



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
(магистерская диссертация)

На тему Экстраполяция кривых
зависимости $Q=f(H)$

Исполнитель Алексеева Юлия Антоновна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Доцент *К.Г.М.*
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

д-р. наук. В.В.И. КГМ, доц.
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич.
(фамилия, имя, отчество)

«06» 06 2022г.

Санкт-Петербург
2022

)

На тему **Экстраполяция кривых**
зависимости $Q=f(H)$

Исполнитель Алексеева Юлия Антоновна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

(подпись)

(ученая степень, ученое звание)

(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 20__ г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Введение 2

1. Физико-географическое описание района 3

 1.1 Географическое положение 3

 1.2 Геологическое строение и рельеф 4

 1.3 Почвы и растительность 4

 1.4 Гидрография 4

1.5 Климат	5
2. Физико-географическое описание используемых рек.....	6
2.1 Описание реки Покша	6
2.2 Описание реки Вига.....	7
2.3 Описание реки Пьяна.....	9
2.4 Описание реки Савруша	10
3 Методы экстраполяции кривых зависимостей расходов воды от уровней	12
4 Программа «Profilies2010»	26
4.1 Подготовка исходных данных	28
4.2 Построение профилей морфостворов	30
5 Анализ исходных данных	33
6. Построение графиков однозначной зависимости $Q = f(H)$, $\omega = f(H)$, $V_{cp} = f(H)$ и их увязка	40
6.1 Построение кривых и их увязка для реки Покша	40
6.2 Построение кривых и их увязка для реки Вига	42
6.3 Построение кривых и их увязка для реки Пьяна	43
6.4 Построение кривых и их увязка для реки Савруша	45
7. Экстраполяция кривых	47
7.2 Экстраполяция кривой расходов воды по методу Стивенса	50
7.3 Экстраполяция кривой расходов воды с помощью формулы Шези.....	55
8. Сравнение полученных результатов.....	58
10 Заключение.....	60
Список используемой литературы.....	61

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, а расходы воды снимают с графика кривой расходов.

Принято считать кривую расходов надёжной, если она обоснована на 80% амплитуды уровней или более. При этом для остальной части амплитуды, не обоснованной измерениями расходов, должна производиться экстраполяция кривой расходов.

Для устойчивой однозначной кривой расходов методики экстраполяции достаточно разработаны. Для неоднозначных или петлеобразных кривых методики разрабатываются и возможность получить надёжные 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 экстраполяции кривых расходов воды с помощью различных методик и программы «Profiles 2010».

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 программы «Profiles 2010»;
- применение методик и сравнение полученных результатов с исходными данными.

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. Площадь Восточно-Европейской равнины составляет 2, 5 млн км².

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. На формирование рельефа Восточно-Европейской равнины сильное влияние оказало оледенение. Большинство крупных возвышенностей и низменностей равнины имеют тектоническое происхождение.

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 равнины. Большое количество озёр расположено на северо-западе. На юго-западе практически отсутствуют озёра, так как выпадает малое количество атмосферных осадков.

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

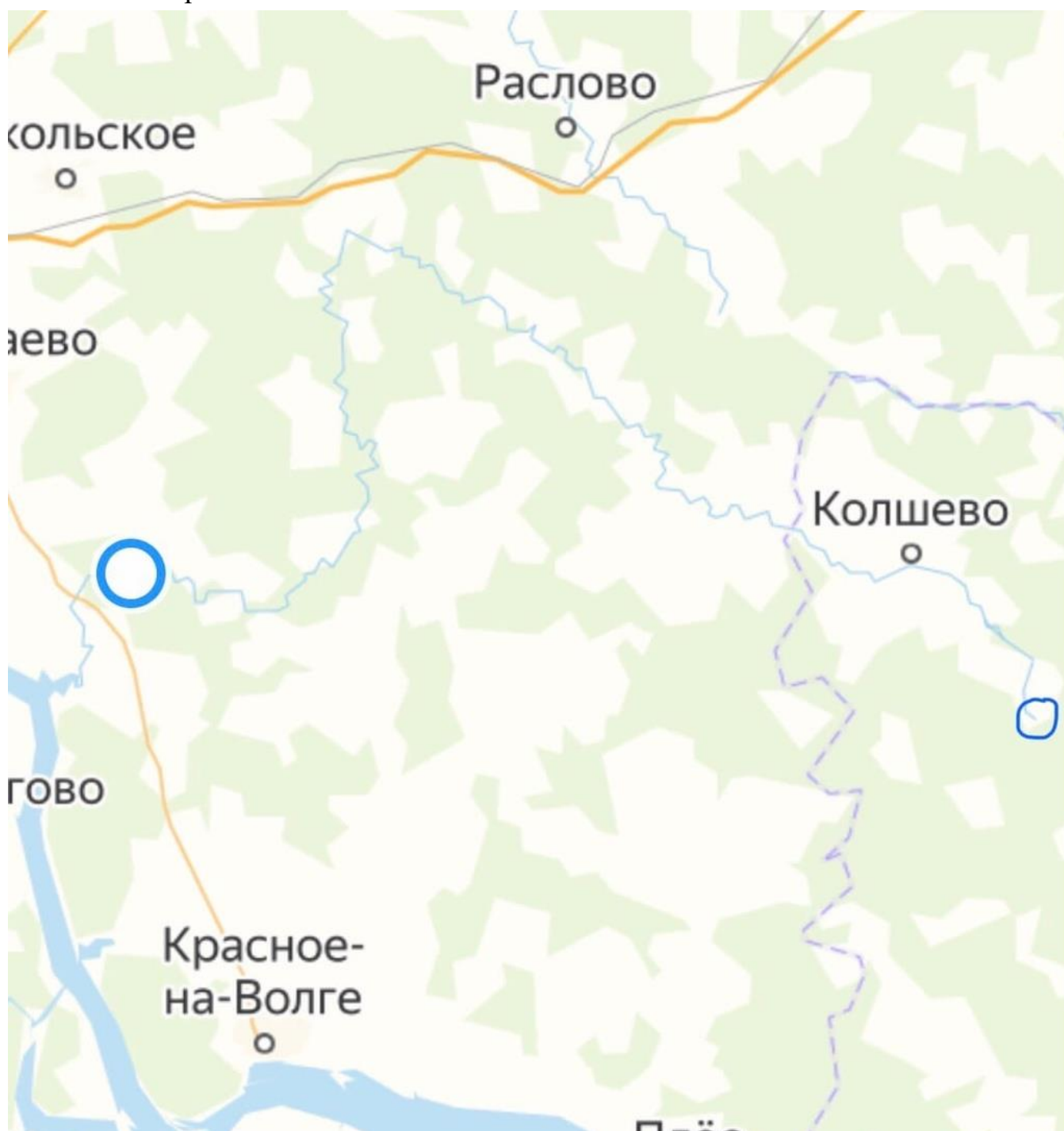


Рисунок 1 – Географическое положение р. Покша

Река протекает в Костромской и Ивановской областях. Длина реки 89 км, площадь водосборного бассейна составляет 731 км². 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

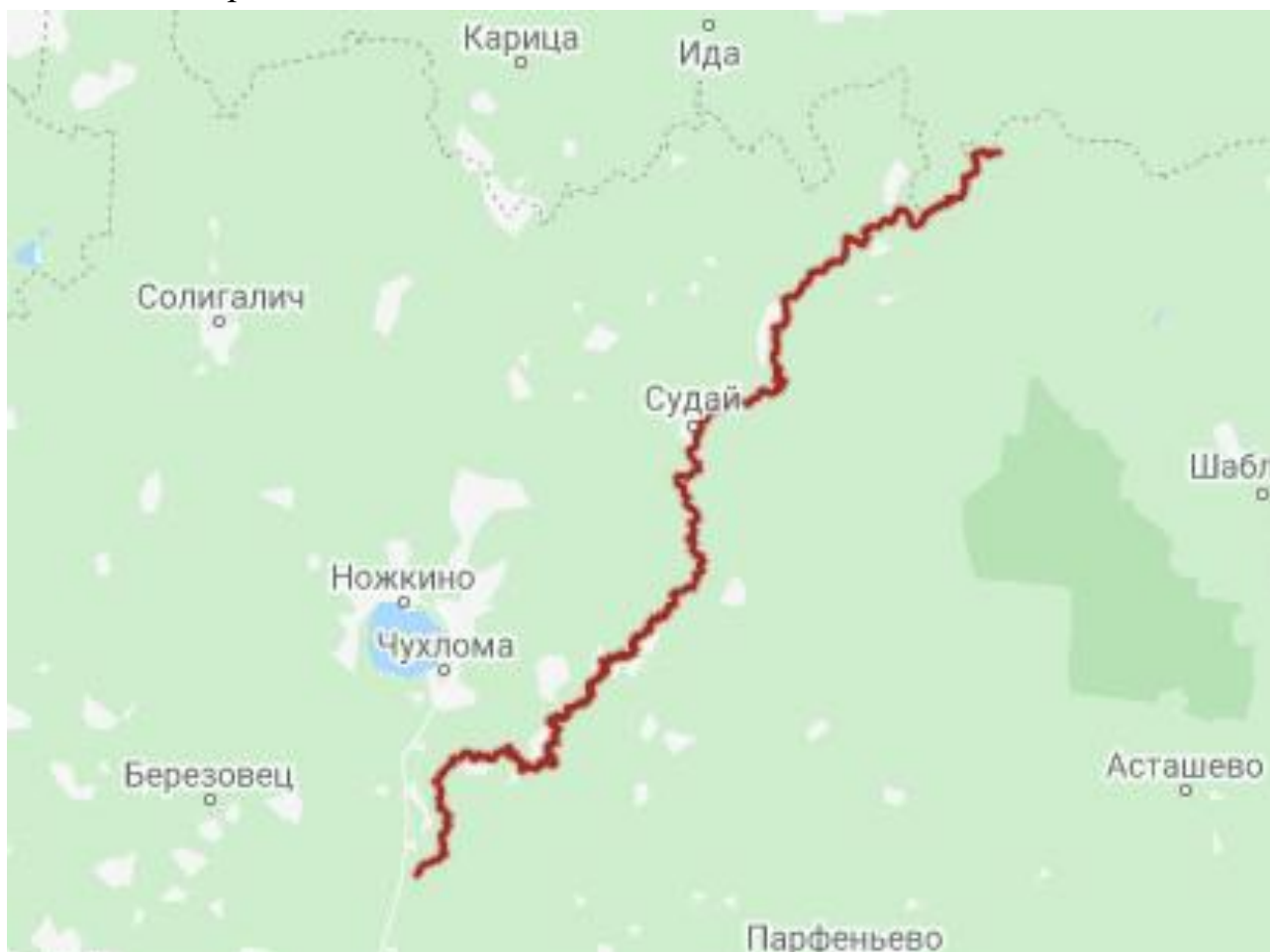


Рисунок 2 – Географическое положение р. Вига

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 км². 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, слабдеформирующееся, 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

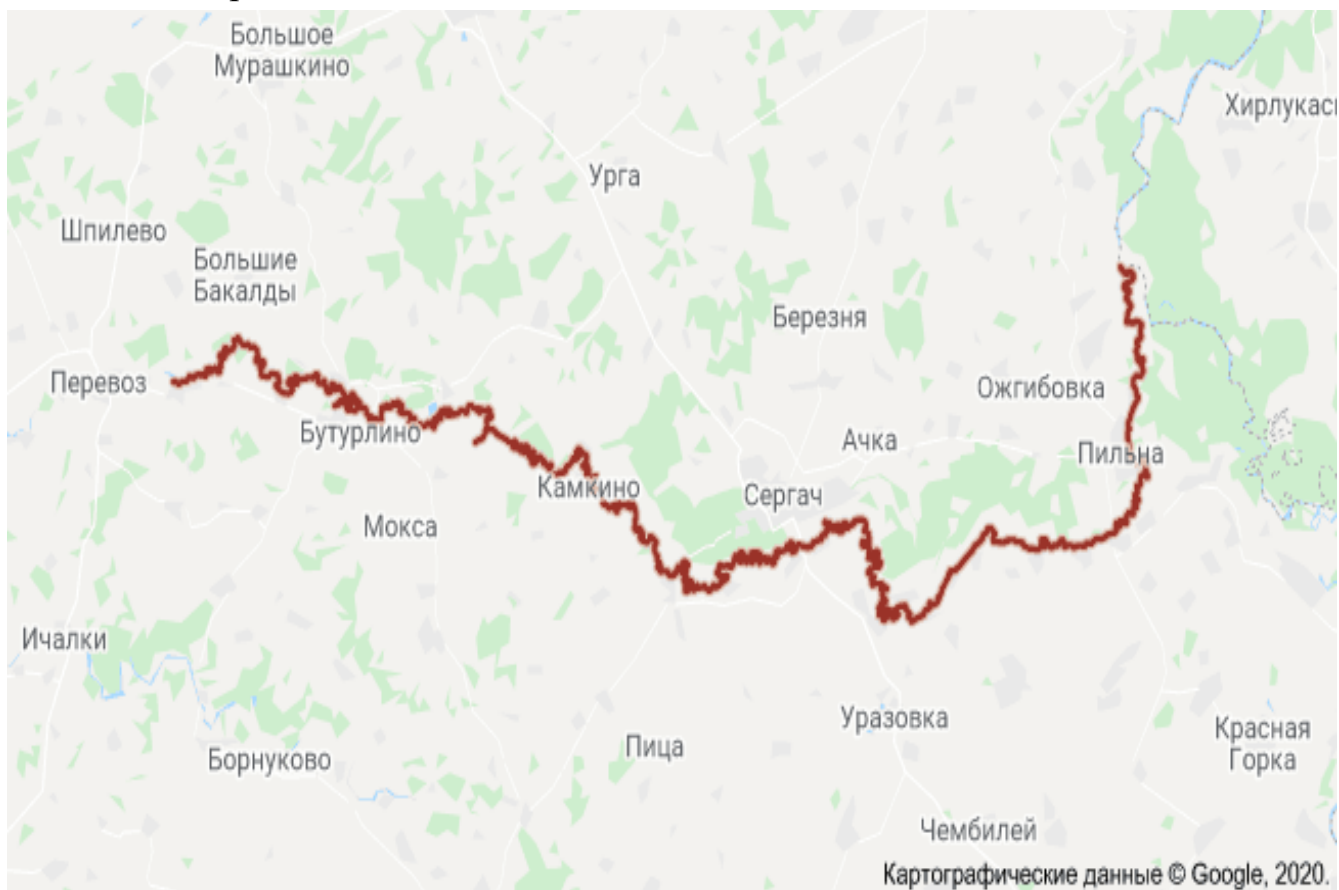


Рисунок 3 – Географическое положение р. Пьяна

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 км². 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

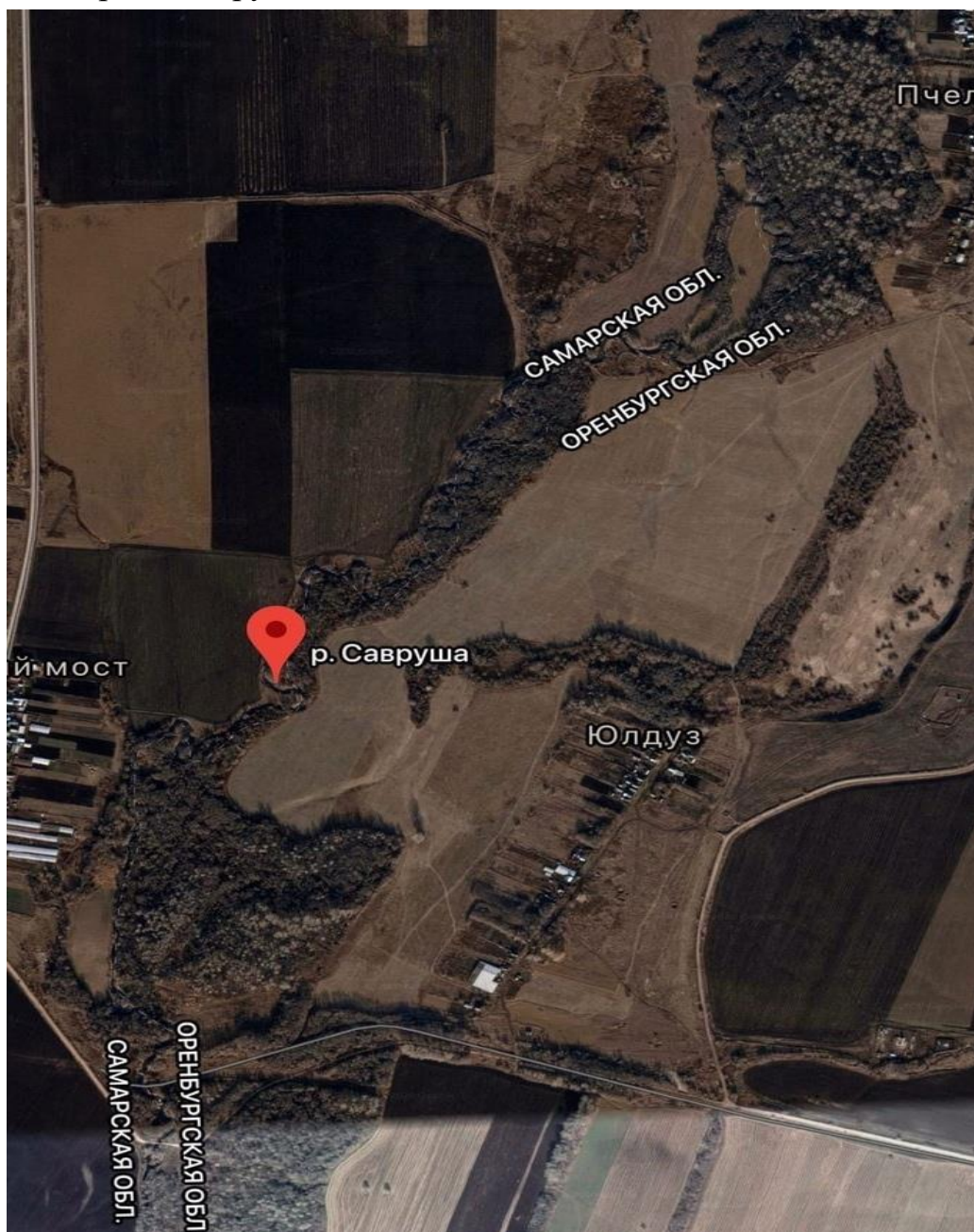


Рисунок 4 – Географическое положение р. Савруша

Река Савруша протекает на территории Самарской и Оренбургской областях. Длина реки составляет 50 км, площадь водосборного бассейна 916 км².

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

3 Методы экстраполяции кривых зависимостей расходов воды от уровней

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

3.1 Экстраполяция кривой расходов непосредственным продолжением

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

В этом случае кривая расходов, проведенная с учетом всех точек измеренных наибольших расходов воды, продолжается в том же направлении (по тенденции) на глаз пунктиром до отметки наибольшего уровня.

3.2 Экстраполяция кривой расходов по элементам расхода

Для экстраполируемого участка кривой расходов площади поперечного сечения вычисляются по профилю створа, а средние скорости течения путем продолжения на глаз (по тенденции) кривой $V = f(H)$. Расходы определяются умножением площади поперечного сечения на среднюю скорость течения. Как, правильно ограничиваются определением только наибольшего расхода.

Если створ водомерного поста, где определяются уровни воды, и гидрометрический створ, где измеряются расходы воды, не совпадают, то экстраполяция по элементам расхода не применяется. В подобных случаях лучше применять способ непосредственного продолжения кривой расходов.

3.3. Экстраполяция кривой расходов по способу Стивенса

Данный способ дает хорошие результаты для сравнительно крупных рек со средней глубиной 3,5 – 4,0 м и ровным корытообразным руслом. В подобных условиях может быть применена формула Шези $Q = C * w * \sqrt{h_{cp}} * i$, где Q – расход воды; w – площадь поперечного сечения; C – коэффициент Шези, h_{cp} – средняя глубина; i – уклон.

Величина $C\sqrt{i}$ практически не зависит от расхода, поэтому можно полагать, что расход выражается следующей зависимостью $Q = f(w * \sqrt{h_{cp}})$.

Эта зависимость графически выражается линией, близкой к прямой, а в верхней части чаще всего переходит в прямую, что представляет большое удобство для экстраполяции. Характер кривой $Q = f(w * \sqrt{h_{cp}})$ определяет возможность применения способа Стивенса, если в верхней части эта линия имеет большую кривизну или точки этой зависимости имеют большой разброс, то данный способ не применим.

Экстраполяция кривой расходов в пойменной части русла предполагает наличие не менее двух измеренных расходов воды при выходе на пойму. В этом случае кривая может быть представлена в виде двух прямых, соединенных под некоторым углом. Экстраполяции предшествуют табличные расчеты. В таблицу вписываются все измеренные расходы воды при свободном состоянии русла, а также относящиеся к ним данные: площадь поперечного сечения, ширина реки, средняя глубина и высчитываются величины h_{cp} , $w * \sqrt{h_{cp}}$.

Далее в эту же таблицу записываются 2-4 значения H до H_{max} . Для всех вписанных значений уровня по профилю створа определяются w , B , h_{cp} и вычисляются h_{cp} и $w * \sqrt{h_{cp}}$. Затем строится зависимость $Q = f(w * \sqrt{h_{cp}})$. Значения $w * \sqrt{h_{cp}}$ откладываются по оси ординат, значения Q откладываются по

оси абсцисс. Построение производится на графике кривой расходов, общей шкалой является ось абсцисс.

Масштаб шкалы для $w * \sqrt{h_{cp}}$ выбирается произвольно, но с учетом того, что наибольшее значение $w * \sqrt{h_{cp}}$ должно находиться на шкале $w * \sqrt{h_{cp}}$ ниже наибольшего уровня оси Н. По нанесенным точкам проводится кривая, которая в верхней части приближается к прямой или переходит в прямую. Эта кривая (или прямая) экстраполируется непосредственным продолжением $w * \sqrt{h_{cp}}$ до значения, соответствующего наибольшему уровню. По экстраполированному участку кривой можно определить расходы, согласно принятым значениям $w * \sqrt{h_{cp}}$ до значения, соответствующего наибольшему уровню. Полученные таким образом расходы переносятся графически вверх до пересечения с линией соответствующего уровня, где ставится точка; по полученным точкам экстраполируется кривая расходов, нередко ограничиваются только одной точкой – нанесением максимального расхода.

По способу Стивенса может быть проведена экстраполяция кривой расходов воды и при наличии паводочной петли, когда освещены измеренными расходами ветви подъема и спада паводка.

3.4 Экстраполяция кривой расходов с помощью формулы Шези

Данным методом можно пользоваться только при наличии надёжно измеренных уклонов водной поверхности. Измерение уклонов производится на уклонных постах. Можно использовать данные гидрологических постов, расположенных выше и ниже по течению на сравнительно небольшом расстоянии, по которым можно определить уклон путем деления разности отметок уровней на расстояние между постами. Способ даёт достаточно хорошие результаты на реках со средней глубиной более 3,5-4,0 м и с 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.

3.5 Экстраполяция по аналитическому уравнению

Н. А. Гириллович считает, что для экстраполяции кривых расходов могут быть использованы аналитические уравнения, получаемые графоаналитическими методами. Наилучшим способом получения аналитического уравнения Гириллович считает метод спрямления кривой расходов в логарифмических координатах. Путем такой обработки можно получить уравнение $Q = a(b + H)^n$, где a , b , n – параметры, определяемые расчетным путем по опытным точкам. Это уравнение может быть использовано для экстраполяции кривых расходов до наивысших уровней.

3.6 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 гидрометрического створа от ВИГ (высшего исторического горизонта) вверх или от произвольной линии выше ВИГ, принимаемой в качестве оси абсцисс, наносят в каком-либо масштабе кривые средних скоростей течения при всех уровнях, для которых производились измерения расходов.

При корытообразном русле и слабопересеченной пойме эти кривые должны быть подобными. Поэтому если подобие кривых по какой-либо причине нарушается, то резко выделяющиеся точки средних скоростей проверяются по полевым записям. Если же обнаруживается, что в обработке материалов ошибки нет, то точки кривой все же исправляются. Как неправильно измеренные и кривые проводятся подобными.

После обработки графика по вертикалям строят кривые средних скоростей по всем намеренным и исправленным по кривым графика точкам; для каждой кривой устанавливается свой нуль отсчёта.

Затем кривые средних скоростей по вертикалям экстраполируются до наивысшего расчетного уровня. После этого значения скоростей при этом уровне снимают с графика и откладывают на вертикалях графика, а затем по полученным точкам строят эпюру средних скоростей, общую для всего сечения реки. Для лучшей увязки этой эпюры с наблюдаемыми кривыми следует определить еще хотя бы одну кривую средних скоростей при уровне, занимающем среднее положение между расчётным наивысшим уровнем и максимальным горизонтом, при котором производилось измерение расхода; это особенно необходимо для экстраполяции кривых расходов на пойме, где количество точек измерения скоростей обычно недостаточно.

После построения эпюры средних скоростей при расчётном наивысшем уровне строят обычным путем кривую элементарных расходов, а после её планиметрирования вычисляют расходы воды.

Этот метод дает возможность получить скорости на вертикалях, где не было произведено измерений скоростей течения по аналогии со скоростями, взятыми с ближайшей кривой, если по плану местности видно, что такую аналогию можно допустить.

Недостатком изложенного метода является то, что для его применения необходимы данные измерения скоростей на вертикалях.

3.7 Метод Б.В. Полякова

Если для расчётного свора отсутствуют гидрометрические данные, но имеется подробная съемка русла и поймы, позволяющая определить поперечное сечение, общий уклон и шероховатость русла и поймы реки, то можно получить расходы воды, воспользовавшись методом Б. В. Полякова, основанного на учете гидрометрических характеристик потока. Этот метод состоит в вычислении расходов по кривым элементарных расходных характеристик, построенным в зависимости от глубины и коэффициента шероховатости.

Расходной характеристикой называется выражение вида $q = \frac{Q}{\sqrt{i}}$, где i – продольный уклон водной поверхности.

По аналогии с расходной характеристикой Н. Н. Павловского Б. В. Поляков назвал «элементарной расходной характеристикой» расход q' на единицу ширины потока, деленной на \sqrt{i} , т.е. $q' = \frac{Q}{B\sqrt{i}}$.

Вычисление расхода воды при определенном уровне производится следующим образом. Строят поперечный профиль реки и поймы, на которой отмечают элементы, характеризующие шероховатость (лес, кустарник, луг, песчаное русло и т.п.). Затем живое сечение разбивают на вертикали. Для каждой

вертикали при заданном уровне H находят глубины воды h , а по ней и по соответствующей данной вертикали шероховатости с графика элементарных расходных характеристик снимают значения q' .

Полученные таким путем по всем вертикалям значения q' откладывают вверх от уровня воды, а по ним строят эпюру элементарных расходных характеристик.

Если расстояние между вертикалями одинаковое для всего сечения реки и если оно мало по сравнению с общей шириной потока, то суммарную расходную характеристику по всем вертикалям получаем простым суммированием значений и умножением их на одно расстояние между вертикалями.

Если же вертикали разбиты в характерных точках переломов дна и берегов, то суммарная расходная характеристика получается планиметрированием эпюры элементарных расходных характеристик.

При наличии плана поймы с отметками или горизонталями строится продольный профиль в сокращенном горизонтальном масштабе. При этом профиль будет изображаться рядом ломанных линий, через которые проводится средняя линия, принимаемая в качестве уклона. При меженных расходах этот способ неприемлем. В этом случае должны быть произведены непосредственные измерения уклона.

3.8 Экстраполяция кривых расходов для пойменных створов

Существенным дополнением в области экстраполяции кривых расходов являются рекомендации по учету влияния взаимодействия руслового и пойменного потоков. В ней обращается внимание на особенности гидравлики пойменных створов, которые сводятся к следующему.

1. Главное русло, пойменные террасы, рукава и протоки резко различаются между собой по морфометрии и характеру шероховатости, а иногда

в них могут наблюдаться различные продольные уклоны поверхности воды, сопровождающиеся появлением поперечных уклонов;

2. Кривая зависимости продольных уклонов от уровня воды около границы между нижней (русловой) и надпойменной зонами амплитуды уровня в большинстве случаев изменяет свое направление, свойственное русловой зоне; при этом наиболее распространенным случаем является переход от устойчивости уклона или слабо выраженного возрастания на верхнем участке русловой зоны амплитуды уровня к существенно выраженному возрастанию в надпойменной зоне, что связано с расширением долины или уменьшением шероховатости поверхности поймы ниже створа.

3. Между потоками в смежных отсеках имеет место взаимодействие, которое выражается в возникновении дополнительных гидравлических сопротивлений, обусловленных процессами, происходящими на границе соприкосновения потоков. Наиболее выражено такое взаимодействие на границе между главным руслом и поймой.

4. В общем случае между пойменным и русловым потоками вдоль рассматриваемого участка происходит перераспределение расхода: или отток масс воды из главного русла на пойму, или перетекание воды с поймы в главное русло.

Следствием первой из указанных особенностей является необходимость расчленения поперечного профиля на отсеки. Это вызывается прежде всего тем, что для ступенчатого поперечного профиля средняя глубина не является величиной достаточно характерной в качестве параметра формы. Возможно использование других параметров формы, которые лучше отражают особенности ступенчатого профиля, но кроме того необходимо учитывать различную шероховатость (различные значения коэффициента Шези) в разных частях русла. В связи с этим наиболее простым и ясным приемом является расчленение поперечного профиля на отсеки. Однако при этом нельзя, как это следует из сказанного выше, рассматривать смежные отсеки как независимые

друг от друга в гидравлическом отношении; необходимо учитывать взаимодействие между потоками в выделенных отсеках.

Вторая из отмеченных особенностей вызывает большие трудности при определении величины уклона в экстраполяционной зоне (если имеет место изменение тенденции кривой уклона на уровне выхода воды на пойме) и этим чрезвычайно осложняет задачу экстраполяции кривой расходов в целом. В рассматриваемых условиях, при отсутствии измерений уклонов в надпойменной зоне, применение обоснованных в гидравлическом отношении методов экстраполяции становится невозможным

Третья и четвертая из перечисленных особенностей требуют их учета в уравнении движения потока в отсеке. В этом уравнении должно быть учтено влияние взаимодействия между потоками в смежных отсеках, а кроме инерционного члена, отражающего изменение скорости вдоль потока, в правой части уравнения должен содержаться член, учитывающий изменение расхода данного отсека вдоль потока.

Практические возможности использования уравнения для экстраполяции кривых расходов определяются наличием данных наблюдений, позволяющих получить значения величин, входящих в уравнение. Д. Е. Скородумов считает, что уравнение не следует применять к пойменным отсекам, в связи с неправильной формой русла, сложным характером его изменения вдоль потока. Из-за отсутствия наблюдений за изменением расходов вдоль русла и изменением поперечных уклонов это уравнение не может применяться на практике, поэтому для учета влияния воздействия пойменного потока на поток главного русла предлагается приближенная формула, позволяющая вычислить коэффициент главного русла в надпойменной зоне амплитуды уровня.

3.9 Экстраполяция петлеобразных кривых расходов воды по методу В. Д. Быкова и А. В. Васильева

Авторы рекомендуют при экстраполяции паводочных петель предварительно провести кривую расходов установившегося движения и на ней наметить точку при наивысшем уровне, в которой производится смыкание ветвей подъема и спада паводочной петли. Предварительная экстраполяция кривой расходов установившегося движения может быть произведена по элементам расхода.

Экстраполяция кривой с паводочной петлей может быть произведена по методу Стивенса при условии наличия фактических измеренных расходов воды на подъеме и спаде паводка и прямолинейной зависимости $Q = f(w * \sqrt{h_{cp}})$. Описанные приема экстраполяции применимы при отсутствии переменного подпора и деформации русла. При наличии указанных явлений ветви паводочной петли экстраполируются приближенно продолжением их по тенденции в соответствии с направлением освещенной измеренными расходами воды части кривой $Q = f(H)$ с учетом конфигурации других петель, освещенных измеренными расходами. Описанный выше метод экстраполяции содержит в себе ряд рекомендаций, которые не подтверждаются натурными наблюдениями. Например, наблюдения показывают, что кривая $Q = f(H)$ для установившегося движения не проходит через точку максимальных уровней, она проходит гораздо ниже и для каждого водотока её положение для установившегося режима зависит от особенностей русла и участка наблюдений. Уже одно это вносит субъективизм в проведение линии установившегося движения.

3.10 Экстраполяция петлеобразных кривых по методу Д. Е. Скородумова

Скородумов Д. Е. предложил метод построения петлеобразных кривых при отсутствии измеренных расходов воды, но при наличии.

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.

3.11 Методы Г. В. Железнякова

Новый метод экстраполяции кривых.

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

3.12 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.

3.13 Метод гидравлического моделирования

Данный метод экстраполяции кривых расходов воды 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.

3.14 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 расходами в замыкающем створе бассейна, для которого ведутся гидрологические расчеты, с расходами водотока бассейна-аналога, который имеет 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.

3.15 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 экстраполяции 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.

3.16 Экстраполяция петлеобразных кривых расходов воды

Экстраполяция петлеобразных кривых расходов является очень сложной проблемой как с точки зрения математического решения, так и с точки зрения методики подготовки исходных материалов к расчетам.

К настоящему времени по Б. Д. Зайкову, все реки бывшего СССР могут быть разделены на 10 типов хода гидрографа стока. Подавляющее большинство типов имеют многопиковые гидрографы. Ход уровней в течение года тоже соответственно многопиковый. Только экстремумы уровней сдвинуты относительно экстремумов расходов на некоторую величину. Это несовпадение экстремальных значений $Q = f(H)$ в координатах Q и H .

Отсюда следует, что для экстраполяции петлеобразных кривых расходов воды требуется создание методов аналитического описания кривых $Q = f(t)$ и $H = f(t)$. В настоящее время такого метода еще нет и все исследования ограничиваются разработкой экстраполяции петлеобразных кривых расходов воды для однопикового, плавно изменяющегося гидрографа.

3.17 Методы экстраполяции петлеобразных кривых расходов воды, основанные на интегрировании уравнений Сен-Венана

Самыми общими методами, позволяющими экстраполировать петлеобразные кривые, являются методы интегрирования уравнений Сен-Венана. В СССР были наиболее распространены следующие методы: характеристик, мгновенных режимов, вариационный, метод сеток. Для использования этих методов, кроме исходных уравнений Сен-Венана, необходимо введение граничных и начальных условий. Расчеты по этим методам позволяют получить графики $Q = f(t)$ и $H = f(t)$. Набором значений Q и H для

нескольких моментов времени можно построить графики $Q = f(H)$ для различных граничных и начальных условий.

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

Такие методы можно было бы назвать методами типового гидрографа, представленного в аналитическом виде. Научные работы, в которых давались бы аналитические уравнения, полностью описывающие непрерывный ход уровней на подъеме и спаде паводка, отсутствуют. Но имеются работы, позволяющие описать ветви подъема и спада кривой $Q = f(t)$.

Следует заметить, что все предложения описания хода ветвей подъема и спада выполнены только для кривых $Q = f(t)$. Затруднений в получении таких уравнений для описания спада и подъема 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 $Q = f(H)$.

4 Программа «Profiles2010»

В работе Смирновой В.В. описана программа «Программа **Profiles2010** обеспечивает первичную обработку материалов геодезической съемки морфопрофилей русла и затопляемой части долины реки (канала, малого водотока) и выполнение гидравлических расчетов по данным одного морфоствора. Расчет кривых свободной поверхности для случаев неравномерного или неустановившегося течения данной версией программы не предусмотрен.

Программа может применяться для решения как задач инженерно-гидрологической практики, так и задач текущей работы сетевых гидрологических подразделений Росгидромета: гидравлическая экстраполяция кривых $Q(H)$ постов, определение максимальных расходов по меткам УВВ и т. п.

Программа действует со всеми применяемыми в настоящее время операционными системами Windows. Методика расчетов, выполняемых программой, полностью соответствует требованиям действующего СП 33-101-2003, но содержит и некоторые дополнительные возможности использования методов традиционной гидравлики открытых потоков.

Предварительная обработка данных морфопрофиля выполняется программой в три этапа. На первом этапе она заключается в расчете координат кривых зависимостей площади сечения ω и ширины B от уровня воды H для всего водного сечения или выделенных пользователем его отсеков: руслового и пойменных. На втором этапе производится расчет построение кривых расхода воды $Q(H)$ для всех выделенных отсеков морфопрофиля и для их суммарного расхода.

На заключительной стадии собственно гидравлических расчетов программа предоставляет возможность решения следующих задач:

- расчет шероховатости русла реки по данным измеренного расхода воды:
- расчет расхода воды Q по зафиксированным меткам УВВ;
- расчет расхода воды Q при заданном уровне H ;
- расчет уровня воды H при заданном расходе Q ;
- расчет обеспеченных уровней воды $H_p\%$ при задаваемых обеспеченных расходах $Q_p\%$.

Результаты всех выполняемых расчетов иллюстрируются графиками, любой из которых может быть сохранен пользователем в формате BMP для последующего преобразования в JPG и включения в отчетную документацию.

Программа снабжена развитым интерфейсом управления. Перед выполнением каждого последующего этапа расчетов пользователю автоматически предлагается выбор параметров выполнения расчетов, оформления графиков и таблиц записи результатов. Исключение составляют способы выполнения расчетов, редко используемые в современной практике. К ним относятся:

- использование гидравлического радиуса R вместо средней глубины отсека h_{cp} ;
- использование формул расчета коэффициента Шези: Форхгеймера, Павловского и Гангилье-Куттера, взамен обычно применяемой формулы Маннинга;
- применение различных значений уклона водной поверхности для руслового и пойменных отсеков потока.

Применение этих дополнительных возможностей программы обеспечивается своевременным обращением к опции главного меню **«Параметры расчетов по Шези»**.

При разработке программы мы стремились исключить возможности ошибочного применения средств управления. Однако не исключено, что задача

эта до конца не решена. При появлении на экране монитора поверх основного окна панелей, снабженных своими средствами управления, настоятельно не рекомендуется использование иных средств, находящихся вне этих панелей. Исключение составляет панель, расположенная в правой части окна программы и содержащая таблицу данных съемки морфопрофиля»

4.1 Подготовка исходных данных

«Требования к подготовке данных для применения данной программы предельно просты и не могут вызывать у пользователя серьезных затруднений. Программа обращается к чтению только текстовых файлов, записанных в директории «Данные», имена которых, должны иметь обязательное расширение «**txt**». Во всех случаях эти файлы должны содержать 5 колонок числовых данных, разделенных знаком табуляции. Никакой иной разделитель полей строки текстового файла **не допустим**. Это требование автоматически достигается при выполнении предварительной записи данных с помощью любой версии Excel, с последующим их сохранением записи «как текстового файла с разделителем – знаком табуляции». При любой попытке сохранить данные таблицы Excel в виде текстового файла программа Excel предлагает применить в качестве разделителя полей именно знак табуляции. Файл может содержать данные съемки одного или множества профилей одной реки (одного водотока) или разных.

Первая строка файла данных является заголовком таблицы данных, и служит единственно пояснением самому пользователю. Программа не распознает ее содержания, и любые отклонения в форме ее заполнения не могут быть критическими для действий программы. Ниже приводится предлагаемый пример подготовки заглавной строки:

№п/п L, км В, м Н, м урез

Здесь №п/п обозначает числовой номер морфопрофиля, L, км – может соответствовать расстоянию от устья реки, расстоянию от некоторого

расчетного створа (гидротехнического сооружения), расстоянию от створа поста или расстоянию по длине трассы линейного сооружения. Поля строки разделены знаком табуляции. Значения №п/п и L проставляются только в первой строке данных каждого профиля.

Значения В, м и Н, м являются собственно данными съемки профиля. Расстояние от постоянного начала В может задаваться как в метрах, так и в км, что бывает удобно при съемке долин крупных рек и при использовании для разрисовки профиля данных крупномасштабных геодезических карт. Отметки профиля Н, м могут задаваться только в метрах. Однако возможно применение значений Н в различных системах высотных отметок: от условных, до WGS 84.

В последней пятой колонке таблицы проставляются условные цифровые коды данных, выделяющие особое значение некоторых точек морфопрофиля. Наблюденный урез воды в русле обозначается цифрой «1». Точки морфопрофиля, которые пользователь принимает за границы руслового и пойменных отсеков потока, должны быть обозначены кодовой цифрой «2». В пятой колонке всех других строк таблицы может быть проставлена цифра «0» или это поле оставляется пустым. При отсутствии затопляемой поймы и в случае двусторонней поймы применение кодового числа «1» не оказывает существенного влияния на работу программы. Однако оно приобретает решающее значение в случае односторонней поймы. В этом случае только оно позволяет программе распознавать, какой из двух выделенных отсеков потока является русловым, а какой пойменным. Применение кода «1» при этом **обязательно**. Если при нивелировке профиля не зафиксированы урезы воды в русловом отсеке, код «1» проставляется в строке с низшей отметкой профиля русла.

Для назначения уклона водной поверхности в русле могут применяться данные нивелировки продольного профиля реки (канала, малого водотока) на участке расположения выбранного морфопрофиля. Структура файла записи данных нивелировки продольных профилей в точности повторяет описанную

выше структуру записи данных поперечных профилей, за исключением того, что код «2» в этом случае **не применяется**, а код «1» **обязательно** должен быть проставлен в строке, соответствующей положению морфопрофиля. В двух первых колонках таблицы № профиля и расстояние L, независимо от того, от какого начала оно отсчитывается, должно соответствовать данным того же морфопрофиля в файле его записи. Запись каждого конкретного продольного профиля может быть выполнена как в направлении течения водотока, так и в обратном направлении. Расстояния по длине продольного профиля должны быть записаны **в тех же единицах длины**, которые приняты в записи расстояний от постоянного начала В (м или км) данного поперечного профиля.

Пользователь присваивает файлам данных произвольные названия, позволяющие ему легко ориентироваться, к какому объекту эти данные относятся. Обязательным является только расширение имени «**txt**» текстового файла.

Поставляемый пакет программы содержит в директории «Данные» два файла, являющихся примером подготовки данных съемки поперечных и продольных профилей в соответствии с требованиями программы.» - из работы Смирновой В.В.

4.2 Построение профилей морфостворов

«Действие программы начинается с вызова файла записи данных съемки одного или нескольких морфопрофилей. При обращении к заданию основного меню окна программы «**Файл**» возникает стандартное Windows окно вызова файла для чтения. По умолчанию оно обращено к директории «Данные», расположенной в той же директории, что и сама программа. Пользователь может выбрать для чтения любой находящийся в ней текстовый файл. Если в записи данных не допущено формальных критических ошибок, программа строит график первого, записанного в файле, морфопрофиля. Если указанный файл

содержит данные съемки нескольких морфопрофилей, пользователь имеет возможность вызвать следующий (или предыдущий) морфопрофиль по порядку их расположения в записи файла. Для этого служат клавиши «Следующий» и «Предыдущий», расположенные в нижней части окна программы. Перед обращением к этим клавишам рекомендуется предварительно закрыть панели, вызываемые другими опциями основного меню программы.

Собственно построению графика каждого морфопрофиля предшествует запрос по нескольким параметрам исходных данных и управляющим ключам, организованный на возникающей специальной панели.

Панель содержит три группы радиальных кнопок. С помощью первой из них пользователь указывает, в каких единицах длины измерены записанные в файле расстояния от постоянного начала морфопрофиля: метрах или километрах. По умолчанию принимается, что эти расстояния измерены в метрах. Понятно, что ошибка в указании этого параметра не допустима. С помощью следующей группы радиальных кнопок следует указать систему отсчета отметок профиля. Ее возможные варианты видны из рисунка. Указанное пользователем обозначение системы отметок отображается на всех графиках, строящихся программой при обозначении оси уровней. По умолчанию установлена система отметок БС. Третья группа кнопок позволяет указать на каком берегу расположено постоянное начало данного морфопрофиля (по умолчанию на левом). В целях правильного оформления отчетной документации не следует пренебрегать и этой дополнительной информацией т. к. в случае двусторонней поймы кривые площадей сечения $\omega(H)$ и кривые расходов $Q(H)$ пойменных отсеков профиля на графиках (а также соответствующие колонки выводных таблиц) будут подписаны с учетом этого параметра.

Пользователь может также отменить отображение № морфопрофиля и его положения L на создаваемом графике, а также отображение точек съемки кружками.

После нажатия клавиши «Принять» программа производит построение графика данного морфопрофиля.

Независимо от того, какое значение расстояние от постоянного начала в файле данных присвоено первой точке профиля, на графике и при всех последующих расчетах оно принимается равным «0». Соответственно производится перерасчет значений B всех других точек профиля.

Если кодовыми числами «1» в файле данных обозначены урезы воды, зафиксированные при съемке профиля, между этими точками проводится синяя линия водной поверхности с треугольным знаком посередине (как это отображено на рисунке). Справа от графического окна программы расположена панель, содержащая таблицу данных построенного морфопрофиля со значениями расстояния от постоянного начала, приведенными к «0» для его первой точки.

Имеющиеся на приведенном рисунке флаги, обозначающие границы руслового и пойменных отсеков створа, изначально на графике не отображаются. Они появляются при нажатии на клавишу «**Границы поймы**» на правой панели окна программы.» - из работы Смирновой В.В.

5 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 м³/с. Минимальный уровень воды был 5 мая и составил 90 см. Минимальный расход 5 мая и был равен 1,96 м³/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 м³/с, а минимальный 13 марта – 6,31 м³/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 м³/с, а минимальный 27 мая – 19,5 м³/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 м³/с, а минимальный 31 мая – 3,04 м³/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 5.1 – Исходные данные р. Покша – д.Рыжково 1962 г.

NN расхода	Дата измерения	Состояние русла	№ створа	Уровень воды над 0 графика, см	Q, м ³ /с	ω, м ²	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 5.2 – Исходные данные р. Вига – с. Шартаново 1966 г.

NN расхода	Дата измерения	№ створа	Уровень воды над 0 графика, см	Q, м ³ /с	ω, м ²	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
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 5.3 – Исходные данные р. Пьяна – Камкино 1953 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
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 5.4 – Исходные данные р. Савруша – п. Заря 1970 г.

NN расход а	Дата измерени я	№ створ а	Уровен ь воды над 0 графика , см	Q, м³/с	ω,м2	Скорость течения,м/с		Ширин а реки, м	Глубина, м		Уклон водн.пов -ти
						Средня я	Наибольша я		Средня я	Наибольша я	
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	-	-

Продолжение таблицы 5.4.

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	-	-

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

6.1 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 6.1. Значения δ не превышают 1%, можно считать, что кривые увязаны.

Таблица 6.1 – Увязка кривых расхода р. Покша – д.Рыжково, 1962 г.

H, см	W _{кр}	V _{кр}	Q _{выч}	Q _{кр}	ΔQ	δ
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 6.2

Таблица 6.2 – 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 надёжным.

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

6.2 Построение кривых и их увязка для реки Вига

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 значениям скоростей и площадей живого сечения реки. Расчеты представлены в таблице 6.3. Значения δ не превышают 1%, можно считать, что кривые увязаны.

Таблица 6.3 – Увязка кривых расхода р. Вига – с.Шартаново, 1966 г.

H, см	W кр	V кр	Q выч	Q кр	ΔQ	δ
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 6.4

Таблица 6.4 – Подсчёт вероятной ошибки погрешности построения кривой р. Вига – с. Шартаново, 1966 г.

Измеренные		Q кр, м3/с	ΔQ м3/с	δ	δ^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

Продолжение таблицы 6.4.

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 надёжным.

6.3 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 6.5. Значения δ не превышают 1%, можно считать, что кривые увязаны.

Таблица 6.5 – Увязка кривых расхода р. Пьяна – Камкино, 1953 г

H, см	W кр	V кр	Q выч	Q кр	ΔQ	δ
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 6.6

Таблица 6.6 – Подсчёт вероятной ошибки погрешности построения кривой р. Пьяна – Камкино, 1953 г.

Измеренные		Q кр, м3/с	ΔQ м3/с	δ	δ^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 надёжным.

6.4 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 6.7. Значения δ не превышают 1%, можно считать, что кривые увязаны.

Таблица 6.7 – Увязка кривых расхода р. Савруша – п. Заря, 1970 г

H, см	W кр	V кр	Q выч	Q кр	ΔQ	δ
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 6.8

Таблица 6.8 – Подсчёт вероятной ошибки погрешности построения кривой
р. Савруша – п. Заря, 1970 г.

Измеренные		Q кр, м3/с	ΔQ м3/с	δ	δ^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
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 надёжным.

7. 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.

7.1 Экстраполяция кривой расходов непосредственным продолжением (метод тенденции)

Таблица 7.1 Экстраполяция кривой методом тенденции для реки Покша

NN расхода	H, см	Q, м ³ /с	Q кр, м ³ /с	ΔQ м ³ /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 5

Таблица 7.2 Экстраполяция кривой методом тенденции для реки Вига

NN расхода	H, см	Q, м ³ /с	Q кр, м ³ /с	ΔQ м ³ /с	δ
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 7.3 Экстраполяция кривой методом тенденции для реки Пьяна

NN расхода	H, см	Q, м ³ /с	Q кр, м ³ /с	ΔQ м ³ /с	δ
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 7.4 Экстраполяция кривой методом тенденции для реки Савруша

NN расхода	H, см	Q, м ³ /с	Q кр, м ³ /с	ΔQ м ³ /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 для р. Покша в створах 1 и 2; р. Вига в створе 1; р. Пьяна в створе 1; р. Савруша в створе 1.

7.2 Экстраполяция кривой расходов воды по методу Стивенса

Таблица 7.5 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
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 7.6 Вычисление величины $\omega * \sqrt{h_{cp}}$ для р. Ви́га

NN расхода	Q, м³/с	H, см	ω , 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 7.7 Вычисление величины $\omega * \sqrt{h_{cp}}$ для р. Пьяна

NN расхода	Q, м³/с	H, см	ω , 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
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 7.8 Вычисление величины $\omega * \sqrt{h_{cp}}$ для р. Савруша

NN расхода	Q, м³/с	H, см	ω , 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

Продолжение таблицы 7.8

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 7.9 Экстраполяция кривой по способу Стивенса для р. Покша

NN расхода	H, см	Q, м ³ /с	Q кр, м ³ /с	ΔQ м ³ /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 7.10 Экстраполяция кривой по способу Стивенса для р. Вига

NN расхода	H, см	Q, м³/с	Q кр, м³/с	ΔQ м³/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			
10	493	182	180	2.0	1.099

Экстраполяция представлена в приложении 2

Таблица 7.11 Экстраполяция кривой по способу Стивенса для р. Пьяна

NN расхода	H, см	Q, м³/с	Q кр, м³/с	ΔQ м³/с	δ
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 7.12 Экстраполяция кривой по способу Стивенса для р. Савруша

NN расхода	H, см	Q, м ³ /с	Q кр, м ³ /с	ΔQ м ³ /с	δ
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			
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

7.3 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 7.13 Вспомогательная таблица для построения кривой $C=f(H)$ для р. Покша

NN расхода	H, см	ω , м ²	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
15	90	7.83	9.5	0.82		0.22	

Таблица 7.14 Экстраполяция с помощью формулы Шези для р. Покша

NN расхода	H, см	ω , м ²	h_{cp}	i	C	Q выч, м ³ /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

Продолжение таблицы 7.14

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

NN расхода	H, см	ω , м ²	B, м	h _{ср}	i	V _{ср} , 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
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 7.16 Экстраполяция с помощью формулы Шези для р. Вига

NN расхода	H, см	ω , м ²	h_{cp}	i	C	Q выч, м ³ /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

8. Сравнение полученных результатов

Таблица 8.1 Погрешности методов экстраполяции

р. Покша							
		Метод тенденции		Метод Стивенса		По формуле Шези	
NN	Q, м ³ /с	Q выч, м ³ /с	δ	Q выч, м ³ /с	δ	Q выч, м ³ /с	δ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	105	105	0.00	105	0.00	246	134
р. Вига							
		Метод тенденции		Метод Стивенса		По формуле Шези	
NN	Q, м ³ /с	Q выч, м ³ /с	δ	Q выч, м ³ /с	δ	Q выч, м ³ /с	δ
1	2	3	4	5	6	7	8
10	182	180	1.10	180	1.1	340	86.7
р. Савруша							
		Метод тенденции		Метод Стивенса			
NN	Q, м ³ /с	Q выч, м ³ /с	δ	Q выч, м ³ /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 тенденции		Метод Стивенса			
NN	Q, м ³ /с	Q выч, м ³ /с	δ	Q выч, м ³ /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 наихудшим 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 дальнейшей проверки и на данный момент не может быть рекомендован для р. Покша в створе 1 и р. Вига в створе 1.

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. Таким образом оба метода могут быть рекомендованы для применения следующим рекам: р. Покша в створе 1 и 2; р. Вига в створе 1; р. Пьяна в створе и р. Савруша в створе 1.

Цель – экстраполяция 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.
10. А. В. Кокорев Программа выполнения расчетов по данным промеров и геодезической съемки морфопрофилей русла реки и затопляемой части ручно́й долины Profiles2010 Руководство пользователя. Рукопись