

РЕЧНАЯ ГИДРАВЛИКА И СВОЙСТВА РУСЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

RIVER HYDRAULICS AND PROPERTIES OF FLUVIAL SEDIMENTS IN THE URBAN AREAS

В.Н. Байков, В.А. Курочкина, Д.В. Писарев

V.N. Baykov, V.A. Kurochkina, D.V. Pisarev

ГОУ ВПО МГСУ

Приводятся результаты натурных исследований распределения скоростей и турбулентности в речных потоках различной водности. Показано, что русловые отложения в водотоках на урбанизированных территориях содержат большое количество токсичных веществ, которые должны удаляться при очистке речных русел.

In the article are presented the results of researches about distribution of speeds and turbulence in various river streams. It is shown that fluvial sediments in the urbanized territories contain a large amounts of toxic substances which should be removed when there is a cleaning the riverbeds.

Урбанизация территории оказывает возрастающее влияние на речную гидравлику и свойства русловых отложений, которые определяют ход русловых процессов и общее экологическое состояние водотоков.

Имеющиеся сведения о речной гидравлике и свойствах русловых отложений были получены для условий, когда эффекты, связанные с урбанизацией проявлялись слабо или отсутствовали полностью, поэтому полученные ранее данные и закономерности должны быть проверены результатами специальных исследований на реках, находящихся в условиях значительного влияния факторов урбанизации.

В качестве таких водных объектов были выбраны р.Москва и р.Яуза (в пределах г.Москвы), р.Клязьма (в районе г.Орехово-Зуево) и р.Киржач в ее нижнем течении на участке пересечения с автодорогой Москва – Нижней Новгород.

Эти водотоки в различной степени подвержены воздействию техногенных и антропогенных факторов, имеют существенно различные морфологические и гидрологические характеристики и в связи с этим представляют значительный интерес для исследователей.

Поскольку все процессы, происходящие в водном потоке и в русле, зависят от скоростного режима, было детально исследовано распределение скоростей по глубине на различных вертикалях в поперечном сечении речных потоков. Измерение скоростей в основной толще потока производилось стандартными гидрометрическими вертушками, в придонной зоне – микровертушками с размахом лопастей крыльчатки 20мм.

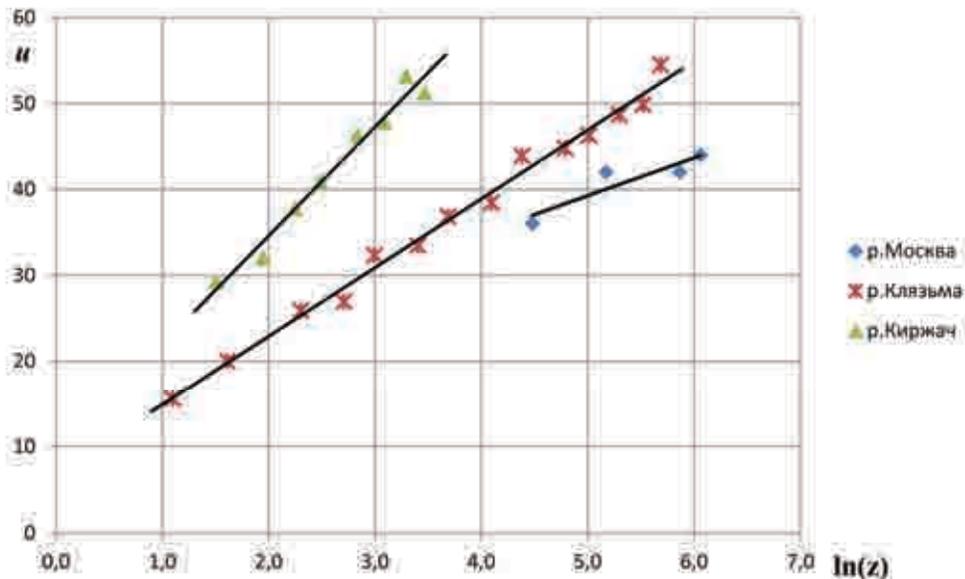
Для установки вертушек, а в потоке применялись цилиндрические вешки с делениями, снабжённые на конце опорной пластиной, от уровня которой отсчитывалась вертикальная координата z . Ориентация микровертушек производилась по направлению вектора осредненной местной скорости.

В данной работе рассматривалась возможность использования логарифмического и степенного профилей для описания распределения скоростей в речных потоках.

Полученные данные показали, что результаты измерений удовлетворительно согласуются (рис.1) для всех исследованных водотоков с профилем логарифмического вида:

$$u = \frac{1}{\kappa} \ln z + C, \quad (1)$$

где z – расстояние от дна, κ – параметр Кармана, C – константа интегрирования.



Для определения динамической скорости $u_* = \sqrt{\tau_0} / \rho$, являющейся характеристикой донного касательного напряжения τ_0 использовалось следующее соотношение, полученное из выражения (1):

$$u_* = \frac{u_1 - u_2}{\frac{1}{\kappa} \ln \frac{z_1}{z_2}}, \quad (2)$$

где u_1, u_2 – скорости потока в точках с координатами z_1, z_2 , соответственно.

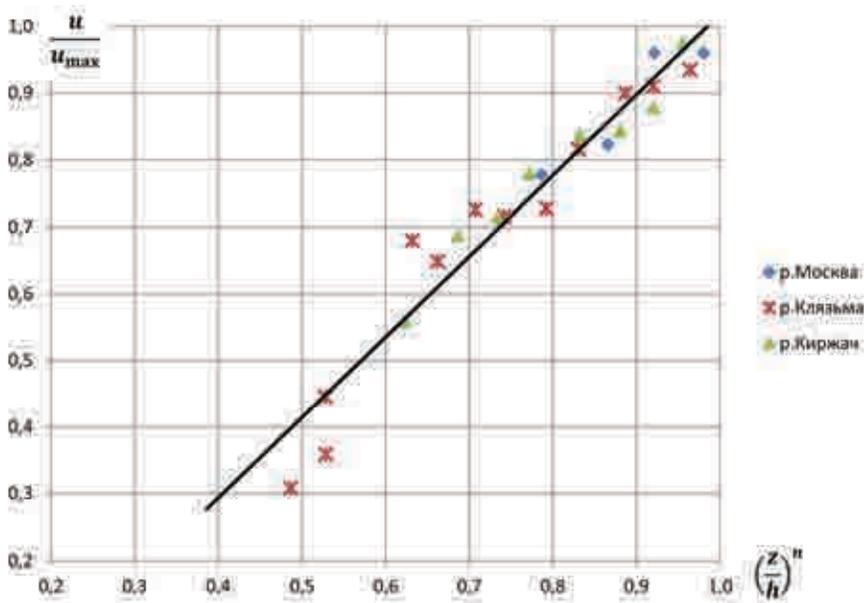
При определении динамической скорости параметр Кармана κ , первоначально принимался постоянным и равным 0,4. Далее это значение уточнялось.

Известно, что распределение скоростей из общих соображений кинематического подобия может быть представлено не только в логарифмическом, но и в степенном виде [2]:

$$\frac{u}{u_{\max}} = \left(\frac{z}{h} \right)^n, \quad (3)$$

где h – глубина потока; u_{\max} – максимальная скорость на вертикали.

Полученные данные показали, что результаты измерений удовлетворительно согласуются с профилем степенного вида (рис.2).



Параметр n , зависящий по А.Д. Альтшулю от коэффициента гидравлического сопротивления λ ($n = 0,9\sqrt{\lambda}$) определялся по данным измерений:

$$n = \frac{\ln \frac{u}{u_{\max}}}{\ln \frac{z}{h}} \quad (4)$$

По найденному значению n определялась λ и динамическая скорость по соотношению:

$$u_* = \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{8}} u_{\text{cp}}, \quad (5)$$

где u_{cp} – средняя скорость на вертикали.

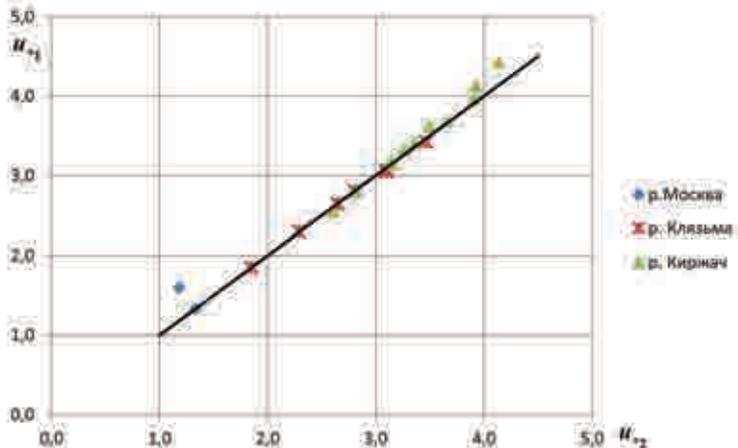
Значение средней скорости для каждой вертикали было получено интегрированием профиля скорости по данным натурных измерений.

Выполненное сопоставление динамических скоростей определённых двумя разными способами, приведенными выше, показало (рис.3), что результаты практически совпадают при корректировке параметра Кармана до значения 0,35. Близкое значение этого параметра было найдено Т. Карманом на основе анализа опытов Никурадзе [6]. Аналогичные значения параметра Кармана были получены при исследовании р. Москвы В.С. Боровковым и Ф.Г. Майрановским [4].

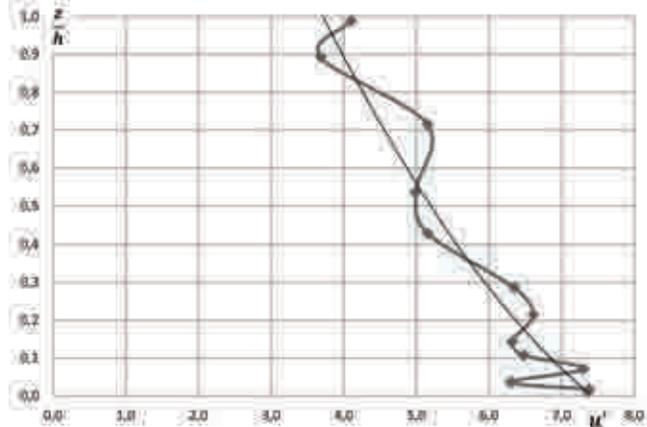
Найденные по степенным профилям скорости значения коэффициента λ , для каждой вертикали использовались также для определения величины эквивалентной шероховатости в предположении квадратичного режима сопротивления речного русла.

Поскольку величина k_s связана с русловым микрорельефом, были выполнены подробные измерения рельефа дна на участках протяжённостью 40м. Статистический анализ позволил определить, что среднеквадратичное отклонение отметок рельефа дна

от средней линии для реки Киржач составляет 4,28см, что не сильно отличается от найденной величины k_s .

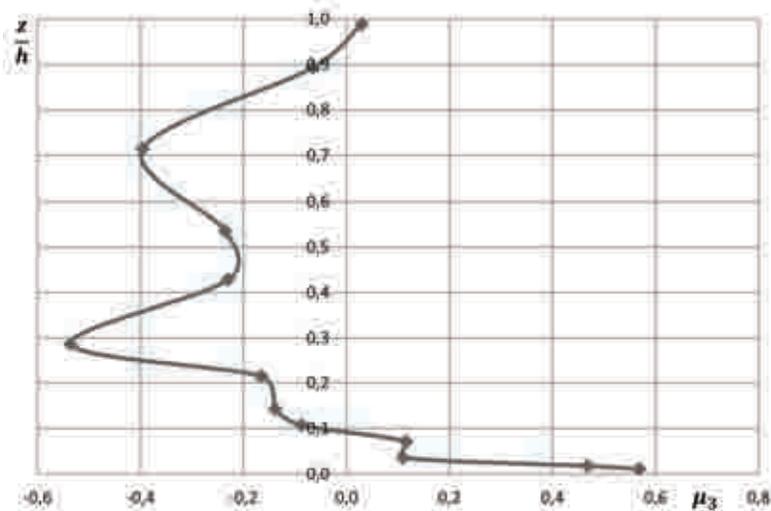


Массообменные и русловые процессы в водотоках в значительной мере определяются речной турбулентностью, которая изучена недостаточно. Вычисление статистических характеристик турбулентности по частотно-модулированному сигналу микровертушек производилось с использованием пакета программ Microsoft Excel. В результате обработки данных измерений было установлено изменение стандартов продольных турбулентных пульсаций скорости по глубине речных потоков (рис.4) и их вероятностные характеристики.



Данные представленные на рис.4 показывают, что стандарт продольных пульсаций скорости максимален в придонной зоне потока и уменьшается к его поверхности. Соотношение стандарта донных и поверхностных пульсаций скорости близко к 1,87.

Принято считать, что турбулентные пульсации скорости представляют собой стохастический процесс с нормальным распределением вероятностей. Статистический анализ показал, что имеются заметные отклонения от нормального распределения вероятностей. В придонной зоне потока обнаруживается асимметрия пульсаций, указывающая на преобладание пульсаций скорости положительного знака (рис.5).



В основной зоне потока при $z/h > 0,1$ коэффициент асимметрии μ_3 [1] изменяет знак на отрицательный, что указывает на преобладание здесь пульсаций скорости отрицательного знака. С приближением к поверхности потока распределение пульсаций скорости становится симметричным.

Распределение скоростей и турбулентность речных потоков определяют процессы распространения осадения взвесей, поступающих с урбанизированной территории в речной поток.

Поскольку негативное воздействие урбанизации на водные объекты с разной степенью интенсивности продолжается более 100 лет, объемы загрязненных отложений, накопленных в речных руслах, в ряде случаев достигают критических значений. Загрязненные русловые отложения, обладающие повышенной устойчивостью к размыву не могут быть удалены речным потоком самостоятельно, что требует разработки и осуществления инженерных мероприятий по очистке русел и утилизации изымаемых при этом загрязненных речных илов.

При обосновании инженерных мероприятий необходимы данные по объему и составу загрязненных донных отложений, накапливающихся в русле за период времени, в течение которого осуществляются интенсивное поступление поверхностного стока с урбанизированной территории и водоотведение сточных вод в водоток.

Анализ ситуаций, характерных для крупных городов РФ, позволил определить средний укрупненный показатель поступления взвесей в водотоки, протекающие в пределах урбанизированных территорий, которое оказалось близким к 50 кг/год.чел. При определении этого показателя учитывалась численность городского населения, размер территории города и наиболее значимые источники поступления взвесей (поверхностный сток, промышленные и хозяйственные сточные воды, подземный сток и др.). Полученный укрупненный показатель позволяет оценить интенсивность заиления рек, протекающих в пределах городов. Так, например, в пределах г.Москвы, с населением 10,4 млн. чел. количество мутьевых загрязнений, поступающих в реку Москву, составит $L=490 \cdot 10^3$ т/год. [3].

При длине городского участка реки Москвы в 44 км и при средней плотности илистых взвесей $1,4 \text{ т/м}^3$, толщина отложений на этом участке русла ежегодно нарастает на 3-3,5 см в год, что подтверждается данными наблюдений.

Вследствие того, что источники формирования русловых отложений в водотоках на урбанизированных территориях весьма разнообразны, в механическом составе отложений представлены мелкодисперсные частицы техногенного, антропогенного и естественного происхождения (пыль, ил, песок различной крупности, частицы абразивного износа автошин и пр.).

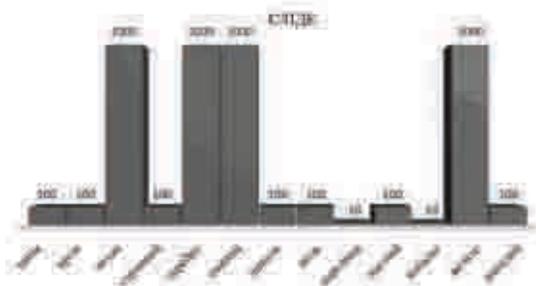
Наиболее сильное негативное воздействие на экологическое стояние водного объекта загрязненные мелкодисперсные взвеси оказывают на участках, протяженность которых от места поступления в водоток загрязненных стоков, может быть установлена с учетом скорости осаждения частиц $W_{гр}$, глубины потока h и скорости течения V .

Протяженность загрязненного участка речного русла L_c можно определить как:

$$L_c = \frac{h}{W_{гр}} V \quad (6)$$

Согласно данным выполненных расчетов, протяженность загрязненных участков русла L_c на малых и средних реках может достигать нескольких десятков километров.

В качестве необходимого мероприятия по улучшению экологического состояния водотоков на урбанизированных территориях следует предусматривать очистку русла от загрязненных донных отложений, в составе которых содержатся различные соединения тяжелых металлов (рис.6). Концентрация тяжелых металлов в донных отложениях (С) может превышать предельно допустимую концентрацию этих металлов (ПДК) в воде на 2-3 порядка [5].



Выполненные исследования показали, что песчаные частицы, содержание которых в донных отложениях достигает 40-60%, могут быть отделены от мелкодисперсных илистых фракций и использованы в строительстве и производстве строительных материалов, поскольку они практически не содержат вредных примесей, которые адсорбированы мелкодисперсными частицами.

Мелкодисперсная составляющая загрязненных донных отложений, содержащая значительное количество органики, после отделения песка и обработки с целью удаления вредной микрофлоры может быть использована при выполнении ландшафтно-планировочных работ, в городском зеленом хозяйстве, при лесопосадках и рекультивации отработанных карьеров.

Выводы:

1. Распределение скоростей по глубине речного потока может быть представлено в виде распределений логарифмического или степенного вида.
2. Уровень интенсивности турбулентности, наблюдаемый в придонной зоне потока, в 1,87 раза превышает уровень турбулентности поверхностных слоев потока.
3. Распределение вероятностей стандартов продольных пульсаций скорости обнаруживает асимметрию, указывающую на преобладание положительных пульсаций в придонной области и пульсаций отрицательного знака в основной толще потока.

4. Руслонные техногенные отложения в пределах урбанизированных территорий обладают повышенной связностью и устойчивостью к размыву, содержат высокие концентрации токсичных примесей и должны удаляться из русла при осуществлении мероприятий по улучшению экологического состояния городских водотоков.

5. Полученные гидравлические и турбулентные характеристики речных потоков могут быть использованы для прогнозирования распространения примесей при экологическом мониторинге городских водных объектов.

Данная работа выполнена в рамках ФЦП научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009-2013гг.

Литература

1. Бендат Дж., Пирсал А. Измерение и анализ случайных процессов. – М.: МИР, 1974.
2. Богомолов А.И., Боровков В.С., Майрановский Ф.Г. Высокоскоростные потоки со свободной поверхностью. – М.: Стройиздат, 1979.
3. Богомолова Т.Г., Курочкина В.А. Загрязнение речных русел на урбанизированных территориях и инженерные мероприятия по улучшению их экологического состояния. – М.: Вестник МГСУ, 2010, №4, т.2, с.399-405.
4. Боровков В.С., Майрановский Ф.Г., Халабаева Т.Н. Исследование параметров речного потока и деформаций русла в паводок. – М.: Водные ресурсы, 1974, №6.
5. Курочкина В.А. Очистка речных русел и использование речных илов в зеленом строительстве. – М.: Вестник МГСУ, 2010, №4, т.2, с.45-51.
6. Проблемы турбулентности. Сборник переводных статей под ред. М. А. Великанова и Н. Т. Швейковского. – М.-Л.: ОНТИ, 1936.

References

1. G. Bendat and A. Pirsal. *Measurement and Analysis of Random Processes [Russian translation]*, Mir, Moscow, 1974.
2. D.I. Bogomolov, V.S. Borovkov, and F.G. Mayranovskiy. *High-Speed Flows with Free Surface*. Stroiizdat, Moscow, 1979
3. T. Bogomolova, V. Kurochkina. *Pollution of urbanized rivers and engineering conception for reclamation and improvement of river ecology*. Scientific and Technical Journal Herald MGSU. Moscow, 2010, №4/2, pp.399-405.
4. V.S. Borovkov, F.G. Mayranovskiy, T.N. Halabaeva. *Investigation of the parameters of river flow and deformation of riverbed in the flood*. Water Resources, Moscow, 1974, №6
5. V. Kurochkina. *River bed cleaning and sludge utilization in greenery creation in park*. Scientific and Technical Journal Herald MGSU. Moscow, 2010, №4/2, pp.45-51.
6. *Problem of turbulence*. Collection of translated articles edited by M.A. Velikanova and N.T. Shveykovskogo. Moscow-Leningrad, ONTI, 1936

Ключевые слова: речные потоки, распределение скоростей, асимметрия турбулентности, загрязненность русловых отложений.

Keywords: river flows, velocity distribution, asymmetry of turbulence, river bed purification.

ГОУ ВПО Московский государственный строительный университет
106077, Москва, Спартаковская ул., д.2/1; тел./факс: (499) 261-39-12
e-mail: mgsu-hydraulic@yandex.ru

Рецензент – Л.С. Скворцов, доктор технических наук, академик РАЕН