



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Особенности построения**
кривых расходов на примере
пойменных рек

Исполнитель _____ Курганов Алексей Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ Исаев Дмитрий Игоревич
(ученая степень, ученое звание)

_____ **Доцент, к.г.н.**
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

_____ **Доцент, к.г.н.**
(ученая степень, ученое звание)

_____ Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«15» 06 2023г.

Санкт-Петербург
2023

Введение

Одним из важнейших результатов деятельности гидролога в речной гидрометрии является правильно рассчитанный сток, по-другому сказать, получить годовую таблицу ежегодных расходов воды. Во время вскрытия рек ото льда измерять расходы трудновыполнимая задача, поэтому в это время расходы воды снимают с графика кривой расходов воды.

В основных руководствах по инженерной гидравлике и СНИПах самым основным подходом к расчету пропускной способности пойменного русла. Поперечное сечение разделяется на отсеки: главное русло и поймы, которые рассматриваются, как не связанные, разделенные между собой условными, лишенными сопротивлений вертикальными плоскостями.

На поймах, расходы воды, измеряемые при малых наполнениях, отличаются низкой точностью, так как существуют обратные течения, малые скорости воды.

Взаимодействия руслового и пойменного потоков, явление, в котором заключается в дополнительных затратах энергии на массообмен между ними. При расчетах максимальных расходов может повысить точность их расчетов.

1. Описание

Пойма – это приподнятая над меженным уровнем воды в реке часть дна долины, покрытая растительностью и затопляемая рекой во время половодья. Пойма образуется на всех реках, на горных и равнинных, находящихся на стадии врезания – аккумуляции или стабильного состояния продольного профиля. Высота поймы зависит от высоты половодья и убывает к устью. Высота половодий меняется, поэтому наиболее высокая часть поймы затопляется редко, раз в 10-100 лет. Пойменные отложения существуют трех типов: старичные (глина и суглинки), русловые (галечники, пески и гравий) и пойменные (супеси и суглинки).

Во время половодья увеличивается масса воды и скорость течения, а значит, возрастает сила потока. Когда падает уровень воды, то у выпуклого берега накапливается песчаный материал, который образует прирусловую отмель. С годами прирусловая отмель превращается в пойму.

2. История и классификация пойм

Ученые пришли почти к единому мнению, что причина образования поймы является результат эрозинно-аккумулятивной деятельности реки, и формируются при смещении ее русла по дну долины. Вследствие этого поймы имеют сложное двухслойное строение. Нижняя их часть сложена из косослойно расположенных отложений, сформированных русловой фацией, а верхняя представляет собой горизонтально расположенные тонкозернистые слои – пойменные отложения.

Большой вклад в развитие учения о происхождении пойм внесли отечественные ученые В. Р. Вильямс, Р. А. Еленевский и особенно Е. В. Шанцер. Шанцер установил зависимость между формированием поймы и русловым процессом, но в то время русловые процессы начинали складываться в научную теорию, поэтому Шанцер привел описание формирования отдельных типов пойм.

С. С. Соболев и Г. Ф. Мирчинк выдвинули концепцию о решающей роли климата в образовании террас и отдельных частей поймы. Интересный результат работы этих авторов является вывод о закономерностях в строении аллювия и о зависимости типов пойм от гидрологического режима. В частности, Соболев считает, что строение вторых террас, сходное по строению пойм, является свидетельством их «пойменного» происхождения.

В основу теории формирования пойм положена концепция И. В. Попова, разработанная Шанцером, и развитая Поповым, на основе, созданной в ГГИ теории руслового процесса. Основным моментом теории формирования пойм является положение о том, что пойма – продукт

жизнедеятельности реки, результат перемещения русла по долине – имеет двучленное строение и определяется типом руслового процесса, присущего данной реке, а точнее участку реки. Основными факторами, определяющими русловой, а, следовательно, и пойменный процессы, являются особенности водного режима, сток наносов и физико-географические условия.

Детальная классификация пойм, не потерявшая своего значения, по сей день, разработана Р. А. Еленевским. В ее основу лежит характер растительности и особенности геоморфологии – рельеф поверхности, строение и происхождение поймы, наиболее полно отражающие специфические признаки аллювиального процесса. Он указывает, что в природе встречаются: глинисто-зернистые, гривистые поймы, песчано-гривистые, но не слоистые.

Таблица 1.1
 Схема, показывающая связь разновидностей пойм, выделенных Р.А. Еленевским, с типами руслового процесса, предложенными ГГИ

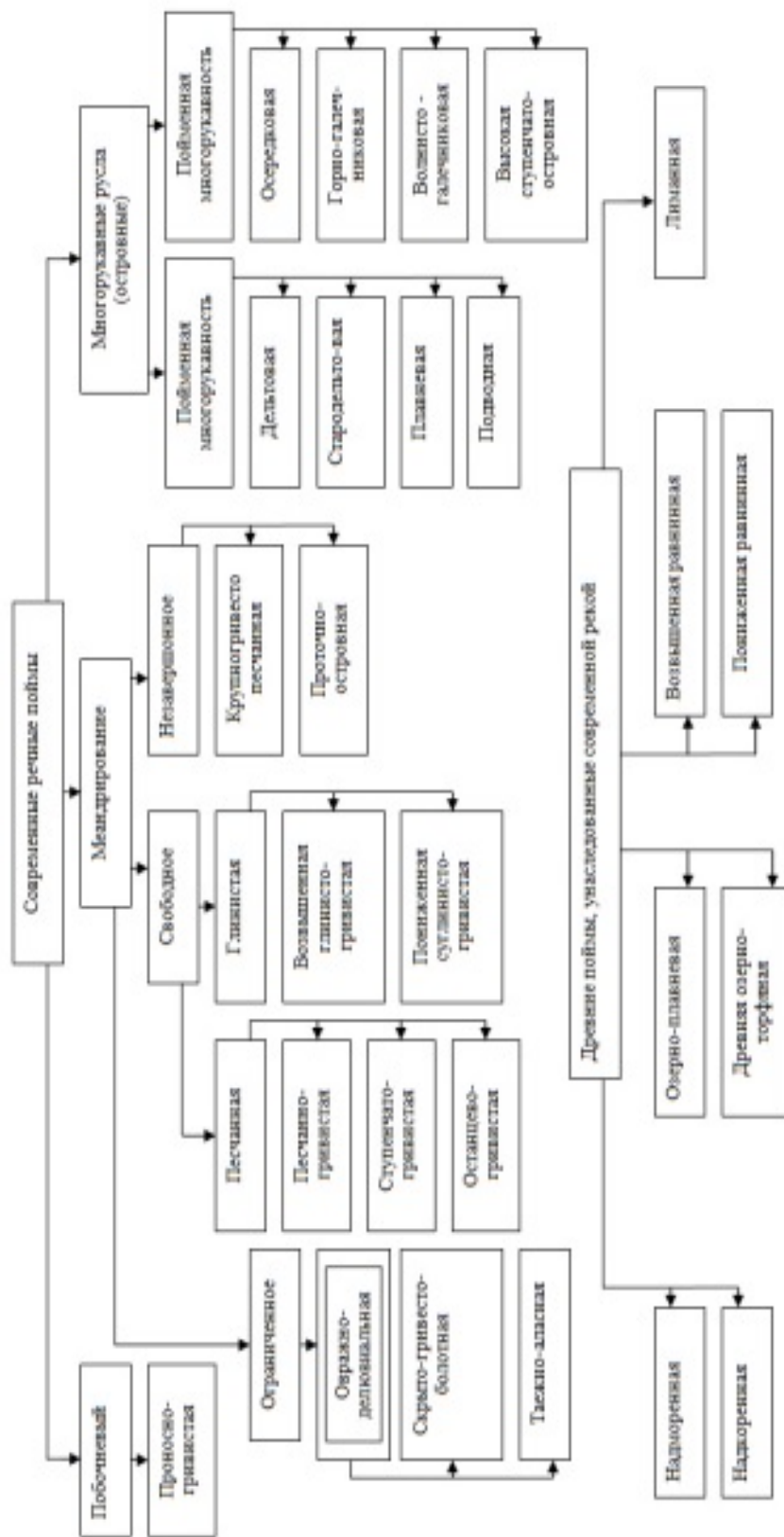


Рис. 2.1 Схема, показывающая связь разновидностей пойм, выделенных Р. А. Еленевским, с типами руслового процесса, предложенная ГГИ

3. Взаимодействие руслового и пойменного потоков

Русла с поймами – частый случай сложносоставных русел, отличительной особенностью которых является наличие двух и более потоков, движущихся с различными скоростями параллельно или под различными углами друг к другу. При движении таких потоков возникает дополнительное сопротивление, которое существенно изменяет пропускную способность русел.

Аналогичные явления могут возникнуть при движении по пойме, шероховатость и глубина которой резко меняется по ширине. Бывают случаи резкого изменения шероховатости русла и поймы без изменения глубин. Результатом этого может быть значительные изменения пропускной способности меандрирующих русел.

Основные факторы зависимости, определяющие значение скоростей руслового потока, являются: относительная глубина, угол α , а когда он равен нулю – значение уклонов свободной поверхности. Углы α и уклоны свободной поверхности, определяются морфологией русла и поймы и характером их изменения по длине реки.

4. Проблемы взаимодействия руслового и пойменного потоков

Суть проблемы взаимодействия руслового и пойменного потоков состоит в уменьшении пропускной способности сложно-составленных русел, частным случаем которых являются русла с поймой, за счет дополнительных сопротивлений, возникающих при движении отсеков потока с различными скоростями.

На протяжении длительного времени в гидравлике и в гидрометрии движение воды в руслах с поймами рассматривались так, как будто движение в русловой и пойменной частях происходило независимо, то есть выход воды на пойму не влияет на русловой поток. Эта неправильная точка зрения повлияла на некоторые методы в гидрометрии и в гидравлике. Например, при

расчете воды в руслах со сложной формой допускали часто формальное деление потока вертикальными продольными плоскостями на части. Для каждой части в целях подсчета расхода воды применялись обычные уравнения движения, а общий расход получался путем простого суммирования частных расходов воды.

В 1947 году Г.В.Железняков предложил при анализе движения воды в русле с поймами исходить из того, что движение воды при выходе на пойму происходит в условиях взаимодействия основного и руслового потоков.

Это явление обуславливает существенное изменение кинематической структуры потока в основном русле в пределах его живого сечения, оказывая влияние и на движение воды в пойме вблизи русла. Перестройка поля скоростей, сопровождающаяся образованием вихрей, объясняется различиями в гидравлических сопротивлениях русла и поймы.

По характеру взаимодействия можно выделить 5 типов взаимодействия потоков.

К первому типу взаимодействия относятся потоки, динамические и геометрические оси которых параллельны. Хотя в природе они встречаются довольно редко, они изучены значительно лучше других типов.

Большинство работ, посвященных разработке методики расчета пропускной способности русел при этом типе основаны введении поправочных коэффициентов, учитывающих эффект взаимодействия руслового (K_p) и пойменного (K_n) потоков к составляющим расхода воды в виде (4.1):

$$Q = K_p * Q_p + K_n * Q_n \quad (4.1)$$

где Q_p – расход воды в русле, м³/с;

Q_n – расход воды в пойме, м³/с.

Для расчета значений K предложено большое количество формул, которые учитывают уменьшение расхода в русле под влиянием потока поймы.

Так И.Ф. Красев на основе уравнения количества движения, получил следующее значение коэффициентов, которые представлены в формулах 4.2 и 4.3:

$$Kp = \left(\frac{g \cdot B \cdot p}{g \cdot b \cdot p + 2 \cdot \varphi \cdot h_{p.б}} \right) \cdot C_p^2 \cdot K_v \cdot H_{p.б}^{\frac{1}{2}} \quad (4.2)$$

$$Kn = \frac{g \cdot B \cdot n}{g \cdot B \cdot n - 2 \cdot \varphi \cdot \alpha_v \cdot C_n^2 \cdot K_v \cdot H_{p.б}} \quad (4.3)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

Bp Bn – коэффициенты, учитывающие долю площади русла и поймы от всей площади сечения потока;

φ – коэффициент, учитывающий отношение сохранившейся продольной скорости обменивающихся масс к средней скорости потока;

$Kv = Vp - VnVp$, коэффициент взаимодействия скоростей; $H_{p.б}$ – уровень русла до бровки, см;

Cn – коэффициент Шези.

$$\alpha_v = \frac{V_p}{V_n} \quad (4.4)$$

где Vp – скорость в русле, м/с;

Vn – скорость в пойме, м/с.

И.П. Спицин предложил расчет средней скорости всего потока (V') выполнять по формуле: $V' = kV = K(BpVp + BnVn)$.

$$K = \frac{R_p}{R_{p,б}} \left[1 - 0.56 \sqrt{\frac{\Delta V}{V} \frac{h_{п}}{R_{p,б}}} \left(\frac{B_p}{B_{п}} \right)^{\frac{1}{4}} \right] \quad (4.5)$$

где $R_{p,б}$ – гидравлический радиус русла при условии его обровки, м² ;

ΔV – разность скоростей русла и поймы, м/с.

Г.В.

Железняков предложил значения коэффициентов K_p и $K_{п}$ рассчитывать по формуле 4.6:

$$K_p = K'_p + K_{к.э.р/i}$$

$$K_{п} = K'_{п} + K_{к.э.п} \quad (4.6)$$

где $K'_p, K'_{п}$ – коэффициенты,

которые учитывают влияние формы сечения русла на его пропускную способность ;

$K_{к.э.р.i}, K_{к.э.п}$ –

кинематический эффект взаимодействия руслового и пойменного потоков.

Г.В. Железняков предложил формулу для расчета пропускной способности русла с поймой в виде:

$$Q_{пф}, Q = \left(1 - \frac{B_{*p} C_{*p}}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{I}{F_{Гр}}} + K_{к.э.р} \right) Q_{рф} + \left(1 - \frac{B_{*п} C_{*п}}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{I}{F_{Гп}}} + K_{к.э.п} \right) Q_{пф} \quad (4.7)$$

где $B_{*п}$ – параметр, учитывающий неравномерность изменения глубин;

C_{*} – коэффициент Шези, в который введена поправка, учитывающая форму сечения;

$F_{Г} = V_{пов}/gn$, число Фруда;

$V_{пов}$ – средняя поверхностная скорость, м/с;

$K_{к.э}$ – [0.04-0.08], коэффициент учитывающий выравнивание скоростей.

Индексы «р» и «п» соответствуют руслу и пойме. Им же была предложена методика расчета пропускной способности с различной шероховатостью по ширине, которая может быть применена и для расчета пропускной способности русел с поймами.

$$Q = Q'_{п} + Q'_{р} - (K'_{р} - K'_{п})Q_{р.б} \quad (4.8)$$

где $K'_{р}$, $K'_{п}$ – параметры кинематического эффекта соответственно в русле и пойме;

$Q_{р.б}$ – расход воды в русле при затоплении его до бровки, м³/с.

Методика Г.В. Железнякова является дальнейшим развитием методики, основанной на уравнении (1.1) ее преимуществом является разработка рекомендаций для определения коэффициентов $K_{р}$ и $K_{п}$ в зависимости от глубины руслового и пойменных потоков. Однако она также нуждается в проверке и уточнении по натурным наблюдениям.

Можно привести предложения и других авторов, но все они, как правило, имеют ограниченное применение. Что обусловлено слабой изученностью проблемы, сложностью процессов и существенным их отличием в натуральных условиях от лабораторных, из-за влияния морфологического строения русла и поймы. Поэтому, как отметил Г.В. Железняков: «Желательны исследования $K_{к.э}$ в зависимости от $(\frac{n_{п}}{n_{р}}; \frac{B_{п}}{B_{р}}; \frac{h_{р}}{h_{р.б}})$ и других параметров.

По мнению Н.Б. Барышникова, в число основных параметров предложенных Г.В. Железняковым, необходимо включать угол (α) и уклон свободной поверхности $(\frac{I}{I_{р.б}})$.

Второй путь решения проблемы расчета скоростей руслового и пойменного потоков в условиях их взаимодействия основан на анализе системы дифференциальных уравнений движения и неразрывности с целью получения хотя бы приближенных решений.

Одним из первых явилось предложение Д.Е. Скородумова, который на основании решения системы уравнений движения потока с переменной массой и неразрывности получил уравнение:

$$I = \frac{V^2}{c^2 * h} + \frac{\alpha_H V_H^2 - \alpha_B V_B^2}{2 * g * L} + \frac{V - V_g}{g * \omega} * \frac{Q_H - Q_B}{L} + i_{вз} + \frac{1}{g} * \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (4.9)$$

где $i_{вз}$ – член, который учитывает потери напора, обусловленные взаимодействием, приходящиеся на единицу длины

$$\varepsilon_2 = \frac{V - V_g}{g * \omega} * \frac{Q_H - Q_B}{L} \quad (4.10)$$

Терминология Д.Е. Скородумов, а также частично учитывает эффект взаимодействия руслового и пойменных потоков.

По-видимому, инерционный член ε_4 учитывает влияние первого типа взаимодействия; т.е. добавочный уклон, возникающий при вихревом движении между руслом и поймой. Однако четкого разграничения роли инерционных членов в учете типа взаимодействия автором не приводится, поэтому в дальнейшем при оценке влияния эффекта взаимодействия будем рассматривать его суммарную величину, обозначая ее $i_{вз}$.

Решая уравнение (4.9) относительно V , с учетом $i_{вз} = \varepsilon_4$ получаем уравнение 4.11:

$$V = c * \sqrt{h * (I - \varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon_3 - \varepsilon_4)} \quad (4.11)$$

В 1969 году Г.В. Железняков предпринял попытку преобразования системы дифференциальных уравнений движения и неразрывности для

расчета параметров потока в русле с поймой. Полученные им уравнения, как отмечает сам автор, не доведены до расчётных.

$$\begin{aligned}
 & \int_0^{B-B_{кэ}} \alpha_б * V * \frac{\partial V}{\partial l} * \partial b \\
 & + \int_0^{B_{кэ}} \alpha_{Б.е.э} * \frac{\partial V_{к.э}}{\partial l} * \partial b \\
 & + \int_0^B \alpha_к * \frac{\partial V}{\partial t} * \partial b + g * \int_0^B \frac{\partial h}{\partial l} * \partial b \\
 & = g * I * B - \int_0^{B-B_{кэ}} \frac{V^2}{C^2 * h} * \partial b - \int_0^{B_{кэ}} \frac{V_{к.э}^2}{C_{к.э}^2 * h} * \partial b \\
 & \int_0^B \frac{\partial V}{\partial t} * \partial b + \int_0^{B-B_{кэ}} V * \frac{\partial h}{\partial l} * \partial b + \int_0^{B_{кэ}} V_{к.э} * \frac{\partial h}{\partial l} * \partial b + \int_0^B h * \frac{\partial V}{\partial l} * \partial b = 0
 \end{aligned}
 \tag{4.12}$$

где $B_{кэ}$ – часть ширины потока,
на которой наблюдается кинематический эффект, м;

$\alpha_к, \alpha_б$ – коэффициенты Кориолиса и Буссинеска на вертикали;

l, b – элементы длины и ширины потока, м;

V – средняя скорость потока на вертикали, м/с;

$кэ$ – индекс обозначающий,
что расчет параметров выполняется с учетом кинематического эффекта.

Решение Г.В. Железнякова весьма интересно и оригинально, но до доведения его уравнений до расчетных необходимы глубокие проработки, в частности по определению значений $B_{к.э}$, $C_{к.э}$ и других характеристик потока в зоне действия кинематического эффекта.

Н.Б. Барышников констатирует, что методика аналитического расчета параметров потока сложносоставного сечения разработана недостаточно, а эмпирические, приближенные методы, как правило, основаны на

лабораторных данных и расчеты по ним дают результаты существенно отличные от натуральных.

Это отличие обусловлено двумя основными причинами. Первая – резкое различие морфометрии русел и пойм, как в поперечном сечении, так и в особенности по длине естественных водотоков от моделей. Практически во всех экспериментальных работах исследовались потоки на моделях с постоянными по длине и ширине характеристиками русла и поймы, причем их суммарная ширина, как правило, была неизменной по длине.

Уклоны свободной поверхности поддерживались одинаковыми как в русле, так и на пойме, и неизменными по длине, практически не менялись при изменении уровней.

Вторая – в сложности процесса изменения уклонов свободной поверхности по ширине и длине потоков в руслах с поймами при увеличении уровней воды. Изменение уклонов, в свою очередь определяет характер изменения коэффициентов шероховатости.

Все предыдущие расчеты основаны для первого типа взаимодействия руслового и пойменных потоков. Расчет дополнительных сопротивлений можно выполнить по формуле 4.13:

$$\varepsilon = A_b * \frac{dV}{db} \quad (4.13)$$

где dV/db – градиент скорости в зоне взаимодействия потоков, м/с;

A_b – коэффициент турбулентности (по ширине потока).

Однако анализ материалов экспериментальных исследований по этой проблеме показывают, что уменьшение пропускной способности руслового отсека, да и потока в целом невелико, в пределе достигает 8-10%.

Ко второму типу – относятся потоки, в которых происходит перемещение масс жидкости из русла на пойму, то есть рассекание руслового

потока на пойму(или поймы). Этот тип взаимодействия потоков довольно часто наблюдается в природных условиях, особенно в период подъема половодий и паводков, когда воды русла затопляют пойму.

Геометрические оси руслового и пойменного потоков могут быть в этом случае параллельными и непараллельными. Процесс перетекания масс жидкости из русла на пойму обусловлен рядом причин, в частности различием скоростей движения воды в русле и на пойме, отличием сроков снеготаяния в отдельных частях бассейна, особенно на реках, текущих на север, и другими.

Дополнительные сопротивления, возникающие при взаимодействии таких потоков, обусловлены резким увеличением сопротивлений массам руслового потока, имеющим высокие скорости и поступающим на пойму, шероховатость которой, как правило, больше чем в русле.

Однако анализ опубликованных данных, полученных в РГГМУ, позволяет сделать вывод о том, что увеличение сопротивлений при данном типе взаимодействия мало. Так экспериментами РГГМУ установлено, что расходы воды в русловом отсеке были не значительно меньше, чем в условиях его изоляции от пойменного стеклянными продольными стенками. В то же время расходы воды пойменного отсека больше, чем в условиях изоляции. Таким образом, расход воды, в целом через сечение несколько превышал соответствующий суммарный расход воды в русловом и пойменном отсеках потока в условиях их изоляции. Однако это увеличение расходов невелико. Оно обусловлено значительным сопротивлением в изолированных потоках и небольшим уменьшением площади их сечения за счет стеклянной разделительной стенки.

Обязательным условием возникновения данного типа взаимодействия руслового и пойменного потоков являются поперечные уклоны свободной поверхности воды, направленные из русла в пойму.

Следует отметить, что при данном типе взаимодействия потоков наблюдается весьма интенсивный обмен масс между руслом и поймой, поэтому к расчету таких потоков можно применять лишь уравнения потоков с переменной массой. Третий тип характеризуется перемещением масс жидкости из поймы в русло.

Дополнительные сопротивления возникают за счет торможения руслового потока, вторгающегося в него массами пойменного потока, имеющий значительно меньшие скорости течения. Это приводит к существенным уменьшениям пропускной способности русел, достигающим по экспериментальным и натурным данным 40% и более по сравнению с аналогичным потоком, но в условиях его изоляции от пойменного. Уменьшение пропускной способности зафиксировано также и для потока в целом, по сравнению с суммарным для изолированных отсеков потока при тех же глубинах и других характеристиках.

Существенные деформации терпит скоростное поле потока. Динамическая ось руслового отсека потока, так же как и при втором типе взаимодействия, смещается в сторону, противоположную пойме с наибольшей шероховатостью.

Данный тип взаимодействия, так же как и предыдущий, довольно часто наблюдается в природе, особенно при параллельности геометрических осей в период спада половодий и паводков, когда воды поймы, как правило, из их низовий поступают в русло.

В натуральных условиях, особенно при наличии транзитного потока поймы, на отдельных участках водотока, в зависимости от изменения морфометрии его русла и поймы по длине реки, возможно чередование различных типов взаимодействия руслового и пойменного потоков. Как правило, зонам расширения должен соответствовать второй тип взаимодействия потоков русла и поймы, а сужению – третий.

Четвертый тип взаимодействия наиболее сложный, и характеризуется пересечением динамических осей руслового и пойменного потоков. Он является типичным для потоков в меандрирующих руслах и руслах с фуркацией (пойменная многорукавность) при пропуске расходов, близких к катастрофическим, когда возникает транзитный пойменный поток.

Процесс взаимодействия таких потоков изучен не достаточно. Наиболее детальные и полные экспериментальные данные приведены в работе Г.В. Иванова и Н.Б. Барышникова применивших оригинальную методику измерения векторов скоростей и других характеристик руслового и пойменного потоков как при их взаимодействии (при углах пересечения динамических осей потоков $\alpha = 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$) так и в условии их изоляции.

Н.Б. Барышников отмечает большое влияние глубин наполнения поймы и угла пересечения динамических осей руслового и пойменного потоков на поле скоростей в русле и пойме и их пропускную способность. Им были проведены исследования на основе анализа натуральных материалов по 27 рекам, бассейны которых расположены в различных физико-географических зонах России. По планово-высотным материалам участков постов были определены углы пересечения геометрических осей руслового и пойменного потоков, которые в дальнейшем приравнивались к углам пересечения динамических осей (α).

Такой способ определения углов (α) приближенный, его точность около 5° . Практически он не дает возможности оценить изменение угла при изменении глубин. В результате проведенных работ автор приходит к выводу, что зависимость должна иметь вид:
$$\frac{V_p}{V_{p.б}} = f\left(\frac{h_p}{h_{p.б}}; \alpha; \frac{I}{I_{p.б}}; \frac{n_{п}}{n_h}; \frac{B_{п}}{B_p}\right).$$

Основными факторами этой зависимости, определяющими значения скоростей в русле, являются : относительная глубина, угол пересечения динамических осей (α), а при его равенстве нулю – значение уклонов свободной поверхности ($I/I_{p.б}$).

Резкое уменьшение скоростей руслового потока под влиянием пойменного, пересекающего его под значительными углами ($\alpha > 30^\circ$), обусловлено тем, что верховая бровка русла как бы выполняет роль водослива, около которого в основном русле возникает водоворотная зона.

Ее размеры пропорциональны углу пересечения осей потоков, разнице их скоростей, а при больших углах – скорости, глубине и ширине пойменного потока, а также зависит от разности их шероховатостей и других факторов. С увеличением угла α до 90° и больше, а также скоростей пойменного потока, водоворотная зона может занять все русло и в нем возникают обратные течения.

Таким образом, четвертый тип взаимодействия руслового и пойменного потоков является наиболее распространенным, но и наиболее сложным.

Первые три типа взаимодействия можно рассматривать как частные случаи четвертого.

Особым случаем является пятый тип взаимодействия потоков, протекающих в руслах с двумя разновысотными поймами, а также с одно или двухсторонней одинаковой высоты поймой, у которой с ростом уровней ее расширение по длине сменяется сужением или наоборот, сужение – расширением.

5. Метод построения кривых на реках с поймами

На большинстве опорных постов сети гидрометслужбы выполняются наблюдения над уровнями, расходами воды, скоростями течения, глубинами, уклонами свободной поверхности, являющиеся основой для построения кривых зависимостей: $Q=f(H)$, $\omega=f(H)$, $V=f(H)$, $h=f(H)$, $I=f(H)$. По этим же данным рассчитываем коэффициент Шези: $C = \frac{V}{\sqrt{I \cdot H}}$.

По формуле Павловского или Манинга рассчитываем коэффициент шероховатости «n» и строим кривые зависимостей $c=f(H)$ и $n=f(H)$.

Для вычисления максимальных расходов выполняют экстраполяцию указанных кривых ($Q=f(H)$; $\omega=f(H)$; $V=f(H)$ и др.).

Однако на ряде постов отсутствуют измерения расходов воды при затопленной пойме, хотя глубины затопления последней весьма значительны, что приводит к невозможности расчета как максимального, так и годового стока.

Еще хуже обстоит дело с подсчетом максимальных расходов воды на малых водотоках, где ряд наблюдений отсутствует, а имеющиеся расчетные методы не всегда дают удовлетворительные результаты и при массовых расчетах нуждаются в сравнении с данными натурных наблюдений или расчетов, основанных на натурных данных.

Н.Н. Павловским была предложена методика определения расходов воды составных русел путем разбивки их на отсеки в местах резкого изменения поперечного профиля или шероховатости, то есть учетом формулы Шези, ограничиваясь $i=2$.

$$Q = \sum Q_i = Q_p + \sum Q_n \quad (5.1)$$

$$Q = \omega_p * c_p * \sqrt{h_p * I_h} + \omega_{п1} * c_{п1} * \sqrt{h_{п1} * I_{п1}} + \omega_{п2} * c_{п2} * \sqrt{h_{п2} * I_{г2}} \quad (5.2)$$

где ω – площадь живого сечения, m^2 ;

c – коэффициент Шези.

Индексы «р» и «п» соответствуют руслу и пойме. Остальные обозначения общепринятые.

В указанной методике сделан ряд допущений, основными из которых являются: формула Шези разработана для расчетов скоростей потоков

равномерного, установившегося режима. Близкий к ним, так называемый, квазиравномерный и квазиустановившийся режим наблюдается в меженьный период. В период прохождения высоких паводков, когда пойма затопливается, режим потока весьма существенно отличается от равномерного и установившегося. Поэтому применение формулы Шези в этот период является определенным допущением.

В 1965 году Д.С. Скородумовым был выполнен весьма тщательный анализ этого допущения на основе данных специальных натуральных наблюдений дифференциальных уравнений движения и неразрывности потока в открытом русле с переменным расходом.

$$I = \frac{V^2}{c^2 * h} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\alpha * V^2}{2 * g} \right) + \frac{1}{g} * \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{Q * V}{L * g * \omega} \quad (5.3)$$

$$\frac{Q}{L} = \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial l} \quad (5.4)$$

Подставив первое из системы этих уравнений в конечных разностях в виде:

$$I = \frac{V^2}{c^2 * h} + \frac{\alpha_H * V_H^2 - \alpha_B * V_B^2}{2 * g * L} + \frac{V - V_g}{g * \omega} * \frac{Q_H - Q_B}{L} + \frac{1}{g} * \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (5.5)$$

где I – уклон водной поверхности, град;

l – продольная координата, м; t – время, с;

α – корректив скорости;

V_g – проекция скорости притекающих или оттекающих масс воды на направление средней скорости рассматриваемого потока.

Используя данные специальных натуральных наблюдений в паводочный период, он оценил вес каждого члена уравнения. Индексом «н» и «в» обозначают соответственно нижний и верхний створы;

Анализируя это уравнение, Д.С. Скородумов для одного объекта получил значение: $\frac{1}{g} * \frac{\Delta V}{\Delta l} = 0.00000012$.

Как отмечает автор, что составляет доли процента от уклона в паводочный период на равнинных реках. Значительно сложнее оценка членов уравнения, учитывающих неравномерность движения и изменение расхода воды по длине водотока, и для этого необходимы данные об измерениях, по крайней мере, на двух створах, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, и сведения о притоке и оттоке.

Анализируя важность этих членов, названных инерционными, также был выполнен Д.С. Скородумовым. Обозначив их соответственно через формулу 5.6:

$$\varepsilon_1 = \frac{\alpha_H * V_H^2 - \alpha_B * V_B^2}{2 * g * L}$$
$$\varepsilon_2 = \frac{V - V_D}{g * \omega} * \frac{Q_H - Q_B}{L} \quad (5.6)$$

Он по данным наблюдений на нескольких створах рек Луги и Пьяны определил значение инерционных членов, а по реке Дон, лишь приблизительно оценил их величины.

Не смотря на то, что абсолютные значения параметров ε_1 и ε_2 являются приближенными, ибо на них оказывают существенное влияние, как ошибки измерений, так и допущения, принятые в методике их вычисления, они дают нам возможность судить о порядке величин этих инерционных членов и о величине ошибок, которая допускается при использовании формулы Шези для расчетов по данным лишь одного створа.

По данным Д.С. Скородумова значения ε , достигают 0.000023 на реке Луге и 0.000030 на реке Пьяна, что составляет 25-28% (на р. Луга) и 55%(на р. Пьяна) от составляющего значения уклона свободной поверхности. Однако

значение ε_2 , хотя по абсолютной величине и значительно меньше ε , но, как правило, для указанных рек имеет знак противоположный ε_1 .

Максимальное значение $\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{I}$ соответствует 36%.

На кафедре ЛГМИ были выполнены расчеты величин на реке Дон у х. Хованский. Для расчетов использовались сведения об измеренных расходах воды по одному створу и данные промеров по второму, расположенному в 1515 км от первого.

Расчеты результатов показывают, что значение ε , весьма близко к значению I на данном участке. В то же время в процессе проработок были использованы данные промеров по третьему створу, который находился на расстоянии 51.4 км от расходного.

При введении в формулу 2.6 значения $L = 51.4$ км расчетная величина ε , получена равной 0.000000002, что составляет ничтожную долю процента от уклона свободной поверхности.

Таким образом, при переходе от дифференцирования к конечным разностям возникает дополнительная погрешность, связанная с выбором расчетного значения «L». Как вытекает из условий неразрывности, при постоянном по длине расходе воды величина инерционного члена будет определяться характером изменения площадей поперечного сечения по длине реки.

$$\varepsilon_1 = \frac{\alpha_H V_H^2 - \alpha_B V_B^2}{2 * g * L} = \bar{\alpha} * \frac{V_H^2 - V_B^2}{2 * g * L} \quad (5.7)$$

Допуская в первом приближении $\alpha_H = \alpha_B = \bar{\alpha}$ и учитывая, что $V = \frac{Q}{\omega}$ получим следующее:

$$\varepsilon_1 = \bar{\alpha} * \frac{Q^2}{2 * g * L} * \left(\frac{1}{\omega_H^2} - \frac{1}{\omega_B^2} \right) = \frac{\bar{\alpha} * Q^2}{2 * g * L} * \left(\frac{\omega_H^2 - \omega_B^2}{\omega_H^2 * \omega_B^2} \right) \quad (5.8)$$

Изменение же площадей поперечных сечений поймы подлинереки. Однако и здесь, как считает Н.Б. Барышников, наблюдается четкая зависимость вида кривой $\omega_{\Pi} = f(L)$ от типа поймы и в конечном счете от типа руслового процесса.

Н.Б. Барышниковым, были установлены наибольшие ошибки, ожидаемые при расчете скоростей, если не учитывать инерционных членов (по наибольшему числу объектов). Им получено, что наибольшие значения отношений расчетных скоростей, а, следовательно, и расходов воды весьма существенны и достигают 37% и подчеркивается, что произведенные расчеты являются ориентировочными, и реальная величина ошибки, при пренебрежении инерционными членами, может быть существенно выше приведенной. Вопрос этот нуждается в дальнейшей более углубленной проработке с привлечением более обширного материала натурных исследований.

Другим существенным недостатком расчетов Q_{max} по формуле Шези является допущение о равенстве уклонов свободной поверхности в русле и на пойме. Это допущение связано с отсутствием методики, а, следовательно, и надежных данных измерений уклонов на пойме.

В последнее время вопросу несоответствия уклонов свободной поверхности в русле и на пойме при затоплении последней уделяется большое внимание и посвящено ряд работ.

Так в работе А.В. Гордикова и Н.В. Россомахина указывается на несоответствие уровней и продольных уклонов в русле и на пойме реки. Характер связи уровней потоков в русле весьма сложный и свидетельствует о запаздывании хода уровней поймы от хода уровней русла. Далее констатируют наличие однонаправленного в сторону поймы от русла поперечного уклона свободной поверхности. При этом авторы подчеркивают, что уровень поймы во все фазы паводка был меньше уровней

в русле. Это явление они объясняют в первую очередь поперечными уклонами поверхности поймы.

Этот вывод несколько противоречит общепринятому представлению о том, что при опорожнении поймы на спаде половодья уклоны свободной поверхности обычно направлены в сторону русла. По-видимому, данные наблюдений только по одному пойменному массиву, относящемуся к меандрирующему типу (свободное), не дают возможности обобщения и нуждаются в проверке.

Несоответствие продольных уклонов свободной поверхности руслового и пойменного потоков, а также наличие поперечных уклонов подтверждается 24 и в других работах. Эти расхождения находятся в прямой зависимости от типа поймы и ее аккумулярующей емкости.

Еще одна сложность расчетов по формуле Шези состоит в неопределенности коэффициента Шези «С» как для русловой, так и для пойменной части потока.

В настоящее время известно свыше 300 формул для расчета коэффициента «С», правильный выбор расчетной формулы, поэтому является важной задачей. Анализ формул для расчета коэффициента Шези производился разными авторами в разные годы. Наиболее детальный и полный анализ формул выполнен в монографии П.Ф. Горбачева и диссертации В.А. Соколовой. Ими отмечается, что значительное число формул для расчета коэффициента «С» носит частный характер или получено на ограниченном опытном материале и поэтому не представляют в настоящее время интереса. Приведем несколько распространенных формул для расчета коэффициента Шези «С». Гангилье-Кутгера (1869 год) – 5.9, Базена (1897 год) – 5.10, Маннинга (1890 год) – 5.11, Форхгеймера (1923 год) – 5.12, Павловского (1925 год) – 5.13.

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + 23 * \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (5.9)$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{Y}{\sqrt{R}}} \quad (5.10)$$

$$C = \frac{1}{n} * R^{1/6} \quad (5.11)$$

$$C = \frac{1}{n} * R^{1/5} \quad (5.12)$$

$$C = \frac{1}{n} * r^y \quad (5.13)$$

$$y = 2.5 * \sqrt{n} - \frac{0}{13} - \frac{0}{75} * \sqrt{R} * (\sqrt{n} - \frac{0}{1}) \quad (5.14)$$

Во всех формулах «n» и «y» коэффициенты шероховатости. Широкое распространение за рубежом из эмпирических формул имеет формула Штриклера 5.15:

$$C = 21.1 * \sqrt[6]{\frac{R}{d}} \quad (5.15)$$

где d – величина неровностей русла.

А.В. Караушевым эта формула приведена к виду:

$$C = 33 * \left(\frac{H_{cp}}{d}\right) \quad (5.16)$$

где H_{cp} – средняя глубина в потоке;

d – средний диаметр частиц донных отложений, который он связывает с гидравлической шероховатостью соотношением, м.

$$n = 0.03 * d^{1/6} \quad (5.17)$$

Из полученных формул для расчета коэффициента «C» приведем формулу И.И. Агроскина, предложенную им в 1949 году:

$$C = \frac{1}{n} + 17.72 * \lg R \quad (5.18)$$

Впоследствии, эта формула неоднократно подвергалась уточнениям в 1965 году В.Ф. Толмаза 5.19:

$$C = \frac{1}{n} + (21 - 100 * n) * \lg h_{\text{ср}} \quad (5.19)$$

В 1965 году И.И. Агроскин и Д.В. Штенлихом была предложена следующая формула:

$$C = \frac{1}{n} + 27.5 - 300 * n * \lg R \quad (5.20)$$

В связи с трудностью определения гидравлической шероховатости «n» по таблицам, о чем будет сказано ниже, были выполнены попытки замены коэффициента «n» в формуле И.И. Агроскина реальными размерами выступов шероховатости.

М.А. Мостков в 1949 году предложил полуэмпирическую формулу для определения «С» в открытых руслах:

$$C = \lg \frac{R}{\Delta} + 9.5 * \frac{\Delta}{R} + 1.5 \quad (5.21)$$

где Δ – высота влияния выступов шероховатости, которая выбирается по шкале им разработанной.

Список формул для расчета коэффициентов Шези можно было бы продолжить, но остановимся на формуле Н.Н. Павловского, которая является обобщающей для формул степенного вида.

Но она имеет ограниченное применение (для $R \leq 3$ м), однако ее автор считал возможным экстраполяцию формулы за пределами использованного экспериментального материала, т.е. до $R = 5$ м.

Выражение (5.14) для определения показателя «у» дает принципиально разный характер его изменения в зависимости от R. Так при коэффициенте

шероховатости $n = 0.01$ оказывается, что «у» не зависит от гидравлического радиуса и, следовательно, коэффициент «С» зависит от R в степени 0.12. При больших значениях R величина «у» может иметь отрицательные значения.

Структура формулы (5.14) обуславливает пересечение всех кривых у (R) в одной точке, координаты которой равны $R=11.1$ м. и $y=0.12$, поэтому вблизи этой точки показатель «у» практически не зависит от коэффициента шероховатости «n», однако при $y = 0R^y = 1$ и коэффициент «С» не зависит от «n». Все это свидетельствует о том, что формулу (5.13) нельзя распространять на большие значения n и R. Г.В. Железняков получил формулу для показателя «у» свободную от указанных выше недостатков.

$$y = \frac{1}{\lg R} * \lg \left\{ \left[\frac{1}{2} - \frac{n * \sqrt{g}}{0.26} * (1 - \lg R) \right] + n \right. \\ \left. * \sqrt{\frac{1}{4} * \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0.13} * (1 - \lg R) \right]^2 + \frac{\sqrt{g}}{0.13} * \left(\frac{1}{n} + \sqrt{g} * \lg R \right)} \right\} \\ (5.22)$$

И утверждает, что это выражение позволяет рассчитывать величины «у», а, следовательно, и «С» по формуле (5.13) при любых значениях n и R.

Для упрощения расчетов величины «у» им составлена таблица для ее расчета, причем R(h) изменяется от 0.1 до 20.0 м, а n от 0.01 до 0.20.

Г.В. Железняковым предложена формула для расчета коэффициента «С» с учетом последних исследований в различных областях науки:

$$C = \frac{1}{2} * \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0.13} * (1 - \lg R) \right] \\ + \sqrt{\frac{1}{4} * \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0.13} * (1 - \lg R) \right]^2 + \frac{\sqrt{g}}{0.13} * \left(\frac{1}{n} + \sqrt{g} * \lg R \right)} \\ (5.23)$$

Достоинство формулы (5.23) состоит в том, что она может применяться при любых значениях n и R . Формула справедлива и для речных потоков, при этом можно применять $R \approx h_{\text{ср}}$. Таким образом, для расчета коэффициента Шези А.М. Латышенкова, Н.Б. Барышников, М.С. Знаменская рекомендуют пользоваться формулами Н.Н. Павловского (5.13 и 5.14) или (5.22 и 5.23).

Однако в эти формулы входит величина гидравлической шероховатости « n », которая является условной и неопределенной. Для ее определения составлены таблицы, по которым по описанным характеристикам естественных русел, подбирается величина « n ».

Первым является шкала Гангилье-Куттера. В дальнейшем были разработаны таблицы « n » Срибновым – для равнинных и горных рек, в которой коэффициент « n » является функцией шероховатости русла и уклонов; Б.В. Поляковым – для равнинных рек; А.А. Васильевой – для определения значений « n » для пойм больших рек; П.В. Покровским – для селевых паводков; И.И. Агроскиным – для каналов.

В этих таблицах коэффициент шероховатости « n » характеризуется зависимостью от характеристик водотока, в которую включается описание грунтов русла, наличие растительности, омутов, отмелей, извилистости русла и другие.

Л.Л. Лиштваном была составлена таблица значений « n » как функция характеристики водотока и глубины.

Сопротивление не столько зависит от размеров частиц, слагающих русло, сколько от размеров и формы русла и донных гряд, режима потока, местных сопротивлений взаимодействия руслового и пойменного потоков и других факторов. Особенно велико сопротивление донных гряд.

Перечисленные выше таблицы для определения « n » не учитывают всего многообразия факторов, влияющих на сопротивление потока русла и

поймы, диапазон колебаний «n» при одинаковых условиях велик. Все это затрудняет правильный выбор значения шероховатости для расчетов, как на пойме, так и в русле. Расчеты затрудняются и тем, что авторами таблиц не указано, какими формулами они пользовались при составлении их.

Таким образом, вопрос, связанный с определением расчетного значения «n» представляется нерешенным. Также нерешен вопрос и о том, от чего зависит его величина. Н.Б. Барышников предлагает представить зависимость «n» от следующих факторов:

$$n = f(k, r, l, m, t \text{ и др.}) \quad (5.24)$$

где k – крупность донных отложений, м;

r – коэффициент, учитывающий форму сечения;

l – параметр, учитывающий влияние донных гряд; m – учет взаимодействия руслового и пойменного потоков;

t – учет режима перемещения потока.

Особенно сложным является определение значений «n» в потоках с поймами. Это обуславливается тем, что помимо характеристик русла надо учитывать характер перемещения донных наносов (грядная или безгрядная фаза) затраты энергии на транспортировку взвешенных наносов, на косоструйность в створе измерения, на взаимодействие руслового и пойменного потоков и ряд других факторов. Особенно велики эти затраты на косоструйность течения при заполнении и опорожнении пойм в период работы прорыв, а также при взаимодействии руслового и пойменного потоков при пересечении их осей под большими углами ($\alpha \geq 90^\circ$).

Н.Б. Барышников преобразует зависимость (5.24) и получает:

$$n = n_0 + \sum_{i=1}^{i=m} \Delta n_i \quad (5.25)$$

где n_0 – минимальное значение « n » для каналов в хороших условиях

$$\sum_{i=1}^{i=m} \Delta n_i = \Delta n_1 + \Delta n_2 + \Delta n_3 + \dots + \Delta n_m \quad (5.26)$$

где Δn_1 – учитывает увеличение сопротивлений естественных русел по сравнению с каналами (в хороших условиях);

Δn_2 – учитывает неравномерность движения;

Δn_3 – неустановившийся режим;

Δn_4 – растительность (на берегах и в русле);

Δn_5 – искривление руслового потока;

Δn_6 – взаимодействие руслового и пойменного потока;

Δn_7 – наличие водоворотных зон.

Этот список значений Δn_7 можно продолжить, учитывая различные особенности сопротивления движения потока в естественных условиях.

Наибольшая трудность состоит в невозможности непосредственных измерений Δn в натуральных условиях. Однако использование опубликованных данных в частности табличных значений параметра « n » позволяет ориентировочно подсчитать некоторые значения Δn_i .

На кафедре ЛГМИ был выполнен анализ значений « n » приведенных в таблицах М.Ф. Срибнова, Дж. Бредли и В.Г. Чоу, а также данные вычислений параметра « n » по 600 измеренным расходам воды (около 200 из них на пойме) на 27 реках, расположенных в различных районах территории Советского союза.

Анализ данных позволяет сделать вывод о том, что ряд рекомендаций дает довольно близкое соотношение параметров n_0 и n_p по данным всех трех авторов. Однако наблюдаются и существенные расхождения, вызванные как неточностью формулировок, так и некоторым отличием результатов,

полученных при обработке исходной информации. Эти различия возрастают при больших значениях «n», а значения Δn могут отличаться в 1.5 – 2.5 раза.

Вторым недостатком является большой диапазон значений $n(\Delta n)$, приведенных в таблицах М.Ф. Срибного, Дж.Бредли и В.Т. Чоу, что может привести к ошибкам в расчетах расходов воды до 170%.

На кафедре ЛГМИ были обобщены данные наблюдений и расчетов значений параметров «n» (по формулам Павловского и Маннинга) и построены кривые их зависимостей от уровней воды, как для русловой, так и для пойменных частей потока (рисунок 5.1-5.3). Автор подразделяет кривые $\frac{n_p}{n_{p.б}} = f(H')$ (рисунок 5.1) на 3 группы. К первой относятся у которых наблюдаются увеличение $\frac{n_p}{n_{p.б}}$ при слиянии руслового и пойменного потоков, продолжающиеся с ростом уровней, а затем снова уменьшающиеся. Ко второй – кривые $\frac{n_p}{n_{p.б}} = f(H')$, которые с ростом уровней либо отклоняются влево (< 1.0) от значения 1.0 либо их значение не изменяются (равны 1.0). И наконец третья группа – кривые с ростом уровней отклоняются вправо от значения кривые $\frac{n_p}{n_{p.б}} = 1.0$ и несмотря на значительные глубины заложения пойм, перегиба кривых не наблюдается (рисунок 5.1 кривая на графике 24).

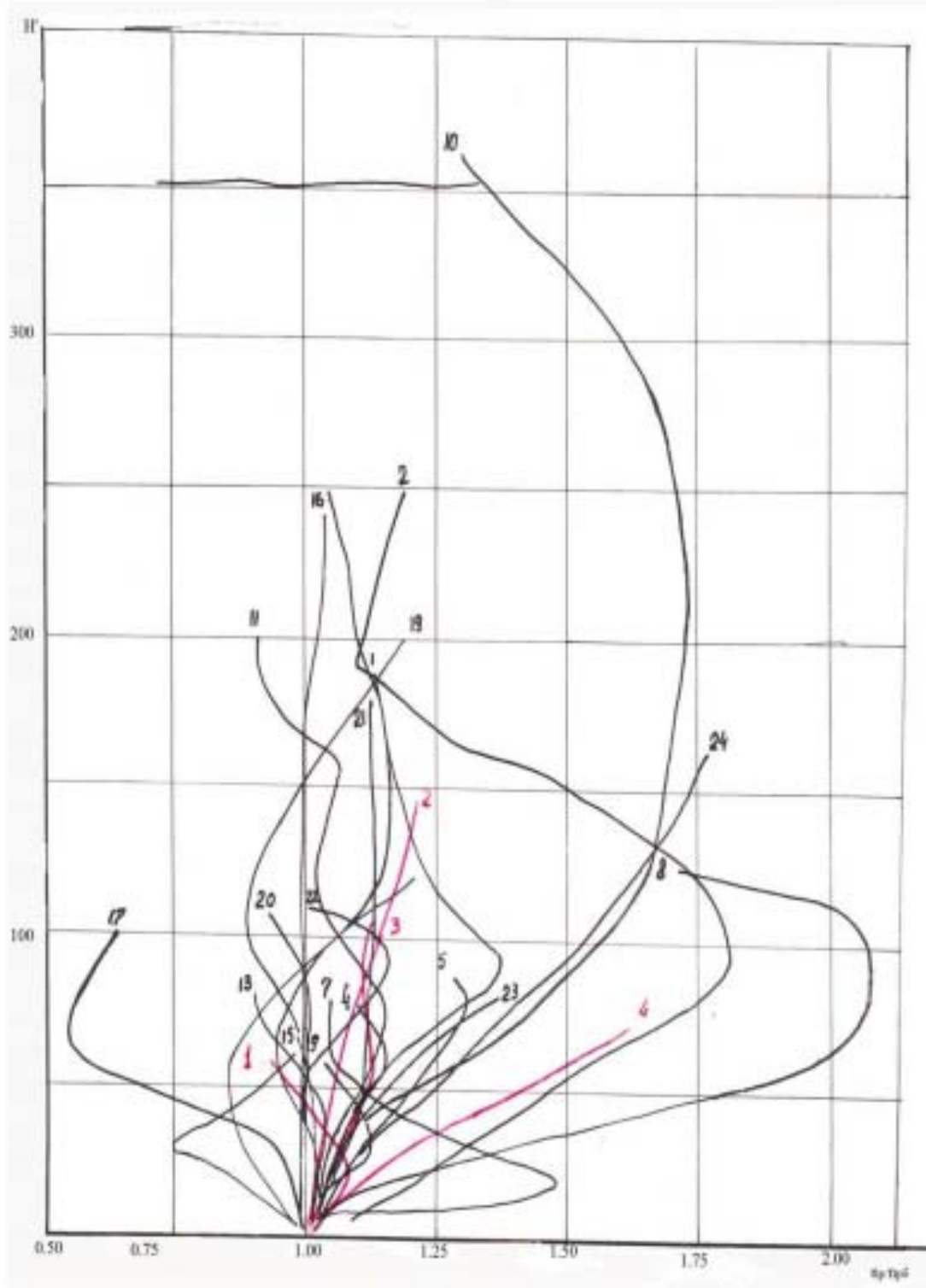


Рис 5.1 – Кривая зависимости $\frac{n_p}{n_{p,б}} = f(H')$

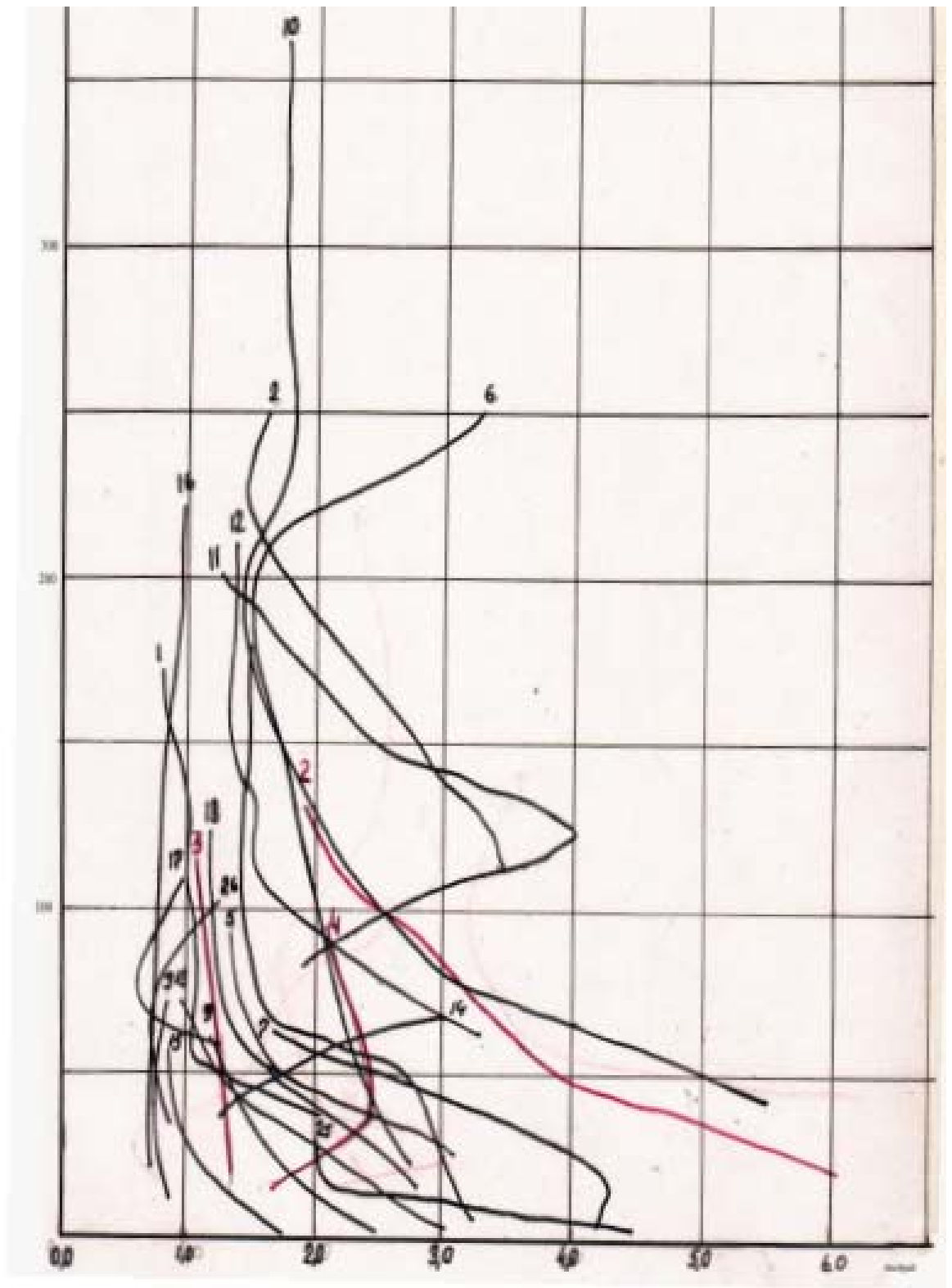


Рис5.2 – Кривая зависимости $\frac{n_n}{n_{p.6}} = f(H')$

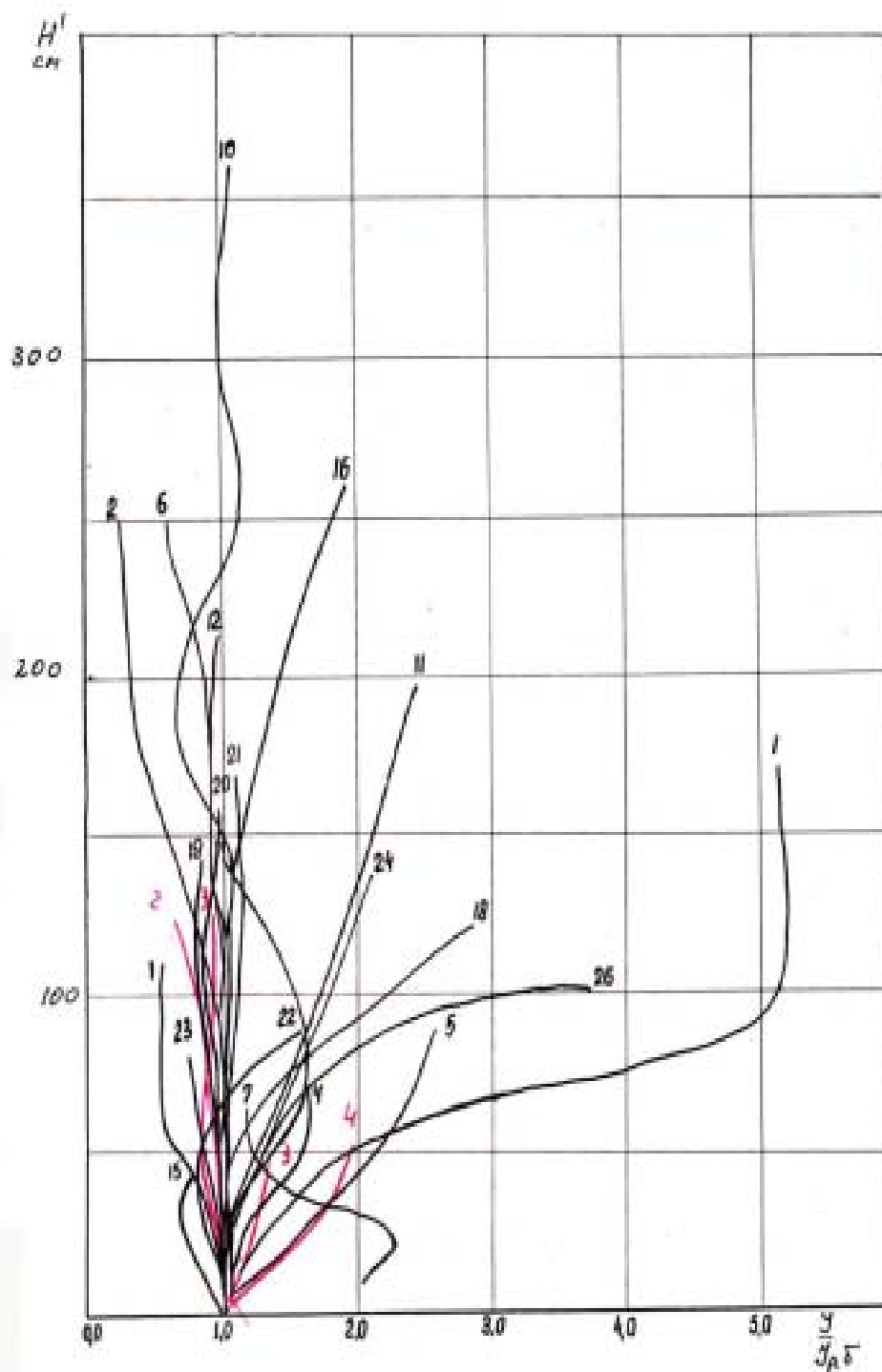


Рис 5.3 – Кривая зависимости $\frac{I}{I_{p,6}}$

Каждая кривая в какой-то мере индивидуальна, ее вид зависит от шероховатости, морфометрии русла и поймы и изменчивости их характеристик по длине потока.

Вторым фактором, зависящим от первого, является характер изменения уклонов свободной поверхности по мере изменения уровней, особенно при выходе воды на пойму. Преобразуя выражение 5.26, получим 5.27:

$$n_p = n_{p.б} * (1 + \frac{\Delta n_{p.б}}{n_{p.б}}) \quad (5.27)$$

Таким образом, задача определения n_p для русловой части потока сводится к расчету $n_{p.б}$ и коэффициента учитывающего влияние потока поймы на русловой и сопротивление берегов.

По кривым $\frac{n_p}{n_{p.б}} = f(H')$ (рисунок 5.1) Н.Б. Барышников определил максимальные значения $\frac{\Delta n_{p.б}}{n_{p.б}}$.

Для первого типа кривых они соответствуют значению $\frac{n_p}{n_{p.б}}$ в точках их перегиба, а для остальных – максимальным отклонением от единицы.

Анализ вида кривых, приведенных на рисунке 5.1 и данных, приведенных Н.Б. Барышниковым показывает, что изменение значений $\frac{n_p}{n_{p.б}}$, главным образом определяется сопротивлением, в том числе, за счет взаимодействия потоков и морфометрии русел и пойм, а также характером изменения ширины пойм и долины по длине участка, расположенного ниже гидроствора.

Действительно кривые $\frac{n_p}{n_{p.б}} = f(H')$ первого и третьего типов (последний можно считать частным случаем первого) соответствуют, как правило, расширению долины ниже створа наблюдений или постоянной ее ширины, а второму типу сужающиеся долины. При этом условия изменения ширины долины (поймы) по длине реки также определяют и характер изменения уклонов свободной поверхности с ростом уровней воды при затопленной пойме.

6. . Физико-географическое описание района

Реки, используемые для расчетов по методам экстраполяции кривых, располагаются на территории Восточно-Европейской равнины.

6.1 Географическое положение

Восточно-Европейская равнина располагается от Чёрного, Каспийского и Азовского морей до Баренцева и Белого морей и от Балтийского моря до Уральских гор. Лежит на древней Восточно-Европейской платформе.

6.2 Геологическое строение и рельеф

В основании Восточно-Европейской равнины лежит Русская плита с докембрийским фундаментом, на юге Скифская плита с палеозойским фундаментом. Граница между этими плита не сильно в рельефе показана. Пласты фанерозойских осадочных пород располагаются на поверхности докембрийского фундамента.

6.3 Почвы и растительность

На территории Восточно-Европейской равнины выражена обширная зональность почв и растительности от тундр до пустынь. Большая часть площади равнины покрыта лесами. Леса в основном созданы хвойными, мелколиственными и широколиственными видами. В северной части территории Русской равнины распространены тундровые грубогумусные глеевые почвы. Под лесами Восточно-Европейской равнины в основном проходит подзолистый тип почвы. На севере – глееподзолистые с болотно-подзолистыми; в средней Тайге пролегают подзолистые почвы, на юге – дерново-подзолистые. Под степной растительностью пролегают чернозёмы.

6.4 Гидрография

Русская равнина имеет достаточно развитую озерно-речную сеть. Режим ее меняется, как и изменяются климатические условия с севера на юг. Также меняется и степень заболоченности, качество грунтовых вод и глубина залегания. Реки Русской равнины относят преимущественно к снеговому типу питания с весенним половодьем. Озёра располагаются неравномерно по территории. Больше количество озёр расположено на северо-западе. На юго-западе практически отсутствуют озера. Подземные воды достаточно распространены на площади Русской равнины. Они образуют Восточно-Европейскую платформенную артезианскую область. Для скопления вод служат впадины фундамента.

6.5 Климат

На климат Русской равнины воздействуют Атлантический и Северный Ледовитый океан и, конечно, географическое положение. Каждый сезон солнечная радиация явно изменяется. Круглый год над равниной преобладает западный перенос, обеспечивающий достаточно прохладное лето и не очень холодную зиму. Средняя температура зимой не опускается ниже -10, летом температура находится в пределах +15..+20 градусов. Русская равнина имеет большую протяженность с севера на юг, поэтому она сменяет несколько климатических зон. Северную часть относят к умеренной, арктической и субарктической зоне. Южную часть равнины относят к степи и лесостепи, пустыне и полупустыне.

7. Физико-географическое описание используемой реки - Савруша.

Река Савруша протекает по границе Оренбургской и Самарской обл., имеет длину 50 км, площадь бассейна 916 км². В р. Савруша впадает четыре притока длиной более 10 км: реки Тергала (34 км, 237 км²), Анлы (27 км, 249 км²), овраги Медведка (20 км, 54 км²) и Подлесенский (17 км, 69 км²), 14 притоков длиной менее 10 км общей протяженностью 33 км.

За период 1960–1978 гг. средний годовой расход воды р. Савруша в створе пос. Заря составил 3,54 м³/с, модуль стока – 4,04 л/с·км². Наибольший $Q_{\text{нб}}$ – 5,63 м³/с – наблюдался в 1963 г., наименьший 1,39 м³/с – в 1967 г. В годней водности объем водного стока в замыкающем створе реки оценивается в 125 млн м³, что составляет 7,6 % от водного стока р. Большой Кинель.

Средний минимальный месячный расход воды для периода зимней межени составил 1,03 м³/с, наибольший 1,53 м³/с наблюдался в 1974 г., наименьший 0,68 м³/с – в феврале 1962 г. Наименьший минимальный среднесуточный расход воды 0,51 м³/с зафиксирован 15 февраля 1962 г. Для периода летне-осенней межени $q_{\text{ср}}$ составил 1,59 м³/с, $q_{\text{нб}}$ 2,50 м³/с – в сентябре 1965 г. и 1974 г., $q_{\text{нм}}$ 0,77 м³/с – в августе 1967 г. Наименьший минимальный среднесуточный расход 0,24 м³/с отмечен 25 августа 1967 г.

Высота нуля графика м.: 64,99 м., БС. В 175 м выше и 75 м ниже водпоста расположены уклонные водпосты. В 7.0 км выше водпоста расположена мельничная плотина.



Рис.7.1 Географическое положение реки – Савруша

8. Исходные данных

Измеренные расходы воды р. Савруша - п. Заря, 1970 г.											
а - основ ное русло	б - про тока	в - пой ма									
№ 1	Дата измер ения	№ ство ра	Уро вень вод ы (см) "0" граф ика	Рас ход вод ы (м3 /с)	Пло щадь водн ого сече ния (м2)	Сред няя скор ость тече ния (м/се к)	мак скор ость (м/се к)	Ши рина реки	Сре дняя глуб ина (м)	мак глуб ина (м)	Уклон водной поверх ности
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13а	07.апр	1	402	17,50	38,4	0,46	0,045	23,6	1,78	24,6	0,196
13б	07.апр	1	402	6,5	18,6	0,35	0,038	19	0,89	26,6	-
13в	07.апр	1	402	3,6	20,3	0,18	0,038	51	0,33	22,2	-
14а	09.апр	1	438	41,4	50,4	0,82	0,03	25,5	1,98	37,5	0,24
14б	09.апр	1	438	21,6	27,8	0,78	0,025	20	1,39	42,5	-
14в	14.апр	1	438	11,1	24,7	0,45	0,021	51,3	0,48	42	-
15а	11.апр	1	424	35	47,9	0,73	0,032	24,3	1,97	35	0,22
15б	11.апр	1	424	15,3	24,2	0,63	0,028	19	1,27	37,8	-
15в	11.апр	1	424	46,1	15,1	0,31	0,02	56	0,27	40,4	-

В												
16а	12.апр	1	420	32,6	46,8	0,7	0,032	24,3	1,93	34,6	0,214	
16б	12.апр	1	420	13,3	22,7	0,59	0,028	19	1,2	37	-	
16в	12.апр	1	420	28,9	12,6	0,23	0,025	50,1	0,25	31,5	-	
17а	13.апр	1	414	29,8	45,7	0,65	0,034	24,3	1,88	33,1	0,206	
17б	13.апр	1	414	12,5	21,9	0,57	0,0276	19	1,15	37	-	
17в	13.апр	1	414	18,9	89,6	0,21	0,022	49,6	0,18	34,4	-	
18а	14.апр	1	416	29,5	45,2	0,65	0,0336	24,3	1,86	33	0,209	
18б	14.апр	1	416	13,1	22,5	0,58	0,028	19	1,18	36,8	-	
18в	14.апр	1	416	22,5	95,5	0,24	0,02	47	0,2	37,3	-	
19а	17.апр	1	370	11,1	34,3	0,32	0,0465	23,5	1,46	22,8	0,134	
19б	17.апр	1	370	1,31	10,4	0,13	0,06	19	0,55	15,1	-	
20а	18.апр	1	350	9,12	29,3	0,31		23,1	1,27		-	
20б	18.апр	1	350	1,2	8	0,15		15,9	0,5		-	
21а	19.апр	1	346	8,67	27,1	0,32		23	1,18		-	
21б	19.апр	1	346	1,3	6,99	0,19		14	0,5		-	

1 6	р			2							
2 2 а	20.ап р	1	356	9,7 4	31,6	0,31		23,5	1,35		-
2 2 б	20.ап р	1	356	1,0 9	8,52	0,13		18,5	0,46		-
2 3 а	21.ап р	1	339	7,8 5	28,1	0,28		19,4	1,45		-
2 3 б	21.ап р	1	339	1,4 1	6,66	0,21		14,6	0,46		-
2 4	22.ап р	1	302	6,5	20,3	0,32		15,9	1,28		-
2 5	27.ап р	1	270	5,0 6	15,1	0,34		15	1		-
2 6	02.ма й	2	256	4,1	9,82	0,42		8,4	1,17		-
2 7	11.ма й	2	244	4,0 1	8,72	0,46		8,1	1,08		-
2 8	31.ма й	2	228	3,0 4	7,83	0,39		7,6	1,03		-
2 9	03.ию н	2	264	4,7 3	10,6	0,45		8,8	1,2		-
3 0	04.ию н	2	234	3,2 4	8,43	0,38		8	1,05		-

Расчет производился в программе «Profiles 2010», на первом этапе были загружены данные по 1 и 2 створу, находящимся от начала русла приблизительно в 36 км, и от водпоста на 75 и 175 метров.

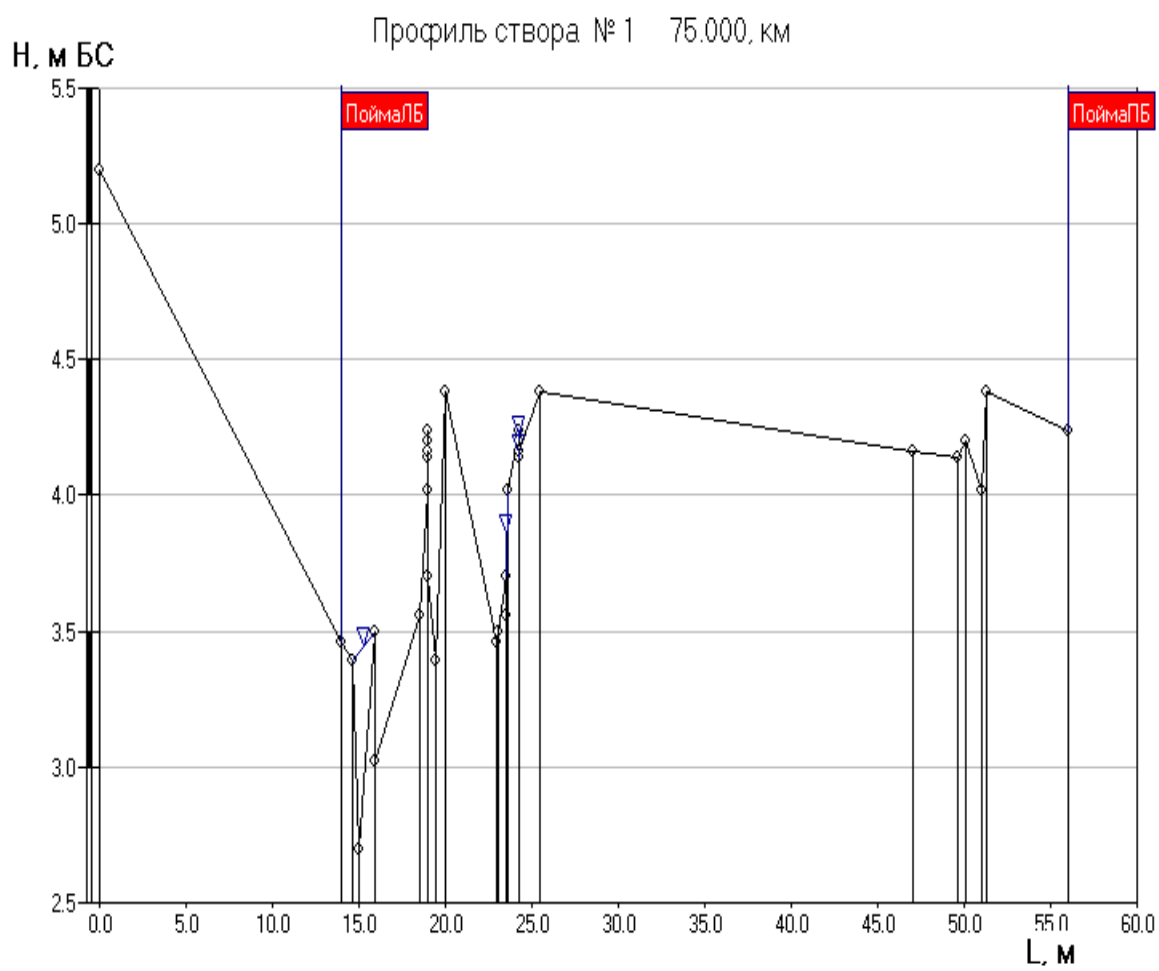


Рис 8.1 – Профиль створа на реке Савруша с левой и правой поймой

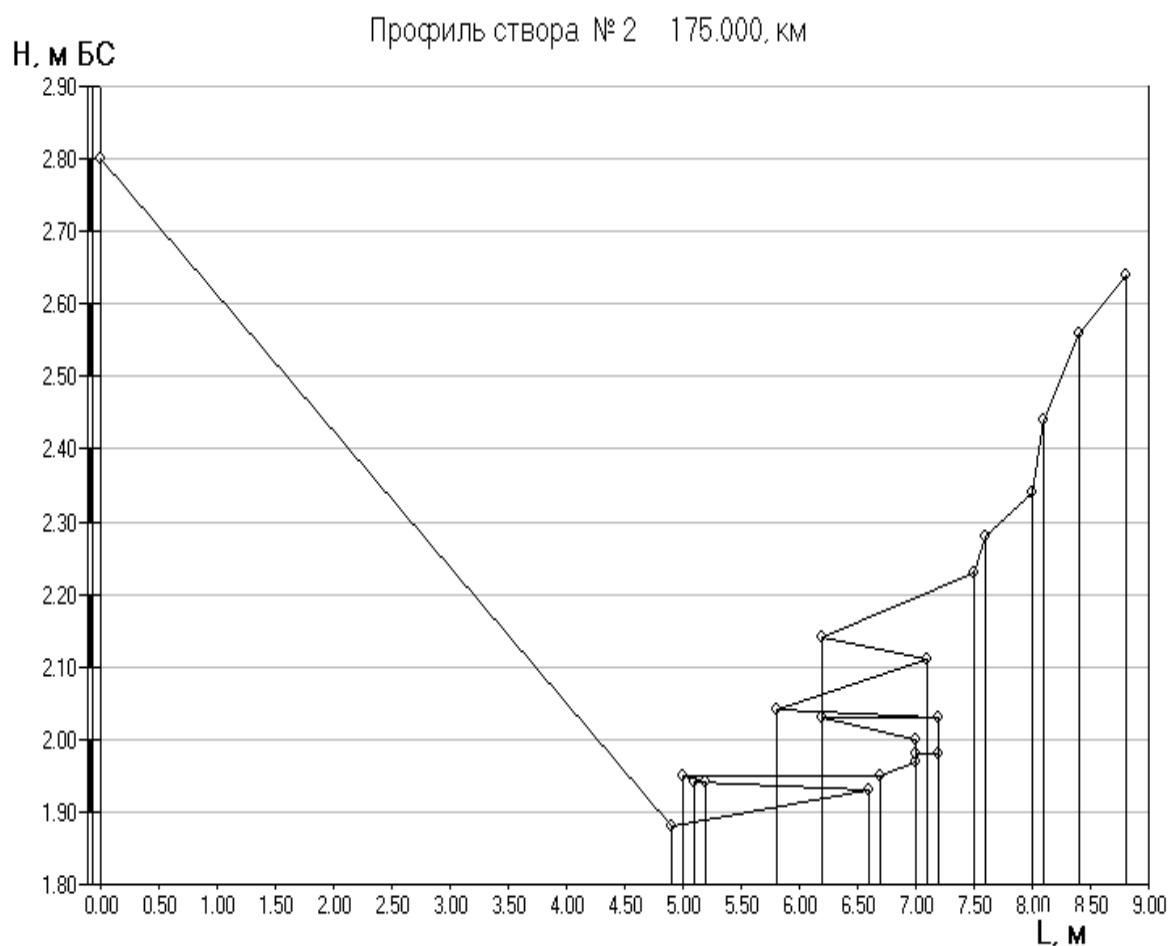


Рис 8.2 – Профиль створа №2 на реке Савруша без поймы

Далее в программе надо обратиться к пункту «Кривые площадей», в которых программа самостоятельно подсчитает и рассчитает координаты кривых для русла, для левой и правой поймы.

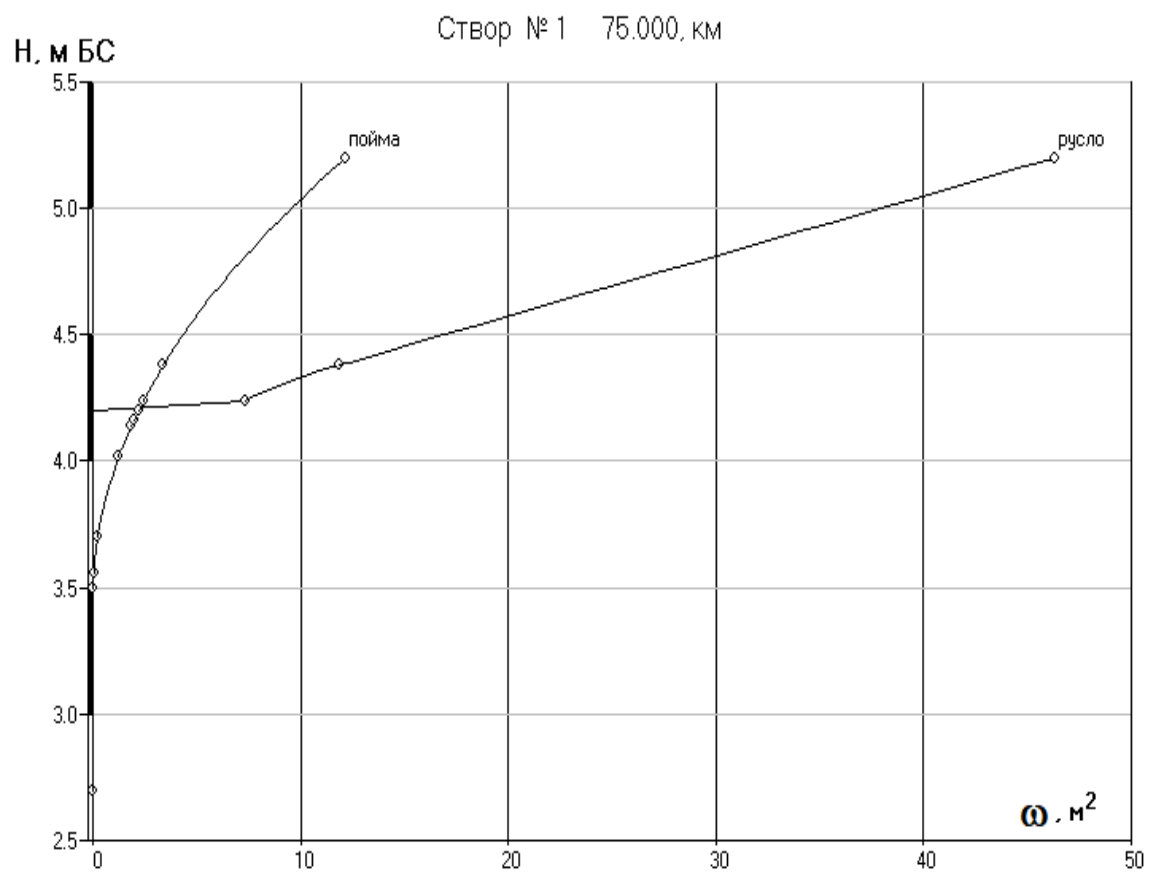


Рис 8.3 – Кривые площадей для створа №1 $\omega(H)$ построенных для русла и поймы

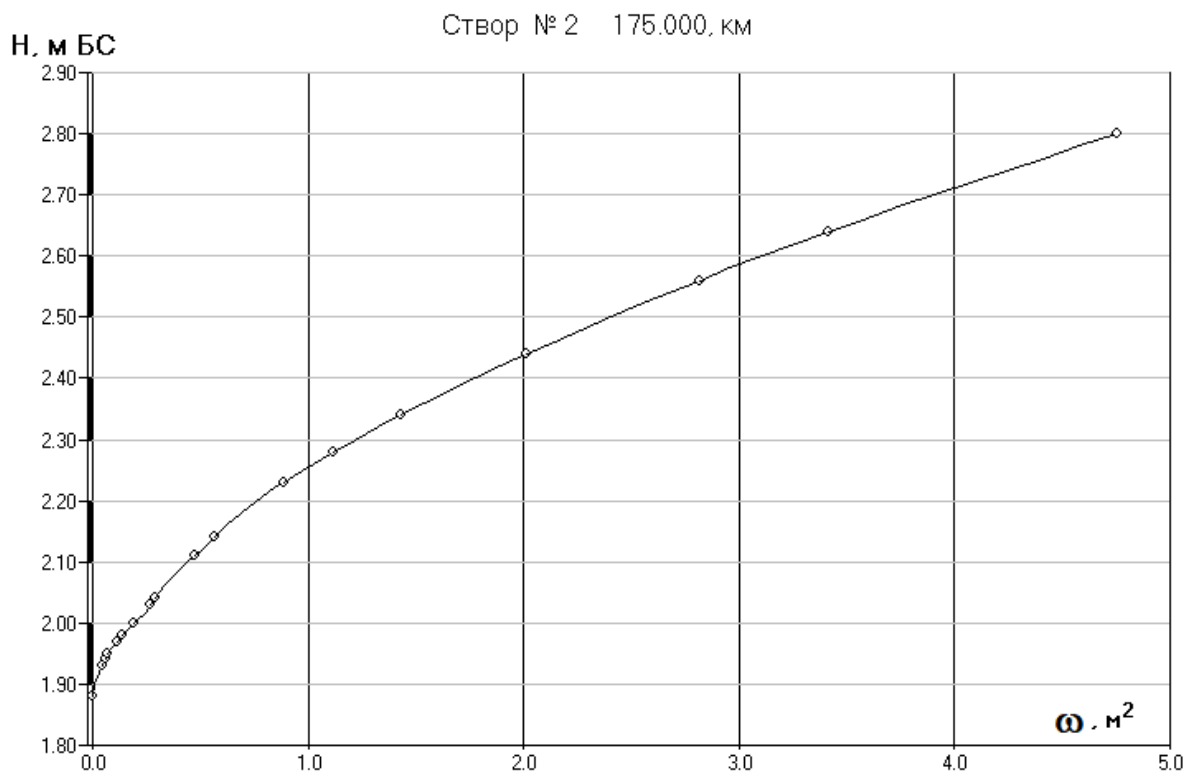


Рис 8.4 – кривая площадей для створа №2 $\omega(H)$ построенных для русла

Таблица 8.1 Рассчитанные кривые площадей створ №1

Профиль	1			
H	Fp	Vp	Fпойм	Vпойм
2,7	0	0	0	0
3,02	0	0	0	0
3,39	0	0	0	0
3,46	0	0	0	0
3,5	0	0	0,006	0,32
3,56	0	0	0,04	0,8
3,7	0	0	0,232	1,93
4,02	0	0	1,262	4,51
4,14	0	0	1,86	5,47
4,16	0	0	1,971	5,63
4,2	0	0	2,203	5,95
4,24	7,367	22,2	2,448	6,28
4,38	11,86	42	3,405	7,4
5,2	46,3	42	12,18	14

Таблица 8.2 Рассчитанные кривые площадей створ №2

Профиль	2	
H	F	B
1,88	0	0
1,93	0,049	1,97
1,94	0,062	0,62
1,95	0,067	2,17
1,97	0,115	2,58
1,98	0,141	2,63
2	0,194	2,74
2,03	0,267	3,1
2,04	0,291	1,75
2,11	0,472	3,42
2,14	0,564	2,68
2,23	0,886	4,46
2,28	1,118	4,83
2,34	1,429	5,55
2,44	2,016	6,18
2,56	2,814	7,12
2,64	3,417	7,95
2,8	4,757	8,8