

Научные сообщения

УДК 551.435.122

© 2014 г. Н.Б. БАРЫШНИКОВ, Е.С. СУББОТИНА

РОЛЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И МОРФОЛОГИИ ПОЙМ В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ

Исследования на стыке различных направлений наиболее перспективны для получения научных достижений и практических результатов. Одними из них являются исследования в области геоморфологии русел и пойм и речной гидравлики, в частности, позволившие вскрыть механизм формирования пойм, отложения на них наносов и объективно оценить влияние пойм на русловые процессы. Все это также способствовало разработке методики расчетов пропускной способности речных русел при взаимодействии русловых и пойменных потоков [1, 2].

Морфометрические характеристики речных русел уже более 200 лет широко применяются в речной гидравлике. При расчетах средних скоростей и особенно максимальных расходов воды, используются такие характеристики русел как глубина, ширина, площадь поперечного сечения, гидравлический радиус и др., что позволяет получать их значения с достаточной для практики точностью.

Существенно сложнее расчеты максимальных расходов воды и средних скоростей пойменных потоков. Это в значительной степени обусловлено сложностью морфологического строения пойм и несовершенством учета их морфометрических характеристик. Если для русловых характеристик имеются однозначные плавные их зависимости от уровней воды, то для пойм эти зависимости, как правило, имеют сложный ступенчатый характер, особенно четко выраженный при свободном меандрировании. В частности, при прохождении весенних половодий и паводков с затоплением очередной пойменной гривы к пойменному потоку, как правило, присоединяется дополнительная ветвь потока, нередко значительной ширины. Ширина пойменного потока резко, часто скачкообразно увеличивается и, соответственно, уменьшается его средняя глубина.

Основные морфометрические характеристики, как правило, относят к гидроствору, а для расчетов характеристик русловых и особенно пойменных потоков большое значение также имеют морфология расчетного участка и его морфометрические характеристики. В качестве одной из них часто рассматривают угол α между геометрическими осями русла и поймы на расчетном участке, величина которого фактически соответствует величине угла между динамическими осями взаимодействующих русловых и пойменных потоков.

Величину этого угла определяют по крупномасштабным планам участка, расположенного ниже или выше расчетного гидроствора [3, 4]. Если определение направления геометрических и, соответственно, динамических осей русловых потоков не представляет трудности, так как оно соответствует направлению коренных берегов русел, то для пойм этот процесс несколько сложнее. Точность определения угла α зависит как от масштаба съемки, так и от сечения горизонталей на карте. Методика определения

угла α предложена рядом авторов [2, 5 и др.], однако нерешенным при этом остается ряд вопросов, в частности, какой должна быть длина расчетного участка и как определять величину угла α при двухсторонней пойме?

Следует отметить, что большая работа по определению морфометрических характеристик русел и пойм была проделана в ГГИ под руководством И.В. Попова [6 и др.] и в МГУ под руководством Р.С. Чалова [7 и др.]. Наиболее детальный анализ гидроморфометрических зависимостей выполнен В.И. Антроповским [8]. Однако использование этих характеристик в расчетах параметров пойменных потоков затруднено. Таким образом, необходимо совершенствование и разработка новых морфометрических характеристик, особенно для расчетов пойменных потоков.

Также необходима разработка морфометрических характеристик для участков русел с поймами значительной протяженности. Актуальной проблемой является определение длины этого расчетного участка и особенно его морфометрических характеристик, определяющих параметры потоков в нем. В качестве такового может быть принят участок в пределах одной "четки". Понятие "четка" введено Н.И. Маккавеевым [9] и характеризует участок поймы значительной протяженности, на котором ее ширина сначала плавно увеличивается, а затем уменьшается. На рис. 1 приведены графики изменения ширины русла и поймы на протяжении 700-километрового участка р. Оки. По характеру этих изменений данный участок весьма напоминает "четку". В то же время в пределах этой "четки" происходят весьма значительные изменения значений углов α . Это положение можно проиллюстрировать графиком изменений углов α по длине р. Хилек (рис. 2). К сожалению, методика определения усредненного для расчетного участка значения этого угла α еще не разработана. По-видимому, для этого необходим совместный анализ результатов детальных планово-высотных съемок, включающий анализ аэрофото- и космических снимков, а также измерений параметров руслопойменных потоков. При этом особое внимание необходимо обратить на определение усредненных значений этих углов в пределах отдельных пойменных массивов.

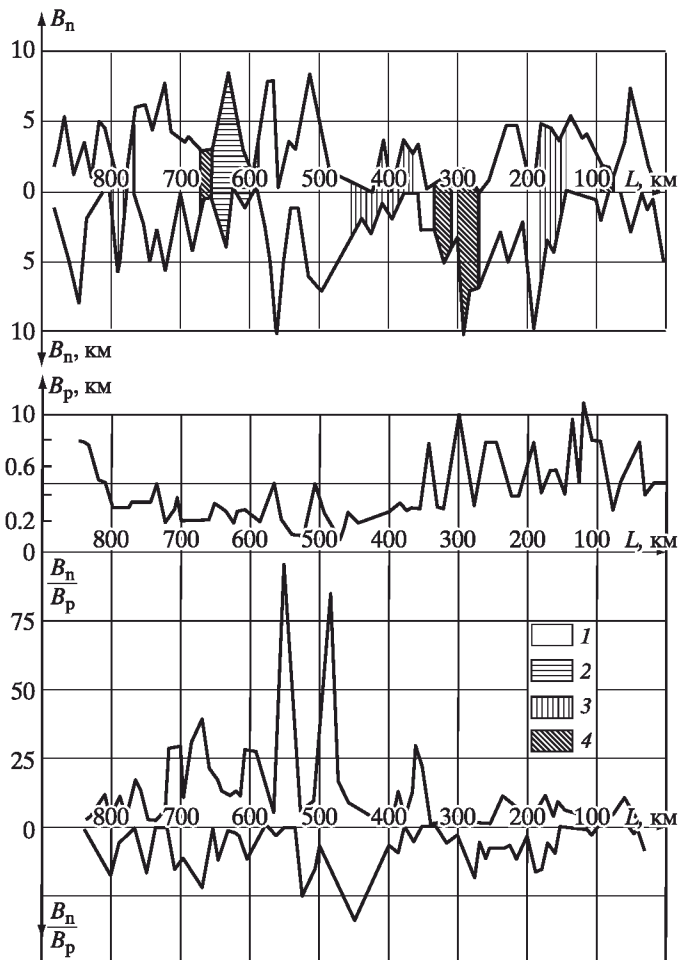


Рис. 1. Изменения ширины русла и поймы по длине р. Оки
 Меандрирование: 1 – свободное, 2 – ограниченное; 3 – немеандрирующие русла; 4 – данные о типе руслового процесса отсутствуют

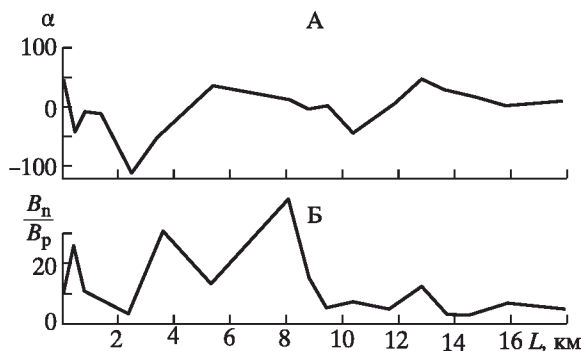


Рис. 2. Изменения углов α (А) и относительной ширины поймы (Б) по длине р. Хилок у пос. Жипхеген

ны руслового потока как при расчетном уровне h_p , так и при уровне затопления бровки прируслового вала $h_{p.б.}$, а также угол α . Для пойменного потока – площадей поперечных сечений руслового F_p и пойменного F_n потоков, а также коэффициенты шероховатости русла n_p и поймы n_n . Значения расчетных характеристик, таких как средние глубины, скорости и расходы воды потоков, приведены в относительных величинах.

При этом важную роль играет еще одна морфометрическая характеристика – отметка бровки прируслового вала $h_{p.б.}$. Именно к этой отметке относят как параметры русловых и особенно пойменных потоков (средние скорости и др.), так и морфометрические характеристики: средние глубины речных русел, площади их поперечных сечений и др. Прирусловой вал – одна из важнейших морфологических особенностей пойм. Процесс его формирования обусловлен отложением наносов, особенно донных, при выходе русловых потоков на поймы.

Как показывает проведенный анализ, точность расчетов средних скоростей русловых потоков по этой методике, находится в прямой зависимости от точности определения величины угла α и, соответственно, от масштаба съемки и, что особенно важно, от особенностей морфологии расчетного участка, в частности, от сечения рельефа, отражаемого горизонталями. Последние на крупномасштабных планах и картах, как правило, проводятся через 0.25 или даже 0.2 м, а точность расчетов уровней, как известно, составляет ± 1 см. Существенное влияние на точность расчетов также оказывает точность определения отметки бровки прируслового вала, тем более, что его высота изменяется по длине водотока.

В прирусловых валах могут образовываться различные понижения, как естественного, так и антропогенного происхождения, которые принято называть “прорвами”. Особая роль при этом отводится растительности, так как прирусловые валы могут зарастать не только травянистой растительностью, но и деревьями различных пород высотой до нескольких и даже десятков метров.

Следует отметить, что выбор отметки бровки прируслового вала в качестве реперного значения позволил представить все расчетные (морфометрические и гидравлические) характеристики русловых составляющих потоков в относительных величинах. Для пойменных составляющих потоков использование этой характеристики вызывает значительные трудности, обусловленные особенностями морфологии пойм, и, в частности, их гривистым строением и динамикой их затопления, когда транзитные потоки на поймах наблюдаются при уровнях, значительно превышающих уровни затопления не только прорв, но и самих прирусловых валов.

Прирусловые валы, высота которых может достигать десяти и более метров, совместно с гривами, являющимися рудиментами прирусловых валов, определяют особенности морфологического строения пойм. Их роль, особенно заросших растительностью, не ограничивается только тем, что они могут служить реперами,

В качестве примера использования морфометрических характеристик для расчетов параметров русловых и пойменных потоков может быть приведена эмпирическая методика расчетов параметров русловых и пойменных потоков, основанная на графических зависимостях вида $v_p/v_{p.б.} = f(h_p/h_{p.б.}, \alpha)$ для русловой составляющей пото-

ков и $\frac{Q_n}{Q_n + Q_p} = f\left(\frac{F_n}{F_n + F_p}, \frac{n_n}{n_p}\right)$ –

для пойменных составляющих [1, 10 и др.]. В этих зависимостях определяющими являются глуби-

к которым относят все расчетные морфометрические характеристики русел и пойм и гидравлические характеристики потоков для представления их в относительных величинах, но они – основа морфологии пойм (особенно при меандрирующих типах русловых процессов), определяющей не только динамику, но и направление пойменных потоков. Прирусловые валы довольно часто разделяют руслопойменные потоки на две составляющие – русловую и пойменную. Тем самым значительно снижается воздействие эффекта взаимодействия потоков. В качестве примера можно привести р. Лугу в районе пос. Толмачево, где в 1977 г. наблюдалось близкое к 1% весеннее половодье (рис. 3).

Как видно на рисунке, даже при наивысшем уровне в 532 см четко прослеживаются два практически самостоятельных потока – русловой и пойменный, наибольшие скорости которых близки между собой. Между ними над прирусловым валом наблюдается как бы вспомогательный третий поток, с максимальным скоростям в два раза меньше, чем у основных.

Еще более важно использование особенностей морфологического строения пойм и морфометрических характеристик при расчетах максимальных расходов воды в руслах с поймами на основе данных о максимальных уровнях воды и морфометрических характеристиках русел и пойм на основе системы уравнений движения потока с переменным по длине расходом воды. Для иллюстрации этого положения рассмотрим уравнение для русловой составляющей потока в конечных разностях, представленное Д.Е. Скородумовым [11] в виде:

$$I = \frac{v^2}{C^2 h} + \frac{\alpha_{Кн} v_n^2 - \alpha_{Кв} v_b^2}{2gL} + \frac{v - v_g}{g\omega} \frac{Q_n - Q_b}{L} + \frac{1}{g} \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad (1)$$

где α_K – коэффициент Кориолиса; v – средняя скорость руслового потока; L – длина расчетного участка; Q – расход воды; I – уклон водной поверхности; C – коэффициент Шези; t – время; ω – площадь поперечного сечения; индексы “н” и “в” обозначают, что параметры соответственно относятся к нижнему или верхнему створам. Практически все члены правой части этого уравнения зависят от морфометрических характеристик русел и пойм.

Рассмотрим их на примере второго члена правой части уравнения, названного инерционным, учитывая что $v = \frac{Q}{\omega}$ и принимая $\alpha_{Кн} \approx \alpha_{Кв} \approx \alpha$ и $Q_n \approx Q_b$, получим

$$\frac{\alpha_{Кн} v_n^2 - \alpha_{Кв} v_b^2}{2gL} \approx \frac{\alpha}{2gL} \left(\frac{Q_n^2}{\omega_n^2} - \frac{Q_b^2}{\omega_b^2} \right) \approx \frac{\alpha Q^2}{2gL} \left(\frac{1}{\omega_n^2} - \frac{1}{\omega_b^2} \right).$$

Таким образом, величина этого инерционного члена в основном зависит от характера изменения площади поперечного сечения русла по длине реки, т.е. от морфологии участка измерений. Поэтому одним из основных требований к выбору участка расположения гидроствора является прямолинейность и неизменность площадей сечения на расстоянии пятикратной ширины русла. Это сводит к минимуму значение этого инерционного члена и, как следствие, открывает возможность использования формулы Шези на беспойменных створах. Вторая морфометрическая характеристика в этом члене уравнения – длина расчетного участка L . Эта величина также зависит от особенностей морфологии русла и поймы и, в конечном итоге, должна быть меньше расстояния между двумя соседними перекатами. Это обусловлено резким изменением морфометрических характеристик и уклонов водной поверхности на участке перехода от плеса к перекаату и, как следствие, ограничением использования методов расчетов, основанных на теории равномерного движения. К сожалению, методика определения этой величины не разработана, хотя она имеет большое практическое значение.

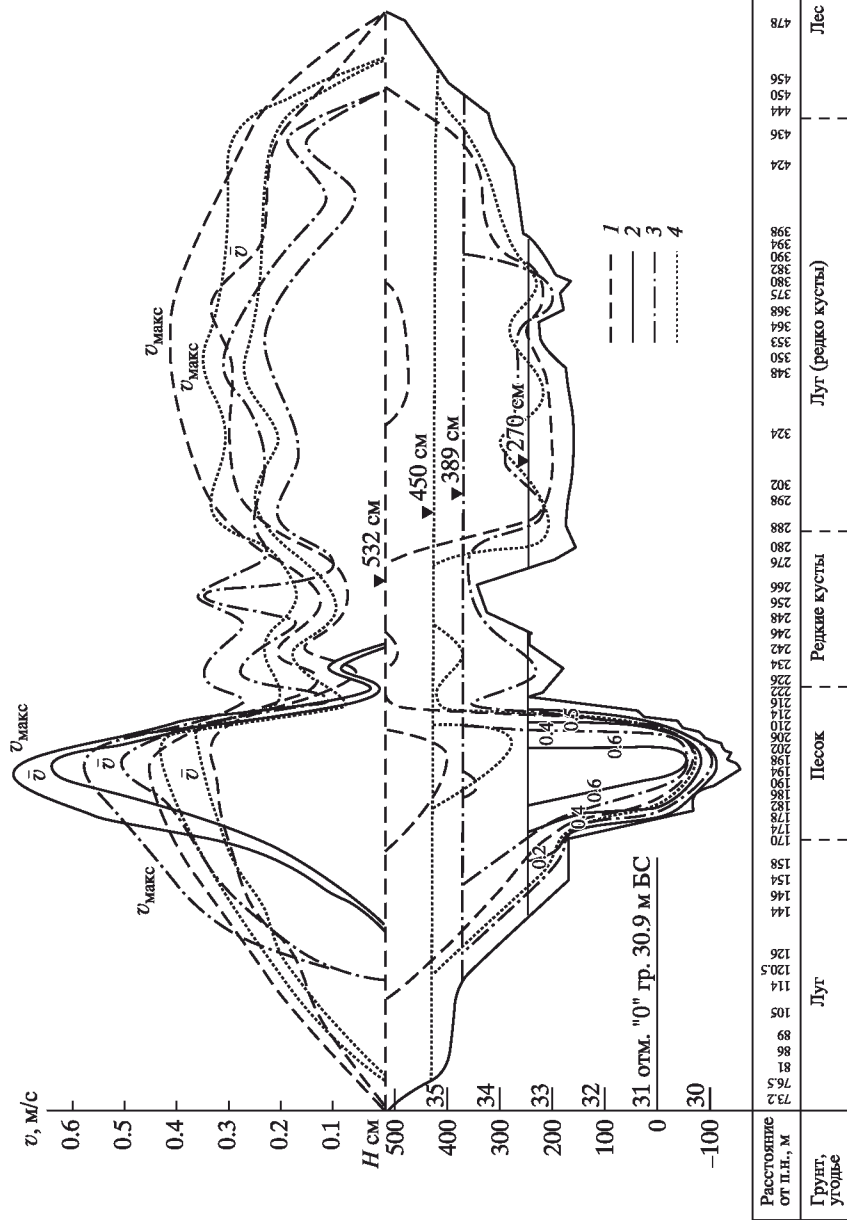


Рис. 3. Профиль поперечного сечения с изотопами и кривыми распределения средних и максимальных на вертикалях скоростей по ширине гидростроя р. Луги – пос. Толмачево
Данные измерений 1977 г. при уровнях (см): 1 – 532, 2 – 450, 3 – 389, 4 – 270

Выводы

1. Особенности морфологического строения русел и пойм на расчетном участке определяют гидравлику потока на нем.
2. Совместное использование морфометрических характеристик расчетного участка и гидравлических параметров руслопойменных потоков позволяет в первом приближении решить задачу расчетов средних скоростей русловых потоков, находящихся под воздействием пойменных потоков.
3. Необходимо продолжить разработки морфометрических характеристик не только для расчетных створов, но и для расчетных участков, а также разработать методику расчетов длины L расчетного участка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барышников Н.Б. Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2012. 426 с.
2. Барышников Н.Б. Динамика русловых потоков. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007. 314 с.
3. Пагин А.О., Селина Т.С., Тимофеева О.Д. Экспериментальные исследования влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспорт наносов // Уч. зап. РГГМУ. 2007. № 5. С. 111–118.
4. Саликов В.Г. Некоторые исследования взаимодействия руслового и пойменного потоков // Тр. IV Всесоюз. гидрологич. съезда. 1976. Т. 11. С. 75–81.
5. Железняков Г.В. Пропускная способность русел каналов и рек. Л.: Гидрометеониздат, 1981. 311 с.
6. Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеониздат, 1969. 363 с.
7. Чалов Р.С. Русловедение, теория, география, практика. М.: Красанд, 2011. 960 с.
8. Антроповский В.И. Гидроморфологические закономерности и фоновые прогнозы перестроения русел рек. СПб.: Криомас, 2008. 214 с.
9. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
10. Исаев Д.И. Процессы сортировки донных наносов // Уч. зап. РГГМУ. 2007. № 5. С. 77–82.
11. Скородумов Д.Е. Вопросы гидравлики пойменных русел в связи с задачами построения и экстраполяции кривых расходов воды // Тр. ГГИ. 1965. Вып. 128. С. 3–97.

РГГМУ, С.-Петербург

Поступила в редакцию
18.12.2012

THE ROLE OF RIVERBED AND FLOODPLAIN MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS IN HYDRAULIC DESIGN

N.B. BARYSHNIKOV, E.S. SUBBOTINA

Summary

Morphological structure of the river bed and flood plane determines hydraulic parameters on the given reach of the river. Using morphological and hydraulic parameters of the river bed and flood plane streams one may assess their mean velocity and runoff with sufficient for practical purposes accuracy. The length of the designed river interval should be of sufficient length but less than distance between two adjacent bars. The accuracy of the assessments depends on that of the angle measurements between geometric axes of channel and flood plane and on the scale of the land survey on the designed interval. The morphology of the flood plane is of great importance too, especially the height of the beach barrier edge and the existence of vegetation on it, as they govern the dynamics and directions of the flood plane streams.