



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

Кафедра инженерной гидрологии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему **Методика определения**  
**условных обеспеченных значений**  
**расходов воды**

Исполнитель Кулешова Марта Александровна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.т.н., доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Е.В.  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

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

Хаустов В.А.  
(фамилия, имя, отчество)

«10» июня 2022г.

Санкт-Петербург  
2022

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1 Частично инфинитное моделирование	4
1.1 Математическая модель формирования речного стока	4
1.2 Расширение фазового пространства модели формирования речного стока	5
1.3 Постановка цели и задач исследования	6
2 Формирование базы данных для исследования	8
2.1 Сток	8
2.2 Испарение	10
3 Алгоритм получения условных обеспеченных расходов воды	13
4 Программный комплекс для получения условных обеспеченных расходов воды	22
4.1 Апробация программного комплекса	22
4.2 Анализ полученных результатов	28
4.3 Листинг программы	32
Заключение	41
Список использованных источников	42
Приложение А – Проекция двумерного распределения плотности вероятности и условная и безусловная кривые обеспеченности	43

## ВВЕДЕНИЕ

Темой исследования выпускной работы является разработка и реализация методики определения условных обеспеченных расходов воды (слоев стока) и построение проекций двумерного распределения плотности вероятности. В качестве языка программирования для реализации методики был выбран *MatLab*, так как он прост в использовании и позволяет построить нужные графики.

Актуальность данной работы заключается в том, что с помощью программного продукта можно получить условные обеспеченные значения расходов воды (слоев стока), используя испарение в качестве условия.

Цель работы заключается в разработке технологического алгоритма построения проекций двумерного распределения плотности вероятности и условных кривых обеспеченности, и получении условных обеспеченных значений стока с помощью компьютерного приложения *MatLab*. Расширение предметной области позволяет найти устойчивое решение. А также расширение предметной области влечет за собой увеличение переменных, учитываемых в модели. Выполняемое исследование направлено на создание программного продукта, в котором будет реализовано расширение фазового пространства в сторону испарения.

# 1 ЧАСТИЧНО ИНФИНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

## 1.1 Математическая модель формирования речного стока

Математической моделью называется совокупность математических и логических соотношений, с помощью которых устанавливаются количественные и качественные характеристики изучаемого процесса. Математические модели позволяют решать, как диагностические, так и прогностические задачи; точность выходной информации в первую очередь определяется качеством исходных данных и степенью детализации физических процессов, описываемых самой моделью [1].

Одной из важнейших гидрологических характеристик рек является речной сток, который образуется за счет притока поверхностных и подземных вод с территории водосбора. Формирование речного стока – это сложный процесс, обусловленный взаимодействием большого числа элементарных процессов. В настоящее время основным методом изучения процессов формирования стока является математическое моделирование, которое позволяет количественно воспроизвести физические закономерности трансформации воды, поступающей на водосборную площадь, на основе теоретических представлений и обобщения экспериментальных данных.

Все виды многолетнего речного стока описываются асимметричными одномодальными кривыми плотности вероятности, которые укладываются в семейство кривых Пирсона, являющееся решением одноименного уравнения

$$\frac{dp}{dQ} = \frac{Q - a}{b_0 + b_1Q + b_2Q^2} p, \quad (1.1)$$

где  $p$  – плотность вероятности речного стока;  
 $a, b_0, b_1, b_2$  – коэффициенты.

На практике часто эмпирические кривые не соответствуют подобному описанию, т. к. гистограммы обычно многомодальные. На рисунке 1.1 приведен пример многомодального распределения для реки Яренга.



Рисунок 1.1 – Распределение плотности вероятности  $p$ . Яренга.

Для исключения неустойчивости решений модели формирования речного стока предлагается рассматривать не одномерный, а двумерный случай.

## 1.2 Расширение фазового пространства модели формирования речного стока

Фазовое пространство – это матрица переменных, характеризующих состояние объекта. Расширяя фазовое пространство (усложняя модель), можно ликвидировать неустойчивость решения модели. В рамках данной исследовательской работы, будем расширять фазовое пространство в сторону испарения, для получения двумерного случайного процесса.

При объединении предметных областей происходит нормализация распределения. Нормальное распределение («колокольчик») представлено на рисунке 1.2 [2].

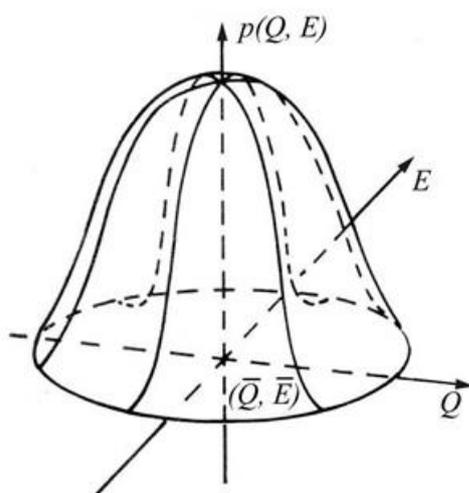


Рисунок 1.2 – Нормальное распределение  $p(Q, E)$

Тем самым получаем возможность иметь устойчивое по моментам, но уже двумерное распределение. В случае одномерного устойчивого распределения нам необходимо было иметь три момента для его описания (в случае кривой Пирсона III типа). Сечение же «колокольчика» будет уже нормальным распределением и для его описания надо знать два момента. Но это будет условное распределение (для каждого  $E$  – «свое»). Следовательно, все равно надо знать три числа для его описания. Однако в случае  $p(Q, E; t)$  мы можем работать и с распределениями, которые раньше были неустойчивыми по моментам.

Метод учета испарения при математическом моделировании речного стока, который будем использовать, основан на вычислении и построении проекции двумерного распределения плотности вероятности («колокольчик») и получении условных, т. е. с учетом средних многолетних значений испарения, обеспеченных значений характеристик речного стока.

### 1.3 Постановка цели и задач исследования

Целью данного исследования является разработка технологического алгоритма построения проекций двумерного распределения плотности

вероятности и получение условных обеспеченных значений расхода с помощью компьютерного приложения *MatLab*.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- а) сформировать базу данных для исследования;
- б) вычислить основные статистические характеристики рядов данных;
- в) разработать программный продукт для построения двумерных эмпирических гистограмм и проекций двумерного распределения плотности вероятности;
- г) разработка алгоритма получения условных обеспеченных значений стока воды;
- д) алгоритм получения условных и безусловных кривых обеспеченности.

## 2 ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Многолетние ряды стока

При формировании базы данных для исследования было выбрано 15 водосборов. Водосборы выбирались по следующему принципу: площади водосбора должны находиться в пределах от 1000 до 50000 км<sup>2</sup>; водосборы должны находиться и в северных, и в южных районах страны; ряды наблюдений за стоком на выбранных водосборах должны иметь достаточную продолжительность для надежной статистической оценки (в данной работе длина ряда составляет 37 лет). В таблице 2.1 представлены координаты центров водосборов и площади водосборов выбранных рек.

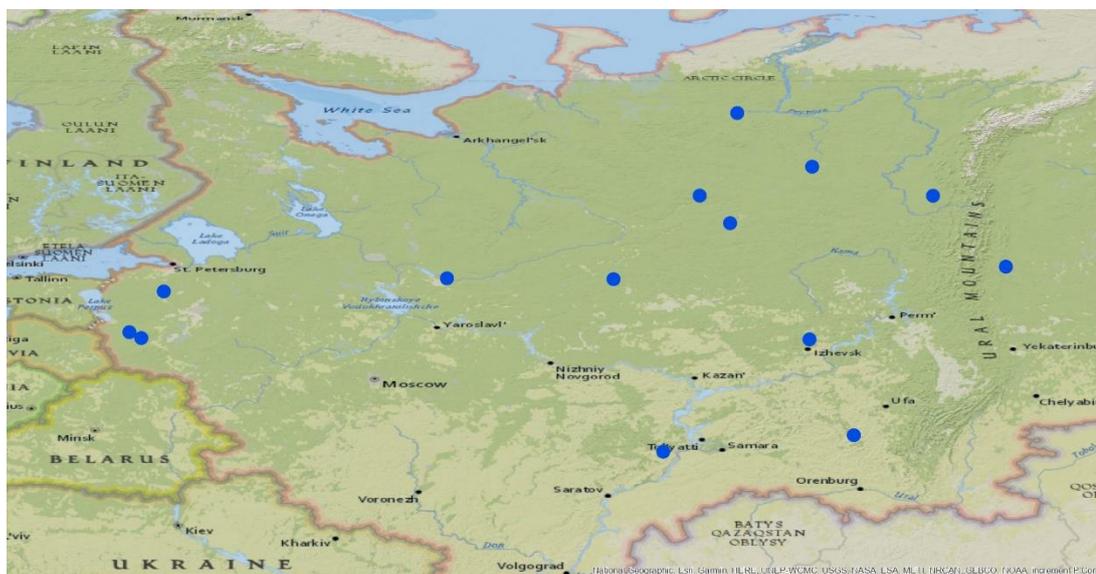


Рисунок 2.1 – Расположение центров водосборов рек.

На рисунке 2.1 видно, что выбранные водосборы расположены в Европейской части России. Все водосборы находятся в умеренно-континентальном типе климата.

Таблица 2.1 – Координаты центров и площадь водосборов

Река – пункт	Координаты центров водосборов, град.		F, км <sup>2</sup>
	широта	долгота	
р. Паша – с. Часовенское	60,02	60,02	5710
р. Луга – г. Кингисепп	59,06	29,81	12800
р. Великая – д. Гуйтово	56,79	29,04	13400
р. Сороть – д. Осинкино	57,1	29,2	3170
р. Сухона – г. Тотьма	59,71	40,68	34800
р. Юг – д. Гаврино	60,17	47,35	34800
р. Яренга – с. Тохта	62,60	49,14	4930
р. Вашка – д. Рещельская	63,54	47,33	19000
р. Сызранка – с. Репьевка	53,28	47,49	4380
р. Дема – д. Бочкарева	53,77	54,67	12500
р. Чепца – с. Полом	57,64	53,55	5930
р. Печора – с. Троицко- Печорск	62,45	57,61	35600
р. Ижма – с. Усть-Ухта	63,48	53,06	15000
р. Ухта – г. Ухта	63,50	53,06	4290
р. Цильма – с. Трусово	65,83	50,29	20900

Из таблицы 2.1 можно заметить, что самым большим водосбором является водосбор реки Печора (с. Троицко-Печорск) – 35600 км<sup>2</sup>, а наименьшим реки Сороть (д. Осинкино) – 3170 км<sup>2</sup>.

В таблице 2.2 представлена информация о статистических характеристиках рядов стока. Рассчитаны слои стока ( $h$ ), среднеквадратическое отклонение ( $\sigma$ ), коэффициент вариации ( $Cv$ ) и коэффициент асимметрии ( $Cs$ ).

Таблица 2.2 – Статистические характеристики рядов данных

Река – пункт	Период наблюдений, гг.	$Q_{cp}$ , м <sup>3</sup> /с	$h$ , мм	$\sigma$	$Cv$	$Cs$
Паша – с. Часовенское	1951–1988	62,0	354	13	0,23	0,12
Луга – г. Кингисепп	1951–1988	94,7	233	21	0,29	0,39
Великая – д. Гуйтово	1951–1988	90,4	213	23	0,30	0,39
Сороть – д. Осинкино	1951–1988	20,9	207	5	0,32	0,32
Сухона – г. Тотьма	1951–1988	300	272	66	0,27	0,22
Юг – д. Гаврино	1951–1988	285	258	56	0,26	0,65
Яренга – с. Тохта	1951–1988	42,6	272	11	0,33	-0,17
Вашка – д. Рещельская	1951–1988	188	312	27	0,19	0,25
Сызранка – с. Репьевка	1951–1988	13,5	97	2	0,23	0,83
Дема – д. Бочкарева	1951–1988	44,7	113	13	0,37	0,67
Чепца – с. Полом	1951–1988	36,3	193	7	0,26	0,23
Печора – с. Троицко-Печорск	1951–1988	532	471	55	0,14	0,40
Ижма – с. Усть-Ухта	1951–1988	149	313	18	0,15	0,34
Ухта – г. Ухта	1951–1988	45,3	333	6	0,16	0,33
Цильма – с. Трусово	1951–1988	227	342	33	0,17	-0,24

Из таблицы 2.2 видно, что наименьший сток у р. Сызранка – с. Репьевка и он равен 97 мм. Наибольший сток у р. Печора – с. Троицко-Печорск – 471 мм. Самое большое значение коэффициента вариации у р. Дема – д. Бочкарева  $Cv = 0,30$ . Самый маленький коэффициент вариации  $Cv = 0,10$  у р. Печора – с. Троицко-Печорск.

## 2.2 Многолетние ряды испарения

Для измерения испарения с водной поверхности применяются плавучие и грунтовые испарители, испарительные бассейны, представляющих собой цилиндрические резервуары определенной площади и емкости. В России

используются испарители ГГИ-3000. Этот прибор вместе с дождемером помещается в грунт по уровню земли на специальной испарительной площадке. Количество испарившейся воды определяется по снижению уровня в испарителе, а выпавшие осадки учитываются дождемером.

Прямые измерения испарения обычно не производятся. Однако существуют эмпирические формулы, связывающие испарение с температурой и влажностью.

На существующей сети метеорологических станций производят измерения температуры и влажности воздуха. Далее определяется испарение. Номограмма на рисунке 2.2 разработана Константиновым А. Р. по эмпирическим данным, что делает данный метод наиболее эффективным.

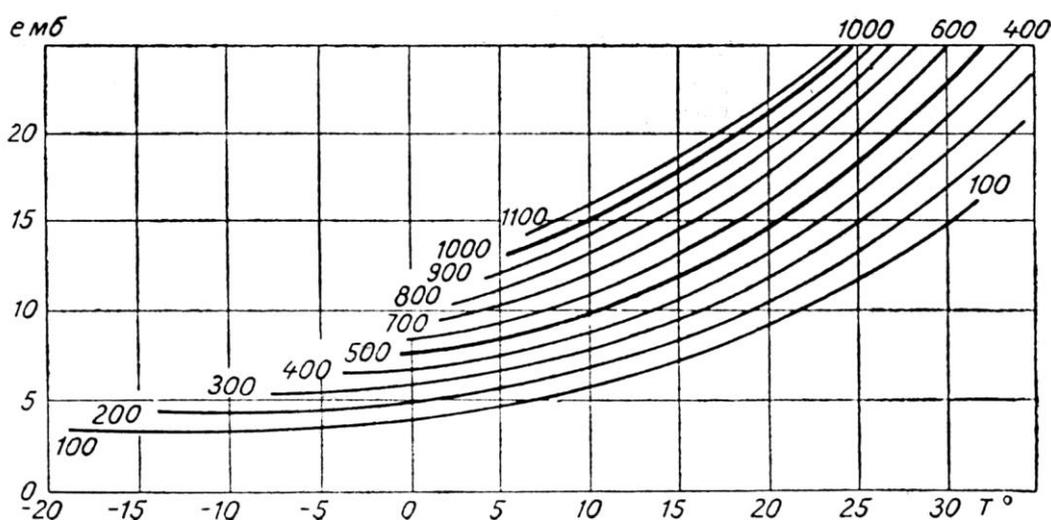


Рисунок 2.2 – График для расчета годового испарения (мм/год) по среднегодовой температуре ( $T^{\circ}$ ) и влажности воздуха ( $e$  мбар).

По номограмме Константинова были составлены ряды испарения. Данные по температуре и влажности воздуха были взяты из источников Всемирной метеорологической организации.

В таблице 2.3 представлены рассчитанные статистические характеристики рядов испарения. Рассчитаны среднегодовые слои испарения

( $E$ ), среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ), коэффициент вариации ( $C_v$ ) и коэффициент асимметрии ( $C_s$ ) рядов испарения.

Таблица 2.3 – Статистические характеристики рядов данных

Река – пункт	Период наблюдений, гг.	$E_{cp}$ , мм	$\sigma$	$C_v$	$C_s$
Паша – с. Часовенское	1951–1988	435	35	0,10	0,10
Луга – г. Кингисепп	1951–1988	476	36	0,09	0,15
Великая – д. Гуйтово	1951–1988	514	32	0,08	0,41
Сорочь – д. Осинкино	1951–1988	512	33	0,08	0,40
Сухона – г. Тотьма	1951–1988	401	34	0,10	0,13
Юг – д. Гаврино	1951–1988	362	33	0,11	0,03
Яренга – с. Тохта	1951–1988	300	35	0,14	-0,18
Вашка – д. Рещельская	1951–1988	286	37	0,15	-0,21
Сызранка – с. Репьевка	1951–1988	515	34	0,08	-0,41
Дема – д. Бочкарева	1951–1988	450	33	0,09	-0,16
Чепца – с. Полом	1951–1988	408	30	0,09	-0,06
Печора – с. Троицко-Печорск	1951–1988	260	32	0,15	0,18
Ижма – с. Усть-Ухта	1951–1988	273	35	0,15	-0,06
Ухта – г. Ухта	1951–1988	272	35	0,15	-0,06
Цильма – с. Трусово	1951–1988	244	34	0,16	-0,03

Из таблицы 2.3 видно, что самое маленькое испарение у р. Цильма – с. Трусово и оно равно 244 мм, это связано с самым северным расположением водосбора. А самое большое значение,  $E = 515$  мм, у р. Сызранка – с. Репьевка, это связано с самым южным расположением водосбора.

### 3 АЛГОРИТМ ПОЛУЧЕНИЯ УСЛОВНЫХ ОБЕСПЕЧЕННЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

В данной работе будем использовать аналитический метод, но прежде опишем его прототипы.

Первый из них заключался в том, что на эллипсах рассеивания (рисунок 3.1) выбирается диапазон  $\Delta E$ , в который входит значение нормы испарения, и отделяется от остального поля точек. По точкам, попавшим в диапазон  $\Delta E$ , строятся условные кривые обеспеченности  $p(Q/\Delta E)$ .

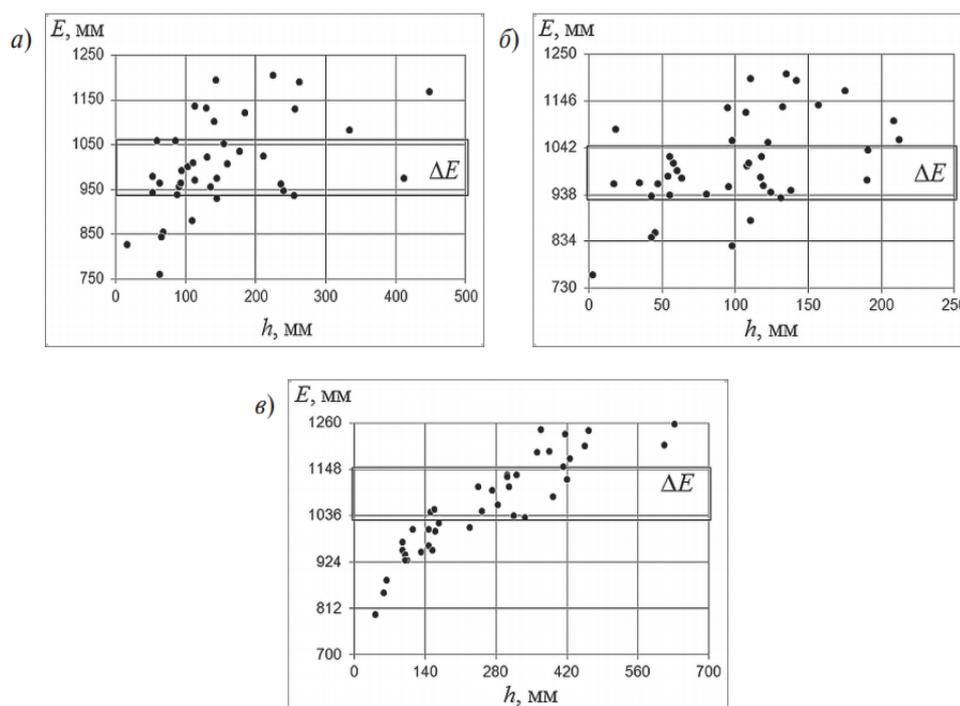


Рисунок 3.1 – Эллипсы рассеивания: а – р. Alibori – ст. Route Kandi-Banikoara Amont; б – р. Alibori – ст. Route Kandi-Banikoara Aval; в – р. Faleme – ст. Gourbassy [3].

Во втором методе использовалась теоретическая поверхность плотности вероятности в виде «колокольчика», которая «разрезается как пирог» по норме испарения (рисунок 3.2), тем самым получая график условной плотности вероятности (т. е. с учетом нормы испарения).

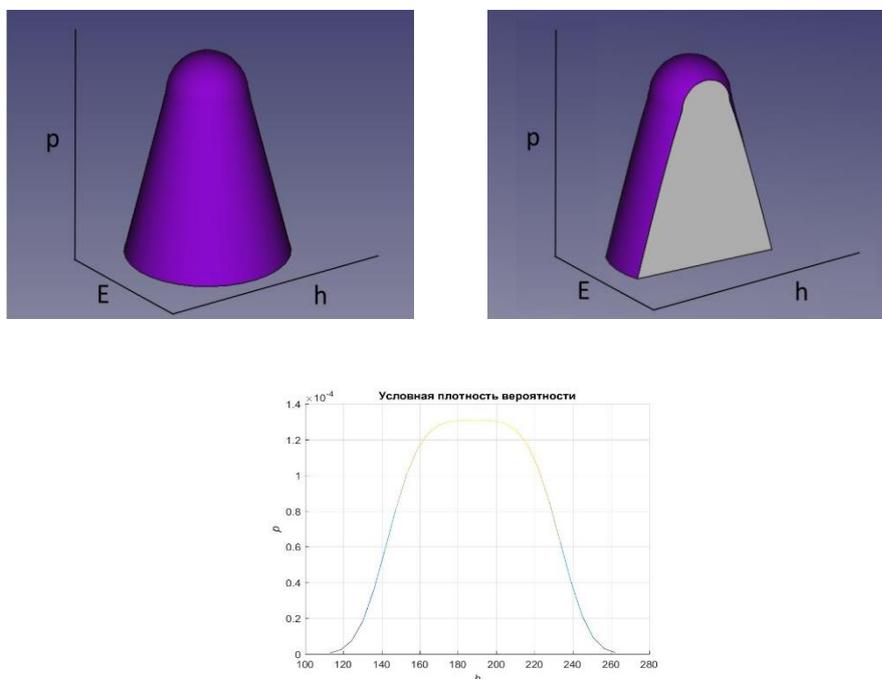
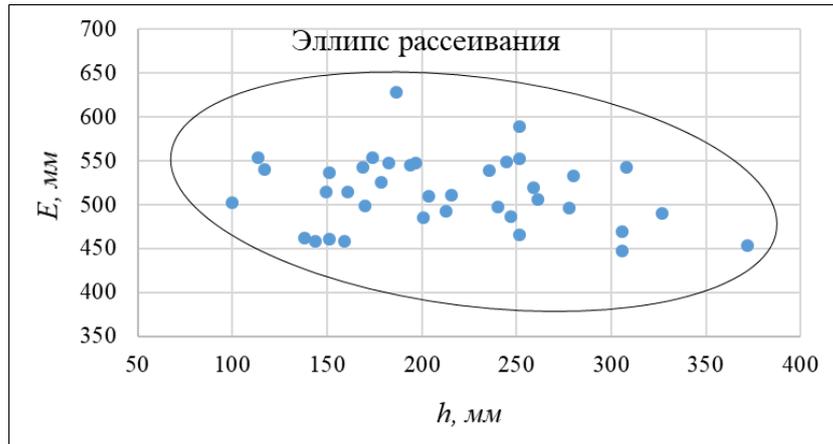


Рисунок 3.2 – Теоретическая поверхность плотности вероятности и условная плотность вероятности

Аналитический метод заключается в получении проекции двумерного распределения плотности вероятности и нахождении условных обеспеченных значений слоя стока. Для этого по рядам стока и испарения рассчитываются: нормы стока и испарения, коэффициенты корреляции между рядами стока и испарения, коэффициенты вариации, асимметрии, среднеквадратическое отклонение для каждого поста. Затем строится точечная зависимость  $Q = f(E)$ , которую делим на определенные интервалы, количество которых зависит от длины ряда. Далее считаем число точек в каждом интервале. По этим данным строим гистограмму. На рисунках 3.3–3.5 приведены примеры такого построения.

а)



б)

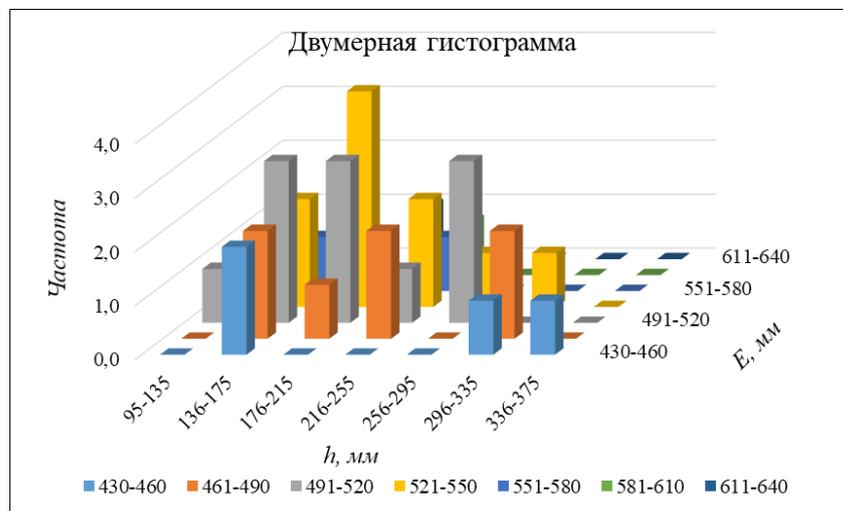
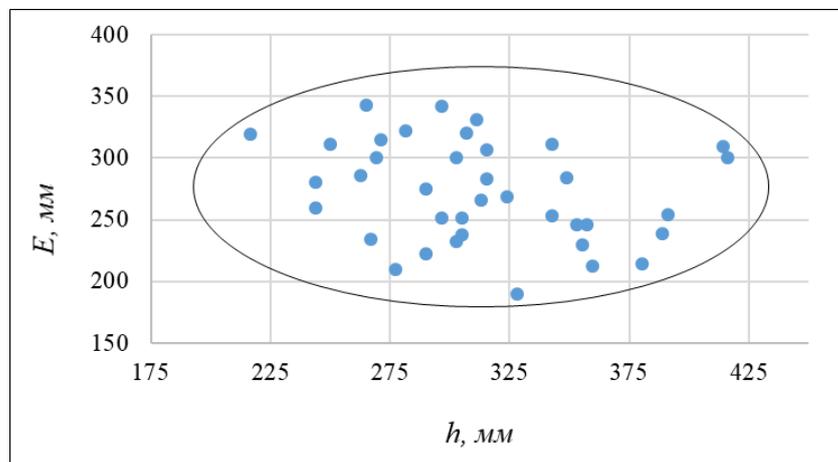


Рисунок 3.3 – Эллипс рассеивания (а), гистограмма двумерного распределения (б) – р. Великая – д. Гуйтово.

а)



б)

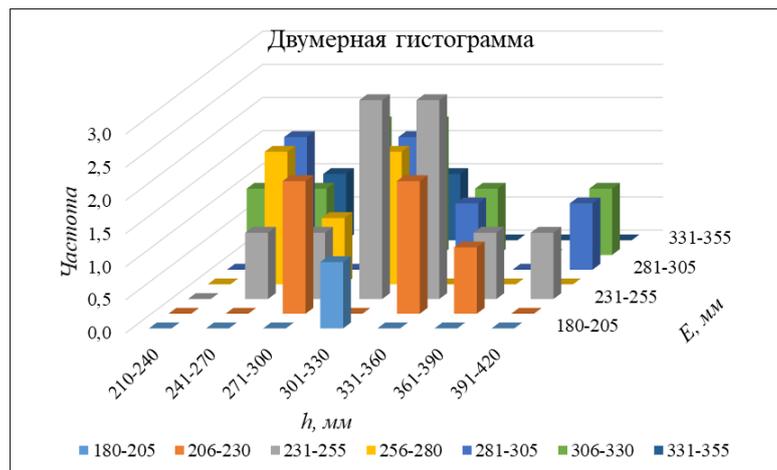
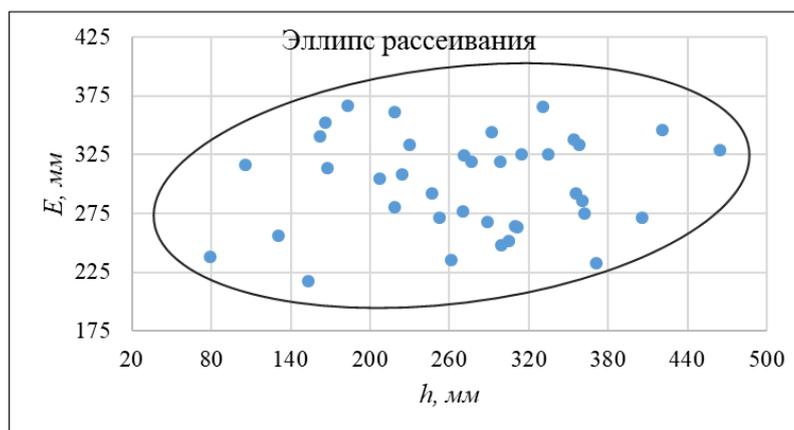


Рисунок 3.4 – Эллипс рассеивания (а), гистограмма двумерного распределения (б) – р. Ижма – с. Усть-Ухта.

(а)



(б)

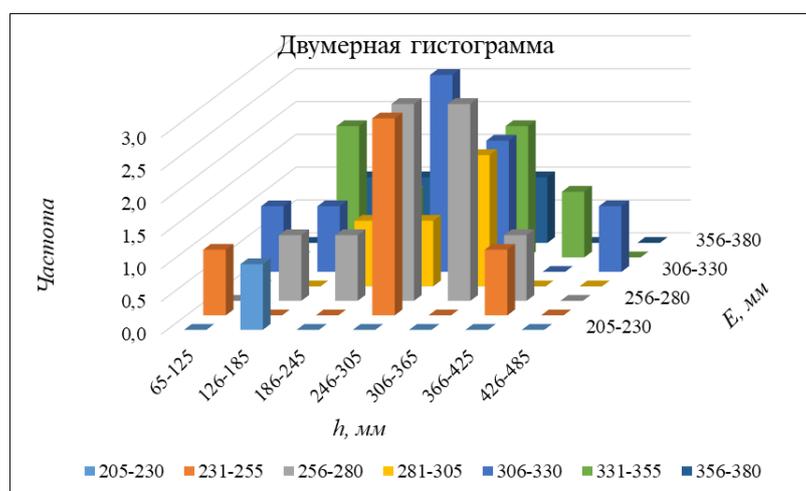


Рисунок 3.5 – Эллипс рассеивания (а), гистограмма двумерного распределения (б) – р. Яренга – с. Тохта.

После построение гистограммы можно перейти к расчету условных обеспеченных значений стока. Он проходит в несколько этапов. Для начала производим вычисления обеспеченных значений стока, далее решаем уравнения относительно  $E$ , задавая  $Q$ . Нельзя забывать, что все должно быть в одинаковых единицах измерения. После получения  $E$ , можно приступить к перерасчету  $Q$ , это и будут условные обеспеченные значения стока.

Чтобы подробнее описать расчет условных обеспеченных значений стока, приведу практический пример для 1 % обеспеченности.

В одномерном случае уравнение будет выглядеть следующим образом:

$$1/2 \left[ \frac{(Q - \bar{Q})^2}{\sigma_Q^2} \right] = \lambda^2 \quad (3.1)$$

$$(1\%) \lambda^2 = 4,605$$

$$(0,1\%) \lambda^2 = 6,908$$

$$(0,01\%) \lambda^2 = 9,210$$

$$(10\%) \lambda^2 = 2,303$$

$$P = 1 - e^{-\lambda^2}$$

Раскроем скобки и получим следующее уравнение:

$$Q^2 - 2 * \bar{Q} * Q + \bar{Q}^2 - 4.6 * \sigma_Q^2 * 2 = 0 \quad (\text{т.е. } a * Q^2 - b * Q + c = 0) \quad (3.2)$$

Решение этого уравнения сводится к дискриминанту:

$$Q_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3.3)$$

$$Q_{1,2} = \frac{2\bar{Q} \pm \sqrt{(2\bar{Q})^2 - 4 * (\bar{Q}^2 - 4.6 * \sigma_Q^2 * 2)}}{2} \Rightarrow Q_{1\%} \quad (3.4)$$

В двумерном случае добавляется  $E$ ,  $r_{QE}$ ,  $\sigma_Q$ :

$$\frac{1}{2(1-r_{QE}^2)} \left[ \frac{(Q-\bar{Q})^2}{\sigma_Q^2} - \frac{2r_{QE}(Q-\bar{Q})(E-\bar{E})}{\sigma_Q\sigma_E} + \frac{(E-\bar{E})^2}{\sigma_E^2} \right] = 4.605 \quad (3.5)$$

Раскрываем скобки:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sigma_Q^2} (Q^2 - 2\bar{Q}Q + \bar{Q}^2) - \frac{2r_{QE}}{\sigma_Q\sigma_E} (QE - \bar{Q}E - Q\bar{E} + \bar{Q}\bar{E}) + \\ & + \frac{1}{\sigma_E^2} (E^2 - 2\bar{E}E + \bar{E}^2) = 4.6 * 2 * (1 - r_{QE}^2) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Уравнение надо решать относительно  $E$ , т.е. найти  $E_{1,2}$  ( $E_1 = E_2$ ), задавая  $Q$ .

$$b = \left( \frac{-2r_{QE}}{\sigma_Q\sigma_E} * Q + \frac{2r_{QE}}{\sigma_Q\sigma_E} \bar{Q} - \frac{2\bar{E}}{\sigma_E^2} \right) * \sigma_E^2 \quad (3.7)$$

$$c = \left( \frac{1}{\sigma_Q^2} * (Q^2 - 2Q*\bar{Q} + \bar{Q}^2) + \frac{\bar{E}^2}{\sigma_E^2} - 2*4.6*(1-r_{QE}^2) + \frac{2*r_{QE}*(Q\bar{E} - \bar{Q}\bar{E})}{\sigma_Q\sigma_E} \right) * \sigma_E^2 \quad (3.8)$$

$$E_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \tilde{E} \quad (3.9)$$

В таблице 3.1 представлены характеристики рядов нужные для вычисления условных обеспеченных значений стока.

Таблица 3.1 – Статистические характеристики рядов данных

№п/п	Река–Пункт	$\bar{Q}$	$\bar{E}$	$r_{QE}$	$\sigma_Q$	$\sigma_E$
1	Паша – с. Часовенское	62,0	435	-0,06	13	35
2	Луга – г. Кингисепп	94,7	476	-0,03	21	36

Продолжение таблицы 3.1						
3	Великая – д. Гуйтово	90,4	514	-0,18	23	32
4	Сороть – д. Осинкино	20,9	512	-0,17	5	33
5	Сухона – г. Тотьма	300	401	-0,38	66	34
6	Юг – д. Гаврино	285	362	-0,25	56	33
7	Яренга – с. Тохта	42,6	300	0,08	11	35
8	Вашка – д. Решельская	188	286	-0,17	27	37
9	Сызранка – с. Репьевка	13,5	515	0,11	2	34
10	Дема – д. Бочкарева	44,7	450	-0,10	13	33
11	Чепца – с. Полом	36,3	408	-0,24	7	30
12	Печора – с. Троицко-Печорск	532	260	-0,21	55	32
13	Ижма – с. Усть-Ухта	149	273	-0,26	18	35
14	Ухта – г. Ухта	45,3	272	-0,20	6	35
15	Цильма – с. Трусово	227	244	0,16	33	34

После вычисления  $\tilde{E}$  можно приступить к перерасчету  $Q$ :

$$\frac{1}{2 * \sigma_Q^2 * (1 - r^2)} * \left[ Q - \bar{Q} - \frac{r\sigma_Q}{\sigma_E} (\tilde{E} - \bar{E}) \right]^2 = 4.6 \quad (3.10)$$

Решаем относительно  $Q$ :

$$b = 2 * \left( -\bar{Q} - \frac{r\sigma_Q}{\sigma_E} * (\tilde{E} - \bar{E}) \right) \quad (3.11)$$

$$c = \left( -\bar{Q} - \frac{r\sigma_Q}{\sigma_E} * (\tilde{E} - \bar{E}) \right)^2 - 4.6 * 2 * \sigma_Q^2 * (1 - r^2) \quad (3.12)$$

$$Q = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3.13)$$

Полученный результат является значением условного обеспеченного стока. Теперь по этим данным можно построить проекцию двумерного распределения плотности вероятности и условные и безусловные кривые обеспеченности. На рисунках 3.6-3.8 располагаются примеры построения проекций двумерного распределения плотности вероятности.

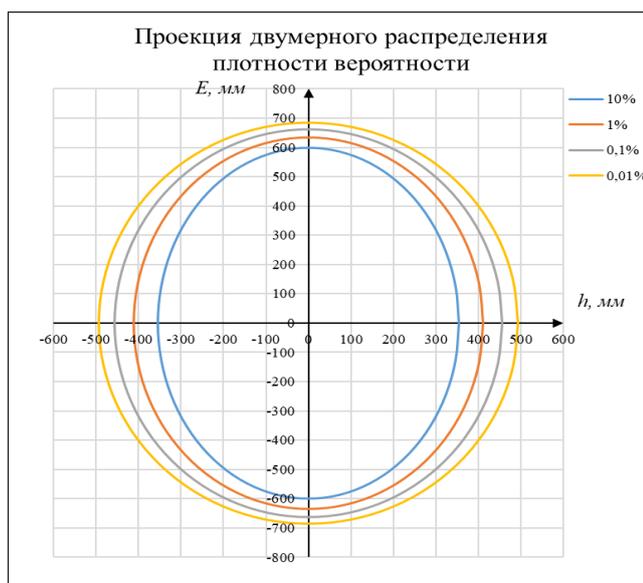


Рисунок 3.6 – Проекция двумерного распределения плотности вероятности  $p$ .

Великая – д. Гуйтово.

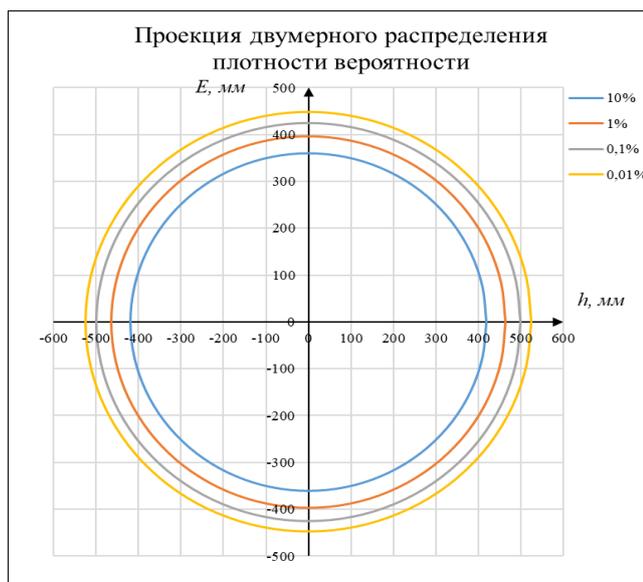


Рисунок 3.7 – Проекция двумерного распределения плотности вероятности  $p$ .

Ижма – с. Усть-Ухта.

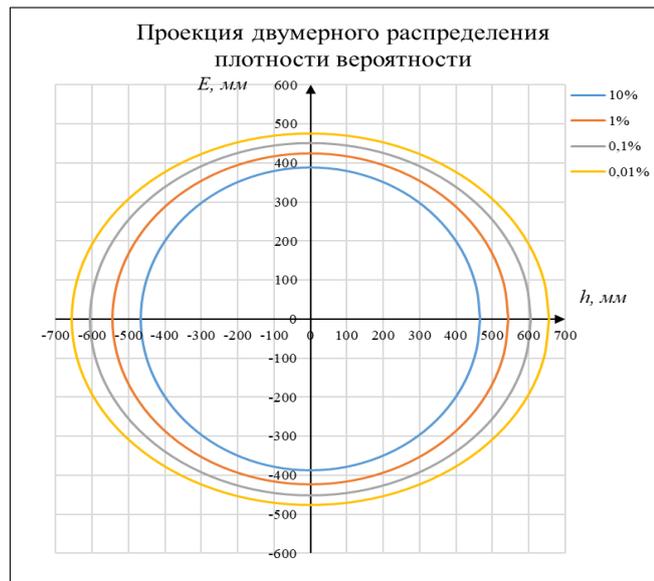


Рисунок 3.8 – Проекция двумерного распределения плотности вероятности  $p$ .  
Яренга – с. Тохта.

Из рисунков 3.6–3.8 видно, что графики сильно различаются между собой, так как их форма зависит от величины обеспеченных значений стока и испарения.

## 4 ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УСЛОВНЫХ ОБЕСПЕЧЕННЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

В качестве приложения для написания программного комплекса был выбран *MatLab*. Данный язык программирования ориентирован на технические и математические расчеты и имеет ряд преимуществ перед другими языками программирования для решения данной задачи. *MatLab* довольно прост в использовании, в нем обширный ряд функций с возможностью их дополнения, удобный формат работы в m-файлах, высокая точность вычислений, большое разнообразие типов графиков, в том числе построение трехмерных поверхностей и фигур. Графики выводятся в отдельном окне, с возможностью отображения нескольких на одном рисунке. Каждый график можно индивидуально настроить по всевозможным параметрам: цвет точек и линий, толщина, форма маркеров, тип линии, название графика, подпись осей и т.д. Также радует количество инструментов, которые позволяют подробнее работать с графиками: увеличение и уменьшение масштаба, возможность вращения графиков в любом направлении, вывод отдельных таблиц с данными о построении и т.д. Не маловажным является то, что написанный код можно в последствии преобразовать в полноценное приложение.

### 4.1 Апробация программного комплекса

Чтобы воспользоваться программным продуктом "*riverflow*", нужно указать путь к папке, где она располагается, и вызвать ее, написав название в командном окне. Программа оформлена по правилам, поэтому в начале идет приветствие и краткая инструкция по пользованию. На рисунке 4.1 представлено командное окно с приветствием и краткой инструкцией.

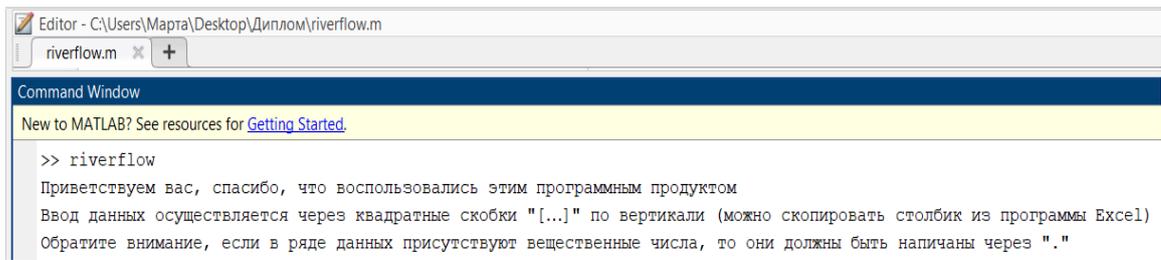


Рисунок 4.1 – Приветствие и краткая инструкция программы "riverflow".

*Исходные данные для программы.*

Для работы программы нужны исходные данные стока и испарения.

Таблица 4.1 – Исходные данные для программы

$h$ , мм	$E$ , мм
250	311
416	300
303	300
282	322
305	251
296	251
343	311
355	230
263	286
267	234
315	307
307	320
290	222
343	253
389	239
381	214
265	343
278	210
328	190
244	280
303	232
313	266
290	275
311	331
271	315
324	269
269	300
360	212

Продолжение таблицы 4.1	
357	246
244	260
296	342
349	284
414	309
315	283
305	238
391	254
353	246
217	319

### *Интерфейс программы.*

Программа вызывается из командной строки, но для начала вводим данные.

Рисунок, демонстрирующий начало работы программы и ввод данных, представлен ниже.

```

riverflow.m
Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
>> riverflow
Приветствуем вас, спасибо, что воспользовались этим программным продуктом
Ввод данных осуществляется через квадратные скобки "[...]" по вертикали (можно скопировать столбик из программы Excel)
Обратите внимание, если в ряде данных присутствуют вещественные числа, то они должны быть написаны через "."
Введите ряд стока
Сток = [250
416
303
282
305
296
343
355
263
267
315
307
290
343
389
381
265
278
328
244
303
313

```

Рисунок 4.2 – Исходные данные для программы.

Если пользователь вставить ряды разной длины, то программа оповестит об этом и попросит заменить ряды. На рисунке 4.3 представлен пример, как программа объявляет об ошибке.

```
Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
253
239
214
343
210
190
280
232
]
Error, ряды наблюдений разной длины
```

Рисунок 4.3 – Уведомление об ошибке.

*Результат работы программы.*

Результаты работы программы получается в виде четырех графиков: эллипса рассеивания, двумерной гистограммы, проекции двумерного распределения плотности вероятности и условной и безусловной кривых обеспеченности, см. рисунки 4.4–4.7.

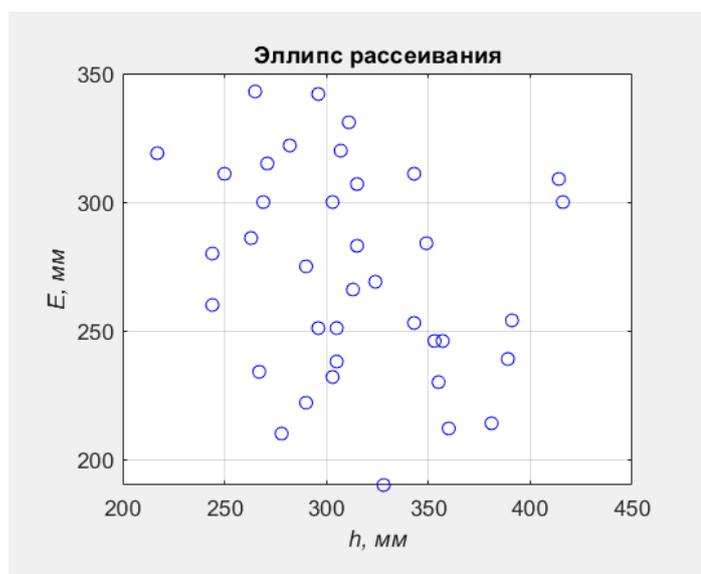


Рисунок 4.4 – Эллипс рассеивания р. Ижма – с. Усть-Ухта.

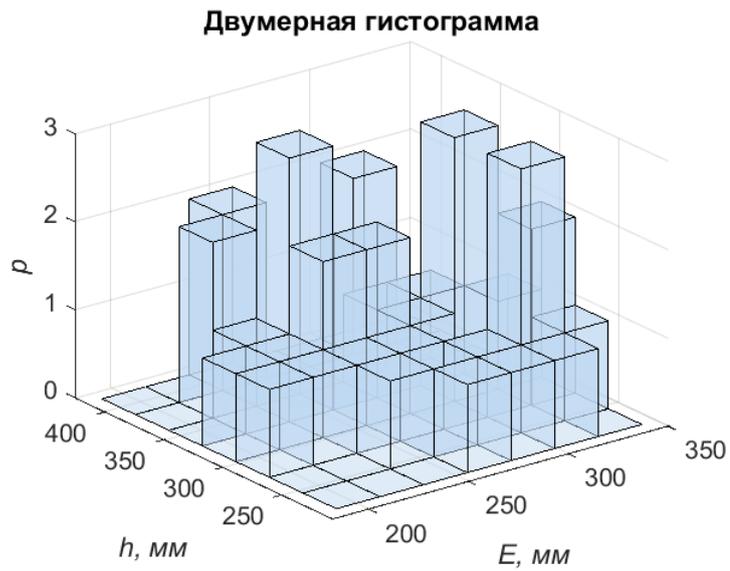


Рисунок 4.5 – Двумерная гистограмма  $p$ . Ижма – с. Усть-Ухта.

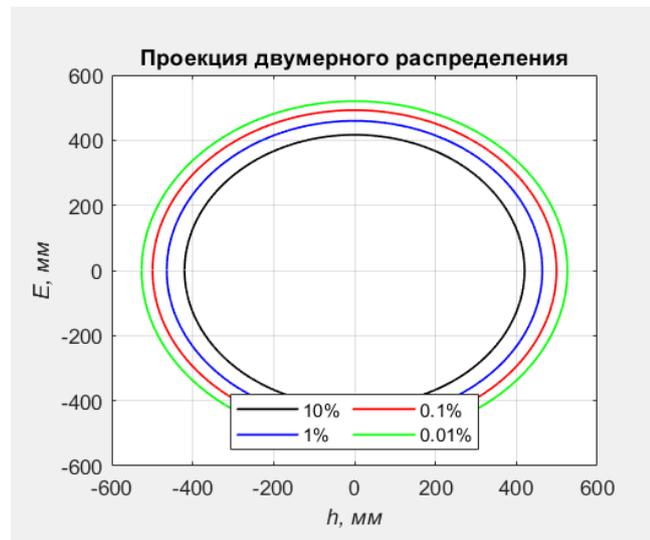


Рисунок 4.6 – Двумерная проекция распределения плотности вероятности  $p$ . Ижма – с. Усть-Ухта.



Рисунок 4.7 – Условная и безусловная кривые обеспеченности р. Ижма – с. Усть-Ухта.

После построение эллипса рассеивания, двумерной гистограммы, двумерной проекции распределения плотности вероятности и условной и безусловной кривых обеспеченности, программа выведет значения условных обеспеченных слоев стока (см. рисунок 4.8). А также будет предоставлен выбор *да-нет* из «1» и «2». Если пользователь ставит «1», то программа выводит статистические характеристики ряда (см. рисунок 4.9). Если пользователь пишет «2», то программа благодарит за использованные данного программного продукта (см. рисунок 4.10).

```
Условный сток 10% = 420
Условный сток 1% = 464
Условный сток 0.1% = 499
Условный сток 0.01% = 526
```

Рисунок 4.8 – Значения условных обеспеченных слоев стока р. Ижма – с. Усть-Ухта.

```
Надо ли вывести значения статистических характеристик?
Если да, то введите "1", если нет, то "2"
Статистические характеристики рядов данных: 1
Среднее значение слоя стока = 313
Среднеквадратическое отклонение = 48
Коэффициент вариации = 0.15
Коэффициент асимметрии = 0.34
```

Рисунок 4.9 – Значения статистических характеристик ряда данных р. Ижма – с. Усть-Ухта.

```
Надо ли вывести значения статистических характеристик?
Если да, то введите "1", если нет, то "2"
Статистические характеристики рядов данных: 2
Расчет завершен, спасибо, что воспользовались данным программным продуктом!
```

Рисунок 4.10 – Завершение использования программы.

## 4.2 Анализ полученных результатов

С помощью программы были получены условные обеспеченные значения стока и условные и безусловные кривые обеспеченности. Нужно проанализировать результаты. В таблице 4.2 представлена информация по условным и безусловным кривым для каждого поста.

Таблица 4.2 – Сводная таблица условных и безусловных значений расходов воды и отклонений между ними

№п/п	Река–Пункт	Обеспеченность, %											
		0,01			0,1			1			10		
		безусл.	усл.	откл.	безусл.	усл.	откл.	безусл.	усл.	откл.	безусл.	усл.	откл.
1	Паша – с. Часовенское	122	135	-11%	112	120	-8%	99	104	-4%	83	84	-1%
2	Луга – г. Кингисепп	220	231	-5%	194	202	-4%	165	169	-2%	130	131	0%
3	Великая – д. Гуйтово	217	231	-6%	191	201	-5%	162	167	-3%	127	128	-1%
4	Сороть – д. Осинкино	50	55	-9%	44	48	-7%	38	40	-5%	30	30	-1%
5	Сухона – г. Тотьма	642	702	-9%	577	622	-8%	503	540	-7%	407	427	-5%
6	Юг – д. Гаврино	661	653	1%	580	577	1%	490	493	-1%	384	391	-2%
7	Яренга – с. Тохта	90	113	-26%	82	98	-20%	73	81	-11%	60	61	-2%
8	Вашка – д. Решельская	342	352	-3%	311	319	-2%	277	281	-2%	234	236	-1%
9	Сызранка – с. Репьевка	30	28	9%	26	25	7%	22	21	4%	18	18	0%
10	Дема – д. Бочкарева	131	131	0%	112	112	0%	91	91	0%	67	67	0%
11	Чепца – с. Полом	76	83	-10%	68	73	-7%	60	62	-5%	49	50	-2%
12	Печора – с. Троицко-Печорск	886	879	1%	813	808	1%	733	733	0%	633	638	-1%
13	Ижма – с. Усть-Ухта	250	253	-1%	230	233	-1%	207	210	-1%	179	181	-1%
14	Ухта – г. Ухта	77	77	-1%	70	71	-1%	63	64	-1%	55	55	-1%
15	Цильма – с. Трусово	359	401	-12%	337	367	-9%	313	329	-5%	276	280	-1%

Исходя из таблицы 4.2 наибольшие отклонения получены при обеспеченности 0,01 %, наименьшие при 10 % обеспеченности. Среднее значение отклонения при 0,01 % – 7 %; 0,1 % – 5 %; 1 % – 3 %; 10 % – 1 %.

Наибольшие отклонения можно заметить на р. Яренга – с. Тохта и р. Цильма – с. Трусово. На рисунках 4.11–4.12 изображены условные и безусловные кривые для р. Яренга и р. Цильма.

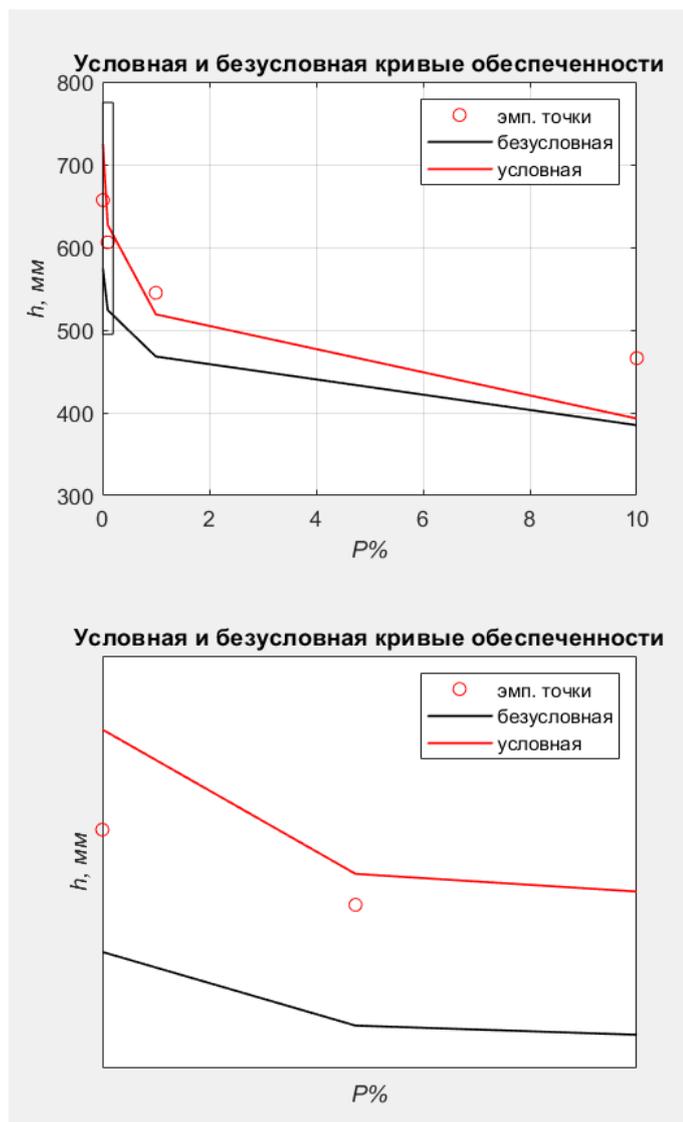


Рисунок 4.11 – Условная и безусловная кривые обеспеченности р. Яренга – с. Тохта.

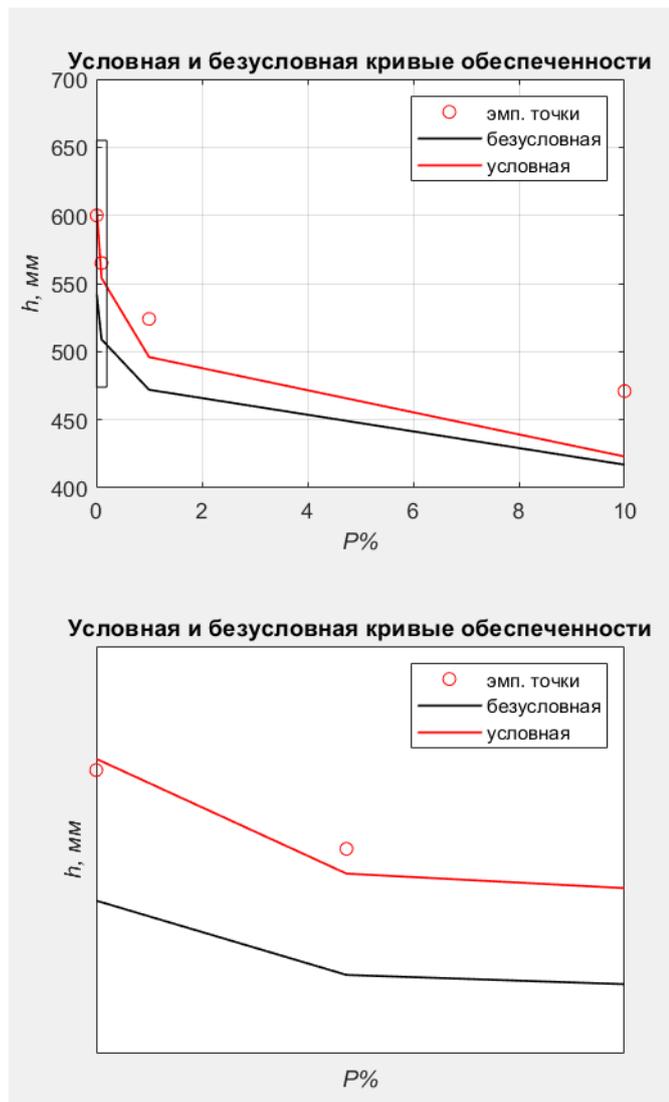


Рисунок 4.12 – Условная и безусловная кривые обеспеченности р. Цильма – с. Трусово.

Вероятно, такие большие отклонения связаны с тем, что у обоих этих рек отрицательный коэффициент асимметрии.

Наименьшие отклонения можно заметить на р. Дема – д. Бочкарева. На рисунке 4.13 изображены условная и безусловная кривые для р. Дема – д. Бочкарева.

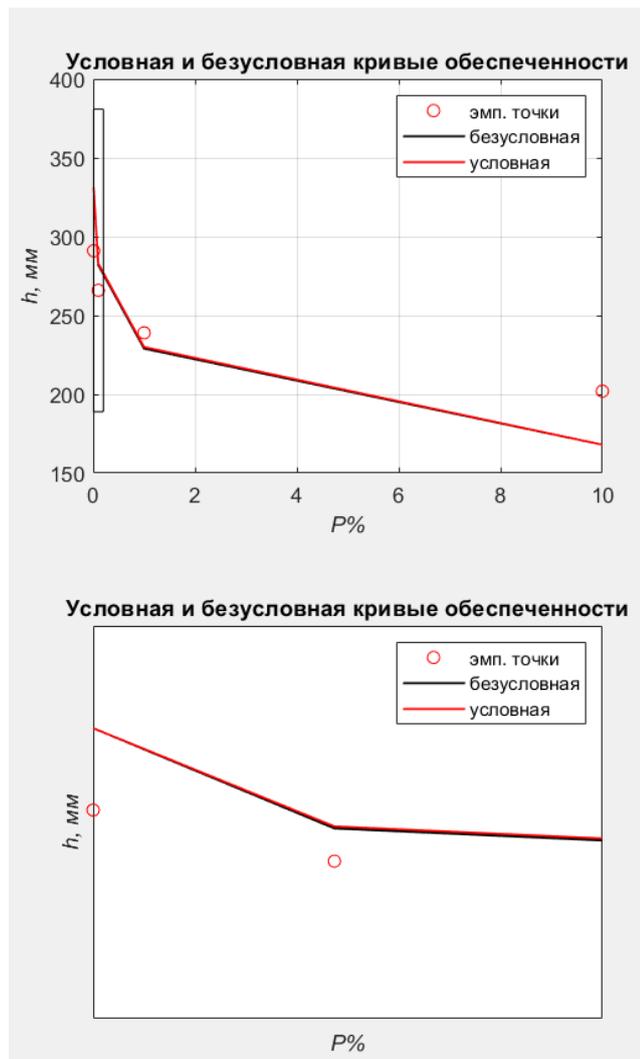


Рисунок 4.13 – Условная и безусловная кривые обеспеченности р. Дема – д. Бочкарева.

Такие маленькие отклонения связаны с тем, что координаты условной кривой рассчитываются с условием, что  $C_s/C_v$  равно 2. У реки Дема по данным это соотношение близко к принимаемому и равняется 1,8.

### 4.3 Листинг программы

Ниже представлен листинг программы "riverflow" из приложения *MatLab*. Комментарии к действиям написаны после символа процента «%».

```

disp('Приветствуем вас, спасибо, что воспользовались этим
программным продуктом')
disp(['Ввод данных осуществляется через квадратные скобки "[...]" по
вертикали (можно скопировать столбик из программы Excel)'])
disp(['Обратите внимание, если в ряде данных присутствуют
вещественные числа, то они должны быть написаны через "." '])
disp('Введите ряд стока ')
Q = input('Сток = ');
disp('Введите ряд испарения ')
E = input('Испарение = ');
while length(Q)~=length(E)
    disp('Error, ряды наблюдений разной длины')
disp('Введите ряд стока ');
    Q = input('Сток = ');
disp('Введите ряд испарения ');
    E = input('Испарение = ');
end
corrcoef(Q,E);
cr=corrcoef(Q,E);
%статистические характеристики
rQE=cr(2,1); %коэффициент корреляции
SQ=std(Q); %ско Q
SE=round(std(E)); %ско E
Q1=mean(Q); %среднее Q
E1=mean(E); %среднее E
CvQ = SQ/Q1; %коэффициент вариации Q
CvE = SE/E1; %коэффициент вариации E
CsQ =(length(Q)/((length(Q)-1)*(length(Q)-2)))*((sum((Q-Q1).^3))/SQ^3);
%коэффициент асимметрии Q

```

$CsE = (\text{length}(E)/((\text{length}(E)-1)*(\text{length}(E)-2))) * ((\text{sum}((E-E1).^3))/SE^3);$   
 % коэффициент асимметрии E

$Q10p = (2*Q1 + \sqrt{(2*Q1)^2 - 4*(Q1^2 - 2.303*2*SQ^2)})/2; \% Q10\%$   
 $Q1p = (2*Q1 + \sqrt{(2*Q1)^2 - 4*(Q1^2 - 4.605*2*SQ^2)})/2; \% Q1\%$   
 $Q01p = (2*Q1 + \sqrt{(2*Q1)^2 - 4*(Q1^2 - 6.908*2*SQ^2)})/2; \% Q0,1\%$   
 $Q001p = (2*Q1 + \sqrt{(2*Q1)^2 - 4*(Q1^2 - 9.21*2*SQ^2)})/2; \% Q0,01\%$

$b10 = (((-2*rQE)/(SQ*SE))*Q10p + ((2*rQE)/(SQ*SE))*Q1 - (2*E1)/SE^2)*SE^2; \% b \text{ для расчета } E10\%$

$b1 = (((-2*rQE)/(SQ*SE))*Q1p + ((2*rQE)/(SQ*SE))*Q1 - (2*E1)/SE^2)*SE^2; \% b \text{ для расчета } E1\%$

$b01 = (((-2*rQE)/(SQ*SE))*Q01p + ((2*rQE)/(SQ*SE))*Q1 - (2*E1)/SE^2)*SE^2; \% b \text{ для расчета } E0,1\%$

$b001 = (((-2*rQE)/(SQ*SE))*Q001p + ((2*rQE)/(SQ*SE))*Q1 - (2*E1)/SE^2)*SE^2; \% b \text{ для расчета } E0,01\%$

$c10 = ((1/SQ^2)*(Q10p^2 - 2*Q10p*Q1 + Q1^2) + (E1^2/SE^2) - 2*2.303*(1 - rQE)^2 + ((2*rQE*(Q10p*E1 - Q1*E1))/(SQ*SE)))*SE^2; \% c \text{ для расчета } E10\%$

$c1 = ((1/SQ^2)*(Q1p^2 - 2*Q1p*Q1 + Q1^2) + (E1^2/SE^2) - 2*4.605*(1 - rQE)^2 + ((2*rQE*(Q1p*E1 - Q1*E1))/(SQ*SE)))*SE^2; \% c \text{ для расчета } E1\%$

$c01 = ((1/SQ^2)*(Q01p^2 - 2*Q01p*Q1 + Q1^2) + (E1^2/SE^2) - 2*6.908*(1 - rQE)^2 + ((2*rQE*(Q01p*E1 - Q1*E1))/(SQ*SE)))*SE^2; \% c \text{ для расчета } E0,1\%$

$c001 = ((1/SQ^2)*(Q001p^2 - 2*Q001p*Q1 + Q1^2) + (E1^2/SE^2) - 2*9.21*(1 - rQE)^2 + ((2*rQE*(Q001p*E1 - Q1*E1))/(SQ*SE)))*SE^2; \% c \text{ для расчета } E0,01\%$

$E10p = \text{round}((-b10 + \sqrt{b10^2 - 4*c10})/2); \% E10\%$   
 $E1p = \text{round}((-b1 + \sqrt{b1^2 - 4*c1})/2); \% E1\%$   
 $E01p = \text{round}((-b01 + \sqrt{b01^2 - 4*c01})/2); \% E0,1\%$   
 $E001p = \text{round}((-b001 + \sqrt{b001^2 - 4*c001})/2); \% E0,01\%$

%Перерасчет Q% через E

bQ10=round(2\*(-Q1-((rQE\*SQ)/SE)\*(E10p-E1))); %b для расчета  
условного Q10%

bQ1=round(2\*(-Q1-((rQE\*SQ)/SE)\*(E1p-E1))); %b для расчета  
условного Q1%

bQ01=round(2\*(-Q1-((rQE\*SQ)/SE)\*(E01p-E1))); %b для расчета  
условного Q0,1%

bQ001=round(2\*(-Q1-((rQE\*SQ)/SE)\*(E001p-E1))); %b для расчета  
условного Q0,01%

cQ10=round((-Q1-((rQE\*SQ)/SE)\*(E10p-E1))^2-2.303\*2\*SQ^2\*(1-  
rQE^2)); %с для расчета условного Q10%

cQ1=round((-Q1-((rQE\*SQ)/SE)\*(E1p-E1))^2-4.605\*2\*SQ^2\*(1-rQE^2));  
%с для расчета условного Q1%

cQ01=round((-Q1-((rQE\*SQ)/SE)\*(E01p-E1))^2-6.908\*2\*SQ^2\*(1-  
rQE^2)); %с для расчета условного Q0,1%

cQ001=round((-Q1-((rQE\*SQ)/SE)\*(E001p-E1))^2-9.210\*2\*SQ^2\*(1-  
rQE^2)); %с для расчета условного Q0,01%

Q10e=round((-bQ10+sqrt(bQ10^2-4\*cQ10))/2); условный Q10%

Q1e=round((-bQ1+sqrt(bQ1^2-4\*cQ1))/2); условного Q1%

Q01e=round((-bQ01+sqrt(bQ01^2-4\*cQ01))/2); условного Q0,1%

Q001e=round((-bQ001+sqrt(bQ001^2-4\*cQ001))/2); условного Q0,01%

x10=['Условный сток 10% = ', num2str(Q10e)];

x1=['Условный сток 1% = ', num2str(Q1e)];

x01=['Условный сток 0.1% = ', num2str(Q01e)];

x001=['Условный сток 0.01% = ', num2str(Q001e)];

%Вывод условных значений

disp(x10)

disp(x1)

disp(x01)

disp(x001)

```

%построение эллипса рассеивания
subplot(2,3,1);
plot(Q, E, 'ob');
grid on;
xlabel('h, мм', 'FontAngle','i')
ylabel('E, мм', 'FontAngle','i');
title('Эллипс рассеивания');

%построение проекции двумерного распределения плотности
вероятности
subplot(2,3,2);
t=-pi:0.01:pi;
xq10=0+Q10e*cos(t);
ye10=0+E10p*sin(t);
plot(xq10,ye10,'k','LineWidth',1) % для 10%
grid on;
hold on
xq1=0+Q1e*cos(t);
ye1=0+E1p*sin(t);
plot(xq1,ye1,'b','LineWidth',1) % для 1%
hold on
xq01=0+Q01e*cos(t);
ye01=0+E01p*sin(t);
plot(xq01,ye01,'r','LineWidth',1) % для 0,1%
hold on
xq001=0+Q001e*cos(t);
ye001=0+E001p*sin(t);
plot(xq001,ye001,'g','LineWidth',1) % для 0,01%
xlabel('h, мм', 'FontAngle','i');
ylabel('E, мм', 'FontAngle','i');
title('Проекция двумерного распределения');

```

```

legend({'10%','1%','0.1%','0.01%'},'Location','south','NumColumns',2)
%построение увеличенного участка проекции
ax=gca;
area = [-25 (E001p-25) 25 (E10p+25)];
inlarge=subplot(2,3,5);
panpos=inlarge.Position;
delete(inlarge);
inlarge=zoomin(ax,area,panpos);
xlabel('h, мм', 'FontAngle','i');
ylabel('E, мм', 'FontAngle','i');
legend({'10%','1%','0.1%','0.01%'},'Location','south','NumColumns',2)
%построение условной и безусловной кривых
subplot(2,3,3);
H=[Q001e Q01e Q1e Q10e];
P=[0.01 0.1 1.0 10];
plot(P, H,'ro-','LineWidth',1);
grid on;
hold on;
%нормированные ординаты Пирсона III типа
Pirs=[-1.8 1.11 1.11 1.09 0.94; -1.7 1.19 1.18 1.15 0.97;
-1.6 1.26 1.24 1.20 0.99; -1.5 1.34 1.32 1.26 1.02;
-1.4 1.41 1.39 1.32 1.04; -1.3 1.55 1.49 1.39 1.06;
-1.2 1.68 1.58 1.45 1.08; -1.1 1.80 1.69 1.52 1.105;
-1.0 1.92 1.79 1.59 1.13; -0.9 2.08 1.91 1.67 1.15;
-0.8 2.23 2.02 1.74 1.17; -0.7 2.40 2.15 1.81 1.185;
-0.6 2.57 2.27 1.88 1.20; -0.5 2.78 2.41 1.96 1.215;
-0.4 2.98 2.54 2.03 1.23; -0.3 3.18 2.68 2.11 1.245;
-0.2 3.37 2.81 2.18 1.26; -0.1 3.55 2.95 2.26 1.27;
0.0 3.72 3.09 2.33 1.28; 0.1 3.94 3.24 2.40 1.29;
0.2 4.16 3.38 2.47 1.30; 0.3 4.39 3.52 2.54 1.31;

```

```

0.4 4.61 3.66 2.61 1.32; 0.5 4.83 3.81 2.68 1.325;
0.6 5.05 3.96 2.75 1.33; 0.7 5.28 4.10 2.82 1.335;
0.8 5.50 4.24 2.89 1.34; 0.9 5.73 4.39 2.96 1.34;
1.0 5.96 4.53 3.02 1.34; 1.1 6.19 4.67 3.09 1.34;
1.2 6.41 4.81 3.15 1.34; 1.3 6.64 4.95 3.21 1.34;
1.4 6.87 5.09 3.27 1.34; 1.5 7.09 5.23 3.33 1.34;
1.6 7.31 5.37 3.39 1.33; 1.7 7.54 5.51 3.45 1.335;
1.8 7.76 5.64 3.50 1.32; 1.9 7.99 5.78 3.55 1.31;
2.0 8.21 5.91 3.60 1.30; 2.1 8.42 6.03 3.64 1.285;
2.2 8.63 6.14 3.68 1.27; 2.3 8.82 6.26 3.73 1.26;
2.4 9.00 6.37 3.78 1.25; 2.5 9.20 6.46 3.82 1.23;
2.6 9.39 6.54 3.86 1.21; 2.7 9.58 6.70 3.91 1.195;
2.8 9.77 6.86 3.96 1.18; 2.9 9.97 6.98 8.01 1.155;
3.0 10.16 7.1 4.05 1.13];

```

```
CS=round(CsQ,1);
```

```
data=Pirs;
```

```
[nROWS,nCOLS]=size(data);
```

```
result=NaN(nROWS,1);
```

```
row=1:nROWS;
```

```
x=data( row, : );
```

```
xpirs=find(x==CS);
```

```
result(row,1)=x(xpirs);
```

```
xkor=(data(xpirs,[2 3 4 5]));
```

```
pirson=round(((xkor.*CvQ)+1)*Q1); %координаты кривой Пирсона
```

```
plot(P,pirson,'ko-','LineWidth',1)
```

```
xlabel('P%', 'FontAngle','i');
```

```
ylabel('h, мм', 'FontAngle','i');
```

```
title('Условная и безусловная кривые обеспеченности');
```

```
legend({'условная','безусловная'},'Location','northeast','NumColumns',1)
```

```
%построение увеличенного участка кривых
```

```

ax=gca;
area = [0.01 (Q1e-50) 0.2 (Q001e+50)];
inlarge=subplot(2,3,6);
panpos=inlarge.Position;
delete(inlarge);
inlarge=zoomin(ax,area,panpos);
xlabel('P%', 'FontAngle','i');
ylabel('h, мм', 'FontAngle','i');
legend({'условная','безусловная'},'Location','northeast','NumColumns',1)
%построение двумерной гистограммы
load carbig
subplot(2,3,4);
Z=[E,Q];
hist3(Z,'Nbins',[7 7],'FaceAlpha', 0.50)
xlabel('h, мм', 'FontAngle','i');
ylabel('E, мм', 'FontAngle','i');
zlabel('p', 'FontAngle','i');
title('Двумерная гистограмма');
disp('Надо ли вывести значения статистических характеристик?');
disp('Если да, то введите "1", если нет, то "2" ');
rules = input('Статистические характеристики рядов данных: ');
if rules==1
    zcr=['Среднее значение слоя стока = ',num2str(round(Q1))];
    zcko=['Среднеквадратическое отклонение = ', num2str(round(SQ))];
    zcv=['Коэффициент вариации = ',num2str(round(CvQ,2))];
    zcs=['Коэффициент асимметрии = ', num2str(round(CsQ,2))];
disp(zcr)
disp(zcko)
disp(zcv)
disp(zcs)

```

```

end
if rules==2
    disp('Расчет завершен, спасибо, что воспользовались
данним программным продуктом!')
end
%код функции для построения увеличенных участков графиков
function pan = zoomin(ax,areaToMagnify,panPosition)
fig = ax.Parent;
pan = copyobj(ax,fig);
pan.Position = panPosition;
pan.XLim = areaToMagnify([1 3]);
pan.YLim = areaToMagnify([2 4]);
pan.XTick = [];
pan.YTick = [];
rectangle(ax,'Position', [areaToMagnify(1:2) areaToMagnify(3:4)-
areaToMagnify(1:2)])
xy= ax2annot(ax,areaToMagnify([1 4;3 2]));
end
function anxy = ax2annot(ax,xy)
pos = ax.Position;
% белая область * ((value - axis min) / axis length) + gray area
normx = pos(3)*((xy(:,1)-ax.XLim(1))./range(ax.XLim))+ pos(1);
normy = pos(4)*((xy(:,2)-ax.YLim(1))./range(ax.YLim))+ pos(2);
anxy = [normx normy];
end

```

Результат работы данной программы представлен в главе 4.1

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы были получены следующие результаты:

- а) сформирована база данных для исследования;
- б) разработан алгоритм построения эллипсов рассеивания и гистограмм в приложении *Excel*;
- в) обоснован выбор языка программирования;
- г) разработан программный продукт для построения двумерных гистограмм и проекций двумерного распределения плотности вероятности;
- д) разработан алгоритм для получения условных обеспеченных значений расходов воды;
- е) разработан алгоритм получения условных и безусловных кривых обеспеченности.

Разработанные алгоритмы реализованы в виде программного продукта для вычисления условных обеспеченных значений расходов воды, для построения проекций двумерного распределения плотности вероятности и для получения условных и безусловных кривых обеспеченности.

Цель данного исследования достигнута: разработан технологический алгоритм вычисления условных обеспеченных значений стока с последующим построением проекций двумерного распределения плотности вероятности и условных кривых обеспеченности с помощью компьютерного приложения *MatLab*.

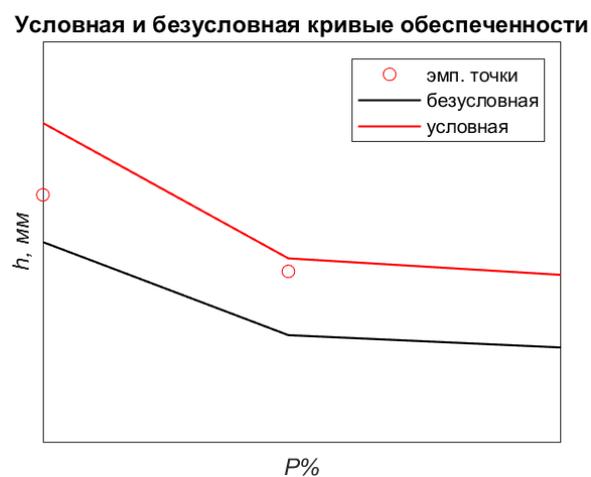
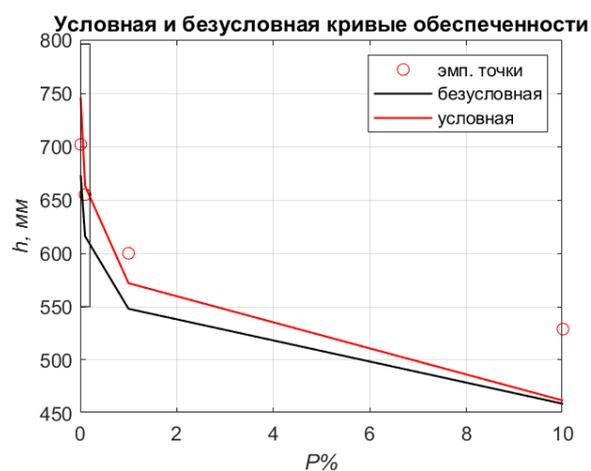
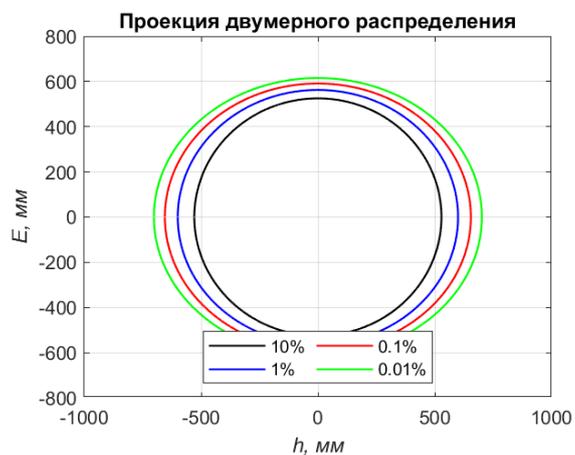
## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Коваленко, В. В. Частично инфинитная гидрология. [Текст] / В. В. Коваленко. – СПб., изд. РГГМУ, 2007. – 230 с.
- 2 Коваленко, В. В. Частично инфинитный механизм турбулизации природных и социальных процессов. [Текст] / В. В. Коваленко. – СПб.: изд. РГГМУ, 2006. – 164 с.
- 3 Коваленко В.В., Гайдукова Е.В., Соловьев Ф.Л., Бонгу С.Э., Джалалванд А./ УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА № 44/ Гидрология / О возможности учета испарения при моделировании процесса формирования многолетнего речного стока (на примере Западной Африки)
- 4 Коваленко, В. В. Метод характеристик в частично инфинитной гидрологии. [Текст] / В. В. Коваленко.– СПб., изд. РГГМУ, 2012. – 136 с.
- 5 Коваленко, В. В. Модальная неустойчивость при формировании речного стока. [Текст] / В. В. Коваленко. – СПб., изд. РГГМУ, 2014. – 150 с.
- 6 Коваленко, В. В. Частично инфинитное моделирование и прогнозирование процесса формирования речного стока. [Текст] / В. В. Коваленко. – СПб.: изд. РГГМУ, 2004. – 198 с.
- 7 Константинов А.Р. Испарение в природе. - 2-е изд. - Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1968. – 532 с.
- 8 Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб: изд. РГГМУ, 2007. – 279 с.
- 9 СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.
- 10 Применение программы MATLAB при изучении курса электротехники. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://publ.lib.ru/ARCHIVES/L/LUR'E\\_Mihail\\_Semenovich/Primen.pdf](http://publ.lib.ru/ARCHIVES/L/LUR'E_Mihail_Semenovich/Primen.pdf)

Приложение А – Проекция двумерного распределения плотности вероятности  
и условная и безусловная кривые обеспеченности

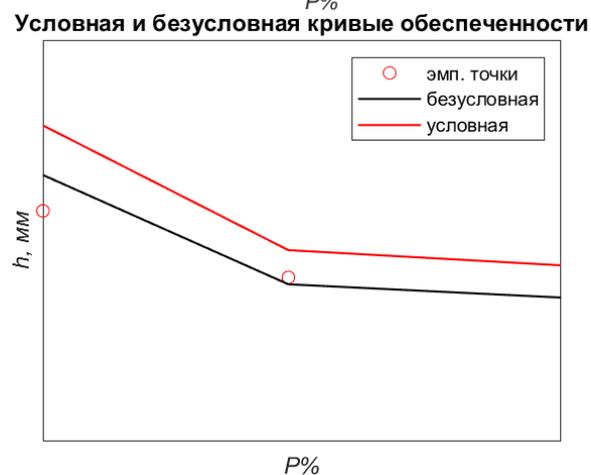
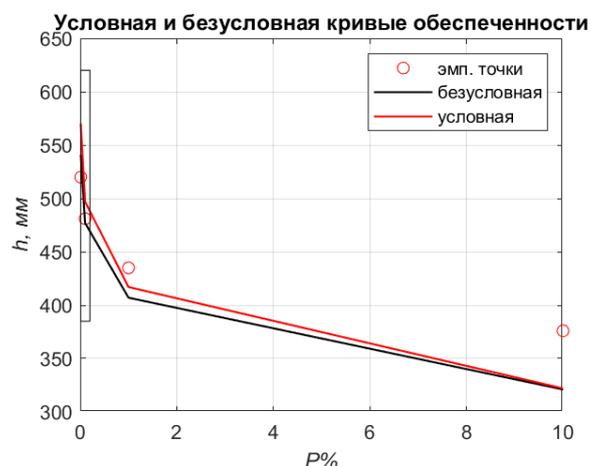
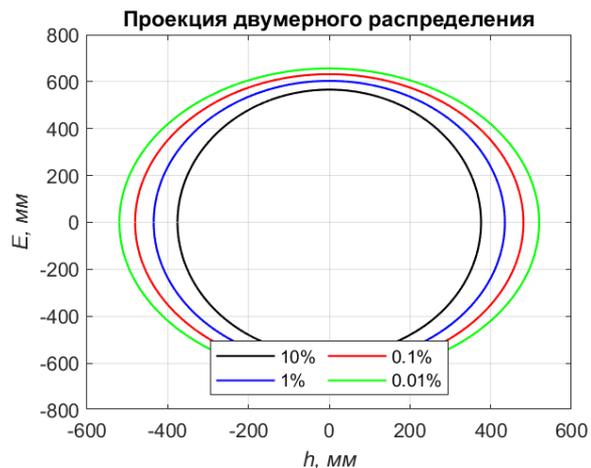
1) р. Паша – д. Часовенское

Год	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$E, \text{ мм}$	$h, \text{ мм}$
1951	47,2	460	261
1952	79,3	442	438
1953	83,6	449	462
1954	58,2	457	321
1955	70,5	400	389
1956	53,8	371	297
1957	77,7	473	429
1958	88,8	392	490
1959	55,6	441	307
1960	39,7	409	219
1961	61,8	474	341
1962	87,4	416	483
1963	46,6	380	257
1964	52,5	423	290
1965	51	391	282
1966	90,8	392	501
1967	57,4	476	317
1968	63,8	417	352
1969	78,4	383	433
1970	48,9	427	270
1971	64,9	428	358
1972	44,2	498	244
1973	43,1	456	238
1974	61,9	504	342
1975	50,6	519	279
1976	74,8	363	413
1977	71,1	441	393
1978	74,8	383	413
1979	48,4	440	267
1980	43,9	424	242
1981	82,1	477	453
1982	76,1	460	420
1983	82,2	504	454
1984	76,7	476	424
1985	52,9	387	292
1986	63,9	441	353
1987	66,2	376	366
1988	66,8	479	369



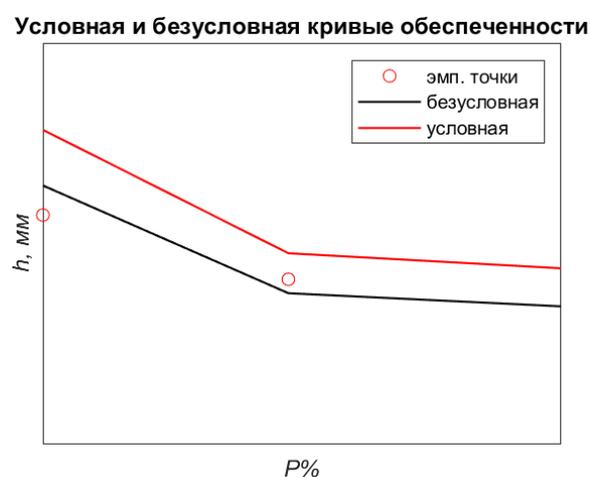
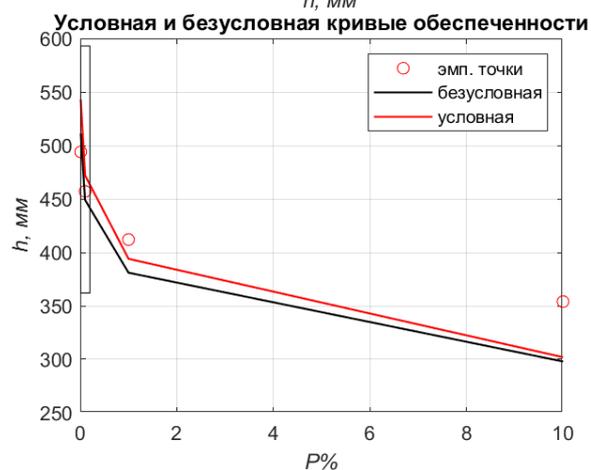
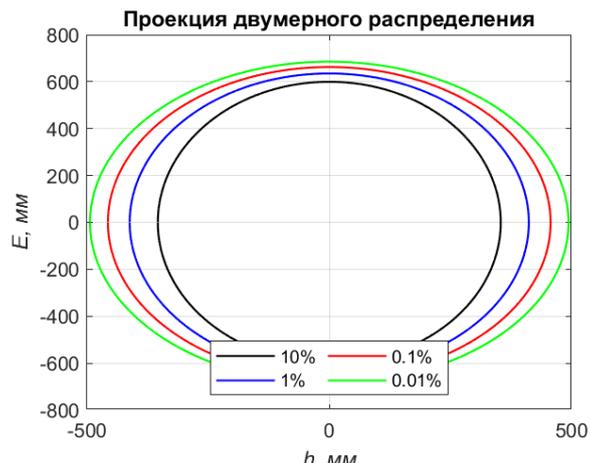
## 2) р. Луга – г. Кингисепп

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	77,9	507	192
1952	101	476	249
1953	122	497	301
1954	73,7	492	182
1955	90,2	447	222
1956	82,1	413	202
1957	127	508	313
1958	86,3	436	213
1959	80,3	496	198
1960	67,1	445	165
1961	93,9	522	231
1962	153	448	377
1963	67,7	424	167
1964	51,8	463	128
1965	59,6	428	147
1966	123	433	303
1967	87,6	510	216
1968	99,3	451	245
1969	77,8	426	192
1970	71,9	460	177
1971	82	492	202
1972	52,7	532	130
1973	40,2	504	99
1974	101	535	249
1975	85,6	570	211
1976	79	413	195
1977	85,7	476	211
1978	121	421	298
1979	90,8	479	224
1980	95,7	461	236
1981	120	499	296
1982	123	512	303
1983	109	548	269
1984	106	514	261
1985	107	425	264
1986	135	489	333
1987	162	415	399
1988	111	520	273



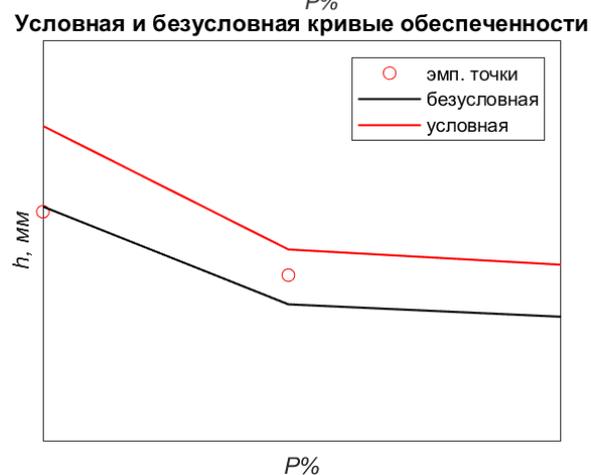
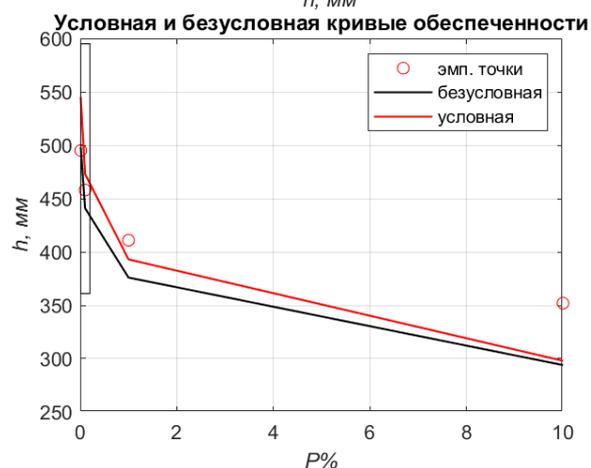
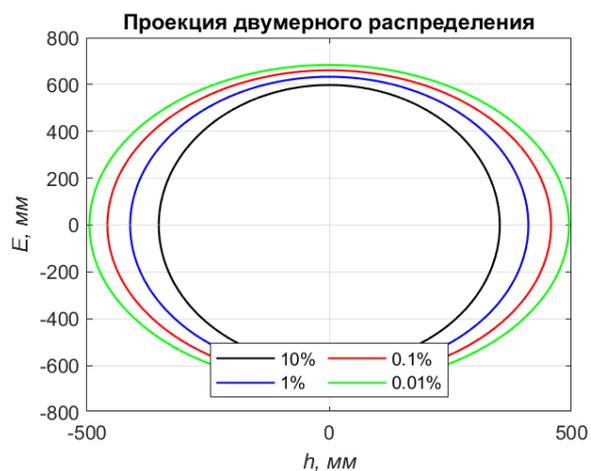
### 3) р. Великая – д. Гуйтово

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	82,3	545	194
1952	91,5	511	215
1953	110	519	259
1954	63,4	514	149
1955	111	506	261
1956	130	447	306
1957	131	542	308
1958	118	496	278
1959	75,8	526	178
1960	90,4	492	213
1961	77,5	548	182
1962	139	490	327
1963	64,3	461	151
1964	42,4	502	100
1965	67,5	458	159
1966	102	497	240
1967	83,6	547	197
1968	105	486	247
1969	61,1	458	144
1970	72,3	498	170
1971	64,3	537	151
1972	48,3	553	114
1973	49,7	540	117
1974	73,8	554	174
1975	79,2	628	186
1976	58,6	462	138
1977	68,3	515	161
1978	130	469	306
1979	86,5	510	204
1980	85,3	485	201
1981	100	539	235
1982	104	549	245
1983	107	589	252
1984	71,7	542	169
1985	107	466	252
1986	119	533	280
1987	158	453	372
1988	107	552	252



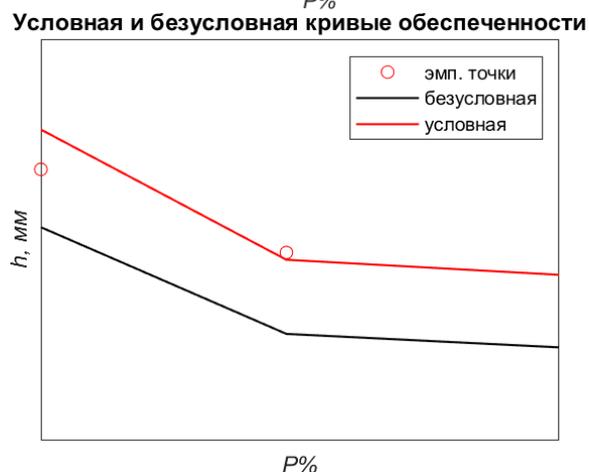
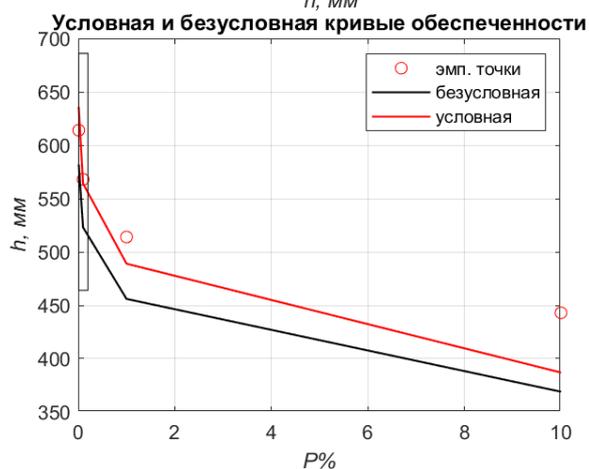
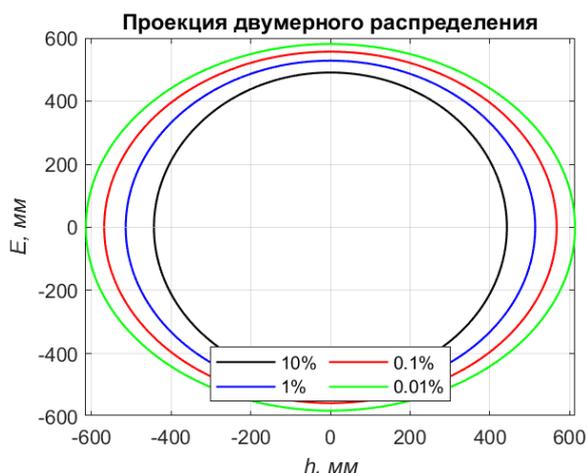
#### 4) р. Сороть – д. Осинкино

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	26,8	541	267
1952	13,9	510	138
1953	26,1	518	260
1954	28,2	514	281
1955	30,3	502	301
1956	25,4	446	253
1957	18,4	541	183
1958	21,6	491	215
1959	18,5	525	184
1960	21,6	489	215
1961	18,5	548	184
1962	32,4	488	322
1963	14,6	460	145
1964	10,9	501	108
1965	15,7	458	156
1966	22,1	493	220
1967	15,7	546	156
1968	24,2	484	241
1969	12,8	458	127
1970	14,9	497	148
1971	13,7	536	136
1972	9,73	554	97
1973	9,08	540	90
1974	17,9	554	178
1975	19,6	625	195
1976	14,9	458	148
1977	14,6	513	145
1978	29,1	467	289
1979	20,1	509	200
1980	24,6	485	245
1981	25,6	537	255
1982	25,2	547	251
1983	23,9	587	238
1984	18,8	542	187
1985	24,1	465	240
1986	28,4	531	283
1987	38,2	452	380
1988	22,3	551	222



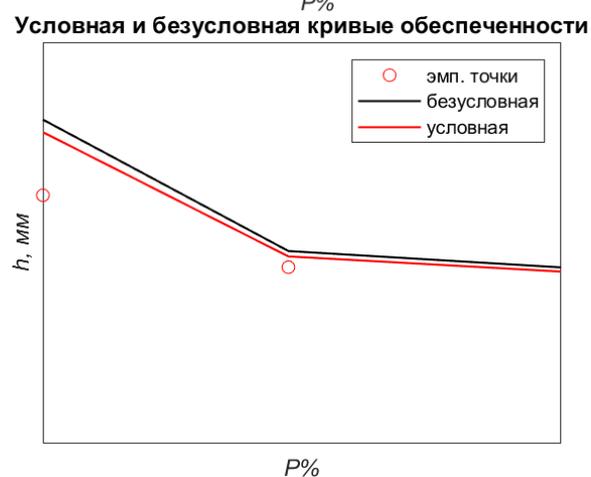
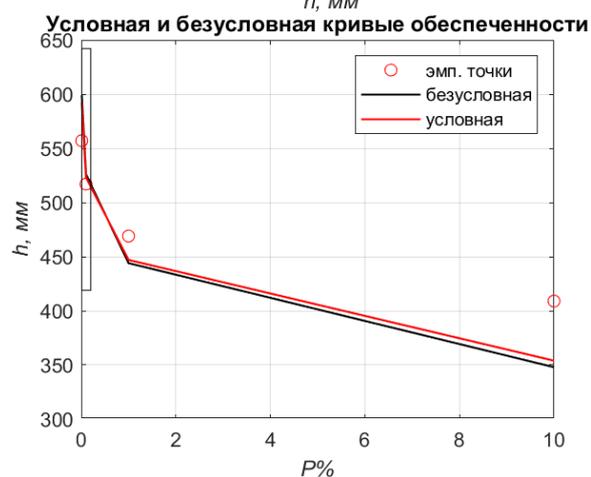
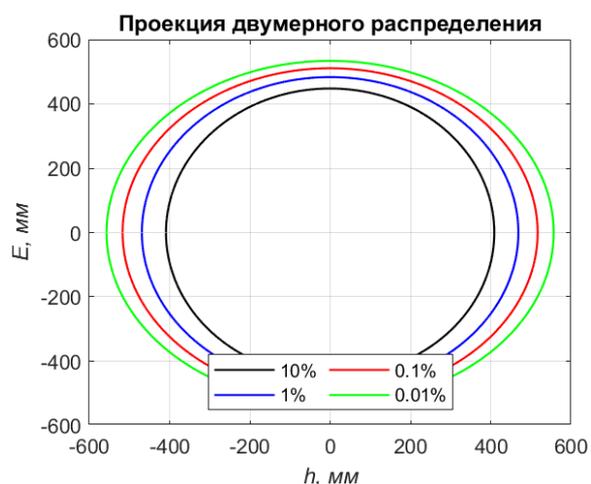
5) р. Сухона – г. Тотьма

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	276	420	250
1952	298	418	270
1953	416	415	377
1954	283	420	256
1955	438	366	397
1956	317	342	287
1957	397	452	360
1958	380	361	344
1959	310	390	281
1960	195	383	177
1961	392	425	355
1962	375	397	340
1963	219	343	198
1964	229	391	208
1965	281	353	255
1966	424	356	384
1967	215	441	195
1968	328	374	297
1969	367	325	333
1970	234	398	212
1971	211	384	191
1972	198	443	179
1973	176	411	159
1974	142	474	129
1975	187	475	169
1976	355	337	322
1977	291	418	264
1978	488	351	442
1979	282	397	256
1980	306	390	277
1981	319	475	289
1982	290	430	263
1983	289	471	262
1984	276	433	250
1985	237	371	215
1986	395	403	358
1987	350	354	317
1988	239	442	217



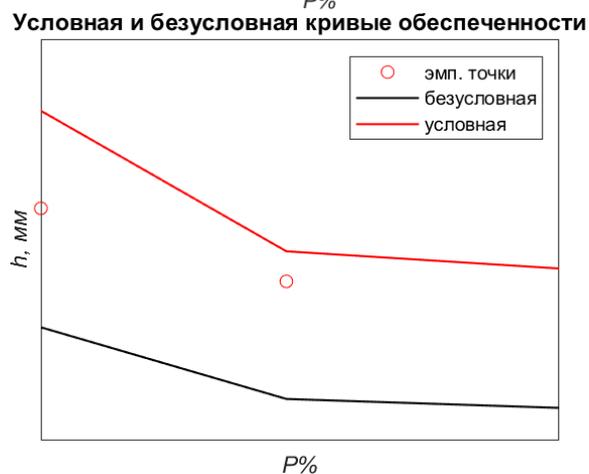
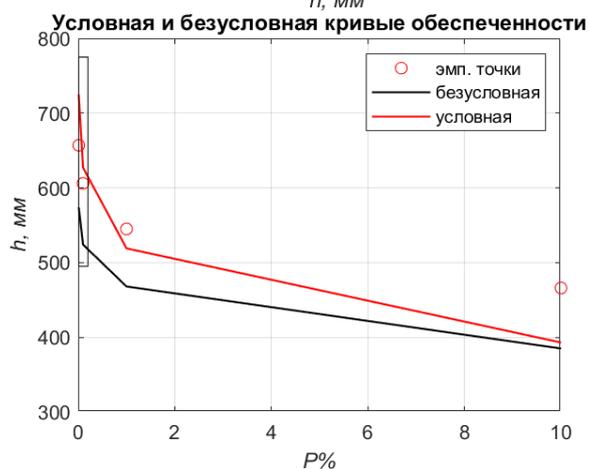
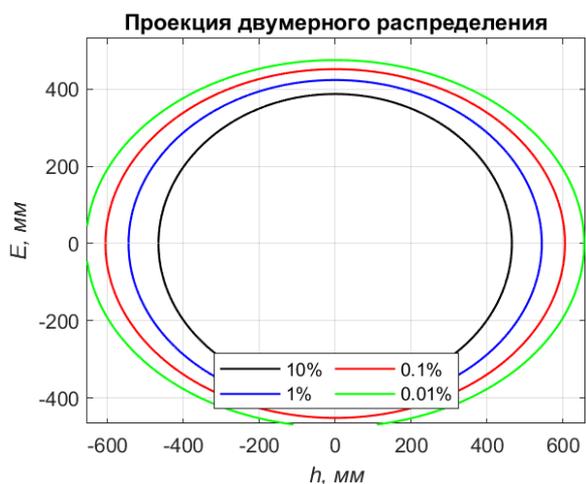
б) р. Юг – д. Гаврино

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	261	388	237
1952	530	393	480
1953	338	380	306
1954	287	384	260
1955	323	336	293
1956	317	316	287
1957	370	410	335
1958	326	323	295
1959	211	352	191
1960	204	336	185
1961	272	373	246
1962	308	384	279
1963	216	313	196
1964	235	351	213
1965	383	322	347
1966	308	314	279
1967	141	413	128
1968	377	317	342
1969	296	272	268
1970	217	371	197
1971	289	337	262
1972	265	384	240
1973	217	364	197
1974	150	428	136
1975	187	423	169
1976	263	316	238
1977	188	382	170
1978	354	313	321
1979	270	354	245
1980	302	359	274
1981	290	444	263
1982	294	389	266
1983	258	420	234
1984	328	380	297
1985	333	339	302
1986	387	352	351
1987	304	333	275
1988	231	402	209



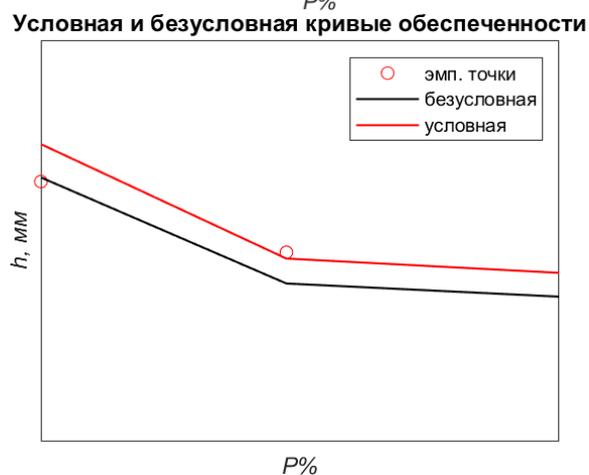
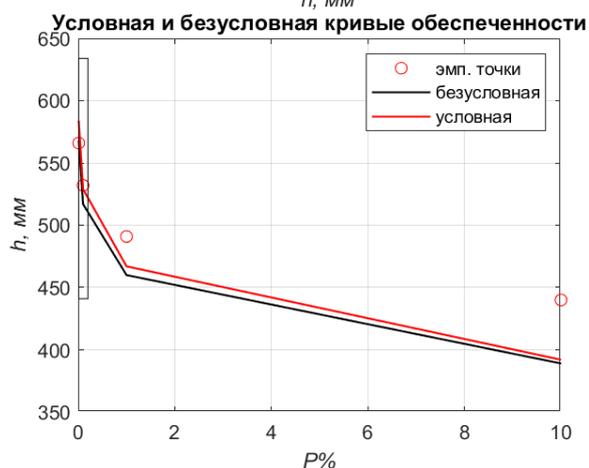
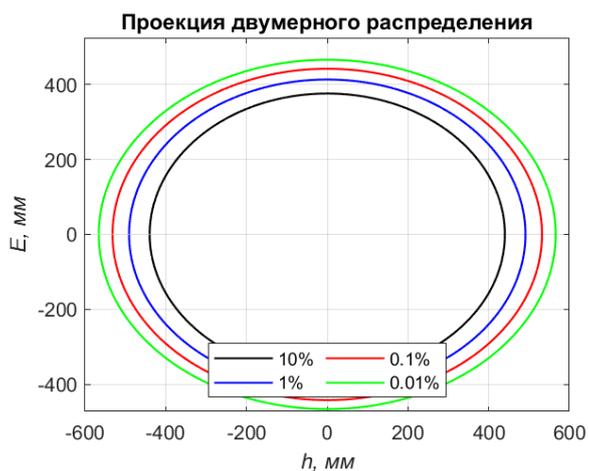
7) р. Яренга – с. Тохта

Год	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$E, \text{ мм}$	$h, \text{ мм}$
1951	35,9	333	230
1952	72,6	329	464
1953	49,2	325	315
1954	45,7	344	292
1955	56,6	275	362
1956	45,1	268	288
1957	65,8	346	421
1958	47,7	252	305
1959	35	308	224
1960	39,4	271	252
1961	52,3	325	335
1962	56	333	358
1963	46,8	248	299
1964	55,6	292	356
1965	48,4	264	310
1966	58	233	371
1967	34,1	361	218
1968	12,3	238	79
1969	24	217	154
1970	16,5	316	106
1971	20,4	256	130
1972	26,2	314	168
1973	32,4	305	207
1974	28,6	367	183
1975	26	352	166
1976	34,2	280	219
1977	42,4	324	271
1978	40,8	235	261
1979	42,2	277	270
1980	38,6	292	247
1981	51,7	366	331
1982	46,7	319	299
1983	55,3	338	354
1984	43,3	319	277
1985	48,7	263	312
1986	56,3	286	360
1987	63,4	271	406
1988	25,3	341	162



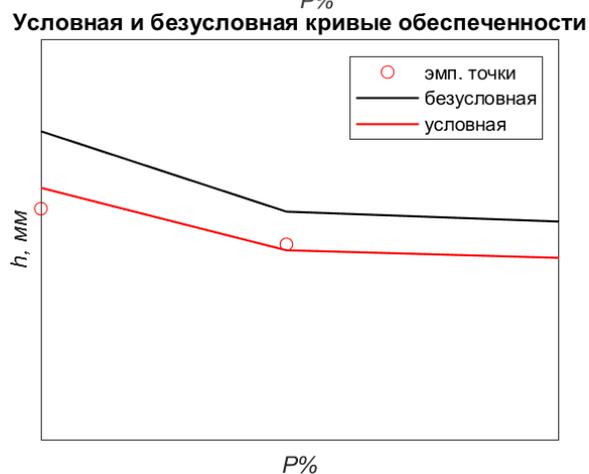
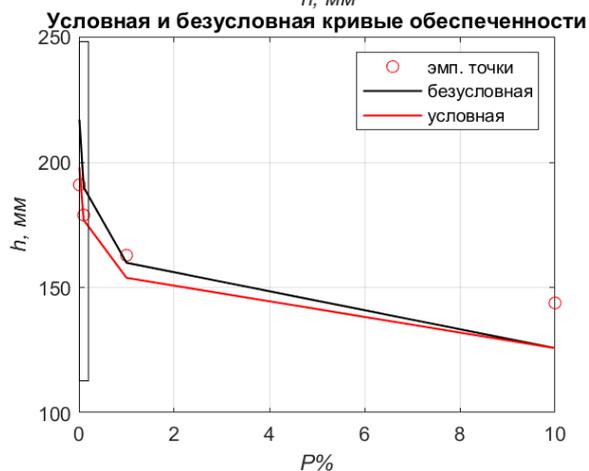
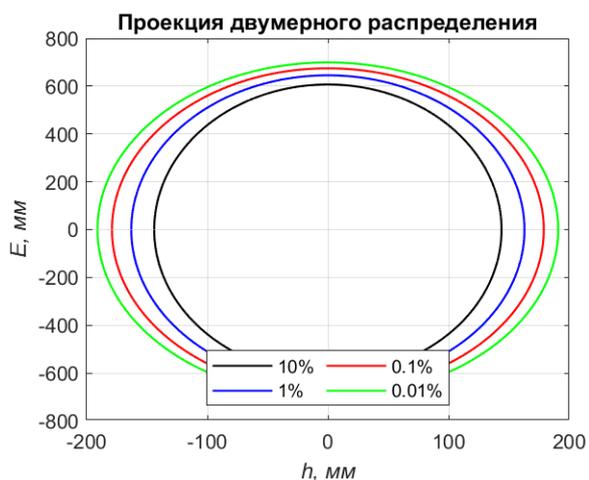
8) р. Вашка – д. Рещельская

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	172	321	285
1952	250	310	415
1953	195	314	324
1954	157	336	261
1955	197	258	327
1956	169	260	281
1957	264	336	438
1958	217	234	360
1959	165	302	274
1960	145	260	241
1961	224	319	372
1962	196	318	325
1963	165	237	274
1964	230	276	382
1965	177	251	294
1966	265	217	440
1967	166	349	276
1968	185	227	307
1969	197	206	327
1970	189	308	314
1971	230	240	382
1972	167	313	277
1973	178	294	295
1974	113	357	188
1975	177	342	294
1976	213	269	354
1977	123	309	204
1978	172	217	285
1979	184	262	305
1980	156	266	259
1981	204	337	339
1982	194	303	322
1983	230	320	382
1984	180	309	299
1985	149	242	247
1986	208	276	345
1987	205	252	340
1988	141	324	234



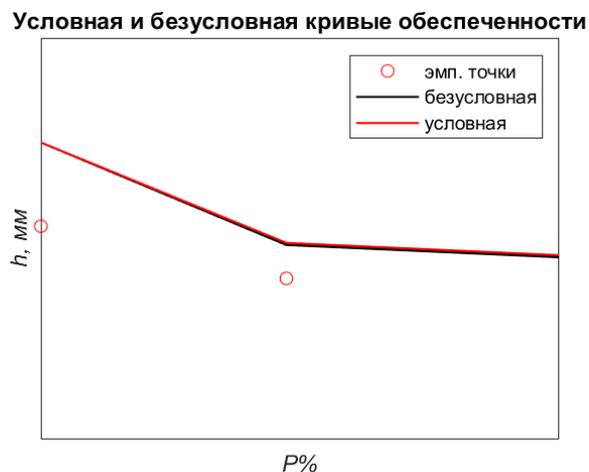
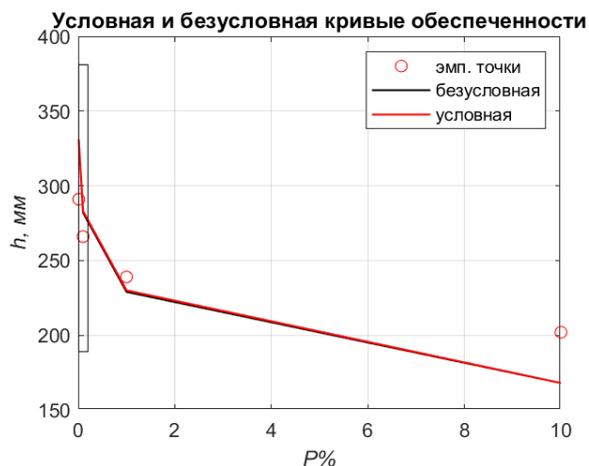
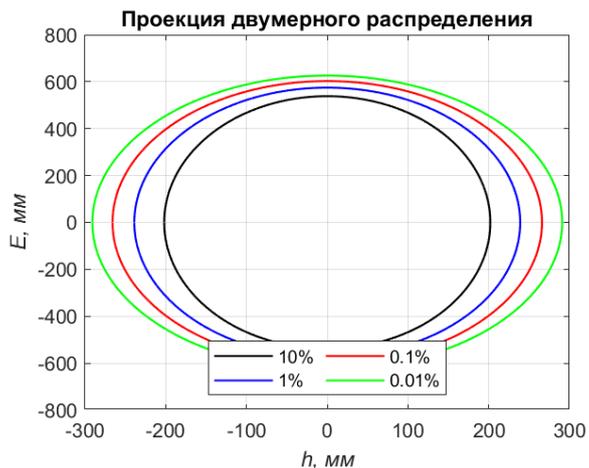
9) р. Сызранка – с. Репьевка

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	14,1	548	102
1952	11,9	570	86
1953	10,5	529	76
1954	10,7	535	77
1955	19,2	551	138
1956	10,1	478	73
1957	16,3	582	117
1958	12,2	491	88
1959	11,2	469	81
1960	14,9	481	107
1961	19,3	520	139
1962	14	544	101
1963	12,2	465	88
1964	15,2	478	109
1965	12,2	470	88
1966	11,6	521	84
1967	9,4	544	68
1968	13,3	476	96
1969	10,2	412	73
1970	14,4	500	104
1971	12,8	527	92
1972	8,03	530	58
1973	11,2	525	81
1974	14	529	101
1975	10,7	598	77
1976	12,1	420	87
1977	16,9	526	122
1978	15	477	108
1979	22,7	533	163
1980	17,5	498	126
1981	14,5	577	104
1982	13,4	539	96
1983	13,9	572	100
1984	8,92	533	64
1985	15	511	108
1986	12,3	514	89
1987	15,5	451	112
1988	14,2	540	102



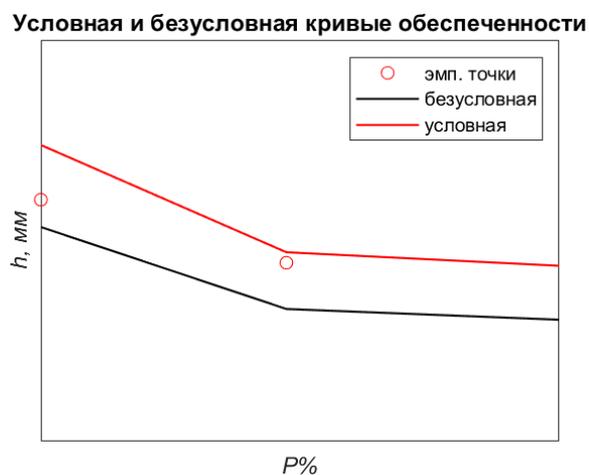
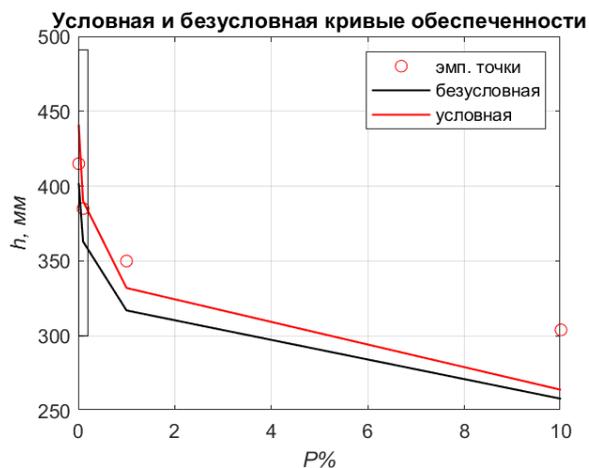
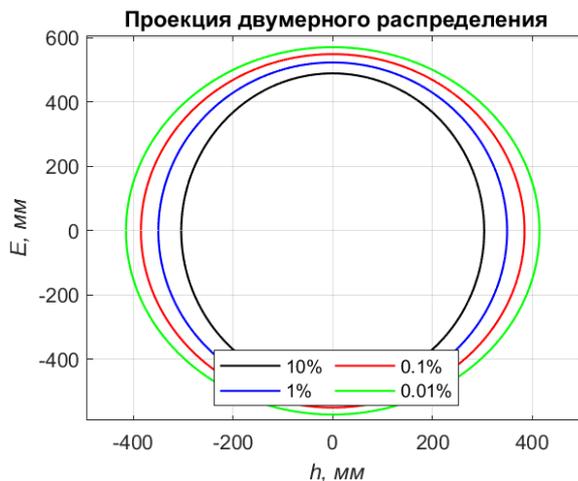
10) р. Дема – д. Бочкарева

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	35,8	484	90
1952	24,5	506	62
1953	35	478	88
1954	29,8	472	75
1955	24,1	486	61
1956	25	432	63
1957	68,4	514	173
1958	58,1	444	147
1959	42	406	106
1960	35,4	403	89
1961	33,1	458	84
1962	37,7	471	95
1963	62,8	426	158
1964	58,6	401	148
1965	66,2	422	167
1966	49	429	124
1967	21,2	493	53
1968	28,5	414	72
1969	28,4	350	72
1970	53,8	442	136
1971	41,6	460	105
1972	43,4	421	109
1973	33,6	443	85
1974	43,7	459	110
1975	23,5	529	59
1976	42,8	368	108
1977	58,2	450	147
1978	62,4	420	157
1979	28,6	455	72
1980	38,6	424	97
1981	44,1	512	111
1982	36,9	480	93
1983	42,1	512	106
1984	77,3	456	195
1985	56,8	446	143
1986	49,9	435	126
1987	68,4	411	173
1988	87,5	497	221



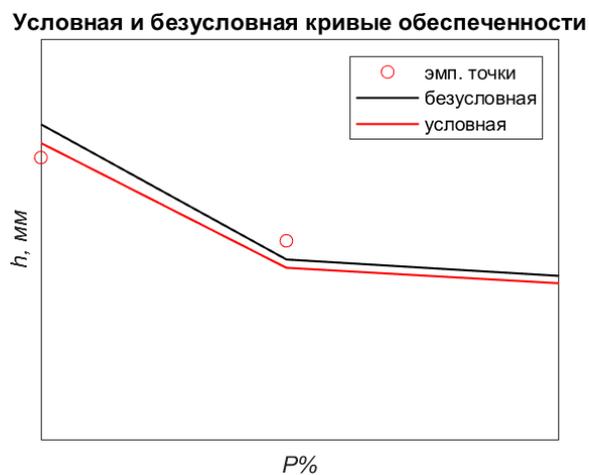
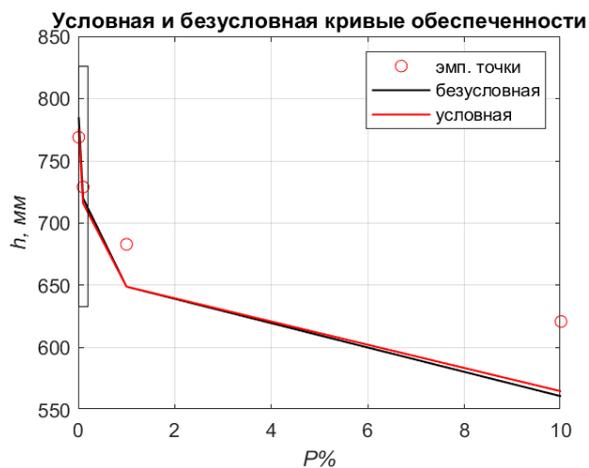
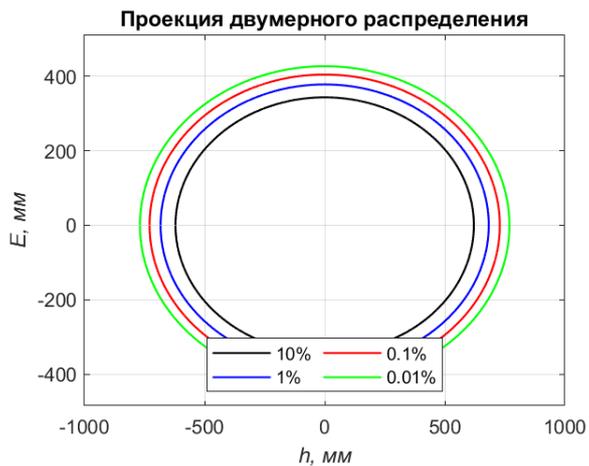
11) р. Чепца – с. Полом

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	38	427	202
1952	20,3	441	108
1953	24,6	425	131
1954	22,3	418	119
1955	42	412	223
1956	39,2	368	208
1957	46,2	459	246
1958	40,1	394	213
1959	39,5	382	210
1960	33,2	366	177
1961	43,2	415	230
1962	33,2	429	177
1963	34,6	363	184
1964	30,7	385	163
1965	44,3	368	236
1966	53,1	378	282
1967	24	460	128
1968	49,2	365	262
1969	35,5	308	189
1970	37,8	406	201
1971	39,1	404	208
1972	35,8	394	190
1973	31	417	165
1974	45,4	446	241
1975	20,6	478	110
1976	42,2	355	224
1977	38,6	420	205
1978	24,6	374	131
1979	20,8	415	111
1980	32,8	403	174
1981	35,7	483	190
1982	25,8	436	137
1983	35,6	468	189
1984	46,7	409	248
1985	31,7	406	169
1986	35,3	385	188
1987	61,5	388	327
1988	46,9	465	249



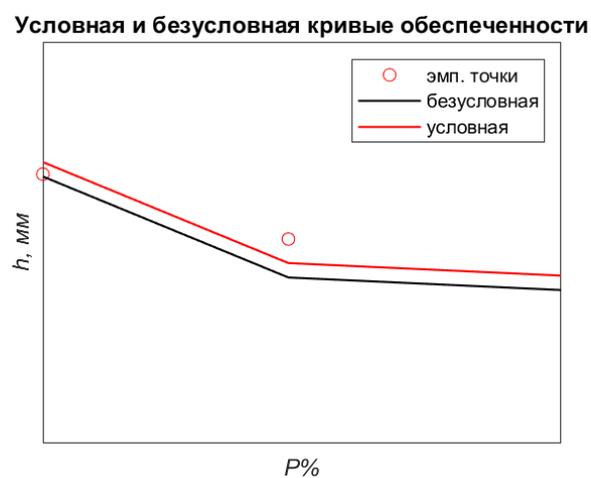
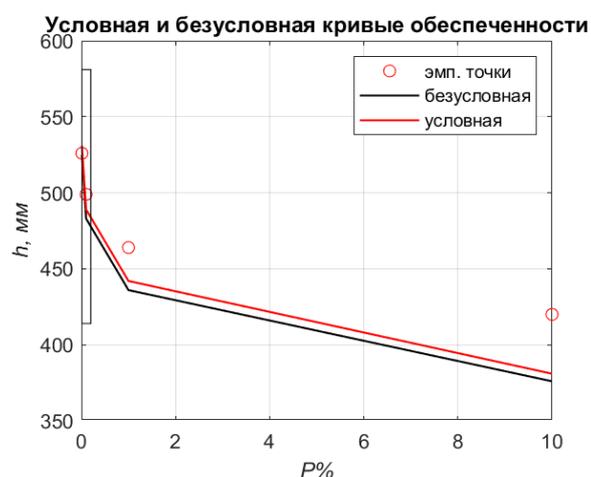
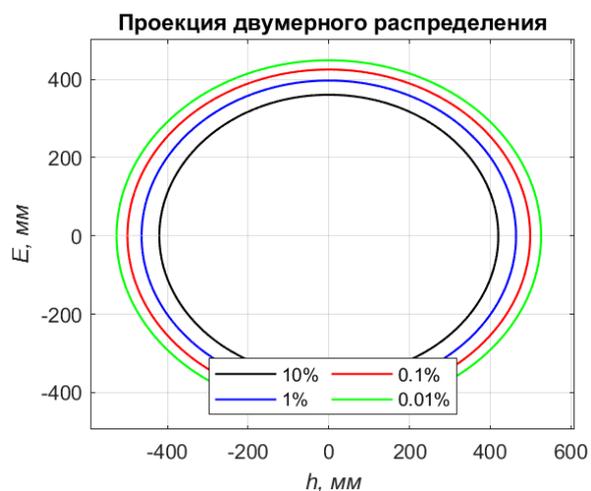
12) р. Печора – с. Троицко-Печорск

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	451	300	400
1952	532	278	471
1953	456	277	404
1954	480	294	425
1955	479	239	424
1956	520	233	461
1957	522	286	462
1958	574	227	508
1959	525	262	465
1960	379	211	336
1961	530	286	469
1962	591	312	524
1963	515	214	456
1964	520	235	461
1965	688	237	609
1966	632	207	560
1967	527	335	467
1968	527	203	467
1969	550	179	487
1970	454	260	402
1971	545	228	483
1972	530	230	469
1973	518	269	459
1974	552	312	489
1975	531	306	470
1976	516	258	457
1977	457	273	405
1978	642	212	569
1979	700	234	620
1980	416	264	369
1981	507	339	449
1982	445	270	394
1983	688	308	609
1984	543	261	481
1985	602	241	533
1986	649	239	575
1987	526	243	466
1988	395	321	350



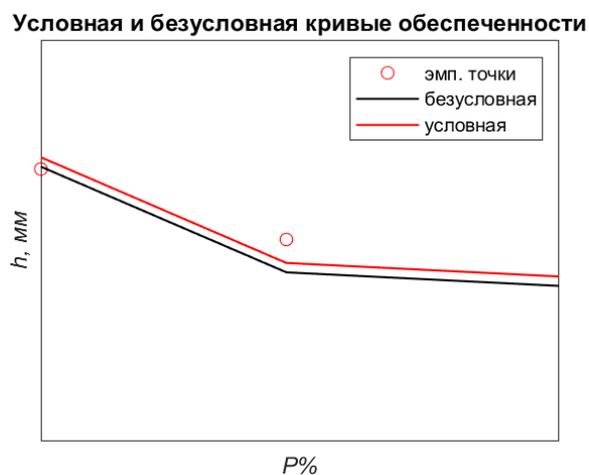
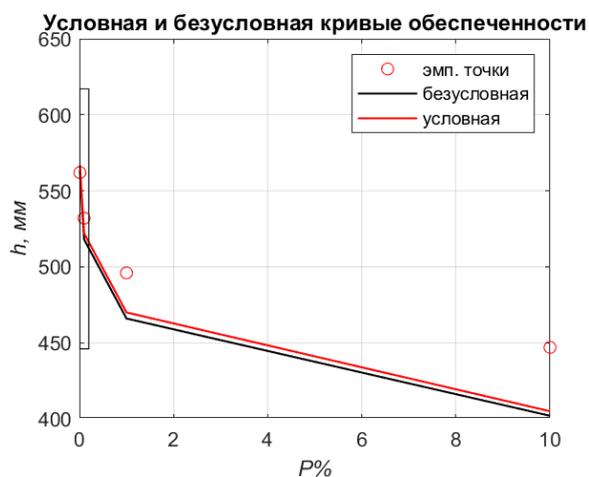
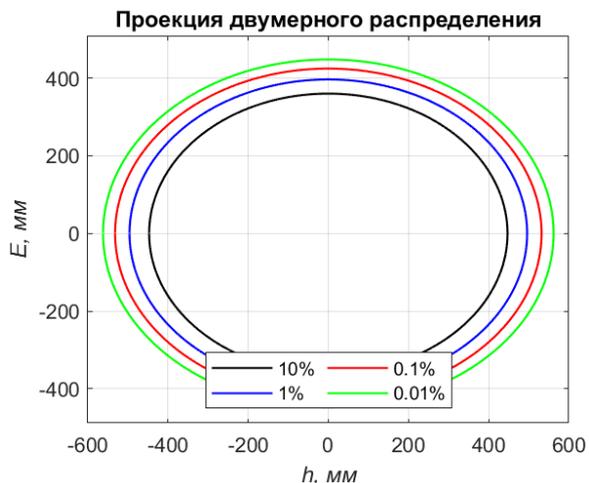
13) р. Ижма – с. Усть-Ухта

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	119	311	250
1952	198	300	416
1953	144	300	303
1954	134	322	282
1955	145	251	305
1956	141	251	296
1957	163	311	343
1958	169	230	355
1959	125	286	263
1960	127	234	267
1961	150	307	315
1962	146	320	307
1963	138	222	290
1964	163	253	343
1965	185	239	389
1966	181	214	381
1967	126	343	265
1968	132	210	278
1969	156	190	328
1970	116	280	244
1971	144	232	303
1972	149	266	313
1973	138	275	290
1974	148	331	311
1975	129	315	271
1976	154	269	324
1977	128	300	269
1978	171	212	360
1979	170	246	357
1980	116	260	244
1981	141	342	296
1982	166	284	349
1983	197	309	414
1984	150	283	315
1985	145	238	305
1986	186	254	391
1987	168	246	353
1988	103	319	217



14) р. Ухта – г. Ухта

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	35,2	311	259
1952	62,8	299	462
1953	45	300	331
1954	38,1	322	280
1955	46,3	249	340
1956	37,4	251	275
1957	50,6	311	372
1958	51,5	229	379
1959	34,4	286	253
1960	41,9	234	308
1961	49,6	307	365
1962	50,1	320	368
1963	36,8	222	271
1964	53,4	253	393
1965	51,7	239	380
1966	62,3	214	458
1967	41,1	343	302
1968	45,5	210	334
1969	46,4	190	341
1970	38,1	279	280
1971	43,8	232	322
1972	46,7	265	343
1973	41,3	275	304
1974	46,5	331	342
1975	38,7	314	284
1976	44,9	269	330
1977	41,9	300	308
1978	49,5	212	364
1979	46,9	246	345
1980	36	259	265
1981	44,5	341	327
1982	51,9	284	382
1983	53,5	308	393
1984	44,8	283	329
1985	41,5	238	305
1986	51,4	254	378
1987	49,6	246	365
1988	30,9	318	227



15) р. Цильма – с. Трусово

Год	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$E$ , мм	$h$ , мм
1951	275	278	415
1952	231	252	349
1953	195	271	294
1954	214	306	323
1955	191	220	288
1956	217	234	327
1957	281	277	424
1958	279	196	421
1959	183	274	276
1960	164	213	247
1961	248	281	374
1962	260	284	392
1963	252	202	380
1964	240	234	362
1965	242	219	365
1966	298	183	450
1967	216	324	326
1968	187	187	282
1969	217	169	327
1970	195	260	294
1971	236	207	356
1972	262	266	395
1973	261	251	394
1974	247	309	373
1975	254	295	383
1976	251	253	379
1977	181	258	273
1978	186	178	281
1979	261	210	394
1980	164	214	247
1981	260	284	392
1982	245	239	370
1983	291	258	439
1984	196	270	296
1985	138	201	208
1986	213	227	321
1987	222	210	335
1988	182	274	275

