

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

На правах рукописи
УДК 556.535.6:556.536

Селина Татьяна Сергеевна

Пропускная способность русел с поймами

Специальность 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ
Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург 2011

Работа выполнена в Российском Государственном гидрометеорологическом университете (РГГМУ).

Научный руководитель:

докт. геогр. наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ

Барышников Николай Борисович

Официальные оппоненты:

докт. техн. наук, ведущий научный
сотрудник

Бузин Владимир Александрович

Кандидат геогр. наук., старш. науч.
сотрудник лаборатории
климатического контроля
Государственного Эрмитажа

Немчинов Константин Витальевич

Ведущая организация:

Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова.
Географический факультет. НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И.
Маккавеева.

Защита состоится «20» октября в 15 часов 30 мин на диссертационном совете
Д 212.197.02 в Российском государственном гидрометеорологическом
университете по адресу:
195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский проспект, 98, ауд. 308.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского
государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан «15» сентября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
профессор

В.Н. Воробьев

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Надежная информация о максимальных расходах воды является наиболее востребованной при проектировании гидротехнических сооружений и водохозяйственных мероприятий. Однако в последние годы положение с ней значительно ухудшилось, в частности в системе Росгидромета. Это обусловлено как объективными факторами, такими как скоротечность прохождения максимальных расходов воды, необходимость при этом соблюдения требований техники безопасности, так и сложным экономическим положением России в целом и Росгидромета в частности, особенно в период перестройки.

К тому же большинство рек России равнинные, весенние паводки и половодья на них проходят при затопленных поймах. Измерения же максимальных расходов на пойменных створах имеют дополнительные трудности, особенно из-за сложного морфологического строения пойм. Все это приводит к тому, что гидрометрические измерения на поймах, как правило, не производятся, что резко снижает качество натурной информации о стоке воды. Её ценность особенно возросла в последний период, когда из-за изменения климата резко усилилась деятельность циклонов, в частности, на европейской территории. Следствием этого явились катастрофические паводки на большинстве рек европейских государств. Вероятность таких паводков по оценкам зарубежных специалистов составляет 1 раз в 300-1000 лет.

Анализ расчетных методов определения пропускной способности пойменных русел, в частности рекомендуемых директивными документами и основанных на концепции равномерного движения, показал, что погрешности расчетов на их основе даже на беспойменных створах далеко выходят за допустимые пределы. В среднем они составляют 30-35 %, при их наибольших значениях в несколько сотен процентов. Такое положение свидетельствует о необходимости разработки принципиально новых или совершенствовании применяемых расчетных методов.

Вскрытый в конце 40-х годов прошлого столетия, в основном трудами отечественных ученых (В.Н. Гончаров, Г.В. Железняков, Н.Б. Барышников и др.), эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков оказывает существенное воздействие на пропускную способность пойменных русел. Поэтому его учет в расчетных методах является обязательным.

В настоящее время перспективными являются два метода расчетов. Эмпирический, основанный на графических зависимостях для русловой $\frac{V_p}{V_{p.á}} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.á}}, \alpha\right)$ и пойменной $\frac{Q_{II}}{Q_{II} + Q_p} = f\left(\frac{F_{II}}{F_{II} + F_p}, \frac{n_{II}}{n_p}\right)$ составляющих потока и обоснованный ограниченным объемом натурной информации. Второй – основан на применении для расчетов максимальных расходов воды системы уравнений движения потока с переменным по длине расходом воды.

Однако оба метода нуждаются в совершенствовании. Первый – на основе большего объема надежной натурной информации, которая, к сожалению, трудно доступна или является недостаточно надежной. Второй – в установлении зависимостей инерционных членов уравнения движения потока от определяющих факторов.

Учитывая сложное положение с натурной информацией и ее высокую стоимость, в данной работе было признано целесообразным разработку второго направления на основе ограниченного объема надежной натурной информации, данных, полученных при лабораторном моделировании и с целью дальнейшего совершенствования методов расчетов пропускной способности русел с поймами.

Научная новизна.

На основе анализа уравнения движения потока с переменным по длине расходом воды и данных экспериментальных исследований установлено, что:

- инерционные члены уравнения, учитывающие неравномерность движения и массообмен между русловым и пойменным потоками являются значимыми;
- наибольшие значения этих инерционных членов по данным измерений при угле $\alpha=20^\circ$ (α – угол между динамическими осями взаимодействующих русловых и пойменных потоков) могут достигать значений 85 и 25% соответственно;
- впервые установлена зависимость этих членов уравнения от угла α и глубин руслового потока;

- установлено, что трансформация полей скоростей руслового потока под влиянием пойменного зависит от типа взаимодействия потоков и угла α , при увеличении последнего она увеличивается;
- на основе натурных данных установлено, что погрешности расчетов на основе формулы Шези средних на вертикалях скоростей могут достигать сотен процентов, особенно при третьем типе взаимодействия потоков;
- выявлено, что воздействие пойменного потока на русловой на малых реках распространяется на всю ширину руслового потока, а на больших и частично средних реках только на часть ширины руслового потока;

Практическая значимость

Надежные данные о максимальных расходах воды широко используются при проектировании и строительстве различных гидротехнических сооружений и водохозяйственных мероприятий. Их наличие способствует наибольшей эффективности проектирования и строительства гидротехнических сооружений при обеспечении их надежности. Особенно остро в настоящее время стоит вопрос получения этой информации при проектировании мостовых переходов и переходов трубопроводов через реки.

Сведения о трансформации эпюр скоростей по глубине русловых потоков могут быть использованы, в частности при проектировании опор мостов.

Цель и задача работы

Основная цель и задача работы – совершенствование метода расчетов максимальных расходов воды на основе информации о максимальных уровнях и морфометрических и других характеристиках русел и пойм.

Для достижения поставленной задачи выполнен анализ современного состояния проблемы и на его основе проведены экспериментальные исследования процесса взаимодействия руслового и пойменного потоков на физической модели русла с односторонней поймой (при различных углах взаимодействия руслового и пойменного потоков).

Методы исследования:

- выполнение экспериментальных лабораторных исследований на физической модели русла с односторонней поймой и анализ полученных данных;
- теоретический анализ полученной информации;
- анализ натурной информации.

Достоверность результатов работы обоснована:

- использованием результатов экспериментальных исследований на физической модели русла с односторонней поймой;
- использованием материалов натурных измерений расходов воды в руслах с поймами и полей скоростей русловых и пойменных потоков, полученных в системе Росгидромета и других организациях.

На защиту выносятся:

- результаты оценки инерционных членов уравнения движения потоков с переменным по длине расходом воды;
- зависимости инерционных членов уравнения движения потока с переменным по длине расходом воды от определяющих факторов;
- результаты оценки точности расчетов по стандартному методу средних на вертикалях скоростей русловых потоков при их взаимодействии с пойменными потоками;
- результаты оценки поправочных коэффициентов к средним скоростям русловых потоков, рассчитанных по формуле Шези.

Апробация работы

Результаты работы были доложены на:

- VI Семинаре молодых ученых по эрозионным, русловым и устьевым процессам в г. Волгограде, 2006г.;

- VII Семинаре молодых ученых по эрозионным, русловым и устьевым процессам в г. Курске, 2008г.;
 - итоговых сессиях ученого совета РГГМУ в 2007-2008 годах.
- По теме диссертации опубликовано 9 работ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 191 странице текста, включая 42 рисунка, 37 таблиц. В состав диссертации также входят 183 приложения.

Содержание работы

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертации, изложены новизна и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрены вопросы происхождения и развития пойм, выполнен детальный анализ классификаций пойм.

Особое внимание уделено происхождению пойм, что обусловлено возросшей интенсивностью их хозяйственного использования и внедрению новых, более совершенных методов исследования (аэрофотосъемки, стереофотометрические и космические методы), позволяющих охватывать обширные территории, занятые поймами, и изучать их развитие.

Наиболее важными в процессе происхождения пойм являются условия формирования русловой и пойменной фаций аллювия на пойме.

Важная роль в процессах формирования пойм также отводится климату и антропогенному воздействию (особенно велико влияние регулирующих водохранилищ, резко поднимающих базис эрозии реки на отдельных ее участках).

В настоящее время четко определились следующие направления в исследовании и трактовке процессов формирования и происхождения пойм. Первое – заключается в том, что пойма рассматривается как сложный комплекс, образующийся под эрозионно-аккумулятивным воздействием реки и являющийся как бы составной частью руслового процесса. (теоретические разработки В.В. Ламакина). Реализация этого направления осуществлена в ГГИ И. В. Поповым, Н. Е. Кондратьевым и Б.Ф. Сنيщенко и заключается в

обосновании положения о дискретности руслового процесса и связи типов пойм с типами руслового процесса.

Второе – разрабатываемое в МГУ под руководством Р.С. Чалова, является оригинальным и основанным на типизации русловых процессов и систематизации обширных полевых данных. Оно охватывает не только равнинные, но и полугорные и горные реки.

В первой главе также выполнен анализ классификаций пойм

Наиболее детальная классификация пойм раннего периода разработана Р. А. Еленевским. В ее основу положены характер растительности и особенности геоморфологии. Впоследствии именно эта классификация, доработанная с учетом типизации русловых процессов, была положена в основу типизации пойм ГГИ, вошедшей в нормативные документы.

Совершенствование классификации пойм выполнено Н. И. Маккавеевым. Классифицируя их по ряду признаков, основными он считает скорость накопления пойменной фации аллювия и эрозионные процессы, возникающие при затоплениях пойм. Развивая концепции Н. И. Маккавеева, Р. С. Чалов предложил свою более совершенную классификацию пойм, охватывающую не только равнинные, но и горные реки.

Следует отметить, что классификации ГГИ и МГУ подразделяют все поймы на две группы: современные и унаследованные, реликтовые поймы. В основу всех современных типизаций пойм положены типы русловых процессов.

Существенно отличным является подход к классификации руслопойменных процессов, разработанный А.В. Черновым. Он предложил выделить в качестве расчетной единицы почвенно-русловые комплексы ПРК. На их основе разработана «Классификация природных факторов формирования пойменно-русловых комплексов ПРК».

Как вытекает из анализа этой классификации, в ней объединены типизации как русловых процессов, так и пойм. В качестве основных факторов использованы те же, что и в типизации ГГИ, т.е. сток воды и его внутригодовые изменения, сток наносов и их изменения, а также физико-географические факторы, которые значительно детализированы. Существенное внимание уделено климату.

Во второй главе рассмотрены вопросы динамики затопления пойм и пойменных массивов; частоты и продолжительности их затопления; доли пойменной составляющей в общем паводочном стоке. Приведены итоги анализа изменений уклонов свободной поверхности при выходе воды на поймы; процессов регулирования и аккумуляции

поймами паводочного стока рек; оценки потерь на заполнение бессточных пойменных емкостей и понижений рельефа, инфильтрацию и испарение с поверхности пойм в период пропуска паводков по затопленным поймам.

В третьей главе выполнен обзор натуральных и лабораторных исследований по проблеме взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Первые сведения об особенностях движения параллельных потоков в руслах с поймами приводятся Ф. Форхгеймером, который указывает, что расчетное значение расхода воды, определенное по выражению (1) будет больше фактического.

$$Q = Q_p + Q_n = F_p C_p \sqrt{h_p I_p} + F_n C_n \sqrt{h_n I_n}, \quad (1)$$

где Q_p, Q_n – расходы воды русловой и пойменной составляющих соответственно;

F_p, F_n – площади живого сечения русловой и пойменной составляющих соответственно;

C_p, C_n – коэффициенты Шези русловой и пойменной составляющих соответственно;

h_p, h_n – средние глубины русловой и пойменной составляющих соответственно;

I_p, I_n – уклоны водной поверхности русловой и пойменной составляющих соответственно.

Уменьшение пропускной способности русла с поймой он объясняет образованием вихрей с вертикальной осью вращения, возникающих на границе раздела руслового и пойменного потоков.

Примерно в это же время Б.В. Поляков в своей работе привел несколько кривых расходов воды для русловой части р.Дон, на которых четко прослеживается их перегиб и значительное отклонение влево, т.е. в сторону уменьшения расходов воды при уровнях, превышающих уровни выхода воды на пойму. Однако Поляков, к сожалению, не дал объяснения этому факту.

И только в 1947–50 г.г. Г.В. Железняков, выполнивший анализ экспериментальных данных по изучению руслового и пойменного потоков, полученных на прямолинейной модели русла с двухсторонней поймой, обнаружил существенное уменьшение средних и поверхностных скоростей руслового потока под влиянием пойменного при увеличении уровней воды, впоследствии названное им кинематическим эффектом взаимодействия безнапорного руслового и пойменного потоков.

Суть этого эффекта заключается в том, что после выхода воды на пойму скорости руслового потока не только не увеличиваются, но, наоборот, существенно уменьшаются при увеличении глубин. Теоретическое объяснение этого эффекта приведено В.Н. Гончаровым, который отметил, что на границе раздела взаимодействующих потоков возникает вертикально расположенная волновая поверхность. При увеличении градиентов скоростей волны опрокидываются, от них отделяются вихри, которые в силу эффекта эжекции втягиваются в более быстрый русловой поток. За счет этого процесса возникают дополнительные сопротивления, существенно изменяющие пропускную способность таких русел. Ещё большие отклонения от расчетных данных наблюдаются при взаимодействии потоков сходящихся или расходящихся под различными углами. Всё это свидетельствует о необходимости совершенствования не только нормативных документов, но и, что особенно важно, методов расчётов пропускной способности пойменных русел, на основе сведений о максимальных уровнях и морфометрических характеристиках расчетного участка.

В четвертой главе выполнен анализ методов расчета пропускной способности русел с поймами.

Прежде чем выполнить анализ таких методов была рассмотрена типизация процессов взаимодействия руслового и пойменного потоков. Первая типизация, в основу которой положено взаимное расположение динамических осей руслового и пойменного потоков, была предложена Н.Б.Барышниковым и В.Г. Саликовым. Несмотря на некоторые недостатки, данная типизация послужила основой при разработке эмпирического метода. Рассмотрим эту типизацию.

Первый тип характеризуется параллельностью динамических осей руслового и пойменного потоков.

Второй тип характеризуется расхождением динамических осей взаимодействующих потоков. При этом типе взаимодействия водные массы руслового потока поступают в пойменный под различными углами, вызывая увеличение скоростей последнего.

Третий тип характеризуется схождением динамических осей взаимодействующих русловых и пойменных потоков. При этом типе массы пойменного потока поступают в русловую под различными углами, вызывая торможение последнего и уменьшая тем самым его скорости и расходы воды.

Четвертый тип взаимодействия, характеризующийся пересечением динамических осей руслового и пойменного потоков, является одним из наиболее распространенных. Он наблюдается при меандрирующих типах руслового процесса.

Пятый тип взаимодействия потоков аналогичен четвертому, но наблюдается на реках с двумя разновысотными поймами.

Методы расчетов пропускной способности русел с поймами

Различные ведомственные Инструкции и Наставления рекомендуют расчет максимальных расходов воды выполнять по уравнению:

$$Q = Q_p + \sum_{i=1}^n Q_i \sqrt{V_{p_i} / V_{i_i}} \sqrt{H_{p_i} / H_{i_i}} + F_{i_i} \sqrt{V_{p_i} / V_{i_i}} \sqrt{H_{p_i} / H_{i_i}}, \quad (2)$$

Однако это уравнение применимо только для условий равномерного движения потока или близкого к нему, а потоки в руслах с поймами характеризуются резко выраженной неравномерностью движения и интенсивным массообменом между ними.

Поэтому, по данным экспериментов по изучению взаимодействия руслового и пойменного потоков, при параллельности их динамических осей рядом авторов для расчета пропускной способности русел с поймами были предложены формулы вида

$$Q = K_p \times Q_p + K_i \times Q_i, \quad (3)$$

$$Q = K(Q_p + Q_i)$$

где K_p – коэффициент, учитывающий изменение скоростей руслового потока;
 K_i – коэффициент, учитывающий изменение скоростей пойменного потока;
 K – коэффициент, учитывающий изменение скоростей руслового и пойменного потоков.

Методы расчета пропускной способности русел с поймами на основе уравнения движения потока с переменным по длине расходом воды

Задача расчетов движения потоков в руслах с поймами трехмерная, и наиболее перспективным путем ее решения является применение системы уравнений неразрывности и движения потока с переменной по длине массой. Первую попытку применения этой системы к расчету пропускной способности русел при взаимодействии потоков в них с пойменными, сделал Д.Е.Скородумов, ограничившийся русловой составляющей, представив уравнение в конечно-разностном виде:

$$I = \frac{V\dot{\alpha}}{C^2 \times h} + \frac{V_{KH} \times \alpha_H^2 - V_{KB} \times \alpha_B^2}{2 \Delta g \times L} + \frac{V_g V_g Q_H - \alpha_B}{g \times F L} + \frac{V_A \Delta}{g t}, \quad (4)$$

- где
- V – средняя на участке скорость течения;
 - C – коэффициент Шези;
 - h – средняя глубина потока;
 - α_{KH}, α_{KB} – коэффициенты Кориолиса, индексы «н» и «в» обозначают, что параметры соответственно относятся к нижнему или верхнему створам;
 - V_H, V_B – средние скорости течения в нижнем и верхнем створах;
 - V_g – проекция скоростей притекающих или оттекающих вод на направление движения руслового потока;
 - F – площадь живого сечения;
 - Q_H, Q_B – расходы воды;
 - ΔV – градиент скорости;
 - Δt – интервал времени;
 - L – расстояние между створами
 - α_B - коэффициент Буссинеска;
 - g – ускорение свободного падения.

Д.Е. Скородумовым была выполнена оценка веса членов уравнения (4). Он обозначил члены его правой части, названные инерционными, через

$$\varepsilon_1 = \frac{\alpha_{KH} \times V_H^2 - \alpha_{KB} \times V_B^2}{2 \times g \times L}; \quad \varepsilon_2 = \frac{V - V_g}{g \times F} \frac{Q_H - Q_B}{L} \quad \text{и} \quad \varepsilon_3 = \frac{\alpha_B}{g} \frac{\Delta V}{\Delta t}. \quad (5)$$

ε_1 - характеризует затраты энергии потока из-за неравномерности его движения. По данным расчетов на примере рек Луги и Пьяны, значения $\frac{\varepsilon_1}{I}$ могут достигать 55 %. Величина $\frac{\varepsilon_2}{I}$, характеризующая затраты энергии на массообмен между русловыми и пойменными потоками, на этих же реках достигает 20%. Однако анализ данных натуральных и лабораторных исследований показывает, что при больших углах пересечения динамических осей потоков ($\alpha \geq 90^\circ$) в русле возникает водоворотная область, размеры которой определяются мощностью взаимодействующих потоков. Она может занимать все

русло и течение в нем останавливается или даже изменяется на обратное. Следовательно, значение $\frac{\varepsilon_2}{I}$ может достигать 100 %. Учитывая, что инерционный член ε_3/I , характеризующий нестационарность движения, мал и по результатам расчетов по 100 равнинным рекам его максимальное значение не превышает 5%, что входит в пределы погрешности измерений, его величиной можно пренебречь.

Данный метод является перспективным, но в нем имеются существенные недостатки. Основным из них является замена сложного пространственного потока одномерным с целью применения уравнения одномерной идеализации к решению поставленной задачи.

Эмпирические методы расчета

В РГГМУ на основе натурной информации Росгидромета была разработан эмпирический метод, основанный на графических зависимостях $\frac{V_p}{V_{p.\acute{a}}} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.\acute{a}}}, \alpha\right)$ - для

русловой (рис. 1) и $\frac{Q_i}{Q_i + Q_\delta} = f\left(\frac{F_i}{F_i + F_\delta}, \frac{n_i}{n_\delta}, \beta\right)$ - пойменной составляющей потока (рис.

2).

Суть метода заключается в том, что по данным о метках высоких вод определяется максимальный уровень воды. По результатам планово-высотной съемки определяется тип взаимодействия потоков и угол α . При допущении о том, что положение динамических осей взаимодействующих потоков соответствует положению геометрических осей русла и поймы. На основе профиля поперечного сечения рассчитываются основные морфометрические характеристики русла (h , F , B) как при расчетном уровне, так и при уровне затопления бровок прирусловых валов ($H_{p.\acute{a}}$). Затем по формуле Шези-Маннинга определяется средняя скорость $V_{p.\acute{a}}$. На основании значений угла α и относительной

глубины $\frac{h_p}{h_{p.\acute{a}}}$, по графику, приведенному на рисунке 1, устанавливается величина

относительной скорости $\frac{V_p}{V_{p.\acute{a}}}$. Если величина $\frac{h_p}{h_{p.\acute{a}}}$ отличается от соответствующих

значений относительных глубин для расчетных кривых, то применяется метод

интерполяции. Значение расчетной скорости руслового потока определяется по формуле

$$V_p = V_{p.á} \left(\frac{V_p}{V_{p.á}} \right).$$

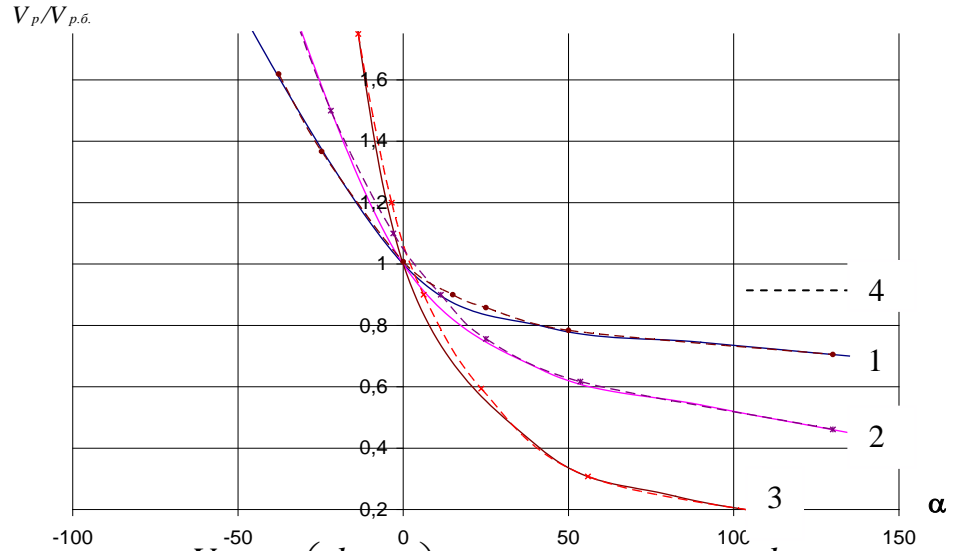


Рисунок 1 – Зависимости $\frac{V_p}{V_{p.á}} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.á}}, \alpha\right)$ для соотношения 1 – $\frac{h_p}{h_{p.á}} = 1,1$; 2 – $\frac{h_p}{h_{p.á}} =$

1,25; 3 – $\frac{h_p}{h_{p.á}} = 1,5$ и 4 – уточнённое положение кривых.

Расчет пропускной способности пойм осуществляется на основе графических зависимостей, приведенных на рисунке 2. При этом предварительно определяют коэффициенты шероховатости русла и поймы и относительную величину площадей поперечных сечений пойменного потока. По этим данным и графикам, приведенным на рисунке 2, определяется относительная величина пойменной составляющей расхода воды

$\frac{Q_i}{Q_i + Q_\delta}$. Затем, зная величину Q_p , определенную по графической зависимости,

приведенной на рисунке 1, определяется пойменная составляющая расхода воды.

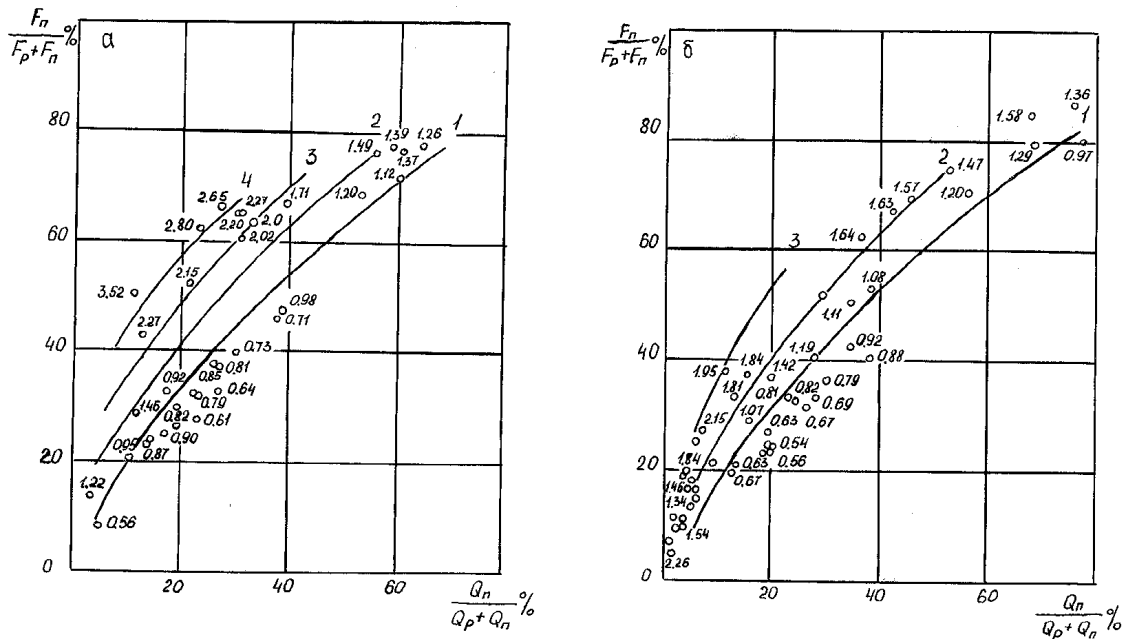


Рисунок 2 - Кривые $\frac{Q_i}{Q_i + Q_\delta} = f\left(\frac{F_i}{F_i + F_\delta}, \frac{n_i}{n_p}, \beta\right)$, а и б - соответственно третий и

второй типы взаимодействия потоков. Около точек значения $\frac{n_i}{n_p}$: $1 - \frac{n_i}{n_p} = 1,0$; $2 -$

$$\frac{n_i}{n_p} = 1,5; 3 - \frac{n_i}{n_p} = 2,0; 4 - \frac{n_i}{n_p} = 2,5.$$

В пятой главе приводится описание модели русла с поймой, методики проведения экспериментов и применяемой аппаратуры.

Для реализации поставленной задачи (усовершенствования метода расчетов максимальных расходов воды) была использована малая русловая площадка в лаборатории Водных исследований РГГМУ, размерами 11,0×2,50 м. На этой площадке из бетона была смонтирована модель русла, шириной 0,30 м с поймой шириной до 2,10 м. Глубина русла 0,05 м (до отметки бровки) (см. рис.3). Эта модель была основой для проведения последующих экспериментов.

Экспериментальные исследования, выполненные ранее при расходящихся осях руслового и пойменного потоков под углами $\alpha=5, 10, 15$ и 20° , были дополнены исследованиями при тех же углах, но при третьем типе взаимодействия потоков. Таким образом, имеется исходная информация об основных параметрах потоков при четырех углах расхождения и схождения их динамических осей, включающая четыре серии экспериментов (количество экспериментов принято по количеству углов схождения) с б

измерениями гидравлических характеристик потоков в каждой серии. Русло и пойма имели постоянный уклон 1‰.

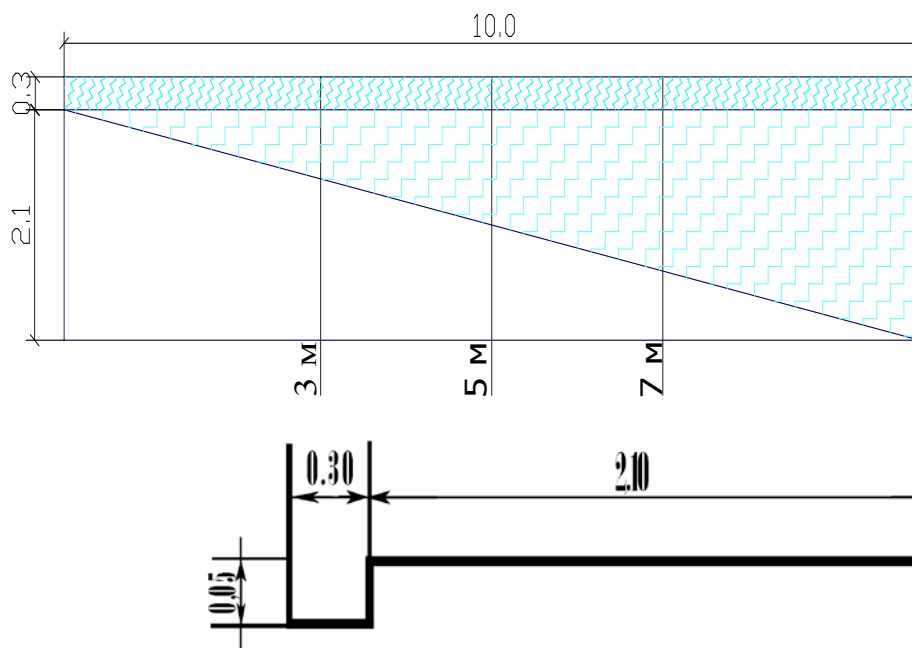


Рисунок 3 – План и сечение гидравлической модели русла с поймой.

При проведении экспериментов применялась методика, разработанная в РГГМУ и основанная на методе сравнения.

В русле боковые стенки были выложены стеклянными панелями, толщиной 4 мм, а дно выполнено из бетона.

Основной задачей экспериментов явилось получение объективной информации для определения зависимости первого и второго инерционных членов уравнений от глубин и других характеристик русла и поймы при втором и третьем типах взаимодействия потоков.

В шестой главе приводятся результаты анализа полученных данных.

Выявлено значительное изменение скоростей и расходов воды русловых потоков под воздействием пойменных. При втором типе взаимодействия установлено их значительное увеличение, а при третьем типе, наоборот – уменьшение по сравнению с аналогичными данными, но в условиях изоляции руслового потока от пойменного, что четко показано на рисунке 4.

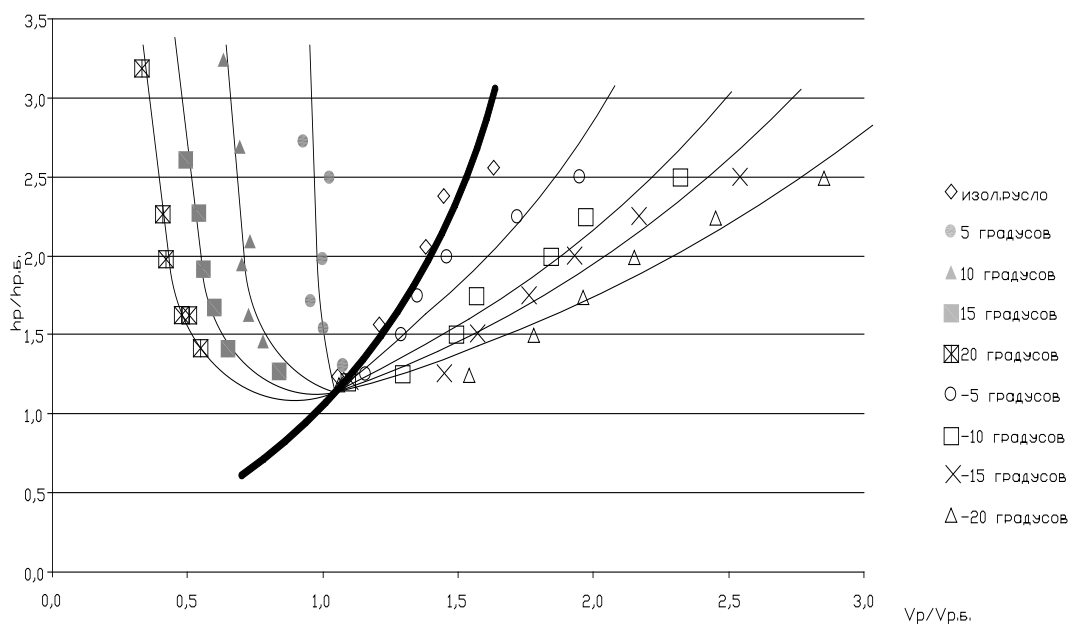


Рисунок 4 - Зависимости $\frac{V_p}{V_{p.á}} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.á}}, \alpha\right)$ при 2-ом (отрицательные значения

углов α) и 3-ем (положительные значения углов α) типах взаимодействия руслового и пойменного потоков.

На основе результатов экспериментальных исследований выполнены расчеты инерционных членов уравнения (4) и построены их графические зависимости от определяющих морфометрических характеристик. В качестве примера на рисунках 5 – 6 приведены графические зависимости $\varepsilon_1 / I = f(\alpha, h_p/h_{pб})$ и $\varepsilon_2 / I = f(\alpha, h_p/h_{pб})$ для второго типа взаимодействия потоков.

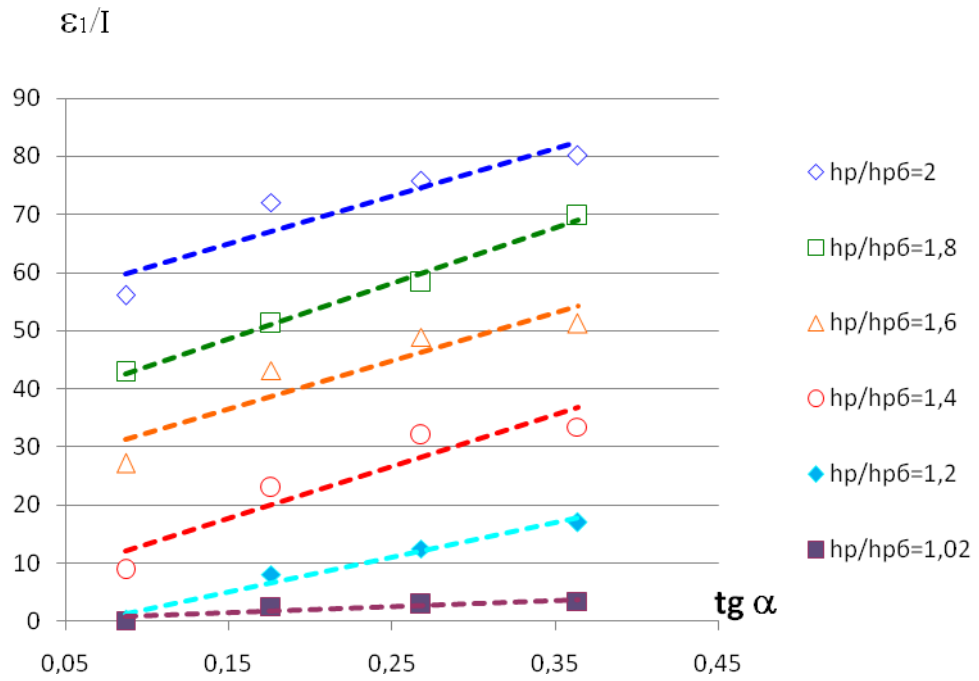


Рисунок 5 - Зависимости $\varepsilon_1 / I = f(\alpha, h_p/h_{p6})$ при расходящихся осях потоков

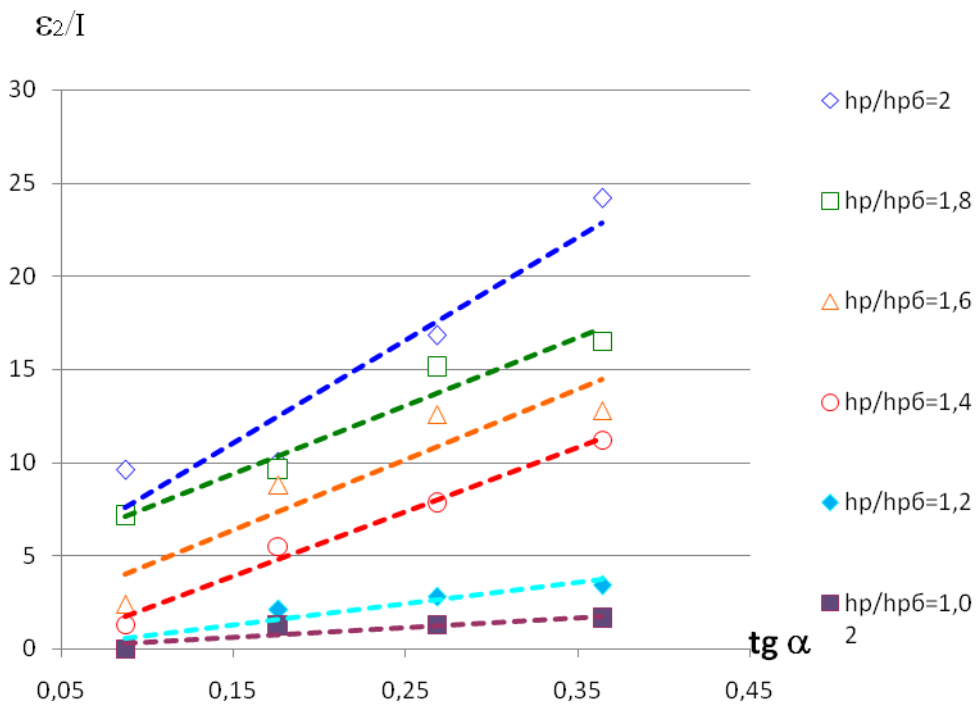


Рисунок 6 - Зависимость $\varepsilon_2 / I = f(\alpha, h_p/h_{p6})$ при расходящихся осях потоков

Анализ экспериментальных данных и графических зависимостей, в частности, приведенных на рисунках 5-6, позволил выявить четкую зависимость инерционных членов уравнения движения от угла α и глубин потока. На ее основе был выполнен расчет поправочных коэффициентов к формуле Шези по уравнению следующего вида:

$$\beta = \sqrt{\left(1 - \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{I}\right)} \quad (6)$$

На основании данных об осредненных значениях ε_1 / I и ε_2 / I с учетом их знаков были получены суммарные значения двух первых инерционных членов уравнения движения потока для условий второго типа взаимодействия потоков, и построена их графическая зависимость от угла α и относительных глубин, представленная на рисунке 7.

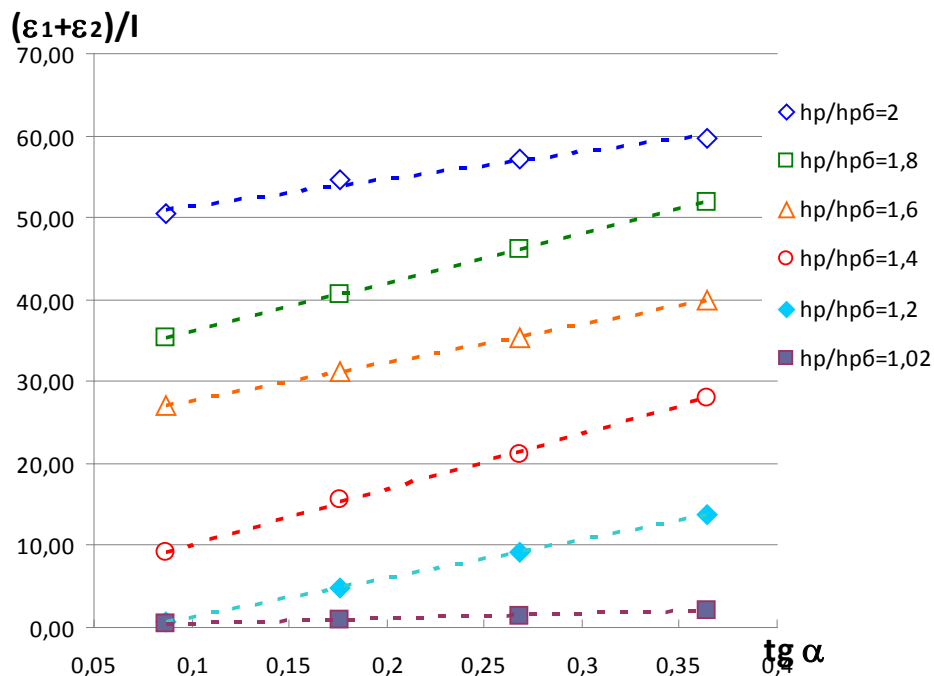


Рисунок 7 – График зависимости суммы инерционных членов $\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{I}$ от относительных глубин и углов α при втором типе взаимодействия потоков.

По полученным данным и формуле 6 были определены значения поправочных коэффициентов к средним скоростям руслового потока, рассчитанным по формуле Шези, и построена графическая зависимость этих коэффициентов от морфометрических характеристик русла, вида $\beta = f(hp/hpб, \alpha)$ (рис. 8).

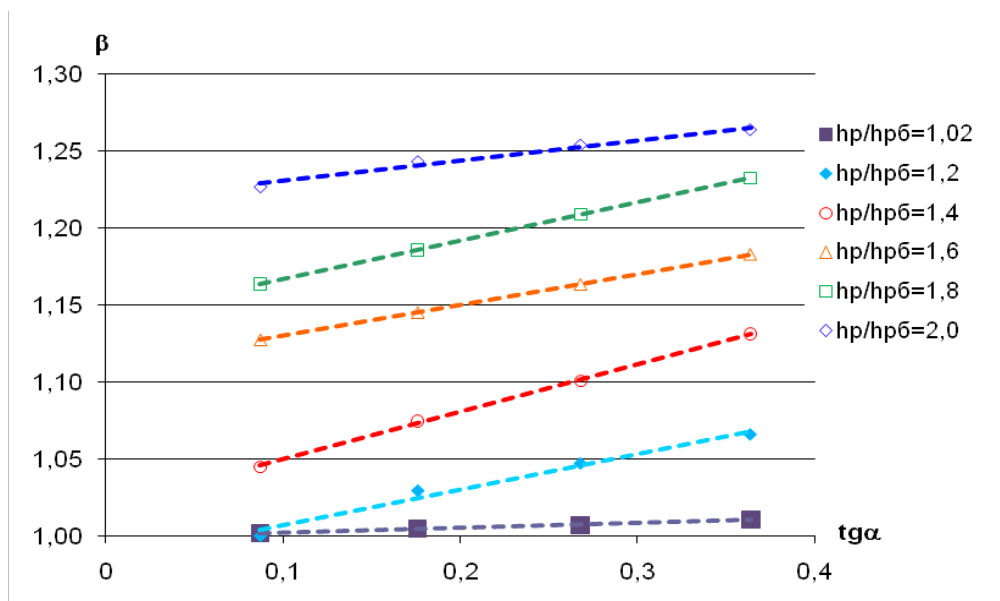


Рисунок 8 – График зависимости поправочного коэффициента β от относительных глубин и углов α при втором типе взаимодействия потоков.

На основании этой графической зависимости, зная значение угла α расхождения динамических осей потоков и относительную глубину руслового потока, можно определить значение поправочного коэффициента к средним скоростям руслового потока, рассчитанным по формуле Шези, т.е. появляется возможность учета эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков в расчетах пропускной способности русел с поймами.

С помощью натурной информации и разработанной методики, основанной на введении поправочных коэффициентов, учитывающих влияние эффекта взаимодействия потоков, были выполнены контрольные расчеты средних скоростей русловых потоков при втором типе их взаимодействия с пойменными. При этом было сделано допущение о том, что для расчетов имелись данные об измеренных расходах воды и других характеристиках потоков при уровнях затопления бровок прирусловых валов, а уклоны водной поверхности не изменялись. Для расчетов были использованы данные, к сожалению, только по 5 рекам. Как показал анализ результатов средняя погрешность расчетов по формуле Шези-Маннинга составляет 20,9% при ее максимальной величине 39,8%. По предлагаемой методике эти погрешности соответственно равны 15,1 и 29,0%, т.е. погрешность расчетов уменьшается примерно на 25%. Это свидетельствует об эффективности предложенной методики.

Следует отметить, что отсутствие данных измерений при уровнях затопления бровок прирусловых валов значительно увеличивает погрешности расчетов по формуле Шези-Манинга.

Попытка получить аналогичные значения поправочных коэффициентов β для условий третьего типа взаимодействия потоков оказалась неудачной. Из-за несовершенства методики проведения экспериментов значения инерционных членов и даже их сумма довольно часто значительно превышали 100%, что не соответствует физической сущности процесса.

В связи с этим была предпринята попытка оценки значений поправочных коэффициентов β для условий третьего типа взаимодействия потоков на основе

графической зависимости $\frac{V_p}{V_{p.\acute{a}}} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.\acute{a}}}, \alpha\right)$, приведенной на рисунке 4. На ее основе

выполнены расчеты значений поправочных коэффициентов β к средним скоростям потоков.

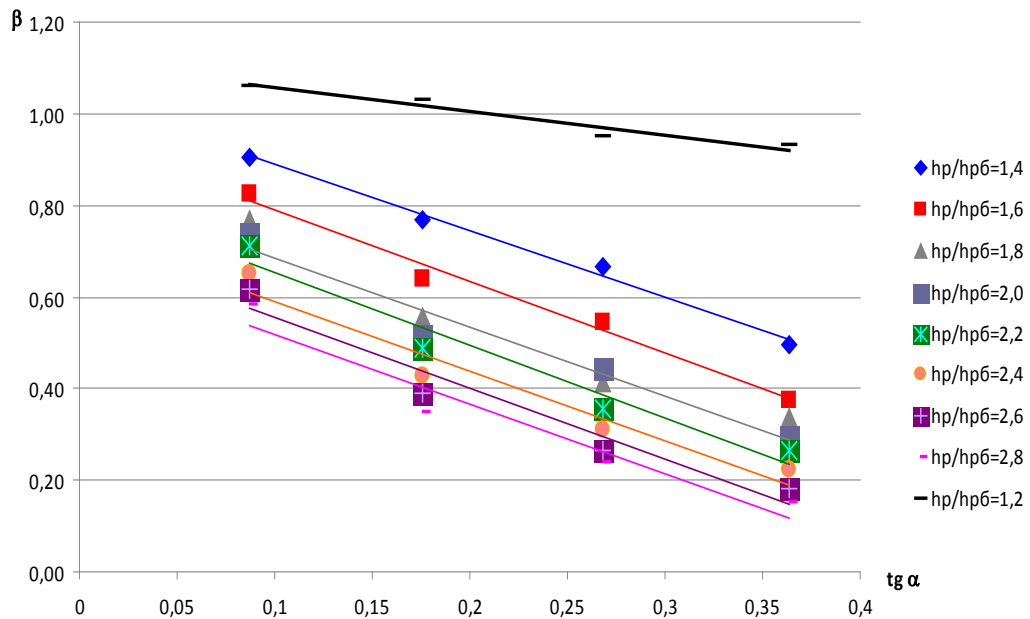


Рисунок 9 – График зависимости поправочного коэффициента β от относительных глубин и углов α при третьем типе взаимодействия потоков.

Аналогично расчетам при втором типе взаимодействия потоков, были выполнены контрольные расчеты средних скоростей руслового потока и при третьем типе их взаимодействия с пойменным. Для расчетов были использованы данные также только по 5 рекам. Как показал анализ результатов средняя погрешность расчетов на основе формулы Шези-Маннинга составляет 38,0% при ее максимальной величине 127,9%. По предлагаемой методике эти погрешности соответственно равны 8,2 и 18,5 %, т.е. примерно на 65% погрешность расчетов уменьшается. Это свидетельствует об эффективности предложенной методики.

В Заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы:

- наблюдающееся в последние годы глобальное потепление климата приводит к резкому усилению циркуляции в атмосфере и увеличивает количество и главную мощность катастрофических паводков. Измерения же максимальных расходов воды на реках с поймами по ряду причин, как правило, не производятся. Такое положение свидетельствует о необходимости совершенствования методов расчётов пропускной способности пойменных русел и особенно пойм;
- в конце сороковых годов прошлого столетия, был открыт эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков, приводящий к трансформации полей скоростей русловых потоков и, как следствие, к изменению пропускной способности пойменных русел;
- установлено, что погрешности расчетов средних и средних на вертикалях скоростей русловых потоков, определенных на основе формулы Шези-Маннинга, значительно превышают допустимые пределы;
- для моделирования процессов взаимодействия потоков был применён, разработанный на кафедре гидрометрии, метод, основанный на сравнении результатов измерений параметров русловых потоков в условиях их изоляции и при взаимодействии с пойменными потоками;
- установлено, что при расходящихся динамических осях взаимодействующих потоков (второй тип) наблюдается значительное увеличение скоростей руслового потока и пропускной способности русел с поймами. Данный тип взаимодействия потоков характерен так же и для условий подъёма уровней при пропуске паводков и половодий по затопленным поймам;

- увеличение пропускной способности руслового потока под воздействием пойменного обусловлено значительным увеличением уклонов водной поверхности, а следовательно и скоростей русловых потоков (при втором типе);
- другим следствием воздействия этого эффекта является трансформация полей скоростей руслового потока, приводящая к их выравниванию по глубине и, как следствие, к увеличению донных скоростей при тех же значениях средних скоростей, что приводит к увеличению транспортирующей способности руслового потока;
- при сходящихся осях взаимодействующих потоков (третий тип) наблюдается противоположное явление, а именно, пойменный поток при разгрузке поймы, поступая в русловой, тормозит его, создавая подпор. Это приводит к значительному уменьшению пропускной способности пойменных русел;
- третий тип взаимодействия потоков характерен для периода разгрузки пойм, т.е. периода спада уровней при пропуске паводков и половодий, когда массы пойменного потока, поступая в русловой поток, тормозят его, тем самым уменьшают его скорости и существенно трансформируют его скоростное поле. Такой характер изменения пропускной способности пойменных русел при пропуске паводков и половодий по затопленным поймам свидетельствует о процессе саморегулирования, происходящем в природных условиях;
- величины инерционных членов уравнения движения потока с переменным по длине расходом воды, определенные на основе экспериментальных данных, полученных на модели русла с односторонней поймой, являются значимыми. Так величина первого инерционного члена при угле расхождения $\alpha=20^0$ и наибольшей глубине составляет 80,1 %, а второго 24,4% (по методике Д.Е. Скородумова), тогда как с учетом непризматичности русла (методика А.Н. Картвелишвили) наибольшее значение первого инерционного члена составляет 99,6%;
- наибольшая величина первого инерционного члена при схождении динамических осей потоков при угле 20^0 и наибольшей глубине определена по методике Д.Е. Скородумова и составляет 227%, а второго 5%, тогда как, с учетом непризматичности русла (методика А.Н. Картвелишвили) наибольшее значение первого члена наблюдается также при угле 20^0 и наибольшей глубине и составляет лишь 3,2%;

- установлено, что воздействие руслового потока на пойменный распространяется на расстояние 5-6 ширин русла, если пойма гладкая. При шероховатой пойме эта величина существенно уменьшается до значений 1,5 – 2,0 ширин русла;
- результаты анализа натуральных данных показали значительное отклонение значений средних скоростей и расходов воды, рассчитанных по формуле Шези-Маннинга, от измеренных. Введение поправочного коэффициента привело к уменьшению погрешности расчетов примерно в два раза;
- результаты анализа экспериментальных данных подтвердили реальную возможность использования методики расчетов, основанной на применении системы уравнений движения потока с переменным по длине расходом воды, для практических расчетов;
- необходимы дополнительные исследования для выявления влияния эффекта взаимодействия потоков при больших значения угла α , а также шероховатости поймы на гидравлику русловых и пойменных потоков.

Список публикаций по теме диссертации:

1. Барышников Н.Б., Польцина Е., Селина Т.С., Субботина Е.С. Методы расчетов пропускной способности пойменных русел [Текст]/ Барышников Н.Б., Селина Т.С.// Ученые записки. - СПб.: РГГМУ, 2007. - №5. - С. 14-20
2. Пагин А.О., Селина Т.С., Тимофеева О.А. Экспериментальные исследования влияния эффекта взаимодействия руслового и пойменного потоков на транспорт наносов [Текст]/ Пагин А.О., Селина Т.С.// Ученые записки. - СПб.: РГГМУ, 2007. - №5. - С. 111-117.
3. Селина Т. С. Методы расчета пропускной способности русел с поймами [Текст] / Т.С. Селина// Двадцать третье пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов.–Калуга: Изд. КГПУ им. К.Э. Циолковского, 2008.–С. 185 – 186.
4. Барышников Н.Б., Пагин А.О., Селина Т.С. Воздействие морфометрических характеристик русла и поймы на скоростное поле руслопойменного потока [Текст]/ Барышников Н.Б., Пагин А.О., Селина Т.С.// Эрозионные и русловые процессы. – М.: Макс.Пресс. – 2010. – Вып.5. – С. 71-79.

В том числе в рецензируемых изданиях:

5. Барышников Н.Б., Пагин А.О., Селина Т.С. Формулы и методы для расчета расходов донных наносов [Текст]/Пагин А.О., Селина Т.С.// Ученые записки. - СПб.: РГГМУ, 2010. - №11. - С. 16-23
6. Барышников Н.Б., Пагин А.О., Селина Т.С., Твердохлебов А.В. Пропускная способность пойменных русел [Текст]/ Барышников Н.Б., Селина Т.С.// Ученые записки. - СПб.: РГГМУ, 2010. - №12. - С. 5-13
7. Барышников Н.Б., Пагин А.О., Польцина Е.В., Селина Т.С. Учет кинематического эффекта в методах расчета пропускной способности пойменных русел [Текст] / Барышников Н.Б., Селина Т.С.// Метеорология и гидрология. – СПб.: 2008, - №10. – С. 80-85.
8. Барышников Н.Б., Пагин А.О., Польцина Е.В., Селина Т.С. Морфологическое строение русел и пойм и их влияние на руслопойменные потоки [Текст]/ Барышников Н.Б., Селина Т.С.// Геоморфология. – М.: 2010, - Вып.3. – С. 67-72.
9. Барышников Н.Б., Пагин А.О., Польцина Е.В., Селина Т.С. Геоморфологические характеристики бассейна, поймы русла реки и транспорт наносов русловыми потоками [Текст]/ Барышников Н.Б., Селина Т.С.// Геоморфология. – М.: 2010, - №4. – С. 80-85.