

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ НА ПРОГНОЗ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

ДЕГЕМБАЕВА Н.К.

*Московский государственный университет природообустройства, Москва, Россия*  
[dnadira@yandex.ru](mailto:dnadira@yandex.ru)

Приводятся данные о влиянии травянистых растений на кинематическую структуру потока, на процесс формирования речного русла и переформирования берегов рек. Показана возможность травянистой растительности на сопротивление движению потока и размыву, также в предотвращении эрозии в природоприближенно восстанавливаемых водных объектах. Приводятся эмпирические зависимости, позволяющие прогнозировать изменение гидравлических сопротивлений от высоты, густоты и гибкости травянистых растений.

The data is cited on the herbaceous plants influence to kinematic structure of flow, the river channels formation and reshaping river banks. The herbaceous vegetation potential is shown to the flow movement resistance and washing, also erosion prevention in the approximate nature form of rehabilitate water bodies. There provided empirical relationships allowing prediction of hydraulic resistance change of the height, density and herbaceous plants flexibility.

Динамическое воздействие потока и транспорт наносов обуславливают подвижность русловых образований. Их трансформация приводит к изменениям очертаний речного русла и их берегов. Различия в их формах, интенсивности и направленности проявления русловых процессов обуславливают такие факторы, как климатические условия формирования стока, геоморфологические строения территории и характер слагающих пород, почвенно-растительный покров, колебания отметок базисов эрозии и тектонические движения. Развитие руслового процесса очень часто затрудняет использование водных ресурсов в народном хозяйстве.

Важность рассматриваемого вопроса для различных областей речной гидротехники требует комплексного подхода, одним из основных аспектов которого является мониторинг процессов размыва берегов и изучение процессов формирования и переформирования берегов рек. Наиболее опасными в эрозионном отношении являются участки прирусловой поймы на вогнутых, подмываемых берегах, крутые изгибы русла реки. Знание закономерностей влияния растительности на развитие руслового процесса, а именно на размывающую и аккумуляющую способность потока в природоприближенно восстанавливаемых водных объектах позволяет правильно спрогнозировать дальнейший ход развития русловых деформаций, переформирование берегов.

Влияние растительности на формирование речного русла обуславливается повышением устойчивости грунта размыву, создаваемой армирующим эффектом травянистой и древесной растительности. Она увеличивает местные сопротивления и перераспределение скорости по

живому сечению, влияя на характер и структуру течения. Травянистая растительность в русле также оказывает укрепляющее действие, предохраняет дно русла от размывов. Выявлением закономерностей движения воды в заросших руслах, изучением влияния растительности на сопротивление движению потока занимались многие исследователи. Они установили, что береговая, прибрежная и русловая растительности влияют на многие кинематические характеристики речного потока своим местоположением и геометрическими параметрами, размерами и формой ее стеблей, размещением относительно оси русла, береговой линии, а также границ пойм, высотой, гибкостью стеблей и степенью густоты травяного покрова.

На основе анализа собственных экспериментальных данных получены экспериментальные зависимости изменения коэффициентов гидравлического трения по длине, гибкости, коэффициенту лобового сопротивления стеблей травянистых растений, числа Рейнольдса, их диаметру, а также предложены графические зависимости, позволяющие прогнозировать изменение гидравлических сопротивлений от высоты, густоты и гибкости травянистых растений, а также геометрии расположения растительности в плане. Для этой цели рассматривалась следующая зависимость, предложенная Нгуен Таем:

$$\lambda_h = f(\text{Re}_h, \frac{t}{h}, \rho_{\text{раст}} h^2, \Gamma_h), \quad (1)$$

где  $\lambda_h$  – коэффициент гидравлического трения по длине;  $\text{Re}_h$  – число Рейнольдса в заросшем русле,  $t/h$  – относительная высота стеблей,  $\rho_{\text{раст}}$  – плотность стеблей растений,  $h$  – глубина потока воды,  $\Gamma_h$  – гибкость стеблей растений.

При движении потока в заросшем русле растительность способна изменять свое положение. Положение стеблей определяется соотношением его жесткости и величины внешних сил. Если внешние силы, действующие на стебель, больше, то стебель отклоняется от вертикального положения. Деформационное воздействие потока в этом случае определяется критерием гибкости, предложенным Нгуен Таем:

$$\Gamma_h = \frac{h^4 V^2 \rho_p}{EJ}, \quad (2)$$

где  $h$  – глубина потока воды;  $V$  – скорость потока;  $\rho_p$  – плотность размещения стеблей растений определенная по формуле  $\rho_p = m/W$ , здесь  $m$  – масса и  $W$  – объем стебля растений, определенный по формуле  $W = \pi d_p h_p$ ;  $d_p$  – диаметр и  $h_p$  – высота растений;  $E$  – модуль упругости стеблей растений;  $J$  – момент инерции поперечного сечения стеблей растений.

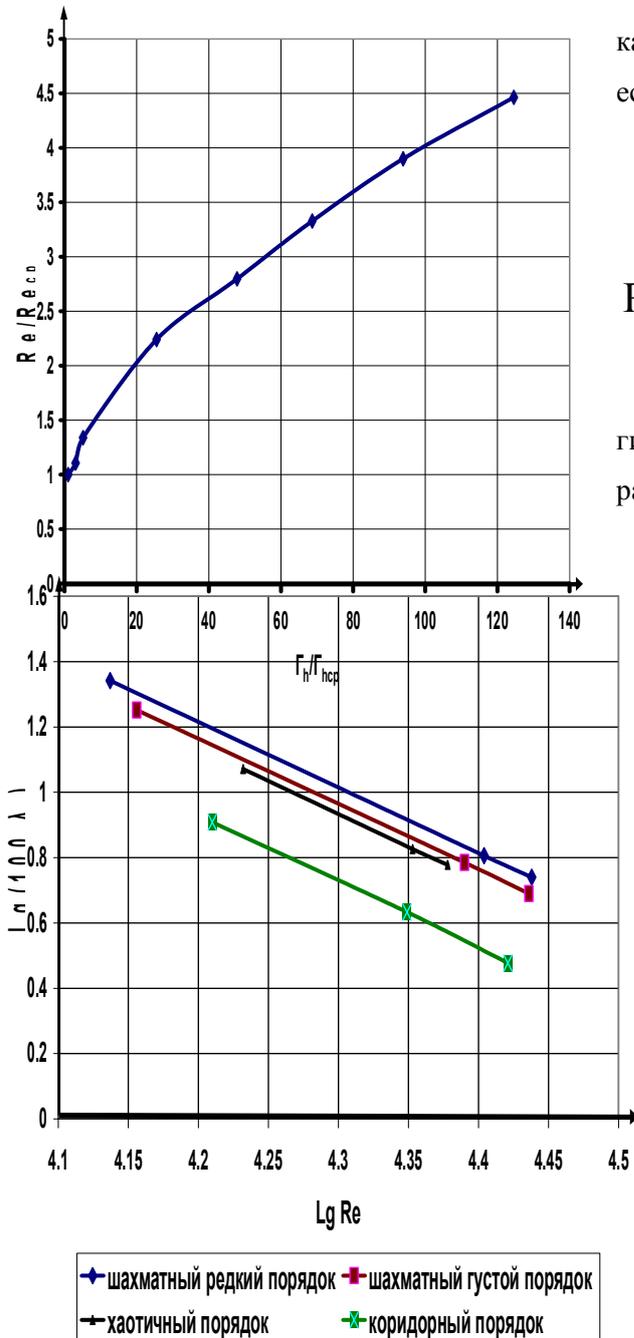
Коэффициент гидравлического сопротивления для открытых русел принято определять по формуле:

$$\lambda_h = \frac{8ghi}{V^2}. \quad (3)$$

Коэффициент лобового сопротивления одного стебля определяется из выражения, предложенного Д.А.Асановой

$$C_p = \frac{\lambda - \lambda_0}{d \cdot t \cdot K}, \quad (4)$$

где  $C_p$  – коэффициент лобового сопротивления стебля;  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения по длине в заросшем русле;  $\lambda_0$  – коэффициент гидравлического трения по длине в русле без растительности;  $d$  – диаметр стебля;  $t$  – высота стебля;  $K=N/\omega$  – количество стеблей, приходящихся на  $1\text{ м}^2$ .



Число Рейнольдса может быть подсчитано как по диаметру стеблей  $d_p$ , так и для потока, то есть

$$Re_d = \frac{v4d_p}{\nu}. \quad (5)$$

$$Re_h = \frac{v4h_o}{\nu}. \quad (6)$$

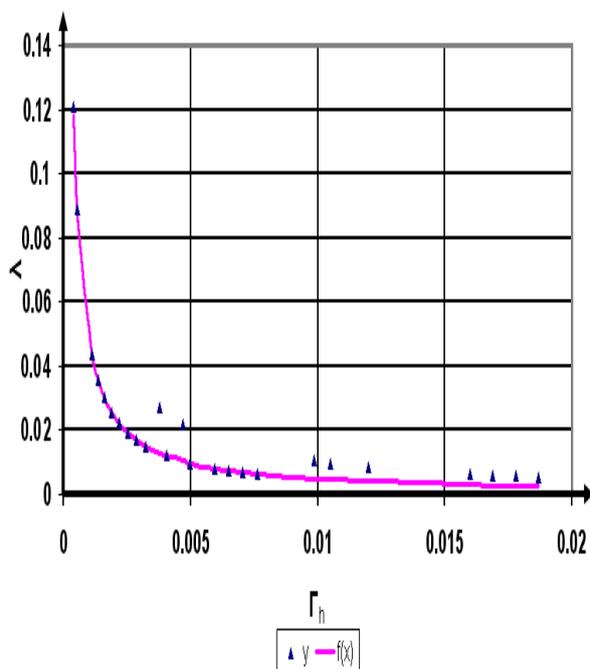
Характер зависимости коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса для растений различного вида и различной высоты стеблей, как правило, рассматривался в виде графика зависимости  $\lambda=f(Re)$  (рис.1). Величины коэффициента гидравлического трения по длине  $\lambda_h$ , были определены для различных вариантов расположения растительности с различной высотой в плане. Результаты Рис.1. Зависимость  $\lambda=f(Re)$ .

наших опытных данных показали, что при относительной высоте стеблей 1,363 максимальные значения коэффициента гидравлического трения были больше, чем для растительности относительной высотой 0,909 и 0,227. В случае

частичного полегания растительности за высоту стебля принимались вертикальные

размеры модельных и естественных растений, поскольку горизонтальные элементы оказывают малое влияние на сопротивление, как бы экранируя поверхность дна.

Густота «посадки» растительных элементов в наших экспериментах варьировалась от 50



до 288 шт/м<sup>2</sup>. При этом максимальные значения коэффициента гидравлического трения были получены для шахматного редкого расположения растительности, а минимальные значения – для хаотичного расположении модельных растений. График  $\lambda=f(Re)$  показывает, что значения коэффициента гидравлического трения  $\lambda$  увеличивались с уменьшением плотности посадки стеблей растений.

Для обоснования перехода зависимости от  $\lambda=f(Re)$  к  $\lambda=f(\Gamma_h)$  мы установили связь Рис.2. Зависимость  $Re=f(\Gamma_h)$  между числом Рейнольдса и критерием гибкости. Первая из них характеризует состояние и поведение потока в

открытом русле, она определяется в основном воздействием вязкости и силы тяжести на силы инерции потока. Вторая – прочностные показатели материала стеблей. Рассматриваемые показатели зависят от скорости потока. Для обоснования нами построена зависимость вида  $Re=f(\Gamma_h)$  (рис.2). Из графика видно, что с увеличением значения коэффициента гибкости стеблей увеличивается значение числа Рейнольдса. Такое увеличение этих значений совпадает с опытными данными Нгуен Тая.

Деформационное воздействие потока на стебли растений, определенное с помощью критерия гибкости по формуле (2), и результаты, полученные по ней, показаны на графике  $\lambda=f(\Gamma_h)$  (рис.3). Из графика видно, что с увеличением значения гибкости  $\Gamma_h$  значения коэффициента гидравлического трения по длине  $\lambda$  уменьшаются. Также с увеличением значения числа  $Re$  увеличиваются значения гибкости. Максимальные значения гибкости были получены при густом, а минимальные – при редком расположении стеблей растений. При этом модуль упругости  $E$  для естественных растений был принят  $E=21000$  кг/см<sup>2</sup>. Момент инерции стебля естественных растений подсчитывался нами как для плоских форм; для расчета принималось среднее значение момента инерции, что обуславливается изменчивостью поперечного сечения стеблей. Полученные значения гибкости для естественных трав по сравнению с модельными растениями были большими.

Для аппроксимации зависимости  $\lambda=f(\Gamma_h)$  нами была предложена зависимость показательного типа

$$\lambda = \frac{0,000513}{\Gamma_h^{0,991}} \quad (7)$$

Таким образом, можно отметить, что Рис.3. Зависимость  $\lambda=f(\Gamma_h)$ . увеличение значения коэффициента гидравлического трения в заросшем русле зависит от

высоты, гибкости и густоты растительности. Также травянистая растительность в естественных и искусственных руслах рассматривается как разновидность поверхностной шероховатости. Она оказывает сопротивление движению водного потока и формирует иную кинематическую структуру последнего. В то же время растительность уменьшает скорость потока и тормозит его движение. Ее действие на поток зависит от высоты, густоты, занимаемой площади и типа растений.

#### Литература

1. Асанова Д.А. Лабораторные исследования каналов, заросших камышом. – В кн.: Гидравлические исследования и расчеты гидромелиоративных сооружений. – М., 1982.
2. Нгуен Тай. Гидравлическое сопротивление русел с высокой шероховатостью: Дисс... Д-техн. наук. –М., 1983.
3. Румянцев И.С., Чалов Р.С., Кромер Р. Нестманн Ф. Природоприближенное восстановление и эксплуатация водных объектов/Под редакцией И.С.Румянцева. –М.: МГУП, 2001.
4. Чоу В.Т. Гидравлика открытых каналов. – М., 1969.
5. Дегембаева Н.К. Влияние травянистых растений на гидравлические сопротивления потока//Мелиорация и Водное хозяйство, №5, 2006.