



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

Кафедра Гидрология суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Водный режим рек Киргизии**

Исполнитель Абдыкеримова Бегайым
(фамилия, имя, отчество)

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

Тимофеева Лариса Александровна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Г.Н. доцент

(ученая степень, ученое звание)

Сироме Александр Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«20» июня 2017г.

Санкт-Петербург
2017

ВВЕДЕНИЕ

Кыргызстан является водоизбыточной страной Центральной Азии, поставляет водные ресурсы соседним странам. Для обеспечения водопользователей и водопотребителей необходим учёт стока и мониторинг его возможных изменений. Однако число гидропостов наблюдательной сети республики после 1991 г. сократилась на 80%, что может негативно сказываться на гидрометеорологическом обеспечении народного хозяйства.

При решении практических задач в настоящее время широко используется монография «Ресурсы поверхностных вод» (1972). В ней приведены обобщения и расчеты всех параметров стока, а также результаты анализа и обобщений материалов наблюдений для рек Северного Кыргызстана по 1966 г. Однако насколько бы всеобъемлющей ни была эта работа, со времени ее публикации прошло 45 лет, в течение которых накапливалась информация (удлинялись ряды наблюдений), изменялась гидрометрическая сеть, строились гидротехнические сооружения и т.д. В течение этого периода началось глобальное потепление климата, которое отразилось на изменении климата Кыргызстана, что повлияло на динамику ледников и водность рек.

Следовательно, водный режим и характеристики стока могли измениться, что необходимо учитывать. Поэтому цель работы – выявление современных изменений водного режима и характеристик стока рек Кыргызстана – является актуальной. Для её достижения необходимо выполнить ряд задач:

- ознакомиться с закономерностями и особенностями водного режима рек Кыргызстана;
- собрать исходные данные: многолетние ряды среднемесячных расходов воды с начала наблюдений по 2015 г.;
- выполнить обработку данных и проанализировать результаты обработки;

– выявить возможные современные изменения водного режима и его характеристик (по сравнению с ранее опубликованными данными) и интерпретировать их.

Исследование выполнено по р. Чу и её притокам рр. Чон-Кемин и Аламедин. Полученные характеристики сравнены с опубликованными ранее оценками.

1. Физико-географическое описание территории и объектов исследования.

Кыргызстан – страна в Центральной Азии большая часть которой входит в горную систему Тянь-Шаня, и только крайний юго-запад относится к Памиро-Алаю. Граничит на севере с Казахстаном, на западе – с Узбекистаном, на юго-западе – с Таджикистаном, на юго-востоке и востоке – с Китаем (рисунок 1.1). Столица – Бишкек.

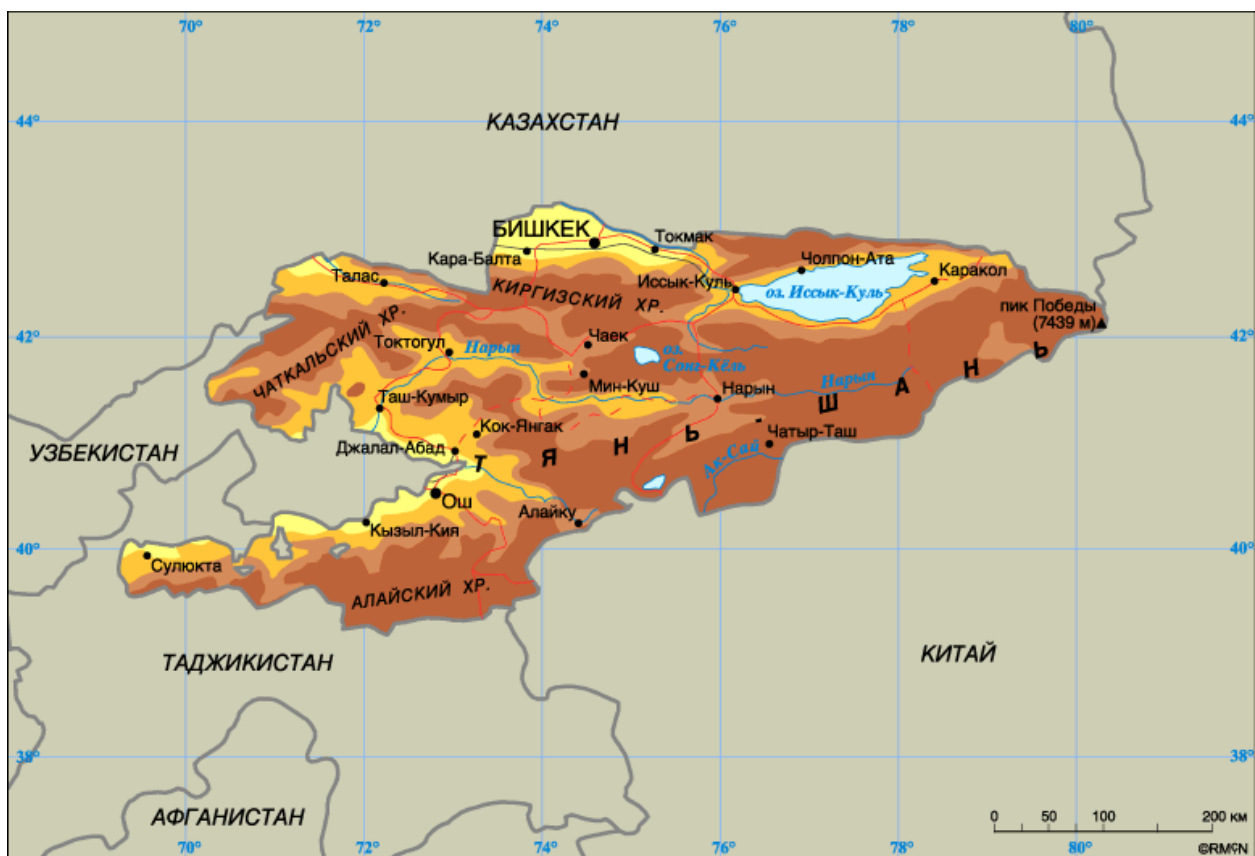


Рисунок 1.1 Карта-схема части Центральной Азии.

1.1 Климат

В Кыргызстане континентальный климат, который на большей части территории умеренный, а в Чуйской и Ферганской долинах – субтропический. Времена года проявлены отчетливо.

Сильное воздействие на климат оказывает сложный горный рельеф с большими амплитудами высот, наличие крупного незамерзающего озера

Иссык-Куль и отдаленность от океанов. До некоторой высоты количество осадков увеличивается.

Среднегодовая продолжительность солнечного сияния колеблется в пределах 2500-2700 часов. Однако сложность рельефа Тянь-Шаня вносит много местных поправок в продолжительность солнечного сияния. В многочисленных узких долинах типа она не превышает 1700-1800 часов в год. Определенное влияние на продолжительность солнечного сияния оказывает и облачность, среднегодовая величина которой по районам Кыргызстана составляет 5-6 баллов. Максимум облачности приходится на март-апрель и достигает 7-8 баллов, минимум – на август-сентябрь и составляет 3-4 балла. В основном влажность и облачность являются следствием движения обширных воздушных масс с запада. Западные ветра приносят с собой обильные дожди, грозы и снегопады.

Зимой на климат и погоду Кыргызстана оказывают влияние арктические ветры со стороны Сибири и Северного Ледовитого океана. Чаще всего это приводит к выпадению осадков и снегопадам. В такую погоду нередки туманы и морозящие дожди.

Зимой в Чуйской долине температуры в декабре и январе повышаются до 15-20 °С. Весной, когда влияние арктических воздушных полярных масс ослабевает, а тропических усиливается, над Кыргызстаном происходят резкие смены погоды, часто бывают заморозки. Весна бывает дождливой и короткой. В Чуйской долине весна наступает в марте. В горах через каждые сто метров повышения весна запаздывает примерно на три дня.

Лето – самый устойчивый сезон – начинается в мае, когда поступающие воздушные массы, прогреваясь от подстилающей поверхности, быстро приобретают свойства тропических, континентальных областей. В горах лето более прохладное, особенно в первой половине. Самая низкая (4,3 °С) средняя июльская температура отмечена на тяньшанском пункте

наблюдения. А на высотах более 4500 м. средние температуры июля, как правило, ниже нуля.

Осень начинается в сентября. В это время усиливается влияние холодных воздушных масс и так же, как весной, наблюдаются перемены погоды. Осень продолжительная, сухая. На подгорных равнинах она длится до ноября-декабря.

Для Кыргызстана характерны значительные колебания температур воздуха. В Чуйской долине на ст. Константиновка отмечена самая высокая (80,8 °С) годовая амплитуда изменения температур. На склонах гор колебания температур уменьшаются. Так, на высоте 1800-2000 м они составляют 60-62 °С, что соответствует умеренно-континентальному климату. Наименьшие колебания температур характерны для Иссык-кульской котловины. Значительны и межгодовые изменения температур. Так, в мае 1959 г. в Чуйской долине шел снег, тогда как средняя майская температура в этом районе +17,1 °С.

Безморозный период составляет 180 дней. С высотой безморозный период, соответственно, уменьшается, на высоте более 2000 метров в северном Кыргызстане заморозки бывают в течение всего года.

Осадки в Кыргызстане в основном приносятся северо-западными, западными и юго-западными воздушными массами. Их распределение по территории зависит главным образом от экспозиции горных склонов по отношению к господствующим ветрам. В равнинной части Чуйской долины выпадает 300-400 мм. осадков. Горные хребты, открытые воздушным массам, получают наибольшее количество осадков. Меньше всего зимних осадков выпадает в высокогорных районах Тянь-Шаня. Зимние снеговые облака образуются обычно ниже 3000 м., поэтому осадки задерживаются горными хребтами и в котловины не попадают. В горных районах на склонах южной экспозиции встречаются места, совершенно лишенные снегового покрова. В

то же время на склонах северной и северо-западной экспозиции скапливается снег и часто образуются лавины.

Ледники и вечные снега – одним из богатств республики. Площадь оледенения Кыргызстана составляет 6578 км². Запасы воды в них практически неисчерпаемы. Ледники формируются высоко в горах, спускаются вниз по дну долины или по крутому склону горы. Снеговая линия в районах оледенения делит ледник на две части: верхнюю – область питания и нижнюю – область таяния. Многолетние исследования гляциологов Кыргызстана показывают, что в настоящее время происходит отступление ледников.

1.2 Геология и рельеф.

В геологическом отношении территория Кыргызстана занимает уникальное место на Евразийском континенте: здесь в результате встречных движений происходит столкновение крупнейших складчатых поясов мира. Тенир-Тооская часть страны сложена комплексами палеозойско-Урало-Монгольского складчатого пояса, структурные особенности которого обусловлены перемещением литосферы, в основном, с севера на юг, а памирская – комплексами Альпийско-Гималайского складчатого пояса, строение которого сформировано движениями литосферы, в основном, с юга на север. Граница этих структур находится в долине р. Чон-Алай. По выходе к западу и востоку, структуры названных поясов резко расходятся и сильно удаляются друг от друга.

В геологическом строении территории республики выделяются четыре мегакомплекса и соответствующие им четыре мегаэтапа в развитии литосферы, которые резко отличаются друг от друга составом, строением и условиями их формирования. Снизу вверх это архейско-нижнепротерозойский, протерозойский, верхнепротерозойско-палеозойский и мезозой-кайнозойский мегакомплексы. Первый и третий из них сложены

геологическими образованиями, сформированными в континентальных и океанических геодинамических обстановках, а второй и четвёртый – образованиями только континентальных обстановок.

Многие хребты Тянь-Шаня – Таласский Алатау, Киргизский, Кюнгёй-Ала-Тоо, Терскей-Ала-Тоо и др. – имеют преимущественно субширотное простирание. Крупный Ферганский хребет ориентирован с северо-запада на юго-восток, а хребет Какшал-Тоо – с юго-запада на северо-восток (вдоль границы с Китаем), с единственным перевалом в пределах Тянь-Шаня Торугарт (3752 м н.у.м.). Между хребтами Кюнгёй-Ала-Тоо и Терскей-Ала-Тоо находится межгорная впадина, дно которой занято крупным оз. Иссык-Куль. К северу от Кыргызского хребта расположена предгорная Чуйская впадина, наиболее освоенная и густонаселенная часть республики. Обширная Ферганская впадина заходит в пределы Кыргызстана лишь периферическими частями. В кыргызской части Памиро-Алая преобладают субширотные элементы рельефа – Алайский хребет, Алайская долина, Туркестанский и Заалайский (высшая точка – пик Ленина, 7134 м) хребты. В восточной части Заалайский хребет пересекается Памирским трактом у перевала Кызыл-Арт.

В верхнем ярусе гор развито оледенение. Снеговая линия располагается на высотах около 3 км на периферических хребтах и 4,0–4,5 км – на внутренних хребтах. Представлены разные типы ледников. Наиболее крупные из них – дендритовые (Южный Иньльчек длиной 59,5 км и Северный Иньльчек – 38,2 км), имеющие несколько ледников-притоков. Кроме того, распространены долинные, каровые и висячие ледники, а также характерные для Тянь-Шаня ледники плоских вершин. Тянь-Шань богат водными ресурсами и является основным поставщиком влаги для окружающих аридных равнин.

Высшая точка рельефа страны – пик Победы, или Дженгиш-Чокусу (7349 м), расположена в Тянь-Шане, на границе с Китаем.

1.3 Почва и растительность.

Растительность и почвы в Кыргызстане очень разнообразны. Пустынные и полупустынные ландшафты, характерные для равнинной части территории и межгорных впадин, сменяется с высотой более мезофильными степными, луговыми, лесными комплексами, субальпийскими и альпийскими лугами, и лугостепями, а в некоторых районах центрального Тянь-Шаня своеобразными высокогорными холодными пустынями. Характер растительности, густота и глубина её корневой системы, определяют накопление и расходование влаги, развитие эрозии и других гидрологических процессов. Водно-физические свойства почв зависят, в первую очередь, от их состава, и оказывают непосредственное влияние на формирование стока.

Основными закономерностями распространения почвенного покрова и растительности являются:

1. Пустыни и пустынные степи распространены в равнинной части территории, а так же в сухих и межгорных впадинах и долинах, например, в Чуйской, в Кочкорской впадине по террасам р. Сарыджаз и ее притоков. Растительность пустынь характеризуется изреженностью и преобладанием полукустарничков (полынь, солянка) и ксерофильных кустарников с глубокими корневыми системами. Соответствующие этой растительности серо-бурые пустынные почвы имеют преимущественно легкий механический состав, нередко скелетны. Они почти не содержат гумус, не имеют прочной структуры, характеризуются высокой водопроницаемостью, однако атмосферные осадки смачивают лишь их поверхностный горизонт.

Высокогорные пустыни формируются в условиях суровых бесснежных зим. Их почвы, выделяются в самостоятельный тип высокогорных такыровидных пустынных почв, развиты на многолетнемерзлых породах и испытывают глубокое сезонно промерзание. Их роль в формировании стока ничтожна.

2. Степи и лугостепи широко представлены в горной части территории, образуя в низкогорьях и среднегорьях хорошо выраженный степной пояс. По склонах южных экспозиций они проникают в высокогорьях, вплоть до нивальной зоны. Растительность степей характеризуется преобладанием травянистых растений, преимущественно злаков (овсяница, ковыли и ячмень туркестанский). Растительность способствует накоплению гумуса в почве. На каменистых склонах часто встречаются пятна кустарников (караган, таволга, шиповник и др.), играющих существенную роль в накоплении зимних осадков и замедлении таянии снега.

Степные почвы – горно-каштановые, горные черноземы, высокогорные степные – отличаются относительно глубоким промачиванием, однако, как правило, для них характерен водный режим непромывного типа.

1.4 Гидрографическая сеть и её гидрологическая изученность

Территория Кыргызстана является частью замкнутой бессточной области в Центральной Азии. Располагая значительными водными ресурсами (более 50 км³/год поверхностного речного стока, 13 км³ пресных подземных вод, 700 км³ в ледниках), республика использует на свои нужды только от 12 до 17% поверхностного стока. Формируемые в Кыргызстане реки являются трансграничными, обеспечивая водными ресурсами сопредельные государства: Казахстан, Китай, Таджикистан, Узбекистан.

Самая крупная р. Кыргызстана – Нарын, основная составляющая реки Сыр-Дарья, принадлежит Аральскому бассейну. Длина в пределах республики – 535 км, площадь бассейна – 53,7 тыс. км², образуется от слияния Большого и Малого Нарына. Самая крупная река Северного Кыргызстана – р. Чу, общая длина которой 1030 км. Из них 260 км проходит

по территории Кыргызстана. Площадь бассейна 67,5 тыс. км², из них в пределах Кыргызстана 22 тыс. км².

В равнинных областях Кыргызстана встречаются водотоки типа «карасу», сток которых формируется в местах выхода подземных вод на дневную поверхность, по периферии конусов выноса горных рек, в пойменной части крупных рек. Они не имеют водосборной площади. Часто в их русла попадает сток с орошаемых полей, ирригационных систем, как поверхностным, так и подземным путем (Красная и Черная речки в районе г. Токмок).

В Кыргызстане 1923 озера с общей площадью водной поверхности 6836 км². Крупнейшие из них – оз. Иссык-Куль (площадь зеркала 6236 км²), Сон-Куль (площадь зеркала 275 км²) и Чатыр-Куль (площадь зеркала 175 км²). В настоящее время в Кыргызстане эксплуатируются 24 водохранилища, общем объемом 24 км³. Имеется также 200 резервуаров декадного и сезонного регулирования, общим объемом 105 млн. м³.

Распределение среднего стока по территории Кыргызстана, в основном, хорошо соответствует распределению атмосферных осадков, которое в свою очередь зависит от высотного положения водосбора, от степени его доступности влагонасыщенным воздушным массам, а также от местных синоптических процессов.

Река Чон-Кемин и реки северного склона Кыргызского хребта Кегеты, Шамси, Аламедин, Алаарча, Сокулук, Иссык-Ата имеют довольно высокую водность (от 12 до 20 л/с км²), обеспеченную благоприятными условиями увлажнения и значительным оледенением водосборов (степень оледенения составляет 5-10%). Водосборы правобережных притоков р. Чу, стекающих с юго-западных склонов невысоких Чу-Илийских гор, при средних высотах водосборов от 1000 до 2000 м, увлажнены недостаточно, их модули не превышают 2,0-4,0 л/с км².

Начало изучения и развития гидрографии и гидрологии Кыргызстана положено путешествиями П.П. Семенова-Тянь-Шанского, Н.М. Пржевальского и других исследователей Центральной Азии. Однако детальное изучение началось в 20-х годах прошлого столетия, после создания в 1919 г. Государственного Гидрологического Института (ГГИ, г. Ленинград) и Гидрометеорологической службы Республики в 1926 г. Основной задачей этих организаций являлось создание наблюдательной сети для изучения гидрологического режима водных объектов и обеспечение развивающегося народного хозяйства республики гидрометеорологической информацией. Размещение сети гидрометеорологических наблюдений (метеорологических станций и постов, гидрометрических постов) учитывало зональную и высотную поясность формирования природных ландшафтов, стока рек, увлажнения, испарения, а также распределения осадков и ледников.

«Основные гидрологические характеристики» (ОГХ), изданные в период до 1991 г., содержат данные по 427 гидрологическим постам. В том «Ресурсы поверхностных вод» по бассейнам рр. Чу, Талас, Тарим и оз. Иссык-Куль помещены сведения, гидрологические характеристики и описания почти по 150 и по бассейну р. Сырдарья (в пределах Кыргызстана) – по 100 гидрологическим постам. Данные наблюдений по столь разветвленной гидрологической сети использовались в научных обобщениях, изданных трудах, статьях и диссертациях.

Гидрологические исследования в горных областях Кыргызстана в советский период проводились и по специальным научным направлениям в рамках программ Союзных и Международных организаций. Для выполнения этих программ организовывались специализированные экспедиции и гидрографические партии. Так, в целях изучения малых горных водотоков, были организованы экспериментальные гидрологические бассейны на рр. Алаарча и Чон-Кызыл-Суу. В этих бассейнах проводился весь комплекс гидрометеорологических, воднобалансовых и гляциологических

наблюдений. Гидрометрическая сеть охватывала не только основные реки, но и их притоки, воднобалансовые наблюдения проводились с учетом высотной зональности на всех типах подстилающей поверхности, а также на ледниках.

По результатам исследований установлены закономерности и особенности формирования стока горных рек, режима и баланса ледников, распределения метеорологических элементов, рассчитан водный баланс речных бассейнов (в том числе р. Чу) по данным непосредственных наблюдений, выведены и уточнены многие расчетные формулы и уравнения, разработаны рекомендации по их применению к неизученным водотокам. Всё это внесло огромный вклад в изучение и развитие горной гидрологии Кыргызстана [2,3,8,13,56,83,100,111,113].

Гидрологи Кыргызстана и сейчас занимаются сбором данных наблюдений и обеспечивают информацией заинтересованные организации и учреждения. Однако после распада СССР перед Кыргызгидрометом встали проблемы, связанные со слабым финансированием и техническим обеспечением разветвленной сети гидрометеорологических станций и постов. Кыргызстан оказался несостоятельным содержать такую сеть, и началось ее сокращение: по данным на 1992 г. гидрологическая сеть насчитывала только 124 поста, и около 50 метеостанций; по данным на 1998 г. – 84 и 37, а на 01.01.2000 г. – 55 и менее 30, соответственно.

В результате сокращения наблюдательной сети Кыргызгидромета (почти на 80%) и практически полного закрытия ведомственной сети Минводхоза и других организаций, стал ощущаться острый недостаток информации. Эта проблема, тем не менее, преодолевается, так как накоплены многолетние ряды наблюдений, которые помещены в обобщающие эти данные сборники, ежегодники, монографии, и которые можно использовать для гидрологических расчетов, обоснований, а при отсутствии данных наблюдений, в качестве аналогов.

Около 90% водных ресурсов используются на орошение сельскохозяйственных земель. К сожалению, применение устаревших методов полива приводит к безвозвратным потерям воды, которые составляют порядка 40-50%. Еще большие потери воды, по некоторым данным, допускают соседние республики.

Свыше 700 тыс. жителей городов и сёл Кыргызстана в настоящее время вынуждены использовать воду из рек и каналов, часто не соответствующую санитарно-гигиеническим требованиям. Водопотребление подземных вод составляет сравнительно небольшую часть общего водопотребления и используется в основном для водоснабжения крупных населенных пунктов, для нужд производства и в хозяйственно-питьевых целях.

1.5 Водный режим рек Кыргызстана

Большая часть бассейнов рек Кыргызстана расположена в горной области, наиболее возвышенная часть которой (выше 3000 м) служит естественным аккумулятором влаги, в виде «вечных» снежников, ледников и сезонного снега, являющихся источниками питания хорошо развитой речной сети.

Основными источниками питания рек республики являются талые воды сезонных снегов (А) и талые воды «вечных» снегов и ледников (Б). Дождевые воды в стоке рек имеют второстепенное значение и не превышают 1% на реках с высоко расположенными водосборами, возрастая до 10% на реках, водосборы которых расположены ниже 2000 м. Подземные воды играют в питании рек значительную роль и имеют решающее значение в меженный период.

Соотношение источников питания для отдельно взятой реки индивидуально и определяется вертикальной поясностью и долей площади

водосбора, лежащей выше 3000 м и площадью ледников, т.е. степенью оледенения водосбора.

В годовом ходе стока рек выделяются три основных периода, в каждом из которых превалирует тот или иной источник питания:

1) период снегового половодья, когда сток формируют талые воды сезонных снегов нижних и средних ярусов гор (А). Начало половодья определяется наступлением устойчивых положительных температур воздуха на высоте зон таяния, а конец – объемом снегонакопления.

2) период ледниково-снегового половодья, когда сток формируется преимущественно талыми водами высокогорных снежников и ледников (Б). Этот период приходится на самое жаркое время года – июль-август, когда нулевая изотерма поднимается выше 3500-4000 м.

3) период межени, когда поверхностный сток в реки практически прекращается, в связи с окончанием процессов таяния, и питание осуществляется за счет подземных вод, аккумулированных в толщах зоны активного водообмена. В это время отмечаются минимальные и устойчивые расходы воды [6,30,74,121,122].

В зависимости от того, какой вид талых вод преобладает в формировании стока, определяется тип питания реки, который характеризуется показателем типа питания δ – отношение объема стока за июль-август к объему стока за март-июнь, предложенный В.Л. Щульцем [153]. Этот показатель зависит от высоты водосбора и взят за основу классификации рек по типам питания, согласно которой в пределах республики выделяются реки четырех типов:

- ледниково-снегового;
- снегово-ледникового;
- снегового;
- снегово-дождевого.

Ледниково-снеговое питание имеют реки со значительной площадью оледенения водосбора, удельный вес ледникового питания которых составляет основную часть стока. На этих реках половодье растянуто на весь теплый период: начинается в мае-июне, заканчивается в сентябре-октябре, продолжается 170-180 дней. Пик половодья и максимальные расходы воды отмечаются в июле-августе, в отдельных случаях они носят характер гляциальных селей. К этому типу относятся реки с показателем $\delta > 1,0$. Исследуемые реки Чу ($\delta =$), Чон-Кемин ($\delta =$) и Аламедин ($\delta =$) относятся к рекам ледниково-снегового питания.

Реки снегово-ледникового типа получают питание за счет атмосферных осадков, накопленных в течение холодного периода в высоко расположенных частях водосбора. Ледниковое питание незначительно или совсем отсутствует, в виду незначительных площадей оледенения. Половодье начинается в апреле-мае, заканчивается в сентябре, продолжительность изменяется от 140 до 170 дней, максимальные расходы и пик половодья наблюдаются в июне, показатель δ имеет величину 0,99-0,27. К этому типу рек относятся: Тюп, Джиргалан, Тору-Айгыр, Кара-Балта, Кенкол, Узун-Ахмат, Кекемерен и другие.

К снеговому типу питания относится небольшая группа рек, со средневзвешенной высотой водосбора в пределах 1600-2800 м н.у.м. Половодье длится с марта по август не более 150 дней, наибольшие расходы воды наблюдаются в мае-июне, величина δ 0,27-0,18. Типичными представителями рек такого типа являются: Кугарт, Яссы, Зергер, Донгуз-Тоо и другие.

Реки снегово-дождевого питания очень малочисленны, в основном это реки низкогорной зоны юга республики. Половодье на них начинается в феврале-марте, а заканчивается в июле-августе, продолжительность 120-140 дней, величина $\delta < 0,17$.

По форме гидрографа стока все реки Кыргызстана относятся к Тянь-Шанскому типу [8,56,74], имеют половодье в теплый, а межень в холодный периоды.

На реках, имеющих $\delta > 1,0$, на гидрографе четко выражены два паводка: первый из которых приходится на весну и формируется талыми водами сезонного снега нижних и средних ярусов гор (А); второй – отмечается летом, в июле-августе за счет поступления талых вод высокогорных снегов и ледников (Б). Соотношение талых вод А и Б в общем объеме стока за половодье меняется по годам в зависимости от гидрометеорологической обстановки конкретного года. Так, талые воды А тесно связаны с количеством атмосферных осадков холодного периода (осень-зима), а талые воды Б – с суммой положительных температур летнего периода.

Однако довольно часто температуры воздуха и суммы осадков изменяются асинхронно, что сказывается на водности рек в конкретном году.

1.6 Характеристика исследуемых рек и их водосборов.

Территория исследования находится в северной части Кыргызстана (рисунок 1.3). Рассматриваются р. Чу, и два ее притока: правый приток р. Чон-Кемин и левый приток р. Аламедин.

Чуйская долина, орошаемая р. Чу и её притоками – самая освоенная и густонаселенная часть страны, но наименее обеспеченная водными ресурсами в расчете на душу населения. Дефицит увлажнения может быть усугублен существующей тенденцией потепления климата, сопровождающейся сокращением, деградацией оледенения, а в дальнейшем сокращением речного стока, которое отмечалось на некоторых реках уже в конце прошлого века. Из общей площади Чуйского бассейна, 67,5 тыс. км², на зону формирования стока приходится 35,9 тыс. км² (более 53%), с которой в среднем за год стекает около 5,0 км³/год. Ледниковые воды составляют около 17% этого объёма, и эта величина изменяется в зависимости от δ –

показателя типа питания: от 7-8% реки снегово-ледникового питания до 20-25% реки ледниково-снегового типа.

Река Чу

Река Чу берет начало у ледников Внутреннего Тянь-Шаня, в Боомском ущелье принимает свой самый большой приток – Чон-Кемин, дающий почти 40% годового стока. По выходе из ущелья Чу принимает второй и последний правый приток – Кичи-Кемин. Чу, хотя и пересыхающая, но крупная река. Её географическая длина от истока до слепого устья составляет 1275 км.

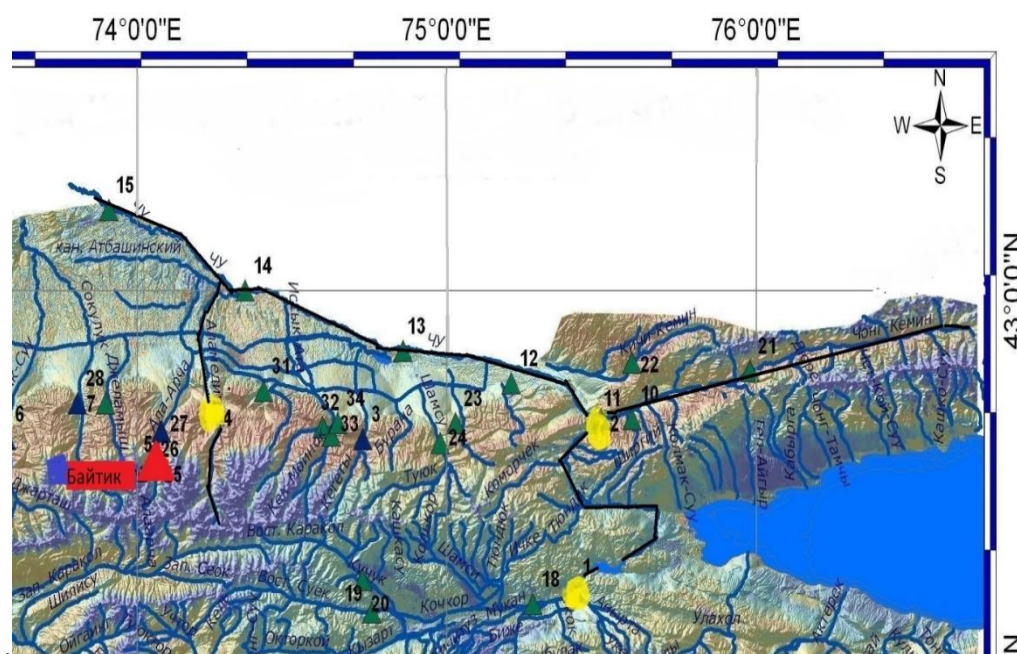


Рисунок 1.3 Карта-схема расположения гидрологических постов.

Первые гидрометрические посты на Чу появились в 1903 г. В 1910 г. была организована Чуйская изыскательская партия под руководством инженера-гидротехника, впоследствии профессора В.А. Васильева. К 1913 г. ею был составлен первый перспективный проект орошения из р. Чу. Предусматривалось регулирование стока реки путем строительства Орто-Токойского водохранилища. В качестве первоочередных работ намечалось

строительство Ат-Башинской и Георгиевской оросительных систем с водозаборным узлом у Чумышских скал, а также Самсоновской – в верхнем течении р. Чу и Краснореченской.

В 1915 г. было начато строительство Чумышской плотины и Ат-Башинской оросительной системы, но вскоре в связи с войной работа была свернута до минимума. К этому времени орошаемые площади в Чуйской долине составляли около 1/6 части земель, пригодных для орошения. Широкая ирригационная работа в Кыргызстане, как и во всей Средней Азии, началась в советский период.

17 мая 1918 г. декретом СНК РСФСР «Об организации оросительных работ в Туркестане» для оросительных работ в крае выделяется 50 млн. рублей (золотом), из которых три предназначаются на постройку ирригационных систем в долине р. Чу. Однако начатые оросительные работы в Кыргызстане были прерваны с началом гражданской войны.

К 1920 г. посевные площади в Кыргызстане уменьшились по сравнению с 1913 г., почти на 50%. Многие из ранее орошаемых посевных массивов были заброшены из-за крупных разрушений ирригационных систем. Почти прерванные ирригационные работы возобновились с окончанием гражданской войны. В 1923-1928 гг. в Кыргызстане были восстановлены оросительные системы, введены в сельскохозяйственный оборот новые площади. Были построены каналы инженерного типа: Краснореченский, Самсоновский, на правом берегу р. Чу. Проблема освоения Чуйской долины была столь велика, что одним из первых специализированных учебных заведений Кыргызстана стал Ирригационный техникум водного хозяйства, основанный в 1930 г.

Начатое еще до революции строительство Чумышского гидроузла было завершено в 1934 г. В ходе его строительства дорабатывалась «Схема ирригации энергетического использования водных ресурсов Чу и развития орошения в Чуйской долине для территории Киргизии и Казахстана».

Площадь орошения определялась схемой до 315 тыс. га без устройства серии водохранилищ, а при устройстве Орто-Токойского, Чумышского, Ташуткульского водохранилищ – до 568 тыс. га, в том числе 370 тыс. га на территории Кыргызстана, против 242 тыс. га, предусмотренных первоначально. Первым, построенным в 1956 г. в Кыргызстане водохранилищем является Орто-Токойское водохранилище на реке Чу, за селом Кочкор.

Орто-Токойское водохранилище предназначено для сезонного регулирования стока р. Чу, в целях орошения земель Чуйской долины, 220 тыс. га Кыргызстана и 80 тыс. га Казахстана. Водохранилище сооружено в сложных инженерно-геологических условиях высокогорья, в зоне девятибальной сейсмичности. Устроено в Орто-Токойской котловине, которая в створе сжимается горными массивами Кызыл-Омпол и Арчалы-Мазар.



Рисунок 1.3 Орто-Токойское водохранилище

Земляная плотина построена из местных крупнообломочных разнофракционных грунтов. Верхний откос плотины укреплен рваным камнем, низовой – покрыт крупным щебнем. Орто-Токойское водохранилище расположено на высоте 1700 м над уровнем моря (н.у.м.).

При сравнительно небольшой площади поверхности (зеркале испарения) всего 24 км², водохранилище имеет огромный объём – 470 млн

м³. Строительство плотины было закончено в 1956 г. Многолетние комплексные исследования на р. Чу под руководством опытного профессора-гидротехника В.А. Васильева, заслуженного ирригатора Киргизской ССР, позволили создать проект орошения Чуйской долины, в урочищах Орто-Токой и Чумыш были построены плотины, причем без нарушения экологического баланса. В результате, разрушительная энергия Чу была «укрощена»; паводки, смывающие поселки и даже города (в 1878 г. была смыта большая часть г. Токмак), больше не повторялись. За прошедший исторический период со дня начала строительства и эксплуатации ирригационных сетей на территории Чуйской долины построены десятки новых населенных пунктов, родилось и выросло несколько миллионов человек, на орошаемых землях были выращены сотни миллионов тонн сельскохозяйственной продукции

Река Чон-Кемин.

Река Чон-Кемин – самый крупный правый приток р. Чу. Истоки ее лежат на юго-западном склоне горной перемычки, соединяющей Кюнгей Ала-Тоо с Заилийским Алатау на высоте 3800 м. Водосбор р. Чон-Кемин в своей значительной части принадлежит хребту Кюнгей Ала-Тоо, наиболее полноводные притоки реки также расположены здесь. В нижнем течении Чон-Кемин отклоняется на юг и впадает в Чу. Длина Чон-Кемин 116 км. Площадь водосбора 1890 км². Максимальный многолетний расход 29,22 м³/сек, минимальный 13,16 м³/сек. Крупными притоками являются рр. Калмак-Суу, Орто-Кайынды, Кашка-Суу, Тегирменты и др. []. Река Чон-Кемин и реки северного склона Кыргызского хребта Кегеты, Шамси, Аламедин, Алаарча, Сокулук, Иссык-Ата имеют довольно высокую водность (от 12 до 20 л/с км²), обеспеченную благоприятными условиями увлажнения и значительным оледенением водосборов (степень оледенения составляет 5-10%).

Река Аламедин

Река Аламедин берет начало с ледников центральной части Кыргызского хребта. Системой отрогов гор верховья реки Аламедин разделены на три бассейна – Алтын-Тора, собственно Аламедина и Ашуу-Тора. Особняком расположены бассейны притоков р. Аламедина – устье рр. Чункурчака и Салыка. Верховье Аламедин представляет собой торговую долину, а ниже становится узкой, шириной 30-40 м. Русло прижато к крутому левому склону долины. Здесь имеется горячий источник Жылуу-Суу (Теплые ключи). Далее р. Аламедин прорывается сквозь горы Шекули, где образует каньоновидное ущелье глубиной 200-300 м. В предгорьях река течет спокойно, образует широкую долину с террасовыми уступами; а ниже плотины – конус выноса. На предгорной равнине река, прорезая свой конус выноса, протекает в укрепленном цементной плиткой русле в восточной части г. Бишкек и впадает в р. Чу. Длина р. Аламедин 77 км, площадь водосборного бассейна 317 км². Среднегодовой расход воды 6,5 м³/сек, максимальный – 8,6 м³/сек, минимальный – 4,5 м³/сек.

2 Межгодовая изменчивость: методы, результаты, анализ

2.1 Исходные данные

Поскольку водный режим рек и его изменения определяются, в большой степени, климатом, то для их оценки необходимо иметь данные об основных метеорологических элементах. В качестве исходных данных использованы многолетние ряды значений среднемесячных сумм осадков и температуры по метеостанции Байтык (1926-2015 гг.). Приложения А

Станция Байтык расположена в горах Тянь-Шаня на северном склоне Кыргызского хребта в средней части узкой горной долины р. Ала-Арча. имеет направление с севера на юг. Русло р. Ала-Арча в 50-60 км к западу от площадки.

В качестве данных о водности рек использованы ряды среднемесячных расходов воды по р. Чу – с. Кочкорка (1932-2015 гг.), р. Чон-Кемин – устье (1929-2015 гг.), р. Аламедин – устье р. Чункурчак (1929-2015 гг.). Приложения Б

Описание постов

Выбранные гидрометрические створы расположены при выходе рек из горных ущелий (из зоны формирования), т.е. они учитывают естественный, неискаженный сток.

Река Чу – с. Кочкорка

Пост расположен в 8,5 км ниже с. Кочкорка. Река протекает в сужающейся части Кочкорской котловины, прожимаясь к левому склону долины. Дно долины ровное, шириной 2-3 км, с небольшим уклоном к реке, местами занято посевами сельскохозяйственных культур. Левый склон близок к отвесному (75°), правый скалистый, крутой. Растительность почти отсутствует. Русло реки прямолинейное, неразветвленное. Левый берег пологий, правый крутой, высотой 3,0 м. Вдоль левого берега имеется пойма шириной 7-10 м. При уровне 168 см вода выходит на пойму. Русло реки валунно-галечное, подвержено незначительной деформации. Ледовые образования на участке поста развиты слабо.

В 10-30 км ниже поста находится Орто-Токойское водохранилище сезонного регулирования. На режим реки влияния не оказывает. Питание реки ледниково-снеговое. Дождевое питание играет небольшую роль в общем питании реки. В межень основная доля стока формируется за счет грунтовых вод. В отдельные годы грунтовая составляющая достигает 30-35%.

Река Чон-Кемин – устье

Пост расположен в 0,3 км, от устья. Река протекает в горной долине шириной по дну 80-100 м. Левый склон долины очень крутой (60°), порос кустарником и низкорослыми деревьями, опускается прямо к реке. Правый склон долины крутой (40°), усеян осыпями и отделен от реки пологой задернованной террасой шириной 70 м.

Русло реки прямолинейное, неразветвленное. В 20 м выше поста имеется пережат. Правый берег пологий, высотой 3,5 м. Оба берега сложены

речными отложениями. Дно реки валунно-галечное, подвержено деморфации. Зимой наблюдаются забереги, шуга, зажоры. Выше поста, в районе с. Новороссийка, из реки берут начало четыре ирригационных канала с общим расходом 2,7 м³/сек. Питание реки смешанное, с преобладанием ледникового.

Река Аламедин – устье р. Чункурчак

Пост расположен в 200 м выше устья реки Чункурчак, в 2,3 км от с. Прохладное. Долина реки V-образной формы, шириной 800-90 м. Склоны долины крутые, террасированные, покрыты горно-луговой и кустарниковой растительностью. На участке поста террасы обоих склонов долины оканчиваются крутыми ступеньками, крутизной 45-50°, поросшими травами и редким кустарником. Высота левой террасы 8-10 м, правой 12-15 м. Русло реки прямолинейное, неразветвленное. Берега неустойчивые, размываются водой. Высота правого берега 1,5-2 м, левого 2-3,5 м. Пересыханий и промерзаний не наблюдаются. Зимой наблюдаются забереги, шуга, донный лед. Питание реки, смешанное с преобладанием ледникового. Паводок проходит с мая по сентябрь. Вода реки используется на орошение: в 1,8-1,9 км выше поста в летнее время, забирается 0,03-0,10 м³/сек. Ближайший водозабор расположен в 0,5-0,6 км ниже поста. Еще ниже вода реки полностью разбирается на орошение [].

Основные гидрографические и гидрологические характеристики исследуемых рек приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Гидрографические и гидрологические характеристики рек

№ п/п	Река – пункт наблюдений	Период наблюдений	Площадь водосбора, км ²	Ср.взв высота, м.н.у.м.	Длина, км	Уклон, ‰	Степень оледенения, %	δ	Q ср, м ³ /с	M, л/с*к м ²
-------	-------------------------	-------------------	------------------------------------	-------------------------	-----------	----------	-----------------------	---	-------------------------	-------------------------

1	р.Чу-село Кочкорка	1932-2015	5370	2840	1275	15	1,0	1,07	29,7	5,5
2	р.Чон-Кемин- устье	1929-2015	1890	3010	116	19	6,0	1,4	22,1	11,7
3	р.Аламедин- устье р.Чункурчак	1929-2015	317	3260	77	64	15	2,61	6,7	21,1

2.2 Статистический анализа межгодовой изменчивости гидрометеорологических элементов

Расчеты нормы стока основаны на методах математической статистики. Имеющийся ряд фактических данных измерений рассматривается как некая выборка из генеральной совокупности N , включающей теоретически бесконечно большое число величин – n [23].

$$Q_{cp} = \sum_{i=1}^{i=n} Q / N, \quad (2.1)$$

где $Q_1, Q_2 \dots Q_n$ – средний годовой расход воды каждого конкретного года;
 N – продолжительность расчетного периода.

При этом имеющаяся выборка « n » (в данном случае период наблюдений) должна быть репрезентативной, т.е. достаточно представительной для всей генеральной совокупности и включать равное число циклов. Только при этом условии фактическая ошибка расчета нормы годового стока будет в пределах точности $\pm 5\%$.

Количество циклов в периоде наблюдений устанавливается по разностным интегральным кривым, отражающим циклические, многолетние колебания стока – последовательную смену многоводных и маловодных периодов (фаз), образующих полные циклы. Эти фазы, как и циклы, имеют различную продолжительность и амплитуду отклонений от среднего значения стока. Период времени, в течение которого наблюдается

увеличение водности, называется многоводной фазой, а уменьшение – маловодной фазой, а вместе – полным циклом.

Многолетние циклы колебаний стока определяются по разностным интегральным кривым стока, ординаты которых рассчитываются по формуле:

$$\sum_n^i (K_i - 1) / C_v, \quad (2.2),$$

где K_i – отношение стока за каждый конкретный год Q_i к среднемноголетнему стоку Q_{cp} ;

C_v – коэффициент вариации.

В этом случае ординаты кривой дают на конец i -того года нарастающую сумму отклонений годовых модульных коэффициентов (K_i) от среднего многолетнего значения – нормы $\Sigma(K_i-1)$, а деление на коэффициент вариации (C_v) исключает отклонения от нормы каждого i –года.

Важной характеристикой годового стока является также его изменчивость во времени, определяемая коэффициентом вариации C_v , который представляет собой среднеквадратическое отклонение годовых значений стока Q_i к среднемноголетнему Q_{cp} :

$$C_v = \sqrt{\Sigma(K_i - 1)^2 / (N - 1)}, \quad (2.3)$$

где K_i – модульный коэффициент, рассчитанный как отношение Q_i / Q_{cp} ;

N – число членов ряда (продолжительность периода наблюдений) [31,124].

Коэффициент асимметрии:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (ki-1)^3}{(n-1)(n-2)C_v^3} \quad (2.4)$$

Рассчитанные статистические параметры представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 Коэффициенты вариации и асимметрии рядов среднегодовых расходов

	Коэффициент вариации (C_v)	Коэффициент асимметрии (C_s)	C_v/C_s

р Чу – с. Кочкорка	0,18	0,46	2,62
р Чон-Кемин – устье	0,14	-0,02	-0,16
Р. Аламедин – устье р. Чункурчак	0,13	-0,35	-2,68

Проверка рядов на однородность

Все гидрологические процессы являются результатом взаимодействия большого количества разнообразных геофизических процессов (атмосферные осадки, температура, влажность, ветер и т.п.), физико-географических условий (местоположение объекта, ландшафт, почвы, рельеф, растительность и т.п.) и, в последнее время, антропогенных факторов. Таким образом, рассматриваемое гидрологическое явление зависит от множества причин. Именно в этом смысле изменение во времени процесса следует рассматривать как случайное.

Если в качестве математической модели для описания статистической структуры выборок гидрологических рядов рассматривать случайную величину, то статистические характеристики выборки не должны изменяться, т. е. все ее элементы должны относиться к одной генеральной совокупности. Если условия формирования стока изменяются, то это приведет к изменению статистических характеристик выборки, например, среднего или дисперсии.

Для проверки значимости различия средних значений двух выборок используем критерий Стьюдента.

Предположим, что две выборки относятся к одной генеральной совокупности, тогда различие средних значений двух выборок и среднее квадратическое отклонения (СКО) должно быть статистически незначимым. На основе этой разности построим статистику.

где \bar{x} – среднее значение из выборки длиной m ,

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sigma_{\bar{x} - \bar{y}}} \quad (2.5)$$

\bar{y} – среднее значения из выборки длиной n ,

$\sigma_{\bar{x} - \bar{y}}$ – СКО разности $(\bar{x} - \bar{y})$;

$$\sigma_{\bar{x} - \bar{y}} = S \sqrt{\frac{(m - n)}{mn}} \quad (2.6)$$

где S – эмпирическая оценка σ ;

Значение S определяется в зависимости от выборочных значений S_x и S_y .

$$S = \sqrt{\frac{(m - 1) S_x^2 + (n - 1) S_y^2}{m + n - 2}} \quad (2.7)$$

В окончательном виде выражение для статистики t имеет вид:

$$t = \frac{(\bar{x} - \bar{y})}{S} \sqrt{\frac{mn}{m + n}} \quad (2.8)$$

В практике гидрологических расчетов эта статистика используется для проверки однородности гидрологических рядов по среднему значению. Уровень значимости в расчетах принимался $2\alpha=10\%$. Критическое значение $t_{кр}$ определяется по стандартным таблицам. Расхождение между статистическими характеристиками можно считать незначимым, если выборочное значение статистики t не превышает значение $t_{кр}$. По критерию Стьюдента были проверены ряды расходов воды трёх исследуемых рек. Все ряды при уровне значимости $2\alpha=10\%$ однородны по дисперсии (таблицы 1.1, 1.3, 1.5).

Критерий Фишера используется для проверки значимости различия дисперсий двух выборок. Исходный ряд делится на две части, затем

оцениваются дисперсии для каждой из частей ряда и вычисляется эмпирическое значение статистики Фишера $F=S_x^2/S_y^2$, где $S_x^2 > S_y^2$.

Полученное значение F сравнивается с табличным значением $F_{кр}$. Если при принятом уровне значимости оказывается, что $F < F_{кр}$, то расхождение дисперсий считается незначимым и ряд считается однородным по дисперсии.

По критерию Фишера были проверены ряды среднегодовых расходов воды трёх исследуемых рек. Все ряды при уровне значимости $2\alpha=10\%$ однородны по дисперсии (таблицы 1.2, 1.4, 1.6).

Среднегодовой расход воды

Таблица 2.3 Результаты проверки ряда на однородность по критерию Стьюдента, р. Чу

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	28,34	29,01
Дисперсия	13,37	38,09
Наблюдения	37	37
Гипотетическая разность средних	0	
df	59	
t-статистика	0,57	
P(T<=t) одностороннее	0,29	
t критическое одностороннее	1,67	
P(T<=t) двухстороннее	0,57	
t критическое двухстороннее	2,00	

Для ряда среднегодовых значений расхода воды р. Чу – с. Кочкорка получаем $|t^*|=0,57 < t_T=2,00$, гипотеза об однородности ряда по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=10\%$ не опровергается.

Таблица 2.4 Результаты проверки ряда на однородность по критерию Фишера, р. Чу

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	28,34	29,01
Дисперсия	13,37	38,09
Наблюдения	37	37
df	36	36
F	0,35	
P(F<=f) одностороннее	0,011	
F критическое одностороннее	0,57	

Для р. Чу – с. Кочкорка получаем $|F^*| = 0,35 < F_T = 0,57$, гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha=10\%$ не опровергается.

Таблица 2.5 Результаты проверки ряда на однородность по критерию Стьюдента, р. Чон-Кемин

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	21,65	22,55
Дисперсия	6,60	13,11
Наблюдения	40	40
Гипотетическая разность средних	0	
df	70	
t-статистика	1,28	
P(T<=t) одностороннее	0,10	
t критическое одностороннее	1,67	
P(T<=t) двухстороннее	0,20	
t критическое двухстороннее	1,99	

Для р. Чон-Кемин – устье получаем $|t^*|=1,28 < t_T=1,99$, гипотеза об однородности ряда по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=10\%$ не опровергается.

Таблица 2.6 Результаты проверки ряда на однородность по критерию Фишера, р. Чон-Кемин

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	21,65	22,55
Дисперсия	6,60	13,11
Наблюдения	40	40
df	39	39
F	0,50	
P(F<=f) одностороннее	0,017	
F критическое одностороннее	0,59	

Для р. Чон-Кемин – устье получаем $|F^*| = 0,50 < F_T = 0,59$, гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha=10\%$ не опровергается.

Таблица 2.7 Результаты проверки ряда на однородность по критерию Стьюдента, р. Аламедин

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	6,25	6,83
Дисперсия	0,86	0,44
Наблюдения	42	42
Гипотетическая разность средних	0	
df	74	
t-статистика	3,25	

P(T<=t) одностороннее	0,00	
t критическое одностороннее	1,67	
P(T<=t) двухстороннее	0,001	
t критическое двухстороннее	1,99	

Для расхода р. Аламедин – устье р. Чункурчак получаем $|t^*|=1,67 < t_T=1,99$, гипотеза об однородности ряда по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=10\%$ не опровергается.

Таблица 2.8 Результаты проверки ряда на однородность по критерию Фишера, р. Аламедин

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	6,25	6,83
Дисперсия	0,86	0,44
Наблюдения	42	42
df	41	41
F	1,93	
P(F<=f) одностороннее	0,019	
F критическое одностороннее	1,68	

Для р. Аламедин – устье р. Чункурчак получаем $|F^*| = 1,93 > F_T = 1,68$, гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha=10\%$ опровергается.

Суммы осадков за год

Также была выполнена проверка на однородность рядов среднегодовых значений температуры воздуха и сумм осадков (таблица 1.7, 1.8, 1.9, 1.10).

Таблица 2.9 Результаты проверки ряда на однородность по критерию Стьюдента, МС Байтик

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	43,56	43,56
Дисперсия	61,90	64,30
Наблюдения	45	45
Гипотетическая разность средних	0	
df	88	
t-статистика	-1,66	
P(T<=t) одностороннее	0,05	
t критическое одностороннее	1,67	
P(T<=t) двухстороннее	0,100	
t критическое двухстороннее	1,99	

Для ряда годовых сумм осадков по ст. Байтик получаем $|t^*|=1,66 < t_T=1,99$, гипотеза об однородности ряда по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=10\%$ не опровергается.

Таблица 2.10 Результаты проверки ряда на однородность по критерию Фишера, МС Байтик

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	43,56	46,34
Дисперсия	61,90	64,30
Наблюдения	45	45
df	44	44
F	0,96	
P(F<=f) одностороннее	0,450	
F критическое одностороннее	0,61	

Для ряда годовых сумм осадков получаем $|F^*| = 0,96 > F_T = 0,61$, гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha=10\%$ опровергается.

Среднегодовые значения температуры воздуха

Таблица 2.11 Результаты проверки ряда на однородность по критерию Стьюдента

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	6,41	6,75
Дисперсия	0,44	0,37
Наблюдения	45	45
Гипотетическая разность средних	0	
df	87	
t-статистика	-2,56	
P(T<=t) одностороннее	0,006	
t критическое одностороннее	1,66	
P(T<=t) двухстороннее	0,012	
t критическое двухстороннее	1,99	

Для метеостанции Байтик получаем $|t^*|=2,56 > t_T=1,99$, гипотеза об однородности ряда по критерию Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=10\%$ опровергается.

Таблица 2.12 Результаты проверки ряда на однородность по критерию Фишера

	Переменная 1	Переменная 2
Среднее	6,41	6,75

Дисперсия	0,44	0,37
Наблюдения	45	45
df	44	44
F	1,19	
P(F<=f) одностороннее	0,27	
F критическое одностороннее	1,65	

Для метеостанции Байтык получаем $|F^*|=1,19 < F_T=1,65$, гипотеза об однородности ряда по критерию Фишера при уровне значимости $2\alpha=10\%$ не опровергается.

Таблица 2.12 Результаты проверки однородности рядов гидрометеорологических элементов

	Проверка однородности рядов	
	Критерий Стьюдента	Критерий Фишера
	Среднегодовой расход, Q м ³ /с	
р Чу – с. Кочкорка	+	+
р Чон-Кемин – устье	+	+
Р. Аламедин – устье	+	-
р. Чункурчак		
МС Байтык	Среднегодовая температура воздуха	
	-	+
	Сумма осадков за год	
	+	-

Кривые распределения или кривые обеспеченности (вероятностей)

По имеющимся многолетним данным о стоке можно построить кривые распределения или кривые обеспеченности (вероятностей) среднегодовых расходов воды. Параметры кривых обеспеченности рассчитывались по формуле:

$$P=m(n+1)*100\% \quad (2.9)$$

где m – порядковый номер года в убывающем ряду расходов воды;

n – порядковый номер года в общем ряду наблюдений (число лет);

P – вероятность превышения рассматриваемого значения гидрологической величины среди совокупностей возможных значений [31,124].

Кривая обеспеченности определяется тремя параметрами: нормой стока, коэффициентом вариации C_V и коэффициентом асимметрии C_S . Коэффициент асимметрии C_S характеризует асимметричность положения значений в ряду относительно их среднего положения. Определяется величина коэффициента асимметрии по соотношению C_S/C_V методом подбора.

Для условий Кыргызстана величины приняты:[121,122].

Таблица 2.2 Коэффициенты вариации и асимметрии рядов среднегодовых расходов

	Коэффициент вариации (C_V)	Коэффициент асимметрии (C_S)	C_V/C_S
р Чу – с. Кочкорка	0,18	0,46	2,62
р Чон-Кемин – устье	0,14	-0,02	-0,16
Р. Аламедин – устье р. Чункурчак	0,13	-0,35	-2,68

Аналитические кривые обеспеченности.

В качестве расчетной аналитической кривой была выбрана аналитическая кривой обеспеченности Крицкого – Менкеля . По результатам построения кривых можно сделать вывод о том, что эмпирические точки хорошо ложатся на аналитическую кривую. Координаты аналитической кривой обеспеченностей Крицкого – Менкеля представлены в таблицах и приложения Построенные кривые можно использовать для определения расходов заданной обеспеченности в практике гидрологических расчётов.

Разностно-интегральная кривая

По формуле 2.3 рассчитаны координаты разностной интегральной кривой (рисунок 2.4). Анализ разностных интегральных кривых показывает, что ряды наблюдений на всех реках включают полные циклы с многоводными и маловодными фазами и рассчитанные средние величины стока правомерно принимать за нормированные величины.

Норма годового стока – одна из наиболее важных и показательных характеристик речного стока: среднее значение стока за многолетний период такой продолжительности, при дальнейшем увеличении которой величина стока существенно не изменяется.

Норма стока за период с начала наблюдений составляет:

– Река Чу – с. Кочкорка – $28,7 \text{ м}^3/\text{с}$

– Река Чон-Кемин – устье – $22,1 \text{ м}^3/\text{с}$

Река Аламедин – устье р. Чункурчак – $6,5 \text{ м}^3/\text{с}$

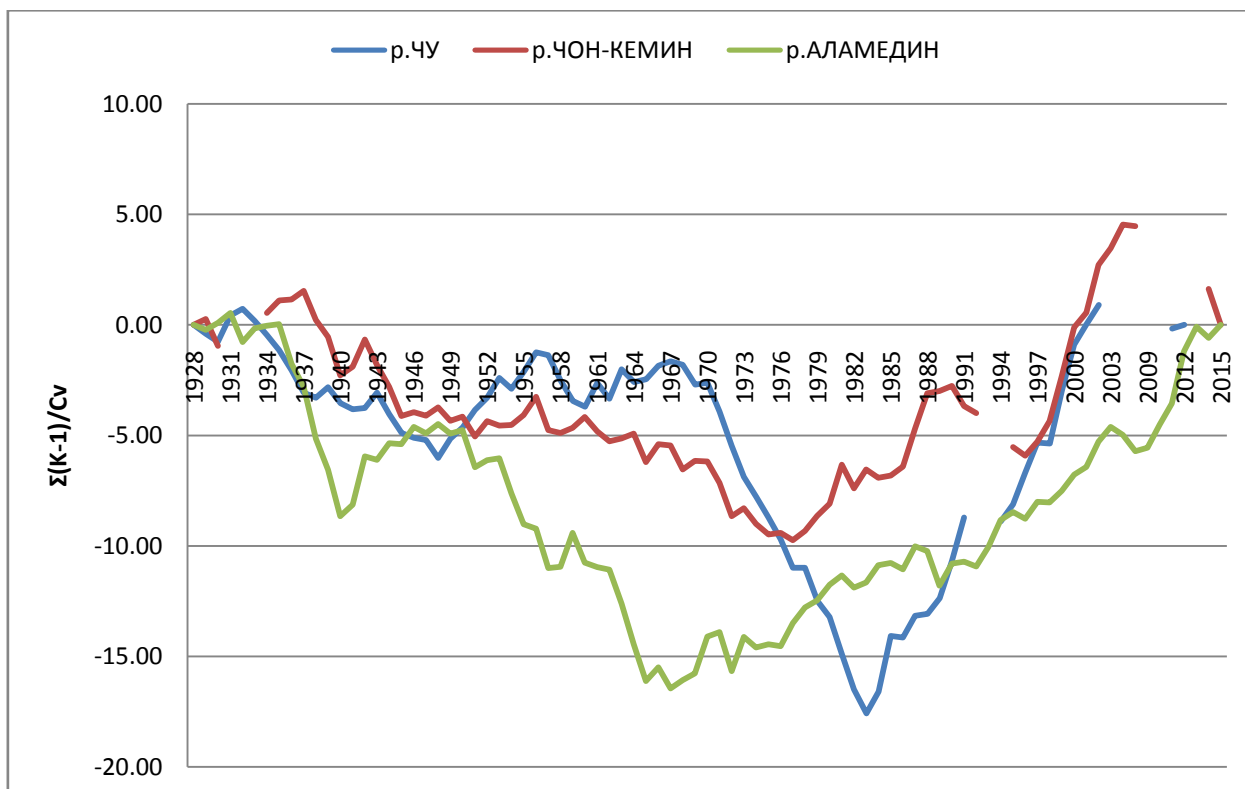


Рисунок 2.4 Разностно-интегральная кривая среднегодовых расходов воды рр. Чу, Чон-Кемин и Аламедин.

По разностно-интегральной кривой среднегодовых расходов воды видно:

Река Чу – с. Кочкорка маловодный (1931-1948; 1970-1983), многоводный (1949-1955, 1984-2001)

– Река Чон-Кемин – устье маловодный (1943-1975), многоводный (1999-2004)

Река Аламедин – устье р. Чункурчак маловодный (1935-1941; 1951-1965) многоводный (1942-1950; 1976-2013).

Причиной циклических колебаний речного стока являются, прежде всего, изменения климата, которые в первую очередь обусловлены влиянием астрофизических факторов. Схематически это выглядит так: колебания интенсивности солнечного излучения (солнечная активность), наряду с

колебаниями земной оси, создают вековые (тысячи и десятки тысяч лет) и внутривековые (по периодам и годам) колебания климата, которые в свою очередь обуславливают колебания увлажненности (атмосферных осадков), температуры воздуха, водности рек, наполнение озер и т.д. На эти колебания накладываются ещё колебания стока, вызванные региональными географическими особенностями территории. Для Кыргызстана это горный рельеф, который обуславливает аккумуляцию снега и образование ледников, а также сложные геоморфологические формы [111,112,116,118,121,122,124].

Квантильный анализ и фильтрация Баттерворта

Многолетняя изменчивость гидрометеорологических характеристик традиционно анализируется по рядам средних годовых и экстремальных значений. Средние годовые значения используются для характеристики нормы и ее изменчивости. Принято считать, что для получения достаточно надежной нормы необходимо выбирать такой период наблюдений, в который входило бы одинаковое количество лет с повышенными и пониженными значениями. Экстремальные значения используются для оценки максимальных и минимальных характеристик.

Квантильный анализ заключается в нахождение квантелей X_{\min} , $X_{0,25}$, $X_{0,5}$, $X_{0,75}$ и X_{\max} распределения $F(x)$ данных в выборке.

Одним из методов анализа временных гидрометеорологических рядов с целью выделения тенденций или трендов на повышение или понижение значений считается фильтрация. Фильтрация бывает низкочастотной и высокочастотной, полосовой и режекторной.

Низкочастотная фильтрация представляет собой преобразование ряда, при котором исключаются высокочастотные составляющие. Для анализа многолетней изменчивости гидрометеорологических процессов рекомендуется применять цифровую тангенсную низкочастотную фильтрация

рядов. Это связано с тем, что тангенсная фильтрация обладает такими преимуществами, как простота вычисления коэффициентов передаточной функции фильтра и большая крутизна ее амплитудно-частотной характеристики вблизи частоты среза.

При анализе временного ряда среднегодовых значений расход воды р. Чу – с. Кочкорка (рисунок 2.5) определены квантили, имеющие значения: $X_{0,75}=32,45 \text{ м}^3/\text{с}$; $X_{0,25}=24,05 \text{ м}^3/\text{с}$. Определены выходящий за верхний и нижний внутренние барьеры квантили: $X_v=45,05 \text{ м}^3/\text{с}$; $X_n=11,45 \text{ м}^3/\text{с}$. Медиана составляет $X_{0,5}=27,85 \text{ м}^3/\text{с}$.

Как видно, временной ход имеет исключительно сложный характер. В расчетном периоде наблюдаются резкие изменения значений расходов воды. В целом, после 1982 г. изменчивость характеристики немного возросла.

Максимальный среднегодовой расход воды $45 \text{ м}^3/\text{с}$ наблюдалась в 1988 г., а минимальный расход воды $20 \text{ м}^3/\text{с}$ наблюдалась в 1984 г. Временной ход среднегодовых расходов воды имеет значимый тренд. Многолетняя амплитуда изменения среднегодовой расход воды достигает $25 \text{ м}^3/\text{с}$

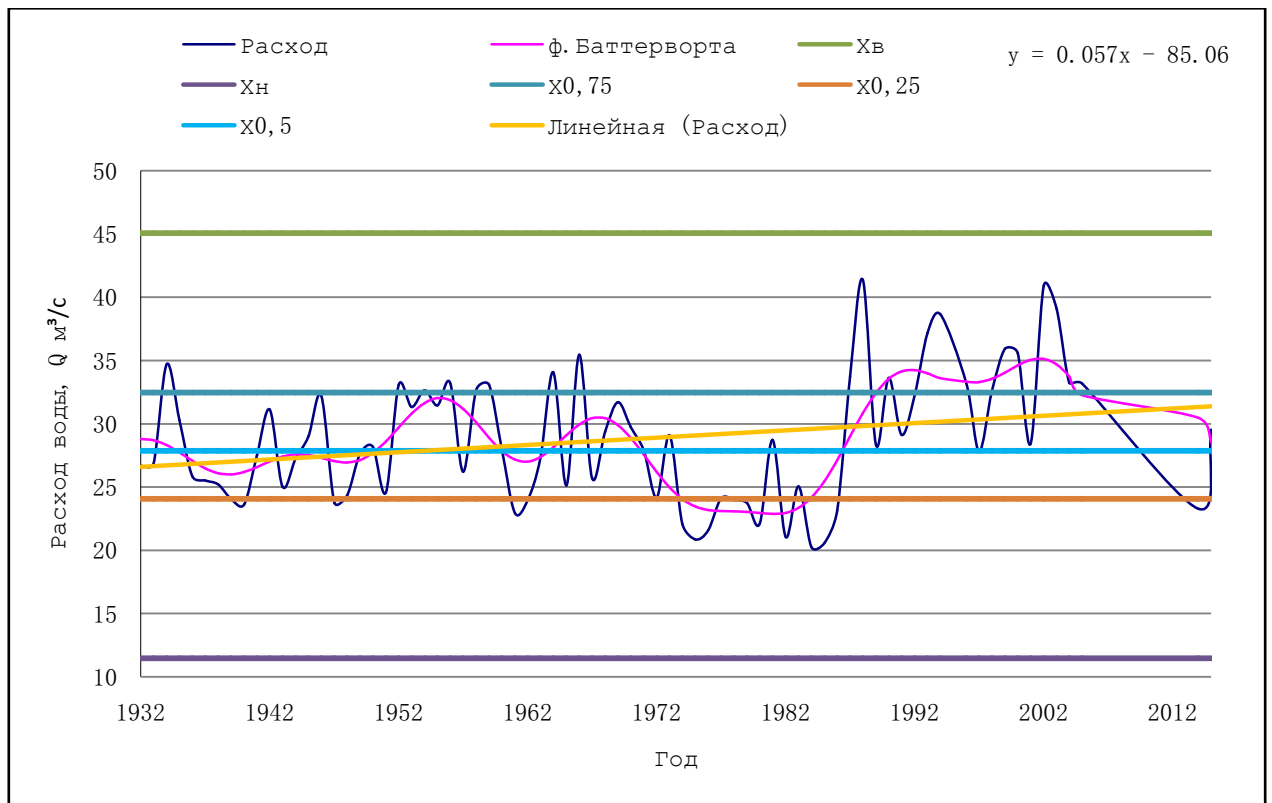


Рисунок 2.5 Временной ход расхода воды, р. Чу – с. Кочкорка, 1932-2015 гг.

По результатам фильтрации Баттерворта можно выделить периоды локальной нестационарности, связанные с повышением (1951-1959 гг., 1987-2014 гг.) и понижением (1936-1943 гг., 1971-1986 гг.) среднегодовых значений расходов воды

На рисунке 2.6 представлен среднегодовой ход расхода воды р. Чон-Кемин – устье. При анализе временного ряда определены:

- квантили, имеющие значения при $X_{0,75}=23,95 \text{ м}^3/\text{с}$; $X_{0,25}=20,00 \text{ м}^3/\text{с}$.
Как видно, кривая имеет сложный характер
- квантили, имеющие значения при $X_{н}=14,08 \text{ м}^3/\text{с}$; $X_{в}=29,88 \text{ м}^3/\text{с}$.
Медиана составляет $X_{0,5}=22,83 \text{ м}^3/\text{с}$.

Максимальная среднегодовая расход воды наблюдалась в 1999 г. ($28,6 \text{ м}^3/\text{с}$), а минимальная значение отмечено в 2014 г. ($13,2 \text{ м}^3/\text{с}$). Временной ход среднегодовых расходов воды имеет не значимый тренд.

Многолетняя амплитуда изменения среднегодовой расходов воды достигает $15,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

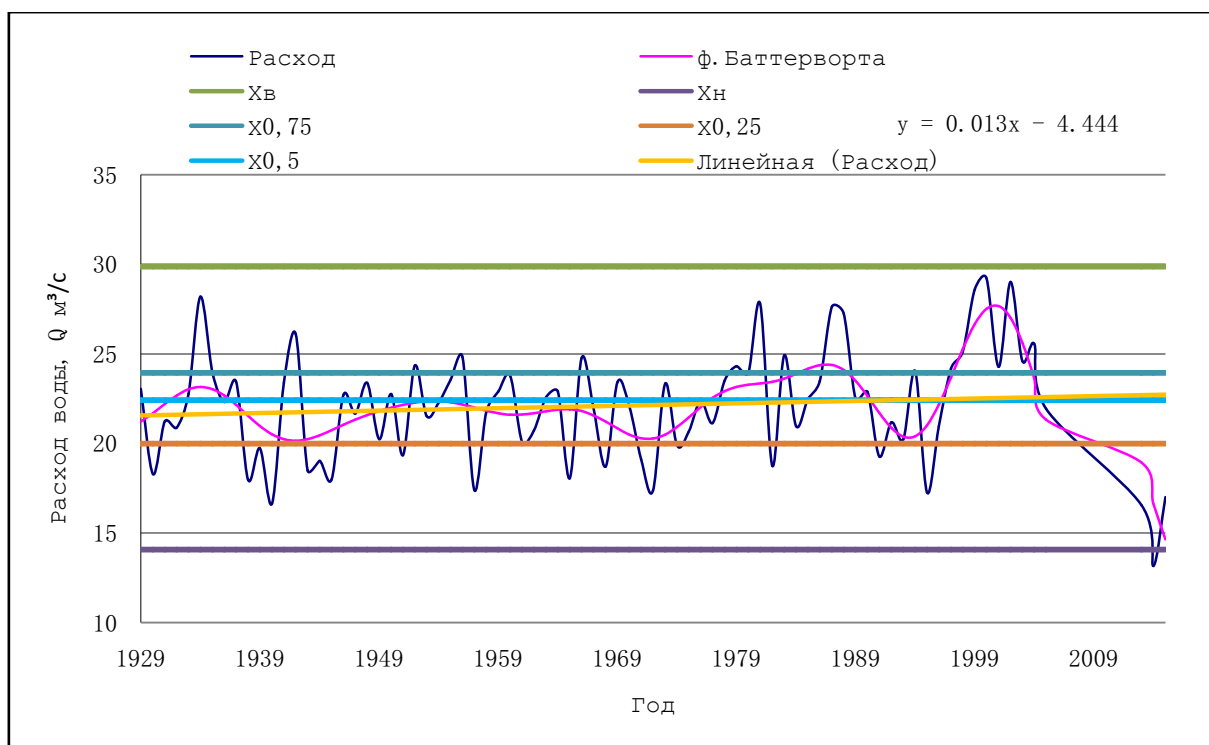


Рисунок 2.6 Временной ход среднегодового расхода воды,
р. Чон-Кемин – устье, 1929-2015

На результатах фильтрации Баттерворта наблюдается периоды локальной нестационарности связанные с понижением (1937-1949, 1967-1976, 2005-2015) и повышения (1978-1989, 1997-2005) среднегодовых значений расходов воды

На рисунке 2.7 представлен среднегодовой ход расхода воды р. Аламедин – устье р. Чункурчак . При анализе временного ряда определены:

- квантили, имеющие значения при $X_{0,75}=7,13 \text{ м}^3/\text{с}$; $X_{0,25}=6,15 \text{ м}^3/\text{с}$.
- квантили, имеющие значения при $X_{н}=4,68 \text{ м}^3/\text{с}$; $X_{в}=8,6 \text{ м}^3/\text{с}$. Медиана составляет $X_{0,5}=6,65 \text{ м}^3/\text{с}$.

Максимальная среднегодовая расход воды наблюдалась в 2012 г. ($8,6 \text{ м}^3/\text{с}$), а минимальная значение отмечено в 1938 г ($4,5 \text{ м}^3/\text{с}$). Временной ход

среднегодовых расходов воды имеет значимый тренд. Многолетняя амплитуда изменения среднегодовой расходов воды достигает $4,2 \text{ м}^3/\text{с}$.

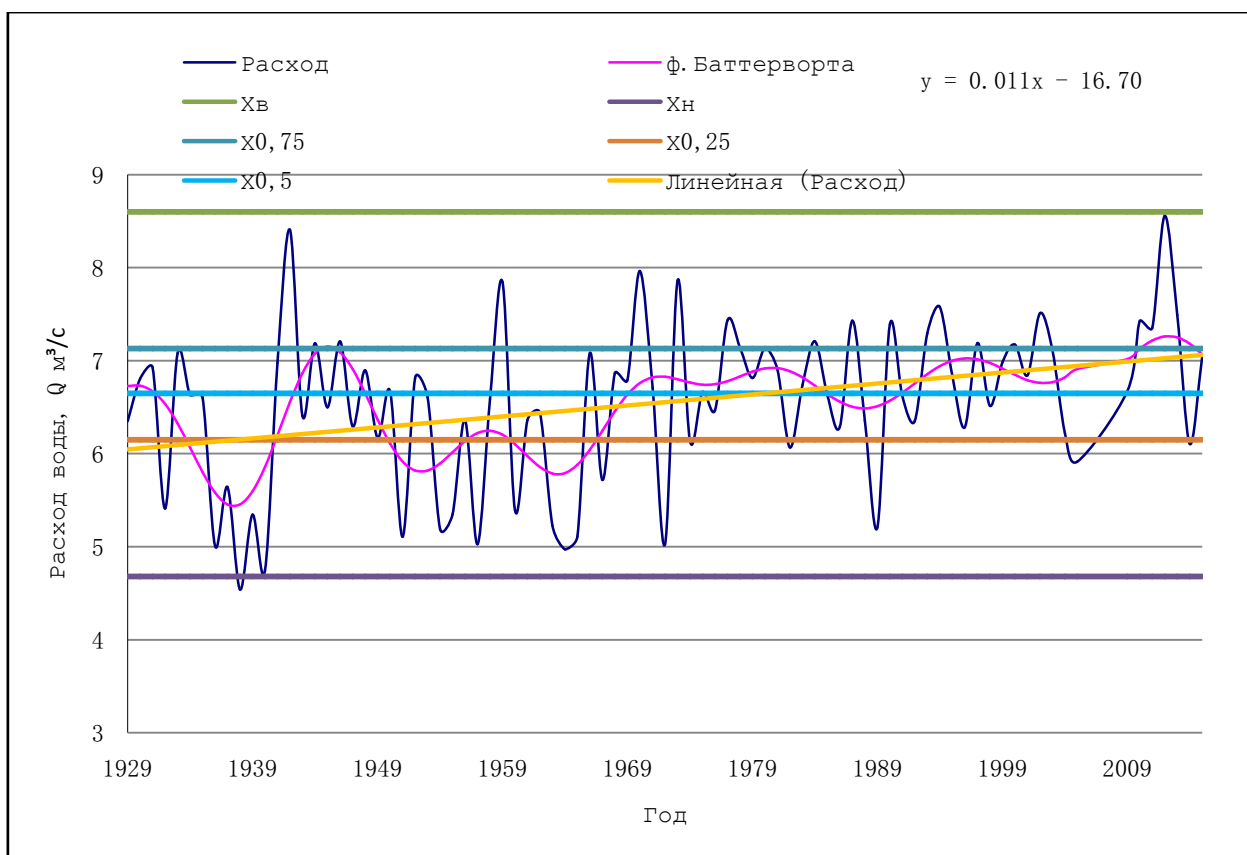


Рисунок 12.7 Временной ход среднегодового расхода воды, р. Аламедин – с. Чункурчак, 1929-2015

По результатам фильтрации Баттерворта можно выделить периоды с повышенной (1943-1948, 2004-2014) и пониженной (1932-1941, 1949-1968) среднегодовой значений расходов воды.

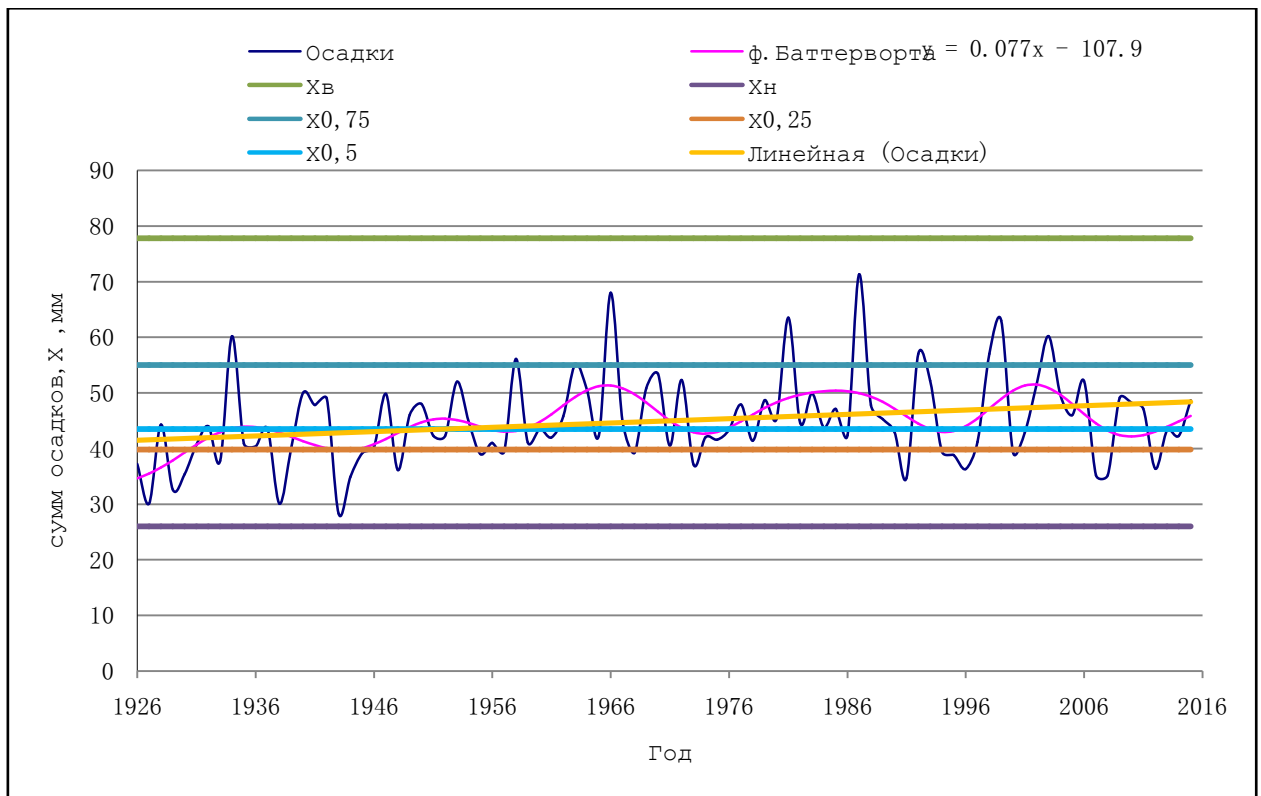


Рисунок 12.8 Временной ход годовых сумм осадков,
МС Байтык, 1926-2015.

При анализе временного ряда сумм осадков на МС Байтык определены:

- квантили, имеющие значения при $X_{0,75}=55$ мм; $X_{0,25}=39,8$ мм.
- квантили, имеющие значения при $X_{н}=26$ мм; $X_{в}=77,8$ мм. Медиана составляет $X_{0,5}=43,5$ мм.

Максимальная сумма осадков наблюдалась в 1987 г.(855 мм), а минимальная значение отмечено в 1943 г (339,5 мм). Временной ход годовых сумм осадков имеет небольшой, но значимый тренд. Период до 1960 года можно считать квазистационарным. После 1960 г. отмечено увеличение осадков. По результатам фильтрации Баттерворта после 1960 г. можно выделить периоды с повышенным количеством осадков, продолжительностью 8- 11 лет: 1968-1979, 1989-1997, 2006-2014.

При анализе временного ряда среднегодовых значений температуры воздуха на МС Байтык определены:

- квантили, имеющие значения при $X_{0,75}=+7,0$ °С; $X_{0,25}=+6,2$ °С.

– квантили, имеющие значения при $X_H=+5,0$ °С; $X_B=+8,2$ °С. Медиана составляет $X_{0,5}=6,6$ °С.

Повышение количества осадков наблюдается: февраль, апрель, а наименьшее количество осадков в мае.

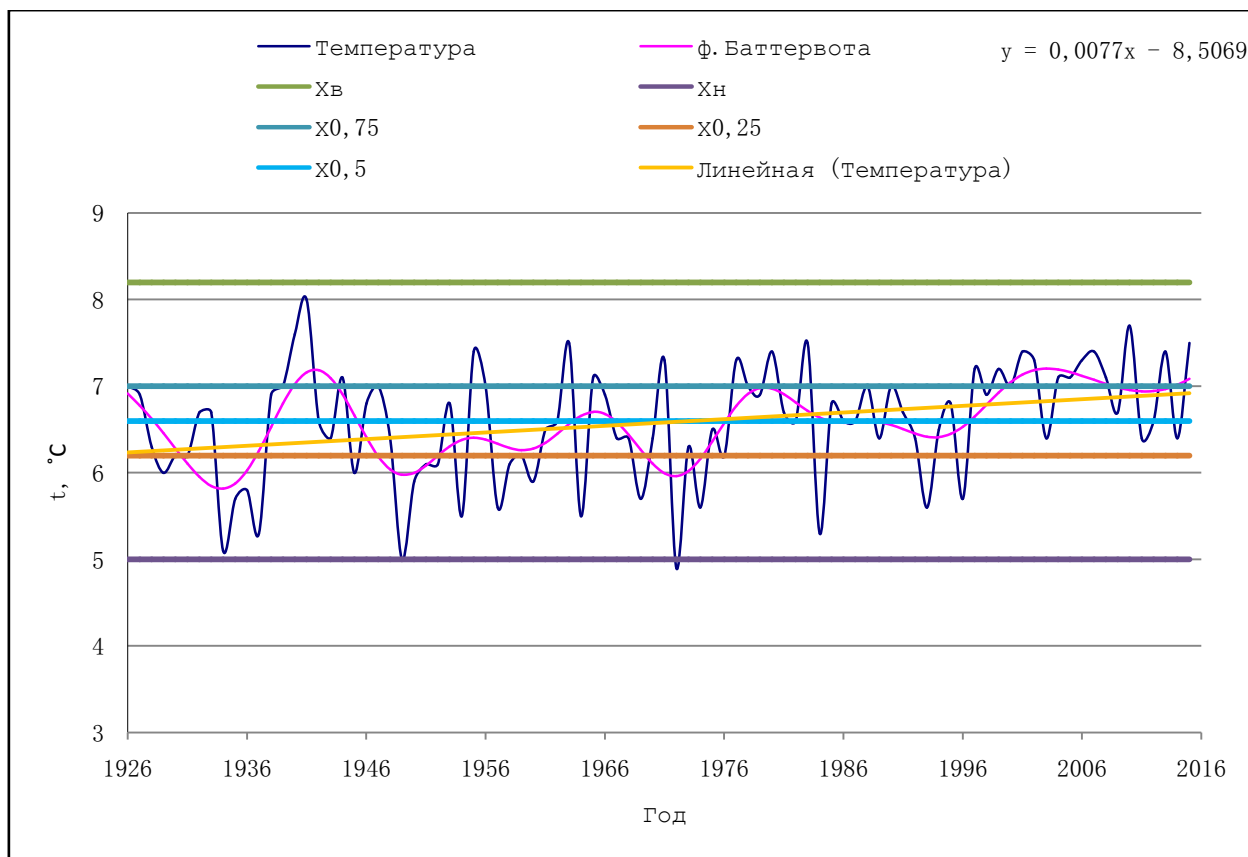


Рисунок 2.9 Временной ход среднегодовой температуры воздуха, МС Байтык, 1926-2015.

Максимальная среднегодовая температура наблюдалась в 1941 г. (+8,0 °С), минимальная среднегодовая температура наблюдалась в 1972 г. (+4,9 °С). Многолетний ход среднегодовых значений температуры имеет значимый тренд. По результатам фильтрации Баттерворта можно выделить периоды с повышенной и пониженной температурой. Продолжительность различна, 8-11 лет. Межгодовая изменчивость достаточно велика. После 1996 г. отмечается повышение температуры и уменьшение её изменчивости.

Повышение температуры наблюдается в марте, апреле ,а заметное понижение в феврале.

Индекс Де-Мартона

Для описания состояния сложных природных систем, таких как климатических системы Земли, а также протекающих в ней процессов, часто вводятся различные интегральные показатели (индексы).

На качественном уровне степень увлажнения характеризуется понятиями сухость (аридность) и влажность (гумидность) климата той или иной территории, зоны, области и т.д. Для количественной характеристики степени увлажнения используются разнообразные показатели (индексы, коэффициенты) сухости или влажности климата.

Показатели сухости (влажности) климата прямо или косвенно отражают соотношение между средними за многолетний период (год, сезон, месяц) осадками (P , мм) или испаряемостью с открытой поверхности пресных вод или поверхности почвы (E_o , мм) (первая группа показателей), либо характеризуют отношение осадков к температуре воздуха (T °C) (вторая группа показателей).

На основе данных о температуре воздуха и количестве осадков, измеренное на метеостанции Байтык, рассчитывался индекс Де-Мартона α , представляющий собой отношение годовой суммы осадков к среднегодовой температуре воздуха:

$$\alpha = \frac{\sum_{n=1}^{12} P_n}{T_n + 10}, \quad (3.9)$$

Индекс Де-Мартона достаточно наглядно характеризует гумидность и аридность климата [Мякишева, 2008].

На рисунке 2.10 представлен ход значений индекса Де-Мартона на метеостанции Байтык. Временной ход имеет слабый, не значимый тренд.

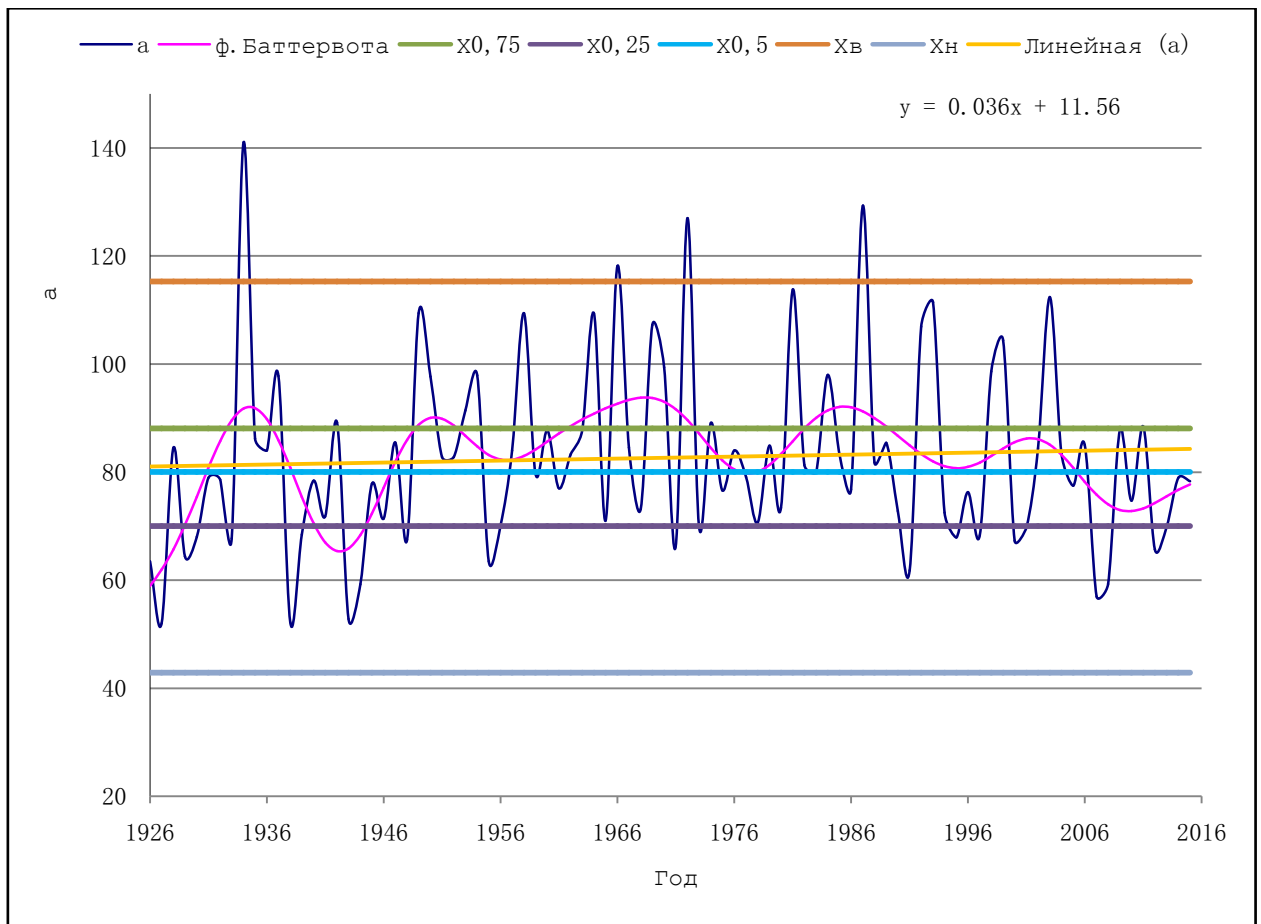


Рисунок 2.10 Временной ход индекса Де-Мартона, МС Байтык, 1926-2015.

При анализе временного ряда определены:

– квантили, имеющие значения при $X_{0,75}=88,1$; $X_{0,25}=70$. Как видно, кривая имеет сложный характер: наблюдаются резкие понижения и повышения значений. Отмечены превышения верхнего экстремума.

– квантили, имеющие значения при $X_{н}=42,85$; $X_{в}=115,25$. Медиана составляет $X_{0,5}=80$.

На результатах фильтрации Баттерворта наблюдаются периоды локальной нестационарности. Выделяются периоды повышенной (1937-1947 гг., 1974-1980 гг.) и пониженной увлажненности (1938-1947 гг., 2009-2015 гг.). После 2000 г. отмечено понижение увлажненности территории, что объясняется меньшим количеством осадков и более высокой температуры.

Распределение среднего стока в основном хорошо соответствует распределению атмосферных осадков, которое в свою очередь зависит от высотного положения водосбора, и от степени его доступности влагонасыщенным воздушным массам, а также от местных синоптических процессов.

Анализ временного хода значений индекс Де-Мартона на МС Байтык и среднегодовых значений расходов воды показал, что в связи особенности горных мест, низкая доля дождевого и снегового питания на рр. Чу, Чон-Кемин и Аламедин не наблюдается.

3. Анализ внутригодовой изменчивости стока рек

Водность рек не остаётся постоянной в течение года, а изменяется в соответствии с сезонными изменениями климата и характером питания рек.

Водный режим– это изменение водности во времени.

Внутригодовое распределение стока и особенно стока в период половодья определяется процессами накопления и таяния снега и льда в горах, а также процессами инфильтрации в грунт и расходования влаги на испарение и транспирацию. Влияние климатических факторов на внутригодовое распределение проявляется в основном через воздействие рельефа и связано с вертикальной поясностью и распределением площадей водосборов рек по высотным зонам.

Воздействие рельефа на формирование стока проявляется не только через разновременность таяния сезонного снега, связанную с высотой местности, а имеет многогранный характер. Рельеф влияет на общие условия увлажнения и оказывает влияние на распределение внутри года. Среди азональных факторов, влияющих на внутригодовое распределение стока, наибольшее значение имеют почвенно-геологические условия речных бассейнов, которые определяют местные особенности трансформации поверхностного стока в подземный и обратно.

По форме гидрографа стока, в соответствии с классификацией Б.Д. Зайкова все реки Кыргызстана относятся к Тянь-Шанскому типу [Догановский, 2012], имеющему половодье в тёплый период, межень – в холодный период. Для горных регионов классификация рек по внутригодовому распределению стока с учетом высотной поясности условий питания даны В.Л. Шульцем [Шульц В.Л. Реки Средней Азии]. Первые работы с результатами обобщений материалов по среднему стоку рек

Средней Азии, включая Северный и Южный Кыргызстан, были выполнены В.Л. Щульцем в 1941 г. В 1949 г. им была опубликована монография «Реки Средней Азии», в которой впервые приведена карта модулей среднегодового стока и установлены локальные зависимости модулей стока от средневзвешенной высоты бассейна реки.

На реках, имеющих $\delta > 1,0$, на гидрографе четко выражены два паводка: первый из которых приходится на весну и формируется талыми водами сезонного снега нижних и средних ярусов гор (А); второй отмечается летом, в июле-августе за счет поступления талых вод высокогорных снегов и ледников (Б). Соотношение талых вод А и Б в общем объеме стока за половодье меняется по годам в зависимости от гидрометеорологической обстановки каждого конкретного года. Так, талые воды А имеют прямую тесную связь с количеством атмосферных осадков холодного периода (осени-зимы), а талые воды Б – с суммой положительных температур летнего периода.

Однако довольно часто колебания температуры воздуха и суммы осадков имеют асинхронный характер, следствием чего является отсутствие синхронности в многолетних колебаниях стока и метеорологических факторов - осадков и температуры, формирующих сток. От величины и соотношения этих факторов зависит водность рек в конкретном году.

Роль ледников в питании рек исключительно велика, особенно в годы с недостаточным количеством атмосферных осадков.

Сток талых вод с ледников начинается со второй половины июня, начала июля и продолжается до конца сентября, т.е. высокая водность рек сохраняется в течение всего жаркого периода, когда потребность в воде для нужд орошения особенно велика.

На гидрографах реки Чу (рисунок 3.1) чётко выражена многоводная фаза, имеющая два пика. Первый приходится на весну и формируется талыми водами сезонного снега нижних и средних ярусов гор; второй отмечается летом, в июле-августе за счет поступления талых вод высокогорных снегов и ледников.

Соотношение талых вод двух паводков в общем объеме стока за половодье меняется по годам в зависимости от гидрометеорологической обстановки каждого конкретного года. В начале многоводной фазы часто наблюдаются временные понижения температуры, которые могут привести к приостановке уже начавшегося снеготаяния. Многоводная фаза продолжается с июня по октябрь. Зимняя межень характеризуется пониженной водностью и продолжается с ноября по апрель.

При сохранении общих закономерностей могут наблюдаться значительные количественные изменения расходов в различные годы, обусловленные погодными условиями. Так, максимальные расходы половодья 2010 г. намного выше значений, наблюдавшихся в 2008 и 2009 гг.

А гидрограф за 2008 г. не типичен для р. Чу – с. Кочкорка: на нём отсутствует ярко выраженная многоводная фаза, что можно объяснить очень малым количеством осадков в зимней период предшествующий теплему периоду. Следует отметить, что водность реки конкретного года может значительно отличаться от средней.

Изменение расхода воды р. Аламедин – устье р Чункурчак в течение 2009-2011 гг. было более типичным (рисунок 3.2), отмечается незначительно

более раннее начало многоводной фазы в 2009 г. К сожалению, из-за отсутствия данных о ежедневных расходах воды в 2008 г. нет возможности увидеть, изменялись ли расходы подобно тому, как они изменялись по р. Чу. Следует отметить, что представленные ежегодные гидрографы р. Аламедин не значительно отличаются от осреднённого по декадам.

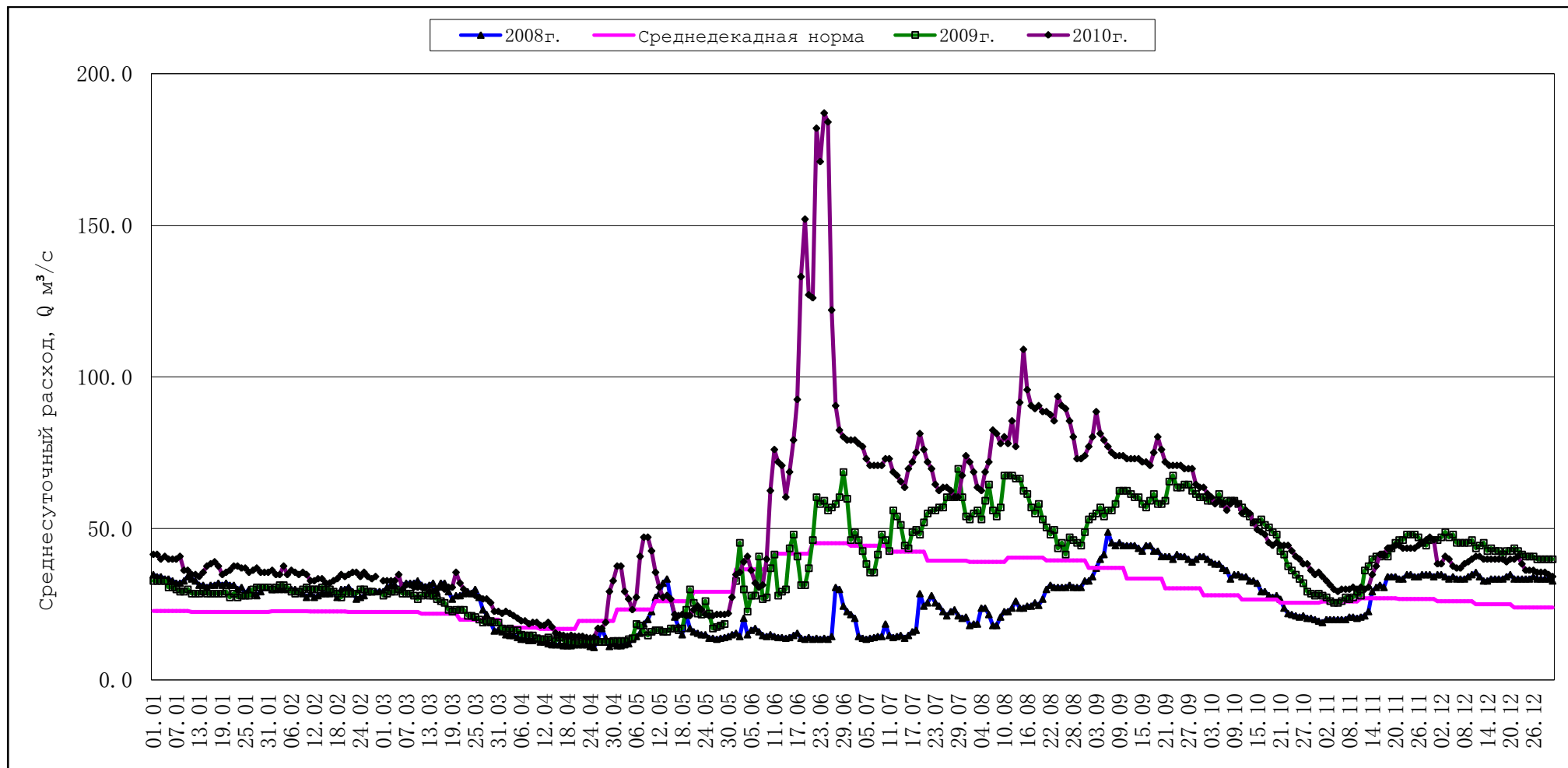


Рисунок 3.1 Изменение расхода воды р. Чу – с. Кочкорка

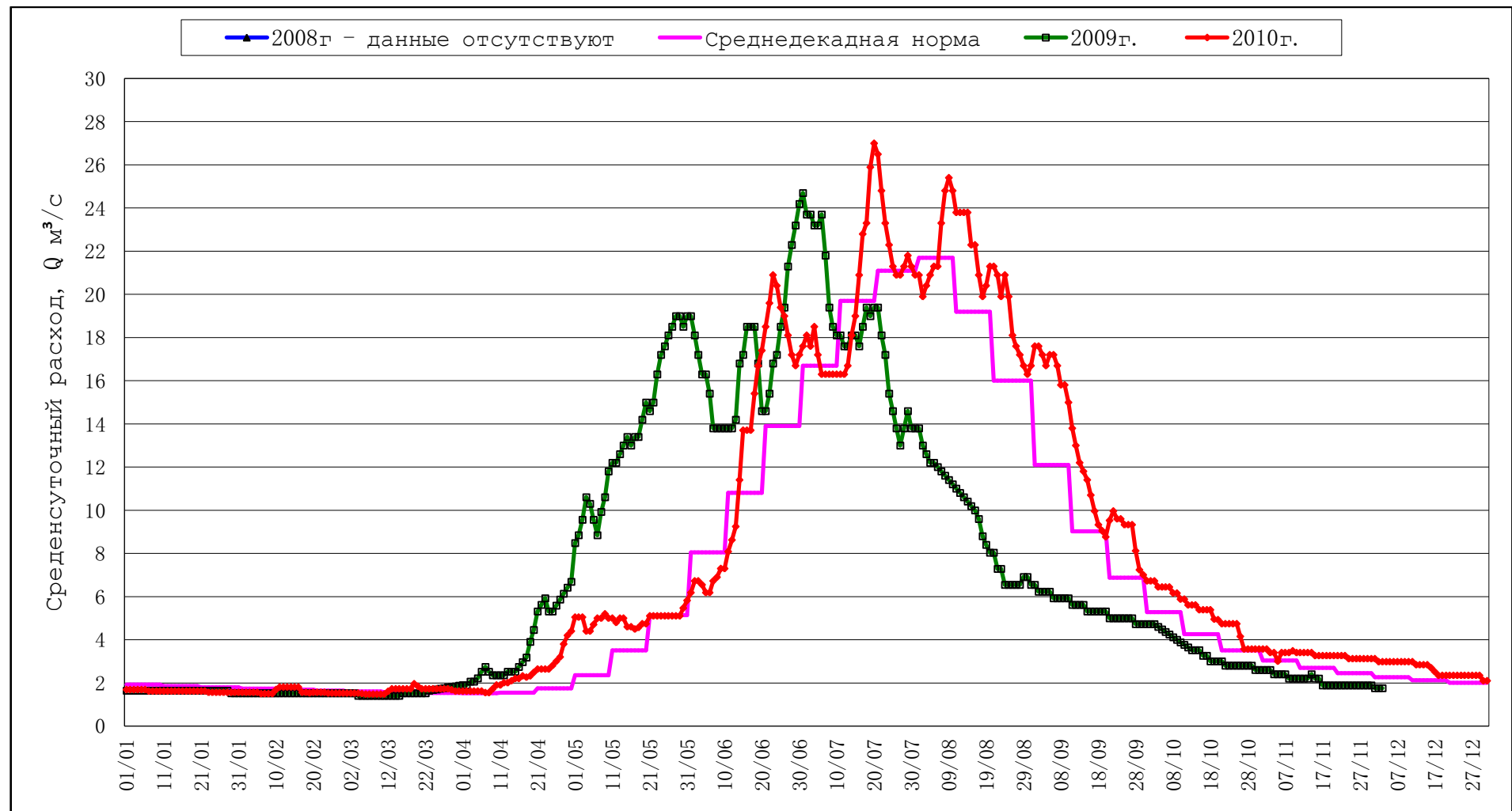


Рисунок 3.2 Изменение расхода воды р. Аламедин - устье р Чункурчак

3.1 Внутригодовое распределение стока

Внутригодовое распределение стока представляет собой изменение стока внутри года по сезонам, месяцам, декадам, неделям, суткам. Является отражением типа водного режима, зависящего от типа питания реки. Установление закономерностей внутригодового хода стока рек не по календарным периодам имеет важное научное и практическое значение, так как на его основе ведется планирование использования водных ресурсов для различных водохозяйственных целей, определяются основные параметры водохранилищ и водохозяйственных и гидротехнических сооружений.

Внутригодовое распределение стока обычно рассчитывается не по календарным годам, а по водохозяйственным, начиная с первого месяца многоводного сезона. В отличие от календарного года, водохозяйственный год начинается в разные сроки в различных климатических зонах.

За начало водохозяйственного года принимают первый месяц, для которого средняя многолетняя величина месячного расхода превышает норму годового стока. Для территории Кыргызстана многоводной фазой является весеннее половодье, и, следовательно, водохозяйственный год начинается весной. Границы сезонов назначаются едиными для всех лет.

В зависимости от задач водохозяйственного проектирования расчетная вероятность превышения стока за год, лимитирующий период и сезон назначаются в соответствии с задачами водохозяйственного использования стока реки.

Определение расчетного календарного внутригодового распределения стока может выполняться следующими методами:

- а) метод компоновки сезонов;
- б) метод реального года
- в) среднего распределения стока за годы характерной градации водности.

3.4 Расчет внутригодового распределения.

В зависимости от типа внутригодового распределения стока год делится на два периода: многоводный и маловодный (межень). В зависимости от цели использования один из них назначается лимитирующим. Лимитирующим считается наиболее напряженный с точки зрения водохозяйственного использования период. В такой период может включаться один или два сезона.

Сезоны

В результате анализа данных наблюдений за стокам воды рр. Чу и Чон-Кемин были установлены календарные границы гидрологических сезонов: весна (май – июнь), лето (июль – сентябрь), осень-зима (октябрь-апрель). Для р. Аламедин они отличаются: весна (июнь – июль), лето (август – сентябрь), осень-зима (октябрь – май). Это объясняется тем, что водосбор этой небольшой реки (317 км²) расположен выше водосборов других рек (средняя высота водосбора 3260 м н.у.м.) и имеет большее оледенение. Поэтому таяние снежников и ледников начинается позже и многоводная фаза наступает позже. Таким образом, различаются сроки и продолжительность всех сезонов.

Периоды

Для всех рек, путем сравнения с рассчитанной нормой стока, были выделены лимитирующий и нелимитирующий периоды. Для рек Чу (рисунок 3.3) и Чон-Кемин (рисунок 3.4) за лимитирующий период принята октябрь – апрель, а за нелимитирующий период май-сентябрь. Для р. Аламедин лимитирующий период октябрь-май, нелимитирующий период июня – сентябрь (рисунок 3.5).

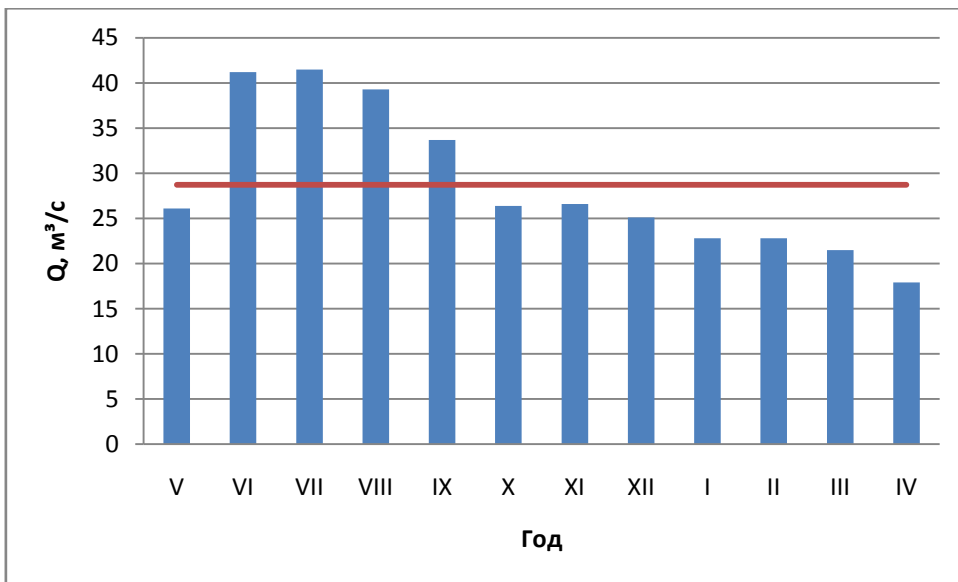


Рисунок 3.3 Схема разбивки года на сезоны р Чу – с Кочкорка

Нелимитирующий период (многоводный период) с V по IX

Лимитирующий период (маловодный период) с X по IV

Лимитирующий сезон с I по IV

Нелимитирующий сезон с X по XII

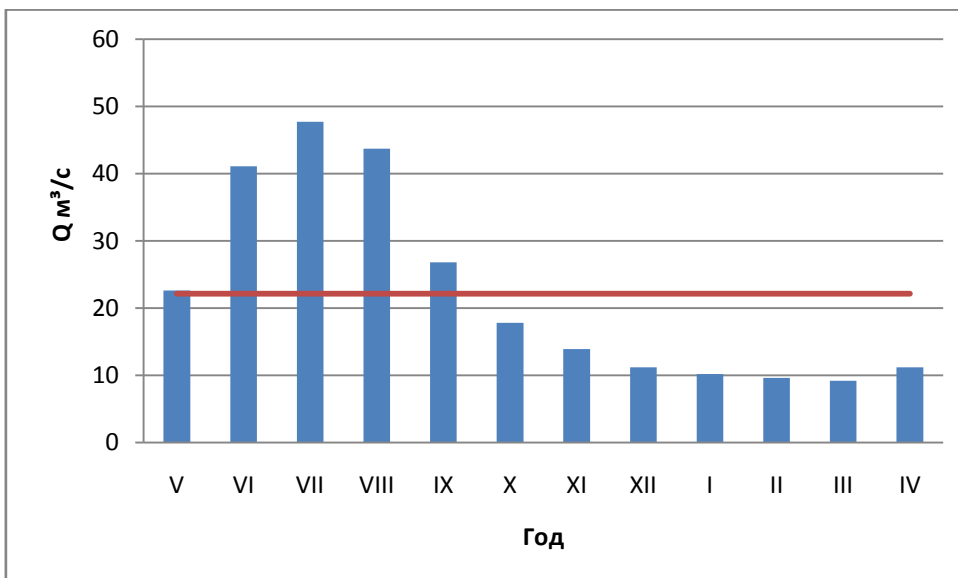


Рисунок 3.4 Схема разбивки года на сезоны р Чон-Кемин – устье

Нелимитирующий период (многоводный период) с 5 по 9

Лимитирующий период (маловодный период) с 10 по 4

Лимитирующий сезон с 1 по 4

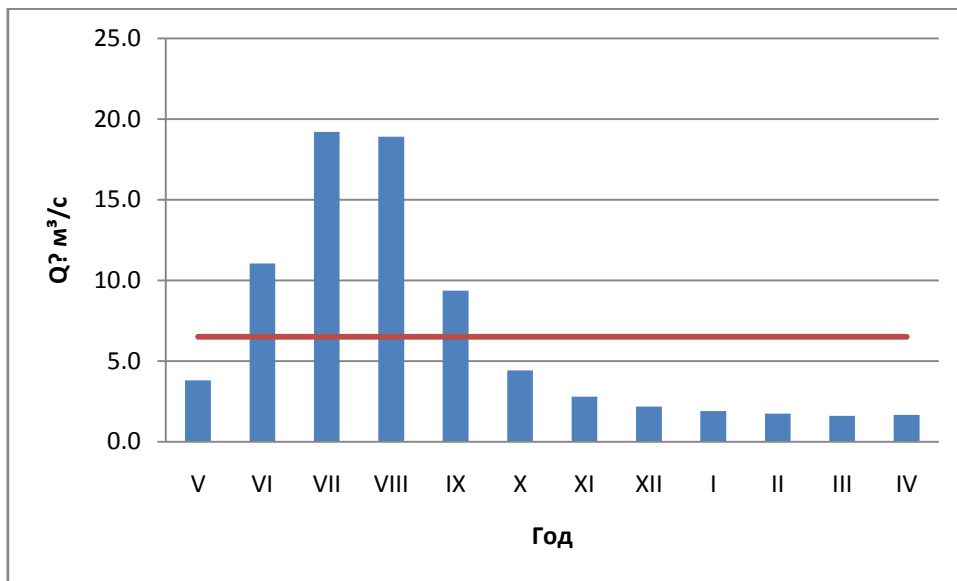


Рисунок 3.5 Схема разбивки года на сезоны р. Аламедин – устье р. Чункурчак

Нелимитирующий период (многоводный период)	с 6 по 9
Лимитирующий период (маловодный период)	с 10 по 5
Лимитирующий сезон	с 1 по 5

Расчет внутригодового распределения стока выполнен методом реального года. Расчетные таблицы находится в Приложении .

Расчет выполнен для всех трех рек за два года самый маловодный и близкий к нему. Расчетная обеспеченность 90%. Графические результаты представлены на рисунках 3.6, 3.7, 3.8. Маловодные года для различных рек не совпадают.

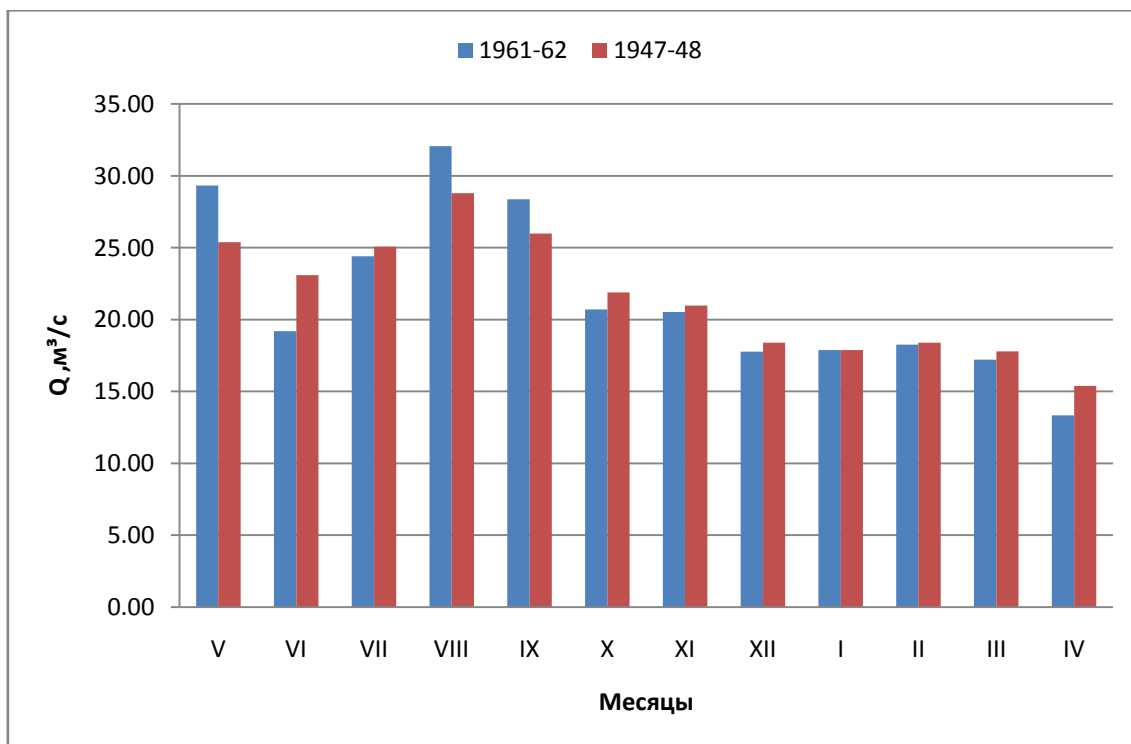


Рисунок 3.6 Совмещенный гидрограф среднемесячных расходов 90% обеспеченности воды р. Чу – с. Кочкорка за 1947-48 и 1961-62 гг

Чётко выражены два пика, весной и летом. Пик в начале весны формируется за счет таяние снега в предгорьях, а в середине лета за счет таяния снежников и ледников на высокогорных частях водосбора. Среднемесячные расходы многоводной фазы двух лет отличаются значительно, чем маловодной.

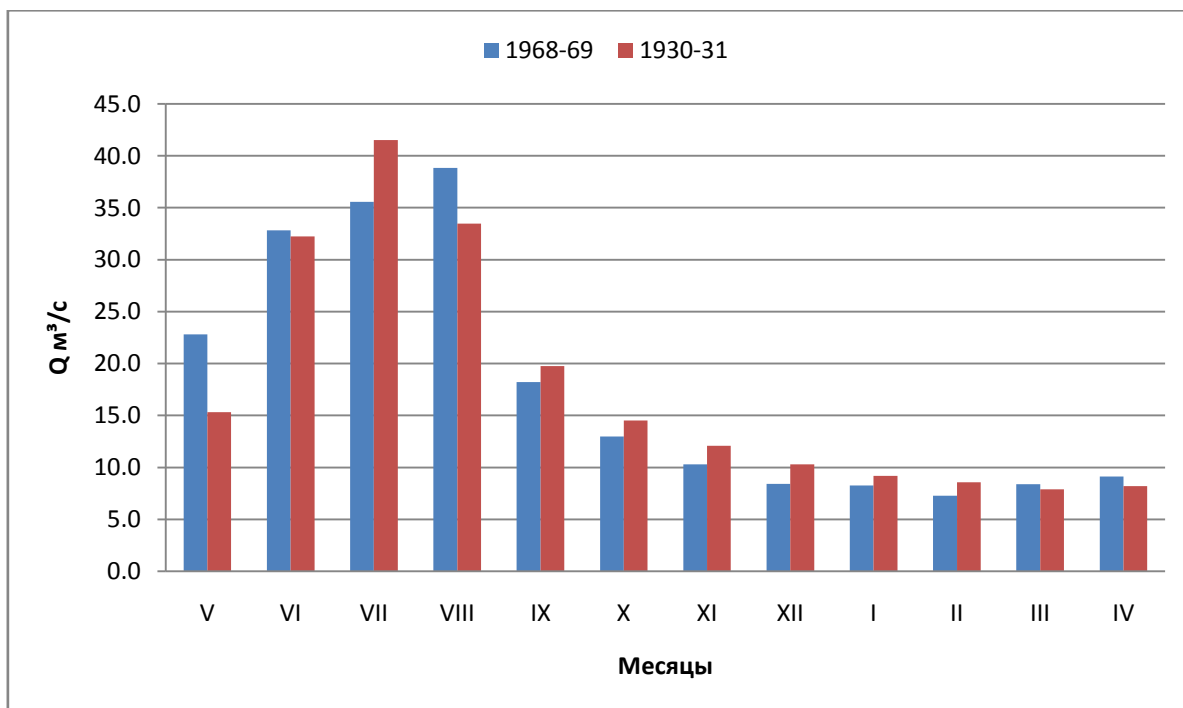


Рисунок 3.7 Совмещенный гидрограф среднемесячных расходов 90% обеспеченности воды р. Чон-Кемин – устье за 1930-31 и 1968-69 гг.

На гидрографе маловодных лет нет двух пиков, весной и летом. Это может быть объяснено меньшим количеством зимних осадков в более низких частях водосбора в такие годы и, следовательно, более равномерным поступлением талых вод с различных частей водосбора. Это способствует форма долины реки – узкое горное ущелье.

В распределении стока р. Аламедин в маловодные годы можно выделить многоводную фазу, продолжающуюся с июня по август. Характерные два пика половодья не формируются, что объясняется незначительным количеством осадков в предшествующий половодью зимний период. Различия объемов ледникового стока в период половодья значительные.

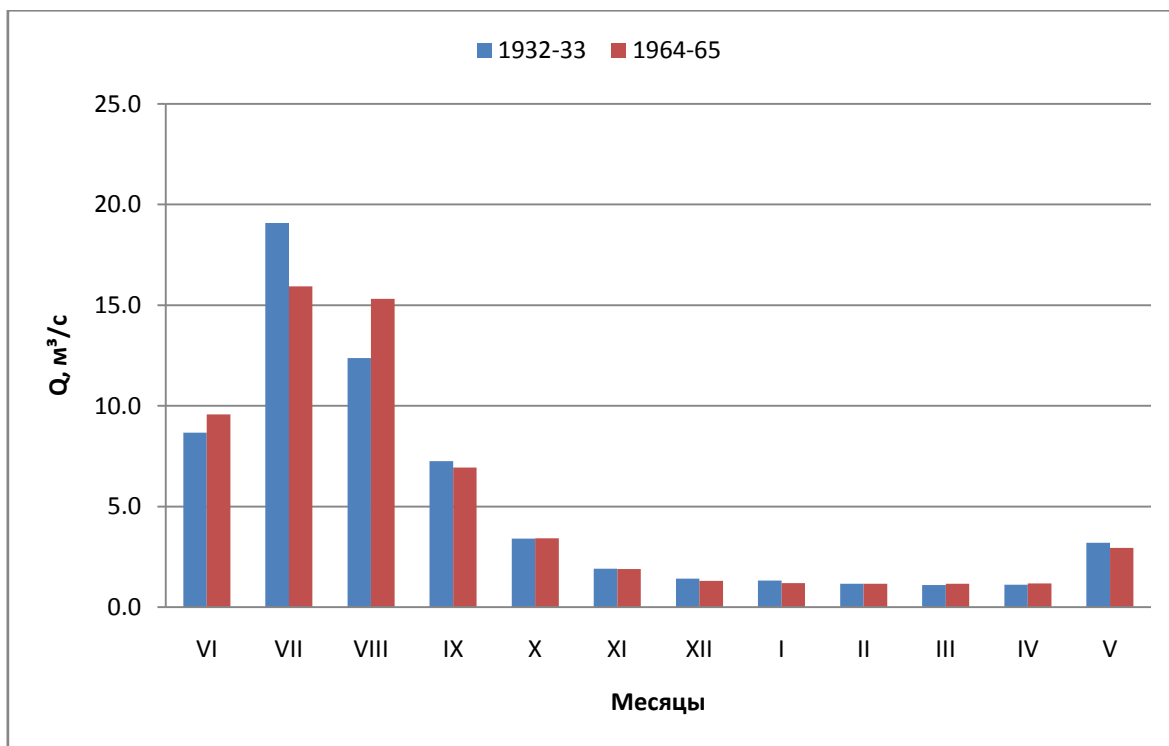


Рисунок 3.8 Совмещенный гидрограф среднемесячных расходов 90% обеспеченности воды р. Аламедин – устье р. Чункурчак, 1932-33 и 1964-65 гг.

Эмпирические и аналитические кривые за водохозяйственный год 90% обеспеченности находятся в Приложении.

3.4 Анализ современных изменений водного режима и его характеристик

После издания в начале 70-х годов монографии «Ресурсы поверхностных вод» данные гидрологических наблюдений долгое время не обобщались. Обобщение новых данных (до 2000 г) и расчёт гидрологических параметров был выполнен в ИВП РАН в 2000 г. За 30 лет произошли изменения стокоформирующих факторов – температуры, осадков. Судя по трендам температуры воздуха и атмосферных осадков именно после 1972 г. произошли существенные изменения этих параметров. Отмечено повышение температуры воздуха в зимние месяцы – декабрь-февраль, а также в конце лета – август и начале осени – сентябрь. На высокогорных станциях

несколько теплее стали июнь и июль. Понижение температуры отмечается весной – апрель, май.

Потепление климата зимой, вероятно, связано с ослаблением действия Сибирского антициклона. Похолодание в апреле и мае, вероятно, обусловлено увеличением повторяемости вторжений холодных фронтов северных и северо-западных румбов, что, как следствие, сопровождается увеличением повторяемости заморозков. Динамика поверхностного стока зависит от степени оледенения водосборов.

По данным ИВП увеличение летних расходов воды за счет потепления климата, повлекшего активное таяние ледников, отмечается почти на всех реках Кыргызстана, имеющих ледниково-снеговое и снегово-ледниковое питание (имеющих высоту водосбора более 3000 м и степень оледенения более 3-5%), произошло увеличение стока. На реках с высотой водосбора менее 3000 м, незначительным оледенением или его отсутствием, произошло его уменьшение. На реках снегового и снегово-дождевого питания изменение стока находится в зависимости от изменений количества осадков, выпадающих в различных частях и высотных зонах водосбора. В течение анализировавшегося периода (1973-2000 гг.) общий среднегодовой сток в Чуйском бассейне увеличился на 7 м³/с, составив суммарно 122 м³/с (против 115 м³/с за период до 1973 г).

Анализ трендов среднемесячных расходов воды показывает, что изменения стока по месяцам неоднозначны и зависят от многих факторов, среди которых определяющие – изменения температуры и осадков в каждом конкретном месяце и гидрографические особенности водосборов рек.

Наибольшее увеличение расходов воды от 3,0 до 8,0 м³/с произошло в июле, августе на реках со значительным оледенением (Чон-Кемин, Аламедин и др.). Это объясняется тем, что при современном потеплении климата происходит подъем фирновой линии и увеличение объема ледникового стока.

На реках с более низкими водосборами и незначительным оледенением сток увеличился в июне, а в мае, августе и октябре отмечено уменьшение стока.

На трендах рек с искаженным стоком (р. Чу – с. Кочкорка), отмечен значительный рост стока в меженный период – ноябрь- март и уменьшение в весенние и летние месяцы – апрель-август.

Водность р. Чу – Кочкорка (входной в Орто-Токойское водохранилище) практически не изменилась, при этом произошло его перераспределение внутри года. На гидрографе стока (рисунок 3.9) обозначился второй паводок в осенне-зимние месяцы (ноябрь-февраль), формирующийся за счет выклинивающихся (возвратных) вод, излишне забираемых на орошение в паводковый период, и уменьшились расходы воды летних месяцев за счет увеличения водозаборов.

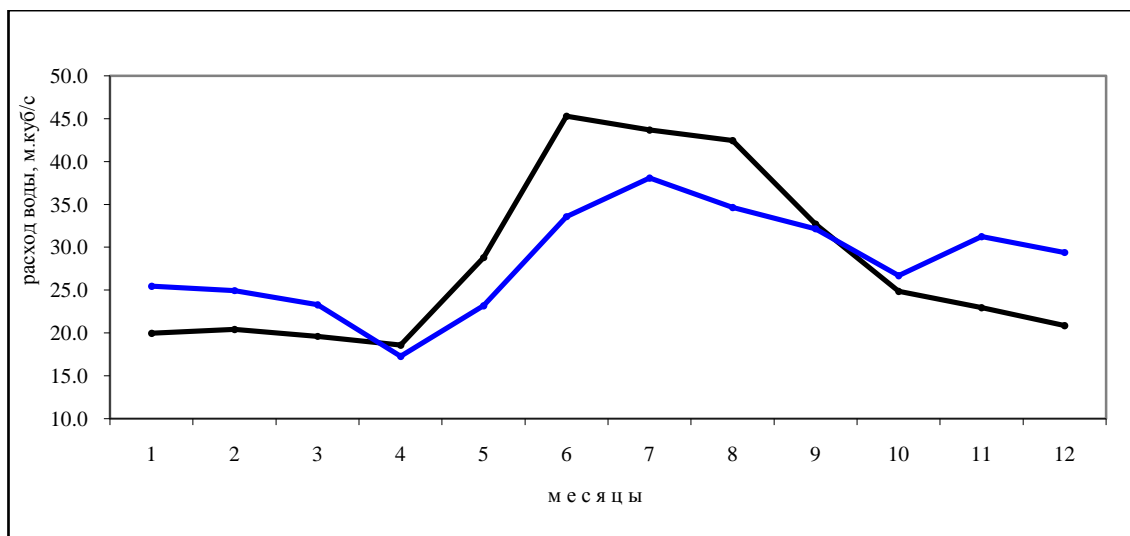


Рисунок 3.10 Средние расходы воды р. Чу – с. Кочкорка за периоды до 1972 и за 1973-2000

В таблице 3.1 приводится сравнительный анализ водности исследуемых рек за периоды: с начала наблюдений до 1973 г., за 1973-2000 гг. и за весь период наблюдений.

Таблица 3.1 Сравнительные характеристики стока.

Река-посты	Расчетный период						За весь период	
	по 1972 г		1973-2000		2001-2015			
	Q	Cv	Q	Cv	Q	Cv	Q	Cv
р. Чу-село Кочкорка	28,3	0,13	28,4	0,13	32,5	0,18	29,7	0,18
р. Чон-Кемин-устье	21,5	0,20	23,1	0,12	21,5	0,14	22,1	0,13
р. Аламедин-устье р. Чункурчак	6,2	0,15	6,8	0,17	7,0	0,13	6,7	0,18

Прогноз стока (ИВП РАН)

Прогноз среднегодового стока рек Кыргызстана выполнен в ИВП и основывается на анализе взаимосвязи предшествующих и последующих гидрометеорологических характеристик, определяющих развитие гидрологических процессов в конкретных физико-географических условиях. Для прогноза на 15 лет использован метод инерционного изменения среднегодового стока за весь период наблюдений при условии сохранения этой тенденции в течение прогнозируемого периода. В основу метода взято уравнение регрессии, выражающее статистическую зависимость одной переменной (y) от другой (x), для случая переменной корреляции.

Сохранение тенденции потепления климата до 2020 г. приведет к дальнейшему сокращению ледников. Однако объем ледникового стока на этом этапе будет увеличиваться и составит по отношению к современному около 104%. Сток на реках со значительной долей ледникового питания начнет уменьшаться лишь после сокращения площади оледенения до таких размеров, которые уже не смогут обеспечить ледниковую составляющую в прежних объемах. Уменьшение ледникового стока будет отмечаться и на реках с показателем оледенения менее 4- 5%.

В бассейне р. Чон-Кемин максимальный объем стока придется на 2010 г., когда объем ледникового стока и его прирост ещё смогут компенсировать

уменьшение стока за счет потерь на испарение в среднегорной зоне, и способствовать увеличению расходов воды в реке. Это будет продолжаться до 2020 г., когда ледниковый сток ещё будет выше современного в среднем на 4%.

На реках с незначительным оледенением ледниковый сток сократится на 25-28%, а на реках со значительным оледенением (Аламедин), он будет оставаться несколько выше современного – на 4-5%.

Увеличение объёма ледникового стока на фоне отступления ледников будет сопровождаться активизацией селевых процессов (особенно гляциальных селей).

В верховьях р. Чу к 2010 г. концы ледников отступят до высот 3790 м, а фирновая линия поднимется на 104 м от современного положения. За счет подъема снеговой линии в таяние дополнительно будет вовлечено 21,9 кв² площади ледников, но к существенному увеличению стока это не приведет.

Таблица. 3.2 Прогноз изменения ледникового стока на реках Чуйского бассейнов до 2020 г.

Бассейн	Ледниковый сток, млн.м ³ .				2020 г в % к современному
	современное	2005 г.	2010 г	2020 г.	
Верховья р. Чу	79,5	86,3	89,9	86,5	109
Чон-Кемин	120	128	130	124	104

В результате значительного сокращения площади оледенения произойдет уменьшение объёма ледникового, а, следовательно, и годового стока в целом. Сначала это произойдет на реках с незначительным оледенением, а затем и на реках со значительным ледниковым стоком. Это уже отмечается на реках Тору-Айгыр, Тюп, Джыргалан, Кара-Балты, Кызыл-Суу (с.Бакабулак) и некоторых других.

По отдельным рекам (Чу, Нарын, Чон-Кемин) были построены и экстраполированы до 2020 г. тренды расходов воды в двух вариантах – за весь период наблюдений и за период 1973-2000 гг.

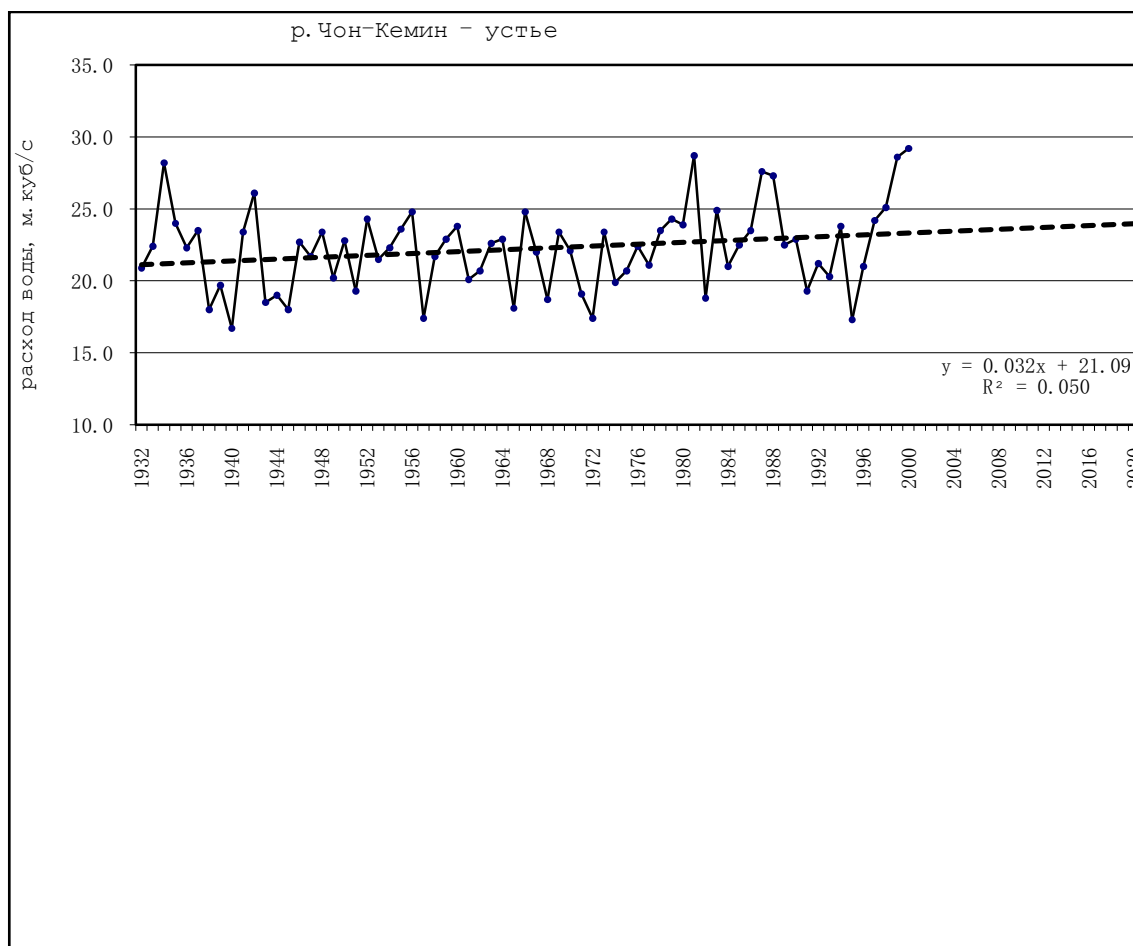


Рисунок 3.11 Тренд среднегодовых расходов воды и прогноз до 2020 г. рек ледниково-снегового питания.

Таблица 3.3 Прогноз стока рек на 2020 год

Река – пункт	Период наблюдений	Число лет	δ - тип питания	$Q_{\text{ср}}$ – средн. многолетний	σ - средн. квадрат отклон. $\text{м}^3/\text{с}$	Q - прогноз на 2020 г.	Отклон. прогноза от нормы $Q_{\text{ср}} - Q_{\text{прогн}}$
Чу- с.Кочкорка (вход в Орто-Токойское водохранилище)	1932-2000	69	1,13	28,3	30,7	8,5	2,4
Чон-Кемин – устье.	1932-2000	69	1,70	22,2	24,1	8,6	1,9
Аламедин	1929-2000	72	2,70	6,46	7,06	9,3	0,6

Для рек ледниково-снегового питания ($\delta \geq 1.0-2.5$, степень оледенения больше 4%), тренд положительный, и этот рост является закономерным на данном этапе потепления климата. Для рек снегово-ледникового питания ($\delta \geq 0.5-1.0$, степень оледенения менее 1-4%) тренд неоднозначный: на отдельных реках положительный, но рост не значительный, а некоторых реках – отрицательный.

Заключение

В результате выполнения всех поставленных задач была достигнута цель работы – выявлены современные изменения водного режима и характеристик стока рек Кыргызстана. В исследовании использованы ряды гидрометеорологических элементов по трём рекам, гидрографические характеристики водосборов которых значительно различаются. Длительность рядов превышает 80 лет.

Проанализированы многолетние изменения температур воздуха и осадков. В их ходе выявлены положительные тренды. При этом общая увлажнённость территории практически не изменяется.

Показано, что наблюдающиеся в последние 15 лет изменения стока зависят как от климатических факторов, так и от характеристик водосбора. В целом, изменения стока и его изменчивости на исследованных реках не однонаправленны. Отмечено влияние степени оледенения водосборов рек и их высотного положения на характер внутригодового распределения стока. Рассчитано внутригодовое распределение стока маловодных лет 90% обеспеченности. Обращает внимание отличие его от среднего распределения стока ввиду особенностей выпадения осадков в маловодные периоды.

Полученные за период по 2015 год результаты сравнены с прогнозом стока, данным Институтом Водных проблем РАН и с результатами за периоды осреднения до 1972 г., 1973-2000 гг., и с 2001 по 2015 годы.