

Казахский Национальный Университет им. аль – Фараби

УДК 556.18 (282.255.5)

На правах рукописи

**АМИРГАЛИЕВА АЙНУР СЕРИККАЗЫЕВНА**

**Оценка изменения водных ресурсов и перспективы прогноза  
водности основных рек Иле-Балкашского бассейна в условиях  
современного потепления климата**

6D061000 – Гидрология

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора философии (PhD)

Научные руководители: кандидат  
географических наук, доцент КазНУ им.  
аль-Фараби Полякова С.Е.  
Доктор PhD Абдор Гафуров, Немецкий  
центр исследования Наук о Земле,  
Потсдам, Германия

Республика Казахстан  
Алматы, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ОПРЕДЕЛЕНИЯ</b>	4
<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ</b>	7
<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	9
<b>1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК ИЛЕ-БАЛКАШСКОГО БАССЕЙНА</b>	16
1.1 Общая характеристика природных условий	16
1.1.1 Рельеф и геологическое строение	16
1.2 Климатические условия формирования поверхностного стока	18
1.2.1 Снежный покров	19
1.3 Гидрография региона	20
1.3.1 Гидрологическая изученность и сеть наблюдений	26
<b>2 УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА И ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК ИЛЕ-БАЛКАШСКОГО БАССЕЙНА С УЧЕТОМ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</b>	33
2.1 Основные факторы формирования поверхностного стока и водный режим рек Иле-Балкашского бассейна	33
2.2 Исследование водных ресурсов рек региона	37
2.2.1 Анализ и восстановление пропусков в наблюдениях рядов стока	41
2.3 Хозяйственная деятельность и ее влияние на сток рек бассейна	47
2.3.1 Количественная оценка характеристик годового стока водотоков региона	50
2.3.2 Оценка однородности рядов стока и анализ многолетних изменений гидрометеорологических характеристик основных рек Иле-Балкашского региона	54
<b>3 ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГОДОВОГО СТОКА РЕК ИЛЕ-БАЛКАШСКОГО БАССЕЙНА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА</b>	55
3.1 Анализ исследования метеорологических факторов на сток рек региона	55
3.2 Изменения многолетнего температурного режима и нормы годовых сумм осадков	56
3.3 Анализ гидрометеорологических условий формирования поверхностного стока за многолетние периоды основных рек региона	70
3.4 Тенденции изменения величин годового стока в современных климатических условиях	77
<b>4 МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА, УСЛОВИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ</b>	94
4.1 Обзор моделирования процессов стокообразования	95
4.2 Климатические условия формирования снежного покрова,	97

наблюдения за снежным покровом и осадками	
4.3. Апробация модели «Degree-Day» при недостаточности метеорологических наблюдений за снежным покровом	101
4.3.1 Результаты применения метода “Degree-Day” для прогноза водности на примере рек Илейского Алатау	111
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	115
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	118
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А</b>	128
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б</b>	135
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В</b>	139

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Аккумуляция - процесс накопления в естественных и искусственных водных объектах воды, атмосферных осадков и др.

Влагоотдача снежного покрова - процесс поступления на поверхность почвы избыточной (не удерживаемой снегом) гравитационной талой или дождевой воды.

Влажность снега - количество воды, которое снежный покров содержит в данный момент.

Вероятность - мера оценки достоверности появления того или иного события, в частности, различных гидрометеорологических явлений или их характеристик.

Водность (снегозапас) - это масса воды, которая содержится в снежном покрове. Водность выражают толщиной слоя воды в мм.

Водные ресурсы - ресурсы поверхностного и подземного стока какой-либо территории.

Водный режим - изменение во времени уровней и объемов воды в реках, озерах и болотах.

Гидрографическая сеть - совокупность рек и других постоянно и временно действующих водотоков, а также озер на какой-либо территории.

Гидрограф - график изменения во времени расходов воды за год или часть года.

Гидрография - раздел гидрологии суши, задачей которого является изучение и описание конкретных водных объектов с качественной и количественной характеристикой их положения, размера, режима и местных условий, а также выявления географических закономерностей распространения вод на земном шаре и особенностей их морфологии, режима и хозяйственного значения в отдельных естественно-исторических районах и ландшафтных зонах.

Гидрологическая сеть - совокупность гидрологических станций и постов, размещенных с соблюдением определенных научных принципов в пределах какой-либо территории, с целью изучения гидрологического режима для повседневной планомерной информации о текущем состоянии его.

Гидрологические расчеты - раздел инженерной гидрологии, в задачи которого входит разработка методов, позволяющих рассчитать значения различных характеристик гидрологического режима.

Гидрологический пост - место, выбранное с соблюдением известных правил и оборудованное для систематических гидрологических наблюдений и информации по определенной программе и методике.

Гидрологические характеристики - количественные оценки элементов гидрологического режима.

Гидроэлектростанция - электростанция, в качестве источника энергии использующая энергию водного потока.

Дисперсия - в математической статистике и теории вероятностей – мера рассеивания рассматриваемой величины от ее среднего значения.

Запас воды в снежном покрове - общее количество воды в твердом и жидком виде, содержащееся в рассматриваемый момент времени в снежном покрове.

Изменчивость стока - колебания величин стока во времени.

Интенсивность снеготаяния - количество воды, мм, образующееся в процессе таяния снега в единицу времени

Испарение - переход отдельных молекул, скорость которой оказывается достаточной для преодоления сил молекулярного притяжения, с поверхности жидкости или твердого тела в окружающее пространство.

Клетчатка вероятностей - специальные клетчатки с прямоугольной системой координат, построенные таким образом, что на них спрямляются (полностью или частично) различные кривые обеспеченности.

Межень - периоды внутри годового цикла, в течение которых наблюдается низкая водность, возникающая вследствие резкого уменьшения притока воды с водосборной площади.

Метеорологические элементы - общее название для всех наблюдаемых на метеорологических станциях характеристик состояния воздуха и некоторых атмосферных процессов.

Метод скользящего осреднения - последовательное осреднение численных характеристик природных явлений в пределах выбранных интервалах времени.

Методы гидрологических расчетов - технические приемы, позволяющие рассчитать, обычно с оценкой вероятности их появления, значения различных характеристик гидрологического режима.

Многолетние характеристики элементов гидрологического режима - характерные (средние, наибольшие, наименьшие, наиболее ранние, наиболее поздние и др.) количественные характеристики или даты отдельных явлений режима водных объектов, устанавливаемые из ряда наблюдений за многолетний период.

Модульный коэффициент - отношение какой-либо варьирующей (изменяющейся) во времени величины к ее среднему значению.

Норма стока - среднее значение величины стока за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которой полученное значение существенно не меняется.

Обеспеченность гидрологической характеристики - вероятность того, что рассматриваемое значение гидрологической характеристики может быть превышено среди совокупности всех возможных ее значений.

Паводок - быстрый, сравнительно кратковременный подъем уровня воды в каком-либо фиксированном створе реки, завершающийся почти столь же быстрым спадом и, в отличие от половодья, возникающий нерегулярно;

величина поднятия уровня и увеличение расхода воды при паводке могут в отдельных случаях превышать уровень и максимальный расход воды половодья.

Перекристаллизация снега - изменение структуры снежного покрова в результате процессов метаморфизма снега.

Плотность снега - отношение массы пробы снега к его объему ( $\text{г/см}^3$ ).

Поверхностные воды - воды, постоянно или временно находящиеся на земной поверхности в форме различных водных объектов.

Половодье - фаза водного режима реки, характеризующаяся наибольшей в году водностью, высоким и длительным подъемом уровня, обычно сопровождаемым выходом воды из русла на пойму.

Расчетная обеспеченность - обеспеченность гидрологической характеристики, принимаемая при строительном проектировании для установления значения параметров гидрологического режима, определяющих проектные решения.

Режеляция - (повторное смерзание) заключается в плавлении и повторном смерзании ледяных кристаллов, образующих снежинки, под влиянием удельного давления.

Репрезентативный - характерный, представительный для определенных условий.

Речной сток - количество воды, протекающее в речном русле за какой-либо период времени.

Сублимация - процесс кристаллизации вещества из пара.

Снежный покров - лежащий на поверхности земли слой снега, образованный при снегопадах.

Элементы гидрологического режима - это те явления и процессы, совокупность которых характеризует гидрологический режим водного объекта.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

абс.	-	абсолютная
БАБ	-	Балкаш-Алакольский бассейн
БВУ	-	бассейно-водное управление
БС	-	Балтийская система высот
ВХБ	-	водохозяйственный бассейн
вып.	-	выпуск
г.	-	город
Госкомгидромет	-	Государственный комитет по гидрометеорологии
ГГИ	-	Государственный гидрологический институт
г/п	-	гидрологический пост
ГЭС	-	Гидроэлектростанция
ЕТС	-	Европейская территория страны
им.	-	имени
ИРВ	-	измеренные расходы воды
кВт	-	киловатт
кл.	-	класс
км	-	километр
КНР	-	Китайская Народная Республика
КСВО	-	код состояния водного объекта
лв	-	левая
Ленгидэп	-	Ленинградское отделение Всесоюзного проектного института «Гидроэнергопроект»
м	-	метр
мб	-	миллибар
МВХ	-	Министерство водного хозяйства;
мм	-	миллиметр
МОН	-	Министерство образования и науки
МС	-	метеорологическая станция
МЭС	-	Магистральные электрические сети
НПУ	-	нормальный подпорный уровень
ОГХ	-	основные гидрологические характеристики
оз.	-	озеро
п.	-	поселок
пр.	-	правая
р.	-	река
РГП «Казгидромет»	-	Республиканское государственное предприятие Казахстанской гидрометеорологической службы
рис.	-	рисунок
РК	-	Республика Казахстан
РФ	-	Российская Федерация
с.	-	село
СУАР КНР	-	Синьцзянь-Уйгурский автономный округ

	Китайской Народной Республики
тыс.	- тысяч
ТЭС	- Тепловая электростанция
УАРФД	- Управления архива и республиканского фонда данных
УГКС КазССР	- Казахское республиканское управление по гидрометеорологии и контролю природной среды
УГМС	- Управление гидрометеорологической службы
УМО	- уровень мертвого объема
уроч.	- урочище
усл.	- условный
усл. обозн.	- условные обозначения
хр.	- хребет

## ВВЕДЕНИЕ

**Общая характеристика работы.** Диссертация посвящена оценке изменения водных ресурсов и перспективы прогноза водности основных рек Иле-Балкашского бассейна в условиях меняющегося климата.

Иле-Балкашский бассейн представляет собой уникальный природный комплекс, по площади превышающий размеры многих государств. Он занимает обширную территорию, здесь проживает пятая часть населения страны, половину которого составляют сельские жители, площадь орошаемых земель около 350 тысяч гектаров. В то же время территория обладает 22% водных ресурсов, из которых расчетные гидроэнергетические ресурсы составляют 42%. Поэтому остро стоит вопрос о прогнозировании изменения водных ресурсов в условиях изменения климата и их рационального использования в рассматриваемом бассейне.

В последнее время все ускоряющимися темпами происходят обострение водных проблем в бассейне оз. Балкаш, что приводит к рассмотрению вопроса устойчивого водообеспечения 3-х миллионного населения региона и страны в целом, в контексте национальной безопасности. Острота проблемы водообеспечения населения и промышленности региона усугубляется еще тем, что бассейн является трансграничным. С конца 20-го столетия обостряется ситуация с водообеспечением региона в связи с сокращением речного стока с территории сопредельного государства – КНР, а также с климатически обусловленным уменьшением ресурсов местного стока. Потенциальные последствия изменений ресурсов речного стока представляет реальную угрозу устойчивому социально-экономическому развитию и экологической безопасности региона и республики.

Водный режим рек обусловлен метеорологическими показателями и характеристиками подстилающей поверхности земли. Климатические изменения и хозяйственная деятельность приводят к существенным изменениям стока рек.

Приведены задачи дальнейших исследований. Устойчивое развитие региона зависит от рационального использования водных ресурсов и оценки их в перспективе, с учетом меняющихся климатических условий и возможно при создании надежных региональных моделей формирования стока.

Характеристики стока рек аридных территорий обуславливаются, как известно, климатическими факторами – сочетания элементов водного, теплового баланса, и условиями подстилающей поверхности. При этом высоты местности в свою очередь существенно изменяют водный режим реки. Зона формирования стока рек Иле-Балкашского бассейна находится, в основном, в горных и предгорных районах, а их питание складывается из талых снеговых, ледниковых и дождевых вод. Первые сведения по гидрологии оз. Балкаш и рек Иле-Балкашского бассейна были получены Л.С.Бергом во время его путешествия по Средней Азии в 1903 году. [5]. Исследования условий формирования стока и водного режима рек данного региона содержатся в работах В.Л. Шульца [8], О.П. Щегловой [32], З.Т. Беркалиева

[9], А.Ф. Литовченко [33], И.С. Соседова [14, 16], Ж.Д. Достай [34-35], Л.А. Емельяновой [36] и других.

Режим годового стока рек зависит не только от суммы годовых осадков, но и от таяния высокогорных снегов и льдов, накопившихся за предыдущие многолетия. Кроме того гидрогеологические процессы способствуют выклиниванию подземных вод в предгорных зонах, создавая целую сеть малых водотоков, которые, как правило, трудно учесть в водном балансе бассейна. Таким образом, водный режим рек, хотя и является функцией осадков, все-таки однозначно не отражает последовательные их изменения. Сложные процессы формирования стока в условиях аридных территорий и горных зональных закономерностей не позволяют получать надежные зависимости осадков и стока. Однако очевидно, что изменения климатических условий влекут за собой координальные изменения водного режима, и в целом величин годового стока рек региона. Статистический анализ при этом тем надежнее и точнее, чем больший период исследуется. В гидрологических расчетах при оценке водных ресурсов значительных территорий выбирается один и тот же, приведенный период для соблюдения одинаковых гидрометеорологических условий, позволяющий учесть данные всей гидрологической сети наблюдений за характеристиками стока не рассматривая данные по отдельным длиннорядным гидрологическим постам. К тому же с учетом глобального потепления на Земле и интенсивной хозяйственной деятельности человека, расчетные ряды характеристик стока рек при решении водохозяйственных задач ограничиваются последними десятилетиями.

**Актуальность темы:** В Иле-Балкашском бассейне хозяйственная деятельность развита в предгорной зоне и ниже. Сток рек используется для водоснабжения г. Алматы и других населенных пунктов, созданы большое количество небольших прудов и водохранилищ с крупным в 1970 г. Капшагайским водохранилищем на р. Иле, Акдалинский и Каратальский массивы орошения с сетью каналов соответственно в низовьях рек Иле и Каратал. С 1984 года функционирует Бартогайское водохранилище на р. Шелек и магистральный канал переброски стока им. Д. Кунаева, соединяющий реки Шелек и Шемолган. В разные периоды, исходя из экономических задач, возможностей и планов республики развитие ирригации в бассейне было неравномерно, а учет водозаборов и в целом количественная оценка использования водных ресурсов не эффективна.

Оценка влияния хозяйственной деятельности на водный режим рек бассейна выполнена с помощью статистического анализа многолетних характеристик стока и метеорологических показателей – температурного режима и режима осадков по данным метеостанций, расположенных в различных регионах рассматриваемой территории. Анализ суммарных интегральных кривых годового стока с учетом хозяйственной деятельности позволил выявить значимые изменения в водном режиме и ее влияние на характеристики средних годовых расходов воды рек рассматриваемого региона. Восстановление пропусков в наблюдениях, реконструкция рядов

годового стока и восстановление естественно-расчетных значений средних годовых расходов воды производились по связям данных величин, наблюдавшихся в пунктах аналогов.

Гидрологическая изученность в бассейне на р. Иле началась с 1910-16 годах, а по остальным основным водотокам с конца 20-х с начала 30-х годов прошлого столетия. Анализ колебаний характеристик стока за достаточно длинный период позволил оценить влияние хозяйственной деятельности человека и климатических изменений. В связи с этим в работе проведены исследования, и восстановление рядов наблюдений за стоком по основным постам Иле-Балкашского бассейна с периода начала действия по 2015-2018 гг. включительно. Анализ величин средних годовых расходов воды за весь период наблюдений позволяет проследить периоды различной водности и тенденции изменения водного режима рек в будущем при различных сценариях развития климатических условий. Исследование характеристик стока рек Иле-Балкашского бассейна и их хозяйственного использования позволило выявить наиболее качественные данные, восстановить пропуски в наблюдениях и проанализировать влияние, в первую очередь, руслового регулирования на годовую сток рек.

Кроме антропогенных нагрузок естественный водный режим рек меняется и вследствие климатических изменений. В работе рассматривались изменения многолетнего температурного режима и годовых осадков по 14 репрезентативным метеостанциям для разных регионов Иле-Балкашского бассейна, отличающихся по средней высоте местности, отдаленности и их влияние на характеристики годового стока рек бассейна. Выполнены исследования позволяющие оценить влияние на водный режим рек бассейна колебания метеорологических факторов.

Расчитаны характеристики средних многолетних годового стока рек с учетом изменения климата.

Наряду с глобальным потеплением и увеличением средней годовой температуры воздуха, которая наблюдается повсеместно, доля снеговой составляющей в водности рек исследуемого региона будет уменьшаться, а доля дождевой, наоборот, будет расти. Это является важным моментом при определении влияния изменения климата на водные ресурсы в целом. В перспективе с уменьшением снегозапасов важно будет уметь оценить их вклад в оценку водных ресурсов.

**Объект исследования.** Средний годовой расход воды основных рек Иле-Балкашского бассейна с длительным периодом наблюдений. Расчетный период с 30-х годов прошлого столетия по 2015 гг. включительно. Средние годовые температуры воздуха и количество годовых сумм осадков по репрезентативным метеостанциям, расположенным в зоне их климатического влияния в бассейне. Среднесуточные температуры воздуха, количества осадков и высоты снежного покрова по выделенным водосборным бассейнам и метеостанциям, находящиеся в зоне их влияния.

**Предмет исследований.** Включает вопросы восстановления и приведения ряда стоковых характеристик к длительным рядам наблюдений, определение статистических параметров годового стока, оценку значимых изменений режима рек Иле, Шарын, Шелек и Курты под влиянием хозяйственных мероприятий в регионе, оценку изменения водных ресурсов основных рек Иле-Балкашского бассейна с учетом роста температуры воздуха и количества годовых сумм осадков, применения метода «Degree-Day» на примере рек Илейского Алатау и Северного Прибалкашья недостаточности гидрометрических данных по снегозапасам.

**Методы исследований:** при выполнении данной диссертационной работы были использованы: для восстановления, приведение ряда гидрологических наблюдений к длительному периоду и подсчета стока применялись метод парной регрессии, регрессионный анализ, метод гидрологической аналогии, корреляционный анализ, а также критерий однородности (стационарности) для проверки данных на однородность посредством программы Microsoft Excel и Stokstat. В гидрологических исследованиях один из основных методов является – метод статистического анализа, который широко применяется в гидрологических расчетах для восстановления стока, определения и оценки статистических параметров.

Для определения влияния хозяйственной деятельности применялся метод учета влияния прудов и водохранилищ на годовой сток при помощи вычисленного коэффициента снижения и подобранного коэффициента сработки, с использованием значения полезного объема водохранилища. Для оценки колебания водности построены разностные и суммарные интегральные кривые, позволяющие выявить изменения в годовом стоке.

Проанализированы изменения многолетних колебаний температуры воздуха и количества осадков осредненные по десятилетиям и по высотным зонам. Построены суммарные интегральные кривые для выявления тенденции изменения температуры воздуха, атмосферных осадков и годового стока рек бассейна с учетом изменения метеорологических факторов, формирующие сток. Для применения метода «Degree-Day» для расчета моделирования стокообразования, рассчитаны графические и статистические параметры входных гидрометеорологических данных, проведена калибровка параметров и с помощью программы QGIS созданы карты цифровой модели рельефа водосборных бассейнов рек Киши Алматы, Тургень, Токрауын и Актогай. Для прогноза водности использован простой эмпирический метод градус-день. Рассчитаны гидрометеорологические характеристики, построен график связи зависимости водоотдачи снежного покрова, результаты которого использованы для прогноза на ближайший период весеннего половодья стока горных рек.

**Цель работы:** целью диссертационной работы является исследование и анализ многолетних колебаний годового стока наиболее значимых рек Иле-Балкашского региона с учетом влияния на их водный режим антропогенных

факторов и климатических изменений, которые в настоящее время все более отчетливо сказываются на стоковых характеристиках.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы **основные задачи исследования**:

1. Исследование литературных источников и анализ общих тенденций изменений климата и стока;

2. Сбор информации по стоку рек и по метеорологическим элементам влияющим на сток в зоне формирования рек Иле-Балкашского бассейна в основных его створах за весь период наблюдений по 2015-2018 гг.;

3. Расчеты годового стока водных ресурсов для характерных периодов исследуемого бассейна;

4. Оценка изменения современного состояния водных ресурсов бассейна реки Иле в условиях изменения климата и антропогенного влияния;

5. Результаты применения метода «Degree-Day» при недостаточности метеорологических наблюдений за снежным покровом на примере некоторых рек Иле-Балкашского бассейна;

6. Рассчитан максимальный объем водоотдачи снежного покрова для предварительного прогноза объема половодья исследуемого бассейна.

**Научная новизна:** в процессе исследования получены новые научные результаты:

- уточнены и обработаны данные за многолетний современный период (1990-2015 гг.) со времени изменения водности рек за счет увеличения количества осадков по основным рекам Иле-Балкашского бассейна;

- рассчитаны и рекомендованы характеристики стока и расчетные величины годового стока различных обеспеченностей основных рек региона с оценкой точности выполненных расчетов;

- выполнена оценка влияния хозяйственной деятельности на сток рек рассматриваемого региона и в первую очередь, рек Иле, Шарын, Шелек и Курты, за счет руслового регулирования;

- впервые проведена апробация метода «Degree-Day» для определения количества водоотдачи снежного покрова, с помощью которого составлен долгосрочный прогноз водности для рек Илейского Алатау.

**Научная и практическая значимость работы:**

Выполненные расчеты по восстановлению пропусков в наблюдениях по рекам-аналогам; исследование многолетнего изменения годового стока основных рек с учетом влияния антропогенной деятельности и оценка значимых изменений стоковых характеристик по рекам Иле, Шарын, Шелек и Курты под влиянием хозяйственных мероприятий в бассейне; исследования многолетних метеорологических режимов средней годовой температуры воздуха и сумм количества годовых осадков в разрезе осреднения по десятилетиям и по различным высотным зонам по репрезентативным метеостанциям; применение метода «Degree-Day» в условиях недостаточности гидрометрических наблюдений по снегозапасам. По результатам применения которого, рассчитаны параметры максимального количества водоотдачи

снежного покрова, позволяющего выявить зависимость между объемом половодья за вегетацию и расчетными наибольшими значениями водоотдачи снежного покрова, с применением его при отсутствии данных по снегозапасам на близлежащих водосборных бассейнах рек, как реку-аналог, осуществлялись на обоснованном уровне.

Поскольку вся работа направлена на переоценку изменения водных ресурсов с учетом изменения климата и хозяйственных мероприятий в регионе, то весь акцент сделан на изменения колебаний стоковых характеристик и метеорологических элементов.

Полученные результаты могут быть применены в научно-исследовательских проектах, в научных работах и исследованиях с учетом изменения климатических изменений и антропогенной деятельности, в прогностических целях и т.д.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты оценки годового стока основных рек Иле-Балкашского бассейна за различные периоды с учетом изменения климата и антропогенного воздействия.

2. Уравнение регрессии для восстановления пропусков в наблюдениях и расчетов условно-естественного стока рек региона, полученные по наиболее надежным связям величин годового стока рек-аналогов.

3. Рекомендуемый современный расчетный период оценки стоковых характеристик рек бассейна с начала 1990-х годов, полученный на основе анализа однородности рядов средних годовых расходов воды за период наблюдений и пространственно-временных исследований влияния увеличения количества годовых сумм осадков, что позволяет учитывать устойчивый рост водности рек бассейна.

4. Использование метода «Degree-Day» для долгосрочного прогноза стока половодья с помощью моделирования максимального объема водоотдачи снежного покрова.

**Доля автора в научной работе.** Автор в ходе исследования анализировал литературу по данной теме, выявил цели и задачи научной работы, занимался сбором и статистической обработкой данных, провел гидрологические расчеты и анализировал результаты исследования. А также лично принимала участие в написании и оформлении диссертации.

**Связь с планами научных работ.** Диссертационная работа проводилась на основе научного проекта: «Наводнения и угрозы затопления приречных территорий Казахстана» (№ 4259/ГФ4) на 2016-2019 гг.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в докладах республиканских и международных научно – практических конференциях:

- IV Международные Фарабиевские чтения. Материалы международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі» (Алматы, 10-13 апреля 2017 г.).

- Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология. Научные образовательные достижения и перспективы развития» (РФ, г. Санкт-Петербург, 19-20 декабря 2017 г.)

- VI Международные Фарабиевские чтения. Материалы международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби элемі» (Алматы, 08-10 апреля 2019 г.).

**Публикация результатов исследований.** Рукопись диссертационной работы основательно подготовлена на кафедре метеорологии и гидрологии факультета географии и природопользования Казахского национального университета имени аль-Фараби и после предварительного рассмотрения диссертации на расширенном заседании кафедры, рекомендовано к защите. По основным результатам исследовательской работы в отечественных и зарубежных научных изданиях опубликовано 7 научных статей, из них 2 статьи и 1 тезис – в сборниках научных конференции проводимые в Казахстане и зарубежом, 3 статьи – в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, в журналах «Вестник КазНУ» серия географическая и «Гидрометеорология и экология» РГП «Казгидромет» и 1 статья – опубликована в журнале, входящий в международную базу данных Scopus: «International Journal of Geomate».

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, обзора отечественной и зарубежной научно-технической литературы, четырех глав, заключения, списка использованных источников. Общий объем диссертации составляет 127 страниц текста компьютерного набора, 30 рисунков, 20 таблиц, 161 наименование использованной литературы и приложения.

# **1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК ИЛЕ-БАЛКАШСКОГО БАССЕЙНА**

## **1.1 Общая характеристика природных условий**

Территория бассейна оз. Балкаш характеризуется большим разнообразием и сложностью геологического строения. Значительная широтная протяженность территории и сложность рельефа обуславливают большую пестроту почвогрунтов и разнообразие растительности. В пустынно-степной зоне, занимающей Северное Прибалкашье, наибольшее распространение получили бурые и серо-бурые почвы северных пустынь, которые очень часто встречаются в сочетании с солонцами и солончаками. В зоне пустынь Южного Прибалкашья наибольшее распространение имеют грядовые и бугристые пески, закрепленные и полузакрепленные. Узкой полосой вдоль р. Иле тянутся пойменно-луговые почвы, прикрытые в низовьях зарослями рогоза, камыша и тугайной растительности. Для всех горных районов характерна вертикальная поясность почвенно-растительного покрова с неодинаковым количеством ландшафтных поясов и существенными отличиями их на различно ориентированных склонах. В Жетису Алатау, на северном его склоне, вследствие значительного различия в высотах между подгорным равнинами и высокими горными массивами и большой расчлененности рельефа почвенно-растительный покров весьма разнообразен.

### **1.1.1 Рельеф и геологическое строение**

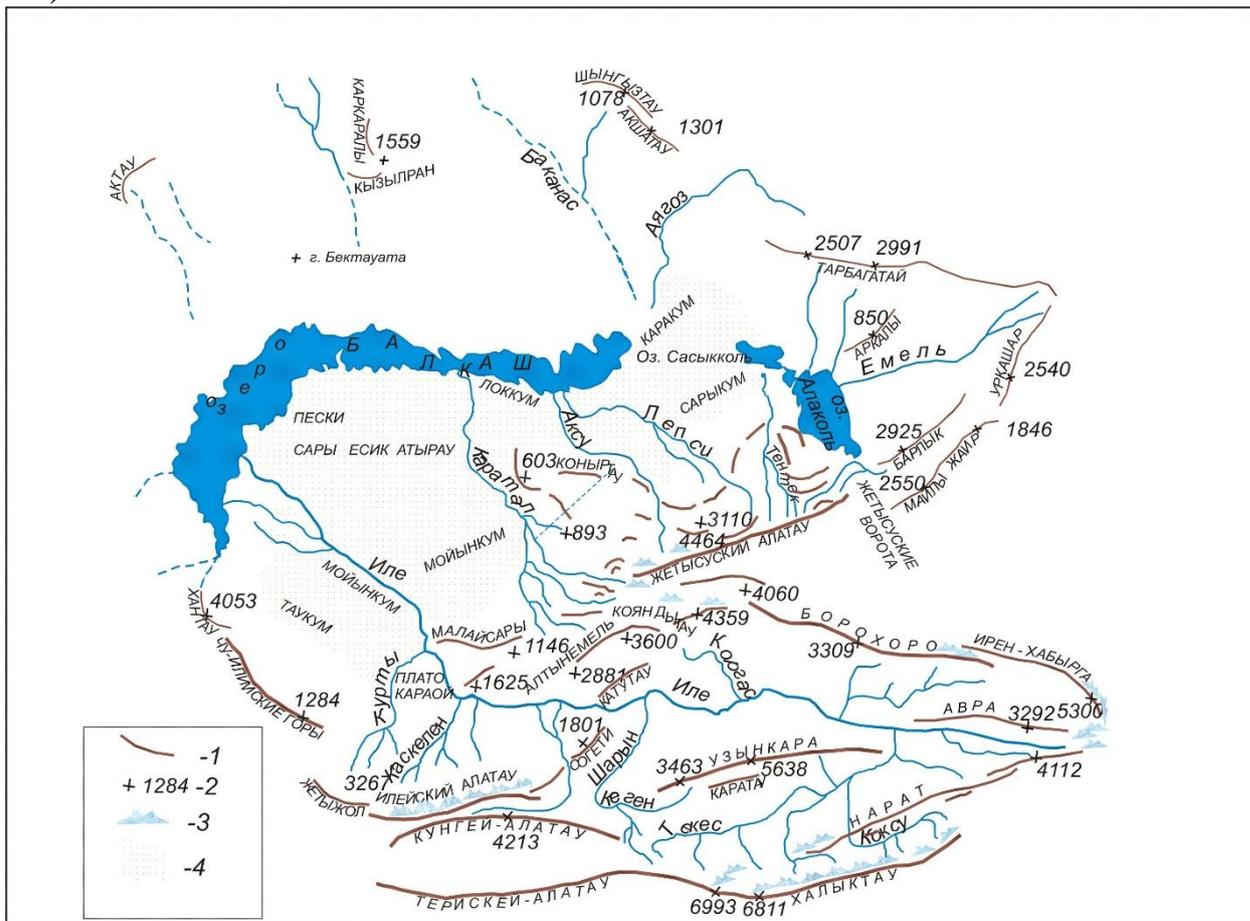
По характеру рельефа на рассматриваемой территории выделяются следующие физико-географические области: мелкосопочник и низкогорья Казахской складчатой страны, равнины Балкаш-Алакольской впадины, системы Казахстано-Джунгарской горной области, Шу – Илейские горы и восточная часть Северного Тянь-Шаня, Тянь-Шаньской горной области.

Территория бассейна реки Иле характеризуется разнообразием и сложностью геологического строения [14, 18-20].

Строение поверхности бассейна очень сложное. Рельеф разнообразный от равнинных пустынь Прибалкашья до расчленённых высокогорных областей Таниртау. Абсолютные отметки колеблются здесь от 340 м на уресе озера Балкаш до 4951 м - пик Талгар [1, 14-15]. Северная и северо-западная часть, занимающая основную область Северного Прибалкашья, расположена в пределах Казахского мелкосопочника.

Центральная часть – Балкашская впадина представляет собой аккумулятивную песчано-пустынную равнину, простирающуюся от южной окраины Казахского мелкосопочника до пояса гор на юге и юго-востоке. В северной части Балкашской впадины – равнинном плато – преобладают отметки 400-450 м. В южной части впадины расположены в основном

песчаные пустыни: Таукум, Мойынкум, Сарыесик Атырау, Локкум (рисунок 1.1).



1- горные хребты, 2- абсолютные отметки местности, м, 3- районы оледенений, 4- пески

Рисунок 1.1 - Схема орографического строения Иле-Балкашского бассейна [16]

Баканаская равнина, занимает около половины пустыни Сарыесик Атырау. Она представляет собой древнюю дельту реки Иле, сложенную дельтовыми и озёрными песчано-глинистыми отложениями. Вся равнина пересекается веерообразно расходящимися старыми руслами реки Иле, "баканасами", шириной до нескольких сотен метров. Юго-восточная и южная части бассейна заняты Жетысуйской горной областью и северными цепями Тянь-Шаньской горной системы.

В состав Жетысуйской горной области входят хребет Тарбагатай, возвышенности Уркашар, Джаир, хребты Барлык и Майли, Аркалы высотой от 2000-4000 м. Продолжением Жетысуйского Алатау является хребет Борохоро, ограничивающий с юга Илийскую впадину, а на юге и юго-востоке через Жетысуйские ворота соединяется с впадиной озера Эбиноор, расположенного в Китае [1].

Илийская впадина, разделяющая системы гор Жетысуйского Алатау и Борохоро с восточной частью северного Тянь-Шаня, протянулась на сотни километров от Кулжинского оазиса в Синьцзяне до Капшагайского ущелья в районе ГЭС на реке Иле. Абсолютная её высота меняется от 600 м у китайской границы до 500 м в районе створа плотины. Примерно в середине этот участок Илийской впадины (долины) возвышенностями Катун и Калган в правобережье и горами Богуты по левому берегу разделяется на две самостоятельные котловины. В западной части Илийская впадина замыкается возвышенностями плато Карой и Ит-Жон [1, 13, 17]. Тянь-Шаньская горная часть бассейна представлена цепями Илейского Алатау, Кетменя, Териской Алатау, Кунгей Алатау и Шу-Илийскими горами. Характерно чередование горных хребтов и крупных межгорных впадин, вытянутых преимущественно в широтном направлении. Сочетание высокогорных узких долин, сыртов, хребтов с разной абсолютной высотой, крутизной и экспозицией склонов создаёт сложную картину рельефа. Преобладает альпийский тип рельефа, со следами древнего оледенения. Высота хребтов достигает 3500-4000 м над уровнем моря.

Хребты Кетпен и Тарбагатай входят в среднегорный пояс, нижняя граница этого пояса в Илейском Алатау на высоте 2800-3000 м, в Кунгей и Териской Алатау на высоте 3000-3200 м.

## **1.2. Климатические условия формирования поверхностного стока**

Климат описываемого района в основном континентальный, но очень неоднороден из-за широтной протяжённости и горной поясности [1, 21].

Атмосферная циркуляция воздушных масс является основным климатообразующим фактором, оказывающим влияние на формирование погодных, а также гидрологических условий рек и озёр. Общая циркуляция атмосферы складывается под воздействием четырёх элементов:

- 1) меридиональной циркуляции с юга,
- 2) меридиональной циркуляции с севера (арктические вторжения),
- 3) зональной циркуляции с запада (атлантические вторжения),
- 4) местные циркуляции воздушных масс (горно-долинные).

В зимний период под влиянием Западно-сибирского антициклона погода в основном холодная (сухая и ясная). Весна характеризуется продолжительной неустойчивой погодой с частыми полярными вторжениями, приводящими к заморозкам и обильному выпадению осадков. Летом в связи с развитием Средне-Азиатской термической депрессии, погода преимущественно жаркая, малооблачная. Осадки в это время вызываются вторжениями, приводящими к заморозкам и обильному выпадению осадков. Осенью усиливаются фронтальные процессы и циклоническая деятельность при постепенном развитии над Казахстаном отрога Западно-сибирского антициклона. Интенсивные похолодания, приводящие к установлению снежного покрова и замерзанию водоёмов определяется ноябрьскими холодными вторжениями. Они связаны с преобладанием меридиональной циркуляции [1].

На фоне общей циркуляции атмосферы проявляются местные горно-долинные циркуляции, осуществляющие перенос в горы и конденсацию влаги, испарившейся в равнинной части. Небольшая облачность и значительная сухость воздуха обуславливает повышенное испарение. Основную роль в климатических условиях региона играют атмосферные осадки, температура воздуха, а также орография региона [1, 21-22].

*Атмосферные осадки.* Распределение осадков по площади бассейна очень неравномерное. Наибольшая сумма осадков за год (2000 мм) зарегистрирована на западных склонах Жетысуйского Алатау на высоте 2500-3000 м. На побережье озера Балкаш выпадает всего 150 мм, в северном и южном Прибалкашье 200-250 мм.

В горных системах количество осадков возрастает с высотой, намного больше их на северо-западных склонах хребтов, открытых влагонесущим воздушным потокам, чем на восточных и юго-восточных склонах и в межгорных котловинах. Также осадки увеличиваются с севера на юг и уменьшаются с запада на восток.

Распределение осадков по сезонам в разных районах неодинаково. В тёплый период года (апрель-октябрь) в северной части бассейна выпадает 60-70% годовой суммы осадков, а в низкогорных районах Жетысуйского Алатау 45-50%. Наибольшее месячное количество осадков на равнине выпадает в апреле и мае, наименьшее обычно в конце зимы, в феврале, и в летне-осеннее время – в августе и сентябре [21-22].

*Температура воздуха.* Для температуры воздуха характерна заметная изменчивость по территории и уменьшение её с ростом высоты местности. Средняя температура воздуха самого холодного месяца января изменяется от -16°C на севере до -5°C на юге равнинной территории.

Широтный градиент температуры в тёплое время года составляет 1,0°C на градус широты, а в холодное увеличивается до 1,6°C. С высотой местности температура закономерно уменьшается с градиентом 0,6-0,7°C на 100 м [1]. Продолжительность тёплого периода на юге составляет 240-250 дней, сокращаясь в горах по мере увеличения высоты и у нижней границы вечных снегов достигает 30-60 дней [21-22].

Засушливость климата равнинной части бассейна проявляется в большом дефиците насыщения и малой относительной влажности воздуха в тёплое время года. Летом относительная влажность воздуха на равнине составляет 20-40%, а зимой увеличивается до 75%. Средняя годовая абсолютная влажность воздуха изменяется от 5-5,5 мб в равнинных районах до 7,3 мб в предгорьях [1, 21].

### 1.2.1 Снежный покров

Режим снежного покрова находится в тесной связи с широтой и рельефом местности. Доля осадков, выпадающих в период залегания снежного покрова и более активно участвующих в формировании стока, увеличивается от 10-30% у подножия гор до 100% на высоте 3600-4000 м. Постоянный

снежный покров устанавливается в высокогорных районах в сентябре-октябре, в предгорных - в ноябре-декабре. На юге в отдельные годы нередки зимы без устойчивого снежного покрова. Наибольшая высота снежного покрова изменяется от 15 до 30 см – в предгорьях до 100 см и более на высотах 2500-3000 м [1, 21]. Исследования, проведенные в горных районах Иле-Балкашского региона [22-23] показывают, что коэффициенты вариации продолжительности залегания устойчивого снежного покрова высоки: в предгорьях составляет 0,3-0,4; в высокогорьях он равен 0,10-0,15.

Наибольшей снежностью характеризуются бассейны рек Киши Алматы, Талгар и Улькен Алматы. В бассейнах рек Каскелен и Турген средние максимальные снеготалоходы превышают 250 мм, они быстро сокращаются и составляют более 20% суммарной площади бассейнов рек. В наиболее заснеженном западном районе Жетысуйского Алатау в средние по снежности зимы уже на высотах 1100-1200 м максимальный запас воды в снежном покрове превышает 100 мм и на высотах 1700-1800 м достигает 250 мм.

В последние 20 лет наблюдается изменение в химическом составе снежного покрова, что является следствием антропогенного влияния, в частности мегаполиса г. Алматы [24].

### **1.3 Гидрография региона**

Наличие высокогорных хребтов на юге, юго-востоке и востоке территории и низкогорного рельефа на севере и западе определяет основное направление стока от окраинных районов к его центру. Большинство рек течет с юго-востока на северо-запад. Более 90% всего количества рек относятся к бассейну оз. Балкаш, остальные – к бассейну Алакольской группы озер. Многие реки, не доходя до озер, теряются в песках. Все большие озера (Балкаш, Алаколь, Сасыкколь), а также большинство мелких озер расположены в центральной пониженной части территории. Наряду с озерами в низкогорно-предгорных районах в последние годы построено большое количество прудов и водохранилищ (Куртинское водохранилище, пруды на притоках р. Каскелен и др.). Крупнейшее в Юго-Восточном Казахстане Капшагайское водохранилище с площадью поверхностного зеркала около 1800 км<sup>2</sup> построили на р. Иле. Характерной чертой гидрографии является речная сеть в Северном Прибалкашье (0,20-0,50 км/км<sup>2</sup>) и особенно в центральной равнинной части территории (до 0,01 км/км<sup>2</sup>) и большая густота речной сети в горных районах, где она в среднем изменяется от 0,60 до 1,20 (иногда до 2,5-3,0 км/км<sup>2</sup>), обычно увеличиваясь с возрастанием высоты местности. Однако закономерность нередко нарушается, а в высокогорных районах, как правило, густота гидрографической сети представлена транзитными участками русел гор «карасу» и многочисленными каналами ирригационных сооружений [1].

На описываемой территории насчитывается более 52600 рек и временных водотоков, общая протяженность которых равна 137218 км. По

территориально-бассейновой принадлежности и строению гидрографической сети рассматриваемая территория подразделяется на 16 районов

Из общего количества рек 2492 водотока имеют длину более 10 км. Их общая протяженность равна 59947 км, что в процентном отношении составляет соответственно 43,7% общей их длины. Наиболее значительными реками региона являются: Иле (Или), Каратал, Аксу, Лепси (Лепсы), Аягоз (Аягуз). Самая большая из них – р. Иле [3].

Река **Иле** является основной водной артерией бассейна оз. Балкаш. Она берет начало на ледниках Музарт в Центральном Таниртау (Казахстан) истоком р. Текес. Затем течет по территории КНР, где сливается с реками Кунес и Каш, на 250-м км от слияния снова входит в пределы Республики Казахстан на 1001-ом км впадает в оз. Балкаш. Общая длина реки 1439 км, в пределах Казахстана – 815 км. Общая площадь бассейна р. Иле – 140 тыс. км<sup>2</sup> (примерно 75% водосборной площади оз. Балкаш), из них 774 км<sup>2</sup> – на территории Республики Казахстан. Стокоформирующая часть бассейна расположена в Китае, где гидрографическая сеть достаточно развита (от 0,6 до 3 км/км<sup>2</sup>). Густота ее убывает в средней и нижней частях бассейна (0,01 км/км<sup>2</sup>), имеются обширные пространства, полностью лишенные поверхностного стока, активной здесь является лишь левобережная зона. На территории Казахстана формируется порядка 30% водных ресурсов р. Иле. Кроме рек Шарын (Чарын) и Шелек (Чилик), в левобережной части бассейна в среднем течении р. Иле принимает еще ряд горных рек: Турген (Тургень), Есик (Иссык), Талгар, Каскелен с притоками Киши (Малая) и Улькен (Большая) Алматы (Алматинка), Курты, формирующих сток на северном склоне Илейского (Илейского) Алатау. А в правобережной части наиболее крупными притоками р. Иле являются реки Коргас (Хоргос), Осек (Усек) и Борохудзир, стекающие с южных склонов Жетису (Джунгарский) Алатау. Большинство притоков, в том числе Турген, Талгар и Борохудзир, вследствие больших потерь стока в предгорьях на фильтрацию и из-за разбора на орошение не доносят свои воды р. Иле. К бассейну р. Иле относятся еще множество мелких рек, стекающих со склонов хребта Кетмень и Шу-Илейских гор в левобережной части и низкогорных отрогов Жетису Алатау в правобережной, а также целая система маловодных периодически действующих водотоков, образующих довольно густую сеть у подножия гор, где они берут начало. Большинство этих малых рек летом пересыхают и ни один из водотоков не достигает русла р. Иле. После выхода из Капшагайского ущелья р. Иле несет свои воды по пустынной Прибалкашской равнине к оз. Балкаш, где, разбившись на многочисленные рукава, заканчивается обширной дельтой [3, 10, 17]. При впадении в озеро р. Иле образует обширную дельту площадью около 8000 км<sup>2</sup>. Вершина дельты находится в 70 км ниже селения Баканас, в районе 6-го Рыбпункта, где река разделяется на три системы рукавов: Топар, Иле и Жидели. Дельта Иле (как и озеро Балкаш) находится на равнине [1].

Рассматриваемая территория является основной стокоформирующей зоной р. Иле, хотя водосборный бассейн не имеет достаточно развитую гидрографическую сеть. Все значительные реки района начинаются в горах, их истоки приурочены как правило, к снежно-ледниковым узлам. Водность рек находится в тесной связи с абсолютными высотами верхних частей их бассейнов. Общая площадь водосборного бассейна р. Иле в пределах КНР составляет 62600 тыс. км<sup>2</sup> [4].

Выше указано, что р. Иле образуется слиянием рек Текес и Кунгес. Истоки самого крупного притока р. Текес лежат на территории Казахстана и, принимая ряд притоков на территории КНР, она сливается с р. Кунгес, которая берет начало на южных склонах Ерен-Кабырги. Ниже р. Иле впадает р. Каш и ряд притоков, главным образом справа, с южного склона хр. Борохоро. На пойме нередки болота, луга, заросли тростников. Русло реки извилистое, часто разветвляется, много островов и стариц [4].

Река **Каратал** – вторая по величине и водности река рассматриваемой территории, площадь бассейна которой - 19100 км<sup>2</sup>, а длина 390 км. Берет начало на северо-западных склонах Центрального хребта Жетису Алатау и образуется от слияния рек Карой (Караой) и Шыжын (Чижа).

Река **Шарын** – крупнейший приток р. Иле – в верхнем течении носит название Чалкудысу, а в среднем – Кегень. Площадь бассейна реки 7720 км<sup>2</sup>. Истоки реки и ее правобережных притоков расположены на южном склоне Кетменского хребта. Наиболее многоводный ее левобережный приток (р. Каркара) формирует сток с северо-восточных отрогов Терскей-Алатау и Кунгей-Алатау. Спустившись небольшим потоком (р. Чалкудысу) в Кегено-Каркаринскую впадину, река подобно равнинному водотоку, течет медленно в низких, иногда заболоченных берегах, в западном направлении. В среднем течении, пополненная водами р. Каркары и других притоков, река прорезает низкогорные отроги Кунгей-Алатау и устремляется на север к р. Иле [1].

Река **Каркара** образуется на территории Кыргызстана в ледниках Кюнгей-Ала-Тоо от слияния трех ее истоков: Кок-Джара, Чон-Джыналача и Турука. Река протекает в окружении альпийских лугов на высоте 2,2 км. В среднем течении эта водная артерия служит государственной границей между двумя странами. В нижнем течении река течёт по казахстанской территории. Там от Каркары отделяется правая протока — Киши-Каркара. Обοими рукавами река впадает в реку Кеген (название реки Шарын в верхнем течении) справа. Протекает в Киргизии и Казахстане, находится в предгорьях Центрального Тянь-Шаня в 280 км от г. Алматы.

Река **Шелек** – самая крупная река Илейского Алатау. Берет начало на высотах от 3300 до 3500 м с ледников Жангырык, Богатырь, Корженевского, расположенных на южном склоне хребта Илейского Алатау. Площадь бассейна 4950 км<sup>2</sup> [1]. Водосборный бассейн р. Шелек занимает юго-восточную часть хребта Илейского Алатау. В горах принимает более 45 притоков, в основном ледникового питания. Река Шелек имеет три притока: Женишке, Сарыбулак и Ассы. В 4-5 км ниже гидрометрического поста р.

Шелек в устье впадает левый приток р. Теренькары. Устьевой участок перед впадением в Капшагайское водохранилище заболочен. Река Шелек – типичная горная река с хорошо выраженным ледниковым питанием [25].

Реки **Киши Алматы** (площадь бассейна реки 710 км<sup>2</sup>), **Улькен Алматы** (площадь бассейна реки 425 км<sup>2</sup>), **Каскелен** (14.05.1953 г. в 280 м выше поста из реки выведен канал для нужд ГЭС [27] (площадь бассейна реки 3620 км<sup>2</sup>) берут начало на высотах более 3000 м в ледниках Илейского Алатау и стремительными горными потоками текут в меридиональном направлении. Большие скорости течения, крутые склоны долины, скопления на них рыхлообломочных четвертичных отложений способствуют формированию и частому прохождению на них селевых потоков.

В предгорьях, на конусах выноса, вследствие потерь на инфильтрацию и разбора воды на орошение каменистые русла этих рек большую часть года сухи или имеют незначительный сток [1].

Река **Турген** берет начало с ледников и вод, стекающих из под морен. Река образуется слиянием трех ветвей: левой (западной) – Шентурген, средней – Турген (Ортатурген) и правой – Киши-Турген. Каждая из них имеет много притоков. Общая площадь бассейна при выходе из гор 625 км<sup>2</sup>. Основная часть бассейна расположена в горах. При выходе из гор, воды реки разбираются на орошение. Турген имеет смешанное питание: ледниковое и снежно-дождевое. Ниже трассы Алматы-Нарынкол река Турген подпитывается источниками «карасу» и в маловодные годы, не доходя до Капшагайского водохранилища, теряется в карасучных болотах.

Река **Есик** образуется от слияния двух ветвей: левой – Жарсай и правой – Тескенсу. Средняя высота гребней в верховьях достигает 4100-4200 м. В верховьях реки расположены ледники Тескено-Кокбулакской группы. Площадь р. Есик при выходе из гор 256 км<sup>2</sup>. В 8 км ниже слияния Жарсай и Тескенсу, на высоте 1788 м р. Есик впадает в высокогорное озеро Иссык (Есик). 7 июля 1953 г. на р. Есик прошел сель, разрушивший естественную плотину озера, которое перестало существовать. В настоящее время озеро Есик восстановлено в меньших размерах для рекреационных целей. При выходе из гор река разбирается на орошение, однако за счет подпитки из карасучных источников в нижнем течении р. Есик доносит свои воды до Капшагайского водохранилища [17]. С декабря 1951 г. естественный режим реки нарушен работой плотины ГЭС в 20 м ниже водпоста [27].

Река **Курты** (площадь бассейна реки 12500 км<sup>2</sup>) – нижний из левобережных притоков р. Иле и единственный приток, впадающий в нее ниже Капшагайского ущелья, формирует сток в западных отрогах хребта Илейского Алатау, в Кендыксае и Шу-Илейских горах. Вследствие отсутствия в бассейне ледников и снежников река по водоносности и режиму стока отличается от других рек Илейского Алатау.

Реки **Коргас** и **Осек** – правобережные притоки р. Иле – типичные горные водотоки, берущие начало в ледниках южного склона Жетису Алатау на высотах более 3500 м.

Река **Осек** (площадь бассейна 1970 км<sup>2</sup>) образуется при слиянии рек Киши и Улькен Осек и после слияния выходит на предгорную равнину, где образует обширное болото Омба. Выйдя из болота река течет в западном направлении и впадает в р. Иле.

Река **Аксу** берет начало на северных склонах хребта Жетису Алатау на высоте 3700-3800 м абс. Длина ее 316 км, площадь водосбора 5040 км<sup>2</sup>. На значительном протяжении в верхней части река пересекает межгорную котловину (Копальская котловина), и прорезав цепь передовых хребтов, выходит на предгорную покатую равнину. В предгорьях р. Аксу разбивается на мелководные рукава и каналы оросительной системы. В равнинной части р. Аксу, сильно меандрируя по широкой пойменной террасе, пересекает песчаную Прибалкашскую равнину, разбиваясь в низовьях на многочисленные протоки и образуя ряд проточных озер (Камышевые озера). Эти протоки и озера заболачивают местность и приводят к образованию сложной дельты. До оз. Балкаш доходят только три рукава реки Аксу.

Река **Лепси** в бассейне оз. Балкаш занимает по водности 3 место. Длина ее 417 км, площадь водосбора 8110 км<sup>2</sup>. Истоки р. Лепси находятся на высоте более 3000 м – в области ледников северного склона хребта Жетису Алатау. Основными притоками являются реки Сарымсакты, Аганакты (в верховьях) и левый приток Баскан (в низовьях). С северных склонов Жетису Алатау в сторону оз. Балкаш текут реки Сарыкан (Сарканд) (правый приток р. Аксу), Баскан, Биен, Кызылагаш и ряд более мелких водотоков [1].

Река **Аягоз** образуется слиянием двух рек: Большой Аягоз и Малый Аягоз. Истоки этих рек берут свое начало в северных отрогах хребта Тарбагатай. Длина реки 492 км, площадь водосбора 15700 км<sup>2</sup>. Река Аягоз впадает в оз. Балкаш в северо-восточной его части в виде одного русла. Характерной особенностью бассейна р. Аягоз является его вытянутая (по длине реки) форма и резкое сужение от истока к устью.

Река **Коксу** – приток р. Каратал – берет начало у основания ледниковых морен на высоте около 3500 м. по площади водосбора (4670 км<sup>2</sup>) она больше р. Каратал до слияния с р. Коксу. В верхнем течении русло реки расположено на дне узкой межгорной долины, приобретающей в местах пересечения горных хребтов облик ущелья. Минуя предгорья с их холмисто сопочным рельефом, река выходит на Каратальскую долину и пересекает ее в направлении, параллельном руслу р. Каратал до слияния с последним.

Река **Текес**. Это левая составляющая верхней части р. Иле, одна из двух рек (наряду с Кунгесом), образующих реку Иле. Берет начало на территории Республики Казахстан на северо-восточных склонах хребта Терской-Алатау на высоте 3500 м. Площадь водосбора 28100 км<sup>2</sup> (в пределах РК - 4250 км<sup>2</sup>). Многоводная в верхнем течение река при пересечении Текесской впадины теряет значительную часть своего стока на орошение, но после впадения притоков Кокпак, Баянкол и Нарынкол, питающихся талыми водами ледников Хан-Тенгри, водоносность реки существенно увеличивается. При слиянии с

Кунгесом образует обширную внутреннюю дельту с рукавами, болотами и солончаками [3].

Заболоченность не оказывает существенного влияния на режим рек. Заболоченные территории распространены преимущественно в низовьях рек (в дельте реки Иле, болото Омба в низовьях р. Осек, в дельте р. Тентек). Несколько большее регулирующее влияние болот, расположенных в долинах рек Шарын и Текес [27]. В таблице 1.1 приведены некоторые сведения о количестве и длине рек рассматриваемого бассейна.

Таблица 1.1 – Количество водотоков различной длины Балкаш-Алакольского бассейна.

<b>Крупные реки (длина более 500 км)</b>				
№ п/п	Река	Длина, км		Наличие гидрологических постов
		на сопредельной территории	на территории РК	
1	Иле (Или)	1439	815	+
<b>Средние реки (длина 101-500 км)</b>				
2	Аягоз (Аягуз)		492	+
3	Текес	438	218	+
4	Шарын (Чарын)		427	+
5	Лепси (Лепсы)		417	+
6	Каратал		390	+
7	Шыжын (Чиже)		390	+
8	Аксу		316	+
9	Тоқырауын (Токрау)		294	+
10	Шелек (Чилик)		245	+
11	Коксу		205	+
12	Коргас (Хоргос)	180		+
13	Каскелен		177	+
14	Быжы (Бижэ)		177	+
15	Баскан		172	+
16	Осек (Усек)		164	+
17	Мойынты		162	+
18	Киши Алматы (Малая Алматинка)		125	+
19	Курты		123	+
20	Есик (Иссык)		121	+
21	Талгар		117	+
22	Каркара		113	+
23	Шынжалы (Чинжалы)		105	+
<b>Малые реки (длина до 100 км)</b>				
24	Узын Каргалы		100	+
25	Улькен Алматы (Большая Алматинка)		96	+
26	Сарыкан (Сарканд)		90	+
27	Баянкол		80	+
28	Караой (Карой)		69	+
29	Темирлик		57	+
30	Коктал		57	+
31	Дос		54	+
32	Киши Осек (Малый Усек)		40	+
33	Текели		26	+
34	Проходная		21	+
35	Кумбель		14	+

36	Бутак (Бутаковка)		12	+
37	Турген (Тургень)		11,6	+
38	Терисбутак		11	+
39	Батарейка		2,5	+

### 1.3.1 Гидрологическая изученность и сеть наблюдений

Первые гидрометрические работы на реках Иле-Балкашского бассейна также относятся к началу 20 века [4]. Сток некоторых рек Илейского Алатау впервые стал измеряться еще раньше. В 1908 г. был открыт гидрологический пост на р. Киши Алматы при выходе ее из гор, в 1909 г. - на р. Каскелен, 1912 г. открыты посты на рр. Турген, Талгар, Есик. В начале велись только периодические наблюдения над уровнем и стоком воды. Систематическое изучение стока рек и других гидрологических элементов начато тоже лишь в 30-х годах. С этого времени сток рек и других временных водотоков изучают различные организации: УГКС КазССР, Министерство мелиорации и водного хозяйства, Алматинская гидрогеологическая станция, различные проектные и научно-исследовательские предприятия [1, 6-7, 26]. В начале 80-х годов систематические наблюдения велись на 84, в 2000 г. – на 12 гидростворах [4], а в 2015 году – на 10 гидростворах [6] и представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Количество пунктов наблюдений за гидрометеорологическими элементами в Иле-Балкашском бассейне в системе Казгидромета РК.

Вид наблюдения	Количество пунктов за отдельные годы				
	1930	1960	1980	2000	2015
гидрологические*	26/26	47/60	84/84	12/12	9/10
метеорологические	8	37	38	21	20

Примечание; \* - в числителе за уровнем, в знаменателе за расходом воды

Наиболее регулярные и качественные наблюдения проводились на постах УГКС КазССР, в настоящее время Казгидромета. Материалы наблюдений ведомственных постов зачастую более низкого качества, отличаются нерегулярностью и проводятся, как правило, только в вегетационный период, по указанным причинам периоды с подсчетом стока у этих постов почти всегда значительно короче, чем общий период наблюдений. Большинство ведомственных постов расположено в зоне разбора воды на орошение.

На реках Илейского Алатау в зоне формирования стока и на ее границе (до нижнего предела высот от 800 до 900 м) в общей сложности насчитывается 126 постов (действующих и закрытых). Из общего числа постов только 49 принадлежат УГМС КазССР, а остальные - другим ведомствам. Список всех постов с указанием основных сведений, включая ведомственную принадлежность, период действия и период наблюдений над стоком находится в архивном фонде УАРФД РГП «Казгидромет» [1, 9, 11, 26].

Распределение постов по бассейнам рек Илейского Алатау неравномерное. Наиболее полно изучен бассейн р. Киши Алматы, где на площадь 118 км<sup>2</sup> (замыкаемую гидропостом г. Алматы) приходится 6 действующих и 15 закрытых постов. Следующим по степени изученности стока является бассейн р. Улькен Алматы. Бассейны рек Узын Каргалы, Шамалган, Каскелен, Аксай, Турген и др. изучены слабо. Как правило, в горной части этих рек имеется один-два поста.

Исследованиями И.С. Соседова и др. [10, 12] установлено, что для определения стока рек Илейского Алатау из области его формирования пригодно 45 пунктов наблюдений. Данный список уточнен в работе [13].

Существенные искажения стока водозаборами выше гидропостов имеют место на г/п р.Киши Алматы- г. Алматы, р. Шелек- с. Малыбай, р. Есик- с. Есик. Учет водозабора выше г/п Киши Алматы- г. Алматы производился в течении нескольких лет по г/п р. Бутак-арык.

По подавляющему большинству гидропостов водозаборы выше них или отсутствуют, или находятся в пределах точности измерений расходов воды [4].

Изучение стока рек южного склона рек Жетысуйского Алатау относится к дореволюционному времени, когда Отдел земельных улучшений и Среднеазиатское Переселенческое Управление в 1913 г. открыли посты на р. Осек-в 1,7 км выше впадения р. Киши Осек и на р. Киши Осек - в 0,2 км выше слияния с р. Осек. Эти посты и, открытые впоследствии на других реках, часто переносились и закрывались, что оказывало существенное влияние на качество наблюдений. На реках южного склона Жетысуйского Алатау в общей сложности насчитывалось 29 гидропостов (действующих и закрытых). Из этого числа постов только 6 принадлежало УГКС КазССР, а 20 постов - МВХ, а остальные другим ведомствам [1, 6-11, 26].

Распределение постов здесь неравномерное. Наиболее полно изучен бассейн р. Осек - 6 постов, из них только 2 гидропоста пригодны для определения стока из области формирования. Бассейны других небольших рек и временных водотоков имеют по 3, 2 и 1 посту. Продолжительность наблюдений составляет от нескольких лет до одного или, в крайнем случае, до двух десятков лет. Посты МВХ проводили наблюдения в основном только в вегетационный период (апрель-сентябрь), когда производился забор воды на орошение в весенне-летний период [4].

Сток многочисленных малых рек, ручьев, логов и временных водотоков слабо освещен данными наблюдений или вовсе не изучен. Наблюдения на них производились эпизодически, поэтому материалы неполные и невысокого качества [1, 9, 11, 26].

В бассейнах р. Шарын, р. Текес и в междуречье р. Кеген и р. Иле гидрометрические наблюдения начались в конце 20-х годов; в 1927 году были открыты гидропосты на р. Шарын - уроч. Сарытогай, в 15 км ниже устья р. Темирлик; на р. Шарын открыт пост в 1929 г. (Кегень) - в 2 км ниже устья р.

Талдыбулак; а начиная с 30-х годов посты появились на других небольших реках и ручьях.

С этого времени и по настоящее время существовало 70 гидропостов (действующих и закрытых). Из них 10 принадлежало УГКС КазССР, около 50-МВХ, остальные другим ведомствам и организациям. В настоящее время ведутся наблюдения на р.Иле на 10 гидрологических постах [29].

К 2020 году на исследуемой территории насчитывается 65 действующих гидрометрических постов, принадлежавшие в основном Национальной гидрометеорологической службе РК - Казгидромет. Продолжительность наблюдений на отдельных створах колеблется от 1 до 110 лет, при этом наиболее продолжительный ряд наблюдений на р. Иле - в 37 км ниже раб. пос. Иле- уроч. Капшагай (1911-2020 г) [29].

Схема расположения гидрологических постов приведены на рисунке 1.2.

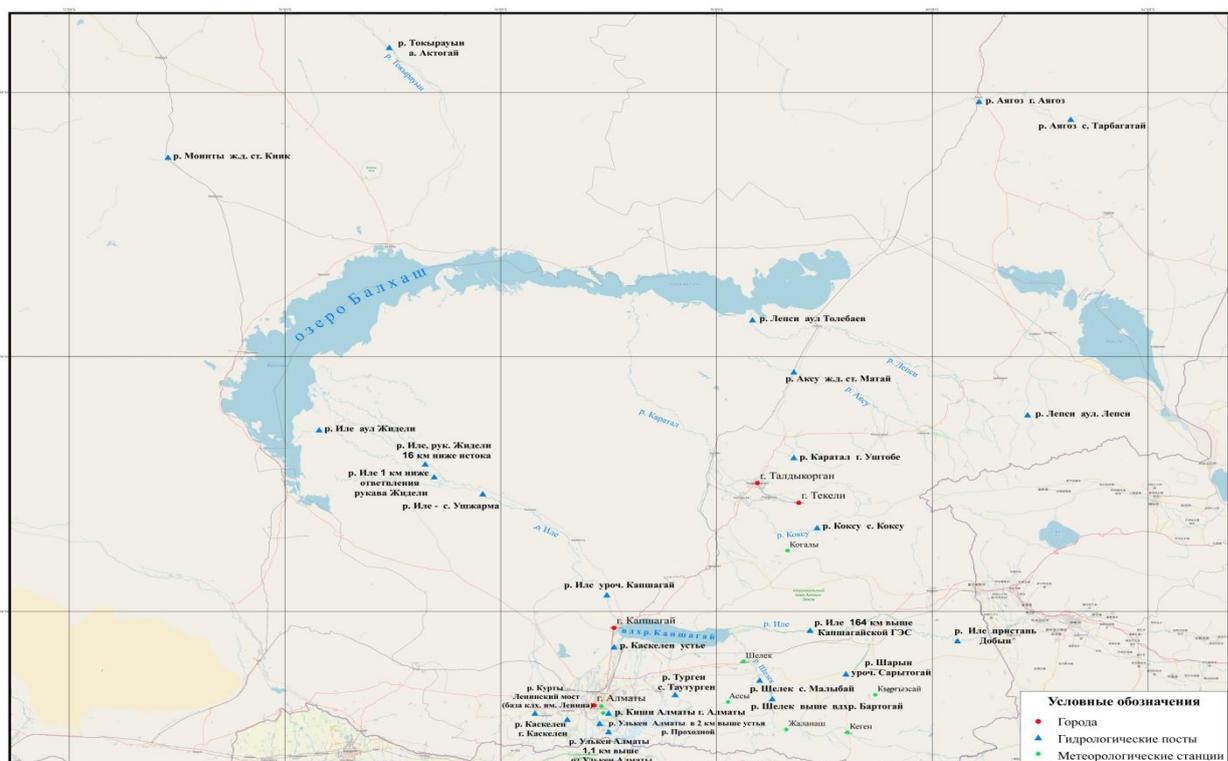


Рисунок 1.2 - Схема расположения основных гидрологических постов Иле-Балкашского региона

В качестве расчетных створов выбраны пункты наблюдений, по которым проводятся гидрометрические работы в течение 30-110 лет. Перечень исследуемых рек приведен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 содержит сведения о коде водного объекта, непосредственно о коде самого гидрологического поста, которые приурочены к индексации по единой унифицированной системе [30], а также информацию о расстояниях от устья в км, площади водосбора реки, отметке нуля поста и о периоде действия пункта наблюдения. В столбце периода действия поста

вторая дата в скобках, обозначает изменение уровня режима водотока [11, 29].

Таблица 1.3 – Список постов на основных реках Иле-Балкашского бассейна.

Код водного объекта	Код поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Отметка нуля поста		Период действия (число, месяц, год)	
				высота, м	система высот	открыт	закрыт
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>1. р. Иле – пристань Добын</b>							
113200001	14002	723	64388	518.50	БС	22.05.2000 (28.11.2013)	Действует
<b>2. р. Иле – в 164 км выше Капшагайской ГЭС</b>							
113200001	14004	607	85400	483.00	БС	01.09.1956 (01.01.1964)	Действует
<b>3. р. Иле – уроч. Капшагай</b>							
113200001	14011	434	111000	427.76	БС	13.09.1910 (01.01.1970)	Действует
<b>4. р. Иле – с. Ушжарма</b>							
113200001	14014	264	129000	377.89	БС	08.10.1937 (01.01.1970)	Действует
<b>5. р. Иле, рукав Жидели - в 16 км ниже истока</b>							
113201122	14332	107		6.00	усл	01.01.1958 (10.03.2003)	Действует
<b>6. р. Иле - в 1 км ниже ответвления рукава Жидели</b>							
113201122	14016	228	129000	6.00	усл	29.08.1956 (13.09.2002)	Действует
<b>7. р. Иле – аул Жидели</b>							
113200001	14017	35	131000	341.00	БС	16.06.1957 (18.09.2002)	Действует
<b>8. р. Шарын – уроч. Сарытогай</b>							
113200297	14118	84	7370	762.41	БС	22.06.1927	Действует
<b>9. р. Шелек – с. Малыбай</b>							
113200483	14160	40	4300	866.79	БС	22.03.1928 (04.03.1983)	Действует
<b>10. р. Турген – с. Таутурген</b>							
113200597	14187	66	614	1141.79	БС	08.04.1912 (05.05.1981)	Действует
<b>11. р. Киши Алматы – г. Алматы</b>							
113200783	14262	99	118	1174.91	БС	06.05.1908 (01.04.2010)	Действует
<b>12. р. Каскелен – г. Каскелен</b>							
113200734	14218	116	290	1128.50	БС	14.05.1909 (21.06.1982)	Действует
<b>16. р. Кургы – подхоз Ленинский мост</b>							
113200860	14295	122	9500	572.26	БС	01.06.1941 (01.01.2005)	Действует
<b>17. р. Мойынты – ж.-д.ст. Киик</b>							
113201343	14343	108	953	681.22	БС	30.05.1941 (12.06.1956)	Действует
<b>18. р. Токырауын – аул Актогай</b>							
113201412	14349	203	2920	769.86	БС	13.05.1941	Действует
<b>19. р. Аязоз – пос. Тарбагатай</b>							
113201666	14368	411	1450	95.00	усл	14.10.1960 (01.01.2004)	Действует
<b>20. р. Аязоз – г. Аязоз</b>							

113201666	14369	275	8180	191.00	усл	06.06.1942 (21.11.2002)	Действует
<b>21. р. Лепси – аул Лепси</b>							
113201797	14382	357	1220	937.70	БС	04.07.1931	Действует
<b>22. р. Лепси – аул Толебаев</b>							
113201797	14386	12	8040	341.39	БС	23.04.1934	Действует

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>23. р. Аксу – ж.-д. ст. Магай</b>							
113201894	14397	102	4200	400.03	БС	25.03.1929 (17.03.1942)	Действует
<b>24. р. Каратал – г. Ушгобе</b>							
113202049	14414	272	13200	419.62	БС	08.09.1913 (25.01.1926)	Действует
<b>25. р. Коксу – с. Коксу</b>							
113202098	14446	102	1590	1255.00	БС	01.10.1955	Действует

**1. р. Иле** (впадает в оз. Балкаш) - пристань Добын, р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС (до Капшагайского вдхр) р. Иле – уроч. Капшагай, р. Иле – с. Ушжарма (с 2009 г. урочный г/п), р. Иле, рук. Жидели – в 16 км ниже истока, р. Иле – в 1 км ниже ответвления рук. Жидели, р. Иле – аул Жидели. (после Капшагайского вдхр)

Притоки: р. Курты (лв), р. Шарын (лв), р. Текес (лв), р. Осек (пр), р. Коргас (пр).

**2. р. Шарын** впадает в р. Иле (лв) - уроч. **Сарытогай**.. Пост расположен у выхода из гор, в 12 км ниже устья р. Темирлик.

Притоки: р. Каркара (пр), р. Темирлик (лв). р. Улькен-Талдыбулак (пр), (Карасу-2), ручей (пр), Карасу (Шалак), ручей (пр), Тентеккарасу, руч. (пр), Р. Шет-Мерке (пр).

**3. р. Шелек** (впадает в Капш.вдхр)– **с. Малыбай**.. Пост расположен в 5 км выше селения, близ выхода реки из горного ущелья на Приилейскую долину, в 5.5 км выше устья р. Асы. С 04.03.1983 г. естественный режим реки нарушен действием плотины Бартогайского водохранилища, расположенного в 20 км выше поста, в 3 км ниже поста сооружена плотина с головным водозаборным узлом для подачи воды в магистральные каналы.

Притоки: р. Асы (лв), р. Женишке (лв), (Карабулак) (пр), р. Кольсай (пр), р. Курметы (пр), р. Саты (пр), р. Сутбулак (пр).

**4. р. Курты** впадает в р. Иле (лв)– **подхоз Ленинский мост**. Пост расположен в 12 км севернее железнодорожной станции Узун-Агаш, в 0.5 км ниже впадения последнего правобережного притока Узункаргалы. Режим реки нарушен действием плотин, расположенных на вышележающих притоках Узункаргалы и Аксенгер. Кроме того, выше и ниже поста осуществляется забор воды на орошение.

Притоки: р. Аксенгир (лв), р. Узынкаргалы (лв).

**5. р. Турген** теряется в 6 км к СВ от с. Карашенгель -**с. Таугурген**. Пост расположен в 5.5 км выше селения, при выходе реки из гор, ниже всех ее притоков, выше оросительной сети.

Притоки: (Каменный, ключ) (пр), (Кара-Джерик) (пр), Кузнецовский (Текебутак), руч. (пр).

**6. р. Киши Алматы** впадает в р. Каскелен (пр) – г. Алматы. Пост расположен близ выхода реки из Киши Алматинского ущелья, в г. Алматы, в 300 м ниже устья р. Бутаковки.

Притоки: р. Бедельбай (Батарейка) (лв), р. Бельбулак (пр), р. Бутак (пр), Куйгенсай (Горельник), руч. (лв), р. Зап. Теренькара (Теренькара) (лв), р. Жарбулак (Казачка) (лв), р. Кимасар (Комиссаровка) (пр), р. Котурбулак (пр), Протока Казачка (пр), рук. Есентай (Весновка), Мокрый ключ, руч. (лв), Мынжилки, лог (пр), р. Сарысай (пр), Странный, лог (пр), Турист, лог (пр), Карасу (пр).

**7. р. Каскелен** впадает в Капшагайское вдхр – г. Каскелен. Пост расположен в 5.5 км выше города, в 3.5 км ниже впадения р. Кожай.

Притоки: р. Улькен Алматы (пр), р. Аксай (пр), протока Мутная (лв), р. Шемоган (лв).

**8. р. Улькен Алматы** впадает в р. Каскелен (пр)– в 1.1 км выше оз.Улькен Алматы. Пост расположен в 1.1 км выше впадения реки в Бол. Алматинское озеро. В 0.5 км выше поста правый склон долины рассечен глубоким ущельем, из которого вытекает небольшой приток (без названия) со средним годовым расходом менее 1.00 м<sup>3</sup>/с, выносящий в реку в период паводка большое количество наносов.

**9. р. Улькен Алматы – в 2 км выше устья р. Проходной.** Пост расположен в 2 км выше устья р. Проходной. В 9 км выше поста расположено водохранилище (озеро), нарушающее естественный режим реки. 23.12.1959 г. в 5.5 км выше поста из реки, в районе отводящего канала ГЭС № 1, организован забор воды головным сооружением вновь построенной ГЭС № 2.

Притоки: р. (Джигитовка) (лв), р. Кумбель (пр), р. Проходная (лв), Терисбутак, руч. (пр)

**10. р. Мойынты** теряется в 1 км к югу от мог. Акшут– ж.-д. ст. Киик. Пост расположен в 300 м к северо-востоку от железнодорожной станции.

**11. р. Токырауын** теряется в 28 км к северо-западу от зал. Сарышаган-аул Актогай. Пост расположен в 100 м к северо-востоку от п. Актогай.

Притоки: р. Кусак (лв).

**12. р. Аягоз** впадает в оз. Балкаш– а. Тарбагатай. Пост расположен у поселка Тарбагатай.

**13. р. Аягоз – г. Аягоз.** Пост расположен на южной окраине города, в районе села Старое Майлино. Имеет место наличие водозабора и притока на участке между постами.

Притоки: р. Айгыз (пр), р. Батпак (пр), р. Жинишке (пр), р. Карасу (пр), р. Курайлы (пр), р. Нарын (лв), р. Ортасарыозек (пр)

**14. р. Лепси** впадает в оз. Балкаш - аул Лепси. Пост расположен в ущелье, носящем местное название «Щеки», в 5 км к северо-западу от города, в 1 км ниже слияния рек Аганты-Катты и Сарым-Сакты.

**15. р. Лепси – аул Толебаев.** Пост расположен в 2 км выше подхоза. Выше поста осуществляется водозабор 30 оросительными каналами.

Притоки: р. Аганакты (лв), р. Баскан (лв), р. Теректы (пр).

**16. р. Каратал** впадает в оз. Балкаш – г. **Уштобе**. Пост расположен в 1 км к юго-западу от города, у железнодорожного моста. Выше поста из реки выведены 33 оросительных канала, наиболее крупные из них магистральные: Уштобинский и Кушук-Кальпинский, действуют с апреля по октябрь в 27 км выше поста.

Притоки: р. Биже (лв), (Карасу, ключ)(лв), р. Коксу (лв), р. Коктал (пр), Мал. Каратал, протока (лв), р. Теректы (лв), р. Теректы (пр), р. Шыжын (лв), р. Карой (пр), р. Каиндысай (пр).

**17. р. Коксу** впадает в р. Каратал (лв)– с. **Коксу**. Пост расположен в 500 м к северо-востоку от селения. В 400 м ниже поста на протяжении 1 км расположены четыре валунно-галечных острова. Ниже поста осуществляется водозабор.

Притоки: р. (Байторбулак) (пр.), р. Жангыз (пр.), р. Кусак (пр), р. (Сууксай) (пр), р. Талдыбулак (пр) [31].

В дальнейшем, в работе гидрологические расчеты выполнялись по основным постам, с длиннорядными наблюдениями за стоковыми характеристиками водотоков, которые представлены на рисунке 1.2 и в таблице 1.3, и расположенные на основных реках левобережья и правобережья бассейна озера Балкаш.

## **2. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА И ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК ИЛЕ-БАЛКАШСКОГО БАССЕЙНА С УЧЕТОМ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЕГО СТОК**

### **2.1 Основные факторы формирования поверхностного стока и водный режим рек Иле-Балкашского бассейна**

Исследования условий формирования стока и водного режима рек данного региона содержатся в работах В.Л. Шульца [21], З.Т. Беркалиева [23], А.Ф. Литовченко [34], И.С. Соседова [10, 12], Ж.Д. Достай [35-36], Л.А. Емельяновой [37], выполнены Институтом Географии и Водной безопасности МОН РК [28, 61, 131] и многими другими.

Наиболее детально исследованы закономерности формирования поверхностного стока на северном склоне хребта Илейского Алатау. Результаты исследований баланса снеговой влаги на горных склонах центральной, наиболее увлажненной части северного склона Илейского Алатау обобщены в монографии И.С. Соседова [38]. Результаты наблюдений за режимом таяния ледников и их роли в формировании стока приведены в монографии Н.Н. Пальгова [39] и в пяти сборниках «Гляциологические исследования в период МГГ» [40].

Вопросы формирования дождевых паводков и селевых потоков в горных районах рассматриваемой территории посвящены работы С.П. Кавецкого, Ю.Б. Виноградова и других [41-44]. Районирование территории Юго-Восточного Казахстана по характеру формирования максимального стока рассмотрено в работе В.А. Семенова и Н.Н. Щегловой [45-49].

Поверхностные водотоки рассматриваемой территории в основном берут свои начала в опоясывающих регион горных областях - горных цепях Таниртау, Жетысу Алатау и Тарбагатай. Большинство рек - типичные молодые бурные горные потоки с интенсивно развитой глубинной эрозией, продольный профиль их не выработан [50]. Выходя на предгорную равнину, эти реки становятся маловодными, а течения их - спокойными.

*Влияние физико-географических факторов на речной сток.* Сток представляет собой сложный природный процесс, происходящий в географической среде и находящийся под разнообразным влиянием физико-географических факторов – климата, почвенно-геологических условий, растительности, распространения озер и болот на территории бассейнов.

Основными факторами, стимулирующие сток и определяющими его развитие, являются климатические факторы. На общем фоне воздействия климата на формирование стока и на его величину проявляется влияние прочих неклиматических факторов. Влияние их тем сильнее, чем меньше размеры бассейна и чем короче период, за который рассматривается это влияние. Действие различных природных факторов проявляется в различных

направлениях. Одни из них способствуют стеканию атмосферных осадков по поверхности, другие замедляют сток или вовсе исключают возможность его образования. Влияние физико-географических факторов сказывается и на величине годового стока, и на его режиме.

Климат воздействует на сток не только непосредственно, но и через другие природные факторы: почву, растительность, рельеф. Все эти факторы находятся в постоянном взаимодействии.

*Потери стока.* Потери стока определяются главным образом интенсивностью испарения с водосборов и инфильтрацией талых и дождевых вод в почву, а также поверхностной аккумуляцией воды и антропогенным фактором.

*Испарение.* Потери стока на испарение, которые зависят, прежде всего, от климатических факторов (соотношение тепла и влаги), изменяются по территории в больших пределах. Величина испарения в засушливых районах Северного и Южного Прибалкашья и межгорных котловин в теплое время года определяется главным образом весенними влагозапасами в почве и количеством атмосферных осадков. В районах Прибалкашья и межгорных котловин, где мало снега, испарение с него может быть значительно – до 50% и более максимальных снегозапасов.

*Русловые потери стока.* Характерной особенностью рек рассматриваемой территории является то, что на нижних участках их русел происходит интенсивная фильтрация воды в толщу аллювиальных отложений. На Северном Прибалкашье особенно велики потери руслового стока на участках, где русло пересекает пески или закарстованные известняки. Интенсивными русловыми потерями стока объясняется то обстоятельство, что ни одна из рек Северного Прибалкашья не доносит свои воды (поверхностным стоком) до оз. Балкаш.

На горных реках наибольшие русловые потери стока объясняется то обстоятельство, что ни одна из рек Северного Прибалкашья не доносит свои воды (поверхностным стоком) до оз. Балкаш.

На горных реках наибольшие русловые потери происходят при выходе рек из гор, на участках пересечения руслами конусов выноса. Размеры этих потерь бывают настолько велики, что в аллювий фильтруется весь поверхностный сток многих рек.

Значительные русловые потери поверхностного стока характерны и для рек, пересекающих межгорные котловины, заполненные аллювиальными отложениями (р. Шарын на участке Кегено-Каркаринской впадины).

По характеру водного режима реки бассейна оз. Балкаш подразделяют на следующие типы:

- 1) реки с весенним половодьем;
- 2) реки с весенним половодьем и паводками в теплое время года;
- 3) реки с весенне-летним половодьем;
- 4) реки с летним половодьем;
- 5) равнинные реки типа «карасу».

Весеннее непродолжительное половодье характерно для рек и временных водотоков холмисто-сопочных районов северного Прибалкашья, временных водотоков всего региона Илейской долины.

Весеннее половодье и паводки в теплое время года наблюдаются на реках низкогорных поднятий Шынгыстау, в горах Шу-Илийского водораздела и на реках, берущих начало в низкогорно-предгорных поясах Илейского, Жетысу Алатау, Узынкара, Кетпен и Тарбагатай.

Весенне-летнее половодье и паводки в теплое время года свойственны рекам среднегорного пояса Илейского, Жетысу Алатау, хребта Тарбагатай, а также многим крупным рекам, формирующим сток в нескольких высотных поясах (Иле, Каратал, Лепсы, Аксу, Текес, Шарын, Каскелен, Шелек и др.). Летнее половодье и паводки в теплое время года характерны для водотоков высокогорного пояса ( $H_{cp} > 3000$  м) и больших рек (Шелек, Осек, Коргас и др.) со значительной долей ледникового и высокогорно-снегового питания [39, 51-52].

Выровненный ход стока повышенного грунтового питания (70-80%) имеют реки типа «карасу» в предгорных равнинах Илейского, Жетысу Алатау и хребта Тарбагатай, а также отдельные непересыхающие водотоки юго-западных отрогов Жетысу Алатау (р. Шенгельды гор Шу-Илийского водораздела, р. Копалысай) и др.

В предгорной равнине вода разбирается на орошение, теряется на фильтрацию и испарение. Далее через зону пустынь и полупустынь наиболее мощные реки проходят транзитом до оз. Балкаш. На этом участке наблюдается значительные естественные потери стока воды в пойме, руслах и дельтах рек [40-41].

Таким образом, характерной особенностью гидрографии региона является редкая речная сеть на равнинной части территории (до  $0,01$  км/км<sup>2</sup>) и большая густота в горных районах (от  $0,6$  до  $3,0$  км/км<sup>2</sup>) [40, 51, 53-54]. Эти «потери» расходуются на содержание приречных тугаев, заливных лугов и сенокосных угодий.

*Питание рек.* Поверхностный сток на водосборах рек с равнинным и холмисто-сопочным рельефом Северного Прибалкашья формируется почти полностью за счет талых снеговых вод. Дождевые осадки только частично дополняют снеговое питание в период половодья. Подземное питание, как правило, невелико, а на временных водотоках оно вообще отсутствует. В низкогорных поднятиях Казахского мелкосопочника (Кызылрай, Шынгыстау) и северных отрогах Тарбагатай доля снеговой составляющей в годовом стоке рек в средний по водности год изменяется от 80-90 % на реках со средней высотой водосборов ( $H_{cp} = 800 \div 900$  м) до 70% на реках с  $H_{cp} > 1000$  м, а доля грунтовой составляющей с увеличением соответственно от 10 до 25-30%.

На юго-западном склоне хребта Тарбагатай наблюдается увеличение дождевой составляющей по мере возрастания средней высоты водосборов рек (от 0 до 10-12%).

На пересыхающих реках предгорно-низкогорных районов северных и западных склонов Жетису Алатау грунтовая составляющая стока тоже велика (до 60 % в средней по водности год), а на пересыхающих водотоках подземное питание ничтожно мало.

На большинстве рек верхней левобережной части бассейна р. Иле грунтовая составляющая то же обычно превосходит снеговую в 1,5-2 раза. На реках со значительной площадью оледенения существенна роль в годовом стоке ледниковой составляющей (около 25% на р. Текес и 15-20 % на р. Шелек).

Для рек стекающих с северных склонов Илейского Алатау, наиболее существенную роль играет ледниковая составляющая в годовом стоке водотоков (на р. Талгар более 40% годового).

*Половодье.* Несмотря на различия в условиях формирования стока, основной фазой режима всех рек является половодье, в период которого проходит большая часть годового стока, наблюдаются максимальные расходы и наибольшие уровни воды.

На реках с весенним половодьем подъем уровней и увеличение водности вследствие интенсивного притока талых вод бассейна р. Иле начинаются обычно в феврале-начале марта, а на водотоках Северного Прибалкашья – в конце марта – начале апреля. Заканчивается половодье в марте-июне. Продолжительность половодья обычно невелика: на водотоках с очень малыми площадями водосборов она не превышает 15-20 суток, а на реках с площадью водосбора от 100 до 5000 км<sup>2</sup> от 40 до 100 суток. Подъем весеннего половодья обычно идет быстро, на малых водотоках составляет 5-8, а на средних и больших реках 15-18 суток. Наибольшая продолжительность подъема половодья достигает 25-50 суток, а наименьшая в очень маловодные годы – 1 сутки.

*Межень.* На реках с весенним половодьем большинство водотоков в летнее время пересыхает, а на непересыхающих, наиболее значительных по площади водосборов реках с конца весны и до начала половодья следующего года сохраняется глубокая межень. На всех непересыхающих реках Северного Прибалкашья сток воды в меженный период на среднем и нижнем участках русла обычно уменьшается до полного прекращения в устьях.

На реках второго типа на фоне летне-осенней межени наблюдаются кратковременные подъемы уровня воды вследствие прохождения дождевых паводков. Паводки чаще всего наблюдаются на малых водотоках в конце весны – первой половине лета. Иногда паводки на реках с весенним наблюдаются в период осенних дождей. Наиболее часты дождевые паводки на реках юго-западного склона хребта Тарбагатай и реках низкогорно-предгорных районов Жетису и Илейского Алатау, для которых характерна более высокая летне-осенняя и зимняя межень по сравнению с реками Северного Прибалкашья и Шу-Илейских гор.

В период зимней межени многие пересыхающие реки Северного Прибалкашья на нижних участках русел промерзают на перекатах. На реках с

весенним половодьем низкогорно-предгорной зоны зимняя межень продолжается 80-120 суток (с декабря по февраль-март).

На реках с весенне-летним половодьем начало летне-осенней межени приходится на конец августа – начало сентября, а окончание на ноябрь. На большинстве рек наименьший месячный сток зимней межени и годовой наблюдаются в феврале. Исключения представляют некоторые большие реки (Лепсы, Баскан, Каратал в нижнем течении, Шарын, Каскелен, Курты, Иле), а также водотоки Шу-Илейских гор, на которых наименьший сток за межень наблюдается в январе [1, 4].

## **2.2 Исследование водных ресурсов рек региона**

Бассейн реки Иле является уникальным природным и ресурсным комплексом Казахстана и играет огромную роль в жизнедеятельности республики. Регион имеет большое экономическое и социальное значение в Республике Казахстан. Здесь проживает 16% населения республики, сосредоточено 16% промышленного производства и 13% сельскохозяйственной продукции. Иле-Балкашский бассейн включает в себя самую большую площадь орошаемых земель, которая составляет около 350 тысяч гектаров. В то же время территория обладает 22% водных ресурсов, из которых расчетные гидроэнергетические ресурсы составляют 42% [3]. По данным Института географии Министерства образования и науки Республики Казахстан, на Иле-Балкашский бассейн приходится 29,36 км<sup>3</sup>/год, из которых 16,05 (55%) формируются на территории Китайской Народной Республики, и 13,31 (45%) в Казахстане [95].

В бассейне расположены два крупнейших города Казахстана - Алматы (1854 тыс. человек), Талдыкорган (145 тыс. человек) и ряд крупных населенных пунктов, которые являются основными водопотребителями и водопользователями. На сегодняшний день официально зарегистрировано 833 водопотребителя и водопользователя в Алматинской области и городе Алматы. При этом забирается около 4000,0 млн. м<sup>3</sup>/год поверхностного стока. В перспективе развитие региона предполагает увеличение водопотребления за счет интенсивного роста промышленности (пищевая, легкая, электрическая, горнодобывающая - Текелийский свинцово-цинковый завод) и сельского хозяйства - животноводства и растениеводства. В регионе сосредоточены крупные промышленные, сельскохозяйственные и водохозяйственные комплексы и расположены многочисленные населенные пункты и города, а также мегаполис – город Алматы. Анализ и оценка состояния водных ресурсов, а также перспективы их количественных изменений, несомненно, важны и требуют внимания при планировании развития региона с учетом темпов роста населения и экономики. Так, с 1990-х годов прошлого столетия, население таких городов как Алматы, Капшагай, Каскелен и Талгар увеличилось в среднем в 1,5 раза [110]. В настоящее время здесь проживают более 2-х млн. человек.

В Иле-Балкашском бассейне хозяйственная деятельность развита в предгорной зоне и ниже. Для социальных нужд, развития энергетики и сельского хозяйства в бассейне реки создан ряд водохранилищ и ирригационных систем. В казахстанской части бассейна озера Балкаш насчитываются, примерно, 35 водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования с суммарной емкостью около 16 км<sup>3</sup>, общей площадью водного зеркала 1475 км<sup>2</sup> [36]. В верховьях реки Иле в пределах КНР в 2002-2007 годах возведена плотина водохранилища, которое также принято называть Капшагайским. Сток рек бассейна используется для водоснабжения г. Алматы и других населенных пунктов, созданы большое количество небольших прудов и водохранилищ. Наиболее крупными гидротехническими сооружениями являются водохранилища: Капшагайское на р. Иле (общий объем - 28,1 км<sup>3</sup>, площадь водной поверхности - 1847 км<sup>2</sup>) на р. Иле [36], Бестюбинское на р. Шарын, Бартогайское на р. Шелек, Куртинское на р. Курты. Кроме того, были построены Акдалинский и Каратальский ирригационные сети в низовьях реки Или, оросительных каналах: Тусмурунском, Баканасском, Уштобинском и других. С 1984 года функционирует Бартогайское водохранилище на р. Шелек и магистральный канал переброски стока им. Д.А. Кунаева (Большой Алматинский канал), соединяющий реки Шелек и Шемолган. Водозабор БАКа осуществляется из Бартогайского водохранилища, а далее он пересекает притоки р. Иле в предгорьях Илейского Алатау и заканчивается в бассейне реки Шамалган. А также ирригационные каналы систем рисовых массивов орошения – Акдалинского и Каратальского. Акдалинский рисовый массив орошения расположен в низовьях долины реки Иле.

Таким образом, оценка изменения водных ресурсов р. Иле и ее крупных притоков в современных условиях, в связи с изменением климата имеет важное значение при решении практических задач водопользования и перспектив дальнейшего развития региона.

Основным объектом исследования является река Иле, ее многолетний водный режим и особенности формирования стока на территории Казахстана. Долина реки Иле делит две горные системы на Жетысуйский Алатау и восточную часть Северного Тянь-Шаня – Иле Алатау и протянулась на сотни километров от Синьцзяна (КНР) до озера Балкаш. Высотные отметки Илейской впадины в верховьях у границы с КНР составляют в среднем 600 м, в среднем течении у плотины ГЭС Капшагайского водохранилища 500 м, а в низовьях 340 м. Правобережные притоки реки Иле – Коргас, Осек, Борохудзир, берущие начало в горах Жетысуйского Алатау маловодны. Наиболее значимы левобережные притоки реки, формирующиеся на склонах Илейского Алатау, а также отрогов Терскей и Кунгей Алатау – Шелек и Шарын. Высота хребтов достигает здесь 4000 м и более, например пик Талгар – 4951 м. Стокоформирующая часть бассейна расположена в КНР. На территории Казахстана формируется порядка 30% водных ресурсов р.Иле. В

русло реки попадает лишь часть из них. Сток горных рек используется на хозяйственные нужды, а также расходуется на фильтрацию и испарение [112].

В связи с этим уже остро стоит вопрос о прогнозировании изменения водных ресурсов в условиях изменения климата и повышения экономической активности и их рационального использования в рассматриваемом бассейне. В разные периоды, исходя из экономических задач, возможностей и планов республики развитие ирригации в бассейне было неравномерно, а учет водозаборов и в целом количественная оценка использования водных ресурсов не эффективна.

Водные ресурсы региона в первую очередь складываются из речных и озерных вод. Кроме того на территории находятся заболоченные земли, ледники, водохранилища, ирригационные водоводы и магистральные каналы.

В таблице 2.1 приводятся сведения о наиболее значимых водохранилищах рассматриваемого региона.

Таблица 2.1 - Основные сведения о водохранилищах [25].

Наименование водохранилища	Водоток или место	Год приемки	Емкость по проекту, млн. м <sup>3</sup>		Отметка уровня воды, м		Площадь зеркала, км <sup>2</sup>		Вид используемого	Назначение
			полная	полезная	НПУ	УМО	НПУ	УМО		
из МДС										
Капшагайское	р. Иле	1970	281 00	18450					многолетнее	ирригационное
По данным БВУ БАБ (из отчета БВУ за 2012 г.)										
Бестюбинское	р. Шарын	1985	238	228					многолетнее	энергетическое
Бартогайское	р. Шелек	1984 1986 (из Казахской энциклопедии)	320	250	1067,2	1041	13	5,7	многолетнее	орошение
Куртинское	р. Курты	1967	120	114,8	558,4	531	8,3	1,3	многолетнее	орошение

Гидрологическая изученность бассейна началась с открытия постов наблюдения за характеристиками стока на р. Иле в 1910-1916 годах. В настоящее время на реке функционируют 10 гидрологических постов. Ряды наблюдений по некоторым из них составляют 105 лет. Большинство же действующих пунктов наблюдений на реках региона открыты в конце 20-х начале 30-х годов прошлого столетия. Анализ рядов характеристик стока рек Иле-Балкашского бассейна и их хозяйственного использования позволил выявить наиболее качественные данные, восстановить пропуски в

наблюдениях и исследовать влияние, в первую очередь, руслового регулирования на годовой сток.

Приведем примеры влияния хозяйственной деятельности в Иле-Балкашском бассейне и алгоритм восстановления пропусков в наблюдениях рядов среднегодовых расходов воды, и в целом их реконструкции для дальнейшего статистического анализа.

В качестве расчетных створов для исследований характеристик стока реки выбраны гидрологические посты с длительным периодом наблюдений, (см. выше таблица 1.3). На исследуемой территории к основным постам отнесены действующие гидрологические посты на реках. В Иле-Балкашском бассейне исходными материалами для гидрологических расчетов послужили опубликованные справочно-кадастровые и архивные материалы РГП «Казгидромет». К сожалению, в материалах Казгидромета имеются пропуски в наблюдениях стоковых характеристик, а также не учитывается влияние хозяйственной деятельности, результаты которой практически повсеместно изменяют гидрологический режим рек. Сведения, приводимые в опубликованных материалах приводятся только до 90-х годов прошлого столетия. В связи с этим восстановление пропусков в наблюдениях стоковых рядов и реконструкция их требует глубокого анализа. Достоверная информация режимных характеристик рек необходима для организации надежных водохозяйственных мероприятий. Недостаточная оснащенность бассейна речной сетью гидрологических постов не позволяет в должной мере оценить искажения естественного стока за счет хозяйственной деятельности воды - ирригацию, лиманное орошение, водоснабжение и др. Сведения об объемах воды за последние годы отсутствуют. Имеет место слабый учет и контроль за использованием водных ресурсов Иле-Балкашского региона. Кроме того, анализу подвергались значения гидрометрических параметров рек по некоторым гидрологическим постам вызывающим сомнения вследствие низкого качества измерений расходов воды и данных об уровне воды.

Оценка водных ресурсов Балкаш-Алакольского водохозяйственного бассейна выполнена Институт Географии МОН РК за период с 1930 по 2007 годы для основных, малоизученных и неизученных рек [28, 61].

Задача настоящих исследований состояла в рассмотрении и анализе многолетних колебаний годового стока наиболее значимых рек с учетом влияния на их водный режим антропогенных факторов и климатических изменений, которые в настоящее время все более отчетливо сказываются на стоковых характеристиках.

При этом для оценки водных ресурсов используется проведенный период, тем самым часть информации не используется. Анализ же величин расходов воды за весь период наблюдения позволяет проследить периоды различной водности и тенденции изменения водного режима рек в будущем при различных сценариях развития климатических условий.

В связи с этим проанализированы стоковые ряды рек региона во взаимосвязи с резко изменяющимся температурным режимом и, особенно, количеством осадков.

В связи с этим в работе проведен анализ и восстановление рядов по основным гидрологическим постам Иле-Балкашского региона с периода начала действия гидрологического пункта по 2015 г. включительно. Как известно, расчет характеристик речного стока возможен при достоверной и полной гидрологической информации. Сведения, приводимые в опубликованных материалах, не в полной мере отражают действительные размеры водопользования в бассейнах рек. Успешному выполнению работы препятствует отсутствие надежных данных по водозаборам из рек, искажающим естественный сток. В большинстве случаев сведений об изъятых объемах воды нет. В работе произведен анализ данных по стоку основных рек Иле-Балкашского бассейна. По кадастровым материалам выявлены створы на реках, на которых наблюдается искажение естественного стока за счет хозяйственной деятельности. Средний годовой сток, полученный по имеющимся коротким рядам наблюдений, приведен к расчетному многолетнему периоду, используя реки-аналоги, согласно методическим указаниям, которые имеют длинный ряд наблюдений.

### 2.2.1 Анализ и восстановление пропусков в наблюдениях рядов годового стока

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений параметры кривых распределения вероятностей гидрологических характеристик, а также основных элементов расчетного гидрографа необходимо приводить к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов.

При расчете параметров распределения и значений стока за отдельные годы  $Q_i$  с использованием аналитических методов, основанных на регрессионном анализе, должны соблюдаться следующие условия:

$$n' \geq (6-10); R \geq R_{кр}; R/\sigma_R \geq A_{кр}, \quad (2.1)$$

где  $n'$  — число совместных лет наблюдений в приводимом пункте и пунктах-аналогах ( $n' \geq 6$  при одном аналоге,  $n' \geq 10$  при двух и более аналогах) или число пунктов-аналогов при восстановлении с привлечением кратковременных наблюдений ( $n' \geq 6$ );  $R$  — коэффициент парной или множественной корреляции между значениями стока исследуемой реки и значениями стока в пунктах-аналогах;  $R_{кр}$  — критическое значение коэффициента парной или множественной корреляции (обычно задается  $\geq 0,7$ );  $A_{кр}$  — критическое значение отношения  $R/\sigma_R$  (обычно задается  $\geq 2,0$ ).

В случае одного пункта-аналога приведение среднего значения к более длительному периоду осуществляют по формуле:

$$\bar{Q}_N = \bar{Q}_n + r(\sigma_n / \sigma_{n,a})(\bar{Q}_{N,a} - \bar{Q}_{n,a}), \quad (2.2)$$

где  $\bar{Q}_n$ ,  $\bar{Q}_{n,a}$  — среднеарифметические значения гидрологической характеристики соответственно для исследуемой реки и реки-аналога, вычисленные за период совместных наблюдений;  $\bar{Q}_N$ ,  $\bar{Q}_{N,a}$  — норма стока за  $N$ -летний период соответственно для исследуемой реки и реки-аналога;  $\sigma_n$ ,  $\sigma_{n,a}$  — средние квадратические отклонения гидрологической характеристики за совместный период  $n$  лет соответственно для исследуемой реки и реки-аналога.

Восстановленные данные имеют систематически заниженную дисперсию. Введением поправки в погодичные значения стока, полученные по уравнению регрессии:

$$Q'_i = (Q_i - \bar{Q}_n) / R + \bar{Q}_n, \quad (2.3)$$

где  $Q'_i$  — погодичные значения гидрологических характеристик, рассчитанные по уравнению регрессии;  $\bar{Q}_n$  — среднее значение приводимого ряда за совместный с пунктом-аналогом период [96].

Для восстановления значений стока у пункта р.Иле – пристань Добын за 2002-2003 годы, построен график связи средних годовых расходов воды данного пункта и средних годовых расходов воды пункта-аналога р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС. Коэффициент корреляции рассматриваемой связи составил 0,88. Вычисленное уравнение регрессии имеет вид:  $y=0.5794x+150.68$ . График связи средних годовых расходов воды пункта р.Иле – пристань Добын и средних годовых расходов воды пункта-аналога р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС представлен на рисунке 2.1.

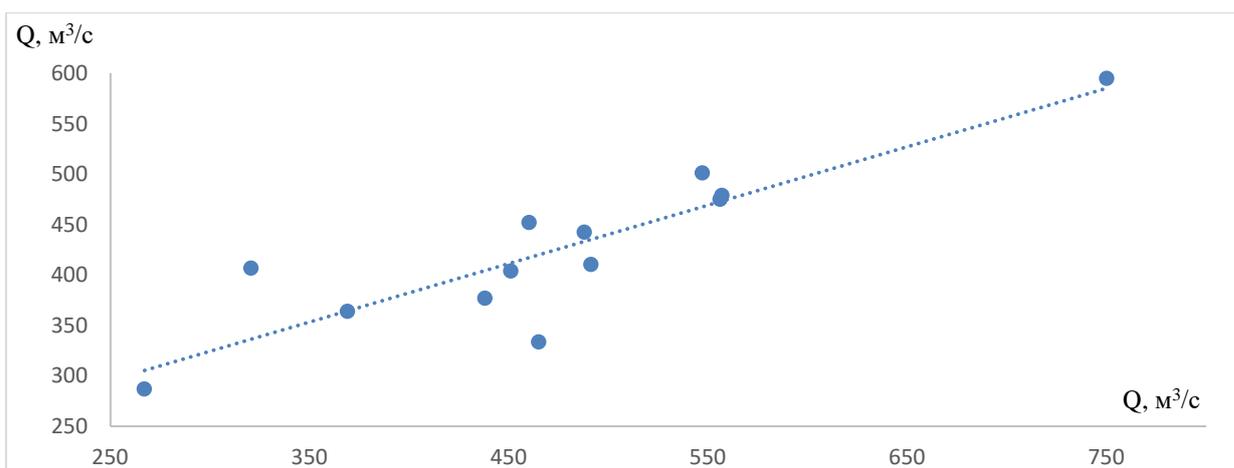


Рисунок 2.1 - Связь средних годовых расходов воды р. Иле – пристань Добын и р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС

Например: гидрологический пост р. Иле – в 164 км выше Капшагайской ГЭС был открыт 01.09.1956 г. Период наблюдения за стоком воды

прерывался. Наблюдения велись в годы: 1957-58, 60, 65-67, 70-2015 гг. В качестве пункта-аналога был выбран гидрологический пост р. Иле - уроч. Капшагай до зарегулирования стока и после ввода в эксплуатацию Капшагайского гидроузла. Восстановленные годы: период естественного стока (1959-64, 68-69 гг.), коэффициент корреляции зависимости расходов воды в расчетном пункте и пункте-аналоге составил  $r = 0,93$ , и соответственно период бытового стока (1996, 2002-2003 гг.), где  $r = 0,73$ . Средние годовые расходы воды за период с 1957 по 69 и с 1970 по 2015 годы восстановлены по уравнению связи средних годовых расходов воды со значениями, соответственно, средних годовых естественного и бытового расходов воды (рисунки 2.2а и 2.2б).

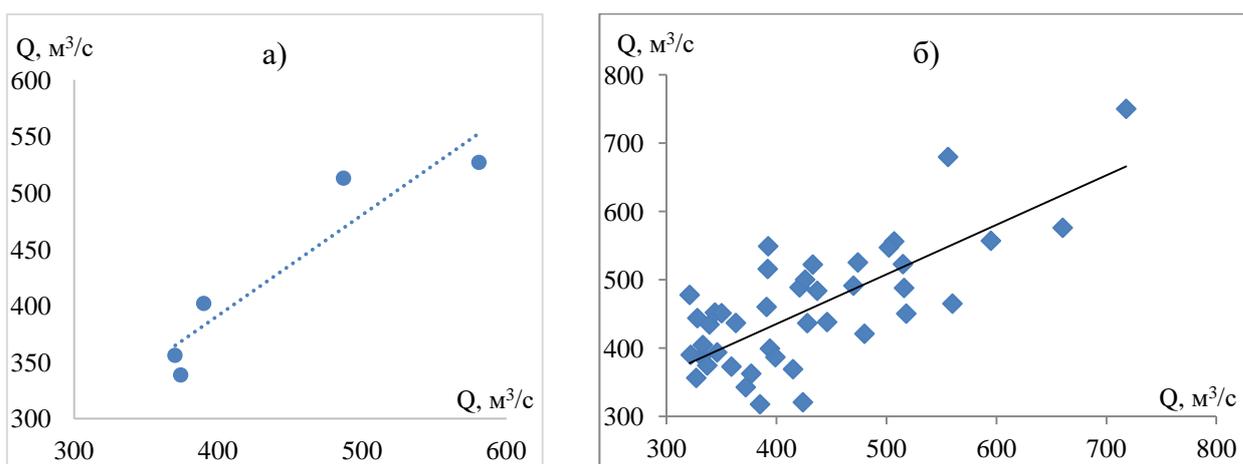


Рисунок 2.2 – а) связь средних годовых расходов воды р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС и р. Иле – уроч. Капшагай (естественный сток); и б) с р. Иле – уроч. Капшагай (бытовой сток).

На постах по длине р. Иле отмечаются нарушения естественного водного режима из-за интенсивной хозяйственной деятельности на территории КНР и из-за действия плотины Капшагайской ГЭС. В настоящее время основными проблемами двухсторонних отношений Республики Казахстан (РК) и Китайской Народной Республики (КНР) в сфере использования и охраны трансграничных рек является вопрос увеличения водозаборов на территории КНР из трансграничной р. Иле. В условиях дефицита водных ресурсов РК, и учитывая трансграничный характер реки, очень важна точная оценка расхода воды непосредственно на входе реки в РК. Учитывая трансграничный характер р. Иле, ее исключительное значение в водообеспечении большого региона Казахстана, очень важна точная оценка расхода воды реки непосредственно на ее входе в РК. Но на приграничных, близко расположенных гидропостах на территории КНР и РК используется разная методика измерения расходов и подсчета стока. В итоге получаются неодинаковые результаты. В этих условиях целесообразен детальный анализ мониторинга водности реки в приграничной ее части.

В работе [56] излагаются результаты детального анализа расходов воды и подсчета стока р. Иле в приграничной ее части по данным двух гидропостов

по обе стороны границы за 2011...2015 гг. Расчетные значения не слишком отличаются, они вполне сопоставимы, что свидетельствует о достаточно высоком качестве мониторинга с обеих сторон. На этой основе сформулированы практические рекомендации по деталям усовершенствования мониторинга водности на рассматриваемом участке реки. Графики связей по основным постам Иле-Балкашского бассейна по длине реки Иле представлены в Приложении А (рисунки А.1-А.4).

Из всех опорных гидрологических пунктов Иле-Балкашского бассейна, наиболее показательные значения тесноты связи для гидрологического поста р.Тургень – с. Таутургень были средние годовые расходы воды пунктов-аналогов по восстановленному стоку р. Курты – Ленинский мост и р. Терисбутак – устье. С помощью уравнений регрессий имеющих вид:  $y=0.3625x+5.381$  и  $y=0.3625x+5.381$ , где коэффициенты корреляции равны:  $r=0,52$  и  $r=0,56$  соответственно, восстановлены значения естественных средних годовых расходов воды р.Тургень – с. Таутургень за 1999 – 2000 и 2003 гг. и построены графики связи с 1941–98, 2001–2005 гг. и с 1947–98, 2001–2002, 2004–2005, 2007–2015 гг. (рисунки 2.3а и 2.3б).

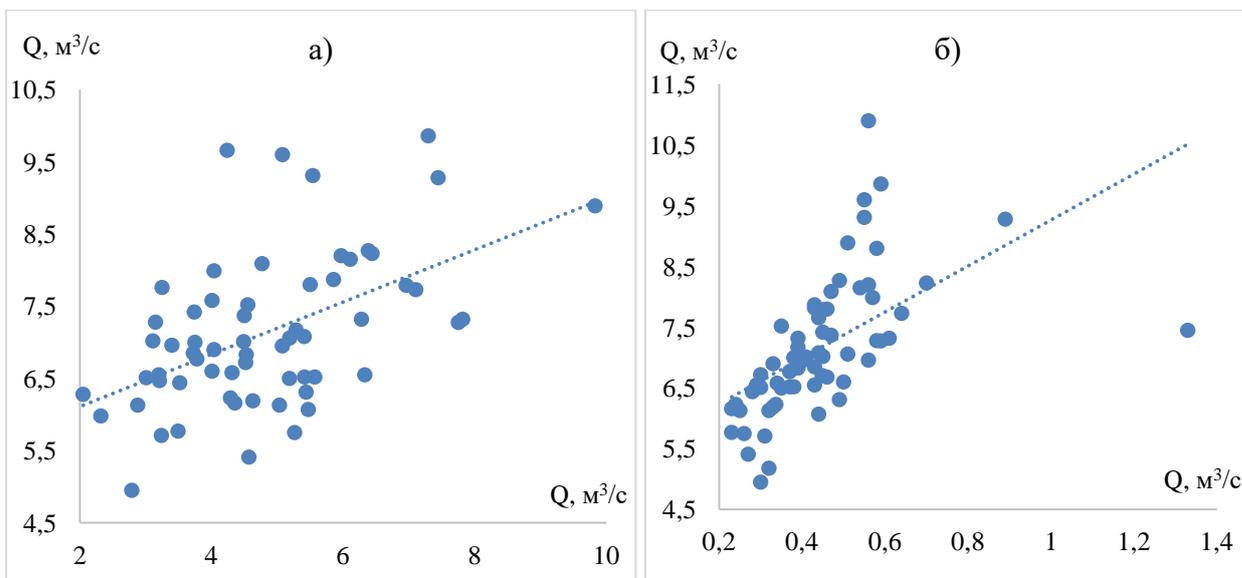


Рисунок 2.3 - Связь средних годовых расходов воды р. Тургень – с. Таутургень и а) р. Курты – Ленинкий мост за и б) р. Терисбутак – устье

Гидрологический пост р.Киши Алматы - г. Алматы: на данном участке реки действовали посты в периоды: 06.05.1908 г.-09.10.1910 г., 27.04.1912 г.-30.06.1921 г., 01.05.1925 г.-10.07.1931 г. Наблюдения над уровнем воды на прежних и действующих постах не увязаны. За периоды 1918-28, 31-33 годы данные восстановить не удалось. Так как в эти периоды не было подходящей тесноты связи с действующими в то время гидрологическими постами Иле-Балкашского бассейна. С 1934 года ведутся постоянные наблюдения за стоковыми характеристиками реки Киши Алматы на данном участке. По уравнению регрессии восстановлены данные годового стока гидроствора р.Киши Алматы - г. Алматы со средними годовыми расходами воды пункта-аналога р. Бутак – с. Бутак (рисунок 2,4), который функционирует с 1943 г, за

2005 г., так как в этом году пост переносился и не было наблюдений за расходами воды [11, 29].

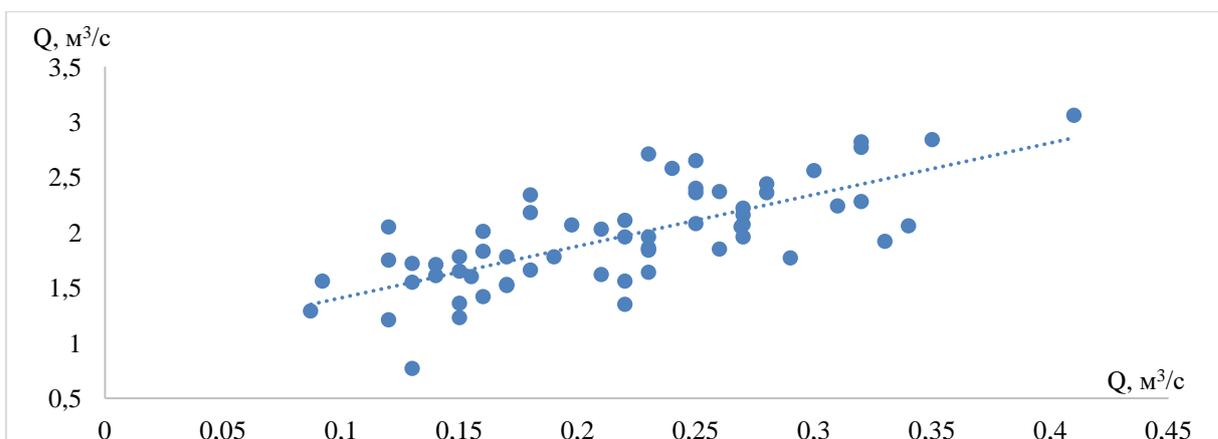


Рисунок 2.4 – Связь средних годовых расходов воды р. Киши Алматы - г. Алматы и р. Бутак – с. Бутак

Графики связей средних годовых расходов воды исследуемых пунктов и их пунктов-аналогов прилагаются в Приложении А (рисунки А.6-А.16).

В таблице 2.2 приведены значения среднегодовых значений стока по основным постам, полученным по коротким рядам наблюдений. Ряды приведены к расчетному многолетнему периоду, с использованием данных рек-аналогов.

Таблица 2.2 – Сведения о восстановлении среднегодовых значений стока по гидрологическим постам Иле-Балкашского водохозяйственного бассейна

Период наблюдений	Пункт-аналог	Число сов-х лет наблюдений	R	Уравнение регрессии	Годы, сток за кот-е восст-лен	$\delta_R$	$R/\delta_R$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>1. р. Иле - пристань Добын</b>							
2001, 2004-2015	р. Иле - 164 км выше Капш. ГЭС	13	0.88	$y=0.5794x+150$	2002, 2003	0,061	14,4
<b>2. р. Иле – в 164 км выше Капшагайской ГЭС</b>							
1957-58, 60, 65-67, 70-2015	р. Иле - уроч. Капшагай (естественный сток)	5	0.93	$y=0.8922x+34.4$	1959-64, 68-69	0,066	14,1
	р. Иле - уроч. Капшагай (бытовой сток)	43	0.73	$y=0.7244x+145$	1996,2002-2003	0,057	12,8
<b>3. р. Иле - с. Ушжарма</b>							
1940-43, 49-2009	р. Иле - уроч. Капшагай (естественный сток)	25	0.78	$y=0.5836x+200$	1939, 44-48	0,079	9,87
	р. Иле - уроч. Капшагай (быт. сток)	27	0.96	$y=0.932x+18.6$	1997-2015	0,016	60,0

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>4. р. Иле, рук. Жидели - в 16 км ниже истока</b>							
1976-97, 2004-2015	р. Иле - уроч. Капшагай (быт. сток)	26	0.90	$y=0.8752x+32.0$	1996-2004, 2006, 2009-2012	0,036	25,0
<b>5. р. Иле – в 1 км ниже ответвления рук. Жидели</b>							
1968-73, 76-82, 87-97, 2004-2015	р. Иле, прот. Суминка – в 16 км ниже ист.	16	0.70	$y=0.8295x+4.93$	1983-84, 86	0,130	5,3
	р. Иле - аул Жидели	39	0.91	$y=0.8844x+7.82$	1975, 85	0,027	33,7
	р. Есик - г. Есик	36	0.70	$y=8.2808x- 18.4$	1974, 98-2003	0,085	8,23
<b>6. р. Иле - аул Жидели</b>							
1968-73, 75-94, 2004-2015	р. Иле - в 1 км ниже отв. рук. Жидели	38	0.91	$y=0.9433x-5.06$	1974, 95-2003	0,027	33,7
<b>7. р. Шарын - уроч. Сарытогай</b>							
1928-2011, 2013-2015	р. Иле - уроч. Капшагай (естеств. сток)	28	0.70	$y=0.0852x-4.27$	1928	0,095	7,34
	р. Иле - в 164 км выше Капш-кой ГЭС	58	0.77	$y=0.0685x+8.19$	2012	0,053	14,5
<b>8. р. Шелек - с. Малыбай</b>							
1929-92, 2002-2010, 2013-2015	р. Иле - уроч. Капшагай (быт. сток)	35	0.70	$y=0.0386x+18.8$	1993-2001, 2011-2012	0,090	7,56
<b>9. р. Турген - с. Таутурген</b>							
1931-98, 2001-2002, 2004-2015	р. Проходная - устье	59	0.70	$y=2.9573x+2.51$	1999-2000	0,094	5,53
	р. Курты – подхоз Ленинский мост (восстан.сток)	62	0.52	$y=0.3625x+5.38$	2003	0,083	6,98
<b>10. р. Киши Алматы - г. Алматы</b>							
1916-17, 28-30, 34-2004Э 2006-2015	р. Бутак - с. Бутак	61	0.73	$y=4.6677x+0.94$	2005	0,060	12,2
<b>11. р. Аксай – с. Аксай</b>							
1928-29, 64-68, 70-76, 78-88	р. Киши Алматы - г. Алматы	41	0.73	$y=0.5491x+1.12$	1930, 34-63, 69, 77, 89-2015	0,068	10,7
<b>12. р. Каскелен - г. Каскелен</b>							
1929-79, 82-2015	р. Есик - г. Есик	77	0.70	$y=0.647x+1.02$	1980-81	0,063	10,6
<b>13. р. Каскелен - устье</b>							
1974, 76-87, 2013-2015	р. Шарын - уроч. Сарытогай	16	0.82	$y=0.289x+3.07$	1975, 88-2012	0,083	9,87
<b>14. р. Улькен Алматы - в 1.1 км выше оз. Улькен Алматы</b>							
1929, 52-93, 95, 97, 2000-2015	р. Киши Осек - в 0.2 км выше слияния с р. Осек	42	0.70	$y=0.2282x+0.28$	1930-51, 94, 96	0,082	8,41
	р. Шелек - с. Малыбай	61	0.63	$y=0.049x+0.11$	1998-99	0,078	8,07
<b>15. р. Улькен Алматы - в 2 км выше р. Проходной</b>							
1953-76, 78-80, 82-85, 87, 89-92, 95, 97, 2008-2009, 2012-2015	р. Асы – с. Асысага	44	0.74	$y=1.0269x+0.31$	1952, 77, 81, 86, 88, 93-94, 96, 98-2007, 2010-2011	0,069	10,7

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>16. р. Асы – с. Асысага</b>							
1965-79	р. Улькен Алматы - в 2 км выше р. Проходной	14	0.76	$y=1.0564x+0.82$	1953-64, 80, 82-85, 87, 89- 92, 95	0,115	6,61
	р. Киши Алматы - г. Алматы	15	0.77	$y=1.1672x+0.20$	1947-52, 81, 86, 88, 93-94, 96-2015	0,104	7,40
<b>17. р. Курты – подхоз Ленинский мост</b>							
1943-83, 85-94, 2006-2009, 2011-2015	р. Иле - уроч. Капшагай (естеств. сток)	27	0.73	$y=0.0106x-0.74$	1941-42	0,091	8,02
	р. Иле, рук. Жидели - в 16 км ниже ист.	27	0.70	$y=0.0107x-3.36$	1984, 95- 2005, 2010	0,101	6,83
<b>18. р. Тоқырауын – а. Актогай</b>							
1942, 48-50, 55- 93, 95-97, 99- 2015	р. Нура – а. Бесоба	63	0.71	$y=2.7086+0.76$	1943-47, 51- 54, 94, 98-99	0,062	11,4
<b>19. р. Аягоз - пос. Тарбагатай</b>							
1961-87, 89-91, 93-96, 2000- 2001, 2003-2015	р. Коксу - с. Коксу	49	0.70	$y=0.0647x+0.04$	1988, 92, 97- 99, 2002	0,076	8,94
<b>20. р. Аягоз - г. Аягоз</b>							
1950-85, 2003- 2015	р. Аягоз - пос. Тарбагатай	38	0.83	$y=2.7732x+0.47$	1986-2002	0,051	16,3
<b>21. р. Лепси - аул Толебаев</b>							
1935-46, 48-94, 96, 2001, 2003- 2007, 2013-2015	р. Лепси - аул Лепси	69	0.83	$y=2.0124x-15.8$	1947, 95, 97- 2000, 2002, 2008-2012	0,037	22,4
<b>22. р. Аксу - а. Жансугиров</b>							
1934, 37-81	р. Лепси - аул Лепси	46	0.77	$y=0.4591x+2.54$	1932-33, 35- 36, 82-2015	0,059	7,46
<b>23. р. Каратал - г. Уштобе</b>							
1916-17, 24-27, 29-39, 41-93, 2011-2015	р. Аксу - а. Жансугиров	66	0.84	$y=7.9733x-25.04$	1940, 94- 2010	0,036	23,3

В связи с трудностями оценки стока, из-за пропусков наблюдений рекомендуем для восстановления гидрологических рядов уравнения регрессии для рек рассматриваемого бассейна. Восстановление стока и приведение данных к многолетнему ряду осуществлялось с использованием данных рек-аналогов методом парной регрессии. Коэффициенты корреляции таких связей составили от 0,70 до 0,96. В дальнейшем рекомендуется использование подобранных рек-аналогов для гидрологических расчетов при недостаточности гидрометрических данных для рек: Иле, Шарын, Шелек, Тургенъ, Киши Алматы, Аксай, Каскелен, Улькен Алматы, Асы, Курты, Тоқырауын, Аягоз, Лепси, Аксу, Каратал.

### 2.3 Хозяйственная деятельность и ее влияние на сток рек бассейна

Хозяйственная деятельность человека, вносящая значительные изменения в естественные природные условия, не может не оказывать влияния на сток. Создание водохранилищ вызывает увеличение испарения, а

следовательно, и уменьшение стока, в особенности в засушливых районах. Искусственное орошение в зоне недостаточного увлажнения, создавая совершенно новые условия водного режима почвы, вызывает безвозвратные потери на испарение и транспирацию растениями и тем самым уменьшает величину стока рек.

Ряд агротехнических мероприятий (снегозадержание, распашка), проводимых на обширных территориях нашей страны, не могут не оказать влияния на изменение условий формирования поверхностного стока, в большинстве случаев уменьшая величину среднего годового стока.

Количественная оценка величин изменений, вызванных хозяйственной деятельностью человека, крайне затруднительна и в настоящее время носит приближенный характер. Следует иметь в виду, что почти все агротехнические мероприятия оказывают влияние на местный сток, вызывая главным образом, перераспределение его во времени и в пространстве. Сказанное в особенности справедливо по отношению к засушливым районам. Здесь значительные водораздельные пространства, на которых и проводятся главным образом агротехнические мероприятия, представляют собой участки земной поверхности, лишенные стока [53, 57].

Более полувека тому назад крупнейший ученый-гидролог В.Г. Глушков за многие годы определивший основные направления развития гидрологической науки, одной из важнейших задач гидрологии считал изучение влияния хозяйственной деятельности человека на водные ресурсы и водный баланс. По мнению Глушкова, по мере экономического и социального развития общества и преобразования окружающей среды гидрологическая наука будет все более превращаться в «гидрологию от человеческой деятельности». О важности изучения влияния орошения на гидрологический режим и окружающую среду неоднократно еще в начале XX в. указывалось в его работе [59].

Уже в конце 20-х – начале 30-х годов ведущие ученые ГГИ, учитывая возрастающую роль гидрологии в социалистическом строительстве, своими трудами вносили большой вклад в научное обоснование разрабатываемых в те годы проектов крупнейших водохозяйственных мероприятий.

С 30-х годов в ГГИ были начаты исследования воздействия на водный режим и водный баланс строительства и эксплуатации водохранилищ, вырубок леса и лесовосстановления, агротехнических мероприятий, осушение болот и орошение засушливых земель.

В 1955-1957 гг. были выполнены исследования О.Н. Борсука по влиянию прудов на сток рек СССР, не потерявшие научного и практического значения до настоящего времени.

Несмотря на принципиально правильные подходы к исследованию влияния водохранилищ на годовой сток рек, использованное указанными авторами, до последних лет в количественной оценке этого эффекта имеются существенно различные толкования и проектные организации при

составлении водохозяйственных балансов часто используют недостаточно обоснованные данные [58].

Исследованиями влияния леса и лесотехнических работ на сток рек, начиная с 30-х годов, занимались Б.В. Поляков и П.С. Кузин, а в последующие годы Д.Л. Сокловский, В.В. Рахманов, А.П. Бочков, П.Ф. Идзон, А.А. Молчанов, С.Ф. Федоров и другие. В 40-х годах прошлого столетия, П.С. Кузин убедительно показал, что мнение А.И. Воейкова о существенном изменении стока р. Волги из-за вырубке лесов не подтвердилось.

В работах выполненные с 70-е годы в ГГИ и в ряде других организаций, комплексные экспериментальные исследования водного, теплового и солевого балансов орошаемых земель в различных районах традиционного и перспективного орошения, а также анализ многолетних колебаний характеристик речного стока и метеорологических факторов, где орошение является основным фактором хозяйственной деятельности, позволили достигнуть значительного прогресса в области гидрологии орошаемых земель, в частности, разработаны методы оценки влияния орошения на речной сток.

В целом исследования влияния хозяйственной деятельности на речной сток за период с 20-х до 70-х годы посвящены изучению процессов влияния водохранилищ и прудов, агротехнических мероприятий, леса и его вырубок, болот и их осушения на годовой сток и гидрологический режим рек; оценке и расчету отдельных элементов водного баланса, включая водно-солевой баланс орошаемых земель. В этот период были организованы постоянно действующие воднобалансовые станции и проведены экспедиционные работы и накоплены ценнейшие экспериментальные данные, необходимые для изучения влияния различных видов хозяйственной деятельности на водный режим и разработки методов их оценки и прогноза.

Наряду с использованием материалов экспериментальных исследований широкое применение нашли данные сетевых гидрологических наблюдений на опорной сети Гидрометеорологической службы за многолетний период, которые в интегральном виде отражают влияние на режим стока климатических условий, естественных физико-географических факторов и развития хозяйственной деятельности на водосборах.

На большинстве реках рассматриваемого региона изменения водного режима за счет хозяйственной деятельности однозначно установить не удалось. Колебания среднегодовых расходов воды не позволяют однозначно судить о значимых изменениях за счет хозяйственной деятельности. Вследствие заборов воды на орошение изменения водного режима наблюдается на реках: р. Аягоз – г. Аягоз, р. Лепси – аул Толебаев, р. Каратал – г. Уштобе, р. Турген – с. Таутурген, р. Есик – г. Есик, р. Каскелен – г. Каскелен и р. Коксу – с. Коксу. Нарушение режима рек вследствие создания плотин и водохранилищ наблюдается на реках: р. Шарын – уроч. Сарытогай, р. Киши Алматы – г. Алматы, р. Курты – Ленинский мост и р. Шелек – с. Малыбай. Кроме того учитывались ситуации при которых данные по гидрологическим постам, по которым ориентировочное значение стока из-за

искажения водозаборами составляло более 10 % годового объема воды. Это следующие реки: р. Лепси – аул Толебаев, р. Коктал – подхоз «Плодоконсервный»; р. Киши Алматы – г. Алматы, р. Курты – Ленинский мост. Результаты данных исследований изложены в работах [31, 34].

### 2.3.1 Количественная оценка характеристик годового стока водотоков региона

Экономическое развитие Иле-Балкашского региона во многом определяется культурой водопользования и состоянием водных ресурсов. Оценка характеристик стока основных рек бассейна и степень их использования показывают современный потенциал развития региона и возможность рационального хозяйственного использования.

Для оценки значимых изменений гидрологического режима рек Иле, Шелек, Шарын и Курты под влиянием хозяйственных мероприятий в бассейне, построены суммарные интегральные кривые средних годовых расходов воды.

Влияние прудов и водохранилищ на годовой сток учтено с помощью коэффициентов снижения, вычисляемых по формуле:

$$\delta = 1 - W_{д} / (y_{б} + W_{д}), \quad (2.1)$$

где  $\delta$  - коэффициент изменения (снижения) годового стока в долях единицы;  $y_{б}$  – бытовой сток, изменённый под влиянием хозяйственной деятельности;  $W_{д}$  – объём заполнения прудов и водохранилищ.

Объём заполнения прудов и водохранилищ, из-за отсутствия режимных наблюдений за уровнем воды, определён приближённо. Коэффициент изменения (снижения) годового стока для прудов и водохранилищ на реках  $\delta$  принимается равным в соответствии с рекомендациями нормативных документов [60].

Объём заполнения прудов и водохранилищ определён по коэффициенту сработки:

$$W_{д} = K_{ср} W_{н}, \quad (2.2)$$

где  $K_{ср}$  – коэффициент сработки;  $W_{н}$  – полезная ёмкость прудов или водохранилищ, в млн. м<sup>3</sup>.

Абсолютные изменения (уменьшения) стока определены по формуле:

$$\Delta y_{ср.год} = y_{ср.год} (1 - \delta). \quad (2.3)$$

Естественный сток вычисляется по выражению:

$$y_{ест} = y_{ср.год.б} + \Delta y_{ср.год}. \quad (2.4)$$

Согласно методическим указаниям, расчеты выполнены для гидрологических створов, расположенных по длине реки Иле начиная с 1970-х годов, то есть с периода оказания влияния Капшагайского водохранилища на сток реки. Полезный объем при этом был принят равным – 6600 млн. м<sup>3</sup>. Для гидрологического поста р. Шарын - уроч. Сарытогай с 1985 года, с введения в эксплуатацию Бестюбинского водохранилища, для р.Шелек – с. Малыбай с 1984 года, с периода построения Бартогайского водохранилища и для реки Курты у подхоза Ленинского моста с 1967, с начала введения в эксплуатацию каскада водохранилищ и оросительных систем на Куртинском водохранилище.

Суммарные интегральные кривые по вышеуказанным гидрологическим постам представлены на рисунке 2.5.

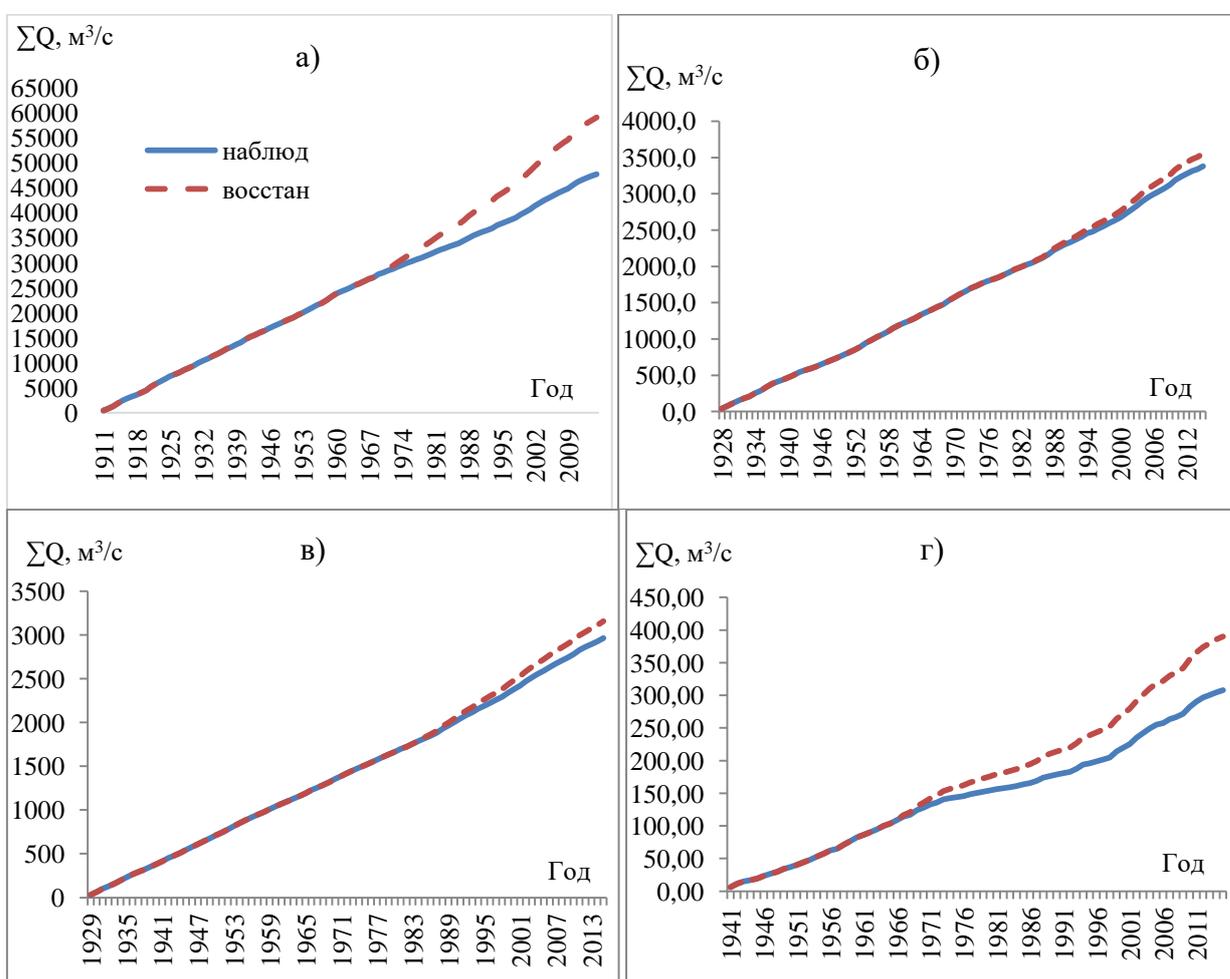


Рисунок 2.5 - Суммарные интегральные кривые рек связи наблюдаемого и восстановленного стока: а) р.Иле – урочище Капшагай, б) р. Шарын – уроч.Сарытогай, в) р. Шелек – с. Малыбай и г) р. Курты - подхоз Ленинский мост

В таблице 2.3 приведены значения нормы годовых расходов рассчитанные с помощью коэффициента снижения, наблюдаемого и восстановленного стока и их процентные отклонения,

Таблица 2.3 – Изменение нормы наблюдаемого и восстановленного годового стока рек с учетом влияния водохранилищ

р. Иле – уроч. Капшагай		р. Шарын – уроч. Сарытогай		р. Шелек – с. Малыбай		р. Курты – Ленинский мост	
1970-2015 (В) гг	555	1985-2015 (В)	8,6	1984-2015 (В)	3,7	1967-2015 (В)	5,18
1970-2015 (Н) гг.	435	1985-2015 (Н)	3,0	1984-2015 (Н)	7,8	1967-2015 (Н)	4,05
$\Delta$ (%)	-120 (-27)	-5,6 (-13,1)		-5,9 (-15,9)		-1,12 (-27,7)	

Оценка значимости антропогенных нарушений гидрологических режимов рек сводилась к анализу хода суммарных интегральных кривых средних годовых расходов воды. Для оценки колебания водности построены разностные интегральные кривые, позволяющие выявить фазы водного режима и при совместном анализе их с суммарными интегральными кривыми выявить изменения в годовом стоке.

Обеспеченные величины годового стока основных рек исследуемой территории определены по кривым обеспеченности стока, построенным по вычисленным значениям нормы и коэффициентов вариации годового стока. Третий параметр стока – коэффициент асимметрии – определён по степени соответствия данных наблюдаемой теоретической кривой обеспеченности.

Анализ данных показал, что наиболее подходящим типом кривой обеспеченности годового стока бассейна является кривая Пирсона 3 типа (рисунок 2.6-2.8 и Приложение Б).

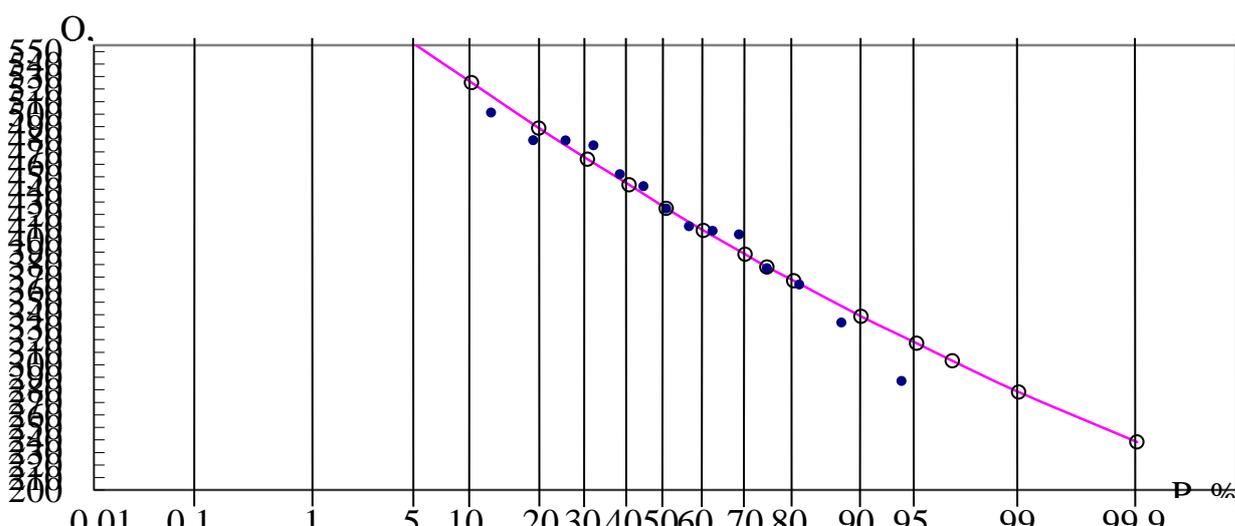


Рисунок 2.6 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 2001-2015 гг. р. Иле – пристань Добын

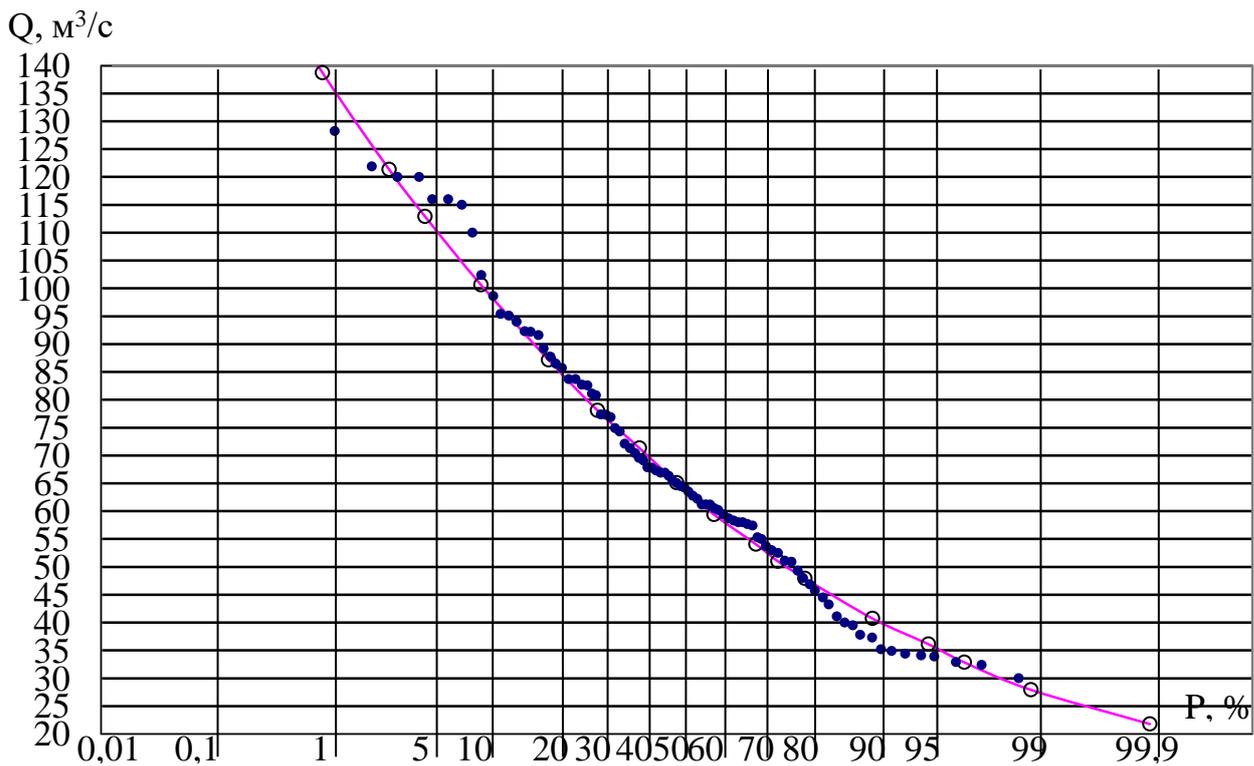


Рисунок 2.7 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1929-2015 гг. р. Каратал - г. Уштобе

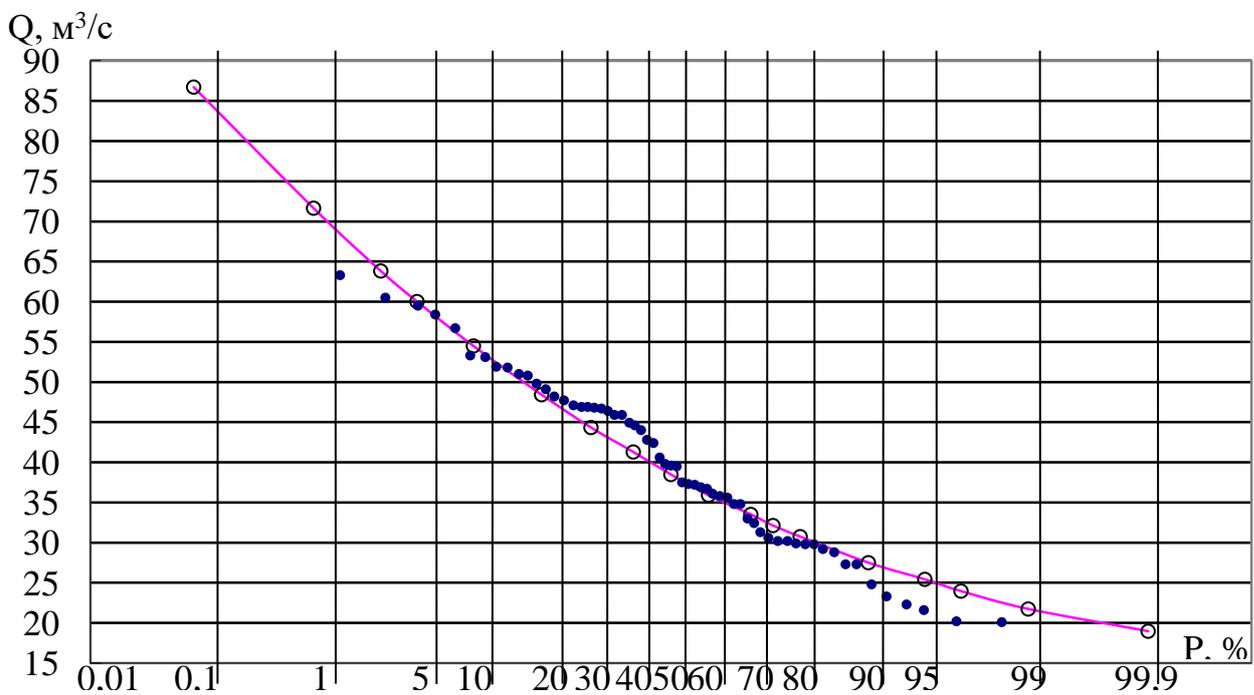


Рисунок 2.8 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1955-2015 гг. р. Коксу - с. Коксу

Параметры кривых обеспеченностей годового стока рек бассейна Иле-Балкаш за разные периоды, ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) приведены в п. 3.3 и 3.4

### 2.3.2 Оценка однородности рядов стока по критериям Фишера и Стьюдента

Оценка однородности выбранных в соответствие с анализом периодов цикличности водности и суммарных интегральных кривых годового стока исследуемых рек, выполнена с помощью рекомендованных и широко используемых в гидрологии параметрических критериев однородности двух выборок статистического ряда Стьюдента (St) и Фишера (F). В нашем случае гипотеза об однородности исследуемых выборок рядов годового стока по признаку нормы (St) и среднего квадратического отклонения (F) находит подтверждение лишь для средних годовых расходов воды реки Иле у пункта ур. Капшагай. Величины годового стока здесь подвержены наибольшему влиянию хозяйственного воздействия и были восстановлены, как отмечалось, с использованием аналогичных значений, наблюдаемых в створе в 164 км выше ГЭС. Остальные, исследуемые расчетные ряды стока рек с относительно естественным водным режимом, характеризуются неоднородностью выборок в соответствии с выделенными климатическими периодами (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Результаты оценки однородности и стационарности средних значений и дисперсий рядов рек Иле-Балкашского бассейна,

№ п/п	Река-пункт	Оценка средних по Стьюденту			Оценка дисперсий по Фишеру		
		t	$t_{\alpha}$	Вывод	F	$F_{\alpha}$	Вывод
1	р. Иле – ур. Капшагай						
	Средний годовой расход воды	1452	1,979	+	1,418	1,628	+
2	р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС						
	Средний годовой расход воды	1,685	2,003	+	2,311	2,116	-
3	р. Шарын – ур. Сарытогай						
	Средний годовой расход воды	3,856	1,983	-	1,883	1,728	-
4	р. Шелек – с. Малыбай						
	Средний годовой расход воды	6,676	1,983	-	1,495	1,728	+

Критерии однородности Стьюдента и Фишера рассчитаны по российской программе StockStat [61]. Результаты анализа однородности выборок рядов в целом подтверждают вывод о значимых изменениях в формировании водности рек региона в среднем с 1990-х годов.

### 3. ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГОДОВОГО СТОКА РЕК ИЛЕ-БАЛКАШСКОГО БАССЕЙНА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

#### 3.1 Анализ исследования влияния метеорологических факторов на сток рек региона

Оценка характеристик годового стока рек требует выделения характерных периодов наблюдения и восстановления значений средних годовых расходов воды, подверженных изменениям за счет хозяйственной деятельности. Их необходимо привести к общему расчетному периоду. При этом кроме антропогенных нагрузок естественный водный режим рек меняется и вследствие климатических изменений. В данной главе рассмотрены количественная оценка характеристик годового стока и анализ изменений температуры воздуха и количества осадков.

В разделе приведены результаты расчетов характеристик годового стока и его изменчивости рек Иле-Балкашского региона в условиях современных климатических изменений. Рассматриваются изменения многолетнего температурного режима и годовых осадков на данной территории по репрезентативным метеостанциям и их влияние на характеристики годового стока рек бассейна. Приведены расчетные показатели годового стока рек, характеризующие водные ресурсы региона.

Для этого в работе рассматривались изменения многолетнего температурного режима и годовых осадков по 14 репрезентативным метеостанциям для разных регионов Иле-Балкашского бассейна, отличающихся по средней высоте местности, отдаленности и их влияние на характеристики годового стока рек бассейна (рис. 3.1). Метеостанции и реки, находящиеся в зоне климатических изменений приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Список метеостанции (МС) и рек, находящихся в их зоне

№ п/п	Название метеостанции	Высота, м	Реки, приуроченные к определенной МС
Алматинская область			
1	Кеген	1845	Шарын, Каскелен,
2	Когалы	1410	Иле, Лепси, Каратал, Коксу
3	Кыргызсай	1943	Киши Алматы
4	Лепси	1012	Лепси, Каратал, Коксу
5	Мынжилкы	3017	Иле, Шелек, Турген, Киши Алматы, У.Алматы (БАО)
6	Нарынкол	1806	Иле, Шелек
7	Ушарал	386	Тентек
8	Шымбулак	2710	Каскелен, Киши Алматы
9	Шелек	606	Шарын, Каскелен
10	Каменское плато	1317	Каскелен
Карагандинская область			
11	Актогай	779	Мойынты, Тоқырауын
Восточно-Казахстанская область			
12	Уржар	489	Аягоз, Емель
13	Бахты	441	
Жамбылская область			
14	Кордай	1141	Курты

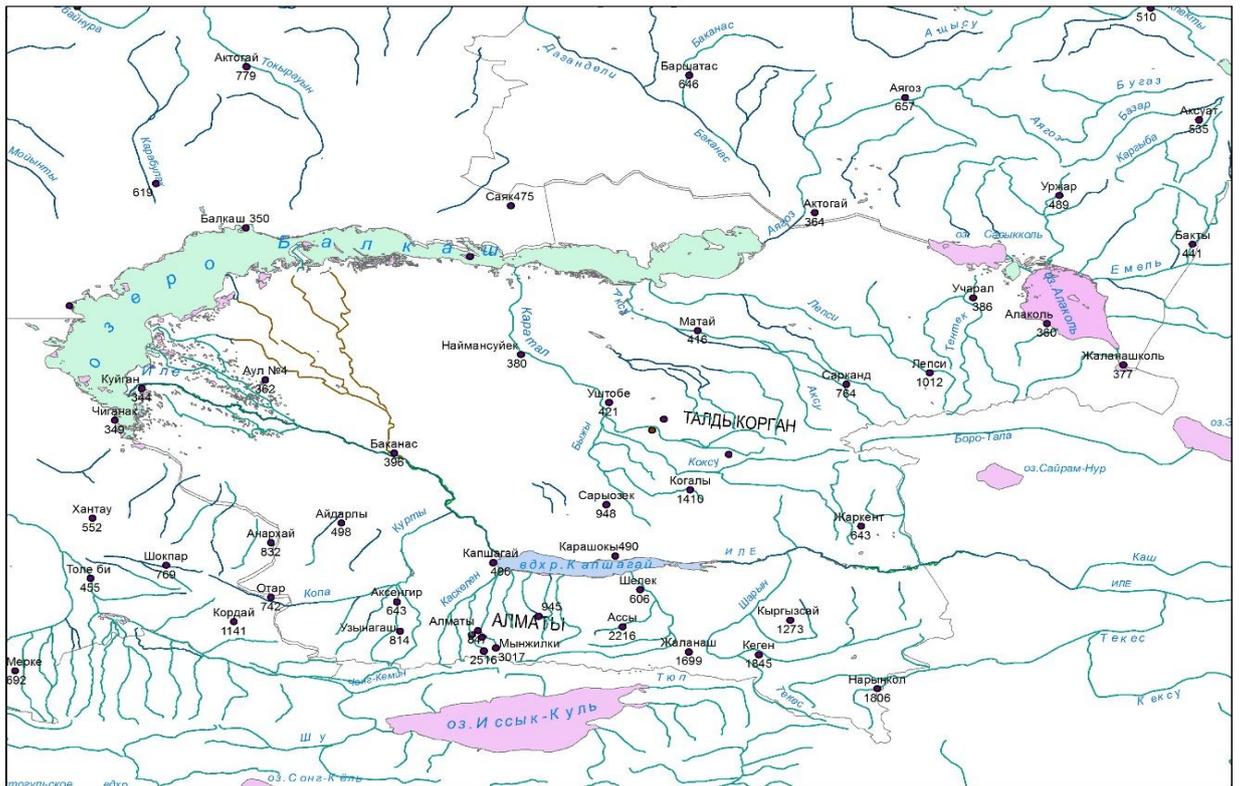


Рисунок 3.1 - Схема расположения метеостанций Иле-Балкашского бассейна

### 3.2 Исследование изменения многолетнего температурного режима и нормы годовых сумм осадков

Несмотря на исключительную научную и практическую важность исследований влияние антропогенных изменений климата на водные ресурсы, работы в этом направлении появились только недавно. Можно отметить исследования М.Г. Гросвальда и В.М. Котлякова [62], посвященные оценке возможных изменений баланса ледников и, следовательно, водности питаемых ими рек, при прогнозируемом антропогенном изменении климата, работы С.Г. Добровольского и Р.К. Клиге [63], П.Я. Гройсман [64], М.И. Будыко [65], И.И. Поляк и Н.А. Сперанской [66-67], Г.А. Плиткина [68], К.Я. Винникова и Н.А. Лемешко [69-70], а также отдельные работы зарубежных авторов по моделированию оценки влияния изменения климата на состояние водного баланса [71-73]. Все они основываются на различных моделях теории климата или эмпирических данных о климатических условиях теплых эпох прошлого и охватывают обширные территории, на которых Иле-Балкашский регион смотрится белым полотном (например, на картах изменения годового стока рек).

Пропуски в наблюдениях по температуре воздуха и количеству осадков были восстановлены методом аналогии. При этом используемые уравнения регрессии приведены в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2 – Алгоритм восстановления пропусков значений средних годовых температур воздуха

Метеостанция (МС)	Период действия, гг.	Метеостанция-аналог	r	Уравнение регрессии	Восстановленный период
Когалы	1928-2015	Жаркент	0.88	$y=0,6271x-1,0808$	1929-31, 33-36,45-46, 51
Бахты	1929-2015		0.83	$y=0,8443x-9,3105$	1930-31,37, 44-48, 50, 97
Лепси	1933-2015		0.91	$y=0,8444x-6, 6626$	1994-95
Ушарал	1933-2015		0.86	$y=0,8531x-1,131$	1934, 38-39, 43, 45, 47
Актогай	1943-2015	Жанарка	0.89	$y=0,1789x-1,0361$	1944-47, 66, 96-97, 2001
Кеген	1948-2015	Когалы	0.87	$y=0,9421x-1,7045$	1959
Кыргызсай	1938-2015	Алматы	0.92	$y=0,7748x-6,115$	1940, 42-49, 61
Мынжилкы	1937-2015		0.87	$y=0,6287x-7,5939$	1945, 66
Нарынкол	1948-2015		0.89	$y=0,7245x-3,8185$	1991
Кордай	1940-2015		0.94	$y=0,9621x-5,3071$	1948

Как видно из таблицы 3.2 теснота связи температуры воздуха по соседним метеостанциям колеблется от  $r = 0.63$  по метеостанции Актогай и метеостанции-аналогу Бесоба и до  $r = 0.94$  по метеостанции Кордай и метеостанции-аналогу Алматы.

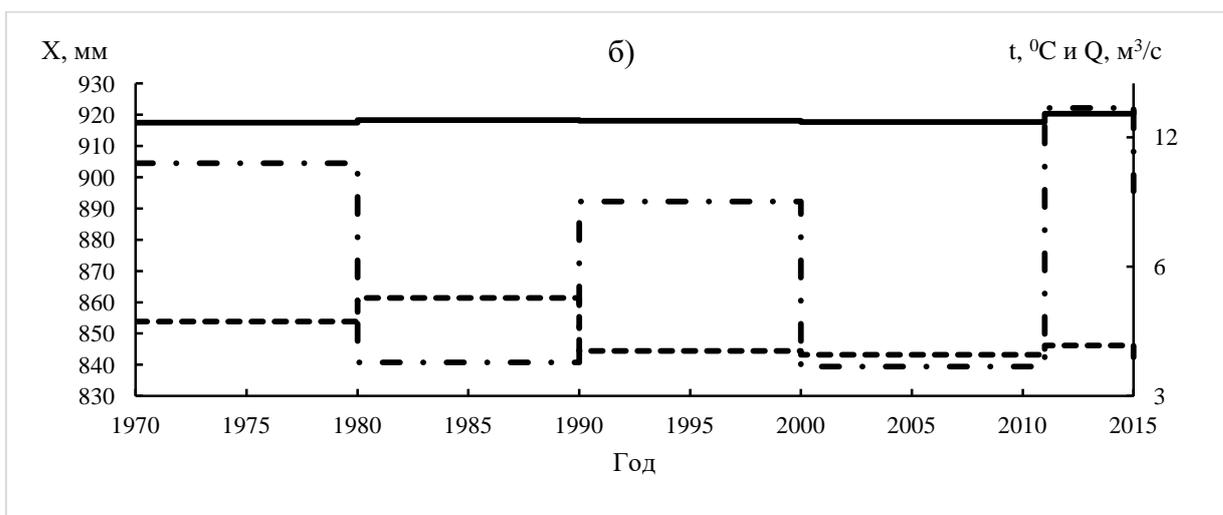
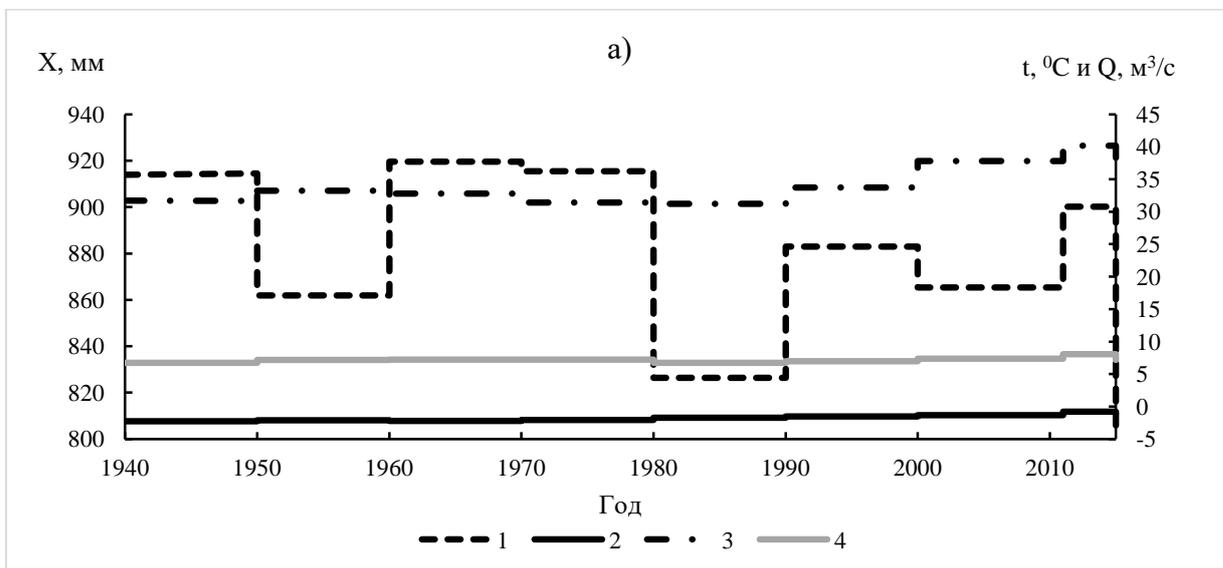
Таблица 3.3 – Алгоритм восстановления пропусков величин годовых сумм осадков

Метеостанция (МС)	Период действия, гг.	Метеостанция-аналог	r	Уравнение регрессии	Восстановленный период
Когалы	1928-2015	Алматы	0.73	$y=0,6644x + 92.908$	1929-31, 33-35, 45-46, 51
Кыргызсай	1938-2015		0.76	$y=0,5472x + 45.895$	1946-47
Бахты	1932-2015	Уржар	0.72	$y=0,4351x + 88.436$	1944, 97
Лепси	1933-2015	Сарканд	0.90	$y=1.1272x + 139.15$	1937, 94-95
Ушарал	1933-2015	Лепси	0.79	$y=0,446x - 11.834$	1934, 38-39, 43, 45, 47
Актогай	1941-2015	Бесоба	0.63	$y=0,6526x + 53.726$	1944-47, 66, 96-97, 2001
Кеген	1948-2015	Кыргызсай	0.70	$y=0,5316x + 181.84$	1959
Мынжилкы	1937-2015	У.Алматы	0.88	$y=0,8039x + 208.45$	1945, 66
Нарынкол	1948-2015	Аксенгер	0.73	$y=0,622x + 156$	1991
Кулан	1934-2015		0.72	$y=0,5857x + 127.92$	2005-2006, 2008, 2012
Кордай	1940-2015	Кулан	0.71	$y=1.0492x + 140.98$	2005-2007, 2014
Уржар	1936-2015	Бахты	0.70	$y=1.152x + 129.76$	1938, 42, 46, 2007

Коэффициенты корреляции по количеству осадков по данным постов таблицы 3.3 колеблются от  $0,63$  по метеостанциям Актогай – Бесоба и  $0,90$  по метеостанциям Лепси-Сарканд.

Анализ многолетних колебаний средней годовой температуры воздуха и количества осадков по данным указанных метеостанций (таблица 3.3) показывает: на высотах более 2500 м по МС Мынжилки отмечаются следующие тенденции. Средняя годовая температура воздуха с конца 30-х годов прошлого столетия, несмотря на ее значительную изменчивость от года к году, в среднем за десятилетия растет. Наиболее интенсивный рост годовых температур на данной высоте начался с 1975 года. Количество осадков при этом, в среднем, с 1937 г. по 1960 г. составило 895 мм в год, достигнув максимальных значений за десятилетия 1951-1960 гг. 920 мм. В последующем количество осадков здесь в целом снижается, показав за период с 1971 по 1980 годы в среднем 826 мм, а с 2011 по 2015 годы 806 мм.

На рисунке 3.2 приведены некоторые характерные графики изменений рассматриваемых метеорологических показателей и характеристик годового стока рек (рисунок 3.3).



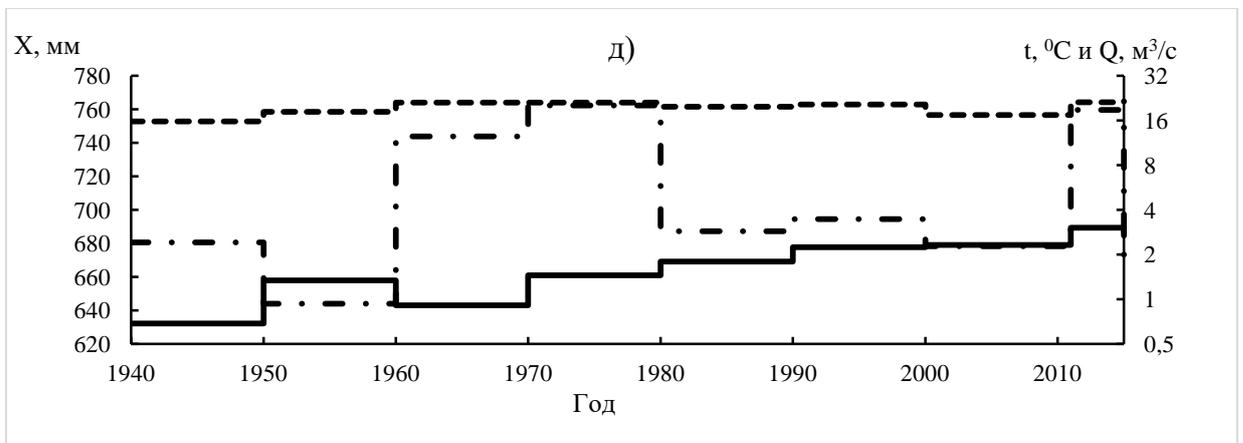
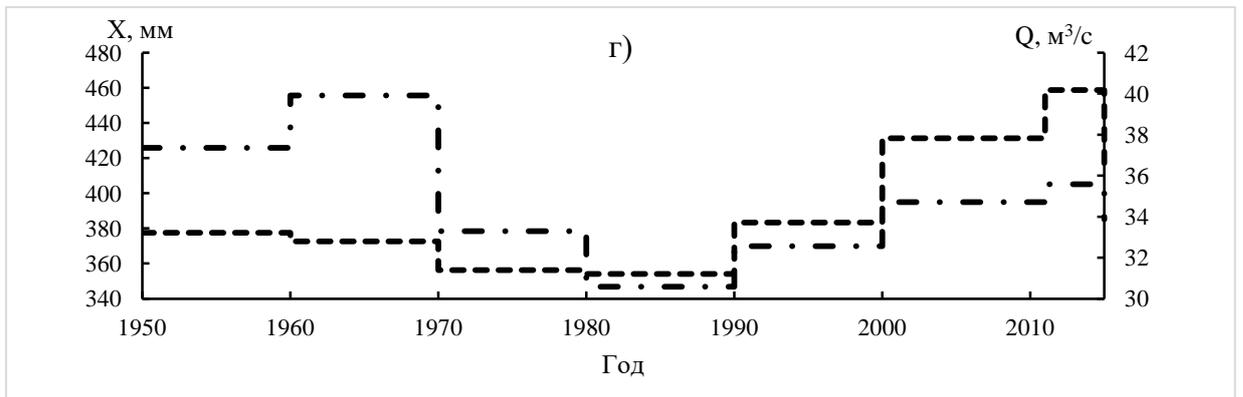
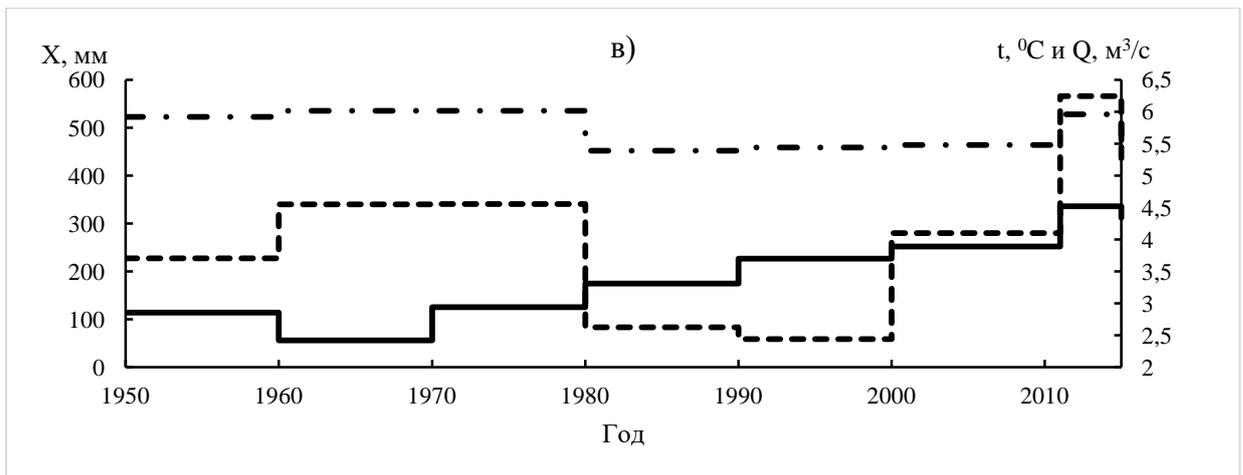


Рисунок 3.2 - Средние многолетние температуры воздуха (а), количество осадков (б) и годовой сток рек (в) по десятилетиям: а) 1 – количество осадков, 2 – температура воздуха по МС Мынжилкы, 3 – средние годовые расходы воды по р. Шелек – с. Малыбай и 4 - р.Турген – с. Таутурген; б) 1– количество осадков, 2 – температура воздуха по МС Каменское плато и 3 – средние годовые расходы воды по р. Каскелен – г. Каскелен; в) 1 – количество осадков, 2 – температура воздуха по МС Кордай и 3 – средние годовые расходы воды по р. Курты – Лениский мост; г) 1 – количество осадков по МС Нарынкол и 3 – средние годовые расходы воды по р. Шелек – с. Малыбай; д) 1 – количество осадков, 2 – температура воздуха по МС Лепси и 3 – средние годовые расходы воды по р. Лепси – а. Лепси

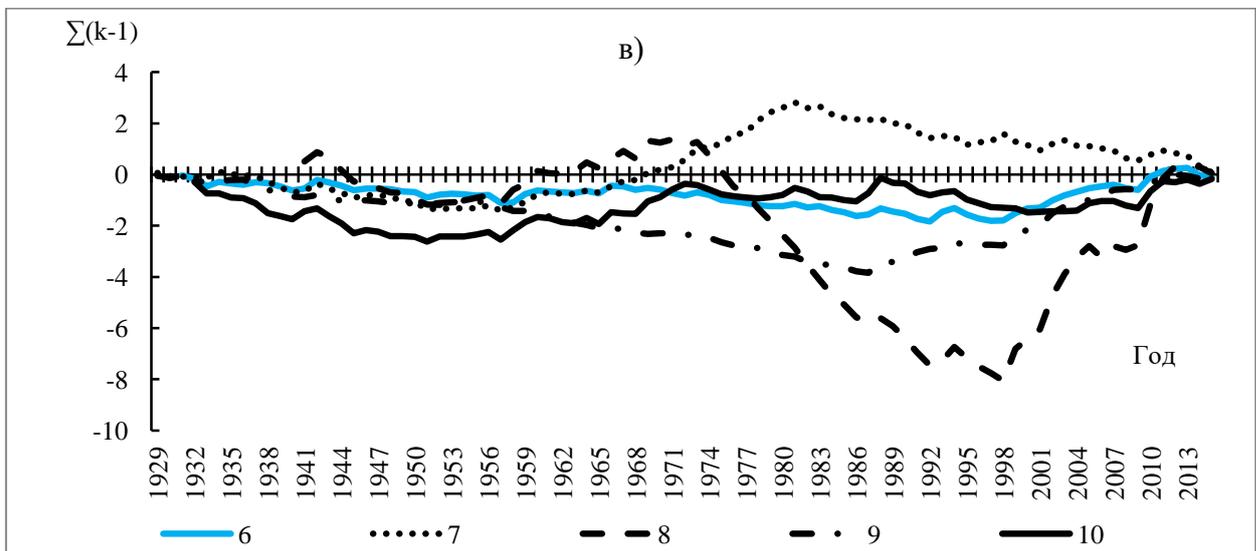
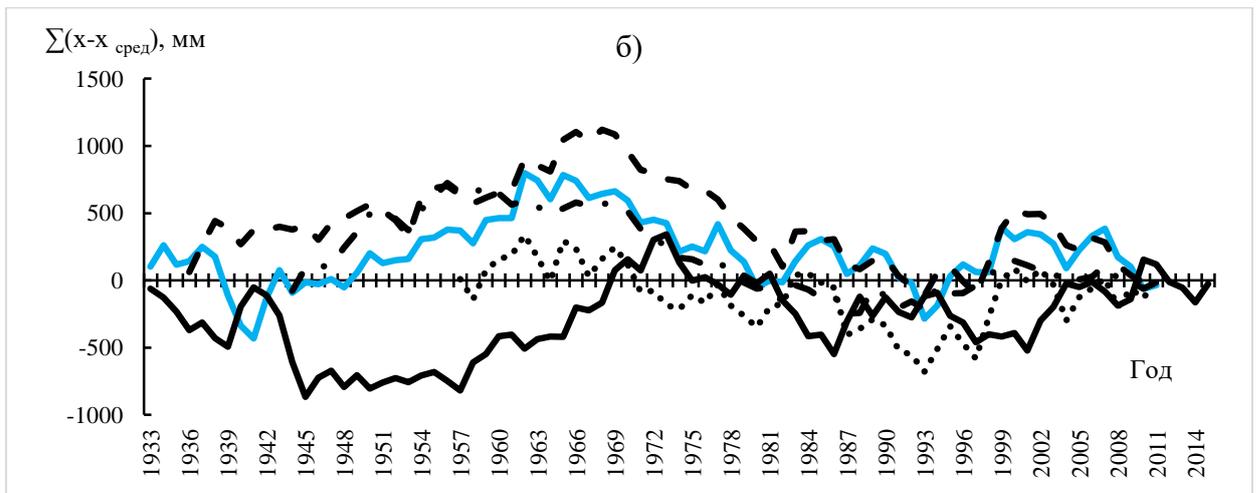
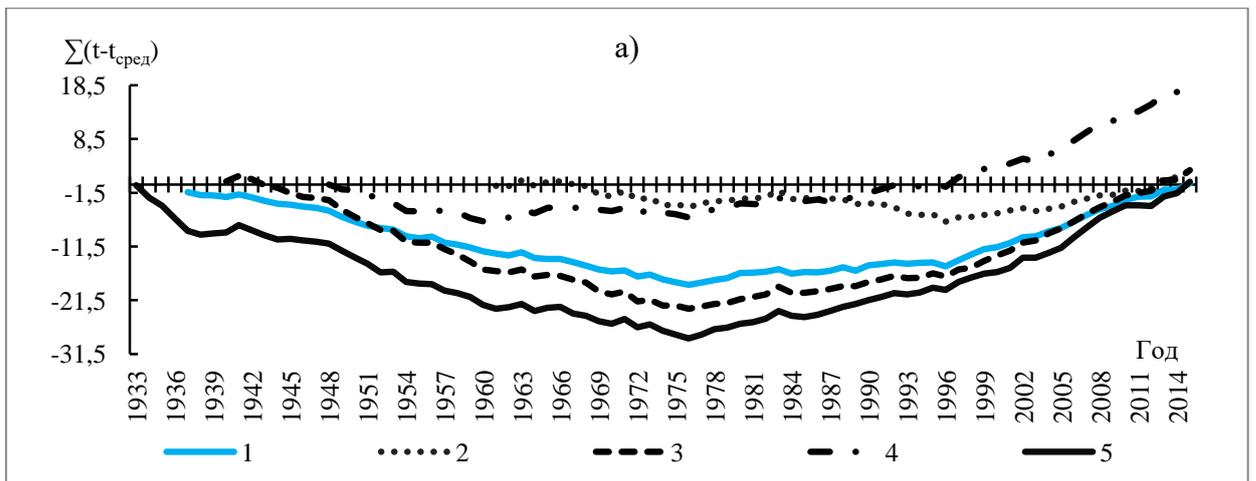


Рисунок 3.3 - Разностно-интегральные кривые средних годовых температур воздуха (а), количества осадков (б): 1 – МС Мынжилки, 2 – МС Каменское плато, 3 – МС Кордай, 4 – МС Нарынкол, 5 – МС Лепси и годового стока рек (в): 6 – р. Турген – с. Таутурген, 7 – р. Каскелен – г. Каскелен, 8 – р. Курты – Ленинский мост, 9 – р. Шелек – с. Малыбай, 10 – р. Лепси – а. Лепси

Как видно, изменения средних величин осадков и годового стока рек Шелек и Турген за десятилетия вполне согласуются. При этом очевидно, что процессы формирования стока в горах связаны и с интенсивным таянием ледников с увеличением температуры воздуха.

Для Илейского Алатау по данным метеостанций, расположенным на высотах ниже 2500 м до 500 м (Каменское плато, Кыргызсай, Кеген, Нарынкол и Кордай) характерны следующие периоды, отражающие длительные тенденции в изменениях температур и осадков. Так, по данным МС Каменское плато, рост средних годовых температур воздуха к середине 70-х годов обусловил увеличение годового стока р. Каскелен. В районе Кордайского перевала (МС Кордай) средняя годовая температура воздуха в 70-е годы превысила  $3^{\circ}\text{C}$ , а в настоящее время составляет  $3,6^{\circ}\text{C}$ . При этом среднее количество осадков за период с 1940 г по 1970 г находилось в пределах 531 мм, а в следующие десятилетия до 2000 г. около 458 мм в год, что отражается и на характеристиках стока р. Курты. Сходные черты многолетнего температурного режима и количества осадков наблюдаются и по метеостанциям Кеген и Кыргызсай. При значительном росте средней годовой температуры с 50-х – 60-х годов до 2010 г., количество осадков с 70-х годов до 2000 года находится в пределах 400 мм. Показатели по МС Нарынкол, которая расположена восточнее, по характеру колебания годовых температур и годовых осадков больше походят на режим данных характеристик МС Каменское плато. Значения количества осадков на восточной окраине Илейского Алатау сравнительно меньше, так как влагонесущие воздушные массы здесь уже обеднены и составляют за десять лет с 1971 по 1980 г. в среднем 347 мм – самый низкий показатель с 1950-х годов. В последующем данная величина возросла в среднем до 370-405 мм в год.

Устойчивое повышение среднегодовых температур воздуха по данным МС Лепси и Когалы началось с 50-х – 60-х годов прошлого века. В изменениях количества средних годовых осадков за десятилетия и средних многолетних расходов воды р. Лепси заметны повышения данных характеристик, которые приходились на 50-е – 70-е годы и 2000 - 2010-е годы. При этом на разностно-интегральных кривых средних годовых температур воздуха прослеживается две продолжительные фазы - спада до середины 70-х годов и подъема сумм аномалий (рисунок 3.3).

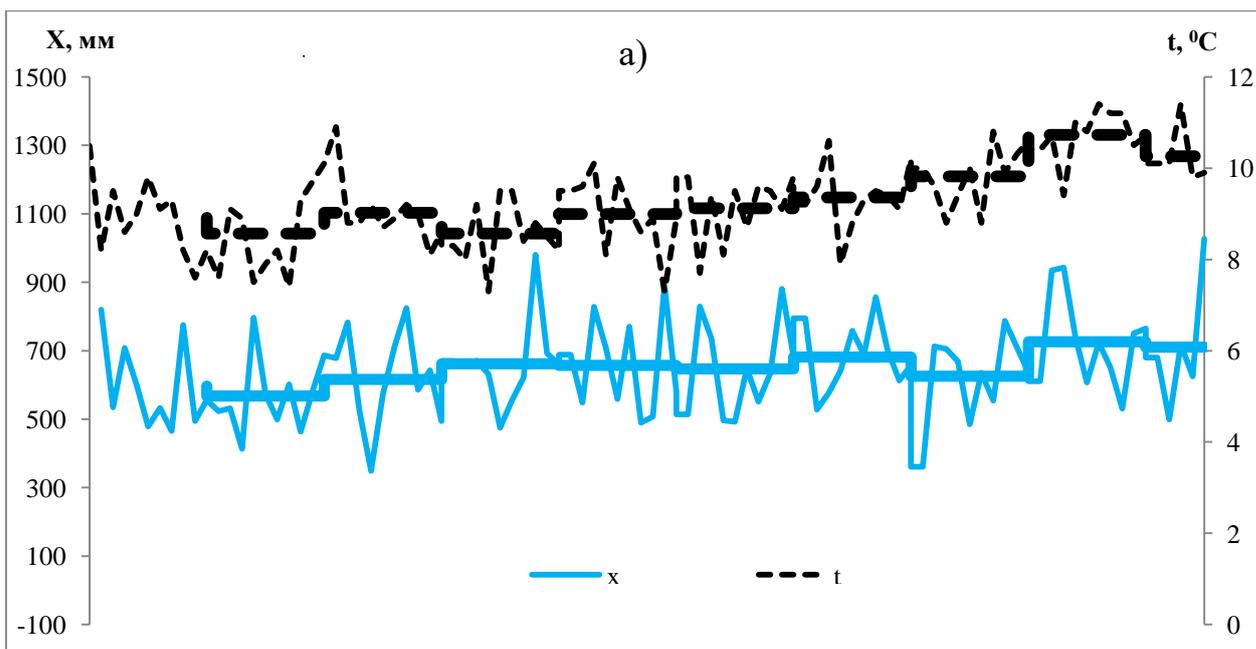
В изменениях климатических показателей в восточных территориях региона на высотах ниже – 500 м (МС Уржар, Ушарал и Бахты) прослеживается тенденция заметных увеличений температур воздуха с середины 70-х годов. При этом с ростом средних годовых температур воздуха сумма годовых осадков так же растет, что отражается и на величине годового стока реки Аягоз.

Климатические условия современного периода северо-западного Прибалкашья по данным МС Актогай отмечаются ростом средних годовых температур воздуха с 1940-х годов до 2010 года, с заметными снижениями их

средних величин за десятилетия 1971-80 гг. и 1991-2000 гг. Сумма годовых осадков в среднем уменьшилась с 266 мм в 1951 – 60 г. до 138 мм в 2011-2015 гг. Средние многолетние расходы воды реки Мойынты за те же десятилетия уменьшились с 0,32 м<sup>3</sup>/с в 1951 – 60 гг. до 0,06 м<sup>3</sup>/с в 2001-2010 гг. [74].

Более подробный анализ изменения метеорологических условий, наблюдающихся в регионе по данным метеорологических станций с наиболее длительными периодами наблюдений позволяет оценивать перспективы дальнейших колебаний метеорологических характеристик и их влияние на водный режим рек бассейна.

Как известно, инструментальные наблюдения за элементами состояния климата здесь начались в г. Алматы в конце девятнадцатого века, были не регулярными, а метеостанция меняла свое место положение. С этого времени средние годовые температуры воздуха в целом сохраняют тенденцию роста при значительных колебаниях их значений в отдельные периоды и годы. На рисунке 3.4а показаны динамика изменения средних годовых температур воздуха и количества годовых сумм осадков, а также их значения, осредненные по десятилетиям с 1920 года.



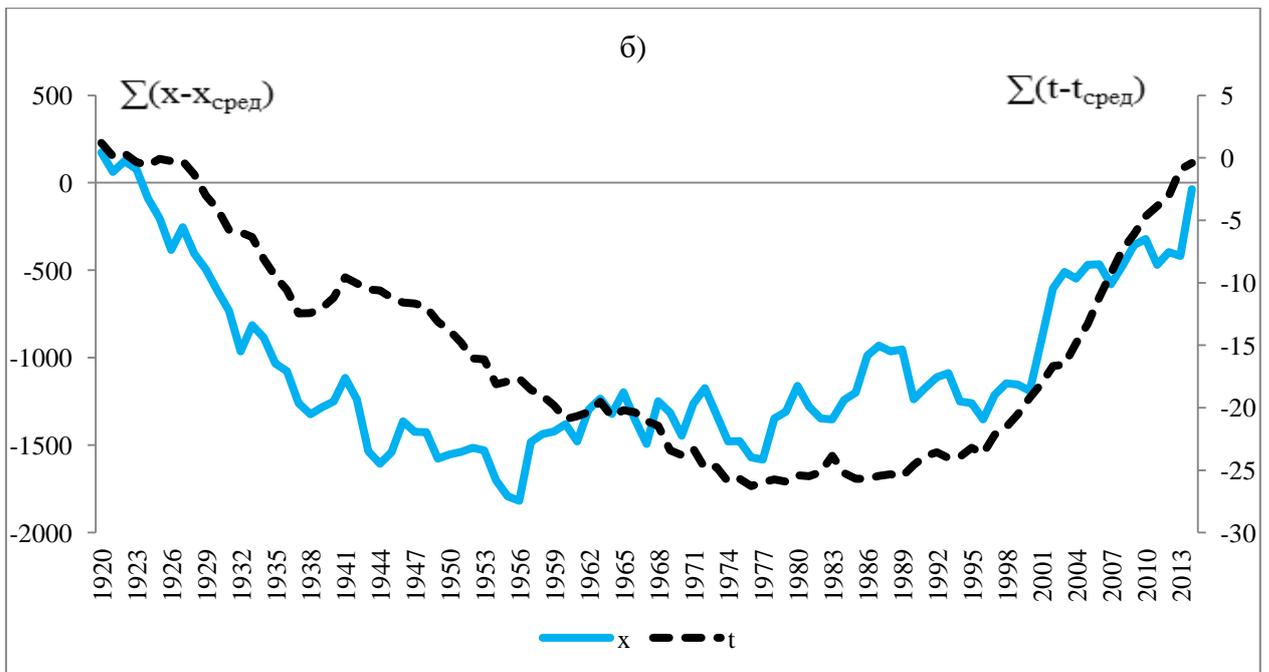


Рисунок 3.4 - Динамика изменения средних годовых температур воздуха (t) и количества годовых сумм осадков (x), и их значения, осредненные по десятилетиям (а); а также суммы аномалий средних годовых температур воздуха и количества осадков (б) по МС Алматы

Известно, что средняя годовая температура воздуха в г. Алматы за период с 1881 по 1911 гг. в среднем составляла порядка  $7,2^{\circ}\text{C}$ , а в 1911-1940 гг. поднялась до  $8,5^{\circ}\text{C}$ . Наиболее интенсивный рост средних годовых температур воздуха наблюдается с начала 70-х годов прошлого столетия, к 2010-2015 гг. их значения увеличивались в среднем до  $10,7^{\circ}\text{C}$ . Суммы годовых осадков в среднем за десятилетия рассматриваемого периода так же увеличиваются, с 580-600 мм в год в 20-х – 50-х годах прошлого столетия до 740 мм в год к 2010-2015 годам. Анализ сумм аномалий средних годовых температур воздуха и количества осадков (рисунок 3.4б) позволяет также констатировать, что с начала 1960-х годов заметен значительный рост количества годовых осадков, а средние годовые температуры воздуха стали устойчиво повышаться с 1970-х годов.

Длительные метеорологические наблюдения - с 1928 года, в бассейне проводятся также на метеостанции Когалы, расположенной на высоте 1410 м в Жетису Алатау. На рисунке 3.5 показаны значения рассматриваемых характеристик в данном пункте.

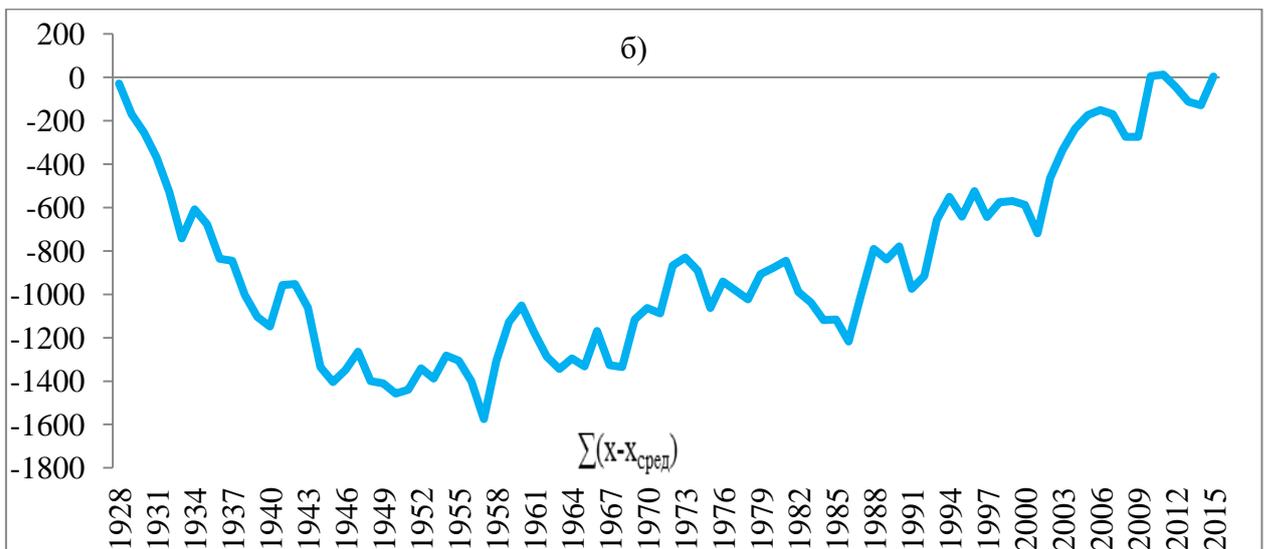
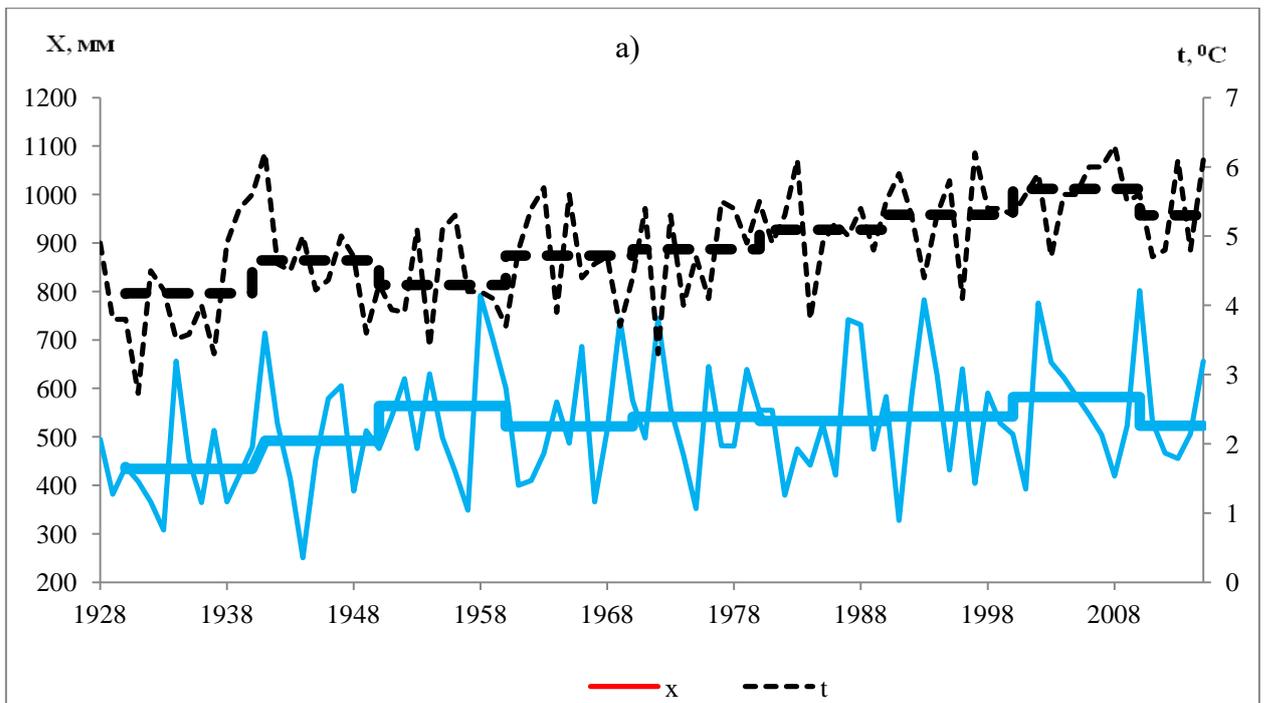


Рисунок 3.5 - Динамика изменения средних годовых температур воздуха (t) и количества годовых сумм осадков (x), и их значения, осредненные по десятилетиям (а); а также суммы аномалий количества осадков (б) по МС Когалы

Как видно, режим многолетних значений средних годовых температур воздуха здесь так же отмечен повышением величин в 70-е годы, а заметное увеличение количества годовых осадков началось с конца 50-х годов. Значения норм данных характеристик изменились соответственно с  $4.4^{\circ}\text{C}$  в 1928-1976 гг. до  $5.35^{\circ}\text{C}$  в 1977-2015 гг., а количества осадков с 476 мм в 1928-1955 гг. до 545 мм в 1956-2015 гг.

По данным метеостанций, расположенным в нижних частях рассматриваемого бассейна, например, МС Ушарал и МС Бахты,

находящихся на востоке региона соответственно на высотах 386 м и 441 м в среднем относительно устойчивый рост средних годовых температур воздуха наблюдается также с начала 70-х годов (рисунок 3.6). Их величины здесь в среднем изменились с  $-1,9^{\circ}\text{C}$  в 1933-1970 гг. до  $-0,8^{\circ}\text{C}$  в 1970-2000 гг. по данным МС Бахты (рисунок 3.7) и с  $6,4^{\circ}\text{C}$  до  $7,5^{\circ}\text{C}$  за те же периоды по данным МС Ушарал. Показатели изменений количества годовых осадков за данный многолетний период хотя и имеют тенденцию к росту их значений с 60-х годов, однако отмечается снижение величин осадков в период с 70-х по 90-е годы.

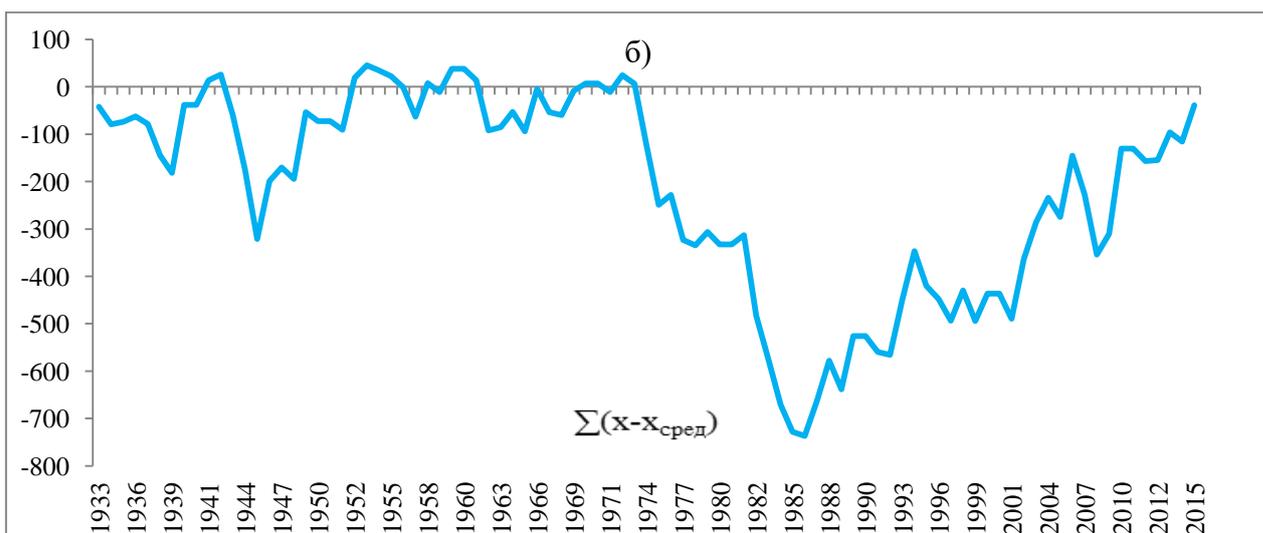
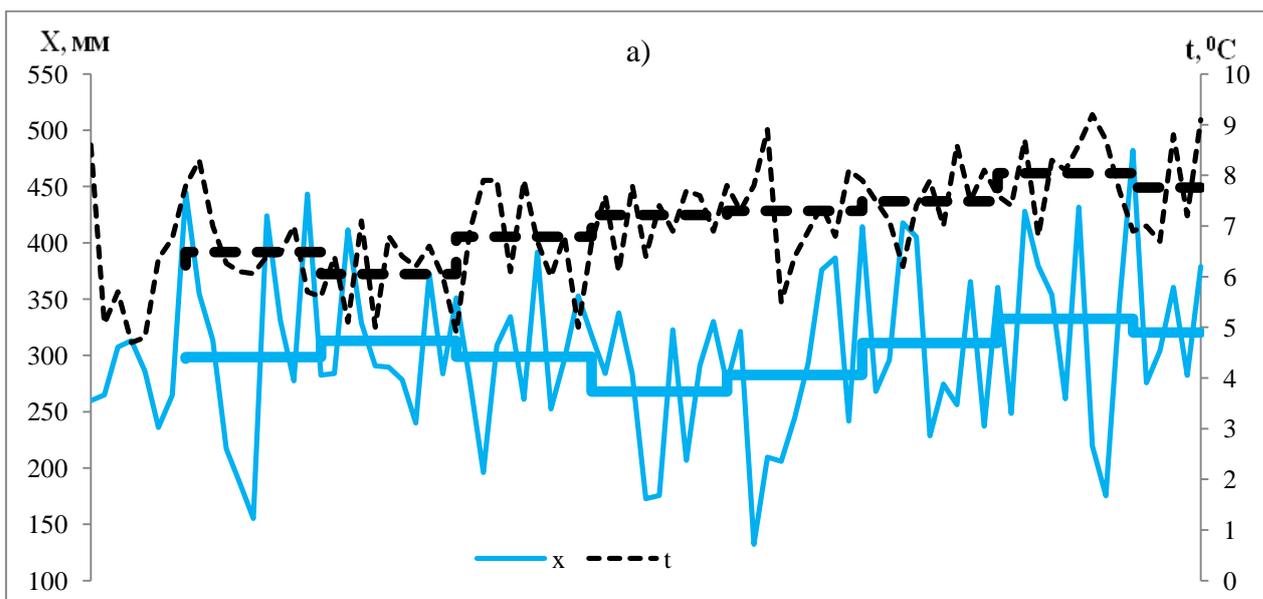


Рисунок 3.6 - Динамика изменения средних годовых температур воздуха (t) и количества годовых сумм осадков (x), и их значения, осредненные по десятилетиям (а); а также суммы аномалий количества осадков (б) по МС Ушарал

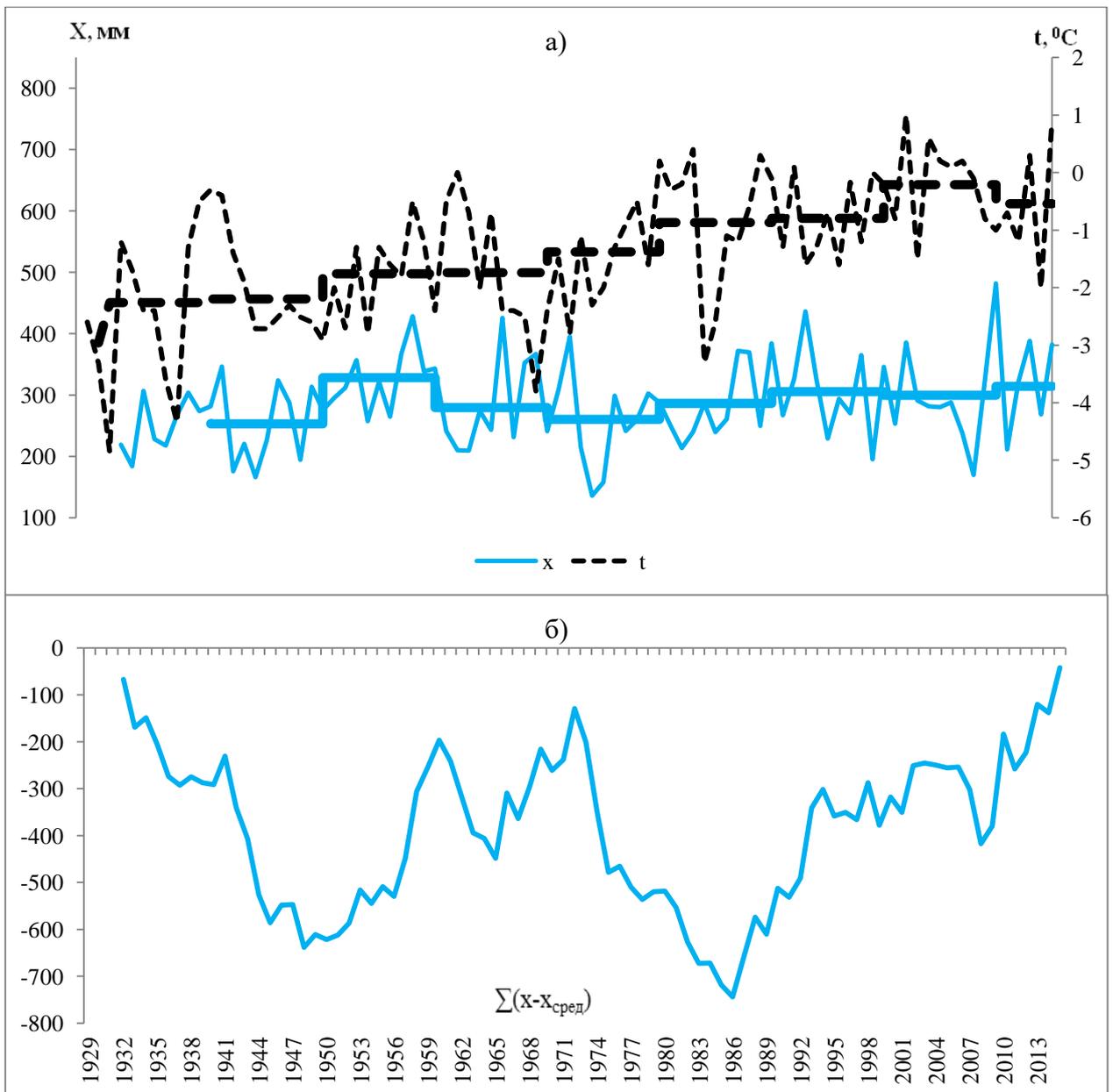


Рисунок 3.7 - Динамика изменения средних годовых температур воздуха ( $t$ ) и количества годовых сумм осадков ( $x$ ), и их значения, осредненные по десятилетиям (а); а также суммы аномалий количества осадков (б) МС Бахты

Проанализированы изменения многолетних колебаний температуры воздуха и количества осадков осредненные по десятилетиям, по высотным зонам. Выполнены исследования позволяющие оценить влияние на водный режим рек бассейна колебания метеорологических факторов.

В последнее время появился и ряд собственно гидрологических работ [75-80] по слабо изученному вопросу исследования климатических и антропогенных изменений стока рек различных регионов с учетом нестационарности процесса, где показано реальное существующие относительно устойчивых тенденций изменения в стоковых рядах. С различными знаками за те же или иные интервалы времени. Кроме важного

самостоятельного значения эти работы подтверждают реальность существования тенденций изменения климата. Но ни в одной из них не рассматривались реки Иле-Балкашского региона.

Количественной и качественной характеристикой тенденции приняты тренды. Тренд описывает фактическую усредненную для периода тенденцию изучаемого процесса во времени [81]. Методика исследования по трендам включает в себя: проверку гипотез об их существовании, выравнивание (сглаживание) исследуемого динамического ряда, расчет и анализ трендов. В гидрологических расчетах наибольшее распространение получило испытание на тренд, рекомендуемое Всемирной Метеорологической организацией (ВМО) [82].

Обычно при испытании уравнения регрессии ограничивается следующими условиями: а) число совместных лет наблюдений за переменными должно быть более 10, б) коэффициент множественной корреляции больше 0,7, в) отношение каждого из элементов регрессии к его средней квадратической ошибке должно быть равным 2 или более.

Примеры расчета по описанной методике приводятся в работах [58, 83-93].

Изменения климатических условий вносят существенные коррективы в водный режим поверхностного стока. В частности, в зоне формирования стока казахстанской территории бассейна реки Иле, расположенной в пределах горных систем, современные тренды климатических показателей меняют стоковые характеристики рек. Анализ динамики величин средних годовых температур воздуха и годовых сумм осадков по данным метеорологических станций, находящихся на разных высотах, в целом позволяет выявить закономерности и тенденции изменений величин поверхностного стока на стокообразующих площадях водосбора. В работе приведены выводы о значимых изменениях метеорологических показателей и выявлены периоды относительно устойчивого состояния их средних многолетних значений – норм. В аридных зонах годовой сток не имеет однозначных связей с количеством осадков, однако обусловлен временной и пространственной увлажненностью территорий и является результатом влияния теплосбалансовых и воднобалансовых факторов. По выделенным климатическим периодам и цикличности водного режима рек региона рассчитаны характеристики годового стока основных рек Иле-Балкашского бассейна. Установлено, что на данной территории наблюдается достаточно значимый рост годовых сумм осадков в среднем с начала 1990-х годов, что вызвало интенсивное увеличение средних годовых расходов воды рассматриваемых рек. Обозначены возможные последствия и перспективы решения водных проблем и вопросов водной безопасности бассейна р. Иле.

Увеличение средних годовых температур воздуха, характерное для всей Земли, отмечается и в бассейне реки Иле. В таблице 3.4 даны изменения средних годовых величин температуры воздуха за многолетние периоды по метеостанциям (МС), расположенным на разных высотах бассейна реки

Таблица 3.4 – Средние годовые температуры воздуха за многолетние периоды ( $t_{cp}$ , °C)

МС	Высотные отметки, м абс. [114]	Период осреднения (годы)	$t_{cp}$ , °C	Повышение $\Delta t$ , °C
Алматы	847	1920-1969	8,81	0,98
		1970-2015	9,79	
Когалы (Кугалы)	1410	1928-1969	4,44	0,77
		1970-2015	5,21	
Кыргызсай (Подгорное)	1273	1938-1969	13,1	0,60
		1970-2015	13,7	
Кеген	1845	1948-1969	2,19	1,17
		1970-2015	3,36	
Мынжилки	3017	1937-1969	-2,15	0,83
		1970-2015	-1,32	
Нарынкол	1806	1948-1969	10,2	0,70
		1970-2015	10,9	
Ассы	2216	1952-1969	0,00	0,32
		1970-2015	0,32	
Шелек (Чилик)	606	1934-1969	9,15	1,25
		1970-2015	10,4	
Каменское плато (Алматы)	1317	1961-1969	8,50	0,45
		1970-2015	8,95	
Жаланап	1699	1960-1969	5,45	0,34
		1970-2015	5,79	

Тенденция роста средних годовых температур воздуха отчетливо прослеживается по суммарным интегральным кривым данной характеристики (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 - Суммарные интегральные кривые средних годовых температур воздуха по метеостанциям Иле Алатау

На фоне глобального потепления в исследуемом регионе наблюдается повышение средней годовой температуры воздуха с начала 1970-х годов прошлого столетия. Скорость изменения температуры воздуха в среднем составила от  $0,11^{\circ}\text{C}/10$  лет до  $0,32^{\circ}\text{C}/10$  лет. Рост температуры воздуха влечет за собой изменение теплобалансовых и воднобалансовых показателей.

Большой интерес представляет анализ динамики годовых сумм осадков в бассейне реки Иле. Количество осадков, фиксируемых в конкретном пункте наблюдения, зависит от многих факторов. Это и общие циркуляционные процессы, интенсивность циклонической деятельности, рельеф местности, влияющий на направление перемещения влаги и процессы осадкообразования. В связи с этим, в отличие от повышения температуры воздуха, которое отмечается повсеместно, количество осадков в многолетнем режиме изменяется неоднозначно. Как видно, исходя из тенденции изменения суммарных интегральных кривых годовых сумм осадков, на примере данных МС - Алматы, Когалы, Шелек, величина нормы данной характеристики в регионе, начиная с 1990-х годов, за последние годы возросла (рисунок 3.9, таблица 3.5).

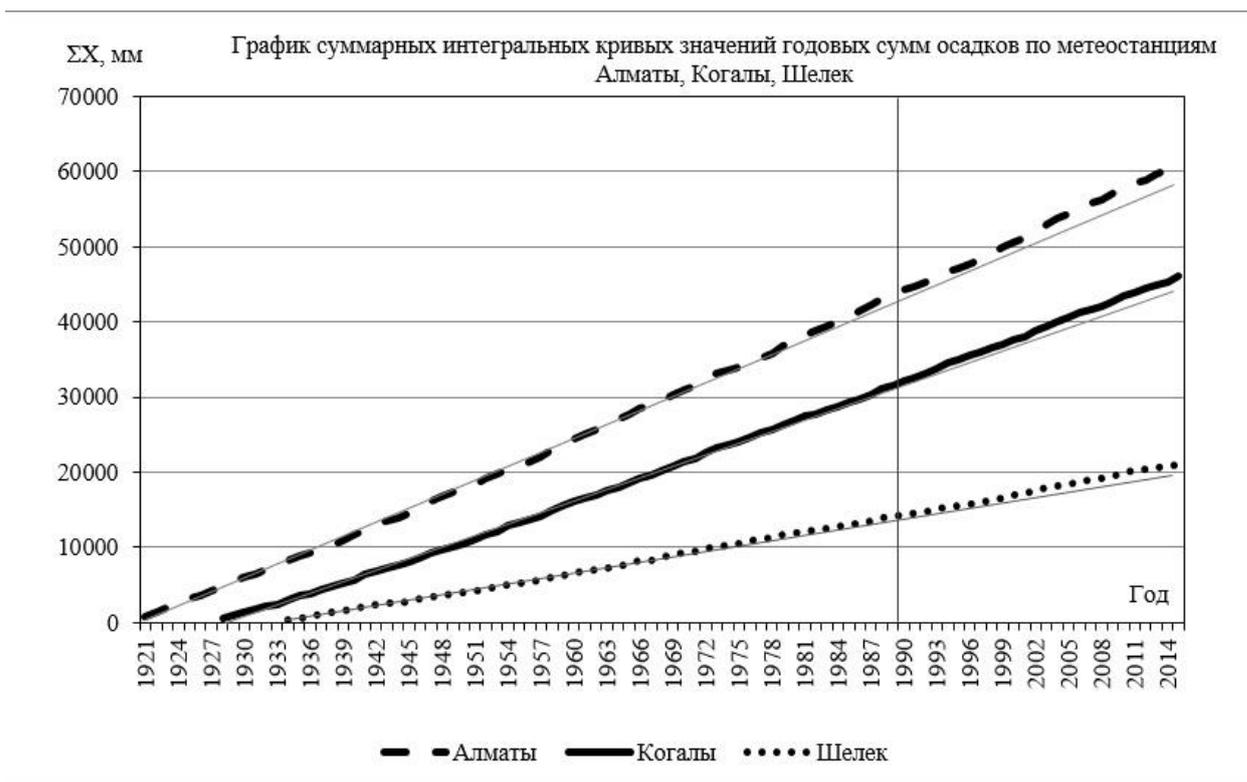


Рисунок 3.9 - Суммарные интегральные кривые количества годовых сумм осадков по МС Иле Алатау

Таблица 3.5 - Средние годовые суммы осадков за многолетние периоды ( $X_{\text{ср}}$ , мм)

МС	Период осреднения (годы)	$X_{\text{ср}}$ , мм	Увеличение	
			$\Delta X$ , мм	%
а) по данным МС, расположенным на высотах ниже 1500 м.				
Алматы	1921-1989	632	50	8
	1990-2015	682		
Когалы (Кугалы)	1928-1989	509	44	8
	1990-2015	555		
Кыргызсай (Подгорное)	1936-1989	406	30	7
	1990-2015	436		
Шелек (Чилик)	1934-1989	252	13	5
	1990-2015	265		
Каменское плато (Алматы)	1961-1989	880	2	0,2
	1990-2015	882		
б) по данным МС, расположенным на высотах выше 1500 м.				
Кеген	1948-1989	398	7	2
	1990-2015	405		
Нарынкол	1948-1989	393	6	2
	1990-2015	397		
Жаланап	1960-1989	520	уменьшение	
	1990-2015	516	4	0,7
Ассы	1952-1989	433	62	14
	1990-2015	371		
Мынжылки	1937-1989	885	19	2
	1990-2015	866		

Тенденция увеличения количества годовых осадков наблюдается не по всем рассматриваемым МС. Так, на высотах выше 2000 м – МС Ассы и Мынжылки, среднее многолетнее количество годовых осадков в настоящее время снизилось на 14% и 2% соответственно. При этом уменьшение величины годовых сумм осадков отмечается, начиная с 90-х годов прошлого столетия.

В отличие от повышения температуры воздуха, которое отмечается повсеместно, количество осадков в многолетнем режиме изменяется неоднозначно. Как видно, исходя из тенденции изменения суммарных интегральных кривых годовых сумм осадков, на примере данных МС - Алматы, Когалы, Шелек, величина нормы данной характеристики в регионе, начиная с 1990-х годов, за последние годы возросла. Скорость их изменения составила от 3,7 мм/10 лет до 13,7 мм/10 лет.

### 3.3 Анализ гидрометеорологических условий формирования поверхностного стока за многолетние периоды основных рек региона.

Оценка влияния хозяйственной деятельности на водный режим рек бассейна выполнена с помощью статистического анализа многолетних характеристик стока и метеорологических показателей – температурного режима и режима осадков по данным метеостанций, расположенных в различных регионах рассматриваемой территории. Анализ суммарных интегральных кривых годового стока с учетом хозяйственной деятельности позволил выявить значимые изменения в водном режиме и ее влияние на

характеристики средних годовых расходов воды рек рассматриваемого региона. Восстановление пропусков в наблюдениях, реконструкция рядов годового стока и восстановление естественно-расчетных значений средних годовых расходов воды производились по связям данных величин, наблюдавшихся в пунктах аналогов. В качестве пунктов аналогов, как правило использовались гидрологические посты, расположенные на той же реке, а коэффициенты корреляции таких связей составляли от 0,70 до 0,93. Результаты оценки влияния хозяйственной деятельности на годовой сток рек региона приведены в пункте 2.2.1 исследовательской работы.

Водный режим рек обусловлен метеорологическими показателями и характеристиками подстилающей поверхности земли. Климатические изменения и хозяйственная деятельность приводят к существенным изменениям стока рек. В работе приводятся расчеты годового стока наиболее крупных рек Иле – Балкашского региона в условиях изменяющихся климатических характеристик - температуры воздуха и количества осадков. При этом учитывалось современное состояние хозяйственного использования поверхностного стока региона.

Исходя из данного анализа современных гидрометеорологических условий региона в качестве расчетного периода для оценки изменения характеристик стока рек и водных ресурсов региона в целом с повышением температуры воздуха, выбраны годы с 1975 по 2015 гг. Расчетные параметры кривых обеспеченностей характеристик годового стока рек приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Характеристики годового стока рек Иле-Балкашского бассейна

Год	Q, м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	Расходы воды различной обеспеченности, %						
			5	10	20	50	75	90	95
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>р. Иле - пристань Добын</b>									
2001-2015	429	0.17	555	525	489	425	378	339	317
<b>р. Иле – в 164 км выше Капшагайской ГЭС</b>									
1957-2015 (59 лет)	462	0,22	641	596	545	454	390	338	308
1975-2015 (41 год)	463	0.22	641	597	547	456	391	338	308
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	1 (0.0)		0	1 (0.0)	2 (0.0)	2 (0.0)	1 (0.0)	0	0
<b>р. Иле – урочище Капшагай</b>									
1911-2015 (105 лет)	454	0,20	615	574	528	447	389	343	319
1975-2015 (41 год)	443	0.23	643	578	512	417	369	342	331
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	-11 (0.02)		-28 (0.04)	4 (0.0)	-66 (0.12)	-30 (0.07)	-20 (0.05)	1 (0.0)	12 (0.03)
<b>р. Иле - с. Ушжарма</b>									
1939-2015 (77 лет)	445	0,23	631	581	526	433	371	324	299
1975-2015 (41 год)	434	0.23	632	565	497	405	362	342	336
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	- 11 (0.02)		1 (0.0)	-16 (0.03)	-29 (0.06)	-28 (0.07)	-9 (0.02)	18 (0.05)	37 (0.11)
<b>р. Иле, рукав Жидели - 16 км ниже истока</b>									
1976-2015 (40 лет)	425	0.23	604	556	501	413	354	310	289
<b>р. Иле – в 1 км ниже ответвления рукава Жидели</b>									
1975-2015 (41 год)	18.1	0.36	30.9	26.7	22.5	16.4	13.4	11.7	11.0
<b>р. Иле - аул Жидели</b>									
1975-2015 (41 год)	11.4	0.59	24.2	20.4	16.3	10.2	6.42	4.11	3.01
<b>р. Шарын - урочище Сарытогай</b>									
1928-2015 (88 лет)	38.4	0.23	54.5	50.2	45.4	37.4	32.0	28.0	25.8
1975-2015 (41 год)	40.2	0.24	58.0	53.1	47.7	38.9	33.2	29.0	27.1
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	18 (0.04)		3.5 (0.06)	2.9 (0.05)	2.3 (0.05)	1.5 (0.04)	1.2 (0.04)	1 (0.0)	1.3 (0.05)
<b>р. Шелек - с. Малыбай</b>									
1929-2015 (87 лет)	34.1	0.14	43.0	40.5	37.7	33.3	31.0	28.7	27.7
1975-2015 (41 год)	36.1	0.16	46.9	43.8	40.5	35.2	31.9	29.5	28.4
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	2 (0.06)		3.9 (0.08)	3.3 (0.08)	2.8 (0.07)	1.9 (0.05)	0.9 (0.03)	0.8 (0.03)	0.7 (0.02)
<b>р. Турген - с. Таутурген</b>									
1931-2015 (85 лет)	7.20	0.16	9.33	8.74	8.10	7.04	6.36	5.86	5.63
1975-2015 (41 год)	7.38	0.17	9.70	9.06	8.40	7.21	6.46	5.92	5.67

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.18 (0.02)		0.37 (0.04)	0.32 (0.04)	0.3 (0.04)	0.17 (0.02)	0.1 (0.01)	0.06 (0.01)	0.04 (0.01)
<b>р. Киши Алматы - г. Алматы</b>									
1934-2015 (82 года)	2.01	0.23	2.82	2.62	2.39	1.97	1.68	1.45	1.31
1975-2015 (41 год)	1.78	0.23	2.48	2.31	2.12	1.77	1.50	1.27	1.14
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	-0.23 (0.13)		-0.34 (0.14)	-0.31 (0.13)	-0.27 (0.13)	-0.2 (0.11)	-0.18 (0.12)	-0.18 (0.14)	-0.17 (0.15)
<b>р. Каскелен - г. Каскелен</b>									
1929-2015 (87 лет)	4.08	0.19	5.43	5.10	4.72	4.03	3.53	3.12	2.90
1975-2015 (41 год)	3.98	0.21	5.44	5.08	4.67	3.92	3.39	2.95	2.71
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	-0.18 (0.05)		0.01 (0.0)	-0.02 (0.0)	-0.05 (0.01)	-0.11 (0.03)	-0.14 (0.04)	-0.17 (0.06)	-0.19 (0.07)
<b>р. Каскелен-устье</b>									
1975-2015 (41 год)	8.90	0.38	15.1	13.5	11.6	8.61	6.61	5.08	4.33
<b>р. Улькен Алматы - в 1.1 км выше оз. Улькен Алматы</b>									
1952-2015 (64 года)	1.78	0.23	2.52	2.32	2.10	1.73	1.49	1.30	1.20
1975-2015 (41 год)	1.98	0.21	2.74	2.53	2.31	1.93	1.68	1.49	1.39
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.2 (0.10)		0.22 (0.01)	0.21 (0.1)	0.21 (0.1)	0.2 (0.1)	0.19 (0.11)	0.19 (0.13)	0.19 (0.14)
<b>р. Улькен Алматы - в 2 км выше р. Проходной</b>									
1952-2015 (64 года)	2.45	0.39	4.19	3.72	3.21	2.34	1.76	1.32	1.09
1975-2015 (41 год)	2.12	0.47	3.93	3.45	2.91	2.00	1.40	0.94	0.70
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	-0.33 (0.16)		-0.26 (0.1)	-0.27 (0.1)	-0.3 (0.1)	-0.34 (0.2)	-0.36 (0.3)	-0.38 (0.4)	-0.39 (0.6)
<b>р. Курты – подхоз Ленинский мост</b>									
1941-2015 (75 лет)	4.01	0.48	7.78	6.74	5.60	3.79	2.66	1.86	1.47
1975-2015 (41 год)	4.03	0.60	8.56	7.27	5.87	3.64	2.26	1.28	0.80
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.02 (0.0)		0.78 (0.1)	0.53 (0.1)	0.27 (0.04)	-0.15 (0.04)	-0.4 (0.2)	-0.58 (0.4)	-0.67 (0.8)
<b>р. Мойынты – ж.-д. ст. Киик</b>									
1942-2015 (74 года)	0.20	1.39	0.76	0.53	0.32	0.09	0.02	0.00	0.00
1975-2015 (41 год)	0.11	0.98	0.33	0.25	0.18	0.08	0.03	0.01	0.01
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	-0.09 (0.8)		-0.43 (1.3)	-0.28 (1.1)	-0.14 (0.8)	-0.01 (0.1)	0.01 (0.3)	0.01 (1)	0.01 (1)
<b>р. Тоқырауын – а. Актоғай</b>									
1942-2015 (74 года)	2.31	0.78	5.88	4.69	3.47	1.81	1.01	0.61	0.46
1975-2015 (41 год)	2.21	0.79	5.67	4.51	3.33	1.72	0.95	0.58	0.44
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	-0.1 (0.0)		-0.21 (0.0)	-0.18 (0.0)	-0.14 (0.0)	-0.09 (0.0)	-0.06 (0.1)	-0.03 (0.1)	-0.02 (0.0)
<b>р. Аяғоз - пос. Тарбағатай</b>									
1961-2015 (55 лет)	2.54	0.47	4.93	4.14	3.40	2.30	1.66	1.26	1.08
1975-2015 (41 год)	2.51	0.44	4.63	3.99	3.31	2.29	1.69	1.33	1.16

Продолжение таблицы

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	-0.03 (0.0)		-0.3 (0.1)	-0.15 (0.0)	-0.09 (0.0)	-0.01 (0.0)	0.03 (0.0)	0.07 (0.1)	0.08 (0.1)
<b>р. Аягоз - г. Аягоз</b>									
1951-2015 (65 лет)	7.93	0.62	17.4	14.5	11.5	6.96	4.29	2.66	1.91
1975-2015 (41 год)	7.28	0.46	13.7	11.8	9.7	6.62	4.80	3.69	3.18
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	-0.65 (0.1)		-3.7 (0.3)	-2.7 (0.2)	-1.8 (0.2)	-0.34 (0.1)	0.51 (0.1)	1.03 (0.3)	1.27 (0.4)
<b>р. Лепси - аул Лепси</b>									
1932-2015 (84 года)	19.6	0.22	27.1	25.2	23.1	19.2	16.5	14.3	13.1
1975-2015 (41 год)	19.8	0.21	27.1	25.3	23.2	19.5	16.9	14.7	13.5
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.2 (0.0)		0	0.1 (0.0)	0.1 (0.0)	0.3 (0.0)	0.4 (0.0)	0.4 (0.0)	0.4 (0.0)
<b>р. Лепси - а. Толебаев</b>									
1935-2015 (81 год)	22.8	0.43	41.0	36.0	30.4	21.4	15.0	11.5	9.56
1975-2015 (41 год)	24.2	0.44	43.9	38.5	32.5	22.7	16.4	11.9	9.83
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	1.4 (0.1)		2.9 (0.1)	2.5 (0.1)	2.1 (0.1)	1.3 (0.1)	1.4 (0.1)	0.4 (0.0)	0.27 (0.0)
<b>р. Каратал - г. Уштобе</b>									
1929-2015 (87 лет)	68,5	0,35	113	101	87,2	65,1	51,0	40,7	36,1
1975-2015 (41 год)	65.7	0.34	107	95.6	83.1	62.5	49.4	39.8	35.5
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	-2,8 (0,0)		-6 (0,1)	-5,4 (0,01)	-4,1 (0,0)	-2,6 (0,0)	-1,6 (0,0)	-0,9 (0,0)	-0,6 (0,0)
<b>р. Коксу – с. Коксу</b>									
1955-2015 (61 год)	40.0	0,27	60,0	54,5	48,4	38,5	32,1	27,5	25,4
1975-2015 (41 год)	41.2	0.26	61.0	55.6	49.5	39.7	33.4	28.8	26.7
разница м <sup>3</sup> /с, (%)	1.2 (0.0)		1 (0.1)	1.1 (0.0)	1.1 (0.0)	1.2 (0.0)	1.3 (0.0)	1.3 (0.0)	1.3 (0.1)

Для сравнения результатов расчетных характеристик стока рек за выбранный период и их величин за весь период наблюдений были определены значения годового стока с использованием всех совокупностей данных рассматриваемых гидрологических постов. В таблице 3.6 приведены данные по основным рекам региона. Изменения в среднем составляют 0,08%. Видно, что разница в стоковых характеристиках за весь период наблюдений и с 1975 года не существенная и находится в пределах точности их оценки.

Таким образом, можно считать, что выполненная оценка характеристик годового стока рек региона отражает современные гидрометеорологические тенденции и дает основание для выполнения рациональных водохозяйственных расчетов [96].

Расчитаны изменения характеристик годового стока рек за 90 – 100 летние периоды. Так, средние годовые расходы воды р. Иле в низовьях увеличились за последние 40 - 50 лет в среднем примерно на 27 %, что привело, в настоящее время, к росту уровня воды в озере Балкаш. После создания в русле реки Капшагайского водохранилища в 1970 г. уровень озера значительно понизился, в первую очередь за счет потерь на его заполнение и увеличение испарения.

Устойчивое развитие региона зависит от рационального использования водных ресурсов и оценки их в перспективе, с учетом меняющихся климатических условий и возможно при создании надежных региональных моделей формирования стока.

Характеристики стока рек аридных территорий обуславливаются, как известно, климатическими факторами – сочетания элементов водного, теплового баланса, и условиями подстилающей поверхности. При этом высоты местности в свою очередь существенно изменяют водный режим реки. Зона формирования стока рек Иле-Балкашского бассейна находится, в основном, в горных и предгорных районах, а их питание складывается из талых снеговых, ледниковых и дождевых вод. Среди современных исследователей, изучавших проблему, можно выделить таких исследователей, как Рюеррке and etc. [97], Imentai and etc. [98], Достай Ж. и др. [99], Терехов и др. [100], Беркалиев З. [32].

Режим годового стока рек зависит не только от суммы годовых осадков, но и от таяния высокогорных снегов и льдов, накопившихся за предыдущие многолетия. Кроме того гидрогеологические процессы способствуют выклиниванию подземных вод в предгорных зонах, создавая целую сеть малых водотоков, которые, как правило, трудно учесть в водном балансе бассейна. Таким образом, водный режим рек, хотя и является функцией осадков, все-таки однозначно не отражает последовательные их изменения. Сложные процессы формирования стока в условиях аридных территорий и горных зональных закономерностей не позволяют получать надежные зависимости осадков и стока. Однако очевидно, что изменения климатических условий влекут за собой координальные изменения водного режима, и в целом величин годового стока рек региона. Статистический

анализ при этом тем надежнее и точнее, чем больший период исследуется. В гидрологических расчетах при оценке водных ресурсов значительных территорий выбирается один и тот же, приведенный период для соблюдения одинаковых гидрометеорологических условий, позволяющий учесть данные всей гидрологической сети наблюдений за характеристиками стока не рассматривая данные по отдельным длиннорядным гидрологическим постам. К тому же с учетом глобального потепления на Земле и интенсивной хозяйственной деятельности человека, расчетные ряды характеристик стока рек при решении водохозяйственных задач ограничиваются последними десятилетиями.

Потери стока р. Иле связанные с хозяйственной деятельностью в бассейне Иле-Балкаша и прежде всего из-за созданного Капшагайского водохранилища отразились и на изменениях уровня оз. Балкаш (рисунок 3.10). Как известно, начиная с 1970 года, года ввода в эксплуатацию Капшагайского водохранилища, уровень озера начал снижаться с отметок 343 м абс. до 340.7 м абс. к 1986 г. Временные потери стока реки на заполнение чаши водохранилища и увеличение испарения не позволили отреагировать на климатические изменения, способствующие увеличению увлажненности бассейна. Однако, в настоящее время уровень Балкаша вернулся практически к отметкам 1960-х – 1970-х годов. Таким образом, естественное увеличение водности рек бассейна за счет роста количества годовых осадков, компенсировало потери стока за счет хозяйственной деятельности за прошедшие десятилетия.

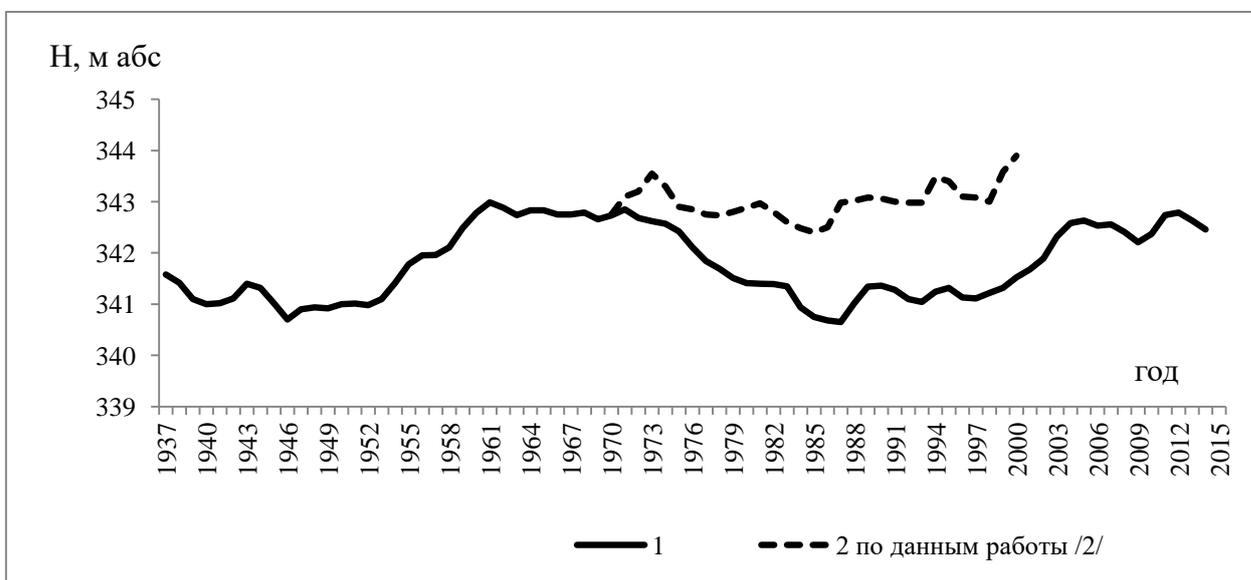


Рисунок 3.10 - Изменение фактического (1) и восстановленного (2) уровня воды оз. Балкаш.

Проделан анализ динамики метеорологических характеристик - средняя месячная температура воздуха и количество осадков по 14-м метеостанциям расположенных в Иле-Балкашском регионе. Построены

графики по изменению средних годовых температур воздуха и количества годовых сумм осадков, и их значения осредненные по десятилетиям, на примере метеостанций Алматы, Коголы, Ушарал и Бахты. То есть выбраны метеостанции, которые расположены в отдельных районах Иле-Балкашского бассейна для того, чтобы оценить изменения метеорологических характеристик по бассейну в целом. В результате выявлена закономерность увеличения температуры воздуха и количества осадков с ростом водоносности рек исследуемого региона.

Исходя из рассматриваемых условий гидрометеорологической ситуации в регионе, в настоящее время, одной из основных задач должно стать повышение мер ответственности всех субъектов водопользования, увеличение пунктов наблюдений за характеристиками режима водных объектов, мониторинг промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных водозаборов и сбросов вод в речную сеть, совершенствование методов и принципов водопользования. Кроме того необходимо осуществлять моделирование процессов формирования стока рек бассейна в условиях разных вариантов прогнозов климатических изменений и развития хозяйственной деятельности в регионе для выработки рекомендаций по устойчивому развитию Иле-Балкашского водохозяйственного бассейна.

В перспективе в регионе планируется создать ряд водохранилищ в целях энергетики и социального обеспечения района. Глобальные климатические изменения, которые вносят существенные коррективы в водном режиме рек региона, обуславливают количественные и режимные изменения стоковых характеристик. Это необходимо при планировании и проектировании хозяйственной деятельности региона и водопользования.

#### **3.4 Тенденции изменения величин годового стока в современных климатических условиях**

В работе анализируются данные 14 метеорологических станций (МС) и 25 гидрологических постов РГП «Казгидромет». В расчетах использовались значения средних годовых расходов воды по 25 гидрологическим пунктам основных рек [11, 26, 29, 31, 113]. Соответственно количество лет данных рядов составляют от 90 до 108 лет.

Высота местности, экспозиция склонов хребтов по отношению к влагонесущим воздушным массам определяют расходы воды в реках и обуславливают их водное питание. При этом изменения климатических характеристик последних десятилетий приводят к изменениям воднобалансовых характеристик на значительных территориях и отдельных речных бассейнах.

В бассейнах со значительной площадью оледенения интенсивное таяние ледников приводит к увеличению доли ледникового стока в водности рек. Как известно, за последние десятилетия площадь ледников Иле Алатау сократилась вдвое, а процессы абляции регулируются высотой снеговой

линии. Определить влияние исключительно ледникового стока на водность реки Иле является сложной задачей. При этом сток малых, горных рек с долей талых вод ледников практически и непосредственно в р. Иле не попадает. Из-за потепления и более интенсивного таяния высокогорных снежников и ледников в годовом стоке реки Иле и ее притоков значимых изменений не наблюдается. В среднем и нижнем течении р. Иле, в зоне степных и полупустынных, засушливых территорий бассейна, норма условно-естественного годового стока в пунктах р. Иле - уроч. Капшагай за 59-летний период до 1970 года составляла  $472 \text{ м}^3/\text{с}$ , за 21 год до 1990 года –  $478 \text{ м}^3/\text{с}$ , а за 26 лет, с 1990 г. по 2015 г. –  $473 \text{ м}^3/\text{с}$ , а по посту р. Иле - 164 км выше плотины Капшагайской ГЭС за те же периоды соответственно  $461 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $441 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $491 \text{ м}^3/\text{с}$

Впервые норма и изменчивость годового стока рек Иле-Балкашского бассейна были определены в работах [1, 6] и в последующем в работах [7, 8, 12, 28, 61, 131].

В работе [112] оценены водные ресурсы наиболее значимых водотоков бассейна, и рассчитаны их основные показатели годового стока за различные периоды с учетом хозяйственной деятельности. Были выявлены основные антропогенные факторы, оказывающие влияние на естественные стоковые характеристики основных рек Иле-Балкашского бассейна. При этом оценка водных ресурсов значительных территорий основана на использование одинаковых, приведенных периодов. Поэтому часть статистической информации длиннорядных постов наблюдения в расчетах не использовалась. Анализ же гидрометеорологической информации длинных рядов наблюдений позволяет оценить наиболее значимые колебания и изменения воднобалансовых соотношений при формировании поверхностного стока и предусмотреть дальнейшие тенденции развития водности рек.

Как известно, в аридных зонах однозначных, прямых связей средних годовых расходов и количества осадков нет. Сток рек региона обусловлен и степенью увлажненности почвогрунтов, глубиной залегания и запасом подземных вод. Повсеместный рост температуры воздуха не только способствует более интенсивному таянию снежников и ледников, но и влияет на процессы испарения и приводит в целом к истощению влагозапасов.

Изменения же величин нормы годовых сумм осадков ( $X_{\text{ср}}$ ) и стоковых характеристик основных рек Иле-Балкашского бассейна, несомненно, характеризуют воднобалансовые изменения в регионе.

Для анализа динамики водности водотоков региона рассматривались, как уже отмечалось, ряды годового стока основных рек Иле-Балкашского региона.

Восстановление пропусков в наблюдениях за стоком рек влечет увеличение ошибки в зависимости от величины коэффициента корреляции, т.е. тесноты используемых связей. Тем более реконструкция рядов стоковых характеристик в условно-естественных условиях требует подходить к выбору

пунктов-аналогов в достаточной степени осторожно и внимательно. При этом при анализе реконструированных рядов необходимо помнить, что расчетные характеристики данных рядов содержат примерные оценки, состоящие из ряда допущений. В случае рассматриваемых рядов годового стока рек, пропуски в наблюдениях восстановлены по достаточно надежным зависимостям со стоком за период половодья в тех же пунктах наблюдения ( $r > 0,70$ ). При получении связей стоковых характеристик для восстановления отсутствующих величин, учитывалось и влияние хозяйственной деятельности, в первую очередь водохранилищ.

Анализ динамики сумм средних годовых расходов воды за многолетний период позволяет выявить следующие тенденции изменения средней многолетней водности водотоков.

Ряды величин годового стока рек реконструированы исходя из условий условно-естественного состояния стока. Ряд средних годовых расходов воды р. Иле в гидрологическом пункте урочище Капшагай имеет наиболее длительный период наблюдений и неоднороден вследствие антропогенных нагрузок и климатических изменений. Реконструкция ряда в условно-естественных условиях с 1971 года, года начала эксплуатации, созданного Капшагайского водохранилища, осуществлена по связи со средними годовыми расходами воды наблюдаемыми на гидрологическом посту - 164 км выше плотины Капшагайской ГЭС с коэффициентом корреляции равным 0,73 [113].

Таким образом, в Иле-Балкашском водном бассейне наряду с глобальными изменениями климата Земли так же наблюдаются изменения в средних многолетних значениях температуры воздуха и количества осадков, величины которых увеличились за последние десятилетия. Данное обстоятельство влечет за собой и рост водоносности рек. На рисунке 3.11 приведены суммарные интегральные кривые некоторых крупных водотоков региона. Кривые построены по значениям восстановленного условно-естественного годового стока с учетом влияния хозяйственной деятельности.

Анализ значимого влияния хозяйственной деятельности на характеристики годового стока рек региона выполнялся с помощью известных методов оценки статистических параметров рядов и суммарных интегральных кривых стока в сравнении их гидрологических характеристик с реками аналогами, имеющими естественный водный режим.

Суммарные интегральные кривые условно-естественного стока (рисунок 3.11) позволяют констатировать, что с 90-х годов наблюдается увеличение водности главного водотока региона р. Иле. На других реках, которые в своем большинстве являются притоками Иле сток также растет. По некоторым водотокам, например р. Каскелен, восстановление характеристик условно естественного стока является довольно сложной задачей, т.к. бассейн реки находится в наиболее густонаселенном и экономически развитом районе рассматриваемой территории, реки здесь протекают в

пределах городов Алматы и Каскелен, а промышленное и сельскохозяйственное использование их вод осуществляется с 30-50-х годов.

В настоящее время в практике гидрологических расчетов широко используется вероятность осуществления события, определенное по формуле Крицкого-Менкеля:

$$P^* = \frac{m}{n+1} 100\% \quad (3.1)$$

Где,  $P$  - повторяемость, %;  $m$  - модульный коэффициент;  $n$  - число лет в году. Эмпирические обеспеченности соответствует среднему значению эмпирической обеспеченности данного значения в  $K$  выборке ( $K \rightarrow \infty$ ) по  $n$  элементам [96, 102].

К анализу проведенному ранее другими авторами [103-105] можно лишь добавить, что заметное изменение хода разностной интегральной кривой по всем постам водосборного бассейна р. Иле наблюдается с 1970 г., что нельзя объяснить влиянием только антропогенного фактора на сток, возможно происходящие изменения климата увеличивают сток рек с ледниковым питанием в последние 10-15 лет.

В многолетней динамике величин средних годовых расходов воды рассматриваемых рек, на основе анализа разностно-интегральных кривых и суммарных интегральных кривых данных значений, прослеживаются следующие длительные тенденции циклов водности, характеризующиеся однородным водным режимом. Так, в многолетнем водном режиме всех рассматриваемых рек наблюдается продолжительный, 40-50-летний, маловодный период до середины 1980-х и 1990-х годов (р. Иле), который сменился многоводной фазой водности рек. Однако, с начала 1990-х годов отмечается заметное интенсивное, устойчивое увеличение годовых величин стока (рисунок 3.11).

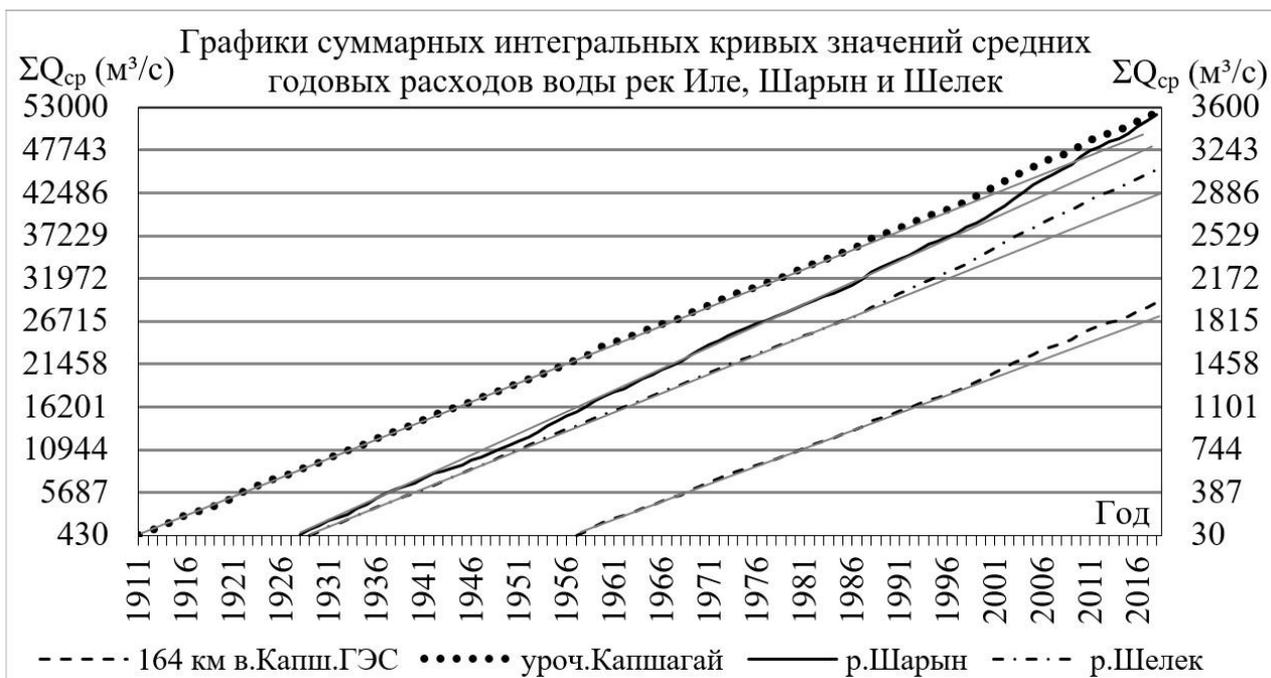


Рисунок 3.11 - Суммарные интегральные кривые годового стока р. Иле и ее основных притоков.

Таким образом, прослеживаются четкие изменения в режиме осадков и поверхностного стока рек в регионе в среднем с начала 1990-х годов.

Анализ тенденций изменения средних многолетних значений годового стока рек показывает, что норма стока рек Иле, Шарын и Шелек, начиная с 1990-х годов, в среднем, возросла по сравнению с предыдущими десятилетиями на 13%. Норма средних годовых расходов воды р. Иле увеличилась на 7%, а рек Шарын и Шелек соответственно на 20% и 18%.

Расчетные характеристики средних многолетних значений годового стока, а также средние годовые расходы воды рек различной обеспеченности приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Характеристики средних годовых расходов воды рек в различные климатические периоды

№ п/п	Река-пункт	Расчетный период	Q <sub>ср</sub> , м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	Расходы воды различной обеспеченности, %					
					1	5	10	50	75	95
1	2	3	4	5	6	6	8	9	10	11
1	р. Иле – уроч. Капшагай	1911-1989 (79 лет)	449	0,19	699	607	563	437	387	334
		1990-2015 (26 лет)	473	0,23	841	685	616	442	393	353
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	24 (5)		142 (20)	78 (13)	53 (9)	5 (1)	6 (2)	19 (6)
2	р. Иле - в 164 км выше Капшагайской ГЭС	1957-1989 (33 года)	450	0,20	725	618	571	435	384	333
		1990-2015 (26 лет)	491	0,20	815	703	648	479	406	320
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	41 (9)		90 (12)	85 (14)	77 (13)	44 (10)	22 (6)	13 (4)
3	р. Иле – с. Ушжарма	1939-1989 (51 год)	435	0,18	655	577	539	426	379	324
		1990-2015 (26 лет)	464	0,23	786	665	607	447	386	323
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	29 (7)		131 (20)	88 (15)	68 (13)	21 (5)	7 (2)	1(0,3)
4	р. Иле, рукав Жидели - в 16 км ниже истока	1976-1989 (14 лет)	364	0,20	573	497	462	355	311	262
		1990-2015 (26 лет)	458	0,22	752	644	593	444	384	322
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	94 (26)		179 (31)	147 (30)	131 (28)	89 (25)	73 (23)	60 (23)
5	р. Иле – аул Жидели	1968-1989 (22 года)	14,0	0,65	59,1	41,2	33,4	14,7	9,58	6,25
		1990-2015 (26 лет)	10,6	0,70	36,7	25,0	20,0	8,12	5,25	3,56
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	3,3 (24)		22,4 (38)	16,2 (39)	13,4 (40)	6,58 (45)	4,33 (45)	2,69 (43)
6	р. Шелек – с. Малыбай	1929-1989 (61 год)	32,2	0,11	42,8	38,8	37,0	31,6	30,0	27,5
		1990-2015 (26 лет)	38,5	0,13	53,5	48,0	45,2	37,7	35,0	31,8
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	6,3 (20)		10,7 (25)	9,2 (24)	8,2 (22)	6,1 (19)	5 (17)	4,3 (16)
7	р. Шарын – уроч. Сарытогай	1928-1989 (62 года)	36,5	0,20	57,0	50,0	46,2	35,6	31,2	26,1
		1990-2015 (26 лет)	43,0	0,23	70,7	60,9	56,1	42,0	35,9	29,0
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	6,5 (18)		13,7 (24)	10,9 (22)	9,9 (21)	6,4 (18)	4,7 (15)	2,9 (11)
8	р. Турген – с. Таутурген	1930-1989 (60 лет)	7,02	0,14	9,65	8,76	8,32	6,94	6,32	5,56
		1990-2015 (26 лет)	7,57	0,19	11,6	10,2	9,50	7,37	6,52	5,61
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0,55 (8)		2 (20)	1,4 (16)	1,2 (14)	0,43 (6)	0,2 (3)	0,1 (0,9)
9	р. Киши Алматы – г. Алматы	1934-1989 (56 лет)	2,11	0,20	3,23	2,85	2,67	2,08	1,81	1,47
		1990-2015 (26 лет)	1,80	0,27	3,01	2,63	2,43	1,78	1,46	1,04
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0,31 (15)		0,22 (7)	0,22 (8)	0,24 (9)	0,3 (14)	0,35 (19)	0,43 (29)
10	р. Каскелен – г. Каскелен	1929-1989 (61 год)	4,21	0,17	6,07	5,46	5,15	4,16	3,70	3,12
		1990-2015 (26 лет)	3,78	0,21	5,84	5,16	4,83	3,73	3,22	2,57
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0,43 (10)		0,2 (4)	0,3 (5)	0,3 (6)	0,4 (10)	0,5 (13)	0,6 (18)

Продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	р. Улькен Алматы – в 1.1 км выше оз. Улькен Алматы	1929-1989 (61 год)	1.78	0.18	2.44	2.15	2.01	1.59	1.41	1.20
		1990-2015 (26 лет)	2.16	0.18	3.25	2.87	2.68	2.11	1.88	1.61
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.37 (21)		0.8 (33)	0.7 (33)	0.7 (33)	0.5 (33)	0.5 (33)	0.4 (34)
12	р. Улькен Алматы – в 2 км выше устья р. Проходной	1952-1989 (38 лет)	2.45	0.20	4.18	3.75	3.53	2.78	2.41	1.92
		1990-2015 (26 лет)	1.95	0.61	5.29	4.11	3.53	1.81	1.09	0.26
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.5 (21)		1 (27)	0.4 (9)	0	1 (35)	1.3 (55)	1.7 (86)
13	р. Курты – Ленинский мост	1941-1989 (49 лет)	4.10	0.40	7.91	6.30	5.53	3.37	2.55	1.68
		1990-2015 (26 лет)	5.04	0.50	12.6	9.76	8.42	4.64	3.20	1.67
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.9 (23)		4.7 (59)	3.5 (55)	2.9 (52)	1.3 (38)	0.7 (25)	0.0 (0.6)
14	р. Мойынты – ж.-д.ст. Киик	1941-1989 (48 лет)	1.27	0.25	1.50	0.89	0.63	0.13	0.05	0.02
		1990-2015 (26 лет)	1.20	0.10	0.57	0.34	0.24	0.05	0.02	0.01
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.1 (6)		0.9 (62)	0.6 (62)	0.4 (62)	0.1 (62)	0.0 (60)	0.0 (50)
15	р. Токырауын – аул Актогай	1942-1989 (48 лет)	2.34	0.74	8.39	5.77	4.63	1.86	1.09	0.57
		1990-2015 (26 лет)	2.26	0.88	9.21	6.20	4.89	1.70	0.83	0.22
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.1 (3)		0.9 (11)	0.4 (7)	0.3 (6)	0.2 (8)	0.3 (24)	0.4 (61)
16	р. Аягоз – пос. Тарбагатай	1961-1989 (39 лет)	2.32	0.54	6.30	4.72	4.00	2.07	1.39	0.79
		1990-2015 (26 лет)	2.77	0.40	6.29	4.90	4.25	2.55	1.95	1.41
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.5 (19)		0.0 (0.2)	0.2 (4)	0.3 (6)	0.5 (24)	0.2 (14)	0.6 (78)
17	р. Аягоз – г. Аягоз	1950-1989 (40 лет)	8.25	0.69	26.3	19.2	15.9	7.12	4.04	1.28
		1990-2015 (26 лет)	7.44	0.49	17.3	13.9	12.3	7.12	4.82	2.07
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.8 (10)		9 (34)	5 (28)	4 (23)	0	0.8 (19)	0.8 (62)
18	р. Лепси – аул Лепси	1931-1989 (58 лет)	19.5	0.23	31.3	27.4	25.4	19.2	16.3	12.7
		1990-2015 (26 лет)	19.7	0.21	30.6	27.0	25.2	19.4	16.8	13.4
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	0.2 (1)		0.7 (2)	0.4 (1)	0.2 (0.8)	0.2 (1)	0.5 (3)	0.7 (6)
19	р. Лепси – аул Толебаев	1935-1989 (55 лет)	22.8	0.43	51.5	41.0	35.9	21.4	15.6	9.56
		1990-2015 (26 лет)	26.4	0.41	58.1	46.5	40.9	24.9	18.5	11.8
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	4 (16)		7 (13)	6 (13)	5 (14)	4 (16)	3 (19)	2 (23)
20	р. Каратал – г. Ушгтобе	1929-1989 (61 год)	67.3	0.38	142	115	102	63.7	48.6	32.8
		1990-2015 (26 лет)	71.4	0.25	124	105	95.3	69.0	58.4	47.3
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	4 (6)		18 (12)	10 (9)	7 (7)	5 (8)	10 (20)	15 (44)
21	р. Коксу – с. Коксу	1955-1989 (35 лет)	40.0	0.28	62.6	52.8	48.0	33.8	27.9	21.1
		1990-2015 (26 лет)	46.8	0.16	68.7	60.7	56.8	45.7	41.3	36.7
		разница м <sup>3</sup> /с, (%)	6.8 (17)		6 (10)	8 (15)	9 (18)	12 (35)	13 (48)	16 (74)

Как видно за последние 20 лет величина годового стока р. Иле повторяемостью 1 раз в 20 и 100 лет возросла на 16 и 18% соответственно, а ее основных притоков рек Шарын и Шелек на 25, 27% и на 21, 23% соответственно.

#### *Выбор расчетного периода*

Анализ изменений речного стока за наиболее длительные периоды наблюдений показывает наличие колебаний расходов воды по годам. Колебания стока во времени проявляются в форме последовательной смены многоводных (период времени с увеличением водности) и маловодных (период времени при постоянном уменьшении водности) групп лет. Причем они отличаются друг от друга как по отклонению от среднего значения стока за весь рассматриваемый период, так и по продолжительности той или иной группы лет. Эти группы образуют циклы разной продолжительности и разной амплитуды водности.

Причиной циклических колебаний речного стока прежде всего являются климатические факторы, которые в свою очередь обусловлены влиянием астрофизических факторов.

Более надежно циклы можно установить по разностным интегральным кривым (или суммарным кривым отклонений годовых значений стока от среднего его значения за весь период наблюдений). Интегральная кривая стока является разновидностью суммарной кривой стока, которая характеризует последовательность нарастания объемов воды, протекающих через рассматриваемый створ реки от некоторого начального момента времени. В отличие от нее разностная интегральная кривая учитывает колебания стока за отдельные короткие промежутки времени. Она строится путем суммирования отклонений модульных коэффициентов от середины, т.е. ее ординаты вычисляются как:

$$\sum_1^i (K - 1) \quad (3.2)$$

где,  $K=Q_i/Q^-$ . Таким образом ординаты кривой дают на конец каждого  $i$ -го года нарастающую сумму отклонений годовых модульных коэффициентов ( $K$ ) от нормы или от среднего многолетнего значения ( $K^- = 1$ ). Для того, чтобы можно было сопоставить многолетние колебания стока разных рек, производится исключение временного влияния временной изменчивости стока, отражаемой коэффициентом вариации (изменчивости) ряда наблюдений ( $C_v$ ), т.е.

$$\sum K - 1 / C_v \quad (3.3)$$

Разностные интегральные кривые позволяют определять водность (по отношению к среднему) отдельных периодов, поэтому могут быть использованы при подборе рек-аналогов.

Для количественной оценки эффективности приведения нормы стока к многолетнему периоду используется показатель эффективности ( $K_y$ ):

$$K_y = \left[ 1 - \sqrt{1 - R^2 + nR^2 / N} / (1 - \sqrt{n / N}) \right] \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

где  $R$  - коэффициент парной корреляции,  $n$  - число лет совместных наблюдений.

Показатель эффективности характеризует процент уменьшения среднего при приведении ряда к периоду  $N$ .

Показатель эффективности приведения коэффициента вариации к многолетнему периоду определяется по аналогичной формуле:

$$K_{cv} = \left[ (1 - \sqrt{1 - R^4 + nR^4 / N}) / (1 - \sqrt{n / N}) \right] \cdot 100\% \quad (3.5)$$

Показатель эффективности  $K$  характеризует процент уменьшения погрешности среднего и коэффициента вариации при приведения ряда к многолетнему периоду.

Основными параметрами кривой распределения, определяющими расчётные гидрологические характеристики, являются норма и коэффициент вариации стока. При назначении различных водохозяйственных мероприятий в бассейне необходимо знать достоверность этих параметров.

Точность определения параметров кривой распределения оценена по данным приведенным к многолетнему периоду ряда и рядом последнего двадцатилетнего периода (1990-2015 гг.).

Случайные средние квадратические ошибки выборочных средних определены по зависимости:

$$\sigma_{\bar{Q}} = (\sigma_Q / \sqrt{n}) \sqrt{(1+r)/(1-r)}, \quad (3.6)$$

которая применяется при коэффициенте автокорреляции между смежными членами ряда  $r < 0,5$ .

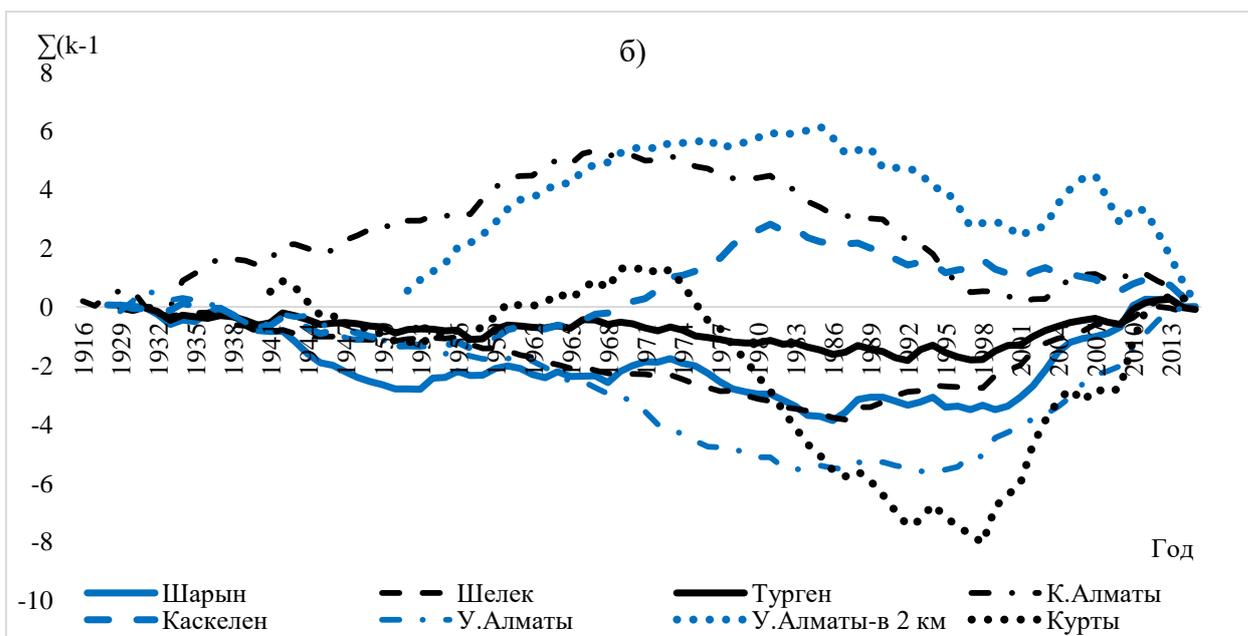
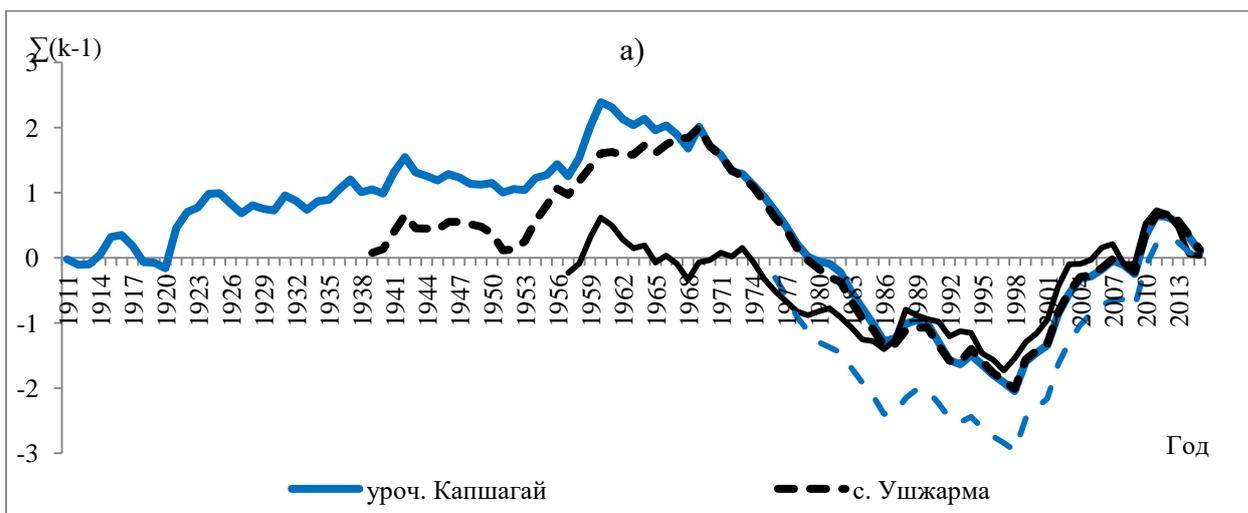
Анализ согласия эмпирических и аналитических функций распределения показал, что распределение характеристик весеннего стока большинства рек соответствует кривой обеспеченности Крицкого-Менкеля при  $C_s = 2 C_v$ , поэтому средние квадратические ошибки коэффициентов вариации определены по зависимости:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{n + 4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1 + C_v^2)}{2}} \left( 1 + \frac{3C_v r^2}{1+r} \right) \quad (3.7)$$

Выражения (3.4) и (3.5) применимы для оценки точности среднего и коэффициента вариации, приведённого к многолетнему периоду ряда с использованием одного уравнения регрессии [94, 101, 115].

Расчетный (репрезентативный) период для вычисления нормы выбирается, учитывая наличие в периоде четного числа многоводных и маловодных фаз водоносности. По возможности можно включить в него последние годы наблюдений, которые считаются как наиболее качественными для подсчета стока. Репрезентативность гидрологического ряда наблюдений определяется средней квадратической ошибкой средней величины, которое в свою очередь показывает насколько его различие от нормы стока.

Для определения расчетного периода рек Илейского Алатау и рек Северного Прибалкашья построены разностно-интегральные кривые, которые представлены на рисунке 3.12.



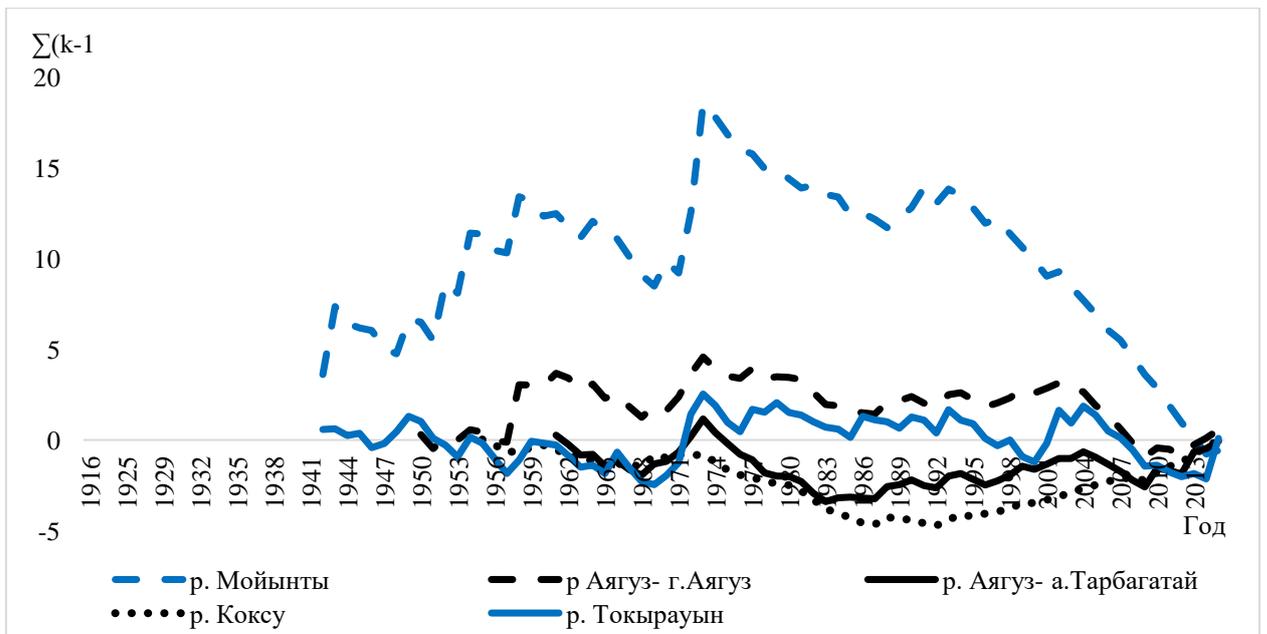


Рисунок 3.12 – Разностно-интегральные кривые годового стока рек: а) основных пунктов наблюдений по длине реки Иле; б) Илейского Алатау и в) Северного Прибалкашья

Анализ колебаний стока рассматриваемых рек с учетом разных периодов наблюдений, географических и климатических особенностей стокообразования в регионах Иле-Балкашского бассейна позволит сделать следующие выводы:

- практически на всех водотоках бассейна р. Иле наблюдалась длительная маловодная фаза с конца 60-х, начала 70-х годов XX века, а в период, в среднем, с 90-х годов сток рек начал устойчивый рост.

Исходя из этого и в связи с тенденцией увеличения осадков, за современный расчетный период был принят период с 1990 по 2015 гг. Выбранный расчетный период характеризует современное состояние изменения водных ресурсов основных рек региона. Короткие ряды годового стока по некоторым рекам, по возможности приведены к длительному периоду путем восстановления средних годовых расходов воды по корреляционным связям с реками-аналогами. Величины нормы стока за многолетний (1930 – 2015, 1942 – 2015) и современный (1990 – 2015 гг.) периоды в среднем для рек региона возросли на 9 %, лишь по 5 водотокам они остаются без изменений (реки Северного Прибалкашья и левобережные притоки Илейского Алатау).

Параметры годового стока рассчитанные за весь период наблюдений и отмеченный современный период в сравнении с предыдущими исследованиями [1, 28, 61], представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 - Норма стока основных рек Иле-Балкашского бассейна и погрешность ее определения

Многолетний период (1930-2015 гг.)		Современный период (1990-2015 гг.)		по данным Института Географии [28, 61]				по данным [1]	
				Многолетний период (1930-2006 гг.)		Современный период (1974-2006 гг.)		Многолетний период	
Q, м <sup>3</sup> /с	$\delta_Q$ , %	Q, м <sup>3</sup> /с	$\delta_Q$ , %	Q, м <sup>3</sup> /с	$\delta_Q$ , %	Q, м <sup>3</sup> /с	$\delta_Q$ , %	Q, м <sup>3</sup> /с	$\delta_Q$ , %
р. Иле – в 164 км выше Капшагайской ГЭС									
459	2.2	478	4.7	470	2	459	2.9	-	-
р. Иле – урочище Капшагай									
450	2.3	472	4,5	-	-	-	-	-	-
р. Иле - с. Ушжарма									
447	2.1	464	4.3	-	-	-	-	-	-
р. Шарын - урочище Сарытогай									
38.4	2.5	43.0	4.5	38.0	2.2	39.6	3.1	35.4	6.8
р. Шелек - с. Малыбай									
34.1	1.5	38.5	2.6	33.8	1.4	35.8	2.3	32.2	4.7
р. Турген - с. Таутурген									
7.20	1.7	7.58	3.7	7.21	1.7	7.24	2.5	7.13	1.1
р. Киши Алматы - г. Алматы									
2.01	2.5	1.80	5.3	2.26	2.3	2.36	3.9	2.42	-7.1
р. Аксай – с. Аксай									
2.28	2.0	2.08	3.9	-	-	-	-	-	-
р. Каскелен - г. Каскелен									
4.08	2.5	3.78	4.1	4.15	1.9	4.12	3.2	4.00	3.6
р. Улькен Алматы - в 1.1 км выше оз. У. Алматы									
1.79	2.5	2.16	3.5	1.64	1.8	1.82	2.8	1.72	-4.9
р. Курты - Ленинский мост									
4.10	5.0	5.04	9.8	-	-	-	-	-	-
р. Лепси - аул Лепси									
19.6	2.4	19.7	4.1	19.5	2.4	19.2	3.2	18.7	4.1
р. Лепси - а. Толебаев									
23.5	4.9	26.4	8.1	30.1	3.9	33.1	6	25.7	14.6
р. Аксу – с. Жансугирово									
11.5	2.4	11.6	4.1	12.0	2.4	12.2	3.8	11.8	1.7
р. Каратал - г. Уштобе									
68.4	3.8	71.4	4.9	-	-	-	-	-	-
р. Коксу – с. Коксу									
40.0	3.5	46.8	3.3	36.6	2.6	38.2	3.7	33.0	9.8
Многолетний период (1942-2015 гг.)				Многолетний период (1942-2006 гг.)					
р. Мойынты – ж.-д. ст. Киик									
0.20	16.2	0.10	23.5	0.21	25.2	0.16	16.1	0.27	-22.2
р. Токырауын – а. Актогай									
2.31	9.0	2.26	17.3	2.23	12.0	2.14	3.4	1.98	12.6
р. Аягоз - пос. Тарбагатай									
2.53	5.6	2.77	8.1	2.24	8.6	2.24	5.6	3.65	-38.6
р. Аягоз - г. Аягоз									
7.93	7.6	7.44	9.6	7.84	8.5	6.82	7.8	8.84	-11.3

Изменчивость годового стока рек региона была так же определена по двум вышеуказанным расчетным периодам по основным пунктам наблюдений. Относительная характеристика изменчивости, коэффициент вариации ( $C_v$ ) – определена методом моментов [96, 111, 115]. В пределах

Иле-Балкашского бассейна получены значения коэффициента вариации. Средние квадратические ошибки за многолетний период для рек Илейского Алатау составляют от 7.6 – 9.0 %, а для рек Северного Прибалкашья от 10 – 14.1 %. За современный период от 13.9 – 15.3 %, и от 15 – 21.6 % соответственно. Значения  $C_v$ , определенные по рядам за 26 лет могут иметь небольшие ошибки. В целом коэффициент изменчивости определен для 20 пунктов наблюдений исследуемого региона и результаты оценок представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 - Изменчивость годового стока и его точность

Многолетний период (1930-2015 гг.)		Современный период (1990-2015 гг.)	
$C_v$	$\delta_{C_v}, \%$	$C_v$	$\delta_{C_v}, \%$
р. Иле – в 164 км выше Капшагайской ГЭС			
0.20	9.0	0.24	14.2
р. Иле – урочище Капшагай			
0.21	7.8	0.23	14.2
р. Иле - с. Ушжарма			
0.19	7.8	0.22	14.1
р. Шарын - урочище Сарытогай			
0.23	7.8	0.23	14.2
р. Шелек - с. Малыбай			
0.14	7.6	0.13	13.9
р. Турген - с. Таутурген			
0.16	8.6	0.19	14.1
р. Киши Алматы - г. Алматы			
0.23	8.0	0.27	14.3
р. Аксай – с. Аксай			
0.18	8.0	0.20	14.1
р. Каскелен - г. Каскелен			
0.19	7.8	0.21	14.0
р. Улькен Алматы - в 1.1 км выше оз. Улькен Алматы			
0.23	7.8	0.18	13.9
р. Курты - Ленинский мост			
0.46	8.4	0.50	15.3
р. Лепси - аул Лепси			
0.22	7.9	0.21	14.1
р. Лепси - а. Толебаев			
0.45	8.4	0.41	15.0
р. Аксу – с. Жансугирово			
0.22	7.9	0.21	14.1
р. Карагал - г. Уштобе			
0.35	8.0	0.25	14.3
р. Коксу – с. Коксу			
0.27	7.6	0.17	14.0
Многолетний период (1942-2015 гг.)			
р. Мойынты – ж.-д. ст. Киик			
1.39	14.1	1.20	21.6
р. Токырауын – а. Актогай			
0.78	10.4	0.88	18.4
р. Аягоз - пос. Тарбагатай			
0.46	10.0	0.41	15.0
р. Аягоз - г. Аягоз			
0.62	10.2	0.49	15.4

При оценке случайных средних квадратических погрешностей расчетных параметров речного стока необходимо учитывать объем информации, эквивалентной наблюдаемым данным, который определяют соответственно для нормы  $N_{\bar{Q}}$  и среднего квадратического отклонения  $N_{\sigma}$  по формулам:

$$N_{\bar{Q}} = \frac{N}{[1 + \frac{N-n}{n-2}(1-R^2)]}; \quad (3.8)$$

$$N_{\sigma} = \frac{Nn}{n + (N-n)(1-R^4)}, \quad (3.9)$$

где  $n$  — число совместных лет наблюдений в приводимом ряду и рядах-аналогах;  $N-n$  — число восстановленных членов ряда по уравнению;  $R$  — коэффициент парной или множественной корреляции.

Так как зависимости между гидрологическими характеристиками не функциональны ( $R < 1$ ), объем эквивалентно-независимой информации всегда больше  $n$  и меньше  $N$ , и только при  $R = 1$   $N_{\bar{Q}} = N$  [94, 96, 111, 115, 117].

Эквивалентные периоды, определённые с помощью формул (3.8) и (3.9), позволяют рассчитывать средние квадратические отклонения этих параметров непосредственно по формулам (3.6) и (3.7), если вместо  $n$  подставляется соответствующий  $N_{\bar{Q}}$ . В данной работе оценка точности нормы годового стока произведена по формулам (3.6) и (3.7) с учетом объема эквивалентной информации [55, 94, 101, 115]. Результаты расчетов представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Оценка точности нормы годового стока с учетом объема эквивалентно-независимой информации  $N_{\bar{Q}}$  и показатель эффективности  $K$

Пункт-аналог	n	R	N - n	N	$N_{\bar{Q}}$	$N_{\bar{Q}} - n$	$\delta_{\bar{Q}}$	$\delta_{\sigma}$	$K_Q$	$K_{\sigma}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>р. Иле – в 164 км выше Капшагайской ГЭС</b>										
р. Иле - уроч. Капшагай (естеств. сток)	5	0.93	8	13	9.3	4.26	18,7	0.02	83	70
р. Иле - уроч. Капшагай (бытовой сток)	43	0.73	3	46	43.8	0.8			53	28
<b>р. Иле - с. Ушжарма</b>										
р. Иле - уроч. Капшагай (естеств. сток)	25	0.78	6	31	26.9	1.9	14.2	0.02	60	36
р. Иле - уроч. Капшагай (бытовой сток)	27	0.96	19	48	43.4	16.4			91	83
<b>р. Иле, рук. Жидели - в 16 км ниже истока</b>										
р. Иле - уроч. Капшагай (бытовой сток)	26	0.90	14	40	33.8	7.8	20.2	0.03	79	36
<b>р. Иле – в 1 км ниже ответвления рук. Жидели</b>										
р. Иле, пр. Суминка – в 16 км ниже ист.	16	0.70	3	19	16.6	0.6	1.34	0.05	48	23
р. Иле - аул Жидели	39	0.91	2	41	40.4	1.4			83	68
р. Есик - г. Есик	36	0.70	7	43	37.5	1.5			48	23
<b>р. Иле - аул Жидели</b>										
р. Иле - в 1 км ниже отв. рук. Жидели	38	0.91	10	48	44.3	6.3	1.9	0.10	82	67
<b>р. Шарын - уроч. Сарыгогай</b>										
р. Иле - уроч. Капшагай (естеств. сток)	28	0.70	1	29	28.2	0.2	1.26	0.02	49	24
р. Иле - в 164 км выше Капш. ГЭС	58	0.77	1	59	58.3	0.3			50	25

Продолжение таблицы 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>р. Шелек - с. Малыбай</b>										
р. Иле - уроч. Капшагай (бытовой сток)	35	0.70	11	46	36.9	1.9	1.10	0.02	47	23
<b>р. Турген - с. Таутурген</b>										
р. Проходная-устье	59	0.7	2	61	59.4	0.4	0.13	0.01	49	24
р. Курты – Ленинский мост (восст. сток)	62	0.52	1	63	62.1	0.1			27	7
<b>р. Киши Алматы - г. Алматы</b>										
р. Бутак - с. Бутак	61	0.73	1	62	61.3	0.3	0.08	0.02	53	28
<b>р. Аксай – с. Аксай</b>										
р. Киши Алматы - г. Алматы	41	0.73	60	101	49.4	8.4	0.08	0.02	48	24
<b>р. Каскелен - г. Каскелен</b>										
р. Есик - г. Есик	77	0.70	2	79	77.5	0.5	0.12	0.02	49	24
<b>р. Каскелен – устье</b>										
р. Шарын - уроч. Сарытогай	16	0.82	26	42	22.3	6.3	1.0	0.02	62	40
<b>р. Улькен Алматы - в 1.1 км выше оз. Улькен Алматы</b>										
р. Киши Осек - в 0.2 км в. сл-я с р. Осек	42	0.70	24	66	46.0	4.0	0.05	0.02	46	22
р. Шелек - с. Малыбай	61	0.63	2	63	61.3	0.3			39	16
<b>р. Улькен Алматы - в 2 км выше р. Проходной</b>										
р. Асы – с. Асысага	44	0.74	20	64	48.5	4.5	0.20	0.05	52	28
<b>р. Асы – с. Асысага</b>										
р. У/ Алматы - в 2 км выше р. Проходной	14	0.76	23	37	17.7	3.7	0.15	0.04	52	29
р. Киши Алматы - г. Алматы	15	0.77	31	46	19.7	4.7			52	29
<b>р. Курты - Ленинский мост</b>										
р. Иле - уроч. Капшагай (естеств. сток)	27	0.73	2	29	27.6	0.6	0.36	0.05	53	28
р. Иле, рук. Жидели - в 16 км ниже ист.	27	0.70	13	40	29.3	2.3			47	22
<b>р. Тоқырауын – а. Актогай</b>										
р. Нура – а. Бесоба	63	0.71	12	75	65.7	2.7	0.30	0.10	49	25
<b>р. Аягоз - пос. Тарбагатай</b>										
р. Коксу - с. Коксу	49	0.70	6	55	50.3	1.3	0.23	0.05	48	23
<b>р. Аягоз - г. Аягоз</b>										
р. Аягоз - пос. Тарбагатай	38	0.83	17	55	44.6	6.6	1.00	0.09	67	45
<b>р. Лепси - аул Толебаев</b>										
р. Лепси - аул Лепси	69	0.83	12	81	74.2	5.2	1.66	0.04	68	46
<b>р. Аксу - а. Жансугиров</b>										
р. Лепси - аул Лепси	46	0.77	38	84	54.7	8.7	0.47	0.02	56	32
<b>р. Каратал - г. Уштобе</b>										
р. Аксу - а. Жансугиров	66	0.84	18	84	73.9	7.9	3.75	0.03	69	48

Ошибка определения нормы стока в пунктах наблюдений с короткими рядами составили от 0.1 до 16.4 %. Показатель эффективности для нормы стока 27-91%, а для коэффициента вариации составил от 7 до 83%. Оценка точности определения нормы варьирует от 0.05 до 20.2 м<sup>3</sup>/с, а для коэффициента корреляции от 0.01 до 0.10. Расчетный приведенный период и значения показателей эффективности для нормы стока и его изменчивости соответствуют нормативам рекомендаций [94, 115].

Исходя из приведенных результатов исследований характеристик колебаний стока и метеорологических показателей можно сформулировать основные выводы и возможные тенденции изменения водности рек бассейна:

- климатические изменения характеристик водного и теплового баланса в бассейне реки Иле вызывают увеличение годового стока рек, как показано на примере крупных рек региона – Иле, Шарын и Шелек. Наиболее интенсивный рост значений средних годовых расходов воды наблюдается с

начала 1990-х годов со времени значительного увеличения годовых сумм осадков;

- влияние талых вод высокогорных зон на водность рек требуют более детальных исследований, оценки и изменения их внутригодовых стоковых величин. При этом очевидно, что повышение средней годовой температуры воздуха и снижение количества осадков в высокогорных областях бассейна могут привести к еще большему сокращению площади ледников, а возможно к их полному исчезновению и изменению водного режима малых, горных рек;

- в целом же рост годового стока с увеличением количества осадков несомненно благоприятно скажется на развитии данного региона. Потепление климата и увеличение количества осадков в регионе позволяют предполагать дальнейший рост водности рек. При этом, уменьшение объемов ледникового стока, являющегося регулятором водности малых горных рек в многолетнем режиме, должно увеличить изменчивость их стока, то есть вариацию средних годовых расходов воды, которая в большей степени будет определяться количеством осадков конкретного года. Однако, возрастание временной вариации стока приведет к необходимости в хозяйственной деятельности предгорных, наиболее обжитых зон обращать больше внимания вопросам регулирования водного режима и возникновения опасных явлений (наводнений, засушливых периодов, селей и т.п.). Поэтому возможно уже сейчас, в условиях перспектив устойчивого развития, и с учетом водной безопасности региона, возникает необходимость в проектировании и создании ряда водохранилищ, и в первую очередь, на реках с большей долей ледникового стока.

Качественный и количественный анализ изменений гидрометеорологических характеристик Иле-Балкашского бассейна с тенденцией увеличения температуры воздуха, начиная с 70-х, а количества сумм годовых осадков с 90-х годов прошлого столетия, позволяет сделать следующие выводы:

1. В целом для выбора расчетного приведенного периода оценки водных ресурсов региона кроме характерных климатических характеристик необходимы надежные, полноценные наблюдения за стоком. К 70-м годам сеть гидрометеорологической службы РГП «Казгидромета» сформировалась постами с качественными показателями наблюдений за характеристиками стока. Расчетный период составляет настоящее время для рек Илейского Алатау с 1930-2015 гг., для рек Северного Прибалкашья с 1942-2015 гг.

2. Оценка точности изменения водных ресурсов Иле-Балкашского бассейна выполнена с учетом анализа ранее выполненных исследований и по общепринятым методическим руководствам. Ошибка определения нормы стока в пунктах наблюдений с короткими рядами составили от 0.2 до 16.4 %. Показатель эффективности для нормы стока в пределах 27 - 91%, а для коэффициента вариации соответственно от 7 до 83%. Оценка точности

определения нормы варьирует от 0.05 до 20.2 м<sup>3</sup>/с, а для коэффициента вариации от 0.01 до 0.10.

3. Выводы настоящих исследований для одного из густонаселенного и инфраструктурно наиболее развитого региона Казахстана имеет огромное значение. Они могут иметь огромное значение, и использованы в практической деятельности и при планировании водохозяйственных мероприятий.

#### 4 МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА, УСЛОВИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Моделирование формирования годового стока рек аридных территорий, как правило, в первую очередь рек равнинного Казахстана связывают с процессом стокообразования в период весеннего половодья.

Как уже было отмечено, годовой сток большинства рек Казахстана складывается на 80-95% за счет таяния снега, который накапливается за зимний период. Водотоки гор Тянь-Шаня тоже в основе водного питания содержат талую воду, около 65 %. В связи с этим оценка и прогноз годового стока обусловлены, в основном, формированием стока во время половодья. В связи с этим рассматривались принципы моделирования годового стока и весеннего половодья.

Известно, что годовой сток зон достаточного увлажнения тесно связан с величинами годовых сумм осадков:

$$y = f(x) \quad (4.1)$$

Коэффициенты парной корреляции таких связей составляют  $r=0,90 - 0,95$ . Для аридных зон  $r$  составляет менее  $0,50-0,60$ .

В связи с этим для прогноза годового стока и стока весеннего половодья используются многофакторные зависимости вида:

$$y = f(S, W_{увл}, X) \quad (4.2)$$

Прогнозам весеннего половодья посвящено много работ В.Н. Лебедева, А.В. Огневского, Б.А. Аполлова, В.Д. Комарова, Г.П. Калинина и др. которые разрабатывали методы прогноза элементов весеннего половодья.

Наиболее совершенными являются методы прогнозов объема весеннего половодья. Величина последнего определяется запасами воды в снежном покрове к началу снеготаяния (снегозапасы), количеством осадков, выпавших во время половодья, и потерями этих вод.

Для разработки гидрологических прогнозов необходимо иметь информацию о гидрологических и метеорологических наблюдениях. От полноты и качества этих материалов во многом зависит успешность разработки гидрологических прогнозов и создание автоматических моделей, рассчитывающих формирование стока на исследуемой территории.

Материалы гидрологических наблюдений делятся на водный, термический и ледовый режим водных объектов. В группу по водному режиму рек входят такие материалы как: ежедневные, декадные, месячные и годовые данные об уровнях и расходах воды, элементы весеннего половодья, основные характеристики стока за вегетационный период и характеристики дождевых паводков. Для характеристик режима рек снегового питания,

значительная часть которого происходит обычно в период половодья, необходимы сведения основных характерных элементов весеннего половодья.

В материалах метеорологических наблюдений по гидрологическим прогнозам включают в себя следующие виды метеорологических наблюдений: данные о снежном покрове и ледяной корке на поверхности почвы, осадки, температура, влажность воздуха, скорость ветра, облачности, данные о влажности и глубине промерзания почвы и косвенные гидрометеорологические характеристики.

Снежный покров является важнейшим фактором определяющим режим большинства рек рассматриваемой территории. От точности учета запаса воды в снежном покрове в значительной мере зависит как сама точность прогнозов водности, так и успех разработки методики этих прогнозов для дальнейшего его применения в процессе моделирования. Основным исходным материалом по снежному покрову являются данные снегомерных съемок. Для горных районов материалом по снежному покрову служат результаты снегомерных съемок в горных долинах и наблюдения над снежным покровом на площадках горных метеостанций.

Данные об осадках являются необходимым материалом для изучения процессов формирования дождевого стока, расчета поступления воды в бассейн во время снеготаяния и т.д. влажность и промерзание почвы являются факторами стока [141] особенно важно влияние их в лесных и лесостепных районах. К косвенным гидрометеорологическим характеристикам относятся: характеристика осеннего увлажнения почвы, температура воздуха за некоторый период до перехода ее через  $0^{\circ}\text{C}$ .

Для районов недостаточного и неустойчивого увлажнения одним из основных факторов весеннего стока является влажность почвы перед началом весеннего снеготаяния [116]. Однако в связи с недостаточностью данных непосредственных наблюдений над влажностью почвы при разработке методики прогноза весеннего стока и для входных данных процессов моделирования используются косвенные характеристики осеннего увлажнения.

#### **4.1 Обзор моделирования процессов стокообразования**

Современные методы гидрологических прогнозов, основанные на математическом моделировании, требует уже не обобщенных сведений о снежном покрове в виде упомянутых индексов, а оперативной оценки их реального распределения на водосборной площади бассейна. Такая оценка возможна на основе комплекса расчетных методов, которые предложили авторы [53, 117-118]. Преимуществом их является то, что они основаны на использовании стандартной гидрометеорологической информации, и позволяют определить основные характеристики снежного покрова (сроки залегания устойчивого снежного покрова, его высоту и водность) для любого участка горной поверхности с учетом влияния зональных (географическая

широта и долгота), региональных (орография, местоположение в горной системе) и локальных факторов (абсолютная высота, ориентация склона и уклон, тип подстилающей поверхности). Упомянутая система расчетных методов и соответствующее программное обеспечение использованы для определения снежных ресурсов зоны формирования стока р. Иле в Казахстане.

*Оценка снежно-ледовых ресурсов китайской части бассейна р. Иле*

Температурный режим любой горной страны, как отмечается в работах [119-122], труден для анализа по целому ряду причин: во-первых, он испытывает макро-, мезо- и макромасштабное влияние гор, во-вторых, метеорологические станции расположены в разных условиях рельефа, и поэтому сопоставление их данных за разные периоды года не всегда показательно [68, 119], и в-третьих нередко наблюдается недостаток метеорологических станций и неравномерность их распределения по территории.

Основным компонентом снежных ресурсов является водный эквивалент снежного покрова – запас снежной воды, способный участвовать в формировании стока. Знание закономерностей территориально-временного распределения водного эквивалента снежного покрова – важное условие успешного решения практических задач, в том числе, оценки возобновляемых водных ресурсов и прогноза стока весеннего половодья. Определенную практическую ценность представляют также данные о сроках залегания устойчивого снежного покрова.

Сроки залегания устойчивого снежного покрова - важный источник информации, необходимый для решения целевых задач по теме диссертации.

Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом определяет длительность периода аккумуляции атмосферных осадков, выпадающих преимущественно в твердом виде. Сроки залегания устойчивого снежного покрова в сочетании с данными об осадках на сети метеорологических станций – зачастую единственная основа для оценки распределения максимальных запасов воды в снежном покрове – главным компонентом снежных ресурсов.

Для подавляющей части горной территории, особенно для среднегорно-высокогорного пояса, определить сроки установления и разрушения устойчивого снежного покрова по имеющимся данным прямых наблюдений невозможно. В этих условиях большое значение приобретает выявление общих для различных горных районов закономерностей территориальных изменений исследуемых характеристик, на основе которых возможны интерполяционные построения опирающиеся на ограниченную фактическую информацию.

В условиях гор Средней Азии и Казахстана выявлено три типовых зависимостей сроков установления  $T_y$  и разрушения  $T_p$  устойчивого снежного покрова [66, 68]. Первая отражает изменение по высоте сроков установления и разрушения устойчивого снежного покрова на макросклонах горных

хребтов широтного и субширотного пространства, вторая – на более увлажненных макросклонах периферийных хребтов, ориентированных на запад (СЗ, З, ЮЗ), а третья характеризует вертикальное распределение этих показателей в орографически закрытых внутригорных районах.

Наиболее удобной, интересной и полезной оценки территориального распределения снежных ресурсов является изображение на карте главной компоненты последующих – максимального запаса воды в снежном покрове ( $W$ , мм). Составленная И.В. Северским карта запаса воды в снежном покрове по территории Тянь-Шаня, наглядно характеризует особенности территориальных различий снежности, в том числе, в горах юго-восточного Казахстана [66 - 67, 122].

Изменения речного стока («продукта климата» - по определению А. И. Воейкова) в замыкающих створах можно рассматривать как интегральную характеристику изменений климатических, ландшафтных и антропогенных условий на водосборе.

По мнению авторов [123-124], климат считается вполне реальным существом векового тренда климатических характеристик. Закономерности изменения, основных стокообразующих факторов климата (атмосферных осадков, температуры воздуха), происходящих в прошлом, изучались многими исследователями [125-128].

В пункте 3.4 настоящей научной работы более подробно представлены исследования антропогенных изменений климата на водные ресурсы Иле-Балкашского региона.

#### **4.2 Климатические условия формирования снежного покрова и наблюдения за снежным покровом и осадками**

Климатические условия Илейского Алатау, где проводились многократные экспериментальные исследования по теме, как в общем, так и по отдельным его элементам, рассмотрены во многих научных публикациях [120, 130], для этого в этой главе мы остановимся на основных характеристиках лишь тех элементов климата, которые могут напрямую влиять на динамику структурно-прочностных свойств снежного покрова.

*Солнечная радиация.* Как известно [132-133] солнечная радиация оказывает влияние на температурный режим толщины снега, процессы таяния и перекристаллизации. Однако глубина проникновения и ослабление солнечной радиации в снег зависит от длины волны и его физико-географических характеристик.

Для Илейского Алатау в частности характерны большие суммы солнечного теплоприхода в холодное время года и закономерности их увеличения по мере роста абсолютной высоты, которые со своей стороны могут приводить к изменению типа метаморфизма при отрицательных значениях температуры воздуха [134].

*Сроки залегания и разрушения снежного покрова.* Характеристики снежного покрова Илейского Алатау достаточно подробно изучены в работах

[129, 134-137]. Согласно исследованиям сроки залегания устойчивого снежного покрова испытывают закономерность территориального изменения обнаруживая устойчивую связь с абсолютной высотой, ориентацией склонов и географическими координатами данного пункта. Большое влияние на рассматриваемые характеристики снежного покрова оказывает ориентация макросклонов (азимут падения долин главных рек) относительно господствующего в холодный период года атмосферного влагопереноса. Роль этого фактора настолько велика, что им по сути, определяется тип зависимостей дат образования и разрушения устойчивого снежного покрова от абсолютной высоты [137-138]. Межрайонные различия в суммарном за холодный период года увлажнении особенно ярко проявляются в характере изменения сроков разрушения устойчивого снежного покрова по абсолютной высоте вертикальных градиент дат разрушения снежного покрова увеличивается от хорошо увлажненных районов на западной части горных стран к внутриконтинентальным малоснежным районам [137].

*Режим снегонакопления.* Режим снегонакопления в горах Казахстана и Средней Азии характеризуется выраженной неравномерностью как внутри холодного периода, так и от сезона к сезону, что отмечалось многими исследователями [58, 138-139]. В рассматриваемом районе наблюдается два максимума снегонакопления: осенне-зимний (малый) и весенний (большой) на долю которых в среднем многолетнем режиме приходится более 30% и 50% соответственно от их зимнего количества.

Максимальные снегонакопления в Илейском Алатау приходится на конец марта – начала апреля [58, 138, 140] и с переходом к высокогорным поясам смещается на более поздние сроки вплоть до середины июня в районе ледников.

*Температурный режим снежной толщи.* Режим температуры снежной толщи определяется соотношением динамики снегонакопления хода температуры и влажности воздуха, а также особенностями тепло- и влагосодержания почвы [140-141] при этом суточные колебания температуры воздуха проникают в толщу снега на глубину до 30-40 см, а температурный режим более глубоких слоев снега длиннорядными колебаниями отмеченных выше природных факторов.

Наблюдения за снежным покровом и осадками в горных районах являются одним из наиболее важных видов гидрометеорологических наблюдений. От количества атмосферных осадков, главным образом зависит водоносность рек – их маловодье или многоводье. Поэтому наблюдения за осадками и снежным покровом необходимы, прежде всего, для составления гидрологических прогнозов и расчетов, имеющих важное значение для сельского хозяйства, связанных с использованием горных рек. Эти наблюдения важны также для климатического изучения горных районов. Наблюдения за снежным покровом состоят из ежедневных наблюдений за изменением (динамикой) снежного покрова и периодических снегосъемок

для определения снегонакопления и запаса воды в снеге на элементах природного ландшафта (поле, лес, балки, овраги).

Основными методами изучения снежного покрова и осадков в горах являются: маршрутные наземные и авиаснегосъемки, учет осадков с помощью суммарных осадкомеров. Но количество снегосъемок, запланированных по плану Гидрометслужбы по исследуемой территории имеют небольшое количество. Они в основном задействованы на тех участках, которые имеют наибольшее значение для водохозяйственных расчетов, в бассейнах основных рек или для водных объектов расположенных вблизи населенных пунктов. Сроки проведения снегосъемок, назначенные планом, не в полной мере показывают картину залегания снежного покрова на участке. Вспомогательными методами являются: визуальные наблюдения за высотой сезонной снеговой границы, состоянием и распределением снежного покрова в горах [142]. Так же данные по снежному покрову можно получить с помощью космических снимков ДЗЗ. Однако, эти данные не всегда полностью охватывают исследуемый участок и периодичность этих снимков невысокая.

Для составления прогноза весеннего половодья дополнительно необходима информация о температуре воздуха в холодный период и в период снеготаяния, запас воды в снеге, накопленные осадки и промерзание почвы. Получение которой по ряду причин имеет свои сложности. Такие как: отдаленность метеостанций, отсутствие наблюдений за снежным покровом в плане метеостанции, отсутствие или неисправность измерительных приборов и устройств (которые в свою очередь, приводят к не качественному материалу наблюдений, то есть материал считается забракованным и далее не может быть использован или применен для расчетов); недостаточная информация об осеннем и весеннем увлажнении почвы и т.д.

В последнее время упрощенным аналитическим приближениям с множеством ограничений и относительно низкой точностью все более часто приходят на смену высокоэффективные численные методы.

Таяние снега весной является особенно важным процессом во многих частях мира из-за его прямой связи с водоснабжением и другими видами использования водных ресурсов. Это особенно верно для горных регионов, где сток талых вод обычно составляет не менее 50% от общего стока, а иногда превышает 95% (Shafer et al., 1982). Чтобы лучше оценить этот ресурс, для прогнозирования стока талых вод используются различные типы моделей, в том числе модели энергетического баланса и температурного индекса или градус-дня.

Как было продемонстрировано в международном сравнении моделей снеготаяния (ВМО, 1986), метод градус-день является стандартным инструментом, любимым разработчиками моделей снеготаяния и оперативными гидрологами, и имеет точность, сравнимую с более сложными формулировками энергетического бюджета. Это очевидное несоответствие между предполагаемой улучшенной точностью расчетов таяния снега

энергетического баланса и продолжающимся предпочтением подхода "градус-день" в значительной степени является результатом некоторых неправильных представлений о методе "градус-день".

Утверждается, что метод градус-день будет заменен на более физический, основанный на энергетическом балансе метод или модель. Но, по мнению авторов [143] метод "градус-день" сохраняет свою популярность, применимость и эффективность. Во многих работах, посвященных изучению и применению этого метода, показано, что градусно-дневной метод надежен для расчета суммарных глубин снеготаяния за периоды от недели до всего сезона снеготаяния. Он также может быть использован для ежедневных глубин таяния снега, когда используется в связи с адекватной моделью стока таяния снега для расчета стока бассейна. Показано, что отношение градус-день изменяется сезонно, а не является постоянным, как это часто предполагается. Кроме того, для правильной оценки соотношения градус-день необходимо учитывать изменение протяженности снежного покрова в бассейне в течение сезона таяния снега. Кроме того, можно комбинировать градусно-дневной подход с радиационной составляющей. Так же следует отметить, что имеющиеся физически обоснованные модели энергетического баланса не скоро вытеснят методы градусного дня из-за их чрезмерных требований к данным.

Если избежать неправильных интерпретаций и неправильного применения метода, то можно сделать вывод, что метод градус-день является достаточно надежным для вычисления общей глубины таяния снега за периоды от одной недели до всего сезона таяния снега.

Авторы отмечают, что хотя метод градус-день и не подходит для расчета суточного снеготаяния, он все же применим для расчета недельных глубин снеготаяния, когда необходимо более детально определить соотношения градус-день. Для ежедневных глубин таяния снега он пригоден для использования только в связи с адекватной моделью стока таяния снега для расчета стока бассейна. В этом случае возможные суточные отклонения сглаживаются расположением бассейна.

Метод градус-день не может быть использован ни для более коротких временных интервалов (часов), ни для очень малых областей (например, пикселей на спутниковых снимках) с различным воздействием солнечной радиации. Однако в таких случаях метод "Degree-Day" может быть уточнен путем включения радиационной составляющей, если имеются соответствующие данные. С развитием компьютерных технологий и расчетных методов возможно замещение метода градус-день на более сложные и усовершенствованные методики или модели расчета снеготаяния, метод градус-день, вероятно, сохранит свою полезность не столько из-за своей простоты, сколько из-за своих скромных требований к входным данным. В то же время пользователи метода "Degree-Day" (с вышеупомянутыми ограничениями) могут быть уверены, что полученные ими результаты сопоставимы с результатами более сложных методов.

### **4.3 Апробация метода «Degree-Day» при недостаточности метеорологических наблюдений за снежным покровом**

Создание моделей формирования стока рек Иле-Балкашского бассейна возможно на примере опыта исследований и оценки изменений водного режима рек бассейнов Сырдарьи и Амударьи в зависимости от различных сценариев развития гидрометеорологических условий в Средней Азии. В частности в работах [106-107] приводятся результаты прогноза стока реки Нарын с использованием наземных и спутниковых данных о снежном покрове. Как отмечается здесь также наблюдаются интенсивные процессы потепления и увеличения количества осадков с 70-х годов прошлого столетия. Сходные гидрометеорологические условия стокообразования в рассматриваемых бассейнах предполагают использовать алгоритмы расчетов стока и создания моделей его формирования на реках Памира и Тянь-Шаня в практике Казахской гидрометеорологической службы в отношении рек Иле-Балкашского бассейна, годовой сток которых обусловлен в первую очередь снегозапасами за зимний период, таянием ледников в теплое время года и дождями. В процентном соотношении, в среднем для данного региона, доли данных составляющих питания рек в годовом стоке, соответственно составляют: снеговое – до 85%; ледниковое - от 12 до 17,5%; дождевое от 7,5 до 23% [109]. При этом увеличение средних годовых температур воздуха и количества осадков приводит к отступлению климатической снеговой линии и возрастанию ледникового и снегового стока рек, что влияет на их внутригодовой режим и требует более глубоких исследований и анализа, происходящих изменений водных ресурсов региона и прогнозирования их состояния в будущем.

В разделе представлены результаты апробации и использование метода формирования стока рек «Degree-Day» [144]. На примере реки Киши Алматы Иле-Балкашского бассейна показана работоспособность метода моделирования и определены границы её применимости. Моделирование формирования стока является необходимым элементом для имитации эффективности процессов и управления земельными и водными ресурсами.

Хотя и нет исчерпывающего руководства, которое могло бы помочь смоделировать характеристики стока достаточно точно по сравнению с измеренными значениями расхода и его составляющих.

Таким образом, цели исследования, заключаются в следующем: определить эффективность расчета гидрометеорологических характеристик для моделирования с помощью метода «Degree-Day»; рассмотреть представленные границы величин проверочных составных частей метода и результативность для содержащей в себе рекомендации статистики; и с точностью выяснить самое существенное исходное положение для соотнесения входных данных метода опираясь на результаты анализа и конкретных проектов моделирования стока рек. Рассчитаны рекомендованные графические и статистические данные: эффективность Нэша-Сатклиффа (NSE), процентная разница между смоделированными и

наблюденными данными (PBIAS) и средняя квадратическая ошибка относительно стандартного отклонения измеренных данных (RSR), сделаны доступными и графические методы, которые употребляются при оценке модели. Смоделированы ежедневные данные по температуре воздуха и осадкам по метеостанциям БАО (2000-2001 гг.), Мынжылки и Актогай (2014-2015 гг.) и по 3-м метеостанциям за период с 2000 по 2014 гг., которые являются основными для моделирования формирования стока методом «Degree-Day».

Компьютерные модели стокообразования в бассейнах рек могут сэкономить время и средства, за счет возможности выполнять долгосрочное моделирование воздействия процессов формирования стока и в последующем управлять качеством и количеством воды. Благодаря этим моделям можно упростить влияние на окружающую среду осуществления основанное на специальном исследовании заключения о предстоящем развитии и исходе и процесса действия указаний для изменения к лучшему качества используемой воды и самой почвы. Входные и выходные данные модели при решении гидрологических задач, должны быть научно обоснованными, надежными и оправданными [145].

Для выполнения расчетов с использованием водных и выходных данных для метода моделирования формирования снежного покрова и снегового стока «Degree-Day» использовались следующие определения. Это анализ чувствительности, калибровка модели, проверка модели [146-148] и оценка эффективности, которая выполнялась по рекомендациям нижеследующих авторов [149-156]. Следует отметить, что еще нет общепринятых утвержденных рекомендаций, но разработаны и применяются определенные статистические данные.

Расчет формирования входных данных моделирования стокообразования снегового стока представлено на примере рек Киши Алматы, Тургень, Мойынты и Тоқырауын. Зона формирования стока рек Иле-Балкашского бассейна находится, в основном, в горных и предгорных районах, а их питание складывается из талых снеговых, ледниковых и дождевых вод. Режим годового стока рек зависит не только от суммы годовых осадков, но и от таяния высокогорных снегов и льдов, накопившихся за предыдущие многолетия.

Для выбора, используемых моделей формирования стока в бассейнах рек, был проведен обзор литературы, по критериям калибровки, проверки и применимости модели к формированию стока в бассейнах горных рек [157]. Для этого принимались в расчет обязательные для решения вполне точной и вещественно определенной задачи и наставления по их использованию, характеристики всего без изъятия, статистического и графического методов. Для оценки метода “Degree-Day” при моделировании динамики снежного покрова и снегового стока рек Киши Алматы, Тургень, Мойынты и Тоқырауын, применялись и были учтены нижеследующие факторы. Это – ее надежность, которая при использовании метода по отношению к различным

компонентам, параметрам и климатическим условиям, повсеместно используется в гидрологической практике в различных странах мира. По рекомендации автора [158], можно прийти к соглашению на основе взаимной уступки при возникновении разночтений между осуществляемыми на длительный срок смещением и остаточной дисперсией. При этом смещение, по сравнению с наблюдаемыми значениями данных измеряет среднюю тенденцию значений моделируемых характеристик. В свою очередь, остаточная дисперсия, является разницей между измеренными и смоделированными значениями. Разница, при этом чаще всего оценивается по (RMSE), которая имеет место быть остаточной средней квадратичной или средней квадратической ошибке. В соответствии с рекомендациями [159], следует применять дающее правильное объяснение статистические входные данные. Для этого предложено включать хотя бы одну безразмерную статистику, индекс абсолютной ошибки, а также включить одну графическую методику.

Для апробации метода модели выбраны водосборы рек Киши Алматы, Тургень, Мойынты и Тоқырауын, которые не подвержены влиянию хозяйственной деятельности, то есть имеют в настоящее время естественное условие стокообразования.

Для использования метода модели «Degree-Day», выполнен анализ следующих гидрометеорологических элементов - снежный покров и питание реки, на основе материалов публикуемых в справочной литературе Гидрометеорологической службы Казахстана.

*Снежный покров.* Длительность периода залегания снежного покрова, его сроки становления и схода, высота, плотность снега, запас воды в нем к периоду начала снеготаяния зависят от широты и рельефа местности. *Появление снежного покрова* наблюдается в высокогорных районах исследуемого бассейна в начале сентября. Более чем в 70-80% случаев выпавший первый снег на территории исследуемого бассейна реки Киши Алматы, не покрывается сплошным снежным покровом. *Устойчивый снежный покров* формируется в левобережной части р. Иле, к востоку от бассейна р. Киши Алматы на высотах 500-1000 м максимум приходится в среднем на 1-10 февраля. В горных районах левобережной части бассейна р. Иле к востоку от р. Киши Алматы наибольшая высота снега с увеличением высоты местности на 100 м увеличивается примерно на 4-5 см, а на высотах 2500-3000 м снежный покров достигает 100 см и более. В Илейском Алатау на склонах северной ее ориентации наибольший запас воды в снежном покрове иногда на 1-1,5 месяца наблюдается позже, чем на склоне южной ориентации. В Северном Прибалкаше высота снежного покрова не превышает 15-25 см. *Отношение массы снежного покрова в его объеме (то есть его плотность)*, также как и высота, увеличивается в зимний период, достигая своего максимума в период снеготаяния. В горных районах при наибольшем снегонакоплении плотность снега в среднем также колеблется в пределах от 0,20-0,30, но на больших высотах в горах она может достигать

0,40 и больше. Максимальные запасы воды в снежном покрове в исследуемом регионе распределяются неравномерно.

Сход снежного покрова в левобережной части бассейна р. Иле снежный покров сходит в первой-второй декаде марта, а в предгорьях северного склона Жетису Алатау, Кунгей и Терской Алатау – в конце марта начале апреля [1]. В Северном Прибалкашье разрушение снежного покрова происходит в середине – конце марта, а окончательный его сход – в апреле.

Дождевые осадки не в полной мере питают снеговой сток в период половодья. Величина подземного питания, не столь велико. На большинстве рек верхней левобережной части реки Иле грунтовая составляющая то же обычно превосходит снеговую в 1,5 – 2 раза [1].

После выбора методики расчета формирования стока и подбора соответствующих материалов с помощью программы QGIS созданы карты цифровой модели водосборов рек Киши Алматы, Тургень, Мойынты и Тоқырауын, которые были получены на основе космических снимков ДЗЗ (SRTM 90) и представлены на рисунках 4.1-4.4 (рисунок 4.1 – бассейн реки Киши Алматы, рисунок 4.2 – бассейн реки Тургень, рисунок 4.3 – бассейне реки Мойынты и рисунок 4.4 – бассейн реки Тоқырауын).

На территории водосбора реки Киши Алматы, расположена автоматическая метеостанция (далее - АМС) Медеу, наблюдения за метеорологическими элементами ведутся по ней с 2015 года. По этой причине, выбрана близ расположенная к бассейну реки метеостанция БАО, наблюдения по которой проводятся с 1932 года. Данные по метеостанции, а именно ежедневная температура воздуха и количества осадков необходимы для построения графика и выбора параметров пороговой температуры воздуха ( $T_0$ ) в диапазоне от  $-5$  до  $+5$  °С и коэффициента снеготаяния ( $C_m$ ) в диапазоне от 2 до 8 мм.

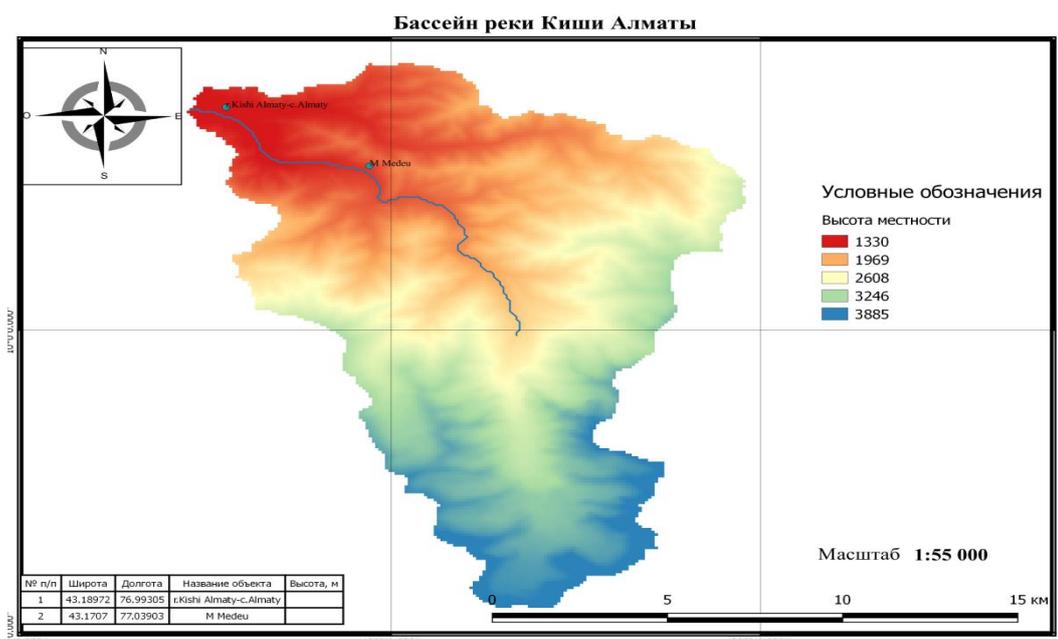


Рисунок 4.1 - Бассейн реки Киши Алматы

На территории водосбора реки Тургень расположена ближайшая метеостанция Мынжылки.

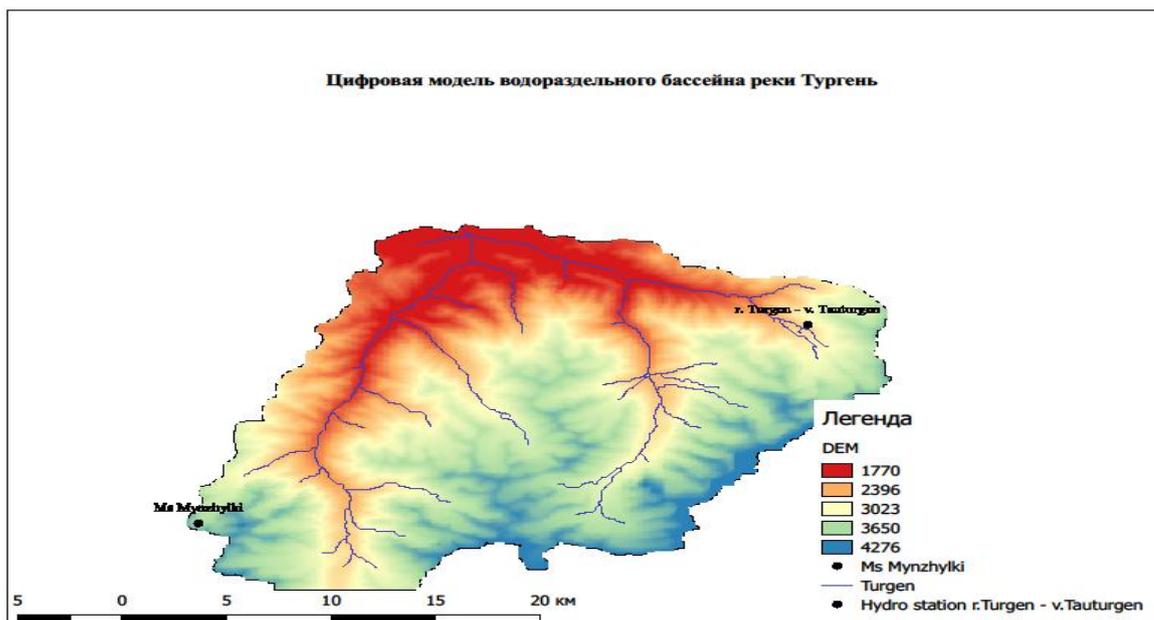


Рисунок 4.2 - Бассейн реки Тургень

На территории водосбора рек Токрырауын и Мойынты расположена одноименная метеостанция Актогай.

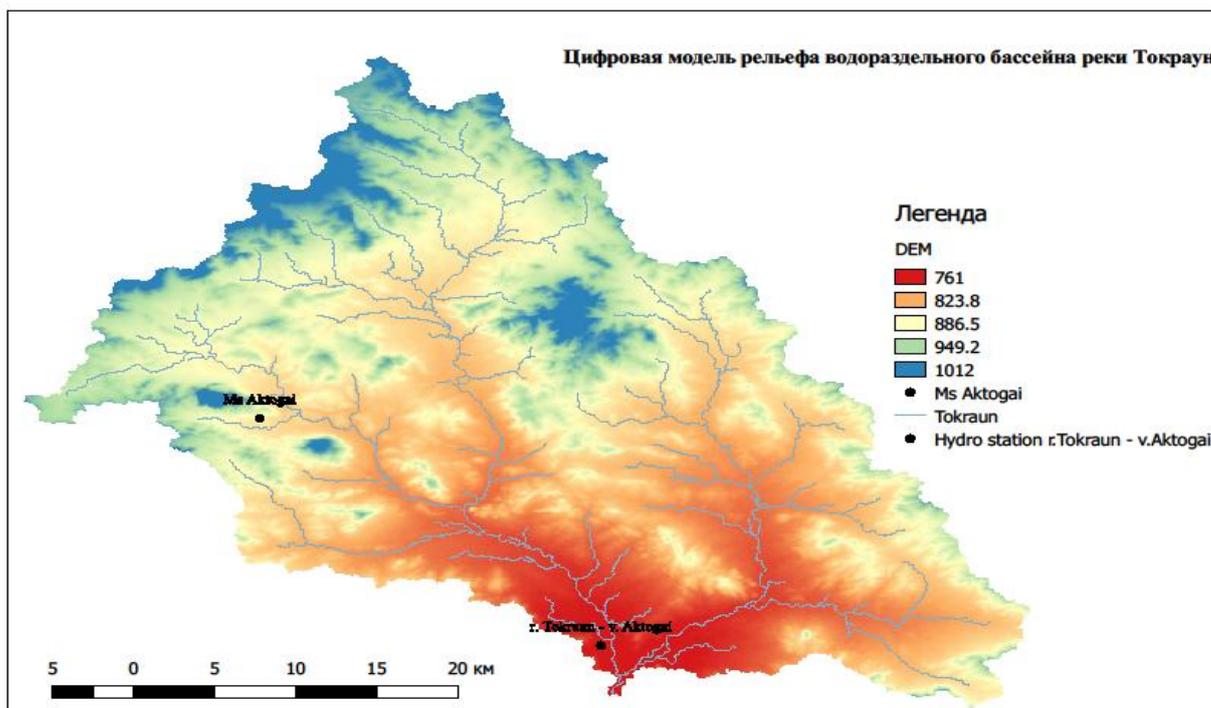


Рисунок 4 3 - Бассейн реки Токрырауын

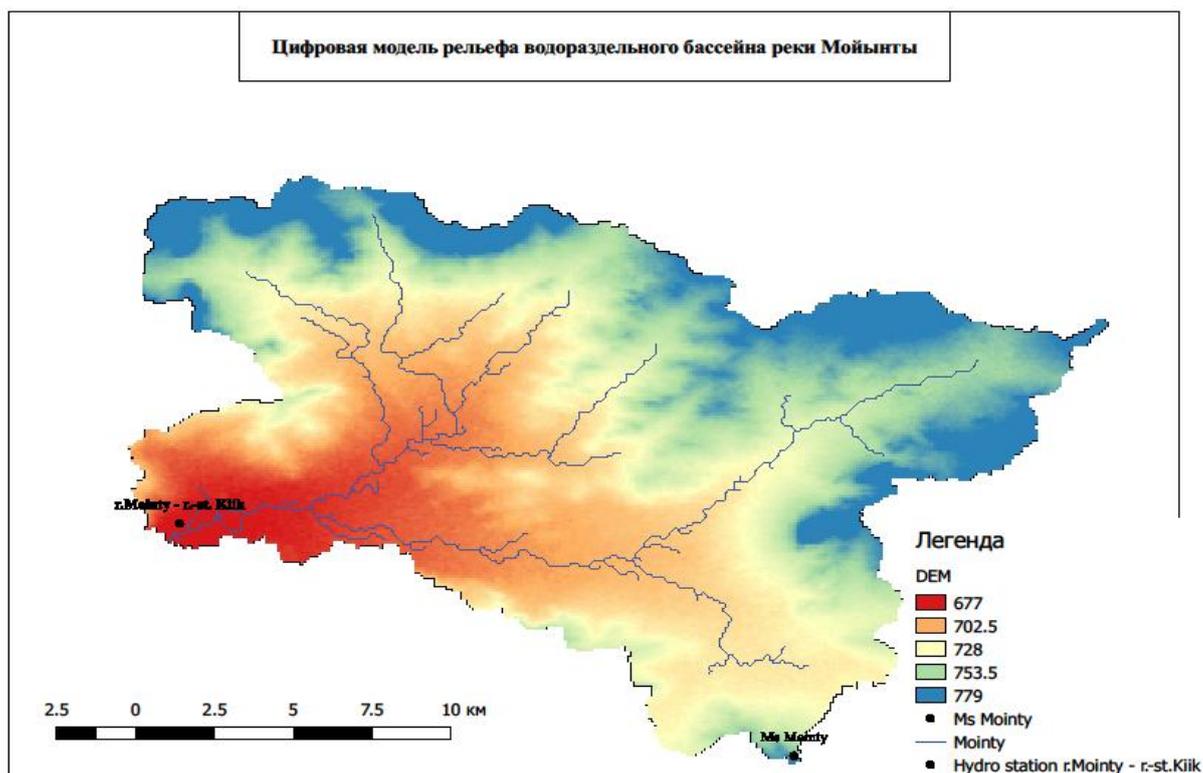


Рисунок 4.4 - Бассейн реки Мойынты

Моделирование процесса формирования стока в бассейнах рек Киши Алматы, Тургенъ, Тоқырауын и Мойынты выполнены с использованием двух методов - статистического и графического. Ряды гидрометеорологических характеристик за многолетний период собраны с учетом рекомендаций [82].

Для моделирования по методике «Degree-Day» качестве входных данных применяются: ежедневные осадки, температура воздуха и наблюдаемая высота снежного покрова. Осадки моделируются в виде снега или дождя, в зависимости от того, является ли температура воздуха выше или ниже пороговой температуры  $T_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). Все осадки, моделируемые как снег, т.е. когда температура падает ниже  $T_0$ , умножаются на поправочный коэффициент снеготаяния  $C_m$ .

Снеготаяние рассчитывается по методу градус-день по нижеследующей формуле:

$$S_m = C_m * (t_{\text{осзд}} - T_0) \quad (4.1)$$

Талая вода и осадки остаются в пределах снежного покрова до тех пор, пока она не достигнет определенной доли, SWE – водного эквивалента снега.

Выбор лучших показателей основных параметров пороговой температуры  $T_0$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) и коэффициента снеготаяния  $C_m$  для их калибровки с помощью наблюдаемой высоты снега определяется смоделированная высота снега по формулам 4.2-4.4. Смоделированная высота снега определяется

путем деления значения водного эквивалента снега на плотность, которая в модели принимается как 0,2.

При этом рассчитаны: безразмерная статистика и статистика индекса абсолютной ошибки с дополнительной информацией, такой как стандартное отклонение измеренных данных, и построен график смоделированной и наблюдаемой высоты снега (мм).

При апробации модели были определены:

1. **эффективность Нэша-Сатклиффа (NSE)**: NSE вычислено, по уравнению 4.2:

$$NSE = 1 - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (Y_i^{набл.} - Y_i^{смод.})^2 \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n (Y_i^{набл.} - Y_i^{ср.много.})^2 \right]} \quad (4.2)$$

где,  $Y_i^{набл.}$  -  $i$ -ое наблюдаемое значение оцениваемой составляющей;  $Y_i^{смод.}$  -  $i$ -ое смоделированное значение оцениваемой составляющей;  $Y^{ср.много.}$  – среднее многолетнее значение наблюдаемой составляющей.

NSE находится в диапазоне от -1 до 1,0, причем NSE = 1,0 является оптимальным значением.

**Процентное смещение (PBIAS)**: Процентная разница между смоделированными и наблюдаемыми данными (PBIAS) рассчитывалось по следующему выражению:

$$PBIAS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{набл.} - Y_i^{смод.}) * (100)}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{набл.})} \right] \quad (4.3)$$

где, PBIAS - это отклонение оцениваемых данных, выраженное в процентах.

Результаты расчетов PBIAS для вышеуказанных рек содержат диапазон следующих величин от 2,0 до 44, что положительно характеризует использование данной модели.

**Коэффициент стандартного отклонения наблюдений RMSE (RSR)**: RMSE по рекомендациям [80, 93, 96] является одним из наиболее широко применяемых статистических величин об ошибках в использовании моделирования метода динамики формирования снежного покрова и снегового стока. RSR рассчитывается как отношением RMSE к стандартному отклонению измеренных данных, как показано в уравнении 4.4:

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{набл.}} = \frac{\left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{набл.} - Y_i^{смод.})^2} \right]}{\left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{набл.} - Y_i^{ср.много.})^2} \right]} \quad (4.4)$$

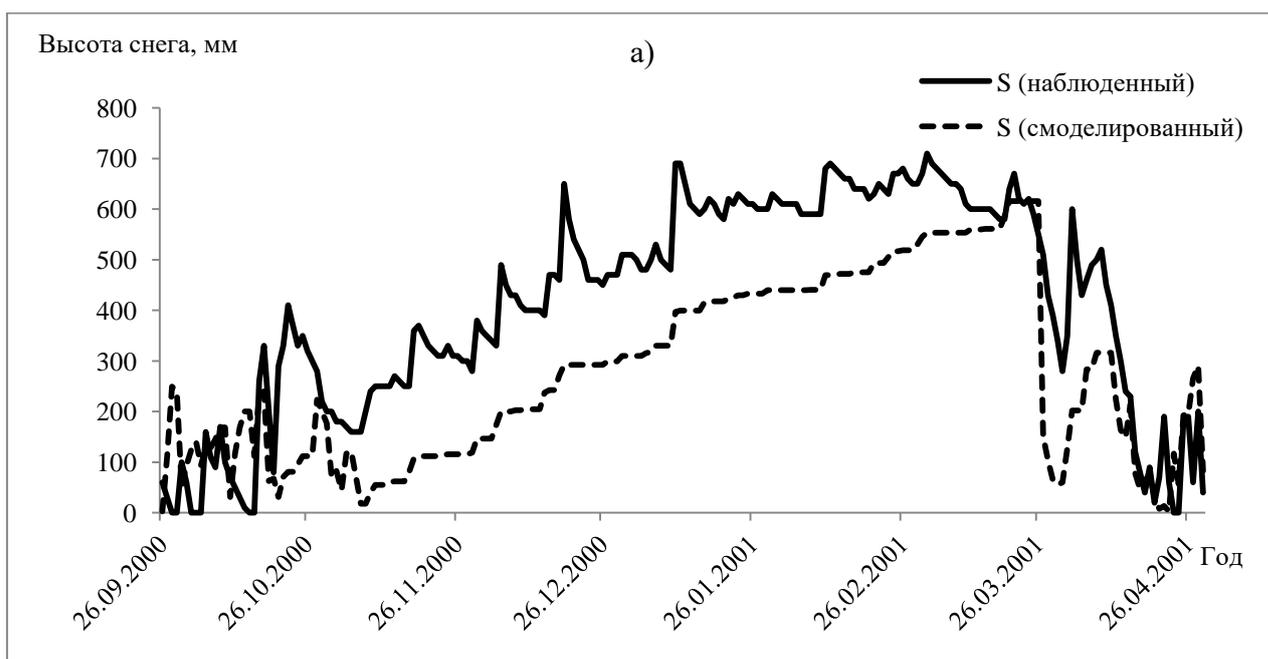
Значения RSR варьируются от 0 до положительных его значений, то есть до единицы. Рассчитанные величины RSR, по модели формирования стока для водосборов рек Киши Алматы, Тургень, Токырауын и Мойынты, имеют следующие значения от 0,40 и до 0,91, что соответствуют рекомендуемым нормам.

По результатам калибровки параметров за различные периоды, они были определены в следующих диапазонах: пороговая температура  $T_0 = -5^\circ\text{C}$  до  $+5^\circ\text{C}$ , коэффициент снеготаяния  $C_m =$  от 2 мм до 8 мм. Значения результатов расчетов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты выборки параметров калибровки по ежедневным данным температуре воздуха и количества осадков по 3 метеостанциям

Периоды	Калибровка параметров	NSE	PBIAS	RSR
МС БАО				
2000-2001	(T <sub>0</sub> =-2,4, C <sub>m</sub> =5,2)	0,53	26	0,91
2000-2015		0,64	28	0,60
МС Мынжылки				
2014-2015	(T <sub>0</sub> =-3, C <sub>m</sub> =2)	0,78	42	0,85
2000-2014		0,77	44	0,46
МС Актогай				
2014-2015	(T <sub>0</sub> =+2, C <sub>m</sub> =2)	0,62	2	0,61
2000-2014		0,84	39	0,40

Графические изображения наблюдаемых и смоделированных данных представлены на рисунках 4.5 - 4.7.



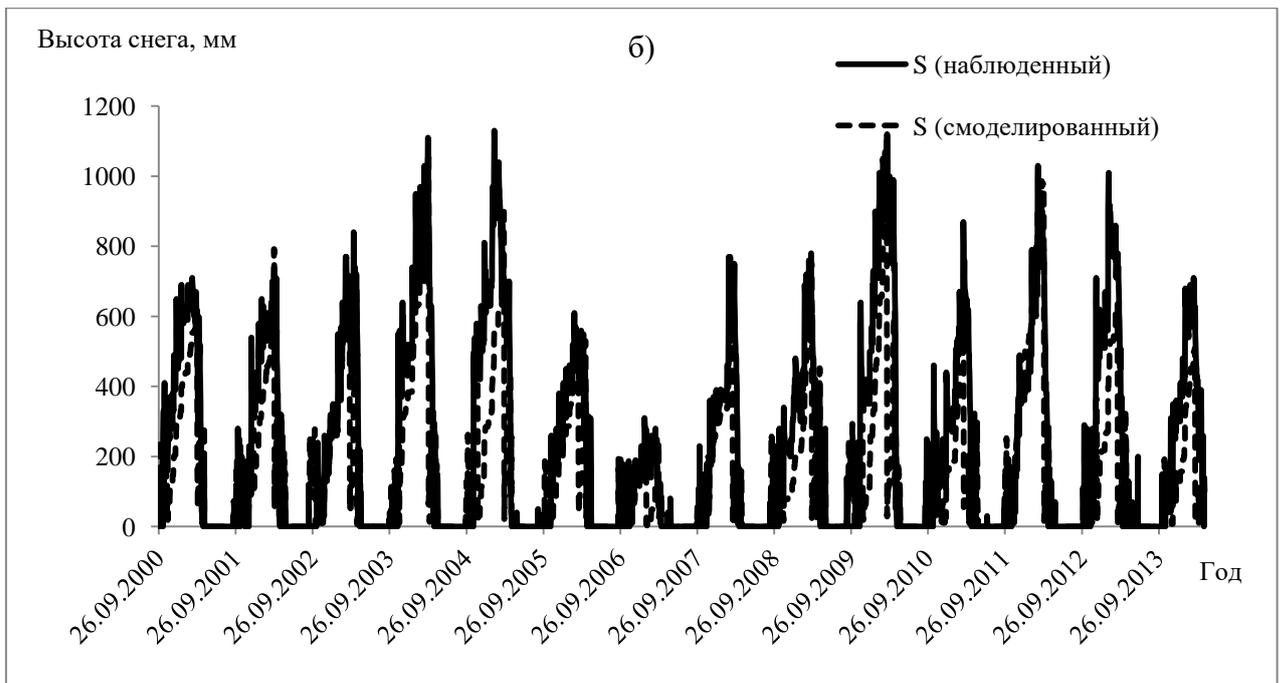


Рисунок 4.5 - Наблюденные и смоделированные ежедневные данные высоты снега по МС БАО за период а) 2000-2001 и б) 2000-2014 гг.

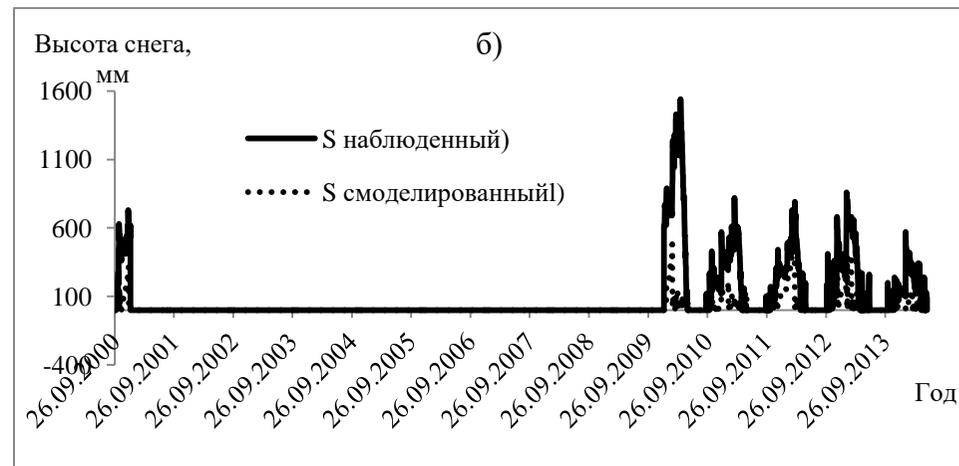
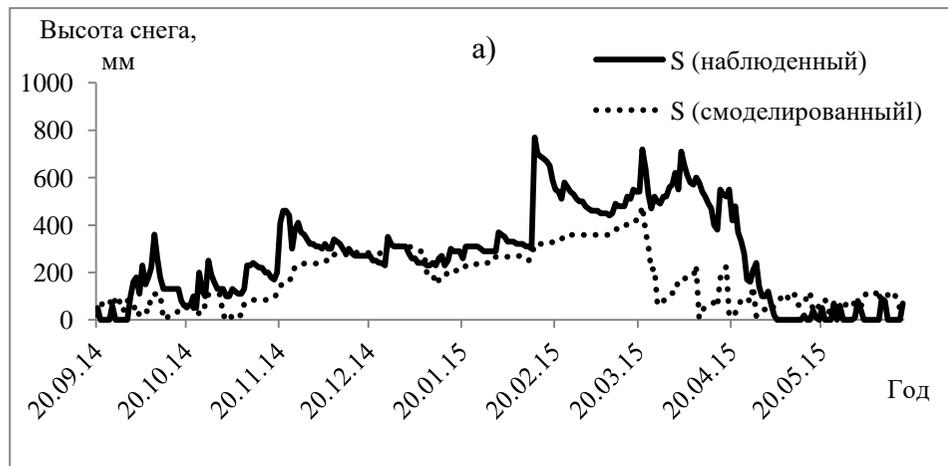


Рисунок 4.6 - Наблюденные и смоделированные ежедневные данные высоты снега по МС Мынжылки за период а) 2014-2015 и б) 2000-2014 гг.

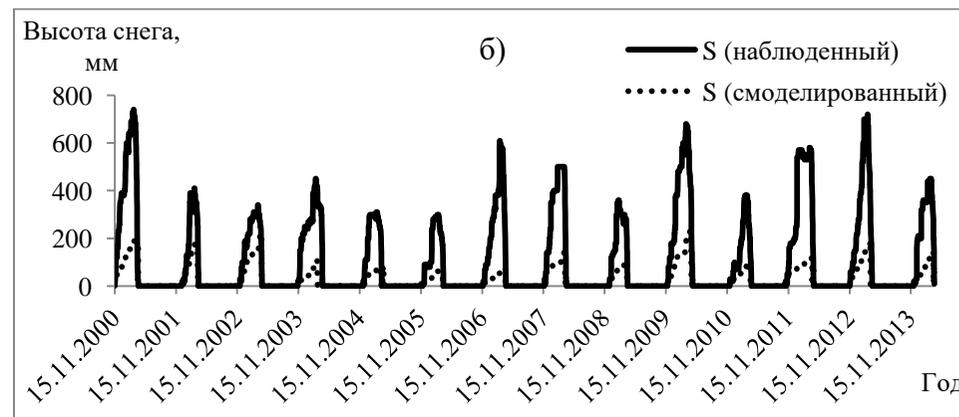
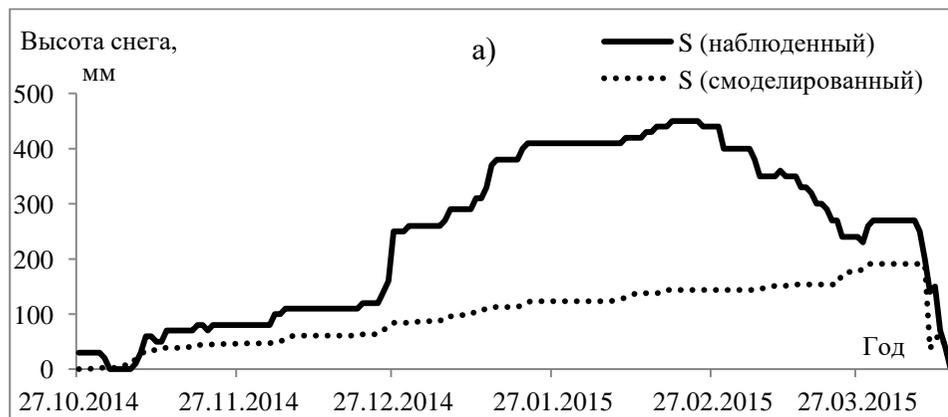


Рисунок 4.7 - Наблюденные и смоделированные ежедневные данные высоты снега по МС Актогай за период а) 2014-2015 и б) 2000-2014 гг.

Из рисунков 4.5-4.7 видно, что смоделированные значения количества снеготаяния за период снегонакопления и таяния его за различные периоды позволяют считать использование модели формирования стока в процессе снеготаяния в водосборах рек Киши Алматы, Тургень, Тоқырауын и Мойынты эффективной.

По результатам проведенных исследований основных гидрометеорологических характеристик, влияющих на стокообразование бассейнов горных рек можно сделать следующие выводы.

1) смоделированные и наблюдаемые значения входных параметров метода модели “Degree-Day” процессов снегонакопления и снеготаяния находятся в пределах допустимых значений.

2) характеристики NSE находятся в применительном диапазоне; процентное соотношение PBIAS по результатам расчетов характеризуют положительные условия применимости данной модели к решению задач стокообразования в бассейнах рассматриваемых рек. RSR в свою очередь, вполне соответствуют рекомендуемым нормам

4) апробация оценки входных данных метода моделирования “Degree-Day”, стокообразования горных рек, позволяет нам более широко использовать ее при моделировании формирования волны половодья в весенний период в бассейнах рек Киши Алматы, Тургень, Тоқырауын и Мойынты.

#### 4.3.1 Результаты применения метода “Degree-Day” для прогноза водности на примере рек Илейского Алатау

Для предварительного прогноза объема половодья были определены максимальные рассчитанные величины водоотдачи со снежного покрова и их объемы. а также фактические объемы весеннего половодья для каждого года за период вегетации водосборного бассейна р.Киши Алматы по репрезентативной МС БАО. Полученные величины по реке Киши Алматы представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Расчетные характеристики объемов рассчитанной максимальной водоотдачи со снежного покрова ( $W_{\text{снег}}$ ) и объема весеннего половодья ( $W_{\text{пол}}$ ) по р. Киши Алматы за период с 2000-2014 гг.

Годы	$W_{\text{пол}}, \text{ км}^3$	$W_{\text{снег}}, \text{ км}^3$
2000	0,042	0,005
2001	0,038	0,006
2002	0,009	0,003
2003	0,075	0,012
2004	0,067	0,008
2005	0,053	0,015
2007	0,048	0,006
2008	0,036	0,006
2009	0,048	0,006
2010	0,059	0,012
2011	0,044	0,009
2013	0,038	0,012
2014	0,033	0,009

В расчеты и для дальнейшего предварительного долгосрочного прогноза объема весеннего половодья для реки Киши Алматы не учтены 2006 и 2012 годы, Эти годы являются экстремальными в плане формирования стока: 2006 году после малоснежной зимы наблюдались дождливые весна-лето и вегетационный период был многоводным, а 2012 в году – наоборот, не смотря на значительные снеготзапасы, исключительно засушливые апрель и май (хотя этот период года считается максимальным по выпадению атмосферных осадков) обусловили маловодье на реках Алматинской области. В прогностических целях, для точности ожидаемого прогноза, такими нехарактерными случаями можно пренебречь.

Для анализа по расчетным величинам построен прогностический график связи зависимости объема весеннего половодья от объема максимальной водоотдачи снежного покрова за период с 2000-2014 гг. реки Киши Алматы и представлен на рисунке 4.8.

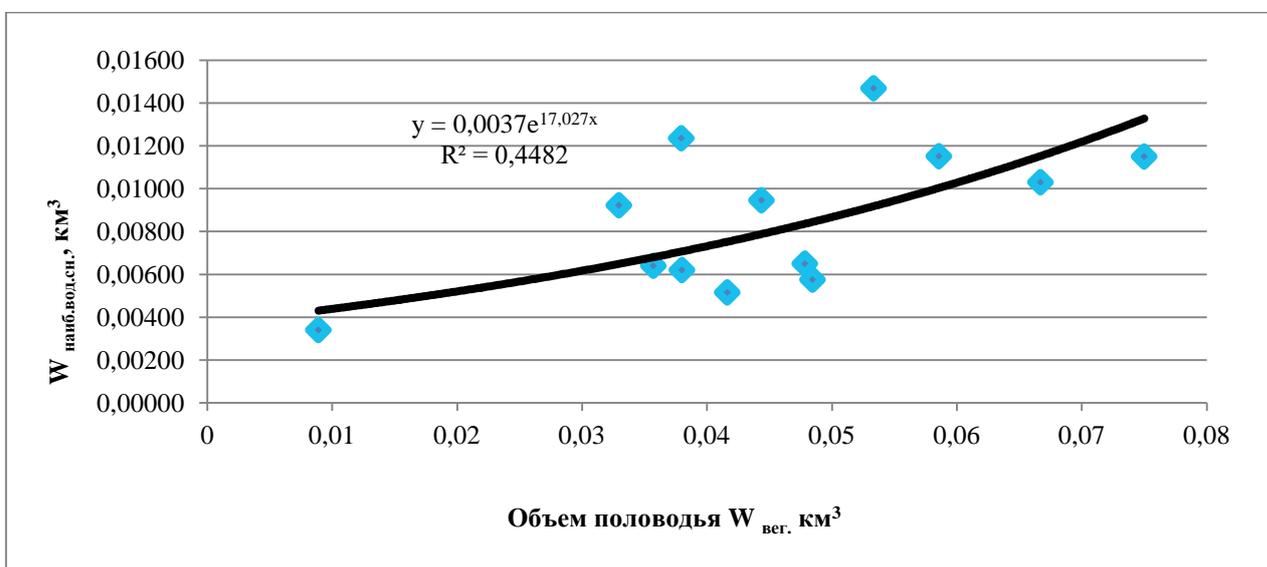


Рисунок 4.8 - Зависимость объема стока за вегетацию от расчетной максимальной величины водоотдачи снежного покрова р.Киши Алматы за период с 2000-2014 гг.

При отсутствии гидрометрических наблюдений за снежным покровом или при его недостаточности, с помощью графика на рисунке 4.8, по реке-аналогу Киши Алматы для рек северного склона Илейского Алатау, можно с некоторым допущением, определить максимальные величины водоотдачи снежного покрова от общего объема половодья за вегетационный период за конкретный год с учетом их водосборной площади. Площадь исследуемого бассейна можно определить по картам или с помощью ЦМР по средством программы QGIS.

Для оценки предложенной методики по прогнозу водности посредством метода “Degree-Day” и его оправдываемости, согласно [160, 161] устанавливается сопоставлением ошибок прогноза с допустимой

погрешностью. Предложенный прогноз считается оправдавшимся, если его ошибка меньше или равна допустимой погрешности. По графику зависимости на рисунке 4.8 определена прогностическая величина объема половодья за вегетацию за каждый год.

В таблице 4.3 приведены результаты оценки оправдываемости прогноза. Допустимая погрешность -  $\delta_{\text{дон}} = \pm 0,018$ .

Таблица 4.3 – Оправдываемость фактических и прогнозируемых величин объема половодья за вегетацию.

№ п/п	Годы	Объем стока за половодье, км <sup>3</sup>		Ошибка $\delta = W_{\text{пол}} - W'_{\text{пол}}$	Оправды- ваемость
		Фактический ( $W_{\text{пол}}$ )	По прогнозу ( $W'_{\text{пол}}$ )		
1	2000	0,042	0,015	0,027	-
2	2001	0,038	0,024	0,014	+
3	2002	0,009	0,004	0,005	+
4	2003	0,075	0,063	0,012	+
5	2004	0,067	0,056	0,011	+
6	2005	0,053	0,080	-0,027	-
7	2007	0,048	0,015	0,033	-
8	2008	0,036	0,026	0,010	+
9	2009	0,048	0,028	0,019	+
10	2010	0,059	0,082	-0,023	-
11	2011	0,044	0,048	-0,004	+
12	2013	0,038	0,072	-0,034	-
13	2014	0,033	0,045	-0,012	+

Оправдываемость ожидаемого прогноза водности (%) вычислена делением оправданных прогностических данных на общее количество прогнозов, и равна 64%. Предложенная методика считается как прогноз-консультация.

Практическое применение заключается в следующем:

1. В ходе выполненных расчетов определен коэффициент снегонакопления – водный эквивалент снега ( $S_m$ ), который зависит от температуры воздуха и от количества выпавших осадков на исследуемой территории. И эта условная величина использована для прогноза объема вегетационного стока. Для того чтобы определить объем стока за вегетацию, коэффициенты максимальной рассчитанной водоотдачи пересчитываются с учетом площади исследуемого бассейна и ориентировочно вычисляется объем стока. То есть максимальная расчетная величина водоотдачи увязывается с предстоящим половодьем за конкретный год.

2. Зная рассчитанные максимальные объемы водоотдачи снежного покрова за февраль-март месяцы, по графику на рисунке 4.8 можно давать предварительный долгосрочный прогноз объема половодья за вегетационный период по данной реке.

3. Допуская, что в гидрометеорологических условиях конкретного года доля максимальная водоотдача будет примерно одинаковой для ряда рек определенного региона (с учетом схожести их физико-географических характеристик), то по графику зависимости объема расчетной максимальной

водоотдачи снежного покрова от объема половодья за вегетацию по реке-аналогу Киши Алматы (рис.4.8) можно, сделав расчет максимального объема водоотдачи снежного покрова с учетом площади покрытия снегом для замыкающего створа другой реки. Далее сделать предварительный долгосрочный прогноз вегетационного стока на этой реке при отсутствии наблюдений за стоком (например, пост был разрушен прошлогодним паводком и т.д.).

4. С помощью графика на рисунке 4.8., по максимальному рассчитанному объему водоотдачи снежного покрова, определен сток за вегетационный период для реки Киши Алматы. График 4.8. называется прогностическим, потому что дается прогноз на ближайшее время по конкретным исходным гидрометеорологическим данным. Это позволяет применять его для прогноза по реке Киши Алматы и в качестве аналога для соседних регионов.

5. Рассчитанная максимальная величина водоотдачи снежного покрова посредством “Degree-Day” позволяет оценить прогностическую величину объема половодья за вегетацию.

6. Настоящий прогноз позволяет определить величину объема половодья за вегетацию с начала апреля по конец августа (срока окончания половодья). Долгосрочность предложенной методики дает возможность в первом приближении оценить объем половодья и при необходимости принять меры для водохозяйственных мероприятий.

7. В последующем, по влиянию рассчитанных максимальных данных водоотдачи снежного покрова на сток вегетационного периода, а в апреле по количеству выпавших и по прогнозу на май относительно нормы, можно вносить коррективы. То есть, если даже максимум снегонакопления наблюдается в феврале, не факт, что он будет участвовать в объеме стока за половодье. Снеготаяние (мм) в день не происходит прямо здесь и сейчас, так как в декабре-феврале заметного снеготаяния в горных районах не происходит. Долгосрочный прогноз – он корректируется, поэтому его и называют как прогноз-консультация.

8. График связи максимальной водоотдачи от общего объема половодья за вегетацию (рисунок 4.8) построен по фактическим данным, и полученная зависимость является вполне удовлетворительной. Коэффициент детерминации –  $R^2$  равен 0.46, что позволяет применять данную величину для прогноза объема половодья, а также применять где нет данных наблюдений.

Задача же настоящих исследований заключалась в прогнозе объема водности на ближайшее будущее, которое имеет практическую пользу для хозяйственной деятельности исследуемого региона. Рассмотрен метод “Degree-Day” и результаты его применения для расчета максимального объема водоотдачи, которые использованы для прогноза на ближайший период весеннего половодья стока горных рек.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований, при выполнении диссертационной работы, позволили применить общепринятые методики для расчета характеристик средних годовых расходов воды; для оценки значимого антропогенного влияния на реки Иле, Шелек, Шарын и Курты под воздействием хозяйственных мероприятий обусловленных в регионе; для оценки изменения водных ресурсов с учетом влияния метеорологических элементов - увеличения средней годовой температуры воздуха и количества сумм годовых осадков; по применению простого эмпирического градусно-дневного подхода по гидрометеорологическим характеристикам для долгосрочного прогноза водности на горных реках Илейского Алатау.

Основные результаты диссертационной работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Выполнены расчеты по восстановлению пропусков в наблюдениях по рекам-аналогам; исследованы многолетние изменения годового стока основных рек с учетом влияния антропогенной деятельности. В связи с трудностями оценки стока, из-за пропусков наблюдений рекомендуем для восстановления гидрологических рядов уравнения регрессии для рек рассматриваемого бассейна. Восстановление стока и приведение данных к многолетнему ряду осуществлялось с использованием данных рек-аналогов методом парной регрессии. Коэффициенты корреляции таких связей составили от 0,70 до 0,96. В дальнейшем рекомендуется использование подобранных рек-аналогов для гидрологических расчетов при недостаточности гидрометрических данных для рек: Иле, Шарын, Шелек, Тургень, Киши Алматы, Аксай, Каскелен, Улькен Алматы, Асы, Курты, Тоқырауын, Аягоз, Лепси, Аксу, Каратал.

2. Выполнена оценка значимых изменений стоковых характеристик по рекам Иле, Шарын, Шелек и Курты под влиянием хозяйственных мероприятий в бассейне.

3. Исследованы многолетние характеристики метеорологического режима средней годовой температуры воздуха и сумм количества годовых осадков в разрезе осреднения по десятилетиям и по различным высотным зонам по репрезентативным метеостанциям. Наиболее наглядным и объективным показателем тенденций изменения во времени гидрометеорологических характеристик являются суммарные интегральные кривые, которые отражают естественные колебания величин, и не связаны с анализами цикличности, рассчитанными на вычислениях средних значениях. В отличие от повышения температуры воздуха, которое отмечается повсеместно, количество осадков в многолетнем режиме изменяется неоднозначно. Как видно, исходя из тенденции изменения суммарных интегральных кривых годовых сумм осадков, на примере данных МС - Алматы, Когалы, Шелек, величина нормы данной характеристики по 14 метеостанциям в регионе, начиная с 1990-х годов, за последние годы

возросла. Скорость их изменения составила от 3,7 мм/10 лет до 13,7 мм/10 лет.

4. Отмечаемый перелом к устойчивому росту годовых сумм осадков по данным наблюдений метеостанций региона наблюдается в разные годы, начиная с конца 80-х до 93-95 годов. При этом при процессах, в целом, имеющих циклический характер, выявить точный год отчета не во всех случаях возможно, а при расчетах характеристик стока определенной обеспеченности вполне допустимо использование общего, среднего периода.

При расчетах параметров и построения кривых обеспеченностей разница в 2-3 года не оказывает существенных влияний на точность значений, учитывая точность определения собственно расходов воды. Важно оценить начало устойчивого повышения значений осадков и их ход в перспективе. В целом, и это главное, рост годовых сумм осадков в регионе в среднем приходится на начало 90-х годов. К тому же сток рассматриваемых рек формируется на разных высотах и различных склонах хребтов горной системы и предгорных районах. При этом устойчивое увеличение значений средних годовых расходов воды так же отмечается в среднем с 90-х годов, притом, что перелом осредняющих линий, характеризующих многолетние тенденции относительной устойчивости - «нормы», в свою очередь для рек региона различаются по годам в пределах 2-3 лет. Для оценки изменений данной величины в Иле-Балкашском бассейне рассматривается время перелома зависимостей  $\sum Q=f(T)$  основных рек в расчетных пунктах разных высотных зон. Численные значения годового стока, которые, конечно же будут меняться в будущем подтверждают начало значительного и устойчивого роста водности рек, в среднем, с начала 90-х годов. Это главный и очень важный вывод для жизнедеятельности огромного региона страны;

5. Применение метода 'Degree-Day' для некоторых рек региона в условиях недостаточности гидрометрических наблюдений по снегозапасам. По результатам применения вышеуказанного метода рассчитаны параметры максимального количества водоотдачи снежного покрова, позволяющие выявить зависимость между объемом половодья за вегетацию и расчетными наибольшими значениями снеготалого стока, с применением его при отсутствии данных по снегозапасам на близлежащих водосборных бассейнах рек, как реку-аналог, осуществлялись на обоснованном уровне. Составлен прогноз объема водности на ближайшее будущее, которое имеет практическую пользу для хозяйственной деятельности исследуемого региона. Рассмотрен метод "Degree-Day" и результаты его применения для расчета максимального объема водоотдачи снежного покрова, которые использованы для прогноза на ближайший период весеннего половодья в стоке горных рек.

Поскольку вся работа направлена на переоценку изменения водных ресурсов с учетом изменения климата и хозяйственных мероприятий в регионе, то весь акцент сделан на изменения колебаний стоковых характеристик и метеорологических элементов.

### **Оценка полноты решения поставленных задач и рекомендации по использованию результатов исследований**

Поставленные в диссертации задачи решены в полном объеме. Проведены все намеченные, сложные в исполнении, статистические расчеты и сравнительный анализ полученных результатов совместно с научными консультантами и коллегами. Переоценка современных водных ресурсов поверхностных вод в связи с наблюдающимися в настоящее время климатическими изменениями является одной из актуальных задач в гидрологии. В связи с этим полученные результаты позволили выполнить оценку изменения водных ресурсов Иле-Балкашского бассейна в условиях современного потепления климата и сделать прогнозы водности по основным рекам исследуемого бассейна.

**Оценка научного уровня диссертационной работы** в сравнении с лучшими достижениями в данной области, приведенными в литературном обзоре. Высокий уровень выполненной работы обеспечивается тем, что полученные результаты могут быть применены для подготовки ежегодных и многолетних кадастровых справочников РГП «Казгидромет», в научно-исследовательских проектах, в научных работах и исследованиях с учетом изменения климатических изменений и антропогенной деятельности, в прогностических целях и т.д. Литературный обзор по теме диссертации охватывает современные работы ведущих ученых стран мира. Полученные результаты анализируются в сравнении с известными данными. Они опубликованы в известных зарубежных журналах, входящих в базу данных Scopus, обсуждены на ряде специализированных международных конференциях, которые проходили в СНГ и в странах дальнего зарубежья.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

- 1 Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 13. Центральный и Южный Казахстан. Выпуск 2. Бассейн озера Балхаш. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 645 с.
- 2 Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья // Под ред. И.И. Скоцеляса. – СПб: Гидрометеиздат, 1995. – 269 с.
- 3 Современное экологическое состояние озера Балхаш // Под ред. Т.К.Кудекова. - Алматы. Каганат, 2002. – 388 с.
- 4 Проблемы гидроэкологической устойчивости в бассейне озера Балхаш.// Под ред. А.Б.Самаковой. - Алматы. Каганат, 2003. – 583 с.
- 5 Берг Л.С. Предварительный отчет об исследовании оз. Балхаш летом 1903 г. – изд. РГО, 1904. – Т.40, вып. 4. С.584-599.
- 6 Лаврентьев П.Ф., Голубцов В.В., Юрина Е.Г. Средний сток и его колебания в бассейнах озер Балкаш-Алакольской впадины //Тр. КазНИГМИ, 1963. – вып. 18.
- 7 Уточнение и оценка ресурсов естественных поверхностных вод в зоне формирования рек Заилийского Алатау (от р. Чилик до Чу-Илийских гор) по данным УГКС и ведомственных сетей (за 1984 г.): Отчет о НИР / АН КазССР, Ин-т географии: - ч.1. – № гос.рег. 023510002 – Алма-Ата, 1985. - 129 с.
- 8 Провести уточнения и дать оценку ресурсов поверхностных вод Или-Балхашского бассейна в зоне формирования стока с определением основных гидрологических характеристик в замыкающих створах.: Отчет о НИР / КазГУ: рук-ль С.К. Давлетгалиев – Т. 1, 2, 3, 4. – № гос.рег. 01860110031 – Алма-Ата, 1987. - 557 с.
- 9 Гидрологическая изученность. - Л.: Гидрометеиздат, 1967. - Т. 13, Вып.2. - 210 с.
- 10 Соседов И.С. Методика территориальных водно-балансовых обобщений в горах. - Алма-Ата: Наука КазССР, 1976. - 154 с.
- 11 Гидрологические ежегодники 1930-1962. - Л.: Гидрометеиздат; 1963-1981. - Алма-Ата, - Т.5. - Вып. 5-8.; 1982-2001. Т.5. – Вып.4. – Алматы; 2002-2015. Вып. 7– Алматы.
- 12 Соседов И.С. и др. Водный баланс и водные ресурсы северного склона Джунгарского Алатау. - Алма-Ата: Наука, 1984. - 150 с.
- 13 Геология СССР. Южный Казахстан. - М.: Недра, Т.40, 1971. - 534 с.
- 14 Гидрогеология СССР. Южный Казахстан. - М.: Недра, Т.36, 1970. - 472 с.
- 15 Физическая география частей света. - М.: Учпедгиздат, 1961. – 588 с.
- 16 Достай Ж.Д., Турсунов А.А. Концепция равновесного природопользования в условиях Или-Балхашского региона. Вестник КазГУ, сер. геогр. 1995. - № 2. – с. 12-26.
- 17 Жандаев М.Ж. Речные долины. - Алма-Ата: Казахстан, 1984. - 184 с.

- 18 Сапожников Д.Г. Современные осадки и геология озера Балхаш // Изв. АН СССР. Сев. Геол., 1951. - Вып. 132. – 203 с.
- 19 Илийский артезианский бассейн. / Под ред. У.М. Ахмедсафина. - Алма-Ата: Наука КазССР, 1980. - 148 с.
- 20 Гидрологические и водохозяйственные аспекты Или-Балхашской проблемы. / Под ред. А.А. Соколова. - Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 310 с.
- 21 Веселов В.В., Бегалиев А.Г., Самоукова Г.М. Эколого-мелиоративные проблемы использования водных ресурсов бассейна озера Балхаш. - Алматы: Ғылым, 1996. – 688 с.
- 22 Пиманкина Н.В. Тенденции изменения характеристик снежности Казахстанской части Тянь-Шаня за последние 30 лет // Географические основы устойчивого развития РК.: сб. науч. ст. - Алматы: 1998. - с. 75-79.
- 23 Северский И.В., Пиманкина Н.В. Снежный покров в горных районах Или-Балхашского региона // Проблемы гидрометеорологии и экологии: материалы межд. научно-практич. конф. – Алматы. 2001. - с. 141-148.
- 24 Северский И.В., Уваров В.Н. Результаты исследования загрязнения снежного покрова в бассейнах рек Большая и Малая Алматинка // Материалы межд. экологич. форума «Балхаш-2000». - Алматы, 2001. Вып.1.- с.147-152.
- 25 Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана. Том 1// Под ред. академика РАВН, д.т.н., проф. М.Ж.Бурлибаева. – Алматы: Каганат, 2014. – с. 38-39.
- 26 Основные гидрологические характеристики, Том 13, вып 2. - Л.: Гидрометеоздат, - 1967 г.
- 27 Поляков Б.В. Влияние агротехнических мероприятий на сток рек. – Метеорология и гидрология, 1939, № 4. – с. 40-48.
- 28 Достай Ж.Д., Алимкулов С.К., Сапарова А.А. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Ресурсы речного стока. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана. – Алматы: 2012. – Т. VII, кн. 2. – 360 с.
- 29 Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Вып. 7. 2018. Бассейн рек оз. Балхаш и оз. Алаколь. – Нур-Султан. 2020. – 352 с.
- 30 Инструкция по кодированию пунктов гидрологических наблюдений (на реках, каналах, озерах, морях и морских устьях). - Л.: Гидрометеоздат, 1975 г.
- 31 Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1981-1990, 1991-2000 гг., вып. 4. Бассейны рек оз. Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана. Алматы, 2001, 2006.
- 32 Шульц В.Л. Реки Средней Азии, ч. I, II. - Л.: Гидрометеоздат, - 1965.
- 33 Беркалиев З.Т. Гидрологические основы водохозяйственного использования бассейна р. Или. Изд. Казгосиздат, - Алма-Ата, 1960.
- 34 Литовченко А.Ф. К вопросу о питании рек Заилийского Алатау // Тр.ин-та КазНИГМИ. – Алма-Ата, 1963. - Вып.18. - 120 с.

- 35 Достаев. Ж.Д. Трансформация стока рек северного склона Заилийского Алатау; авторефер. дис. ... канд. геогр. наук. - Л., 1990. 31 с.
- 36 Достай Ж.Д. Управление гидроэкосистемой бассейна озера Балкаш. – Алматы. Print-S, 2009. – 38 с.
- 37 Емельянова Л.А. Формирование рек "карасу" восточной части левобережья Илийской долины. // Биология и география. Вып.V. - Алма-Ата: Изд. МВиССО КазССР, 1970. - с. 219-229.
- 38 Соседов И.С. Исследование баланса снеговой влаги на горных склонах. Изд. «Наука» КазССР, - Алма-Ата, 1967.
- 39 Пальгов Н.Н. Современное оледенение в Заилийском Алатау. Изд. АН СССР, - Алма-Ата, 1958.
- 40 Гляциологические исследования в Казахстане, вып. I–VI, Изд. «Наука», - Алма-Ата, 1961–1966.
- 41 Виноградов Ю.Б. Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Южного Казахстана // Тр. КазНИГМИ, вып. 28, 1967.
- 42 Кавецкий С.П. Сели в Заилийском Алатау // Тр. КазНИГМИ, вып. 4, 1953.
- 43 Кавецкий С.П. О противоселевых мероприятиях в Казахстане // Тр. КазНИГМИ, вып. 3, 1954.
- 44 Кавецкий С.П., Смирнов И.П. Селевые паводки не ливневого происхождения // Тр. КазНИГМИ, вып. 9, 1957.
- 45 Семенов В.А. Испарение и конденсация снега в условиях Центрального Казахстана // Тр. КазНИГМИ, вып. 18, 1963.
- 46 Семенов В.А. Особенности формирования и распределения величин стока половодья на территории Карагандинской области в зависимости от высоты и ориентации местности. Сб. «Географические проблемы пустынных и горных территорий Казахстана», - Алма-Ата, 1965.
- 47 Семенов В.А. Особенности распределения снежного покрова на речных бассейнах Центрально – Казахстанского мелкосопочника // Тр. КазНИГМИ, вып. 22, 1965.
- 48 Семенов В.А. О зависимости потерь талых вод на инфильтрацию от осеннего увлажнения почво-грунтов в Центральном Казахстане // Тр. КазНИГМИ, вып. 22, 1965.
- 49 Щеглова О.П. О закономерностях формирования и методе расчета стока в горных бассейнах. // Известия АН СССР, сер.геогр., 1969. - Вып.3. - с.102-110.
- 50 Коровин В.И. Влияние гидрометеорологических условий на сток рек и уровень озер бассейнов рек Верхнего Иртыша и Балхаш-Алакольской впадины. - Л.: Гидрометеиздат, 1966.
- 51 Илийская долина, ее природа и ресурсы / Под ред. М.И. Ломоновича. - Алма-Ата: Изд. АН Каз ССР, 1963. – 241 с.

52 Методические рекомендации по оценке и учету влияния агролесомелиоративных мероприятий на годовой сток в гидрологических расчетах. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 87 с.

53 Л.К. Давыдов и Н.Г. Конкина. Общая гидрология. - Л.: Гидрометеоздат, 1958. с. 280-319.

54 Лаврентьев П.Ф. Влияние оледенения на основные характеристики речного стока на примере склона Джунгарского Алатау. Материалы гляциологических исследований. (Хроника обсуждения). Изд. ВИНТИ, вып. 9, М., 1964.

55 Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком – М.: Наука, 1981. – 249 с.

56 Амиргалиева А.С., Гальперин Р.И. Анализ данных трансграничного поста р. Иле – пристань Добын за период с 2011 по 2015 гг. Гидрометеорология и экология, № 2, 2017 г., - с. 90-97.

57 Шикломанов И.А. Исследование водных ресурсов суши: итоги, проблемы, перспективы. - Л.: Гидрометеоздат, 1988. - с. 42-62.

58 Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 301 с.

59 Глушков В.Г. Вопросы теории и методы гидрологических исследований. – М.: Изд-во АН СССР, 1961, - 416 с.

60 Методическое указание по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановление его характеристик. - Л: Гидрометеоздат. 1986, - 130 с.

61 Достай Ж.Д. Природные воды Казахстана: ресурсы, режим, качество и прогноз. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (монография). – Алматы: 2012. – Т. 2. – 330 с.

62 Гройсвальд М.Г., Котляков В.М. Предстоящее изменение климата и судьба ледников. // Изв. АН СССР. сер. географическая. 1978, № 6, - с. 21-32.

63 Добровольский С.П., Клиге Р.К. Современные изменения климата и мировой водный баланс. // Изв. АН СССР. сер. географическая, 1986, № 1, - с. 31-38.

64 Гройсман П.Я. Эмпирические оценки связи процессов глобального потепления и похолодания с режимом увлажнения территории СССР // Изв. АН СССР. сер. географическая, 1981, № 5, - с. 86-95.

65 Бudyко М.И., Винников К.Е. Влияние изменение климата на водные ресурсы // Тр. 5 Всесоюзного гидрологического съезда, Ленинград. 20-24 октября, 1986 г. Т. 2. Л., 1988. - с. 35-51.

66 Поляк И.И., Сперанская Н.А. К оцениванию временной изменчивости стока рек Советского Союза // Метеорология и гидрология. 1985. № 4, - с. 79-83.

67 Сперанская Н.А. Закономерности изменения годового стока рек Советского Союза при изменении глобального термического режима. // Тр. ГГИ. 1988, вып. 330, - с. 120-125.

- 68 Пивень Е.Н. Тенденция изменения стока рек Иле-Балкашского региона. // Природные ресурсы Иле-Балкашского региона. - Алма-Ата: Наука, 199, - с. 36-48.
- 69 Винников К.Я., Лемешко Н.А. Влагосодержание почвы и сток для территории СССР при глобальном потеплении. // Метеорология и гидрология. 1987. № 12. - с. 96-103.
- 70 Лемешко Н.А. Региональные изменения влагосодержания почвы и суммарного стока при современных изменениях глобального климата. // Тр. ГГИ, 1988, вып. 330, - с. 126-131.
- 71 Askew A.I. Climate change and water resources // IAHS Publ., 1987, N 168, - p. 421-430.
- 72 Beran Max. The water resource impact of future climatic change and variability. World Meteorol. Organiz., 1987. N 129. - p. 1-30.
- 73 Manabe S. Carbon dioxide and climatic change. // Advance in Geophysics., 1983, Vol. 25. - p. 39-82.
- 74 Оценка характеристик годового стока рек Иле-Балкашского водохозяйственного бассейна. // Гидрометеорология и экология, 2018, № 1, - с. 90-97.
- 75 Денисов П.П. Изменения речного стока по крупным регионам земного шара. // Метеорология и гидрология, 1980, № 6, - с. 106-107.
- 76 Леонов Е.А. Норма годового стока и ее изменение под влиянием хозяйственной деятельности. // Тр. ГГИ, 1986, вып. 315, - с. 68-83.
- 77 Леонов Е.А, Леонов В.Е. Исследование тенденции изменения водности рек при оценке норм стока // Метеорология и гидрология, 1982, № 4, - с. 75-84.
- 78 Леонов Е.А, Леонов В.Е. Исследование тенденций изменения стока крупных рек ЕТС за 100 лет. // Тр. ГГИ, 1986, № 315, - с. 90—101.
- 79 Сменой В.А. Сток рек засушливых территорий. - М.: Гидрометеиздат, 1990, - 169 с.
- 80 Семенов В.А., Алексеева А.К., Дегтяренко Т.И. и др. Климатические изменения стока рек СССР. // Тр. ВНИИГМИ МЦД. 1986, вып. 133, - с. 59-84.
- 81 Черкасов П.А. Радиационный баланс физической поверхности ледника в период абляции. - Алма-Ата: Наука, 1980, - 144 с.
- 82 Standard tests of significance to be recommended in routine analysis of climatic fluctuatuins. // Climatic change Annexes. WMO. Technical note. # 79. Geneva. 1966. - p. 58-71.
- 83 Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. - Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 363 с.
- 84 Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. - М.: Лир, 1982. - 488 с.
- 85 Виссмен У., Харбаф Т.И., Кнепп Д.У. Введение в гидрологию. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 470 с.

86 Исаев А.А. статистика в метеорологии и климатологии. - М.: Изд. МГУ, 1988, - 245 с.

87 Казакевич Д.И. Основы теории случайных функций и ее применение в гидрометеорологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 319 с.

88 Леонов Е.А. О связи стока с определениями фактическими для речных бассейнов с плоскоравным рельефом // Сб. работ по гидрологии. - Л, 1987, № 18, - с. 75-82.

89 Плиткин Г.А. Сравнительный анализ результатов расчета испарения в естественных и измененных климатических условиях и их применение для оценки преобразований речного стока. // Водные ресурсы. 1988, № 3.

90 Почвы Казахской ССР // Под ред. А.А. Соколова. - Алма-Ата: 1962, вып. 4, - 423 с.

91 Родионов В.З. Оценка влияния комплексных факторов хозяйственной деятельности на сток р. Тобола у г. Костанай // Сб. работ по гидрологии. 1978, № 13, - с. 69-75.

92 Северский И.В. Снежные лавины Заилийского и Джунгарского Алатау. - Алма-ата: Наука, 1978, - 225 с.

93 Магрицкий Д.В. Речной сток и гидрологические расчеты: практические работы с выполнением при помощи компьютерных программ. - М.: Триумф, 2014. - 184 с.

94 Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.:Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.

95 Мальковский И.М. Географические основы водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана. – Алматы, 2008. – 204 с.

96 СНиП 33-101-2003. Определение расчетных гидрологических характеристик.– М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.

97 Pueppke S.G., Nurtazin S.T., Graham N.A., Qi J., Central Asia's Ili river ecosystem as a wicked problem: unraveling complex interrelationships at the interface of water, energy, and food. *Water*, 10, 2018, - p. 541. doi:10.3390/w10050541

98 Imentai A., Thevs N., Schmidt S., Nurtazin S., Salmurzauli R., Vegetation, fauna, and biodiversity of the Ile delta and southern lake Balkhash – a review. *Journal of great lakes research*, 41, 2015, - p. 10.

99 Dostay Zh., Alimkulov S., Tursunova A., Myrzakhmetov A., Modern hydrological status of the estuary of Ili river. *Applied Water Science*, 2, 2012, - p. 227. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13201-012-0034-5>

100 Terekhov A., Dolgikh, S., Land cover dynamics and water management in basin of river Ile on base of satellite data. IAAE inter-conference symposium agricultural transitions along the Silk Road restructuring, resources and trade in the Central Asia region, 4-6 April. Almaty, 2016.

101 Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. – Л.:Гидрометеиздат, 1990 – 364 с.

102 Шелутко. В.А. Численные методы в расчетах и анализе гидрометеорологической информации. – Л.: Гидрометеиздат, 1991.

103 Абдрасилов С.А. Русловые процессы и формирование внутри-континентальных дельт (на примере дельты р. Или). - Алматы: «Рауан», 1994. - 191 с.

104 Зайков Б.Д. Средний сток и его распределение в году по территории СССР // Тр. НИУ ГУГМС, сер. IV, вып. 24. – Л. - М.; Гидрометеиздат, 1946.

105 Соседов И.С. Методика территориальных водно-балансовых обобщений в горах. - Алма-Ата: Наука КазССР, 1976. – 154 с.

106 Калашникова О.Ю., Гафуров А.А. Использование наземных и спутниковых данных о снежном покрове для прогноза стока реки Нарын // Лед и снег. – 2017. – № 4, Т.57. – с. 507-517.

107 Kriegel D., Mayer Ch., Hagg W., Vorogushyn S., Duethmann D., Gafurov A., Farinotti, D., Changes in glacierisation, climate and runoff in the second half of the 20th century in the Naryn basin, Central Asia. Global and Planetary Change, 110, Part A, 2013, - p. 51 - 61. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.05.014>

108 Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Farinotti D., Gafurov A., Merz B., What do we know about past changes in the water cycle of Central Asian headwaters? A review. Global and Planetary Change, 110, Part A, 2013, - p. 4 Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.02.004>

109 Республика Казахстан. Том 1. Природные условия и ресурсы // Под ред. Н.А. Искакова, А.Р. Медеу. - Алматы, 2006. – 506 с. ISBN 9965-25-601-2

110 Демографический ежегодник Казахстана. Статистический сборник. // Под ред. А. Смаилова. - Астана, 2011. - 592 с.

111 Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик – Л: Гидрометеиздат, 1977, – 149 с.

112 Abdrahimov R.G., Amirgaliyeva A.S., Tastambek K., Zhumalipov A.R., Polyakova S.E. Annual river runoff of the Ile-Balkash basin and prospects of its assessment due to climatic changes and water economy activities // International Journal of GEOMATE, 2020. Vol. 18, Issue 69, pp. 230-239. DOI: <https://doi.org/10.21660/2020.69.32068>

113 Амиргалиева А.С. Реконструкция рядов годового стока рек Иле-Балкашского бассейна. Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные образовательные достижения и перспективы развития» (Санкт-Петербург, 19-20 дек. 2017 г.). - СПб: Аграф+, 2017. - с. 57-61.

114 Справочник по климату Казахстана. Многолетние данные. Раздел 1. Температура воздуха, Вып.14. Алматинская область. Алматы, 2004. - 563 с.

115 Рождественский А.В. Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. - Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 276 с.

116 Моисеинков А.И., Квитрадзе В.В. Оценка антропогенных изменений водного режима крупных рек с использованием метода математического моделирования. – 8 кн.: Тезисы докладов V Всесоюзного гидрологического съезда. Секция гидрологического обоснования

водохозяйственных мероприятий. - Л., 1986, с. 79-80.

117 Давлетгалиев С.К. Математические методы обработки гидрологических данных. - Алматы.: Қазақ Университеті, 1998.-166 с.

118 Оледенение Тянь-Шаня // Под ред. М.Б. Дюргерова. - М., 1995. - 237 с.

119 Отчет № 0100 РК 00309 ИГ МОН РК. Оценить снежно-ледовые ресурсы зоны формирования стока трансграничного бассейна р.Иле, как основу формирования возобновляемых водных ресурсов (заключительный). - Алматы, 2002. - 396 с.

120 Субботина О.И. Влияние орографии на температурный режим в горах Средней Азии // Тр. САНИГМИ, 59/74. - Л., 1971.

121 Черкасов П.А. Температура и общая облачность в пределах Заилейско-Кунгейской горной ледниковой системы // Гидрология и экология, № 1. - Алматы. 2003. - с. 8-21.

122 Шестерова И. Н. Оценка снежно-ледовых ресурсов китайской части бассейна реки Или: дис... канд. геогр. наук: 25.00.27 / Министерство образования и науки Республики Казахстан. Институт географии. - Алматы, 2004.

123 Винников К.Я. Чувствительность климата. - Л.: Гидрометеиздат, 1986.

124 Дроздов О.К. О причинах и проявлениях естественных колебаний климата. // Вестник ЛГУ, 1982, вып. 2, № 2, - с. 63-71.

125 Борисенков Е.П., Полозов В.В. Экспертная оценка изменений климата до конца XX – начала XXI веков. Материалы метеорологических исследований. - М., 1986, № 11, - с. 28-33.

126 Рубинштейн Е.С. Однородность метеорологических рядов во времени и пространстве в связи с исследованиями изменения климата. - Л.: Гидрометеиздат, 1979, - 80 с.

127 Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. Л.: Гидрометеиздат, 1977, - 296 с.

128 Lamb Н.Н. Climate: Present, past and Future, Vol. 2., London, Methuen, 1977, - 835 p.

129 Гировка Н.Н. Структурно-прочностные характеристики снега в Заилийском Алатау и способы их расчета : автореферат дис. ... кандидата географических наук : 11.00.07 / Ташкент. ун-т.- Алма-Ата, 1991.- 27 с.: ил. РГБ ОД, 9 91-7/3293-9.

130 Байдал М.Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебания климата. - М. 1964. Ч. 1 и 2, - 466 с.

131. Алимкулов С.К., Турсунова А.А., Давлетгалиев С.К., Сапарова А.А. Ресурсы речного стока Казахстана // Гидрометеорология и экология. № 3, Казгидромет, Алматы – 2018. – с. 80-94.

132 Куваева Г.М., Сулаквелидзе Г.К., Читадзе В.С., Чоторлишвили Д.С., Эльмесов А.М. Физические свойства снежного покрова Большого Кавказа. Гляциология.- М. 1967, вып. 17, - 192 с.

- 133 Кузьмин П.П. Поглощение солнечной энергии снежным покровом // Метеорология и гидрология. - Л. 1947, вып. 7.
- 134 Геткер М. И. О статистической структуре полей осадков и снежного покрова в горах.
- 135 Геткер М. И., Архипова О.М. Расчет распределения дат образования и разрушения снежного покрова на территории Памиро-Алтая.// Труды САНИИ/ - М. 1983, вып. 99(180), - с. 20-30.
- 136 Северский И.В., Пиманкина Н.В. Опыт расчета сроков залегания устойчивого снежного покрова в горах Средней Азии и Казахстана по стандартной информации // МГИ. - М. 1980, вып. 37, - с. 71-79.
- 137 Северский И.В., Благовещенский В.П. Оценка лавинной опасности горной территории. - Алма-Ата, 1983. - 220 с.
- 138 Судаков П.А. Формирование и некоторые физические свойства снежного покрова в гляциальной зоне Заилийского Алатау. Гляциологические исследования в период МГГ. Заилийский и Джунгарский Алатау. - Алма-Ата. 1963. IV, - с. 13-29.
- 139 Судаков П.А. Снежный покров // Материалы гляциологических исследований Тянь-Шань, Заилийский Алатау. - М. 1962. - 138 с.
- 140 Болов В.Р., Залиханов М.Ч., Шабельников В.А. О горизонтах разрыхления в толще снежного покрова и их значение в лавинообразовании. // Труды ВГИ/ Физика снега, лавины и сели. 1980, вып. 46, - с. 21-29.
- 141 Шимановский С.В. Температурный режим снежного покрова// Вопросы изучения снега и использования его в народном хозяйстве. - М. 1956. - с. 55-72.
- 142 Руководство по снегомерным работам в горах. Алматы 2010. Взамен действующего с 1991 г. РД52.25.261-90. - 104 с.
- 143 A. Rango and J. Martinec. Revisiting the DEGREE-DAY method for snowmelt computations' // Water Resources Bulletin. American Water Resources Association, 1995. Vol. 31, No 4, pp. 657-669.
- 144 Амиргалиева А.С., Абдрахимов Р.Г., Гафуров А.А., Полякова С.Е. Моделирование формирования динамики снежного покрова и снегового стока рек Иле-Балкашского бассейна с помощью метода "Degree-Day" (на примере р. Киши Алматы). Вестник КазНУ, серия географическая, № 3 (54), 2019 г. - с. 24-31.
- 145 U.S. EPA.2002. Guidance for quality assurance project plans for modeling. EPA QA/G-5M. Report EPA/240/R/-02/007. Washington, D. G.: EPA, Office of Environmental Information.
- 146 Ma, L., J. C. Ascough II, L. R. Ahuja, M. J. Shaffer, J. D. Hanson, and K/ W/ Rojas. 2000. Root zone water quality model sensitivity analysis using Montc Carlo simulation. *Trans. ASAE* 43(4): - p. 883-895.
- 147 Refsgaard, J. C. 1997. Parameterisation, calibration, and validation of distributed hydrological models. *J. Hydrology* 198(1): - p. 69-97.
- 148 ASCE. 1993. Criteria for evaluation of watershed models. *J. Irrigation Drainage Eng.* 119(3): - p. 429-442.

149 Donigian, A. S., J. C. Imhoff, and B. R. Bicknell. 1983. Predicting water quality resulting from agricultural nonpoint-source pollution via simulation – HSPF. In *Agricultural Management and Water Quality*, 200-249. Ames, Iowa: Iowa State University Press.

150 Ramanananarayanan, T. S., J. R. Williams, W. A. Dugas, L. M. Hauck, and A. M. S. McFarnald. 1997. Using APEX to identify alternative practices for animal waste management. ASAE Paper No. 972209. St. Joseph, Mich.: ASAE

151 Motovilov, Y. G., L. Gottshalk, K. England, and A. Rodhe. 1999. Validation of distributed hydrological model against spatial observations. *Agric. Forest Meteorology* 98-99: - p. 257-277.

152 Saleh, A., J. G. Arnold, P. W. Gassman, L. M. Hauck, W. D. Rosenthal, J. R. Williams, and A. M. McFarnald. 2000. Application of SWAT for the upper North Bosque River watershed. *Trans. ASAE* 43(5): - p. 1077-1087.

153 Santhi, C., J. G. Arnold, J. R. Williams, W. A. Dugas, R. Srinivasan, and L. M. Hauck. 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *J. American Water Resources Assoc.* 37(5): - p. 1169-1188.

154 Saleh, A., J. G. Arnold, P. W. Gassman, L. M. Hauck, W. D. Rosenthal, J. R. Williams, and A. M. McFarnald. 2000. Application of SWAT for the upper North Bosque River watershed. *Trans. ASAE* 43(5): - p. 1077-1087.

155 Bracmort, K. S., M. Arabi, J. R. Frankenberger, B. A. Engel, and J. G. Arnold. 2006. Modeling long-term water quality impact of structural BMPs. *Trans. ASAE* 49(2): - p. 367-384.

156 Van Liew, M. W., J. G. Arnold, and J. D. Garbrecht. 2003. Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Trans. ASAE* 46(6): - p. 1539-1551.

157 Moriasi, D.N., J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, T. L. Veith. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* 50(3): - p. 885-900.

158 Boyle, D.P., H. V. Gupta, and S. Sorooshian. 2000. Toward improved calibration of hydrological models: Combining the strength of manual and automatic methods. *Water Resources Res.* 36(12): - p. 3663-3674.

159 Legates, D. R., and G. J. McCabe. 1999. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Res.* 35(1): - p. 233-241.

160 Н.Ф. Бефани, Г.П. Калинин. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 424 с.

161 Дәулетқалиев С.Қ., Жүсіпбеков Д.Қ. «Гидрологиялық болжамдар» бойынша практикум. – Алматы: Қазақ университеті, 2005. – 87 б.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

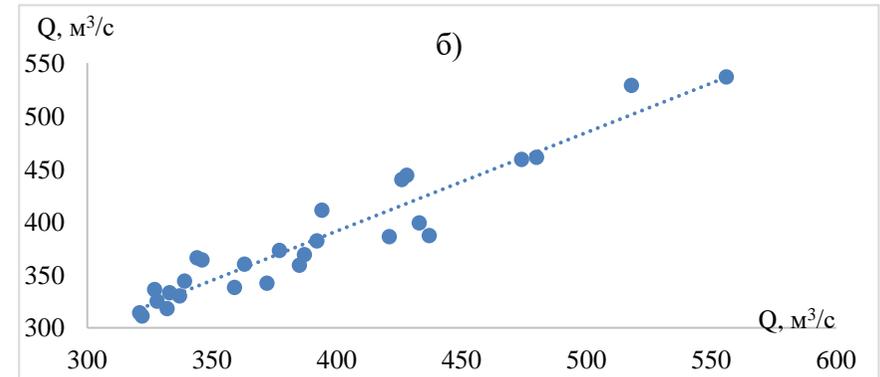
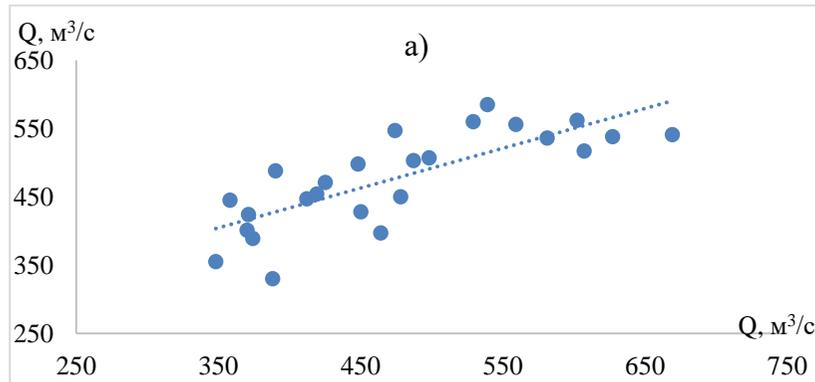


Рисунок А.1 – а) связь средних годовых расходов воды р. Иле – с. Ушжарма и р. Иле – уроч. Капшагай (естественный сток) и б) р. Иле – уроч. Капшагай (бытовой сток)

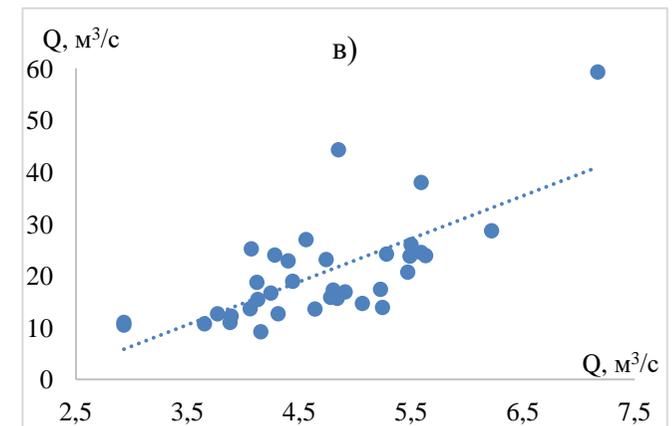
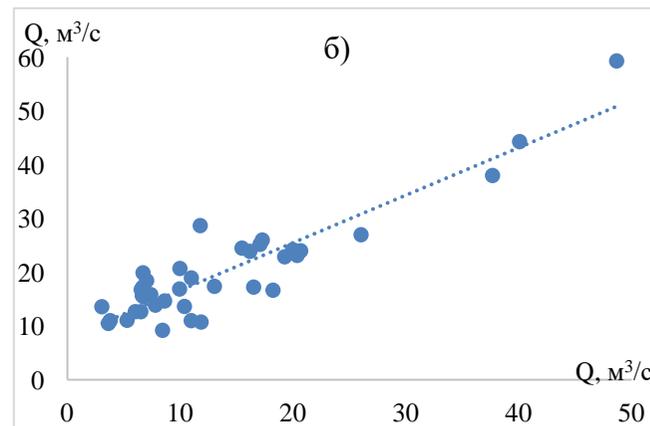
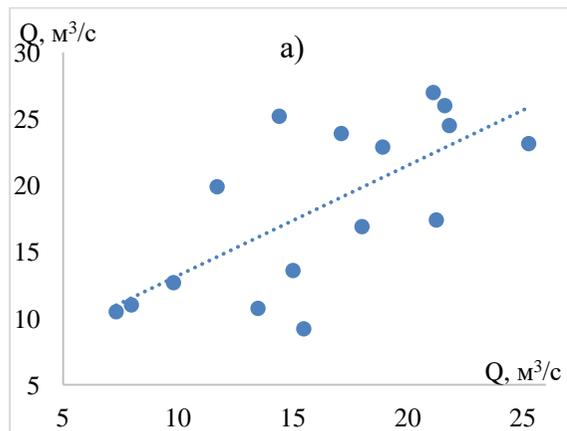


Рисунок А.2 – а) связь средних годовых расходов воды р. Иле – в 1 км ниже ответвление рук. Жидели и р. Иле, протока Суминка в 16 км ниже истока; б) р. Иле – аул Жидели и в) р. Есик – г. Есик

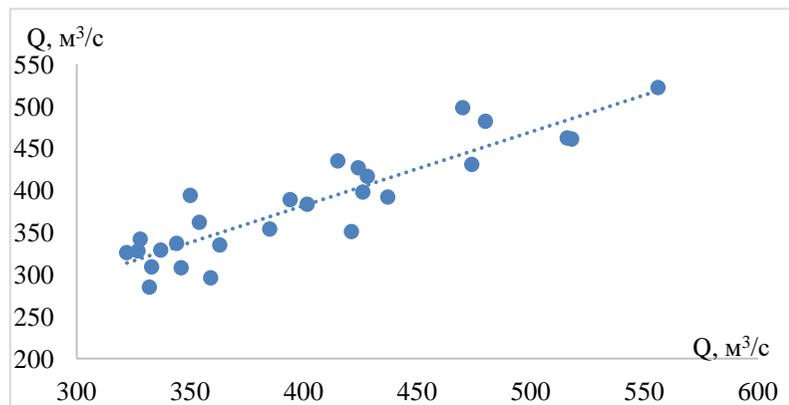


Рисунок А.3 – Связь средних годовых расходов воды р. Иле, рук. Жидели – в 16 км ниже истока и р. Иле – уроч. Капшагай (бытовой сток)

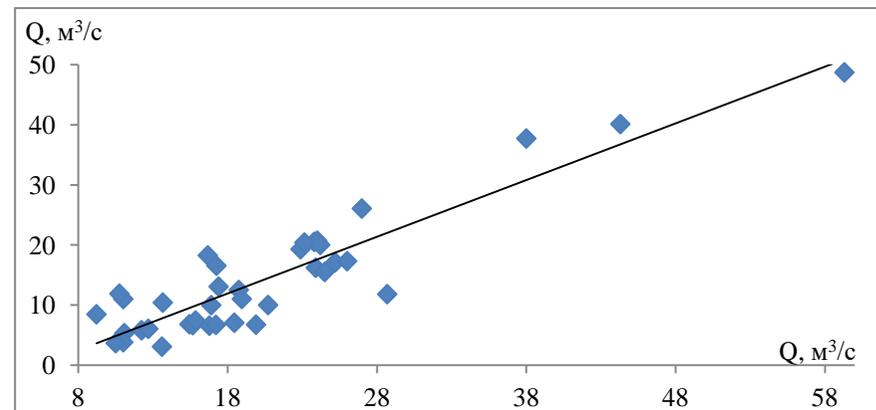


Рисунок А.4 – Связь средних годовых расходов воды р.Иле - а. Жидели и р. Иле – в 1 км ниже отв. рук. Жидели

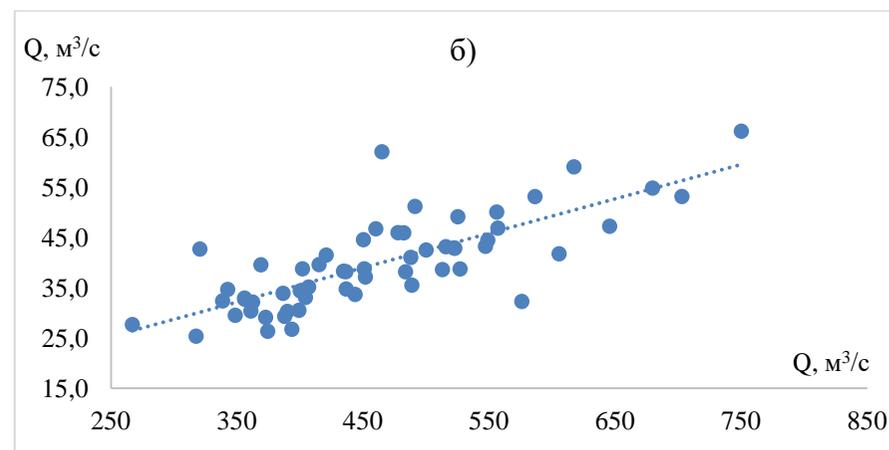
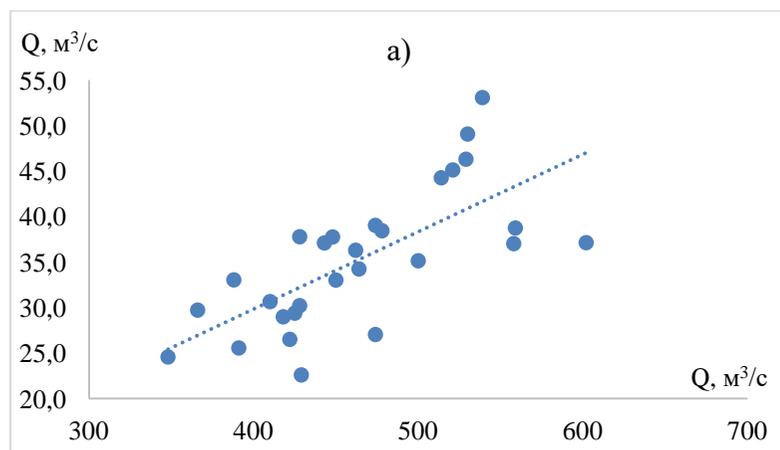


Рисунок А.5 – а) связь средних годовых расходов воды р. Шарын – уроч. Сарытогай и р. Иле – уроч. Капшагай (естественный сток) и б) р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС

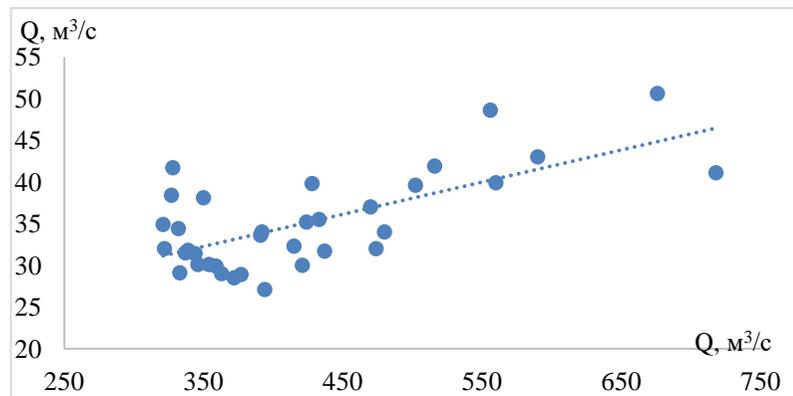


Рисунок А.6 – Связь средних годовых расходов воды р. Шелек - с. Малыбай и р. Иле – уроч. Капшагай (бытовой сток)

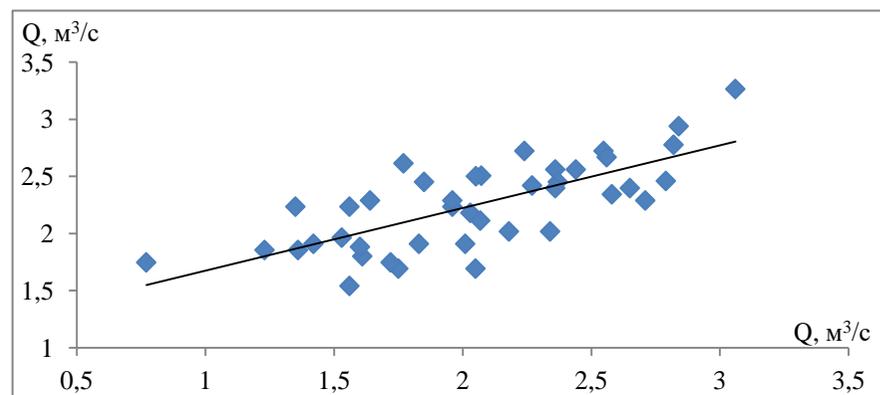


Рисунок А.7 – Связь средних годовых расходов воды р. Аксай - с. Аксай и р. Киши Алматы - г. Алматы

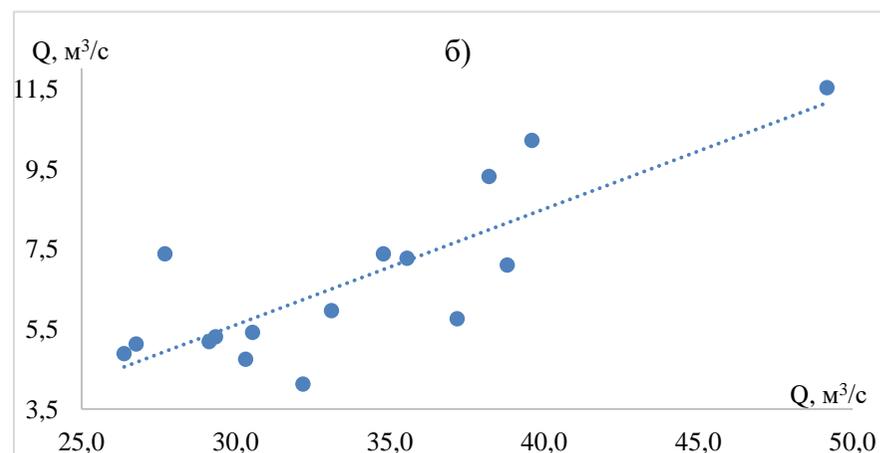
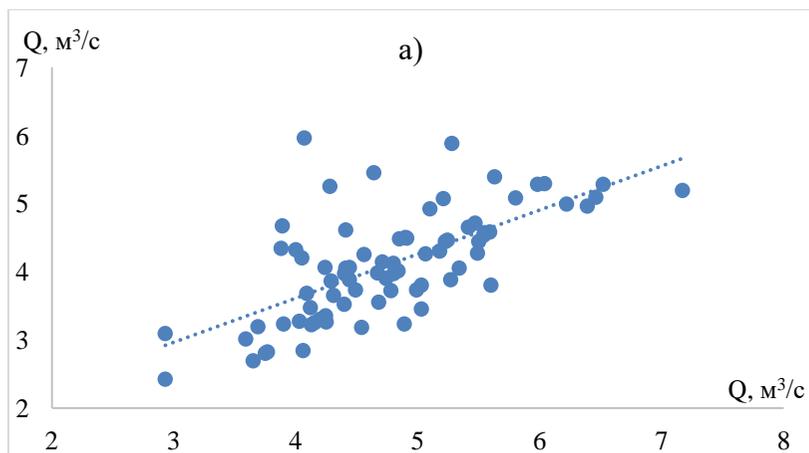


Рисунок А.8 – а) связь средних годовых расходов воды р. Каскелен - г. Каскелен и р. Есик – г. Есик и б) р. Каскелен - устье и р. Шарын – уроч. Сарытогай

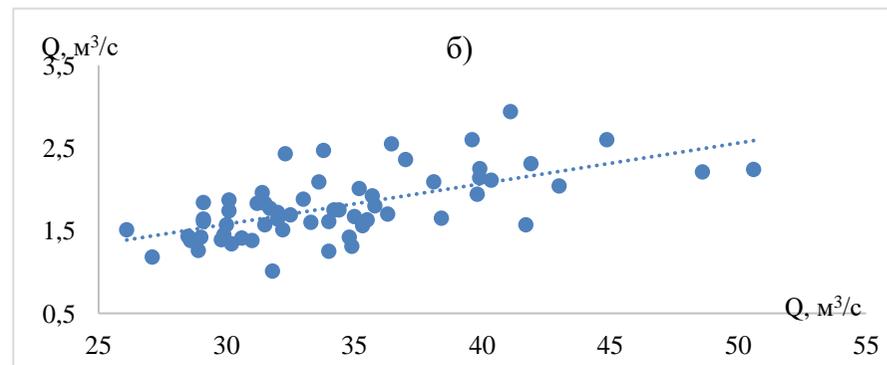
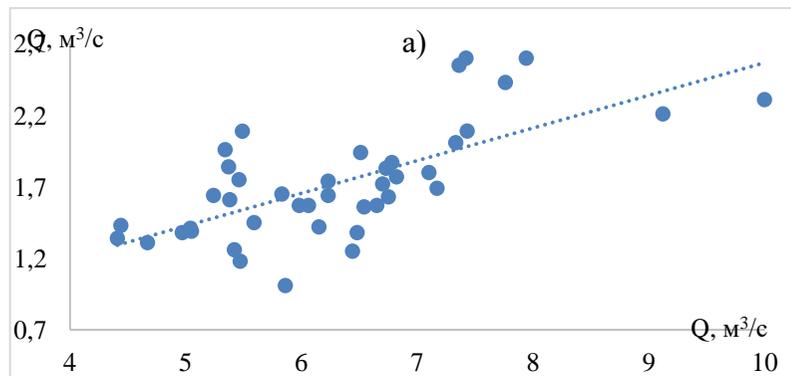


Рисунок А.9 – а) связь средних годовых расходов воды р. Улькен Алматы – в 1.1 км выше оз. Улькен Алматы и р. Киши Осек – в 0.2 км выше слияния с р. Осек и б) р. Шелек – с. Малыбай

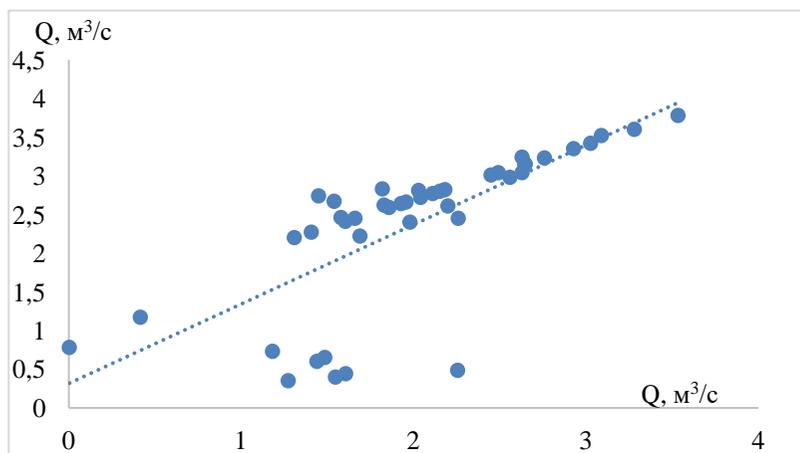


Рисунок А.10 – Связь средних годовых расходов воды р. Улькен Алматы - в 2 км выше р. Проходной и р. Асы – с. Асысага

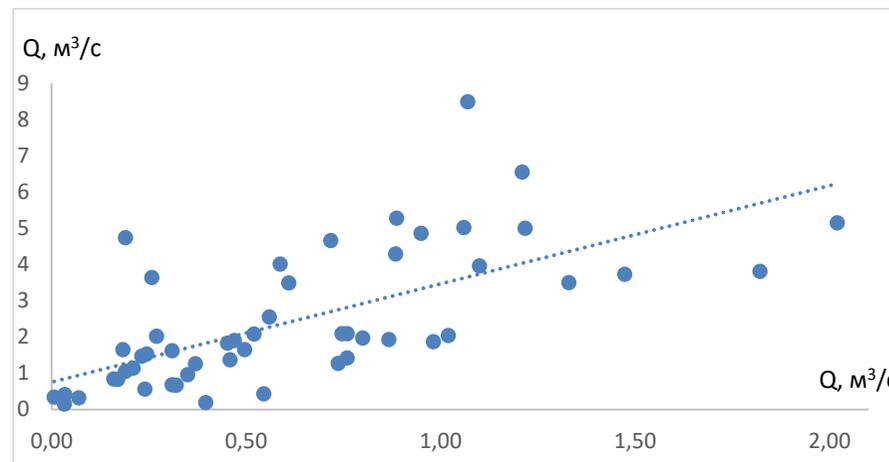


Рисунок А.11 – Связь средних годовых расходов воды р. Тоқырауын – а. Актогай и р. Нура – а. Бесоба

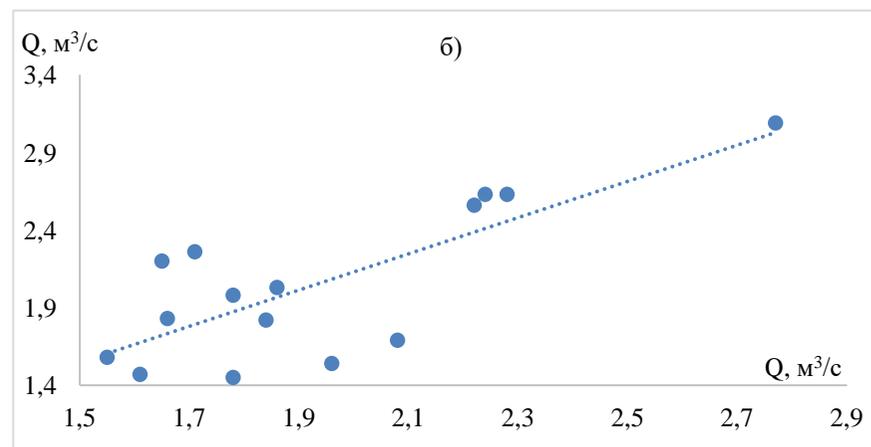
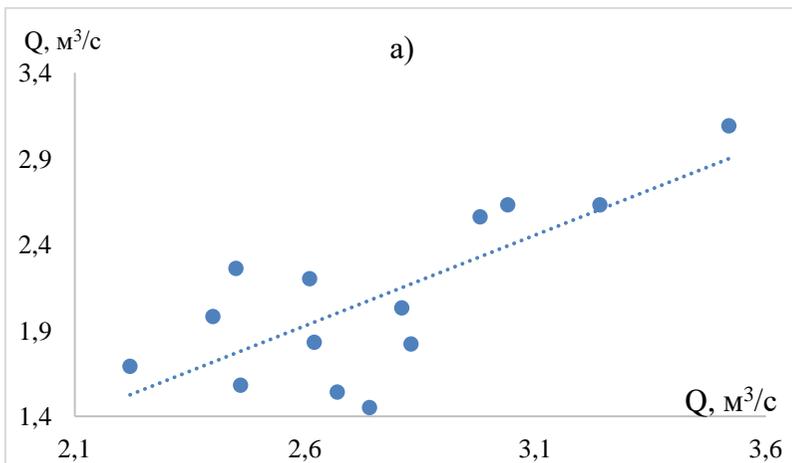


Рисунок А.12 – Связь средних годовых расходов воды р. Асы – с. Асысага и р. Улькен Алматы - в 2 км выше р. Проходной и б) р. Киши Алматы – г. Алматы

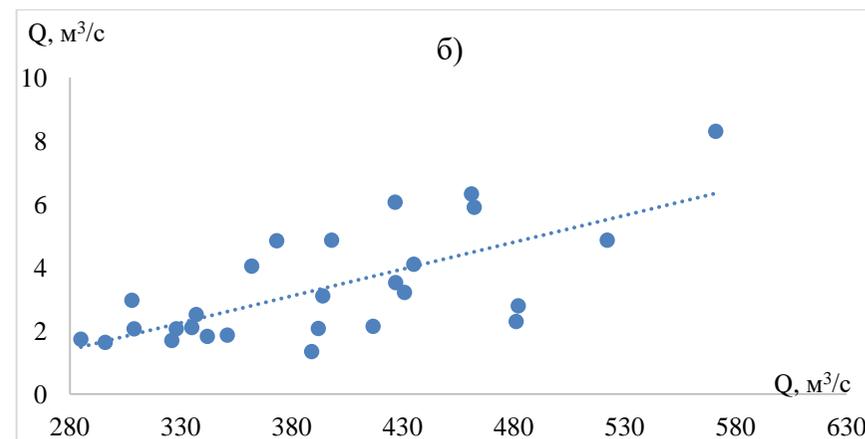
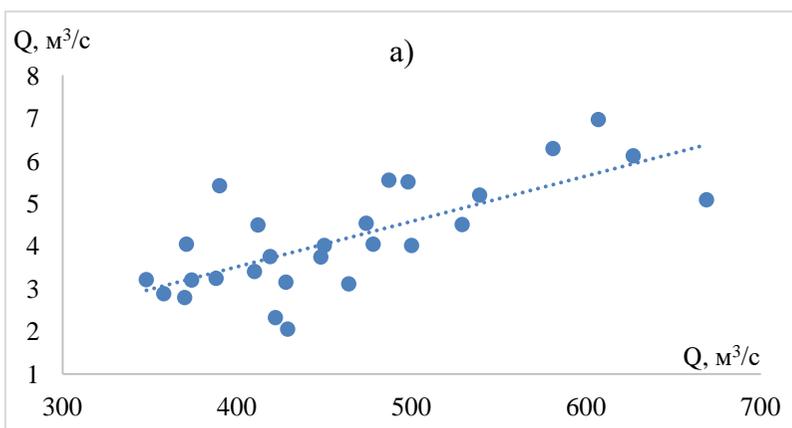


Рисунок А.13 – а) связь средних годовых расходов воды р. Курты – Ленинский мост и р. Иле – уроч. Капшагай (естественный сток) и б) р. Иле, рук. Жидели – в 16 км ниже истока

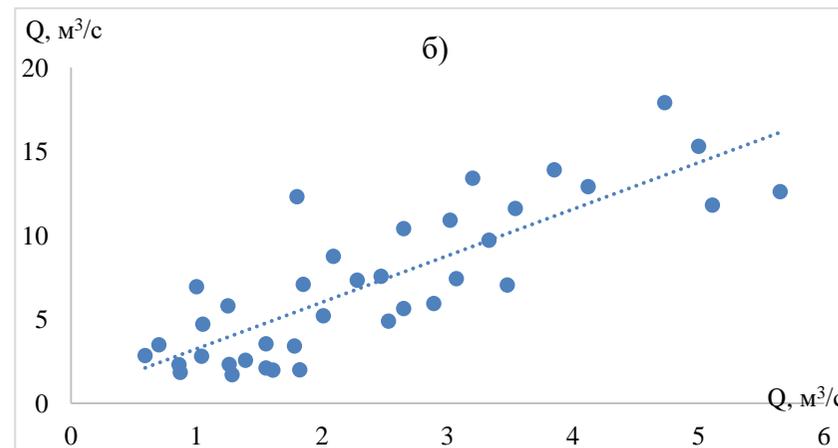
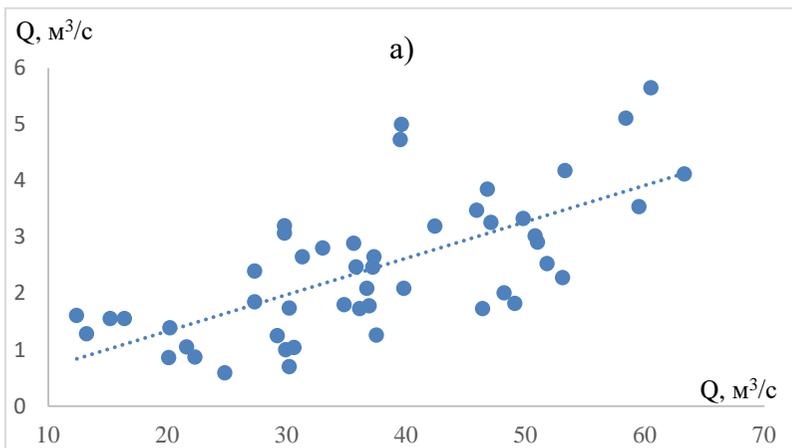


Рисунок А.14 – а) связь средних годовых расходов воды р. Аягоз – пос. Тарбагатай и р. Коксу – с. Коксу и б) р. Аягоз – г. Аягоз и р. Аягоз – пос. Тарбагатай

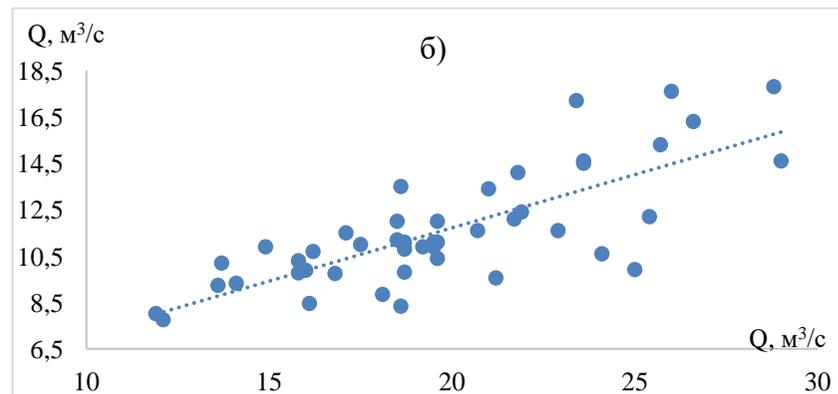
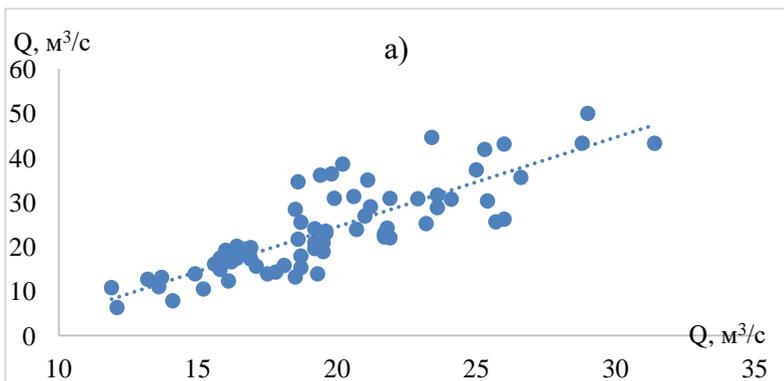


Рисунок А.15 – а) связь средних годовых расходов воды р. Лепси – аул Толебаев и р. Лепси – аул Лепси и б) р. Аксу – а. Жансугиров и р. Лепси – аул Лепси

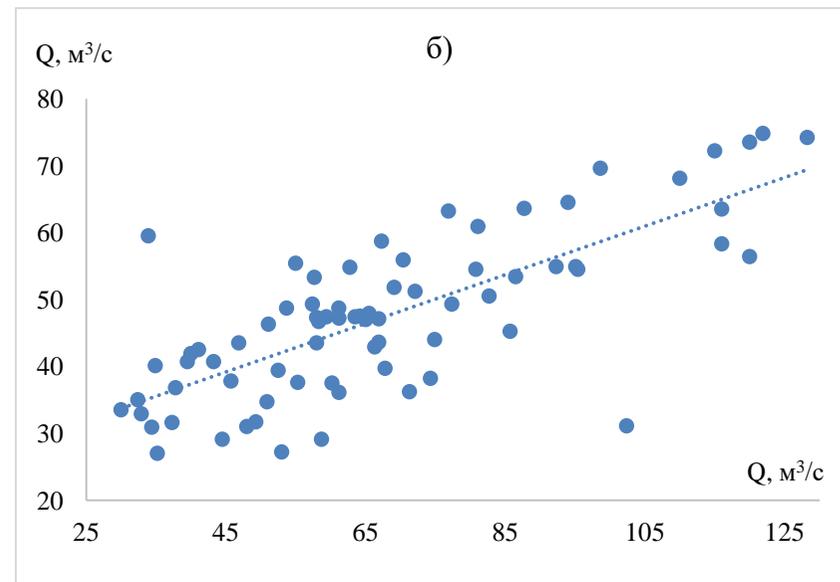
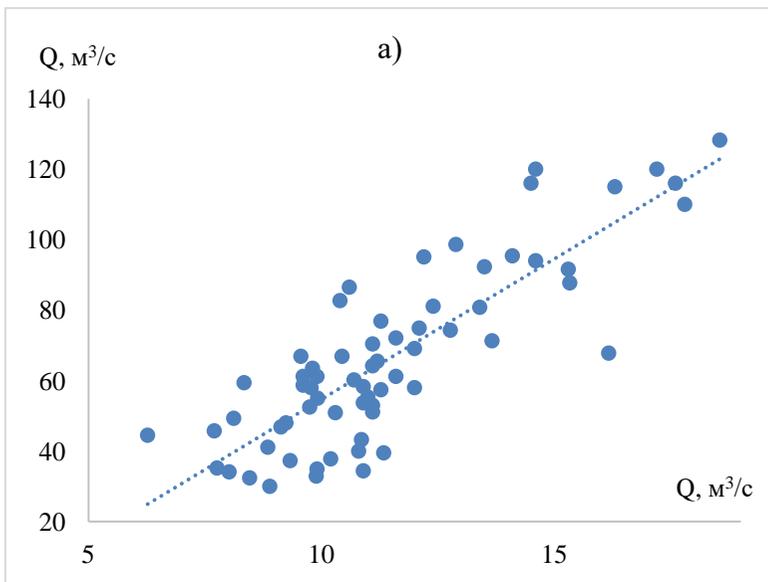


Рисунок А.16 – а) связь средних годовых расходов воды р. Каратал – г. Уштобе и р. Аксу – а. Жансугиров и б) р. Тентек – уроч.Тонкерис и р. Каратал – г. Уштобе

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

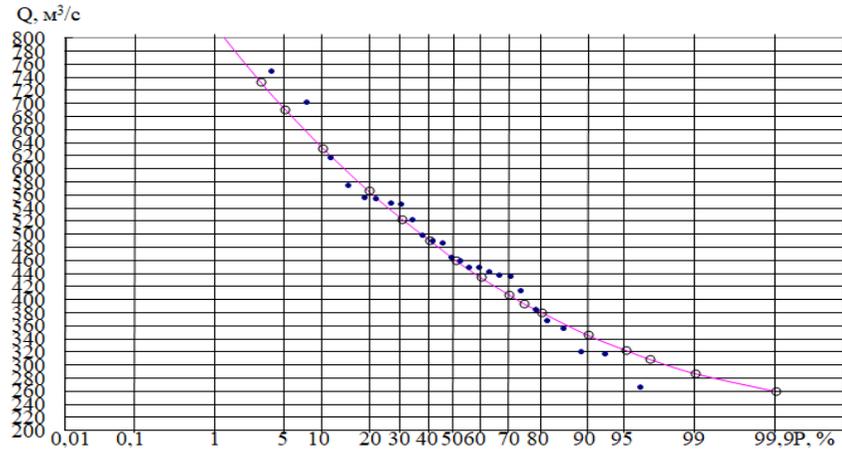


Рисунок Б.1 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1957-2015 гг. р. Иле - в 164 км выше Капшагайской ГЭС

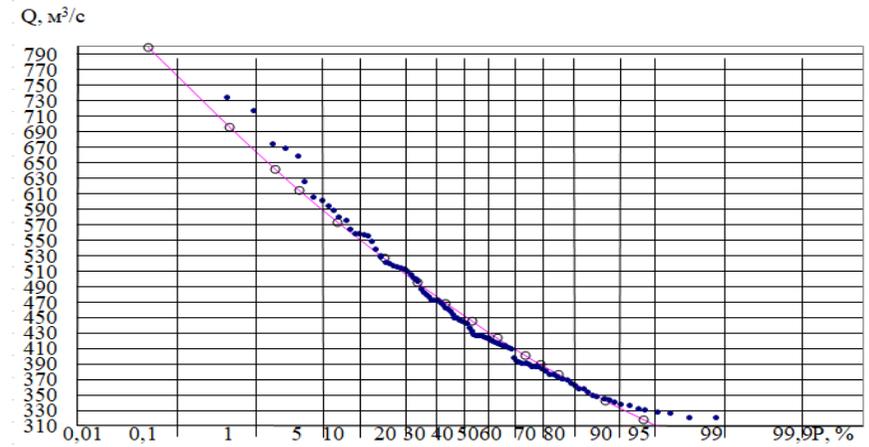


Рисунок Б.2 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов водза 1911-2015 гг. р. Иле - уроч. Капшагай

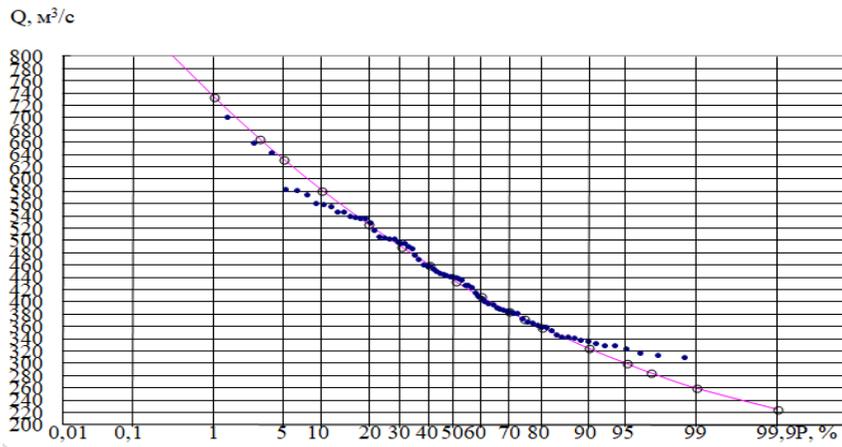


Рисунок Б.3 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1939-2015 гг. р. Иле - с. Ушжарма

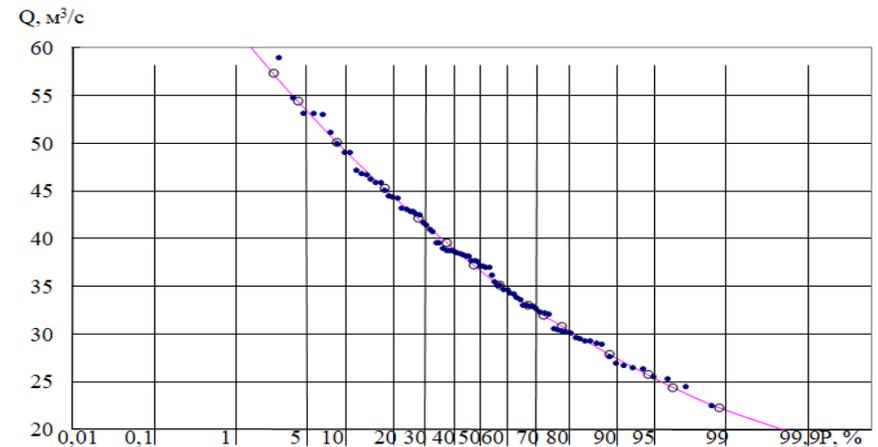


Рисунок Б.4 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1928-2015 гг. р. Шарын - уроч. Сарытогай

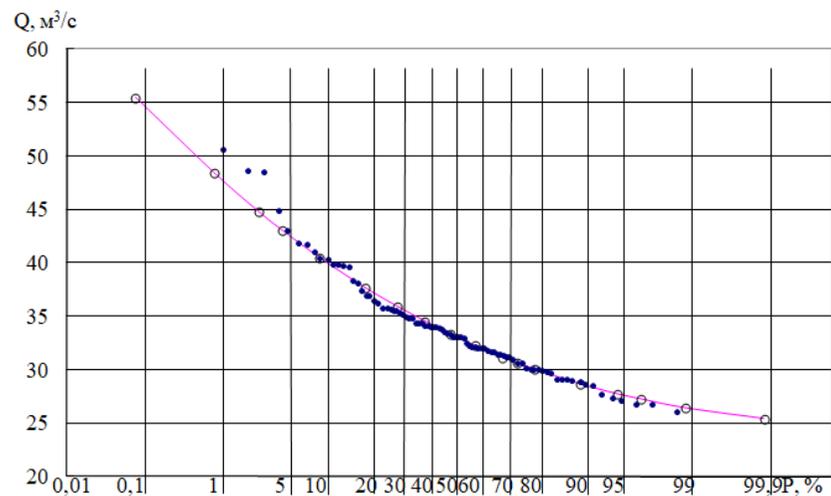


Рисунок Б.5 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1929-2015 гг. р. Шелек - с. Малыбай

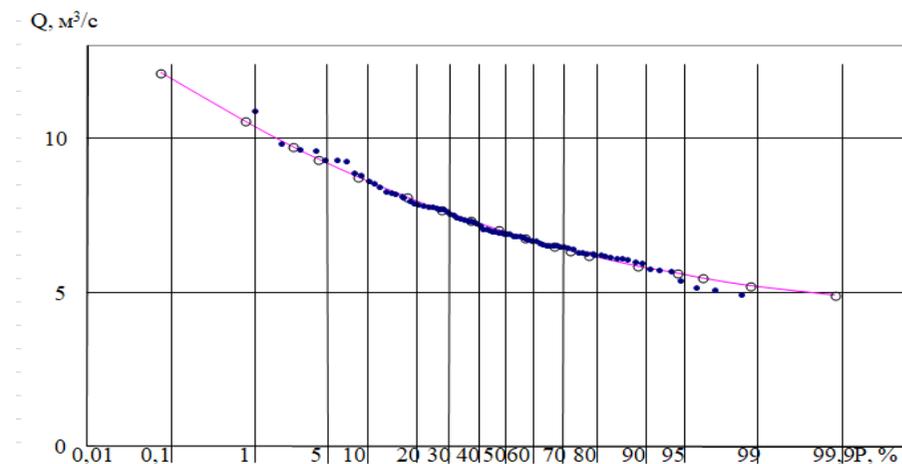


Рисунок Б.6 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1930-2015 гг. р. Турген - с. Таутурген

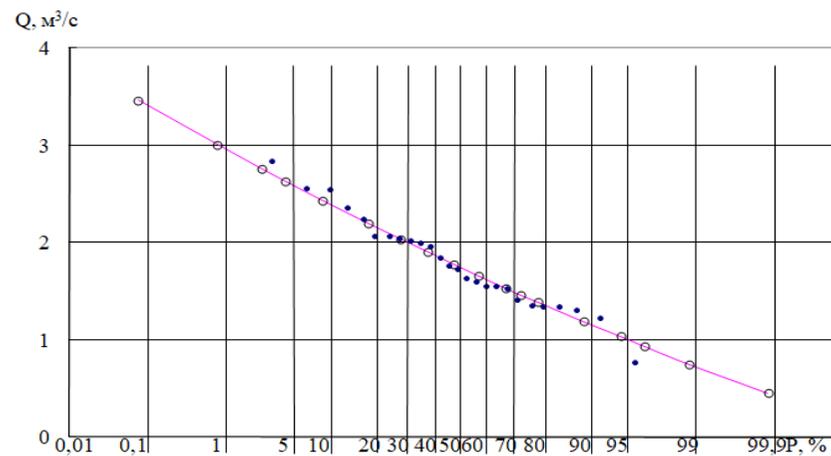


Рисунок Б.7 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1916-2015 гг. р. Киши Алматы - г. Алматы

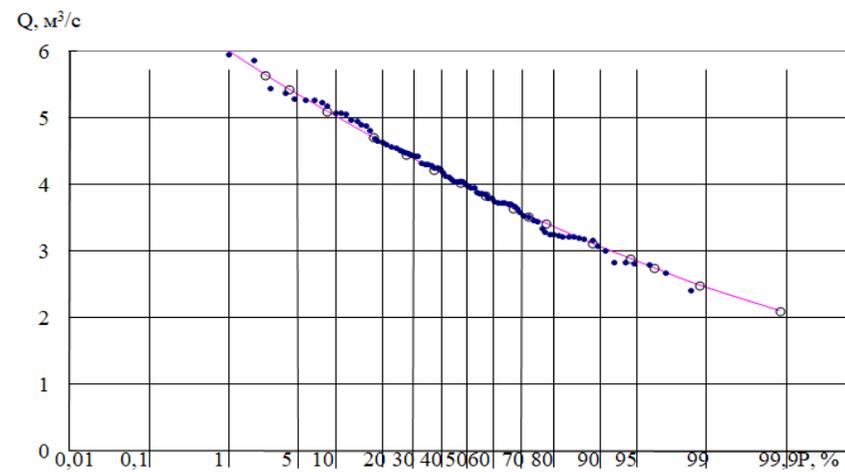


Рисунок Б.8 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1929-2015 гг. р. Каскелен - г. Каскелен

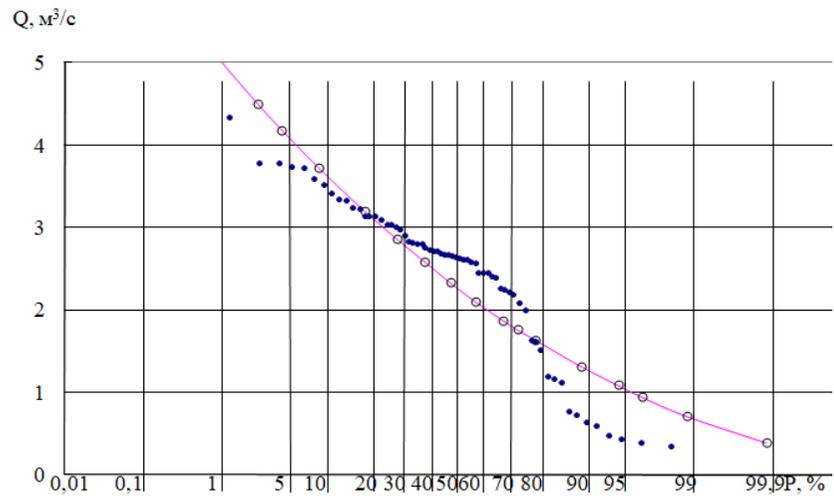


Рисунок Б.9 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1929-2015 гг. р. Улькен Алматы - в 1,1 км выше оз. Улькен Алматы

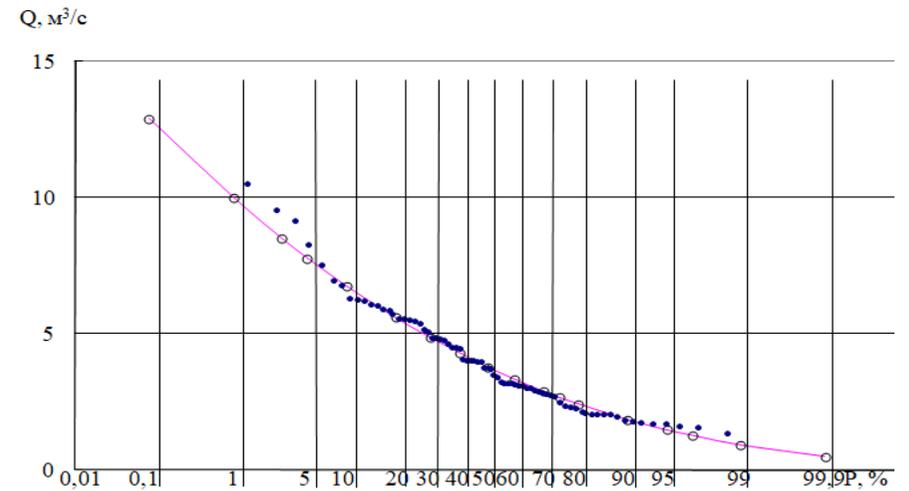


Рисунок Б.10 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1941-2015 гг. р.Курты - Ленинский мост

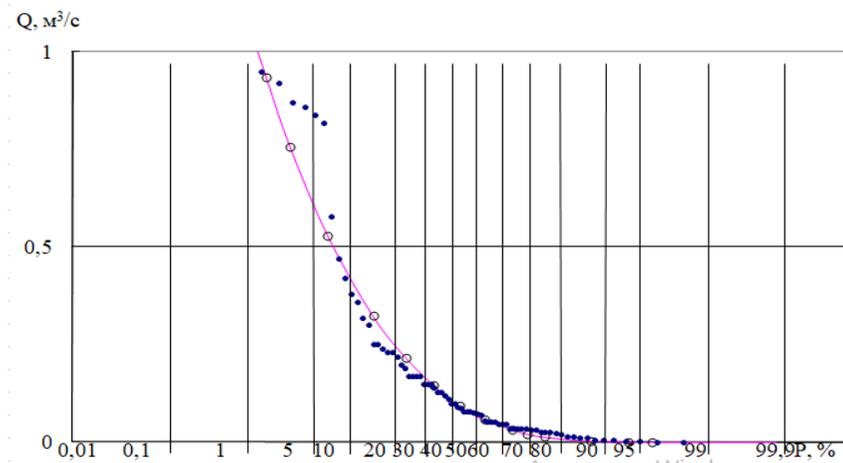


Рисунок Б.11 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1942-2015 гг. р. Мойынты - ж.д.-ст. Киик

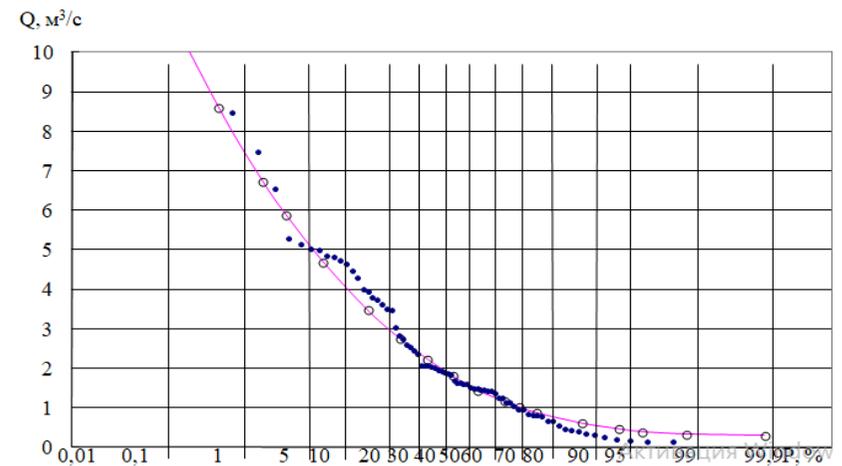


Рисунок Б.12 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1942-2015 гг. р. Токырауын - а. Актогай

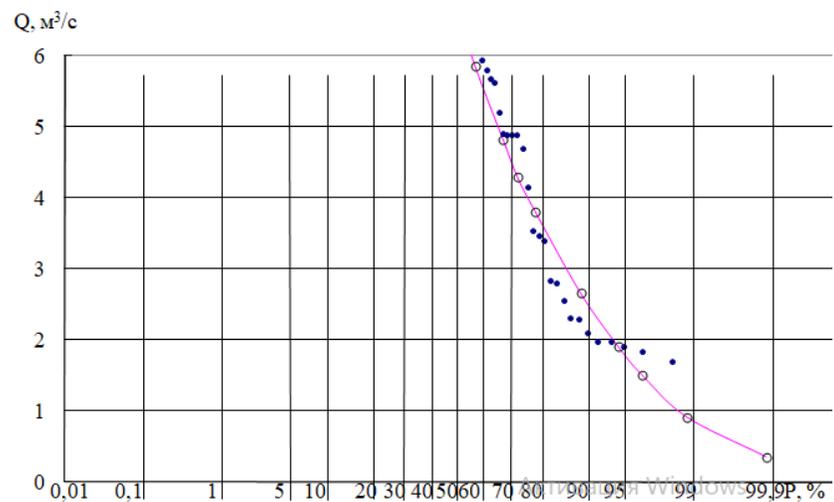


Рисунок Б.13 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1950-2015 гг. р. Аягуз - г. Аягуз

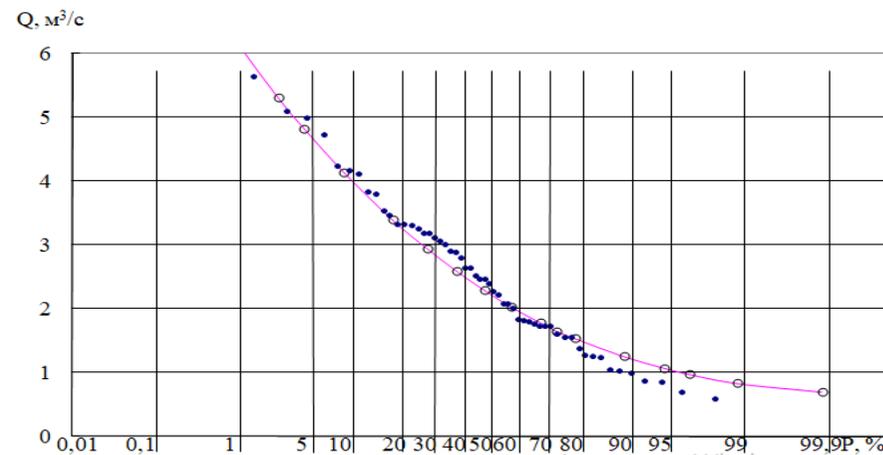


Рисунок Б.14 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1961-2015 гг. р. Аягуз - а. Тарбагатай

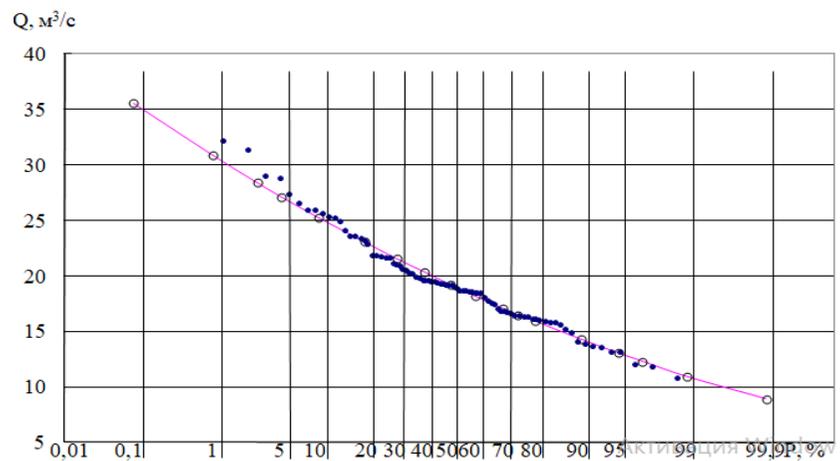


Рисунок Б.15 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за за 1932-2015 гг. р. Лепси - аул Лепси

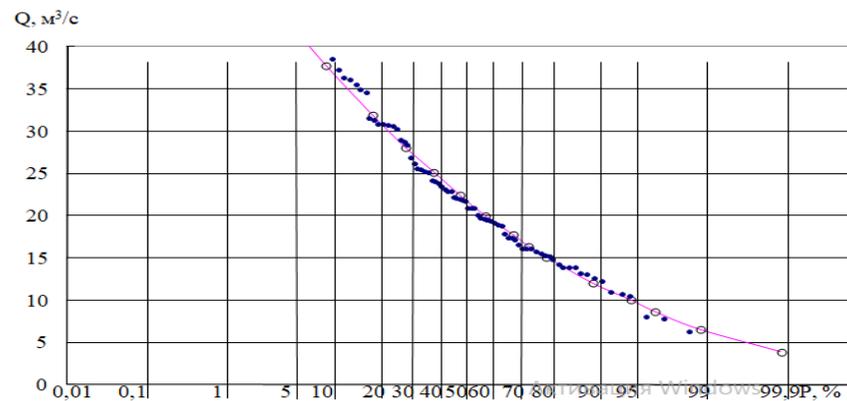


Рисунок Б.16 - Кривая обеспеченности средних годовых расходов воды за 1935-2015 гг. р. Лепси - аул Толбаев

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### АКТ внедрения результатов диссертационного исследования Амиргалиевой Айнуур Серикказыевны

**Наименование:** «Оценка изменения водных ресурсов и перспективы прогноза водности основных рек Иле-Балкашского бассейна в условиях современного потепления климата».

**Краткая аннотация:** Иле-Балкашский регион имеет большое экономическое и социальное значение в Республике Казахстан. В перспективе развитие региона предполагает увеличение водопотребления за счет интенсивного роста промышленности. В связи с этим уже остро стоит вопрос о прогнозировании изменения водных ресурсов в условиях изменения климата и повышения экономической активности и их рационального использования в рассматриваемом бассейне.

На примере реки Киши Алматы проведены расчеты максимального объема снеготаяния за февраль-март месяцы посредством метода «Degree-Day». Согласно полученным расчетам, можно давать предварительный долгосрочный прогноз объема половодья за вегетацию по исследуемой реке. Данную зависимость можно использовать в качестве аналога для рек соседних бассейнов.

Результаты диссертационного исследования Амиргалиевой А.С. были представлены на заседании научной секции научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет» (выписка из протокола №1 от 8 января 2021 г.). Сотрудниками РГП Казгидромет был рассмотрен вопрос о внедрении результатов исследования в производственную практику предприятия. Разработанная методика предварительного долгосрочного прогноза объема половодья за вегетацию имеет достаточную эффективность, что является основанием для проведения производственных испытаний на базе РГП «Казгидромет».

**Эффект от внедрения (экономический, социальный, экологический), подчеркнуть область эффекта):** экологический.

**Место и время внедрения:**

РГП «Казгидромет», Департамент гидрологии, Научно-исследовательский центр Управление моделирования гидрологических процессов и гидрологических расчетов, январь 2021 год

**Форма внедрения:** методика долгосрочного прогноза водности.

**Разработчик**

**А. С. Амиргалиева**

**Директор НИЦ**



**Н.Н. Абаев**

**Директор ДГ**

**Д. Жәнібекұлы**

**И.о. начальника УМГПГР**

**Т.А. Тіллекерім**

**СОГЛАСОВАНО:**

**Заместитель генерального директора  
РГП «Казгидромет»**

**С.Б. Саиров**

