



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

Кафедра Гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Построение кривых $Q=f(H)$**
с учетом перемещения русловых
мезоформ

Исполнитель Гаврилова Дарья Михайловна

Руководитель Давыденко Екатерина Владимировна

Консультант к.г.н., доцент Исаев Дмитрий Игоревич

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

к.г.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«10» июня 2019 г.

Санкт-Петербург
2019



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

Кафедра Гидрометрии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Построение кривых $Q=f(H)$**
с учетом перемещения русловых
мезоформ

Исполнитель Гаврилова Дарья Михайловна

Руководитель Давыденко Екатерина Владимировна

Консультант к.г.н., доцент Исаев Дмитрий Игоревич

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

(подпись)

К.Г.Н., ДОЦЕНТ

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич

(фамилия, имя, отчество)

« » 20 г.

Санкт–Петербург
2019

Содержание

Введение	3
1. Методики построения кривых расходов воды $Q=f(H)$	5
1.1 Методики, используемые Росгидрометом	5
1.2 Построение кривых $Q=f(H)$ при проведении гидрометеорологических изысканий	12
2. Построение кривых расходов воды $Q=f(H)$ на примере реки Северная Двина	15
2.1 Физико-географическое описание и климатическая характеристика района	15
2.1.1 Местоположение района	15
2.1.2 Рельеф	15
2.1.3 Почвы и растительный покров	16
2.1.4 Климат	17
2.1.5 Водный режим	18
2.1.6 Гидрологический режим	19
2.1.7 Описание гидрологического поста	22
2.2 Исходные данные и анализ	23
Заключение	41
Список использованных источников	42

Введение

В стандартную программу производства гидрометеорологических работ, как правило, входит построение кривых $Q=f(H)$, для чего используется формула Шези. Для этого русло разбивается на отсеки с одинаковой шероховатостью русла и поймы и одинаковым уклоном, и для каждого отсека строится кривая $Q=f(H)$. Затем эти кривые суммируются, и строится общая кривая.

Коэффициент шероховатости n , как правило, назначается в соответствии с таблицами, а уклон I берется по данным изысканий или как средний уклон лога. В большинстве случаев коэффициент шероховатости и уклон остаются неизменными во всем диапазоне изменений уровня воды H .

В практике гидрометеорологической службы кривые расходов строятся по измеренным величинам: ежедневному уровню воды H и ежедневному расходу воды Q . При этом характер изменения кривой $Q=f(H)$ различен, особенно ее верхней части: при параллельности динамических осей потока уклон не изменяется, при схождении кривая зависимости $I=f(H)$ отклоняется влево, при пересечении данная зависимость имеет криволинейный характер и наклонена преимущественно влево.

На самом деле уклон меняется не только с увеличением уровня воды, но и во времени при прохождении по руслу мезоформ. В настоящее время в гидрометрии хорошо известны методы построения кривых $Q=f(H)$ при деформируемом русле, например, метод Стаута. Но, возвращаясь к гидрометеорологическим изысканиям, организовать наблюдения длиной в несколько десятилетий нет возможности, к тому же формула Шези не учитывает деформации.

Поэтому для решения данной проблемы предлагается при наличии мезоформ в русле строить не одну кривую $Q=f(H)$, а серию кривых. Используя для этого поперечные профили, которые получают в ходе

изысканий, и используются так же для построения предельного профиля размыва.

Целью данной выпускной квалификационной работы является построение графических зависимостей расходов от уровней на одном и том же участке реки в условиях перемещения мезоформ по ее руслу.

Задачи данной работы следующие:

- 1) Построить кривые $Q=f(H)$;
- 2) Построить поперечные профили заданных створов;
- 3) Произвести анализ полученных данных и определить наличие мезоформ в русле.

Объектом исследования был выбран участок 644–636 км реки Северная Двина. В качестве исходных материалов использовались лоцманские карты реки Северная Двина за 1977 и 1985 года. [7] [8]

1. Методики построения кривых расходов воды $Q=f(H)$

1.1 Методики, используемые Росгидрометом

Между уровнем в реке и расходом протекающей в ней воды существует определенная гидравлическая зависимость. Эта зависимость строится для того, чтобы определить сток воды в реке, и выражается графически кривой расходов.

В гидрометрии принято определять зависимость $Q=f(H)$, то есть зависимость расходов от уровней, хоть и физически независимой переменной является расход воды, а уровень выступает функцией. Так принято потому, что измерения расходов трудоемки и поэтому делаются значительно реже, тогда как измерения уровней на гидрологических постах производятся ежедневно в стандартные сроки.

Зависимость расходов от уровней может выражаться графически в виде одной плавной кривой. В таком случае определенному значению уровня соответствует одно определенное значение расхода воды. Такая зависимость является однозначной.

Однозначная связь нередко охватывает только ограниченный период времени, и для некоторых рек она может сохраняться в течение года или нескольких лет. Однозначная кривая всегда направлена выпуклостью вверх.

Во многих случаях зависимость $Q=f(H)$ приобретает достаточно сложный вид, что объясняется влиянием различных причин, которые искажают эту зависимость. К их числу можно отнести: неустановившееся движение воды, зарастание русла водной растительностью, ледяные образования в русле, неустойчивость русла (аккумуляции наносов, размывы), переменный подпор.

В таких случаях однозначная зависимость нарушается – одному и тому же значению уровня соответствуют разные расходы воды. Такая связь называется неоднозначной. При этом определение зависимости $Q=f(H)$ может быть затруднительным. [2]

В данной дипломной работе будут рассматриваться кривые расходов при неустойчивом русле.

Неустойчивость русла свойственны главным образом рекам горных и предгорных районов, режим которых характеризуется частными паводками. Различают периодические и направленные деформации.

Периодические деформации связаны с прохождением наиболее высоких паводков, в промежутках между которыми русло сравнительно стабильно. Направленные деформации приурочены к годовым изменениям водности или достаточно длительным фазам водного режима реки, при которых измеренные расходы воды образуют обособленные ветви связи $Q=f(H)$. [6]

Расходы, измеренные на реках с неустойчивым руслом, могут содержать погрешности, которые в свою очередь могут быть вызваны повышенной турбулентностью потока, большими скоростями течения и резкими изменениями их по ширине реки, деформацией русла за время измерения расхода и т.д. При анализе материалов для подсчета стока все эти факторы необходимо учитывать. Так же необходимо произвести анализ зависимости $\omega=f(H)$ и совмещенных поперечных профилей русла.

Для вычисления стока рек с неустойчивым руслом можно применить следующие способы:

- 1) построение системы временных кривых;
- 2) приведение кривой расходов к основному сечению;
- 3) способ Стаута;
- 4) интерполяция между измеренными расходами.

Построение временных кривых расходов производят в том случае, если присутствуют периодические изменения русла. Определенному состоянию

русла соответствует своя кривая. Система временных кривых строится в следующем порядке:

- выделяются хронологически связанные группы точек измеренных расходов воды, каждую из которых можно отнести к одной временной кривой;
- устанавливаются сроки перехода с одной кривой на другую и сроки действия кривых;
- проводятся кривые.

Схема построения временных кривых представлена на рисунке 1. Кривая 1 соответствует устойчивому состоянию русла до паводка. В период подъема паводка происходил размыв русла, и по измеренным в этот период расходам проведена кривая 2. При высоких уровнях расходы не измерялись. Кривая 3 проведена по измеренным расходам на спаде паводка. Кривые 2 и 3 соединены переходной кривой (пунктирная линия на графике) – в этот период происходил дальнейший размыв русла. После спада паводка зависимость расходов от уровней снова принимает вид однозначной кривой 4, но на графике она располагается ниже кривой 1 из-за размыва русла.

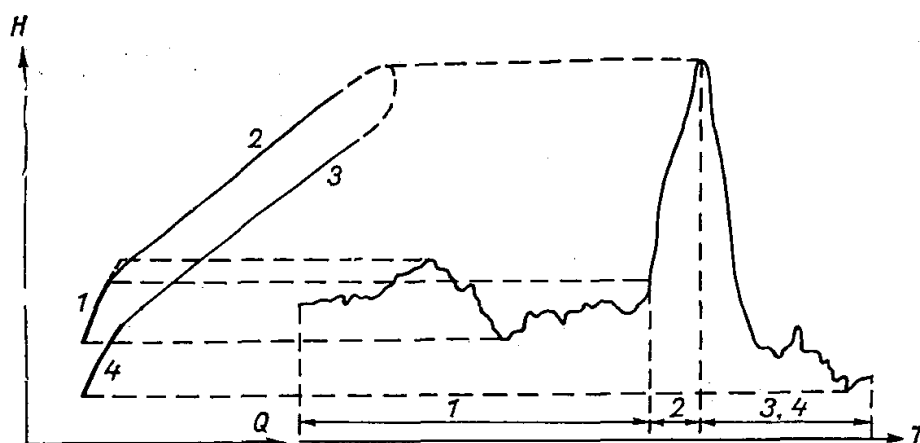


Рисунок 1 – Схема построения временных кривых расходов при неустойчивом русле

Приведение кривой расходов к основному сечению применяется в случае, когда деформации русла носят характер только вертикального смещения без изменения уклона водной поверхности. Для применения этого

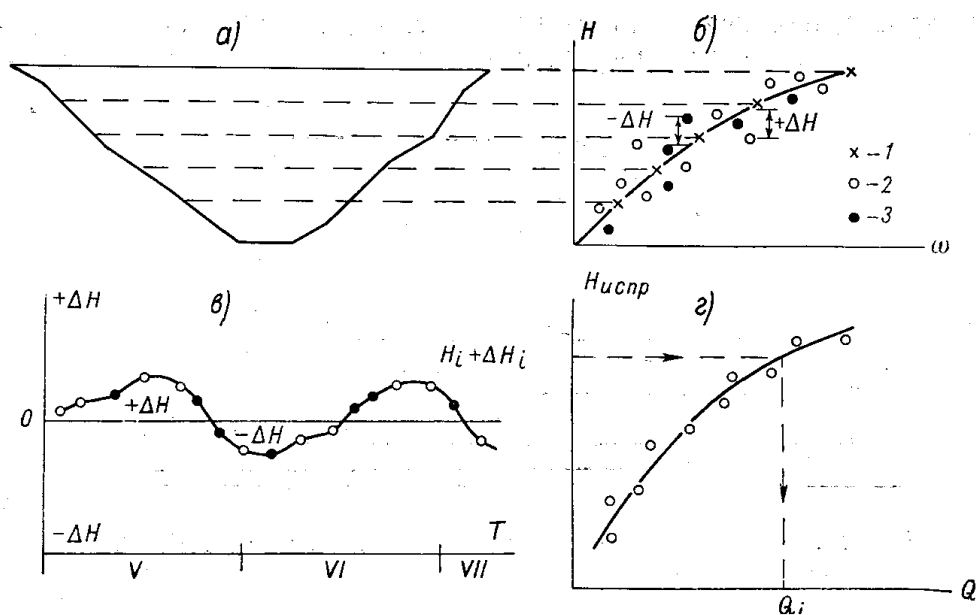
способа желательно иметь данные промеров в периоды между измерениями расходов. Профили створа, полученные по промерам и при измерении расходов воды, сопоставляют между собой и из них на глаз выбирают средний по глубинам. Его и принимают за основной и называют основным сечением. При выборе основного сечения необходимо учесть, чтобы измеренные уровни воды не оказались ниже самой низкой точки дна на профиле.

Для основного сечения строят кривую площадей $\omega=f(H)$ (рисунок 2). На этот же график наносят токи площадей по данным измерений расходов воды и промеров глубин, которые проводились между измерениями расходов. По проведенной кривой и нанесенным точкам определяют значения поправок ΔH для каждой из нанесенных точек. После чего строят хронологический график этих поправок, который называется «кривая поправок уровня на деформацию водного сечения». Поправки на графике откладываются в сторону, противоположную отклонению соответствующих точек кривой площадей основного сечения. Затем для каждого измеренного расхода по кривой поправок определяют исправленный уровень

$$H_{\text{испр}} = H \pm \Delta H.$$

Окончательную кривую расходов воды строят по измеренным расходам и исправленным уровням – $Q=f(H_{\text{испр}})$. Называют такую кривую приведенной кривой расходов.

Ежедневные расходы определяются по исправленным уровням и приведенной кривой расходов.



a — профиль основного сечения; *б* — кривая площадей основного сечения; *1* — площади, вычисленные по профилю основного сечения; *2* — площади, определенные при измерениях расходов воды; *3* — площади, полученные по промерам; *в* — кривая поправок; *г* — кривая расходов с исправленными уровнями (приведенная кривая расходов).

Рисунок 2 – Схема приведения кривой расходов к основному сечению

Способ Стаута применяется при деформациях русла, которые связаны с частым чередованием паводков и происходят непрерывно.

Для вычисления ежедневных расходов производят следующие построения (рисунок 3):

- на график в координатной системе (Q , H) наносятся точки измеренных расходов воды (рисунок 3а);

- посередине нанесенного поля точек проводится стандартная кривая, направление которой определяется путем построения двух-трех временных хронологических кривых $Q=f(H)$;

- определяются отклонения точек измеренных расходов от стандартной кривой по ординате $\pm\Delta H$ – поправки Стаута, при этом отклонения вверх считаются отрицательными, а вниз – положительными;

- строится хронологический график поправок (рисунок 3б).

Ежедневные расходы определяются по стандартной кривой и по среднему суточному уровню H , исправленному на величину поправки Стаута ΔH для данного числа по хронологическому графику.

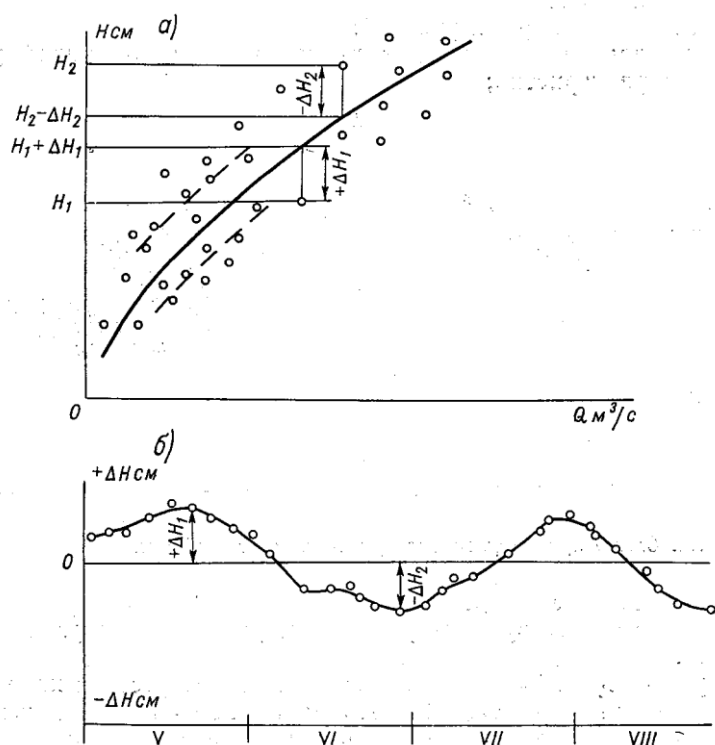


Рисунок 3 – Схема к построению стандартной кривой (а) и графика поправок Стаута (б)

Интерполяция между измеренными расходами применяется при достаточной частоте измерений расходов, которая позволяет осветить характерные переломы на графике, и при непрерывной и интенсивной деформации русла. [2]

Каждому типу руслового процесса присуще свое характерное сочетание форм транспорта наносов различных структурных уровней, значит, следует ожидать и характерных для каждого типа руслового процесса особенностей в сезонных изменениях кривых $Q=f(H)$.

Для того чтобы проверить этот вывод, сотрудники ГГИ Католиков В. М. и Католикова Н. И. проанализировали изменения кривых связи расходов и уровней воды на реках с незавершенным меандрированием, с побочнево-

осередковым типом руслового процесса и со слабоизвилистым орографическим руслом.

Было выявлено принципиальное различие динамики кривых $Q=f(H)$.

При незавершенном меандрировании при прохождении паводков в пределах пойменных бровок или чуть выше происходят просадки уровней (просадки кривой связи), а при прохождении паводков обеспеченность 10-20% (выше уровня выхода воды на пойму) – подъем кривых связи расходов и уровней воды. Это свидетельствует о том, что при прохождении паводков в пределах пойменных бровок происходит срабатывание внутрирусловых аккумулятивных форм, т. е. пляжей и кос, а при прохождении паводков, затапливающих пойменные массивы, происходит процесс формирования и роста этих форм.

При побочнево-осередковом типе руслового процесса и в орографических руслах в условиях отсутствия пойменных массивов, прохождение высоких паводков (обеспеченностью 2–5%) приводит к резким просадкам кривой связи, а прохождение более низких паводков приводит к восстановлению положения кривых $Q=f(H)$.

Динамика кривых расходов воды определяется динамикой форм транспорта донных наносов при прохождении паводков, т. е. можно сказать, что изменение положения кривой на графике будет говорить об изменении морфометрических характеристик русла – русловых деформациях. [9]

Похожие результаты были получены Железняковым Г. В., по типизации которого реки с русловыми деформациями имеют неоднозначные кривые расходов, то есть связь имеет вид $Q=f(H+dH)$. Величина dH и возникает в результате русловых деформаций. Была установлена зависимость расположения опытных точек по отношению к однозначным кривым свободного русла в зависимости от вида деформации русла (Таблица 1).

Таблица 1 – Расположение опытных точек по отношению к
однозначным кривым расходов

Вид деформации	Расположение опытных точек
Размыв	Отклонение вправо
Заиление	Отклонение влево
Намывы и размывы	Разброс точек

В результате анализа кривых $Q=f(H)$ было выявлено то, что подъем кривых происходит при подъеме дна русла, а при опускании – смещение их вниз.

«Если на участке реки обеспечивается состояние динамического равновесия, то кривые расходов воды будут группироваться тесным пучком. Если равновесие нарушено, то кривые расходов смещаются монотонно или в сторону увеличения пропускной способности или обмеления русла». [4]

1.2 Построение кривых $Q=f(H)$ при проведении гидрометеорологических изысканий

Необходимыми данными для построения кривой расходов при гидрометеорологических изысканиях являются:

- 1) морфоствор и предельный профиль размыва;
- 2) продольный уклон;
- 3) коэффициент шероховатости.

Поперечные профили разбиваются в ходе топографической съемки участка гидрологического поста и располагаются примерно перпендикулярно направлению речной долины. Съемка поперечного профиля производится путем нивелирования через всю долину реки. Положение и направление створа выбирают заранее и закрепляют вехами. При этом необходимо, чтобы

участок реки, где располагается створ, был прямолинейным и, если это возможно, имел ровную и неширокую пойму.

Так же при съемке профиля необходимо произвести осмотр поймы, а именно выявить и описать характер ее поверхности, для того, чтобы дать оценку шероховатости.

Створ, который был выбран выше указанным способом, называется морфоствором, так как в состав работ, кроме промерных и геодезических, входят еще и морфологические исследования.

Поперечный профиль, полученный по данным съемки, позволяет определить общую площадь живого сечения потока при уровне высоких вод.

Предельный профиль размыва (ППР) строится в следующем порядке:

- на одном чертеже совмещаются поперечные профили русла на выбранном участке реки $L_{\text{совм}}$;

- по самым низким отметкам совмещенных профилей проводится огибающая линия глубинных деформаций, которые обусловлены предполагаемым смещением плесовых лощин со створа выше по течению в заданный створ ниже по течению за многолетний период;

- строится прогнозируемый профиль суммарных, многолетних и сезонных, размывов дна.

Если на реке шириной менее 50 м проводятся изыскания сокращенным объемом, то совмещения поперечных профилей русла и построения огибающей линии глубинных деформаций не нужно. Вместо этого определяют наибольшую глубину по продольному профилю русла в пределах данной макроформы. Плановые деформации определяются совмещением планов разных лет съемки, в соответствии с пунктом 9.3 ВСН 163-83 [3].

При ленточногрядовом и побочневом типах руслового процесса поперечные профили совмещают по осевой или средней геометрической линии русла. При ограниченном меандрировании поперечники включают русло и пойму и совмещаются по средней линии пояса меандрирования.

Длина (в метрах) участка русла с ленточногрядовым, побочным или осередковым типами, в пределах которого выполняется совмещение поперечников, принимается по зависимости

$$L_{\text{совм}} = k_3 C_{\text{пр}} T_{\text{пр}},$$

где

$C_{\text{пр}}$ – прогнозируемая скорость смещения характерных точек русловых мезоформ или других фрагментов руслового рельефа (гребень переката, подвалье плеса и др.), которая определяется на основании совмещения разновременных русловых съемок или по реке-аналогу, м/год;

$T_{\text{пр}}$ – расчетный срок прогнозирования, который включает время проектирования и строительства, год;

k_3 – коэффициент запаса, который зависит от достоверности определения $C_{\text{пр}}$, для интервала совмещения более 10 лет принимается равным 1,2, а для интервала менее 10 лет, и для значений $C_{\text{пр}}$, полученных расчетным путем или по объекту-аналогу, принимается равным 2. [3]

Продольный уклон водной поверхности – это падение напора в направлении динамической оси потока, отнесенное к расстоянию между пунктами измерений высоты уровня.

Измеряется уклон геодезическими методами по разности отметок уровня на верхнем по течению уклонном посту и нижнем при известном между ними расстоянии. [6]

Коэффициент шероховатости определяется по таблице Б.12 СП 33-101-2003 [СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик].

2. Построение кривых расходов воды $Q=f(H)$ на примере реки Северная Двина

2.1 Физико-географическое описание и климатическая характеристика района

Река Северная Двина является крупной судоходной рекой севера Европейской части России. Образуется Северная Двина в результате слияния двух рек – Сухоны и Юга. Впадает в Двинскую губу Белого моря. Протяженность реки от истока до устья составляет 744 км, площадь водосборного бассейна – 357 тыс. км². Средний расход воды составляет 3530 м³/с, среднегодовой расход воды – 110 км³ воды. Самый верхний участок Северной Двины длиной 74 км от слияния рек Сухоны и Юга до впадения Вычегды носит название Малая Северная Двина.

2.1.1 Местоположение района

Бассейн реки Северная Двина относится к Северо-Западному федеральному округу. Охватывает центральную и восточную части Вологодской области, западную и центральную части Архангельской области, юго-запад Республики Коми и северную часть Кировской области.
[11]

2.1.2 Рельеф

В верхнем течении, выше устья реки Вычегды, Северная Двина протекает по широкой долине. Берега ее высокие и имеют значительную крутизну, сложены известковыми и песчаными пластами.

В среднем течении, от устья реки Вычегды до устья реки Ваги, река протекает по обширной долине. Обе береговые возвышенности долины Северной Двины тянутся на некотором расстоянии от русла реки. Правый берег при этом значительно круче левого, особенно в местах, где он подходит к самой реке в виде глинистых утесов. Местами оба берега долины отлоги и ограничивают обширные луговые пространства, местами же то правый берег крутой, а левый луговой, то наоборот.

В нижнем течении, ниже устья реки Ваги, в районе слияния с Пинегой Северная Двина протекает по холмистой и гористой местности. Ближе к городу Архангельску берега высотой до 21 метра, подходят к самому берегу. Состоят они из песчано-известковых и глинистых холмов. [12]

2.1.3 Почвы и растительный покров

На водоразделах и речных террасах преобладают почвы: подзолистые и торфяно-глеевые (центральная часть бассейна), подзолистые контактно-элювиальные (северная и восточная части бассейна), подзолистые (южная часть бассейна).

На заболоченных участках водоразделов, на третьей и второй надпойменных террасах при наличии мощных песчаных горизонтов формируются глеевые почвы, которые препятствуют глубокому проникновению дождевых вод в грунт. На низких террасах и пойме развиты дерново-слоистые и глееватые почвы.

Растительность на подзолистых почвах произрастает таежная. В ее составе преобладает ель, которая является фоновой растительностью на водоразделах северной части бассейна. В средней части и на крайнем юге бассейна, охватывающих верхнее и среднее течение Сухоны и верхнее течение Юга, широко распространена береза. На прибровочных частях террас, в долинах крупных рек, на эоловых дюнах произрастают сосновые

леса. Болота на террасах травяно-гинковые, мочажинные, а верховые – сфанговые, выпуклые.

В целом территория бассейна реки Северная Двина расположена в пределах бореальных ландшафтов (северо- и южно-таежных еловых и елово-березовых лесов). На поймах ландшафт представлен лесными сообществами, в отдельных случаях на зрелых поймах преобладают луга.

Так же на территории бассейна Северной Двины можно встретить редкие и исчезающие виды растений, такие как пихта сибирская, кубышка малая, валериана блестящая, липа сердцевидная, тополь черный и др.

2.1.4 Климат

Бассейн Северной Двины находится в северной части Атлантико-Арктической климатической области умеренного пояса. Летом световой день достаточно длительный, так как в это время года поступает большое количество суммарной солнечной радиации (560–600 МДж/м² в июле). Поэтому в летние месяцы температура воздуха составляет 16-17°C. Зимой количество солнечной радиации снижается (20–40 МДж/м² в январе), и ее влияние на температуру ослабевает. Это приводит к снижению средних температур, которые опускаются до -14 – -15°C. Годовая амплитуда температур в результате составляет 30°C и соответствует континентальному климату.

Особенностью атмосферной циркуляции, которая обуславливает климат бассейна, является круглогодичное движение через его территорию циклонов центрально-, североатлантического и баренцевоморского происхождения. Центральноатлантические и североатлантического циклоны приносят с собой повышенное количество осадков, зимой вызывают оттепели, а летом – прохладную погоду. Баренцевоморские циклоны

небогаты осадками, но их холодные сектора достаточно обширны, что приводит к глубоким адвекциям холода, даже в летние месяцы.

Активная круглогодичная циклоническая деятельность влияет на высокое количество осадков, наибольшая часть которых выпадает в летне-осенний период и составляет около 50–70 мм.

Продолжительность снежного покрова в бассейне реки Северная Двина увеличивается с юго-запада на северо-восток от 150 до 200 суток. Мощность снега также возрастает с запада на восток от 100 до более 200 суток. Обычно большая мощность снега вместе с высокой дружностью снеготаяния обуславливает прохождение на реках высоких весенних половодий. [11]

2.1.5 Водный режим

Северная Двина имеет восточноевропейский тип водного режима: преимущественно снеговое питание (50–60%), мощное весеннее половодье, летне-осеннюю межень, нарушаемую паводками, устойчивую зимнюю межень. Половодье обычно начинается в середине или третьей декаде апреля, его продолжительность составляет от 75 до 80 суток. На половодье приходится 50-70% годового стока воды, на летне-осенний период – 20-30%. В зимнюю межень расход воды составляет менее 1000 м³/с, максимальный расход воды во время половодья составляет 36200 м³/с (гидрологический пост Усть-Пинега).

Так как вскрытие основных притоков разновременное на реке наблюдаются две волны половодья. Первая волна формируется в начале ледохода на реках Сухона и Юг. Она вызывает разрушение льда на самой Северной Двине. Вторая волна следует через 10-15 суток. Она связана с половодьем на реке Вычегде. При одновременном снеготаянии обе волны могут совпадать. Это приводит к заторам льда, катастрофическим подъемам уровней и затоплению населенных пунктов. Затопления регулярно формируются

в месте слияния Сухоны и Юга, а также у города Котласа, поселков Двинской Березник и Орлецы, в Холмогорском расширении, у города Архангельска. Повышение уровня воды (от 3 до 5 м), вызываемое заторами, превышает уровни, которые характерны для беззаторного прохождения волны половодья.

Среднее вскрытие реки наблюдается в середине апреля – начале мая. Начало ледостава – в октябре.

2.1.6 Гидрологический режим

Северная Двина – река со слабоустойчивым руслом, активными русловыми переформированиями. На всем протяжении русло песчаное, в сужениях встречаются гравийные участки. По берегам много гальки и валунов – продуктов размыва древнеледниковых морен.

Ширина реки в устьевой области в среднем составляет 600–800 м, но возле села Уймы достигает 2,0–2,5 км.

В верхнем течении, выше устья реки Вычегды, Северная Двина спокойна, скорость течения увеличивается только на переборах. Река имеет широкую пойму (не более 6–7 км) и протекает преимущественно вдоль правого коренного берега, который сложен песчаниками и мергелями. На этом участке русло относительно прямолинейное, шириной 400–600 м, с многочисленными перекатами и островами вдоль левого пойменного берега.

В среднем течении, после впадения Вычегды, русло Северной Двины имеет ширину до 800-1200 метров и образует множество рукавов и островов. Река ежегодно прокладывает себе новые пути протоками. Многие из них летом наполовину пересыхают и превращаются в ряд длинных заливов. Чуть ниже по течению, до устья Ваги, протяженные участки врезанного русла чередуются с широкопойменными участками, преобладают параллельно-рукавные разветвления. Пойму пересекают многочисленные пойменные

протоки и старицы. Коренные берега на этом участке высокие, могут достигать 20–30 метров, и обрывистые. Наиболее известный такой участок – Толоконная гора, которая является источником поступления в русло реки большого объема песчаного материала в результате разрушения берега.

В нижнем течении, ниже устья Ваги, русло реки врезанное. Иногда можно наблюдать резкие его повороты, где формируются водовороты. Возле села Орлецы, на одном из таких поворотов, находится самое глубокое место на Северной Двине – более 30 м. Ширина русла здесь составляет около 350 м. Ниже устья Пинеги долина реки расширяется, достигая 14 км в Холмогорском расширении, которое начинается от деревни Вавчуги. Русло реки здесь делится на рукава островами Куростров, Ухтоостров, Вашкаранда, Кулья и др., которые возвышаются на 20–30 м над рекой. На них находятся населенные пункты.

От мыса Пур-Наволок в середине города Архангельска за 30–40 километров до своего впадения в Белое море Северная Двина разделяется на пять основных рукавов – Никольский (составляет около 32% стока воды); Корабельный (21%), Мурманский (18%), р. Маймакса (18%), р. Кузнечиха (6%). Площадь дельты составляет примерно 1000 км².

Глубина Северной Двины при слиянии Сухоны и Юга в летнее время до 3,5 м, а затем до устья Вычегды изменяется от 2 до 4,5 м, но на этом пространстве могут встречаться и мели. Ниже устья реки Вычегды глубина Двины изменяется от 5 до 7,5 м в пределах Вологодской области, на этом пространстве так же может иметься множество мелей и порогов, высота воды над которыми в летнее время не превышает одного метра. В Архангельской области глубина реки возрастает. Около города Архангельска она доходит до 12–24 м. В этой части течения нет порогов, но присутствуют мели.

В пределах Вологодской области дно Северной Двины преимущественно песчаное. На реке имеется множество частых островов, но кроме этого на Двине ежегодно образуются новые, которые со временем размываются и заменяются другими. Течение Двины не очень быстрое.

Переформирования русла на всей реке осложняют условия судоходства. В 1980 году была создана относительно устойчивая судоходная трасса. В 1990-х годах резко сократились путевые дноуглубительные и русловыправительные работы, судоходства почти прекратилось, и река стала возвращаться в свое естественное состояние. В настоящее время существует ряд перекатных участков, которые требуют проведения дноуглубительных работ – Шиловские, Паячные, Рубежские, Почтовские, Репные перекаты.

Фарватер проходит большей частью посередине реки. Продолжительность навигации составляет от 160 до 193 дней. Половодье затопляет низменности речных берегов и островов. Высота разлива различна (до 6 м) и зависит от снежности зимы, скорости таяния снега, толщины льда, ветров во время вскрытия и от количества льдов, спирающих ее в устьях. Весенние разливы весьма значительны. Верхняя часть Северной Двины до Вычегды в некоторых местах разливается на 5 км, а иногда и до 10 км. Только в одном месте, между деревнями Куртяевской и Абрамовской, река почти не разливается в связи с тем, что там берега весьма круты и подходят к самому руслу реки.

Годовой сток взвешенных наносов в среднем течении реки равен 1,32 млн т., в нижнем – 1,79 млн т., в вершине устьевой области – 3,86 млн т. Среднегодовая мутность воды составляет около 22 г/м³ в среднем течении и 37 г/м³ в нижнем. Сток влекомых наносов изменяется в диапазоне 0,61–0,71 млн т/год. Воды Северной Двины гидрокарбонатно-кальциевые. Минерализация воды в половодье 60–70 мг/л, в межень – 240–380 мг/л. [12] [13]

2.1.7 Описание гидрологического поста

Пост на реке Северная Двина (деревня Медведки) расположен в 0,5 км к западу от деревни, в 9 км ниже впадения реки Шомоксы.

Прилегающая к долине реки местность – плоская равнина, преимущественно залесена; в узкой присклоновой полосе, шириной 0,3–0,8 км, занята полями.

Долина реки шириной по верху до 3 км, трапецеидальная, имеет высокие, 30–40 м, крутые склоны. Пойма левобережная, шириной 1,5–2 км, открытая, луговая, пересеченная озерами-старицами, частично затопляется при уровне 559 см над нулем поста, сплошь покрывается водой при уровне 879 см.

Русло реки прямолинейное, песчаное, деформирующееся. Правый берег – склон долины, обнаженный, очень крутой, сложен мергелями. Левый берег песчаный, заросший кустарником, пологий, выше водпоста – крутой, местами подвержен подмыву, высотой до 5 м. Два больших песчаных, луговых с кустарником острова расположены в 1 км выше и в 3 км ниже водпоста. В этих же местах расположены песчаные подвижные перекаты.

Водпост находится на правом берегу, оборудован металлическими сваями.

Отметки водомерному устройству переданы нивелировкой IV класса АУГМС 25.03.1954.

Отметка поста 45,91 мБС.

Температура воды измеряется в створе водпоста у берега, толщина льда – в створе водпоста у берега и на середине реки.

До 23.10.1924 водпост был расположен на левом берегу у пог. Синеги. При переносе его к деревне Медведки наблюдения за уровнем этих постов между собой увязаны. [5]

2.2 Исходные данные и анализ

Для изучения был выбран участок 644–636 км реки Северная Двина (Рисунок 4, 5). Использовались данные лоцманских карт за 1977 г. и 1985 г. [7] [8]

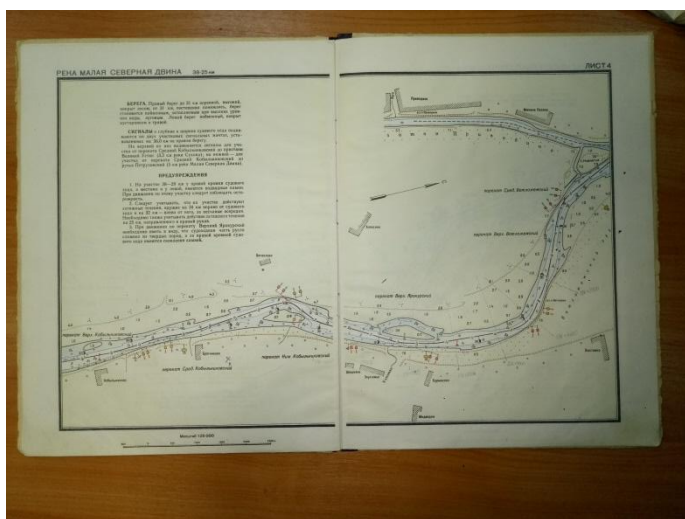


Рисунок 4 – Выбранный участок реки Северная Двина,
1977 год

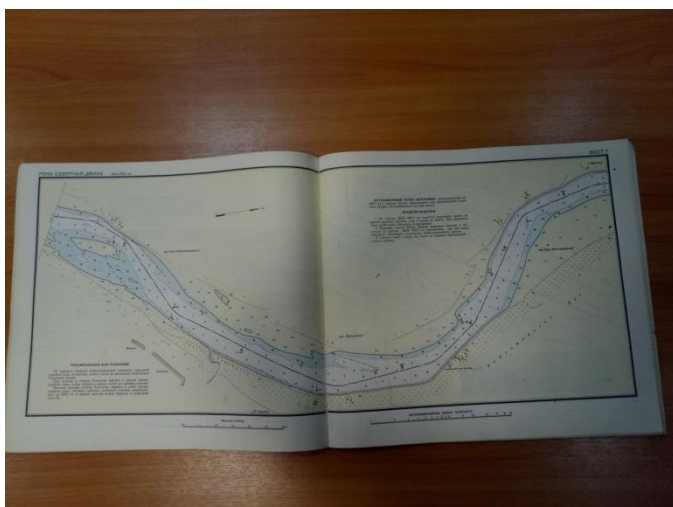


Рисунок 5 – Выбранный участок реки Северная Двина,

Тип руслового процесса на выбранном участке установлен согласно типизации, разработанной ГГИ, в которой выделяют следующие типы русловых процессов:

1) Ленточногрядовый тип руслового процесса

Характеризуется наличием в реке одиночных ленточных гряд, занимающих всю ширину русла. Русло имеет слабоизвилистые или прямолинейные очертания. Отсутствует распластанность русла, что свидетельствует о том, что определенному уклону реки соответствуют свои расходы наносов и расходы воды. Донные наносы перемещаются в виде цепочки ленточных гряд, которые являются мезоформами.

2) Побочневый тип

Характеризуется наличием в русле крупных гряд с перекошенным в плане положением их гребней. Наиболее возвышенные части этих гряд, выступающие вперед, располагаются в русле в шахматном порядке. Они обсыхают в межень, тем самым образуя побочни. В период паводков побочни покрываются водой, придавая руслу прямолинейный вид. Гребень затопленной части гряды образует пережат, а ее подвалье – плес. Данный режим движения наносов часто возникает как в условиях ухудшения условий транспорта наносов, так и при естественном или искусственном ограничении плановых деформаций реки.

3) Ограниченное меандрирование

Характеризуется извилистым руслом с углом разворота не более 120° . При этом во время паводков эта извилистость сохраняется. Деформации излучин осуществляются путем сползания их вниз по течению, при этом их плановые очертания практически не меняются. При образовании излучин создается пляж, который может смещаться только вместе со сползанием всей излучины. Участок берега, который огибает излучина, представляет собой пойменный массив. Часто на поверхности пойменного массива наблюдаются

следы прежних береговых валов – гривы. В меженный период поток имеет извилистые очертания, в половодье он спрямляется, пересекая пойменные массивы.

4) Свободное меандрирование

Характеризуется тем, что излучины проходят замкнутые циклы переформирований, при которых русло из прямого состояния может достигать состояния петли, при этом постепенно увеличивая свою асимметричность и кривизну. Затем происходит прорыв ее перешейка, после чего цикл деформаций повторяется. Беспрепятственное свободное меандрирование проходит при наличии широкого дна долины. При этом пояс меандрирования переходит неоднократно от одного склона долины к другому, тем самым образуя пойменные массивы, огибаемые серией излучин. Для таких массивов характерным является наклон их поверхности в направлении от русла к склонам долины и вниз по течению реки.

5) Незавершенное меандрирование

Характеризуется наличием потока, спрямляющего излучины. Сначала он действует только в период высокого половодья, но затем разрабатывается и начинает принимать и меженные расходы. Старое русло при этом отмирает, а спрямляющий поток начинает повторять весь цикл развития. Таким образом, при незавершенном меандрировании встречается явление раздвоения русла. Полная смена цикла развития может продолжаться около нескольких десятилетий.

6) Пойменная многорукавность

Является дальнейшим развитием незавершенного меандрирования. Характеризуется серией спрямляющих протоков и сетью протоков вторичного происхождения, которая соединяет эти спрямляющие протоки. Каждый поток может развиваться самостоятельно, и в таких потоках могут образовываться побочни, ленточные гряды, излучины. При перекрытии отдельных протоков скоплениями наносов в руслах, из которых они берут

начало или в которые впадают, происходит процесс затухания и возобновления деформаций.

7) Русловая многорукавность

Разделение потока на рукава происходит в случае, когда река перегружена наносами так, что для их транспорта предельного уклона недостаточно. В результате обсыхания незатопленных вершин ленточных гряд, движущихся в распластанном русле разбросанно по ширине реки и происходит разделение на рукава. Разделение потока на рукава происходит в случае, когда река перегружена наносами так, что для их транспорта предельного уклона недостаточно. В результате обсыхания незатопленных вершин ленточных гряд, движущихся в распластанном русле разбросанно по ширине реки и происходит разделение на рукава. Тип русловой многорукавности может быть назван осередковым, если вершины песчаных гряд не заросшие. Но часто бывает, что осередки превращаются в острова, из-за отложения на них наносов и зарастания их поверхности. В таком случае это островная русловая многорукавность. Если вершины ленточных гряд не обсыхают, то такой тип руслового процесса называется блуждающим руслом, то есть русло часто меняет свое положение, и при этом всегда имеются затопленные протоки. Таким образом, при русловой многорукавности выделяются три основные разновидности: осередковая многорукавность, островная многорукавность и блуждающие русла. [1]

С помощью программы Google Earth Pro и сервиса Google Earth Timelapse с возможностью просмотра спутниковых снимков за период 1984–2018 гг. был определен тип руслового процесса на выбранном участке реки. На снимках (рисунок 6) видно наличие побочней, которые перемещаются по руслу, их скорость сползания достаточно мала. Но, все же, можно сказать, что на данном участке наблюдается побочневый тип руслового процесса.



Рисунок 6 – Спутниковые снимки данного участка реки Северная Двина за 1985, 1990, 2000, 2007, 2017 и 2018 года

За постоянное начало принята граница деревни Заухтомье, расположенной на правом берегу выше по течению, на 642 км реки. Створы расположены на расстоянии 1 км друг от друга – 6 створов расположено выше по течению (от ПК0 до ПК+5000), 1 створ ниже по течению (ПК-1000) от постоянного начала. Ближайший гидрологический пост располагается в 15 км ниже по течению от д. Заухтомье – д. Медведки.

С карты снимались отметки в метрах. Далее они были приведены к Балтийской системе высот с учетом отметки проектного уровня

относительно нуля графика водомерного поста д. Медведки. Для 1977 года эта отметка составляет +0,40 м, для 1985 года – +0,30 м. Исходные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные по реке Северная Двина, 1977 г., 1985 г.

Отметка нуля поста 45,91 мБС

1977						1980										
Пикет	L, км	Урезы и границы берегов	Расст. от ПН, м	h, м	h, мБС	Пикет	L, км	Урезы и границы берегов	Расст. от ПН, м	h, м	h, мБС					
ПК0	642	п.б.	400	7,8	54,0	ПК0	642	п.б.	365	7,8	54,0					
			450	0,0	46,2				400	0,0	46,2					
			550	1,1	45,1				440	1,1	45,1					
			650	2,0	44,2				470	1,6	44,6					
			725	1,1	45,1				520	1,7	44,5					
		УЛБ	837	0,0	46,2			630	1,3	44,9						
			950	1,0	47,2			680	1,1	45,1						
			1100	1,9	48,1			710	0,5	45,7						
			1188	3,9	50,1			740	0,0	46,2						
			л.б.	1188	3,9			50,1	УЛБ	740	0,0	46,2				
ПК+1000 поворот	641	п.б.	388	7,8	54,0	ПК+1000 поворот	641	п.б.	870	1,0	47,2					
			437	0,0	46,2				1010	3,0	49,2					
		УПБ	475	1,1	45,1			360	7,8	54,0						
			525	1,3	44,9			УПБ	390	0,0	46,2					
			575	1,1	45,1			410	1,1	45,1						
			п.б.о-в	625	0,0			46,2	590	2,0	44,2					
			725	0,7	46,9			620	1,5	44,7						
			л.б.о-в	825	0,0			46,2	655	1,1	45,1					
			925	0,9	45,3			710	0,4	45,8						
			УЛБ	1000	0,0			46,2	УЛБ	740	0,0	46,2				
л.б.	1225	3,8	50,0	790	0,3	46,5										
ПК+2000	640	п.б.	338	8,3	54,5	ПК+2000	640	п.б.	900	1,3	47,5					
			425	0,0	46,2				1000	2,0	48,2					
		УПБ	475	1,1	45,1			л.б.	1080	3,0	49,2					
			600	1,7	44,5			п.б.	125	7,8	54,0					
			675	1,2	45,0			УПБ	150	0,0	46,2					
			725	1,1	45,1			175	1,1	45,1						
			УЛБ	775	0,0			46,2	230	1,5	44,7					
			1050	1,5	47,7			300	2,5	43,7						
			л.б.	1250	3,8			50,0	370	1,9	44,3					
			л.б.	1250	3,8			50,0	370	1,9	44,3					
ПК+3000 поворот	639	п.б.	375	8,3	54,5	ПК+3000 поворот	639	п.б.	435	1,1	45,1					
			412	0,0	46,2				480	0,7	45,5					
		УПБ	475	1,1	45,1			УЛБ	590	0,0	46,2					
			587	1,5	44,7			620	0,9	47,1						
			650	1,1	45,1			л.б.	715	3,8	50,0					
			УЛБ	725	0,0			46,2	п.б.	155	8,3	54,5				
			1150	1,4	47,6			УПБ	170	0,0	46,2					
			л.б.	1525	8,1			54,3	190	1,1	45,1					
			ПК+4000 поворот	638	п.б.			450	7,6	53,8	ПК+4000 поворот	638	п.б.	320	2,5	43,7
								475	0,0	46,2				390	1,4	44,8
УПБ	500	1,1			45,1	485	1,1	45,1								
	575	3,0			43,2	510	0,5	45,7								

1977						1980					
Пикет	L, км	Урезы и границы берегов	Расст. от ПН, м	h, м	h, мБС	Пикет	L, км	Урезы и границы берегов	Расст. от ПН, м	h, м	h, мБС
			637	1,1	45,1			УЛБ	530	0,0	46,2
			725	2,8	43,4			л.б.	690	8,1	54,3
		УЛБ	775	0,0	46,2	ПК+4000	638	п.б.	240	7,6	53,8
			900	0,5	46,7	поворот		УПБ	250	0,0	46,2
			1475	2,7	48,9				270	1,1	45,1
		л.б.	1625	8,1	54,3				350	5,0	41,2
ПК+5000	637	п.б.	550	8	54,2				440	1,1	45,1
		УПБ	575	0,0	46,2			УЛБ	490	0,0	46,2
			625	1,1	45,1				530	0,8	47,0
			700	5,0	41,2				640	0,7	46,9
			800	2,7	43,5			л.б.	720	8,1	54,3
			825	1,1	45,1	ПК+5000	637	п.б.	130	7,6	53,8
		УЛБ	875	0,0	46,2			УПБ	230	0,0	46,2
			1000	1,0	47,2				270	0,5	45,7
			1200	2,9	49,1				310	1,1	45,1
		л.б.	1350	6,0	52,2				420	2,4	43,8
ПК-1000	643	п.б.	425	7,8	54,0				510	3,0	43,2
		УПБ	525	0	46,2				580	1,1	45,1
			675	1,1	45,1			УЛБ	620	0,0	46,2
			775	2	44,2				740	0,5	46,7
			838	1,3	44,9			л.б.	775	6,0	52,2
			875	1,1	45,1	ПК-1000	643	п.б.	335	7,8	54,0
		УЛБ	950	0,0	46,2				390	0,2	46,4
		л.б.	1150	4,7	50,9			УПБ	420	0,0	46,2
									500	0,7	45,5
									630	0,6	45,6
								п.б.о-в	700	0,0	46,2
									730	0,3	46,5
								л.б.о-в	750	0,0	46,2
									800	0,5	45,7
									835	1,1	45,1
									940	2,5	43,7
									980	1,1	45,1
								УЛБ	990	0,0	46,2
								л.б.	1020	4,7	50,9

По полученным данным были построены совмещенные графики поперечных профилей, а так же предельные профили размыва за данные года (Рисунок 7). Так как выбранный участок реки имеет побочный тип руслового процесса, поперечные профили совмещаются по осевой линии русла.

Данные для построения кривых расходов были получены с помощью программы Profiles2010 (Таблица 3 и 4), разработанной Валдайским филиалом ГГИ. При этом учитывался коэффициент шероховатости русла,

левой и правой поймы, уклон водотока. В качестве расчетной формулы в программе применяется формула Шези $Q = FC\sqrt{RI}$.

Коэффициент шероховатости был выбран согласно таблице Б.12 СП 33-101-2003 [10] и составил 0,025 для русла, левой и правой поймы. Уклон был взят средний по всей длине реки – 0,07‰.

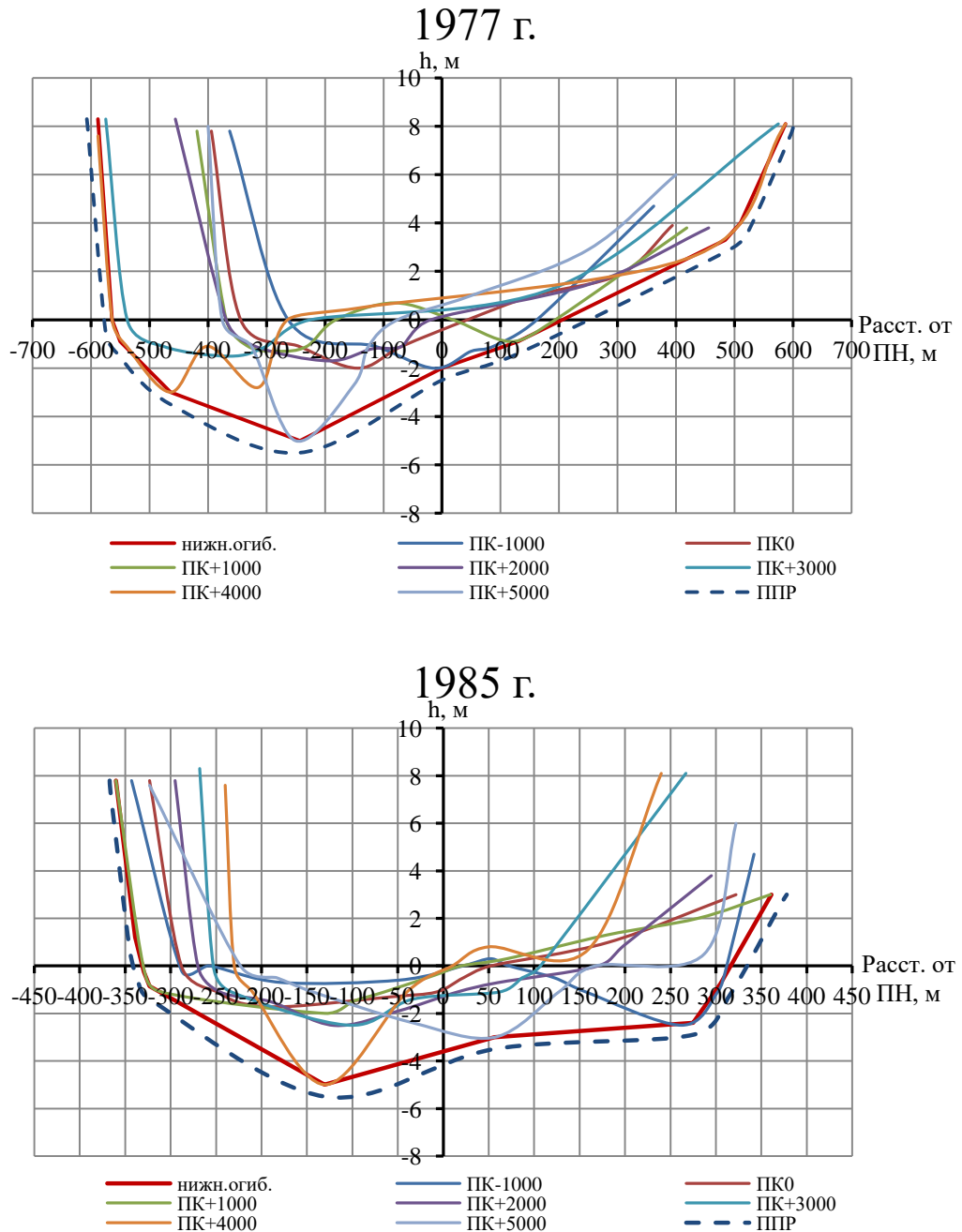


Рисунок 7 – Совмещенные поперечные профили и ППР, 1977 г. и 1985 г.

Таблица 3 – Данные для построения кривых расходов воды на реке

Северная Двина, 1977 г.

$$I = 0,07\text{‰}, \quad n_{\text{русл}} = 0,025, \quad n_{\text{лев.поймы}} = 0,025, \quad n_{\text{прав.поймы}} = 0,025$$

ПК0					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
44,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45,1	78,8	0,45	35,0	489	0,489
46,2	388	1,00	40,0	4113	4,11
47,2	836	1,65	43,5	12341	12,3
ПК+1000					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
44,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45,1	10,0	0,10	27,3	22,9	0,0229
45,3	31,7	0,27	32,2	141	0,141
46,2	247	0,68	37,5	2026	2,03
46,9	587	0,96	39,8	6068	6,07
ПК+2000					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
44,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45,0	44,8	0,25	31,8	188	0,188
45,1	66,3	0,27	32,1	289	0,289
46,2	396	1,13	40,8	4556	4,56
47,7	1140	1,78	44,0	17707	17,7
ПК+3000					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
44,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45,1	35,0	0,20	30,6	127	0,127
46,2	303	0,97	39,8	3140	3,14
47,6	1043	1,40	42,3	13812	13,8
ПК+4000					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
43,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43,4	1,45	0,10	27,3	3,31	0,00331
45,1	231	0,90	39,3	2282	2,28
46,2	536	1,79	44,1	8353	8,35
46,7	718	1,68	43,6	10730	10,7
ПК+5000					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
41,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43,5	166	1,15	40,9	1925	1,93
45,1	441	2,21	45,6	7908	7,91
46,2	716	2,39	46,2	13527	13,5
47,2	1080	2,52	46,7	21156	21,2
ПК-1000					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
44,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44,9	49,3	0,35	33,6	259	0,259
45,1	83,4	0,42	34,6	492	0,492
46,2	427	1,01	40,0	4535	4,53

Таблица 4 – Данные для построения кривых расходов воды на реке

Северная Двина, 1985 г.

$$I = 0,07\text{‰}, \quad n_{\text{русл}} = 0,025, \quad n_{\text{лев.поймы}} = 0,025, \quad n_{\text{прав.поймы}} = 0,025$$

ПК0					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
44,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44,6	3,88	0,05	24,3	5,57	0,00557
44,9	42,2	0,24	31,5	171	0,171
45,1	83,9	0,35	33,6	441	0,441
45,7	243	0,83	38,8	2282	2,28
46,2	401	1,18	41,1	4740	4,74
47,2	808	1,70	43,7	12192	12,2
ПК+1000					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
44,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44,7	32,4	0,25	31,8	136	0,136
45,1	107	0,439	34,9	656	0,656
45,8	302	0,968	39,8	3129	3,13
46,2	435	1,243	41,5	5318	5,32
46,5	547	1,362	42,1	7119	7,12
ПК+2000					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
43,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44,3	33,6	0,3	32,7	159	0,159
44,7	90,5	0,525	35,9	623	0,623
45,1	177	0,682	37,5	1450	1,45
45,5	292	0,930	39,5	2939	2,94
46,2	555	1,26	41,6	6866	6,87
47,1	966	2,04	45,1	16449	16,4
ПК+3000					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
43,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44,8	94,5	0,55	36,2	671	0,671
45,1	165	0,56	36,3	1180	1,18
45,7	352	1,07	40,4	3885	3,89
46,2	525	1,46	42,6	7140	7,14
ПК+4000					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
41,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45,1	332	1,95	44,7	5476	5,48
46,2	557	2,32	46,0	10333	10,3
46,9	1476	2,67	47,1	30031	30,0
ПК+5000					
Н, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
43,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43,8	33,6	0,30	32,7	160	0,160
45,1	282	1,04	40,3	3072	3,07
45,7	463	1,39	42,3	6109	6,11
46,2	643	1,65	43,5	9497	9,50
46,7	870	1,68	43,6	13015	13,0

ПК-1000					
H, мБС	F, м ²	h _{ср} , м	C	Q, м ³ /с	Q, тыс м ³ /с
43,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45,1	102	0,7	37,7	847	0,847
45,5	165	0,959	39,7	1697	1,70
45,6	190	0,592	36,7	1414	1,41
45,7	223	0,637	37,1	1748	1,75
46,2	441	0,847	38,9	4174	4,17
46,4	551	0,944	39,6	5609	5,61
46,5	610	1,01	40,1	6517	6,52

По данным таблиц 3 и 4 были построены зависимости расходов от уровней за выбранные годы – рисунок 8.

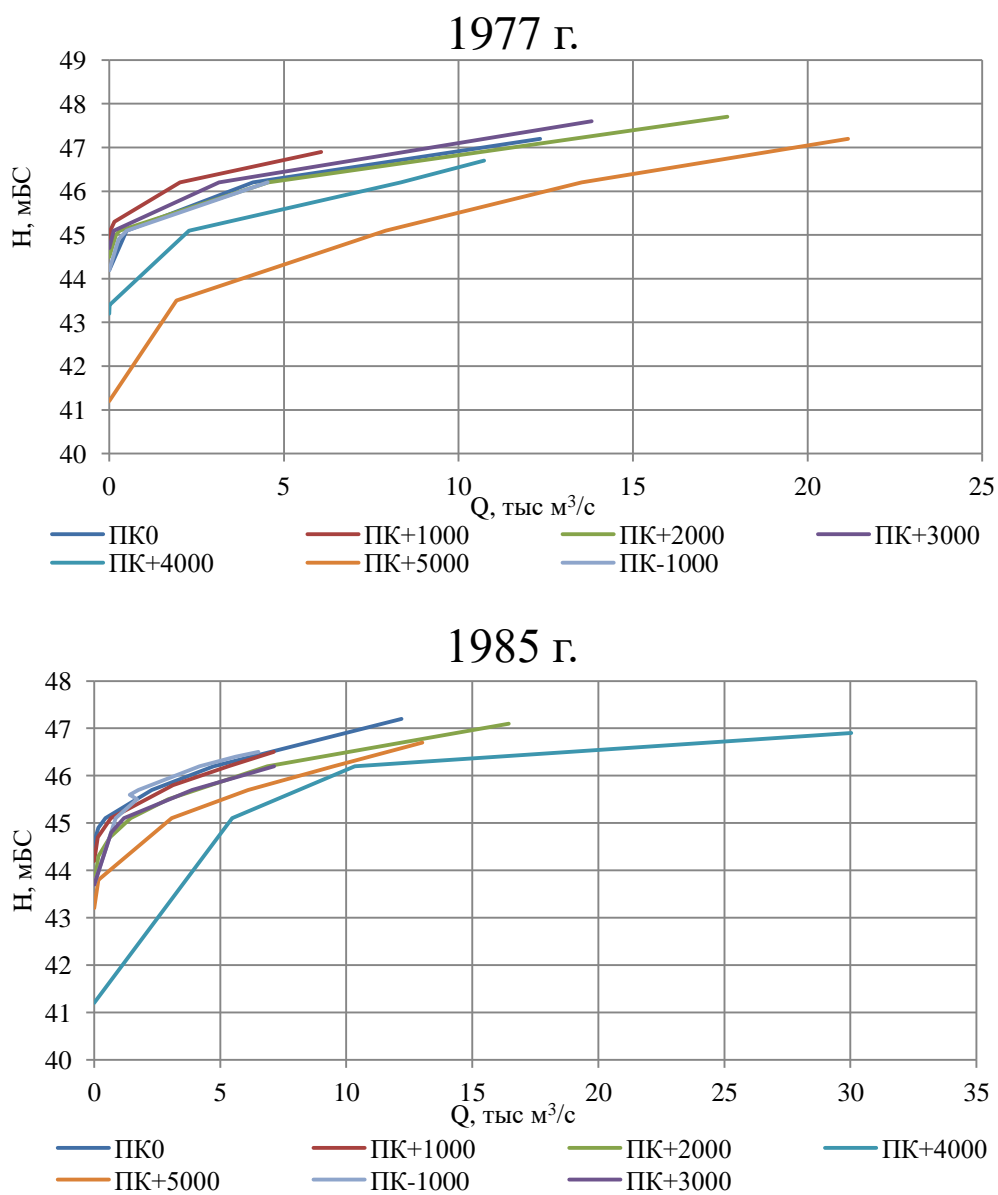


Рисунок 8 – Кривые $Q=f(H)$ за 1977 г. и 1985 г.

Анализируя рисунок 8 сделать вывод о том, как и почему именно так ведут себя кривые $Q=f(H)$ достаточно сложно. Поэтому для того чтобы лучше понять поведение этих кривых были построены совмещенные кривые расходов и совмещенные профили за два выбранных года по каждому створу в отдельности (рисунок 9 – 15).

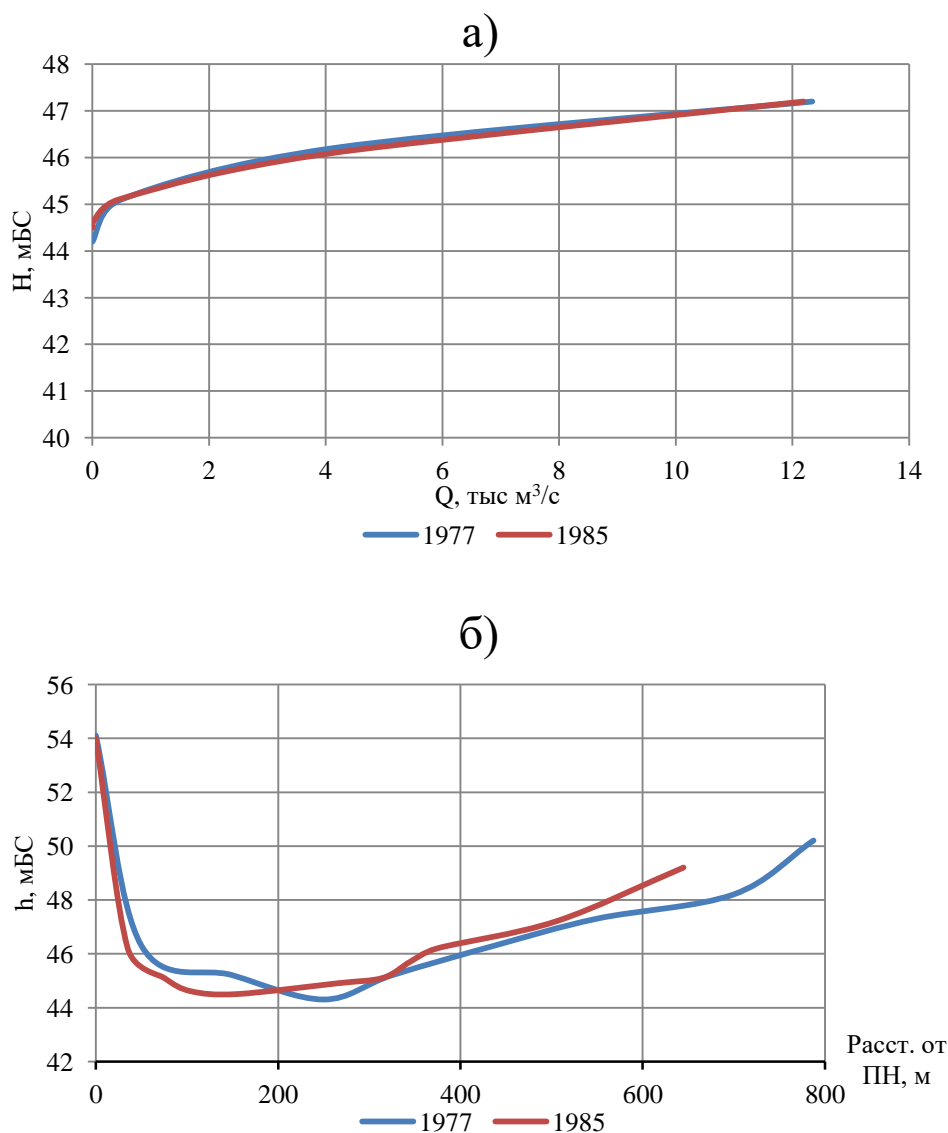


Рисунок 9 – Кривая $Q=f(H)$ (а) и поперечный профиль (б) створа ПК0 за 1977 г. и 1985 г.

На рисунке 9 на створе ПК0 нет значительных деформаций русла. Максимум глубин составляет 2,0 м в 1977 г. и 1,7 м в 1985 г. и смещается от

центра русла (1977 г.) на 95 м к правому берегу (1985 г.). Кривые расходов за 1977 г. и 1985 г. практически не отличаются друг от друга.

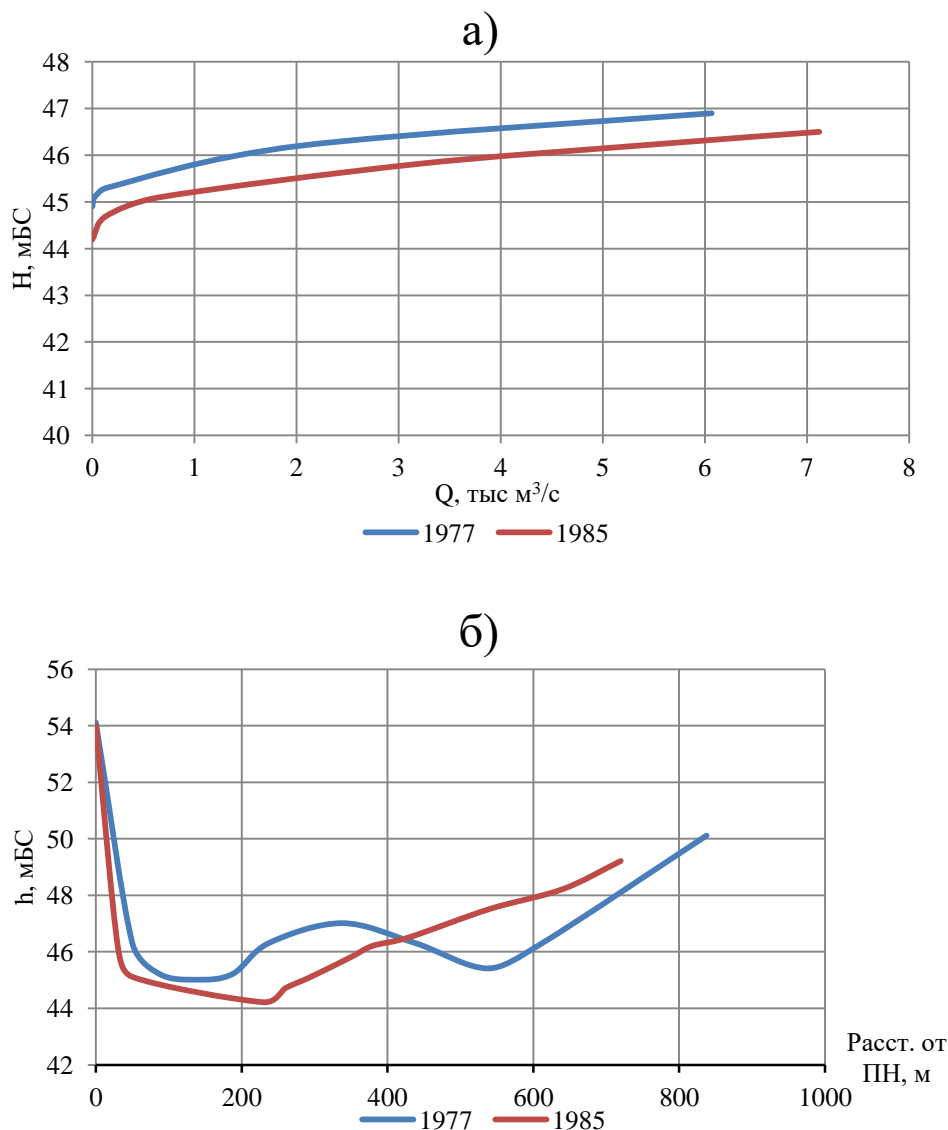


Рисунок 10 – Кривая $Q=f(H)$ (а) и поперечный профиль (б) створа ПК+1000 за 1977 г. и 1985 г.

На рисунке 10 видно, что в створе ПК+1000 в 1977 году был остров, из-за чего кривая $Q=f(H)$ смещается вверх, так как происходит повышение дна реки. Максимальное значение глубины – 1,3 м. В 1985 году наблюдается понижение дна реки на 20 см, из-за чего кривая расходов этого года располагается ниже.

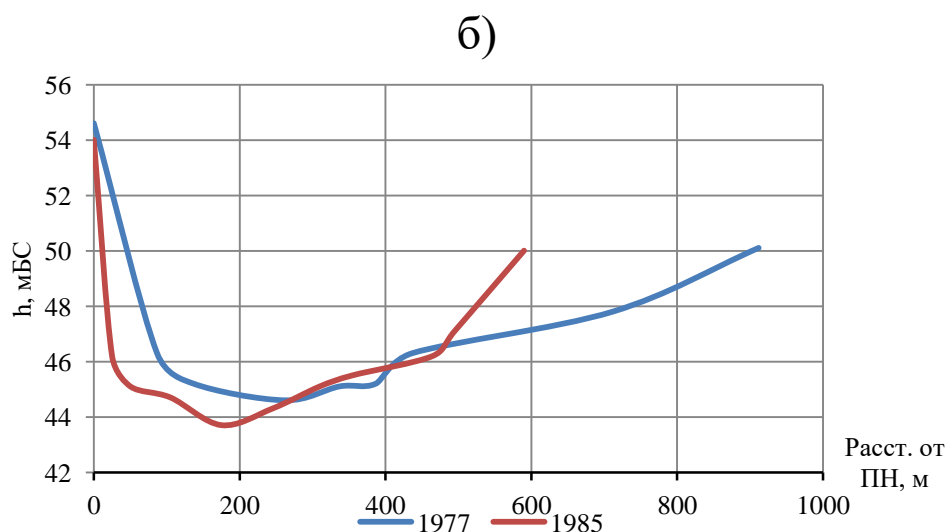
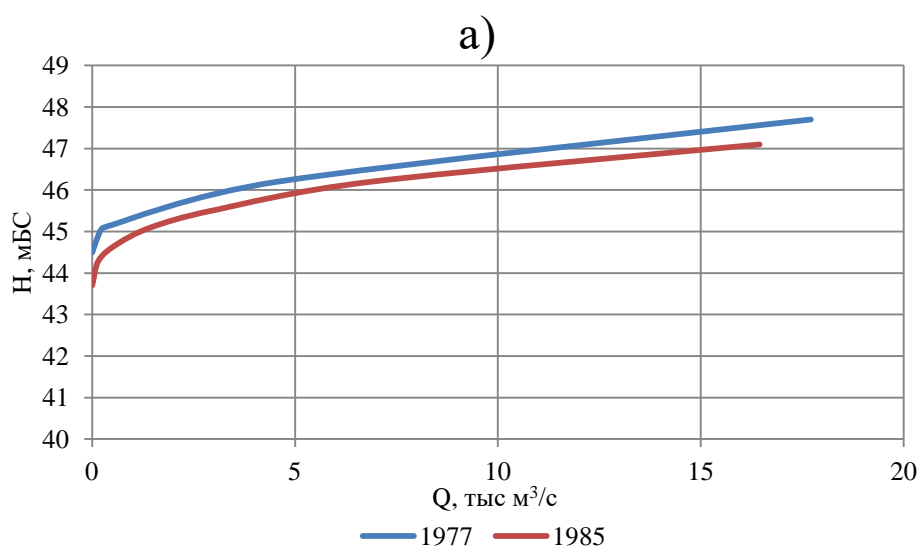


Рисунок 11 – Кривая $Q=f(H)$ (а) и поперечный профиль (б) створа ПК+2000 за 1977 г. и 1985 г.

В створе ПК+2000 (рисунок 11) в 1977 году наблюдается побочень на левом берегу, при этом максимальная глубина составляет 1,7 м. В 1985 году русло имеет более узкую форму, ярко выраженного побочня не наблюдается, максимальная глубина увеличивается на 80 см и принимает значение 2,5 м. Это отражается на кривых $Q=f(H)$ – в 1977 г. кривая выше, чем в 1985 г.

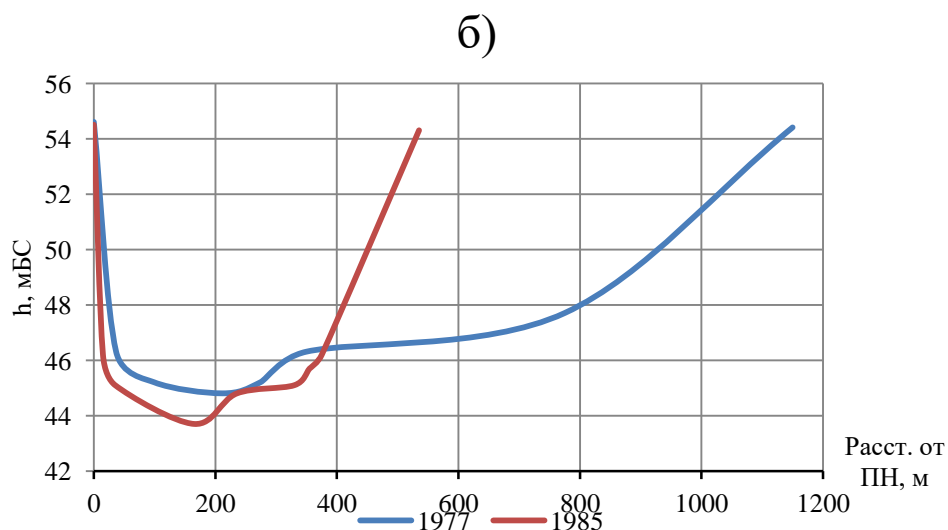
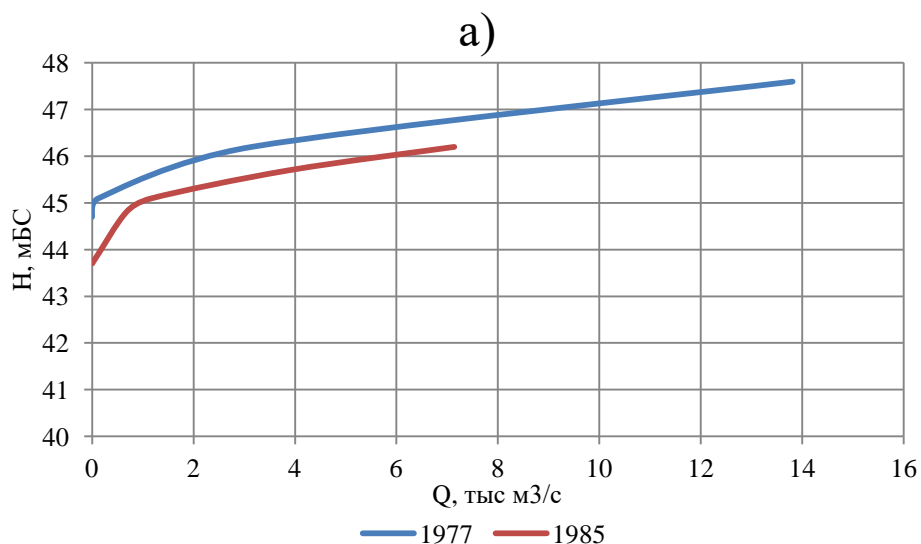


Рисунок 12 – Кривая $Q=f(H)$ (а) и поперечный профиль (б) створа ПК+3000 за 1977 г. и 1985 г.

В створе ПК+3000 (рисунок 12) наблюдается та же ситуация, что и на створе ПК+2000. В 1977 году можно наблюдать побочень у левого берега, тогда как в 1985 г. наблюдается его отсутствие. Максимальное значение глубины возрастает от 1,5 м в 1977 году до 2,5 м в 1985. Такое изменение глубин видно на кривых расходов. Из-за подъема дна русла на данном участке кривая 1977 года располагается выше, чем кривая 1985 года, когда наблюдается понижение дна реки.

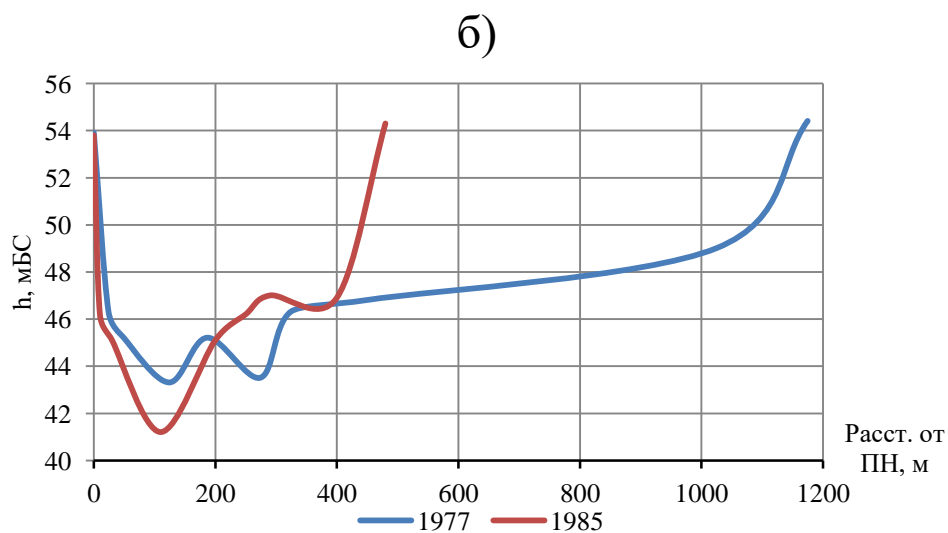
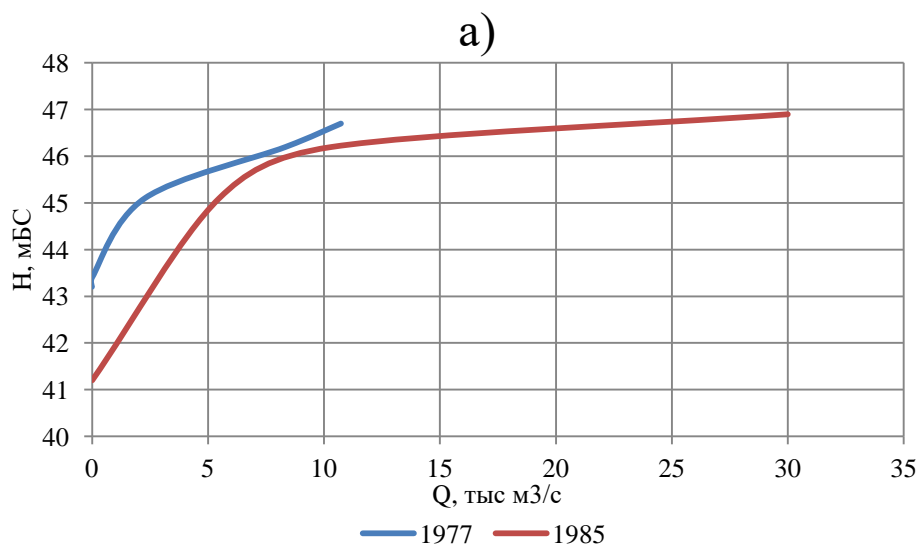


Рисунок 13 – Кривая $Q=f(H)$ (а) и поперечный профиль (б) створа ПК+4000 за 1977 г. и 1985 г.

На рисунке 13 в створе ПК+4000 в 1977 году так же наблюдается наличие побочня на левом берегу, в 1985 году русло имеет более узкую форму без ярко выраженного побочня. Максимальная глубина на 1977 год составляет 3 м, на 1985 г. – 5 м. На кривых $Q=f(H)$ видно это изменение глубин – кривая в 1977 г. располагается выше, чем в 1985 г., так как происходит сначала подъем дна реки, а затем его понижение.

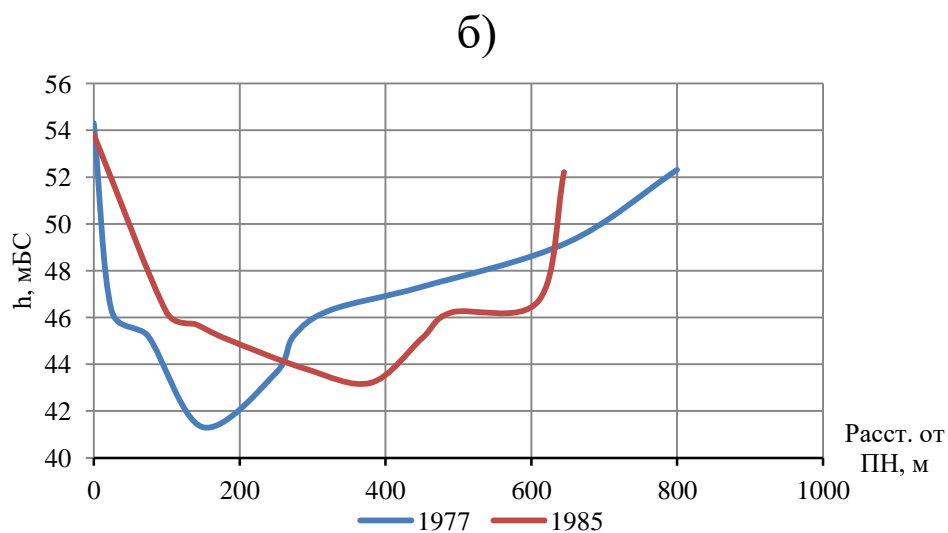
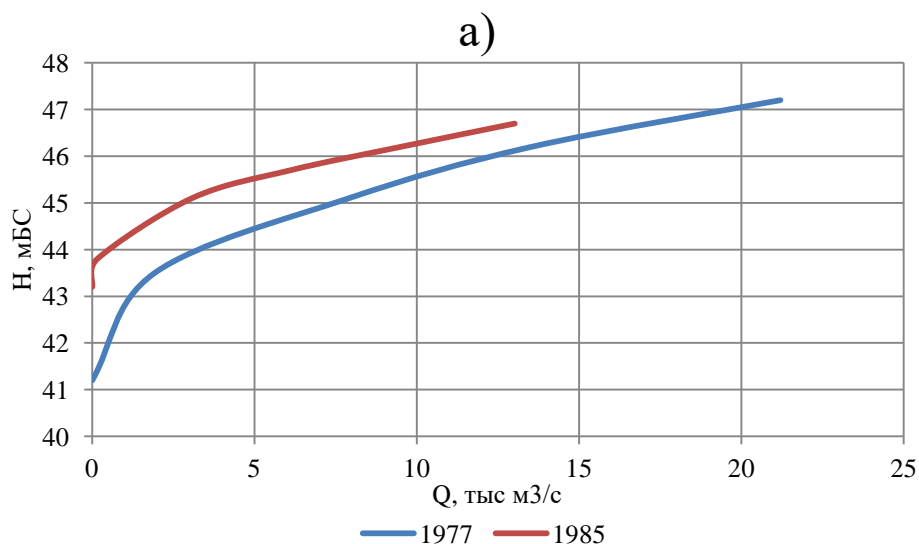


Рисунок 14 – Кривая $Q=f(H)$ (а) и поперечный профиль (б) створа ПК+5000 за 1977 г. и 1985 г.

По рисунку 14 в створе ПК+5000 можно сказать, что в 1977 году правый берег достаточно обрывистый, тогда как в 1985 году нет. Максимальные глубины смещаются от правого берега (1977 г.) примерно к центру русла (1985 г.) – от 2,7 до 3 м. Соответственно кривая расходов в 1977 г. располагается ниже кривой в 1985.

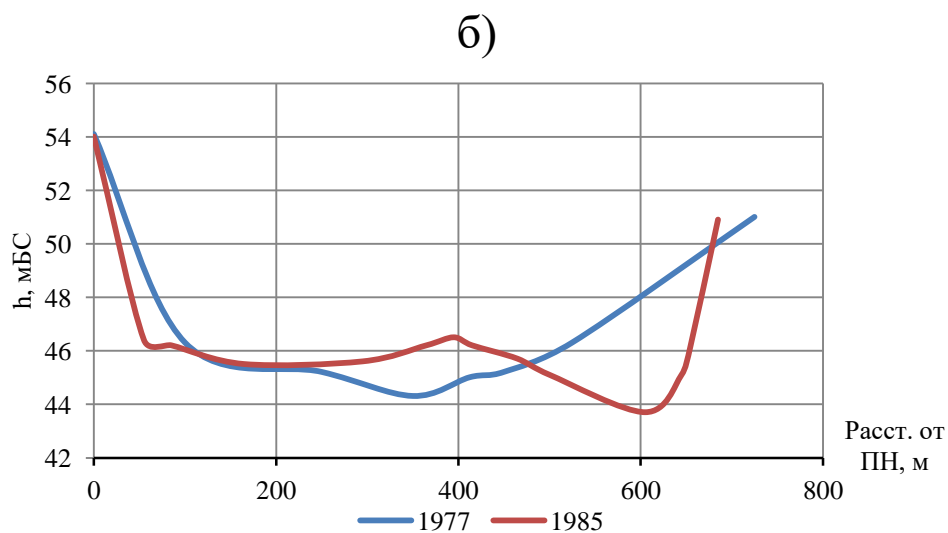
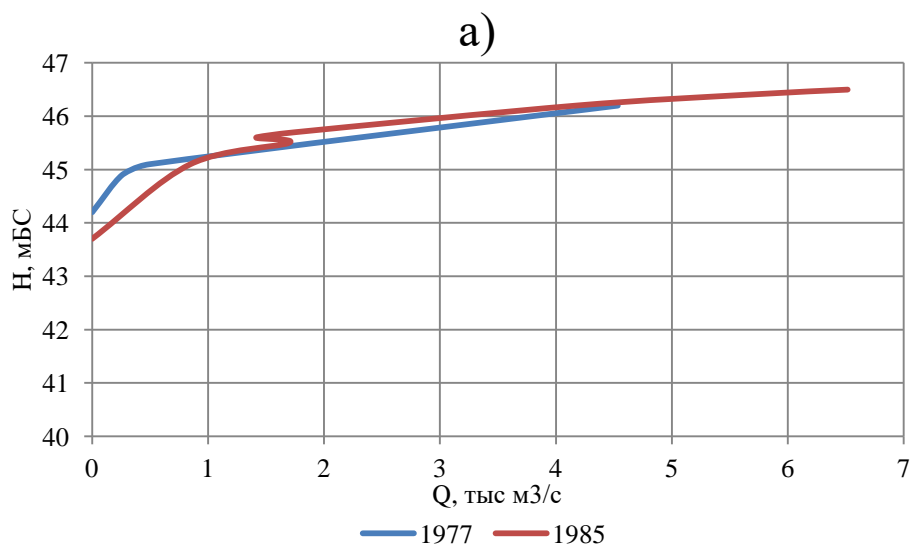


Рисунок 15 – Кривая $Q=f(H)$ (а) и поперечный профиль (б) створа ПК-1000 за 1977 г. и 1985 г.

В створе ПК-1000 (рисунок 15) в 1985 году наблюдается небольшой остров. Максимум глубин резко смещается с центра русла в 1977 г. (1,3 м) к левому берегу в 1985 г. (2,5 м). На кривой $Q=f(H)$ в 1985 г. образуется неоднозначность. Возможно, это связано с приходом на этот створ небольшого побочня.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе были построены кривые расходов воды $Q=f(H)$ и поперечные профили для семи створов на участке 644–636 км реки Северная Двина, а так же предельный профиль размыва на участке. Для каждого из створов в отдельности был произведен анализ кривых $Q=f(H)$ и поперечников, который позволил выявить наличие ярко выраженных побочней практически на всех свторах (ПК0, ПК+1000, ПК+2000, ПК+3000 и ПК+4000) в 1977 году. К 1985 году этих побочней уже не наблюдается. В створе ПК-1000 в 1985 году можно наблюдать неоднозначную зависимость $Q=f(H)$, это может быть следствием прихода острова на данный створ.

Была подтверждена зависимость положения кривой $Q=f(H)$ в зависимости от наличия мезоформ в русле: при подъеме дна реки кривая $Q=f(H)$ смещается вверх, при понижении – вниз.

Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод, что при проведении гидрометеорологических изысканий необходимо учитывать наличие мезоформ в русле. Это позволит учесть ошибки при определении расходов воды требуемой обеспеченности.

Список использованных источников

1. Барышников Н. Б., Исаев Д. И. Русловые процессы – Спб.: РГГМУ, 2014 – 504 с.
2. Быков В. Д., Васильев А. В. Гидрометрия. – Л: Гидрометеиздат, 1977 – 448 с.
3. ВСН 163-83 (Миннефтегазстрой) Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов)
4. Двинских С. А., Девяткова Т. П., Китаев А. Б., Тереханова Т. А. Динамика кривых расходов воды как индикатор русловых процессов – Пермь.: Географический вестник, 2012
5. Звягина Р. С. (ред.) Гидрологический ежегодник. Т.0. Вып. 2, 3, 5–7. Бассейн р. Онега и рек к востоку от р. Онега. Бассейн р. Северная Двина (без бассейна р. Вычегда). р. Северная Двина и бассейны рек между бассейнами рек Северная Двина и Печора – Л: Гидрометиздат, 1970
6. Карасев И. Ф., Васильев А. В., Субботина Е. С. Гидрометрия. – Л: Гидрометеиздат, 1991 – 376 с.
7. Карта реки Малая Северная Двина от города Великий Устюг до устья Вычегды. – ЦКФ ВМФ, 1977 – 25 с.
8. Карта реки Северная Двина от города Великий Устюг до Архангельска. – ЦКФ ВМФ, 1985 – 138 с.
9. Католиков В. М., Католикова Н. И. Динамика кривых связи расходов и уровней воды при разных типах руслового процесса // Тез. докл. VI Всероссийского гидрологического съезда – СПб.: Гидрометеиздат, 2004. Секция 6
10. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик

11. Чалов Р. С., Первушин Л.С., Шмыков В.Г. и др. Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. – ООО "Журнал РТ" г.Москва, 2012 – 492 с.

12. <http://vsereki.ru/severnyj-ledovityj-ocean/bassejn-belogo-morya/severnaya-dvina> (16.02.19, 23.02.19 и 26.02.19 дата обращения)

13. https://water-rf.ru/Водные_объекты/88/Северная_Двина (16.02.19, 23.02.19 и 26.02.19 дата обращения)