

Н.Б. Барышников, Е.С. Субботина, Е.А. Поташко, К.С. Бурцев

**ВЛИЯНИЕ ПРИУСЛОВНЫХ ВАЛОВ НА ПРОЦЕСС
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РУСЛОВЫХ И ПОЙМЕННЫХ ПОТОКОВ**

N.B. Baryshnikov, E.S. Subbotina, E.A. Potashko, K.S. Burtsev

**INFLUENCE OF CHANNEL LEVEES ON THE FLOODPLAIN
AND RIVERBED STREAMS INTERACTION PROCESS**

Выявлена роль приусловных валов в формировании скоростных полей русловых и пойменных потоков. Оценено их влияние на формирование эффекта взаимодействия потоков.

Ключевые слова: приусловной вал, бровка, русловой и пойменный потоки, эффект взаимодействия, скоростное поле.

A role of channel levees in forming fields of velocity for riverbed and floodplain streams is revealed. Their influence on forming streams interaction effect is estimated.

Key words: channel levee, channel edge бровка, floodplain and riverbed streams, interaction effect, field of velocity.

Последнее время проблеме взаимодействия русловых и пойменных потоков уделяется большое внимание. Это в первую очередь обусловлено происходящим потеплением климата и, как следствие, резким увеличением количества и, что более важно, величин катастрофических паводков практически на всех континентах. Действительно, наиболее чётко это проявляется на реках Восточной Европы. В качестве примера можно привести реку Вислу, на которой в 1977 г. прошёл катастрофический паводок с максимальным расходом воды в $6000 \text{ м}^3/\text{с}$, превышающим расчётный 1% обеспеченности примерно в 1,5 раза. Более того, в 2010 г. прошли ещё два катастрофических паводка с максимальным расходом в $8400 \text{ м}^3/\text{с}$, т.е. с превышением расчётного 1 % расхода в два с лишним раза. Последние паводки даже частично подтопили такие большие города Польши, как Краков и Варшаву.

Такое положение с существенным изменением климата, вызвавшим повышение количества и мощности катастрофических паводков в совокупности со значительным снижением количества натурной информации в России, привело к необходимости совершенствования методов расчётов максимальных расходов воды. Последние выполняются по двум направлениям. Первое – совершенствование методов статистических расчётов, особенно в условиях нестационарности природных процессов. Второе – разработка новых методов расчётов пропускной способности русел с поймами на основе данных о максимальных уровнях и морфометрических характеристиках русел и пойм на участке гидроствора. Именно по второму направлению осуществлялись исследования в РГГМУ в последние годы [2, 3 и др.]. Действительно, в этом направлении были разработаны методы расчётов пропускной способности русел и пойм при взаимодействии потоков в них [4, 6, 7 и др.]. Важным моментом в этих разработках стало выяв-

ление влияние эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на процессы формирования средних и местных скоростей этих потоков и, что особенно важно, на пропускную способность русел и пойм. Значительным достижением так же явилось введение в расчёты в качестве основной характеристики угла α между динамическими осями взаимодействующих потоков [1, 5 и др.]. Впоследствии этот угол был приравнен углу между геометрическими осями русел и пойм, что значительно упростило методику его определения при незначительном снижении его точности [2, 5.]. Важной характеристикой при расчётах пропускной способности, в частности русел и соответственно русловой составляющей потока половодья, явился уровень затопления бровок прирусловых валов. Действительно, рекомендуемая методика основана на графической зависимости вида (рис. 1) $v_p/v_{p,б} = f(h_p/h_{p,б}, \alpha)$. При этом уровне реперные значения параметров потоков рекомендуется определить на основе формулы Шези, т.е. исходя из условий равномерного движения.

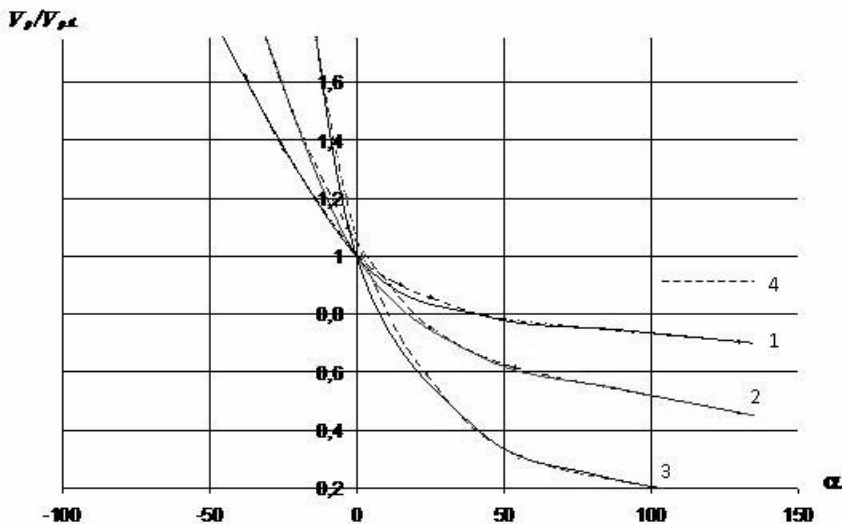


Рис. 1. Кривые $V_p/V_{p,б} = f(h_p/h_{p,б}, \alpha)$.

1 – $h_p/h_{p,б} = 1,10$; 2 – $h_p/h_{p,б} = 1,25$; 3 – $h_p/h_{p,б} = 1,50$; 4 – уточнённое положение кривых.

Угол α имеет положительное значение при третьем типе взаимодействия потоков и отрицательное – при втором

Как показали исследования, проведённые в РГГМУ, расчёт средних скоростей русловых беспойменных потоков в этом случае приводит к средним погрешностям расчётов в 30–35%. Незначительные изменения этих величин обусловлены применением различных таблиц для определения коэффициентов шероховатости, составленных различными авторами (И.Ф. Карасёвым, В.Т. Чоу, Дж. Бредли и др.). В то же время наибольшие погрешности расчётов достигали нескольких сотен процентов.

При определении отметок уровней заполнения бровок прирусловых валов часто возникали трудности, обусловленные как существенными изменениями отметок этих валов по длине реки, так и сложным строением поперечных профилей по гидростворам. В качестве примеров можно привести поперечные профили по гидростворам на реках Виге–Шартаново и Усвяча–Козлово (рис. 2). Как видно на рисунке, на р. Виге чётко выражены два прирусловых вала. Однако первый вполне можно принять за небольшое препятствие. Поэтому для расчётов был принят второй прирусловой вал, затопляемый при более высоких уровнях. Более сложным является определение отметки прируслового вала на р. Усвяче, где затопление первого прируслового вала приводит к присоединению к русловому потоку части пойменного потока, шириною около 30 м. При дальнейшем затоплении поймы при увеличении уровня воды к руслопойменному потоку присоединяется дополнительный отсек пойменного потока шириною более 70 м.

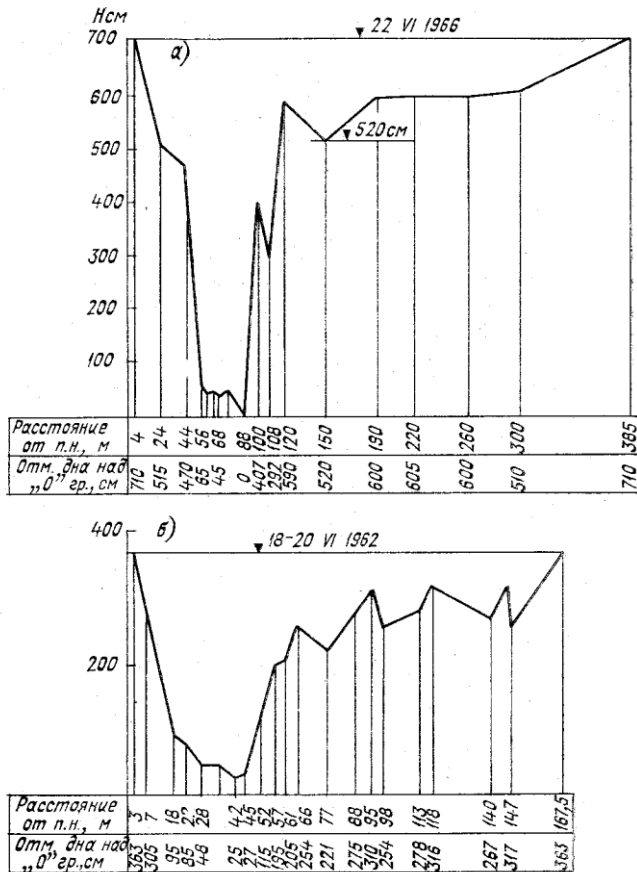


Рис. 2. Профили поперечного сечения по гидроствору.
 а – р. Вига – пост Шартаново, б – р. Усвяча – пост Козлово

Следует учитывать, что принятая для расчётов отметка уровней затопления прирусловых валов влечёт за собой существенное изменение как ширины русел и пойм, так и средних глубин русловых и пойменных потоков.

Затопление пойм, как правило, происходит при уровнях значительно, иногда на несколько метров, меньших уровней затопления бровок прирусловых валов. Это, в свою очередь, приводит к образованию двух или даже трёх потоков, частично изолированных прирусловыми валами. При этом взаимодействие этих пойменных потоков с русловыми происходит дискретно, в частности, на участках прорыв и других понижений прирусловых валов.

В таком направлении процесс взаимодействия потоков практически никем не изучался, хотя эта проблема имеет существенное значение как для расчётов средних скоростей взаимодействующих потоков, так и при расчётах пропускной способности русел и пойм. Это тем более важно, что в ряде случаев даже при пропуске максимальных расходов воды 1 % или 0,33 % обеспеченности вершины таких валов иногда не затапливаются.

Расчёт же средних скоростей таких потоков, основанный на формуле Шези, т.е. на теории равномерного движения, приводит к значительным погрешностям расчётов.

Естественно встаёт вопрос о путях решения данной проблемы. По нашему мнению, для её решения необходимо проведение детальных экспериментальных исследований как лабораторных, так и натурных и анализ их результатов.

Естественно встаёт вопрос о значении прирусловых валов не только в методах расчётов пропускной способности русел с поймами, но и во вскрытии сущности процесса взаимодействия потоков.

Рассмотрим эту проблему более детально. Значительную роль прирусловые валы играют:

- при делении потоков на русловую и пойменную составляющие;
- являются реперной точкой при получении зависимостей для расчётов средних скоростей русловых потоков при их взаимодействии с пойменными;
- в значительной степени определяют величину зоны влияния руслового потока на часть пойменного потока;
- оказывают существенное воздействие на величину коэффициентов шероховатости в прирусловой части поймы и припойменной части русла при определении их значений на основе формул Шези-Маннинга или Шези-Павловского, т.е. на основе допущения о равномерности движения русловых и пойменных потоков.

Действительно, принятие отметки бровки прируслового вала в качестве реперной точки с одновременным представлением значений скоростей, уклонов водной поверхности, средних глубин и других характеристик русловых составляющих потоков в безразмерном виде позволило объединить натурную информацию по различным рекам и получить расчётные зависимости вида $v_p/v_{p,0} = f(h_p/h_{p,0}, \alpha)$ (рис. 1), $I_p/I_{p,0} = f(h_p/h_{p,0}, \alpha)$ (рис. 3) и другие.

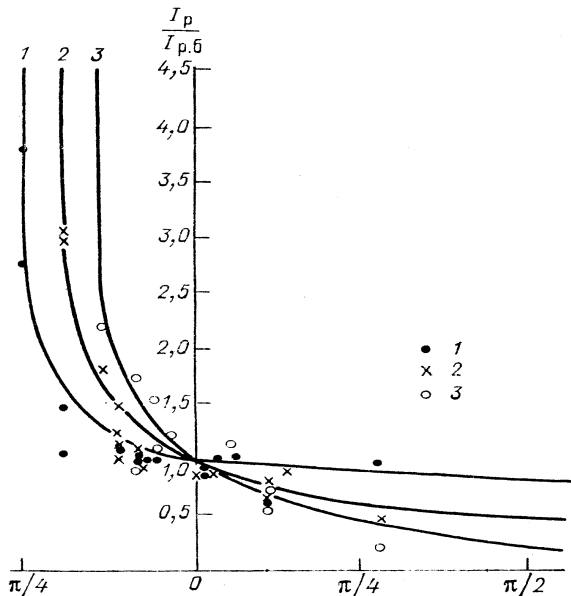


Рис. 3. Кривые $II/I_{p,6} = f(h_p/h_{p,6}, \alpha)$. 1 — $h_p/h_{p,6} = 1,10$; 2 — $h_p/h_{p,6} = 1,25$; 3 — $h_p/h_{p,6} = 1,50$

Анализ лабораторных и натуральных данных на основе информации о паводочных, в том числе катастрофических расходах воды, позволил установить, что зона воздействия руслового потока на пойменный ограничена 5-6 ширинами руслового потока [4, 5 и др.]. Следует отметить, что эта величина установлена по данным лабораторных измерений на модели русла с гладкой, выполненной из железобетонного бетона, поймой.

Дальнейший анализ был выполнен на основе натурной информации по ряду рек, на которых шероховатость поймы изменялась в широких пределах ($n_p = 0,014-0,160$). Ширина зоны воздействия руслового потока на пойменный была значительно меньше, изменяясь от 1,5 до 4-5 ширин руслового потока. К сожалению, установить надёжную зависимость ширины этой зоны от коэффициентов шероховатости поймы не представилось возможным. По-видимому, помимо коэффициентов шероховатости поймы существенное воздействие оказывают и другие факторы.

Анализ натуральных данных и расчёты коэффициентов шероховатости русел и пойм позволил установить, что значения последних в прирусловых отсеках пойм, особенно при втором типе взаимодействия потоков, когда воды из русел поступают на поймы значительно, иногда в два и более раз меньше, чем приведённые в таблицах Карасёва, Чоу и других. Действительно, на ряде рек Белоруссии (Сож, Друть и др.) расчётные значения коэффициентов шероховатости составляют 0,012-0,016, а табличные 0,050-0,07. Это можно объяснить только тем, что на пойму, особенно при подъёме уровней, поступают поверхностные

слои руслового потока. Их скорости не формируются шероховатостью поймы, а соответствуют поверхностным скоростям руслового потока, массы которого поступают на пойму, особенно при её затоплении паводочными водами. В этом случае нельзя применять для расчётов формулы, основанные на концепции равномерного движения.

Литература

1. *Барышников Н.Б.* Морфология, гидрология и гидравлика пойм. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 280 с.
2. *Барышников Н.Б.* Динамика русловых потоков. – СПб.: РГГМУ, 2007. – 314 с.
3. *Барышников Н.Б., Пагин А.О., Польцина Е.В., Селина Т.С.* Учёт кинематического эффекта в методах расчёта пропускной способности пойменных русел // *Метеорология и гидрология*, 2008, № 10, с. 80-85.
4. *Гончаров В.Н.* Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеоздат, 1962. – 374с.
5. *Железняков Г.В.* Пропускная способность русел каналов и рек. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 311 с.
6. *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.
7. *Чалов Р.С.* Русловедение. – М.: Красанд, 2011. – 955 с.