



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

Кафедра геофизики и гидропрогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

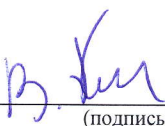
На тему **Учет периодичности водности
при краткосрочных прогнозах на
примере стока Северо-Западного
региона**

Исполнитель _____ Литвинова Катерина Александровна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ К.Т.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

_____ 
(подпись)

_____ Д.Т.Н., профессор
(ученая степень, ученое звание)

_____ Коваленко Виктор Васильевич
(фамилия, имя, отчество)

«17» июня 2016 г.

Санкт-Петербург
2016



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

Кафедра геофизики и гидропрогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Учет периодичности водности
при краткосрочных прогнозах на
примере стока Северо-Западного
региона**

Исполнитель	Литвинова Катерина Александровна
	(фамилия, имя, отчество)
Руководитель	К.Т.Н., доцент
	(ученая степень, ученое звание)
	Гайдукова Екатерина Владимировна
	(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю» Заведующий кафедрой	
	(подпись)
	Д.Т.Н., профессор
	(ученая степень, ученое звание)
	Коваленко Виктор Васильевич
	(фамилия, имя, отчество)

«17» июня 2016 г.

Санкт-Петербург
2016

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	4
1 Описание прогностических зависимостей	5
1.1 Виды прогностических зависимостей	5
1.2 Прогностические зависимости, применяемые в Северо-Западном УГМС	25
1.3 Постановка цели и задач исследования	27
2 Формирование базы данных для исследования	28
3 Методы выявления цикличности (периодичности) водности	39
3.1 Разностно-интегральные кривые	39
3.2 Корреляция различных периодов	40
3.3 Метод Шустера	42
4 Выявление периодичности в рядах стока рек Северо-Западного региона	44
5 Прогнозная зависимость, основанная на разложении в ряд Фурье	61
5.1 Теоретические основы метода	61
5.2 Применение методики к рядам стока	61
Заключение	76
Список использованных источников	77
Приложение А – Хронологические график годового разрешения	82
Приложение Б – Хронологические график годового разрешения	83
Приложение В – Хронологические график годового разрешения	84
Приложение Г – Хронологические график годового разрешения	85
Приложение Д – Корреляция за период половодья с 1955 по 1980 года, р. Кунья – г. Холм	86
Приложение Ж – Корреляция за период половодья с 1955 по 1980 года, р. Ловать – г. Великие Луки	87

Приложение З – Корреляция за период половодья с 1955 по 1980 года, р. Ловать – с. Сельцо	88
Приложение И – Программа <i>MatLab</i> для выявления цикличности методом Шустра	89
Приложение К – Модифицированная программа <i>MatLab</i> для выявления цикличности методом Шустра	90
Приложение Л – Программа <i>MatLab</i> для подбора уравнения Фурье	91
Приложение М – Преобразованная программа <i>MatLab</i> для подбора уравнения Фурье	92
Приложение Н – Программа <i>MatLab</i> для поверочных прогнозов по уравнению Фурье	93

ВВЕДЕНИЕ

Существует множество теорий о наблюдении цикличности стока, которые подтверждены фактически. Исследования изменений речного стока показали присутствие постоянных колебаний расходов воды по годам. Эти колебания проявляются в форме последовательной смены многоводных и маловодных периодов, кроме того такие периоды различаются друг от друга не только отклонением от среднего значения стока за все рассматриваемые года, но и продолжительностью таких периодов. Группы периодов образуют циклы различной длительности и размаха колебаний водности.

Проблема многолетних циклических колебаний водности рек остается актуальной темой, она настолько сложна и многообразна, что охватить все ее аспекты невозможно. В данной работе внимание обращено на выявление цикличности водности стока рек Северо-Западного региона. Нахождение циклов водности может помочь дать наиболее точный прогноз тех или иных характеристик стока, с наименьшей погрешностью.

1 ОПИСАНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

1.1 Виды прогностических зависимостей

Для предостережения о высоких уровнях и расходах воды, которые представляют угрозу населенным пунктам, промышленным предприятиям, оросительным сооружениям, выпускаются следующие виды гидрологических прогнозов:

- а) краткосрочные прогнозы стока (уровня, расхода);
- б) долгосрочные прогнозы стока (за месяц, квартал, весенне-летнее половодье);
- в) сверхдолгосрочные прогнозы стока.

Краткосрочные прогнозы подразделены на гидрометрические и гидрометеорологические. Рассмотрим следующие методы:

- а) метод тенденции;
- б) метод соответственных уровней;
- в) метод соответственных объемов;
- г) метод изохрон;
- д) метод прогноза ледовых явлений, основанный на учете теплообмена.

Первые три метода основаны на использование материалов гидрометрических наблюдений в русловой сети бассейна, характеризующих закономерностями движения паводочной волны. Метод изохрон и метод прогноза ледовых явлений основан еще и на метеорологических данных.

Метод тенденции. В основе метода тенденции лежит экстраполяция хода уровней или же расходов воды за определенный период, предшествующий моменту выпуска прогноза. Метод учитывает свойство гидрологических явлений сохранять тенденцию хода уровней либо расходов воды в течение времени. Это особенность наиболее свойственна

крупным рекам, в каковых сток создается с разных составляющих бассейна, и в ходе уровней (расходов) воды отмечаются длительные и плавные этапы роста и спада. Способы прогноза согласно методу тенденции подразделяют на две категории: а) прогноз по линейной тенденции, б) прогноз по нелинейной тенденции [1].

Прогноз по линейной тенденции основан на предвычислении изменения прогнозируемого элемента. Экстраполяция выполняется по прямой линии, наклон которой равен среднему наклону, предшествующего дню выпуска прогноза отрезка хода уровня или расхода воды, как показано на рисунке 1 [1].

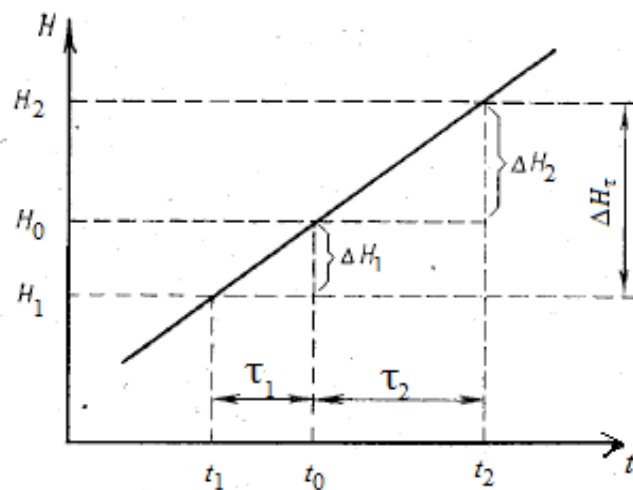


Рисунок 1.1 – Схема линейного изменения уровня воды во времени.

При прогнозе по способу линейной тенденции применяют следующие выражения:

$$H_{t_2} = H_{t_0} + \Delta H_{\tau_2}, \quad (1.1)$$

где $\Delta H_{\tau_2} = f(\Delta H_{\tau_1})$;

$$H_{t_2} = H_{t_1} + \Delta H_{\tau}, \quad (1.2)$$

где $\Delta H_{\tau} = f(\Delta H_{\tau_1})$.

Здесь t_0 – дата выпуска прогноза;

t_2 – дата, на которую прогнозируется уровень воды;

$\Delta H_{\tau_1}, \Delta H_{\tau_2}, \Delta H_{\tau}$ – изменение уровня воды за период τ_1, τ_2 и $\tau = \tau_1 + \tau_2$ [1].

Заблаговременность данного прогноза составляет обычно не более 5 дней.

Способ нелинейной тенденции применим на реках с продолжительным плавным характером стока в бездождевых условиях, когда величина притока в русловую сеть незначительна. Обычно такие условия фиксируются в период спада половодья или значительных паводков на крупных реках.

При увеличении заблаговременности прогнозов функция $\Delta H_{\tau} = f(\Delta H_{\tau_1})$ изменяет вид в зависимости от фазы гидрологического явления. Экстраполяция прогнозируемого элемента выполняется по криволинейной зависимости, при экстраполяции предусматривается предшествующая тенденция хода уровня или расхода [1].

В период спада режим стока формируется совместными запасами воды в русле и в бассейне, их распределением по частям бассейна, по протяженности реки, а кроме того быстротой их истощения. Непрямым признаком общих запасов воды в русле считается максимальный расход (уровень) воды. Поэтому большая часть методов прогноза базируется на зависимостях расходов в начальный период спада от максимального расхода половодья либо паводка. Прогнозные зависимости могут быть аналитического и графического вида.

Метод соответственных уровней. В методе соответственных уровней (расходов) воды закономерности движения паводочной волны отражаются в наиболее простой форме. Основное содержание метода заключается в установлении эмпирических связей между

соответственными уровнями (расходами) воды в верхнем и нижнем створах. При наличии информации об уровнях (расходах) воды в вышележащих створах можно предсказать, каким будет уровень или расход воды в прогнозном (нижнем) створе. Заблаговременность прогноза определяется как разность между сроками наступления соответственных уровней (расходов) воды в указанных створах, которую называют временем добегания (τ). Соответственными уровнями (расходами) воды считаются уровни (расходы) одной и той же фазы паводка на верхнем и нижнем створах участка реки (пики, впадины, уровни на подъеме и спаде и т.д.). Данный метод прогноза является приближенным. Основное его допущение заключается в наличии однозначной зависимости времени добегания от уровня (расхода) воды в верхнем створе [1].

Метод соответственных уровней (расходов) применим, когда нет оснований ожидать заметной трансформации волны.

Основным уравнением метода соответственных уровней (расходов) воды является:

$$Q_{H,t} = Q_{B,t-\tau} + \int_0^l q dl , \quad (1.3)$$

где $Q_{H,t}$ – расход воды в нижнем створе в момент времени t ;

$Q_{B,t-\tau}$ – расход воды в верхнем створе в момент времени $t-\tau$;

τ – время добегания воды от верхнего створа до нижнего;

q – боковая приточность;

l – длина участка [1].

Прогнозы по методу соответственных уровней выпускают для бесприточных, приточных участков и речной системы.

Прогноз на бесприточном участке реки. Под бесприточным участком реки подразумевается тот участок, на котором расход воды в нижнем створе превышает соответственный расход верхнего створа не более чем

на 20%, то есть $\frac{Q_{H,t}}{Q_{B,t-\tau}} \leq 1,2$.

Основное уравнение метода соответственных уровней (1.3) преобразуется в расчетное уравнение путем приближенного учета бокового притока воды Δq

$$\int_0^t q dl \approx \Delta q \approx \alpha Q_{B,t-\tau}, \quad (1.4)$$

где α – коэффициент бокового притока;

$Q_{B,t-\tau}$ – расход воды в верхнем створе в момент времени $t-\tau$.

Соотношение (1.4) основано на предположении постоянства распределения модулей стока по площади водосбора

$$\frac{M_{H,t}}{M_{B,t-\tau}} = const,$$

где $M_{H,t}$ – модуль стока в нижнем створе в момент времени t ;

$M_{B,t-\tau}$ – модуль стока в верхнем створе в момент времени $t-\tau$.

Если подставить (1.4) в (1.3), то получим

$$Q_{H,t} = (1 + \alpha) Q_{B,t-\tau}, \quad (1.5)$$

так как для участка $\alpha = const$.

$$Q_{H,t} = f(Q_{B,t-\tau}). \quad (1.6)$$

Зависимость (1.6) может быть получена при использовании уровней воды. Предположим, что между расходами и уровнями воды в створах имеется однозначная зависимость, имеющая вид

$$Q_H = (aH_H + [b])^n, \quad (1.7)$$

$$Q_B = (cH_B + [d])^m, \quad (1.8)$$

где H_H , H_B и Q_H , Q_B – уровни и расходы воды в нижнем и верхнем створах;
 a , b , c , d , n , m – коэффициенты уравнений.

Подставляя (1.7) и (1.8) в (1.5), находим что

$$(aH_{H,t} + [b])^n = (1 + \alpha)(cH_{B,t-\tau} + [d])^m.$$

После преобразований, принимая $n=m$, что допустимо для створов с одинаковыми поперечными профилями, получим

$$H_{H,t} = \frac{(1 + [\alpha])^{\frac{1}{n}} c H_{B,t-\tau}}{\alpha} + \frac{(1 + [\alpha])^{\frac{1}{n}} d}{\alpha} - \frac{b}{\alpha}. \quad (1.9)$$

При постоянных коэффициентах в уравнениях (1.7) и (1.8),

$$H_{H,t} = f(H_{B,t-\tau}). \quad (1.10)$$

Время добегания (τ) на бесприточных участках реки зависит от длины участка (l), уровня воды (H), уклона водной поверхности (I), формы поперечного сечения (k), шероховатости русла (n), а именно

$$\tau = f(l, H, I, k, n). \quad (1.11)$$

Но так как на конкретном участке реки его длина постоянна, а значения параметров k и n изменяются в зависимости от уровня воды, то выражение (1.11) можно упростить

$$\tau = f(H, I). \quad (1.12)$$

Главным способом нахождения времени добегания считается построение совмещенных графиков колебания уровней (расходов) верхнего и нижнего створов и выделение в них соответственных уровней. Под соответственными уровнями воды подразумевают схожие по фазе уровни, для которых свойственно прохождение через верхний и нижний створы одного и того же поперечного сечения паводка. На нижнем створе участка фазовооднородные уровни наблюдаются несколько позже согласно соотношению с прохождением их через верхний створ, данное время соответствует длительности добегания воды (τ) между створами. Так же время добегания определяется с помощью графика соответственных уровней воды. Задаваясь определенными уровнями воды на верхнем створе, по графику связи определяются соответственные уровни для нижнего створа [1].

Затем с помощью таблиц ежедневных уровней устанавливаются даты их наступления. Разность дат наступления соответственных уровней и есть время добегания.

Полученные данные используют для построения кривых времени добегания

$$\tau = f(H_{\text{в}}, I), \quad (1.13)$$

где $H_{\text{в}}$ – уровень воды в верхнем створе;

I – средний продольный уклон на участке [1].

Влияние уклона учитывается косвенно, так как сведения об уклоне чаще всего отсутствуют. Строят две кривые вида (1.13): одна для периода подъема, другая для периода спада уровней воды. Если же учесть фазы подъема и спада уровней не представляется возможным, проводится одна

общая кривая. Зависимость (1.13) дает возможность прогнозировать время добегания для паводка, проходящего через верхний створ.

Соответственные уровни воды проще всего определить по совмещенному графику колебания уровней воды верхнего и нижнего створов. Данный способ используется при довольно большом количестве переломных точек. Если же ход уровней плавный и существует только один пик в период половодья, в таком случае для нахождения соответственных уровней предложен следующий способ. В основе его находится условия о пропорциональности между высотами паводков и высотами соответственных точек, над основанием графика, изображающего ход уровней или расходов паводков в верхнем и нижнем створах, т. е. на соотношении

$$\frac{h_B}{h_H} = \frac{H_B}{H_H}, \quad (1.14)$$

где h_B и h_H – высоты соответственных точек над основанием паводка в верхнем и нижнем створах;

H_B и H_H – максимальная высота паводка над основанием в верхнем и нижнем створах [1].

Из выражения (1.14) можно определить соответственные значения h_H .

Иногда для определения соответственных уровней и времени добегания при плавном ходе стока строят совмещенные графики колебания изменения уровней воды. По этим графикам устанавливаются дополнительные соответственные точки и переносятся на совмещенные графики колебания уровней воды верхнего и нижнего створов.

А. В. Огиевский предложил способ определения соответственных уровней с помощью кривых расходов, построенных для верхнего и нижнего створов во втором и третьем квадрантах [1]. (Рисунок 1.2)

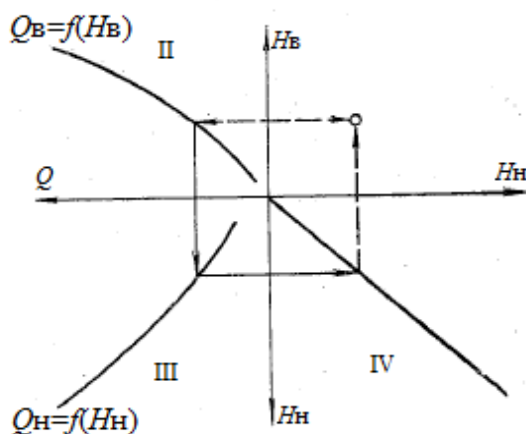


Рисунок 1.2 – Определение соответственных уровней путем использования кривых расходов воды.

Задаваясь значениями уровней воды в верхнем створе определяют с помощью кривых расходов соответственные уровни на нижнем створе. Из третьего квадранта полученные значения переносятся в первый, где и строится график связи соответственных уровней воды. Время добегания устанавливается по разности дат наступления соответственных уровней. Дата наступления установленного по графику связи уровня нижнего створа определяется по таблице ежедневных уровней [1].

Прогнозы на приточном участке реки. Отметим, что приточный участок имеет не менее двух верхних створов, для участка должно

выполняться условие $\frac{Q_{H,t}}{\sum_{i=1}^n Q_{B,t-\tau_i}} \leq 1,2$.

Основным уравнением метода является следующее выражение

$$Q_{H,t} = f \left(Q_{B,t-\tau_1} + \sum_{i=2}^n k_i Q_{B,t-\tau_i} \right), \quad (1.15)$$

где $Q_{H,t}$ – расход воды в нижнем створе;

$Q_{B,t-\tau_1}$ – расход воды в верхнем створе главной реки в момент времени $t - \tau_1$;

k_i – коэффициент относительной боковой приточности;

$Q_{B,t-\tau_i}$ – расход воды в створах притоков в момент времени $t-\tau_i$.

Зависимость (1.15) можно записать в уровненом варианте

$$H_{H,t} = f \left(H_{B,t-\tau_1} + \sum_{i=2}^{i=n} p_i H_{B,t-\tau_i} \right), \quad (1.16)$$

где $H_{H,t}$ – уровень воды в нижнем створе приточного участка в момент времени t ;

$H_{B,t-\tau_1}$ – уровень воды в верхнем створе главной реки в момент времени $t-\tau_1$;

p_i – коэффициент водности притока;

$H_{B,t-\tau_i}$ – уровень воды в верхнем створе притоков момент времени $t-\tau_i$ [1].

Время добегания на приточном участке зависит от интерференции паводочной волны (это помимо перечисленных ранее факторов (1.11)), которая проходит по притокам и главной реке [1].

На практике время добегание производится по средней скорости движения паводков на бесприточных или слабоприточных участках.

Прогноз на речной системе. Речной системой в методе соответственных уровней называют цепочку последовательно расположенных участков реки. Участки могут быть приточными и бесприточными. Для каждого участка устанавливается графическая связь соответственных уровней.

Рекомендуется выбирать участки с числом верхних створов не более двух и временем добегания от 2 до 5 суток. Створы должны быть вне зоны подпора от впадающих притоков или гидротехнических сооружений.

Метод соответственных объемов. Этот метод был предложен Г. П. Калининым для прогноза средних расходов воды за определенный период на сравнительно крупных реках с использованием в основном гидрометрических данных [1].

Рассмотрим бесприточный участок реки, ограниченный двумя створами (Q_B , Q_H), время добегания между которыми обозначим τ .

Объем воды на участке в момент времени t при допущении линейного изменения расходов воды по длине участка

$$W_t = \frac{Q_{B,t} + Q_{H,t}}{2} \cdot \tau. \quad (1.17)$$

Этот объем воды пройдет через нижний створ за время от t до $t+\tau$, то есть

$\sum_t^{t+\tau} Q_H = W_t$, откуда в средний расход воды через нижний створ за период от t до $t+\tau$ будет определяться объемом воды в русловой сети в момент времени t или

$$\bar{Q}_{H,t+\tau} = f(W_t) \quad (1.18)$$

Заблаговременность прогноза среднего расхода соответствует времени руслового добегания с части речного бассейна, ограниченной изохроной τ . Метод соответственных объемов дает возможность прогнозировать средние декадные и даже средние месячные затраты в средних и крупных реках, время руслового добегания на которых никак не меньше десяти дней. Метод используем в основном в летне-осенний и зимний сезоны в условиях незначительного притока воды в период действия прогноза. В период весеннего половодья и крупных дождевых паводков существенная приточность в течение периода, в который дается прогноз. Косвенно учесть приточность возможно посредством построения

связи (1.18) отдельно для периода подъема и спада половодья.

Для мониторинга максимума половодья рекомендуется использовать зависимости вида

$$Q_{max,t+\tau} = f(W_t) \quad (1.19)$$

Срок выпуска прогноза приурочивается к моменту прихода максимума половодья на одной из малых рек, где пик половодья из года в год наступает в более ранние сроки, а волна половодья одномодальна. Допустимо также за дату выпуска прогноза допускать среднюю дату пика половодья некоторых маленьких рек, в которых максимум начинается всегда ранее, чем в большой реке. Заблаговременность прогноза одинакова средней продолжительности сдвига между максимумом малой и большой реки. С целью предсказания времени прихода пика половодья возможно построение связи типа

$$\Delta\tau = f(W_t), \quad (1.20)$$

где $\Delta\tau$ – разность между датами пика половодья в створе большой реки и на малой реке [1].

Метод изохрон. В основе метода лежит прогноз стока по генетической формуле с использованием данных об осадках, выпадающих в бассейне реки [1]. Метод применяется при прогнозе дождевых паводков на небольших реках с площадью до 20 000 км². Заблаговременность прогноза обычно не превышает двух суток.

Выражение (1.21) называется генетической формулой стока.

$$q_T = f_1(x-p)_T + f_2(x-p)_{T-\Delta t} + \dots \quad (1.21)$$

)

где q_T – расход в замыкающем створе без грунтового стока в момент времени T ;

$f_1, f_2 \dots f_n$ – площадь, ограниченная изохроной;

$(x - p)_T$ – эффективный слой осадков с учетом потерь p [1].

Эта формула учитывает разновременность добегания осадков с различных частей бассейна.

После некоторых наблюдений, опыт показал, что вода по поверхности бассейна стекает не сплошным слоем, а отдельными ручейками и струями, таким образом, в процессе стекания часть воды теряется.

Равномерность выпадения осадков по площади бассейна зависит от принятой расчетной единицы времени Δt , определяющей период суммирования осадков. С увеличением Δt распределение осадков по площади бассейна будет более равномерным, но с возрастанием Δt уменьшается число единичных площадей n и точность расчетов по генетической формуле снижается [1].

Формула (1.21) не имеет заблаговременности, так как для расчета стока на момент T необходимо знать эффективный сток с первой площадью f_1 за этот же момент времени. Проведенные исследования показали, что первые ординаты кривой добегания имеют небольшую величину, так $f_1' + f_2'$ составляют менее 5% от всей площади бассейна. Это позволяет принять их равными нулю, что в небольшой степени скажется на точности прогнозов.

Прогноз по генетической формуле стока требует знания единичных площадей стекания (f_i'), хода осадков во времени (x) и учета потерь стока

(p).

Краткосрочные прогнозы ледовых явлений.

К краткосрочным прогнозам ледовых явлений относятся прогнозы осенних ледовых явлений (дат появления льда и установления ледостава). прогнозы весенних ледовых явлений (дат начала ледохода). прогноз максимальных заторных уровней воды и прогноз толщины льда в зимний период.

Заблаговременность этих прогнозов обычно не превышает 10 дней.

Предсказывание возникновения льда базируется на применении эмпирических зависимостей и теоретических методов, в основе которых находится расчет теплового баланса водной поверхности [1]. Для прогноза появления льда используются метеорологические данные.

Дата выпуска прогноза в эмпирических зависимостях совпадает с датой перехода среднесуточной температуры воздуха от положительным к отрицательным значениям (T_0).

Признаком теплоотдачи считается совокупность среднесуточных отрицательных температур атмосферы, необходимая чтобы появился лед. Такая зависимость имеет следующий вид

$$\sum t_{\square} = f(\theta). \quad (1.22)$$

Применяя краткосрочный прогноз температур воздуха определяют дату, к которой накапливается необходимая с целью вскрытия реки величина ($\sum t_{\square}$) [1]. Эта дата и берется за дату возникновения льда.

Прогноз начала ледостава. Формированию ледостава в реках предшествует последующее понижение температуры воздуха повышение объемов льдин, их соединение, увеличение заберегов. В какой-то момент в

реке возникают единичные неподвижные ледяные перемычки из смерзающихся льдин. Данные перемычки нередко в целом прослеживаются в местах с незначительными скоростями течения у поворотов русла. Под влиянием потока определенные перемычки рушатся, прочие же содействуют скапливанию и смерзанию подплывающих льдин. Со временем кромка ледяного поля передвигается вверх по течению как за счет приплывающих льдин, так и за счет ледообразования, водная поверхность между перемычками заполняется льдом – устанавливается ледостав. Подобным способом, в образование ледостава воздействуют условия, содействующие интенсивности повышения размера льдин, заберегов и их смерзанию, т. е. условия неявно определяющие теплоотдачу потока. За показатель теплоотдачи потока берется совокупность средних суточных отрицательных температур воздуха за период от даты появления льда, до даты наступления ледостава и критическая температура воздуха.

Определение сумм отрицательных температур воздуха, обеспечивающих начало ледостава, производится по зависимостям вида:

$$\sum_{T_{\text{лдст}}} t_{\square} = f(v_{\text{пр}})$$

$$\sum_{T_{\text{лдст}}} t_{\square} = f(H_{\text{пр}})$$

$$\sum t_{\square}$$

На графиках связи значений

и по нижнему краю поля

точек проводится огибающая, ее уравнение имеет вид

[1] .

Ледостав сохраняется, если отрицательные температуры воздуха в день наступления ледостава ниже критического значения. Это значение

устанавливается по зависимости [1].

При прогнозе ледостава используется прогноз температур воздуха на несколько дней вперед.

Прогнозы вскрытия рек. Весеннее оттепель вызывает стаивание снега в бассейне и поступление воды в русловую сеть. В то же время тает снег и на ледяном покрове. Снижение прочности тающего льда, его вспучивание вследствие подъема уровня воды приводит к отрыву ледяного покрова от берегов, возникновению закраин, трещин. В участках с быстрым течением, где ледяной покров наиболее тонкий, возникают зоны с чистой водой – промоины. Продолжающийся рост уровней и ослабление прочности ледяного покрова приводят к подвижке льда – движению ледяного поля вниз по течению.

Ледяной покров под воздействием тепла тает и становится менее прочным. Влияние механических сил потока приводит к взлому льда и его движению. Методы краткосрочных прогнозов вскрытия рек также можно подразделить на упрощенные (эмпирические) и детальные. Обширное использование нашли эмпирические методы. При изложении данных методов используем схему Ю. М. Алехина, на которой отмечены дата устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха от отрицательных к положительным значениям (T_0), дата вскрытия или начала ледохода (T_B). Слой льда на дату T_0 обозначена через h_0 . Совокупность средних суточных положительных температур воздуха за промежуток от T_0 до T_B обозначена через $\sum t_+$. Здесь же представлен ход уровней воды и промежуток N от даты T_0 до начала интенсивного роста

уровней воды[1].

Промежуток времени от даты устойчивого перехода температур воздуха через 0°C до даты вскрытия зависит от прочности льда, толщины льда и интенсивности притока тепла за этот период, то есть

$$t = f(h_0, D_t), \quad (1.31)$$

где h_0 – толщина льда;

D_t – приток тепла [1].

Прочность и толщина льда зависит от сумм средних суточных отрицательных и положительных температур воздуха

$$h_0 = f\left(\sum t_-; \sum t_+\right). \quad (1.32)$$

Разрушение ледяного покрова рек происходит, с одной стороны из-за потери прочности ледяного покрова и уменьшения его толщины, а с другой стороны под влиянием роста уровня воды и увеличение быстроты течения.

Условие начала разрушения ледяного покрова выражается следующим неравенством:

$$\sigma_h \leq f(\Delta H, H). \quad (1.33)$$

где σ_h - прочность ледяного покрова;

H – уровень воды перед началом таяния льда;

ΔH – подъем воды в момент вскрытия над уровнем воды в начале таяния льда [1].

Таким образом, при разработке прогнозов вскрытия рек необходимо предвычислять прочность льда и ход уровня воды.

За начало периода таяния принимается первый день после схода

снега со льда.

Долгосрочные прогнозы. Заблаговременность обычно 1 – 2 месяца. К основным видам долгосрочных прогнозов для водных объектов суши относятся:

- а) максимальные расходы и уровни весеннего половодья.
- б) сток за период половодья.
- в) меженный сток.
- г) сток горных рек в районах орошаемого земледелия за вегетационный и более короткие периоды .
- д) месячный, квартальный и сезонный приток воды в водохранилища;

Прогнозы ледовых явлений:

- а) появление льда,
- б) сроки вскрытия рек.

Долгосрочный прогноз максимальных расходов (уровней) весеннего половодья. Долгосрочный прогноз максимума весеннего стока представляет

интерес для многочисленных сфер хозяйства. В зависимости от максимального расхода (уровня) воды находится степень разлива рек и затопления прилегающей к ней местности. Заблаговременный прогноз максимального стока позволяет своевременно принять меры и уменьшить возможный ущерб от этого явления.

Сток половодий и в том числе максимальные расходы воды в период половодья в существенной мере обуславливаются климатическими условиями и факторами подстилающей поверхности. В развитие половодья и особенно его максимума значительное влияние оказывают такие условия, как снегозапасы, интенсивность снеготаяния, количество весенних осадков, условия формирования потерь талых вод. Не все данные факторы могут быть учтены при выпуске прогноза, так как отсутствуют прогнозы необходимых метеорологических величин. В связи с этим чаще

всего приходится ограничиваться приближенной зависимостью между максимальным расходом и объемом стока за период половодья [2].

Расчет максимального расхода воды осуществляется по формуле:

$$Q_{max} = \frac{K_p K_{\Phi} Y F}{T_c + t_{max}} \quad (1.34)$$

где K_p – коэффициент размерности;

– коэффициент формы гидрографа половодья;

Y – сток за половодье, мм;

F – площадь бассейна, км²;

T_c – продолжительность снеготаяния, сутки;

t_{max} – наибольшее время добегания воды в бассейне [2].

В бассейнах рек с относительно мало изменяющейся из года в год длительностью снеготаяния имеется достаточно тесная связь между Q_{max} и Y . Зависимость $Q_{max}=f(Y)$ линейная. При прогнозе максимального расхода половодья за значение Y принимается его прогнозируемое значение.

На реках лесной зоны связи $Q_{max}=f(Y)$ менее тесные из-за большой продолжительности снеготаяния и значительных осадках [2].

Долгосрочный прогноз притока воды в водохранилища. Общей физической основой методов долгосрочных прогнозов стока рек и притока воды в водохранилища являются уравнения водного баланса бассейна за определенный период. Чаще всего используются линейные, реже нелинейные физико-статистические, локальные зависимости стока (притока) от основных факторов, характеризующих количество поступившей в бассейн воды и потерь ее на инфильтрацию, испарение и задержание на поверхности бассейна.

Параметры локальных зависимостей определяются как по данным наблюдений (сток, высота и плотность снега, количество осадков, влажность и глубина промерзания почв), так и по косвенным характеристикам (водопоглотительная способность бассейна, снегозапасы в высокогорной части бассейна и др.) [2].

Долгосрочный прогноз стока рек и притока воды в водохранилища в период межени. Долгосрочный прогноз стока за период межени и его распределения во времени необходим при решении вопросов, связанных с хозяйственно-бытовым и промышленным водоснабжением, орошением, работой водного транспорта, горнодобывающей промышленности и др. Большое значение имеют прогнозы притока воды к ГЭС в межень как для станций, на которых отсутствуют значительные стокорегулирующие емкости, так и для станций с водохранилищами многолетнего или сезонного регулирования.

К.Г. Попов разработал метод долгосрочного прогноза меженного стока и его распределения во времени. Метод базируется на физико-статистической основе, которая включает:

- генетически аргументированную аналитическую аппроксимацию природной закономерности истощения бассейновых водных запасов как функцию времени;
- эмпирические (статистические) приемы определения параметров этой функции и непосредственных расчетных формул;
- возможность введения поправок, учитывающих влияние на сток переменных метеорологических факторов, за период заблаговременности прогноза, а также некоторую неадекватность принятой математической аппроксимации [2].

При долгосрочных прогнозах суммарного стока за меженный период и для установления его распределения по календарным периодам (кварталам и месяцам) используется следующее уравнение

$$Q_T = K_T Q_0 + (1 - K_T)q, \quad (1.35)$$

где $K_T = \frac{1 - e^{-\alpha T}}{\alpha T}$;

Q_T – средний расход за время T ;

Q_0 – расход воды в начале межени;

α и q – постоянные для данного бассейна параметры [2].

Долгосрочный прогноз ледовых явлений. Долгосрочные прогнозы используются при планировании сроков начала и окончания навигации, функционирования ледяных переправ и зимников, определения периода строительных работ воды и со льда. пропуску высоких вод и т.д.

Метод основанный на учете закономерностей атмосферных процессов. Одним из центральных этапов в разработке методики долгосрочных прогнозов является отыскание объективных характеристик атмосферных процессов [2].

В общем виде прогноз ледовых явлений осуществляется по зависимостям вида

$$\Delta D_t = f(I_{t-\delta}),$$

где ΔD_t – отклонение от нормы даты наступления ледового явления;

$I_{t-\delta}$ – показатель, характеризующий развитие атмосферных процессов в предшествующий период.

1.2 Прогностические зависимости, применяемые в Северо-Западном УГМС

Основными задачами отдела гидрологии являются: осуществление государственного учета вод по количественным показателям и ведение Государственного водного кадастра на территории Северо-Западного

УГМС; методическое руководство гидрологической, гидрометеорологической и морской сетью наблюдений; изучение гидрологического режима поверхностных вод суши на территории Северо-Западного УГМС, режима водной системы Ладожское озеро – р. Нева Невская губа – восточная часть Финского залива с учётом антропогенных изменений, а также потребностей в гидрологической, гидрометеорологической информации; обеспечение сбора, обработки и предоставления потребителям гидрологической информации в соответствии с действующими нормативными документами; формирование и обобщение базы режимной гидрологической, гидрометеорологической информации в рамках автоматизированной системы по территории Северо-Западного УГМС.

Отдел гидрологических прогнозов следит за текущим состоянием водных объектов на территории Ленинградской, Псковской и Новгородской областей, составляет прогнозы водного режима крупных рек и озёр (среднемесячные уровни, максимальные уровни весеннего половодья и дождевых паводков, максимальный зажорный уровень на р. Неве, месячный и квартальный полезный приток в водохранилища ГЭС) и прогнозы ледового режима (сроки появления льда, образования ледостава на реках и озерах, вскрытия и очищения ото льда рек и озёр). В период весеннего половодья сотрудники группы выпускают гидрологические бюллетени, а в течение ледового периода – ледовые бюллетени по Ладожскому и Онежскому озерам.

При угрозе возникновения составляются предупреждения об опасных гидрологических явлениях, расположенных на территории Ленинградской, Псковской и Новгородской областей.

В течение ледового периода отдел выпускает ежедневные ледовые сводки по фарватерам и ежедневные карты распределения льда по Финскому, Рижскому заливам и южной части Ботнического залива, ледовые бюллетени; составляет долгосрочные прогнозы сроков появления

льда, замерзания, взлома припая и сроков очищения ото льда по пунктам восточной части Финского залива, подекадный прогноз ледовой обстановки по фарватеру на ближайший месяц [3].

1.3 Постановка цели и задач исследования

Цель работы заключается в изучении методов выделения цикличности (периодичности) в рядах стока и применение результатов этих методов для целей краткосрочного прогнозирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- сформировать базу данных для исследования;
- изучить методы для выявления цикличности водности:
 - разностно-интегральная кривая
 - коэффициент корреляции между рядами смежных лет
 - метод Шустера
 - метод Фурье;
- применение методов для исследуемых рек;
- провести поверочный прогноз, основанный на разложении в ряд Фурье.

2 ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования были сформированы базы данных среднесуточных расходов воды рек Северо-Западного региона. Фрагменты базы данных представлены в таблицах 2.1 – 2.3. Данные были взяты из гидрологических ежегодников, том 1 бассейн Балтийского моря, выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. Период представленных расходов составляет 25 лет, с 1955 по 1980 года [4 – 29].

Для проведения исследования были выбраны следующие посты: р. Ловать – с. Сельцо, р. Ловать – г. Великие Луки, р. Кунья – г. Холм, р. Полисть – д. Подополье, р. Плюсса – с. Плюсса, р. Оредеж – с. Моровино, характеристики выбранных водосборов представлены в таблице 2.4.

Выбор речных бассейнов обоснован наличием продолжительных рядов наблюдений на них и зональными площадями водосборов.

Из таблиц 2.1 – 2.3 видно, что в период с I месяца по IV наблюдается межень. Половодья, в основном, начинаются с середины апреля и продолжаются до конца мая, в период осенне-зимней межени наблюдается большое количество паводков.

Вся база данных для исследования находится в приложении на диске.

Ниже представлена схема Северо-Западного региона (рисунок 2.1) и места расположения выбранных постов (рисунок 2.2).

Таблица 2.1 – Фрагмент базы данных среднесуточных расходов на р.
Куныя – г. Холм

Года		1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
Месяцы	Дни																	
1	1	35,0	7,58	40,6	14,8	24,7	11,80	70,9	6,21	4,39	2,65	7,60	5,23	1,16	14,20	9,68	11,30	8,58
1	2	32,9	8,81	33,8	15,0	22,2	9,90	62,8	6,05	4,00	2,85	7,60	5,24	1,14	13,00	9,48	10,90	8,58
1	3	30,1	8,35	33,9	15,4	20,8	7,54	57,6	6,91	3,68	2,86	7,60	4,93	1,08	11,80	9,44	10,50	8,65
1	4	27,7	8,10	32,8	15,9	19,8	7,20	54,3	7,35	3,78	2,85	7,44	5,15	1,11	11,30	9,20	10,00	8,74
1	5	26,7	8,32	30,5	15,4	19,0	7,20	55,1	7,66	3,57	2,86	7,14	5,15	1,19	10,70	9,00	9,62	8,74
1	6	25,8	8,28	26,3	14,7	20,0	7,20	66,4	8,28	3,57	2,86	7,43	5,15	1,10	10,30	8,77	9,19	8,74
1	7	24,4	8,68	23,8	13,9	21,3	7,54	96,0	8,69	3,30	2,77	7,27	5,02	1,04	9,75	8,33	9,53	8,74
1	8	22,3	8,40	21,4	12,8	21,8	7,54	99,0	9,24	3,30	2,77	6,84	4,90	3,97	8,88	7,96	9,53	8,61
1	9	21,9	8,40	20,4	12,0	21,8	7,05	84,2	9,11	3,13	2,70	6,42	4,90	3,94	8,02	7,56	9,97	8,61
1	10	21,5	8,12	20,5	11,2	21,5	7,05	77,5	9,32	3,13	2,62	6,02	4,32	3,98	7,38	7,20	9,99	8,44
1	11	21,0	8,12	21,6	10,8	21,9	7,20	70,0	9,11	3,13	2,62	5,74	4,45	1,04	6,75	6,62	9,40	8,68
1	12	21,0	7,84	21,3	10,0	22,1	7,20	68,2	8,98	2,96	2,56	5,36	4,74	1,05	6,17	6,23	9,40	8,68
1	13	20,6	7,84	20,9	9,76	21,8	7,20	64,6	8,60	2,81	2,56	4,91	3,90	1,19	5,76	6,06	9,82	8,68
1	14	20,5	8,23	20,9	9,76	21,0	7,05	60,2	8,36	2,67	2,50	4,45	3,92	1,15	5,76	6,05	9,22	9,10
1	15	20,5	7,94	20,0	9,88	20,3	7,05	54,3	8,40	2,67	2,56	4,03	3,49	1,15	5,34	6,35	9,50	9,54
1	16	19,4	8,29	19,1	10,2	19,4	7,05	32,4	8,42	2,52	2,50	3,92	3,30	1,15	4,82	6,43	9,35	9,35
1	17	19,4	8,29	19,1	10,4	18,1	6,89	15,2	8,21	2,45	2,57	3,60	3,72	1,15	4,59	6,24	9,50	9,59
1	18	18,9	8,37	18,3	10,8	17,0	6,55	13,9	8,03	2,45	2,44	3,33	3,02	1,05	4,36	6,60	9,59	9,64
1	19	19,6	8,37	17,4	11,2	15,4	6,55	16,8	7,68	2,45	2,38	3,23	2,33	1,05	3,91	6,05	9,59	9,44
1	20	19,2	8,37	16,5	11,2	14,1	6,55	17,6	7,32	2,23	2,32	3,13	2,34	1,05	3,91	5,70	9,33	9,27
1	21	19,2	8,76	16,1	11,0	13,6	6,24	20,7	8,26	2,13	2,32	3,13	2,74	1,05	3,91	5,02	9,40	9,49
1	22	18,1	9,91	17,2	10,9	12,9	6,24	20,2	8,75	2,08	2,19	3,13	2,65	1,01	4,25	4,56	9,10	9,72
1	23	18,1	9,91	18,0	10,7	13,0	6,24	19,8	9,43	2,02	2,19	3,23	2,65	0,96	4,97	4,08	9,30	9,72
1	24	17,6	9,91	18,3	10,1	14,9	6,00	19,5	10,2	2,02	2,18	3,23	2,65	0,96	4,58	4,23	9,44	9,72
1	25	17,3	10,1	19,3	9,90	17,2	5,85	18,9	11,2	2,02	2,30	3,23	2,74	0,91	4,80	4,55	9,16	10,6
1	26	16,5	10,3	19,9	9,72	19,4	5,47	18,6	12,6	2,13	2,29	3,50	2,65	0,91	5,29	4,70	9,16	11,5
1	27	16,9	10,3	19,9	9,54	22,3	5,24	18,4	13,6	2,16	2,16	3,60	2,65	0,91	5,23	4,53	8,87	12,3
1	28	16,5	10,7	20,5	9,36	22,3	5,02	18,9	14,2	2,28	1,99	3,50	2,74	1,01	5,23	4,70	8,85	14,4
1	29	16,8	10,2	21,1	9,36	22,3	5,02	18,3	14,4	2,28	1,88	3,50	2,65	1,06	5,75	4,84	8,70	19,1
1	30	17,4	10,1	22,1	9,36	21,8	5,02	18,0	14,2	2,28	1,76	3,60	2,65	1,06	5,60	4,81	8,52	25,0
1	31	17,3	9,38	22,4	9,38	21,4	5,02	18,7	13,0	2,28	1,76	3,60	2,84	1,06	5,75	4,81	8,22	29,5
2	1	18,2	9,10	23,1	9,54	20,4	5,02	18,8	12,0	2,28	1,82	3,60	2,94	1,06	6,29	4,97	8,04	30,7
2	2	20,0	9,10	24,2	9,54	19,0	5,02	19,3	11,2	2,35	1,75	3,60	3,02	1,06	6,81	5,10	8,04	30,3
2	3	23,4	8,76	25,6	9,54	18,0	5,02	20,4	10,5	2,35	1,75	3,60	2,94	1,06	7,31	5,04	7,88	28,8
2	4	27,0	8,55	26,1	9,35	17,2	5,02	21,2	9,83	2,33	1,80	3,60	2,37	1,06	7,64	5,20	8,16	26,4
2	5	30,4	8,05	26,9	9,65	16,3	5,02	21,4	9,34	2,33	1,85	3,60	2,62	1,06	7,64	5,04	7,84	25,4
2	6	35,8	7,73	26,6	9,60	15,5	5,02	21,4	9,17	2,45	1,85	3,71	2,37	1,17	8,29	4,85	7,84	25,4
2	7	43,3	7,41	30,6	9,80	15,1	5,02	21,9	8,69	2,58	1,84	3,60	2,30	1,17	8,67	5,00	8,00	23,9
2	8	51,8	7,08	41,1	9,95	14,6	4,91	21,7	8,53	2,58	1,88	3,60	2,27	1,23	9,02	5,00	7,84	23,5
2	9	54,1	6,28	45,7	10,1	13,9	4,77	21,4	8,21	2,64	1,88	3,60	1,94	1,29	9,21	5,00	7,84	22,2
2	10	55,1	5,83	48,0	9,89	13,3	5,02	21,4	8,05	2,60	1,93	3,60	1,82	1,29	9,02	5,00	7,50	20,6
2	11	53,0	5,53	46,8	10,2	12,5	5,15	21,2	7,89	2,68	1,93	3,70	1,38	1,29	8,67	4,66	7,50	19,3
2	12	49,8	5,34	47,2	10,2	12,1	4,91	21,7	7,73	2,68	1,93	3,70	1,82	1,29	8,83	4,54	7,50	18,7
2	13	48,3	5,02	50,0	10,0	11,8	4,91	21,7	7,85	2,60	1,98	3,76	1,75	1,34	8,35	4,42	7,50	17,7
2	14	46,3	4,91	52,0	10,3	11,4	5,04	21,4	7,41	2,54	1,98	3,65	1,88	1,39	7,80	4,27	7,34	17,1
2	15	43,8	5,15	52,8	11,0	10,9	5,17	21,8	6,82	2,54	1,86	3,74	1,92	1,34	7,35	4,27	7,34	16,5
2	16	40,9	5,15	52,4	11,8	10,6	5,04	21,8	6,66	2,54	1,86	3,94	1,92	1,34	6,91	4,27	7,50	15,0

Таблица 2.2 – Фрагмент базы данных среднесуточных расходов по р.
Ловать – г. Великие Луки

Года		1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
Месяць	Дни																	
3	17	13,6	6,76	16,2	25,5	18,0	3,16	54,4	12,5	10,30	4,12	8,46	19,2	9,02	3,13	5,13	7,16	7,44
3	18	13,5	6,76	15,2	25,3	18,1	3,19	55,1	12,2	10,30	4,12	8,54	18,9	9,68	4,34	5,13	7,04	7,50
3	19	13,5	6,76	14,8	25,7	18,4	3,42	57,7	12,0	10,30	3,96	8,76	18,5	10,6	3,02	5,13	7,01	7,80
3	20	13,3	6,76	14,7	25,7	18,2	3,39	57,7	11,6	10,30	3,98	8,76	18,8	13,4	3,26	5,13	6,93	8,42
3	21	13,3	6,79	14,9	25,8	18,5	3,39	55,7	11,4	10,30	3,96	9,39	19,1	12,2	5,66	5,07	7,18	9,23
3	22	13,3	6,79	15,1	25,5	19,1	3,57	55,7	11,4	9,99	4,08	9,70	20,1	12,5	6,36	5,24	7,01	10,7
3	23	13,3	6,79	15,4	25,5	20,2	3,57	54,4	11,6	9,99	3,91	9,42	20,4	13,6	8,74	5,18	6,75	12,7
3	24	13,3	6,79	15,2	25,6	21,2	3,60	54,4	11,6	9,99	3,91	9,64	19,8	14,3	10,9	5,18	6,58	14,0
3	25	13,3	6,79	15,3	25,6	26,2	3,84	55,1	11,8	9,99	3,91	9,86	21,5	16,2	14,4	5,34	6,34	15,1
3	26	13,7	6,79	15,3	26,1	31,4	3,79	54,4	11,8	9,99	3,91	9,98	23,8	16,9	29,9	5,18	6,08	15,3
3	27	13,9	6,79	15,6	26,4	37,2	4,07	55,7	11,8	9,99	3,91	10,5	25,2	18,7	37,2	5,34	5,72	17,0
3	28	14,0	6,79	16,8	26,1	51,2	4,05	56,4	11,8	9,99	3,88	10,2	27,6	21,9	30,2	5,34	5,70	21,2
3	29	14,3	6,89	19,7	26,4	63,6	4,29	55,7	12,0	9,99	3,96	10,4	29,8	24,3	63,4	5,34	5,73	22,9
3	30	14,3	7,16	26,6	26,3	64,3	4,58	55,7	12,1	9,99	4,20	10,2	36,9	25,6	74,2	5,38	6,10	27,5
3	31	14,6	7,16	35,5	26,2	66,7	4,81	57,0	12,0	9,99	4,32	10,0	42,2	26,2	78,8	5,40	6,08	33,5
4	1	15,0	7,18	42,0	26,2	67,4	4,97	55,7	12,5	9,92	4,32	9,90	48,2	27,8	101	5,27	5,90	47,4
4	2	15,0	7,16	48,5	26,6	70,8	5,18	55,1	13,4	9,92	4,76	9,75	62,9	30,6	108	5,34	5,81	53,3
4	3	15,4	7,16	54,9	27,1	77,2	5,13	53,8	13,6	9,99	4,81	10,0	77,5	33,6	103	5,50	6,73	60,2
4	4	15,4	7,16	61,4	27,6	88,1	5,08	51,5	16,0	9,99	5,40	9,56	92,2	37,4	95,8	5,51	8,79	67,2
4	5	15,6	7,16	67,9	27,7	82,6	5,06	50,6	19,6	10,1	5,26	9,56	104	41,9	92,2	5,66	15,6	67,5
4	6	16,0	7,31	70,9	29,6	88,0	5,06	49,8	28,8	10,2	5,55	9,56	116	46,6	88,0	6,20	22,4	66,9
4	7	16,0	7,50	72,7	32,0	92,0	5,08	49,8	44,4	10,2	6,12	9,15	114	49,4	87,4	6,85	28,7	65,6
4	8	16,6	7,73	71,8	33,9	101	5,08	49,8	70,1	10,4	7,30	9,15	111	50,7	87,4	8,00	37,5	63,6
4	9	17,7	8,03	70,9	36,9	117	5,28	48,1	97,3	10,0	7,60	9,40	108	51,8	85,4	7,68	46,8	62,0
4	10	18,3	8,15	69,1	42,1	119	5,62	48,4	132	10,8	8,91	9,49	110	62,2	86,7	9,11	56,1	60,6
4	11	18,8	8,52	67,9	46,5	121	7,00	47,8	168	11,1	10,1	10,0	113	63,5	86,7	11,6	65,3	59,2
4	12	19,4	8,90	67,9	55,6	121	10,3	46,8	203	13,1	18,1	9,86	117	64,6	89,4	15,8	74,6	59,9
4	13	20,8	9,28	68,3	62,6	120	22,7	46,3	195	10,4	18,4	11,2	122	66,1	92,2	23,5	83,9	59,6
4	14	22,6	9,34	67,9	78,1	120	33,4	46,5	192	19,8	23,6	11,7	122	67,4	92,2	35,6	93,2	59,2
4	15	29,4	10,1	66,6	91,4	120	52,0	46,3	190	29,5	30,0	15,2	121	68,7	90,8	46,8	96,2	58,5
4	16	44,9	12,2	66,2	103	120	70,2	46,0	185	41,4	39,2	21,6	119	68,1	89,4	58,4	99,1	53,2
4	17	91,8	15,4	65,0	112	118	61,8	45,0	181	51,4	49,9	54,7	119	67,5	88,0	76,7	102	55,3
4	18	94,3	30,4	63,8	113	115	55,7	43,8	183	75,7	60,0	55,0	120	66,9	84,8	75,0	104	52,3
4	19	103	45,3	63,4	130	111	52,9	42,5	179	93,5	71,3	75,2	121	66,3	80,3	73,5	107	51,5
4	20	105	60,3	63,8	132	110	50,3	41,0	176	96,1	70,2	91,4	127	65,7	77,3	70,5	118	49,1
4	21	103	75,2	64,2	132	108	48,7	39,5	172	104	69,0	101,0	124	65,1	70,1	70,0	129	46,4
4	22	101	90,2	63,4	131	104	47,1	37,8	168	95,9	67,8	104,0	125	64,5	73,0	70,0	140	45,1
4	23	98,9	105	61,8	132	101	46,0	36,0	163	88,0	66,7	101,0	127	63,9	70,3	69,6	140	43,7
4	24	99,4	120	60,6	139	97,4	44,8	34,8	156	84,9	66,6	100,0	124	62,3	68,2	67,4	141	41,2
4	25	115	135	58,8	142	93,9	43,5	32,8	147	84,9	64,4	100,0	120	60,6	66,4	67,4	141	39,6
4	26	137	150	57,7	145	89,1	43,0	31,5	142	83,0	63,2	97,5	114	59,0	63,6	67,8	139	37,0
4	27	145	151	56,3	145	86,5	44,8	31,0	127	82,4	62,1	95,7	108	57,3	62,3	66,0	137	34,3
4	28	148	156	54,7	143	84,0	44,2	30,0	122	81,3	61,0	95,7	99,2	55,7	59,2	64,8	135	33,1
4	29	148	174	52,6	140	78,2	44,5	28,5	114	79,7	59,8	95,7	92,2	54,6	56,8	63,6	133	31,1
4	30	148	164	50,8	140	72,4	44,0	27,5	106	79,2	58,6	94,0	85,0	53,3	53,9	61,3	131	28,4
5	1	151	163	48,5	136	66,7	42,0	26,5	97,9	77,6	57,5	92,2	90,6	50,8	51,8	58,5	130	27,2
5	2	151	171	47,1	135	60,9	41,8	25,5	93,5	76,5	55,7	89,7	85,1	49,5	50,2	57,0	128	27,0

Таблица 2.3 – Фрагмент базы данных среднесуточных расходов по р.
Полисть – д. Подтополье

Года		1955	1956	1957	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
Месяцы	Дни																
11	8	3,74	5,60	24,5	0,75	32,4	5,20	11,0	7,03	0,64	1,81	1,59	4,45	7,00	0,63	1,38	6,46
11	9	3,69	5,60	23,6	0,75	31,0	5,20	10,1	9,38	0,66	1,81	1,53	5,09	6,46	0,63	1,58	6,90
11	10	3,44	5,59	22,5	0,75	29,6	5,40	8,73	10,5	0,67	1,81	1,47	7,90	6,28	0,70	2,16	7,21
11	11	3,40	5,59	22,3	1,34	31,3	5,40	9,86	11,4	0,52	1,54	1,41	9,90	6,28	0,76	2,12	4,64
11	12	3,60	5,59	21,4	3,09	30,6	2,75	7,96	11,8	0,47	1,21	1,53	9,25	5,92	0,70	2,22	4,20
11	13	3,51	5,59	20,8	1,90	27,0	3,24	6,64	11,8	0,52	1,20	1,65	9,25	5,56	0,77	2,37	4,99
11	14	3,36	5,58	19,8	2,01	21,8	2,74	6,52	11,6	0,53	0,95	1,77	16,5	5,19	1,34	2,92	5,78
11	15	3,42	5,58	18,7	1,72	20,6	3,04	8,27	11,6	0,60	0,80	1,89	16,8	4,83	1,72	4,82	6,34
11	16	3,49	5,58	18,5	0,95	16,7	2,74	6,60	12,7	0,69	0,80	2,01	11,7	4,47	3,05	7,60	5,94
11	17	3,28	5,58	18,7	1,28	17,5	2,25	8,27	16,4	0,78	0,85	2,13	8,82	4,10	6,09	10,30	5,26
11	18	3,24	5,58	18,3	0,68	16,6	2,65	8,06	21,2	0,78	0,96	2,25	10,6	3,74	6,66	7,72	6,08
11	19	2,98	5,84	18,8	0,52	15,8	3,04	5,93	19,2	0,78	0,96	2,37	18,4	3,31	5,71	6,05	5,79
11	20	3,96	5,71	17,8	0,44	14,9	2,25	8,43	24,4	0,60	0,96	2,49	15,4	3,58	4,76	8,82	5,44
11	21	4,07	5,58	18,6	0,42	14,1	2,30	16,1	35,8	0,69	1,04	2,61	8,64	3,58	3,81	8,08	5,18
11	22	3,67	5,23	17,9	0,39	13,2	3,22	53,2	30,4	0,32	0,94	2,73	9,25	3,47	12,3	7,36	5,00
11	23	3,39	5,23	16,9	0,41	14,5	3,70	102	27,1	0,50	0,92	2,85	17,0	3,47	12,2	6,84	5,19
11	24	3,78	5,23	15,2	0,48	17,0	6,09	85,8	25,4	0,58	0,94	2,98	18,6	3,69	11,8	5,30	5,18
11	25	3,56	5,23	12,2	0,64	15,5	6,87	62,5	23,6	0,67	0,80	3,10	17,5	3,85	13,3	4,01	5,08
11	26	3,29	5,49	10,8	0,46	16,0	8,70	50,6	21,8	0,76	0,80	3,22	15,9	3,91	19,3	3,44	4,87
11	27	3,23	5,76	8,85	0,48	16,0	6,56	46,8	20,1	0,76	0,80	3,34	14,4	4,86	20,0	3,06	4,63
11	28	3,57	5,63	6,89	0,50	27,6	7,52	39,2	18,4	0,76	0,80	3,46	12,8	4,62	19,3	4,58	4,54
11	29	3,70	5,41	7,73	0,47	52,0	7,69	41,1	16,6	0,87	0,88	3,58	11,2	5,21	16,3	4,69	4,32
11	30	3,58	5,67	8,06	0,48	49,8	4,43	36,9	14,8	0,85	0,95	3,35	8,43	7,00	12,7	4,90	4,12
12	1	3,61	5,67	8,99	0,46	48,0	6,11	36,4	13,1	0,85	0,99	3,12	7,24	9,01	9,50	5,24	4,23
12	2	3,44	5,58	9,57	0,43	30,9	8,61	39,0	11,3	0,85	0,99	2,89	11,5	6,56	10,3	5,74	4,30
12	3	3,32	5,70	10,2	0,42	30,9	7,87	37,1	9,56	0,85	0,99	2,66	10,2	6,36	12,4	5,49	3,83
12	4	3,25	5,74	11,2	0,36	30,9	11,2	39,6	7,80	0,90	0,95	2,42	8,64	6,78	21,6	4,69	3,55
12	5	2,96	5,49	11,8	0,38	36,2	14,2	27,7	7,29	1,02	0,99	2,19	5,84	6,46	15,8	3,66	3,13
12	6	3,06	5,14	12,0	0,46	45,5	15,7	31,0	6,48	1,17	0,99	1,96	5,96	5,97	9,37	3,85	2,86
12	7	3,09	5,27	11,4	0,62	41,9	15,0	38,6	6,15	1,06	1,07	1,73	5,74	6,56	9,22	5,62	2,86
12	8	2,56	5,64	11,4	0,71	35,6	11,1	44,9	5,88	1,31	1,12	1,50	5,86	7,36	16,2	5,79	2,86
12	9	2,88	5,64	11,3	0,68	37,7	14,5	39,0	5,78	1,68	2,77	1,48	6,27	7,69	26,3	5,75	2,95
12	10	2,67	5,54	11,4	0,54	39,5	11,0	28,2	5,57	1,74	2,77	1,47	6,27	5,64	20,9	4,95	3,86
12	11	2,68	5,54	11,4	0,57	39,5	8,32	31,9	5,10	1,74	1,81	1,46	5,94	5,10	17,3	3,55	9,07
12	12	2,54	5,42	11,0	0,61	37,4	7,82	25,1	5,10	1,68	1,81	1,44	6,05	5,10	13,2	3,69	5,97
12	13	2,53	5,30	10,8	0,63	36,9	7,33	17,5	5,10	1,96	1,52	1,42	4,85	5,20	10,3	3,63	4,35
12	14	2,46	5,92	10,8	0,65	35,1	6,84	17,0	5,24	2,11	1,06	1,41	3,97	5,12	8,12	3,99	3,65
12	15	2,20	6,26	10,8	0,71	34,0	6,34	13,2	4,82	2,11	1,08	1,39	3,75	5,03	7,33	5,17	3,56
12	16	2,18	6,44	10,7	0,73	29,3	5,62	11,6	4,80	2,19	0,96	1,38	11,2	4,94	6,88	9,82	2,55
12	17	2,17	7,79	10,4	0,71	31,0	6,12	10,8	4,58	2,27	0,96	1,36	5,54	4,03	6,03	8,28	2,29
12	18	2,11	15,0	10,1	0,83	27,5	5,59	8,32	4,50	2,27	0,78	1,34	3,95	4,36	5,16	6,56	2,09
12	19	2,17	24,7	9,84	0,94	28,7	5,50	7,82	4,41	2,27	0,71	1,33	3,78	4,40	4,95	5,32	2,05
12	20	2,15	31,4	9,78	0,89	29,6	7,83	6,67	4,42	2,35	0,68	1,31	4,28	4,39	3,71	3,09	1,98
12	21	2,20	32,6	9,78	0,93	30,6	5,29	6,38	4,40	2,19	0,68	1,30	4,29	4,20	3,19	2,26	1,95
12	22	2,25	28,0	10,1	0,93	32,1	4,90	6,99	4,30	2,19	0,74	1,28	4,31	3,94	2,68	2,06	2,06
12	23	2,30	21,7	10,3	0,97	38,5	4,52	7,18	4,30	2,19	0,77	1,26	4,32	3,68	2,45	1,84	2,43
12	24	2,30	16,6	10,6	1,01	36,9	3,85	7,64	4,12	2,19	0,86	1,25	4,84	3,61	2,45	1,68	2,33



Рисунок 2.1 – Схема Северо-Западного региона.

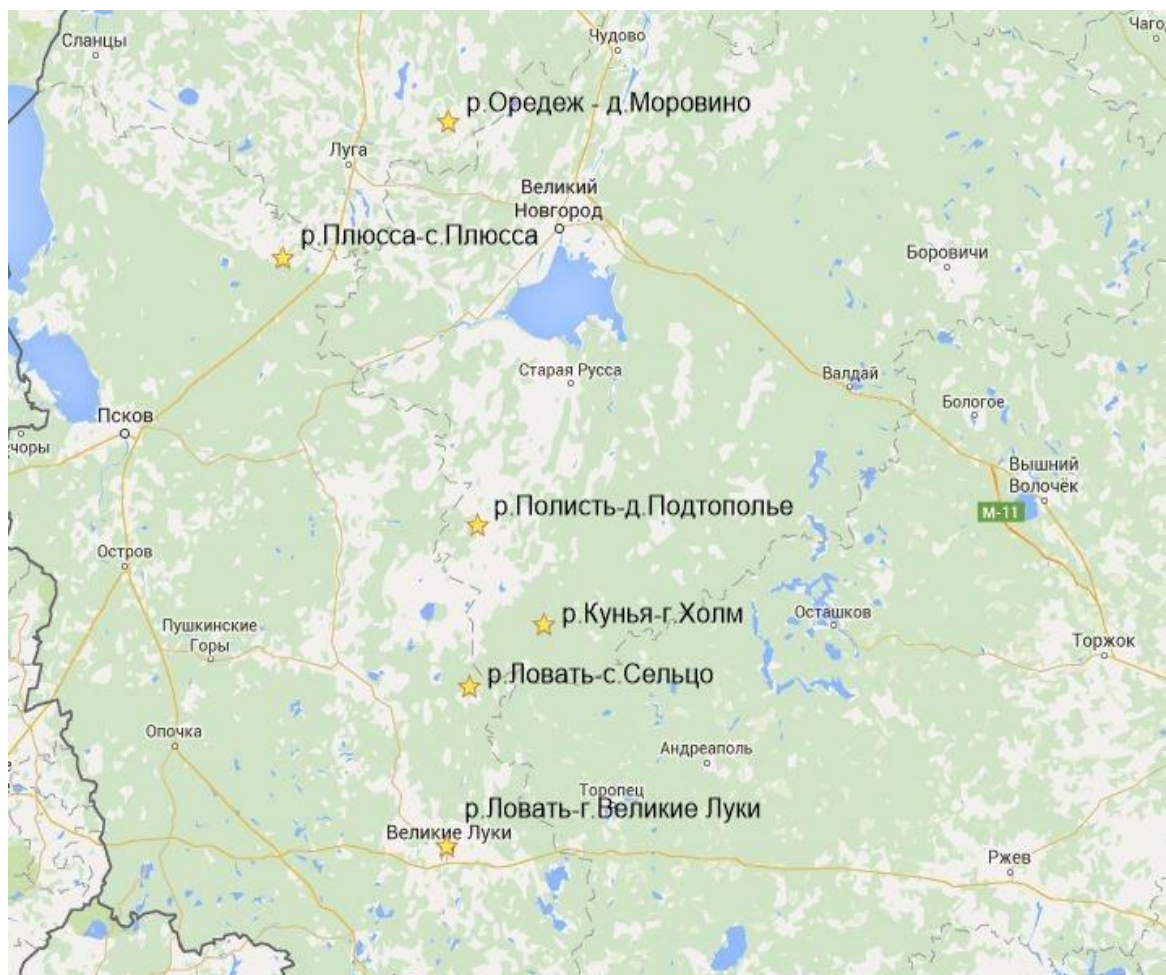


Рисунок 2.2 – Местоположение гидрологических станций, учитываемых в исследовании.

Гидрологические станции для исследования в данной работе были выбраны равномерно. Как видно на рисунке 2.2 все посты расположены в одном районе и имеют одинаковые физико-географические характеристики, площади водосборов примерно одинаковые.

Таблица 2.4 – Характеристика выбранных водосборов

Река – пункт	Координаты поста. град.		Период наблюдений. гг.	F , км ²	q , л/с км ²	h , мм
	широта	долгота				
р. Кунья – г. Холм	57° 08'	31,09	1955-1980	5090	6,48	5523126

Река – пункт	Координаты поста. град.		Период наблюдений. гг.	F , км ²	q , л/с км ²	h , мм
	широта	долгота				
р. Ловать – г. Великие Луки	56° 21’	30,31	1955-1980	3270	6,18	4833790
р. Ловать – д. Сельцо	56° 55’	30,41	1955-1980	8230	6,31	5077199
р. Оредеж – д. Моровино	58° 53’	30,31	1955-1980	2890	7,14	5337535
р. Плюсса – с. Плюсса	58° 25’	29,24	1955-1980	1450	7,02	5156532
р.Полисть – д.Подтополье	57° 29’	30,43	1955-1980	2240	5,68	4221351

На рисунке 2.3 и 2.4 показаны хронологические графики некоторых постов, а именно р. Полисть – д. Подтополье и р. Оредеж – д. Моровино. Все хронологические графики годового разрешения представлены в приложениях А, Б, В, Г.

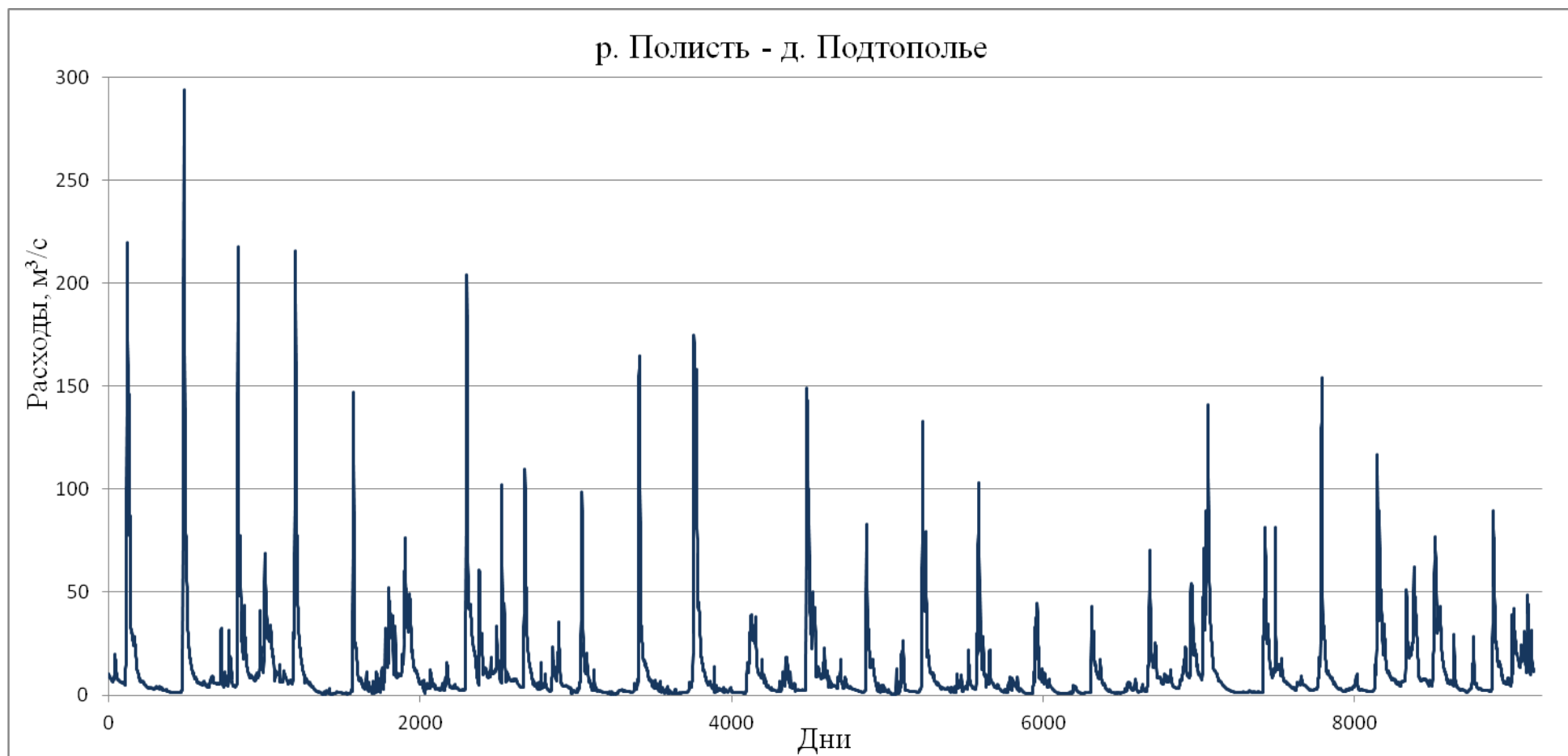


Рисунок 2.3 – Хронологический график годового разрешения.

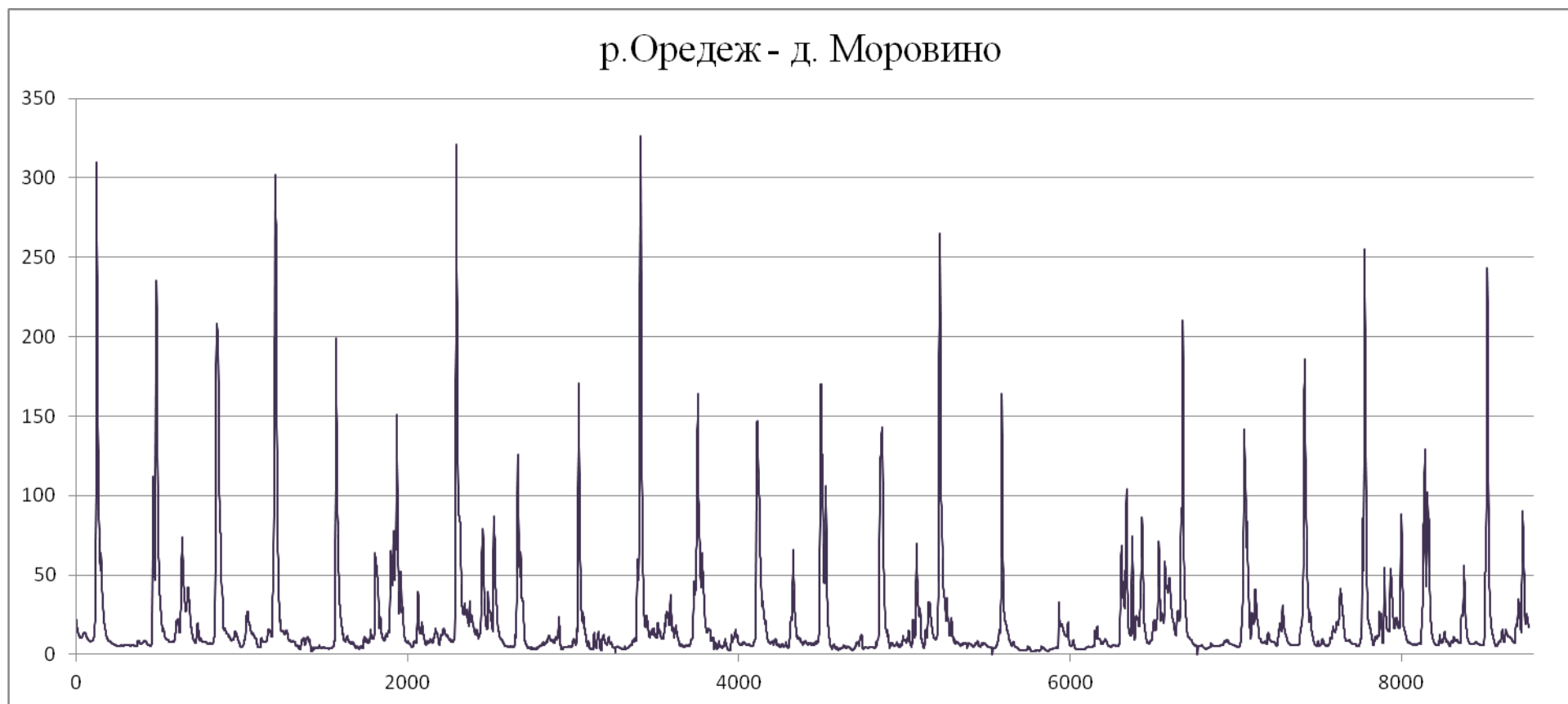


Рисунок 2.4 – Хронологический график годового разрешения.



Рисунок 2.5 – Хронологический график для 1957 года суточного разрешения.



Рисунок 2.6 – Хронологический график за 1967 год суточного разрешения.



Рисунок 2.7 – Хронологический график за 1957 год суточного разрешения

На рисунке 2.3 и 2.4 можно увидеть, что гидрографы имеют схожие показатели, но если рассматривать по отдельности (рисунки 2.5 – 2.7), то видно, что каждый из них имеет свою особенность. Периоды половодья и паводков могут сильно различаться по значениям, что может сказаться на дальнейшем исследовании.

3 МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ЦИКЛИЧНОСТИ (ПЕРИОДИЧНОСТИ) ВОДНОСТИ

3.1 Разностно-интегральные кривые

Анализ изменений речного стока за наиболее длительные периоды наблюдений показывает наличие постоянных колебаний расходов воды по годам. Колебания стока во времени проявляются в форме последовательной смены многоводных и маловодных групп лет, причем они отличаются друг от друга как по отклонению от среднего значения стока за весь рассматриваемый период, так и по продолжительности той или иной группы лет.

Эти группы образуют циклы разной продолжительности и разного размаха колебаний водности. Период времени в течение, которого наблюдается увеличение водности, называется многоводной фазой цикла, а при постоянном уменьшении маловодной фазой.

Причиной циклических колебаний речного стока прежде всего являются климатические факторы, которые в свою очередь обусловлены влиянием астрофизических факторов. В схематизированном виде это можно представить следующим образом (рисунок 3.1.1).

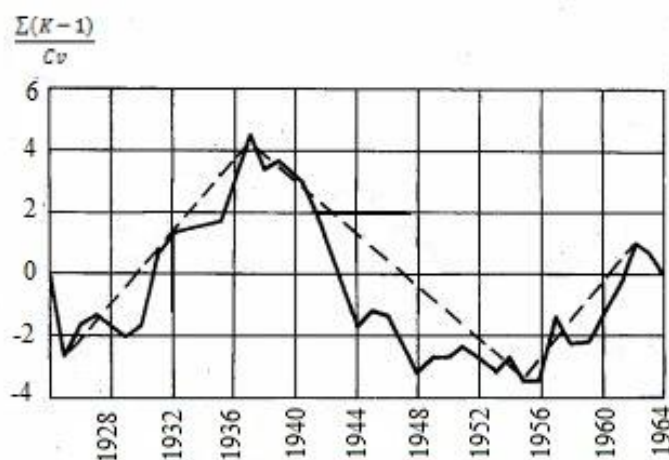


Рисунок 3.1.1 – Разностно-интегральная кривая.

Метод расчета разностной интегральной кривой состоит в том, что сперва для данного ряда наблюдений производится расчет модульных коэффициентов

$$K = \frac{Q_i}{\bar{Q}}, \quad (3.1.1)$$

где Q_i – единичного расхода;

$\bar{Q}$ – средний расход.

Затем определяют их отклонения от середины $K-1$ и, наконец, производится построение интегральной кривой путем последовательного суммирования этих отклонений по выражению

$$\sum_1^i (K - 1) = f(t) \quad (3.1.2)$$

Таким образом, разностная интегральная кривая представляет собой нарастающую сумму отклонений модульных коэффициентов от среднемноголетнего значения ряда [30].

3.2 Корреляция различных периодов

Определение гидрологических характеристик часто основано на использовании уравнений, описывающих связь рассчитываемой характеристики с определяющими ее факторами.

Теснота связи исследуемых характеристик оценивается коэффициентом корреляции r (парная корреляция). Связи могут быть линейными и нелинейными. В последнем случае обычно стараются их преобразовать к линейному виду (нормализовать).

В основе лежит построение графических или аналитических зависимостей рассматриваемых характеристик, проведение линии связи и

определение ее параметров. В случае прямолинейного вида связи оценка неизвестных коэффициентов регрессии и дисперсии осуществляется методом наименьших квадратов. При криволинейности (нелинейность) связи необходимо преобразовать ее в прямую путем использования специальных клетчаток или линеаризации зависимостей, например, путем логарифмирования одной или обеих переменных. Корректность использования метода парной корреляции подразумевает стационарность (постоянство) связи между исследуемыми переменными, т. е. теснота связи и коэффициенты регрессии не должны заметно меняться с изменением объема выборки (меняться в пределах допустимых погрешностей).

При оценке надежности линейной зависимостей коэффициент корреляции определяется по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i - (\bar{x}) \bar{y}_i - \bar{y}}{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i - (x)^2 \sum_{i=1}^n \bar{y}_i - (y)^2} , \quad (3.2.1)$$

где x_i и y_i – случайные переменные (члены ряда рассматриваемых характеристик, например, сток воды);

$\bar{x}$ и $\bar{y}$ – среднеарифметические значения переменных.

Значение коэффициента корреляции может быть положительным и отрицательным, изменяясь в пределах $\pm 1,0$. В случае прямой связи (возрастание функции с увеличением аргумента) коэффициент корреляции является положительным. При обратной связи (уменьшение функции с увеличением аргумента) он будет отрицательным. Чем ближе значение коэффициента корреляции к единице, тем теснее (и надежнее) рассматриваемая зависимость.

При гидрологических расчетах значение коэффициента корреляции обычно считается достаточным, если $r > 0,7$ [31].

3.3 Метод Шустера

Впервые данный метод был применен в 1898 году, один из наиболее известных и наиболее важных инструментов исследования цикла. Периодограмма ищет циклы, анализируя данные в табличной форме. Имеющиеся данные будут в хронологическом порядке разбиты на колонки, причем количество используемых колонок равно длине цикла, который отыскивается. Кроме того, следует отметить, одно важное достоинство метода периодограмм, а именно,

высокую избирательность по сравнению с методом спектрального анализа. Поэтому в случае коротких рядов наблюдений данный метод может иметь и самостоятельное значение.

Для каждого отыскиваемого цикла определенной длины приходится строить отдельную периодограмму. Например, если у нас есть годовые данные за 135 лет, и мы хотели бы проверить, присутствуют ли в них 9-годовые циклы, нам пришлось бы разбивать данные на девять колонок и пятнадцать строк. Данные в первой точке были бы помещены в первую строку первой колонки; данные во второй точке – в строку 1 и колонку 2; данные в девятой точке – в строку 1 и колонку 9; данные в десятой точке – в строку 2 и колонку 1. Таблица заполняется таким образом, пока данные в 135 точке не будут помещены в 9 колонку 15 строки. Затем для каждой колонки было бы выведено среднее значение. Если бы в данных присутствовал 9-годовой цикл, мы бы ожидали, что среднее значение для одной колонки будет показывать значительный максимум, а для другой колонки – значительный минимум.

Затем для каждой колонки рассчитывается сумма и среднее значение. Если в данных присутствует 12-годовой цикл, то среднее значение для одной колонки будет показывать значительный максимум, а для другой колонки – значительный минимум. Если 12-годовой цикл

отсутствует, то средние значения для колонок должны примерно совпадать. Так же следует вычислить коэффициенты в разложении Фурье a_T и b_T :

$$a_T = \frac{2}{T} * \sum_{t=0}^{T-1} x_t * \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right). \quad (3.3.1)$$

$$b_T = \frac{2}{T} * \sum_{t=0}^{T-1} x_t * \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right). \quad (3.3.2)$$

Данные коэффициенты входят в формулу определения амплитуды A_T .

$$A_T = \sqrt{a_T^2 + b_T^2}. \quad (3.3.3)$$

После вычисления амплитуды строится график, где по оси абсцисс откладываются периоды, а по оси ординат – амплитуды соответствующих периодов [32].

4 ВЫЯВЛЕНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ В РЯДАХ СТОКА РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

Разностно-интегральные кривые

Для выявления периодичности в рядах стока Северо-Западного региона были рассчитаны модульные отклонения, по которым построены разностно-интегральные кривые, представленные на рисунках 4.1 – 4.6.

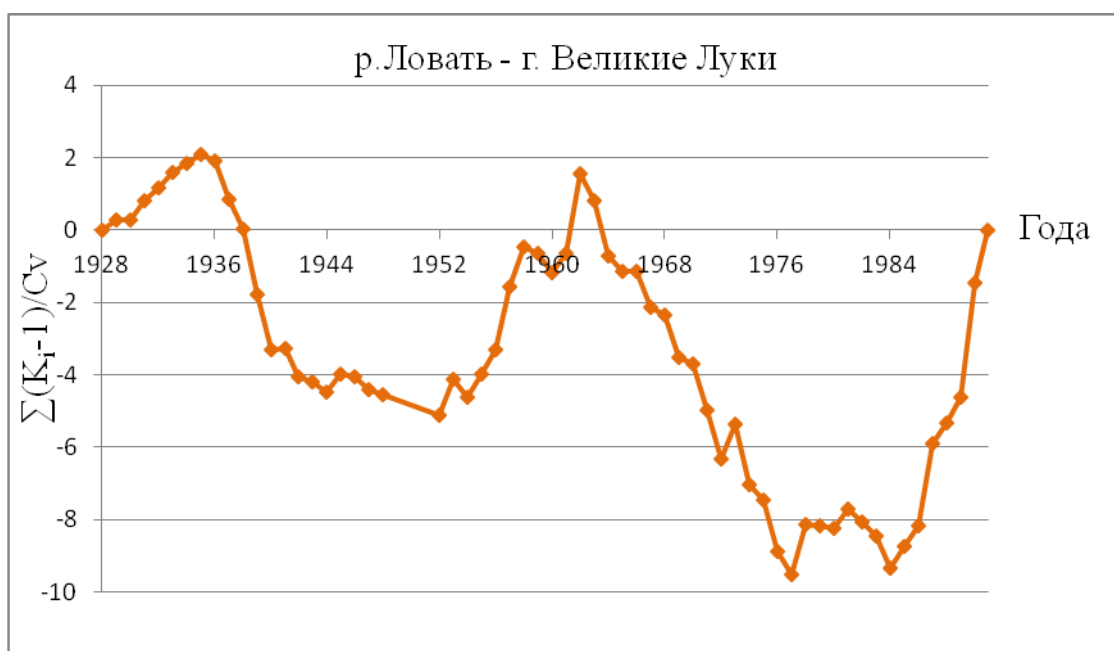


Рисунок 4.1 – Разностно-интегральная кривая.

На посту р. Ловать – г. Великие Луки за период 1929 – 1990 г. (рисунок 4.1) выделяется два маловодных цикла, с 1938 года по 1952 год и с 1963 года по 1977 год, а с 1954 года по 1962 год и с 1984 года по 1990 год наблюдается два многоводных цикла.



Рисунок 4.2 – Разностно-интегральная кривая.

На р. Плюсса (рисунок 4.2) рассматривался период 1933 – 1990 года, в этот период наблюдается три многоводных цикла, первый с 1933 года по 1941 год, второй с 1952 год по 1962 год, третий с 1981 год. по 1990год. И выделяются два маловодных цикла 1939 – 1949 года и 1963 – 1977 года.

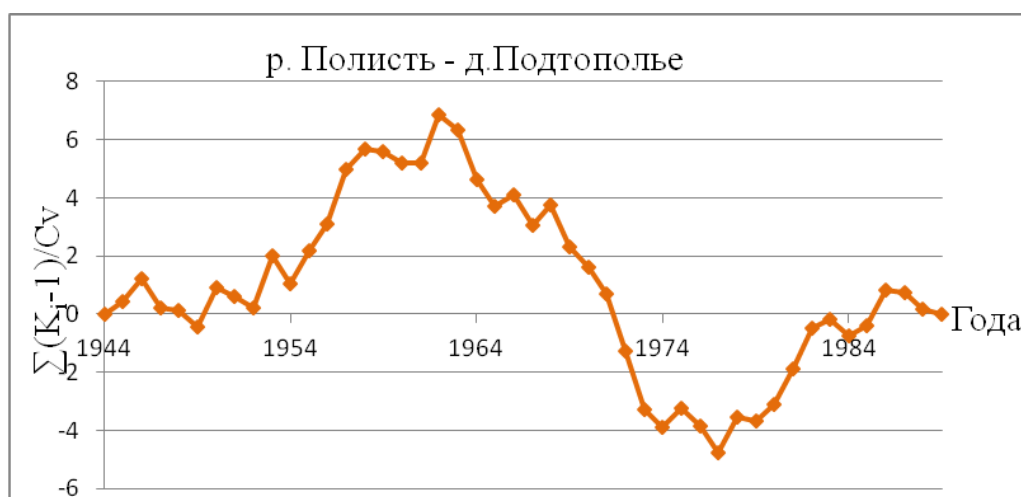


Рисунок 4.3 – Разностно-интегральная кривая.

На посту р. Полисть – д. Подтополье (рисунок 4.3) видно, что маловодный цикл выделяется с 1946 год по 1954 год и с 1963 года по 1977 год. Многоводный цикл наблюдается с 1955 года по 1962 год.

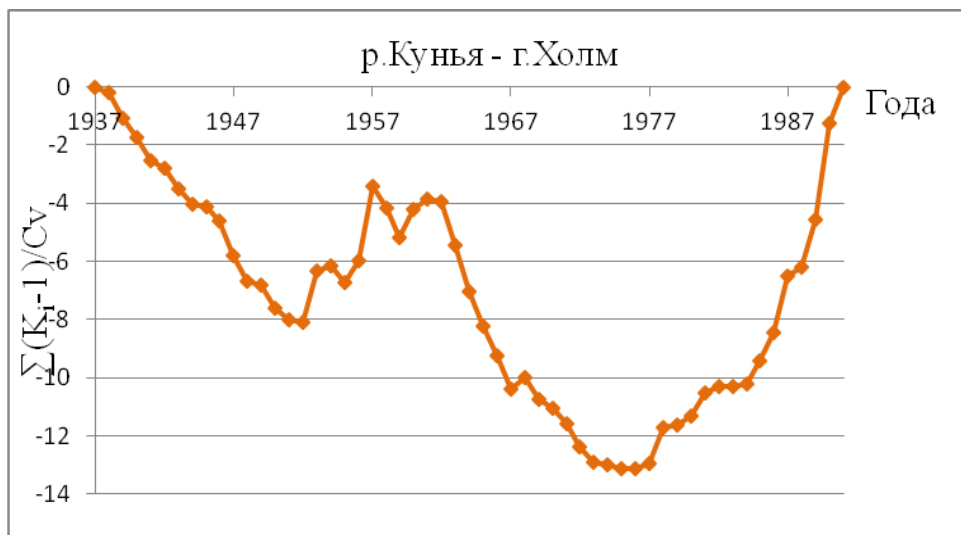


Рисунок 4.4 – Разностно-интегральная кривая.

На посту р.Кузня – г. Холм (рисунок 4.4) видно, что маловодный цикл наблюдается в два периода, с 1936 года по 1952 год и с 1963 года по 1975 год. Многоводный цикл с 1953 года по 1957 год и с 1977 года по 1990 год.

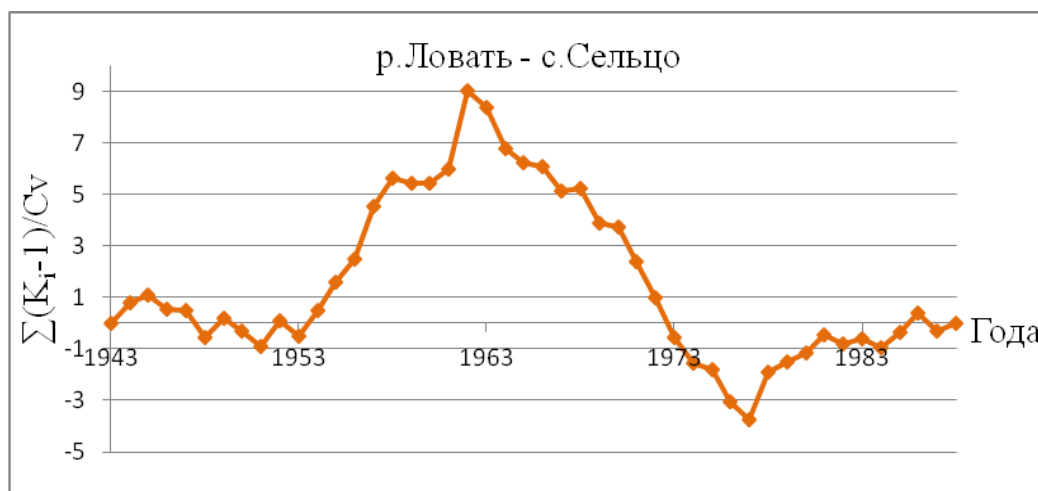


Рисунок 4.5 – Разностно-интегральная кривая.

На посту р. Ловать – с. Сельцо (рисунок 4.5) многоводный период наблюдается с 1953 года по 1962 год, маловодный с 1963 год по 1977 год.



Рисунок 4.6 – Разностно-интегральная кривая

На посту р. Оредеж – д. Моровино видно, что маловодный цикл выделяется с 1935 года по 1952 год и с 1967 года по 1976 год. Многоводный цикл наблюдается 1954 года по 1963 год.

Проанализировав разностно-интегральные кривые по всем постам, можно выделить, что циклы водности наблюдаются в основном в одни те же периоды. А именно, маловодные фазы выделяются в период с 1939 года по 1951 год и с 1963 года по 1977 год, а многоводные фазы с 1954 по 1963 года с 1981 по 1990 года.

Корреляция различных периодов

В данной работе был проведен корреляционный анализ рек Северо-Западного региона (таблицы 4.1 – 4.3), который показал, что связь между исследуемыми характеристиками, в большинстве случаев, средняя, от 0,3 до 0,68. Так же присутствует и тесная связь. Таблицы корреляционных значений остальных постов представлены в приложении Д, Ж, З.

Помимо таблиц были построены графики показывающие тесноту связи за весь год (рисунок 4.7, 4.8), за период половодья (рисунок 4.9, 4.10) и за период паводков (рисунок 4.11, 4.12).

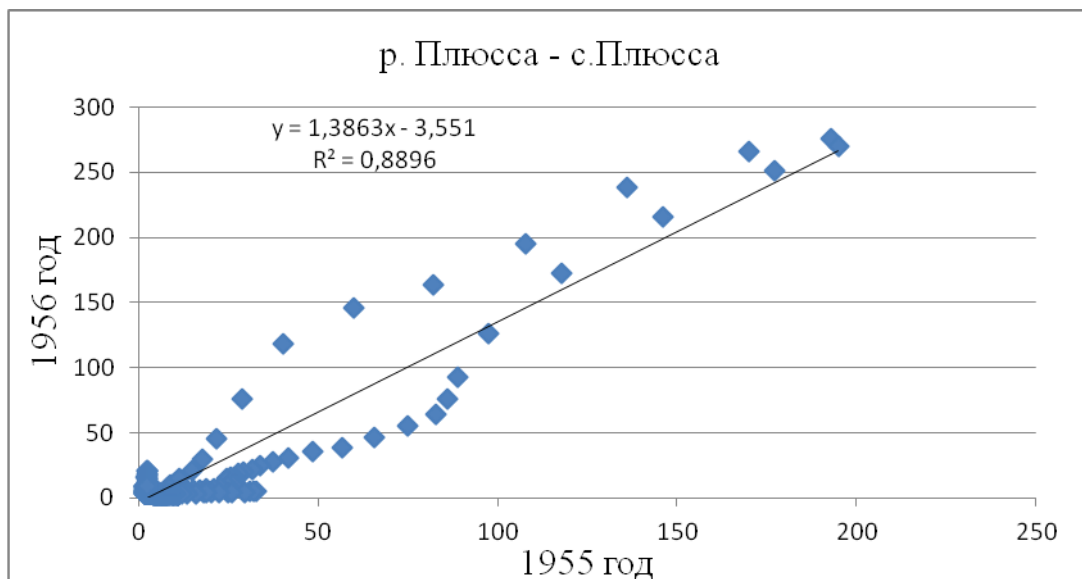


Рисунок 4.7 – График связи смежных лет.

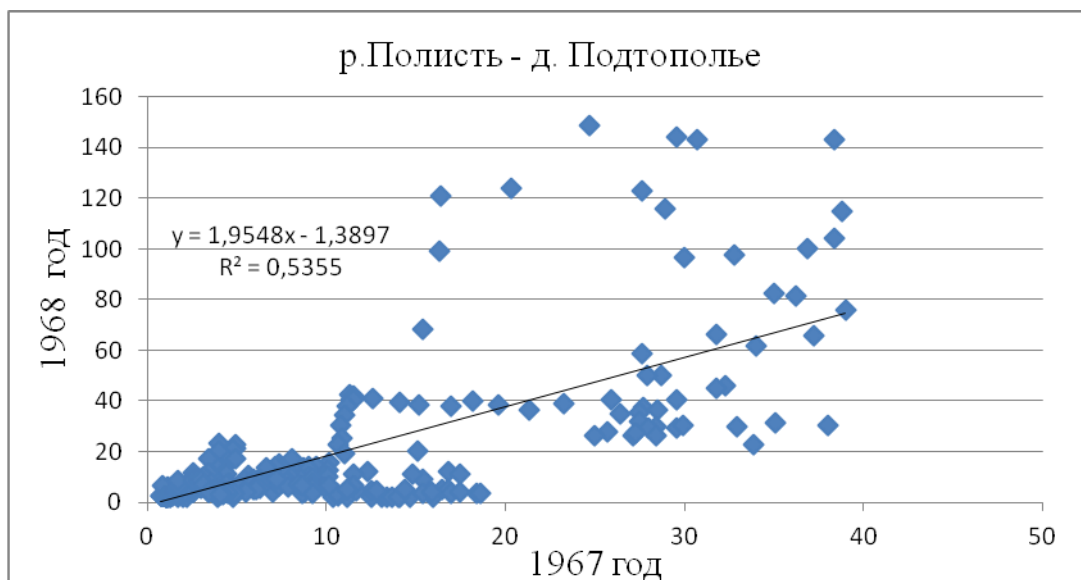


Рисунок 4.8 – График связи смежных лет.

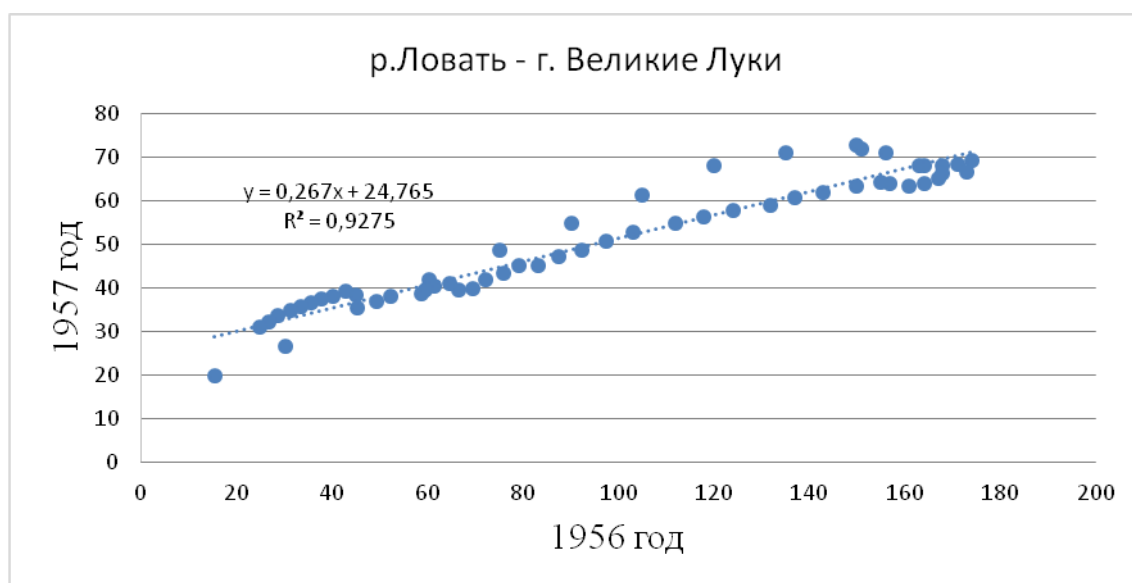


Рисунок 4.9 – График связи расходов воды половодья смежных лет.

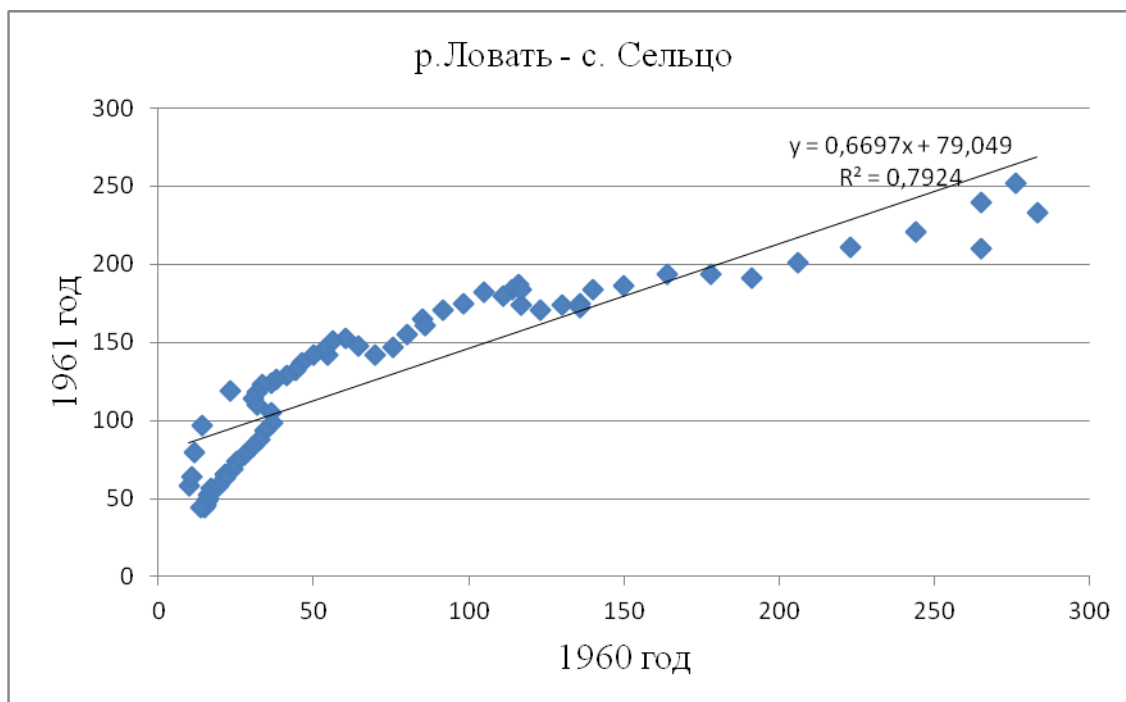


Рисунок 4.10 – График связи расходов воды половодья смежных лет.

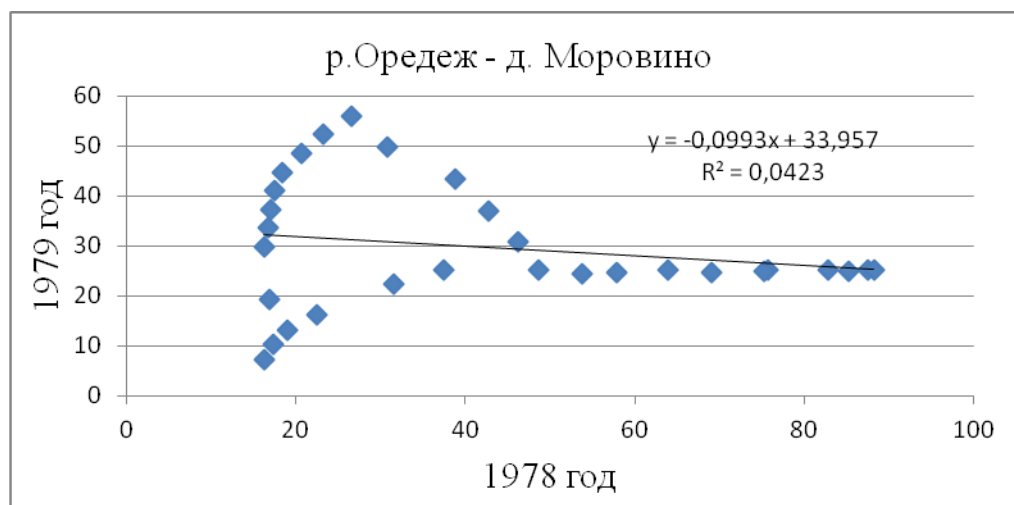


Рисунок 4.11 – График связи за период паводков смежных лет

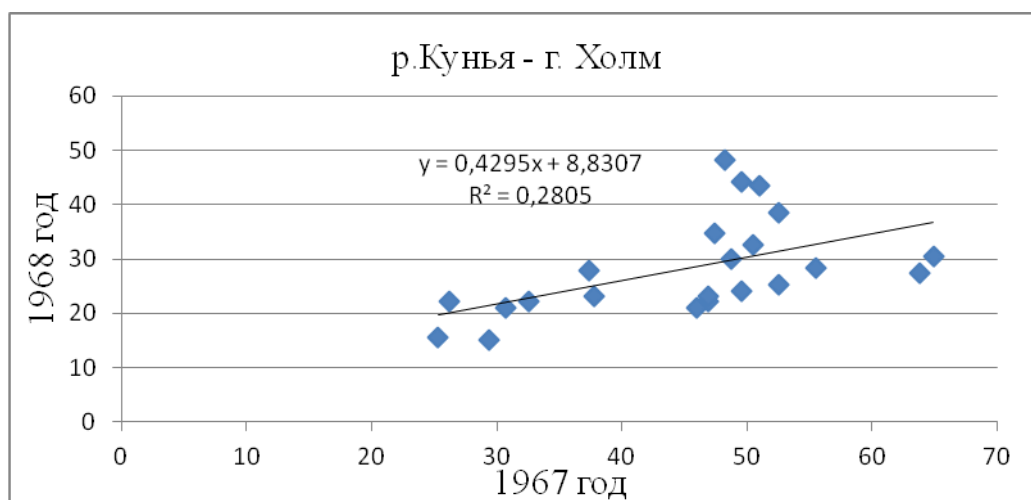


Рисунок 4.12 – График связи за период паводков смежных лет.

Из рисунков 4.7 – 4.8 видно, что разброс точек большой. Определить тесноту связи за весь год сложно, поэтому было предпринято разделить годовой период на периоды половодья и паводков (рисунок 4.9 – 4.12).

В таблицах 4.1 – 4.3 значения корреляции больше 0,7 теряются среди остальных значение, поэтому ниже таблиц приведены схемы (рисунок 4.13 – 4.15), наглядно показывающие присутствие таких значений. Постоянно больших значений корреляции не наблюдается, вероятно, это связано с цикличностью.

Таблица 4.1 – Корреляция за период половодья с 1955 по 1980 года по р. Полисть – д. Подтополье

Года	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1955	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0,86	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1957	0,49	0,08	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0,56	0,09	0,51	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1959	0,49	0,21	0,39	0,29	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1960	0,77	0,44	0,48	0,64	0,68	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1961	0,26	0,04	0,12	0,85	0,53	0,75	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1962	0,16	0,23	0,66	0,09	0,69	0,39	0,15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	0,59	0,15	0,65	0,13	0,74	0,47	0,12	0,95	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1964	0,03	0,57	0,83	0,45	0,13	0,16	0,01	0,70	0,61	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965	0,13	0,43	0,79	0,77	0,40	0,56	0,56	0,52	0,45	0,85	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0,26	0,43	0,57	0,66	0,40	0,12	0,55	0,44	0,17	0,36	0,66	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	0,83	0,82	0,41	0,11	0,46	0,54	0,37	0,14	0,03	0,21	0,02	0,09	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0,62	0,25	0,43	0,06	0,91	0,50	0,19	0,85	0,90	0,32	0,28	0,09	0,10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970	0,03	0,32	0,06	0,74	0,42	0,47	0,86	0,17	0,11	0,22	0,59	0,59	0,11	0,16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971	0,77	0,81	0,60	0,29	0,34	0,35	0,07	0,34	0,16	0,49	0,12	0,51	0,68	0,02	0,23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0,91	0,82	0,16	0,69	0,60	0,78	0,79	0,09	0,27	0,15	0,35	0,63	0,25	0,32	0,50	0,26	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1973	0,58	0,09	0,48	0,46	0,32	0,70	0,59	0,21	0,24	0,53	0,44	0,28	0,84	0,16	0,36	0,61	0,32	1	0	0	0	0	0	0	0
1974	0,80	0,80	0,82	0,54	0,10	0,37	0,16	0,34	0,23	0,18	0,47	0,68	0,59	0,25	0,08	0,93	0,34	0,54	1	0	0	0	0	0	0
1975	0,64	0,26	0,37	0,50	0,85	0,19	0,60	0,47	0,58	0,24	0,44	0,39	0,35	0,72	0,36	0,46	0,70	0,48	0,43	1	0	0	0	0	0
1976	0,69	0,44	0,20	0,57	0,91	0,55	0,75	0,49	0,60	0,02	0,46	0,47	0,16	0,74	0,63	0,06	0,71	0,04	0,04	0,71	1	0	0	0	0
1977	0,58	0,42	0,20	0,91	0,17	0,52	0,94	0,28	0,16	0,06	0,58	0,53	0,01	0,14	0,83	0,10	0,67	0,24	0,31	0,45	0,59	1	0	0	0
1978	0,57	0,23	0,32	0,08	0,90	0,34	0,04	0,72	0,78	0,21	0,06	0,19	0,22	0,91	0,24	0,57	0,21	0,28	0,43	0,71	0,32	0,09	1	0	0
1979	0,30	0,31	0,65	0,80	0,47	0,29	0,71	0,16	0,09	0,36	0,69	0,79	0,24	0,03	0,58	0,63	0,56	0,28	0,77	0,50	0,56	0,69	0,34	1	0
1980	0,68	0,23	0,03	0,13	0,91	0,39	0,32	0,82	0,91	0,45	0,26	0,11	0,14	0,93	0,28	0,33	0,39	0,15	0,39	0,73	0,73	0,07	0,77	0,03	1

Года	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1955	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1958	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1959	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1961	-	-	-	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1965	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1966	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1967	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1970	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1971	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	X	X	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
1973	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
1974	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-
1975	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
1976	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-
1977	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
1978	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-
1979	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-
1980	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	X

Рисунок 4.13 – Схема, наглядно показывающая присутствие тесной связи за период половодья с 1955 по 1980 года,
р. Полисть – д. Подтополье.

Таблица 4.2 – Корреляция за период половодья с 1955 по 1980 года по р. Плюсса – п. Плюсса

Года	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1955	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0,94	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1957	0,30	0,50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0,32	0,56	0,94	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1959	0,89	0,94	0,25	0,67	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1960	0,19	0,29	0,23	0,05	0,16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1961	0,94	0,81	0,22	0,91	0,45	0,19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	0,27	0,15	0,17	0,36	0,74	0,58	0,47	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1964	0,17	0,11	0,63	0,58	0,09	0,88	0,63	0,26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965	0,05	0,03	0,68	0,59	0,20	0,81	0,66	0,16	0,98	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0,09	0,06	0,86	0,81	0,36	0,59	0,84	0,05	0,87	0,92	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	0,38	0,66	0,93	0,95	0,69	0,07	0,91	0,02	0,42	0,46	0,67	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968	0,45	0,34	0,43	0,21	0,51	0,02	0,54	0,37	0,18	0,02	0,06	0,32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0,54	0,54	0,17	0,39	0,02	0,27	0,30	0,19	0,02	0,01	0,13	0,10	0,77	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970	0,40	0,37	0,51	0,65	0,43	0,68	0,70	0,07	0,82	0,80	0,78	0,55	0,22	0,38	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971	0,45	0,43	0,36	0,55	0,32	0,78	0,11	0,64	0,79	0,74	0,66	0,71	0,16	0,39	0,66	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0,72	0,69	0,37	0,38	0,36	0,01	0,39	0,09	0,24	0,18	0,21	0,02	0,92	0,81	0,58	0,47	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1973	0,03	0,16	0,06	0,01	0,42	0,89	0,15	0,83	0,66	0,55	0,32	0,08	0,22	0,13	0,48	0,73	0,05	1	0	0	0	0	0	0	0
1974	0,42	0,43	0,20	0,50	0,60	0,21	0,62	0,23	0,35	0,56	0,58	0,64	0,31	0,74	0,25	0,41	0,74	0,04	1	0	0	0	0	0	0
1975	0,01	0,17	0,00	0,20	0,87	0,20	0,57	0,19	0,03	0,21	0,30	0,23	0,43	0,07	0,39	0,01	0,48	0,12	0,09	1	0	0	0	0	0
1976	0,36	0,37	0,26	0,25	0,47	0,61	0,62	0,56	0,25	0,28	0,12	0,14	0,64	0,73	0,04	0,13	0,77	0,59	0,69	0,04	1	0	0	0	0
1977	0,32	0,35	0,08	0,24	0,22	0,93	0,29	0,41	0,95	0,90	0,75	0,11	0,19	0,17	0,76	0,81	0,32	0,73	0,25	0,33	0,21	1	0	0	0
1978	0,58	0,61	0,23	0,48	0,73	0,63	0,34	0,94	0,27	0,19	0,01	0,10	0,10	0,07	0,14	0,69	0,07	0,86	0,46	0,29	0,59	0,52	1	0	0
1979	0,07	0,18	0,16	0,03	0,63	0,87	0,22	0,85	0,65	0,59	0,38	0,19	0,35	0,16	0,38	0,71	0,20	0,95	0,02	0,15	0,70	0,71	0,90	1	0
1980	0,04	0,26	0,55	0,86	0,23	0,52	0,64	0,14	0,78	0,81	0,93	0,83	0,01	0,33	0,68	0,78	0,42	0,41	0,49	0,18	0,02	0,68	0,20	0,42	1

Года	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1955	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1958	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1959	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1961	X	X	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1965	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1966	-	-	X	X	-	-	X	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1967	-	-	X	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1970	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1971	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
1973	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-
1975	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
1976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-
1977	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X	-	-	-	X	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-
1978	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-
1979	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-	X	X	X	X	-
1980	-	-	-	X	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X

Рисунок 4.14 – Схема, наглядно показывающая присутствие тесной связи за период половодья с 1955 по 1980 года, р. Плюсса – п. Плюсса.

Таблица 4.3 – Корреляция за период половодья с 1955 по 1980 года по р. Ордеж – д. Моровино

Года	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1955	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0,86	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1957	0,40	0,17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0,64	0,45	0,90	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1959	0,78	0,90	0,25	0,76	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1960	0,09	0,22	0,16	0,07	0,78	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1961	0,38	0,30	0,02	0,09	0,81	0,86	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1962	0,37	0,28	0,01	0,20	0,82	0,60	0,60	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	0,12	0,16	0,28	0,24	0,55	0,91	0,80	0,40	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965	0,19	0,28	0,59	0,53	0,39	0,60	0,66	0,35	0,77	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0,67	0,43	0,89	0,90	0,45	0,02	0,18	0,03	0,18	0,32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	0,24	0,42	0,01	0,05	0,51	0,35	0,53	0,79	0,19	0,44	0,18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968	0,05	0,05	0,10	0,15	0,14	0,62	0,59	0,46	0,38	0,51	0,30	0,64	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0,30	0,70	0,67	0,57	0,05	0,31	0,25	0,40	0,53	0,89	0,43	0,48	0,22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970	0,17	0,03	0,67	0,49	0,49	0,79	0,62	0,55	0,78	0,80	0,53	0,34	0,49	0,65	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971	0,11	0,15	0,05	0,07	0,40	0,29	0,46	0,63	0,12	0,62	0,23	0,93	0,67	0,31	0,32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0,41	0,53	0,07	0,31	0,77	0,97	0,89	0,50	0,90	0,52	0,19	0,19	0,42	0,28	0,66	0,15	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1973	0,92	0,98	0,80	0,91	0,31	0,48	0,59	0,50	0,12	0,13	0,89	0,00	0,52	0,50	0,02	0,05	0,43	1	0	0	0	0	0	0	0
1974	0,33	0,66	0,18	0,05	0,24	0,37	0,17	0,00	0,35	0,43	0,13	0,25	0,12	0,68	0,44	0,19	0,35	0,17	1	0	0	0	0	0	0
1975	0,41	0,70	0,34	0,66	0,69	0,62	0,49	0,73	0,25	0,06	0,50	0,69	0,61	0,26	0,36	0,68	0,50	0,09	0,18	1	0	0	0	0	0
1976	0,16	0,14	0,51	0,45	0,45	0,82	0,68	0,38	0,92	0,81	0,46	0,07	0,12	0,74	0,86	0,11	0,78	0,37	0,23	0,11	1	0	0	0	0
1977	0,07	0,23	0,29	0,07	0,83	0,96	0,85	0,65	0,92	0,75	0,18	0,31	0,20	0,45	0,87	0,18	0,92	0,09	0,38	0,41	0,87	1	0	0	0
1978	0,43	0,56	0,07	0,31	0,87	0,94	0,92	0,62	0,84	0,61	0,26	0,42	0,33	0,26	0,70	0,39	0,94	0,03	0,26	0,62	0,60	0,88	1	0	0
1979	0,83	0,75	0,23	0,09	0,29	0,29	0,17	0,69	0,09	0,11	0,27	0,63	0,20	0,65	0,40	0,54	0,13	0,45	0,47	0,53	0,16	0,27	0,25	1	0
1980	0,00	0,26	0,87	0,72	0,11	0,35	0,15	0,04	0,38	0,68	0,75	0,15	0,10	0,68	0,80	0,12	0,22	0,53	0,44	0,20	0,66	0,49	0,19	0,09	1

Года	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1955	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1958	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1959	X	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1961	-	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1965	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1966	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1967	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1970	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	-	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
1973	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
1975	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
1976	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	X	X	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-
1977	-	-	-	-	X	X	X	-	X	X	-	-	-	-	X	-	X	-	-	-	X	X	-	-	-
1978	-	-	-	-	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	X	-	-
1979	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
1980	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X

Рисунок 4.15 – Схема, наглядно показывающая присутствие тесной связи за период половодья с 1955 по 1980 года,
р. Оредеж – д. Моровино

Метод Шустера

При выполнении работы был использован метод периодограмм, разработанный Шустером.

Для того чтобы получить периодограммы (рисунок 4.16 – 4.17) была произведена работа в программе *MatLab*. В первую очередь создается массив данных. После того как исходный материал готов, он обрабатывается. Для этого была написана программа, позволяющая автоматически выполнять метод Шустера. Помимо расчета, программа строит периодограмму. Листинг программы представлен в приложении И.

На первом этапе вручную были подобраны 12-годовой и 30-годовой циклы.

Периодичность циклов, составляющая 12 лет, представлена на рисунке 4.16. Из этого рисунка видно, что разброс есть и можно сказать, что группировка по 12 лет существует.

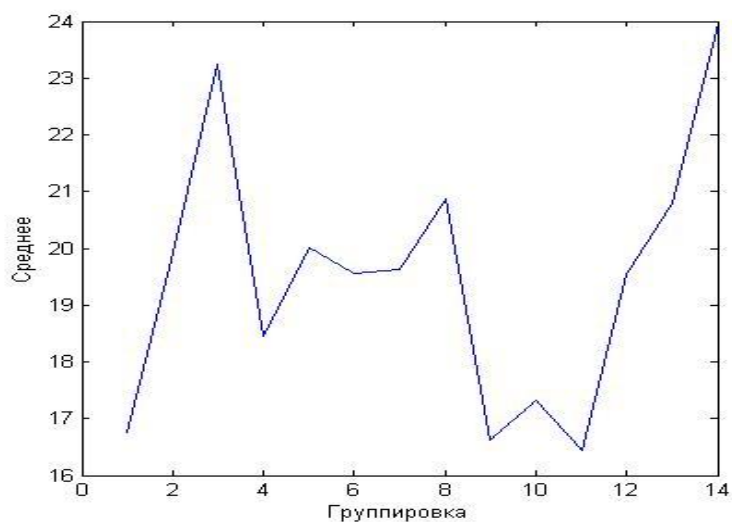


Рисунок 4.16 – Периодограмма по методу Шустера
р. Ловать – г. Великие Луки.

Периодичность циклов в 30 лет представлена на рисунке 4.17. Так же и по 30 лет группировка есть.

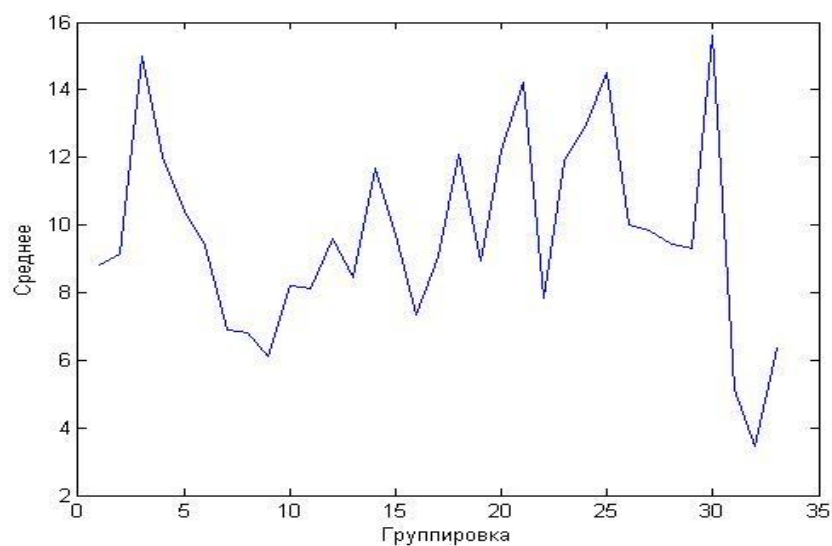


Рисунок 4.17 – Периодограмма по методу Шустера
р. Плюсса – с.Плюсса.

После проделанной работы программу оптимизировали (приложение К) и цикл подбирался автоматически по наибольшему значению амплитуд (рисунки 4.18 – 4.20).

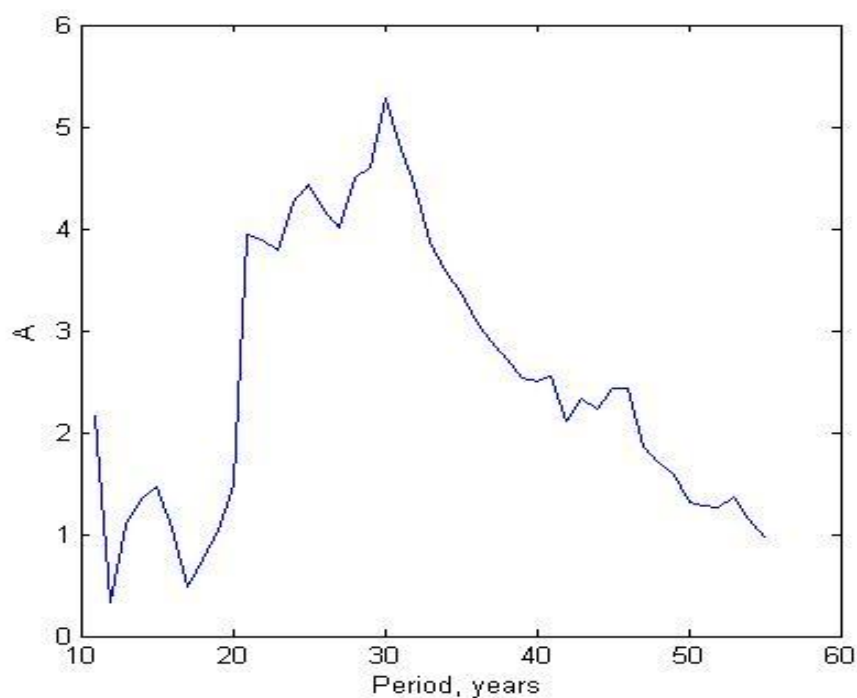


Рисунок 4.18 – Периодограмма по методу Шустера
р. Ловать – г.Великие Луки

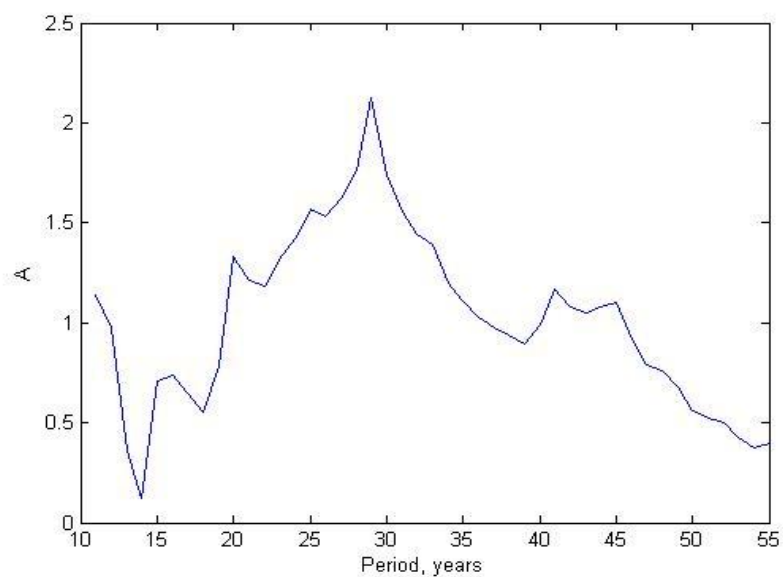


Рисунок 4.19 – Периодограмма по методу Шустера р. Плюсса – п. Плюсса.

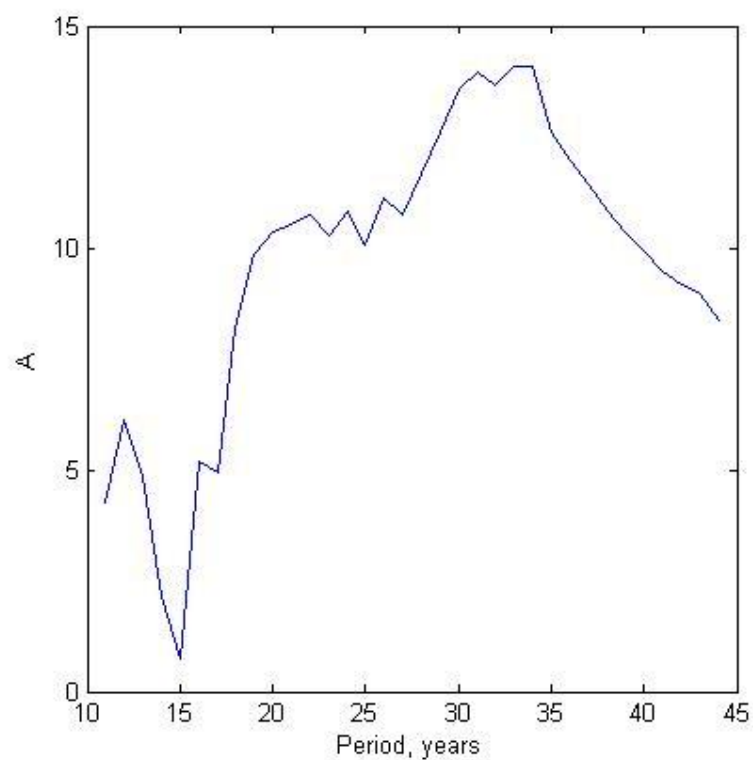


Рисунок 4.20 – Периодограмма по методу Шустера р. Ловать – с.Сельцо.

По полученным периодограммам (рисунок 4.18 – 4.20) видно, что периодичность циклов на реках Северо-Запада примерно одинаковая: от 12 лет до 17 лет и от 28 лет до 31 года.

5 ПРОГНОЗНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ, ОСНОВАННАЯ НА РАЗЛОЖЕНИИ В РЯД ФУРЬЕ

5.1 Теоретические основы метода

Большинство математических методов анализа циклов применяют некоторую версию рядов Фурье – уравнения, включающие в свойства синусы и косинусы. Эти тригонометрические функции подходят для описания волн (или циклов). Применяют в основном два метода, включающие в себя ряды Фурье, для целей анализа циклов: спектральный анализ и гармонический анализ. С точки зрения теории разница между этими двумя методами состоит в том, что спектральный анализ использует частоту, в то время как гармонический анализ использует период. А если рассматривать с практической точки зрения, различие заключается в том, что спектральный анализ лучше приспособлен для поиска циклов, а гармонический анализ лучше годится для их проверки.

5.2 Применение методики к рядам стока

Помимо вычисления периодов в работе были предприняты попытка подобрать уравнение для исследуемого ряда наблюдений за период половодья. Для этого была написана программа, представленная в приложение Л.

В качестве исходного уравнения для подбора служит ряд Фурье:

$$P(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^M [(a_j) \cdot \cos(jx) + b_j \sin(jx)] \quad (5.2.1)$$

Наилучшая степень полинома при данном уравнении для р. Ловатъ – с. Сельцо, где $M = 510$ (рисунок 5.2.2), при меньшем M (рисунок 5.2.1)

уравнение не полностью описывает ряд наблюдений, а при большем M (рисунок 5.2.3) выходит за его пределы. На рисунках по осям: $y - Q, \text{ м}^3/\text{с}$, x – время. Зеленая линия – фактические расходы воды, синяя – ряд расходов по уравнению Фурье.

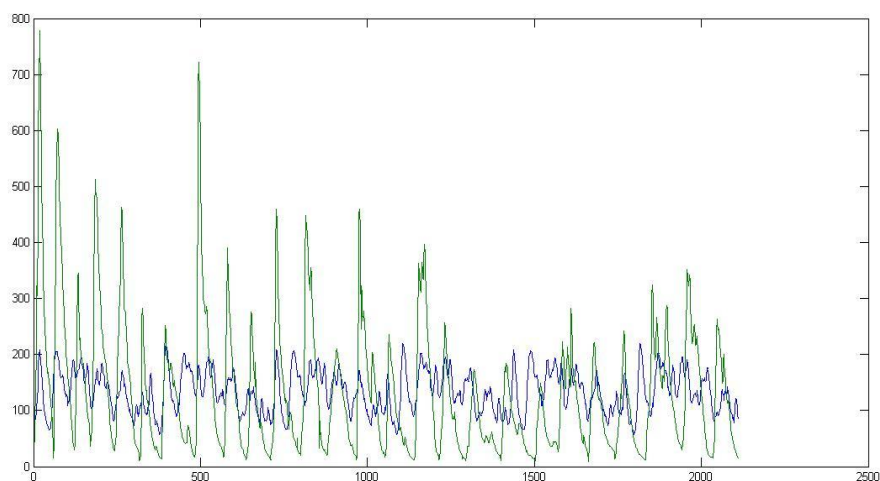


Рисунок 5.2.1 – Подбор уравнения для р. Ловать – с. Сельцо при $M=115$.

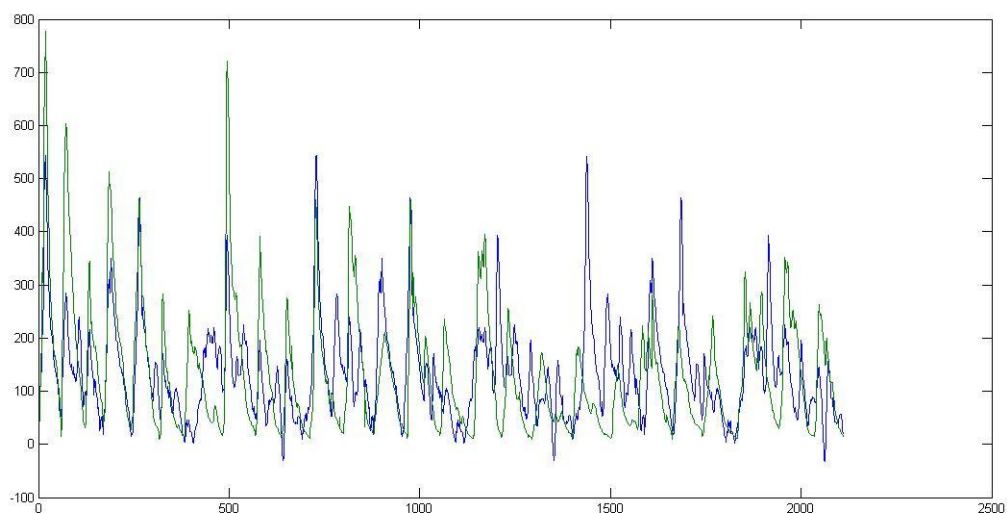


Рисунок 5.2.2 – Подбор уравнения для р. Ловать – с. Сельцо при $M=510$.

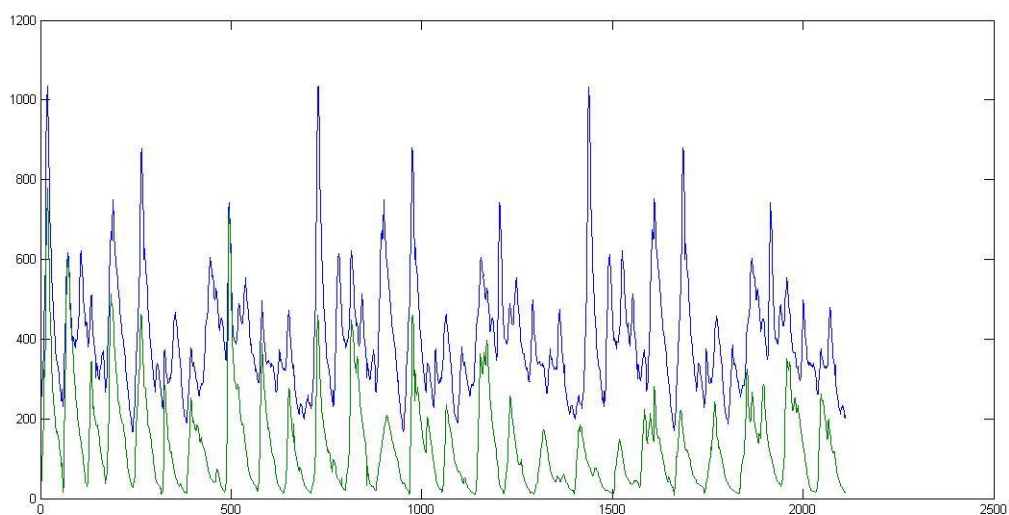


Рисунок 5.2.3 – Подбор уравнения для р. Ловать – с. Сельцо при $M=740$.

Для р. Плюсса – п. Плюсса наилучшая степень $M=520$ (рисунок 5.2.5), при $M=90$ (рисунок 5.2.4) ряд наблюдений не описывается, а при $M=610$ (рисунок 5.2.6) выходит за его пределы.

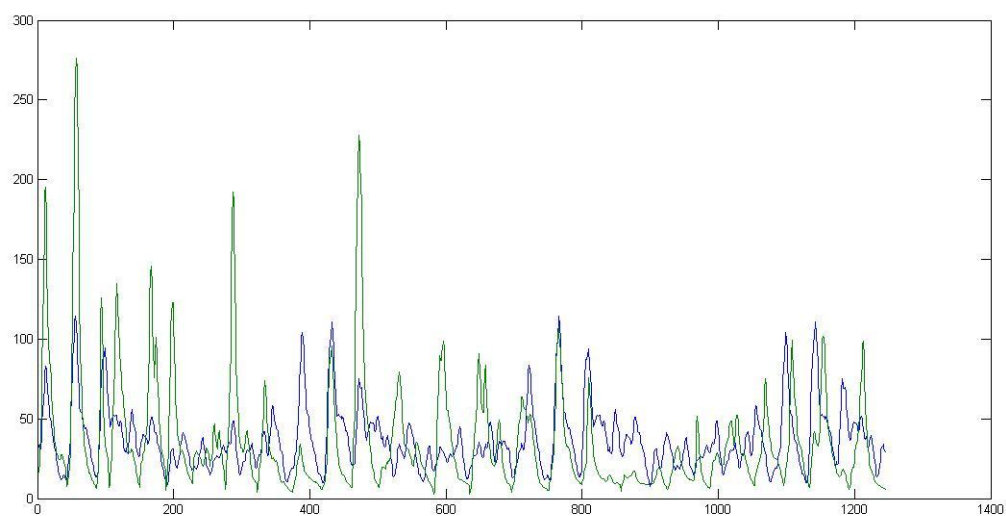


Рисунок 5.2.4 – Подбор уравнения для реки Плюсса – п. Плюсса при $M=90$.

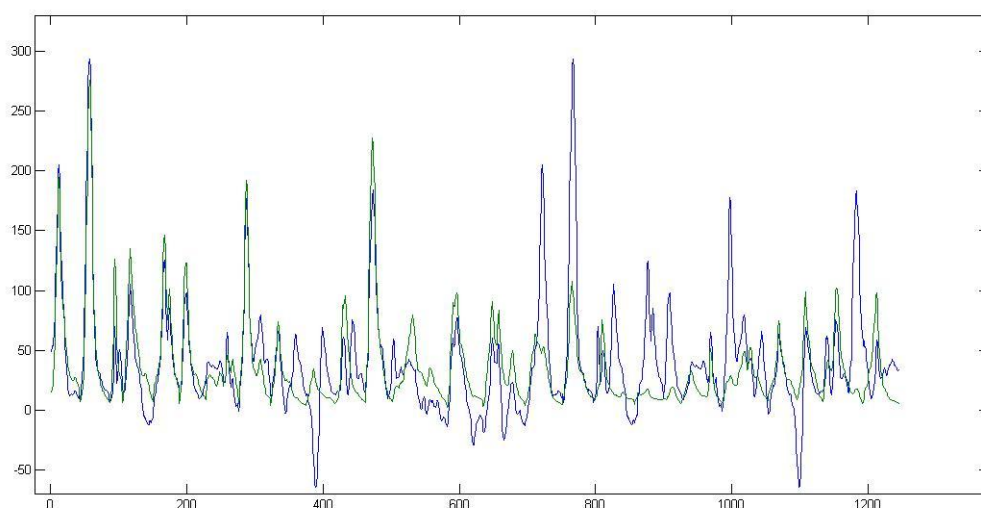


Рисунок 5.2.5 – Подбор уравнения для р. Плюсса – п. Плюсса при M=520.

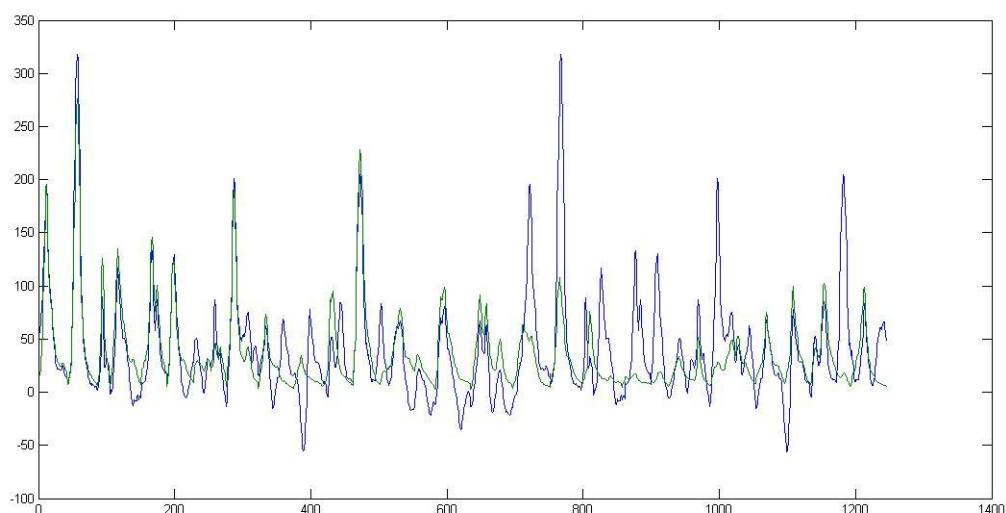


Рисунок 5.2.6 – Подбор уравнения для р. Плюсса – п. Плюсса при M=610.

После подбора значения M в ручную, была доработана первоначальная программа, представленная в приложении Л, которая позволяет находить значения M автоматически (Приложение М).

На примере р. Ордеж – д. Моровино и р. Плюсса – с. Плюсса. На первом этапе в программу был вставлен весь ряд, где $\frac{S}{\sigma_{\Delta}}$ (отношение среднеквадратической погрешности между фактическими и прогнозными значениями за период заблаговременности и среднеквадратическое

отклонение изменения фактической величины за период заблаговременности) для целого ряда большие, а корреляция между фактическим и рассчитанным рядами маленькая (рисунки 5.2.7, 5.2.8). Поэтому ряд был разбит на половодья с учетом цикличности, которую определили по методу Шустера и разностно-интегральной кривой (рисунки 5.2.9, 5.2.10). На рисунках под буквой *a* – значения расходов воды рассчитаны по уравнению Фурье с подобранным *M* по наибольшему коэффициенту корреляции фактического и расчетного ряда, *б* – значения расходов воды рассчитаны по уравнению Фурье с подобранным *M* по наибольшему соотношению $\frac{S}{\sigma_{\Delta}}$. По осям на графиках: *y* – *Q*, м³/с, *x* – время. Зеленая линия – фактические расходы воды, синяя – ряд расходов по уравнению Фурье.

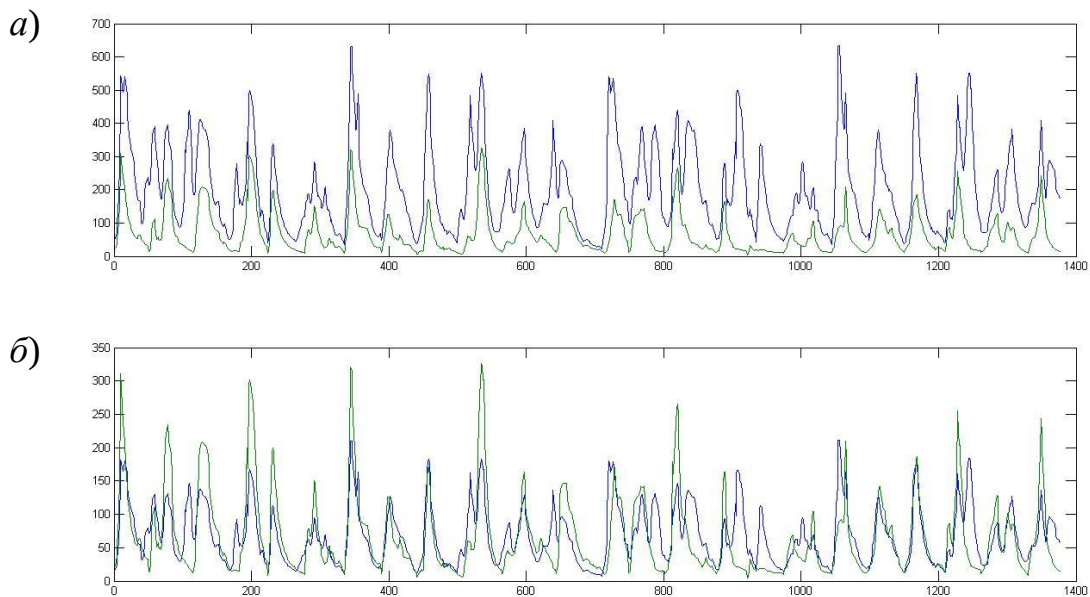


Рисунок 5.2.7 – р. Ордеж – д. Моровино при подобранном $M=1065$, где

$$\text{для целого ряда } \frac{S}{\sigma} = \mathbf{0,73}, \text{ а } r=0,68.$$

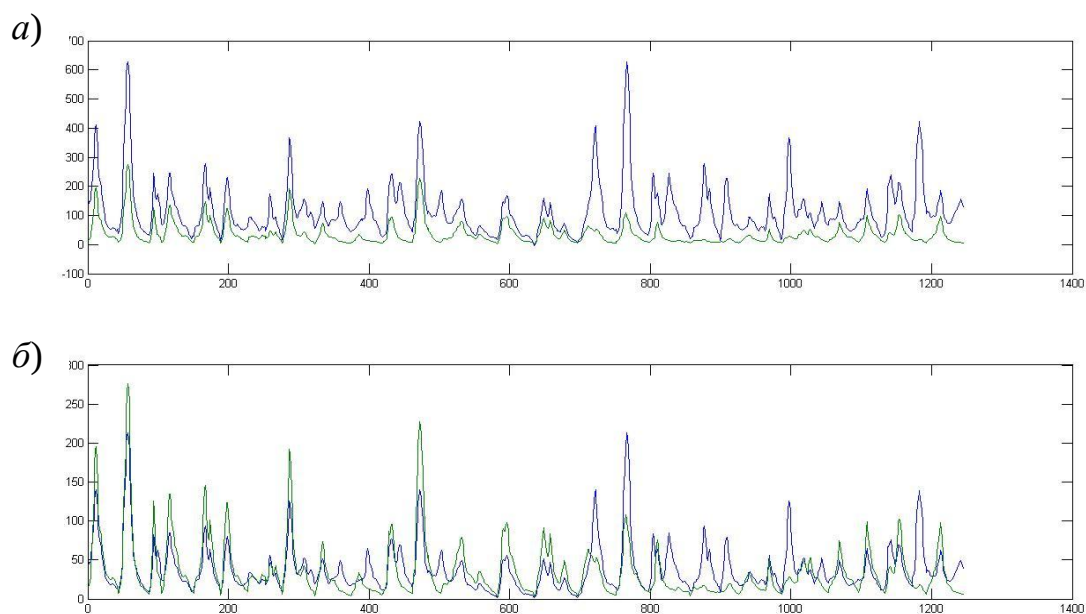


Рисунок 5.2.8 – р. Плюсса – с. Плюсса при наиболее близком подобранном

$\frac{S}{\sigma_{\Delta}} = 0,72$, а $r = 0,71$.

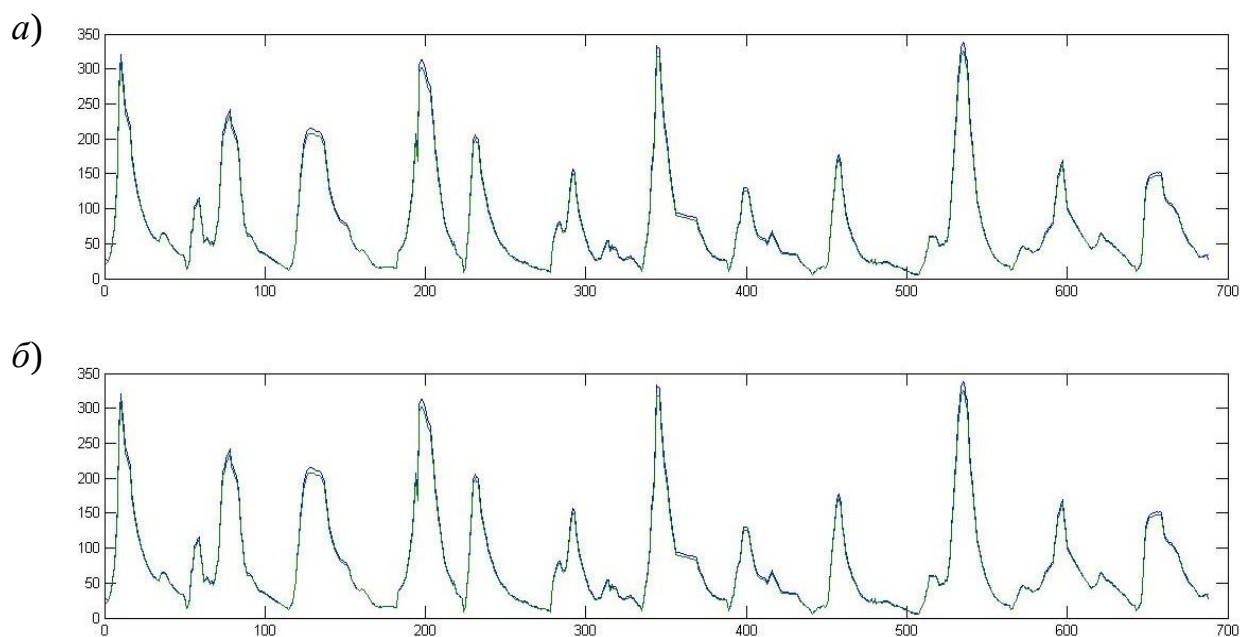
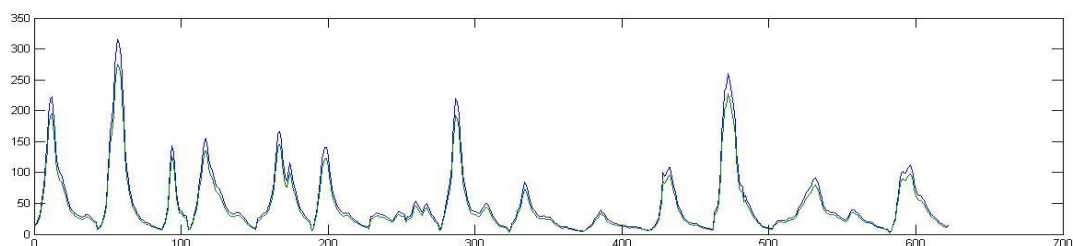


Рисунок 5.2.9 – р. Ордеж – д. Моровино при $M=355$, где для 12 годичного

цикла $\frac{S}{\sigma} = 0,053$, а $r=1,0$.

а)



б)

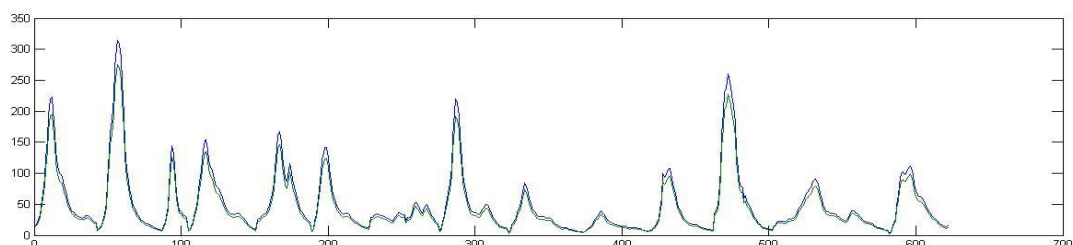


Рисунок 5.2.10 – р. Плюсса – с. Плюсса $M=354$, где для 12 годичного цикла

$$\frac{S}{\sigma_{\Delta}} = 0,19, \text{ а } r = 1,0.$$

Поверочные прогнозы

Для поверочных прогнозов был выбран ряд среднесуточных расходов воды по результатам предыдущих расчетов, а именно за 12 годичный цикл, так как корреляция между фактическим рядом и прогнозным самая большая.

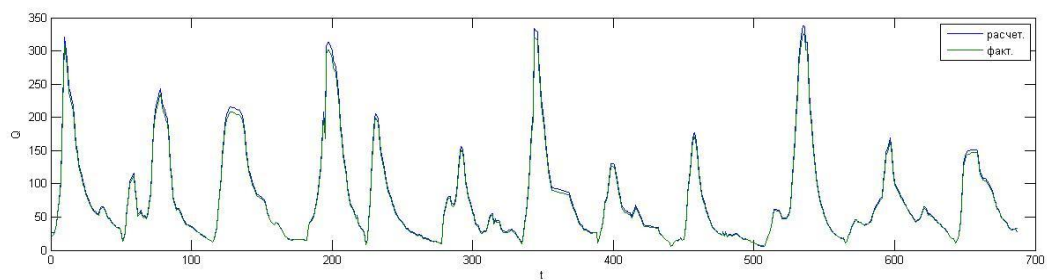
Для составления прогнозов и их оценки так же была написана программа в *MatLab*, приведенная в приложение Н.

Прогнозируем с заблаговременностью 1 сутки для реки Оредеж.

На первом этапе программа убирает 1 сутки из ряда, для которых будет сделан прогноз, и подбирает для оставшейся части значение M и

уравнение, так же рассчитывает r и $\frac{S}{\sigma}$ (рисунок 5.2.11).

а)



б)

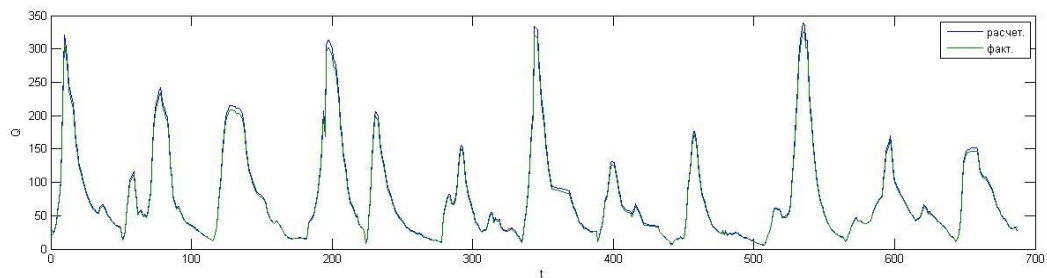


Рисунок 5.2.11 – Подбор уравнения без учета 1 суток.

Получаем, что по корреляции $r=1.0$ нашлось $M=355$, а по $S/\sigma_{\Delta}=0,055$, где $M=354$.

После проделанных расчетов, программа берет полученное уравнение и дает прогноз для всего ряда, т.е. с учетом убранных суток (рисунок 5.2.12).

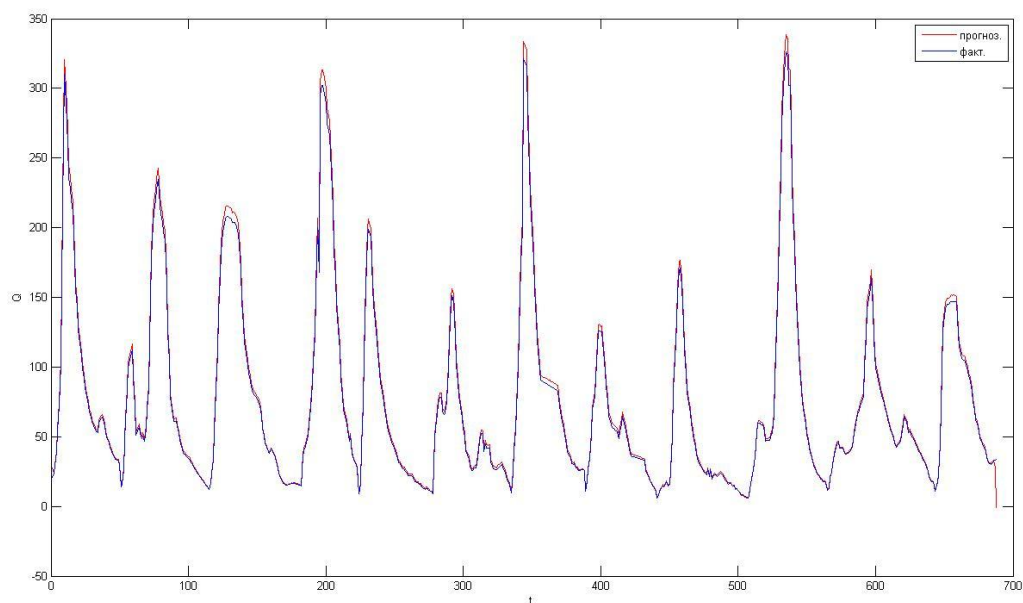
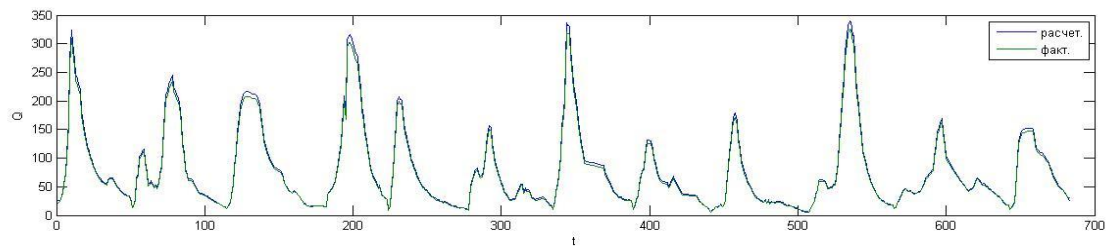


Рисунок 5.2.12 – График построения фактических и прогнозных рядов.

И тогда получаем, что $\frac{S}{\sigma} = 0.055$.

Ту же работу проделываем для заблаговременности в 5 суток.

а)



б)

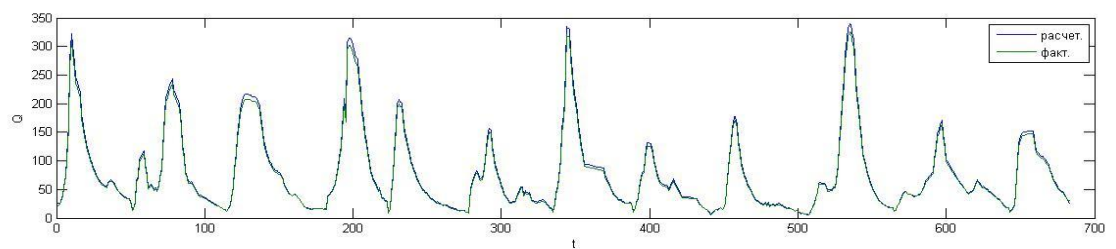


Рисунок 5.2.13 – Подбор уравнения без учета 5 суток, где при $\gamma=1.0$ $M=355$,

а при $\frac{S}{\sigma} = 0,064$ $M=354$.

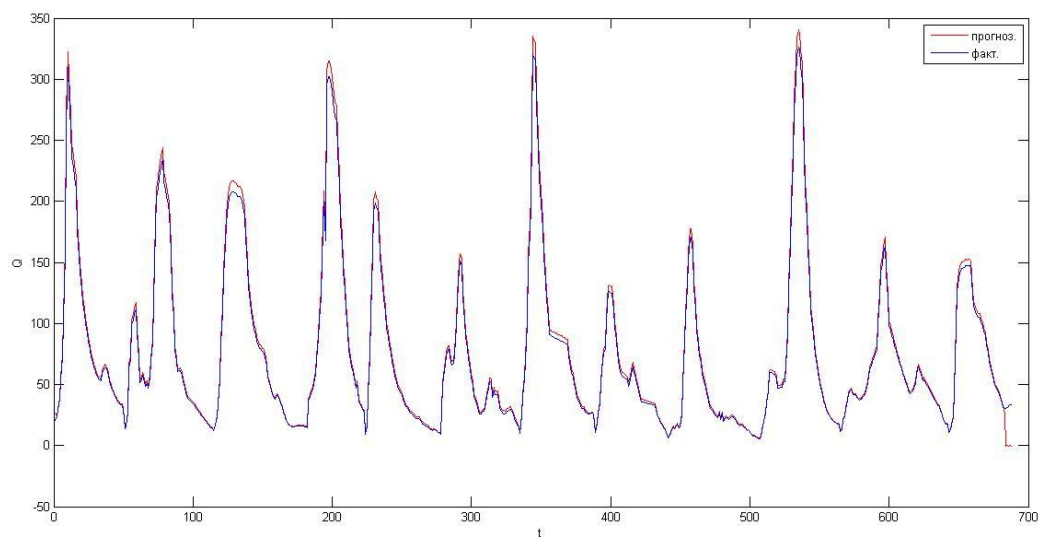


Рисунок 5.2.14 – График построения фактических и прогнозных рядов,

$\frac{S}{\sigma} = 0,064$.

Для заблаговременности в 10 суток.

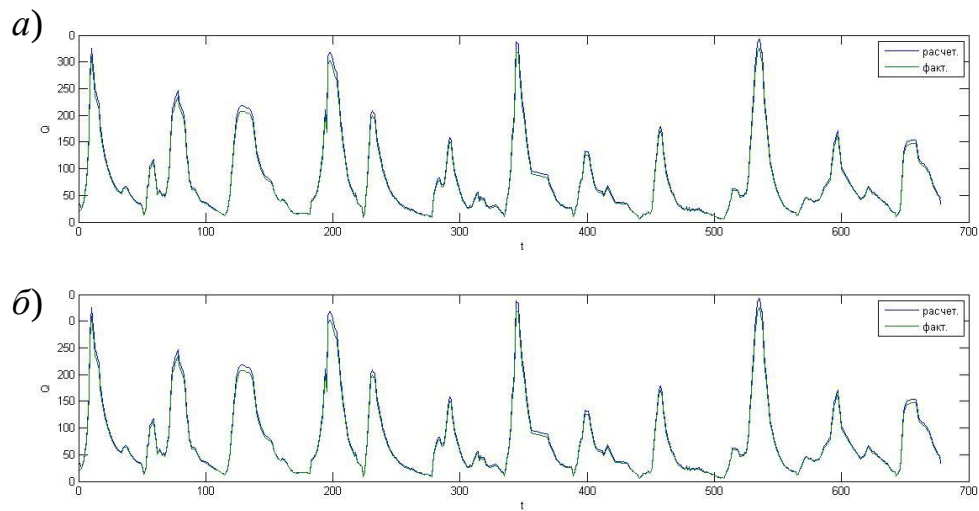


Рисунок 5.2.15 – Подбор уравнения без учета 10 суток, где при $r=0,99$

$$M=355, \frac{S}{\sigma} = 0,076 \quad M=355.$$

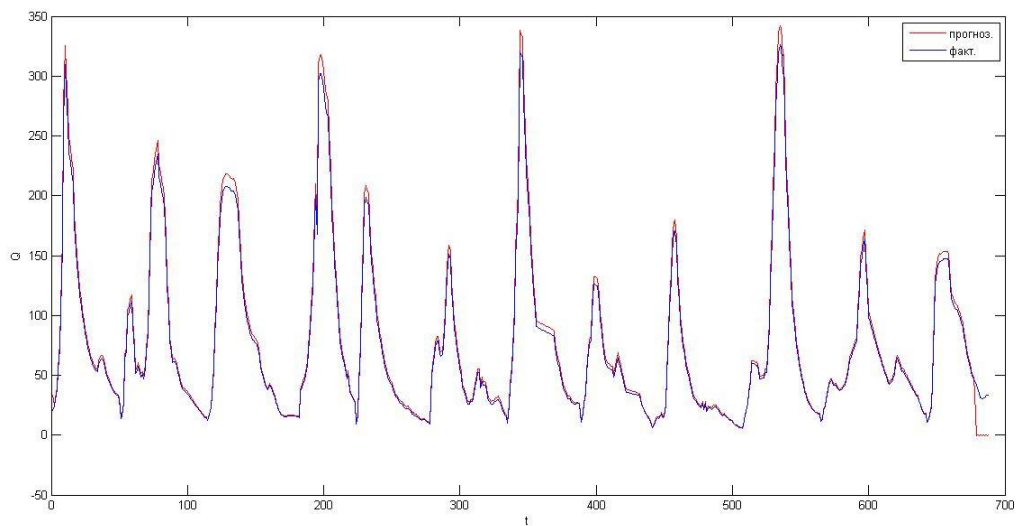


Рисунок 5.2.16 – график построения фактических и прогнозных рядов,

$$\frac{S}{\sigma_{\Delta}} = 0,076.$$

Для заблаговременности в 15 суток.

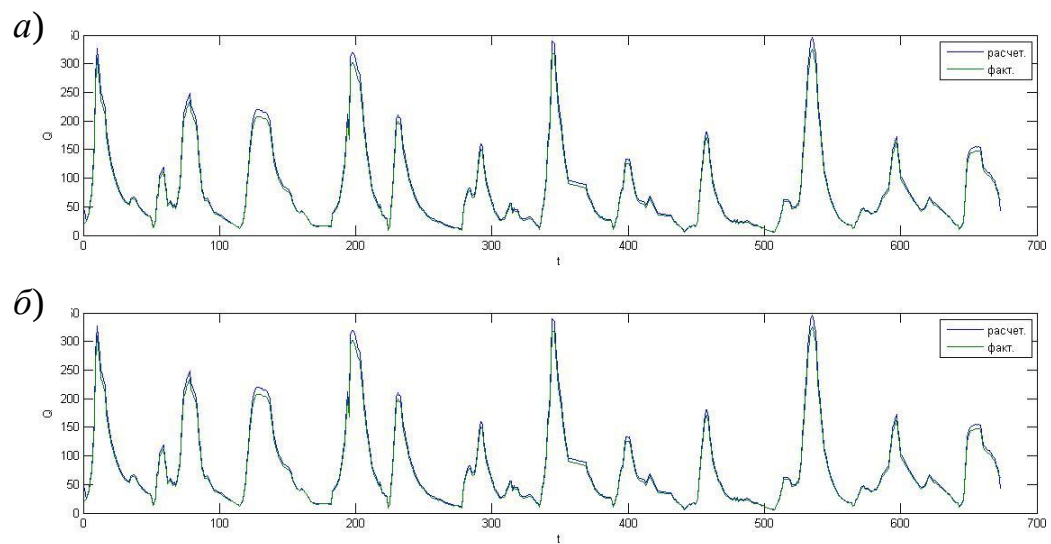


Рисунок 5.2.17 – Подбор уравнения без учета 15 суток, где при $r=0,99$
 $M=354$, $S/\sigma_{\Delta}=0,088$ $M=354$.

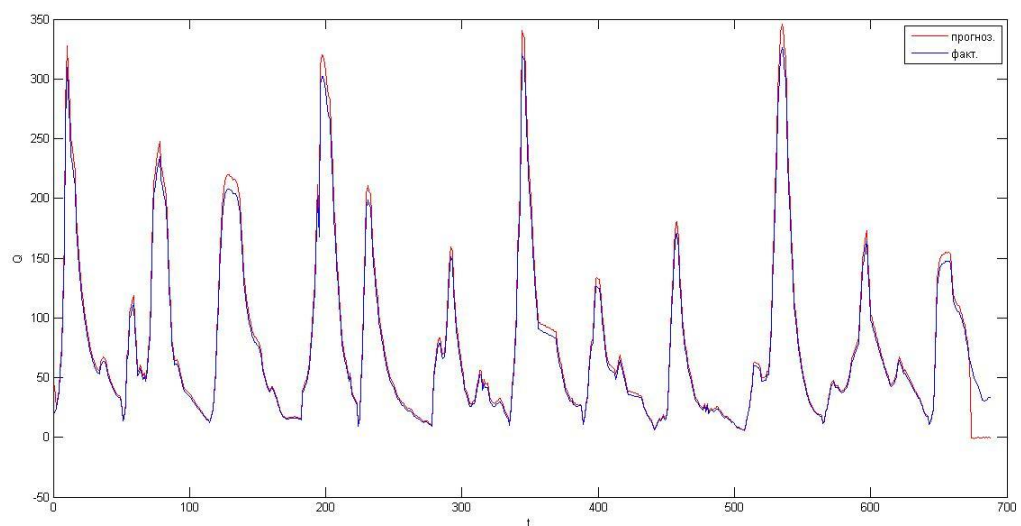


Рисунок 5.2.18 – График построения фактических и прогнозных рядов,
 $S/\sigma_{\Delta} = 0,088$.

Прогнозируем с заблаговременностью 1 сутки для реки Плюсса.

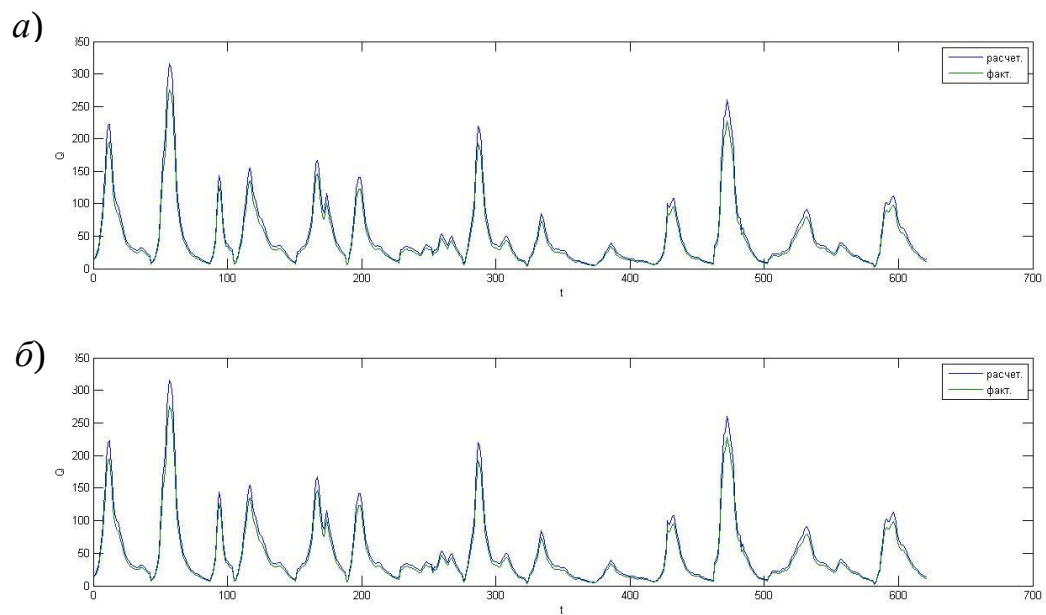


Рисунок 5.2.19 – Подбор уравнения без учета 1 сутки, где при $\tau=1,0$ $M=354$,
 $S/\sigma_{\Delta} = 0,202$ $M=354$.

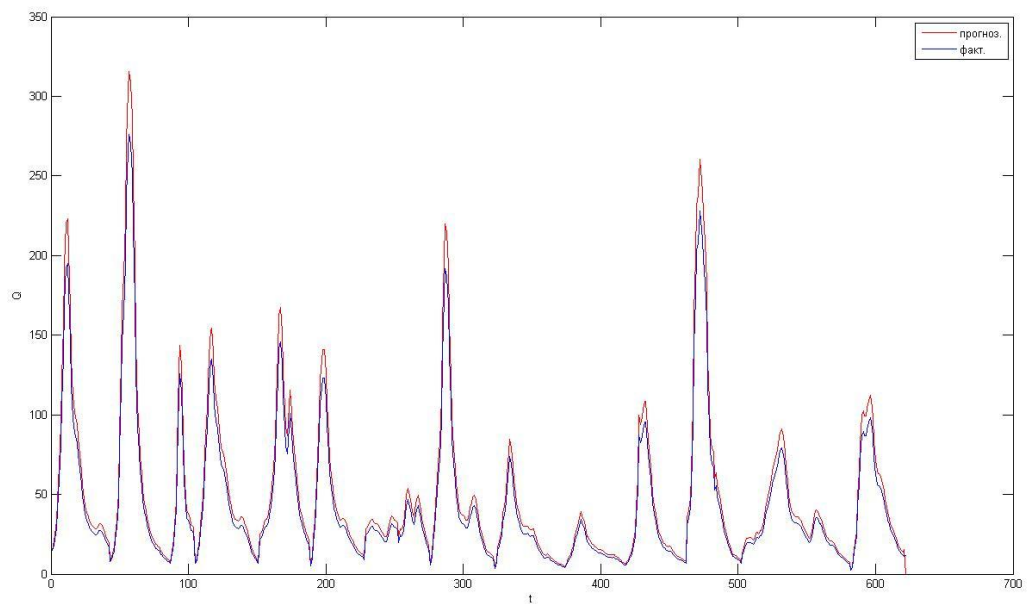


Рисунок 5.2.20 – График построения фактических и прогнозных рядов,
 $S/\sigma_{\Delta} = 0,202$.

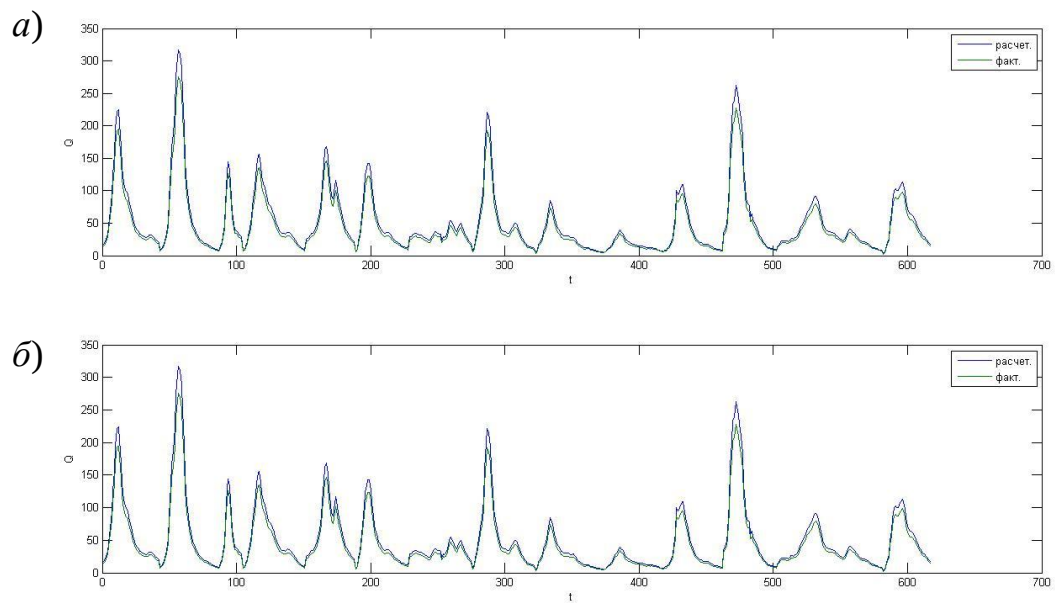


Рисунок 5.2.21 – Подбор уравнения без учета 5 суток, где при $r=1,0$ $M=355$,
 $S/\sigma_{\Delta} = 0,21$ $M=355$.

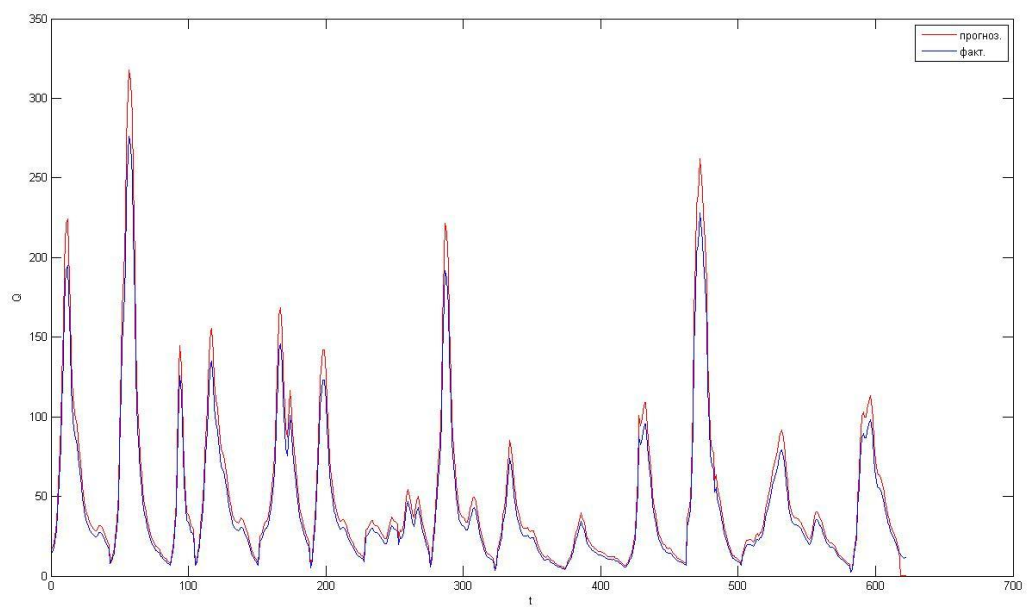


Рисунок 5.2.22 – График построения фактических и прогнозных рядов,
 $S/\sigma_{\Delta} = 0,21$.

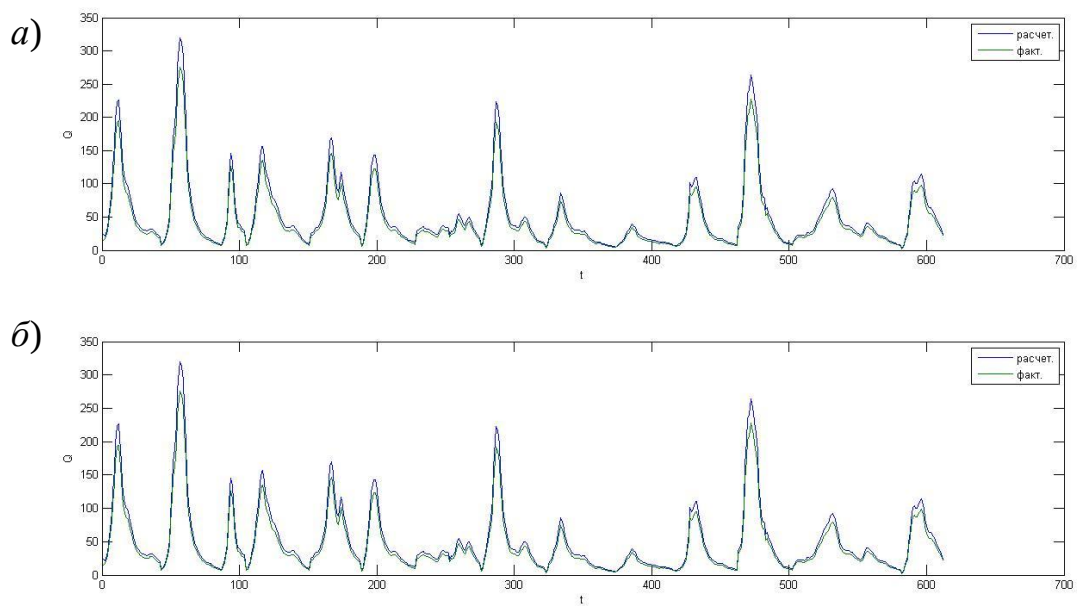


Рисунок 5.2.23 – Подбор уравнения без учета 10 суток, где при $r=1,0$
 $M=355$, $S/\sigma_{\Delta} = 0,23$ $M=355$.

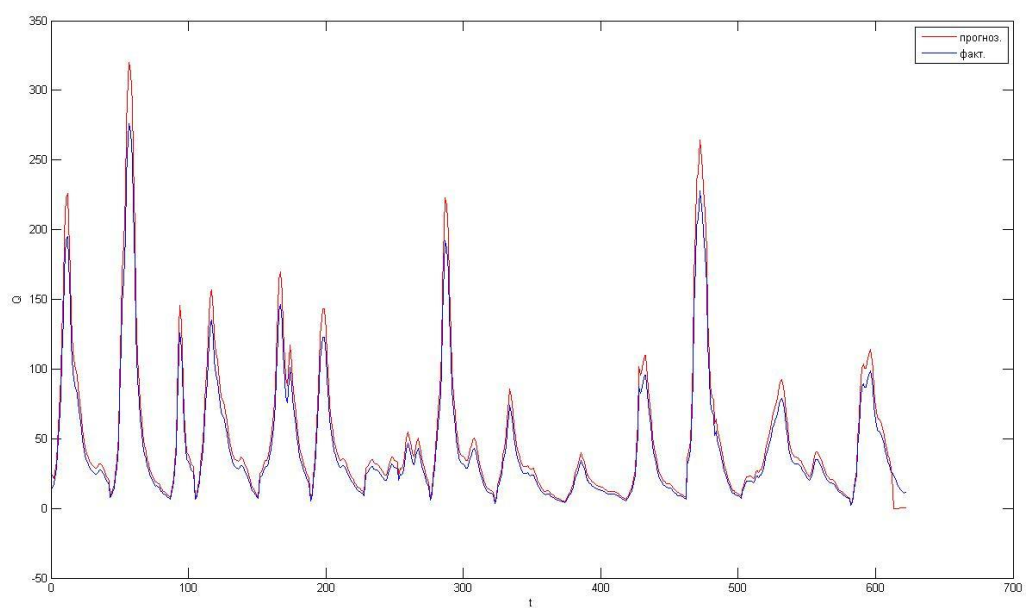


Рисунок 5.2.24 – График построения фактических и прогнозных рядов,
 $S/\sigma_{\Delta} = 0,23$.

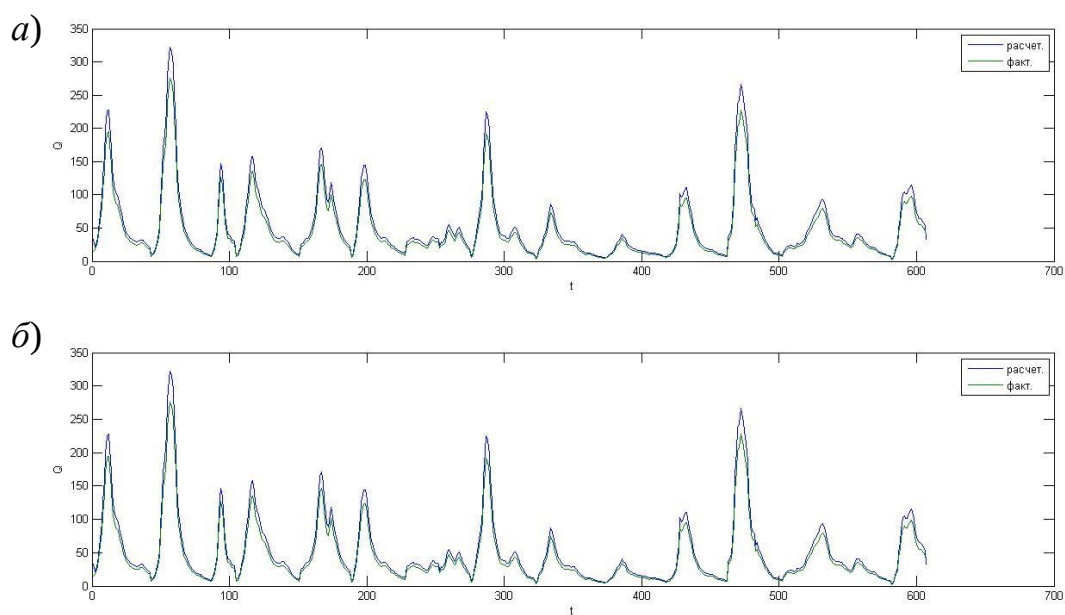


Рисунок 5.2.25 – Подбор уравнения без учета 15 суток, где при $r=0,99$
 $M=353$, $S/\sigma_{\Delta} = 0,24$ $M=353$.

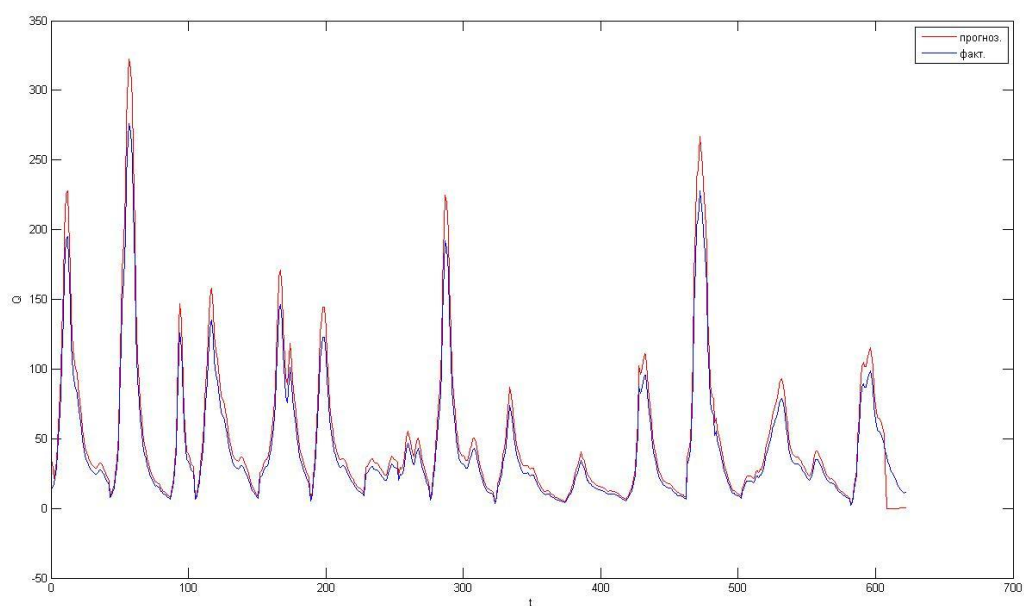


Рисунок 5.2.26 – График построения фактических и прогнозных рядов,
 $S/\sigma_{\Delta} = 0,24$.

Из проделанной работы видно, что программа способна давать хороший прогноз с заблаговременность от 1 до 5 суток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения исследования были получены следующие результаты:

- а) связь между смежными годами, между смежными годами в период половодья и между смежными годами в период паводков чаще всего средняя, и значения корреляции находится в среднем в пределах от 0,3 до 0,68;
- б) по методу Шустера виден явный разброс и можно сказать, что на реках Северо-Запада присутствует группировка по 12, 20, 30 лет;
- в) поверочные прогнозы по уравнению Фурье показали наилучший результат при заблаговременности от 1 до 5 суток, ряд необходимо выбирать в зависимости от цикличности, выявленной по разностно-интегральной кривой и методу Шустера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Георгиевский Ю.М. Краткосрочные гидрологические прогнозы. Учебное пособие [Текст] / – Ю. М. Георгиевский – Изд. ЛПИ. 1982 – 100 с.
2. Георгиевский, Ю.М. Гидрологические прогнозы. Учебник [Текст] / – Ю. М. Георгиевский, С. В. Шаночкин – СПб.: Изд. РГГМУ 2007. – 436 с.
3. ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс] // ФГБУ Северо-Западное УГМС. – 2013. – Режим доступа: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=302> (12.05.2016).
4. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Зарубиной Н. И. – Л.:Гидрометеиздат, 1955. – 613 с.
5. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1956. – 466 с.
6. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1957. – 460 с.
7. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1958. – 439 с.
8. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной

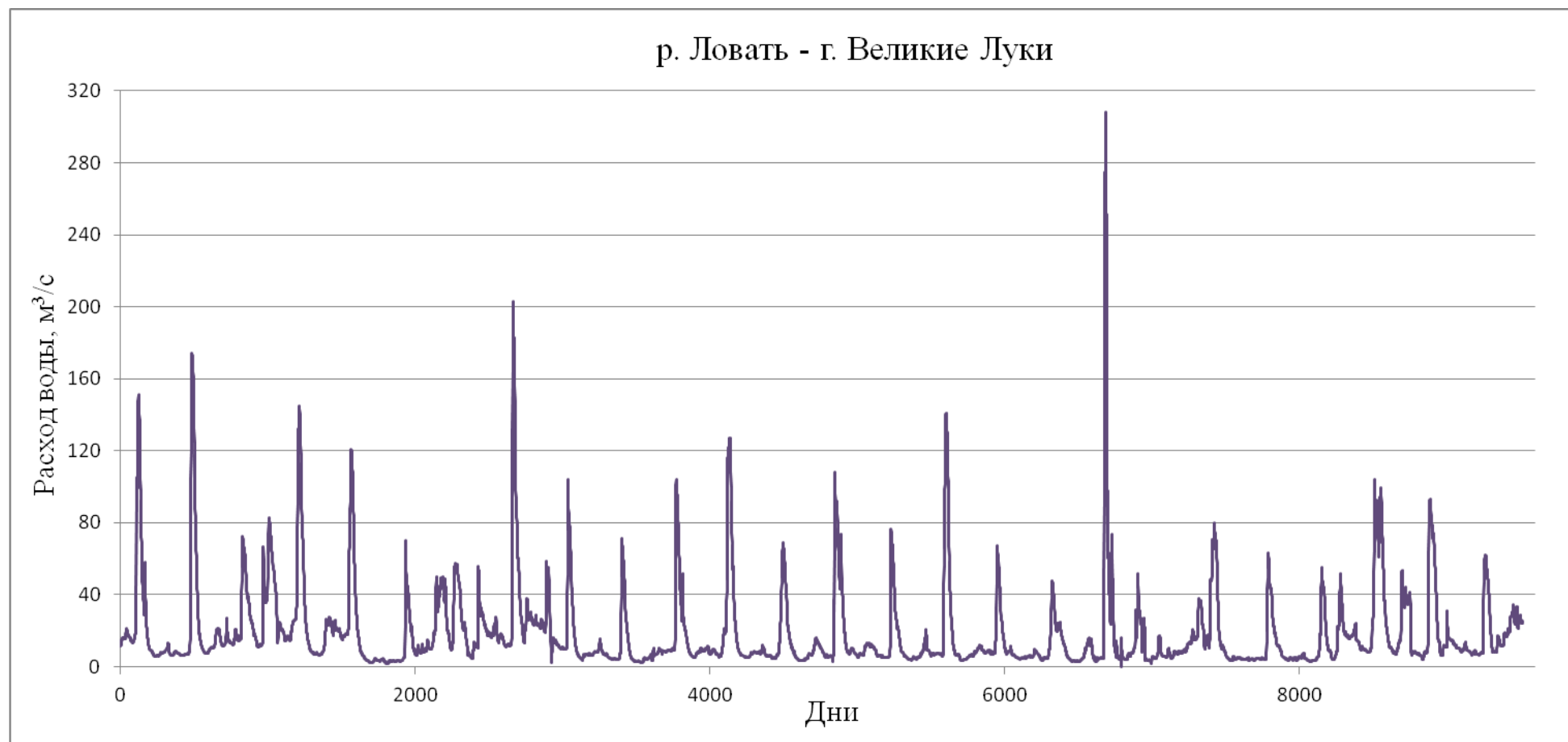
- границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1959. – 295 с.
9. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1960. – 421 с.
 10. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1961. – 364 с.
 11. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1962. – 355 с.
 12. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1963. – 448 с.
 13. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1964. – 521 с.
 14. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1965. – 614 с.
 15. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной

- границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1966. – 358 с.
16. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1967. – 442 с.
 17. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1968. – 434 с.
 18. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Кузнецова И. В. – Л.:Гидрометеиздат, 1969. – 428 с.
 19. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Урываевой Р. М., Эйпре Т. Ф. – Л.:Гидрометеиздат, 1970. – 512 с.
 20. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Урываевой Р. М., Эйпре Т. Ф.. – Л.:Гидрометеиздат, 1971. – 423 с.
 21. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Урываевой Р. М., Эйпре Т. Ф.. – Л.:Гидрометеиздат, 1972. – 412 с.

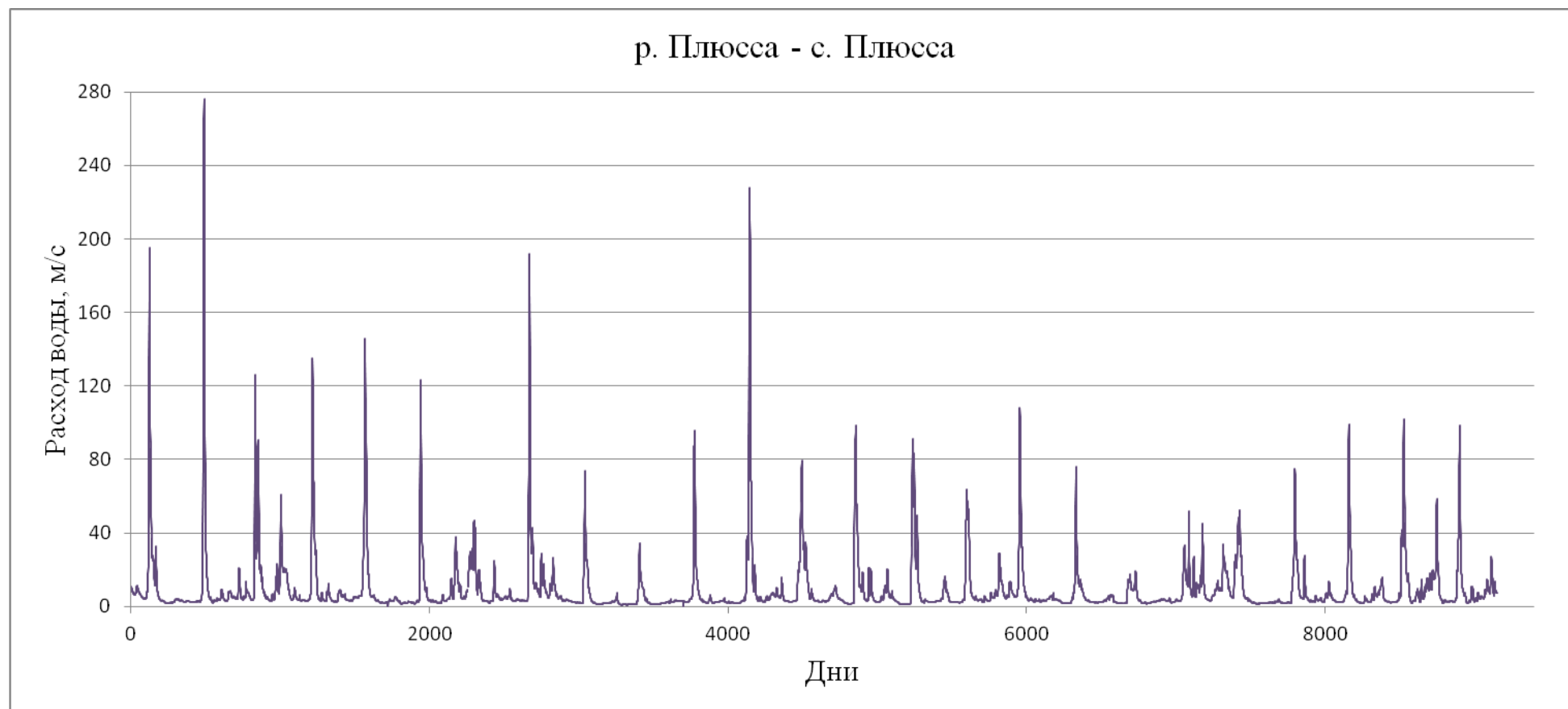
22. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Урываевой Р. М., Эйпре Т. Ф. – Л.:Гидрометеиздат, 1973. – 456 с.
23. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Урываевой Р. М.– Л.:Гидрометеиздат, 1974. – 415 с.
24. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Урываевой Р. М.– Л.:Гидрометеиздат, 1975. – 300 с.
25. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Урываевой Р. М.– Л.:Гидрометеиздат, 1976. – 345 с.
26. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Урываевой Р. М.– Л.:Гидрометеиздат, 1977. – 265 с.
27. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Урываевой Р. М.– Л.:Гидрометеиздат, 1978. – 457 с.
28. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Урываевой Р. М.– Л.:Гидрометеиздат, 1979. – 632 с.

29. Гидрологический ежегодник. Том 1 бассейн Балтийского моря. Выпуск 0–3 бассейн Финского и Рижского заливов от государственной границы с Финляндией до северного водораздела р. Салаца. [Текст] / Под редакцией Урываевой Р. М. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 547 с.
30. Международная научная конференция экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе. [Электронный ресурс] // Лаборатория Каспийского моря – 2006. – Режим доступа: <http://caspi.ru/HTML/Conf/Trud-r-2/Polonsky.pdf>. (14.05.2016)
31. Владимиров А. М. Гидрологические расчеты. Учебник [Текст] / А. М. Владимиров. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 50–52 с.
32. Саруханян, Э. И. Многолетние колебания стока Волги. [Текст] / Э. И. Саруханян, Н. П. Смирнов. – Л.: Гидрометеиздат. 1971. – 166 с.

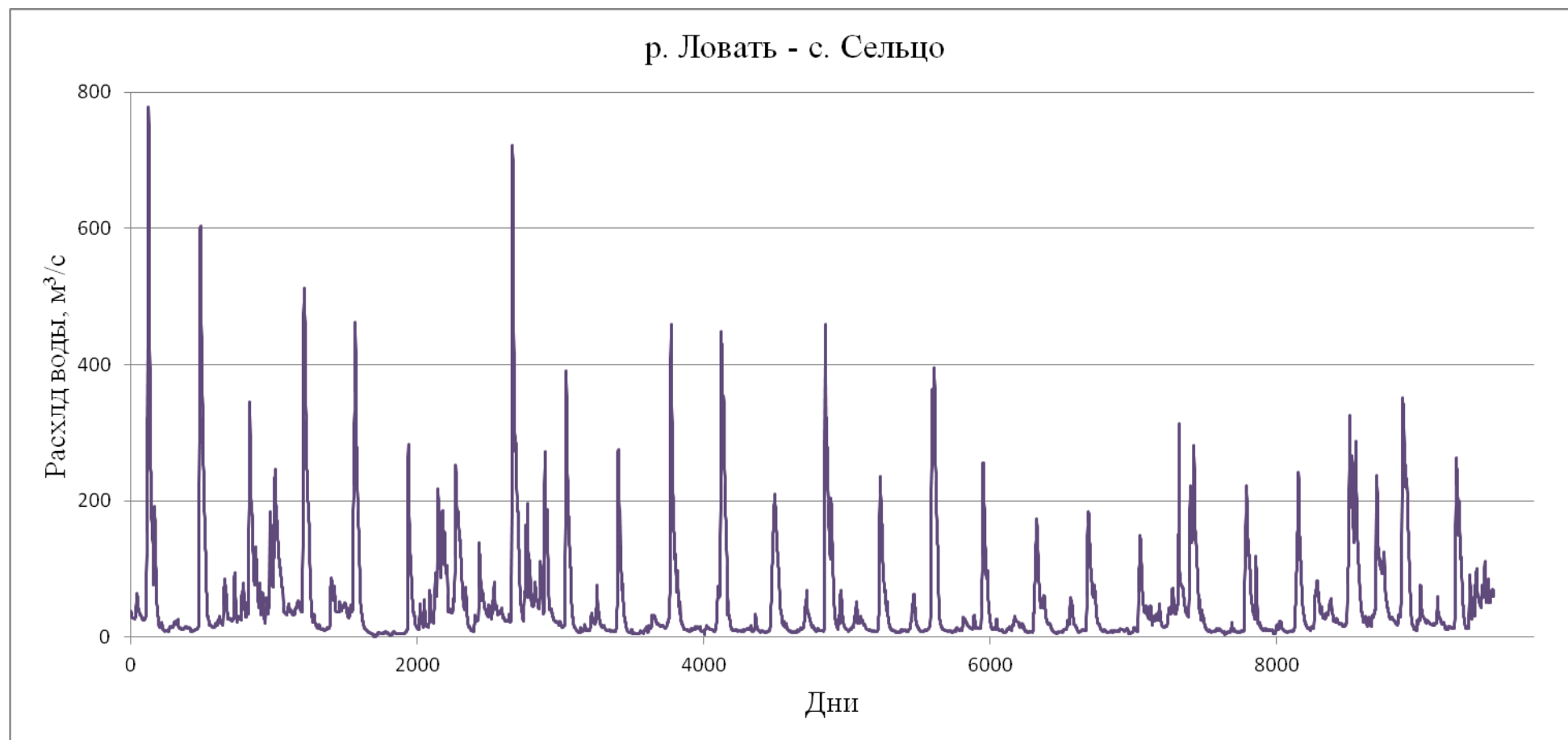
Приложение А – Хронологический график годового разрешен



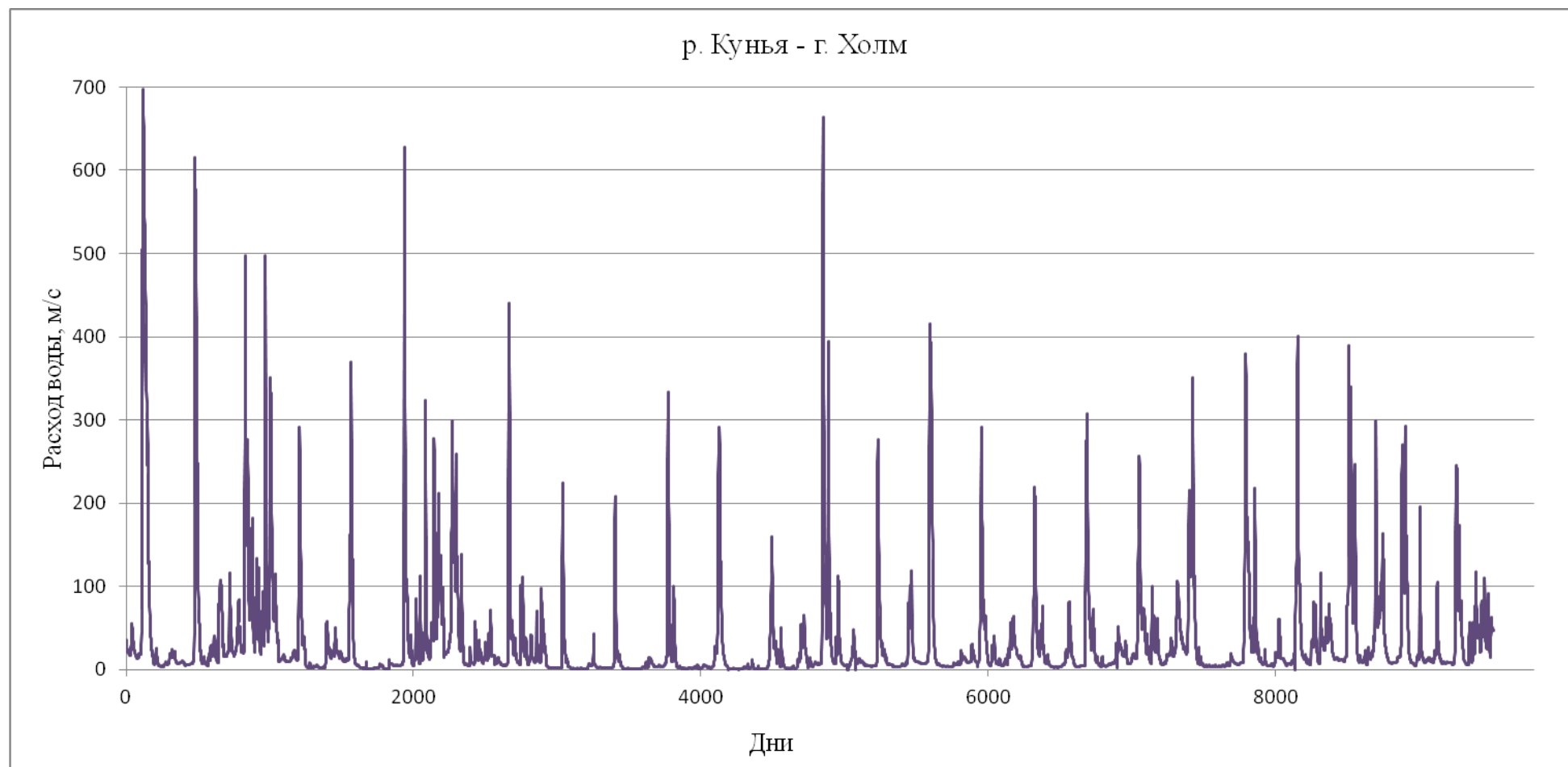
Приложение Б – Хронологический график годового разрешения



Приложение В – Хронологический график годового разрешения



Приложение Г – Хронологический график годового разрешения



Приложение Д – Корреляция за период половодья с 1955 по 1980 года, р. Кунья – г. Холм

Года	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1955	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0,41	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1957	0,35	0,11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0,59	0,53	0,02	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1959	0,08	0,08	0,88	0,17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1960	0,80	0,11	0,37	0,41	0,07	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1961	0,42	0,21	0,28	0,85	0,44	0,57	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1962	0,23	0,56	0,90	0,10	0,63	0,26	0,17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	0,06	0,34	0,95	0,03	0,78	0,13	0,15	0,96	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1964	0,67	0,51	0,68	0,32	0,28	0,49	0,21	0,86	0,71	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965	0,04	0,84	0,12	0,87	0,34	0,26	0,71	0,30	0,25	0,04	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0,31	0,61	0,16	0,97	0,34	0,40	0,89	0,29	0,18	0,11	0,92	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	0,88	0,11	0,56	0,15	0,10	0,34	0,04	0,25	0,17	0,71	0,06	0,09	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0,16	0,06	0,98	0,02	0,89	0,31	0,24	0,91	0,96	0,66	0,18	0,18	0,36	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970	0,59	0,22	0,66	0,44	0,50	0,00	0,68	0,62	0,47	0,53	0,52	0,57	0,71	0,62	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971	0,07	0,77	0,07	0,67	0,27	0,30	0,36	0,30	0,13	0,04	0,81	0,72	0,56	0,08	0,15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0,30	0,47	0,31	0,95	0,48	0,35	0,94	0,28	0,23	0,08	0,86	0,96	0,06	0,30	0,66	0,60	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1973	0,22	0,65	0,11	0,83	0,10	0,41	0,56	0,16	0,05	0,17	0,81	0,81	0,56	0,07	0,21	0,91	0,72	1	0	0	0	0	0	0	0
1974	0,78	0,65	0,44	0,70	0,09	0,30	0,33	0,19	0,20	0,50	0,74	0,69	0,69	0,34	0,17	0,96	0,53	0,94	1	0	0	0	0	0	0
1975	0,51	0,42	0,32	0,70	0,64	0,02	0,66	0,17	0,32	0,13	0,67	0,66	0,34	0,39	0,34	0,58	0,79	0,66	0,45	1	0	0	0	0	0
1976	0,27	0,08	0,84	0,30	0,90	0,20	0,68	0,51	0,64	0,20	0,39	0,46	0,67	0,82	0,74	0,04	0,57	0,08	0,30	0,36	1	0	0	0	0
1977	0,08	0,58	0,12	0,96	0,22	0,19	0,88	0,17	0,06	0,08	0,91	0,96	0,14	0,10	0,65	0,69	0,94	0,80	0,71	0,50	0,39	1	0	0	0
1978	0,13	0,25	0,50	0,45	0,71	0,29	0,26	0,30	0,54	0,06	0,38	0,37	0,63	0,50	0,04	0,51	0,40	0,59	0,61	0,57	0,25	0,34	1	0	0
1979	0,55	0,56	0,21	0,44	0,30	0,16	0,48	0,18	0,25	0,21	0,67	0,60	0,12	0,09	0,46	0,53	0,51	0,46	0,42	0,24	0,55	0,57	0,25	1	0
1980	0,61	0,33	0,88	0,15	0,76	0,51	0,21	0,78	0,76	0,71	0,10	0,01	0,78	0,85	0,65	0,33	0,16	0,35	0,67	0,09	0,78	0,01	0,35	0,20	1

Приложение Ж – Корреляция за период половодья с 1955 по 1980 года, р. Ловать – г. Великие Луки.

Года	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1955	0,90	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0,47	0,38	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1957	0,85	0,71	0,48	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0,29	0,31	0,94	0,46	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1959	0,65	0,48	0,71	0,90	0,66	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1960	0,20	0,25	0,73	0,25	0,52	0,59	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1961	0,38	0,28	0,77	0,71	0,82	0,73	0,55	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1962	0,87	0,62	0,63	0,96	0,49	0,85	0,39	0,60	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	0,82	0,57	0,40	0,98	0,38	0,90	0,07	0,68	0,99	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1964	0,89	0,69	0,67	0,88	0,45	0,66	0,32	0,54	0,94	0,91	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965	0,52	0,42	0,97	0,66	0,95	0,78	0,40	0,84	0,71	0,58	0,70	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0,55	0,46	0,93	0,75	0,94	0,79	0,23	0,91	0,70	0,66	0,68	0,98	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	0,48	0,46	0,87	0,41	0,84	0,69	0,37	0,65	0,58	0,27	0,55	0,84	0,82	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968	0,76	0,44	0,59	0,94	0,47	0,95	0,28	0,71	0,94	0,97	0,87	0,68	0,72	0,52	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0,81	0,70	0,61	0,97	0,54	0,87	0,21	0,81	0,91	0,95	0,87	0,74	0,82	0,47	0,92	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970	0,14	0,19	0,93	0,21	0,93	0,54	0,49	0,54	0,33	0,02	0,32	0,88	0,81	0,88	0,22	0,20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971	0,15	0,09	0,92	0,53	0,84	0,55	0,06	0,86	0,39	0,35	0,48	0,88	0,87	0,75	0,58	0,54	0,78	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0,17	0,05	0,76	0,19	0,72	0,11	0,75	0,31	0,08	0,29	0,07	0,63	0,52	0,79	0,18	0,09	0,88	0,65	1	0	0	0	0	0	0	0
1973	0,94	0,98	0,44	0,45	0,47	0,65	0,33	0,41	0,94	0,95	0,92	0,35	0,22	0,69	0,93	0,87	0,81	0,44	0,95	1	0	0	0	0	0	0
1974	0,34	0,33	0,86	0,34	0,87	0,71	0,48	0,68	0,56	0,34	0,53	0,81	0,76	0,63	0,52	0,50	0,83	0,58	0,62	0,45	1	0	0	0	0	0
1975	0,50	0,48	0,84	0,75	0,76	0,77	0,28	0,96	0,64	0,68	0,65	0,88	0,93	0,62	0,76	0,84	0,54	0,89	0,33	0,07	0,58	1	0	0	0	0
1976	0,17	0,19	0,91	0,47	0,94	0,52	0,37	0,83	0,37	0,37	0,44	0,96	0,97	0,63	0,38	0,58	0,79	0,89	0,54	0,16	0,83	0,86	1	0	0	0
1977	0,49	0,33	0,74	0,57	0,48	0,59	0,19	0,50	0,56	0,38	0,58	0,69	0,69	0,80	0,63	0,49	0,50	0,75	0,40	0,50	0,11	0,67	0,23	1	0	0
1978	0,66	0,64	0,89	0,76	0,75	0,78	0,18	0,86	0,72	0,66	0,70	0,90	0,92	0,75	0,67	0,82	0,61	0,84	0,42	0,18	0,50	0,94	0,83	0,80	1	0
1979	0,74	0,69	0,52	0,96	0,55	0,90	0,37	0,78	0,87	0,91	0,74	0,66	0,75	0,56	0,90	0,95	0,25	0,41	0,02	0,84	0,51	0,79	0,41	0,58	0,78	1

Приложение 3 – Корреляция за период половодья с 1955 по 1980 года, р. Ловать – с. Сельцо.

Года	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
1955	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1956	0,90	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1957	0,17	0,04	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1958	0,46	0,64	0,09	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1959	0,03	0,05	0,79	0,14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1960	0,14	0,20	0,55	0,86	0,58	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1961	0,10	0,02	0,47	0,11	0,48	0,61	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1962	0,22	0,33	0,34	0,57	0,73	0,70	0,49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1963	0,50	0,67	0,20	0,98	0,22	0,78	0,27	0,41	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1964	0,30	0,45	0,07	0,96	0,32	0,94	0,26	0,66	0,92	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1965	0,56	0,75	0,00	0,91	0,10	0,65	0,08	0,37	0,96	0,84	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1966	0,29	0,36	0,85	0,36	0,94	0,72	0,47	0,69	0,52	0,47	0,34	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	0,30	0,34	0,73	0,49	0,96	0,78	0,36	0,77	0,56	0,59	0,38	0,94	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1968	0,19	0,34	0,61	0,29	0,66	0,64	0,67	0,46	0,45	0,36	0,23	0,58	0,71	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0,47	0,57	0,13	0,95	0,41	0,96	0,34	0,74	0,89	0,98	0,85	0,52	0,65	0,47	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1970	0,62	0,66	0,07	0,84	0,42	0,76	0,16	0,79	0,77	0,83	0,66	0,58	0,65	0,20	0,86	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971	0,13	0,12	0,90	0,03	0,92	0,63	0,60	0,48	0,27	0,19	0,06	0,90	0,89	0,77	0,29	0,23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1972	0,08	0,20	0,81	0,35	0,94	0,67	0,37	0,82	0,33	0,50	0,37	0,88	0,85	0,61	0,64	0,46	0,83	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1973	0,32	0,43	0,94	0,27	0,91	0,61	0,52	0,70	0,34	0,36	0,37	0,89	0,85	0,81	0,58	0,37	0,94	0,92	1	0	0	0	0	0	0	0
1974	0,50	0,50	0,70	0,46	0,69	0,26	0,71	0,16	0,27	0,25	0,36	0,54	0,63	0,80	0,16	0,34	0,86	0,60	0,74	1	0	0	0	0	0	0
1975	0,03	0,03	0,62	0,35	0,76	0,83	0,60	0,60	0,46	0,52	0,29	0,75	0,65	0,65	0,65	0,41	0,76	0,64	0,66	0,60	1	0	0	0	0	0
1976	0,28	0,27	0,60	0,61	0,83	0,81	0,42	0,87	0,56	0,71	0,46	0,88	0,88	0,44	0,73	0,79	0,68	0,81	0,73	0,25	0,72	1	0	0	0	0
1977	0,17	0,26	0,79	0,32	0,99	0,63	0,39	0,78	0,36	0,43	0,21	0,92	0,95	0,71	0,50	0,53	0,92	0,92	0,91	0,73	0,64	0,86	1	0	0	0
1978	0,23	0,42	0,60	0,33	0,38	0,46	0,06	0,45	0,39	0,35	0,39	0,45	0,56	0,77	0,55	0,15	0,54	0,62	0,78	0,46	0,06	0,38	0,53	1	0	0
1979	0,48	0,59	0,78	0,51	0,85	0,71	0,21	0,81	0,54	0,55	0,40	0,92	0,86	0,61	0,64	0,72	0,79	0,83	0,88	0,35	0,53	0,83	0,83	0,69	1	0
1980	0,39	0,54	0,01	0,92	0,36	0,89	0,22	0,82	0,83	0,92	0,73	0,48	0,62	0,38	0,94	0,92	0,15	0,53	0,43	0,35	0,46	0,76	0,50	0,42	0,69	1

Приложение И – Программа MatLab для вычисления цикличности методом Шустера.

```
function [s]=Shuster(Y, L)
N=length(Y);
k=N/L;
for i=1:k
    for j=1:L
        Y1(i,j)=Y(i*L-L+j);
    end
end
for i=1:L
    s(i)=mean(Y1(:,i));
end
smax = max(s)
smin = min(s)
ssred = mean(s)
x=[1:1:L];
plot(x, s)
xlabel('Группировка')
ylabel('Среднее')
```

```
>>Y=[... %1000 значений
>>Y=Y';
[s]=Shuster(Y, 100);
```

Приложение К – модифицированная программа MatLab для определения цикличности методом Шустера.

```
function [At]=ShusterM(Y,L1,L2)
N=length(Y);
for L=L1:1:L2
    Y1=0;
    ats=0;
    bts=0;
    k=N/L;
    for i=1:k
        for j=1:L
            Y1(i,j)=Y(i*L-L+j);
        end
    end
    for i=1:L
        s(i) = mean(Y1(:,i));
        atS(L)= ats+(s(i)*cos((2*pi/L)*i));
        ats=atS(L);
        btS(L)=bts+(s(i)*sin((2*pi/L)*i));
        bts=btS(L);
    end
    at(L)=2/L*ats;
    bt(L)=2/L*bts;
    At(L)=(at(L)^2 + bt(L)^2)^0.5;
end
At(L1:1:L2)
x=[L1:1:L2];
plot(x, At(L1:1:L2))
ylabel('A');
xlabel('Period. years');
```

```
>>Y=[... % значения
>>Y=Y';
>> [At]=ShusterM(Y, 90,300);
```

Приложение Л – Программа *MatLab* для подбора уравнения Фурье.

```
function [A, B]=tpcoeff(X, Y, M)
N = length(X)-1;
max1=fix((N-1)/2);
if M>max1
    M=max1;
end
A=zeros(1, M+1);
B=zeros(1, M+1);
Yends=(Y(1)+Y(N+1))/2;
Y(1) = Yends;
Y(N+1)=Yends;
A(1)=sum(Y);
for j=1:M
    A(j+1)=cos(j*X)*Y';
    B(j+1)=sin(j*X)*Y';
end
A=2*A/N;
B=2*B/N;
A(1)=A(1)/2;

function z=tp(A, B, x, M)
z=A(1);
for j=1:M
    z=z+A(j+1)*cos(j*x)+B(j+1)*sin(j*x);
end
```

```
X=[1:1:128];
Y=[1:1:128];
M=30;
Y=Y';
[A, B] = tpcoeff(X, Y, M)
x=[1:1:128];
y=tp(A, B, x, M);
plot(x, y, X, Y)
```

Приложение М – преобразованная программа *MatLab* для подбора уравнения Фурье.

```
N=length(Y);
X=[1:1:N];
%M1=1;
Y=Y';
x=[1:1:N];
smin=10;
rmax = -1;
for i= 1:N
s=0;
s1=0;
[A, B] = tpcoeff1(X, Y, i);
y=tp(A, B, x, i);
rr=corrcoef(y, Y);
r(i)=rr(1,2);
if (r(i)> rmax)
    rmax = r(i);
    kk = i;
end
Ysr = mean(Y);
for j=1:N
    d1=(Y(j)-Ysr)^2;
    s1=s1+d1;
end
for j=1:N
    d=(Y(j)-y(j))^2;
    s=s+d;
end
ssd = ((s/(N-1))^0.5)/((s1/(N-1))^0.5);
if (ssd < smin)
    smin = ssd;
    kkk = i;
end
end
kk
rmax
kkk
smin

M=kk;
[A, B] = tpcoeff1(X, Y, M);
y=tp(A, B, x, M);
subplot(2,1,1)
plot(x, y, X, Y)
```

```

M=kkk;
[A, B] = tpcoeff1(X, Y, M);
y=tp(A, B, x, M);
subplot(2,1,2)
plot(x, y, X, Y)

```

```

>>Y=[...
];
>>poiskM;

```

Приложение Н – Программа *MatLab* для поверочных прогнозов по уравнению Фурье.

```

function var = prognosM(Yf, M, z)
% M размерность полинома
% z заблаговременность
X1 = [1:1:length(Yf)];
N=length(Yf)-z;
Yff=Yf(1:N);
X=[1:1:N];
Yf=Yf';
Yff=Yff';
x=[1:1:(N+z)];
smin=10;
s=0;
s1=0;
[A, B] = tpcoeff1(X, Yff, M);
y=tp(A, B, x, M);
Ysr = mean(Yf);
for j=1:N
    d1=(Yf(j)-Ysr)^2;
    s1=s1+d1;
end
for j=1:N
    d=(Yf(j)-y(j))^2;
    s=s+d;
end
ssd = ((s/(N-1))^0.5)/((s1/(N-1))^0.5);
if (ssd < smin)
    smin = ssd;
end

var = smin

figure
plot(x, y, 'r')
hold on
plot(X1, Yf, 'b')
xlabel('t');
ylabel('Q');
legend('прогноз.', 'факт.');
```

end

```

function fure(Yn, zz)
%Y ряд целиком
% zz заблаговременность
Y=Yn(1:(length(Yn)-zz));
N=length(Y);
X=[1:1:N];
%M1=1;
Y=Y';
x=[1:1:N];
smin=10;
rmax = -1;
for i= 1:N
s=0;
s1=0;
[A, B] = tpcoeffl(X, Y, i);
y=tp(A, B, x, i);
rr=corrcoef(y, Y);
r(i)=rr(1,2);
if (r(i)> rmax)
    rmax = r(i);
    kk = i;
end
Ysr = mean(Y);
for j=1:N
    d1=(Y(j)-Ysr)^2;
    s1=s1+d1;
end
for j=1:N
    d=(Y(j)-y(j))^2;
    s=s+d;
end
ssd = ((s/(N-1))^0.5)/((s1/(N-1))^0.5);
if (ssd < smin)
    smin = ssd;
    kkk = i;
end
end
kk
rmax
kkk
smin

M=kk;
[A, B] = tpcoeffl(X, Y, M);
y=tp(A, B, x, M);
subplot(2,1,1)
plot(x, y, X, Y)
xlabel('t');
ylabel('Q');
legend ('расчет.', 'факт.');
```

```

M=kkk;
[A, B] = tpcoeffl(X, Y, M);
y=tp(A, B, x, M);
subplot(2,1,2)
plot(x, y, X, Y)
xlabel('t');
ylabel('Q');
legend ('расчет.', 'факт.');
```

```

prognozM (Yn, M, zz);
end

```



```
>>Y=[...  
];  
>>fure(Yn, zz)
```