



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 **Сравнение и рекомендации ме-  
тодик экстраполяции кривых  
расходов воды**

**Исполнитель** \_\_\_\_\_ Алексеева Юлия Антоновна  
(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель** \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

Давыденко Екатерина Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(подпись)

И. П. Н. Давы  
(ученая степень, ученое звание)

Давыденко  
(фамилия, имя, отчество)

«15 июня 2020г.

Санкт-Петербург  
2020



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 **Сравнение и рекомендации ме-  
тодик экстраполяции кривых  
расходов воды**

Исполнитель \_\_\_\_\_ Алексеева Юлия Антоновна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ Давыденко Екатерина Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ (подпись)

\_\_\_\_\_ (ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_ (фамилия, имя, отчество)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Санкт–Петербург  
2020

## Содержание

Введение .....	3
1. Физико-географическое описание района .....	5
1.1 Географическое положение .....	5
1.2 Геологическое строение и рельеф .....	5
1.3 Почвы и растительность.....	5
1.4 Гидрография .....	6
1.5 Климат.....	6
2. Физико-географическое описание используемых рек .....	7
2.1 Описание реки Покша .....	7
2.2 Описание реки Вига.....	8
2.3 Описание реки Пьяна .....	10
2.4 Описание реки Савруша.....	11
3 Методики экстраполяции кривых .....	13
4 Анализ исходных данных .....	20
5. Построение графиков однозначной зависимости $Q = f(H)$ , $\omega = f(H)$ , $V_{cp} = f(H)$ и их увязка .....	26
5.1 Построение кривых и их увязка для реки Покша.....	26
5.2 Построение кривых и их увязка для реки Вига .....	27
5.3 Построение кривых и их увязка для реки Пьяна .....	29
5.4 Построение кривых и их увязка для реки Савруша .....	30
6. Экстраполяция кривых.....	33

## Введение

Результатом деятельности гидролога в речной гидрометрии считается грамотно рассчитанный сток, иными словами получение годовой таблицы ежедневных расходов воды. В период вскрытия рек ото льда затруднительно выполнять измерения расходов воды. В это время обычно ограничиваются измерениями уровней, расходы воды снимают с графика кривой расходов.

Полагается, что кривая расходов верна на 80% амплитуды уровней и больше. Для другой части амплитуды необходимо делать экстраполяцию расходов.

Для устойчивой однозначной кривой расходов методики экстраполяции достаточно разработаны. Для неоднозначных или петлеобразных кривых методики разрабатываются и возможность получить надежные результаты мала.

Актуальность данного дипломного проекта заключается в том, что методики экстраполяции кривых необходимо применять в условиях невозможности измерения расхода воды.

Чтобы понимать, какие методики надёжны, а какие менее надёжны, их необходимо сравнить.

Цель дипломной работы состоит в сравнении и рекомендации различных методик экстраполяции кривых расходов воды.

Задачи дипломного проекта:

- сбор исходных данных по рекам России таким как: р. Покша, р. Вига, р. Савруша, р. Пьяна;
- анализ исходных данных;
- описание существующих методик экстраполяции кривых расходов воды;

– применение методик и сравнение полученных результатов с исходными данными;

– подготовка рекомендаций по методикам экстраполяции кривых расходов воды.

## 1. Физико-географическое описание района

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

### 1.1 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.

### 1.2 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 плитами не сильно в рельефе показана. Пласты фанерозойских осадочных пород располагаются на поверхности докембрийского фундамента.

### 1.3 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.

## 1.4 Гидрография

Русская равнина имеет достаточно развитую озёрно-речную сеть. Режим её 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. Большое количество озёр расположено на северо-западе. На юго-западе практически отсутствуют озёра.

Подземные воды достаточно распространены на площади Русской равнины. Они образуют Восточно-Европейскую платформенную артезианскую область. Для скопления вод служат впадины фундамента.

## 1.5 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.

## 2. Физико-географическое описание используемых рек

### 2.1 Описание реки Покша

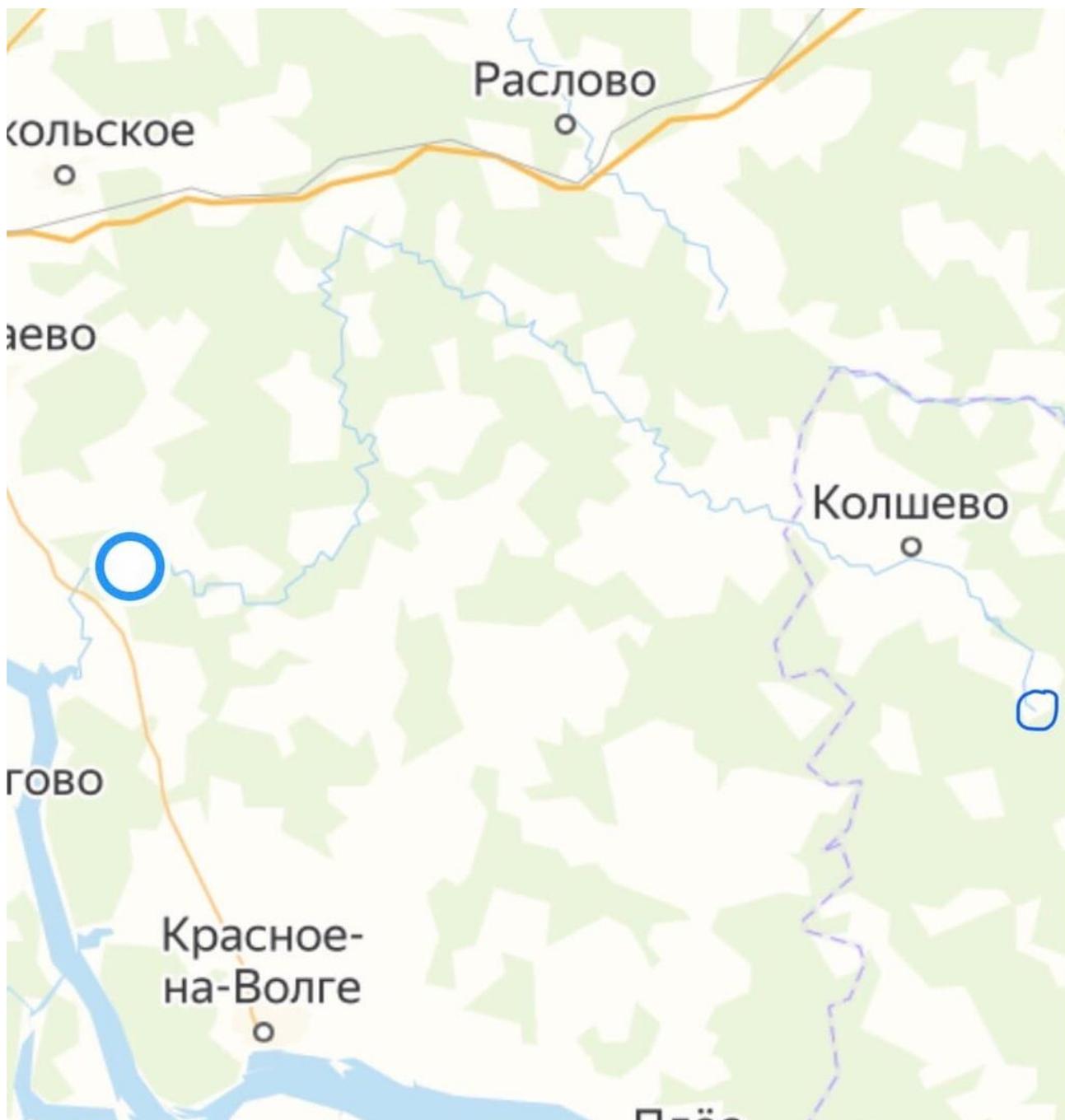


Рисунок 1 – Географическое положение р. Покша

Река протекает в Костромской и Ивановской областях. Длина реки 89 км, площадь водосборного бассейна составляет 731 км<sup>2</sup>. Покша является левым притоком реки Волга. Ниже Костромы впадает в Горьковское водохранилище.

Покша относится к верхневолжскому бассейновому округу. Имеются два притока р. Сеньдега и р. Танга.

Пойма на участке поста д. Рыжково правобережная, шириной до 40 м, луговая, ровная.

Русло прямолинейное, выше и ниже поста умеренно извилистое, песчано-гравелистое, деформирующееся, у берегов зарастающее. Ширина в межень 25-30 м. В 250 выше и в 80 м ниже водомерного поста расположены перекаты. Берега крутые, высотой 1,0-2,0 м (правый) и 3,5-4,0 (левый), сложены супесями, одернованы.

Нижний уклонный пост расположен в 215 м ниже водомерного поста, верхним уклонным постом является основной.

## 2.2 Описание реки Вига

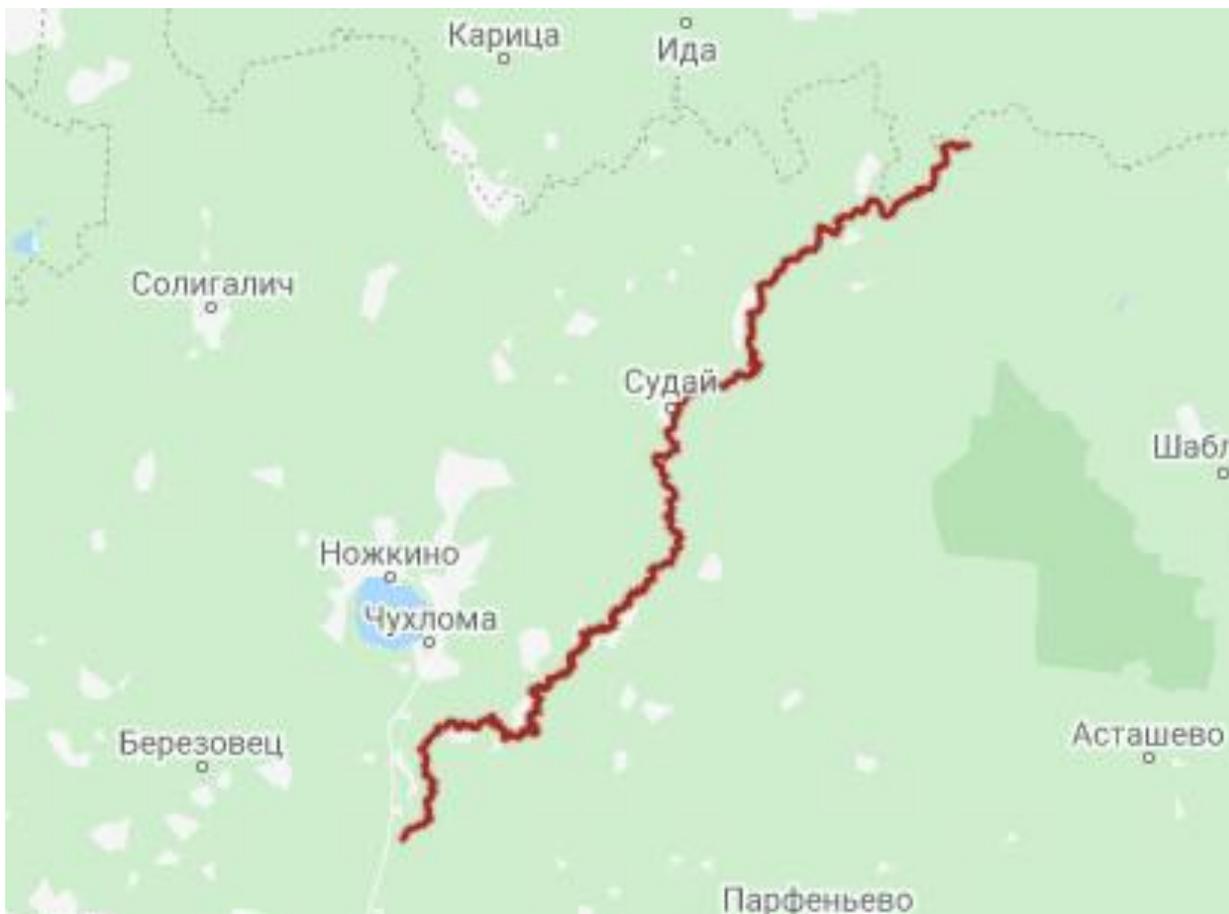


Рисунок 2 – Географическое положение р. Вига

Река Вига протекает по северо-западной и северной части Костромской области. Исток в болотах Чухломского района возле деревни Курьяново, впадает в реку Унжа. Длина реки 175 км, площадь водосборного бассейна составляет 3360 км<sup>2</sup>. Имеются притоки, крупными из которых являются Ида, Кисть, Мелша, Вохтома.

Река Вига протекает преимущественно по равнинной местности, на её берегах расположены смешанные и хвойные леса. Русло реки мелкое и очень извилистое, в межень оголяются мели и каменистые перекаты. На реке Вига происходят сильные половодья, весной на некоторых участках подъем воды может достигать 10 м.

Пост расположен в 0,7 км ниже устья р. Тынинницы, в 5,6 выше устья р. Иды и в 200 м ниже села.

Прилегающая местность – слабоволнистая равнина, покрытая смешанным лесом. Левый склон долины пологий, высотой 7-10 м, умеренно крутой, слабо рассечён оврагами, сложен суглинками, заилён. Правый склон пологий, незаметно сливается с прилегающей равниной. Пойма двусторонняя, по левому берегу шириной 40 м, по правому – 500 м, залесена, начинает затопляться при уровне воды 450 см.

Русло реки прямолинейное, песчано-галечное, слабodeформирующееся, у берегов зарастающее. Ширина реки в межень 25-35 м.

Река используется для сплава леса. Водомерный пост находится на левом берегу и состоит из свай и реперов в створе водомерного поста. Высота нуля графика 122,31 м Бс. Гидроствор №1 располагается в створе водомерного поста.

Верхний уклонный водомерный пост расположен в 44,5 м выше водомерного поста, нижним уклонным водомерным постом является основной водомерный пост.

### 2.3 Описание реки Пьяна

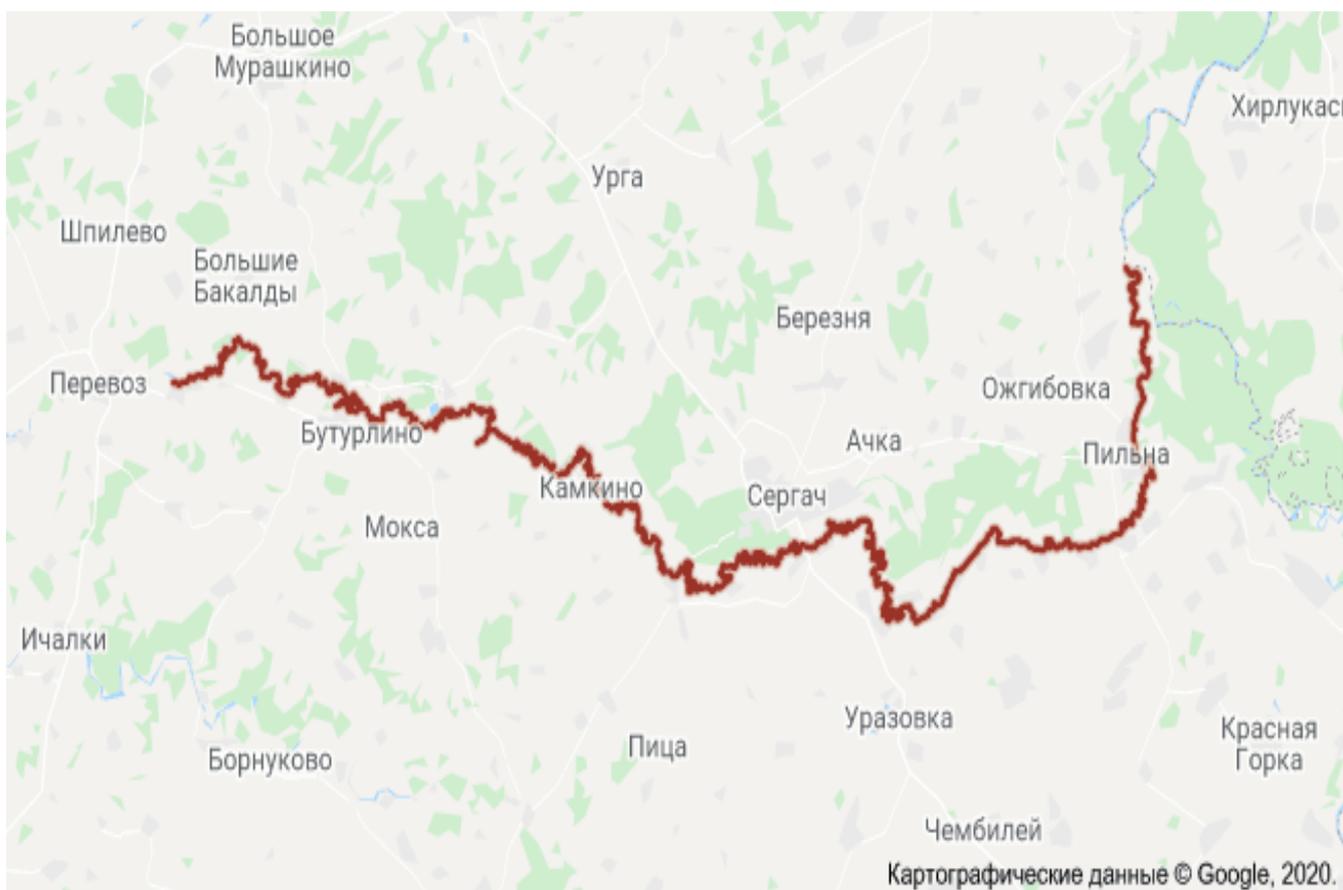


Рисунок 3 – Географическое положение р. Пьяна

Река Пьяна протекает в Нижегородской области и незначительно затрагивает территорию Мордовии. Является левым притоком реки Суры. Устье располагается в 116 км от устья р. Суры. Длина реки составляет 436 км, общая площадь водосборного бассейна 8060 км<sup>2</sup>. У реки Пьяна имеются пороги и перекаты. Берега бывают крутыми и обрывистыми, высота их до 5-6 м. Длина реки асимметричная. Правый склон обычно крутой, высота до 40-70 м, левый чаще всего пологий и террасированный, высота до 30-50 м. Пойма достаточно развита, ширина может достигать 3 км.

В нижнем течении ширина реки примерно 40-50 м, также может достигать и 90 м на отдельных участках. Ширина поймы до 2-3 км, она большая, двухсторонняя, в основном луговая, развита по левому берегу. Русло практически не разветвлённое.

В среднем течении ширина реки примерно 30 м. Песчаные, плотные, илистые грунты.

В верхнем течении на пойме и склонах карстовые образования, имеющие вид воронок и провалов искаженной формы. Ширина реки 1,0–1,5 м, глубина около 0,5 м. Пойма узкая, высокая, берега несильно зелесены, встречаются отдельно стоящие деревья.

Река Пьяна имеет степень зарастания водной поверхности от 5% до 40%.

#### 2.4 Описание реки Савруша

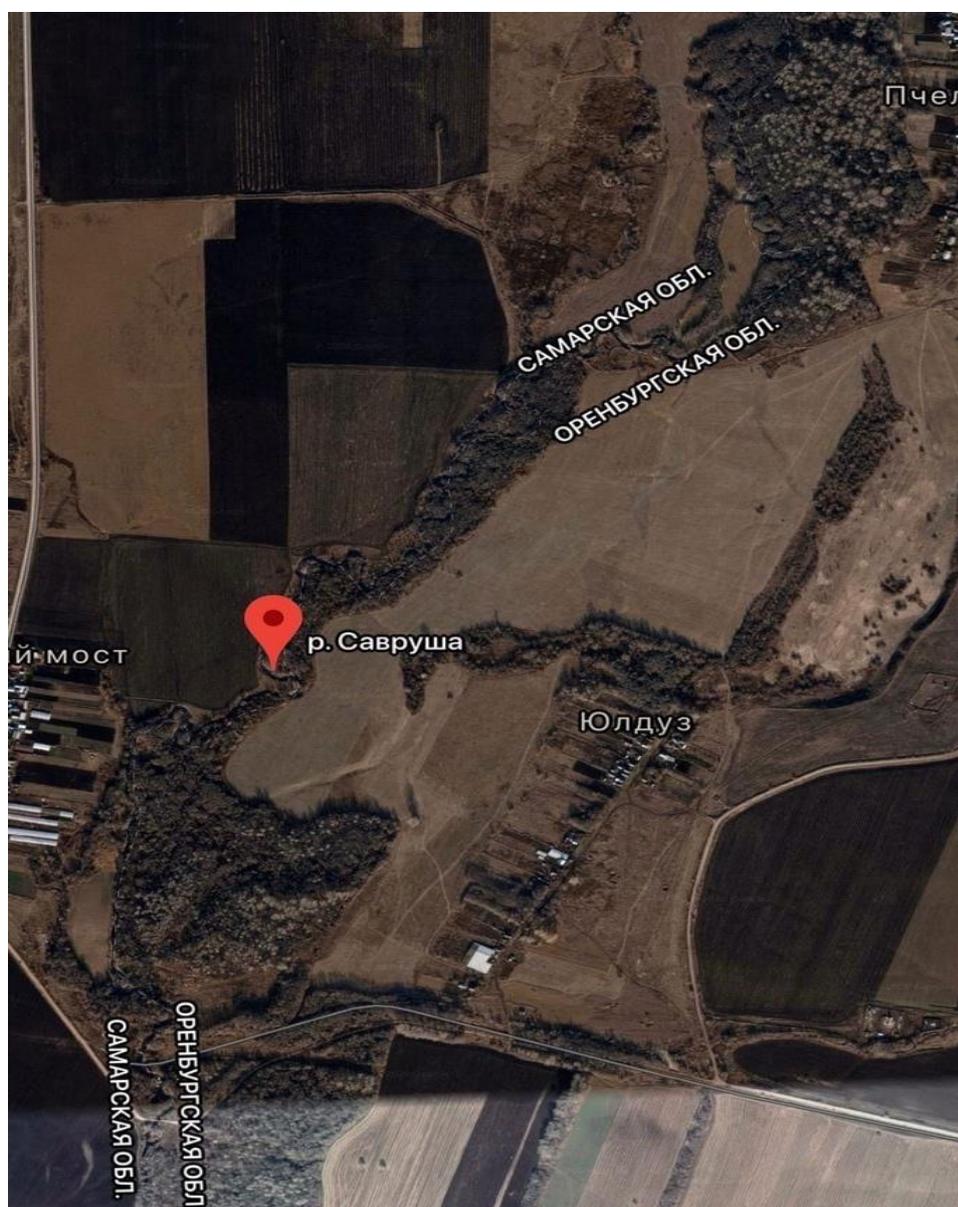


Рисунок 4 – Географическое положение р. Савруша

Река Савруша протекает на территории Самарской и Оренбургской областях. Длина реки составляет 50 км, площадь водосборного бассейна 916 км<sup>2</sup>.

Устье реки располагается в 228 км от устья реки Большой Кинель. Савруша причисляется к Нижневолжскому бассейновому округу.

### 3 Методики экстраполяции кривых

Существует достаточно много способов экстраполяции кривых. Далее рассмотрим некоторые из них.

#### 3.1 Метод И.П. Кравченко

Суть метода заключается в том, чтобы обработать наблюдения за скоростями течения с контролем, который основан на графической экстраполяции кривых средних скоростей по вертикали.

Последовательность обработки:

На профиле гидроствора от ВИГ (высшего исторического горизонта) наносят кривые средних скоростей течения.

По вертикали наносят кривые средних скоростей по всем измеренным и исправленным по кривым графика точкам, для каждой устанавливается нуль графика.

Далее кривые экстраполируют, значения скоростей снимают с графика и откладывают на вертикали графика. Далее строят по полученным значениям эпюру средних скоростей для всего сечения реки. Затем при расчётном наивысшем уровне строят кривую элементарных расходов, а после вычисляют расход воды.

Положительная сторона метода в том, что возможно получить скорости на вертикалях, где не было измерений. Недостаток в том, что для применения этого метода нужны данные измерения скоростей на вертикалях.

#### 3.2 Метод Б.В. Полякова

Метод применяется при наличии подробной съемки русла и поймы, которая позволяет определить поперечное сечение, шероховатость русла и поймы, общий уклон. Метод основан на учете гидравлических характеристик.

Состоит метод в вычислении расходов по кривым элементарных расходных характеристик, построенным в зависимости от коэффициента шероховатости и глубины.

Вычисление расхода происходит следующим образом. В первую очередь идёт построение поперечного профиля поймы и реки, на котором показываются характеризующие шероховатость элементы такие как лес, луг, песчаное русло, луг, кустарник и тд. Далее живое сечение разделяют на вертикали. При заданном уровне для каждой вертикали находят глубины, затем снимают с графика значения расхода. Полученные значения откладывают вверх от уровня воды и по ним далее строят эпюру элементарных расходных характеристик.

Описанный выше способ не годится при меженных расходах. Для этого необходимо произвести измерения уклона.

### 3.3. Экстраполяция петлеобразных кривых по методу Д. Е. Скородумова

Скородумов Д. Е. предложил метод построения петлеобразных кривых при отсутствии измеренных расходов воды, но имеются наблюдения над уровнем и паводочной петли другого года.

Метод применим в благоприятных условиях на длинных бесприточных участках.

Определение величин, которые используются при расчете уклона установившегося движения и скорости распространения паводочной волны вызывают трудности.

Метод нуждается в доработке, но на промежуточных стадиях для построения кривых можно использовать данный метод.

### 3.4 Методы Г. В. Железнякова

Новый метод экстраполяции кривых.

Железняков Г. В. полагает, что экстраполяция кривых расходов воды сводится к нахождению линеаризующих функций, позволяющих изменять зависимость и представлять ее в виде прямой.

### 3.5 Метод К. В. Гришанина

Гришанин К. В. Рекомендовал для экстраполяции кривых расходов воды строить графики в координатах  $\sqrt{Q}$  и  $h_{cp}(gB)^{1/4}$ . В ходе своих теоретических исследований устойчивости подвижного русла Гришанин пришёл к такому заключению. Построения на практике подтвердили заключения Гришанина.

### 3.6 Метод гидравлического моделирования

Данный метод считается наиболее гибким и, что важно, надёжным.

По законам моделирования строится модель участка.

С помощью этого метода можно получать расходы, наблюдавшиеся в природе, иными словами, можно получить расходы воды при больших уровнях, нежели наблюдавшиеся в природе.

### 3.7 Метод створа-аналога

Для удлинения ряда наблюдения максимальных расходов в гидрологических расчетах зачастую обращаются к методу дополнительного нахождения расходов, полученных с помощью аналитической зависимости между бассейном, для которого ведутся наблюдения и бассейном-аналогом, у которого имеется более длинный ряд наблюдений.

По данному методу для экстраполяции кривых расходов воды нужно выполнять совместно удлинение рядов наблюдений по уровням и расходам. Определив для уровней и расходов аналитические связи в виде уравнений регрессии и имея кривые расходов расчётного створа-аналога можно произвести экстраполяцию кривой расходов воды для расчётного створа до максимальных уровней, не наблюдавшихся на данном водотоке.

### 3.8 Статистический метод

За основу данного статистического метода экстраполяции кривых расходов воды берут кривые обеспеченности уровней и расходов. Строят кривые обеспеченности модульных коэффициентов уровней и расхода для экстраполя-

ции кривых, а далее с таких кривых при значениях равной обеспеченности модульных коэффициентов снимают значения модулей уровней и расходов, далее после пересчета строят кривые.

Построение кривых обеспеченности модулей такое же, как для построения кривых обеспеченности максимальных расходов.

### 3.9 Экстраполяция петлеобразных кривых расходов воды

Экстраполяция петлеобразных кривых расходов воды достаточно сложная проблема, как со стороны математического решения, так и со стороны подготовки исходных материалов.

Зайцев Б. Д. разделил все реки СССР на 10 типов хода гидрографов, большинство из которых имеет многопиковые гидрографы. Ход уровней также в течение года многопиковый. Несовпадение экстремальных значений расходов и уровней приводит к петлеобразным кривым.

Для экстраполяции петлеобразных кривых необходимы методы аналитического описания кривых. На данный момент времени все исследования ограничиваются разработкой экстраполяции петлеобразных кривых для однопикового, плавно меняющегося гидрографа.

### 3.10 Методы экстраполяции кривых расходов воды, основанные на интегрировании уравнений Сен-Венана

Данные методы являются самыми общими. В СССР были наиболее распространены следующие методы: мгновенных режимов, вариационный, метод сеток, характеристик. Для использования таких методов, помимо уравнений Сен-Венана нужно введение начальных и граничных условий. Благодаря расчетам по этим методам можно получить графики  $Q=f(H)$  и  $H=f(t)$ .

3.11 Методы, основанные на составлении аналитических уравнений, описывающих графики хода уровней и расходов во времени

Работы, в которых есть аналитическое уравнение, которые полностью описывают непрерывный ход уровней на спаде и подъёме, отсутствуют.

Все предложения для описания кривых спада и подъёма исполнены только для кривых  $Q=f(t)$ . Затруднений в получении таких уравнений для описания спада и подъёма кривых  $H=f(t)$  нет. Благодаря знанию уравнений  $H=f(t)$  и  $Q=f(t)$  после их решения относительно времени можно перейти к построению графика  $Q=f(H)$ .

3.12 Экстраполяция кривой расходов непосредственным продолжением

Данный способ применяется, когда часть кривой, необоснованная измерениями не превышает 10% амплитуды уровней и отсутствуют резкие перемены на профиле поперечного сечения в этой зоне, также, если не изменятся шероховатость русла.

Суть метода заключается в продолжении кривой расходов воды по тенденции до наивысшего уровня. Участок отмечают пунктиром.

3.13 Экстраполяция кривой расходов по элементам расхода

Данный метод заключается в том, что кривые живого сечения и средних скоростей раздельно экстраполируют.

Для экстраполируемого участка кривой расходов площади поперечного сечения вычисляются по профилю створа. Средние скорости вычисляются продолжением кривой по тенденции. Умножением площади поперечного сечения на среднюю скорость определяются расходы.

### 3.14 Экстраполяция кривой расходов по способу Стивенса

Для данного метода применяется формула Шези. Лучше всего работает на реках со средней глубиной более 3,5-4,0 м. Расход выражается следующей зависимостью  $Q = C * w * \sqrt{h_{cp}} * i$ .

Величина  $C\sqrt{i}$  не зависит от расхода, поэтому можно полагать, что расход выражается следующей зависимостью  $Q = f(w * \sqrt{h_{cp}})$ . Зависимость выражается графически в виде линии, близкой к прямой, в верхней части чаще всего переходит в прямую.

Экстраполяция кривой предполагает, что имеется не менее двух измеренных расходов при выходе воды на пойму. В таком случае кривая может быть в виде двух прямых, которые соединены под углом.

Перед экстраполяцией необходимо произвести расчеты, которые представляются в табличном виде. В таблицу вписываются ширина реки, площадь поперечного сечения, измеренные расходы, средняя глубина, уровни воды. Далее вычисляется корень из значения средней глубины и затем произведение корня из средней глубины на площадь поперечного сечения.

Затем строится зависимость  $Q = f(w * \sqrt{h_{cp}})$ . Значения  $w * \sqrt{h_{cp}}$  откладываются по оси ординат, значения расхода откладываются по оси абсцисс. Построение происходит на графике кривой расходов, общей шкалой является ось абсцисс.

Кривая экстраполируется продолжением до значения  $w * \sqrt{h_{cp}}$ , которое соответствует наибольшему уровню.

Полученные расходы переносятся вверх до пересечения с линией, которые соответствуют определенному уровню. По полученным точкам экстраполируется кривая расходов.

Чаще всего ограничиваются одной точкой – максимальным расходом.

По данному способу можно экстраполировать кривую расходов воды при наличии паводочной петли.

### 3.15 Экстраполяция кривой расходов с помощью формулы Шези

Данным методом можно пользоваться только при наличии надёжно измеренных уклонов водной поверхности. Способ даёт достаточно хорошие результаты на реках со средней глубиной более 3,5-4,0 м и ровным руслом.

Суть метода заключается в том, что в экстраполируемой части кривой расходов, расходы вычисляются умножением площади живого сечения на среднюю скорость течения, которая определяется по формуле Шези.

Средняя скорость находится следующим образом. В формуле Шези  $V=C * \sqrt{R * i} \cong C * \sqrt{h_{cp} * i}$ , средняя глубина определяется отношением площади поперечного сечения к ширине реки. Значение коэффициента Шези и уклона определяются с помощью построения и экстраполяции кривых  $i=f(H)$  и  $C=f(H)$ . Коэффициент Шези для построения кривой  $C=f(H)$  определяется по формуле  $C=V/\sqrt{h_{cp} * i}$ . Кривая экстраполируется непосредственным продолжением до наивысшего уровня, она приближается к прямой, параллельной оси уровней.

Если кривые уклона и коэффициента Шези имеют большую кривизну или переломы, то экстраполяцию лучше не проводить и отказаться от экстраполяции по данному методу.

#### 4 Анализ исходных данных

В качестве исходных данных выбраны следующие реки России: р.Покша – д. Рыжково за 1962 г; р. Вига – с. Шартаново за 1966 г; р. Пьяна – Камкино за 1953 г; р. Савруша – п. Заря за 1970 г.

Исходные данные реки Покша за 1962 год представлены в таблице 4.1. Измерения были проведены с 9 апреля по 20 апреля в створе №1 и с 21 апреля по 5 мая в створе № 2. В течение данного периода было проведено 15 измерений. Максимальный уровень воды был 9 апреля и составил 405 см, максимальный расход составил 105 м<sup>3</sup>/с. Минимальный уровень воды был 5 мая и составил 90 см. Минимальный расход 5 мая и был равен 1,96 м<sup>3</sup>/с. Расходы измерены в диапазоне средних скоростей от 0,22 м/с до 0,98 м/с при средних глубинах от 0,62 м до 2,54 м, т.е. в благоприятных условиях для работы вертушкой. Результаты измерений не вызывают сомнений.

Исходные данные реки Вига за 1966 год представлены в таблице 4.2. Измерения проводились с 13 марта по 16 апреля. В течение данного периода было проведено 10 измерений. Максимальный уровень воды был 16 апреля и составил 493 см, минимальный уровень воды был 13 марта и был равен 102 см. Максимальный расход воды был 16 апреля и составил 182 м<sup>3</sup>/с, а минимальный 13 марта – 6,31 м<sup>3</sup>/с. Расходы измерены в диапазоне средних скоростей от 0,28 м/с до 0,83 м/с при средних глубинах от 0,86 м до 3,29 м, т.е. в благоприятных условиях для работы вертушкой. Результаты измерений не вызывают сомнений.

Исходные данные реки Пьяна за 1953 год представлены в таблице 4.3. Измерения были проведены с 3 апреля по 27 мая на гидростворе № 1. В течение данного периода было проведено 14 измерений. Максимальный уровень воды был 12 апреля и составил 666 см, минимальный уровень воды был 27 мая и был равен 252 см. Максимальный расход воды был 12 апреля и составил 295 м<sup>3</sup>/с, а минимальный 27 мая – 19,5 м<sup>3</sup>/с. Расходы измерены в диапазоне средних

скоростей от 0,32 м/с до 0,82 м/с при средних глубинах от 1,06 м до 4,01 м, т.е. в благоприятных условиях для работы вертушкой. Результаты измерений не вызывают сомнений.

Исходные данные реки Савруша за 1970 год представлены в таблице 4.4. Измерения были проведены с 7 апреля по 31 мая на гидростворе №1. Максимальный уровень воды был 9 апреля и составил 438 см, минимальный уровень воды был 31 мая и был равен 228 см. Максимальный расход воды был 9 апреля и составил 41,4 м<sup>3</sup>/с, а минимальный 31 мая – 3,04 м<sup>3</sup>/с. Расходы измерены в диапазоне средних скоростей от 0,28 м/с до 0,88 м/с при средних глубинах от 1,00 м до 1,98 м, т.е. в благоприятных условиях для работы вертушкой. Результаты измерений не вызывают сомнений.

Таблица 4.1 – Исходные данные р. Покша – д.Рыжково 1962 г.

NN расхода	Дата измерения	Состояние русла	№ створа	Уровень воды над 0 графика, см	Q, м³/с	ω, м²	Скорость течения, м/с		Ширина реки, м	Глубина, м		Уклон водн. пов-ти
							Средняя	Наибольшая		Средняя	Наибольшая	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	9.4	св.	1	405	105	107	0.98	1.28	48.8	2.19	4.40	-
2	10.4	св.	1	368	82.1	90.8	0.90	1.27	46.0	1.97	4.05	0.34
3	11.4	св.	1	322	61.0	74.9	0.81	1.31	29.5	2.54	3.60	0.41
4	13.4	св.	1	298	50.2	67.3	0.75	1.09	28.1	2.40	3.29	0.43
5	14.4	св.	1	278	42.9	61.9	0.69	1.18	27.2	2.28	3.10	0.43
6	15.4	св.	1	248	32.9	53.3	0.62	1.06	26.0	2.05	2.80	0.34
7	16.4	св.	1	214	22.8	44.1	0.52	1.05	24.8	1.78	2.42	0.39
8	17.4	св.	1	180	15.9	35.7	0.45	1.17	23.5	1.52	2.08	0.23
9	18.4	св.	1	154	12.2	29.2	0.42	1.17	22.4	1.30	1.75	0.32
10	19.4	св.	1	144	9.85	26.9	0.37	1.12	22.0	1.22	1.65	0.27
11	20.4	св.	1	133	7.73	22.7	0.34	1.03	21.7	1.14	1.58	0.27
12	21.4	св.	2	118	6.02	17.3	0.30	0.93	9.9	0.89	1.05	0.24
13	22.4	св.	2	110	4.94	14.7	0.29	0.88	9.8	0.81	0.96	0.22
14	24.4	св.	2	98	3.52	10.8	0.25	0.79	9.6	0.72	0.92	0.19
15	5.5	св.	2	90	1.96	7.83	0.22	0.61	9.5	0.62	0.80	-

Таблица 4.2 – Исходные данные р. Вига – с. Шартаново 1966 г.

NN расхо- да	Дата из- мерения	№ створа	Уро- вень воды над 0 графи- ка, см	Q, м³/с	ω,м2	Скорость течения,м/с		Шири- на ре- ки, м	Глубина, м		Уклон водн.пов -ти
						Сред- няя	Наиболь- шая		Сред- няя	Наиболь- шая	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	13.3	1	102	6.31	27.1	0.28	0.49	31.6	0.86	1.04	0.16
7	20.3	1	104	6.54	27.6	0.29	0.45	31.8	0.87	1.06	0.16
8	7.4	1	155	33.3	54.5	0.61	0.84	39.2	1.39	1.83	0.22
9	10.4	1	210	54.2	76.5	0.71	0.95	42.8	1.79	2.48	0.22
10	11.4	1	246	68.5	91.6	0.75	1.00	44.0	2.08	2.86	0.22
11	12.4	1	308	92.2	119	0.77	1.04	46.8	2.59	3.50	0.21
12	13.4	1	360	118	145	0.81	1.13	48.0	3.02	3.94	0.22
13	14.4	1	396	135	162	0.83	1.15	49.3	3.29	4.30	0.20
14	15.4	1	456	164	210	0.78	1.21	71.6	2.93	4.90	0.19
15	16.4	1	493	182	238	0.76	1.13	77.0	3.09	5.30	0.19

Таблица 4.3 – Исходные данные р. Пьяна – Камкино 1953 г.

NN рас- хода	Дата из- мерения	№ ство- ра	Уровень воды над 0 графика, см	Q, м³/с	ω,м2	Скорость течения,м/с		Ширина реки, м	Глубина, м		Уклон водн.пов- ти
						Средняя	Наибольшая		Средняя	Наибольшая	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	3.4	1	380	54.5	138	0.39	-	65.8	2.10	-	-
5	4.4	1	478	99.0	208	0.48	-	72.4	2.87	-	-
6	7.4	1	612	185	314	0.59	-	86.4	3.63	-	-
7	9.4	1	628	220	321	0.69	-	87.2	3.68	-	-
8	12.4	1	666	295	360	0.82	-	89.7	4.01	-	-
9	18.4	1	603	172	305	0.56	-	86.0	3.55	-	-
10	23.4	1	576	157	280	0.56	-	83.6	3.35	-	-
11	25.4	1	529	124	256	0.48	-	78.7	3.25	-	-
12	26.4	1	459	81.0	195	0.42	-	70.9	2.75	-	-
13	27.1	1	413	65.2	162	0.40	-	68.0	2.38	-	-
14	29.4	1	340	45.3	116	0.39	-	63.0	1.84	-	-
15	2.5	1	295	34.8	85.7	0.41	-	60.2	1.42	-	-
16	7.5	1	278	29.9	73.8	0.41	-	59.3	1.24	-	-
17	27.5	1	252	19.5	60.5	0.32	-	57.0	1.06	-	-

Таблица 4.4 – Исходные данные р. Савруша – п. Заря 1970 г.

NN расхода	Дата измерения	№ створа	Уровень воды над 0 графика, см	Q, м³/с	ω, м²	Скорость течения, м/с		Ширина реки, м	Глубина, м		Уклон водн. пов-ти
						Средняя	Наибольшая		Средняя	Наибольшая	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	7.4	1	402	17.5	38.4	0.46	-	23.6	1.78	-	0.136
14	9.4	1	438	41.4	50.4	0.88	-	25.5	1.98	-	0.24
15	11.4	1	424	35.0	47.9	0.73	-	24.3	1.57	-	0.22
16	12.4	1	420	32.6	46.8	0.70	-	24.3	1.93	-	0.214
17	13.4	1	414	29.8	45.7	0.65	-	24.3	1.88	-	0.206
18	14.4	1	416	29.5	45.2	0.65	-	24.3	1.86	-	0.209
19	17.4	1	370	11.1	34.3	0.32	-	23.5	1.46	-	0.134
20	18.4	1	350	9.17	29.3	0.31	-	23.1	1.27	-	-
21	19.4	1	346	8.67	27.1	0.32	-	23.0	1.18	-	-
22	20.4	1	356	9.74	31.6	0.31	-	23.5	1.35	-	-
23	21.4	1	339	7.85	28.1	0.28	-	19.4	1.45	-	-
24	22.4	1	302	6.50	20.3	0.32	-	15.9	1.28	-	-
25	27.4	1	270	5.06	15.1	0.34	-	15.0	1.00	-	-
26	2.5	1	256	4.10	9.82	0.40	-	8.4	1.17	-	-
27	11.5	1	242	4.01	8.72	0.42	-	8.1	1.08	-	-
28	31.5	1	228	3.04	7.83	0.49	-	7.6	1.03	-	-

5. Построение графиков однозначной зависимости  $Q = f(H)$ ,  $\omega = f(H)$ ,  $V_{cp} = f(H)$  и их увязка

### 5.1 Построение кривых и их увязка для реки Покша

За период с 9 апреля по 5 мая были построены кривые зависимости  $Q = f(H)$ ,  $\omega = f(H)$ ,  $V_{cp} = f(H)$ , представленные в приложении 1. Произведена увязка значений расходов, полученных с графика, и расходов, вычисленных по значениям скоростей и площадей живого сечения реки. Расчеты представлены в таблице 5.1. Значения  $\delta$  не превышают 1%, можно считать, что кривые увязаны.

Таблица 5.1 – Увязка кривых расхода р. Покша – д.Рыжково, 1962 г.

H, см	W <sub>кр</sub>	V <sub>кр</sub>	Q <sub>выч</sub>	Q <sub>кр</sub>	$\Delta Q$	$\delta$
405	107	0.97	104	104.8	1.01	0.96
368	92.0	0.90	82.8	82.0	0.80	0.98
322	75.0	0.82	61.5	62.0	0.50	0.81
298	67.0	0.75	50.3	50.5	0.25	0.50
278	62.0	0.70	43.4	43.0	0.40	0.93
248	53.0	0.62	32.9	33.0	0.14	0.42
214	44.0	0.54	23.8	23.6	0.16	0.68
180	35.0	0.46	16.1	16.0	0.1	0.63
154	29.0	0.41	11.9	12.0	0.11	0.92
144	26.0	0.38	9.88	9.90	0.02	0.20
133	22.0	0.34	7.48	7.50	0.02	0.27
118	18.2	0.32	5.82	5.80	0.02	0.41
110	15.0	0.33	4.95	5.00	0.05	1.00
98	11.7	0.30	3.51	3.50	0.01	0.29
90	8.00	0.24	1.92	1.90	0.02	1.05

Был произведён подсчёт вероятной ошибки построения кривой  $Q = f(H)$ , приведенный в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Подсчёт вероятной ошибки погрешности построения кривой р. Покша – д.Рыжково, 1962 г.

Измеренные		Q кр, м3/с	ΔQ м3/с	δ	δ²
H, см	Q, м3/с				
405	105	105	0.2	0.190	0.036
368	82.1	82.0	0.1	0.122	0.015
322	61.0	62.0	1.0	1.639	2.687
298	50.2	50.5	0.3	0.598	0.357
278	42.9	43.0	0.1	0.233	0.054
248	32.9	33.0	0.1	0.304	0.092
214	22.8	23.6	0.8	3.509	12.311
180	15.9	16.0	0.1	0.629	0.396
154	12.2	12.0	0.2	1.639	2.687
144	9.85	9.90	0.1	0.508	0.258
133	7.73	7.50	0.2	2.975	8.853
118	6.02	5.80	0.2	3.654	13.355
110	4.94	5.00	0.1	1.215	1.475
98	3.52	3.50	0.0	0.568	0.323
90	1.96	1.90	0.1	3.061	9.371
				Σ(δ²)=	42.9
Средняя вероятная погрешность:					1.14

По формуле (1.1) был произведен расчет относительной ошибки, которая составила 1,14, что меньше 5%. Следовательно, построение кривых можно считать правильным.

$$\sigma = \pm 0,674 \cdot \sqrt{\frac{\Sigma \delta^2}{n}} \leq 5\% \quad (1.1)$$

## 5.2 Построение кривых и их увязка для реки Ви́га

За период с 13 марта по 16 апреля были построены кривые зависимости  $Q = f(H)$ ,  $\omega = f(H)$ ,  $V_{cp} = f(H)$ , представленные в приложении 2. Произведена увязка значений расходов, полученных с графика, и расходов, вычисленных по значе-

ниям скоростей и площадей живого сечения реки. Расчеты представлены в таблице 5.3. Значения  $\delta$  не превышают 1%, можно считать, что кривые увязаны.

Таблица 5.3 – Увязка кривых расхода р. Вига – с.Шартаново, 1966 г.

H, см	W кр	V кр	Q выч	Q кр	$\Delta Q$	$\delta$
102	26.2	0.25	6.55	6.50	0.05	0.769
104	26.2	0.25	6.55	6.50	0.05	0.769
155	55.0	0.62	34.1	34.0	0.10	0.294
210	79.0	0.70	55.3	55.0	0.30	0.545
246	92.5	0.74	68.5	68.0	0.45	0.662
308	120	0.79	94.8	95.0	0.20	0.211
360	145	0.81	117	117	0.45	0.385
396	162	0.83	134	135	0.54	0.400
456	210	0.78	164	165	1.20	0.727
493	240	0.75	180	180	0.00	0.000

Был произведён подсчёт вероятной ошибки построения кривой  $Q = f(H)$ , приведенный в таблице 5.4

Таблица 5.4 – Подсчёт вероятной ошибки погрешности построения кривой р. Вига – с.Шартаново, 1966 г.

Измеренные		Q кр, м3/с	$\Delta Q$ м3/с	$\delta$	$\delta^2$
H, см	Q, м3/с				
102	6.31	6.50	0.2	3.0	9.07
104	6.54	6.50	0.0	0.6	0.37
155	33.3	34.0	0.7	2.1	4.42
210	54.2	55.0	0.8	1.5	2.18
246	68.5	68.0	0.5	0.7	0.53
308	92.2	95.0	2.8	3.0	9.22
360	118	117	1.0	0.8	0.72
396	135	135	0.0	0.0	0.00
456	164	165	1.0	0.6	0.37
493	182	180	2.0	1.1	1.21
				$\sum(\delta^2)=$	26.9
Средняя вероятная погрешность:					0.90

По формуле (1.1) был произведен расчет относительной ошибки, которая составила 0,90, что меньше 5%. Следовательно, построение кривых можно считать правильным.

### 5.3 Построение кривых и их увязка для реки Пьяна

За период с 3 апреля по 27 мая были построены кривые зависимости  $Q = f(H)$ ,  $\omega = f(H)$ ,  $V_{cp} = f(H)$ , представленные в приложении 3. Произведена увязка значений расходов, полученных с графика, и расходов, вычисленных по значениям скоростей и площадей живого сечения реки. Расчеты представлены в таблице 5.5. Значения  $\delta$  не превышают 1%, можно считать, что кривые увязаны.

Таблица 5.5 – Увязка кривых расхода р. Пьяна – Камкино, 1953 г

H, см	W кр	V кр	Q выч	Q кр	$\Delta Q$	$\delta$
380	136	0.38	51.68	52.0	0.320	0.615
478	207	0.48	99.4	99.0	0.360	0.364
612	313	0.62	194	194	0.060	0.031
628	322	0.67	216	215	0.740	0.344
666	360	0.82	295	295	0.200	0.068
603	307	0.58	178	179	0.940	0.525
576	270	0.55	149	149	0.500	0.336
529	245	0.50	123	122	0.500	0.410
459	195	0.42	81.9	81.0	0.900	1.111
413	162	0.40	64.8	65.0	0.200	0.308
340	109	0.39	42.5	43.0	0.490	1.140
295	90.0	0.37	33.3	33.0	0.300	0.909
278	74.5	0.38	28.3	28.5	0.190	0.667
252	63.5	0.32	20.3	20.5	0.180	0.878

Был произведён подсчёт вероятной ошибки построения кривой  $Q = f(H)$ , приведенный в таблице 5.6

Таблица 5.6 – Подсчёт вероятной ошибки погрешности построения кривой р. Пьяна – Камкино, 1953 г.

Измеренные		Q кр, м3/с	$\Delta Q$ м3/с	$\delta$	$\delta^2$
H, см	Q, м3/с				
380	54.5	52.0	2.5	4.59	21.04
478	99	99.0	0	0.00	0.00
612	185	194	9	4.86	23.67
628	220	215	5	2.27	5.17
666	295	295	0	0.00	0.00
603	172	179	7	4.07	16.56
576	157	149	8	5.10	25.96
529	124	122	2	1.61	2.60
459	81.0	81.0	0	0.00	0.00
413	65.2	65.0	0.2	0.31	0.09
340	45.3	43.0	2.3	5.08	25.78
295	34.8	33.0	1.8	5.17	26.75
278	29.9	28.5	1.4	4.68	21.92
252	19.5	20.5	1	5.13	26.30
				$\sum(\delta^2)=$	195.9
Средняя вероятная погрешность:					2.52

По формуле (1.1) был произведен расчет относительной ошибки, которая составила 2,52, что меньше 5%. Следовательно, построение кривых можно считать правильным.

#### 5.4 Построение кривых и их увязка для реки Савруша

За период с 7 апреля по 31 мая были построены кривые зависимости  $Q = f(H)$ ,  $\omega = f(H)$ ,  $V_{cp} = f(H)$ , представленные в приложении 4. Произведена увязка значений расходов, полученных с графика, и расходов, вычисленных по значениям скоростей и площадей живого сечения реки. Расчеты представлены в таблице 5.7. Значения  $\delta$  не превышают 1%, можно считать, что кривые увязаны.

Таблица 5.7 – Увязка кривых расхода р. Савруша – п. Заря, 1970 г

H, см	W кр	V кр	Q выч	Q кр	$\Delta Q$	$\delta$
402	37.5	0.47	17.6	17.5	0.13	0.714
438	50.0	0.84	42.0	42.0	0.00	0.000
424	48.0	0.73	35.0	35.0	0.04	0.114
420	46.5	0.70	32.6	32.5	0.05	0.154
414	44.0	0.65	28.6	29.3	0.70	2.389
416	46.8	0.63	29.5	29.5	0.02	0.054
370	34.5	0.32	11.0	11.0	0.04	0.364
350	29.0	0.31	8.99	9.00	0.01	0.111
346	29.7	0.30	8.91	9.00	0.09	1.000
356	31.5	0.30	9.45	9.50	0.05	0.526
339	27.5	0.29	7.98	8.00	0.03	0.313
302	19.5	0.33	6.44	6.50	0.06	1.000
270	15.0	0.33	4.95	5.00	0.05	1.000
256	10.5	0.37	3.89	3.90	0.02	0.385
242	9.00	0.43	3.87	3.90	0.03	0.769
228	6.50	0.46	2.99	3.00	0.01	0.333

Был произведён подсчёт вероятной ошибки построения кривой  $Q = f(H)$ , приведенный в таблице 5.8

Таблица 5.8 – Подсчёт вероятной ошибки погрешности построения кривой р. Савруша – п. Заря, 1970 г.

Измеренные		Q кр, м3/с	$\Delta Q$ м3/с	$\delta$	$\delta^2$
H, см	Q, м3/с				
402	17.5	17.5	0	0.000	0.000
438	41.4	42.0	0.6	1.449	2.100
424	35.0	35.0	0	0.000	0.000
420	32.6	32.5	0.1	0.307	0.094
414	29.8	29.3	0.5	1.678	2.815
416	29.5	29.5	0	0.000	0.000
370	11.1	11.0	0.1	0.901	0.812
350	9.17	9.00	0.17	1.854	3.437
346	8.67	8.90	0.23	2.653	7.037
356	9.74	9.50	0.24	2.464	6.072
339	7.85	8.00	0.15	1.911	3.651
302	6.50	6.50	0	0.000	0.000
270	5.06	5.00	0.06	1.186	1.406

Продолжение таблицы 5.8

256	4.10	3.90	0.2	4.878	23.795
242	4.01	3.90	0.11	2.743	7.525
228	3.04	3.00	0.04	1.316	1.731
				$\sum(\delta^2)=$	51.2
Средняя вероятная погрешность:					1.21

По формуле (1.1) был произведен расчет относительной ошибки, которая составила 1,21, что меньше 5%. Следовательно, построение кривых можно считать правильным.

## 6. Экстраполяция кривых

В данном дипломном проекте выбраны следующие методы экстраполяции кривых для сравнения и их рекомендации специалистам: метод тенденции; экстраполяция с помощью формулы Шези; экстраполяция по способу Дж. Стивенса.

### 6.1 Экстраполяция кривой расходов непосредственным продолжением (метод тенденции)

Таблица 6.1 Экстраполяция кривой методом тенденции для реки Покша

NN расхода	H, см	Q, м <sup>3</sup> /с	Q кр, м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q$ м <sup>3</sup> /с	$\delta$
1	2	3	4	5	6
1	405	105	105	0.0	0.000
2	368	82.1			
3	322	61.0			
4	298	50.2			
5	278	42.9			
6	248	32.9			
7	214	22.8			
8	180	15.9			
9	154	12.2			
10	144	9.85			
11	133	7.73			
12	118	6.02			
13	110	4.94			
14	98	3.52			
15	90	1.96			

Экстраполяция представлена в приложении 5

Таблица 6.2 Экстраполяция кривой методом тенденции для реки Вига

NN рас- хода	H, см	Q, м <sup>3</sup> /с	Q кр, м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q$ м <sup>3</sup> /с	$\delta$
1	2	3	4	5	6
6	102	6.31			
7	104	6.54			
8	155	33.3			
9	210	54.2			
10	246	68.5			
11	308	92.2			
12	360	118			
13	396	135			
14	456	164			
15	493	182	180	2.0	1.099

Экстраполяция представлена в приложении 5

Таблица 6.3 Экстраполяция кривой методом тенденции для реки Пьяна

NN рас- хода	H, см	Q, м <sup>3</sup> /с	Q кр, м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q$ м <sup>3</sup> /с	$\delta$
1	2	3	4	5	6
4	380	54.5			
5	478	99.0			
6	612	185			
7	628	220			
8	666	295	295	0.0	0.000
9	603	172			
10	576	157			
11	529	124			
12	459	81.0			
13	413	65.2			
14	340	45.3			
15	295	34.8			
16	278	29.9			
17	252	19.5			

Экстраполяция представлена в приложении 6

Таблица 6.4 Экстраполяция кривой методом тенденции для реки Савруша

NN рас- хода	H, см	Q, м³/с	Q кр, м³/с	ΔQ м³/с	δ
1	2	3	4	5	6
13	402	17.5			
14	438	41.4	41.0	0.4	0.966
15	424	35.0	35.0	0.0	0.000
16	420	32.6			
17	414	29.8			
18	416	29.5			
19	370	11.1			
20	350	9.17			
21	346	8.67			
22	356	9.74			
23	339	7.85			
24	302	6.50			
25	270	5.06			
26	256	4.10			
27	242	4.01			
28	228	3.04			

Экстраполяция представлена в приложении 6

Сравнив полученные расходы воды с помощью экстраполяции с исходными данными, можно увидеть, что максимальная ошибка составила 1,1%, средняя ошибка по всем рекам составила 0,22%, следовательно метод является достаточно надёжным и может быть рекомендован.

## 6.2 Экстраполяция кривой расходов воды по методу Стивенса

Таблица 6.5 Вычисление величины  $\omega * \sqrt{h_{cp}}$  для р. Покша

NN расхода	Q, м³/с	H, см	ω, м²	B, м	$h_{cp}$	$\sqrt{h_{cp}}$	$\omega * \sqrt{h_{cp}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	105	405	107	48.8	2.19	1.48	158

Продолжение таблицы 6.5

2	82.1	368	90.8	46.0	1.97	1.40	127
3	61.0	322	74.9	29.5	2.54	1.59	119
4	50.2	298	67.3	28.1	2.40	1.55	104
5	42.9	278	61.9	27.2	2.28	1.51	93.5
6	32.9	248	53.3	26.0	2.05	1.43	76.3
7	22.8	214	44.1	24.8	1.78	1.33	58.8
8	15.9	180	35.7	23.5	1.52	1.23	44.0
9	12.2	154	29.2	22.4	1.30	1.14	33.3
10	9.85	144	26.9	22.0	1.22	1.10	29.7
11	7.73	133	22.7	21.7	1.14	1.07	24.2
12	6.02	118	17.3	9.9	0.89	0.94	16.3
13	4.94	110	14.7	9.8	0.81	0.90	13.2
14	3.52	98	10.8	9.6	0.72	0.85	9.16
15	1.96	90	7.83	9.5	0.62	0.79	6.17

Таблица 6.6 Вычисление величины  $\omega * \sqrt{h_{cp}}$  для р. Вига

NN расхода	Q, м³/с	H, см	$\omega$ , м²	B, м	$h_{cp}$ , м	$\sqrt{h_{cp}}$	$\omega * \sqrt{h_{cp}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
6	6.31	102	27.1	31.6	0.86	0.93	25.1
7	6.54	104	27.6	31.8	0.87	0.93	25.7
8	33.3	155	54.5	39.2	1.39	1.18	64.3
9	54.2	210	76.5	42.8	1.79	1.34	102
10	68.5	246	91.6	44.0	2.08	1.44	132
11	92.2	308	119	46.8	2.59	1.61	192
12	118	360	145	48.0	3.02	1.74	252
13	135	396	162	49.3	3.29	1.81	294
14	164	456	210	71.6	2.93	1.71	359
15	182	493	238	77.0	3.09	1.76	418

Таблица 6.7 Вычисление величины  $\omega * \sqrt{h_{cp}}$  для р. Пьяна

NN расхода	Q, м³/с	H, см	$\omega$ , м²	B, м	$h_{cp}$ , м	$\sqrt{h_{cp}}$	$\omega * \sqrt{h_{cp}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
4	54.5	380	138	65.8	2.10	1.45	200

Продолжение таблицы 6.7

5	99.0	478	208	72.4	2.87	1.69	352
6	185	612	314	86.4	3.63	1.91	598
7	220	628	321	87.2	3.68	1.92	616
8	295	666	360	89.7	4.01	2.00	721
9	172	603	305	86.0	3.55	1.88	575
10	157	576	280	83.6	3.35	1.83	512
11	124	529	256	78.7	3.25	1.80	462
12	81.0	459	195	70.9	2.75	1.66	323
13	65.2	413	162	68.0	2.38	1.54	250
14	45.3	340	116	63.0	1.84	1.36	157
15	34.8	295	85.7	60.2	1.42	1.19	102
16	29.9	278	73.8	59.3	1.24	1.11	82.2
17	19.5	252	60.5	57.0	1.06	1.03	62.3

Таблица 6.8 Вычисление величины  $\omega * \sqrt{h_{cp}}$  для р. Савруша

NN расхода	Q, м³/с	H, см	$\omega$ , м²	B, м	$h_{cp}$ , м	$\sqrt{h_{cp}}$	$\omega * \sqrt{h_{cp}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
13	17.5	402	38.4	23.6	1.78	1.33	51.2
14	41.4	438	50.4	25.5	1.98	1.41	70.9
15	35.0	424	47.9	24.3	1.57	1.25	60.0
16	32.6	420	46.8	24.3	1.93	1.39	65.0
17	29.8	414	45.7	24.3	1.88	1.37	62.7
18	29.5	416	45.2	24.3	1.86	1.36	61.6
19	11.1	370	34.3	23.5	1.46	1.21	41.4
20	9.17	350	29.3	23.1	1.27	1.13	33.0
21	8.67	346	27.1	23.0	1.18	1.09	29.4
22	9.74	356	31.6	23.5	1.35	1.16	36.7
23	7.85	339	28.1	19.4	1.45	1.20	33.8
24	6.50	302	20.3	15.9	1.28	1.13	23.0
25	5.06	270	15.1	15.0	1.00	1.00	15.1
26	4.10	256	9.82	8.4	1.17	1.08	10.6
27	4.01	242	8.72	8.1	1.08	1.04	9.06
28	3.04	228	7.83	7.6	1.03	1.01	7.95

Таблица 6.9 Экстраполяция кривой по способу Стивенса для р. Покша

NN расхода	H, см	Q, м <sup>3</sup> /с	Q кр, м <sup>3</sup> /с	ΔQ м <sup>3</sup> /с	δ
1	2	3	4	5	6
1	405	105	105	0.0	0.000
2	368	82.1			
3	322	61.0			
4	298	50.2			
5	278	42.9			
6	248	32.9			
7	214	22.8			
8	180	15.9			
9	154	12.2			
10	144	9.85			
11	133	7.73			
12	118	6.02			
13	110	4.94			
14	98	3.52			
15	90	1.96			

Экстраполяция представлена в приложении 1

Таблица 6.10 Экстраполяция кривой по способу Стивенса для р. Вига

NN рас- хода	H, см	Q, м <sup>3</sup> /с	Q кр, м <sup>3</sup> /с	ΔQ м <sup>3</sup> /с	δ
1	2	3	4	5	6
1	102	6.31			
2	104	6.54			
3	155	33.3			
4	210	54.2			
5	246	68.5			
6	308	92.2			
7	360	118			
8	396	135			
9	456	164			

Продолжение таблицы 6.10

10	493	182	180	2.0	1.099
----	-----	-----	-----	-----	-------

Экстраполяция представлена в приложении 2

Таблица 6.11 Экстраполяция кривой по способу Стивенса для р. Пьяна

NN рас- хода	H, см	Q, м <sup>3</sup> /с	Q кр, м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q$ м <sup>3</sup> /с	$\delta$
1	2	3	4	5	6
4	380	54.5			
5	478	99.0			
6	612	185	190	5.0	2.70
7	628	220	215	5.0	2.27
8	666	295	295	0.0	0.00
9	603	172	180	8.0	4.65
10	576	157			
11	529	124			
12	459	81.0			
13	413	65.2			
14	340	45.3			
15	295	34.8			
16	278	29.9			
17	252	19.5			

Экстраполяция представлена в приложении № 3

Таблица 6.12 Экстраполяция кривой по способу Стивенса для р. Савруша

NN рас- хода	H, см	Q, м <sup>3</sup> /с	Q кр, м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q$ м <sup>3</sup> /с	$\delta$
1	2	3	4	5	6
13	402	17.5			
14	438	41.4	41.0	0.0	0.00
15	424	35.0	35.0	0.0	0.00
16	420	32.6			
17	414	29.8			
18	416	29.5			
19	370	11.1			

Продолжение таблицы 6.12

20	350	9.17			
21	346	8.67			
22	356	9.74			
23	339	7.85			
24	302	6.50			
25	270	5.06			
26	256	4.10			
27	242	4.01			
28	228	3.04			

Экстраполяция представлена в приложении 4

### 6.3 Экстраполяция кривой расходов воды с помощью формулы Шези

Для данного метода требуются реки с измеренными уклонами воды. В дипломном проекте только у р. Покша и р. Вига имеются измеренные уклоны.

Таблица 6.13 Вспомогательная таблица для построения кривой  $C=f(H)$  для р. Покша

NN расхода	H, см	$\omega$ , м <sup>2</sup>	B, м	$h_{cp}$	$i$	$V_{cp}$ , м/с	C
1	3	4	5	6	7	8	9
1	405	107	48.8	2.19		0.98	
2	368	90.8	46.0	1.97	0.34	0.90	1.099
3	322	74.9	29.5	2.54	0.41	0.81	0.794
4	298	67.3	28.1	2.40	0.43	0.75	0.739
5	278	61.9	27.2	2.28	0.43	0.69	0.698
6	248	53.3	26.0	2.05	0.34	0.62	0.743
7	214	44.1	24.8	1.78	0.39	0.52	0.624
8	180	35.7	23.5	1.52	0.23	0.45	0.761
9	154	29.2	22.4	1.30	0.32	0.42	0.650
10	144	26.9	22.0	1.22	0.27	0.37	0.644
11	133	22.7	21.7	1.05	0.27	0.34	0.640
12	118	17.3	9.9	1.75	0.24	0.30	0.463
13	110	14.7	9.8	1.50	0.22	0.29	0.505
14	98	10.8	9.6	1.13	0.19	0.25	0.541

Продолжение таблицы 6.13

15	90	7.83	9.5	0.82		0.22	
----	----	------	-----	------	--	------	--

Таблица 6.14 Экстраполяция с помощью формулы Шези для р. Покша

NN расхода	H, см	$\omega$ , м <sup>2</sup>	h <sub>ср</sub>	<i>i</i>	C	Q <sub>выч</sub> , м <sup>3</sup> /с
1	2	3	4	5	6	7
1	405	107	3.79	0.19	1.180	246
2	368	90.8	4.05	0.34	1.099	201
3	322	74.9	4.30	0.41	0.794	123
4	298	67.3	4.43	0.43	0.739	105
5	278	61.9	4.49	0.43	0.698	91.5
6	248	53.3	4.65	0.34	0.743	85.4
7	214	44.1	4.85	0.39	0.624	60.7
8	180	35.7	5.04	0.23	0.761	61.0
9	154	29.2	5.27	0.32	0.650	43.6
10	144	26.9	5.35	0.27	0.644	40.1
11	133	22.7	5.86	0.27	0.640	35.2
12	118	17.3	6.82	0.24	0.463	20.9
13	110	14.7	7.48	0.22	0.505	20.3
14	98	10.8	9.07	0.19	0.541	17.6
15	90	7.83	11.49			

Экстраполяция представлена в приложении 7

Таблица 6.15 Вспомогательная таблица для построения кривой  $C=f(H)$  для р. Вига

NN расхода	H, см	$\omega$ , м <sup>2</sup>	B, м	h <sub>ср</sub>	<i>i</i>	V <sub>ср</sub> , м/с	C
1	3	4	5	6	7	8	9
6	102	27.1	31.6	0.86	0.16	0.28	0.756
7	104	27.6	31.8	0.87	0.16	0.29	0.778
8	155	54.5	39.2	1.39	0.22	0.61	1.103
9	210	76.5	42.8	1.79	0.22	0.71	1.132
10	246	91.6	44.0	2.08	0.22	0.75	1.108
11	308	119	46.8	2.54	0.21	0.77	1.054
12	360	145	48.0	3.02	0.22	0.81	0.994

Продолжение таблицы 6.15

13	396	162	49.3	3.29	0.20	0.83	1.024
14	456	210	71.6	2.93	0.19	0.78	1.045
15	493	238	77.0	3.09	0.19	0.76	0.992

Таблица 6.16 Экстраполяция с помощью формулы Шези для р. Вига

NN расхода	H, см	$\omega$ , м <sup>2</sup>	h <sub>ср</sub>	<i>i</i>	C	Q <sub>выч</sub> , м <sup>3</sup> /с
1	2	3	4	5	6	7
1	102	27.1	3.76	0.16	0.756	39.7
2	104	27.6	3.77	0.16	0.778	41.7
3	155	54.5	2.84	0.22	1.103	101
4	210	76.5	2.75	0.22	1.132	144
5	246	91.6	2.69	0.22	1.108	166
6	308	119	2.59	0.21	1.054	202
7	360	145	2.48	0.22	0.994	227
8	396	162	2.44	0.20	1.024	259
9	456	210	2.17	0.19	1.045	323
10	493	238	2.07	0.19	0.992	340

Экстраполяция представлена в приложении № 8

## 7. Сравнение полученных результатов

Таблица 7.1 Погрешности методов экстраполяции

р. Покша							
		Метод тен-денции		Метод Сти-венса		По формуле Шези	
NN	Q, м³/с	Q выч, м³/с	δ	Q выч, м³/с	δ	Q выч, м³/с	δ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	105	105	0.00	105	0.00	246	134
р. Вига							
		Метод тен-денции		Метод Сти-венса		По формуле Шези	
NN	Q, м³/с	Q выч, м³/с	δ	Q выч, м³/с	δ	Q выч, м³/с	δ
1	2	3	4	5	6	7	8
10	182	180	1.10	180	1.1	340	86.7
р. Савруша							
		Метод тен-денции		Метод Сти-венса			
NN	Q, м³/с	Q выч, м³/с	δ	Q выч, м³/с	δ		
1	2	3	4	5	6		
14	41.0	41.0	0.00	41.0	0.00		
15	35.0	35.0	0.00	35.0	0.00		
р.Пьяна							
		Метод тен-денции		Метод Сти-венса			
NN	Q, м³/с	Q выч, м³/с	δ	Q выч, м³/с	δ		
1	2	3	4	5	6		
6	185			190	2.70		
7	220			215	2.27		
8	295	295	0.00	295	0.00		
9	172			180	4.65		

Сравнив полученные результаты погрешностей по методу непосредственного продолжения, способу Стивенса и методу с помощью формулы Шези видно, что наихудший результат дал метод экстраполяции кривых расходов с помощью формулы Шези. Расходы по этому методу отличаются практически в 2 раза.

Средняя ошибка по методу Стивенса для четырёх рек составила 1,34%, наибольшая ошибка 4,65% для реки Пьяна.

Средняя ошибка по методу тенденции составила 0,22%, наибольшая ошибка составила 1,1% для реки Вига.

## Заключение

В данном дипломном проекте были рассмотрены существующие методики экстраполяции кривых расходов воды. На примере четырёх рек России: р.Покша; р. Вига; р. Пьяна; р. Савруша были рассмотрены экстраполяция методом непосредственного продолжения (метод тенденции), экстраполяция по способу Стивенса, экстраполяция с помощью формулы Шези.

В ходе анализа полученных результатов наилучшим методом экстраполяции оказалась экстраполяция с помощью формулы Шези, которая рекомендована СНИПом. Расходы вычисленные отличаются от исходных расходов больше в 2 раза. Это может быть связано с тем, что метод работает лучше для рек со средней глубиной более 3,5-4,0 м, в дипломном проекте средние глубины не превышают 3,0 м. Данный метод требует наилучшей проверке и на данный момент не может быть рекомендован для применения.

Экстраполяция с помощью методов тенденции и Стивенса показала хороший результат. Средняя ошибка по методу тенденции составила 0,22%. Средняя ошибка по методу Стивенса составила 1,34%. Оба метода могут быть рекомендованы для применения.

Цель – сравнение и рекомендация методик экстраполяции кривых расходов воды и поставленные задачи достигнуты.

## Список используемой литературы

1. Материалы полевых измерений для р. Покша за 1962 г.
2. Материалы полевых измерений для р. Вига за 1966 г.
3. Материалы полевых измерений для р. Пьяна за 1953 г.
4. Материалы полевых измерений для р. Савруша за 1970 г.
5. Быков В. Д., Васильев А. В. Гидрометрия: Учебное пособие. – Гидрометеиздат, 1965. – с. 268-274 .
6. Восточно-Европейская равнина / А. И. Спиридонов // Брасос — Веш. — М. : Советская энциклопедия, 1971. — (Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров ; 1969—1978, т. 4).
7. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 10. Верхне-Волжский район / под ред. В. П. Шабан. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 528 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Вып. 1. Нижнее Поволжье / под ред. О. М. Зубченко. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 287 с.
9. Пособие по экстраполяции кривых расходов до наивысших уровней. Л., Гидрометеиздат, 1966. 115 с.