

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Основные характеристики водосбора.	
1.1 Физико-географическая характеристика бассейна Куйбышевского водохранилища	7
1.1.1 Климат	7
1.1.2 Геология и ландшафты	11
1.1.3 Почвы	13
1.1.4 Растительный покров	16
1.1.5 Подземные воды	19
1.2 Водный режим рек	23
2. Многолетние колебания водности рек	
2.1 Квантильный анализ	27
2.2 Выделение трендов фильтром Баттерворта	40
3. Многолетние колебания водности Куйбышевского водохранилища	
3.1 Методы теории периодически коррелированных случайных процессов	45
3.1.1 Графики многолетних колебаний основного притока Куйбышевского водохранилища	49
3.1.2 График многолетнего колебания сброса Куйбышевского водохранилища	52
3.1.3 График многолетнего колебания уровня воды Куйбышевского водохранилища	53
3.2 Особенности внутригодового хода речного стока	54
3.3 Обобщение результатов анализа временной изменчивости речного стока в терминах вероятностной модели	70
Заключение	75
Список использованной литературы	78
Приложения	
Приложение А Схема гидрологического районирования	80
Приложение Б Среднемесячные расходы воды	82
Приложение В Среднегодовые расходы воды	86
Приложение Г Месячное и годовое количество осадков Куйбышевского водохр.	87

Приложение Д	Среднемесячные и годовые значения уровней воды	88
Приложение Е	Расчет вероятностных характеристик внутригодовой изменчивости для каждого месяца года	89
Приложение Ж	Список постов Куйбышевского водохранилища	101

## ВВЕДЕНИЕ

*Волга* – одна из величайших рек не только России, но и всего мира. Берёт начало на одном из наиболее возвышенных пунктов Валдайского плоскогорья, вытекая из незначительного родника, лежащего посередине болотистых озёр. Затем извилистая долина реки проходит от запада к востоку через всю центральную низменность Европейской России, почти вплоть до предгорий Урала. Протяженность Волги до создания водохранилищ и постройки Волжского каскада ГЭС составляла 3690 км, на сегодняшний день — 3530 км. Волга занимает 6 место по длине среди рек России и 16 место — среди рек всего земного шара, но превосходит по длине все реки мира, впадающие во внутренние водоемы.

Площадь Волжского бассейна 1 млн 360 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет около 1/3 Европейской части РФ. Система бассейна Волги включает 151 тыс. рек, ручьев и временных водотоков общей протяженностью 574 тыс. км. В Волгу впадает 200 притоков.

Питание:

- 60% — талые снеговые воды
- 30% — грунтовые воды
- 10% — дождевые воды (главным образом летом)

Естественный режим характеризуется весенним половодьем (апрель - июнь), малой водностью в период летней и зимней межени и осенними дождевыми паводками (октябрь). Годовые колебания уровня Волги до сооружения каскада гидроузлов достигали у Твери 11 м, ниже Камского устья - 15-17м и у Астрахани - 3 м.

Годовой режим Волги изменился после создания водохранилищ (особенно Рыбинского): в верховьях река стала вскрываться позднее, а в низовьях — раньше, разлив реки и амплитуда колебания уровня воды уменьшилась, весеннее половодье теперь выражено слабее, так как весенний сток контролируется и почти полностью аккумулируется водохранилищами.

Волжско-Камский каскад является крупнейшей транспортно-водно-энергетической системой в Европе, на территории которого располагаются крупные города с развивающейся инфраструктурой.

Расположенное в пределах высокоразвитых Поволжского и Волго-Вятского экономических районов и являясь водоёмом комплексного назначения, Куйбышевское водохранилище играет большую экономическую и районообразующую роль, а также существенно влияет на природу прилегающих территорий. Это основной сезонный регулятор стока на Средней и Нижней Волге. Минимальный же уровень Волги был повышен на 1,9 м. С образованием водохранилища, сформировался сложнейший водохозяйственный комплекс водопотребителей – водопользователей, представляющих различные отрасли народного хозяйства. В результате значительно изменена инфраструктура огромных территорий, прилегающих к водоёму, что способствовало решению многих народнохозяйственных задач. Направление и развитие отраслей народного хозяйства определяется ресурсами водоёма, прежде всего, водными.

Для обеспечения указанных потребностей в воде, в условиях быстрорастущих городов и интенсивно развивающейся промышленности, необходимо иметь сведения о состоянии водных ресурсов данного района. Поэтому целью настоящей работы является изучение водного режима реки в районе Куйбышевского водохранилища.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- а) собрать информацию в различных источниках и подготовить временные ряды расходов воды;
- б) выполнить анализ многолетних колебаний водности рек;
- в) провести анализ внутригодовых колебаний стока рек;
- г) обобщить результаты анализа в терминах адекватных вероятностных моделей.
- д) оценить влияние водохранилищ на естественный режим речного стока;

Для решения поставленных задач в работе использовались данные наблюдений за расходами воды реки Волга по пунктам: Нижнекамская ГЭС (р.Кама), р.Вятка – г.Вятские Поляны, Чебоксарская ГЭС, Жигулёвская ГЭС. Период наблюдений составляет с 1976 по 2010 гг. Данные наблюдений за осадками взяты по метеостанциям расположенных на территории водосбора.

Исходные данные: среднегодовые, среднемесячные расходы воды; среднегодовые, среднемесячные суммы осадков; среднегодовые и среднемесячные уровни воды во всему водохранилищу. Данные приведены в приложении.

Речной сток рассматривается, как вероятностный полициклический процесс с основными энергонесущими зонами в диапазонах частот, соответствующих многолетними ( $T > 1$  года) и внутригодовыми ( $T < 1$  года) колебаниями. Для анализа многолетней изменчивости привлекались ряды среднегодовых расходов, которые рассматривались как стационарные случайные процессы. Также для анализа многолетней изменчивости речного стока использовались ежегодные последовательности значений для характерных месяцев года, которые рассматривались как стационарные случайные процессы. Для их анализа привлекался квантильный анализ данных и методы низкочастотной фильтрации Баттерворта. Для установления особенностей внутригодовых колебаний использовались ряды среднемесячных расходов, которые интерпретировались как периодически коррелированные случайные процессы.

## 1. Основные характеристики водотока

1.1 Физико-географическая характеристика бассейна Куйбышевского водохранилища.

### 1.1.1 *Климат*

Значительная меридиональная протяженность региона обуславливает существенные различия радиационного баланса, режима влажности, осадков и глубины промерзания почвы.

В условиях удаленности бассейна от океанов основное влияние на климат оказывают континентальные воздушные массы, формирующиеся в центре Евразийского материка. Они определяют большую годовую амплитуду температуры, жаркое лето, морозную и довольно продолжительную зиму, короткие переходные сезоны. Велика и внутрисезонная изменчивость температуры – резкие зимние оттепели, весенние возвраты холодов, высокая вероятность летних заморозков, засухи. Смягчающее действие на режим температуры и осадков оказывают вторжения атлантического воздуха. Заметное влияние на режим всех метеорологических величин в прибрежной зоне (5–6 км) создаёт и само Куйбышевское водохранилище. Радиационный баланс в регионе увеличивается в направлении с севера на юг; его средние многолетние значения изменяются в пределах 1350–2100 МДж/(м<sup>2</sup> год). При средних условиях облачности величина баланса составляет 35–40 % приходящей суммарной солнечной радиации. Отрицательные среднемесячные значения радиационного баланса наблюдаются в период с ноября по февраль. Наименьшие их значения чаще всего отмечаются в январе – от –46 МДж/(м<sup>2</sup> мес) на севере до –3 МДж/(м<sup>2</sup> мес) на юге. С марта по октябрь баланс положителен и максимален в июне (330–360 МДж/(м<sup>2</sup> мес)). Средняя годовая температура воздуха в пределах бассейна увеличивается от 3,0 °С в районе Казани до 9,5 °С в устьевой области Волги. Разность между средней месячной

температурой самого теплого и холодного месяцев составляет 30–40 °С, возрастая к востоку бассейна. Первые заморозки на севере бассейна могут наблюдаться в среднем с середины сентября. Период с положительными температурами почвы короче безморозного периода на 2–3 недели. В теплый период года распределение температур воздуха в большей степени соответствует географической широте местности. Средняя температура самого теплого месяца (июль) изменяется от 19 до 25 °С, возрастая к югу. Наибольшие средние и абсолютные максимумы температуры также наблюдаются в июле. В среднем они изменяются соответственно от 25 до 30 °С и от 38 до 42 °С.

Многолетние наблюдения свидетельствуют о значительной межгодовой изменчивости средних месячных температур во все сезоны. Сумма осадков по территории бассейна распределена неравномерно. Годовые суммы изменяются с севера на юг от 600 мм и более до 20 мм и менее. На одной и той же широте осадки на левобережье Волги несколько меньше по сравнению с правобережными районами бассейна. В районе Жигулевских гор количество осадков больше во все сезоны года, что связано с орографическим эффектом их увеличения. По степени увлажнения бассейн Куйбышевского водохранилища относится к зоне достаточного увлажнения – здесь количество осадков превышает испарение. Средняя разность годовой суммы осадков и испаряемости может изменяться от 200 до –100 мм (в отдельные засушливые годы). Режим осадков в холодный период обусловлен циклонической деятельностью. Интенсивность осадков уменьшается по сравнению с теплым периодом, а число дней с осадками – возрастает. Сумма осадков с ноября по март равна 100–150 мм. В районах Жигулевских гор и Бугульминско-Белебеевской возвышенности до 150–200 мм. Меньше всего выпадает осадков в феврале. Летом осадки связаны с циклонической деятельностью и внутримассовой конвекцией. Осадки могут быть обложными и ливневыми. Всего за теплый период выпадает до 300 мм на севере бассейна. В пределах Жигулевских гор и возвышенностей Заволжья сумма осадков возрастает. Межгодовая изменчивость средних годовых сумм осадков довольно велика и

составляет 20–30%. Годы с достаточным увлажнением могут сменяться годами с длительными засушливыми сезонами.

Для сезонного распределения осадков характерно отсутствие ярко выраженных направленных изменений в последние десятилетия. Появление снежного покрова наблюдается в последней декаде октября, устойчивый снежный покров образуется к концу ноября. Зимой высота снежного покрова постепенно возрастает и достигает наибольших значений к марту. Наибольшая за зиму средняя высота снежного покрова составляет 30–50 см. Пространственная изменчивость высоты снежного покрова и запаса воды в снеге довольно велика. Она зависит от орографических факторов, наличия растительности, режима ветра, других физико-географических особенностей местности. К началу весны запас воды в снежном покрове максимален и достигает 130–140 мм к северу от Камского залива Куйбышевского водохранилища (до 170 мм на защищенных участках). Южнее, в левобережной части бассейна, запас воды в снежном покрове резко уменьшается (до 80–140 мм). В последние годы наметилась тенденция уменьшения числа дней со степенью покрытия местности снегом более 50%. Плотность снежного покрова по территории меняется незначительно и составляет 210–250 кг/м<sup>3</sup>. В годы с частыми метелями и оттепелями плотность возрастает. Влажность воздуха определяется сочетанием влияния крупномасштабных особенностей атмосферной циркуляции, радиационного баланса и местных факторов. Парциальное давление водяного пара составляет в среднем за год 7–8 гПа. Наименьшие его средние месячные значения (2–3 гПа) наблюдаются в январе. В теплый период года влагосодержание воздуха возрастает в несколько раз. Максимальные средние месячные значения парциального давления достигают 14–15 гПа. В среднем за год относительная влажность воздуха в регионе составляет 70–75%, уменьшаясь с севера на юг. В холодный период она возрастает до 80–85%. В теплое время года относительная влажность снижается до 50–60%.

В холодный период года воздух приближается к состоянию насыщения; дефицит влажности уменьшается на фоне низкой температуры. Минимальные значения дефицита (0,4–0,6 гПа) отмечаются в декабре – январе. Возрастание дефицита влажности с севера на юг от 8–9 гПа до 17 гПа и больше продолжается до июня – июля.

В холодный сезон и в среднем за год в северной и центральной части бассейна преобладают ветра южных румбов. Летом их роль уменьшается, заметно возрастает повторяемость ветров северных направлений. Суточный ход изменения скорости ветра лучше выражен в теплое время года. Увеличение скорости ветра характерно для дневных часов. Средние месячные скорости ветра заметно больше в холодное время года (3,5–4,5 м/сек), в теплый сезон – они на 0,5–1,0 м/сек меньше. На возвышенностях, открытых пространствах, в том числе над водохранилищами, скорость ветра примерно на 0,5–1 м/сек больше по сравнению с другими типами ландшафтов. Средняя максимальная скорость ветра на большей части территории составляет 20–25 м/сек. При порывах она может возрастать до 30–40 м/сек и больше. Для бассейна Нижней Волги характерны суховеи – ветры со скоростями более 5 м/сек, большим дефицитом влажности и ее относительными значениями меньше 30%, температурой воздуха выше 25 °С. Повторяемость суховеев возрастает с севера на юг и юго-восток. Наиболее часто суховеи возникают по периферии антициклона и являются результатом местной трансформации воздушных масс над степями юга и юго-востока ЕТР. В Татарстане число дней в году с суховеями достигает 14, в Ульяновской области – 19.

Средняя глубина промерзания грунтов в бассейне обычно не превышает 1 м. На севере района в бассейне р. Большой Черемшан глубина промерзания почвы составляет 0,9–1,1 м. На западных отрогах Бугульминско-Белебеевской возвышенности глубина промерзания почв составляет 0,65–0,75 м. На правобережье Волги глубина промерзания равна 0,6–1,0 м. В наиболее холодные и малоснежные зимы глубина промерзания в бассейне р. Большой Черемшан составляет до 1,5 м и более; на западных склонах Бугульминско-

Белебеевской возвышенности и Общего Сырта – 1,0–1,2 м. В сравнительно теплые и малоснежные зимы промерзание почвы по бассейну распространяется на глубину до 0,2 м. Испаряемость в бассейне Нижней Волги возрастает с северо-востока на юго-запад от 600 мм до 1000 мм. Средняя годовая разность осадков и испаряемости, характеризующая увлажненность территории, меняется от –50 до –100 мм на севере бассейна и от –600 до –700 мм в дельте Волги, что связано с уменьшением количества осадков и ростом температуры. Суммарное годовое испарение с поверхности почвы в бассейне Куйбышевского водохранилища составляет 450–500 мм (75–85 % годовой суммы осадков). Большая часть влаги испаряется в период с апреля по май.

### *1.1.2 Геология и ландшафты*

Бассейн Нижней Волги полностью относится к внеледниковой области Восточно-Европейской равнины. Правобережье Волги занимает узкая полоса восточного ската Приволжской возвышенности. Низкое Заволжье занимает зону по левому берегу Волги от Казани, где его ширина не превышает 15–20 км, до Прикаспийской низменности (ширина до 100 км и более). В геотектоническом отношении эта территория неактивна на современном этапе ее развития. Как депрессия рельефа она формировалась под влиянием Волги и других рек. Депрессия заполнена аллювием Волги плиоцен-четвертичного возраста и морскими отложениями каспийских ингрессий. Выступ Жигулевской возвышенности делит Низкое Заволжье на две части – северную (Казанско-Мелекесская низина) и южную (Саратовское Низкое Заволжье). К востоку поверхность повышается, образуя переходную к Уралу полосу интенсивно расчлененных возвышенностей – Высокое Заволжье. В пределах Нижневолжского бассейна находится юго-западный край этой области, представленный юго-западными отрогами Бугульминско-Белебеевской возвышенности и западным краем Общего Сырта с окаймляющими его более низкими возвышенностями (Сыртовое Заволжье).

В пределах Нижней Волги выделяются две орографические области: древнеледниковые и внеледниковые районы и морские равнины юга Восточно-Европейской равнины. Различия в их рельефе обусловлены особенностями строения и истории развития. Вятское Прикамье, в основном, находится в пределах бассейна Камы. Эти эрозионные равнины заходят в бассейн Нижней Волги своим юго-западным краем. Более существенна роль Приволжской возвышенности. В ее пределах русло реки прижато к правому берегу, что обуславливает его разрушение. Общая величина смещения русла Волги за четвертичный период к западу составляет около 100 км. Этот процесс обуславливает неоднородности строения возвышенности (Жигулевский вал), где существуют большие перепады высот (175–215 м) между водораздельными плато и пониженной частью речной долины. В районе активны процессы линейной эрозии, значительна густота и глубина эрозионного расчленения береговых возвышенностей (Богородские горы (выше устья Камы), Щучьи и Ундорские горы (выше Ульяновска)) и др. Местами развит карст.

В средней части Приволжской возвышенности находится полого наклоненное к югу плато (Жигули) с отметками высот 340–371 м и относительным превышением над уровнем Волги до 349 м. Плато подвержено сильной склоновой и овражной эрозии. В пределах Жигулевской возвышенности развит активный карст. В юго-западной части Бугульминско-Белебеевской возвышенности и в пределах Самарского Высокого Заволжья выделяются Кинельские, Сокольи горы, а также Сокские яры. Сыртовое Высокое Заволжье – возвышенные плоские поверхности (плато), обычно слабоволнистые или равнинные. Основную часть района занимает возвышенность Общий Сырт – денудационная равнина, сложенная горизонтальными пластами терригенных (глинистых и песчано-мергелистых), карбонатных и галогенных пород пермского возраста. Поверхность возвышенности имеет полого увалистый валлообразный характер. Средние высоты местности достигают 300–380 м. К востоку они возрастают до 400–500 м. Рельеф возвышенности здесь пересеченный, грядово-холмистый. Долины

рек глубоко врезаемые и крутосклонные. Высоты местности убывают в юго-западном направлении до 30–50 м. Речные долины вытянуты в северозападном – юго-восточном направлении (в соответствии с ориентацией древних тектонических структур). Казанско-Мелекесская низина относится к северной части Низменного Заволжья – района современной и древней долины Волги. К руслу реки примыкает пойменная терраса с озерами, старицами и протоками. Надпойменные террасы имеют высоту от 15–30 до 100 м над урезом воды и ширину до 30–35 км. Эрозионное расчленение слабое: густота овражно-балочной сети не превышает 0,4 км на 1 км<sup>2</sup>. Местная речная сеть развита слабо, характерны суходолы, безводные летом.

### *1.1.3 Почвы*

Бассейн Нижней Волги находится в пределах зоны серых лесных почв и черноземов (оподзоленных, выщелоченных и типичных), черноземов лесостепи (Нижекамская провинция), черноземов степи (обыкновенные и южные) (Заволжская провинция), темно-каштановых и каштановых почв сухой степи (Сыртово-Заволжская провинция), светло-каштановых и бурых почв полупустыни (Прикаспийская провинция). Почти половину территории района (47 %) занимают глинистые и тяжелосуглинистые почвы. Среднесуглинистые почвы покрывают 13% площади региона; на легкосуглинистые, супесчаные и песчаные почвы приходится по 5–6 %.

Объемная плотность основных типов почв изменяется от 1,24 до 1,62 г/см<sup>3</sup>, т. е. они сильно уплотнены. Плотность черноземов находится в пределах от 1,24 до 1,38 г/см<sup>3</sup> (включая лугово-черноземные почвы). Для аллювиально-луговых почв достигает 1,61 г/см<sup>3</sup>, для серых лесных почв она равна 1,37 г/см<sup>3</sup>, а плотность темно-каштановых почв составляет 1,25 г/см<sup>3</sup>. Серые лесные почвы формируются на севере региона. Подзона их сплошного распространения ограничена долиной р. Кама. Южнее ареалы серых лесных почв встречаются обособленными контурами, проникающими к югу до долины р. Самара, в зоне распространения черноземов выщелоченных и оподзоленных.

Черноземы Поволжья и Предуралья располагаются в двух природно-географических (ландшафтных) зонах – лесостепной и степной. К лесостепной зоне приурочены черноземы оподзоленные и выщелоченные, а также типичные; к степной зоне – черноземы обыкновенные и южные. Северным рубежом распространения черноземов является долина р. Кама. Сухостепная зона в Нижнем Поволжье выделяется по преобладанию в почвенном покрове темно-каштановых и каштановых почв к югу от черноземной зоны. Строение почвенного профиля, степень дифференциации генетических горизонтов и гранулометрический состав существенно влияют на подвижность почвенной влаги и почвенных растворов. В весеннее время запасы влаги близки к наименьшей влагоёмкости или превосходят её величину. Максимальные запасы влаги весной сосредоточены в слое 20–40 см (на границе раздела верхних генетических горизонтов, резко различающихся по гранулометрическому составу и физическим свойствам). В середине лета происходит сильное снижение влаги в слое 0–12 см. Осенью наблюдается постепенное увеличение запасов влаги в верхнем полуметровом слое. В вегетационный период величина полевой влагоёмкости постепенно уменьшается во времени. Поэтому весной серые лесные почвы способны удерживать большее количество влаги по сравнению с осенью. Черноземы лесостепной зоны делятся на оподзоленные, выщелоченные и типичные. Черноземы оподзоленные не образуют подзоны, в которой они бы преобладали в почвенном покрове. Обычно они находятся на территориях, смежных с выщелоченными чернозёмами, занимая при этом относительно повышенные их участки. На крутых склонах Приволжской возвышенности, часто сложенных преимущественно глинистыми отложениями с прослоями песка и мергелей, чернозёмы значительно смыты и имеют маломощный профиль. Оподзоленные черноземы, как правило, распаханы; частично они находятся под естественными сенокосами и пастбищами. Характерными чертами морфологического строения оподзоленных черноземов являются признаки элювиально-иллювиальной дифференциации профиля почвы. В степной зоне преобладают обыкновенные черноземы

среднегумусные и черноземы южные малогумусные. Они занимают 90–95 % площади этого региона. Другие почвы (аллювиальные, лугово-черноземные почвы и борные пески под сосновыми борами, солонцовые комплексы) распространены на 5–10 % площади степей. Для черноземов обыкновенных характерен хорошо развитый слабо уплотненный гумусовый горизонт. Он укорочен (30–40 см) в условиях пересеченной местности. Уменьшение содержания гумуса с глубиной происходит постепенно.

Лугово-черноземные почвы формируются на не дренируемых поверхностях надпойменных террас, в нижних частях склонов и в замкнутых понижениях. Они имеют довольно мощный гумусовый горизонт (около 60 см) с хорошей зернистой структурой и высоким содержанием гумуса (8–10 %). Нижняя часть почвенного профиля оглеена, что связано с близким расположением грунтовых вод (на удалении 2,5–5 м от дневной поверхности). Гранулометрический состав почв – тяжелосуглинистый. Они характеризуются гумусовым горизонтом 30–45 см с содержанием гумуса 3,5–4,5 %. Гипс и растворимые соли встречаются с глубины 1,5–2 м. В почвах солонцового рода отмечается значительное уплотнение нижней части гумусового горизонта, появление столбчатой структуры. Содержание гумуса снижается примерно на 0,5–1,0%; нижняя часть гумусового горизонта всегда уплотнена. Залегание солевого горизонта характерно для верхнего метрового слоя.

В хозяйственный оборот вовлечено более 70% общей территории бассейна. Это привело к изменению свойств почвенного покрова. В естественном состоянии почвы сохранились на 17% территории района. Почвы, относительно слабо используемые в хозяйственной деятельности, покрывают 12% его площади. На 28 % территории севера региона распространен периодически промывной режим, который характерен для почв территорий, где количество выпадающих осадков примерно равно испарению. В годы с повышенной увлажненностью преобладает промывной, а в засушливые годы – непромывной водный режим.

На основной части района, почвы характеризуются оптимальной дренированностью (вода просачивается в почву легко, но не быстро). В этом случае почва сохраняет оптимальное количество влаги, ее увлажнение в целом не препятствует развитию корневой системы растений. Около 9% бассейна Нижней Волги покрыто чрезвычайно интенсивно дренируемыми песчаными почвами и песками (вода очень быстро удаляется из почвы). Почвы со сравнительно хорошей дренированностью занимают около 9% территории. Для них характерно более медленное удаление влаги из почвы. На глубине развития корневой системы почва остается влажной относительно короткое время.

Валовые содержания тяжелых металлов в донных отложениях определяются в основном содержанием тонкодисперсных фракций и минералогическими особенностями донных осадков. По сравнению с почвами они относительно обогащены свинцом и медью и относительно обеднены цинком. Повышенные концентрации ионов тяжелых металлов локально характерны для почв Республики Татарстан, Саратовской и Самарской областей.

#### *1.1.4 Растительный покров.*

Растительный покров бассейна Нижней Волги отличается большая пространственная неоднородность, сильная трансформация под влиянием хозяйственной деятельности. Территория в основном распахана и занята сельскохозяйственными культурами и угодьями. Естественный растительный покров сохранился на охраняемых природных территориях. Закономерности распределения и регионального разнообразия растительности характеризует наличие четырех экорегионов в пределах бассейна Нижней Волги: Днепровско-Приволжский (широколиственные и сосновые леса), Заволжский (лесостепь с фрагментами широколиственных лесов), Заволжско-Казахстанский (степь) и Прикаспийский (пустыня). В пределах степной части бассейна долина реки пересекает несколько подзон, отличающихся по степени увлажнения. Общая площадь бассейна Нижней Волги составляет 279,4 тыс. км<sup>2</sup>, из них 13%

занимают широколиственные леса, 20% – лесостепи, 43% – степи, 24% – пустыни и полупустыни.

Относительно небольшая северо-западная часть бассейна Нижней Волги относится к Днепровско-Приволжскому экорегиону восточноевропейских широколиственных лесов. Леса занимают полосу Приволжской возвышенности от Саранска до Казани. К востоку от Волги и южнее леса встречаются отдельными массивами, чередуясь с участками луговых степей (лесостепей – 20%). На север они продвигаются по долинам малых рек, встречаясь отдельными фрагментами среди широколиственно-хвойных лесов. Волга – рубеж, ограничивающий зону развития широколиственных лесов. До Волги распространены многие среднеевропейские виды древесной растительности (ясень, клен полевой). Этому рубежа не достигают многие кустарники (бузина черная, барбарис, бересклет европейский) и травянистые растения. В широколиственных лесах господствуют дуб и липа с небольшим участием вяза, клена, осины. Дубово-липовые леса занимают возвышенные места, характерны для высоких правобережных берегов рек. Во втором ярусе этих лесов много ильма и клена, в подлеске обычны лещина, жимолость и бересклет. Различают зеленчуковые, ясенниковые, снытьевые, пролесниковые, реже осоковые типы дубово-липовых лесов. Травяной покров состоит из групп различных видов. Наиболее типичной и многочисленной является группа мезофильных европейских и евразийских широколиственных видов: сныть, яминник, зеленчук, звездчатка, копытень. Их состав также включает осоки (волосистая, лесная) и злаки (бор, овсяница, мятлик). Во влажных местообитаниях обильны папоротники. У южной границы зоны широколиственных лесов усиливается роль лесостепных и прерийных видов растительности.

Группы травянистых растений широколиственных лесов представлены в основном ранне- и летнецветущими длительно-вегетирующими растениями, эфемероидами (хохлатки, ветреницы, чистяк и гусиный лук). Многие виды обладают подснежным развитием. Это возможно благодаря наличию в широколиственных лесах мощной подстилки, снежного покрова, большой

влажности и теплоемкости почвы. Моховой покров практически не выражен или представлен отдельными фрагментами. Для южной части Приволжской возвышенности характерны небольшие участки дубрав с участием сосны и таежных видов в травяном покрове. Сложные дубравы приурочены к повышенным междуречьям. Ближе к Волге преобладают липово-дубовые зеленчуковые, снытьевые и волосистоосоковые леса с участием ясеня. На левобережье нижней Волги широколиственные леса тяготеют к районам возвышенностей Высокого Заволжья. Господствующим типом растительности здесь являются кленово-липово-дубовые снытьевые леса. Липовые леса сохранились в районах Высокого Заволжья, на Самарской луке. Для лесостепи, северной части степной зоны характерны особые типы дубрав, отличающиеся по приуроченности к определенным местообитаниям. Нагорные дубравы с подлеском из клена полевого занимают высокие берега рек, местами заходят на водоразделы. В поймах рек развиты пойменные дубравы с участием вяза и ольхи черной, в травяном покрове преобладают папоротники и влаголюбивое разнотравье. Максимальным видовым разнообразием выделяются массивы сосновых лесов Жигулей. Большая часть широколиственных дубовых и других (тополевых, ивовых, ольховых) пойменных лесов, распространенных в долине Волги и ее притоков, выполняют средообразующие и средозащитные функции, относятся к высшей категории водоохранных лесов. Среди них выделяются площади особой охраны в местах нерестилищ ценных промысловых рыб. В небольшой по площади полосе широколиственных лесов лесопокрываемые площади в бассейне Нижней Волги составляют: в приволжской части – 18%, в заволжской лесостепной части – достигают 20%, в полосе степей их доля снижается до 5%. Леса отсутствуют в южной (пустынной) части бассейна. По площади преобладают сосновые леса (26,1% площади). Основные массивы этих лесов сосредоточены в Ульяновской области. Дубовые (23,0%) и широколиственные (17,1%) леса распространены относительно равномерно в пределах полосы широколиственных лесов и лесостепи. Значительные их массивы находятся на территории Татарстана. Лесостепи в бассейне Нижней

Волги относятся к Заволжскому экорегиону (20% площади бассейна). Они располагаются к востоку от Волги и занимают Бугульминско-Белебеевскую возвышенность, частично территорию Общего Сырта. В прошлом кленово-липово-дубовые леса занимали здесь большие площади. Оставшиеся массивы широколиственных лесов представлены в основном производными березовыми и дубово-березовыми лесами. Во многих местах развиты каменистые кустарниковые степи по склонам сыртов; дубово-липовые кустарниковые остепненные сообщества характерны для крутых каменистых склонов сыртов, особенно на выходах известняков.

Современные леса в пределах лесостепи развиваются только на небольших (наиболее увлажненных) участках. В естественном растительном покрове преобладают остепненные луга и луговые степи с густым и высоким травостоем из дерновинных злаков и богатого разнотравья. На возвышенностях степи сочетаются с массивами широколиственных лесов. Луговые степи относятся к наиболее высокопродуктивным естественным растительным сообществам умеренного пояса. Степные типичные (и сухостепные) ландшафты характерны для внутриматериковых пространств с континентальным (а также с резко континентальным) климатом и дефицитом влаги. Характерная черта степных ландшафтов – безлесие. Граница между степной и сухостепной зонами проходит в районах Среднего Поволжья. Зональные изменения ландшафтов не имеют резкого характера. В условиях распаханности до 60–70 %, граничные различия ландшафтов выражены слабо. Степные ландшафты распространены преимущественно на сильно эродированных возвышенностях.

#### *1.1.5 Подземные воды*

В гидрогеологическом отношении территория относится к Восточно-Русскому артезианскому бассейну. В его пределах выделяются артезианские бассейны второго порядка: Камско-Вятский, Сыртовский. Естественные ресурсы подземных вод с площади района 556 тыс. км<sup>2</sup> ориентировочно

составляют 5,4 км<sup>3</sup>/год (170 м<sup>3</sup>/сут). Средний модуль равен 0,3 л/сек км<sup>2</sup>). Степень освоения запасов подземных вод на участках с оцененной их величиной составляет всего 10,2%. Сыртовский артезианский бассейн охватывает практически всю центральную и восточную части района. Основные водоносные горизонты в пределах бассейна относятся к четвертичным и неогеновым отложениям (пески), юрским и триасовым породам (пески, песчаники), пермским отложениям (песчаники, алевролиты, аргиллиты). На отдельных участках самостоятельное значение имеет водоносный горизонт в известняках и доломитах каменноугольного и пермского возраста. Камско-Вятский артезианский бассейн занимает небольшую территорию региона.

Основные водоносные горизонты в этом бассейне приурочены к пермским отложениям. В разрезе пермских отложений выделяется ряд водоносных горизонтов в терригенных отложениях (песчаники, пески, алевролиты и аргиллиты) и карбонатных породах (известняки, доломиты). Большое значение в долинах рек имеют водоносные горизонты аллювиальных отложений.

В Самарской области водонасыщенные отложения акчагыльского возраста представлены прослоями песков и песчано-глинистых пачек общей мощностью от 4-5 до 50-60 м.

Водообильность водоносного комплекса изменяется по территории. На правом берегу Волги (район г. Ульяновск) воды палеоценовых отложений – основной источник питания рек и водоснабжения. Отложения мелового возраста широко распространены на правом берегу Волги от Ульяновска до Саратова и в Прикаспийской низменности. Верхнемеловые отложения представлены комплексом мергельно-меловых и песчаных пород, характеризующихся разной степенью обводнённости. В области Общего Сырта водовмещающими породами являются мелко- и среднезернистые пески, мергели и опоки общей мощностью от 7 до 82 м. Воды напорные (величина

напора колеблется от 10 до 80 м); удельный дебит скважин составляет 0,04–0,6 л/сек.

Отложения нижнемелового возраста распространены преимущественно на Приволжской моноклинали (направление от Ульяновска к Саратову), где они представлены мелкозернистыми песками и песчаниками. В этих отложениях залегают напорные воды. Отложения юрского возраста представлены верхнеюрскими, среднеюрскими и нерасчлененными верхне-среднеюрскими отложениями. Воды верхнеюрских отложений приурочены к прослоям мергелей, мергелистых песчаников и глинистых сланцев (мощность 1,3– 1,5 м), залегающих в Саратовско-Ульяновском Поволжье. В Самарской области грунтовые и слабонапорные воды накапливаются в мелкозернистых песках с прослоями глин и известковистых песчаников общей мощностью 25–30 м. На юго-западном склоне Общего Сырта разгружаются среднеюрские отложения. Дебит источников мал, а вода отличается пониженным качеством (минерализация до 5 г/л, хлоридно-сульфатный класс натриевая группа). Водоносный горизонт в нижней их части сложен песками, прослоями песчаников. В пределах региона распространены нижнетриасовые отложения, представленные мелко- и среднезернистыми песками с прослоями песчаников и линзами конгломератов (Общий Сырт, юговосток Самарской области). Водообильность нижнетриасовых отложений относительно мала. Удельные дебиты скважин не превышают 0,5 л/сек.

В зоне интенсивного водообмена находятся породы четвертичного возраста, мощная толща которых сформировалась в условиях неоднократных трансгрессий Каспийского моря. Региональный подземный сток ориентирован от бортовых зон бассейна к центру, локальный – к местным очагам разгрузки. Разгрузка происходит по всей площади бассейна и осуществляется в море, а также по зонам региональных разломов и речным долинам. Подземные воды формируются в различных генетических типах четвертичных отложений. Наиболее распространены морские четвертичные отложения каспийских трансгрессий. Водоносны гидравлически связанные между собой песчаные

прослой и линзы суммарной мощностью от 2–10 до 10–15 м среди суглинков и глин, общая мощность которых не превышает 30–40 м. Минерализация и химический состав вод чрезвычайно изменчивы (при преобладании соленых хлоридно-натриевых вод). Модули стока подземных вод изменяются от менее 0,1 до 0,1–0,5 л/сек км<sup>2</sup>. Исключение составляют площади интенсивного развития лиманов, где подземный сток в аллювиально-морских четвертичных отложениях может составлять 0,5–1 л/сек км<sup>2</sup>. Подземный сток эоловых четвертичных отложений формируется в пределах многочисленных песчаных массивов, приуроченных к современным и древним долинам рек. Мощность водонасыщенных песков изменяется от 1,5 до 10 м. Модуль подземного стока в эоловых песчаных массивах и подстилающих морских четвертичных песчано-глинистых отложениях составляет в среднем 0,1–0,5 л/сек км<sup>2</sup>. Наиболее благоприятные условия формирования подземного стока характерны для аллювиальных отложений речных долин. Общая мощность аллювия колеблется от 2 до 5 м (долины мелких рек) до 30 м (иногда до 50–60 м, долины крупных рек). В долине Волги она возрастает до 100–120 м. Глубина залегания грунтовых вод изменяется от 0,5–5 м (на пойме) до 15–20 м (высокие террасы). Коэффициент фильтрации уменьшается от верховьев рек к их устьям. Минерализация и химический состав вод отличаются большой пестротой. В низовьях почти всех рек минерализация увеличивается до 10 г/л и более. Питание вод осуществляется за счет фильтрации речных вод, в меньшей степени – инфильтрации атмосферных осадков. Средняя величина инфильтрации изменяется от 10 до 60 мм/год. Величина модуля подземного стока в аллювиальных отложениях изменяется от 0,1–0,5 до 1–2 л/сек км<sup>2</sup>, значительно уменьшаясь вниз по течению рек. На отдельных участках в долине Волги величина модуля превышает 3 л/сек км<sup>2</sup>. В Нижневолжском районе она колеблется в пределах от менее 0,1 до 1–2 л/сек км<sup>2</sup>. В районе расположения морских четвертичных и меловых водоносных комплексов модуль подземного стока изменяется от 0,6–0,5 л/сек км<sup>2</sup> на севере и северо-востоке до 0,3–0,1 л/сек км<sup>2</sup> на юге и юго-западе. На северо-востоке района (с максимумом

атмосферных осадков и наибольшим расчленением рельефа) в аллювиальных водоносных отложениях формируются большие величины модуля подземного стока (около 0,9–2 л/сек км<sup>2</sup>). В песчаных массивах эолового генезиса модули подземного стока могут превышать 0,5 л/сек км<sup>2</sup>. В пределах же развития эоловых отложений на морских (более глинистых) отложениях модули подземного стока в песчаных массивах составляют в среднем 0,1–0,3 л/сек км<sup>2</sup>.

## 1.2 Водный режим водохранилища

Гидрологическая изученность бассейна Куйбышевского водохранилища характеризуется числом и продолжительностью действия гидрометрических постов. Схема расположения гидрологических постов приведена на рисунке 2.1.

Водная масса водохранилища непрерывно находится в изменении, в связи с колеблющимися соотношениями между приходом и расходом. Приход воды в Куйбышевское водохранилище складывается из поверхностного и подземного притоков и атмосферных осадков. Расход воды складывается из поверхностного и подземного стока и испарения с поверхности водохранилища.

Наблюдения над уровнем и расходами воды на реках бассейна Нижней Волги были начаты в 1876 г. В бассейне работало 359 постов, 10 % которых относятся к дополнительной (ведомственной) сети. Период наблюдений на этих постах колеблется от 1 года до 120 лет.

К основным гидрографическим характеристикам водосборов, влияющим на речной сток, относятся площадь бассейна, гидрографическая длина водотока (расстояние от истока и от устья), средняя высота водосбора, лесистость, заболоченность, озерность, доля урбанизированных территорий, распаханность и закарстованность. Из них первые четыре приводятся в справочнике ОГХ, а первые три входят в расчетные уравнения гидрологических расчетов при отсутствии данных наблюдений.



Рисунок 2.1 – Схема расположения гидрологических постов

В целях наиболее рационального использования и эффективного использования водоёма, необходимо знать соотношение количества водных масс, поступающих в чашу водоёма и расходуемых из неё, иными словами, необходимо знать водный баланс данного водоёма.

Так, приходная часть состоит из притока по основным рекам – Волге и Каме, по малым рекам и осадкам.

Самый большой приток воды (90-95%) в водохранилище идет по Волге и Каме.

Вторая по значимости и абсолютной величине составляющая приходной части – боковой приток по малым рекам (3-8%). Остальные 1-2% приходятся на осадки, подземный приток и т.д. Основная доля годового бокового притока приходится на апрель – она составляет около 25% всего общего притока за этот месяц. В другие месяцы, доля бокового притока равна 2-3%.

Осадки, выпадающие на зеркало водохранилища, непосредственно увеличивают приходную часть водного баланса. Однако значение, сравнительно невелико. В среднем за год сумма осадков, выпадающих на водохранилище, составляет около 1,5-2%.

Расходная часть водного баланса водохранилища включает в себя сбросы через водосливную плотину и донные отверстия ГЭС, использование воды на работу агрегатов ГЭС и на шлюзование. В расходную часть баланса входят также фильтрация через тело плотины и под сооружения и испарение воды с акватории водохранилища.

Основное место в расходе занимает сток через сооружения гидроузла (94-98%). Только на работу агрегатов ГЭС этого количества затрачивается 82-86%. Расход воды на питание шлюзов за год составляет 0,2-0,5% от общего стока.

Смена водных масс в водохранилище, равных объёму накопленной воды в течении года, осуществляется более чем четыре раза, а в отдельные годы - до шести раз.

В расходную часть водного баланса, также входит и испарение с поверхности. Куйбышевское водохранилище имеет исключительно большое зеркало испаряющей поверхности и затраты воды на испарение, т.е. безвозвратные потери довольно большие. Значительная потеря воды через испарение является одной из особенностей гидрологического режима больших водохранилищ.

В связи с тем, что Куйбышевское водохранилище имеет сезонное регулирование стока, некоторая часть поступающей воды, задерживается в нём, т.е. аккумулируется. Аккумуляция состоит, фактически, из двух частей: из

аккумуляции воды в чаше водоёма и из подземной аккумуляции, которая включает в себя запасы воды, содержащиеся в слое грунта ложа берегов.

Если подземная аккумуляция – грунтовая ёмкость, величина более или менее стабильная, то аккумуляция в чаше водоёма, наоборот, подвержена значительным изменениям в течении года. Эти изменения связаны с тем, что в данное время происходит – наполнение водохранилища или его сработка.

Наиболее развитой системой мониторинга в России является Государственная сеть мониторинга, базовую основу которой составляют наблюдательные органы Росгидромета Приволжского УГМС. На основе этой сети проводятся следующие основные виды наблюдений:

- за гидрологическими и гидрохимическими показателями водных объектов;
- за состоянием загрязнения поверхностных вод суши по гидробиологическим показателям;
- за состоянием загрязнения воздуха в городах и промышленных центрах;
- за трансграничным переносом веществ, загрязняющих атмосферу;
- за химическим составом и кислотностью атмосферных осадков и снежного покрова;
- за состоянием загрязнения почв пестицидами и тяжелыми металлами;
- за радиационной обстановкой окружающей среды.

## 2. Многолетние колебания водности рек

### 2.1 Квантильный анализ

Как правило, при изучении климатической системы используется эквидистантная информация - информация, полученная через равные промежутки времени (срочные данные) при анализе гидрохимических, гидробиологических показателей климатической системы часто приходится использовать не эквидистантные ряды наблюдений (сезонные съемки). При неравномерном характере реализации малого объема рекомендуется рассчитывать квантили  $\chi_{min}$ ,  $\chi_{0.25}$ ,  $\chi_{0.5}$ ,  $\chi_{0.75}$ ,  $\chi_{max}$ .

Каждый временной ряд рассматривается как реализация случайного процесса  $x(t)$ , за основную вероятностную характеристику которого принимается функция распределения  $F(x_p)$  и ее квантили  $x_p$ .

Алгоритм оценивания перечисленных характеристик:  $\chi_{min}$  и  $\chi_{max}$  – min и max значения данных в выборке,  $\chi_{0.5}$  – медиана. Если количество членов в выборке нечетное, то медиана - центральное значение выборки, если количество членов в выборке четное, то медиана - среднее между двумя центральными значениями.

$\chi_{0.25}$  и  $\chi_{0.75}$ , - характеризуют центр первой и второй половины выборки соответственно.

Анализ крайних членов  $\chi_{min}$  и  $\chi_{max}$  требуют чрезвычайной осторожности, поскольку они подвержены сильному влиянию выборочной изменчивости, обусловленный ошибками измерений исходных величин. Значительной большей устойчивостью обладает размах, характеризующий ширину выборочного распределения данных:

$$R = \chi_{max} - \chi_{min}, \quad (2.1)$$

где  $\chi_{max}$ ,  $\chi_{min}$  – крайние члены ранжированного (выстроенного в порядке возрастания) ряда.

Медиана  $\chi_{0.5}$  являясь средним значением ранжированного ряда, характеризует центр распределения данных в выборке. Набор квантилей,  $\chi_{0.25}, \chi_{0.5}, \chi_{0.75}$  фиксирует «норму» изменчивости анализируемого параметра,  $\chi_{0.25}$  – нижний, а  $\chi_{0.75}$  – верхний ее пределы. Величина  $Q$  называемая интерквантильным расстоянием, служит мерой разброса в пределах «нормы».

Интерквантильное расстояние:

$$Q = \chi_{0.75} - \chi_{0.25}; \quad (2.2)$$

Для  $\chi_{0.25}$  и  $\chi_{0.75}$ , - вводятся барьерные значения:

$$\chi_B = \chi_{0.75} + 1.5Q \text{ (верхний)}; \quad (2.3)$$

где  $\chi_B$  – расход верхнего барьера,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\chi_{0.75}$  – медиана половины ранжированного ряда;

$Q$  – интерквантильное расстояние;

$$\chi_H = \chi_{0.25} - 1.5Q \text{ (нижний)}; \quad (2.4)$$

где  $\chi_H$  – расход нижнего барьера,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\chi_{0.25}$  - медиана половины ранжированного ряда;

$Q$  – интерквантильное расстояние;

В качестве оценки центра распределения данных в выборке можно рассматривать математическое ожидание  $m$  и трехсреднее значение  $T^*$ , а в качестве оценок масштаба распределения – дисперсию  $D$  или стандарт  $\sigma$ . Оценки математического ожидания и дисперсии обычно вычисляются как среднее арифметическое значение и квадрат отклонений от него, трехсреднее значение – по формуле Тьюки:

$$T^* = 0.25(\chi_{0.25} + 2 \cdot \chi_{0.5} + \chi_{0.75}); \quad (2.5)$$

где  $\chi_{0.25}, \chi_{0.5}, \chi_{0.75}$  - квантили.

Сопоставление среднего  $m$  с медианой  $\chi_{0.5}$  и  $\sigma$  с  $0,74Q$  дает возможность получить предварительную информацию о типе и параметрах распределения в данной выборке.

Если распределение симметрично, то  $m$  и  $\chi_{0.5}$  равны с точностью до выборочной изменчивости. Сопоставление  $m$  и  $\chi_{0.5}$ ,  $\sigma$  и  $0,74Q$  удобно проводить графически. Для этого на график наносятся точки, абсциссы которых соответствуют  $m$  или  $\sigma$ , а ординаты  $\chi_{0.5}$  или  $0,74Q$ . Если точки группируются около биссектрисы координатного угла, то  $0,74Q$  и  $\sigma$ , а также  $m$  и  $\chi_{0.5}$  такие же, как и у нормального распределения.

В качестве другой характеристики асимметрии полезно использовать следующий параметр:

$$As = [(\chi_{0.75} - \chi_{0.5}) - (\chi_{0.5} - \chi_{0.25})] / (2Q); \quad (2.6)$$

Расчеты доверительных интервалов  $As$  вычисленные по смоделированным нормальным рядам показали, что выборку целесообразно считать симметричной, если  $-0,31 < As < 0,25$ ; имеющей левую асимметрию, если  $As < -0,31$  или правую при  $As > 0,25$ .

Межгодовая (многолетняя) изменчивость стока рек традиционно анализируется по рядам среднегодовых и экстремальных расходов и характеризуется наличием многоводных и маловодных лет. Среднегодовые расходы используются для характеристики «нормы» и изменчивости годового стока. Принято считать, что для получения достаточно надежной нормы стока необходимо выбирать такой период наблюдений, в который входило бы одинаковое количество маловодных и многоводных лет. Экстремальные расходы используются для характеристики максимального стока весеннего половодья, дождевых паводков и минимального стока. В данной работе для анализа многолетней изменчивости используются данные среднегодовых значений и последовательности ежегодных значений для всех месяцев года.

Все гидрологические ряды прошли проверку на однородность. Для этого были использованы два параметрических критерия – критерий Фишера и Стьюдента. Оба этих критерия, относятся к категории стандартных критериев,

и рекомендуются в большинстве нормативных документов в качестве официального теста на однородность. Критерий Фишера используется для проверки на однородность гидрологического ряда по дисперсии. Критерий Стьюдента используется для проверки на однородность гидрологического ряда по среднему значению.

Результаты квантильного анализа многолетней изменчивости приведены в таблице 1 и на рисунках 2.1-2.7.

Таблица 1 Статистические характеристики межгодовой изменчивости.

	$X_{\min}$	$X_{0.25}$	$X_{0.5}$	$X_{0.75}$	$X_{\max}$	R	Q	T*	$X_B$	$X_H$	m	СКО	0.74Q
р. Вятка – г. Вятские Поляны	654	888	1040	1090	1380	726	202	1010	1390	585	1010	157	149
Чебоксарская ГЭС	2220	3090	3510	4080	4620	2400	990	3690	5570	1600	3580	594	733
Нижнекамская ГЭС	2170	2670	3020	3290	4130	1960	620	3490	4220	1740	3030	514	459
Жигулёвская ГЭС	5500	7280	8060	8880	10400	4900	1600	8070	11300	4880	8070	1230	1180
Осадки	326	444	503	556	717	391	112	595	724	276	506	83,4	82,9
Уровень	495	613	652	687	768	273	74,0	700	798	502	643	65,6	54,8

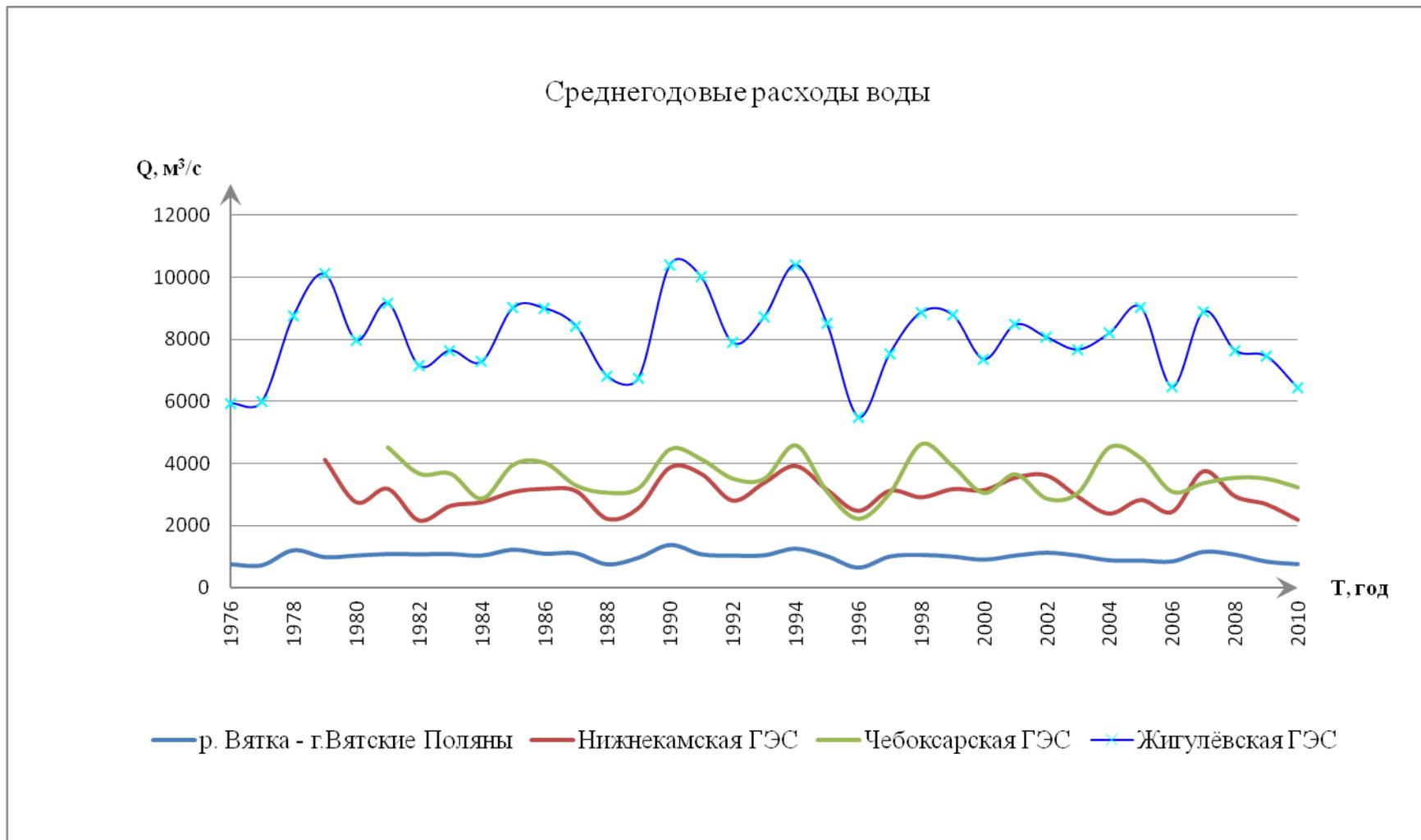


Рис. 2.1 Среднегодовые расходы воды Куйбышевского водохранилища

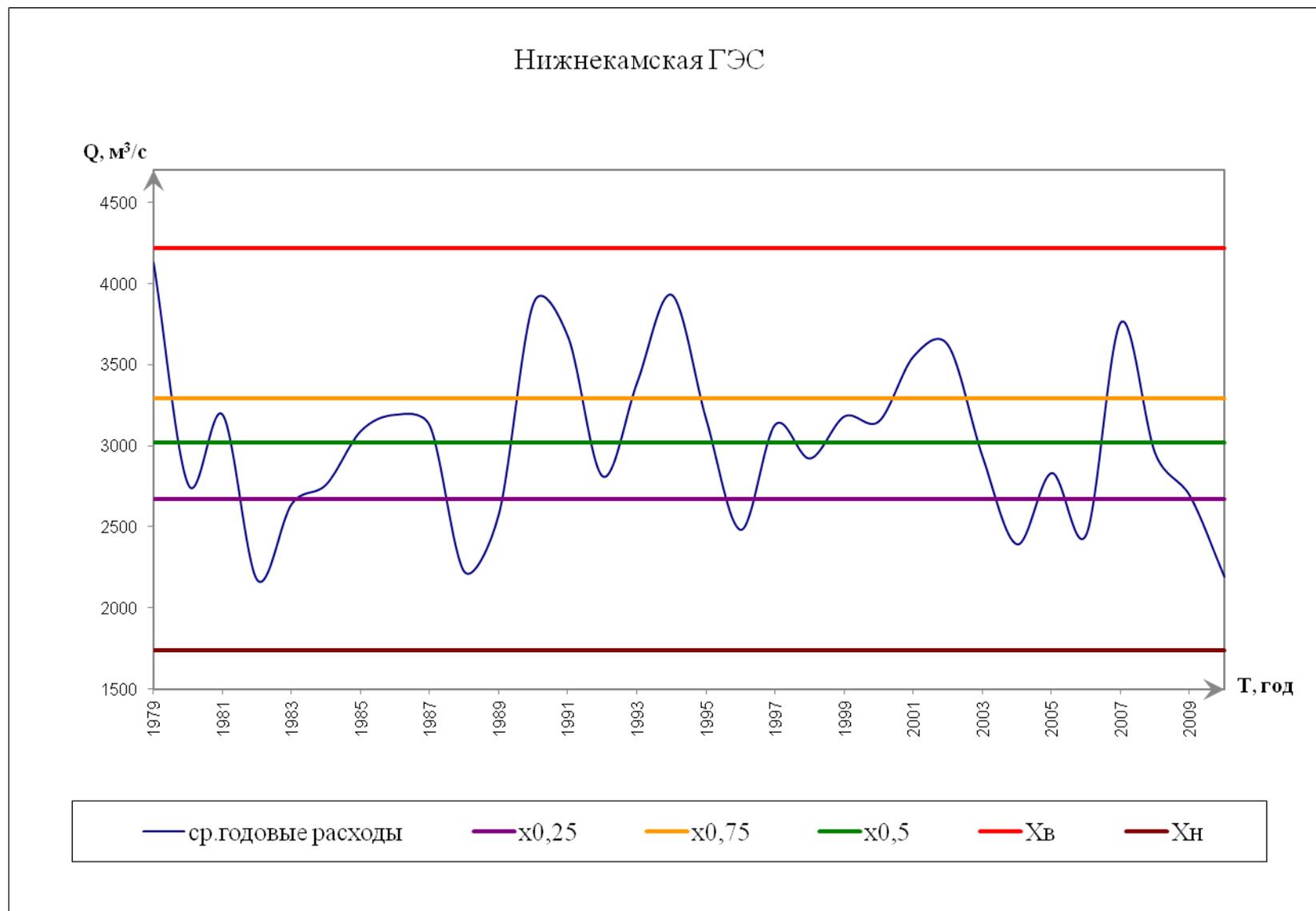


Рис. 2.2 График средних годовых расходов воды на р. Кама –Нижнекамская ГЭС за 1979-2010гг.

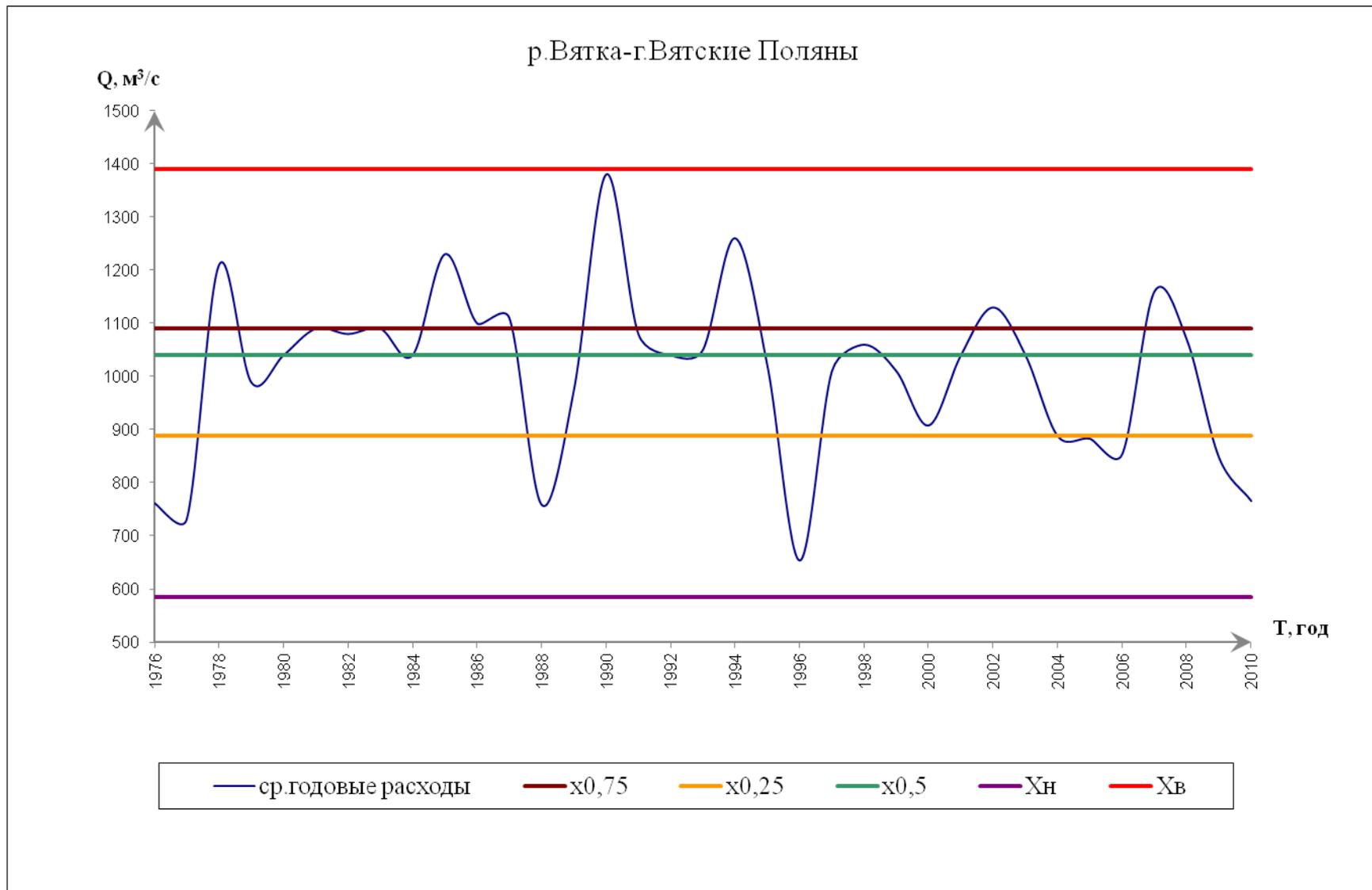


Рис. 2.3 График среднегодовых расходов воды р. Вятка – г.Вятские Поляны за 1976-2010 гг.

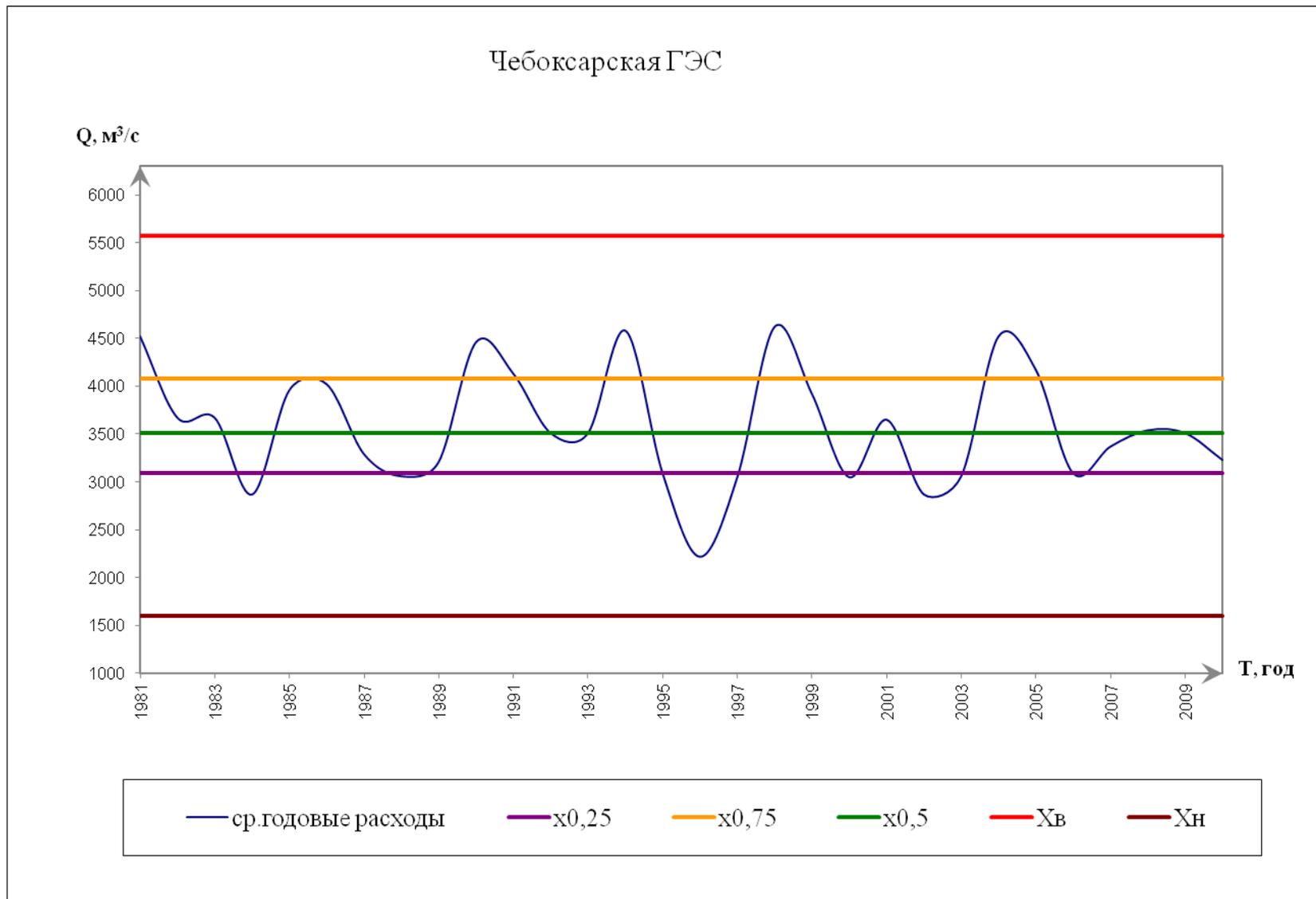


Рис. 2.4 График среднегодовых расходов воды р. Волга – Чебоксарская ГЭС за 1981-2010гг.

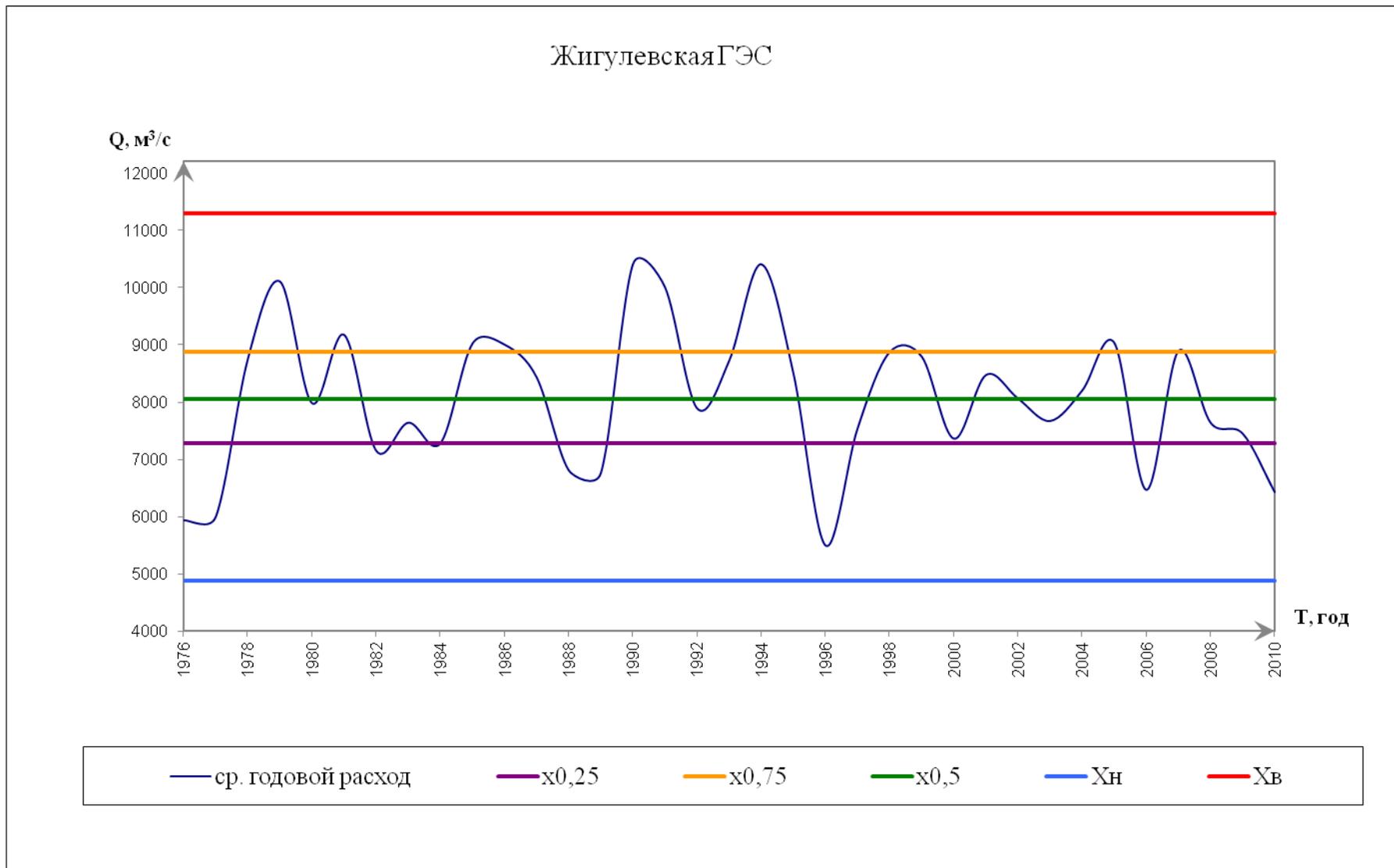


Рис. 2.5 График среднегодовых расходов воды р.Волга – Жигулёвская ГЭС. за 1976-2010 гг.

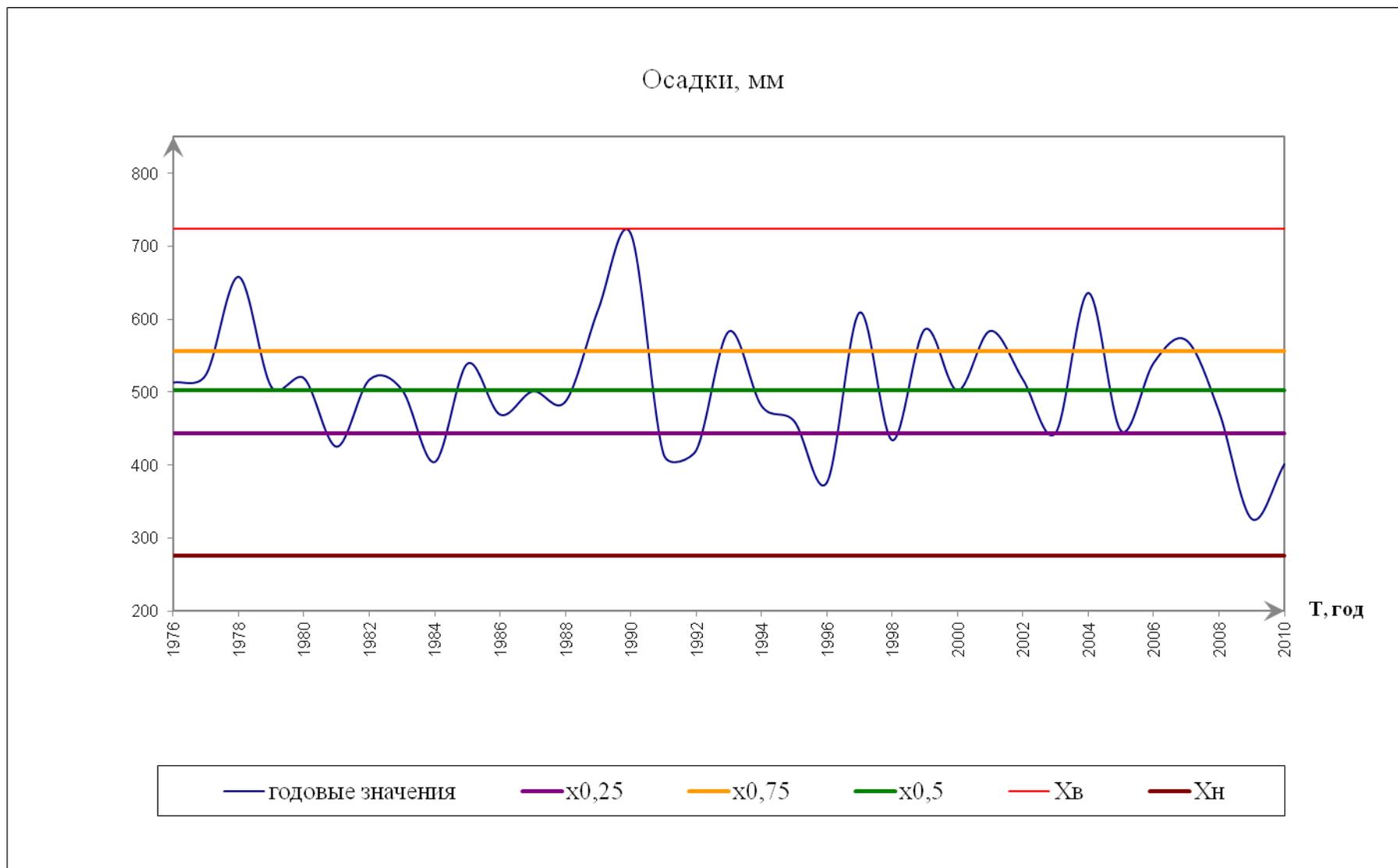


Рис. 2.6 График среднегодовых осадков, выпавших на территорию Куйбышевского вдхр. за 1976-2010 гг.

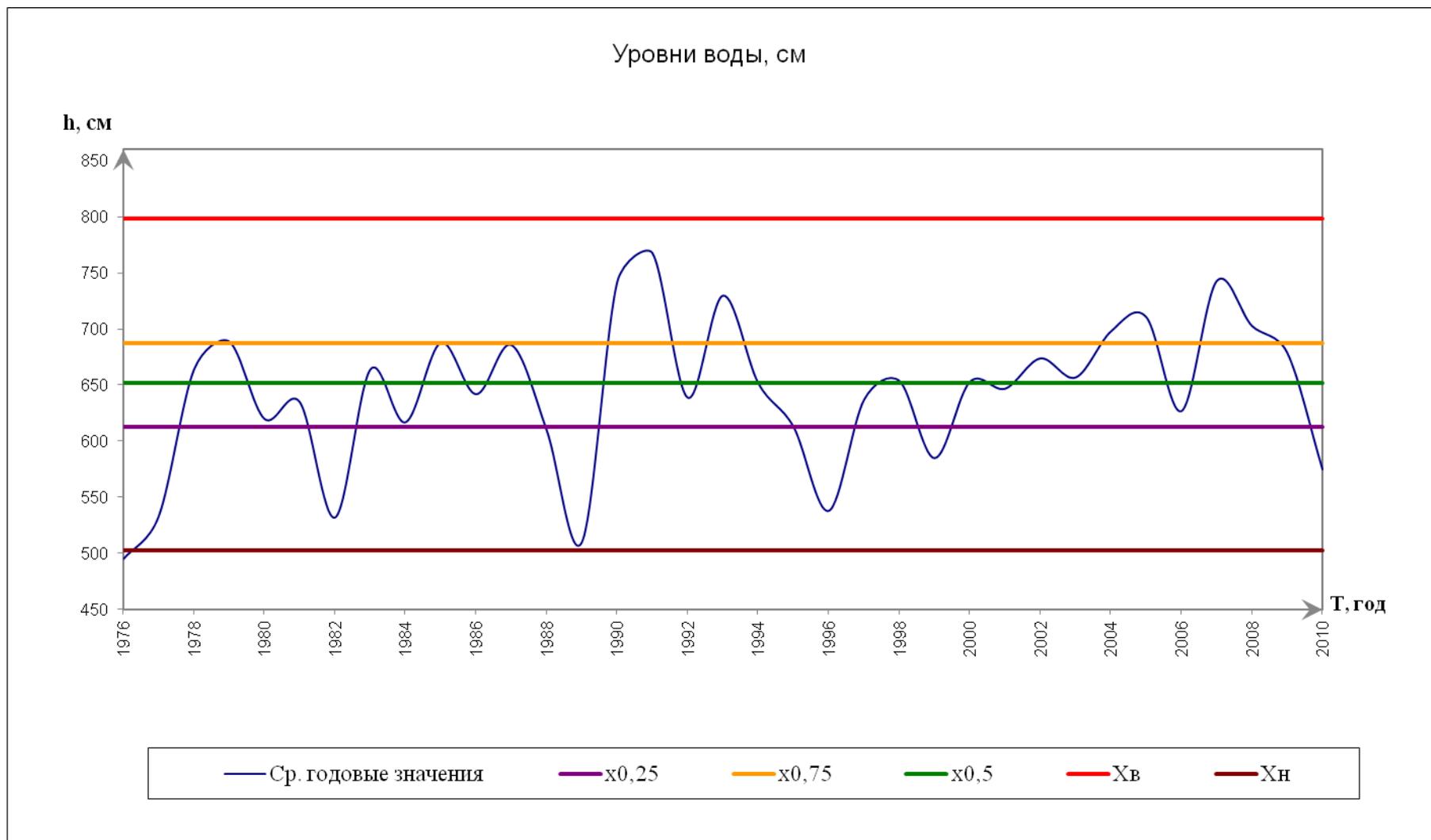


Рис. 2.7 График среднегодовых уровней воды в Куйбышевскомвдхр. за 1976-2010 гг.

Таблица 2. Сведения о маловодных и многоводных годах

Створ	Многоводные	Маловодные	Экстремально маловодные
р.Вятка – г.Вятские Поляны	1978, 1981, 1983, 1985-1987, 1990, 1994, 2002, 2007.	1976-1977, 1988, 1996, 204-2006, 2009-2010.	
Нижнекамская ГЭС	1979, 1990-1991, 1993-1994, 2001-2002, 2007	1982-1983, 1988-1989, 1996, 2004, 2006, 2010,	
Чебоксарская ГЭС	1981, 1990-1991, 1994, 1998, 2004-2005,	1984, 1988, 1995-1997, 2000, 2002-2003, 2006.	
Жигулёвская ГЭС	1979, 1981, 1985-1986, 1990-1991, 1994, 2005, 2007.	1976-1977, 1982, 1984, 1988-1989, 1992, 1996.	
Осадки	1989-1990, 1993, 1997, 1999, 2001, 2004, 2007.	1981, 1984, 1991-1992, 1996, 1998, 2003, 2009-2010.	
Уровень воды	1979, 1985, 1990-1991, 1993, 2004-2005, 2007-2008.	1977, 1982, 1988-1989, 1995-1996, 1999, 2010,	1976

Из таблицы, мы можем выделить:

- синхронные многоводные воды: 1990г.; 1994 (без осадков и уровней воды);
- синхронные маловодные годы: 1988г.(без осадков и уровней воды); 1996г.;
- экстремально маловодные годы: 1976 год (среднегодовые уровни воды в целом по Куйбышевскому водохранилищу).

## 2.2 Выделение трендов фильтром Баттерворта

Одним из методов анализа временных рядов с целью выделения тенденции или трендов на повышение или понижение значений является их фильтрация, которая бывает низкочастотной и высокочастотной, полосовой и режекторной.

Низкочастотная фильтрация – преобразование ряда, при котором исключаются высокочастотные составляющие.

Для анализа многолетней изменчивости гидрометеорологических процессов рекомендуется применять цифровую тангенсную низкочастотную фильтрацию рядов. Это связано с тем, что тангенсная фильтрация обладает такими преимуществами, как простота вычисления коэффициентов передаточной функции фильтра и большая крутизна амплитудно – частотной характеристики вблизи частоты среза.

Одна из исчерпывающих характеристик – передаточная функция фильтра  $H(\omega)$ .

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = \frac{\sum_{k=0}^K \beta_k Z^{-k}}{1 + \sum_{l=1}^L \alpha_l Z^{-l}}, \quad (2.7)$$

где  $H(\omega)$  - передаточная функция;

$X(\omega)$  и  $Y(\omega)$  – их Фурье – изображение;

$\beta_k, \alpha_l$  - действительные числа, коэффициенты фильтра;

$Z = \exp(i\omega\Delta)$ ;

$\Delta$  – интервал дискретизации рядов  $\{x_i\}$  и  $\{y_i\}$ .

Передаточная функция фильтра  $H(\omega)$  выражает связь между частотными представлениями рядов  $\{x_i\}$  и  $\{y_i\}$  и имеет значения в комплексной области, т.е.  $H(\omega)$  можно представить в виде:

$$H(\omega) = |H(\omega)| \exp(i\varphi(\omega)), \quad (2.8)$$

$$H(\omega) = \frac{(b_0 + b_1 Z^{-1} + b_2 Z^{-2})^{M_1}}{\prod_{m=1}^{M_1} (1 + a_{1m} Z^{-1} + a_{2m} Z^{-2})}, \quad (2.9)$$

где  $H(\omega)$  - передаточная функция;

$b_0, b_1, b_2, a_{1m}, a_{2m}$  - коэффициенты.

Величина  $M=2M_1$  называется порядком передаточной функции или порядком фильтра.

При таком представлении функцию  $|H(\omega)|$  называют амплитудно-частотной характеристикой фильтра. В каждой точке частотного диапазона она выражает отношение амплитуд гармоник отфильтрованного и неотфильтрованного ряда с данной частотой. Функцию  $\varphi(\omega)$  называют фазово-частотной характеристикой фильтра. Она выражает зависимость сдвига фаз от частоты в отфильтрованном и неотфильтрованном рядах.

Тангенсные цифровые фильтры Баттерворта имеют передаточную функцию вида (2.10), что позволяет применить вышеуказанный метод фильтрации, обладающий

- рекуррентным способом вычисления отфильтрованного ряда;
- возможность повышения порядка фильтра увеличением числа уравнений.

Тангенсный низкочастотный фильтр Баттерворта порядка  $M$  имеет амплитудно – частотную характеристику

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[ \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\omega\Delta}{2}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\omega_c\Delta}{2}\right)} \right]^{2M}}}, \quad (2.10)$$

где  $\omega_c$  – частота среза.

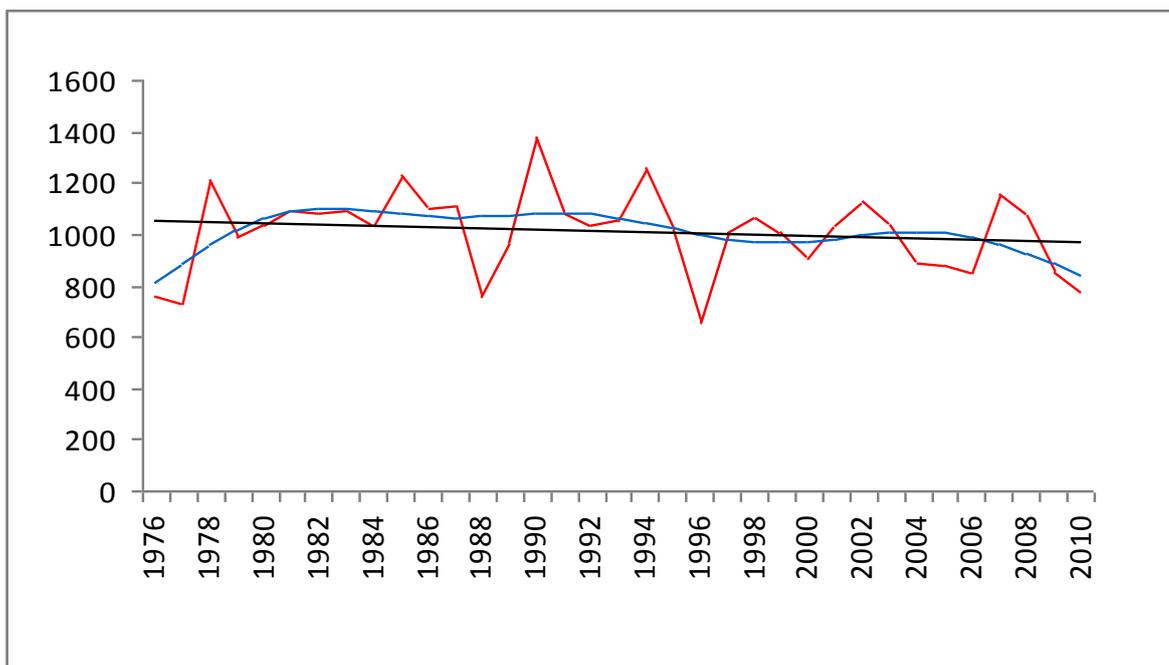


Рисунок 2.8 Реализация среднегодовых расходов воды р. Вятка – г. Вятские Поляны.

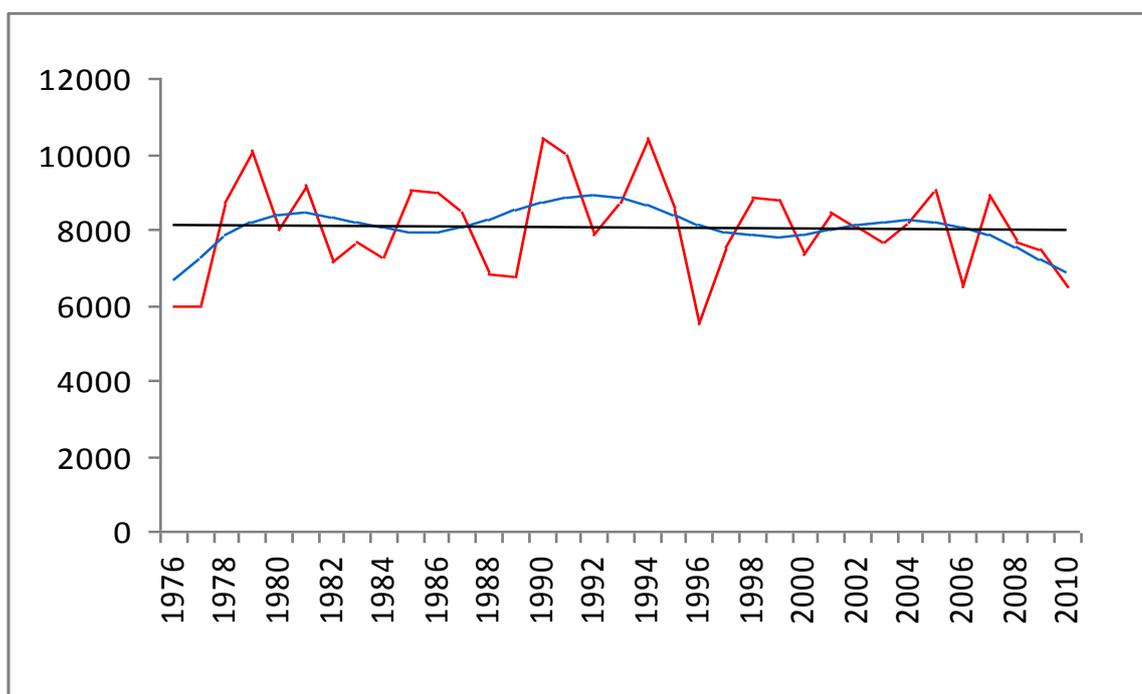


Рисунок 2.9 Реализация среднегодовых расходов воды р. Волга - Жигулёвская ГЭС

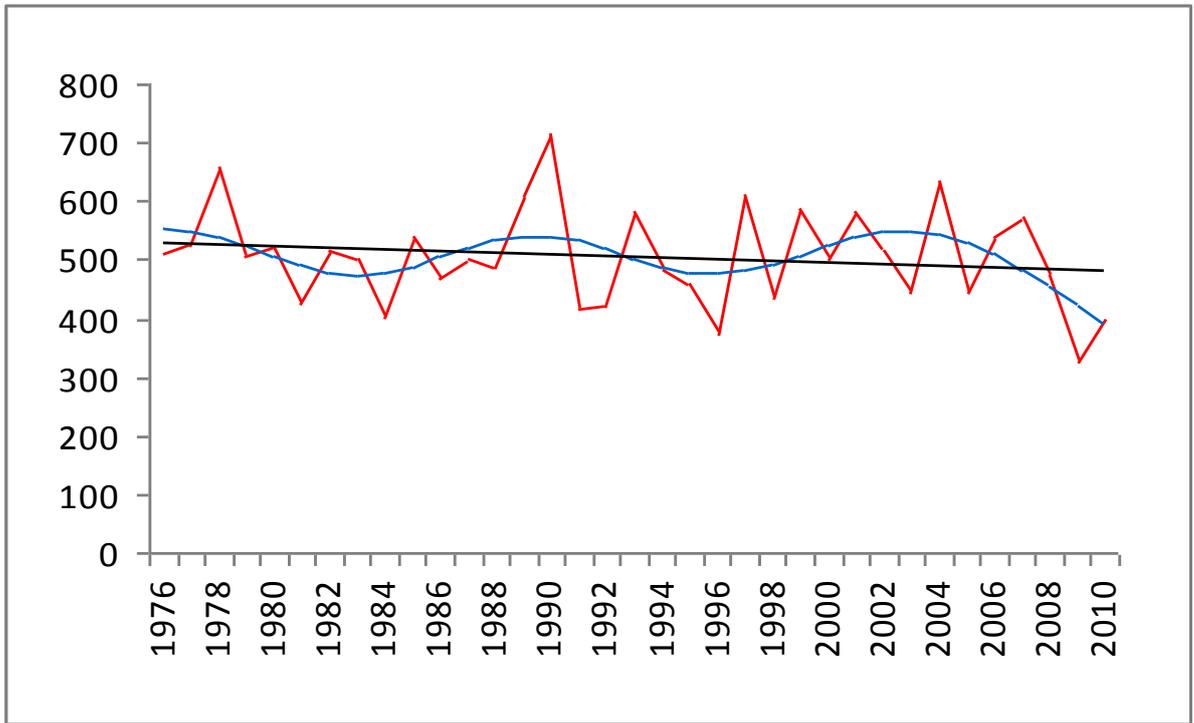


Рис. 2.10 Реализация среднегодовых сумм осадков на площадь Куйбышевскоговдхр.

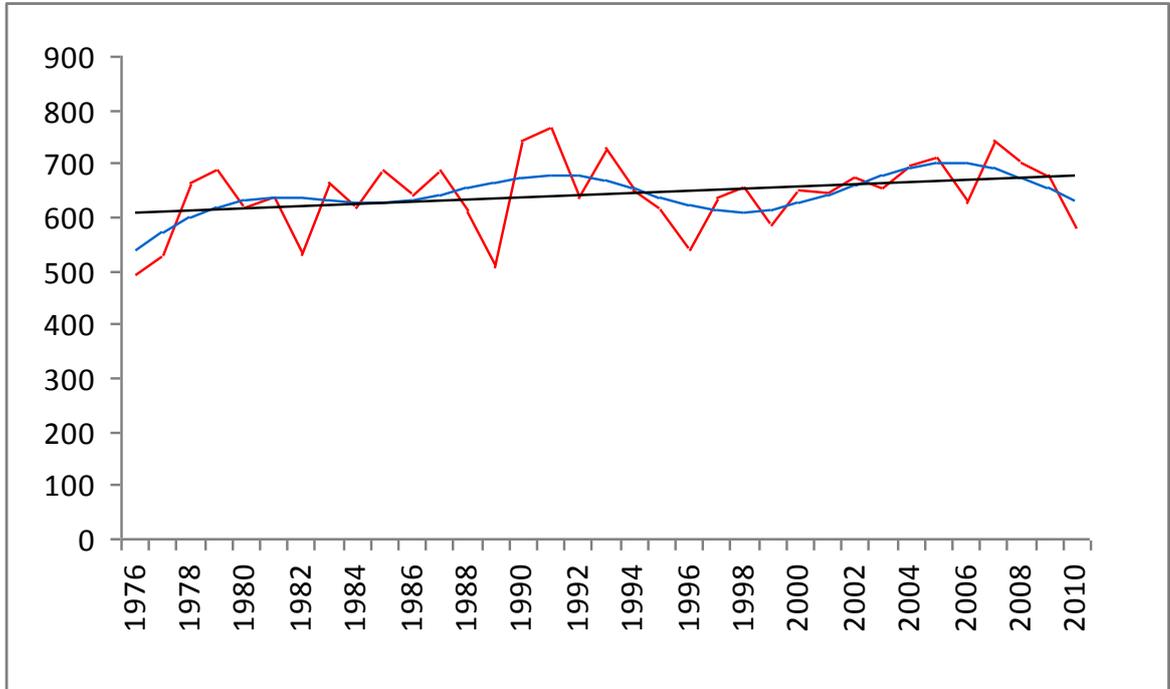


Рис. 2.11 Реализация среднегодовых уровней воды в Куйбышевскомвдхр.

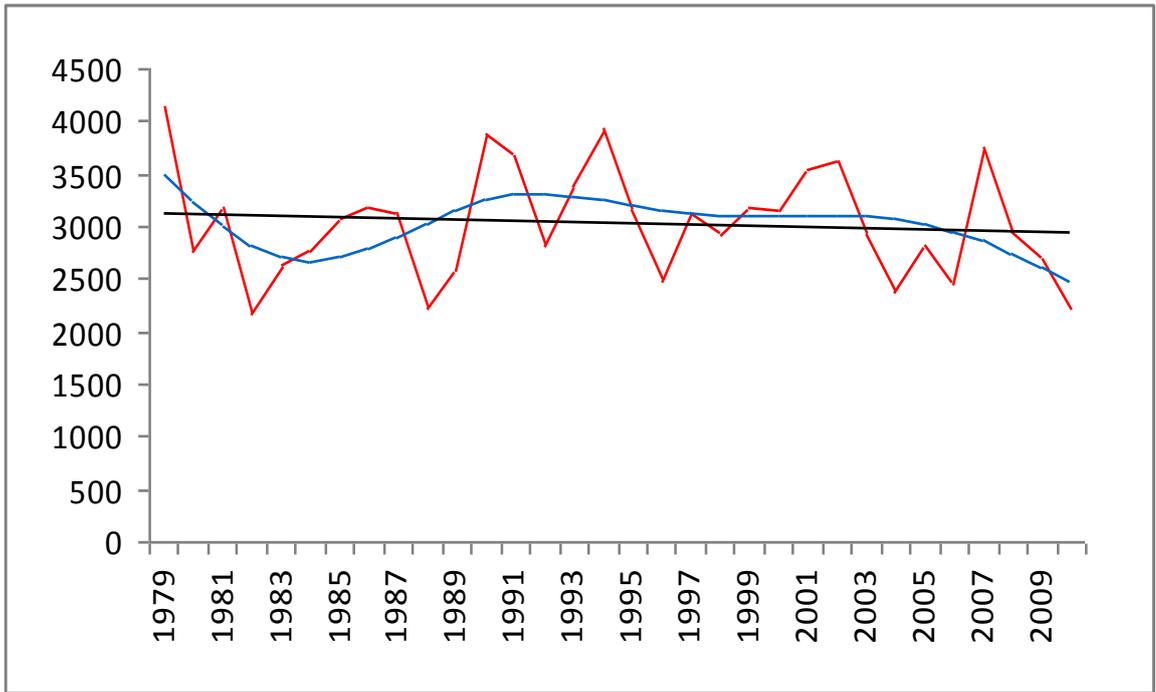


Рис. 2.12 Реализация среднегодовых расходов воды р.Кама – Нижнекамская ГЭС (Куйбышевское вдхр).

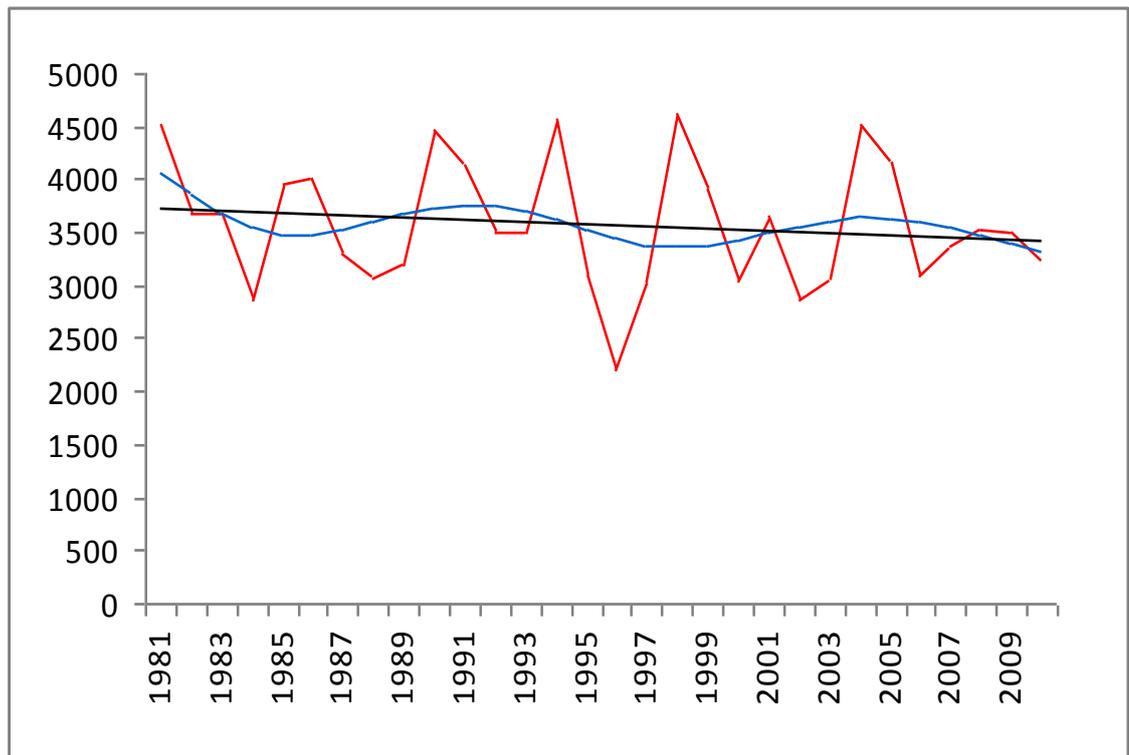


Рис. 2.13 Реализация среднегодовых расходов воды р.Волга – Чебоксарская ГЭС (Куйбышевское вдхр).

Исходя из графика реализации среднегодовых уровней воды (рис. 2.11), сопоставляя линии тренда можно сделать вывод, что за предоставленный период наблюдений (с 1976 по 2010гг.), уровни воды Куйбышевского водохранилища – увеличились, не смотря на то, что за этот же период, количество осадков, выпавших на водосбор, пропорционально уменьшились. Исходя из этого, можно предположить, что увеличение уровня происходит за счёт грунтового питания.

Как видно из графиков для средних годовых расходов притоков (рис. 2.12-2.13), фильтр Баттерворта повторяет ход среднего расхода речного стока на исследуемой территории за рассматриваемый период времени. Та же тенденция прослеживается и на графике реализации сумм осадков (рис.2.10).

### 3. Многолетние колебания водности Куйбышевского водохранилища.

#### 3.1 Методы теории периодически коррелированных случайных процессов.

Расчет внутригодового распределения стока представляет собой количественную оценку распределения стока по сезонам, месяцам, а также по декадам и неделям внутри месяца. Выражается обычно в процентах или долях от годового (при сезонном и месячном распределении) стока. Это позволяет иметь данные о стоке в конкретные (календарные) отрезки времени. Таким образом, при расчете внутригодового распределения стока, необходимо решить две задачи: установить соотношение стока за разные временные отрезки и его величину за эти периоды.

Для характеристики годового (внутригодового) хода стока рек традиционно используется годовые гидрографы (хронологические графики изменения расхода со временем), полученные с различной степенью обобщения

по данным о срочных или средних (суточных, декадных, месячных) расходах воды рек. В качестве исходной информации для анализа внутригодового колебания речного стока в настоящей работе использованы среднемесячные расходы воды по основным притокам: р. Вятка – г.Вятские Поляны, р.Кама – Нижнекамская ГЭС, р.Волга – Чебоксарская ГЭС; по стоку: р.Волга – Жигулёвская ГЭС. Так же использовались данные по среднемесячным уровням Куйбышевского водохранилища.

Для анализа внутригодового хода речного стока воспользуемся методом теории ПКСП. Характеристики ПКСП описывают так называемую повторяемость «в среднем» свойств гидрометеорологических процессов.

Случайный процесс называется периодически нестационарным, если существует такое положительное число  $T$ , при сдвиге на которое характеристики остаются неизменными или инвариантными.

Периодически коррелированный случайный процесс будет периодически нестационарным, в узком смысле, если инварианты, конечномерные распределения и периодически коррелированный случайный процесс будет периодически нестационарным, в широком смысле, если инвариантны математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция.

Оценки вероятностных характеристик периодически коррелированных случайных процессов рассчитываются по следующим формулам:

$$m^*_{(t)} = \sum \xi(t+KT) \quad (3.1)$$

где  $m^*_{(t)}$  – математическое ожидание;

$$D^*_{(t)} = \sum [\xi^0(t+KT)]^2 \quad (3.2)$$

где  $D^*_{(t)}$  – дисперсии;

Оценка математического ожидания при этом характеризует средний многолетний повторяющийся образ и соответствует понятию норма, принятому в гидрометеорологии. Оценка дисперсии периодически коррелированных случайных процессов характеризует отклонения процесса от среднего многолетнего повторяющегося образа. Оценка коррелированных зависимостей  $K(t, \tau)$  характеризует особенности внутригодовой коррелированности при  $\tau=1$  месяц, и особенности межгодовой коррелированности при  $\tau=1$  год, где  $\tau$  – это сдвиг при расчете коррелированных зависимостей.

При оценке вероятностных характеристик  $m^*(t)$ ,  $D^*(t)$ , по реализациям средних месячных расходов производится выборка ежегодных последовательностей для каждого месяца года и рассмотрение этих последовательностей как стационарных и стационарно связанных.

Река Волга по климатическим особенностям формирования стока, по характеру водного питания и внутригодового распределения стока относится к группе рек Восточно-Европейского типа по классификации Б. Д. Зайкова. Для рек такого типа характерны высокое весеннее половодье, летне-осенние паводки и очень низкая межень. На рисунках 3.2 и 3.4 приведены реализации средних месячных расходов воды за период с 1976 по 2010 гг.; рис. 3.1 и 3.3 – начало периода с 1979 и с 1980гг соответственно (это периоды ввода в эксплуатацию Нижнекамской и Чебоксарской ГЭС после завершения строительства). Как видно из рисунков, набор основных фаз внутригодового водного режима, время их наступления и роль в жизни реки, а также особенности формирования межгодовой изменчивости стока постоянны внутри исследуемого района. Из года в год на р. Волга повторяются весеннее половодье (апрель, май), летняя межень, летне-осенние дождевые паводки, а также продолжительная зимняя межень. Максимум весеннего половодья во все годы, приходится на май. Бывают исключения, когда наблюдается засушливое лето. Таким образом, можно выделить два периода водного режима: теплый, продолжающийся с апреля по октябрь включительно, и холодный - с ноября по март. Для теплого периода характерна волна половодья, на спаде которого

появляются дождевые паводки. От года к году меняется интенсивность половодий и паводков, уровень меженного стока остается постоянным.

### 3.1.1 Графики многолетних колебаний основного притока Куйбышевского водохранилища

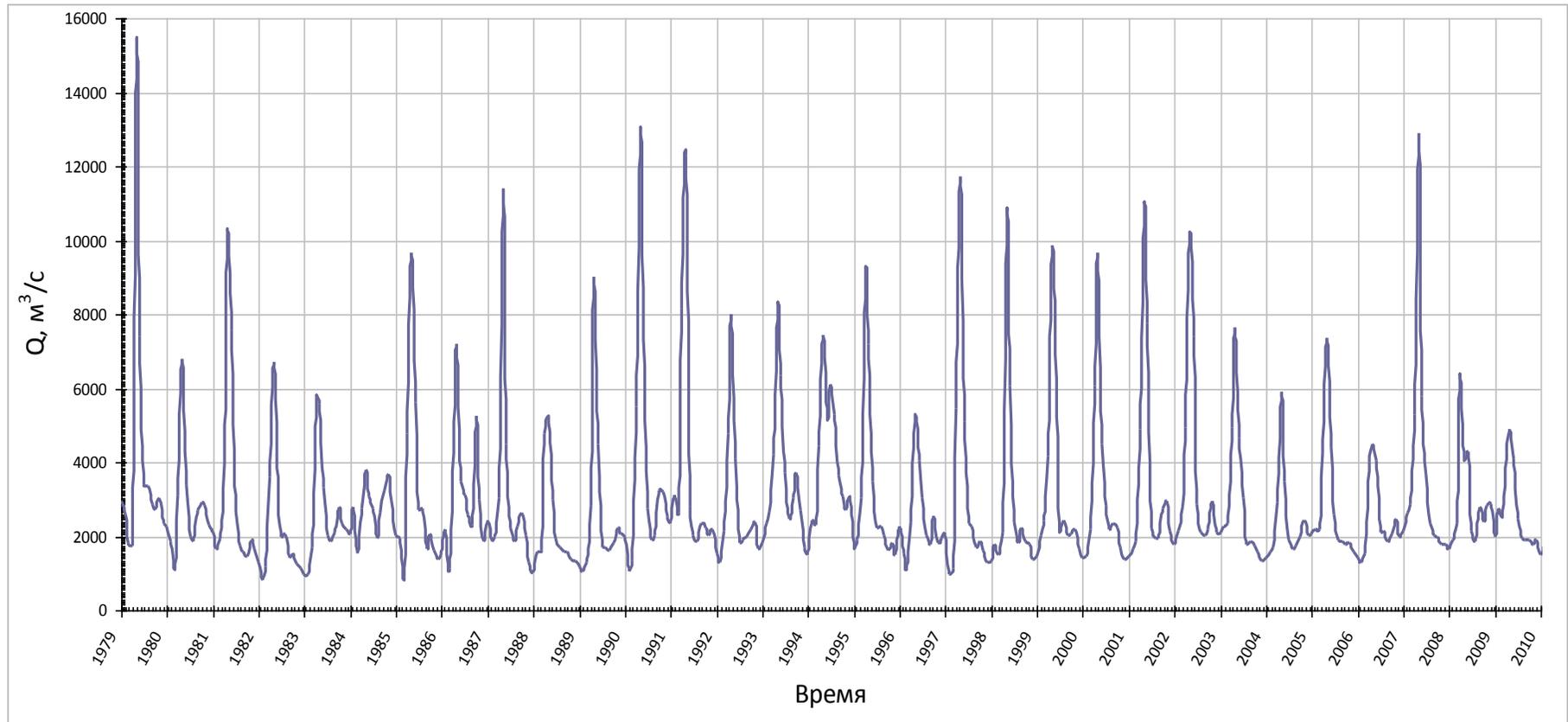


Рис. 3. 1. Гидрограф р. Кама – Нижнекамская ГЭС за 1979-2010гг.

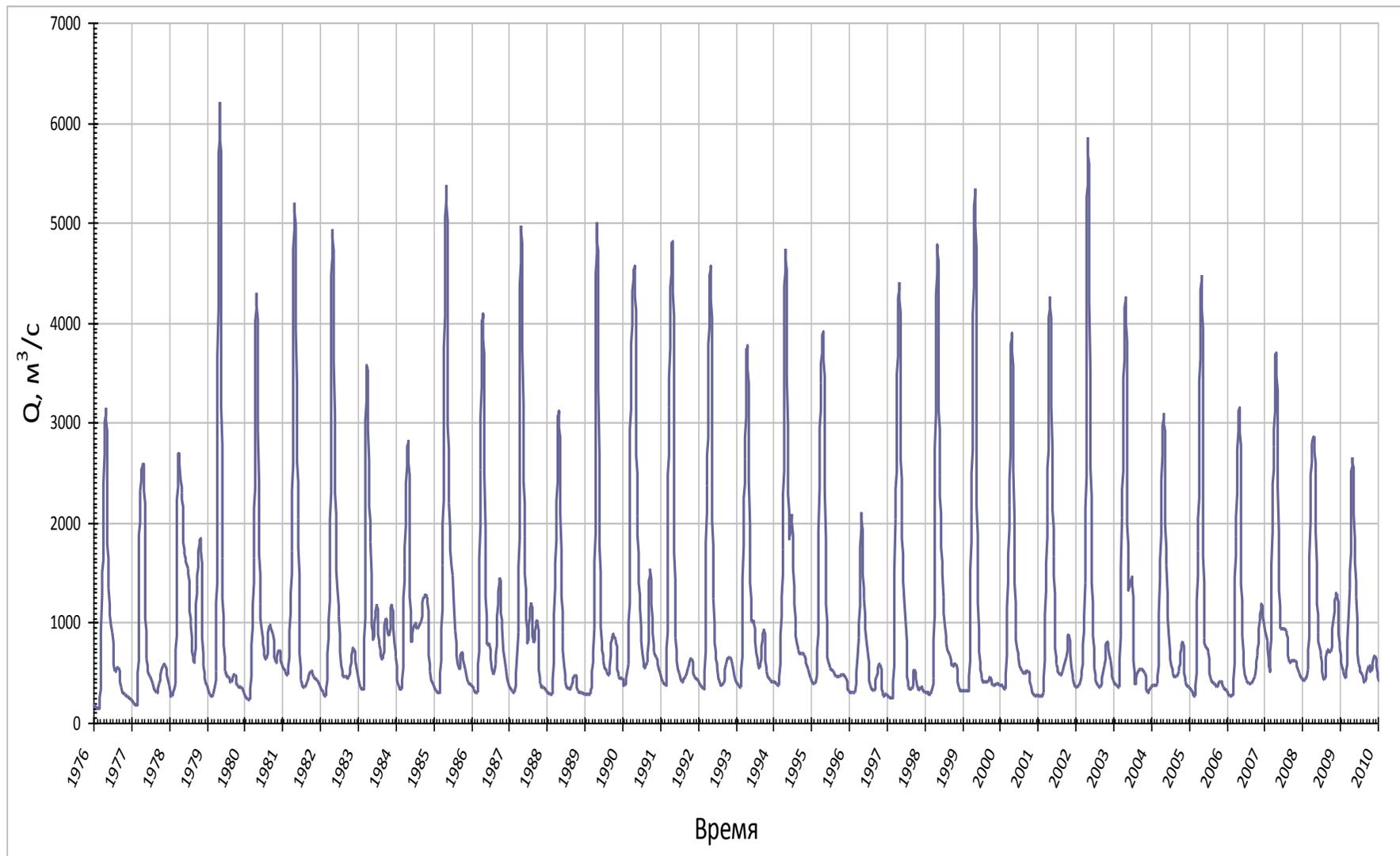


Рис. 3.2 Гидрограф р.Вятка – г.Вятские Поляны за 1976-2010гг.

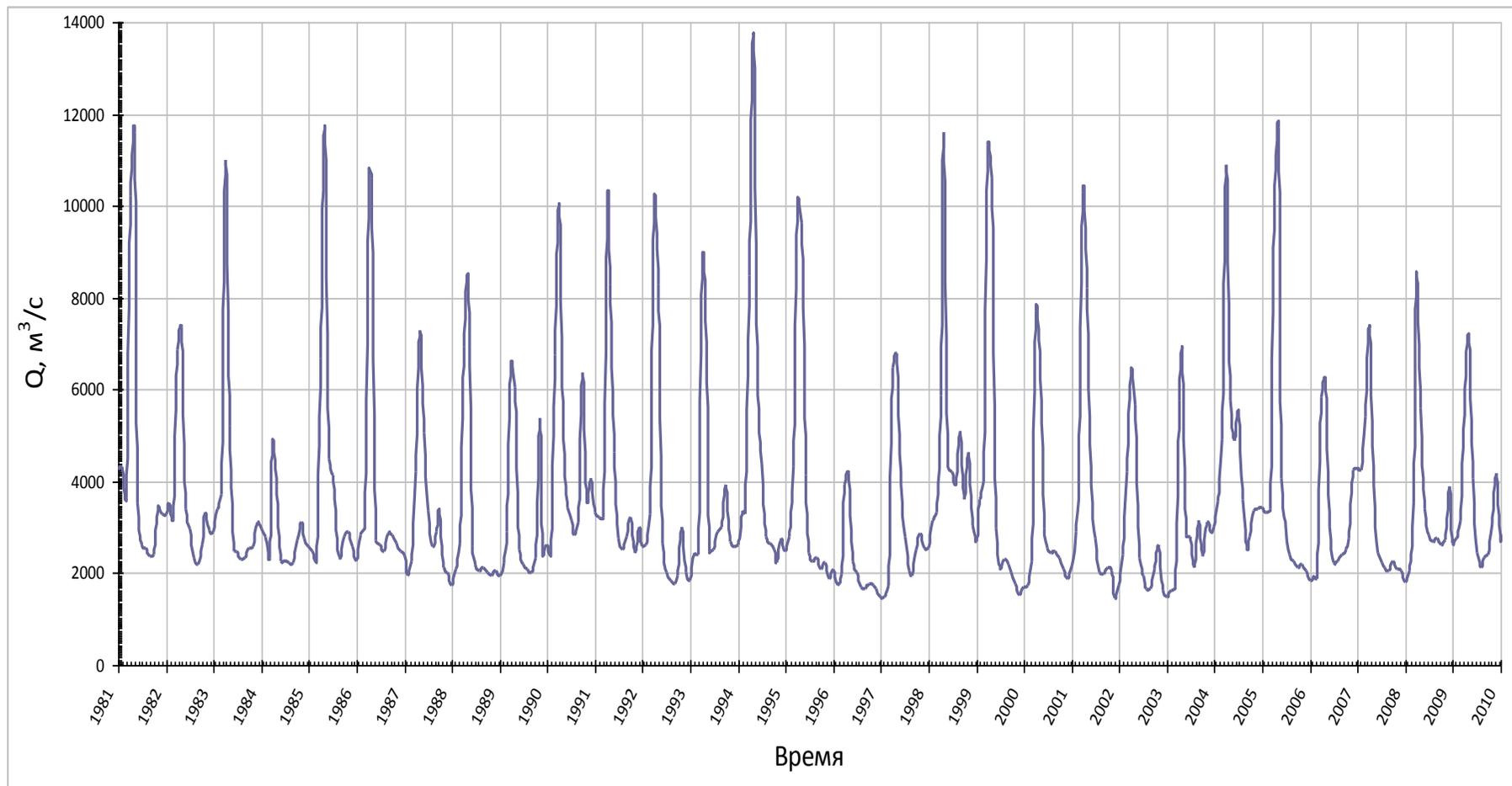


Рис. 3.3 Гидрограф р.Волга – Чебоксарская ГЭС за 1981-2010гг.

3.1.2. График многолетнего колебания сброса Куйбышевского вдхр.

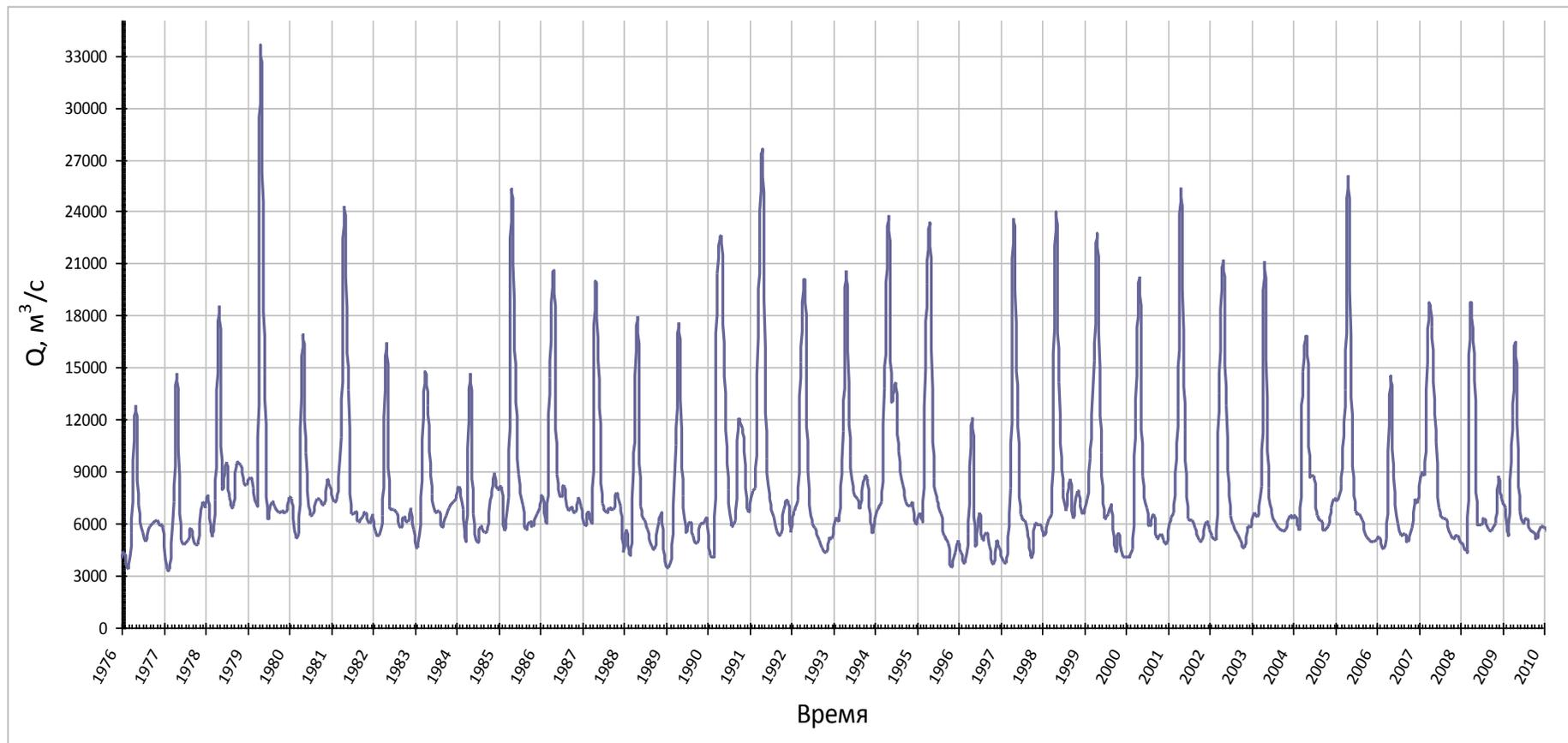


Рис. 3.4 Гидрограф р.Волга – Жигулёвская ГЭС за 1976-2010гг.

### 3.1.3 График многолетнего колебания уровня воды

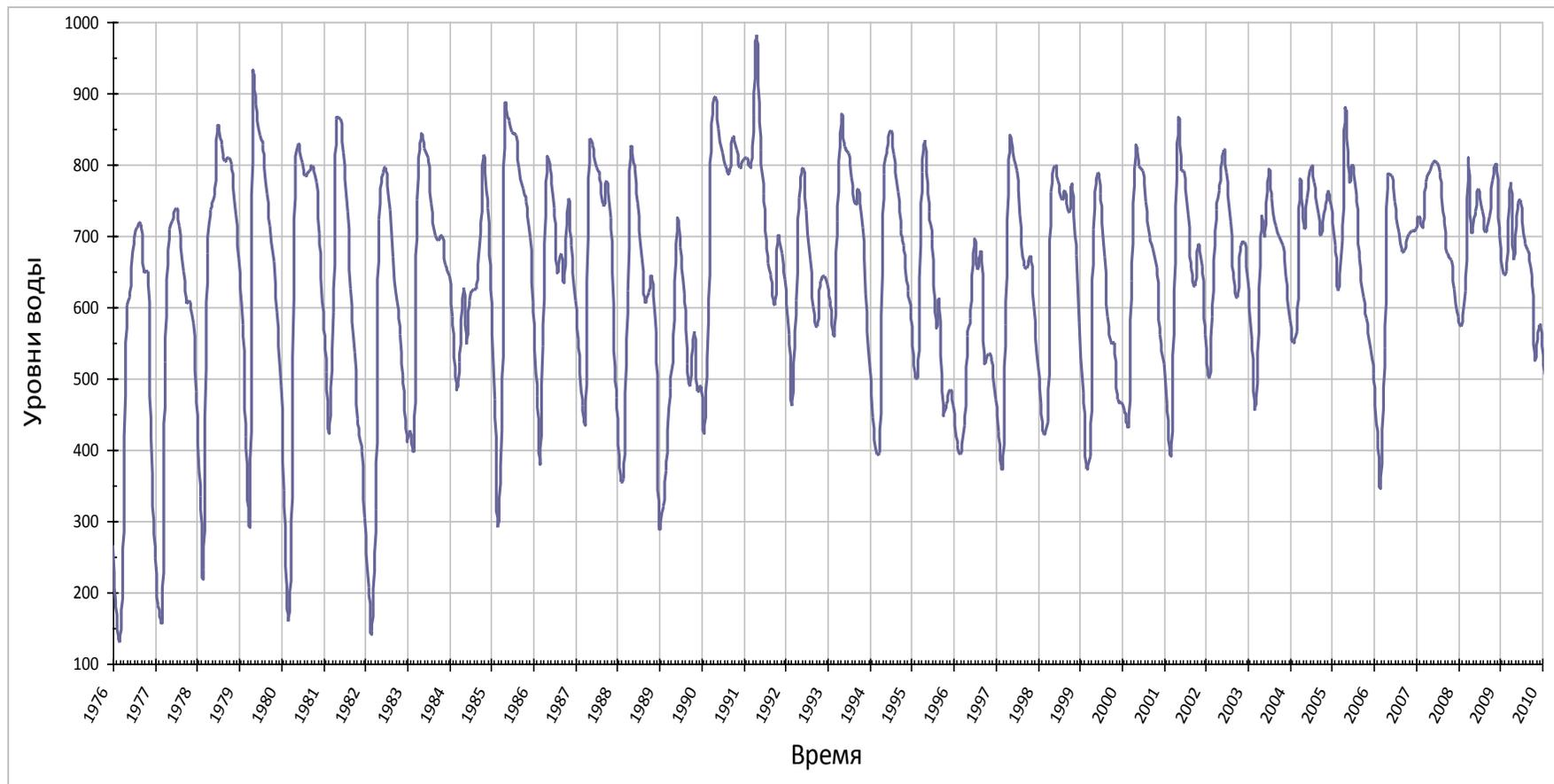


Рис. 3.5 Гидрограф уровни воды в Куйбышевскомвдхр. за 1976-2010гг

### 3.2 Особенности внутригодового хода речного стока

Графики оценок вероятностных характеристик ПКСП (математического ожидания  $m(t)$ , дисперсии  $D(t)$ , корреляционных зависимостей внутригодовой  $K(t,\tau)$  при  $\tau=1$  месяц и межгодовой при  $\tau=1$  год изменчивости) анализируемой реки Урал приведены на рисунках 3.5 и 3.8. Они дают количественные оценки тех особенностей внутригодового хода и межгодовой изменчивости речного стока, что были отмечены при анализе исходных данных.

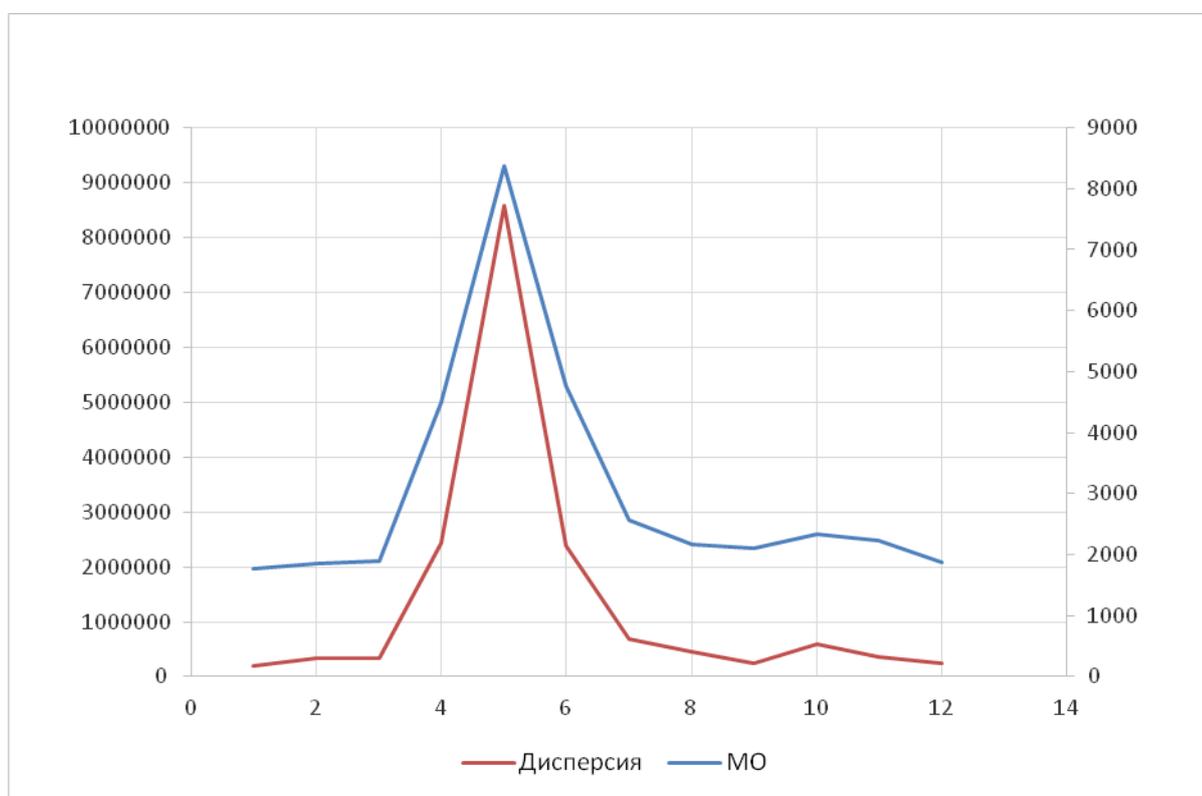


Рис. 3.5. График оценки математического ожидания и дисперсии средних месячных значений расхода воды р. Волга – Нижнекамская ГЭС.

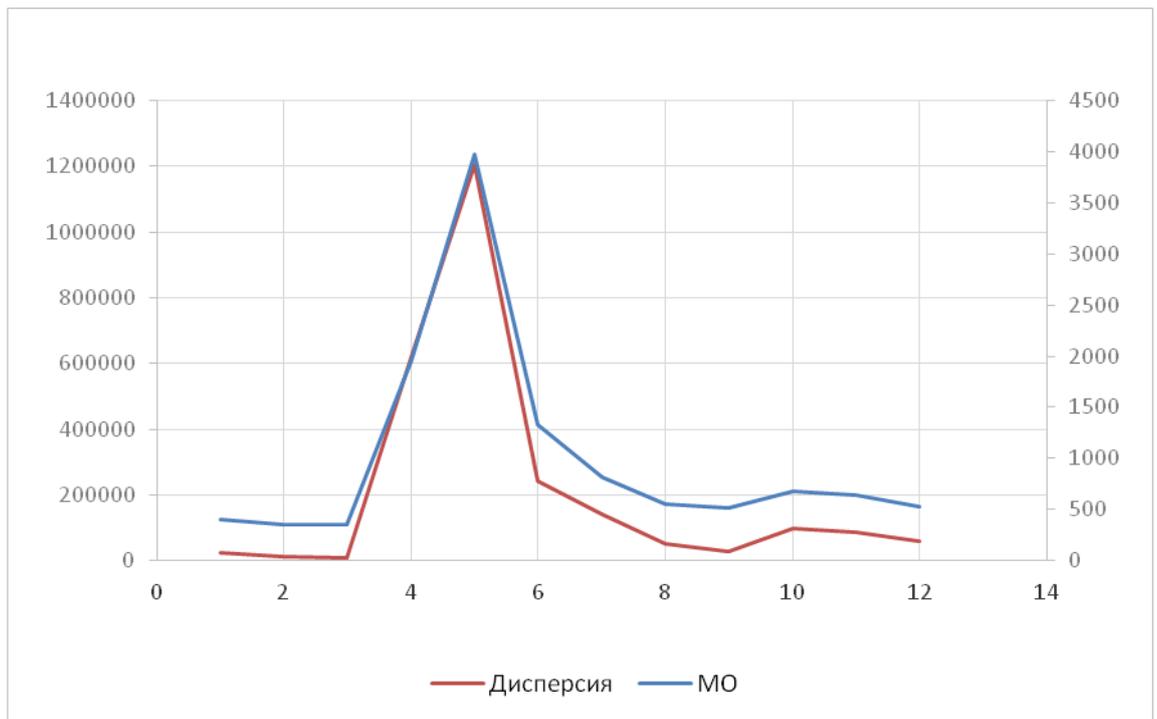


Рис. 3.6. График оценки математического ожидания и дисперсии средних месячных значений расхода воды р.Вятка – г.Вятские Поляны.

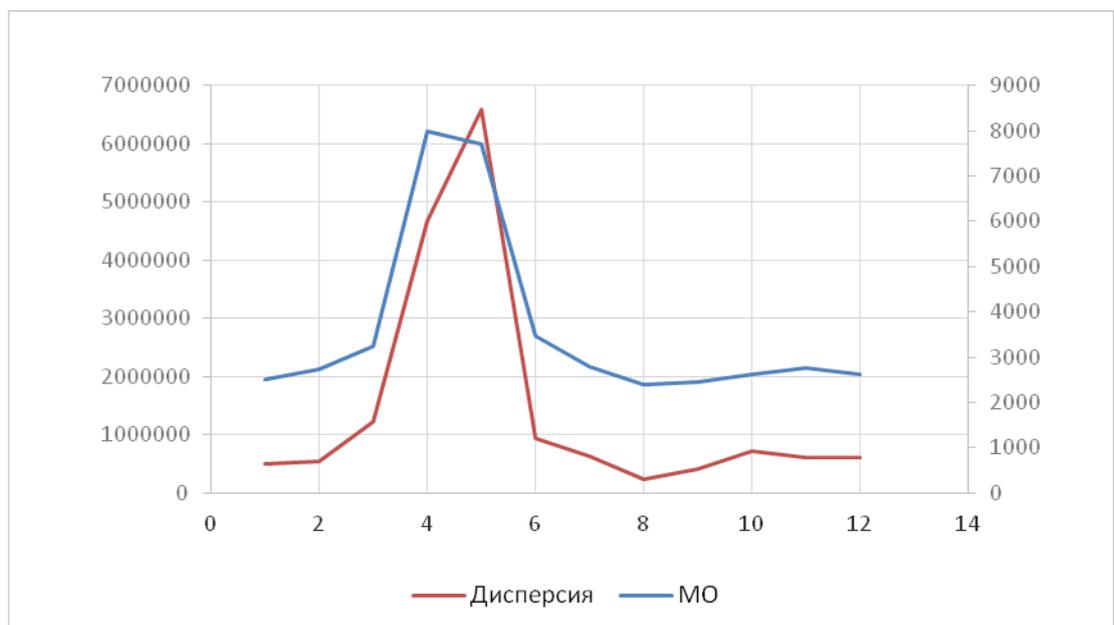


Рис. 3.7. График оценки математического ожидания и дисперсии средних месячных значений расхода воды р.Волга - Чебоксарская ГЭС.

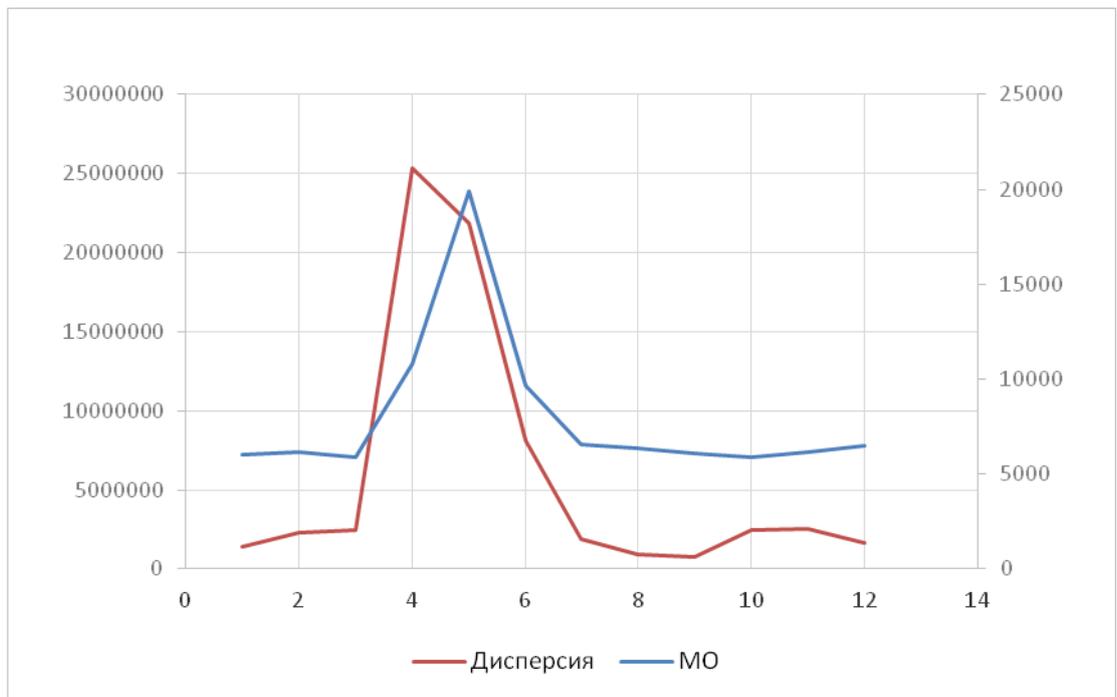


Рис. 3.8. График оценки математического ожидания и дисперсии средних месячных значений расхода воды р. Волга – Жигулёвская ГЭС.

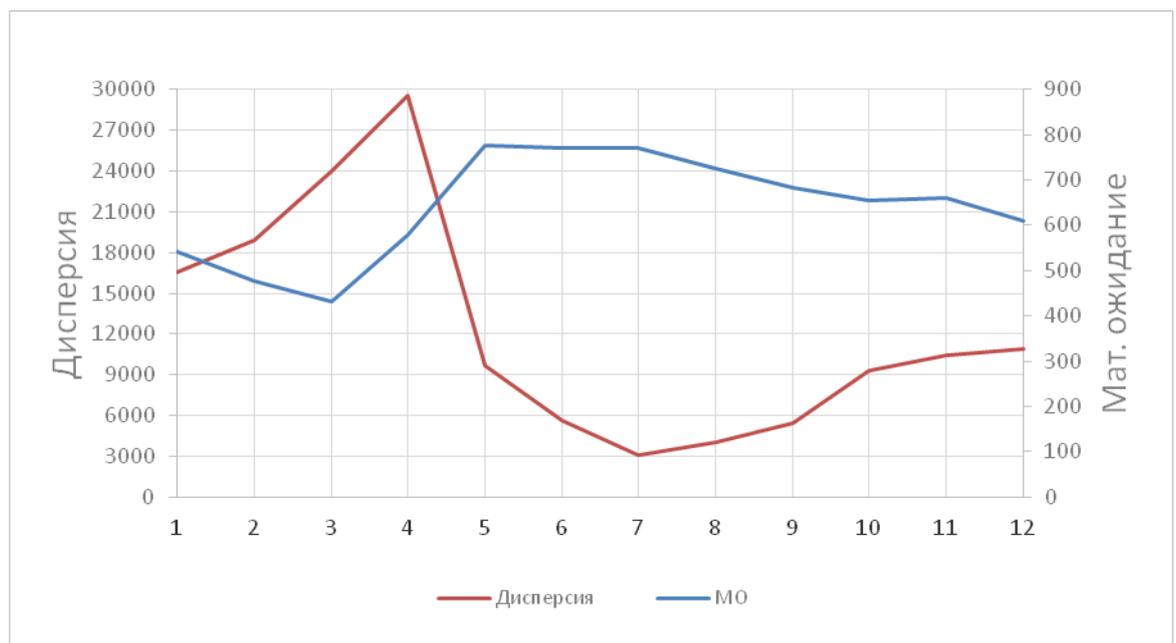


Рис. 3.9. График оценки математического ожидания и дисперсии средних месячных значений уровней воды Куйбышевского водохранилища .

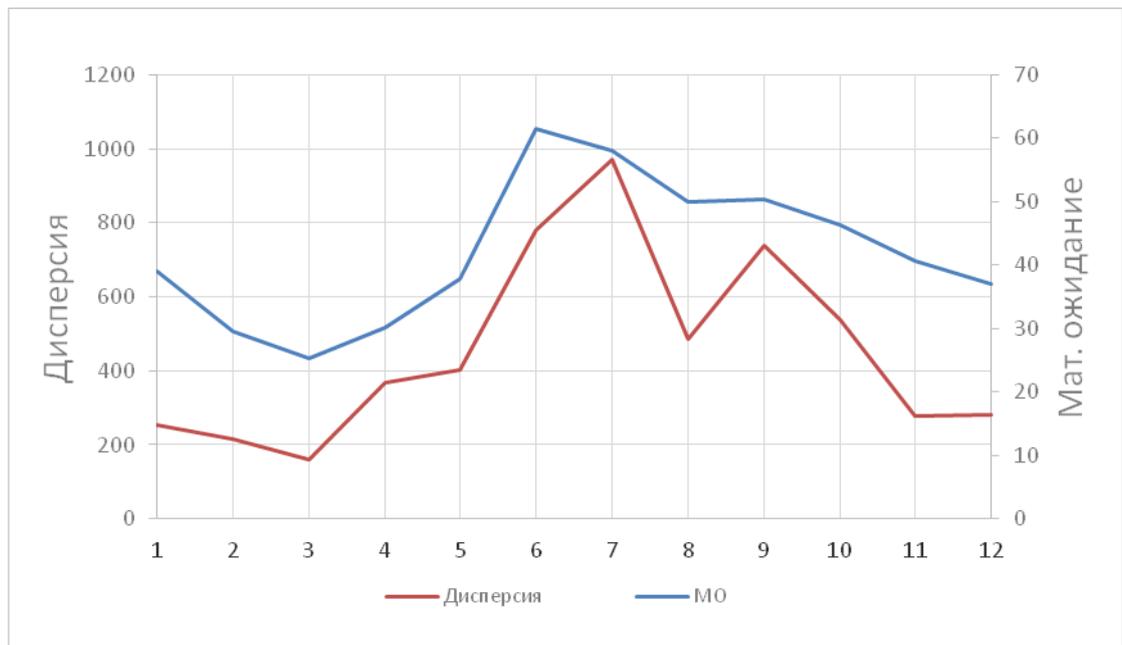


Рис. 3.10. График оценки математического ожидания и дисперсии средних месячных значений расхода осадков выпавших на площадь Куйбышевского водохранилища.

Так, графики оценок математического ожидания  $m(t)$ , имеют вид кривых с широким, выраженным продолжительным половодьем. Основной максимум наблюдается в период весеннего половодья (апрель, май). Максимум дождевых паводков наблюдается в октябре. Минимумы на кривых математического ожидания  $m(t)$  соответствуют зимней межени. Кривые дисперсии  $D(t)$  практически повторяют особенности кривых математического ожидания  $m(t)$ , исключением является месяц апрель.

На рис. 3.6 мы видим идеальное повторение дисперсией кривой математического ожидания – это связано с тем, что р. Вятка является естественно зарегулированной рекой.

Расчет вероятностных характеристик внутригодовой изменчивости речного стока для каждого месяца года для построения графиков приведены в Приложении Е.

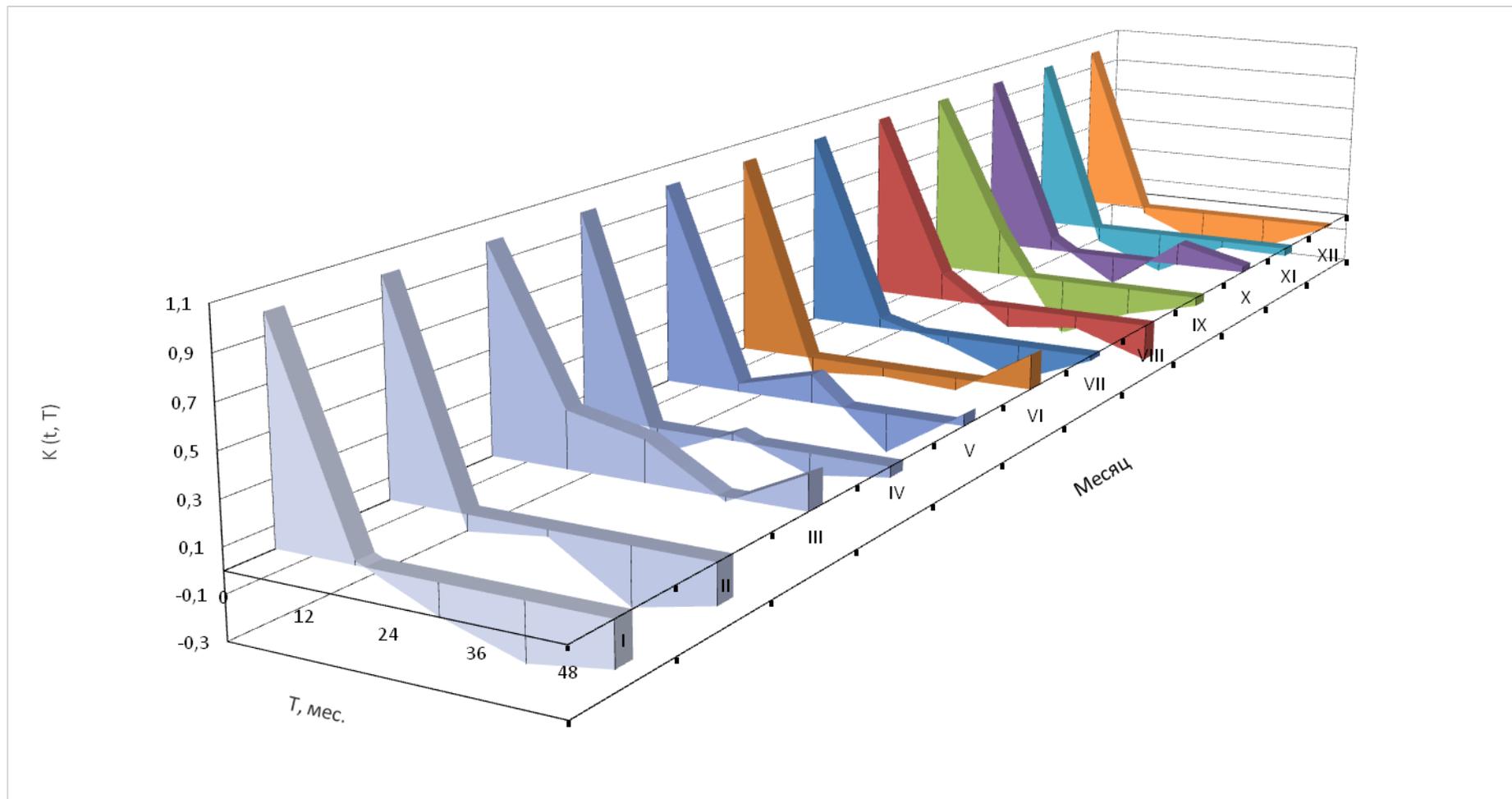


Рис. 3.11 Расчет вероятностных характеристик внутригодовой изменчивости расходов Нижнекамской ГЭС

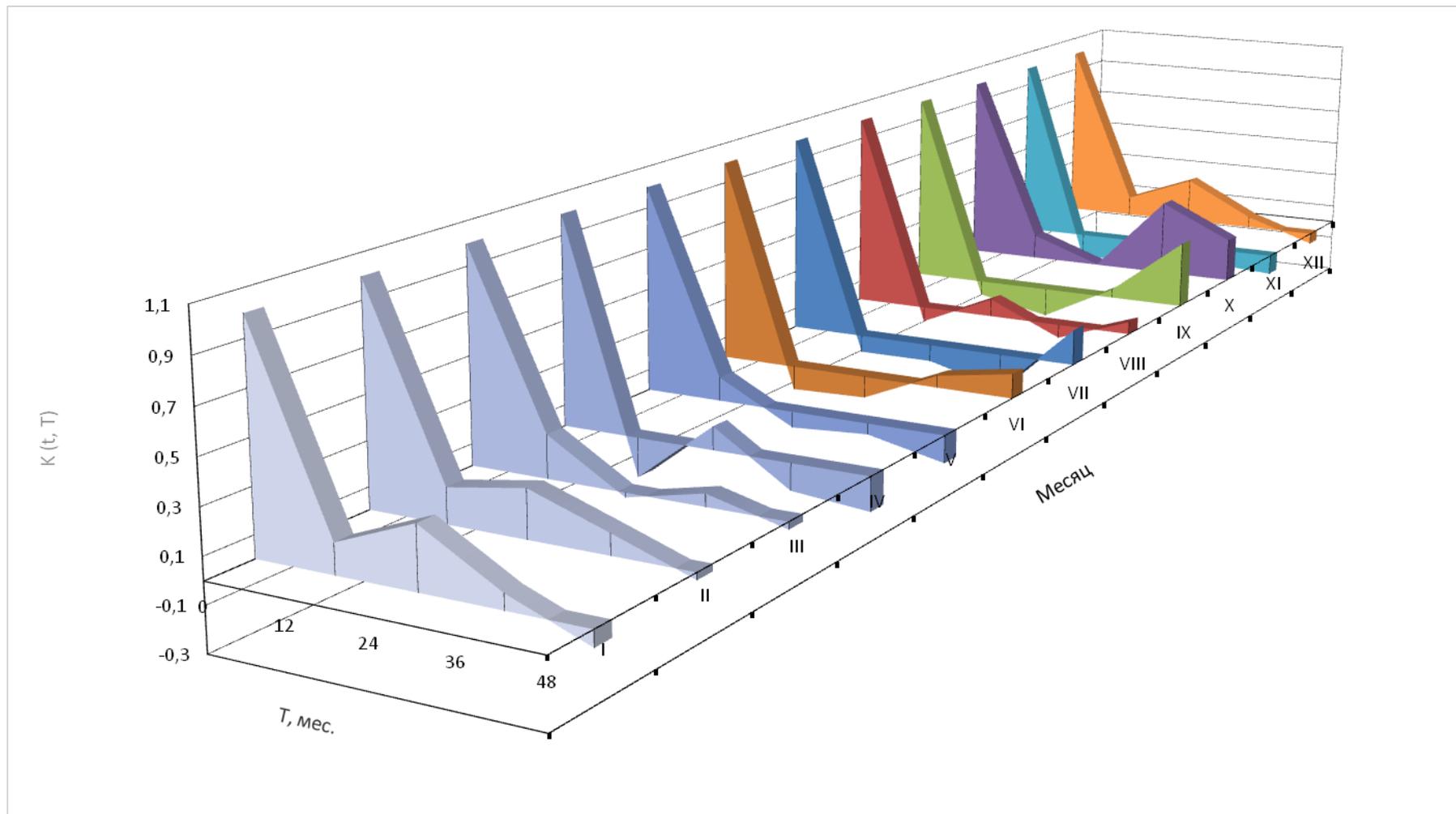


Рис. 3.12 Расчет вероятностных характеристик внутригодовой изменчивости расходов р.Вятка – г.Вятские Поляны

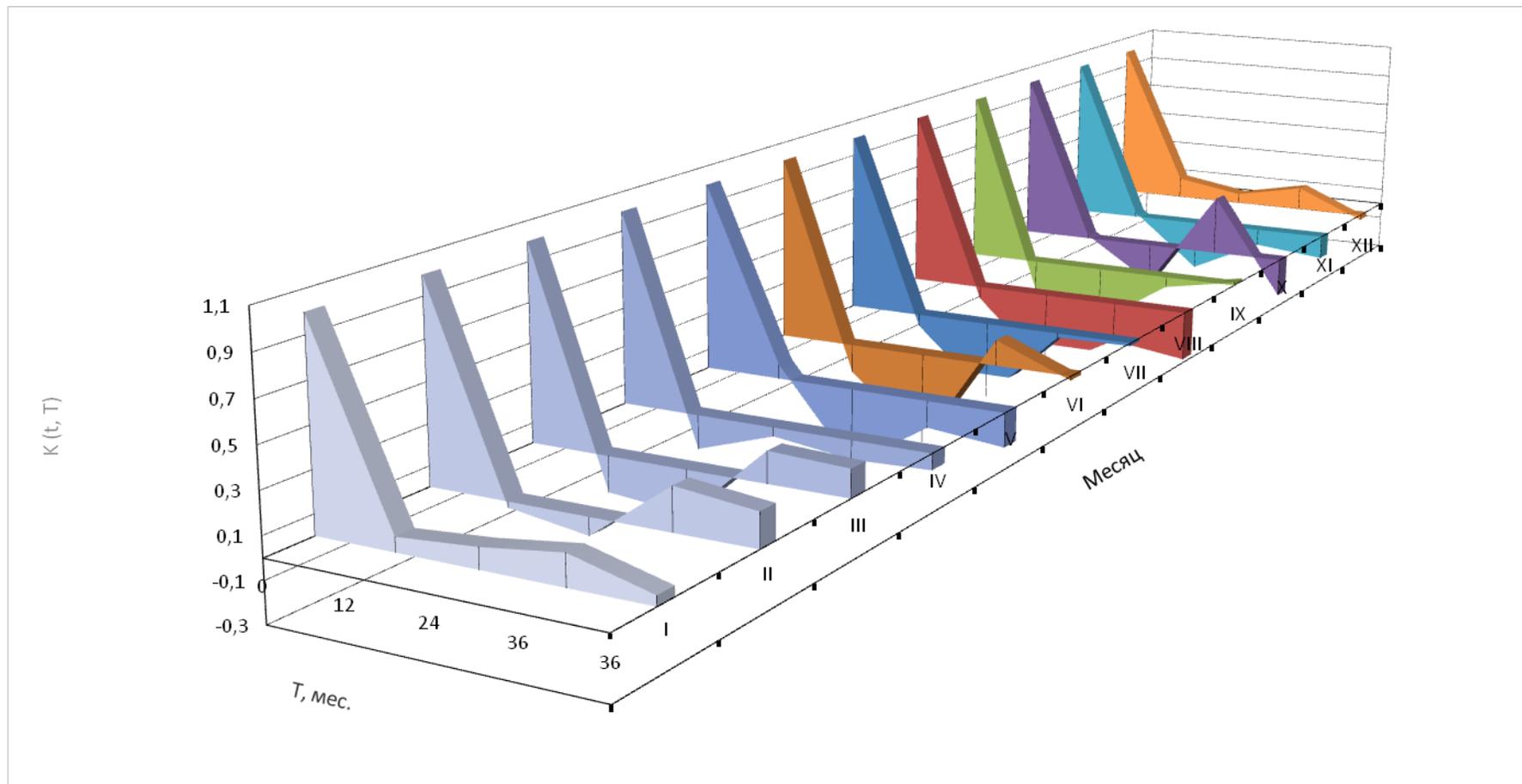


Рис. 3.13 Расчет вероятностных характеристик внутригодовой изменчивости расходов Чебоксарской ГЭС

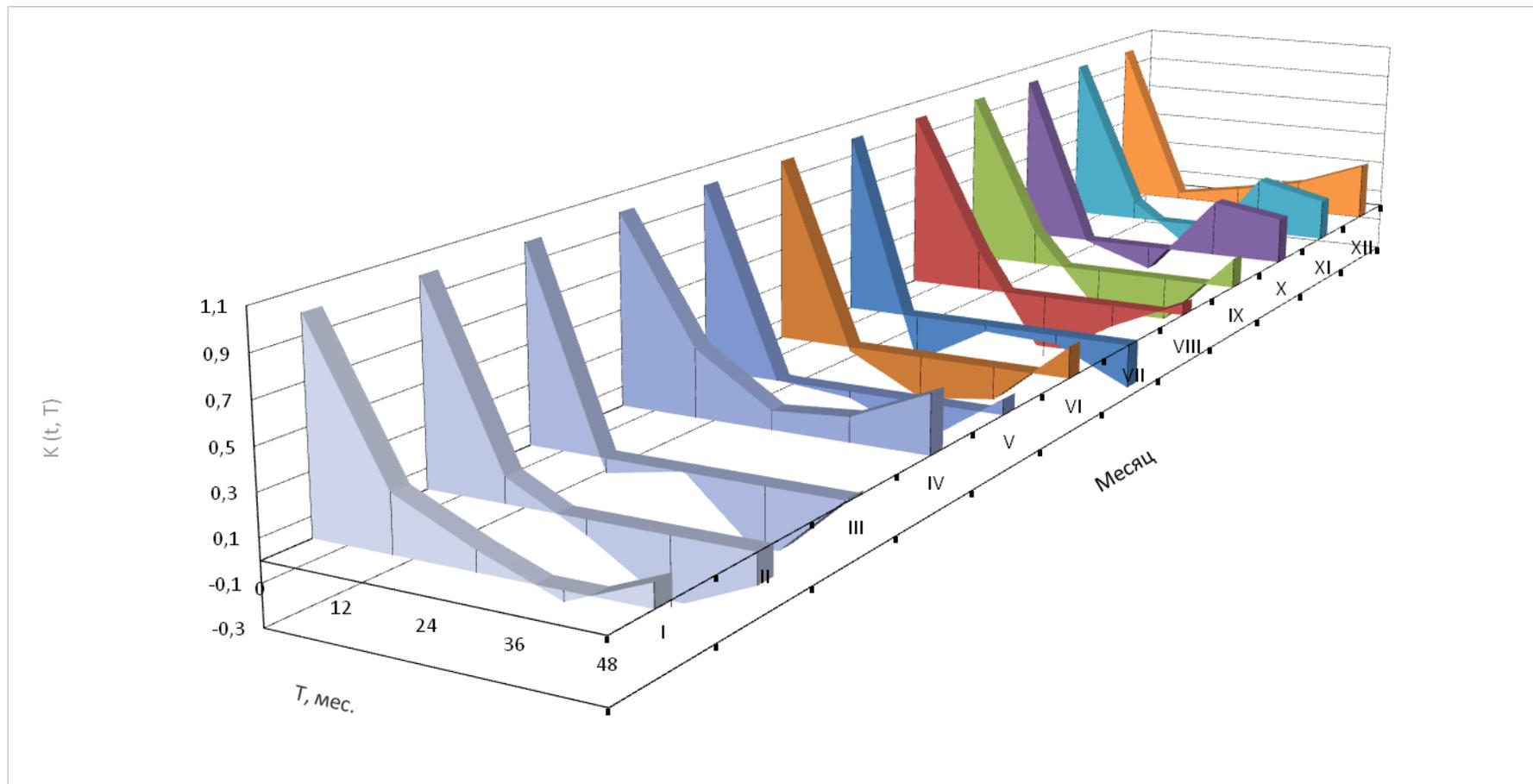


Рис. 3.14 Расчет вероятностных характеристик внутригодовой изменчивости расходов Жигулёвской ГЭС

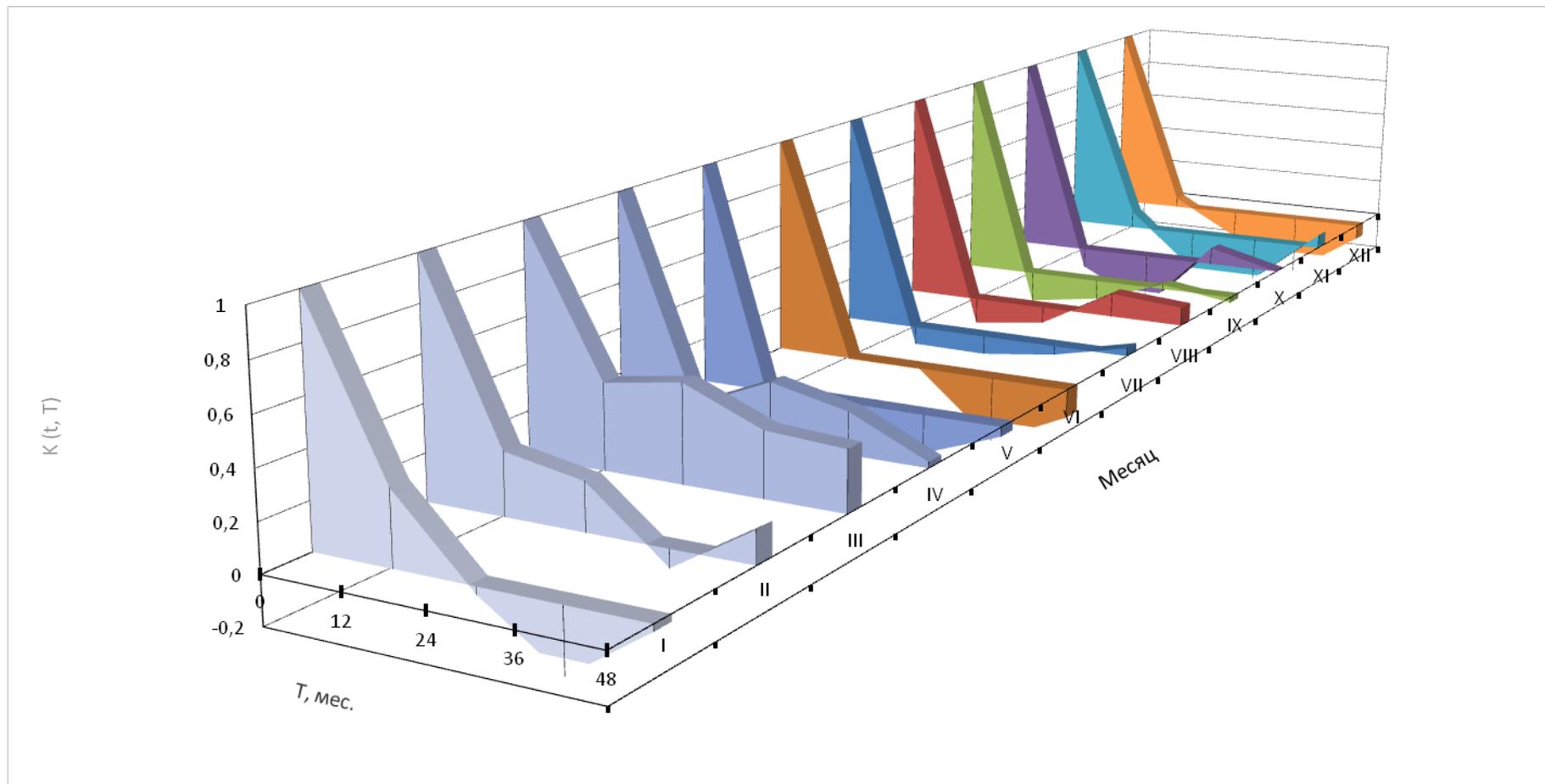


Рис. 3.15 Расчет вероятностных характеристик внутригодовой изменчивости уровней воды

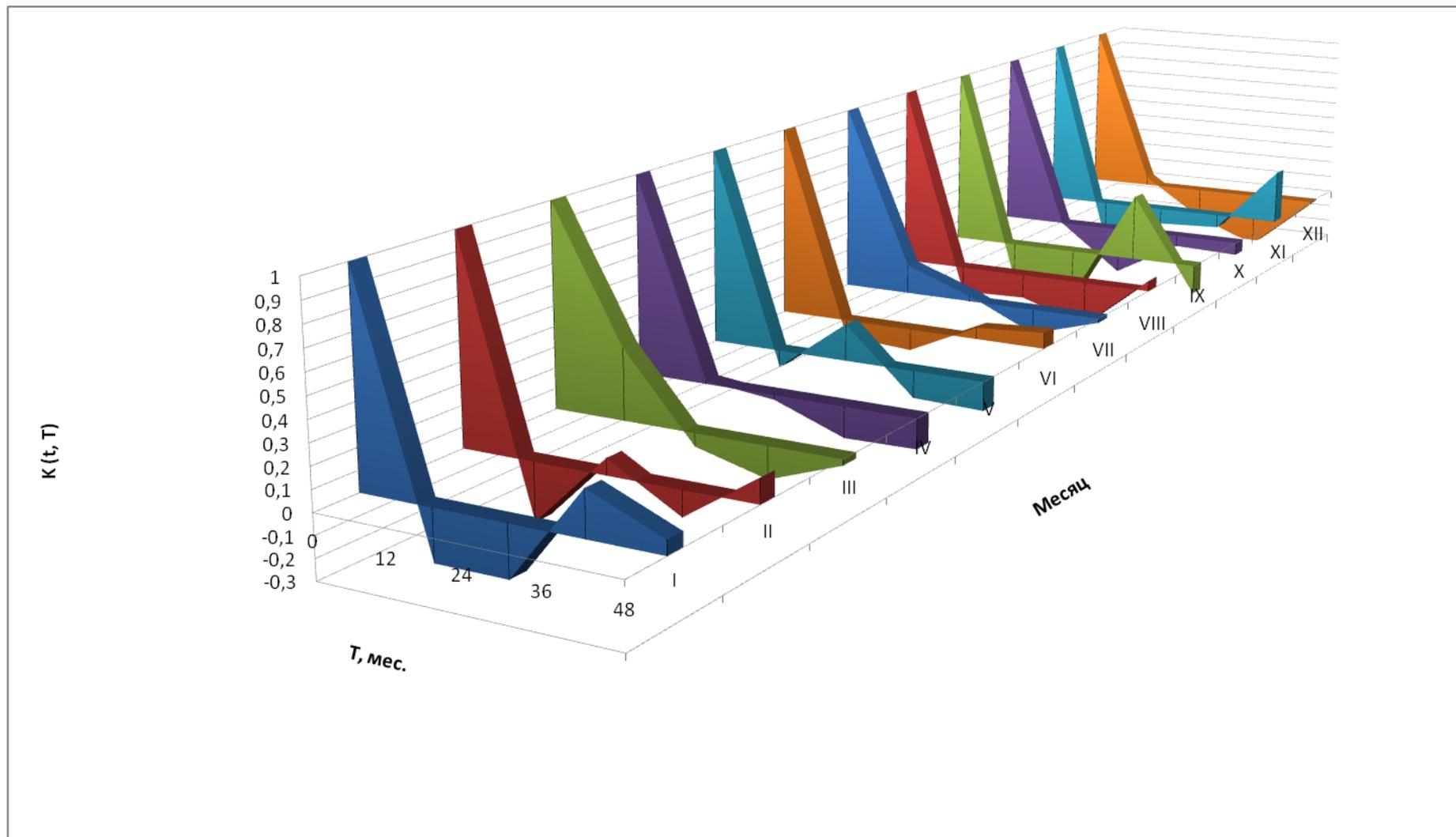


Рис. 3.16 Расчет вероятностных характеристик внутригодовой изменчивости суммарных осадков

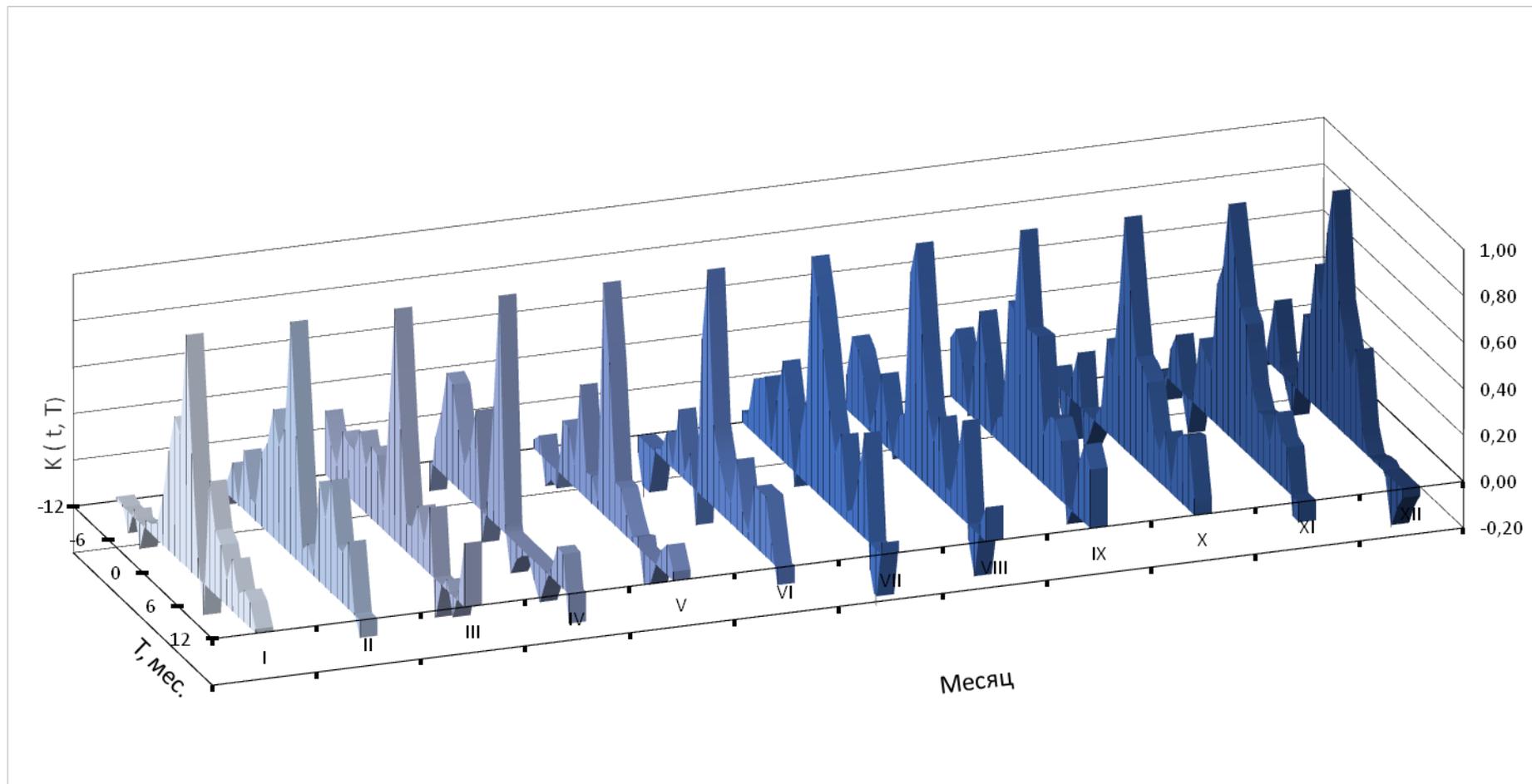


Рис. 3.17 Расчет вероятностных характеристик межгодовой изменчивости расходов Нижнекамской ГЭС

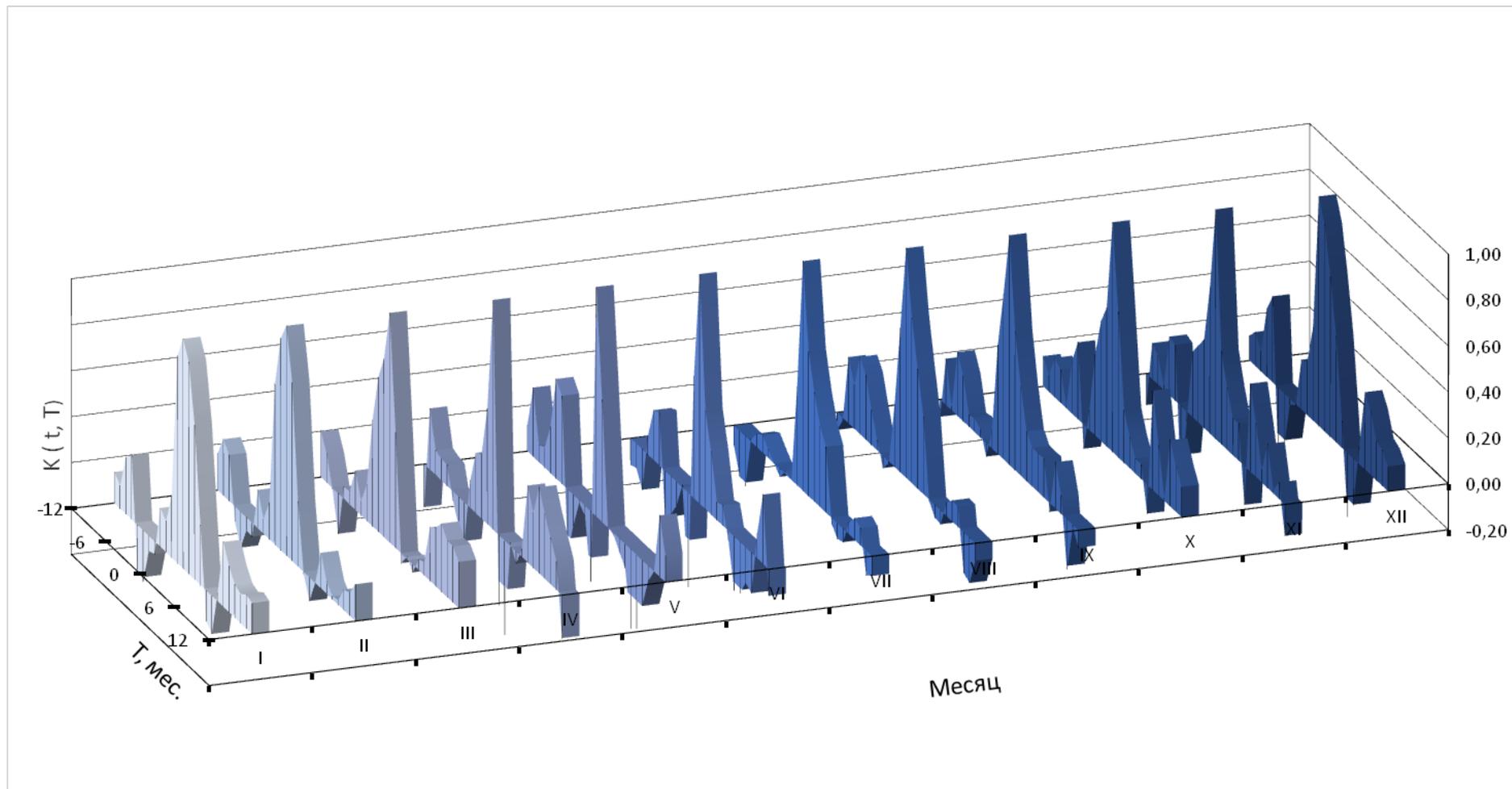


Рис. 3.18 Расчет вероятностных характеристик межгодовой изменчивости расходов р.Вятка – г.Вятские Поляны

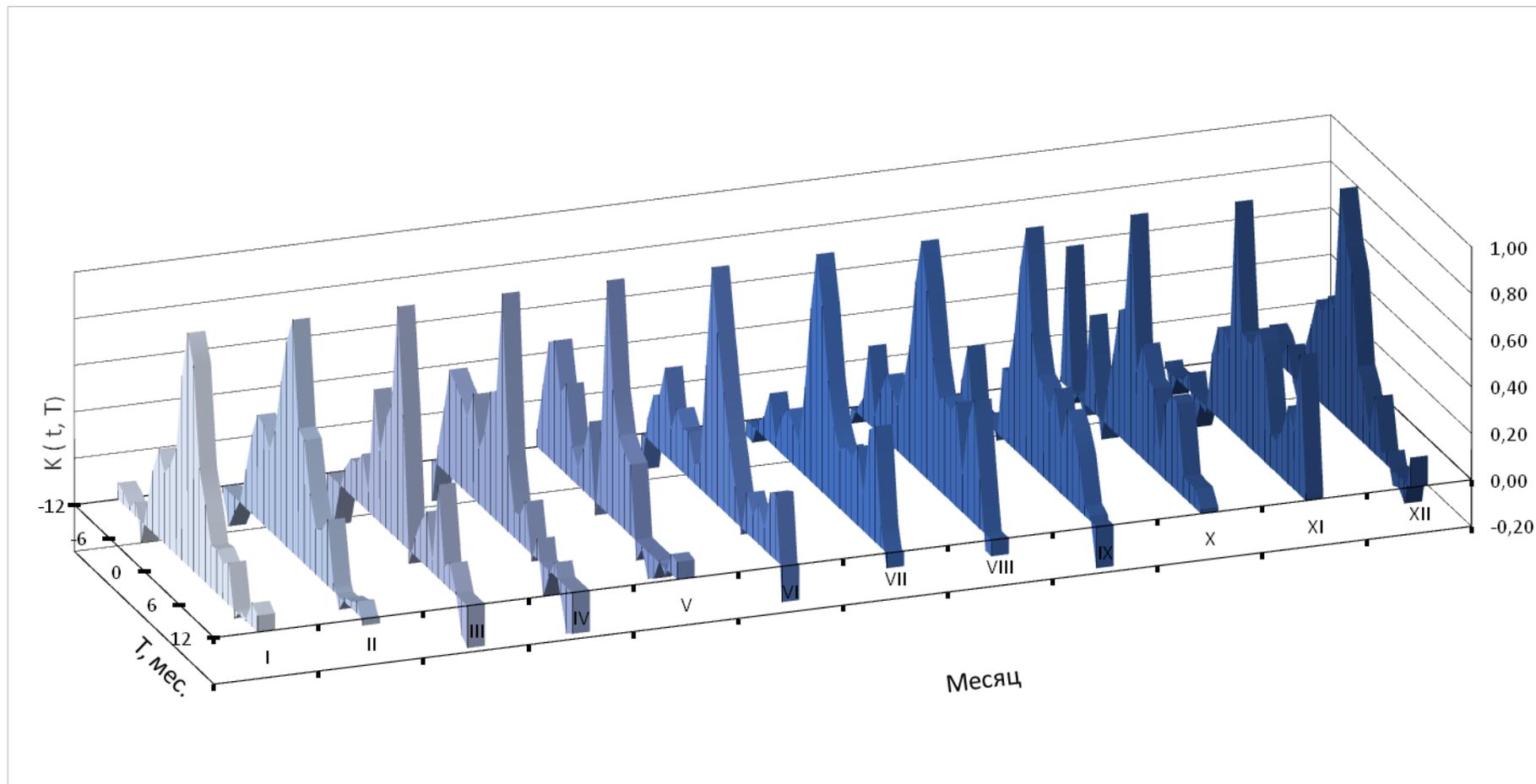


Рис. 3.19 Расчет вероятностных характеристик межгодовой изменчивости расходов Чебоксарской ГЭС

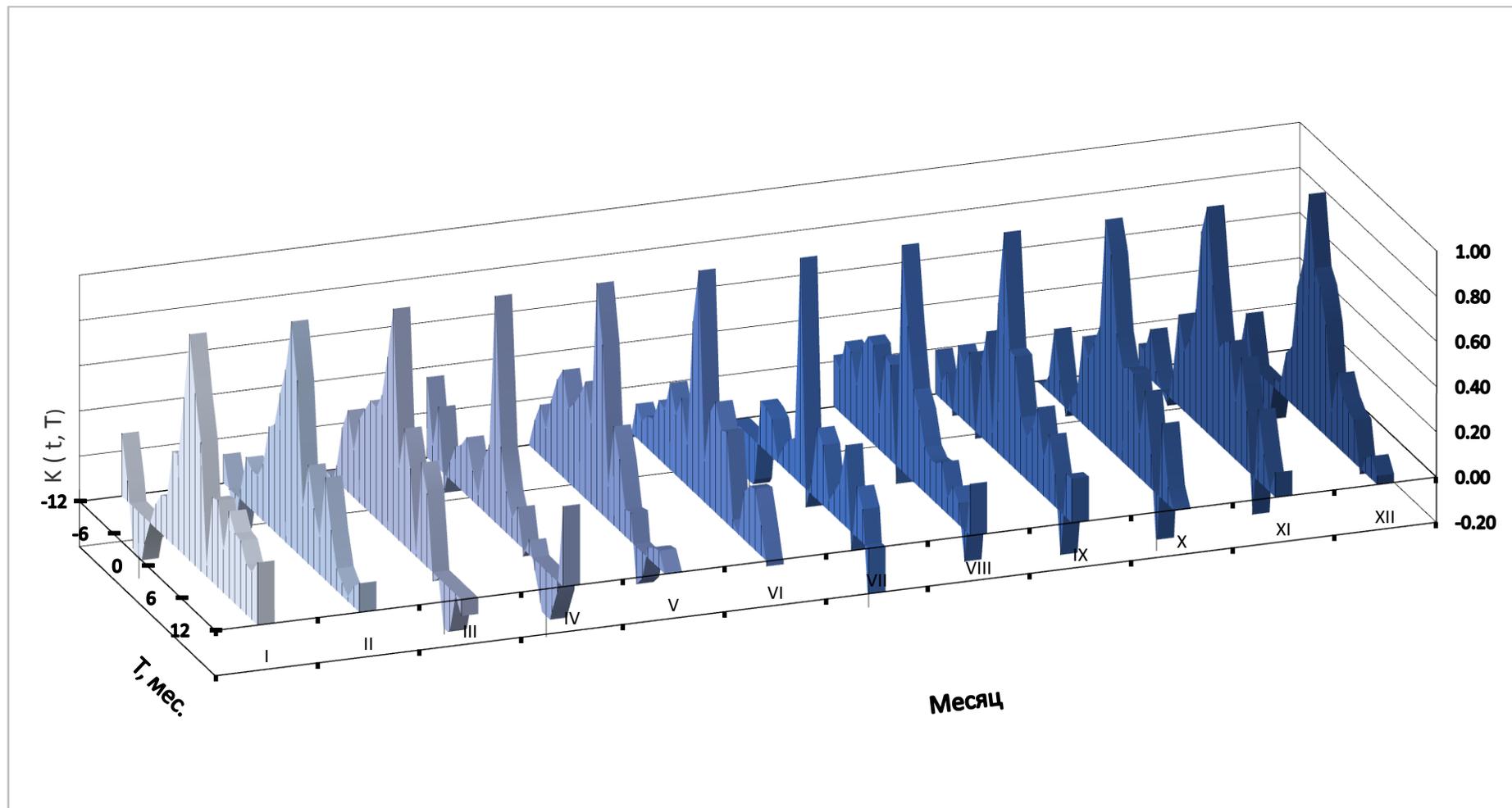


Рис. 3.20 Расчет вероятностных характеристик межгодовой изменчивости расходов Жигулёвской ГЭС

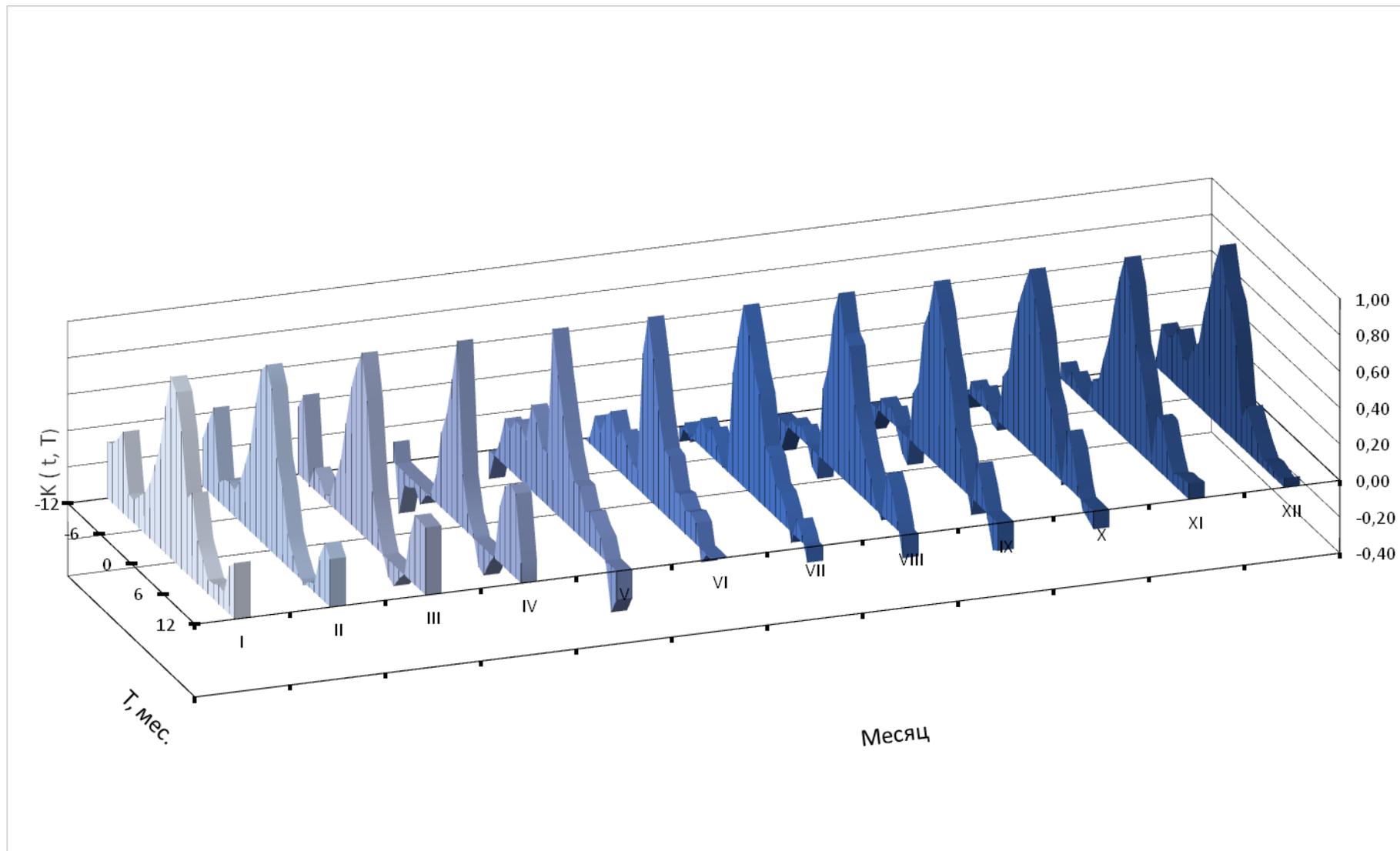


Рис. 3.21 Расчет вероятностных характеристик межгодовой изменчивости уровней воды

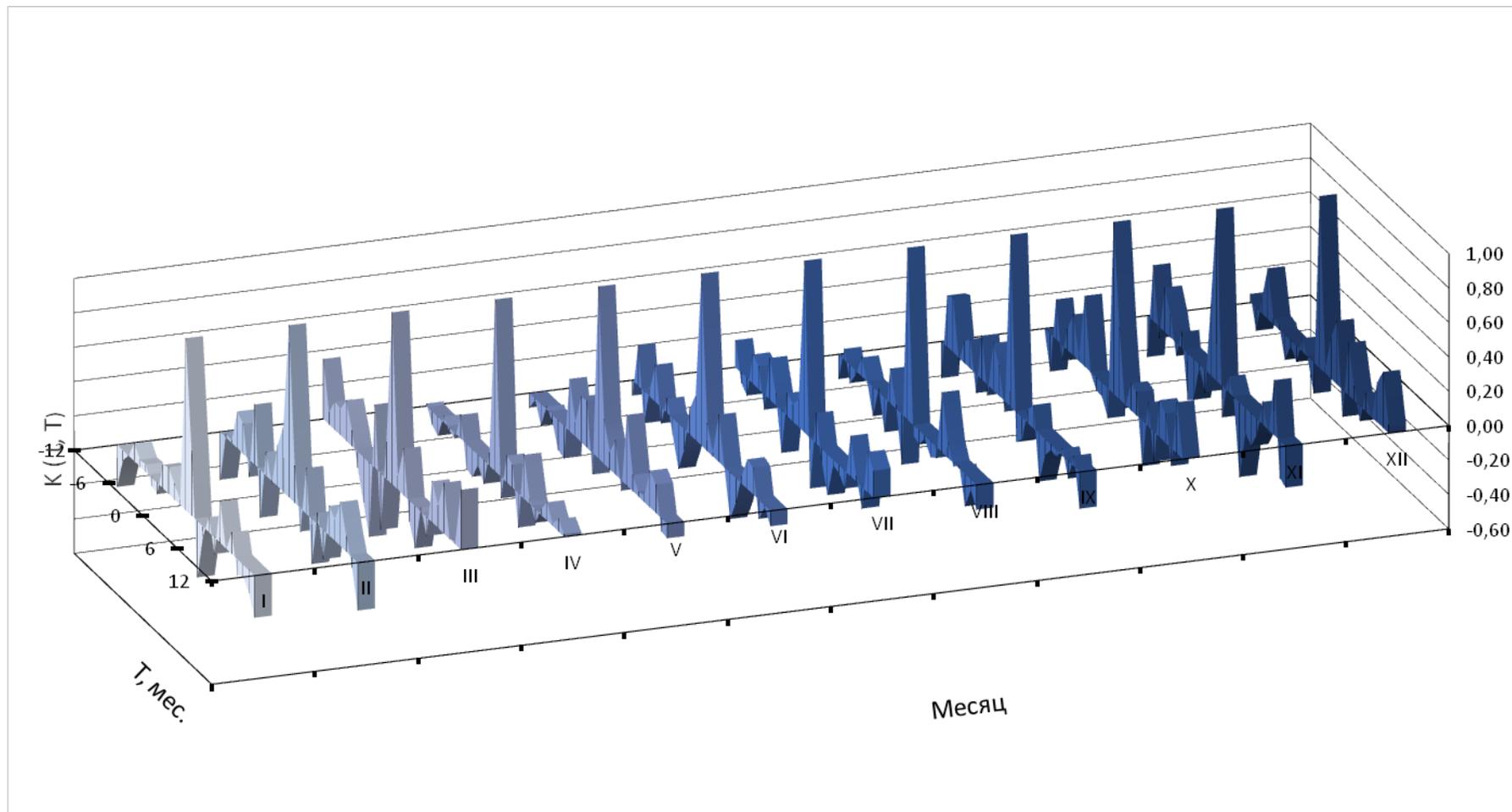


Рис. 3.22 Расчет вероятностных характеристик межгодовой изменчивости расходов суммарных осадков

### 3.3 Обобщение результатов анализа временной изменчивости речного стока в терминах вероятностной модели.

Алгоритм анализа исходных реализаций стока реки, основанный на выделении из последовательностей средних месячных величин 12 ежегодных подпоследовательностей значений для каждого месяца года, приводит к целесообразности рассмотрения внутригодового хода и межгодовой изменчивости анализируемых процессов как многомерного случайного вектора

$$\beta_t = \{\beta_{1,t}, \dots, \beta_{12,t}\}^T.$$

Обобщим полученные в ходе анализа результаты о внутригодовых и межгодовых изменениях речного стока путем вероятностного моделирования. Под вероятностной моделью процесса будем понимать параметрически заданную дискретную случайную функцию, позволяющую воспроизводить ряд случайных значений с теми же вероятностными свойствами, что и ряд исходных значений. Опишем каждую компоненту вектора  $\beta_{it}$ , т. е. каждую подпоследовательность ежегодных значений расходов, модельным процессом АР (1). В этом случае модель примет вид

$$\beta_{it} = \varphi_i \beta_{it-1} + \varepsilon_{it}, \quad i=1, \dots, 12, \quad (3.3)$$

где  $\varepsilon_{it}$  – дискретная последовательность белого шума с нулевым средним и дисперсией  $\delta^2_{i}$ ;  $\varphi_i$  – параметр авторегрессии.

Параметры модели определяются через компоненты корреляционной матрицы следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \varphi_i &= K_{i, i+1} / K_{i, i}, \\ \delta^2 &= (1 - \varphi_i^2) K_{i, i} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Дополнив модель членами  $m$ , учитывающими среднее каждого месяца года, получим

$$\beta_t = \varphi \beta_{t-1} + \varepsilon_t + m, \quad (3.5)$$

где  $\beta_t = \{\beta_{1,t}, \dots, \beta_{12,t}\}$ ;  $\varphi \beta_{t-1} = \{\varphi_1 \beta_{1,t-1}, \dots, \varphi_{12} \beta_{12,t-1}\}$ ;  $\varepsilon_t = \{\varepsilon_{1,t}, \dots, \varepsilon_{12,t}\}$  – вектор белого шума с нулевым средним и дисперсией  $\delta^2 = \{\delta^2_{1}, \dots, \delta^2_{12}\}$ ;

$m = \{m_1, \dots, m_{12}\}$  – вектор математического ожидания;  $\varphi_1, \dots, \varphi_{12}$  – параметры модели.

Для процессов с несущественными внутригодовыми связями, которым соответствует сток рек со слабой естественной зарегулированностью, запись модели будет задаваться 12 параметрами  $\varphi_1, \dots, \varphi_{12}$ , которые характеризуют корреляционные зависимости межгодовой изменчивости для каждого месяца года в виде (3.3), средним  $m_i$  и дисперсией  $\delta^2$ . Параметры  $\varphi_1, \dots, \varphi_{12}$  определяются через компоненты матрицы межгодовой изменчивости по соотношению (3.4).

Для процессов с существенными внутригодовыми связями, которым соответствует сток рек с существенно зарегулированным стоком, в модели (3.3) необходимо учитывать взаимную коррелированность компонент  $\{\beta_t^i\}$  через задания взаимных членов. В этом случае модель (3.5) примет вид

$$\beta_{it} = \varphi_{i,1} \beta_{i,t-1} + \varphi_{i,2} \beta_{i+1,t-1} + \varepsilon_{it} + m_i, \quad i=1, \dots, 12, t=1, 2, \dots, N, \quad (3.6)$$

где параметры  $\varphi_{i2}$  определяются через компоненты матрицы внутригодовой изменчивости, а параметры  $\varphi_{i1}$  – по аналогии с первым случаем.

Таким образом, аппроксимация ежегодных подпоследовательностей  $\{\beta_t^i\}$  модельным процессом АР (1) позволяет в качестве количественных оценок степени естественной зарегулированности стока использовать параметры модели (3.6). Согласно определению регулирующей роли водохранилища ее оценка проводится путем сопоставления характеристик рек, впадающих в водохранилище, с соответствующими характеристиками реки, вытекающими из него. Параметры модели (3.6) для анализируемых процессов приведены в таблице 3.1.

Обобщение результатов анализа межгодовых и внутригодовых колебаний речного стока в терминах модельных процессов авторегрессии АР первого порядка дает возможность использовать параметры этих моделей для количественной оценки регулирующей способности водохранилищ.

Разница параметров вероятностных моделей, описывающих временную изменчивость расходов воды в пункте до водохранилища и в пункте водохранилища, характеризует регулируемую способность техногенных сооружений.

Необходимо обратить внимание на увеличение параметров  $\varphi_2$ , характеризующих межгодовую коррелированность речного стока, на реке Вятка до 0,9 (январь, декабрь) по сравнению с аналогичными значениями на Нижнекамской ГЭС (0,5). Такое увеличение параметров  $\varphi_2$  возможно связано с тем, что река не зарегулирована гидрологическими сооружениями..

По параметру  $\varphi_2$  Жигулёвская ГЭС в июле равняется -0,08 это сопоставимо с осадками за тот же месяц. Можно предположить, что в этот период речной сток состоял, по большей части из грунтового питания.

Таблица 3.1 Численные значения оценок математического ожидания расходов воды  $m(t)$ , дисперсии  $D(t)$ , параметров авторегрессии  $\varphi_1$  внутригодового и  $\varphi_2$  многолетнего хода стока.

Вероятностная характеристика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Р. Кама – Нижнекамская ГЭС												
$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	1773	1857	1894	4486	8370	4771	2576	2159	2098	2331	2224	1877
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	195632	330794	338101	2433306	8581716	2394040	683437	446149	242628	603990	363793	238165
$\varphi_1$	0,51	0,53	0,50	0,04	0,68	0,35	0,85	0,63	0,60	0,71	0,79	0,55
$\varphi_2$	0,02	-0,08	0,28	-0,13	0,04	-0,07	0,05	0,15	0,25	0,07	-0,09	-0,04
Р.Вятка – г.Вятские Поляны												
$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	406	348	351	1958	3975	1326	821	560	521	682	645	527
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	22666	12292	8899	622244	1207208	243071	142210	49436	29078	99140	86119	60107
$\varphi_1$	0,92	0,78	0,50	-0,31	0,53	0,43	0,63	0,72	0,60	0,63	0,40	0,90
$\varphi_2$	0,14	0,16	0,20	-0,19	0,11	-0,12	-0,09	-0,08	-0,08	0,13	-0,14	0,11
Р.Волга Чебоксарская ГЭС												
$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	2510	2729	3256	8003	7698	3464	2789	2389	2445	2631	2754	2615
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	507050	535146	1224557	4682889	6586204	937724	641972	236102	407498	729725	621511	607712
$\varphi_1$	0,88	0,56	0,56	0,33	0,55	0,74	0,80	0,81	0,57	0,35	0,46	0,79
$\varphi_2$	0,07	-0,03	-0,18	-0,18	0,08	-0,15	-0,06	-0,07	-0,18	0,02	0,03	0,13
Р.Волга – Жигулёвская ГЭС												
$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	6054	6133	5876	10824	19906	9659	6577	6388	6063	5923	6174	6492
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	1416836	2281434	2479624	25350772	21829110	8105253	1895771	937252	797499	2469285	2537537	1623982
$\varphi_1$	0,76	0,76	0,32	0,36	0,75	0,18	-0,08	0,66	0,51	0,87	0,67	0,70
$\varphi_2$	0,28	0,13	-0,07	0,36	0,00	-0,02	-0,26	0,23	0,20	0,00	0,11	0,04

Уровни воды

$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	542	478	433	580	776	772	770	727	682	654	660	611
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	16538	18886	24022	29597	9643	5665	3089	4064	5435	9270	10456	10935
$\varphi_1$	0,94	0,90	0,76	0,29	0,77	0,80	0,86	0,80	0,88	0,86	0,87	0,81
$\varphi_2$	0,31	0,26	0,37	0,11	-0,16	0,00	-0,08	-0,13	-0,15	-0,10	0,09	0,05

Осадки

$m(t), \text{м}^3/\text{с}$	39	29	25	30	38	61	58	50	50	46	41	37
$D(t), (\text{м}^3/\text{с})^2$	253	217	159	367	403	780	972	487	737	538	278	280
$\varphi_1$	0,38	0,22	0,08	-0,12	0,26	0,16	-0,29	-0,06	-0,17	0,42	-0,18	0,03
$\varphi_2$	-0,24	0,08	-0,06	-0,02	0,19	-0,11	0,03	-0,13	-0,28	-0,27	-0,10	-0,19

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе выполнен анализ многолетних и внутригодовых колебаний водности реки Волга Куйбышевское водохранилище с использованием данных среднегодовых, среднемесячных расходов воды, а также извлеченных из них ежегодных последовательностей значений для характерных месяцев года.

Привлекались данные по постам на реке Вятка – г. Вятские Поляны, р.Кама – Нижнекамская ГЭС, р.Волга –Чебоксарская ГЭС и Жигулёвская ГЭС. Период наблюдений составил с 1976 по 2010 годы. Куйбышевское водохранилище является водохранилищем многолетнего регулирования. Естественно зарегулирован сток, только на реке Вятка. Куйбышевское водохранилищетехногенно нарушеновыше указаннымигидросооружениями.

Многолетние колебания анализировались по традиционно используемым данным среднегодовых расходов воды. Ежегодные последовательности рассматривались как стационарные случайные процессы. Для установления многоводных и маловодных лет в стоке анализируемой реки привлекался квантильный анализ данных. В качестве основных вероятностных характеристик использовались квантили  $X_{\min}$ ,  $X_{0.25}$ ,  $X_{0.5}$ ,  $X_{0.75}$ ,  $X_{\max}$  и основанные на них другие расчетные параметры.

Для выделения трендов на отрезках локальной нестационарности использовалась низкочастотная фильтрация Баттерворта.

Выполненный анализ показал, что в стоке реки Волга, в районе Куйбышевского водохранилища, на рассмотренных постах, многоводные условия пришлись на 1978-1979, 1981, 1983, 1985-1987, 1989-1991,1993-1994, 1997-1999,2001-2002, 2004-2005, 2007-2008 гг.;

Маловодные условия пришлись на 1976-1977,1981-1984, 1988-1989, 1991-1992, 1995-2000, 2002-2006, 2009-2010гг. Наблюдался, также экстремально маловодные год: 1976 по уровням воды. Экстремальных многоводных лет не было.

Результаты низкочастотной фильтрации среднегодовых уровней воды показали, что на Куйбышевском водохранилище, по данным наблюдений, имеется тренд на повышение водности с начала периода предоставленных данных. Сопоставив со среднегодовыми осадками, можно предположить, что сток Куйбышевского водохранилища был сформирован за счёт грунтового питания реки. Естественно зарегулированная река Вятка по фильтрации Беттерворта, соответствует стоку через гидроагрегаты Жигулёвской ГЭС.

Внутригодовые колебания стока реки анализировались по реализациям среднемесячных расходов воды, которые рассматривались как периодически коррелированные случайные процессы. В качестве основных вероятностных характеристик внутригодового хода использовались оценки математического ожидания  $m(t)$ , дисперсии  $D(t)$ , корреляционных зависимостей внутригодовой  $K^*(t, \tau)$ , при  $\tau=1$  месяц и межгодовой  $K^*(t, \tau)$ , при  $\tau=1$  год изменчивости.

Выполненный анализ показал, что для Куйбышевского водохранилища выделяются два основных сезона: тёплый (апрель – октябрь) с высоким половодьем и дождевыми паводками, и холодный (ноябрь – март) – с устойчивой зимней меженью.

Обобщение полученных в результате анализа сведений о внутригодовой и межгодовой колебаний речного стока в терминах модельных процессов авторегрессии первого порядка  $AR(1)$  позволяет оценить регулируемую способность водохранилищ.

Разница параметров вероятностных моделей, описывающих временную изменчивость расходов воды в пункте до водохранилища и после водохранилища, характеризуют регулируемую способность техногенных сооружений.

Параметры авторегрессии  $\phi_1$ , описывающие внутригодовые корреляционные зависимости, увеличиваются в январе с 0,55 Нижнекамской ГЭС до 0,70 у Жигулёвской ГЭС. в феврале аналогичные оценки составляют 0,51 и 0,76, соответственно. Такая тенденция наблюдается в течении всего

года. Таким образом, зарегулированность стока Жигулёвской ГЭС значительна весь период.

Необходимо обратить внимание на увеличение параметров  $\varphi_2$ , характеризующих межгодовую коррелированность речного стока, на реке Вятка до 0,9 (январь, декабрь) по сравнению с аналогичными значениями на Нижнекамской ГЭС (0,5). Такое увеличение параметров  $\varphi_2$  возможно связано с тем, что река не зарегулирована гидрологическими сооружениями..

По параметру  $\varphi_2$  Жигулёвская ГЭС в июле равняется -0,08 это сопоставимо с осадками за тот же месяц. Можно предположить, что в этот период речной сток состоял, по большей части из грунтового питания

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мякишева Н. В., Трапезников Ю. А. Авторегрессионная модель межгодовой изменчивости гидрометеорологических процессов // Вероятностный анализ и моделирование океанологических процессов. Л., 1984.
2. Боровкова Т.Н., Никулин П.И., Широков В.М. Куйбышевское водохранилище.- Куйбышевское книжное издательство, 1962
3. Драган Я. П., Рожков В. А., Яворский И. Н. Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов, Л., 1987.
4. Алексеева Т. Ю., Мякишева Н. В., Трапезников Ю. А. Специфика вероятностного моделирования межгодовой изменчивости гидрометеорологических процессов. М., 1985. Ч. 2.
5. Петров Б.Г. Куйбышевское водохранилище. Географические аспекты водоохранных мероприятий.-М.: «Экопресс», 2004
6. Вода России. Водоохранилища/ Под науч. ред. А.М. Черняева; ФГУП РосНИИВХ.- Екатеринбург: издательство «АКВА-ПРЕСС», 2001

## ПРИЛОЖЕНИЯ



Рис. А.2. Волжско-Камский каскад водохранилищ

