацию: мы имеем дело с турбулентным потоком, который «управляет» шероховатостью ложа. С увеличением скорости течения стебли осоки ложатся по потоку и шероховатость ложа уменьшается. В потоках с переменной во времени шероховатостью ложа могут быть любые сочетания гидравлических сопротивлений и числа Рейнольдса (см. наши данные для р. Нигер в Сидорчук, 1992)