



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

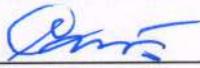
Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **Учет автокорреляции при**
оценке значимости трендов в рядах
среднегодовых расходов воды

Исполнитель Крылова Юлия Николаевна 
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сикан Александр Владимирович 
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой



(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

«19» 02 2024.

Санкт-Петербург
2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Влияние автокорреляции на оценку значимости линейных трендов.....	6
1.1. Методика проверки гидрологических рядов на значимость линейного тренда.....	6
2. Моделирование искусственных гидрологических рядов методом статистических испытаний (метод Монте-Карло).....	9
2.1. Характерные особенности и условия применения метода Монте-Карло.....	11
2.2. Воспроизведение последовательности значений случайной величины, равномерно распределенной в интервале $[0, 1]$	11
2.3. Алгоритм моделирования искусственного ряда модели авторегрессии первого порядка с гамма-распределением	14
2.4. Оценка значимости линейных трендов по результатам моделирования искусственных гидрологических рядов	17
3. Учет автокорреляции при проверке стационарности рядов среднегодовых расходов рек Северо-Запада РФ.....	22
3.1. Природные условия района.....	22
3.2. Климатическая характеристика	27
3.3. Водный режим рек Северо-Запада	32
3.4. Исходные данные	36
3.5. Оценка значимости линейных трендов в рядах среднегодовых расходов рек Северо- Запада РФ.....	38
4. Учет автокорреляции при проверке стационарности рядов среднегодовых расходов рек бассейна Верхней Волги	41
4.1. Природные условия района.....	41
4.2. Климатическая характеристика	44
4.3. Водный режим рек бассейна Верхней Волги	49
4.4. Исходные и данные	53
4.5. Оценка значимости линейных трендов в рядах среднегодовых расходов рек Северо- Запада РФ	56
Заключение.....	58
Список использованных источников.....	59

Приложение А – Оценка значимости линейных трендов в смоделированных рядах с двухпараметрическим гамма-распределением при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ без учета автокорреляции.....	62
Приложение Б – Оценка значимости линейных трендов в смоделированных рядах с двухпараметрическим гамма-распределением при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ с учетом автокорреляции.....	75
Приложение В – Изменение отношения R/σ_R в зависимости от номера выборки.....	84
Приложение Г – Наличие значимого тренда в зависимости от номера выборки.....	87
Приложение Д – Результаты проверки рядов среднегодовых расходов воды рек Северо-Запада РФ на значимость тренда без учета и с учетом автокорреляции	90
Приложение Ж – Результаты проверки рядов среднегодовых расходов воды рек бассейна Верхней Волги на значимость тренда без учета и с учетом автокорреляции	91

Введение

В настоящее время в результате изменения климата и возрастающей антропогенной нагрузки на водные объекты и их водосборы многие гидрологические ряды являются нестационарными. В этой ситуации нормативные документы [1,2] рекомендуют определять расчетные гидрологические характеристики с использованием усеченных и составных кривых обеспеченностей. При этом одним из важных этапов анализа исходных данных становится проверка рядов на наличие линейных трендов. Если тренд значим – ряд признаётся нестационарным.

В практике гидрологических расчетов тренд считается значимым, если значим коэффициент корреляции для зависимости исследуемой характеристики от времени. Оценка производится с использованием критерия Стьюдента. Однако при использовании классического критерия Стьюдента предполагается, что исходные выборки состоят из независимых значений и описываются нормальным законом распределения. В тоже время реальные гидрологические ряды могут иметь довольно высокую асимметрию и быть автокоррелированными.

А. В. Рождественским были разработаны таблицы нормированных ординат статистики Стьюдента, обобщенные на случай асимметричных и автокоррелированных рядов [3]. Таблицы в соответствии с СП 529.1325800.2023 используются при проверке гидрологических рядов на однородность по среднему значению. При проверке значимости линейного тренда эти таблицы как правило не используются.

Цель настоящей работы – проверить вероятность принятия неправильного решения при проверке значимости линейного тренда в рядах с наличием и отсутствием автокорреляции.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- выполнить моделирование искусственных гидрологических рядов различной продолжительности и различными значениями коэффициентов автокорреляции. Оценить значимость линейного тренда с учетом и без учета автокорреляции;
- выполнить оценку значимости линейных трендов с учетом и без учета автокорреляции на примере рядов среднегодовых расходов рек Северо-Запада РФ и рек бассейна Верхней Волги.

Работа состоит из 4 глав, введения и заключения.

В первой главе описывается стандартная методика проверки рядов на значимость линейного тренда. Отмечается, что учет автокорреляции при такой проверке может приводить к необоснованному завышению числа нестационарных рядов.

Вторая глава посвящена моделированию искусственных гидрологических рядов методом статистических испытаний (метод Монте Карло), описываются характерные особенности и условия применения метода, алгоритм моделирования. Для оценки вероятности принятия неправильного решения при проверке значимости линейного тренда в рядах с наличием и отсутствием автокорреляции выполнено моделирование искусственных гидрологических рядов с коэффициентами автокорреляции $r = 0; 0,25; 0,5$. Показано, что учет автокорреляции приводит к снижению числа нестационарных рядов на 15-20%.

В третьей и четвертой главах выполнена проверка рядов среднегодового стока на значимость тренда с учетом и без учета автокорреляции для двух регионов России – Северо-Запада РФ и Верхневолжского бассейна. Установлено, что учет автокорреляции для рек Северо-Запада РФ снизил число нестационарных рядов на 21.9 %, а для Верхневолжского бассейна на 18.8 %.

В заключении приводятся основные результаты проделанной работы.

Магистерская диссертация содержит 14 рисунков, 18 таблиц, 6 приложений и список использованных источников из 32 наименований. Общий объем работы 91 страница.

1. Влияние автокорреляции на оценку значимости линейных трендов

1.1. Методика проверки гидрологических рядов на значимость линейного тренда

При проверке гидрологических рядов на наличие линейного тренда наиболее часто используется критерий значимости выборочного коэффициента корреляции (R) для зависимости $x = f(t)$, где t – время. Гипотеза об отсутствии тренда не опровергается, если выполняется условие:

$$\frac{|R|}{\sigma_R} < t_{2\alpha}, \quad (1.1)$$

где: $t_{2\alpha}$ – статистика Стьюдента при уровне значимости 2α и числе степеней свободы $\nu = (n - 2)$; σ_R – стандартная ошибка коэффициента корреляции, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1 - R^2}{n - 2}}. \quad (1.2)$$

Критерий Стьюдента предусматривает нормальность и независимость исходных рядов, включая отсутствие автокорреляции между смежными членами последовательностей. Однако реальные гидрологические ряды нередко не соответствуют этим условиям. Поэтому в Методических рекомендациях [2] говорится о необходимости использовать «обобщение классического критерия однородности Стьюдента применительно к коррелированной во времени и асимметричной гидрологической информации».

Критические значения обобщенных статистик Стьюдента определяются по таблице Б.15 Приложения Б [3], или рассчитываются по формуле [4]:

$$t_{2\alpha}^* = C_t t_{2\alpha}, \quad (1.3)$$

где $t_{2\alpha}^*$ – критическое значение статистики Стьюдента с учетом автокорреляции; $t_{2\alpha}$ – критическое значение статистики Стьюдента без учета автокорреляции; C_t – переходный коэффициент, определяемый по таблице 1.1 в зависимости от коэффициента автокорреляции (r).

Таблица 1.1 – Коэффициенты $C_t = f(r)$, предназначенные для пересчета критических значений статистики Стьюдента

r	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.00	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07
0.1	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.16	1.17
0.2	1.18	1.19	1.20	1.22	1.23	1.24	1.26	1.27	1.29	1.31
0.3	1.33	1.34	1.35	1.37	1.39	1.41	1.42	1.44	1.46	1.49

0.4	1.51	1.52	1.54	1.56	1.59	1.67	1.63	1.65	1.68	1.70
0.5	1.72	1.75	1.78	1.81	1.84	1.88	1.92	1.95	1.99	2.03
0.6	2.06	2.07	2.13	2.17	2.21	2.24	2.28	2.32	2.36	2.40

На этапе проверки значимости линейных трендов с учетом автокорреляции переходный коэффициент для пересчета критических значений статистики Стьюдента $C_t = f(r)$ принимался в зависимости от районного значения коэффициента автокорреляции для рядов годового стока для рассматриваемой территории согласно таб. 5а. приложения 2 пособия к СНИП 2.01.14-83 [5]. Таблица районных коэффициентов автокорреляции для рядов годового стока приведена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Районные коэффициенты автокорреляции для рядов годового стока

Район	Коэффициент автокорреляции
Кольский п-ов, Карелия	0.24
Северо-запади Северный край Европейской территории России	0.21
Прибалтика	0.20
Белоруссия, Верхнее Поднепровье, Верхневолжский район , Средний Урал (бассейн р. Камы) и Приуралье, Нижнее Поволжье и Западный Казахстан	0.23
Украина, Молдавия, Донской район, Северный Кавказ	0.22
Закавказье и Дагестан	0.17
Средний Урал и Приуралье (бассейн р. Тобола), Западная Сибирь и Северный Казахстан	0.31
Урало-Эмбинский район, Актюбинская, Кустанайская области, Центральный и Южный Казахстан, Средняя Азия	0.24
Ангаро-Енисейский, Лено-Индигирский районы, Северо-восток СССР, Дальний Восток, п-ов Камчатка	0.14

Следует отметить, что в практике гидрологических расчетов поправка к критическим значениям Стьюдента вводится только при проверке однородности рядов по среднему значению. При проверке значимости линейного тренда такая поправка не вводится, что не очень логично.

В настоящей работе для проверки вероятности принятия неправильного решения при проверке значимости линейного тренда в рядах с наличием и отсутствием автокорреляции были смоделированы искусственные гидрологические ряды с двухпараметрическим гамма-распределением методом статистических испытаний (метод Монте Карло), также были обработаны ряды среднегодовых расходов воды по 118 гидрологическим постам на территории Северо-Запада РФ и 64 постам бассейна Верхней Волги. Описание методики моделирования искусственных гидрологических рядов и их обработка приведена в гл.2. Обработка рядов среднегодовых расходов рек территории Северо-Запада РФ в гл. 3, территории бассейна Верхней Волги – гл. 4.

2. Моделирование искусственных гидрологических рядов методом статистических испытаний (метод Монте-Карло)

При решении некоторых гидрологических задач необходимо иметь ряды продолжительностью в несколько сотен и даже тысяч лет. Поскольку ряды такой продолжительности отсутствуют, используются методы моделирования искусственных гидрологических рядов.

В основе моделирования искусственных гидрологических рядов лежит метод статистических испытаний или метод Монте-Карло. Метод Монте-Карло – это метод решения математических задач при помощи моделирования случайных величин.

Моделирование рядов методом статистических испытаний – процесс определения последовательности возможных значений ряда по его заданным числовым характеристикам или функции распределения путем преобразования значений случайной величины a , равномерно распределенной в интервале.

Модель того или иного ряда представляет собой ряд заданной продолжительности N , характеристики которого при увеличении числа испытаний стремятся к характеристикам исходного ряда.

Характеристики исходного ряда могут задаваться разными способами. В одном случае в качестве заданных могут выступать характеристики закона распределения $F(x)$, например, $m_x, D_x, C_s, r(\tau)$ и т. д., рассчитанные по конкретному числовому ряду X . При моделировании эти характеристики принимаются в качестве генеральных, т. е. принимается, что $F(x) = \dot{F}(x)$, $m_x = \dot{m}_x$, $D_x = \dot{D}_x$, $C_s = \dot{C}_s$, $r(\tau) = \dot{r}(\tau)$.

Полученный в результате моделирования ряд будет представлять собой модель, заданной продолжительности конкретного исходного ряда. В другом случае в качестве заданных могут выступать искусственно назначаемые, исходя из тех или иных соображений, характеристики закона распределения. В этом случае получается модель абстрактного ряда с теми или иными заданными свойствами, а сам процесс моделирования называется розыгрышем [6].

В зависимости от принятой математической модели исходного ряда закон распределения может быть одномерным $F_1(x)$ (случайный ряд), двумерным $F_2(x)$ (простая цепь Маркова), n -мерным $F_n(x)$ (например, сложная цепь Маркова) и т. д. Принципиальная схема моделирования во всех перечисленных случаях одинакова, однако практическая реализация ее существенно различается.

Моделирование основано на известном положении о том, что если случайная величина X имеет плотность распределения $f(x)$, то вне зависимости от закона распределе-

ния X , распределение соответствующих X значений функции распределения $F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx$ является равномерным в интервале $(0,1)$. Отсюда процедура преобразования равномерно распределенных в интервале $(0, 1)$ случайных чисел a в случайные числа X с заданным законом распределения сводится к решению уравнения:

$$a = \int_{-\infty}^x f(x)dx \quad (2.1)$$

В большинстве случаев уравнение (2.1) аналитически не решается. Поэтому в практических приложениях обычно используются приближенные приемы определения X . К ним относятся:

- решение уравнения (2.1) посредством аппроксимации подинтегральной функции полиномами или другими функциями, обеспечивающими удобство определения X ;
- определение значений функции $x = f(a)$ по таблицам, содержащим заранее рассчитанные решения уравнения, которые уже имеются в «Анализе данных» в программе Microsoft Excel.

Наибольшее распространение в практике моделирования получил второй прием.

Далее одним из методов производится генерирование значений случайной величины a . Значения a принимаются за значения обеспеченности P в долях единицы ($P=a$) или в процентах (в последнем случае $P=100a$). По значениям P_i заданного закона распределения, например, $t_i = f(P_i, Cs)$ последовательно считываются значения t_i , которые затем по формуле переводятся в x_i . Полученный ряд случайных значений $x_1, x_2, x_3 \dots x_i$ будет подчиняться заданному закону распределения тем точнее, чем больше его объем. Все описанные действия, выполняются автоматически в Microsoft Excel при использовании «анализа данных».

Таким образом, имея некоторый ограниченный объем экспериментальных данных – N , при заданном известном или предполагаемом законе распределения, можно получить практически неограниченную искусственную выборку объемом n , содержащую значительно большую информацию о возможных вариантах чередования и значениях случайной величины, отвечающей данной функции распределения [8].

2.1. Характерные особенности и условия применения метода Монте-Карло.

Первой его особенностью является простая структура вычислительного алгоритма.

Второй особенностью является медленная сходимость метода. Можно показать, что эта погрешность пропорциональна корню квадратному из N , т. е.:

$$\sigma = \sqrt{D/N} \quad (2.2)$$

где D — некоторая постоянная, N — число испытаний.

Отсюда следует, что для того, чтобы уменьшить погрешность в 10 раз, нужно увеличить число испытаний в 100 раз.

Именно поэтому для применения метода статистических испытаний обычно используют компьютер.

Третьей особенностью метода Монте-Карло является его исключительная универсальность.

Для применения стандартной, принятой в гидрологии схемы метода моделирования Монте-Карло необходимо выполнение двух обязательных условий:

- наличие случайных чисел, равномерно распределенных в заданном интервале. Обычно принимается интервал от 0 до 1. Если границы интервала возможных значений отличаются от заданного, то они легко приводятся к нему;
- разработка приема определения области (площади, отрезка кривой, точки), куда попадают случайные числа.

Числа, удовлетворяющие первому условию, называются случайными числами, равномерно распределенными в интервале, от 0 до 1. Обычно они обозначаются α (могут быть и другие обозначения) [6], [7].

2.2. Воспроизведение последовательности значений случайной величины, равномерно распределенной в интервале [0, 1]

Случайные числа, используемые для моделирования некоторой случайной системы, должны удовлетворять двум основным требованиям:

1. достаточной точностью воспроизводить поведение моделируемой случайной величины с заданным распределением;
2. требовать минимальное количество компьютерных операций для формирования одного случайного числа.

Любая последовательность случайных чисел лишь приблизительно воспроизводит поведение моделируемой случайной величины. Точность такого приближения можно определять, проводя статистическую оценку последовательности случайных чисел достаточно большого объема, используя известные статистические критерии, например, критерий χ^2 [6], [9].

Успех применения метода Монте-Карло во многом определяется качеством случайных чисел, используемых в процессе расчета. Случайные числа a , равномерно распределенные в интервале $[0, 1]$, могут быть получены одним из трех методов: табличный метод, метод генерирования с помощью специальных датчиков, метод генерирования программным способом. Каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства и недостатки и свою область применения [9].

Табличный метод заключается в считывании в определенном порядке (например, подряд) случайных чисел, равномерно распределенных в интервале $(0, 1)$, из специально составленной таблицы. Имеется несколько таблиц a , разработанных как в РФ, так и за рубежом. Качество этих таблиц, т. е. соответствие требованиям, предъявляемым к случайным, равномерно распределенным числам, достаточно высокое. Таблицы используются главным образом при ручных вспомогательных расчетах или в учебных целях. На первых этапах сами таблицы получались с помощью рулетки, отсюда и название: метод Монте Карло.

Метод датчиков заключается в использовании специальных датчиков, формирующих случайные величины путем физического моделирования некоторых случайных процессов. В качестве датчиков могут выступать различные механические или электронные устройства. На первом этапе использования метода статистических испытаний случайные числа генерировались с помощью различных механических устройств. Например, первые таблицы равномерно распределенных случайных чисел были получены с

помощью диска, приводимого во вращательное движение мотором и действующего подобно колесу рулетки.

В настоящее время на любом персональном компьютере имеется возможность генерации случайных чисел, равномерно распределенных в интервале $[0 - k]$, где k – положительное целое число [11].

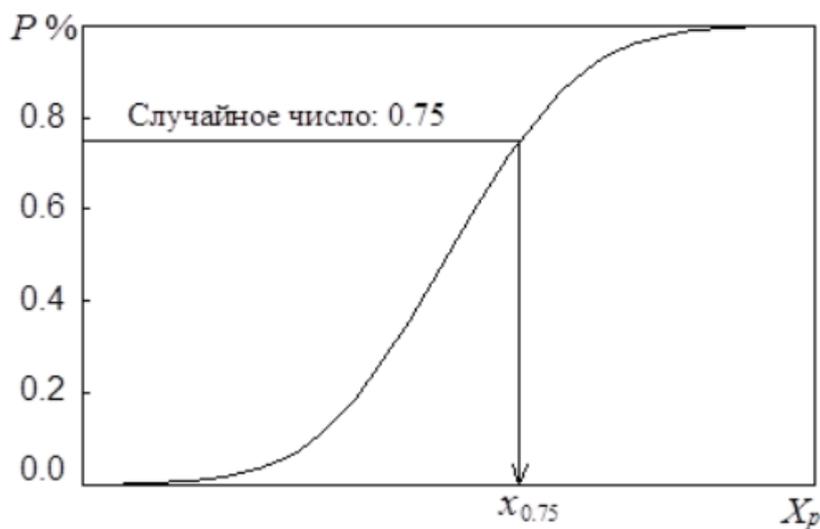


Рисунок 2.1 – Схема моделирования случайной величины с заданным законом распределения[11].

Переход от случайных чисел, равномерно распределенных на отрезке $[0 - 1]$ к случайным числам, с заданным законом распределения, выполняется аналитически с использованием обратной функции от интегрального закона распределения. Если аналитического решения обратной задачи не существует, то задача решается с использованием численных методов.

Применяя изложенную схему, можно написать компьютерную программу на любом языке программирования. Однако довольно часто достаточно воспользоваться уже готовыми программами. Например, "Пакет анализа", который входит в состав Microsoft Excel, позволяет моделировать ряды для 7 законов распределения. Еще большими возможностями обладают специальные статистические пакеты.

Также применяют замены случайных чисел последовательности так называемыми псевдослучайными числами. Генератор псевдослучайных чисел (ГПСЧ) — алгоритм, порождающий последовательность чисел, элементы которой почти независимы друг от друга и подчиняются заданному распределению (обычно равномерному). Однако и этот метод имеет некоторые недостатки. Главным недостатком является периодичность

«псевдослучайных» чисел. Правда, длина отрезка аperiodичности очень велика ($10^8 - 10^9$), но тем не менее в некоторых случаях даже с практической точки зрения очень длинные последовательности не будут случайными [12].

2.3. Алгоритм моделирования искусственного ряда модели авторегрессии первого порядка с гамма-распределением

Для получения искусственного ряда модели авторегрессии первого порядка с гамма-распределением используется генерирование случайных величин, которое осуществляется с помощью «Пакета анализа» в MicrosoftExcel. Сгенерированные случайные величины, имеют равномерное распределение на интервале $[0 - 1]$ продолжительностью $N = 1000$ и заданное случайное рассеивание от 100 до 149. Полученные таким образом числа являются основой для моделирования случайных величин, имеющих гамма-распределение.

Далее представлено подробное описание алгоритма моделирования случайных величин, равномерно распределенных на интервале $[0 - 1]$ продолжительностью $N = 1000$, а также их переход к ряду случайных величин модели авторегрессии первого порядка с гамма-распределением.

Алгоритм моделирования искусственного ряда модели авторегрессии первого порядка с гамма-распределением продолжительностью $N = 1000$:

При статистическом моделировании данных с помощью «Пакета анализа» в MicrosoftExcel используются следующий инструмент: «Генерация случайных чисел». (см. рис. 2.2)

При помощи параметра «**Число переменных**» можно получить многомерную выборку. Для этого вводится необходимое число столбцов в выходной таблице –1.

Параметром «**Число случайных чисел**» определяется число точек данных, которое нужно генерировать для каждой переменной, $N = 1000$.

Выбор закона распределения случайных чисел задаётся параметром «**Распределение**». Было выбрано равномерное распределение.

При помощи параметра «**Случайное рассеивание**» фиксируется последовательность выводимых случайных чисел. При повторных запусках генератора это значение используется для получения тех же самых случайных чисел. Генерирование начиналось со случайного рассеивания, равного 100 и в дальнейшем по порядку до 149, что в сумме составляет 50 опытов [13], [14].

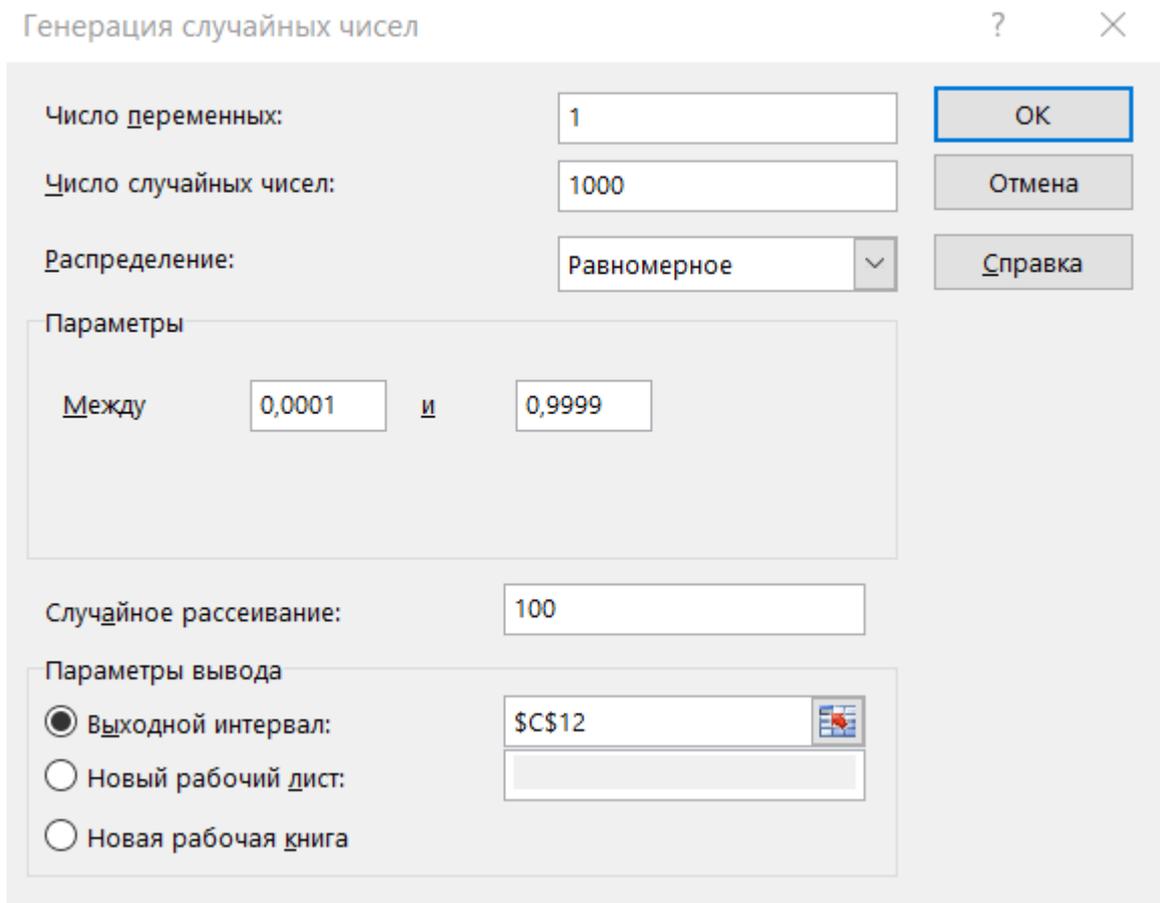


Рисунок 2.2 – Интерфейс инструмента «Генерация случайных чисел» с введенными входными параметрами для моделирования ряда случайных величин, равномерно распределенных на интервале $[0 - 1]$ продолжительностью $N=1000$

Выходными данными получили смоделированный ряд случайных величин, продолжительностью $N = 1000$ с равномерным распределением на отрезке $[0 - 1]$ со статистическими параметрами:

$$m_x = \frac{a+b}{2} = \frac{0+1}{2} = 0.50 \quad (2.3)$$

где m_x – математическое ожидание случайной величины; a, b – интервал равномерного распределения случайное величины;

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(a+b)^2}{12}} = \sqrt{\frac{(0+1)^2}{12}} = 0.29, \quad (2.4)$$

где σ_x – среднеквадратическое отклонение;

$$Cv = \frac{\sigma_x}{m_x} = \frac{0,29}{0,50} = 0.58 \quad (2.5)$$

где, Cv – коэффициент вариации.

Для моделирования ряда, соответствующего модели авторегрессии первого порядка с гамма-распределением, необходимо иметь исходные статистические параметры для расчета статистических параметров, соответствующих гамма-распределению: среднее значение \bar{x} , среднеквадратическое отклонение σ_x , отношение C_s/C_v , коэффициент автокорреляции $r(1)$ и начальное значение моделируемой гидрологической характеристики x_1 , обычно $x_1 = \bar{x}$.

Задаемся исходными параметрами для расчета параметров гамма-распределения:

$$x_1 = \bar{x} = 100$$

$$\sigma_x = 30$$

$$r(1) = 0.25$$

Рассчитываются параметры для ряда модели авторегрессии 1-го порядка с гамма-распределением:

$$\bar{\varepsilon} = (1 - r(1))\bar{x} = (1 - 0,25)100 = 75 \quad (2.6)$$

где, $\bar{\varepsilon}$ – случайная составляющая (белый шум); $r(1)$ – коэффициент автокорреляции; \bar{x} – среднее значение.

$$\sigma_{\varepsilon} = \sigma\sqrt{(1 - r^2)} = 30\sqrt{(1 - 0,25^2)} = 29.1 \quad (2.7)$$

где, σ_{ε} – среднеквадратическое отклонение ряда с гамма-распределением; σ – среднеквадратическое отклонение исходного ряда; $r(1)$ – коэффициент автокорреляции исходного ряда.

$$a = \frac{m^2}{\sigma^2} = \frac{100^2}{30^2} = 11.1, \quad (2.8)$$

где, a – параметр распределения, связанный с C_v и C_s ; m – математическое ожидание исходного ряда; σ – среднеквадратическая ошибка исходного ряда.

$$\beta = \frac{30^2}{100} = \frac{\sigma^2}{m} = 9.00 \quad (2.9)$$

где, β – параметр распределения, связанный с C_v и C_s , m – математическое ожидание исходного ряда; σ – среднеквадратическая ошибка исходного ряда.

Для моделирования ряда соответствующего модели авторегрессии первого порядка используют рекуррентную формулу:

$$\dot{x}_{i+1} = r\dot{x}_i + \varepsilon_i \quad (2.10)$$

где $\dot{x}_i = (x_i - \bar{x})$ – центрированный случайный процесс; $r(1)$ – коэффициент автокорреляции; ε_i – случайная составляющая (белый шум).

В качестве начального значения в большинстве случаев принимают среднее значение исходного ряда (в этом случае $\dot{x}_1 = \bar{x}$).

При моделировании по формуле (2.7) на каждом шаге генерируется значение случайной величины ϵ_i , которое можно получить при переходе от случайных чисел, равномерно распределенных на отрезке $[0 - 1]$ к случайным числам с заданным гамма-распределением с использованием обратной функции от интегрального закона распределения. В Microsoft Excel для получения белого шума используется встроенная функция «ГАММАОБР(вероятность;альфа(a);бета(β)), которая зависит от исходных параметров гамма-распределения, а именно, в качестве вероятности выступает случайная величина, равномерно распределенная на интервале $[0 - 1]$, расчёт параметров a и β произведен по формулам (2.8), (2.8), соответственно [9].

Обработка и анализ полученных искусственных гидрологических рядов представлены далее пункте 2.4.

2.4. Оценка значимости линейных трендов по результатам моделирования искусственных гидрологических рядов

Для проверки вероятности принятия неправильного решения при проверке значимости линейного тренда в рядах с наличием и отсутствием автокорреляции были статистически обработаны и проанализированы смоделированные методом Монте-Карло искусственные гидрологические ряды. В качестве базового распределения использовалось двухпараметрическое гамма-распределение. Описание методики моделирования дано в гл. 2 п. 2.3.

В рамках каждого опыта моделировался ряд объемом $N = 1000$ значений при фиксированном коэффициенте автокорреляции. Моделировались ряды при коэффициенте автокорреляции 0; 0,25 и 0,5 (рисунок 2.3).

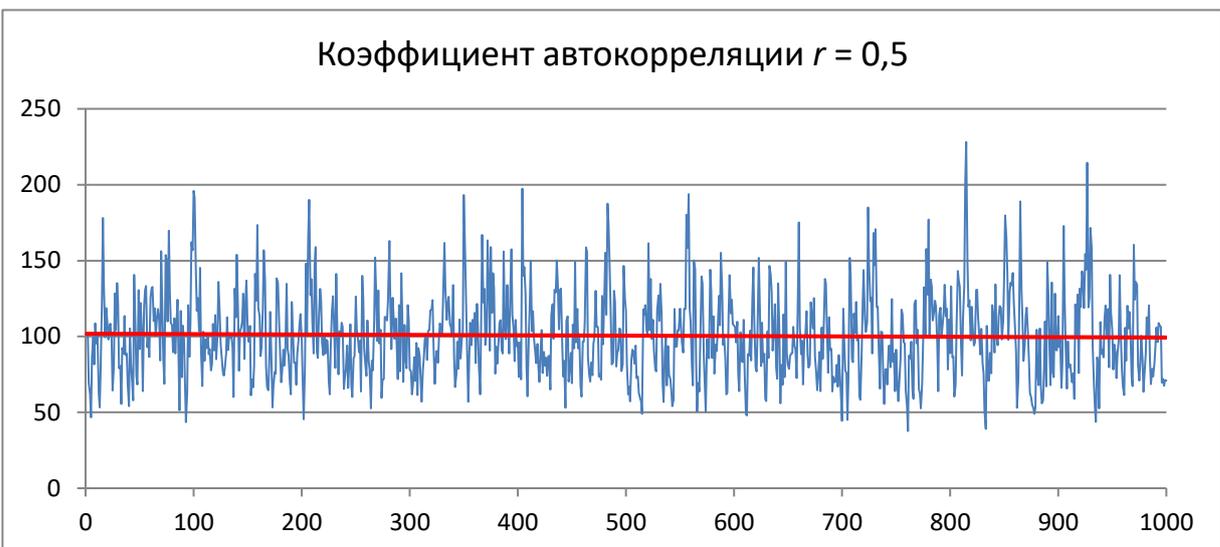
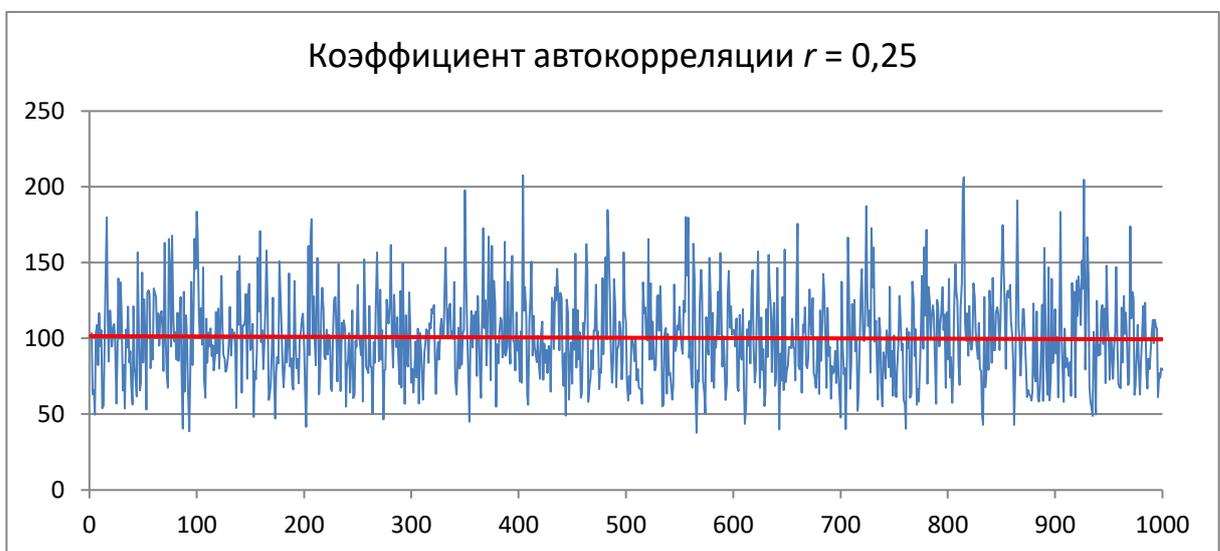
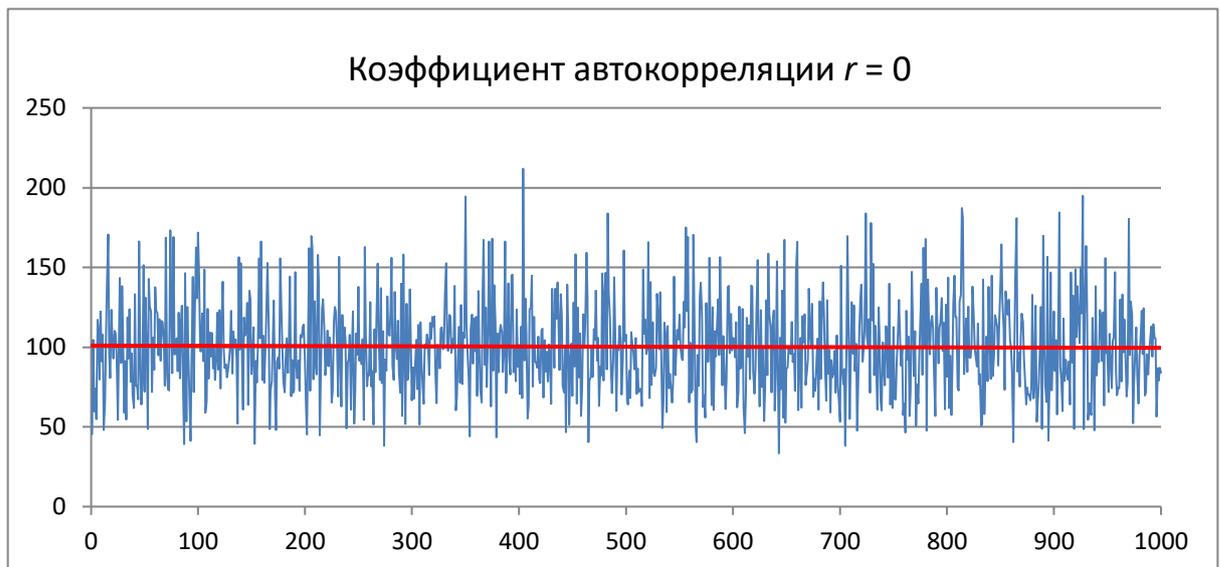


Рисунок 2.3 – Примеры смоделированных тысячетных рядов на базе одной случайной последовательности при разных коэффициентах автокорреляции.

На основе каждого ряда формировались выборки длиной n по следующей схеме. Например, при $n = 50$ первая выборка включала значения с номерами с 1 по 50; вторая с 2 по 51, третья – с 3 по 52 и т. д. Таким образом, из каждого ряда объемом $N = 1000$ получалось 951 выборка длиной 50 значений. В общем случае число выборок равнялось $N - n + 1$.

Были выполнены расчеты при $n = 30$, $n = 50$ и $n = 100$ при коэффициентах автокорреляции 0; 0.25 и 0.5.

Для каждого набора параметров выполнялось 50 опытов и для каждой выборки выполнялась оценка значимости линейного тренда при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ без учета автокорреляции (приложение А) и с учетом автокорреляции (приложение Б). Затем проводилось осреднение результатов. В таблице 2.1 представлены осредненные результаты оценки значимости трендов без учета автокорреляции.

Таблица 2.1 – Среднее число значимых трендов (по результатам моделирования) при различной длине выборок (n) и различных значениях коэффициента автокорреляции (оценка без учета автокорреляции).

Коэффициент автокорреляции	Число значимых трендов, %		
	$n = 30$	$n = 50$	$n = 100$
0	5.3	4.4	5.2
0.25	11	11	12
0.50	22	25	25

Как видно из таблицы, в рамках модели случайной величины (при $r = 0$) число значимых трендов примерно равно 5%, то есть совпадает с принятым уровнем значимости. При $r = 0.25$ число значимых трендов возрастает до 11-12%, а при $r = 0.5$ число значимых трендов уже составляет одну четверть от всех выборок. Причина такого большого количества значимых трендов состоит в том, что при оценке значимости трендов автокорреляция не учитывалась.

В случае учета автокорреляции (таблица 2.2) число значимых трендов уже существенно отличается от принятого уровня значимости ($2\alpha = 5\%$) и составляет при $r = 0.25$ от 6.2% до 6.3%, а при $r = 0.5$ от 5.6% до 5.8%.

Учет автокорреляции при оценке значимости трендов производился за счет того, что критическое значение статистики Стьюдента умножалось на поправочный коэффициент в соответствии с таблицей 1.1.

Таблица 2.2 – Среднее число значимых трендов (по результатам моделирования) при различной длине выборок (n) и различных значениях коэффициента автокорреляции (оценка с учетом автокорреляции).

Коэффициент автокорреляции	Число значимых трендов, %		
	$n = 30$	$n = 50$	$n = 100$
0	5.3	4.4	5.2
0.25	6.2	6.3	6.2
0.50	5.8	5.6	5.6

Таким образом учет автокорреляции при оценке значимости трендов позволяет сократить число ошибок первого рода до теоретического значения. То есть вероятность опровергнуть верную нулевую гипотезу (об отсутствии тренда) будет примерно равна уровню значимости – в данном случае 5%.

Была выделена следующая закономерность: при увеличении значимости коэффициента автокорреляции в рядах среднее число значимых трендов тоже увеличивается, то есть, чем больше коэффициент автокорреляции, тем больше число значимых трендов.

Учитывая всё вышеперечисленное, можно сделать обобщенный вывод: недоучёт автокорреляции приводит к завышению числа значимых трендов. Если для описания гидрологических рядов используется модель авторегрессии первого порядка, то при проверке значимости линейных трендов необходимо использовать критерий Стьюдента, обобщенный на случай автокоррелированных рядов.

Для иллюстрации полученных выводов была построена серия графиков. На рисунке 2.4и в приложении В показаны примеры изменения отношения R/σ_R в зависимости от номера выборки с доверительными интервалами, построенными без учета и с учетом автокорреляции. На рисунке 2.5и в приложении Г показано количество значимых трендов для одной и той же реализации без учета и с учетом автокорреляции.



Рисунок 2.4 – Изменение отношения R/σ_R в зависимости от номера выборки; доверительные границы построены с учетом и без учета автокорреляции; длина реализации: 1000; длина выборок: 50; $r = 0.25$; номер реализации: 120.

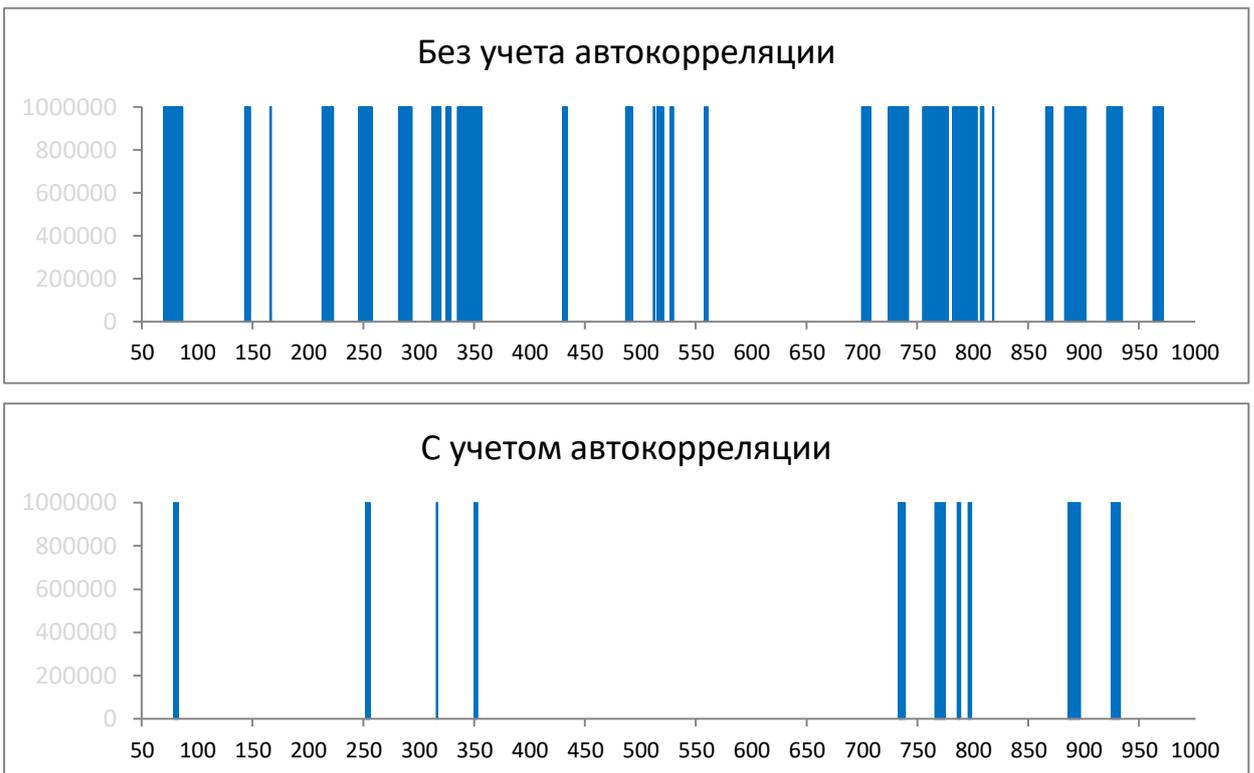


Рисунок 2.5 – Наличие значимого тренда в зависимости от номера выборки (синие полосы) без учета автокорреляции и с учетом автокорреляции; длина реализации: 1000; длина выборок: 50; $r = 0,25$; номер реализации: 120.

3. Учет автокорреляции при проверке стационарности рядов среднегодовых расходов рек Северо-Запада РФ

3.1. Природные условия района

Местоположение. Для учета автокорреляции при проверке стационарности рядов среднегодовых расходов использовались данные по рекам территории Северо-Западного федерального округа (Далее – СЗФО), главным образом, Ленинградской, Новгородской и Псковской областей (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Схема территории СЗФО

Рельеф. Территория Северо-Запада по характеру рельефа отчетливо разделяется на две части: 1) северо-западную – низменную и 2) восточную, юго-восточную и южную – возвышенную. Северо-западная часть рассматриваемой территории расположена в основном в пределах Прибалтийской низменности, уходящей на западе на территорию Эстонии и Латвии, а на севере и северо-востоке – в Карелию.

Прибалтийская низменность – довольно однообразная слабоволнистая равнина, на которой отчетливо выделяется ряд возвышенностей и понижений. Абсолютные отметки поверхности в среднем составляют 50 – 100 м, однако наиболее значительные возвышенности достигают 200 – 300 м. К ним относятся: возвышенность в центральной части Карельского перешейка, Силурийское плато в центральной части Ленинградской области, Лужская возвышенность, расположенная к северо-востоку от г. Пскова, Судомская – к югу от г. Порхова и Бежаницкая – к югу от г. Новоржевка.

Силурийское (Ордовикское) плато, вытянутое почти в широтном направлении от р. Нарвы на западе до р. Сяси на востоке, представляет собой плоскую возвышенную равнину. Западная часть его, наиболее обширная и приподнятая, носит название Ижорского плато. Здесь в известняках и доломитах ордовика широко развит карст. Вдоль северного края Силурийского плато прослеживается крутой уступ (глинт), отделяющий его от Предглинтовой низменности. В западной части уступ обрывистый, высотой до 30 – 50 м и более, в восточной части он вылаживается и не превышает 15 м.

Прибалтийская низменность пересечена густой сетью рек, расходящихся в различных направлениях. Долины рек, как правило, врезаются глубоко и лишь при пересечении склонов водораздельных возвышенностей они врезаются на глубину от 20 до 40 м и иногда до 50 м, характерно развитие болот в низинах и на плоских междуречных пространствах.

Возвышенная часть территории Северо-Запада – восточная, юго-восточная и южная – расположена в пределах Валдайской возвышенности, которая широкой дугой окаймляет Прибалтийскую низменность и тянется от восточного побережья Онежского озера до г. Великие Луки, переходя далее на территорию Белоруссии и Литвы. Валдайская возвышенность является краевой зоной валдайского ледника. Она приурочена к Карбоновому плато, сложенному известняками ниже- и среднекаменноугольного возраста, южнее г. Валдая выступает в рельефе девонских пород и состоит из многочисленных холмов и гряд преимущественно округлой формы, разделенных долинами и лощинами с множеством озер. Для гряд характерна северо-восточная ориентировка. Относительная высота холмов и гряд от 20 до 50 метров. Максимальные абсолютные отметки поверхности достигают 320 метров (в районе г. Валдая), а в среднем составляют 150 – 200 метров. От Прибалтийской низменности Валдайская возвышенность отделена Карбоновым уступом, который представляет собой выположенный склон шириной от 5 до 30 километров и высотой до 70 – 100 метров, прорезанный многочисленными глубокими современными долинами рек, интенсивно дренирующими водоносные горизонты камменно-угольных отложений. Местами уступ замаскирован конечноморенными образованиями.

Для Карбонового плато характерно развитие карста, проявляющегося в виде многочисленных карстовых воронок, оврагов, слепых долин рек, озер и источников, создающих на отдельных участках характерный карстовый микрорельеф.

Территория Северо-Запада сложена в основном осадочными породами палеозойского комплекса.

Территория Северо-Запада расположена почти целиком в пределах Русской платформы и сложена комплексом осадочных дочетвертичных отложений, залегающих под четвертичными на архейском или протерозойском кристаллическом основании. Лишь самая северная окраина территории – север Карельского перешейка – относится к южной конечности Балтийского щита и сложена древнейшими кристаллическими породами архейско-протерозойского комплекса, представленного различного рода гнейсами и сланцами.

Осадочные коренные образования области представлены преимущественно отложениями палеозоя: толщинами нижнего кембрия, нижнего, среднего и верхнего ордовика, среднего и верхнего девона, нижнего и среднего карбона.

На крайнем северо-западе области, на склоне Балтийского щита, под четвертичными отложениями залегают рыхлые песчано-глинистые породы нижнего кембрия общей мощностью 200 – 500 метров.

Ордовикские отложения представлены песчаниками, известняками и доломитами общей мощностью 100 – 150 метров. Характерна трещиноватость пород, типичен карст. В основании глинта Силурийского плато и по долинам прорезающих его рек прослеживаются выходы кембрийских песчаников и синих глин.

К югу и востоку от Ордовикского плато находится обширная область развития преимущественно рыхлых девонских отложений, занимающих примерно 60% всей области Северо-Запада. Представлены они двумя отделами: средним (песчаники, доломиты, мергели) и верхним (известняково-мергелистая и пестроцветная толщи). Мощность отложений среднего девона 50 – 150 метров, верхнего девона – до 300 метров.

Нижний карбон сложен известняково-глинистой и известняково-доломитовой толщей мощностью 60 – 95 метров. Средний карбон сложен известняками и доломитами. Мощность его неравномерная и изменяется в пределах 12 – 80 метров. Известняки карбона трещиноватые и закарстованные.

Палеозойские осадочные породы повсеместно перекрыты толщей четвертичных отложений, мощность которых варьирует в больших пределах (0,5 – 200 метров). Эти отложения представлены комплексом ледниковых и послеледниковых образований. Самым древним из них являются московская морена и сопровождающие ее водно-

ледниковые осадки. Выше залегает комплекс позднеледниковых песчаных флювиогляциальных и озерно-ледниковых песчано-глинистых отложений. Заканчивается разрез четвертичных толщи послеледниковыми и современными отложениями. Это обычно покровные отложения, аллювиальные наносы, торфяники, эоловые (дюнные) пески.

Почвы. Основными процессами почвообразования на территории Север-Запада являются подзолообразование и заболачивание, что обусловлено положением территории в зоне с холодным, влажным климатом, а также преобладанием лесной, преимущественно хвойной растительностью. По характеру почвообразования территория может быть разделена на две зоны: северную и южную.

Почвообразующей породой в северной части являются ледниковые наносы, преимущественно неоднородные, грубые по механическому составу; в южной части моренные отложения имеют различный состав – от песков до глин, что и определяет различие в механическом составе почв.

На территории, расположенной к югу от Ладожского и Онежского озер, широко распространены слабо- и среднедерновоподзолистые почвы, подзолистые и болотные.

По механическому составу здесь различаются почвы глинистые, тяжелосуглинистые, средне- и легкосуглинистые, супесчаные и песчаные. Преобладают суглинистые почвы на валунных суглинках, но много почв и супесчаных.

Рассматриваемая территория расположена в зоне достаточного и избыточного увлажнения. Однако влагозапасы в почво-грунтах также находятся в прямой зависимости от механического состава и глубины залегания грунтовых вод.

Влагонасыщенность почв за теплый период сначала уменьшается и в июле – августе падает до минимума. Затем начинается повышение влажности почвы вследствие увеличения количества осадков и одновременно уменьшение потерь влаги на испарение и транспирацию.

Влагозапасы в почве в зимнее время зависят от промерзания почвы. Влагонасыщенность почвы резко увеличивается за счет капиллярного подсосывания при ледообразовании, а также за счет парообразной воды, поднимающийся из теплых нижних слоев почвы к верхним холодным, где она конденсируется и замерзает.

Глубина промерзания почвы зависит от многих факторов и, в первую очередь, от интенсивности нарастания отрицательных температур воздуха и наличия снежного и растительного покрова, а также рельефа местности, механического состава почвы и ее увлажнения. Сухие и легкие почвы промерзания обычно больше, чем влажные и тяжелые.

Промерзание почвы на открытых (полевых) участках в среднем начинается в октябре – ноябре и, постепенно нарастая, достигает максимума в марте. Средняя глубина промерзания колеблется в пределах 30 – 60 сантиметров. Наибольшая глубина промерзания на территории Северо-Запада – 140 сантиметров. Наименьшее промерзание почвы 2 – 30 сантиметров. В отдельные годы мощным снежным покровом почва всю зиму может оставаться слабо промерзшей, а иногда даже талой.

Полное оттаивание почвы обычно наблюдается в конце апреля.

Растительность. Территория Северо-Запада расположена в основном в южной подзоне тайги; лишь небольшая северо-восточная часть ее находится в подзоне средней тайги, в крайняя юго-западная – в зоне смешанных лесов.

Наиболее характерны темнохвойные (еловые) леса, покрывавшие в прошлом большую часть территории Северо-Запада. Они приурочены к водоразделам с суглинистыми и частично супесчаными почвами. Основная группа – ельники-зеленомышники характеризуется хорошо развитым покровом из мхов. В северной части эта группа представлена в основном типом черничного ельника. Широко распространены заболоченные еловые леса. На дне долин, на заболоченных почвах встречаются травяные ельники с густым и высоким травяным покровом. В условиях равнинного рельефа на плохо дренированных сильно оподзоленных почвах развиты ельники-долгомошники.

На более легких песчаных и супесчаных почвах широко распространены сосновые леса, образующие такие же сообщества, как и еловые. На песках развиты лишайниковые боры-беломошники с редким травяным покровом с преобладанием брусники и вереска. Нередко лес приобретает характер смешенного елово-соснового с некоторой примесью березы.

Всего под лесом находится половина площади Северо-Запада. Под влиянием вырубок и пожаров широко распространились производные березовые и осиновые леса, а также сероольховые заросли, в некоторых ландшафтах почти полностью заменившие коренные лесные сообщества. В бассейне р. Ояты, в верховьях р. Сяси леса занимают до 85 % площади. Наименьшая лесистость отмечается в более освоенных западных и южных районах. Так в верхнем и среднем течении р. Ловати, в бассейне р. Шелони, в нижнем течении р. Великой залесенность уменьшается до 40 – 30 %.

Болота и заболоченные земли занимают около 30 % территории. Болота преимущественно верховые (сфагновые), отчасти низинного и переходного характера (осоковые и т.п.)

Под лугом находится 7 % территории. Большинство лугов суходольные со злаково-разнотравной растительностью. Пойменно-заливные луга приурочены к долинам крупных рек.

Растительный покров области подвергся длительному воздействию человека. Большое количество земель распаханно или превращено в различные сельскохозяйственные угодья. В настоящее время культурной растительностью занято около 12 % площади. Наименьшей распаханностью (1 – 5 %) характеризуются северные и северо-восточные районы, наибольшей (до 20 – 30%) – западные и южные.

3.2. Климатическая характеристика

Ленинградская область относится к зоне умеренного климата, переходного от океанического к континентальному, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом.

Основной особенностью климата здесь является непостоянство погоды, обусловленное частой сменой воздушных масс, которые, в зависимости от района формирования, подразделяются на морские, континентальные и арктические. Морские воздушные массы поступают с запада, юго-запада или северо-запада при перемещении через северо-западные районы России атлантических циклонов. Циклоны приносят пасмурную, ветреную погоду и осадки. Зимой они являются причиной резких потеплений, а летом, наоборот, несут прохладу. С востока, юга или юго-востока входит сухой континентальный воздух. Из-за антициклонов, сформировавшихся в этих воздушных массах, устанавливается малооблачная и сухая погода, летом жаркая, а зимой холодная. С севера и северо-востока, главным образом со стороны Карского моря, приходит сухой и всегда очень холодный арктический воздух, формирующийся надо льдом. Вторжения арктических воздушных масс сопровождаются наступлением ясной погоды и резким понижением температуры воздуха. В областях повышенного давления, сформировавшихся в этих воздушных массах, даже летом наблюдаются заморозки, а зимой – наиболее сильные морозы. Разнообразие синоптических процессов и частая смена воздушных масс являются причиной больших междусуточных колебаний метеопараметров. Перепады температуры воздуха, обусловленные сменой воздушных масс, могут значительно превышать амплитуду суточных колебаний и нередко достигают $\pm 20^\circ$ и более [15].

Данные климатических параметров холодного и теплого периодов года по метеостанции Санкт-Петербург представлены в таблицах 3.1-3.2.

Температура воздуха. Среднегодовая температура воздуха в Санкт-Петербурге составляет 6.3°C, в западных районах Ленинградской области – 4.8-6°C, в восточных районах 3.7-4.8°C по данным Северо-Западного УГМС [15].

Среднее многолетнее число дней в году со среднесуточной температурой выше 0°C в Санкт-Петербурге составляет 246 дней. Средняя дата перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C в сторону положительных значений весной – 22 марта, в сторону отрицательных значений осенью – 23 ноября [15].

Сведения о средних месячных температурах по данным метеостанции Санкт-Петербург приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.1 – Климатические параметры холодного периода года по метеостанции Санкт-Петербург [16].

Температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0.98, °C	-31
Температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0.92, °C	-28
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.98, °C	-27
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.92, °C	-24
Температура воздуха обеспеченностью 0.94, °C	-11
Абсолютная минимальная температура воздуха, °C	-36
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, °C	5.8
Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха ≤0°C, сут	130
Средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха ≤0°C, °C	-4.4
Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха ≤8°C, сут	211
Средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха ≤8°C, °C	-1.2
Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха ≤10°C, сут	230
Средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха ≤10°C, °C	-0.4
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	86
Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее холодного месяца, %	84
Количество осадков за ноябрь – март, мм	322
Преобладающее направление ветра за декабрь - февраль	ЮЗ, 3
Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с	3.2
Средняя скорость ветра, за период средней суточной температурой воздуха, ≤ 8°C, м/с	2.4

Таблица 3.2 – Климатические параметры теплого периода года по метеостанции Санкт-Петербург [16].

Барометрическое давление, гПа	1013
Температура воздуха обеспеченностью 0.95, °С	22
Температура воздуха обеспеченностью 0.98, °С	25
Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	23.2
Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	37
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца, °С	8.2
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	71
Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца, %	59
Количество осадков за апрель – октябрь, мм	438
Суточный максимум осадков, мм	76
Преобладающее направление ветра за июнь – август	3
Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с	2.3

Таблица 3.3 – Средние месячные значения температуры воздуха по метеостанции Санкт-Петербург [15].

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Т, °С	-6.5	-6.1	-1.4	4.6	11.3	15.8	18.6	16.9	11.6	5.8	0.5	-3.6	5.6

Осадки. Санкт-Петербург по своему географическому местоположению попадает в зону избыточного увлажнения. Выпадение осадков в Санкт-Петербурге определяется, главным образом, интенсивностью циклонической деятельности. В течение года осадки выпадают неравномерно: большая их часть (51%) приходится на теплый период (май-сентябрь) и только 49 % – на холодный (октябрь-апрель). В среднем за год выпадает 667.7 мм осадков. Годовое количество осадков в Ленинградской области изменяется от 632 мм (Ломоносов) до 796 мм (Лудейное Поле) [15].

Сведения о средних месячных количествах осадков по данным метеостанции Санкт-Петербург приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Средние месячные значения количества осадков по метеостанции Санкт-Петербург [15].

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Слой, мм	46.4	35.7	35.4	37	46.8	69	83.4	86.4	57.2	63.4	56.2	50.8	668

Максимум осадков в Санкт-Петербурге приходится обычно на август (86.4 мм), а минимум – на март (35.4 мм). В отдельные годы, однако, такая закономерность нарушается, и как максимум осадков, так и минимум может наблюдаться в разные месяцы.

Самая большая за всю историю инструментальных наблюдений за погодой в Санкт-Петербурге месячная сумма осадков была отмечена в августе 1933 года и составила 190.8 мм. Но так как август является у нас самым дождливым месяцем в году, это количество осадков составило относительно нормы «всего» 221%. А вот 177.6 мм осадков, выпавших в сентябре 1912 года, составили 310% от сентябрьской нормы. Это максимальное количество выпавших за месяц осадков в процентном отношении [15].

Минимальное количество осадков, выпавшее за месяц, было отмечено в марте 1923 года, когда за два дня с осадками выпало всего 0.7 мм, что составило 2% от месячной нормы [15].

Максимальное количество осадков, выпадавшее за сутки, или суточный максимум, также заметно выше в летние месяцы (76 мм), чем в зимние (28 мм). Максимальное суточное количество осадков весной достигает 56 мм, осенью – 37 мм [15].

Самое большое количество осадков, выпадавшее в Санкт-Петербурге за одни сутки, составляет 75.7 мм. Такое количество воды обрушилось на город во время ливня 8 августа 1947 года. Пространственное распределение осадков, особенно ливневых, отличается большой изменчивостью. О крайне неравномерном распределении осадков даже в пределах города говорит, например, тот факт, что во время ливня 8 августа 1947 года, когда в центральных районах был зафиксирован абсолютный максимум, в восточной части города количество выпавших осадков составило всего от 14 до 23 мм [15].

Одной из основных характеристик осадков является их интенсивность. В холодный период года, когда в Санкт-Петербурге преобладают продолжительные обложные осадки, интенсивность их невелика, в среднем 0.2...0.4 мм/ч. В летние месяцы интенсивность возрастает до 1.1...1.3 мм/ч за счет ливневых осадков [15].

Показательной характеристикой режима увлажнения является число дней с осадками. В Санкт-Петербурге за год в среднем отмечается 120 дней с суточным количеством осадков 1 мм и более. Максимальное число дней с осадками 1 мм и более приходится на осенне-зимние месяцы (11-12 дней), минимальное – на весенние (8 дней). Средняя продолжительность выпадения осадков в день с осадками уменьшается от зимы (10...11 ч) к лету (около 4 ч) [15].

Снежный покров. Снежный покров на территории города Санкт-Петербург и Ленинградской области появляется в конце октября – начале ноября, устойчивый снежный покров образуется в последних числах ноября – первой декаде декабря. Окончательно снег сходит

во второй половине апреля. Максимальное число дней со снегом приходится на северо-восточные, восточные районы области, а также Карельский перешеек [17].

Данные по высоте и плотности снежного покрова по снегосъемкам для метеостанции Тихвин приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Высота снежного покрова по снегосъемкам в поле на последний день декады и плотность снежного покрова по данным метеостанции Тихвин [17].

Месяц	XI		XII			I			II			III			IV	
Декада	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Высота (лес), см	3			20			31	36	41	43	45	45	45	39	27	11
Плотность (лес), кг/м ³				180			180	190	200	210	210	240	250	280	290	
Высота (лес), см	4	9	12	15	20	23	25	29	34	37	38	37	34	34		
Плотность (лес), кг/м ³		180	170	200	200	210	210	210	220	230	240	250	260	310		

Ветер. Преобладающее направление ветра в течение года юго-западное – западное. Юго-западные ветра более характерны для осенних месяцев. Средняя скорость ветра по данным метеостанции Санкт-Петербург составляет 2.2 м/с.

Сведения о распределении направлений ветра по месяцам и в течение года по данным метеостанции Санкт-Петербург приведены в таблице 3.7, о распределении скоростей ветра – в таблице 3.6. На рисунке 3.2 приведено графическое отображение направлений ветра по отдельным сезонам и в году.

Таблица 3.6 – Средние месячные значения скорости ветра по метеостанции Санкт-Петербург [18].

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Скорость ветра, м/с	2.4	2.3	2.3	2.1	2.0	1.9	1.7	1.7	1.9	2.3	2.6	2.6	2.2

Таблица 3.7 – Распределение направлений ветра по месяцам и в течение года по данным метеостанции Санкт-Петербург [18].

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
1	7.0	7.2	10.8	10.5	18.2	19.7	19.5	7.0
2	8.1	8.8	9.6	11.1	17.8	19.3	20.2	5.2
3	8.3	8.2	10.3	10.2	16.4	20.7	20.3	5.7
4	11.4	12.9	11.0	8.5	11.2	17.3	21.3	6.4
5	13.9	14.7	11.2	6.2	8.6	16.2	22.6	6.7
6	13.9	11.8	8.9	5.5	8.9	16.5	26.1	8.4
7	13.0	11.2	9.7	5.9	10.7	17.5	23.9	8.2
8	11.8	10.0	9.0	6.5	12.5	18.7	22.8	8.7
9	11.6	8.4	9.6	8.2	15.8	19.5	17.0	10.0
10	11.0	5.1	8.5	8.6	19.8	20.9	15.5	10.5
11	8.4	5.2	10.4	10.4	22.0	20.8	13.5	9.3
12	6.9	5.5	10.8	10.2	19.8	20.7	16.9	9.2
Год	10.4	9.0	10.0	8.5	15.3	19.0	19.9	8.0

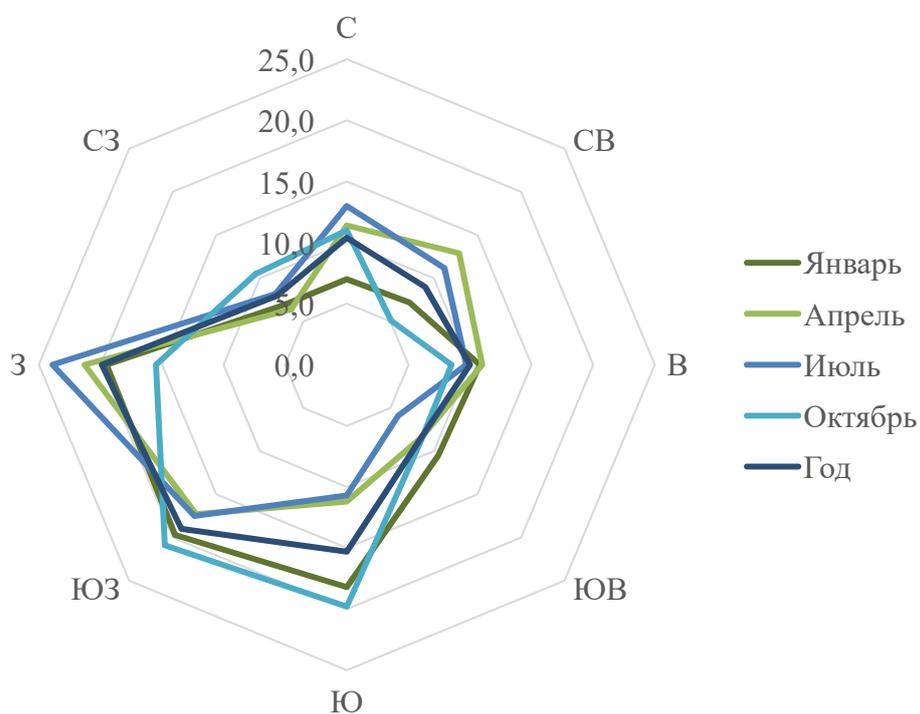


Рисунок 3.2 – Распределение направлений ветра по месяцам каждого сезона и в течение года по данным метеостанции Санкт-Петербург [18].

3.3. Водный режим рек Северо-Запада

Рассматриваемая территории Северо-Запада имеет хорошо развитую гидрографическую сеть, принадлежащую к бассейну Балтийского моря. Густота ее составляет 0,56 км/км². Наличие большого количества рек, озер и болот, обусловлено избыточным влажным климатом района.

Характерной особенностью рек является слабая естественная зарегулированность их озерами, также наличие большого количества мелких рек.

Большая часть рек берет начало на главном водоразделе между Балтийским и Каспийским морями, который проходит по Валдайской возвышенности и простирающейся на северо-восток от нее Вепсовской возвышенности.

Для рек характерен слабо выработанный продольный профиль с одной или двумя надпойменными террасами, иногда только с поймой. Все это свидетельствует о молодости гидрографической сети. Долины крупнейших рек обычно четко подразделяются на участки верхнего, среднего и нижнего течения. В верхнем течении реки протекают по ровным, обычно заболоченным площадям, имеют неглубоко врезанную долину, низкие берега, узкое извилистое русло, небольшую глубину и медленное течение. В среднем течении преобладает глубинная эрозия, вследствие чего долины становятся узкими, с крутыми высокими склонами (до 20—50 м), в руслах некоторых рек появляются перекаты и пороги, течение быстрое (реки Сясь, Мета, Ловать, Шелонь и др.). В нижнем течении долины рек широкие, падение реки небольшое (0,01—0,02 м на 1 км), течение слабое, глубина значительная.

Реки обычно берут начало в озерах и болотах, реже они имеют своими истоками родники.

На рассматриваемой территории озера многочисленны (около 6000), разнообразны по размерам, форме, происхождению и могут быть разделены на три группы. К первой отнесены наиболее крупные озера структурно-тектонического происхождения — Ладожское, Онежское, Псковское, Чудское и Ильмень, которые приурочены к крупным впадинам рельефа и являются остатками еще более обширных ледниковых водоемов. Вторую, наиболее многочисленную, группу составляют средние и малые озера ледникового происхождения, приуроченные главным образом к холмистым участкам последнего оледенения. Площадь большинства таких озер не превышает 5—10 га, глубина обычно меньше 4—5 м. Котловины этих озер имеют округлую или неправильную лопастную форму, неровное дно. Встречаются также удлиненные ложбинные озера. В третью груп-

пу входят озера карстового происхождения. При малой площади (часто менее 0,3 км²) озера этой группы нередко отличаются большой глубиной — до 30 м, что объясняется присутствием на дне ям-понор, куда в некоторые годы уходит вода озер.

Процессы заболачивания получили широкое развитие, что обусловлено преобладанием осадков над испарением, слабой расчлененностью, равнинностью рельефа, наличием большого количества впадин и плохой водопроницаемостью грунтов. Средняя заболоченность территории достигает 30%, а на отдельных участках превышает 50% (в Приладожской, Приильменской и других низменностях). Наименее заболочена Валдайская возвышенность. Свыше 50% общей площади болот занимают крупные болотные массивы, площадь которых превышает 1000 га. Большинство болот расположено на водоразделах и относится к верховому типу с преобладанием атмосферного питания. Максимальная мощность торфа на болотах (главным образом сфагнового состава) достигает 9 м и более. Низинные болота распространены незначительно и сложены обычно древесно-осоковыми, осоковыми и гипновыми торфами хорошей степени разложения. Они встречаются на пойменных террасах рек и в прибрежной полосе озер. Питание большинства низинных озер происходит за счет паводковых вод; болота грунтового (ключевого) питания редки, занимают незначительные площади [19].

Характерный годовой ход уровней воды по данным гидрологического поста Новое Девятино – река Охта представлен на рисунке 3.3.

Весеннее половодье. Основной сток рек проходит в период весеннего половодья, доля которого составляют около 39-41% объема годового стока. Наибольший месячный сток наблюдается весной (в апреле), наименьший летом (в июле). Максимальный сток на реках рассматриваемой территории наблюдается весной в период наиболее интенсивного поступления талых вод. Максимальные значения модулей стока за многолетний период на слабо зарегулированных реках колеблются от 75 до 109 л/с*км², на сильно зарегулированных озерами они снижаются до 36-46 л/с*км² [20].

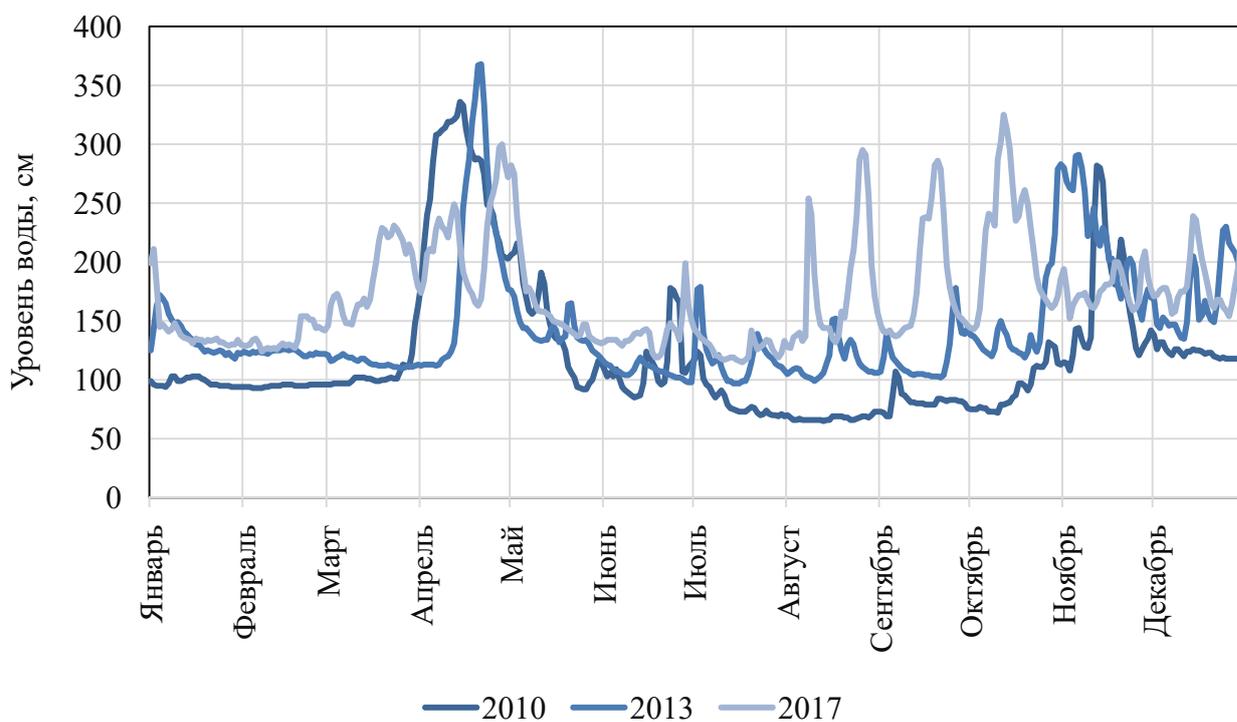


Рисунок 3.3 – Изменение уровней воды по данным гидрологического поста Новое Девяткино – река Охта за маловодный (2010), средний по водности (2013) и многоводный (2017) годы [12].

Весеннее половодье начинается в первой декаде апреля. В отдельные годы в зависимости от характера весны сроки начала половодья могут значительно отклоняться от средних многолетних. Как правило, подъем весеннего половодья начинается за 8-12 дней до вскрытия рек. Средняя продолжительность подъема половодья составляет для средних рек 10-20 дней. В зависимости от характера весны продолжительность подъема весеннего половодья может изменяться от 5 до 52 дней. Средняя дата наступления пика весеннего половодья – 20-25 апреля. В основном для рассматриваемой территории характерна одна волна половодья с одновершинной формой гидрографа [20].

Весеннее половодье на реке Охта начинается в конце марта - начале апреля [21].

В отдельные годы в зависимости от характера весны сроки наступления половодья могут отклоняться от средних. Пик половодья для большей части района обычно наблюдается около 20 апреля. Средняя высота половодья над меженным уровнем составляет от 1-2 м на малых и зарегулированных озерами и карстом реках и до 5-6 м. Средняя продолжительность подъема весеннего половодья для средних рек 10-12 дней. Спад половодья происходит замедленно и заканчивается обычно в конце мая. Общая продолжительность весеннего половодья составляет 55-65 дней. Во время прохождения весеннего ледохода на многих реках образуются заторы льда [17].

Дождевые паводки. Дождевые паводки на реках бассейна в теплый период года наблюдаются ежегодно. Количество их в год колеблется от 1-2 до 3-4, а в отдельные годы до 5-6. Иногда, при наличии значительных оттепелей паводки бывают и в холодный период года. Наиболее дождливыми месяцами являются август–октябрь. По величине максимальных расходов воды и слою стока, дождевые паводки значительно меньше снеговых [20].

Ледовый режим. Ледообразование на реках обычно начинается в ноябре (в первой и второй декаде) с появлением заберегов, шуги и сала. Ледостав по длине рек большей частью распространяется от устья вверх по течению. Малые реки, как правило, замерзают на 5-10 дней раньше основной реки. Ледостав на многих реках неустойчив, в местах порогов и обильных выходов грунтовых вод. Наличие многочисленных порогов способствует образованию шуги и донного льда. Наибольшая толщина льда (50-60 см) наблюдается в марте. Вскрытие рек происходит в первой половине апреля. Продолжительность весеннего ледохода составляет 1-3 дня. В верховьях средних рек и на мелких реках ледохода не бывает, лед обычно тает на месте [17].

3.4. Исходные данные

Для проверки вероятности принятия неправильного решения при проверке значимости линейного тренда в рядах с наличием и отсутствием автокорреляции, были статистически обработаны и проанализированы натурные данные среднегодовых расходов рек территории Северо-Запада.

Была сформирована база данных среднегодовых расходов 118 рек территории Северо-Запада, наблюдения на которых охватывали временные периоды с 1926 – 2018 гг. [12], [22], [23].

Для анализа было выбрано 34 реки с наиболее продолжительными рядами наблюдений за среднегодовыми расходами, в которых наблюдался значимый линейный тренд. Диапазон площадей водосборов рек варьировался от менее 200 до более 2000 км². Далее представлена карта-схема с нанесенными на неё расчётными постами (см. рис.3.4.)

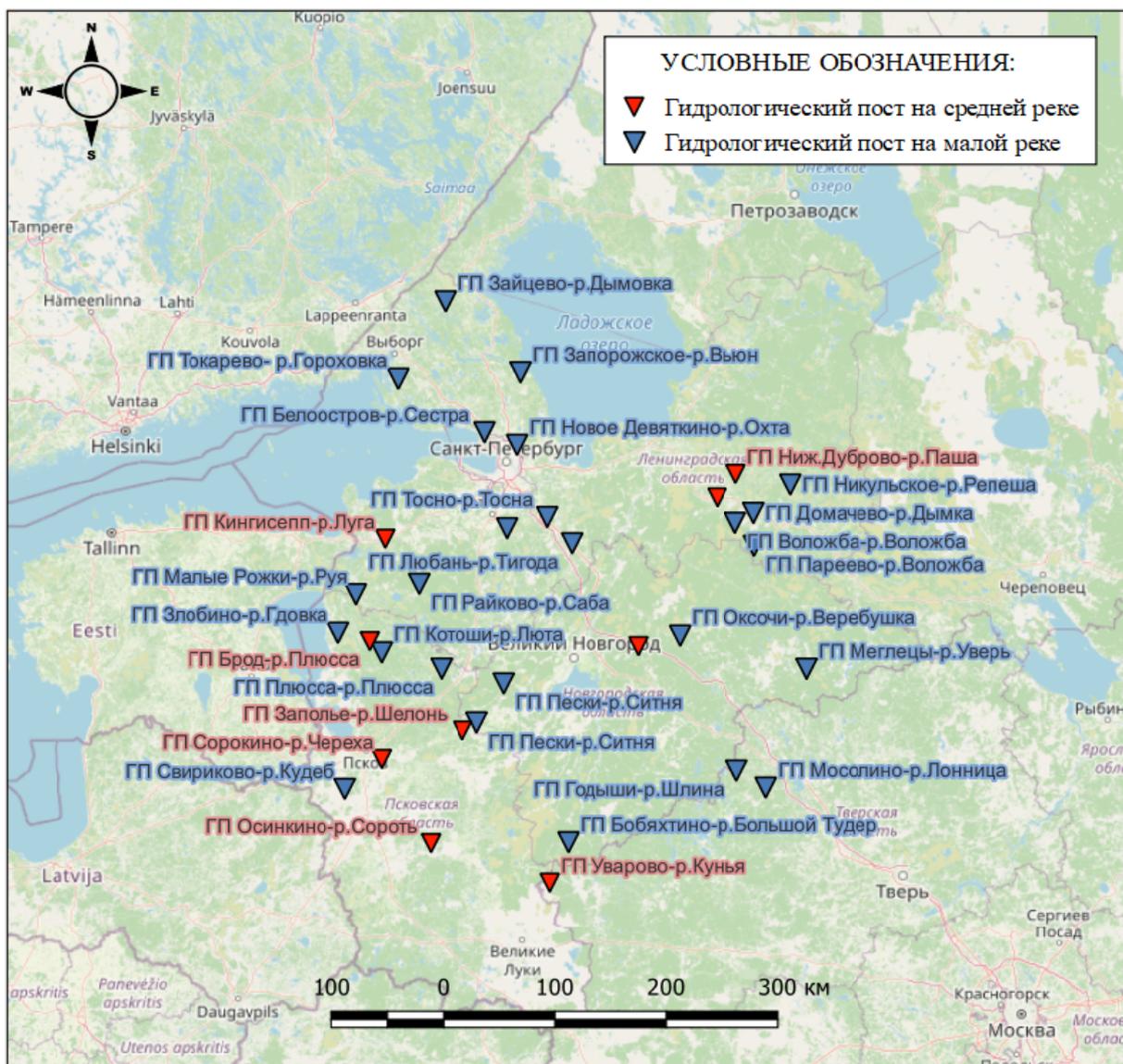


Рисунок 3.4– Карта-схема расположения расчётных постов на территории Северо-Запада

Список расчетных гидрологических постов территории Северо-Запада РФ приведен в таб. 3.8.

Таблица 3.8 – Список расчетных гидрологических постов территории Северо-Запада РФ

№	Река – пост	№	Река – пост	№	Река – пост
1	р. Гороховка – пос.Токарево	13	р.Уверь – д. Меглецы	25	р. Паша – ниже.Дуброво
2	р. Сестра – ст.Белоостров	14	р. Веребушка – с. Оксочи	26	р.Тихвинка – д. Горелуха
3	р. Тосна – ст.Тосно	15	р. Лонница – д. Мосолино	27	р. Мста – д. Девкино

№	Река – пост	№	Река – пост	№	Река – пост
4	р. Охта – д.Новое Девяткино	16	р. Большой Тудер – д.Бабяхтино	28	р. Шелонь – д. Заполье
5	р. Дымовка – д. Зайцево	17	р. Ситня – д. Пески	29	р. Луга – г. Кингисепп
6	р. Вьюн – д. Запорожское	18	р. Суйда – д. Красницы	30	р. Плюсса – д. Брод
7	р. Репеша – с. Никульское	19	р. Саба – с. Райково	31	р.Сороть–д. Осинкино
8	р. Воложба – д.Пареево	20	р. Плюсса – д. Плюсса	32	р. Череха – с. Сорокина
9	р. Воложба – д. Воложба	21	р. Люта – д. Котоши		
10	р. Дымка – д. Домачёво	22	р. Руя – д. Малые Рожки		
11	р.Тигода – ст. Любань	23	р. Гдовка – д. Злобино		
12	р. Шлина – д. Годыши	24	р. Кудеб – д.Свериково		

3.5. Оценка значимости линейных трендов в рядах среднегодовых расходов рек Северо-Запада РФ

Оценка значимости линейных трендов в рядах среднегодовых расходов рек Северо-Запада РФ выполнялся по следующему алгоритму: для каждого ряда определялся выборочный коэффициент корреляции (R) для зависимости $x = f(t)$, где t – время; вычислялась стандартная ошибка коэффициента корреляции σ_R ; определялось соотношение $\frac{|R|}{\sigma_R}$, вычислялась анализируемая статистика Стьюдента $t_{2\alpha}$, при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Затем расчёт делился на 2 случая: когда в критическом значении статистики Стьюдента $t_{2\alpha}$ учитывалась автокорреляция и не учитывалась.

На этапе проверки значимости линейных трендов с учетом автокорреляции переходный коэффициент для пересчета критических значений статистики Стьюдента $C_t = f(r)$ принимался в зависимости от районного значения коэффициента автокорреляции для рядов годового стока для территории Северо-запада согласно таблице 1.2 гл.1 [5]. Для территории Северо-Запада районное значение коэффициента автокорреляции для рядов среднегодовых расходов воды был принят 0.21.

Затем, используя критерий статистической гипотезы $\frac{|R|}{\sigma_R} < t_{2\alpha}$, проверялось попадание статистики в доверительный интервал. После велся подсчет значимых линейных

трендов в абсолютных и относительных единицах. По осредненным результатам проводился анализ. Результаты оценки значимости линейных трендов представлены далее в таблице 3.9, а также в приложении Д.

Таблиц 3.9 – Среднее число значимых трендов (по результатам обработки натуральных рядов наблюдений) при различной длине выборок (n) и коэффициенте автокорреляции $R \neq 0$

№ п/п	Река – Пост	R	R/σ_R	Значение статистики Стьюдента		Опровержение (+) или неопр. (-) гипотезы $H_0: R = 0$	
				$t_{2\alpha}$	$Ct_{2\alpha}$	$t_{2\alpha}$	$Ct_{2\alpha}$
1	р. Гороховка – пос. Токарево	0,41	3,69	2,00	2,38	+	+
2	р. Сестра – ст. Белоостров	0,35	2,62	2,01	2,39	+	+
3	р. Тосна – ст. Тосно	0,47	4,21	2,00	2,38	+	+
4	р. Охта – д. Новое Девяткино	0,39	2,97	2,01	2,39	+	+
5	р. Дымовка – д. Зайцево	0,38	3,06	2,00	2,39	+	+
6	р. Выюн – д. Запорожское	0,47	4,11	2,00	2,38	+	+
7	р. Репеша – с. Никульское	0,38	2,54	2,02	2,41	+	+
8	р. Воложба – д. Пареево	0,39	3,38	2,00	2,38	+	+
9	р. Воложба – д. Воложба	0,41	3,98	1,99	2,37	+	+
10	р. Дымка – д. Домачёво	0,28	2,40	2,00	2,41	+	-
11	р. Тигода – ст. Любань;	0,25	2,17	1,99	2,37	+	+
12	р. Шлина – д. Годыши	0,53	3,8	2,03	2,41	+	+
13	р. Уверь – д. Меглецы	0,38	3,66	1,99	2,37	+	+
14	р. Веребушка – с. Оксочи	0,31	2,17	2,02	2,40	+	-
15	р. Лонница – д. Мосолино	0,32	2,29	2,02	2,4	+	-
16	р. Большой Тудер – д. Бабяхтино	-0,34	-2,98	1,99	2,37	+	+
17	р. Ситня – д. Пески	-0,26	-2,06	2,00	2,38	+	-
18	р. Суйда – д. Красницы	0,49	2,96	2,05	2,44	+	+
19	р. Саба – с. Райково	0,35	2,77	2,00	2,39	+	+
20	р. Плюсса – д. Плюсса	-0,42	-3,84	1,99	2,37	+	+
21	р. Люта – д. Котоши	0,35	2,43	2,02	2,4	+	+
22	р. Руя – д. Малые Рожки	0,29	2,19	2,01	2,39	+	-
23	р. Гдовка – д. Злобино	-0,44	-2,55	2,05	2,44	+	+
24	р. Кудеб – д. Свериково	-0,39	-3,38	2,00	2,38	+	+
25	р. Паша – ниже. д. Дуброво	0,27	2,57	1,99	2,37	+	+
26	р. Тихвинка – д. Горелуха	0,29	2,67	1,99	2,37	+	+
27	р. Мста – д. Девкино	0,25	2,38	1,99	2,37	+	+
28	р. Шелонь – д. Заполье	0,26	2,14	2,00	2,38	+	-

№ п/п	Река – Пост	R	R/σ _R	Значение статистики Стьюдента		Опровержение (+) или неопр. (-) гипотезы H ₀ : R = 0	
				t _{2α}	C _t t _{2α}		
29	р. Луга – г. Кингисепп	0,32	2,89	1,99	2,37	+	+
30	р. Плюсса – д. Брод	0,37	2,79	2,01	2,39	+	+
31	р. Сорочь – д. Осинкино	-0,35	-2,05	2,04	2,43	+	-
32	р. Череха – с. Сорокина	0,53	3,64	2,03	2,42	+	+
Итого опровержений гипотезы о незначимости тренда (число)						32,0	25,0
Итого опровержений гипотезы о незначимости тренда (в % от числа рядов)						100	78,1
Приращение в %							21.9

В 32 рядах, где наблюдалось наличие автокорреляции, введенные поправки к критическим значениям Стьюдента при проверке значимости линейного тренда, привели к тому, что число значимых трендов уменьшилось на 21.9 %.

Проверка, выполненная на примере среднегодовых расходов рек Северо-Запада РФ, показала, что учет автокорреляции при оценке стационарности снижает число значимых трендов на 21.9 %.

4. Учет автокорреляции при проверке стационарности рядов среднегодовых расходов рек бассейна Верхней Волги

4.1. Природные условия района

Местоположение. Бассейн Верхней Волги расположен в пределах Русской равнины. Протяженность территории с севера на юг 1000 км, с востока на запад 900 км, занимаемая площадь 604 тыс. км². Район охватывает бассейн р. Волги до города Чебоксары (рисунок 4.1), большая его часть расположена в лесной зоне и только южная – в лесостепной.

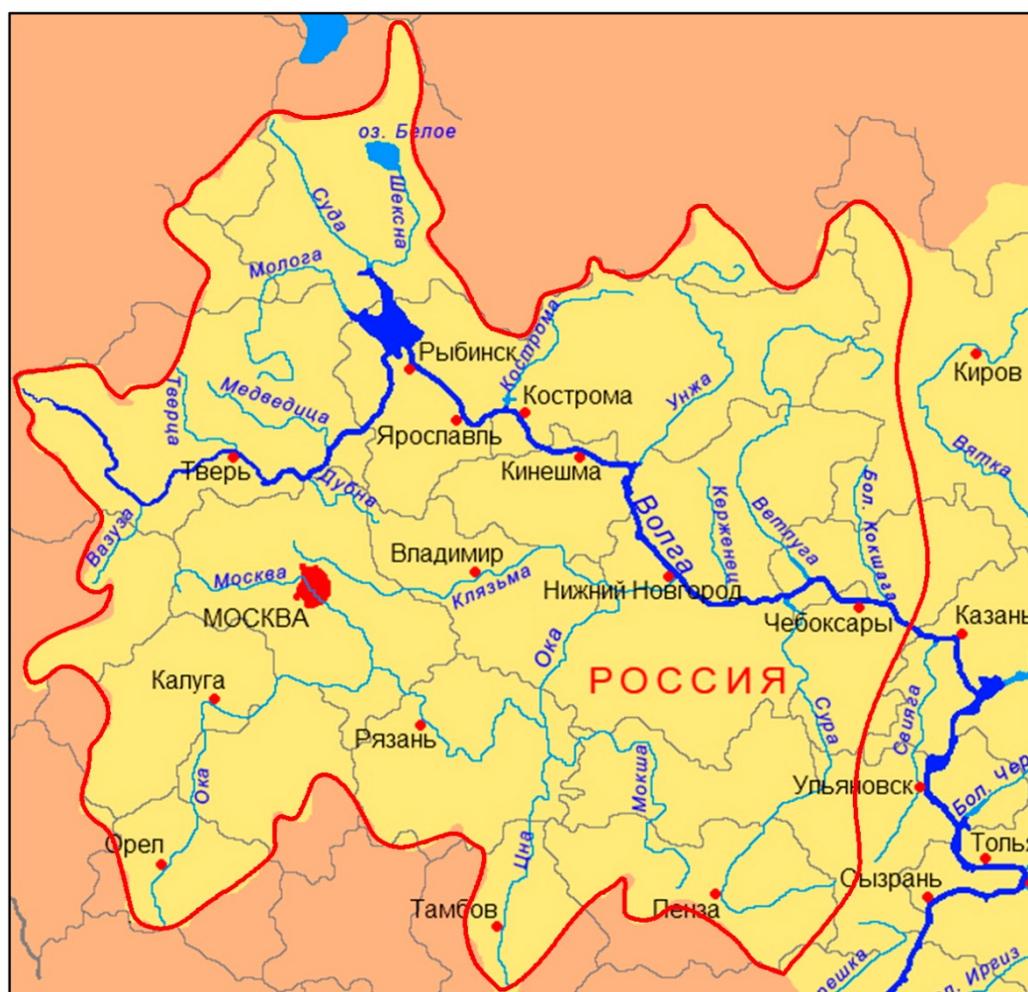


Рисунок 4.1 – Водосбор Верхней Волги.

Рельеф. Рельеф представляет выровненную, часто плоскую или пониженную, слаборасчлененную пологоволнистую равнину с общим уклоном в сторону реки Волга. На большей части территории отмечается слабая расчлененность неглубокими лощинами, по днищам которых протекают небольшие ручьи. Склоны к ним очень пологие, часто залесенные [24]. Относительная высота слабопогих склонов не превышает 5–10 метров.

Поверхность равнины не поднимается выше 140 метров над уровнем моря. На слабо повышенных элементах рельефа, являющихся как бы водораздельными пространствами, расположены населенные пункты. В межводораздельных пространствах имеются замкнутые, иногда обширные понижения и торфяные болота.

Северная часть территории входит в геоморфологический район Молого-Шексинской низины – это самая пониженная территория, в большинстве своем затопленная Рыбинским водохранилищем.

Рельеф северо-восточной левобережной части (к северу от русла реки Волга) представляет собой отроги Даниловской возвышенности (общий перепад высот возвышенности от 160 до 204 м) и характеризуется отметками от 157 до 164 м с падением рельефа в сторону русла реки Ухра (северная граница района) до 131 м и в сторону реки Волга от 148 до 134 м.

Правобережье реки Волги отмечается водно-ледниковой равниной (песчано-суглинистой) с «островками» моренной и абсолютными отметками рельефа от 122 до 136 м (на границе с Тутаевским районом – до 147–149 м). Расчлененность рельефа относительно невысокая.

Восточная часть рассматриваемого участка более спокойная, выравненная, частью пониженная. Основными элементами рельефа являются водораздельные пространства с очень пологими склонами, на поверхности которых имеются множество западинообразных понижений с почвенным покровом, носящим признаки кратковременного переувлажнения. В межводораздельных пространствах много депрессий, занятых болотами.

Западная часть вдоль реки Волги характеризуется спокойным, пологоволнистым, часто плоским рельефом и наличием торфяных болот. Абсолютные отметки высот этой территории более 140 м. Уплощенность поверхности объясняется широким распространением озерно-ледниковых и болотных отложений, выравнивающих холмистый рельеф основной морены.

Юго-западная часть, прилегающая к реке Волге более повышенная, чаще расчлененная речной сетью. Высота повышений над уровнем Волги в районе деревень Крутец и Городок 6–8 м. Склоны их пологие, иногда носят эрозионный характер.

Коэффициент расчлененности на отдельных участках, в зависимости от типа местности, меняется от 0 до 0.4–0.7 м.

Почвы и растительность. Рельеф, климатические условия и растительность способствуют распространению на территории исследования дерново-подзолистых почв.

Основные типы почв: аллювиальные, дерново-подзолистые, дерново-подзолистые иллювиально-железистые (дерново-подзолы), болотные торфяные и торфяно-глеевые

(торфяные олиготрофные), и болотные перегнойно-торфянисто-глеевые (торфяные эутрофные и перегнойно-глеевые), с суглинистыми и глинистыми почвообразующими породами.

Аллювиальные почвы формируются в поймах рек и распространены незначительно. Аллювиальные дерновые слоистые почвы занимают прирусловые части поймы и развиваются под пойменными лесами и лугами.

Дерново-подзолистые почвы – наиболее распространенные почвы. Они формируются под пологом смешанных лесов с травянистым и травянисто-моховым покровом, на суходольных лугах, где дерновый процесс может сменять подзолистый вследствие вырубки леса и появления луговой растительности, а также под пашней, сенокосом, выгоном. Почвообразующими породами являются четвертичные отложения: моренные и покровные суглинки, древнеаллювиальные, флювиогляциальные, реже моренные пески и супеси, двучленные отложения.

Для дерново-подзолистых почв характерно наличие гумусово-элювиального горизонта. Ниже по профилю расположен подзолистый горизонт. Дерново-подзолистые почвы характеризуются малой мощностью дернового горизонта. По сравнению с подзолистыми почвами верхний слой богаче гумусом, обладает большей влагоемкостью, нередко хорошо выраженной структурой. Образуют сочетания с болотно-подзолистыми и с болотными почвами.

Иллювиально-железистые подзолы формируются на «сухих» песчаных холмах, иллювиально-гумусовые – на пологоволнистых равнинах. Иллювиально-гумусовые почвы часто расположены по периферии болот.

Северные и центральные части территории характеризуются избыточным увлажнением, поэтому наряду с почвами подзолистого и дерново-подзолистого типов при определенных условиях формируются почвы разной степени заболоченности и торфяные (гидроморфные) почвы.

К гидроморфным относятся болотные и болотно-подзолистые почвы. В составе болотных почв много торфяных почв верхового типа.

Торфяные почвы развиваются при постоянном избыточном переувлажнении. В них накапливается значительное количество неразложившегося органического вещества. Профиль этих почв образуют два слоя: горизонт торфяной и глеевый. Слой торфа может иметь толщину от 50 до 100 см и более [25].

Растительность. По составу растительности рассматриваемая территория относится к подзоне южных хвойных лесов. Наиболее широко распространены смешанные леса, в которых преобладают мелколиственные породы (береза, осина, ольха), а хвойных

(ели и сосны) меньше. Встречается рябина, черемуха. Среди кустарников отмечены: ива, малина, бересклет, можжевельник. Из полукустарников встречаются брусника, клюква и черника.

Травостой в смешанных лесах представлен в основном кислицей, грушанкой, майником, земляникой, папоротником, хвощом. В редких лесах кроме разнотравья встречаются злаки: мятлик, щучка, вейник, белоус.

Болота на территории района по составу растительности имеют двух типов: низинные и верховые.

На верховых болотах произрастают из древесной растительности сосна и береза, обычно сильно угнетенные. Наиболее характерными растениями – индикаторами верховых болот являются сфагновый мох, клюква, багульник, голубика.

Для низинных болот характерно развитие автотрофной и мезотрофной растительности (осоки, тростники, гипновые мхи). Из древесной растительности произрастают ива, береза, ольха.

Луговая растительность представлена на суходолах временно-избыточного увлажнения злаками – щучка, белоус, из разнотравья – много лютика, других представителей сыролугового разнотравья.

При низинных лугах травостой осоково-разнотравный с примесью щучки. Из сыролугового разнотравья много гравилата, таволги, раковой шейки.

На пойменных по долинам рек и речек травостой состоит в основном из щучки дернистой, мятлика лугового, сыролугового разнотравья [24].

4.2. Климатическая характеристика

Климатическое описание территории составлено на основании СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [16], научно-прикладного справочника «Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги» [25] и генеральных планов муниципальных образований [26].

Климат района умеренно-континентальный, с холодной снежной зимой и умеренно-теплым летом, формируется под влиянием атлантических и континентальных воздушных масс. Континентальность климата увеличивается с северо-запада на юго-восток. Главным образом выделяются два типа атмосферной циркуляции: западный – наблюдается в конце лета-начале осени, нередко во второй половине зимы, сопровождается активной циклонической деятельностью; восточный – отмечается с октября по май, характеризуется малооб-

лочностью, отрицательными аномалиями температуры воздуха зимой. Зимой при вторжении теплых ветров с Атлантики появляются оттепели, а континентальные холодные ветра предшествуют похолоданию. Изменчивость атмосферной циркуляции создает большую неустойчивость режима увлажнения и температуры.

Для описания климатических условий района использовались данные многолетних наблюдений на Рыбинской ГМО, а также данные по метеостанциям Ярославль и Кострома за неимением данных в открытых источниках по Рыбинской ГМО.

Температура воздуха. Сведения о среднемесячных и годовой температурах воздуха приведены в таблице 4.1. по данным метеостанции Рыбинск за многолетний период с 1992 по 2021 гг.

Среднегодовая многолетняя температура воздуха составила +4.2°C. Самый холодный месяц – январь, со среднемесячной многолетней температурой минус 9.9 °С. Самый теплый месяц – июль, его среднемесячная многолетняя температура +18.5 °С.

Первые заморозки наблюдаются, в среднем, в начале ноября, последние – в третьей декаде марта. Устойчивые морозы наступают в конце ноября, а прекращаются в начале апреля.

Таблица 4.1 – Средняя месячная и годовая температуры воздуха по метеостанции Рыбинск [18]

Ме- сяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	За год
Т, °С	-9.9	-9.1	-3.7	4.2	11. 5	16. 2	18. 5	16. 2	10. 5	4. 4	-2.1	-6.8	4.2

Согласно данным по метеостанции Ярославль продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха меньше или равной 0, °С составляет около 150 суток. Абсолютная минимальная температура воздуха составляет -46 °С, максимальная – +37 °С.

Данные климатических параметров холодного и теплого периодов года по метеостанции Ярославль представлены в таблицах 4.2 – 4.3.

Таблица 4.2 – Климатические параметры холодного периода года по метеостанции Ярославль [16]

Температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0.98	-36 °С
Температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0.92	-33 °С
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.98	-32 °С
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.92	-29 °С

Температура воздуха обеспеченностью 0.94	-15 °С
Абсолютная минимальная температура воздуха	-46 °С
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца	7.2 °С
Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха ≤ 0 , °С	150 сут
Средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 0 °С	-6.8 °С
Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха ≤ 8 °С	215 сут
Средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 8 °С	-3.5 °С
Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха ≤ 10 °С	233 сут
Средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха ≤ 10 °С	-2.5 °С
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	85
Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее холодного месяца, %	82
Количество осадков за ноябрь – март, мм	184
Преобладающее направление ветра за декабрь - февраль	Ю
Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с	4.7
Средняя скорость ветра, м/с, за период средней суточной температурой воздуха, ≤ 8 °С	3.8

Таблица 4.3 – Климатические параметры теплого периода года по метеостанции Ярославль [16]

Барометрическое давление	1001 гПа
Температура воздуха обеспеченностью 0.95	22 °С
Температура воздуха обеспеченностью 0.98	26 °С
Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца	24.6 °С
Абсолютная максимальная температура воздуха	37 °С
Средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца	11.3 °С
Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее теплого месяца, %	74
Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца, %	58
Количество осадков за апрель – октябрь, мм	409
Суточный максимум осадков, мм	51
Преобладающее направление ветра за июнь – август	С
Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, м/с	0.0

Влажность воздуха. Сведения о распределении среднемесячных значениях относительной влажности воздуха приведены в таблице 4.4. по данным метеостанции Рыбинск за многолетний период с 1986 по 2021 гг. В распределении значений относительной влажности воздуха можно выделить период понижения в теплое время года.

Среднее многолетнее значение относительной влажности по метеостанции Рыбинск составляет 78%.

Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца составляет 85%, наиболее теплого – 74%.

Таблица 4.4 – Средние месячные значения относительной влажности по метеостанции Ярославль [18]

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Относительная влажность, %	85	82	76	69	67	70	74	78	82	82	86	86	78

Согласно данным таблиц 4.2 – 4.3 для метеостанции Ярославль месячная относительная влажность воздуха в 15 часов наиболее холодного месяца теплого периода составляет 82%. Средняя месячная относительная влажность воздуха в 15 часов наиболее теплого месяца холодного периода 58%.

Влажность. Рассматриваемая территория относится к зоне достаточного увлажнения со среднемноголетней суммой осадков 676 мм в год. За теплый период года выпадает в среднем 67% от среднегодового количества суммы атмосферных осадков.

Максимальное количество осадков приходится на август, сентябрь и октябрь (сезон дождей).

Сведения о распределении среднемесячных значений сумм атмосферных осадков за многолетний период с 1966 по 2021 гг. приведены для метеостанции Рыбинск в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Среднемесячное количество суммы атмосферных осадков по метеостанции Рыбинск [18]

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	За год
Слой, мм	46	39	34	36	53	72	77	84	69	62	54	50	676

Количество осадков за ноябрь-март по метеостанции Рыбинск составляет 223 мм. Количество осадков за апрель-октябрь по метеостанции составило 453 мм.

Снежный покров, глубина промерзания грунта. Первое появление снежного покрова приходится на третью декаду октября. Устойчивый снежный покров образуется в третьей декаде ноября. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом 150-160 дней. Сход снежного покрова приходится на третью декаду апреля.

С января по март образуются основные запасы снега. Максимальные высоты он достигает в конце января-первой декаде февраля. Наибольшая средняя высота снежного покрова 40-50 см.

Средняя многолетняя толщина снежного покрова составляет 19 см.

Сведения о снежном покрове по метеостанции Рыбинск приведены в таблице 4.6 за многолетний период с 1990 по 2021 гг.

Таблица 4.6 – Средняя многолетняя толщина снежного покрова по данным метеостанции Рыбинск [18]

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Слой, см	27	39	35	8	0	0	0	0	0	2	5	16	19

По данным метеостанции Кострома наибольшая глубина промерзания грунта за зиму составляет 149 см [18].

Ветер. Ветровые показатели приведены по метеостанции Ярославль, согласно таблицам 4.2 – 4.3, за неимением данных в открытых источниках по метеостанции Рыбинск. Преобладающее направление ветра за декабрь-февраль холодного периода года – южное, с максимальной из средних скоростей по румбам за январь – 4.7 м/с. Средняя скорость ветра за период средней суточной температуры менее или равной 8 °С – 3.8 м/с. Преобладающее направление ветра за июнь-август теплого периода года – северное, с максимальной из средних скоростей по румбам за июль – 0.0 м/с.

В таблицах 4.7– 4.11 представлены данные по метеостанции Кострома за многолетний период с 1966 по 2021 года.

Преобладающее направления ветра в течение года – южное (таблица 4.7), в январе-апреле – южное и юго-восточное, в июне-августе – северное и южное, в сентябре – южное и западное, в октябре-декабре – южное и юго-западное. Наибольшая из среднемесячных скорость ветра 3.8 м/с, наблюдается в декабре – феврале; средняя годовая скорость составляет 3.3 м/с (таблица 4.8). В этом районе может быть сильный и даже очень сильный ветер – наибольшее количество дней в году со скоростью ветра более 15 м/с – 46 дней, более 20 м/с – 2 дней, более 25 м/с – 2 дня (таблицы 4.9-4.11).

Таблица 4.7 – Повторяемость направлений ветра в % и число штилей в % от общего числа наблюдений, м. ст. Кострома (1966–2021 гг.) [18]

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
%	12.2	4.6	7.3	13.8	23.2	13.9	14.5	10.6	3.8

Таблица 4.8 – Среднемесячная и годовая скорость ветра, м. ст. Кострома (1966–2021 гг.) [18]

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Скорость ветра, м/с	3.7	3.7	3.6	3.4	3.2	2.8	2.6	2.6	2.8	3.6	3.6	3.8	3.3

Таблица 4.9 – Наибольшее число дней с сильным ветром (более 15 м/с), м. ст. Кострома (1966–2021 гг.) [18]

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Кол-во дней	8	7	8	5	12	7	5	4	4	8	6	9	46

Таблица 4.10 – Наибольшее число дней со скоростью ветра более 20 м/с, м. ст. Кострома (1966–2021 гг.) [18]

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Кол-во дней	1	0	2	3	1	3	2	1	2	4	2	2	2

Таблица 4.11 – Наибольшее число дней со скоростью ветра более 25 м/с, м. ст. Кострома (1966–2021 гг.)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Кол-во дней	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	2

Из неблагоприятных явлений погоды в среднем фиксируется высокая повторяемость метелей от 14 до 33 суток, туманы в теплый период с апреля по октябрь – 30 суток.

4.3. Водный режим рек бассейна Верхней Волги

Годовой сток рек бассейна Верхней Волги формируется высоким половодьем, низкой летней меженью, прерываемой дождевыми паводками и зимней меженью. В последнее время на реках бассейна Верхней Волги часто происходят зимние паводки, вызванные таянием снега.

В связи с тем, что все реки получают преимущественно снеговое питание, для них характерно крайне неравномерное распределение стока в течение года. Как было указано выше, подавляющая часть годового стока (от 50 до 70%) проходит в весенний период, при снеготаянии. Поэтому характер весеннего половодья (объем, продолжительность и доля в годовом стоке) в значительной мере предопределяет характер распределения водности в течение года [25].

Для данного района на современном этапе (1978–2010 гг.) на весенний (нелимитирующий) период приходится около 58% годового стока. На лимитирующий период в среднем для района приходится около 41% годового стока, в то время как на зимний (лимитирующий сезон) – 14% [25].

Годовой ход уровней воды по данным гидрологических постов представлены на рисунках 4.2–4.4.

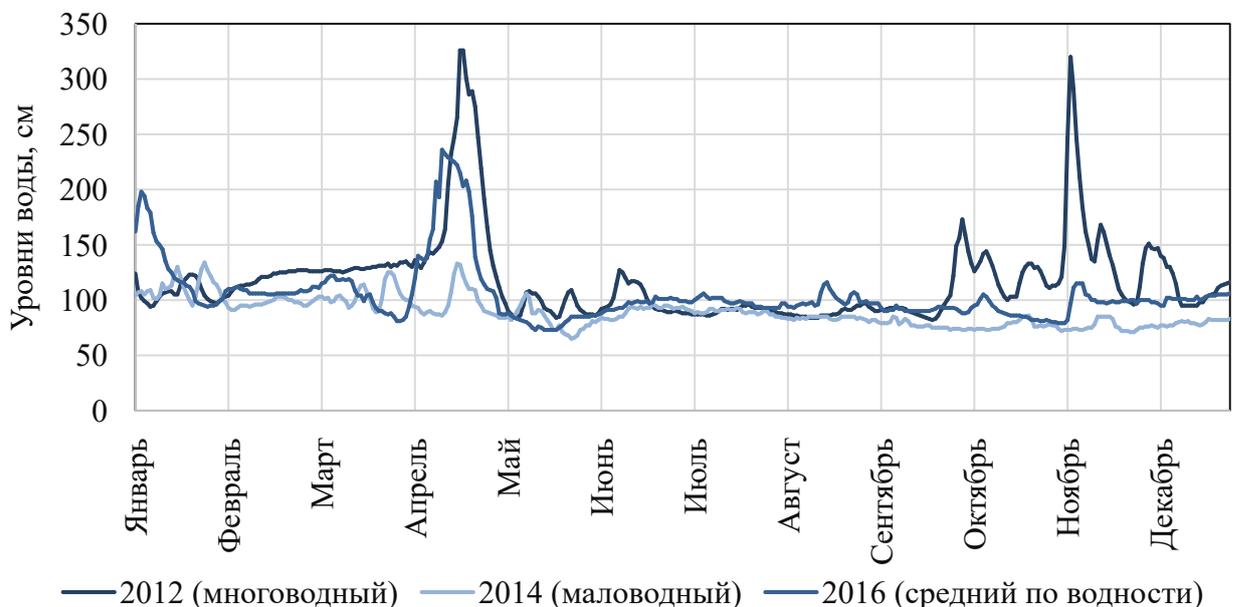


Рисунок 4.2 – Уровни воды реки Черемуха по данным гидрологического поста Дмитриевка [12].

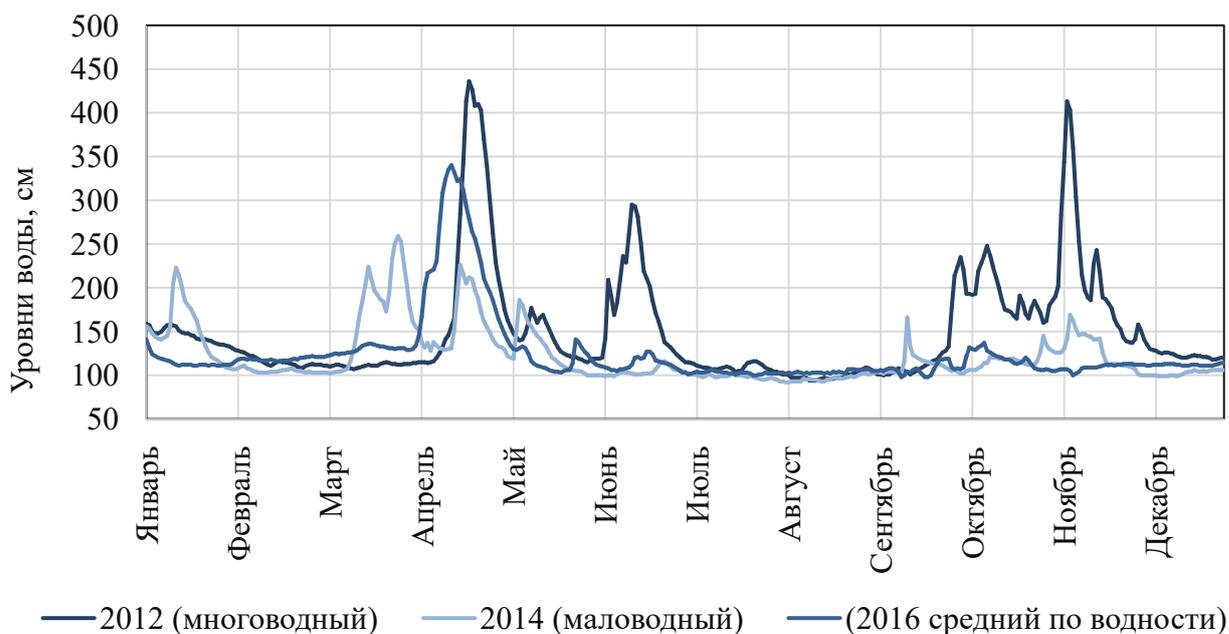


Рисунок 4.3 – Уровни воды реки Угра по данным гидрологического поста Спас [12].

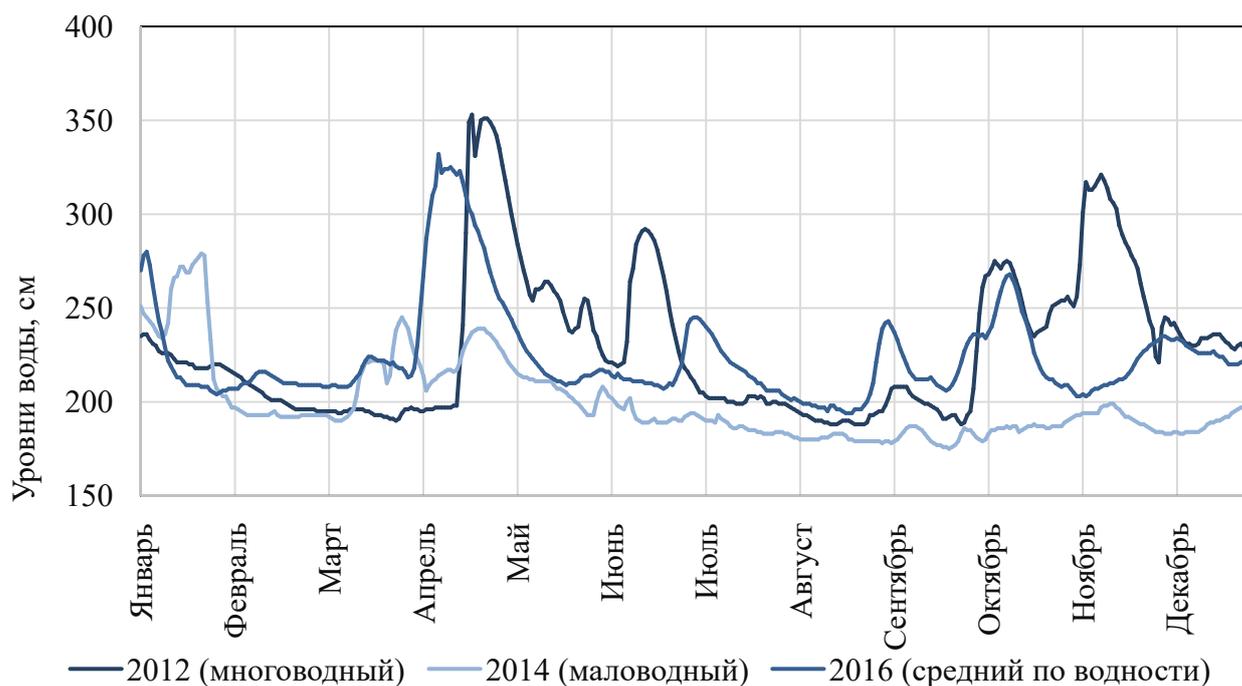


Рисунок 4.4 – Уровни воды реки Сить по данным гидрологического поста Правдино [12].

Весеннее половодье на территории Верхневолжского района является основной фазой водного режима рек, на которую приходится основное количество годового стока и,

как правило, максимальные расходы воды. Сток половодья составляет от 50 % до 70 % и более годового [11].

Средняя дата пика половодья значительно изменяется по территории в соответствии с изменением сроков снеготаяния: на реках севера и северо-востока Верхневолжского района 1-5 мая [25].

Продолжительность половодья зависит от величины бассейна, его залесенности, заболоченности, наличия озер, величины снегозапасов к началу половодья, характера весны. Средняя продолжительность половодья увеличивается с юга на север от 30 до 60 дней. Обычно половодье на реках бассейна Верхней Волги проходит в виде одной резко выраженной волны стока.

На реках бассейна Верхней Волги *дождевые паводки* не являются лимитирующими по максимальному стоку и слою стока за паводок. На этой территории дождевые паводки проходят не ежегодно, и, как правило, максимальные расходы дождевых паводков не достигают максимальных расходов весеннего половодья [25].

На водотоках рассматриваемого района количество и величина дождевых паводков изменяется как по годам, так и по территории. Наиболее высокие дождевые паводки по уровням, расходам и интенсивности подъема наблюдаются на малых реках северо-восточной, центральной и юго-западной частях исследуемого района. Гидрографы дождевых паводков, как правило, имеют островершинную форму и характеризуются резким подъемом и спадом уровней. Высшие уровни дождевых паводков в среднем значительно ниже максимумов весеннего половодья, хотя в отдельные годы могут достигать и даже превышать максимальную высоту половодья.

Формирование выдающихся дождевых паводков на больших реках происходит главным образом при прохождении высоких дождевых паводков на притоках или при обложных дождях на всем водосборе, что бывает очень редко. Сравнительно короткие интенсивные ливни, выпадающие на относительно небольших площадях, часто формируют значительные дождевые паводки на водосборах малых и средних площадей. Объем стока наибольших единичных дождевых паводков в северо-восточной части района в 2–3 раза ниже стока за половодье. В юго-восточной части района это соотношение возрастает до значений в 5–10 раз. Максимальные расходы дождевых паводков на средних и больших реках лесной зоны в 2–3 раза ниже максимумов половодья, в лесостепной – в 5–10 раз. На водосборах с площадями до 100 км² дождевые максимумы редкой повторяемости могут превышать расходы половодья в 5–7 раз [25].

Ледовый режим. Первые ледовые явления на средних реках исследуемой территории обычно появляются в конце ноября – первой декаде декабря и представлены забере-

гами. А в холодные годы могут появляться уже в конце октября. Средняя продолжительность стояния заберегов около 10-20 дней. Также в этот период на отдельных реках может наблюдаться сало, на крупных – шуга.

После заберегов зачастую, но не каждый год, устанавливается неполный ледостав, продолжительностью 5-10 дней. В теплые годы неполный ледостав может продолжаться до февраля на средних и крупных реках.

Полный ледостав в среднем устанавливается во второй половине декабря и продолжается до конца марта. Разрушение ледостава начинается, как правило, с образования закраин, переходящее в неполный ледостав. В отдельные годы можно наблюдать выход воды на поверхность льда. Весенний ледоход при этом является достаточно редким и скоротечным явлением на средних реках исследуемых территорий. Торосы в обычных условиях не наблюдаются.

По данным гидрологического поста Дмитриевка на реке Черемуха средняя толщина льда в зимний период составляет 33 см. Максимальная толщина может достигать до 67 см [12].

4.4. Исходные данные

Для проверки вероятности принятия неправильного решения при проверке значимости линейного тренда в рядах с наличием и отсутствием автокорреляции, были статистически обработаны и проанализированы натурные данные среднегодовых расходов рек территории бассейна Верхней Волги.

Была сформирована база данных среднегодовых расходов 64 рек территории бассейна Верхней Волги, наблюдения на которых охватывали временные периоды с 1914 по 2020 гг. [12].

Для анализа было выбрано 16 реки с наиболее продолжительными рядами наблюдений среднегодовых расходов, в которых наблюдался значимый линейный тренд. Диапазон площадей водосборов рек варьировался от менее 200 до более 2000 км². Карта-схема с нанесенными на неё расчётными постами представлена на рис.4.5.

Список расчётных гидрологических постов территории бассейна Верхней Волги приведен в таб. 4.7.

Таблица 4.7 – Список расчётных гидрологических постов территории бассейна Верхней Волги

№	Река – пост	№	Река – пост
---	-------------	---	-------------

№	Река – пост	№	Река – пост
1	р. Волга – ст. Старица	9	р. Ока – г. Горбатов
2	р. Молога – ст. Устюжна	10	р. Воря – д. Мишнево
3	р. Унжа – г. Макарьев	11	р. Лоймина – д. Георгиевское
4	р. Ай – с. Метели	12	р. Белый Лух – с. Тимошино
5	р. Мокша – с. Шевелёвский Майдан	13	р. Обнора – с. Шарна
6	р. Чагодоща – ст. Анисимово	14	р. Лидь – рзд. Тургош
7	р. Чагодоща – ст. Мегрино	15	р. Песть – д. Мякишево
8	р. Ока – с. Половское	16	р. Тумба – с. Тумбаже

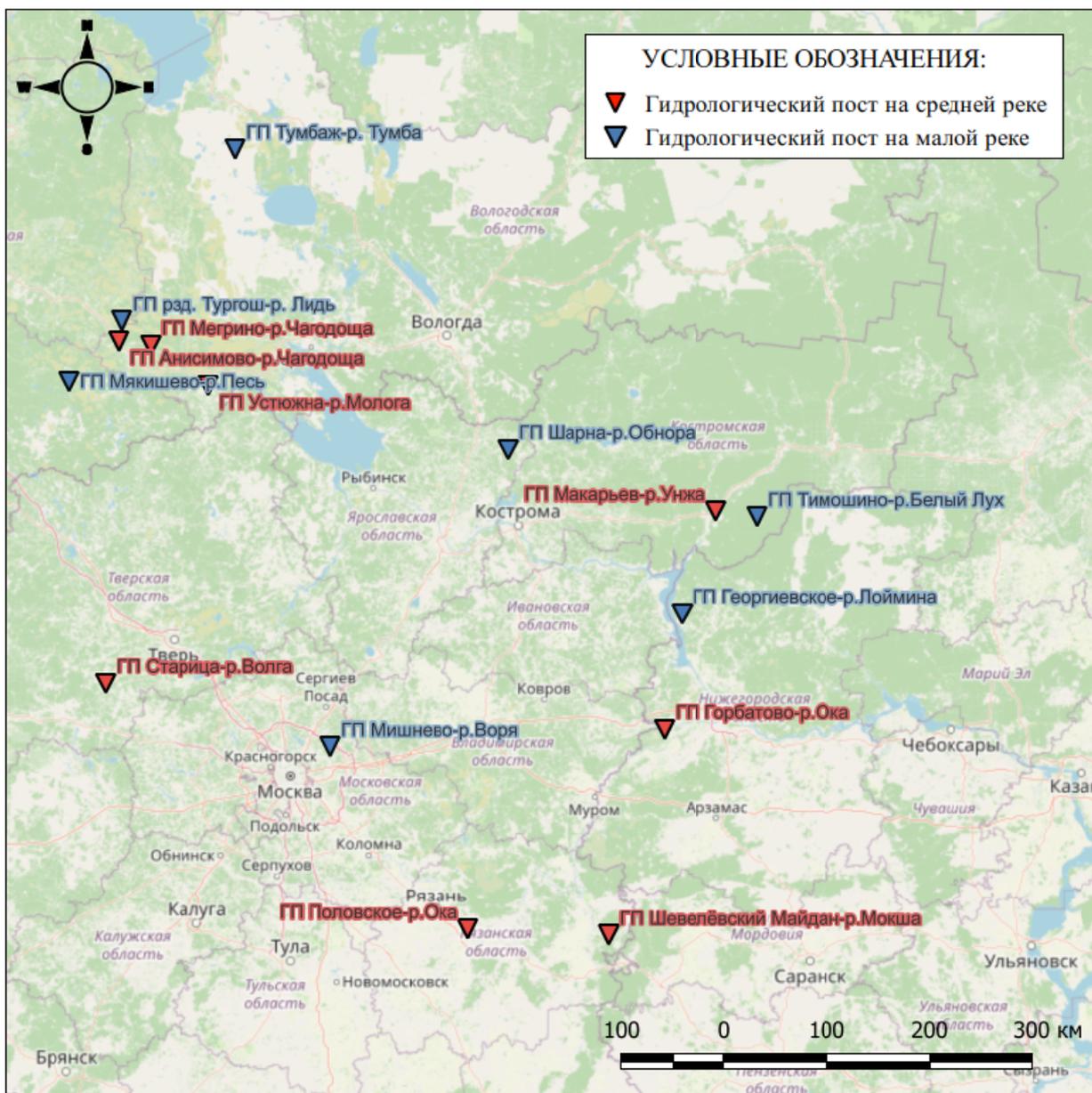


Рисунок 4.5– Карта-схема расположения расчётных постов на территории бассейна Верхней Волги

4.5. Оценка значимости линейных трендов в рядах среднегодовых расходов рек бассейна Верхней Волги

Оценка значимости линейных трендов в рядах среднегодовых расходов рек бассейна Верхней Волги выполнялась по следующему алгоритму: для каждого ряда определялся выборочный коэффициент корреляции (R) для зависимости $x = f(t)$, где t – время; вычислялась стандартная ошибка коэффициента корреляции σ_R ; определялось соотношение $\frac{|R|}{\sigma_R}$, вычислялась анализируемая статистика Стьюдента $t_{2\alpha}$, при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Затем расчёт делился на 2 случая: когда в критическом значении статистики Стьюдента $t_{2\alpha}$ учитывалась автокорреляция и не учитывалась.

На этапе проверки значимости линейных трендов с учетом автокорреляции переходный коэффициент для пересчета критических значений статистики Стьюдента $C_t = f(r)$ принимался в зависимости от районного значения коэффициента автокорреляции для рядов годового стока для территории Северо-запада согласно таблице 1.2 гл.1 [5]. Для территории бассейна Верхней Волги районное значение коэффициента автокорреляции для рядов среднегодовых расходов воды был принят 0.23.

Затем, используя критерий статистической гипотезы $\frac{|R|}{\sigma_R} < t_{2\alpha}$, проверялось попадание статистики в доверительный интервал. После велся подсчет значимых линейных трендов в абсолютных и относительных единицах. По осредненным результатам проводился анализ. Результаты оценки значимости линейных трендов представлены далее в таблице 4.8, а также в приложении Ж.

Таблиц 4.8 – Среднее число значимых трендов (по результатам обработки натуральных рядов наблюдений) при различной длине выборок (n) и коэффициенте автокорреляции $R \neq 0$

№ п/ п	Река – Пост	R	R/σ_R	Значение статисти- ки Стьюдента		Опровержение (+) или неопровержение (-) гипотезы $H_0: R = 0$	
				$t_{2\alpha}$	$C_t t_{2\alpha}$	$t_{2\alpha}$	$C_t t_{2\alpha}$
1	Р. Волга – ст. Старица	0.21	2.17	1.98	2.42	+	-
2	Р. Молога – ст. Устюжна	0.33	2.96	1.99	2.43	+	+
3	Р. Унжа – г. Макарьев	0.31	3.39	1.98	2.42	+	+
4	Р. Ай – с. Метели	0.4	3.79	1.99	2.43	+	+
5	Р. Мокша – с. Шевелёв- ский Майдан	0.26	2.21	2.00	2.44	+	-
6	Р. Чагодоца – ст. Аниси-	0.53	5.46	1.99	2.43	+	+

№ п/ п	Река – Пост	R	R/σ _R	Значение статисти- ки Стьюдента		Опровержение (+) или неопровержение (-) гипотезы H ₀ : R = 0	
				t _{2α}	C _t t _{2α}	t _{2α}	C _t t _{2α}
	мово						
7	Р. Чагодоша – ст. Мегрино	0.32	2.64	2.00	2.44	+	+
8	Р. Ока – с. Половское	0.47	4.42	1.99	2.43	+	+
9	Р. Ока – г. Горбатов	0.35	3.26	1.99	2.43	+	+
10	Р. Воря – д. Мишнево	0.6	5.08	2.01	2.46	+	+
11	Р. Лоймина – д. Георгиев- ское	0.4	3.32	2.00	2.44	+	+
12	Р. Белый Лух – с. Тимо- шино	0.47	4.14	2.00	2.44	+	+
13	Р. Обнора – с. Шарна	0.24	2.29	1.99	2.43	+	-
14	Р. Лидь – рзд. Тургош	0.31	2.51	2.00	2.44	+	+
15	Р. Песть – д. Мякишево	0.37	3.56	1.99	2.43	+	+
16	Р. Тумба – с. Тумбаже	0.27	1.92	2.01	2.45	+	+
Итого число значимых трендов (значение)						16	13
Число значимых трендов (в % от числа рядов)						100	81.3
Приращение в %							18.8

В 16 рядах, где наблюдалось наличие автокорреляции, введенные поправки к критическим значениям Стьюдента при проверке значимости линейного тренда, привели к тому, что число значимых трендов уменьшилось на 18.8 %.

Проверка, выполненная на примере среднегодовых расходов рек бассейна Верхней Волги, показала, что учет автокорреляции при оценке стационарности снижает число значимых трендов на 18.8 %.

Заключение

Оценка значимости линейных трендов в гидрологических рядах без учета автокорреляции повышает риск совершения ошибки первого рода. Как показали результаты моделирования в этом случае вероятность отклонения правильной нулевой гипотезы об отсутствии тренда существенно повышается.

В рамках модели случайной величины (при $r = 0$) число значимых трендов примерно равнялось 5%, то есть, совпадает с принятым уровнем значимости. При $r = 0.25$ число значимых трендов возрастало до 11-12%, а при $r = 0.5$ число значимых трендов уже составляло одну четверть от всех выборок. Причина такого большого количества значимых трендов состоит в том, что при оценке значимости трендов автокорреляция не учитывалась. В случае учета автокорреляции число значимых трендов уже несущественно отличалось от принятого уровня значимости ($2\alpha = 5\%$) и составило при $r = 0.25$ от 6.2% до 6.3%, а при $r = 0.5$ от 5.6% до 5.8%.

Таким образом, учет автокорреляции при оценке значимости трендов позволяет сократить число ошибок первого рода до теоретического значения. То есть вероятность опровергнуть верную нулевую гипотезу (об отсутствии тренда) будет примерно равна уровню значимости – в данном случае 5%.

Этот вывод подтвержден на примере рядов среднегодовых расходов воды по двум регионам – Северо-Западу РФ и Верхневолжскому бассейну, где учет автокорреляции привел к снижению значимых трендов на 18-22%.

Таким образом, при проверке значимости линейных трендов критическое значение статистики Стьюдента рекомендуется умножать на поправочный коэффициент, зависящий от коэффициента автокорреляции.

В качестве расчетного значения коэффициента автокорреляции следует принимать его среднее районное значение. Исключение составляют реки, режим которых отличается от зонального. Например, крупные реки, пересекающие несколько природных зон или реки, зарегулированные озерами. Для таких рек можно использовать выборочные значения коэффициентов автокорреляции.

Учитывая всё вышеперечисленное, можно сделать обобщенный вывод: недоучёт автокорреляции приводит к завышению числа значимых трендов. Если для описания гидрологических рядов используется модель авторегрессии первого порядка, то при проверке значимости линейных трендов необходимо использовать критерий Стьюдента, обобщенный на случай автокоррелированных рядов.

Список использованных источников

1. СП 529.1325800.2023 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик»– М.: Минстрой РФ, 2023.
2. Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007. – 134 с.
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 444 с.
4. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. – СПб: Нестор-История, 2010. – 162 с.
5. Пособие к СНиП 2.01.14-83. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984.
6. Б.Ю. Лемешко, И.В. Веретельникова. Критерии проверки гипотез о случайности и отсутствии тренда. Руководство по применению. Курс “Компьютерные технологии анализа данных и исследования статистических закономерностей”. [Текст] – Новосибирск.: изд. НГТУ, 2015
7. Сванидзе, Гиви Гедеонович. Математическое моделирование гидрологических рядов [Текст]: Для водноэнерг. и водохоз. расчетов. Ленинград: Гидрометеиздат, 1977
8. КиберПедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberpedia.su/> (12.01.2024)
9. Соболев, И.М. Метод Монте-Карло [Текст]. Москва, 1968
10. Жданов, Э.Р., Маликов, Р.Ф., Хисматуллин, Р.К. Компьютерное моделирование физических явлений и процессов методом Монте-Карло. [Текст]. Учебно-методическое пособие. Уфа, 2005
11. KazEdu [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kazedu.kz/> (10.01.2024)
12. АИС ГМВО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru/> (10.01.2024)
13. Студопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studopedia.ru/> (10.01.2024)
14. Vuzlit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vuzlit.ru/> (12.01.2024)

15. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс] / ФГБУ Северо-Западное УГМС». – URL: <http://www.meteo.nw.ru/>.
16. СП 131.13330.2020. СНИП 23-01-99. Строительная климатология / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – М: 2020.
17. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Луга и рек бассейна Финского залива от северной границы бассейна реки Луга до южной границы бассейна реки Нева / Утверждено приказом НЛБВУ от 2015 года.
18. Автоматизированная система учета наблюдательных подразделений Росгидромера [Электронный ресурс] / ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – URL: http://cliware.meteo.ru/goskom_cat/list/index.jsp.
19. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 2. Карелия и Северо-Запад. Часть 1. Ленинград: Гидрометеиздат, 1972
20. Схема комплексного использования и охраны водных объектов рек и озер бассейна Финского залива (от границы Российской Федерации с Финляндией до северной границы бассейна реки Нева / Утверждено приказом НЛБВУ от 2015 года.
21. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Нева / Утверждено приказом НЛБВУ от 2015 года.
22. ГВК. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши Том 0 Выпуск 3 Бассейны рек Балтийского моря. Ленинград: Гидрометеиздат.
23. ГВК. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши Том 1 Выпуск 5 Бассейны рек Балтийского моря. Ленинград: Гидрометеиздат.
24. Информация о результатах государственного мониторинга земель (аналитическая записка. «Выполнение работ по мониторингу состояния и использования земель территории Ярославской области, расположенной в пределах 5-ти километровой зоны от береговой линии Рыбинского водохранилища». Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, 2018 г.
25. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги / Коллектив авторов; под редакцией Георгиевского В. Ю. – ФГБУ "ГГИ". - Ливны: 2015.
26. Схема территориального планирования Рыбинского муниципального района Ярославской области. Материалы по обоснованию схемы территориального планирования Рыбинского муниципального района Ярославской области/ ООО «ГрадЗем-

- Проект». – Тверь: 2022.
27. Богословский Б.Б. Общая гидрология: учебник для студ. ВУЗов/ Богословский Б.Б. [и др.] – Л.: Гидрометеиздат, 1984.–356 с.
 28. Владимиров А.М. Гидрологические расчёты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 365 с.
 29. Евстигнеев В. М. Речной сток и гидрологические расчеты.– М.: Изд-во МГУ,1990. – 304 с.
 30. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 248 с.
 31. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.
 32. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007.–279 с.

Приложение А – Оценка значимости линейных трендов в смоделированных рядах с двухпараметрическим гамма-распределением при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ без учета автокорреляции

Таблица А1 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000; длина выборок 30, $r(1) = 0$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Сери			R		t*	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	61	6,28	25	2,4	9	0,50	-0,55	3,04	-3,47
101	2	16	1,65	5	3,2	7	0,49	-0,42	2,95	-2,46
102	3	54	5,56	27	2,0	10	0,56	-0,53	3,58	-3,30
103	4	92	9,47	32	2,9	10	0,58	-0,56	3,76	-3,60
104	5	30	3,09	16	1,9	6	0,49	-0,47	2,99	-2,82
105	6	35	3,60	15	2,3	8	0,52	-0,57	3,25	-3,64
106	7	29	2,99	20	1,5	6	0,52	-0,45	3,20	-2,67
107	8	44	4,53	19	2,3	6	0,47	-0,51	2,80	-3,13
108	9	23	2,37	12	1,9	4	0,45	-0,45	2,66	-2,68
109	10	42	4,33	18	2,3	9	0,51	-0,46	3,10	-2,77
110	11	43	4,43	18	2,4	6	0,50	-0,49	3,08	-2,98
111	12	50	5,15	22	2,3	6	0,50	-0,51	3,04	-3,14
112	13	39	4,02	17	2,3	7	0,49	-0,64	2,97	-4,37
113	14	50	5,15	24	2,1	7	0,48	-0,51	2,93	-3,16
114	15	42	4,33	13	3,2	14	0,48	-0,59	2,88	-3,83
115	16	80	8,24	31	2,6	13	0,57	-0,61	3,70	-4,09
116	17	49	5,05	22	2,2	10	0,56	-0,54	3,57	-3,39
117	18	69	7,11	30	2,3	10	0,54	-0,49	3,39	-2,96
118	19	39	4,02	17	2,3	9	0,49	-0,53	2,96	-3,34
119	20	42	4,33	16	2,6	6	0,47	-0,57	2,82	-3,72
120	21	57	5,87	25	2,3	7	0,51	-0,56	3,14	-3,55
121	22	49	5,05	23	2,1	9	0,56	-0,51	3,54	-3,17
122	23	32	3,30	18	1,8	6	0,50	-0,50	3,02	-3,02
123	24	45	4,63	22	2,0	6	0,51	-0,43	3,11	-2,51
124	25	72	7,42	26	2,8	14	0,53	-0,56	3,29	-3,59
125	26	29	2,99	14	2,1	4	0,44	-0,44	2,62	-2,60
126	27	48	4,94	21	2,3	10	0,57	-0,46	3,69	-2,77
127	28	66	6,80	28	2,4	11	0,58	-0,59	3,79	-3,83
128	29	74	7,62	23	3,2	15	0,57	-0,62	3,68	-4,14
129	30	53	5,46	22	2,4	7	0,56	-0,50	3,55	-3,02
130	31	48	4,94	15	3,2	11	0,61	-0,56	4,03	-3,61
131	32	39	4,02	18	2,2	5	0,47	-0,48	2,79	-2,92
132	33	49	5,05	22	2,2	10	0,56	-0,47	3,61	-2,83
133	34	35	3,60	18	1,9	8	0,50	-0,53	3,02	-3,28

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		t*	
		абс.	в %	всего	средняя длина	макси- мальная длина	max	min	max	min
134	35	36	3,71	13	2,8	9	0,60	-0,46	3,93	-2,73
135	36	89	9,17	31	2,9	11	0,57	-0,54	3,68	-3,43
136	37	55	5,66	21	2,6	9	0,55	-0,53	3,46	-3,29
137	38	60	6,18	24	2,5	14	0,56	-0,51	3,61	-3,11
138	39	54	5,56	29	1,9	5	0,49	-0,54	3,00	-3,39
139	40	72	7,42	25	2,9	10	0,58	-0,55	3,72	-3,53
140	41	24	2,47	14	1,7	3	0,51	-0,47	3,14	-2,82
141	42	77	7,93	22	3,5	13	0,60	-0,65	3,98	-4,49
142	43	71	7,31	24	3,0	12	0,54	-0,63	3,42	-4,33
143	44	67	6,90	27	2,5	8	0,60	-0,47	3,97	-2,79
144	45	52	5,36	20	2,6	8	0,50	-0,56	3,02	-3,61
145	46	65	6,69	21	3,1	12	0,52	-0,56	3,18	-3,59
146	47	81	8,34	27	3,0	11	0,65	-0,57	4,56	-3,69
147	48	38	3,91	17	2,2	5	0,44	-0,53	2,58	-3,31
148	49	69	7,11	24	2,9	5	0,50	-0,51	3,06	-3,10
149	50	45	4,63	19	2,4	7	0,55	-0,47	3,44	-2,85
среднее		52	5,31	21	2,4	9	0,53	-0,52	3,31	-3,29

Таблица А2 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000;
длина выборок 50, $r(1) = 0$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		t*	
		абс.	в %	всего	средняя длина	макси- мальная длина	max	min	max	min
100	1	42	4,42	14	3,0	11	0,51	-0,36	4,11	-2,66
101	2	17	1,79	6	2,8	6	0,33	-0,36	2,45	-2,68
102	3	92	9,67	28	3,3	13	0,44	-0,39	3,39	-2,91
103	4	103	10,8	22	4,7	18	0,40	-0,52	3,07	-4,24
104	5	10	1,05	4	2,5	6	0,37	-0,30	2,76	-2,18
105	6	42	4,42	15	2,8	8	0,38	-0,41	2,81	-3,15
106	7	21	2,21	9	2,3	6	0,41	-0,36	3,11	-2,71
107	8	32	3,36	13	2,5	7	0,36	-0,35	2,66	-2,63
108	9	31	3,26	9	3,4	13	0,41	-0,41	3,14	-3,07
109	10	97	10,2	26	3,7	13	0,42	-0,41	3,19	-3,13
110	11	53	5,57	22	2,4	12	0,39	-0,43	2,92	-3,29
111	12	93	9,78	25	3,7	22	0,46	-0,46	3,60	-3,55
112	13	34	3,58	15	2,3	6	0,38	-0,38	2,85	-2,83
113	14	17	1,79	9	1,9	6	0,35	-0,38	2,55	-2,85
114	15	19	2,00	7	2,7	10	0,33	-0,43	2,40	-3,31
115	16	83	8,73	29	2,9	12	0,39	-0,38	2,90	-2,88
116	17	20	2,10	12	1,7	4	0,31	-0,36	2,26	-2,65

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		t*	
		абс.	в %	всего	средняя длина	макси- мальная длина	max	min	max	min
117	18	64	6,73	18	3,6	13	0,45	-0,44	3,49	-3,36
118	19	80	8,41	22	3,6	19	0,40	-0,42	3,06	-3,19
119	20	57	5,99	21	2,7	16	0,33	-0,49	2,46	-3,85
120	21	40	4,21	16	2,5	12	0,32	-0,39	2,36	-2,94
121	22	56	5,89	16	3,5	14	0,44	-0,42	3,39	-3,19
122	23	41	4,31	18	2,3	8	0,39	-0,40	2,91	-3,01
123	24	54	5,68	21	2,6	11	0,41	-0,41	3,14	-3,11
124	25	82	8,62	24	3,4	18	0,52	-0,48	4,24	-3,80
125	26	32	3,36	10	3,2	10	0,31	-0,37	2,26	-2,75
126	27	57	5,99	12	4,8	13	0,39	-0,43	2,96	-3,31
127	28	25	2,63	11	2,3	8	0,48	-0,34	3,80	-2,48
128	29	83	8,73	26	3,2	24	0,34	-0,46	2,49	-3,61
129	30	57	5,99	18	3,2	16	0,45	-0,40	3,53	-3,03
130	31	15	1,58	5	3,0	10	0,37	-0,31	2,72	-2,28
131	32	49	5,15	14	3,5	11	0,38	-0,43	2,85	-3,31
132	33	40	4,21	17	2,4	7	0,40	-0,36	2,99	-2,67
133	34	26	2,73	14	1,9	5	0,32	-0,39	2,37	-2,98
134	35	43	4,52	12	3,6	14	0,49	-0,37	3,92	-2,80
135	36	72	7,57	21	3,4	12	0,44	-0,44	3,39	3,40
136	37	37	3,89	18	2,1	7	0,37	-0,45	2,74	-3,53
137	38	53	5,57	22	2,4	13	0,42	-0,34	3,18	-2,50
138	39	71	7,47	12	5,9	18	0,40	-0,48	2,99	-3,78
139	40	85	8,94	25	3,4	22	0,42	-0,43	3,23	-3,33
140	41	35	3,68	15	2,3	9	0,40	-0,39	3,01	-2,98
141	42	19	2,00	6	3,2	7	0,40	-0,33	3,01	-2,46
142	43	53	5,57	15	3,5	10	0,37	-0,40	2,78	-3,00
143	44	54	5,68	21	2,6	7	0,38	-0,35	2,89	-2,57
144	45	17	1,79	8	2,1	7	0,39	-0,33	2,95	-2,46
145	46	58	6,10	12	4,8	10	0,41	-0,44	3,15	-3,36
146	47	93	9,78	24	3,9	13	0,45	-0,47	3,44	-3,66
147	48	58	6,10	23	2,5	16	0,37	-0,37	2,76	-2,74
148	49	89	9,36	22	4,0	16	0,35	-0,42	2,61	-3,25
149	50	18	1,89	4	4,5	11	0,38	-0,48	2,87	-3,79
среднее		50	5,30	16	3,1	12	0,40	-0,40	3,00	-3,06

Таблица А3 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000;
длина выборок 100, $r(1) = 0$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	19,0	2,11	10	1,9	8	0,21	-0,27	2,16	-2,72
101	2	7,0	0,78	5	1,4	2	0,20	-0,23	2,05	-2,39
102	3	120	13,3	21	5,7	25	0,39	-0,28	4,15	-2,87
103	4	150	16,6	13	11,5	35	0,35	-0,38	3,67	-4,06
104	5	2,00	0,22	2	1,0	1	0,20	-0,21	2,06	-2,13
105	6	72,0	7,99	16	4,5	26	0,28	-0,36	2,92	-3,79
106	7	19,0	2,11	4	4,8	9	0,25	-0,28	2,60	-2,84
107	8	28,0	3,11	11	2,5	8	0,24	-0,25	2,45	-2,60
108	9	101	11,2	4	25,3	42	0,34	-0,33	3,58	-3,50
109	10	88,0	9,77	10	8,8	24	0,29	-0,34	3,02	-3,64
110	11	34,0	3,77	12	2,8	11	0,25	-0,26	2,56	-2,64
111	12	59,0	6,55	16	3,7	20	0,23	-0,32	2,36	-3,32
112	13	47,0	5,22	13	3,6	17	0,26	-0,33	2,71	-3,44
113	14	17,0	1,89	5	3,4	12	0,28	-0,20	2,88	-2,03
114	15	22,0	2,44	9	2,4	7	0,25	-0,20	2,52	-2,03
115	16	25,0	2,77	8	3,1	7	0,28	-0,27	2,92	-2,74
116	17	20,0	2,22	6	3,3	8	0,23	-0,27	2,33	-2,77
117	18	34,0	3,77	7	4,9	13	0,24	-0,28	2,40	-2,92
118	19	126	14,0	15	8,4	35	0,31	-0,33	3,20	-3,45
119	20	91,0	10,1	16	5,7	34	0,33	-0,29	3,51	-3,05
120	21	6,00	0,67	4	1,5	3	0,24	-0,21	2,40	-2,17
121	22	20,0	2,22	11	1,8	3	0,23	-0,23	2,35	-2,36
122	23	83,0	9,21	14	5,9	23	0,28	-0,36	2,87	-3,87
123	24	54,0	5,99	17	3,2	17	0,26	-0,28	2,72	-2,89
124	25	35,0	3,88	15	2,3	6	0,25	-0,25	2,51	-2,60
125	26	22,0	2,44	8	2,8	11	0,26	-0,20	2,69	-1,97
126	27	28,0	3,11	9	3,1	14	0,24	-0,26	2,46	-2,67
127	28	2,00	0,22	2	1,0	1	0,20	-0,20	2,00	-2,00
128	29	33,0	3,66	8	4,1	22	0,29	-0,22	3,01	-2,18
129	30	43,0	4,77	7	6,1	28	0,23	-0,35	2,35	-3,69
130	31	54,0	5,99	5	10,8	30	0,28	-0,31	2,84	-3,18
131	32	39,0	4,33	6	6,5	28	0,22	-0,32	2,22	-3,31
132	33	8,00	0,89	4	2,0	3	0,20	-0,23	1,97	-2,39
133	34	57,0	6,33	12	4,8	12	0,29	-0,29	2,96	-3,02
134	35	26,0	2,89	9	2,9	8	0,26	-0,21	2,61	-2,13
135	36	23,0	2,55	7	3,3	13	0,21	-0,30	2,18	-3,12
136	37	30,0	3,33	10	3,0	12	0,21	-0,27	2,12	-2,82
137	38	30,0	3,33	12	2,5	12	0,25	-0,27	2,51	-2,82
138	39	68,0	7,55	9	7,6	43	0,27	-0,36	2,77	-3,77
139	40	74,0	8,21	13	5,7	23	0,30	-0,20	3,13	-2,00
140	41	109	12,1	15	7,3	32	0,38	-0,29	4,13	-3,00

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
141	42	25,0	2,77	7	3,6	8	0,24	-0,26	2,43	-2,66
142	43	21,0	2,33	6	3,5	6	0,23	-0,22	2,34	-2,27
143	44	16,0	1,78	5	3,2	9	0,23	-0,24	2,37	-2,50
144	45	33,0	3,66	7	4,7	12	0,24	-0,25	2,46	-2,56
145	46	25,0	2,77	10	2,5	7	0,25	-0,27	2,58	-2,72
146	47	123	13,7	11	11,2	28	0,32	-0,38	3,39	-4,11
147	48	95,0	10,5	10	9,5	28	0,31	-0,34	3,25	-3,59
148	49	27,0	3,00	16	1,7	5	0,25	-0,23	2,52	-2,31
149	50	39,0	4,33	10	3,9	15	0,28	-0,22	2,89	-2,26
среднее		47	5,17	10	4,8	16	0,26	-0,27	2,70	-2,84

Таблица А4 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 без учета автокорреляции; длина выборок 30, $r(1) = 0,25$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	136	14,0	39	3,5	13	0,60	-0,62	3,96	136
101	2	54	5,56	27	2,0	10	0,57	-0,53	3,69	54
102	3	152	15,7	35	4,3	12	0,64	-0,63	4,41	152
103	4	180	18,5	42	4,3	13	0,70	-0,65	5,15	180
104	5	84	8,65	32	2,6	6	0,57	-0,56	3,71	84
105	6	135	13,9	44	3,1	12	0,60	-0,68	3,97	135
106	7	92	9,47	26	3,5	11	0,60	-0,53	3,98	92
107	8	102	10,5	26	3,9	12	0,54	-0,60	3,42	102
108	9	67	6,90	26	2,6	7	0,56	-0,54	3,55	67
109	10	111	11,4	33	3,4	12	0,61	-0,55	4,05	111
110	11	123	12,7	35	3,5	11	0,61	-0,57	4,04	123
111	12	135	13,9	39	3,5	19	0,59	-0,64	3,91	135
112	13	101	10,4	29	3,5	13	0,59	-0,74	3,91	101
113	14	151	15,6	45	3,4	12	0,59	-0,61	3,87	151
114	15	91	9,37	26	3,5	17	0,55	-0,68	3,44	91
115	16	182	18,7	36	5,1	14	0,65	-0,72	4,54	182
116	17	109	11,2	31	3,5	13	0,64	-0,64	4,35	109
117	18	151	15,6	35	4,3	13	0,65	-0,60	4,57	151
118	19	96	9,89	24	4,0	10	0,57	-0,63	3,69	96
119	20	107	11,0	31	3,5	8	0,55	-0,63	3,49	107
120	21	131	13,5	32	4,1	13	0,62	-0,63	4,17	131
121	22	125	12,9	40	3,1	11	0,67	-0,60	4,81	125
122	23	96	9,89	31	3,1	7	0,57	-0,57	3,63	96
123	24	145	14,9	38	3,8	10	0,59	-0,55	3,86	145
124	25	160	16,5	31	5,2	18	0,64	-0,65	4,46	160
125	26	97	10,0	34	2,9	10	0,54	-0,53	3,40	97

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
126	27	129	13,3	39	3,3	12	0,67	-0,60	4,75	129
127	28	152	15,7	33	4,6	12	0,65	-0,63	4,53	152
128	29	170	17,5	41	4,1	18	0,65	-0,71	4,54	170
129	30	109	11,2	23	4,7	13	0,62	-0,59	4,21	109
130	31	98	10,1	33	3,0	13	0,67	-0,59	4,82	98
131	32	99	10,2	30	3,3	9	0,53	-0,58	3,30	99
132	33	116	11,9	36	3,2	11	0,63	-0,56	4,32	116
133	34	87	8,96	34	2,6	13	0,52	-0,64	3,21	87
134	35	132	13,6	46	2,9	15	0,72	-0,56	5,44	132
135	36	190	19,6	43	4,4	14	0,64	-0,68	4,40	190
136	37	117	12,0	33	3,5	15	0,63	-0,65	4,27	117
137	38	130	13,4	36	3,6	15	0,64	-0,59	4,42	130
138	39	133	13,7	41	3,2	11	0,55	-0,62	3,51	133
139	40	156	16,1	40	3,9	12	0,69	-0,64	5,00	156
140	41	88	9,06	34	2,6	10	0,58	-0,57	3,81	88
141	42	155	16,0	35	4,4	15	0,70	-0,72	5,21	155
142	43	139	14,3	35	4,0	13	0,62	-0,72	4,14	139
143	44	151	15,6	39	3,9	13	0,71	-0,55	5,38	151
144	45	110	11,3	33	3,3	10	0,60	-0,69	4,00	110
145	46	129	13,3	32	4,0	16	0,59	-0,67	3,84	129
146	47	160	16,5	32	5,0	16	0,75	-0,66	5,94	160
147	48	95	9,78	26	3,7	12	0,51	-0,62	3,11	95
148	49	177	18,2	44	4,0	12	0,60	-0,60	4,01	177
149	50	104	10,7	34	3,1	11	0,60	-0,55	3,97	104
среднее		125	12,9	34	3,6	12	0,61	-0,62	4,16	-4,21

Таблица А5 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 без учета автокорреляции; длина выборок 50, $r(1) = 0,25$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	106	11,1	23	4,6	17	0,62	-0,45	5,47	-3,47
101	2	59	6,20	13	4,5	10	0,41	-0,46	3,08	-3,57
102	3	209	22,0	32	6,5	19	0,53	-0,46	4,29	-3,62
103	4	193	20,3	28	6,9	28	0,49	-0,64	3,90	-5,75
104	5	47	4,94	15	3,1	8	0,46	-0,37	3,62	-2,78
105	6	123	12,9	28	4,4	22	0,46	-0,51	3,59	-4,12
106	7	87	9,15	32	2,7	10	0,47	-0,42	3,71	-3,22
107	8	98	10,3	25	3,9	17	0,42	-0,43	3,22	-3,33
108	9	68	7,15	17	4,0	14	0,48	-0,48	3,79	-3,80
109	10	187	19,7	27	6,9	26	0,49	-0,52	3,88	-4,22
110	11	142	14,9	28	5,1	25	0,48	-0,52	3,75	-4,23
111	12	176	18,5	28	6,3	25	0,55	-0,56	4,60	-4,71

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
112	13	85	8,94	19	4,5	17	0,46	-0,48	3,55	-3,79
113	14	82	8,62	23	3,6	18	0,42	-0,51	3,22	-4,08
114	15	75	7,89	24	3,1	14	0,38	-0,54	2,84	-4,50
115	16	170	17,9	23	7,4	25	0,48	-0,47	3,84	-3,70
116	17	76	7,99	23	3,3	9	0,36	-0,42	2,66	-3,17
117	18	153	16,1	25	6,1	20	0,53	-0,55	4,29	-4,60
118	19	154	16,2	23	6,7	31	0,45	-0,53	3,51	-4,32
119	20	145	15,2	24	6,0	19	0,40	-0,55	2,99	-4,58
120	21	114	12,0	23	5,0	17	0,40	-0,46	3,00	-3,60
121	22	143	15,0	35	4,1	17	0,51	-0,49	4,13	-3,92
122	23	115	12,1	34	3,4	15	0,47	-0,50	3,68	-3,96
123	24	132	13,9	28	4,7	18	0,49	-0,52	3,94	-4,26
124	25	154	16,2	29	5,3	22	0,64	-0,56	5,70	-4,66
125	26	101	10,6	23	4,4	20	0,36	-0,45	2,71	-3,49
126	27	124	13,0	25	5,0	16	0,45	-0,54	3,53	-4,48
127	28	109	11,5	28	3,9	13	0,56	-0,40	4,73	-2,98
128	29	185	19,5	31	6,0	25	0,43	-0,53	3,34	-4,31
129	30	118	12,4	20	5,9	17	0,55	-0,49	4,60	-3,87
130	31	66	6,94	15	4,4	15	0,43	-0,37	3,28	-2,76
131	32	129	13,6	25	5,2	19	0,45	-0,52	3,48	-4,23
132	33	117	12,3	24	4,9	15	0,49	-0,41	3,90	-3,15
133	34	102	10,7	26	3,9	12	0,41	-0,48	3,09	-3,75
134	35	102	10,7	23	4,4	19	0,59	-0,48	5,12	-3,74
135	36	152	16,0	28	5,4	16	0,51	-0,57	4,10	-4,75
136	37	133	14,0	29	4,6	13	0,45	-0,54	3,53	-4,49
137	38	137	14,4	28	4,9	18	0,50	-0,42	4,04	-3,22
138	39	136	14,3	31	4,4	22	0,48	-0,57	3,76	-4,82
139	40	202	21,2	40	5,1	24	0,54	-0,52	4,40	-4,18
140	41	102	10,7	25	4,1	20	0,47	-0,51	3,72	-4,14
141	42	61	6,41	17	3,6	10	0,48	-0,41	3,82	-3,14
142	43	130	13,7	28	4,6	12	0,45	-0,47	3,51	-3,72
143	44	116	12,2	25	4,6	18	0,46	-0,44	3,58	-3,38
144	45	101	10,6	28	3,6	11	0,47	-0,40	3,66	-3,06
145	46	117	12,3	26	4,5	20	0,49	-0,52	3,93	-4,27
146	47	182	19,1	36	5,1	18	0,53	-0,56	4,30	-4,71
147	48	136	14,3	26	5,2	24	0,44	-0,44	3,37	-3,44
148	49	160	16,8	26	6,2	24	0,44	-0,55	3,42	-4,51
149	50	66	6,94	20	3,3	18	0,44	-0,57	3,43	-4,82
среднее		124	13,0	26	4,8	18	0,47	-0,49	3,77	-3,95

Таблица А6 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 без учета автокорреляции; длина выборок 100, $r(1) = 0,25$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	112	12,4	22	5,1	18	0,27	-0,34	2,81	-3,59
101	2	42	4,66	9	4,7	22	0,26	-0,30	2,72	-3,11
102	3	212	23,5	23	9,2	35	0,46	-0,35	5,16	-3,71
103	4	229	25,4	16	14,3	38	0,43	-0,48	4,70	-5,47
104	5	37	4,11	9	4,1	9	0,26	-0,25	2,68	-2,57
105	6	157	17,4	16	9,8	41	0,34	-0,45	3,63	-5,02
106	7	57	6,33	13	4,4	15	0,32	-0,36	3,29	-3,79
107	8	108	12,0	19	5,7	32	0,31	-0,32	3,23	-3,36
108	9	155	17,2	11	14,1	46	0,43	-0,40	4,70	-4,36
109	10	149	16,5	20	7,5	36	0,35	-0,43	3,70	-4,74
110	11	109	12,1	20	5,5	22	0,32	-0,33	3,29	-3,42
111	12	168	18,6	26	6,5	28	0,30	-0,39	3,11	-4,24
112	13	126	14,0	22	5,7	29	0,35	-0,43	3,66	-4,69
113	14	62	6,9	12	5,2	21	0,36	-0,25	3,80	-2,51
114	15	96	10,7	19	5,1	23	0,32	-0,25	3,30	-2,53
115	16	83	9,21	19	4,4	14	0,34	-0,34	3,58	-3,54
116	17	65	7,21	12	5,4	12	0,28	-0,32	2,91	-3,38
117	18	62	6,88	9	6,9	16	0,28	-0,35	2,88	-3,64
118	19	189	21,0	15	12,6	48	0,39	-0,42	4,16	-4,58
119	20	175	19,4	19	9,2	36	0,40	-0,35	4,30	-3,75
120	21	48	5,33	13	3,7	11	0,29	-0,25	3,00	-2,58
121	22	76	8,44	12	6,3	13	0,29	-0,28	3,05	-2,92
122	23	181	20,1	24	7,5	34	0,34	-0,46	3,52	-5,06
123	24	149	16,5	23	6,5	38	0,34	-0,34	3,52	-3,63
124	25	95	10,5	16	5,9	23	0,30	-0,30	3,06	-3,16
125	26	79	8,8	13	6,1	28	0,33	-0,25	3,48	-2,55
126	27	94	10,4	20	4,7	24	0,30	-0,32	3,09	-3,30
127	28	32	3,55	13	2,5	8	0,25	-0,24	2,59	-2,44
128	29	104	11,5	26	4,0	31	0,36	-0,26	3,87	-2,62
129	30	96	10,7	19	5,1	33	0,28	-0,43	2,92	-4,76
130	31	107	11,88	19	5,6	35	0,34	-0,38	3,55	-4,09
131	32	92	10,2	16	5,8	47	0,27	-0,42	2,78	-4,54
132	33	36	4,00	6	6,0	10	0,24	-0,30	2,39	-3,07
133	34	108	12,0	13	8,3	26	0,36	-0,37	3,86	-3,91
134	35	105	11,7	19	5,5	25	0,32	-0,27	3,35	-2,82
135	36	78	8,66	16	4,9	22	0,25	-0,37	2,58	-4,00
136	37	106	11,8	19	5,6	21	0,26	-0,34	2,63	-3,55
137	38	97	10,8	20	4,9	15	0,29	-0,33	3,04	-3,43
138	39	156	17,3	15	10,4	58	0,34	-0,45	3,62	-5,03
139	40	158	17,5	21	7,5	33	0,37	-0,26	3,99	-2,64
140	41	190	21,1	18	10,6	49	0,47	-0,37	5,31	-3,97

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
141	42	81	8,99	15	5,4	24	0,28	-0,33	2,88	-3,48
142	43	60	6,66	11	5,5	14	0,29	-0,29	2,96	-2,96
143	44	89	9,88	25	3,6	17	0,29	-0,30	3,05	-3,14
144	45	91	10,1	10	9,1	35	0,30	-0,33	3,16	-3,44
145	46	112	12,4	19	5,9	24	0,32	-0,34	3,36	-3,57
146	47	190	21,1	18	10,6	43	0,39	-0,46	4,16	-5,15
147	48	173	19,2	12	14,4	44	0,39	-0,43	4,19	-4,73
148	49	108	12,0	14	7,7	43	0,31	-0,28	3,18	-2,85
149	50	92	10,21	14	6,6	29	0,34	-0,27	3,61	-2,80
среднее		112	12,4	17	6,8	28	0,33	-0,34	3,43	-3,64

Таблица А7 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 без учета автокорреляции; длина выборок 30, $r(1) = 0,5$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	75	7,72	23	3,3	9	0,60	-0,62	3,96	-4,22
101	2	21	2,16	6	3,5	7	0,57	-0,53	3,69	-3,30
102	3	67	6,90	25	2,7	10	0,64	-0,63	4,41	-4,30
103	4	100	10,3	26	3,8	10	0,70	-0,65	5,15	-4,56
104	5	36	3,71	15	2,4	6	0,57	-0,56	3,71	-3,55
105	6	50	5,15	19	2,6	10	0,60	-0,68	3,97	-4,91
106	7	36	3,71	19	1,9	8	0,60	-0,53	3,98	-3,33
107	8	54	5,56	20	2,7	6	0,54	-0,60	3,42	-3,95
108	9	28	2,88	11	2,5	5	0,56	-0,54	3,55	-3,41
109	10	49	5,05	15	3,3	9	0,61	-0,55	4,05	-3,45
110	11	47	4,84	19	2,5	6	0,61	-0,57	4,04	-3,66
111	12	68	7,00	20	3,4	10	0,59	-0,64	3,91	-4,44
112	13	48	4,94	16	3,0	8	0,59	-0,74	3,91	-5,89
113	14	69	7,11	27	2,6	11	0,59	-0,61	3,87	-4,12
114	15	42	4,33	11	3,8	14	0,55	-0,68	3,44	-4,93
115	16	101	10,4	34	3,0	13	0,65	-0,72	4,54	-5,47
116	17	60	6,18	19	3,2	10	0,64	-0,64	4,35	-4,35
117	18	82	8,44	25	3,3	11	0,65	-0,60	4,57	-3,92
118	19	50	5,15	14	3,6	8	0,57	-0,63	3,69	-4,32
119	20	45	4,63	18	2,5	6	0,55	-0,63	3,49	-4,31
120	21	73	7,52	21	3,5	12	0,62	-0,63	4,17	-4,26
121	22	50	5,15	18	2,8	10	0,67	-0,60	4,81	-3,97
122	23	42	4,33	17	2,5	6	0,57	-0,57	3,63	-3,64
123	24	52	5,36	23	2,3	6	0,59	-0,55	3,86	-3,53
124	25	91	9,37	25	3,6	13	0,64	-0,65	4,46	-4,58
125	26	32	3,30	14	2,3	6	0,54	-0,53	3,40	-3,31
126	27	59	6,08	21	2,8	11	0,67	-0,60	4,75	-3,98

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
127	28	82	8,44	31	2,6	11	0,65	-0,63	4,53	-4,34
128	29	85	8,75	26	3,3	15	0,65	-0,71	4,54	-5,28
129	30	56	5,77	15	3,7	8	0,62	-0,59	4,21	-3,86
130	31	49	5,05	14	3,5	12	0,67	-0,59	4,82	-3,82
131	32	49	5,05	20	2,5	6	0,53	-0,58	3,30	-3,77
132	33	59	6,08	17	3,5	10	0,63	-0,56	4,32	-3,59
133	34	35	3,60	14	2,5	11	0,52	-0,64	3,21	-4,36
134	35	46	4,74	18	2,6	10	0,72	-0,56	5,44	-3,60
135	36	99	10,2	30	3,3	12	0,64	-0,68	4,40	-4,96
136	37	59	6,08	17	3,5	13	0,63	-0,65	4,27	-4,52
137	38	72	7,42	24	3,0	13	0,64	-0,59	4,42	-3,90
138	39	59	6,08	21	2,8	6	0,55	-0,62	3,51	-4,24
139	40	81	8,34	24	3,4	11	0,69	-0,64	5,00	-4,46
140	41	39	4,02	14	2,8	9	0,58	-0,57	3,81	-3,69
141	42	88	9,06	22	4,0	13	0,70	-0,72	5,21	-5,55
142	43	75	7,72	23	3,3	12	0,62	-0,72	4,14	-5,48
143	44	83	8,55	25	3,3	9	0,71	-0,55	5,38	-3,50
144	45	55	5,66	18	3,1	8	0,60	-0,69	4,00	-5,01
145	46	72	7,42	23	3,1	12	0,59	-0,67	3,84	-4,79
146	47	91	9,37	24	3,8	13	0,75	-0,66	5,94	-4,69
147	48	47	4,84	16	2,9	8	0,51	-0,62	3,11	-4,16
148	49	81	8,34	23	3,5	7	0,60	-0,60	4,01	-4,01
149	50	44	4,53	14	3,1	7	0,60	-0,55	3,97	-3,44
среднее		61	6,25	20	3,0	10	0,61	-0,62	4,16	-4,21

Таблица А8 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 без учета автокорреляции; длина выборок 50, $r(1) = 0,5$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	45	4,73	12	3,8	13	0,62	-0,45	5,47	-3,47
101	2	26	2,73	7	3,7	7	0,41	-0,46	3,08	-3,57
102	3	116	12,2	23	5,0	14	0,53	-0,46	4,29	-3,62
103	4	118	12,4	18	6,6	27	0,49	-0,64	3,90	-5,75
104	5	11	1,16	4	2,8	6	0,46	-0,37	3,62	-2,78
105	6	64	6,73	18	3,6	12	0,46	-0,51	3,59	-4,12
106	7	25	2,63	9	2,8	8	0,47	-0,42	3,71	-3,22
107	8	40	4,21	10	4,0	11	0,42	-0,43	3,22	-3,33
108	9	32	3,36	8	4,0	12	0,48	-0,48	3,79	-3,80
109	10	105	11,0	21	5,0	14	0,49	-0,52	3,88	-4,22
110	11	62	6,52	20	3,1	16	0,48	-0,52	3,75	-4,23
111	12	108	11,4	22	4,9	23	0,55	-0,56	4,51	-4,71
112	13	46	4,84	15	3,1	8	0,46	-0,48	3,55	-3,79

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
113	14	30	3,15	11	2,7	13	0,42	-0,51	3,22	-4,08
114	15	26	2,73	8	3,3	11	0,38	-0,54	2,84	-4,50
115	16	97	10,2	20	4,9	18	0,48	-0,47	3,84	-3,70
116	17	21	2,21	10	2,1	4	0,36	-0,42	2,66	-3,17
117	18	76	7,99	15	5,1	15	0,53	-0,55	4,29	-4,60
118	19	88	9,25	21	4,2	26	0,45	-0,53	3,51	-4,32
119	20	73	7,68	22	3,3	16	0,40	-0,55	2,99	-4,58
120	21	54	5,68	17	3,2	12	0,40	-0,46	3,00	-3,60
121	22	69	7,26	14	4,9	14	0,51	-0,49	4,13	-3,92
122	23	46	4,84	15	3,1	8	0,47	-0,50	3,68	-3,96
123	24	70	7,36	14	5,0	16	0,49	-0,52	3,94	-4,26
124	25	90	9,46	20	4,5	18	0,64	-0,56	5,70	-4,66
125	26	38	4,00	12	3,2	12	0,36	-0,45	2,71	-3,49
126	27	57	5,99	10	5,7	13	0,45	-0,54	3,53	-4,48
127	28	38	4,00	15	2,5	8	0,56	-0,40	4,73	-2,98
128	29	99	10,4	25	4,0	24	0,43	-0,53	3,34	-4,31
129	30	68	7,15	14	4,9	15	0,55	-0,49	4,60	-3,87
130	31	18	1,89	6	3,0	11	0,43	-0,37	3,28	-2,76
131	32	61	6,41	15	4,1	12	0,45	-0,52	3,48	-4,23
132	33	43	4,52	13	3,3	8	0,49	-0,41	3,90	-3,15
133	34	33	3,47	13	2,5	5	0,41	-0,48	3,09	-3,75
134	35	51	5,36	15	3,4	15	0,59	-0,48	5,12	-3,74
135	36	79	8,31	20	4,0	13	0,51	-0,57	4,10	-4,75
136	37	45	4,73	15	3,0	8	0,45	-0,54	3,53	-4,49
137	38	66	6,94	20	3,3	13	0,50	-0,42	4,04	-3,22
138	39	73	7,68	12	6,1	20	0,48	-0,57	3,76	-4,82
139	40	103	10,8	26	4,0	24	0,54	-0,52	4,40	-4,18
140	41	42	4,42	10	4,2	17	0,47	-0,51	3,72	-4,14
141	42	19	2,00	5	3,8	7	0,48	-0,41	3,82	-3,14
142	43	56	5,89	14	4,0	10	0,45	-0,47	3,51	-3,72
143	44	65	6,83	21	3,1	9	0,46	-0,44	3,58	-3,38
144	45	29	3,05	14	2,1	9	0,47	-0,40	3,66	-3,06
145	46	62	6,52	11	5,6	18	0,49	-0,52	3,93	-4,27
146	47	104	10,9	22	4,7	13	0,53	-0,56	4,30	-4,71
147	48	72	7,57	20	3,6	16	0,44	-0,44	3,37	-3,44
148	49	99	10,4	16	6,2	17	0,44	-0,55	3,42	-4,51
149	50	17	1,79	4	4,3	11	0,44	-0,57	3,43	-4,82
среднее		60	6,26	15	3,9	13	0,47	-0,49	3,77	-3,95

Таблица А9 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 без учета автокорреляции; длина выборок 100, $r(1) = 0,5$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	32	3,55	11	2,9	12	0,27	-0,34	2,81	-3,59
101	2	12	1,33	4	3,0	4	0,26	-0,30	2,72	-3,11
102	3	136	15,1	14	9,7	32	0,46	-0,35	5,16	-3,71
103	4	166	18,4	10	16,6	36	0,43	-0,48	4,70	-5,47
104	5	5	0,55	3	1,7	2	0,26	-0,25	2,68	-2,57
105	6	93	10,3	15	6,2	29	0,34	-0,45	3,63	-5,02
106	7	26	2,89	5	5,2	11	0,32	-0,36	3,29	-3,79
107	8	36	4,00	8	4,5	10	0,31	-0,32	3,23	-3,36
108	9	105	11,7	5	21,0	42	0,43	-0,40	4,70	-4,36
109	10	91	10,1	8	11,4	26	0,35	-0,43	3,70	-4,74
110	11	39	4,33	10	3,9	13	0,32	-0,33	3,29	-3,42
111	12	65	7,21	15	4,3	20	0,30	-0,39	3,11	-4,24
112	13	62	6,88	12	5,2	23	0,35	-0,43	3,66	-4,69
113	14	23	2,55	5	4,6	15	0,36	-0,25	3,80	-2,51
114	15	41	4,55	12	3,4	9	0,32	-0,25	3,30	-2,53
115	16	27	3,00	4	6,8	12	0,34	-0,34	3,58	-3,54
116	17	24	2,66	7	3,4	8	0,28	-0,32	2,91	-3,38
117	18	39	4,33	6	6,5	13	0,28	-0,35	2,88	-3,64
118	19	147	16,3	9	16,3	37	0,39	-0,42	4,16	-4,58
119	20	111	12,3	13	8,5	34	0,40	-0,35	4,30	-3,75
120	21	10	1,11	4	2,5	4	0,29	-0,25	3,00	-2,58
121	22	32	3,55	10	3,2	6	0,29	-0,28	3,05	-2,87
122	23	88	9,77	11	8,0	23	0,34	-0,46	3,52	-5,06
123	24	70	7,77	13	5,4	18	0,34	-0,34	3,52	-3,63
124	25	44	4,88	11	4,0	11	0,30	-0,30	3,06	-3,16
125	26	32	3,55	7	4,6	11	0,33	-0,25	3,48	-2,55
126	27	35	3,88	7	5,0	16	0,30	-0,32	3,09	-3,30
127	28	2	0,22	1	2,0	2	0,25	-0,24	2,59	-2,44
128	29	41	4,55	8	5,1	23	0,36	-0,26	3,87	-2,62
129	30	48	5,33	8	6,0	29	0,28	-0,43	2,92	-4,76
130	31	58	6,44	5	11,6	32	0,34	-0,38	3,55	-4,09
131	32	45	4,99	4	11,3	41	0,27	-0,42	2,78	-4,54
132	33	9	1,00	2	4,5	7	0,24	-0,30	2,39	-3,07
133	34	66	7,33	10	6,6	15	0,36	-0,37	3,86	-3,91
134	35	34	3,77	10	3,4	10	0,32	-0,27	3,35	-2,82
135	36	24	2,66	4	6,0	15	0,25	-0,37	2,58	-4,00
136	37	40	4,44	9	4,4	14	0,26	-0,34	2,63	-3,55
137	38	29	3,22	10	2,9	12	0,29	-0,33	3,04	-3,43
138	39	84	9,32	10	8,4	50	0,34	-0,45	3,62	-5,03
139	40	88	9,77	11	8,0	26	0,37	-0,26	3,99	-2,64
140	41	129	14,3	14	9,2	34	0,47	-0,37	5,31	-3,97

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
141	42	32	3,55	4	8,0	12	0,28	-0,33	2,88	-3,48
142	43	29	3,22	6	4,8	9	0,29	-0,29	2,96	-2,96
143	44	21	2,33	5	4,2	13	0,29	-0,30	3,05	-3,14
144	45	44	4,88	4	11,0	16	0,30	-0,33	3,16	-3,44
145	46	40	4,44	13	3,1	10	0,32	-0,34	3,36	-3,57
146	47	124	13,8	9	13,8	28	0,39	-0,46	4,16	-5,15
147	48	110	12,2	12	9,2	32	0,39	-0,43	4,19	-4,73
148	49	36	4,00	13	2,8	8	0,31	-0,28	3,18	-2,85
149	50	48	5,33	10	4,8	17	0,34	-0,27	3,61	-2,80
среднее		55	6,15	8	6,6	19	0,33	-0,34	3,43	-3,64

Приложение Б – Оценка значимости линейных трендов в смоделированных рядах с двухпараметрическим гамма-распределением при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ с учетом автокорреляции

Таблица Б.1 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 с учетом автокорреляции; длина выборок 30, $r(1) = 0,25$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	75	7.72	23	3.3	9	0.60	-0.62	3.96	-4.22
101	2	21	2.16	6	3.5	7	0.57	-0.53	3.69	-3.30
102	3	67	6.90	25	2.7	10	0.64	-0.63	4.41	-4.30
103	4	100	10.3	26	3.8	10	0.70	-0.65	5.15	-4.56
104	5	36	3.71	15	2.4	6	0.57	-0.56	3.71	-3.55
105	6	50	5.15	19	2.6	10	0.60	-0.68	3.97	-4.91
106	7	36	3.71	19	1.9	8	0.60	-0.53	3.98	-3.33
107	8	54	5.56	20	2.7	6	0.54	-0.60	3.42	-3.95
108	9	28	2.88	11	2.5	5	0.56	-0.54	3.55	-3.41
109	10	49	5.05	15	3.3	9	0.61	-0.55	4.05	-3.45
110	11	47	4.84	19	2.5	6	0.61	-0.57	4.04	-3.66
111	12	68	7.00	20	3.4	10	0.59	-0.64	3.91	-4.44
112	13	48	4.94	16	3.0	8	0.59	-0.74	3.91	-5.89
113	14	69	7.11	27	2.6	11	0.59	-0.61	3.87	-4.12
114	15	42	4.33	11	3.8	14	0.55	-0.68	3.44	-4.93
115	16	101	10.4	34	3.0	13	0.65	-0.72	4.54	-5.47
116	17	60	6.18	19	3.2	10	0.64	-0.64	4.35	-4.35
117	18	82	8.44	25	3.3	11	0.65	-0.60	4.57	-3.92
118	19	50	5.15	14	3.6	8	0.57	-0.63	3.69	-4.32
119	20	45	4.63	18	2.5	6	0.55	-0.63	3.49	-4.31
120	21	73	7.52	21	3.5	12	0.62	-0.63	4.17	-4.26
121	22	50	5.15	18	2.8	10	0.67	-0.60	4.81	-3.97
122	23	42	4.33	17	2.5	6	0.57	-0.57	3.63	-3.64
123	24	52	5.36	23	2.3	6	0.59	-0.55	3.86	-3.53
124	25	91	9.37	25	3.6	13	0.64	-0.65	4.46	-4.58
125	26	32	3.30	14	2.3	6	0.54	-0.53	3.40	-3.31
126	27	59	6.08	21	2.8	11	0.67	-0.60	4.75	-3.98
127	28	82	8.44	31	2.6	11	0.65	-0.63	4.53	-4.34
128	29	85	8.75	26	3.3	15	0.65	-0.71	4.54	-5.28
129	30	56	5.77	15	3.7	8	0.62	-0.59	4.21	-3.86
130	31	49	5.05	14	3.5	12	0.67	-0.59	4.82	-3.82
131	32	49	5.05	20	2.5	6	0.53	-0.58	3.30	-3.77
132	33	59	6.08	17	3.5	10	0.63	-0.56	4.32	-3.59
133	34	35	3.60	14	2.5	11	0.52	-0.64	3.21	-4.36
134	35	46	4.74	18	2.6	10	0.72	-0.56	5.44	-3.60

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
135	36	99	10.2	30	3.3	12	0.64	-0.68	4.40	-4.96
136	37	59	6.08	17	3.5	13	0.63	-0.65	4.27	-4.52
137	38	72	7.42	24	3.0	13	0.64	-0.59	4.42	-3.90
138	39	59	6.08	21	2.8	6	0.55	-0.62	3.51	-4.24
139	40	81	8.34	24	3.4	11	0.69	-0.64	5.00	-4.46
140	41	39	4.02	14	2.8	9	0.58	-0.57	3.81	-3.69
141	42	88	9.06	22	4.0	13	0.70	-0.72	5.21	-5.55
142	43	75	7.72	23	3.3	12	0.62	-0.72	4.14	-5.48
143	44	83	8.55	25	3.3	9	0.71	-0.55	5.38	-3.50
144	45	55	5.66	18	3.1	8	0.60	-0.69	4.00	-5.01
145	46	72	7.42	23	3.1	12	0.59	-0.67	3.84	-4.79
146	47	91	9.37	24	3.8	13	0.75	-0.66	5.94	-4.69
147	48	47	4.84	16	2.9	8	0.51	-0.62	3.11	-4.16
148	49	81	8.34	23	3.5	7	0.60	-0.60	4.01	-4.01
149	50	44	4.53	14	3.1	7	0.60	-0.55	3.97	-3.44
среднее		61	6.25	20	3.0	10	0.61	-0.62	4.16	-4.21

Таблица Б.2 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 с учетом автокорреляции; длина выборок 50, $r(1) = 0,25$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	45	4.73	12	3.8	13	0.62	-0.45	5.47	-3.47
101	2	26	2.73	7	3.7	7	0.41	-0.46	3.08	-3.57
102	3	116	12.2	23	5.0	14	0.53	-0.46	4.29	-3.62
103	4	118	12.4	18	6.6	27	0.49	-0.64	3.90	-5.75
104	5	11	1.16	4	2.8	6	0.46	-0.37	3.62	-2.78
105	6	64	6.73	18	3.6	12	0.46	-0.51	3.59	-4.12
106	7	25	2.63	9	2.8	8	0.47	-0.42	3.71	-3.22
107	8	40	4.21	10	4.0	11	0.42	-0.43	3.22	-3.33
108	9	32	3.36	8	4.0	12	0.48	-0.48	3.79	-3.80
109	10	105	11.0	21	5.0	14	0.49	-0.52	3.88	-4.22
110	11	62	6.52	20	3.1	16	0.48	-0.52	3.75	-4.23
111	12	108	11.4	22	4.9	23	0.55	-0.56	4.51	-4.71
112	13	46	4.84	15	3.1	8	0.46	-0.48	3.55	-3.79
113	14	30	3.15	11	2.7	13	0.42	-0.51	3.22	-4.08
114	15	26	2.73	8	3.3	11	0.38	-0.54	2.84	-4.50
115	16	97	10.2	20	4.9	18	0.48	-0.47	3.84	-3.70
116	17	21	2.21	10	2.1	4	0.36	-0.42	2.66	-3.17
117	18	76	7.99	15	5.1	15	0.53	-0.55	4.29	-4.60
118	19	88	9.25	21	4.2	26	0.45	-0.53	3.51	-4.32
119	20	73	7.68	22	3.3	16	0.40	-0.55	2.99	-4.58

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
120	21	54	5.68	17	3.2	12	0.40	-0.46	3.00	-3.60
121	22	69	7.26	14	4.9	14	0.51	-0.49	4.13	-3.92
122	23	46	4.84	15	3.1	8	0.47	-0.50	3.68	-3.96
123	24	70	7.36	14	5.0	16	0.49	-0.52	3.94	-4.26
124	25	90	9.46	20	4.5	18	0.64	-0.56	5.70	-4.66
125	26	38	4.00	12	3.2	12	0.36	-0.45	2.71	-3.49
126	27	57	5.99	10	5.7	13	0.45	-0.54	3.53	-4.48
127	28	38	4.00	15	2.5	8	0.56	-0.40	4.73	-2.98
128	29	99	10.4	25	4.0	24	0.43	-0.53	3.34	-4.31
129	30	68	7.15	14	4.9	15	0.55	-0.49	4.60	-3.87
130	31	18	1.89	6	3.0	11	0.43	-0.37	3.28	-2.76
131	32	61	6.41	15	4.1	12	0.45	-0.52	3.48	-4.23
132	33	43	4.52	13	3.3	8	0.49	-0.41	3.90	-3.15
133	34	33	3.47	13	2.5	5	0.41	-0.48	3.09	-3.75
134	35	51	5.36	15	3.4	15	0.59	-0.48	5.12	-3.74
135	36	79	8.31	20	4.0	13	0.51	-0.57	4.10	-4.75
136	37	45	4.73	15	3.0	8	0.45	-0.54	3.53	-4.49
137	38	66	6.94	20	3.3	13	0.50	-0.42	4.04	-3.22
138	39	73	7.68	12	6.1	20	0.48	-0.57	3.76	-4.82
139	40	103	10.8	26	4.0	24	0.54	-0.52	4.40	-4.18
140	41	42	4.42	10	4.2	17	0.47	-0.51	3.72	-4.14
141	42	19	2.00	5	3.8	7	0.48	-0.41	3.82	-3.14
142	43	56	5.89	14	4.0	10	0.45	-0.47	3.51	-3.72
143	44	65	6.83	21	3.1	9	0.46	-0.44	3.58	-3.38
144	45	29	3.05	14	2.1	9	0.47	-0.40	3.66	-3.06
145	46	62	6.52	11	5.6	18	0.49	-0.52	3.93	-4.27
146	47	104	10.9	22	4.7	13	0.53	-0.56	4.30	-4.71
147	48	72	7.57	20	3.6	16	0.44	-0.44	3.37	-3.44
148	49	99	10.4	16	6.2	17	0.44	-0.55	3.42	-4.51
149	50	17	1.79	4	4.3	11	0.44	-0.57	3.43	-4.82
среднее		60	6.26	15	3.9	13	0.47	-0.49	3.77	-3.95

Таблица Б.3 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 с учетом автокорреляции; длина выборок 100, $r(1) = 0,25$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	32	3.55	11	2.9	12	0.27	-0.34	2.81	-3.59
101	2	12	1.33	4	3.0	4	0.26	-0.30	2.72	-3.11
102	3	136	15.1	14	9.7	32	0.46	-0.35	5.16	-3.71
103	4	166	18.4	10	16.6	36	0.43	-0.48	4.70	-5.47
104	5	5	0.55	3	1.7	2	0.26	-0.25	2.68	-2.57

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
105	6	93	10.3	15	6.2	29	0.34	-0.45	3.63	-5.02
106	7	26	2.89	5	5.2	11	0.32	-0.36	3.29	-3.79
107	8	36	4.00	8	4.5	10	0.31	-0.32	3.23	-3.36
108	9	105	11.7	5	21.0	42	0.43	-0.40	4.70	-4.36
109	10	91	10.1	8	11.4	26	0.35	-0.43	3.70	-4.74
110	11	39	4.33	10	3.9	13	0.32	-0.33	3.29	-3.42
111	12	65	7.21	15	4.3	20	0.30	-0.39	3.11	-4.24
112	13	62	6.88	12	5.2	23	0.35	-0.43	3.66	-4.69
113	14	23	2.55	5	4.6	15	0.36	-0.25	3.80	-2.51
114	15	41	4.55	12	3.4	9	0.32	-0.25	3.30	-2.53
115	16	27	3.00	4	6.8	12	0.34	-0.34	3.58	-3.54
116	17	24	2.66	7	3.4	8	0.28	-0.32	2.91	-3.38
117	18	39	4.33	6	6.5	13	0.28	-0.35	2.88	-3.64
118	19	147	16.3	9	16.3	37	0.39	-0.42	4.16	-4.58
119	20	111	12.3	13	8.5	34	0.40	-0.35	4.30	-3.75
120	21	10	1.11	4	2.5	4	0.29	-0.25	3.00	-2.58
121	22	32	3.55	10	3.2	6	0.29	-0.28	3.05	-2.87
122	23	88	9.77	11	8.0	23	0.34	-0.46	3.52	-5.06
123	24	70	7.77	13	5.4	18	0.34	-0.34	3.52	-3.63
124	25	44	4.88	11	4.0	11	0.30	-0.30	3.06	-3.16
125	26	32	3.55	7	4.6	11	0.33	-0.25	3.48	-2.55
126	27	35	3.88	7	5.0	16	0.30	-0.32	3.09	-3.30
127	28	2	0.22	1	2.0	2	0.25	-0.24	2.59	-2.44
128	29	41	4.55	8	5.1	23	0.36	-0.26	3.87	-2.62
129	30	48	5.33	8	6.0	29	0.28	-0.43	2.92	-4.76
130	31	58	6.44	5	11.6	32	0.34	-0.38	3.55	-4.09
131	32	45	4.99	4	11.3	41	0.27	-0.42	2.78	-4.54
132	33	9	1.00	2	4.5	7	0.24	-0.30	2.39	-3.07
133	34	66	7.33	10	6.6	15	0.36	-0.37	3.86	-3.91
134	35	34	3.77	10	3.4	10	0.32	-0.27	3.35	-2.82
135	36	24	2.66	4	6.0	15	0.25	-0.37	2.58	-4.00
136	37	40	4.44	9	4.4	14	0.26	-0.34	2.63	-3.55
137	38	29	3.22	10	2.9	12	0.29	-0.33	3.04	-3.43
138	39	84	9.32	10	8.4	50	0.34	-0.45	3.62	-5.03
139	40	88	9.77	11	8.0	26	0.37	-0.26	3.99	-2.64
140	41	129	14.3	14	9.2	34	0.47	-0.37	5.31	-3.97
141	42	32	3.55	4	8.0	12	0.28	-0.33	2.88	-3.48
142	43	29	3.22	6	4.8	9	0.29	-0.29	2.96	-2.96
143	44	21	2.33	5	4.2	13	0.29	-0.30	3.05	-3.14
144	45	44	4.88	4	11.0	16	0.30	-0.33	3.16	-3.44
145	46	40	4.44	13	3.1	10	0.32	-0.34	3.36	-3.57
146	47	124	13.8	9	13.8	28	0.39	-0.46	4.16	-5.15
147	48	110	12.2	12	9.2	32	0.39	-0.43	4.19	-4.73

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
148	49	36	4.00	13	2.8	8	0.31	-0.28	3.18	-2.85
149	50	48	5.33	10	4.8	17	0.34	-0.27	3.61	-2.80
среднее		55	6.15	8	6.6	19	0.33	-0.34	3.43	-3.64

Таблица Б.4 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 с учетом автокорреляции; длина выборки 30, $r(1) = 0,50$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	56	5,77	17	3,3	9	0,72	-0,71	5,55	-5,27
101	2	20	2,06	6	3,3	8	0,68	-0,63	4,97	-4,25
102	3	65	6,69	17	3,8	9	0,72	-0,74	5,47	-5,81
103	4	101	10,4	22	4,6	10	0,79	-0,76	6,85	-6,26
104	5	27	2,78	10	2,7	6	0,65	-0,67	4,50	-4,81
105	6	51	5,25	15	3,4	10	0,71	-0,80	5,39	-7,11
106	7	28	2,88	12	2,3	6	0,68	-0,64	4,88	-4,37
107	8	46	4,74	13	3,5	10	0,65	-0,70	4,55	-5,16
108	9	18	1,85	7	2,6	5	0,69	-0,65	5,06	-4,54
109	10	48	4,94	14	3,4	9	0,71	-0,67	5,39	-4,84
110	11	45	4,63	14	3,2	7	0,70	-0,67	5,24	-4,76
111	12	63	6,49	13	4,8	17	0,72	-0,78	5,49	-6,61
112	13	47	4,84	15	3,1	9	0,74	-0,83	5,84	-7,92
113	14	74	7,62	25	3,0	10	0,73	-0,75	5,60	-6,04
114	15	40	4,12	9	4,4	14	0,62	-0,79	4,20	-6,80
115	16	107	11,0	25	4,3	13	0,74	-0,84	5,80	-8,12
116	17	51	5,25	12	4,3	11	0,70	-0,74	5,21	-5,80
117	18	73	7,52	17	4,3	11	0,76	-0,73	6,26	-5,67
118	19	48	4,94	16	3,0	6	0,69	-0,77	5,06	-6,33
119	20	42	4,33	16	2,6	6	0,66	-0,69	4,70	-5,02
120	21	67	6,90	18	3,7	10	0,74	-0,72	5,89	-5,46
121	22	45	4,63	14	3,2	10	0,77	-0,70	6,48	-5,24
122	23	36	3,71	13	2,8	6	0,65	-0,67	4,54	-4,74
123	24	49	5,05	14	3,5	7	0,72	-0,69	5,45	-5,08
124	25	95	9,78	20	4,8	12	0,76	-0,77	6,18	-6,38
125	26	27	2,78	11	2,5	6	0,67	-0,60	4,83	-3,99
126	27	47	4,84	15	3,1	11	0,76	-0,76	6,22	-6,28
127	28	67	6,90	19	3,5	10	0,74	-0,71	5,84	-5,41
128	29	83	8,55	21	4,0	16	0,71	-0,82	5,31	-7,62
129	30	48	4,94	11	4,4	8	0,72	-0,69	5,45	-5,09
130	31	43	4,43	9	4,8	12	0,74	-0,68	5,87	-4,89
131	32	48	4,94	15	3,2	5	0,65	-0,67	4,47	-4,84
132	33	58	5,97	14	4,1	11	0,75	-0,69	5,96	-5,08

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
133	34	30	3,09	11	2,7	8	0,61	-0,73	4,11	-5,61
134	35	44	4,53	15	2,9	10	0,82	-0,66	7,71	-4,59
135	36	94	9,68	22	4,3	13	0,73	-0,82	5,58	-7,69
136	37	59	6,08	16	3,7	13	0,74	-0,77	5,82	-6,31
137	38	68	7,00	20	3,4	13	0,73	-0,70	5,70	-5,25
138	39	52	5,36	14	3,7	10	0,66	-0,76	4,66	-6,15
139	40	89	9,17	24	3,7	11	0,80	-0,73	7,15	-5,60
140	41	32	3,30	11	2,9	9	0,69	-0,67	5,09	-4,83
141	42	82	8,44	18	4,6	13	0,78	-0,81	6,70	-7,28
142	43	70	7,21	21	3,3	12	0,71	-0,82	5,30	-7,48
143	44	78	8,03	25	3,1	7	0,81	-0,67	7,42	-4,80
144	45	47	4,84	14	3,4	9	0,74	-0,81	5,87	-7,18
145	46	66	6,80	18	3,7	12	0,69	-0,79	5,06	-6,88
146	47	93	9,58	18	5,2	13	0,84	-0,76	8,27	-6,20
147	48	45	4,63	15	3,0	9	0,61	-0,73	4,10	-5,63
148	49	80	8,24	20	4,0	9	0,72	-0,75	5,53	-6,04
149	50	31	3,19	12	2,6	7	0,69	-0,63	5,01	-4,26
среднее		56	5,81	16	3,6	10	0,72	-0,73	5,55	-5,75

Таблица Б.5 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 с учетом автокорреляции; длина выборок 50, $r(1) = 0,50$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	41	4,31	8	5,1	14	0,73	-0,56	7,30	-4,66
101	2	35	3,68	7	5,0	17	0,52	-0,59	4,27	-5,11
102	3	104	10,9	18	5,8	14	0,65	-0,54	5,87	-4,50
103	4	117	12,3	13	9,0	27	0,59	-0,77	5,04	-8,34
104	5	12	1,26	3	4,0	7	0,60	-0,49	5,16	-3,89
105	6	58	6,10	13	4,5	13	0,58	-0,63	4,92	-5,65
106	7	21	2,21	7	3,0	7	0,53	-0,49	4,36	-3,85
107	8	34	3,58	8	4,3	11	0,52	-0,54	4,16	-4,40
108	9	28	2,94	6	4,7	11	0,56	-0,56	4,67	-4,72
109	10	87	9,15	16	5,4	14	0,56	-0,66	4,63	-6,05
110	11	53	5,57	10	5,3	16	0,58	-0,64	4,96	-5,72
111	12	100	10,5	17	5,9	22	0,66	-0,69	6,16	-6,57
112	13	46	4,84	12	3,8	14	0,56	-0,64	4,63	-5,71
113	14	28	2,94	6	4,7	14	0,53	-0,67	4,29	-6,19
114	15	17	1,79	5	3,4	11	0,46	-0,67	3,56	-6,32
115	16	94	9,88	17	5,5	18	0,62	-0,60	5,47	-5,23
116	17	14	1,47	6	2,3	4	0,46	-0,48	3,59	-3,79
117	18	71	7,47	11	6,5	14	0,61	-0,70	5,37	-6,87

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
118	19	79	8,31	17	4,6	27	0,57	-0,67	4,77	-6,31
119	20	52	5,47	17	3,1	12	0,54	-0,65	4,46	-5,88
120	21	52	5,47	10	5,2	11	0,53	-0,55	4,29	-4,58
121	22	66	6,94	15	4,4	17	0,59	-0,60	5,13	-5,21
122	23	44	4,63	11	4,0	11	0,56	-0,63	4,67	-5,67
123	24	64	6,73	9	7,1	17	0,57	-0,67	4,86	-6,17
124	25	73	7,68	11	6,6	16	0,72	-0,65	7,24	-5,93
125	26	39	4,10	7	5,6	12	0,47	-0,57	3,72	-4,78
126	27	50	5,26	7	7,1	13	0,57	-0,68	4,79	-6,37
127	28	35	3,68	10	3,5	9	0,65	-0,50	5,98	-4,04
128	29	87	9,15	19	4,6	22	0,55	-0,60	4,57	-5,22
129	30	64	6,73	14	4,6	15	0,68	-0,61	6,36	-5,34
130	31	10	1,05	3	3,3	7	0,52	-0,45	4,27	-3,50
131	32	55	5,78	11	5,0	13	0,55	-0,64	4,52	-5,73
132	33	40	4,21	11	3,6	10	0,61	-0,52	5,34	-4,18
133	34	41	4,31	9	4,6	10	0,53	-0,57	4,28	-4,81
134	35	37	3,89	9	4,1	14	0,69	-0,60	6,55	-5,24
135	36	62	6,52	15	4,1	12	0,60	-0,72	5,24	-7,28
136	37	37	3,89	13	2,8	7	0,56	-0,65	4,63	-5,85
137	38	51	5,36	9	5,7	11	0,61	-0,53	5,39	-4,35
138	39	65	6,83	9	7,2	20	0,59	-0,68	5,02	-6,51
139	40	107	11,3	21	5,1	23	0,69	-0,62	6,60	-5,44
140	41	36	3,79	7	5,1	18	0,56	-0,65	4,67	-6,00
141	42	14	1,47	4	3,5	8	0,57	-0,54	4,83	-4,46
142	43	46	4,84	10	4,6	10	0,55	-0,58	4,53	-4,99
143	44	50	5,26	15	3,3	10	0,57	-0,57	4,77	-4,84
144	45	25	2,63	8	3,1	7	0,55	-0,54	4,62	-4,43
145	46	54	5,68	10	5,4	13	0,59	-0,64	5,04	-5,73
146	47	94	9,88	18	5,2	14	0,61	-0,66	5,29	-6,10
147	48	70	7,36	15	4,7	16	0,54	-0,56	4,44	-4,68
148	49	93	9,78	11	8,5	21	0,57	-0,69	4,84	-6,66
149	50	14	1,47	2	7,0	11	0,51	-0,69	4,09	-6,59
среднее		53	5,61	11	4,9	14	0,58	-0,61	4,96	-5,41

Таблица Б.6 – Оценка характеристик линейных трендов при длине ряда 1000 с учетом автокорреляции; длина выборок 100, $r(1) = 0,50$

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
100	1	30	3,33	6	5,0	14	0,37	-0,44	3,92	-4,85
101	2	12	1,33	4	3,0	4	0,35	-0,40	3,71	-4,27
102	3	126	14,0	13	9,7	31	0,55	-0,43	6,45	-4,77

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			R		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
103	4	159	17,6	9	17,7	35	0,52	-0,61	6,02	-7,55
104	5	3	0,33	2	1,5	2	0,33	-0,33	3,48	-3,46
105	6	81	8,99	8	10,1	27	0,43	-0,57	4,68	-6,83
106	7	25	2,77	3	8,3	11	0,40	-0,46	4,26	-5,15
107	8	30	3,33	6	5,0	9	0,42	-0,41	4,55	-4,41
108	9	106	11,8	4	26,5	43	0,54	-0,50	6,43	-5,67
109	10	81	8,99	7	11,6	26	0,42	-0,56	4,52	-6,64
110	11	26	2,89	5	5,2	12	0,41	-0,41	4,50	-4,48
111	12	66	7,33	11	6,0	21	0,39	-0,51	4,25	-5,91
112	13	58	6,44	9	6,4	23	0,46	-0,56	5,09	-6,68
113	14	23	2,55	3	7,7	18	0,46	-0,33	5,06	-3,51
114	15	42	4,66	5	8,4	18	0,42	-0,32	4,58	-3,31
115	16	21	2,33	4	5,3	11	0,40	-0,42	4,31	-4,64
116	17	22	2,44	7	3,1	7	0,37	-0,39	3,90	-4,23
117	18	27	3,00	4	6,8	11	0,34	-0,43	3,57	-4,72
118	19	140	15,5	6	23,3	45	0,50	-0,54	5,76	-6,39
119	20	94	10,4	8	11,8	33	0,49	-0,46	5,50	-5,06
120	21	8	0,89	3	2,7	4	0,37	-0,30	3,89	-3,12
121	22	29	3,22	10	2,9	5	0,37	-0,38	4,00	-4,11
122	23	84	9,32	8	10,5	23	0,42	-0,57	4,61	-6,84
123	24	64	7,10	12	5,3	18	0,41	-0,44	4,51	-4,83
124	25	33	3,66	7	4,7	11	0,37	-0,40	3,93	-4,31
125	26	36	4,00	5	7,2	25	0,43	-0,33	4,69	-3,46
126	27	32	3,55	6	5,3	15	0,37	-0,40	3,97	-4,37
127	28	2	0,22	1	2,0	2	0,34	-0,29	3,59	-3,00
128	29	33	3,66	6	5,5	22	0,47	-0,38	5,22	-4,07
129	30	45	4,99	6	7,5	30	0,35	-0,54	3,66	-6,27
130	31	59	6,55	5	11,8	33	0,43	-0,49	4,65	-5,53
131	32	44	4,88	3	14,7	42	0,34	-0,55	3,56	-6,50
132	33	10	1,11	2	5,0	9	0,31	-0,40	3,18	-4,32
133	34	59	6,55	9	6,6	12	0,46	-0,47	5,17	-5,25
134	35	30	3,33	8	3,8	9	0,40	-0,36	4,33	-3,85
135	36	16	1,78	2	8,0	15	0,32	-0,49	3,35	-5,60
136	37	36	4,00	5	7,2	14	0,35	-0,43	3,67	-4,72
137	38	15	1,66	3	5,0	11	0,34	-0,39	3,56	-4,15
138	39	78	8,66	5	15,6	54	0,45	-0,57	4,93	-6,88
139	40	86	9,54	9	9,6	24	0,47	-0,34	5,25	-3,60
140	41	120	13,3	8	15,0	45	0,57	-0,48	6,95	-5,41
141	42	33	3,66	5	6,6	17	0,35	-0,43	3,64	-4,78
142	43	27	3,00	5	5,4	10	0,37	-0,38	3,99	-4,01
143	44	23	2,55	5	4,6	13	0,38	-0,38	4,09	-4,12
144	45	48	5,33	3	16,0	30	0,39	-0,44	4,25	-4,91
145	46	37	4,11	8	4,6	8	0,41	-0,43	4,51	-4,72

№ сери	№ опыта	Значимых трендов		Серии			<i>R</i>		$t_{2\alpha}$	
		абс.	в %	всего	средняя длина	максимальная длина	max	min	max	min
146	47	107	11,9	6	17,8	26	0,48	-0,55	5,45	-6,46
147	48	106	11,8	10	10,6	34	0,50	-0,55	5,77	-6,54
148	49	18	2,00	5	3,6	6	0,37	-0,35	3,97	-3,73
149	50	43	4,77	8	5,4	16	0,42	-0,35	4,60	-3,72
среднее		51	5,62	6	8,3	20	0,41	-0,44	4,51	-4,91

Приложение В – Изменение отношения R/σ_R в зависимости от номера выборки

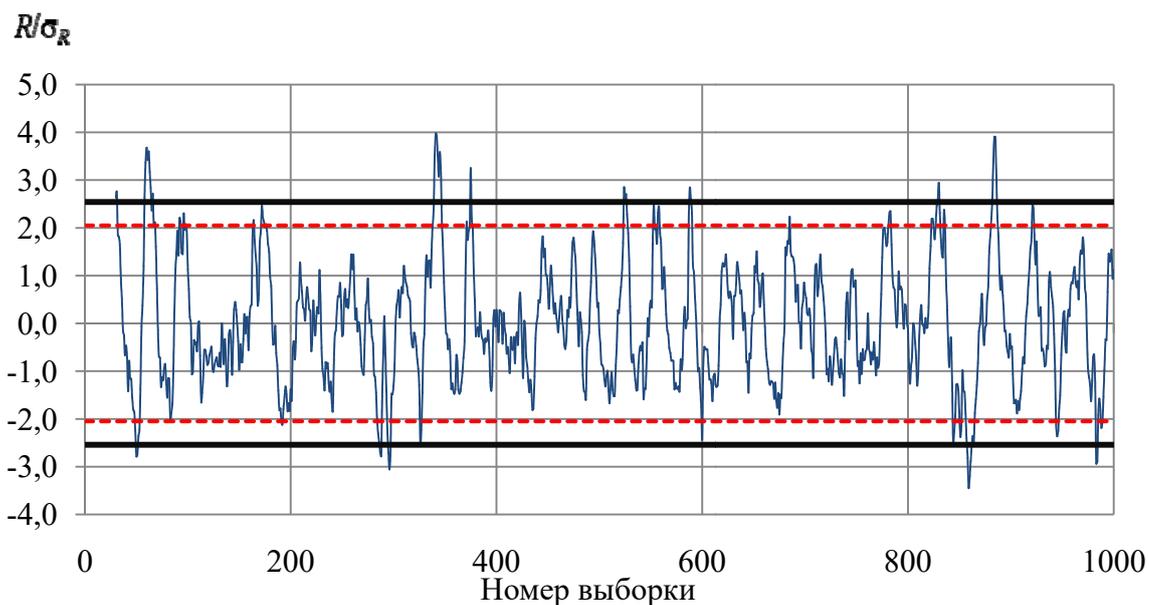


Рисунок В.1 – Изменение отношения R/σ_R в зависимости от номера выборки; доверительные границы построены с учетом и без учета автокорреляции; длина реализации: 1000; длина выборок: 30; $r = 0,25$; номер реализации: 149.



Рисунок В.2 – Изменение отношения R/σ_R в зависимости от номера выборки; доверительные границы построены с учетом и без учета автокорреляции; длина реализации: 1000; длина выборок: 50; $r = 0,25$; номер реализации: 124.

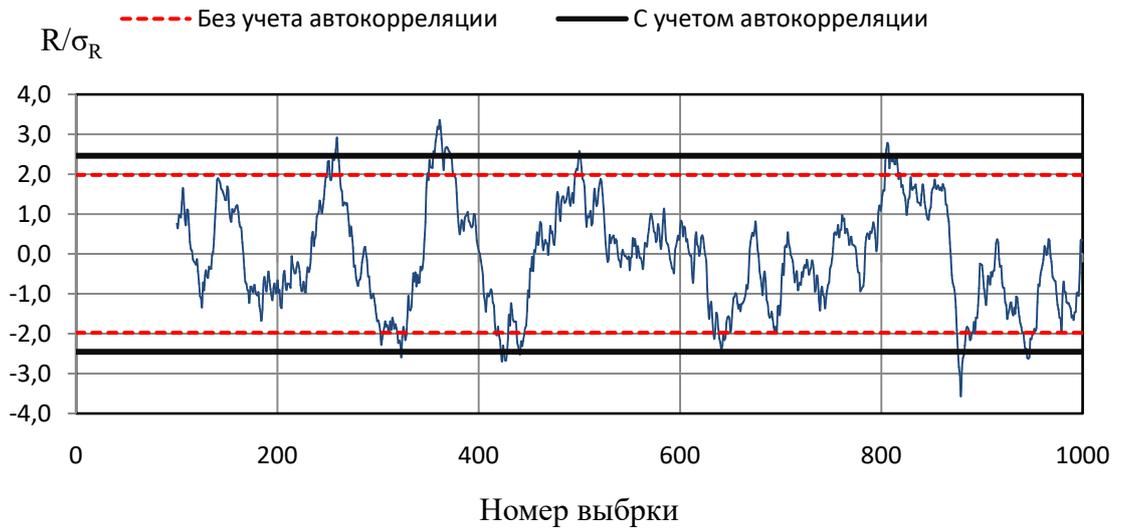


Рисунок В.3 – Изменение отношения R/σ_R в зависимости от номера выборки; доверительные границы построены с учетом и без учета автокорреляции; длина реализации: 1000; длина выборок: 100; $r = 0,25$; номер реализации: 145.

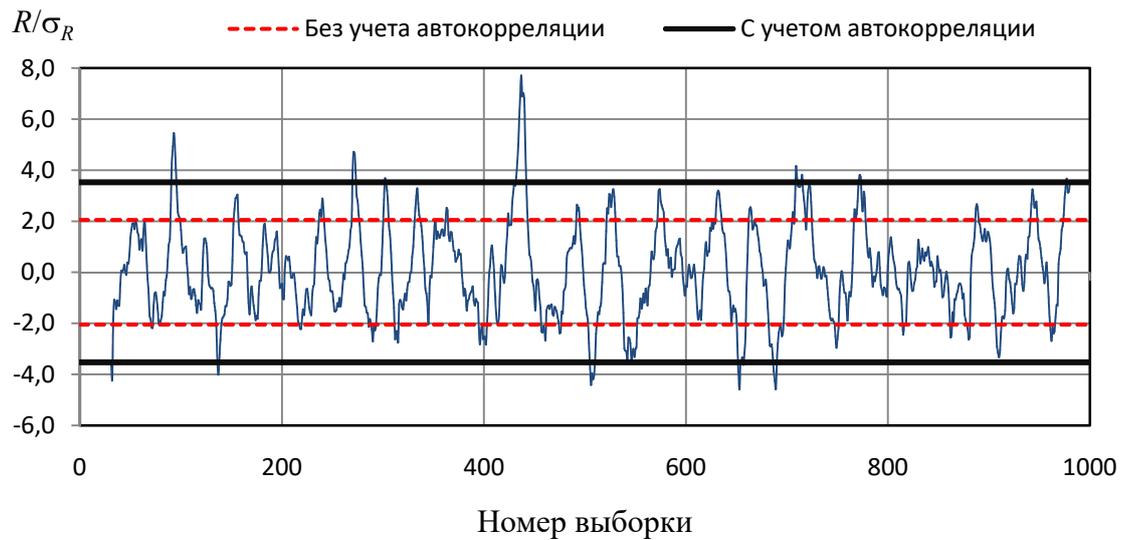


Рисунок В.4 – Изменение отношения R/σ_R в зависимости от номера выборки; доверительные границы построены с учетом и без учета автокорреляции; длина реализации: 1000; длина выборок: 30; $r = 0,50$; номер реализации: 134.

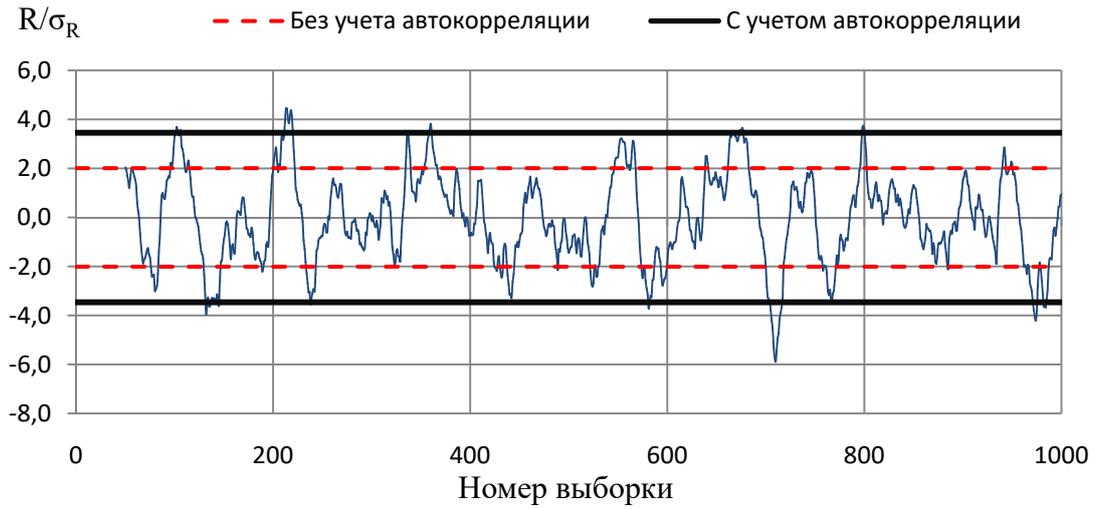


Рисунок В.5 – Изменение отношения R/σ_R в зависимости от номера выборки; доверительные границы построены с учетом и без учета автокорреляции; длина реализации: 1000; длина выборок: 50; $r = 0,50$; номер реализации: 119.



Рисунок В.6 – Изменение отношения R/σ_R в зависимости от номера выборки; доверительные границы построены с учетом и без учета автокорреляции; длина реализации: 1000; длина выборок: 100; $r = 0,50$; номер реализации: 131.

Приложение Г – Наличие значимого тренда в зависимости от номера выборки

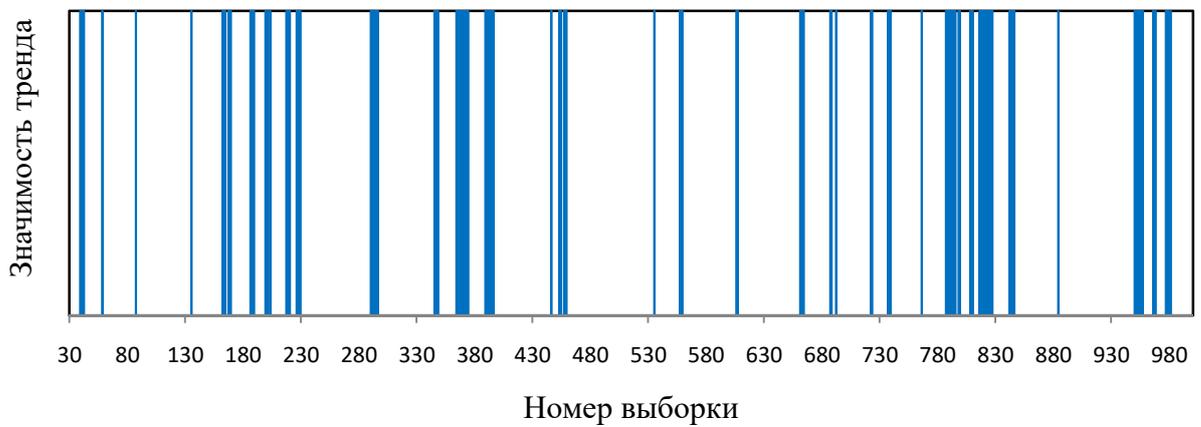


Рисунок Г.1 – Наличие значимого тренда в зависимости от номера выборки (синие полосы); доверительные границы построены без учета автокорреляции. Длина реализации: 1000; длина выборок: 30; $r(1) = 0,25$; номер реализации: 126

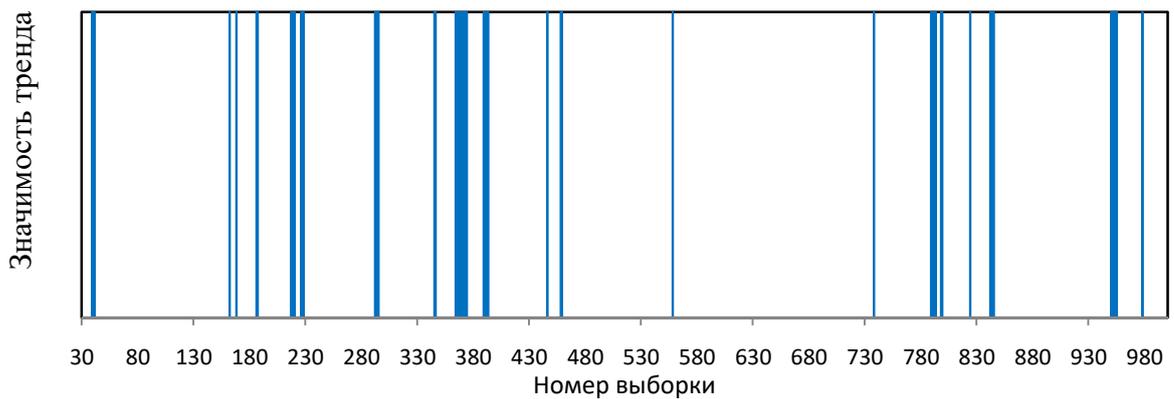


Рисунок Г.2 – Наличие значимого тренда в зависимости от номера выборки (синие полосы); доверительные границы построены с учетом автокорреляции. Длина реализации: 1000; длина выборок: 30; $r(1) = 0,25$; номер реализации: 126

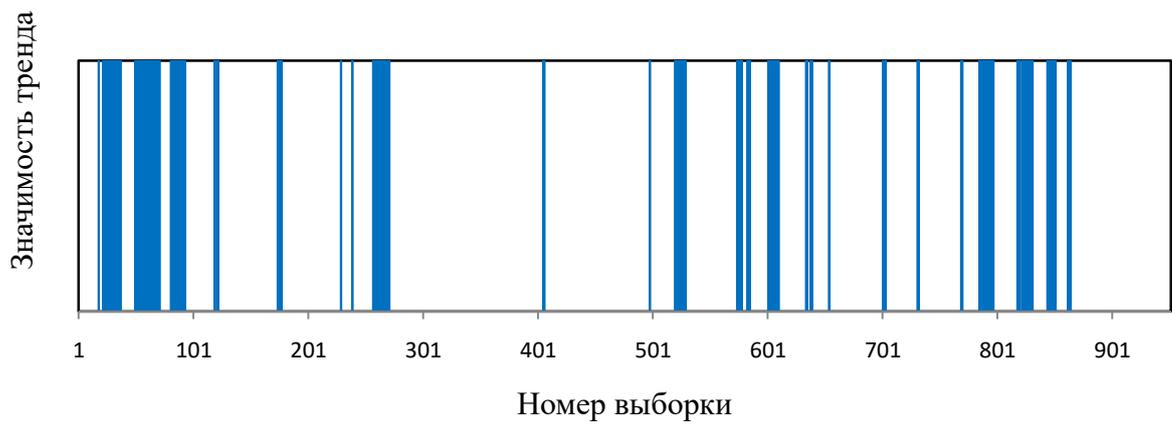


Рисунок Г.3 – Наличие значимого тренда в зависимости от номера выборки (синие полосы); доверительные границы построены без учета автокорреляции. Длина реализации: 1000; длина выборок: 50; $r(1) = 0,25$; номер реализации: 124

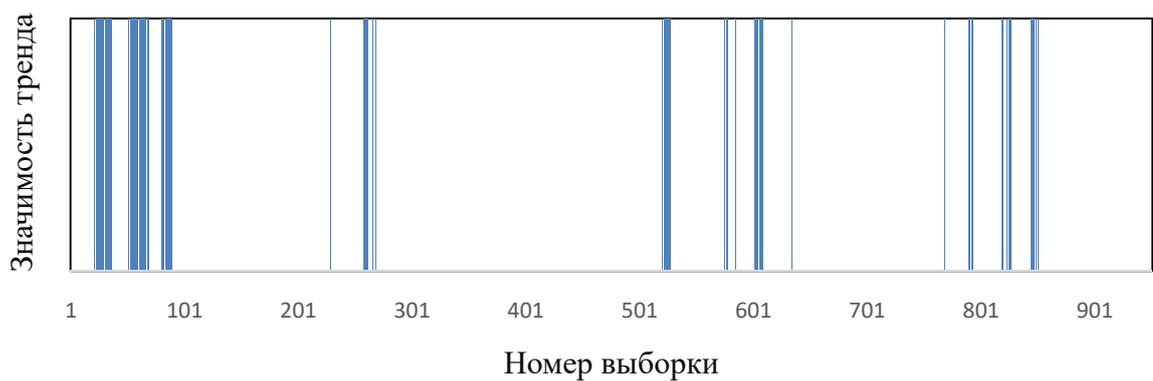


Рисунок Г.4 – Наличие значимого тренда в зависимости от номера выборки (синие полосы); доверительные границы построены с учетом автокорреляции. Длина реализации: 1000; длина выборок: 50; $r(1) = 0,25$; номер реализации: 124

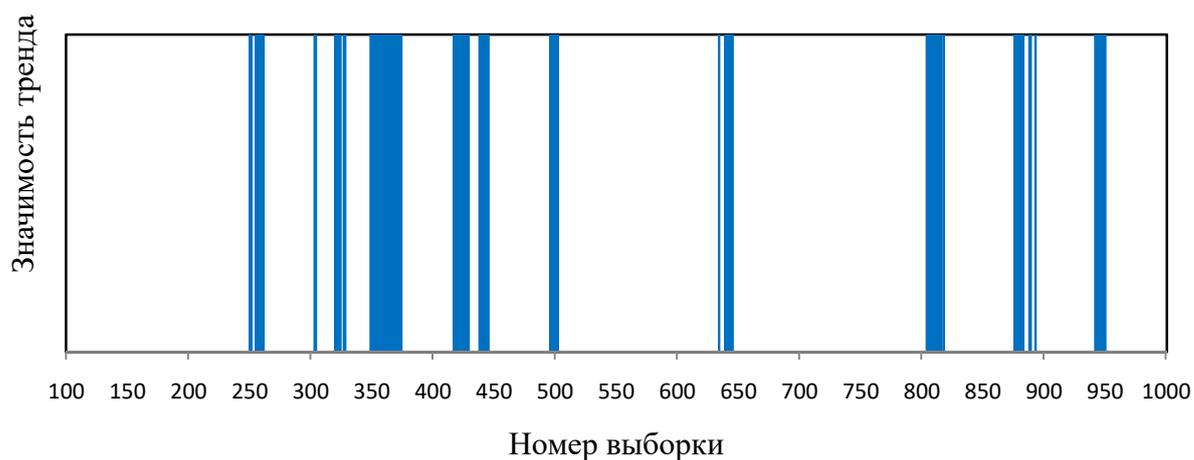


Рисунок Г.5 – Наличие значимого тренда в зависимости от номера выборки (синие полосы); доверительные границы построены без учета автокорреляции. Длина реализации: 1000; длина выборок: 100; $r(1) = 0,25$; номер реализации: 145

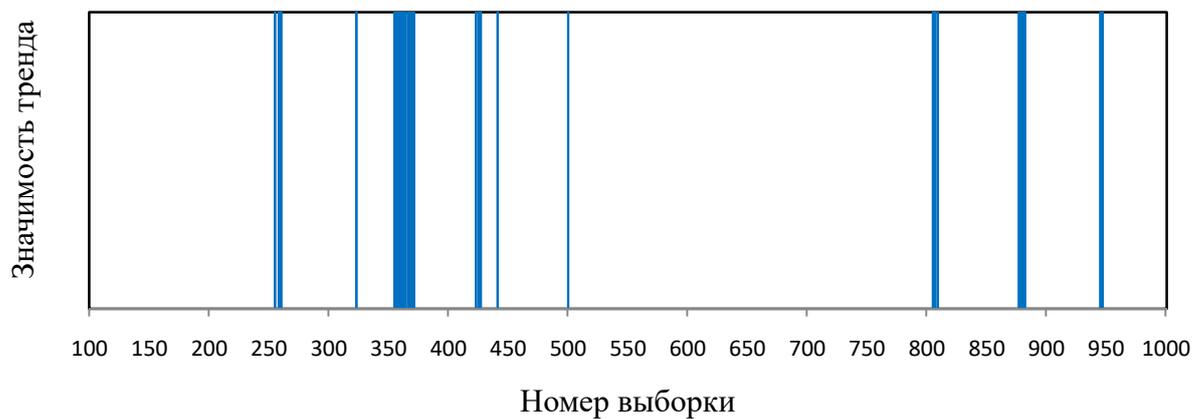


Рисунок Г.6 – Наличие значимого тренда в зависимости от номера выборки (синие полосы); доверительные границы построены с учетом автокорреляции. Длина реализации: 1000; длина выборок: 100; $r(1) = 0,25$; номер реализации: 145

ПриложениеД – Результаты проверки рядов среднегодовых расходов воды рек Северо-Запада РФ на значимость тренда без учета и с учетом автокорреляции

№ п/п	Река – Пост	R	R/σ _R	Значение статистики Стьюдента		Опровержение (+) или неопр. (-) гипотезы H ₀ : R = 0	
				t _{2α}	C _t t _{2α}	t _{2α}	C _t t _{2α}
1	р. Гороховка – пос. Токарево	0,41	3,69	2,00	2,38	+	+
2	р. Сестра – ст. Белоостров	0,35	2,62	2,01	2,39	+	+
3	р. Тосна – ст. Тосно	0,47	4,21	2,00	2,38	+	+
4	р. Охта – д. Новое Девяткино	0,39	2,97	2,01	2,39	+	+
5	р. Дымовка – д. Зайцево	0,38	3,06	2,00	2,39	+	+
6	р. Вьюн – д. Запорожское	0,47	4,11	2,00	2,38	+	+
7	р. Репеша – с. Никульское	0,38	2,54	2,02	2,41	+	+
8	р. Воложба – д. Пареево	0,39	3,38	2,00	2,38	+	+
9	р. Воложба – д. Воложба	0,41	3,98	1,99	2,37	+	+
10	р. Дымка – д. Домачёво	0,28	2,40	2,00	2,41	+	-
11	р. Тигода – ст. Любань ;	0,25	2,17	1,99	2,37	+	+
12	р. Шлина – д. Годыши	0,53	3,8	2,03	2,41	+	+
13	р. Уверь – д. Меглецы	0,38	3,66	1,99	2,37	+	+
14	р. Верешушка – с. Оксочи	0,31	2,17	2,02	2,40	+	-
15	р. Лонница – д. Мосолино	0,32	2,29	2,02	2,4	+	-
16	р. Большой Тудер – д. Бабяхтино	-0,34	-2,98	1,99	2,37	+	+
17	р. Ситня – д. Пески	-0,26	-2,06	2,00	2,38	+	-
18	р. Суйда – д. Красницы	0,49	2,96	2,05	2,44	+	+
19	р. Саба – с. Райково	0,35	2,77	2,00	2,39	+	+
20	р. Плюсса – д. Плюсса	-0,42	-3,84	1,99	2,37	+	+
21	р. Люта – д. Котоши	0,35	2,43	2,02	2,4	+	+
22	р. Руя – д. Малые Рожки	0,29	2,19	2,01	2,39	+	-
23	р. Гдовка – д. Злобино	-0,44	-2,55	2,05	2,44	+	+
24	р. Кудеб – д. Свериково	-0,39	-3,38	2,00	2,38	+	+
25	р. Паша – ниже д. Дуброво	0,27	2,57	1,99	2,37	+	+
26	р. Тихвинка – д. Горелуха	0,29	2,67	1,99	2,37	+	+
27	р. Мста–д. Девкино	0,25	2,38	1,99	2,37	+	+
28	р. Шелонь – д. Заполье	0,26	2,14	2,00	2,38	+	-
29	р. Луга – г. Кингисепп	0,32	2,89	1,99	2,37	+	+
30	р. Плюсса – д. Брод	0,37	2,79	2,01	2,39	+	+
31	р. Сороть – д. Осинкино	-0,35	-2,05	2,04	2,43	+	-
32	р. Череха – с. Сорокина	0,53	3,64	2,03	2,42	+	+
Итого опровержений гипотезы о незначимости тренда (число)						32,0	25,0
Итого опровержений гипотезы о незначимости тренда (в % от числа рядов)						100	78,1
Приращение в %							21,9

ПриложениеЖ – Результаты проверки рядов среднегодовых расходов воды рек бассейна Верхней Волги на значимость тренда без учета и с учетом автокорреляции

№ п/п	Река – Пост	R	R/σ_R	Значение статистики Стьюдента		Опровержение (+) или неопровержение (-) гипотезы $H_0: R = 0$	
				t_{2a}	$C_t t_{2a}$	t_{2a}	$C_t t_{2a}$
1	Р. Волга – ст. Старица	0.21	2.17	1.98	2.42	+	-
2	Р. Молога – ст. Устюжна	0.33	2.96	1.99	2.43	+	+
3	Р. Унжа – г. Макарьев	0.31	3.39	1.98	2.42	+	+
4	Р. Ай – с. Метели	0.4	3.79	1.99	2.43	+	+
5	Р. Мокша – с. Швелёвский Майдан	0.26	2.21	2.00	2.44	+	-
6	Р. Чагодоща – ст. Анисимово	0.53	5.46	1.99	2.43	+	+
7	Р. Чагодоща – ст. Мегрино	0.32	2.64	2.00	2.44	+	+
8	Р. Ока – с. Половское	0.47	4.42	1.99	2.43	+	+
9	Р. Ока – г. Горбатов	0.35	3.26	1.99	2.43	+	+
10	Р. Воря – д. Мишнево	0.6	5.08	2.01	2.46	+	+
11	Р. Лоймина – д. Георгиевское	0.4	3.32	2.00	2.44	+	+
12	Р. Белый Лух – с. Тимошино	0.47	4.14	2.00	2.44	+	+
13	Р. Обнора – с. Шарна	0.24	2.29	1.99	2.43	+	-
14	Р. Лидь – рзд. Тургош	0.31	2.51	2.00	2.44	+	+
15	Р. Песть – д. Мякишево	0.37	3.56	1.99	2.43	+	+
16	Р. Тумба – с. Тумбаже	0.27	1.92	2.01	2.45	+	+
Итого число значимых трендов (значение)						16	13
Число значимых трендов (в % от числа рядов)						100	81.3
Приращение в %							18.8