

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. И. АРАБАЕВА  
ОШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи  
УДК 556.5.048; 556.18

**ГАЛАЕВА АНАСТАСИЯ ВЛАДИМИРОВНА**

**РЕСУРСЫ РЕЧНОГО СТОКА И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ  
БАСЕЙНА ОЗЕРА БАЛКАШ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО  
ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

**Специальность: 25.00.36 – «Геоэкология»**

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Бишкек – 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ</b> .....	4
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ГЛАВА 1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА РЕК БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЛКАШ</b> .....	11
1.1. Природные условия региона .....	11
1.2. Гидрографическая характеристика .....	14
1.3. Климатические условия .....	21
1.4. Особенности водного режима .....	24
1.5. Современное оледенение зоны формирования стока рек .....	26
1.6. Гидрологическая изученность поверхностных вод .....	37
1.7. Современное экологическое состояние района исследования .....	39
<b>ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РЕЧНОГО СТОКА БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЛКАШ</b> .....	42
2.1. Степень изученности проблемы исследования .....	42
2.2. Существующие методы оценки речного стока в регионе .....	42
2.3. Методы, используемые при расчете речного стока исследуемого бассейна.	45
2.4. Методика оценки водопотребления в бассейне реки Иле на территории Китайской Народной Республики .....	47
2.5. Использование гидрологической модели HBV для прогнозирования стока реки Иле, калибровка и адаптация к условиям бассейна озера Балкаш .....	50
<b>ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕК БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЛКАШ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА</b> .....	53
3.1. Анализ изменения стока р. Иле и ее основных притоков.....	53
3.1.1. Восстановление рядов наблюдений годового стока основных притоков р. Иле	53
3.1.2. Анализ многолетних колебаний стока рек Шарын и Шилик .....	64
3.2. Оценка водопотребления в бассейне реки Иле на территории Китайской	

Народной Республики.....	69
3.3. Оценка изменения внутригодового распределения стока р. Иле, поступающего в Республику Казахстан из КНР.....	77
3.4. Расчет ресурсов речного стока рек Северного склона Жетысуского Алатау, впадающих в восточную часть озера Балкаш.....	82
3.4.1. Восстановление пропусков в рядах наблюдений.....	82
3.4.2. Определение статистических характеристик стока рек исследуемого региона.....	86
3.5. Оценка влияния водопотребления из реки Иле на территории КНР на водохозяйственную и экологическую систему озера.....	96
3.5.1. Оценка изменений уровня Капшагайского водохранилища в связи с увеличением водопотребления из реки Иле на территории Китайской Народной Республики.....	96
3.5.2. Оценка изменений уровня озера Балкаш в связи с увеличением водопотребления из реки Иле на территории Китайской Народной Республики.	102
3.5.3. Экологические последствия изменения водопотребления . . . . .	105
3.6. Моделирование стока реки Иле на перспективу с помощью гидрологической модели HBV . . . . .	106
<b>ГЛАВА 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ И СТАБИЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЛКАШ.....</b>	<b>117</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .</b>	<b>124</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ . . . . .</b>	<b>129</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1 . . . . .</b>	<b>137</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2 . . . . .</b>	<b>138</b>

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

вдхр.	Водохранилище
р.	Река
оз.	Озеро
гг.	Годы
г.	Город
с.	Село
ст.	Станция
пос.	Поселок
уроч.	Урочище
КНР	Китайская Народная Республика
РК	Республика Казахстан
СУАР	Синьцзян Уйгурский Автономный Район
БАО	Большое Алматинское озеро
БАК	Большой Алматинский канал
МС	Метеостанция
ГП	Гидрологический пост
РГП	Республиканское Государственное Предприятие
ГЭС	Гидро-электро станция
$Q$	Сток реки, м <sup>3</sup> /с
$W$	Объем воды, м <sup>3</sup> , км <sup>3</sup> , млн. м <sup>3</sup>
$P$	Обеспеченность, %
$H$	Уровень воды, см
$C_v$	Коэффициент вариации
$C_s$	Коэффициент асимметрии
$R$	Осадки, мм
$t$	Температура воздуха, °С

## **ВВЕДЕНИЕ**

Современные изменения климата оказывают различные влияния на речной сток и экологическое состояние отдельных регионов Казахстана. Бассейн озера Балкаш относится к числу регионов, которые подвержены значительному влиянию изменения климата и находятся на грани экологического кризиса. В бассейне озера Балкаш изменение климата проявляется в существенном увеличении среднегодовой температуры воздуха и некотором увеличении атмосферных осадков. Повышение температуры воздуха привело к увеличению деградации горного оледенения речных бассейнов, сформировавшегося в 16–17 веках. Деградация горного оледенения и повышение количества атмосферных осадков за последние 25 лет привело к увеличению ресурсов поверхностных вод рассматриваемого региона. Эти изменения оказали существенное влияние на экологическое состояние Капшагайского водохранилища и озера Балкаш. Поэтому в представляемой работе рассматривается изменение ресурсов поверхностных вод и экологического состояния исследуемого бассейна под влиянием климата. В современных условиях деградации горного оледенения и увеличения атмосферных осадков, решение этого вопроса представляется исключительно актуальным. Бассейн озера Балкаш является уникальной экологической системой, сохранение которой должно быть самым большим приоритетом.

### **Актуальность темы диссертации**

В начале второго десятилетия 21-го века удалось установить, что, начиная с последних десятилетий 20-го века, под влиянием изменения климата начался новый период изменения речного стока, существенно отличающийся от предыдущего периода основной части 20-го века. Это стало особенно заметным в пределах отдельных водохозяйственных бассейнов Республики Казахстан, в частности в бассейне озера Балкаш. С середины 80-х годов прошлого века сток рек в данном бассейне начал увеличиваться за счет деградации горного оледенения и некоторого увеличения атмосферных осадков. В настоящее время, деградация горного оледенения в речных бассейнах этого региона достигла 45–50 % от его объема,

сформировавшегося в 16-х – 17-х веках. По прогнозам гляциологов деградация горного оледенения может завершиться вначале второй половины нынешнего века. Это, по-видимому, приведет к сокращению ресурсов речного стока до уровня, наблюдавшегося в 20-м веке, а затем уменьшится вследствие увеличения потерь осадков на испарение и инфильтрацию. В этих условиях исследование по оценке изменения ресурсов речного стока в 21 веке представляется актуальным и чрезвычайно необходимым для обеспечения водохозяйственной и экологической политики Республики Казахстан.

### **Связь темы с научно-исследовательскими работами**

Исследования, проводимые по теме диссертации, вошли в качестве составной части выполненных работ по теме ««Разработка метода оценки водопотребления в пределах сопредельных государств для отдельных трансграничных рек Республики Казахстан», программы 093 «Интегрированное управление водными ресурсами и повышение эффективности водопользования» по заданию Министерства охраны окружающей среды, Комитета по водным ресурсам Республики Казахстан. Кроме того, результаты исследования применялись для научно-практической работы «Трансграничные реки Казахстана. Исследования влияния изменений климата на водные ресурсы».

### **Цель и задачи исследований:**

Оценка изменения поверхностного стока бассейна озера Балкаш в результате воздействия антропогенной и климатической составляющей. На этой основе рассчитать возможное изменение речного стока на ближайшую и более отдаленную перспективу. Для достижения поставленной цели требуется решение следующих задач:

- оценить изменение температуры воздуха и атмосферных осадков в конце 20-го – начале 21-го века;
- разработать методы и восстановить ряды наблюдений годового стока основных притоков р. Иле;

- оценить многолетние характеристики изменения стока реки Иле и рек, впадающих в восточную часть озера Балкаш, за последние 100 лет;
- выявить изменение стока реки Иле за счет водопотребления в пределах территории Китайской Народной Республики (КНР);
- определить изменение во внутригодовом распределении стока реки Иле;
- калибровка и адаптация гидрологической воднобалансовой модели HBV (разработанная Стином Бергстром) к условиям бассейна озера Балкаш;
- провести моделирование стока реки Иле на перспективу на основе различных сценариев изменения климата с использованием гидрологической модели HBV;
- дать практические рекомендации по рациональному использованию и стабилизации экологической ситуации в бассейне озера Балкаш.

**Научная новизна работы** заключается в адаптации и применении гидрологической модели HBV для прогнозирования изменения стока в бассейне озера Балкаш; в количественной оценке изменения и перераспределения стока реки Иле в современный период.

#### **Практическая значимость и экономическая значимость.**

Полученные результаты могут быть использованы для оценки речного стока бассейна озера Балкаш, для разработки природоохранных мероприятий, а также для подготовки межправительственных соглашений. В данный момент проходят встречи рабочих групп китайской и казахстанской сторон в рамках подписанного «Соглашения между Правительством Республики Казахстан и Правительством Китайской Народной Республики о сотрудничестве в сфере использования и охраны трансграничных рек». Целью этого соглашения является раздел водных ресурсов трансграничных рек Иле и Ертис. Результаты диссертационной работы используются для обоснования межгосударственных соглашений по совместному использованию водных ресурсов.

Использование рекомендаций данной работы позволит:

1. Рационально использовать природные ресурсы региона,

2. Обосновать и выполнить модели адаптации хозяйственной деятельности и природно-охранных мероприятий к изменяющемуся климату и водным ресурсам региона.

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

1) В диссертационном исследовании выявлено, что сток рек бассейна озера Балкаш существенно изменился, начиная с 80-х годов прошлого столетия.

2) Проведённый в рамках диссертационной работы анализ, позволил выявить, что водопотребление из верхней части бассейна реки Иле составляет порядка 1,59 км<sup>3</sup> в год.

3) В рамках диссертационного исследования установлено, что внутригодовое распределение стока реки Иле изменилось под влиянием климатического и антропогенного воздействия; увеличился сток весеннего половодья и осенней межени, а сток за вегетационный период – уменьшился.

4) Выявлена взаимосвязь изменения стока реки Иле на перспективу под влиянием изменения климата и деградации горного оледенения.

5) Предлагаются мероприятия для рационального использования и сохранения экологической стабильности в бассейне озера Балкаш.

#### **Личный вклад автора** заключается:

- 1) в сборе и анализе исходной информации;
- 2) в создании метода и восстановлении рядов наблюдений;
- 3) адаптации и калибровке гидрологической модели HBV;
- 4) . в выполнении гидрологических расчетов.

#### **Апробации результатов исследования**

Результаты исследований обсуждались на следующих международных конференциях:

– «Современные аспекты использования природно-ресурсного потенциала Трансграничных рек Центральной Азии», г. Тараз (Казахстан), 2009 г.



- Международный научный симпозиум «Вода в Центральной Азии», г. Ташкент (Узбекистан), 2010 г.
- Международная конференция «Навстречу 6-му всемирному водному форуму. Совместные действия в направлении водной безопасности», г. Ташкент (Узбекистан), 2011 г.
- «9-я Международная конференция об осуществлении Европейской Рамочной Водной Директивы», г. Порто (Португалия), 2011 г.
- Международный семинар «Региональная водная безопасность и таяние ледников в Южной и Центральной Азии», г. Алматы (Казахстан), 2011 г.
- «Международный симпозиум по изменению криосферы, водных ресурсов и устойчивого развития в Центральной Азии», г. Урумчи (КНР), 2011 г.
- Центрально-Азиатская конференция International Water Association «Опыт и молодость в решении водных проблем», г. Алматы (Казахстан), 2011 г.
- Международная научно-практическая конференция на тему «Горы и климат», г. Бишкек (Киргизия), 2012 г.
- Европейская конференция ИВА «Опыт и молодость в решении водных проблем», г. Будапешт (Венгрия), 2012 г.
- Международный семинар «Влияние изменения климата на водные ресурсы Центральной Азии», г. Потсдам (Германия), 2013 г.

### **Полнота отражения результатов диссертации в публикациях**

Основные теоретические прикладные результаты, составляющие содержание диссертационной работы опубликованы:

- в 20-ти печатных работах;
- в научно-исследовательской работе «Исследования влияния изменений климата на водные ресурсы», Алматы, 2013 г.;
- в отчете о научно-исследовательской работе по программе «Оценка ресурсов и прогноз использования природных вод Казахстана в условиях антропогенно и климатически обусловленных изменений» по блоку 1 «Дать оценку и разработать

прогноз ресурсов, режима и качества природных вод в условиях изменения климата и хозяйственной деятельности». Алматы, 2011.

– в отчете о научно-практической работе «Трансграничные реки Казахстана. Исследования влияния изменений климата на водные ресурсы». Алматы, 2014.

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка использованной литературы, изложенных на 138 страницах машинописного текста, включая 34 таблицы, 60 рисунков, 2 приложений и списка литературы из 86 источника.

Автор работы благодарит за неоценимую помощь в написании работы своего научного руководителя – Чодураева Темирбека Макешовича, а также Голубцова Всеволода Викторовича, Ивкину Наталью Ивановну, Семенова Олега Ефимовича.

# ГЛАВА 1.

## КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА РЕК БАСЕЙНА ОЗЕРА БАЛКАШ

### 1.1 Природные условия региона

Бассейн озера Балкаш (Балхаш) – уникальный природный комплекс, расположенный на территории двух государств: Республики Казахстан (РК) и Китайской Народной Республики (КНР). Он расположен в Юго-Восточной части Республики Казахстан и в северо-западной части Синьцзянь Уйгурского Автономного района КНР. Схема бассейна представлена на рисунке 1.1.

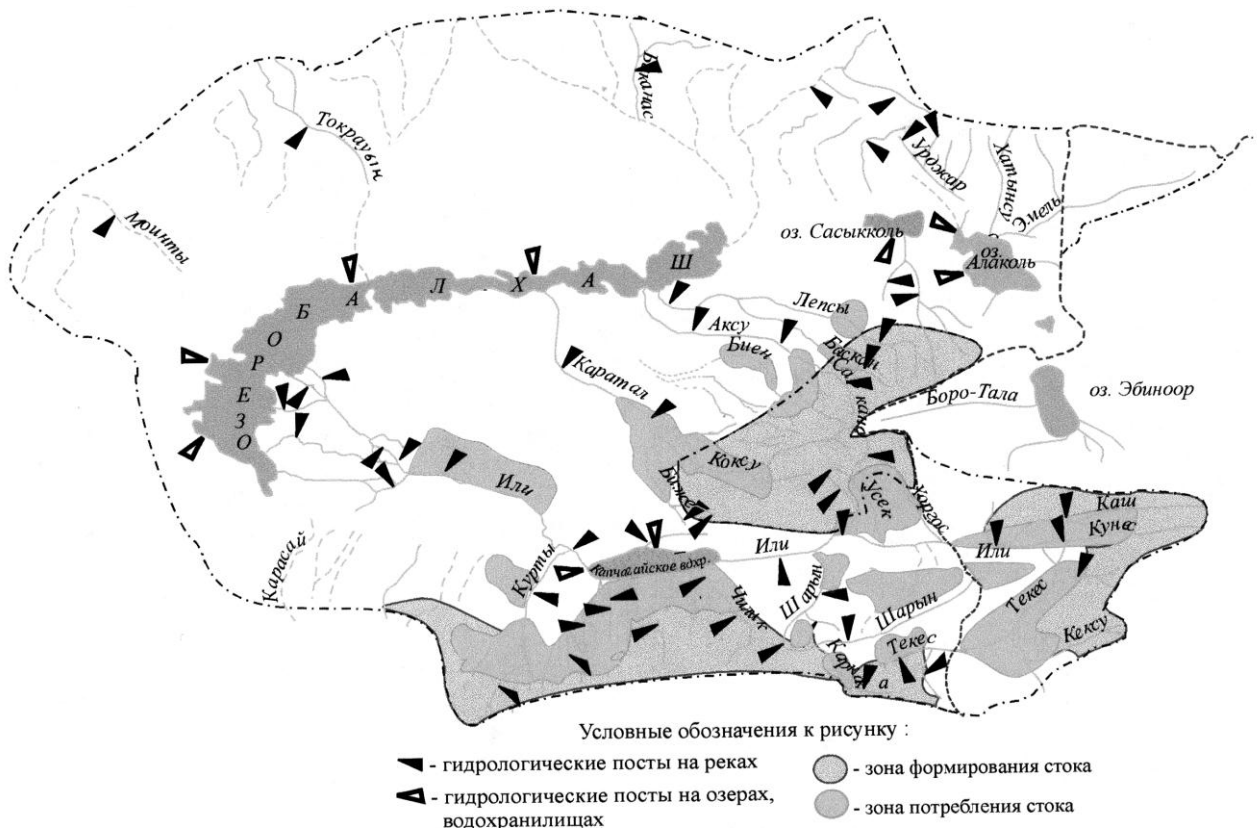


Рис. 1.1. Схема гидрографической сети бассейна оз. Балхаш, зоны формирования и хозяйственного потребления стока. [1].

Значительные размеры обуславливают большое разнообразие природных условий. Узкая полоса засушливой степной зоны, сменяется полупустыней, и

пустыней, простирающейся от южного побережья оз. Балкаш до предгорий Тянь-Шаня и Жетысуского (Джунгарского) Алатау.

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-Илийские горы и восточная часть Северного Тянь-Шаня [1]

Мелкосопочник Казахской складчатой страны, занимающий большую часть Северного Прибалкашья, представляет собой равнины с останцевыми горами и холмами.

В северо-западной части бассейна расположен низкогорный массив широтного направления Каркаралы-Актау, состоящий из обширного нагорья и многочисленных горных хребтов. Продолжением Каркаралы-Актауского массива на востоке является хребет Чингиз-Тау.

Хребет Чингиз-Тау, представляет собой складчато-горное поднятие Казахской складчатой страны, простирающейся с севера-запада на юго-восток более чем на 200 км. Хребет Тарбагатай простирается в широтном направлении, входит в пределы рассматриваемой территории своими юго-западными и частично северо-западными склонами. Равнины Балкаш-Алакольской впадины занимают центральную часть рассматриваемой территории и подразделяются на плато Северного Прибалкашья, песчаные пустыни Южного Прибалкашья и равнины Алакольской впадины. Равнинное плато Северного Прибалкашья окаймляет котловину оз. Балкаш. Песчаные пустыни Южного Прибалкашья расположены между оз. Балкаш и отрогами гор Тянь-Шаня и Жетысуского (Джунгарского) Алатау. Южное Прибалкашье разделяется на две части: западную и восточную. В западной части – левобережной части бассейна р. Иле, тянутся пустыни Таукум и Моинкум, а в междуречье Иле и Каратала – пустыни Сары-Есик-Атырау. В восточной части между реками Каратал и Аксу расположены пески Жаманжал и Люккум, а между низовьями рек Аксу и Лепси – Аралкум.

В предгорьях Тянь-Шаня и Жетысуского Алатау, окружающих Балкашскую котловину с запада, юга и востока, располагаются ровные или слабо расчлененные подгорные, степные и пустынные, суглинистые и щебневые равнины, иногда прорезанные сухими долинами [1].

Алакольская впадина расположена между горными системами Тарбагатай на севере и Жетысуским Алатау на юге, на западе открыта широким проходом в сторону Балкашской котловины. На востоке за пределами РК, впадина ограничена склонами возвышенностей Уркашар и Джаир, Барлык и Майли, а на юго-востоке через Джунгарские ворота соединяется с впадиной оз. Эби-Нур, расположенного в КНР. Алакольская впадина является пустынной и пустынно-степной страной.

Жетысуский Алатау состоит из нескольких параллельных хребтов, протянувшихся с северо-востока на юго-запад и разделенных межгорными впадинами. Наиболее глубокая из межгорных впадин, по которой протекает река Коксу, разделяет Жетысуский Алатау на северный и южный центральный хребты. Северо-западные отроги хребта уходят далеко вглубь Прибалкашской равнины. В восточной части горы понижаются к Илейской (Илийская) равнине широкими ступенями.

Илейская равнина, разделяющая системы гор Жетысуского Алатау и Борохоро с восточной частью Северного Тянь-Шаня, протянулась на сотни километров от Кульджинского оазиса в Синьцзяне до Капшагайского ущелья. Абсолютная высота ее меняется от 600 м у границы с КНР до 500 м в районе створа плотины Капшагайской ГЭС.

Заилийский Алатау является наиболее северной цепью Тянь-Шаня, образует полого-вогнутую к югу дугу широтного простирания. Длина его около 250 км. В центральной, наиболее возвышенной части, высота хребта достигает 4000 м и более, с наивысшей отметкой 4951 м (пик Талгарский). Северный склон хребта, дренируемый реками бассейна оз. Балкаш, крутой. На расстоянии 20–30 км от водораздела находятся подножья предгорий с высотами 800–1000 м, а далее простирается полого наклоненная на северо-запад Илейская котловина.

Основное направление стока от окраинных районов к центру определяется наличием высокогорных хребтов на юге, юго-востоке и востоке территории. Большинство рек течет с юго-востока на северо-запад.

Крупный бессточный бассейн оз. Балкаш, является третьим по величине (после Каспийского и Аральского морей) внутриконтинентальным бессточным водоемом планеты. В озеро Балкаш впадают реки: Иле (дает около 80 % притока), Каратал, Лепси, Аксу и Аягуз, которая в последние годы практически не доносит свои воды до озера. Все названные притоки оз. Балкаш располагаются на юго-востоке гидроэкологического района, в горах Джунгарского и Заилийского Алатау. На западе, севере и северо-востоке района, в Шу-Илийских горах, степях Сары Арки и горах Каркаралы образуются многочисленные степные реки Моинты, Токрау, Баканас и др., однако ни одна из них не имеет постоянного речного стока и не доносит своих вод до оз. Балкаш.

## 1.2 Гидрографическая характеристика

**Реки бассейна р. Иле (Или).** Река Иле является основной водной артерией бассейна оз. Балкаш. Она начинается истоком реки Текес на территории Казхстана, затем течет по территории КНР, где сливается с реками Кунес и Каш, затем снова входит в пределы Республики Казахстан и на 1001-м км впадает в оз. Балкаш. Общая длина реки составляет 1439 км, а в пределах РК – 815 км. Площадь бассейна реки Иле на территории Казахстана составляет 77400 км<sup>2</sup>, тогда как общая площадь равна 140 тыс. км<sup>2</sup> (примерно 75 % водосборной площади оз. Балкаш [2]). Стокоформирующая часть бассейна расположена в Китае (густота сети – от 0,6 до 3 км/км<sup>2</sup>). На территории Казахстана формируется порядка 30 % водных ресурсов р. Иле. В левобережной части бассейна р. Иле принимает ряд горных рек: Шарын и Шилик, в среднем течении: Тургень, Иссык, Талгар, Каскелен с притоками Киши и Улкен Алматы (Большая и Малая Алматинка), Курты, формирующих сток на северном склоне Заилийского Алатау. В правобережной части наиболее крупными притоками р. Иле являются реки Хоргос, Осек и Борохудзир, стекающие с южных склонов Джунгарского Алатау [2]. После выхода из Капшагайского ущелья р. Иле

протекает по пустынной Прибалкашской равнине к оз. Балкаш. В низовье русло реки неустойчиво, изобилует старицами и островками. При впадении в озеро река образует дельту площадью около 9000 км<sup>2</sup>, которая делится на три системы рукавов – Топар, Иле и Жидели. В настоящее время большая часть стока р. Иле осуществляется через систему Жидели.

Река Шарын (Чарын) – крупнейший приток р. Иле. Площадь бассейна реки 7720 км<sup>2</sup>, длина 427 км. Истоки реки и ее правобережные притоки расположены на южном склоне Кетменского хребта. Наиболее многоводный ее левобережный приток (р. Каркара) формирует сток с северо-восточных отрогов Терскей-Алатау и Кунгей-Алатау. В верховье, спустившись небольшим горным потоком в Кегено-Каркаринскую впадину, река медленно в низких, иногда заболоченных берегах течет в западном направлении. В среднем течении принимает воды Каркары и других притоков. Река прорезает низкогорные отроги Кунгей-Алатау и течет на север к р. Иле [1].

Река Шилик (Чилик) – типичная горная река с хорошо выраженным ледниковым питанием, самая крупная река Заилийского Алатау. Берет начало на высотах от 3300 м до 3500 м с ледников Жангырык, Богатырь Корженевского, расположенных на южном склоне хребта Заилийский Алатау. Длина реки 245 км, площадь бассейна 4950 км<sup>2</sup> [1]. Водосборный бассейн р. Шилик занимает юго-восточную часть хребта Заилийский Алатау. В горах принимает более 45 притоков, в основном ледникового питания. У р. Шилик имеется три притока: Женишке, Сарыбулак и Ассы. В 4–5 км ниже гидрометрического поста р. Шилик – устье впадает левый приток р. Теренькара. Устьевой участок перед впадением в Капшагайское водохранилище заболочен. Река Шилик является одной из самых мутных рек Заилийского Алатау: норма среднегодовой мутности в створе р. Шилик – с. Малыбай составила 738 г/м<sup>3</sup>, а после заполнения Бартогайского водохранилища уменьшилась в 12 раз и составляет 82 г/м<sup>3</sup>.

Река Тургень берет начало с ледников и вод, стекающих из-под морен. Крупнейший ледник бассейна – «Горного Института» с максимальной отметкой 4380 м. Река образуется слиянием трех ветвей: левой (западной) – Шентургень,

средней – Тургень (Ортатурген) и правой – Киши-Тургень. Каждая из них имеет много притоков. Общая площадь бассейна при выходе из гор 625 км<sup>2</sup>, длина реки 116 км. Основная часть бассейна расположена в горах. При выходе из гор, воды реки разбираются на орошение. Река Тургень имеет смешанное питание - ледниковое и снего-дождевое. Ниже трассы Алматы-Нарынкол река Тургень подпитывается источниками «карасу» и в маловодные годы, не доходя до Капшагайского водохранилища, теряется в карасучных болотах.

Река Есик (Иссык) 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, крупнейшие из них – «Григорьева», «Пальгова» и «Кассина». Площадь водосбора р. Есик при выходе из гор 256 км<sup>2</sup>, а длина 121 км. В 8 км ниже слияния Жарсай и Тескенсу, на высоте 1788 м, р. Есик впадает в высокогорное озеро Иссык. 7 июля 1963 г. на р. Есик прошел сель, разрушивший естественную плотину озера, которое перестало существовать. В настоящее время озеро Иссык 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.

**Реки бассейна оз. Балкаш.** С юга в оз. Балкаш, кроме р. Иле впадают реки, стекающие с хребта Жетысуский Алатау. Самым большим на территории хребта Жетысуский Алатау является бассейн реки Каратал. Река Каратал начинается на северо-западных склонах Центрального хребта Джунгарского Алатау и образуется от слияния рек Кора, Шыжын (Чижа) и Текели. Истоки р. Кора расположены на высоте 3800–3900 м, поэтому ледники играют большую роль в формировании ее стока. Затем река Каратал выходит на широкую межгорную котловину, где ее русло делится на несколько рукавов. Близ устья реки Сарыбулак рукава вновь соединяются в одно русло. Здесь река Каратал сливается со своим самым крупным притоком рекой Коксу. Дальше река течет по песчаной пустыне Южного Прибалкашья и образует дельту за 40 км до впадения в озеро. Длина реки Каратал составляет 390 км, а площадь водосбора – 19100 км<sup>2</sup>.



Река Коксу – самый крупный приток реки Каратал. Она берет начало на высоте около 3500 м у основания ледниковых морен и образуется от слияния двух крупных рек: Казан и Караарык. По площади водосбора (4670 км<sup>2</sup>) и длине (205 км) она больше реки Каратал до слияния с рекой Коксу. В верхнем течении русло реки расположено на дне узкой межгорной долины. Далее река выходит на Каратальскую долину и пересекает ее параллельно руслу реки Каратал до места слияния с ней [1].

Бассейн реки Шыжын заключен между хребтом Каратау с севера и горами Суок-Тюбе с юга, отделяющими этот бассейн от бассейна реки Коксу [1]. Река Шыжын берет начало из снежников на высотах 3200–3400 м. Она образуется от слияния двух рек: Койтас и Жаманкольсай, разделенных хребтом Жаманколь. Длина реки составляет 390 км, а площадь водосбора – 682 км<sup>2</sup>.

Река Аксу начинается на северных склонах Жетысуского Алатау на высоте 3700–3800 м. Бассейн реки Аксу ограничен с запада Биенским отрогом Северного Центрального хребта, а с востока Аксуйским отрогом этого хребта. Структура реки Аксу отличается значительной асимметрией. В верхней части река пересекает межгорную котловину (Копальская долина) и выходит на предгорную покатую равнину. В предгорных районах река Аксу разбивается на мелководные каналы и рукава оросительной системы. Справа река Аксу принимает очень большие и ветвистые притоки – реки Кокджар и Теректы. Площадь водосбора равна 5040 км<sup>2</sup>, а длина реки Аксу – 316 км. В равнинной части река Аксу сильно меандрирует, пересекает песчаную Прибалкашскую равнину и в низовьях разбивается на многочисленные протоки (образуются ряд проточных и не проточных озер, которые заболачивают местность). До озера Балкаш доходят лишь три рукава р. Аксу.

Река Лепси (Лепсы) занимает третье место по водности в исследуемом бассейне. Река берет начало на высоте 3000 м в области ледников северного склона хребта Джунгарского Алатау. Основные ее притоки – реки Сарымсакты, Аганакты (в верховьях) и левый приток Баскан (в низовьях), разделенные Лепсинским отрогом и соединяющиеся в Лепсинской котловине в районе села Лепси. Площадь водосбора равна 8110 км<sup>2</sup>, а длина реки – 417 км. Бассейн реки Лепси ограничен на востоке Тентекским, а на западе Басканским отрогами.

Река Баканас берет начало с юго-западного склона хребта Чингиз-Тау. Длина ее 240 км, площадь водосбора 25100 км<sup>2</sup>. Не доходя до оз. Балкаш река теряется в песках.

**Озера.** В рассматриваемом бассейне насчитывается большое количество озер и искусственных водоемов – более 24000.

Самый большой водоем рассматриваемой территории – озеро Балкаш – относится к числу крупнейших бессточных озер земного шара. Средняя площадь озера Балкаш составляет около 16,4 тыс. км<sup>2</sup>, что делает его самым крупным из озёр, целиком расположенных на территории Казахстана. Озеро Балкаш находится на высоте 340 м над уровнем моря. Оно имеет форму полумесяца [3]. Его длина составляет 600 км, ширина изменяется от 9-19 км в восточной части до 74 км – в западной. Полуостров Сарыесик, расположенный посередине озера, делит его на две части, отличающиеся по солености: западную и восточную. Западная часть относительно мелководная и практически пресная, а восточная – имеет большую глубину и солёную воду. Через формируемый полуостровом пролив Узынарал (с казахского языка переводится «длинный остров») вода из западной части перетекает в восточную. Глубина пролива составляет около 6 м, а ширина 3,5 км. Еще одна особенность озера Балкаш заключается в том, что почти вся поступающая в озеро вода расходуется на испарение. Из-за затрудненного водообмена, между западной и восточной частями озера через пролив Узынарал, в этих частях создается различный солевой режим и разная степень минерализации воды. В восточной части озера минерализация воды превышает 4 г/л. Западная же часть, сильно опреснена в связи с притоком вод р. Иле. Минерализация воды в этой части не превышает 0,5–1,5 г/л. Ежегодно через пролив Узынарал перетекает значительный объем воды из Западного Балкаша в Восточный. Интенсивность водообмена (объем перетока) имеет динамичный характер, зависит от приточности и влияет на состояние минерализации западной части озера [2]. Вода в западной части имеет желтовато-серый оттенок, а в восточной – цвет меняется от голубоватого до изумрудно-голубого.

Котловина озера состоит из нескольких небольших впадин. В западной части Балкаша имеются две впадины глубиной до 7–11 м. Самым глубоким местом

западного Балкаша является залив Бертыс. Глубина впадины восточного Балкаша достигает 11 м, а наибольшая глубина всей восточной части равна 27 м. Средняя глубина всего озера составляет 5,8 м. [4].

Западные и северные берега Балкаша – высокие (20–30 м) и скалистые, сложены палеозойскими породами (порфиры, туфы, граниты, сланцы, известняки) и имеют следы древних террас. Южные берега, от залива Карашаган до дельты реки Иле, низкие (1–2 м) и песчаные, периодически затапливаются в высокую воду (из-за чего испещрены многочисленными мелкими озёрами), местами встречаются прибрежные холмы высотой 5–10 м. Береговая линия очень извилистая и расчленена многочисленными заливами и бухтами.

Балкаш имеет множество крупных заливов, мысов, полуостровов. Крупные заливы западной части: Сарышаган, Кашкантиз, Каракамыс, Шемпек (южная оконечность озера), Балакашкан и Ахметсу. В восточной части выделяют заливы Гузколь, Балыктыколь, Кукун и Карашиган, там же расположены полуострова Байгабыл, Балай, Шаукар и Кентубек и Коржинтобе (рис. 1.2) [4]. Площадь водосборного бассейна озера Балкаш составляет около 413 тыс. км<sup>2</sup>, причём 15 % его территории лежит на северо-западе Синьцзян–Уйгурского автономного района Китая. На рисунке 1.2 представлен вид озера Балкаш из космоса.

Изучение гидрометеорологических условий озера началось еще в 30-х годах 19-го столетия, однако почти в течение последующих 100 лет эти исследования проводились только экспедиционным путем и имели локальный характер, освещая отдельные участки озера.

В среднегорной зоне исследуемого бассейна естественные озера встречаются достаточно редко, и в основном они приурочены к расширениям русел рек. К такому типу и относится Большое Алматинское озеро (БАО), озеро Иссык, которое было восстановлено в рекреационных целях после крупнейшего селя в 1963 г., а также ряд озер, расположенных в бассейне р. Шилик.

В высокогорной и среднегорной зонах рассматриваемого бассейна искусственных водоемов практически нет, зато в предгорной и низкогорной зонах их насчитывается большое количество.



Рис. 1.2. Космический снимок NASA озера Балкаш [5].

1–Полуостров Сарыесик, разделяющий озеро на две части, и пролив Узынарал; 2–полуостров Байгабыл; 3–полуостров Балай; 4–полуостров Шаукар; 5–полуостров Кентубек; 6–острова Басарал и Ортаарал; 7–остров Тасарал; 8–залив Шемпек; 9–залив Сарышаган.

Болота в рассматриваемом бассейне встречаются редко. В основном они находятся на участках расширений речных долин и пересечений межгорных котловин руслами рек (например, болота Кеген-Каркаринский и Текесской впадин), а также в приустьевых участках рек таких рек, как Иле, Шарын, Шилик, Борохудзир, Осеки др.

Искусственные водоемы (водохранилища и пруды) в большинстве своем находятся в предгорной зоне. Самым крупным водохранилищем является Капшагайское. Оно построено на р. Иле для целей энергетики и ирригации. Наполнение водохранилища началось в 1970 г. По проекту оно должно было быть заполнено до 485 м, но во время наполнения очень сильно стал падать уровень оз. Балкаш. Постановлением Кабинета Министров РК от 12.05.1992 г. № 423 было решено остановить наполнение водохранилища на отметке 479 м и считать ее предельной верхней отметкой. Это решение было направлено на обеспечение поддержания уровня озера Балкаш на отметке не ниже 341 м.

Остальные водохранилища в бассейне имеют главным образом ирригационное значение. Список основных водохранилищ и их характеристики приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные характеристики водохранилищ в бассейне р. Иле

Водохранилище	Водоток или место образования	Расстояние от устья, км	Начало эксплуатации, год	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	Проектная ёмкость, млн. м <sup>3</sup>	
					Полная	Полезная
Капшагайское	р. Иле	434	1970	$\frac{1843}{1370^*}$	$\frac{28100}{18450^*}$	$\frac{10300}{6640^*}$
Бартогайское	р. Шилик	75	1983	3,0	320	270,0
Куртинское	р. Курты		1963	8,5	120	114,8

*Примечание* - \*Постановление Правительства № 423 от 12.05.1992 г. «О мерах по решению экологических проблем Иле-Балкашского бассейна» установлен новый уровень подпорного горизонта (УПГ), 479,0 м на 6 м ниже первоначального – 485,00 м

В предгорных и низкогорных зонах Иле Алатау построено большое количество прудов, размерами не более 0,01 км<sup>2</sup>. В предгорной зоне г. Алматы насчитывается более 30 прудов и небольших водохранилищ. В исследуемом регионе развита искусственная гидрографическая сеть, которая представлена системой ирригационных водозаборных и сбросных каналов. Из-за плохого технического состояния, часть из них не эксплуатируется в настоящее время. Наиболее крупным является Большой Алматинский канал (БАК). В комплексе с Бартогайским водохранилищем БАК предназначен для регулирования стока р. Шилик в водохранилище с подачей воды в бассейны рек Тургень, Есик, Талгар, Улкен и Киши Алматы, Каскелен и Шемолган.

### 1.3 Климатические условия

Исследуемая территория – бассейн оз. Балкаш, расположена в центральной части Евразии. Удаленность территории от океанов обусловила формирование континентального климата (резкие перепады температуры воздуха зимы и лета, дня и ночи, засушливость).

Зимой территория исследуемого бассейна оказывается под воздействием западного отрога Сибирского антициклона. Летом на территории формируется термическая депрессия. Большую изменчивость погоды обуславливают выходы

южных циклонов, а также северные и северо-западные вторжения, особенно в переходные сезоны [6].

Равнинный характер поверхности большей части исследуемой территории определяет здесь широтную географическую зональность ее климатов. В горных районах формируются климаты предгорных равнин и гор с вертикальной географической поясностью.

Климатические характеристики горных районов неоднородны. Режим и количество осадков, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра в основном обуславливаются высотой местности и формами рельефа. Среднегорный пояс характеризуется умеренным климатом.

Пустыни Южного Прибалкашья отличаются особенно высокими температурами и сухим климатом.

**Атмосферная циркуляция.** В зимний период погода зависит от степени развития и устойчивости западного отрога сибирского антициклона и циклонической деятельности. Под воздействием этого антициклона в зимний период почти на всей территории Казахстана преобладает холодная, сухая и ясная погода. В зимы с ослабленной активностью отрога преобладает неустойчивая погода с повышенной суммой зимних осадков [7].

Преобладание антициклонической погоды в зимний период приводит к очень низким температурам. При холодных фронтах, особенно при северо-западных вторжениях арктических воздушных масс, происходит снижение температуры воздуха, на которое накладывается радиационное выхолаживание. Зимние оттепели обычно продолжаются непродолжительное время и связаны с выносом теплых воздушных масс с территории Средней Азии, которая подвержена интенсивной солнечной инсоляции.

Весной происходит усиление циркуляции, что проявляется в постепенном разрушении отрога сибирского антициклона. Развивается циклоническая деятельность и усиливается вынос теплых воздушных масс с юга. Весенний переходный период характеризуется неустойчивой погодой, с частыми холодными вторжениями, приводящими к заморозкам и обильному количеству осадков [6, 7].

Летом развивается процесс Средне-Азиатской термической депрессии, и устанавливается жаркая и малооблачная погода. Высокие летние температуры связаны с выносом континентального тропического воздуха из Средней Азии. Холодные вторжения воздушных масс северных направлений приносят похолодание и выпадение обильных осадков. Осенний период характеризуется постепенным развитием над Казахстаном отрога западно-сибирского антициклона, который приносит похолодание и осадки. Время и интенсивность похолоданий, которые приводят к замерзанию рек, водоемов, к установлению снежного покрова, определяется ноябрьскими северными и северо-западными холодными вторжениями, связанными с преобладанием меридиональной циркуляции [1].

**Температура воздуха.** Годовой ход температуры воздуха, когда самым жарким месяцем является июль, а самым холодным – январь, характерен для всей исследуемой территории. Средняя месячная температура воздуха может значительно меняться от года к году.

Среднемесячные температуры сильно колеблются в пределах отдельных речных бассейнов из-за больших территорий, сложности рельефа и многообразия ландшафтов. Так, среднее многолетнее значение температуры января может колебаться в пределах 9–12 °С. Средняя многолетняя температура июля изменяется от 8,3 (МС Мынжилки, 3017 м над уровнем моря) до 26,0 °С. Температуры теплого периода года достаточно устойчивые (особенно летние), их межгодовая изменчивость минимальна по сравнению с другими месяцами года. Амплитуда годовых температур в равнинных районах рассматриваемой территории составляет 35–40 °С, а в горах 25 °С и меньше.

Средняя годовая температура воздуха в приземном слое практически везде выше 0 °С за исключением горных районов. Межгодовая изменчивость средней годовой температуры не высокая.

**Осадки.** Атмосферные осадки на территории исследуемого бассейна распределяются достаточно неравномерно. Наименьшее количество осадков выпадает на побережье озера Балкаш, а наибольшее – в высокогорных районах северо-западного склона Жетысуского Алатау [9].

В таблице 1.2 приведено максимальное и минимальное количество осадков в теплый, холодный периоды и год в целом, наблюдавшееся за 1971–2013 гг. Анализ таблицы 1.2 показывает, что на значительной части рассматриваемой территории наибольшие и наименьшие суммы осадков соответственно больше или меньше средних многолетних величин в 1,5–2 раза.

Таблица 1.2 – Максимальное и минимальное количество осадков (мм) по данным метеостанций на территории бассейна озера Балкаш в среднем за многолетний период (1971–2013 гг.)

Станция	Теплый период		Холодный период		Год	
	R <sub>min</sub>	R <sub>max</sub>	R <sub>min</sub>	R <sub>max</sub>	R <sub>min</sub>	R <sub>max</sub>
Алматы, ОГМС	174,7	670,5	149,1	335,2	360,9	880,9
Аягуз	84,9	360,2	68,8	194,0	163,9	465,5
Баканас	28,0	191,1	30,3	124,9	101,6	313,3
Учарал	52,8	260,4	72,1	213,1	132,3	417,9
Шелек	57,2	264,6	53,5	174,8	135,0	426,3

В годовом ходе преобладают осадки теплого периода с двумя максимумами: весной (апрель – май), осенью (октябрь – ноябрь), и одним минимумом (август – сентябрь). Минимальное количество осадков в горных районах наблюдается в сентябре.

#### 1.4 Особенности водного режима

Реки бассейна озера Балкаш по характеру водного режима подразделяются на следующие типы:

- 1) Реки с весенним половодьем и паводками в теплое время года;
- 2) Реки с весенне-летним половодьем;
- 3) Реки с летним половодьем;
- 4) Реки с выровненным ходом стока из-за повышенного грунтового питания.

Весеннее половодье происходит на реках, у которых сток формируется в низкогорных и предгорных районах Заилийского и Жетысуского Алатау.

Весенне-летнее половодье и паводки в теплое время года наблюдаются на реках среднегорного пояса Заилийского Алатау, Жетысуского Алатау, хребта



Тарбагатай. Также такой тип половодья присущ многим большим рекам, сток которых формируется в нескольких высотных поясах (например реки Иле, Каратал, Лепси, Аксу, Текес, Шарын, Каскелен и др.). Летнее половодье характерно для рек высокогорного пояса, а также для больших рек (Шилик, Осек, Хоргос и др.) с большой долей ледникового и высокогорно-снегового питания.

Условия формирования стока рек рассматриваемого региона различны, но несмотря на это, основной фазой режима всех рек является половодье, в период которого проходит большая часть годового стока, а также наблюдаются максимальные расходы и уровни воды [1].

На реках с весенним половодьем подъем уровня начинается обычно в феврале – начале марта (в предгорьях северного склона Джунгарского Алатау и Тарбагатай – в марте), а заканчивается половодье в мае – июне. Половодье по времени обычно не продолжительное: на водотоках с очень малыми площадями водосборов около 15–20 дней, а на реках с площадью водосбора от 1000 до 5000 км<sup>2</sup> – от 40 до 100 дней. Подъем весеннего половодья происходит быстро.

На реках с весенне-летним половодьем начало и окончание половодья зависит от высотного положения водосбора реки, а также от особенностей распределения снежного покрова в бассейне, наличия ледников и снежников. Половодье на реках этого типа начинается в конце марта – начале апреля, а заканчивается в августе – сентябре. По продолжительности, половодье зависит от размера водосбора: на реках с малыми водосборами составляет в среднем примерно 100 дней, а на средних и больших реках половодье продолжается 150–200 суток.

Даты, в которые наблюдаются наибольшие расходы воды весьма неустойчивы и зависят преимущественно от питания реки. На реках с ледниковым питанием они обычно отмечаются в июне – июле, а на реках снего-дождевого питания чаще всего в апреле. На реках с преимущественно ледниковым питанием, проходит летнее половодье с интенсивным подъемом уровня обычно в конце апреля – начале мая. Заканчивается этот тип половодья обычно в августе – сентябре.

На реках с питанием подземными водами волна половодья выражена неясно, но и на них наблюдается небольшое увеличение стока весной. Продолжительность повышения уровня на таких водотоках зависит от режима питающих их источников [1].

На реках с весенним половодьем и паводками в теплое время года, наблюдаются кратковременные подъемы уровня воды на фоне летне-осенней межени, из-за прохождения дождевых паводков.

На реках с весенне-летним половодьем летне-осенняя межень наблюдается в конце августа – начале сентября, а окончание приходится на ноябрь.

Летне-осенняя межень на реках среднегорного пояса обычно высокая и неустойчивая, вследствие прерывания значительными повышениями уровня воды от дождевых паводков. Летне-осенняя межень на реках северного склона Заилийского Алатау продолжается 40–60 дней, а на реках Жетысуского Алатау – 50–80 дней. Зимняя межень на реках этого типа сравнительно высокая и продолжается обычно от 100 до 160 дней.

На реках с летним половодьем межень характеризуется коротким осенним и продолжительным зимним периодами. Осенняя межень начинается в середине – конце сентября, а зимняя межень – в конце октября – начале ноября и заканчивается в апреле – мае. Осенняя межень на высокогорных реках Заилийского Алатау (верховье рек Улкен и Киши Алматы) продолжается 30–40 дней, а зимняя – 180–200 дней. Несколько продолжительнее осенняя межень и короче зимняя на больших реках с летним половодьем: р. Шилик, р. Осек, р. Хоргос).

Рекам, которые преимущественно питаются подземными водами свойственна устойчивая межень в летне-осеннее и зимнее время. Наиболее низкий месячный сток рек с весенним и весенне-летним половодьем наблюдается в сентябре – октябре, а на реках летнего половодья – в марте [1].

### 1.5 Современное оледенение зоны формирования стока рек

Районы с наличием оледенения в гидрологическом и водохозяйственном отношениях имеют большие преимущества. Это и повышенная водность рек и

определенный режим стока, которой очень благоприятен для орошения, а также уникальная биохимическая чистота талых вод [10].

Впервые систематические обработанные сведения о площади ледников в бассейнах рек Заилийского и Кунгей Алатау были приведены в монографии Н.Н. Пальгова в 1958 г.[11]. Оценка объёма ледников и запасов воды в них по Джунгарскому Алатау рассмотрены в работах П.Ф. Лаврентьева, А. Зенковой, П.А. Черкасова [12, 13], по Заилийскому Алатау рассмотрены в работах Г.А. Токмагамбетова [14], Е.М. Вилесова [10], В.Н. Уварова [15] и др. В период МГД (международного гидрологического десятилетия) (1965–1971 гг.) была реализована программа по созданию «Каталога ледников СССР» [16]. Все вышеперечисленные работы посвящены отдельным районам оледенения Казахстанской части бассейна оз. Балкаш.

В таблице 1.3 приведены сведения о распределении современного оледенения в бассейне оз. Балкаш по данным различных авторов [15]. Площадь оледенения в процентном соотношении от общей площади бассейнов рек в рассматриваемом регионе колеблется от 0,2 % – 1,9 % (рр. Каркара, Шамалган) до 19-22 % (рр. Шыжын, Талгар) (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Современное оледенение в бассейне оз. Балкаш [10]

Бассейн реки	Количество ледников	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Площадь оледенения, км <sup>2</sup>	Доля от общей площади, %	Объем льда, км <sup>3</sup>
Казахстанская часть бассейна					
Узын Карагалы	39	344	14,98	4,4	0,37564
Шамалган	18	139	2,583	1,9	0,05042
Каскелен	31	290	13,666	4,7	0,48236
Аксай	25	136	14,066	10,3	0,39776
Каргалы	10	45	3,725	8,3	0,08051
Проходная	38	82	6,472	7,9	0,14986
Улькен Алматы	51	280	21,74	7,8	0,67727
Киши Алматы	22	118	8,273	7,0	0,28369
Талгар	129	444	98,063	22,1	4,14551
Есик	49	256	44,524	17,4	1,83941
Тургень	48	614	33,759	5,5	1,17558
<b>Всего:</b>	<b>460</b>	<b>2748</b>	<b>261,851</b>	<b>9,5</b>	<b>9,65801</b>

Бассейн реки	Количество ледников	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Площадь оледенения, км <sup>2</sup>	Доля от общей площади, %	Объем льда, км <sup>3</sup>
Южный склон Заилийского Алатау					
Шелек	<b>257</b>	<b>4300</b>	<b>225,093</b>	<b>5,23472</b>	<b>12,7697</b>
Северо-восточные склоны Терской и Кунгей Алатау					
Шарын	<b>20</b>	<b>7470</b>	<b>2,4</b>	<b>0,03213</b>	<b>0,05</b>
Отроги хребтов Терской Алатау и Сарыжаз					
Каракара	13	997	1,3	0,13039	0,0271
Верхний Текес	38	1770	6,1	0,34463	
Байынкол	104	734	129,8	17,6839	
Нарынкол	10	139	7	5,03597	
<b>Всего:</b>	<b>165</b>	<b>3640</b>	<b>144,2</b>	<b>23,1949</b>	
Южный склон Жетысуского Алатау (Казахстанская часть)					
Коргас	139	1080	100,4	9,3	
Шыжын	12	96	18,7	19,5	
Тышкан	49	158	29,5	18,7	
Бурхан	8	83	2,2	2,7	
Осек	251	1130	123,3	10,9	
Борохудзир	1	470	0,1	0,0	
<b>Всего:</b>	<b>460</b>	<b>3017</b>	<b>274,2</b>	<b>9,1</b>	
Западный склон Жетысуского Алатау					
Карой	1	484	82,7	17,1	3,61
Шыжын	1	479	11,6	2,4	0,511
Коксу	1	4350	159,4	3,7	7,22
<b>Всего:</b>	<b>3</b>	<b>5313</b>	<b>253,7</b>	<b>23,2</b>	<b>11,341</b>
Северный склон Жетысуского Алатау					
Буйен	36	369	33,5	9,1	1,4
Аксу	162	1330	75,1	5,6	2,79
Сарыкан	50	645	64,1	9,9	2,42
Баскан	77	883	97,9	11,1	4,94
Лепсы	63	2220	90,9	4,1	4,58
<b>Всего:</b>	<b>388</b>	<b>5447</b>	<b>361,5</b>	<b>6,6</b>	<b>16,13</b>
<b>Всего:</b>	<b>1753</b>	<b>31935</b>	<b>1522,94</b>	<b>4,8</b>	
Китайская часть бассейна оз. Балкаш					
Коргас	108	3240	46,8	1,4	1,847
Каш	551	8656	421,6	4,9	21,569
Кунес	250	4123	96,7	2,3	3,449
Коксу	625	5379	421,6	7,8	18,454
Текес	816	27402	1027,6	3,8	57,38
<b>Всего:</b>	<b>2350</b>	<b>48800</b>	<b>2014,3</b>	<b>4,1</b>	<b>102,699</b>
<b>Бассейн оз. Балкаш</b>	<b>4103</b>	<b>73535</b>	<b>3537,24</b>	<b>4,8</b>	

Шульц, И.С. Соседов, К.Г. Макаревич, П.А. Черкасов, Е.Н. Вилесов, Л.П. Мазур и другие исследователи занимались расчетами ледниковой составляющей стока, используя различные методы его определения [10].

По расчетам, проведенным Е.Н. Вилесовым и В.Н. Уваровым [10] для Заилийского Алатау было выявлено, что в летний период роль ледникового стока особенно велика. В летний поливной период (с мая по сентябрь) доля ледникового стока увеличивается в 1,5–2 раза. Основными признаками существования современных ледников Жетысуского и Заилийского Алатау в условиях резко континентального климата, являются, устойчивый зимний антициклон, низкая температура воздуха, летний пик интенсивности осадков, выпадающих, как правило, в смешанном виде с преобладанием твердой фазы.

В Заилийском Алатау в 1956 г на долинном леднике Туйыксу был организован систематический мониторинг за оледенением. Этот мониторинг был осуществлен Институтом географии МОН РК (ИГ) и продолжается до настоящего времени, т.к. этот ледник является показательным индикатором оледенения для всего Заилийского Алатау. В Жетысуском Алатау мониторинг оледенения велся на долинном леднике Шумского и каровом леднике Муравлева.

На рисунке 1.3 представлен вековой ход баланса массы и высоты снеговой линии ледника Туйыксу в Заилийском Алатау, составленный по данным К.Г. Макаревича [17]. Так, в период с 1880–1915 гг. баланс массы ледника был положительным: горное оледенение Тянь-Шаня усиливалось, увеличивались площадь и объем. С 1915 по 1965 гг. баланс массы колеблется около 0, происходила стабилизация горного оледенения. Начиная с 1973 г. по настоящее время (исключая 1981 и 1993 гг.) ледник Туйыксу находится в состоянии отрицательного баланса, в среднем на  $-0,7$ . Более интенсивный процесс уменьшения ледника начался с начала 80-х годов. Фирновая линия ледника Туйыксу с 1979 г. по настоящее время неуклонно поднимается. За период с 1979 по 1998 гг. (от 3520 м до 4200 м т.е." амплитуда колебаний достигла 680 м (по Пальгову стационарное положение ледника возможно при высоте фирновой линии 3635 м)). В период наблюдений ИГ с 1958 г. по 1999 г. снеговая линия поднялась с 3730 м до 3950 м т.е. на 220 м.

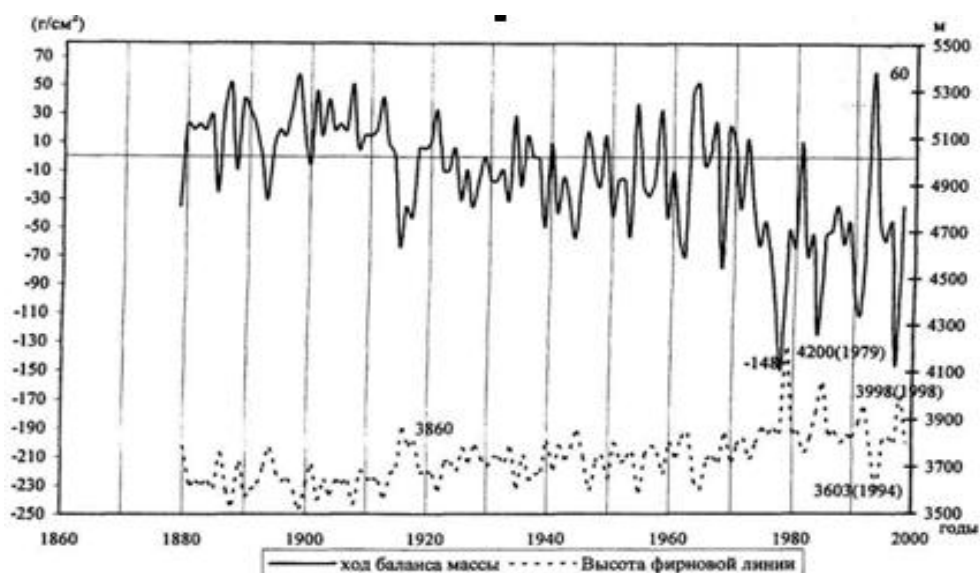


Рис. 1.3. Многолетний ход баланса ледника Туйыксу (по К.Г. Макаревичу [17])

Ледники Тянь-Шаня, расположенные в глубине континента, продолжают деградировать. По исследованиям Токмагамбетова Т.Г. выявлено, что в течение последних десятилетий прошлого века оледенение гор Юго-Восточного Казахстана находилось в состоянии устойчивой деградации [18]. Темп сокращения площади оледенения не оставался постоянным, но преобладала тенденция увеличения.

П.А. Черкасовым спрогнозированы изменения площади оледенения, основанные на дендрохронологических исследованиях Шренка, а также по ритму динамики высоты снеговой линии и баланса массы [19]. Результаты исследований показывают, что в бассейнах рек западной ориентации в Джунгарском Алатау ледники теряют 1,1 % своей массы в год, что приводит к их неустойчивому состоянию сравнительно с запасами льда на 1970 г. При сохранении этой тенденции они исчезнут приблизительно через 90 лет, т.е. в 2060г.  $\pm 10$  лет. Ледники северного склона и центральной части исследуемого бассейна (бассейн р. Баскан) теряют всего 0,44 %, и будут жить 430 лет, т.е. примерно до 2400 г. Ледники южного склона теряют 0,96 % массы в год, поэтому им осталось существовать менее 100 лет, т.е. до 2070 г.

Прогнозы состояния оледенения, рассчитанные Г.Е. Глазыриным дают следующие результаты: при повышении летней температуры на 3–3,5 °С, оледенение Средней Азии может исчезнуть в течении ближайших 100 лет [20].

Если, для примера, обратиться к состоянию ледников в других районах Евразии и посмотреть прогнозы ученых на будущее, то они, к сожалению, тоже неоптимистичны. По расчётам В.О. Панова, ледники большого Кавказа могут исчезнуть к 2350 г., а на Закавказском нагорье – к 2200 г. при сохранении современных климатических условий [21].

По литературным источникам [18–20] определённо установлена очень выраженная интенсивная деградация оледенения исследуемого региона. В условиях увеличивающегося антропогенного воздействия на природную среду и изменения климата в сторону потепления высокогорьев, процесс дегляциации будет продолжаться и далее, а это, в свою очередь, приведет к значительному уменьшению речного стока.

Однако существуют и другие мнения ученых-гляциологов по поводу исчезновения горного оледенения. Они основаны на цикличности естественных изменений климата, Они предполагают, что в будущем (не ранее 80–100 лет) климатические условия изменятся на более благоприятные для существования ледников и современная стадия деградации оледенения сменится аккумуляцией. Таким образом, мнение большинства о скором исчезновении оледенения Тянь-Шаня и сопредельных горных районов Центральной Азии не может быть признано как аксиома. Обращая внимание на устойчивость сумм атмосферных осадков, особенно снежных ресурсов в зоне формирования стока, можно предположить, что оледенение исследуемого бассейна не исчезнет полностью к концу текущего столетия.

Оледенение Балкаш-Алакольского бассейна на протяжении многих лет является предметом постоянного внимания не только гляциологов, но и представителей смежных направлений науки. Наиболее полно проводятся исследования оледенения северного склона Заилийского Алатау.

С 1957 г. на леднике Туйыксу проводятся ежегодные комплексные исследования, а с 1972 г. начались круглогодичные исследования, с определением составляющих баланса массы ледника. Состояние ледников этого района Северного Тянь-Шаня описано в унифицированных каталогах ледников, составленных по материалам аэрофотосъемки и на основе дешифрирования космических снимков за 1955, 1974, 1979, 1990 и 2008 гг.

Также хорошо изучено оледенение казахстанской части Жетысуского Алатау, главным образом, благодаря известным исследованиям П.А. Черкасова. Для данной территории составлены унифицированные каталоги ледников по состоянию на 1956, 1972, 1990 и 2000 гг. Количество, площадь и объем ледников в бассейнах рек Южного Жетысуского Алатау по состоянию на 2000 год приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Количество, площадь и объем ледников в бассейнах рек Южного склона Жетысуского Алатау по состоянию на 2000 г. (по Кокареву и Шестеровой [22])

Бассейн	Количество			Площадь открытой части			Объем открытой части			Площадь морен	Объем льда под моренами
	S<0,1	S>0,1	Всего	S<0,1	S>0,1	Всего	V<0,1	V>0,1	Всего		
Коргас	28	111	139	0,894	48,108	49,769	0,01159	1,97532	1,98691	32,085	0,62659
Шыжын		11	11		8,342	8,342		0,49213	0,49213	4,180	0,10655
Тышкан	20	32	52	0,261	12,467	12,728	0,00333	0,43129	0,43462	8,910	0,15216
Бурхан	4	4	8	0,055	0,516	0,571	0,00070	0,01722	0,01792	0,214	0,00348
У. Осек	26	64	90	0,440	19,345	19,785	0,00594	0,70231	0,70825	12,474	0,23055
О. Осек	28	53	81	0,485	14,766	15,251	0,00644	0,56769	0,57413	12,596	0,21370
К. Осек	22	78	100	0,266	24,744	25,009	0,00335	0,97491	0,97826	13,229	0,25581
Борохудзир	1		1	0,007		0,007	0,00008		0,00008		
Всего	129	353	482	2,408	128,286	131,462	0,03143	5,16087	5,19230	83,689	1,58882

Таблица 1.5 – Скорость изменения площади оледенения Южного склона Жетысуского Алатау (по П.Ф. Лаврентьеву [13])

Год	1956	1972	1990	2000
Площадь, км <sup>2</sup>	220,8	184,26	148,68	128,29
Период	1956-1972	1972-1990	1990-2000	1956-2000
Изменение, км <sup>2</sup>	-36,56	-35,56	-20,39	-92,51
Деградация, км <sup>2</sup> /год	-2,28	-1,98	-2,04	-2,10
Изменение, %	-16,6	-19,3	-13,7	-41,9
Деградация, %/год	-1,03	-1,07	-1,37	-0,95

Ход изменения площади оледенения Южного Жетысуского Алатау показан на рисунке 1.5 [22].

Несколько менее изучено оледенение бассейнов рек Шилик (Чилик), Чон-Кемин и Чон-Аксу. Первые каталоги ледников бассейнов рек Шелек и Чон-Аксу составлены по материалам аэрофотосъемки за 1956 г., а первый каталог ледников бассейна р. Чон-Кемин – за 1965 г.



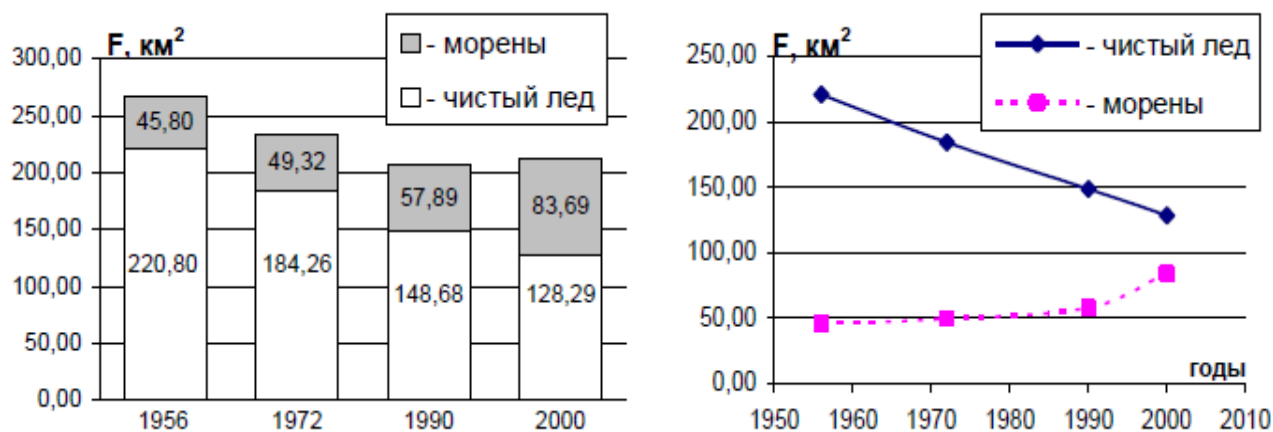


Рис. 1.5. Изменение площади оледенения Южного Жетысуского Алатау [22]

Сравнительный анализ данных вышеперечисленных каталогов выявил определенные межбассейновые различия: 1) максимальные темпы деградации ледников Заилийско-Кунгейской и Джунгарской ледниковых систем характерны для оледенения южных макросклонов горных хребтов; 2) минимальные темпы – для оледенения орографически закрытых бассейнов восточной ориентации [18, 23–25]. Эти различия в большей степени определяются положением горно-ледникового бассейна в горной системе, экспозицией макросклонов горных хребтов и ориентацией бассейнов относительно преобладающего направления атмосферного влагопереноса [18, 23, 24]. В связи с этим, можно сделать вывод, что доля площади ледников южных макросклонов в общей площади оледенения, которая соответствует определенной ледниковой системе, со временем должна убывать, а доля площади орографически закрытых бассейнов восточной периферии гор должна увеличиваться. В таблице 1.6 приведено оледенение Жетысуского Алатау. В таблице 1.7 и на рисунке 1.6 представлено изменение доли площади оледенения отдельных речных бассейнов в суммарной площади оледенения северного склона Заилийского Алатау.

Таблица 1.6 – Оледенение Жетысуского (Джунгарского) Алатау [10]

Бассейн реки	Число ледников		F оледенения, км <sup>2</sup>		Объем льда, км <sup>3</sup>		ΔК 1955-1972	Δ F (55–72)	
	1955	1972	1955	1972	1955	1972		км <sup>2</sup>	%
Южная Джунгария									
Хоргос (с.Баскунчи)		133	100,4	87,655		338,7		-12,7	-12,7
Чижин (с.Чижин)		12	18,7	14,026		0,784		-4,67	-25,0
Тишкан (с.Сарыбель)		48	29,5	27,603		0,919		-1,897	-6,43
Бурхан (с.Бурхан)		8	2,2	1,876		0,056		-0,324	-14,7
Большой Усек		95		40,26		139,3			
Средний Усек		76		29,548		103,5			
Малый Усек		76		42,642		158,7			
ИТОГО в бассейне Усек		246	123,3	113,042		401,5		-10,26	-8,3
Борохудзир		1		0,14		0,0024			
ИТОГО по Южной Джунгарии	460	448	274,1	244,578		916,2	-12	-29,52	-10,8
Западная Джунгария									
Коксу (свх.им.Ленина)		284	159,4	138,359		501,3		-21,04	-13,2
Шыжын (Чижа) (г.Текели)		22	11,6	8,571		0,329		-3,029	-26,1
Кора (г. Текели)		78	82,7	77,171		376,99		-5,529	-6,7
ИТОГО по Западной Джунгарии	358	384	253,7	224,101		911,2	-26	-29,6	-11,7
Северный склон Жетысуского Алатау (западная часть северного склона)									
Биен	36	35	33,5	28,051		114,2	1	-5,449	-16,3
Аксу	162	163	139,2	120,405		470,0	1	-18,8	-13,5
Саркан (Аксу)		1		0,304		0,0118			
Малый Баскан (басс.р.Лепсы)		35		30,291		129,8			
Теректы (бас.Лепсы)	4	4	0,8	0,241		0,004	0	-0,559	-69,9
Лепсы		156		156,303		764,99			
ИТОГО	343	354	362,4	304,759		13,49	11	-57,64	-15,9
Восточная часть северного склона Жетысуского Алатау									
Аганакты (басс.р.Тентек)	4	4	9,8	9,667		0,353	0	-0,133	-1,4
Тентек	159	150	94,0	87,436		376,7	-9	-6,56	-6,7
Тастау		27		19,224		0,695			
ИТОГО	208	177	109,7	106,660		446,2	-31	-3,1	-2,8
ИТОГО по северной Джунгарии	1369	1363	1000	879,69		36,23	-6	-120,3	-12,0

Таблица 1.7 – Изменение доли площади ледников частных бассейнов в суммарной площади ледников северного склона Заилийского Алатау (учтена лишь площадь открытой части ледников – «чистый лед») [26]

Год	Бассейн реки и доля площади его ледников в суммарной площади оледенения ледниковой системы, %												
	Узун-Каргалы	Шамалган	Каскелен	Аксай	Каргалы	Проходная	У. Алматы	К. Алматы	Сол Талгар	Орта Талгар	Он Талгар	Есик	Турген
1955	3,9	0,6	3,6	4,7	1,4	2,2	9,3	3,4	28,6	10,0	1,5	17,9	12,9
1974	4,6	1,2	5,6	5,4	1,3	2,6	8,2	3,0	25,8	11,4	1,4	16,9	12,6
1990	4,7	0,5	4,7	5,0	1,2	1,9	8,2	3,1	26,8	12,1	1,5	17,6	12,7
2008	4,6	0,9	5,0	5,4	1,4	1,9	8,2	3,3	27,1	10,8	1,3	18,2	11,9

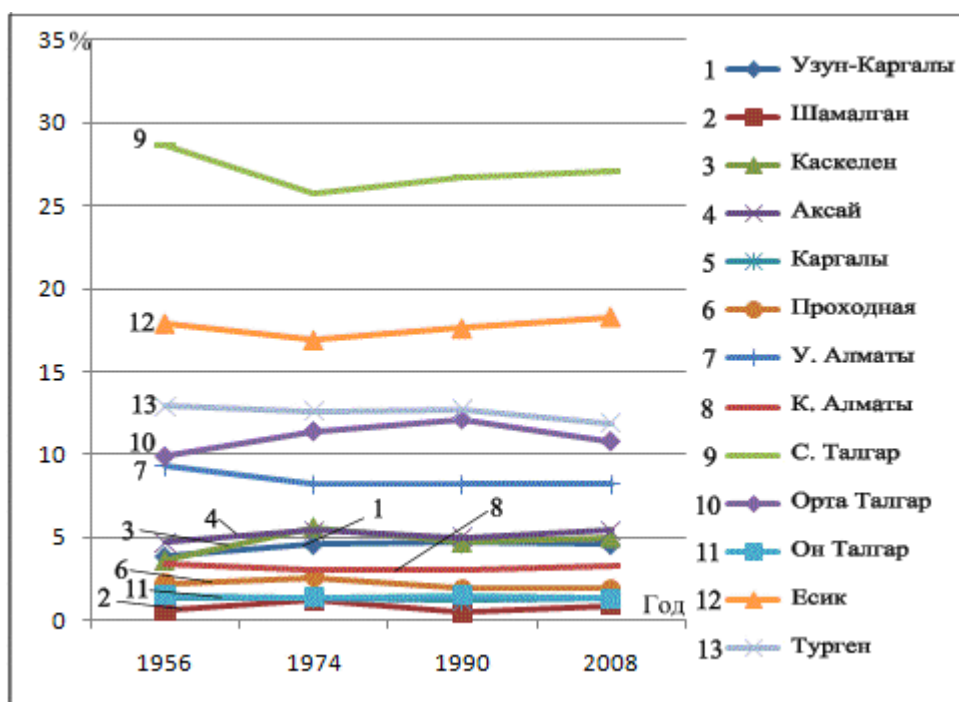


Рис. 1.6. Изменение доли площади оледенения частных бассейнов (%) в суммарной площади оледенения северного склона Заилийского Алатау (междуречье Узун-Каргалы – Турген) [26]

Как видно из приведенных выше материалов, за период с 1955 по 2008 гг. доля площади оледенения бассейнов рек северного склона Заилийского Алатау в суммарной площади всей ледниковой системы междуречья Узун-Каргалы – Турген

практически не изменилась. Эта устойчивость является свидетельством одинаковых реакций оледенения частных бассейнов и соответствующих ледниковых систем на изменения климата. Другими словами, темпы изменения состояния отдельных ледников, реагируют на внешние воздействия так же, как и соответствующая ледниковая система в целом. С помощью этих зависимостей можно организовать оперативный мониторинг состояния ледниковых систем, оценив площадь оледенения исследуемого бассейна, и, зная его долю в суммарной площади ледников всего района, несложно рассчитать площадь оледенения соответствующей ледниковой системы. Ошибка определения площади оледенения всей ледниковой системы при площади оледенения частного бассейна более 5 км<sup>2</sup> не превышает ±10 % и сокращается до ±5 % при площади оледенения контрольного бассейна более 10 км<sup>2</sup> [26].

Оценить изменение оледенения китайской части бассейна р. Иле более сложно, т.к. известен лишь один каталог ледников, составленный китайскими специалистами по материалам аэрофотосъемки 1962/63 гг. с использованием топографической основы масштаба 1:100 000. По данным этого каталога авторами [26] рассчитана доля площади оледенения основных бассейнов рек рассматриваемой территории – Коргас, Каш, Кюнес, Коксу и Текес. Также китайскими учеными составлен каталог ледников бассейнов пяти правых притоков р. Каш по материалам аэрофотосъемки за 1989 г. Коллектив авторов [26] по космическим снимкам Landsat за 2000 г. составили каталог ледников бассейна р. Коргас. Дополнительно по космическим снимкам Landsat составлен полный каталог ледников китайской части бассейна р. Иле по состоянию на 2011 г. для территории бассейнов Кюнес, Коргас, Коксу и Текес, и по состоянию на 2008 г. для территории бассейна р. Каш.

В работе [26] были рассчитаны темпы сокращения площади оледенения Северо-Заилийской и Жетысуской ледниковых систем за период с 1955–56 гг. по 2008 г. Сокращение составило 0,757 и 0,748 % в год соответственно. Темп сокращения площади оледенения Верхне-Заилийской ледниковой системы в среднем за период с 1963 по 2008 гг. составил 0,681 % в год. Доля площади оледенения Северо-Заилийской ледниковой системы в суммарной составляет 8,08 %, Джунгарской – 68,54 %, а Верхне-Заилийской – 23,4.

На основании прогнозов гляциологов [26], к концу XXI века оледенение северного склона Заилийского Алатау может исчезнуть, при сохранении условий деградации. Подобная ситуация с ледниками наблюдается и в других странах Центральной Азии. Например, в Киргизии ученые гляциологи также отмечают уменьшение площади и объема оледенения Тянь-Шаня [27, 28].

## 1.6 Гидрологическая изученность поверхностных вод

Первые гидрометрические работы в Иле-Балкашском бассейне проводились в начале 20 века. Эти работы были организованы отделом Министерства земледелия: открылись гидрологические посты на р. Иле – в 1910 году ниже поселка Илийское, а в 1912 году выше пристани Борохудзир. Но систематические наблюдения за стоком основных рек бассейна были начаты лишь в 30-х годах прошлого века.

Впервые карту о норме стока рек Иле-Балкашского бассейна составил Б.Д. Зайков [29, 30]. В дальнейшем эту характеристику поверхностного стока исследовали В.Л. Шульц [31], З.Т. Беркалиев [32]. Наиболее полно этот вопрос рассмотрен в работе П.Ф. Лаврентьева, В.В. Голубцова и Е.Г. Юриной [33], где обобщены имеющиеся материалы наблюдений по стоку рек бассейна Балкаш-Алакольской впадины по 1958 г. Основные гидрографические характеристики рек Иле-Балкашского бассейна приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Сведения об основных гидрологических постах Иле-Балкашского бассейна, находящихся в ведомстве РГП «Казгидромет» [34].

Название водотока	Название поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период действия	
				открыт	закрыт
р. Иле	уроч.Кайырган	811	60800	26.08.1912	30.06.1958
р. Иле	пристань Добын	723	64388	22.05.2000	действует
р. Иле	в 164 км выше Капшагайской ГЭС	607	85400	01.09.1956	действует
р. Иле	уроч. Капшагай	434	111000	13.09.1910 (01.01.1970)	действует
р. Иле	с. Ушжарма	264	129000	08.10.1937 (01.01.1970)	действует
р. Иле	с. Жидели	35	131000	16.06.1957 (01.09.2002)	действует
р. Текес	с. Текес	331	1770	22.04.1914 (30.06.2002)	действует
р. Баянкол	с. Баянкол	43	734	13.06.1965 (01.09.2002)	действует
р. Нарынкол	с. Нарынкол	6,5	139	01.01.1946	-
р. Каркара	у выхода из гор	43	997	01.09.1959	действует

Название водотока	Название поста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период действия	
				открыт	закрыт
				(01.09.2002)	
р. Подгорная	с. Подгорное	16	12.2	01.01.1946	27.06.1958
р. Осек	в 1,7 км выше впадения в р. Киши Осек	119	724	27.03.1913 (30.06.1966)	29.05.1998
р. Киши Осек	В 0,2 км выше слияния с р. Осек	0.2	407	26.03.1913 (25.10.1960)	29.05.1998
р. Борохудзир	с. Кийгин	37	470	25.07.1948 (18.06.1981)	29.05.1998
р. Шарын	в 2,0 км выше устья р. Улкен-Галдыбулак	184	5070	22.05.1927	01.07.1998
р. Шарын	уроч. Сарытогай	84	7370	22.05.1927	действует
р. Шилик	с. Малыбай	40	4300	22.03.1928 (04.03.1983)	действует
р. Шилик	устье	12	4740	21.05.1970	12.09.1994
р. Тургень	с. Таутургень	66	614	18.04.1912 (05.05.1981)	действует
р. Есик	г. Есик	68	256	18.04.1912 (12.04.1984)	01.04.1992
р. Талгар	г. Талгар	92	444	14.04.1912 (07.08.1962)	12.09.1994
р. Киши Алматы	г. Алматы	99	118	06.05.1908 (14.07.1999)	действует
р. Каскелен	г. Каскелен	116	290	14.05.1909 (21.06.1982)	действует
р. Каскелен	устье	13	2640	18.05.1970	01.04.1992
р. Шемолган	с. Шемолган	45	139	07.05.1912 (01.01.1958)	
р. Аксай	с. Аксай	46	136	29.04.1912 (22.03.1965)	-
р. Улькен Алматы	В 1,1 км выше оз. Улькен Алматы	87	71.8	15.09.1951 (20.07.1995)	действует
р. Курты	Ленинский мост	122	9500	01.06.1941 (01.01.2005)	действует
р. Лепсы	г. Лепсинск	357	1220	04.07.1931	действует
р. Лепсы	подх. Лепсы	12	8040	23.04.1934	действует
р. Каратал	с. Каратальское	390	1160	1915	1996
Р.Каратал	п. Наймансуек	143	16500	1940	2010
р.Кора	г. Текели	0,5	484	01.01.1940	действует
р.Чижа	г. Текели	2,6	479	01.05.1959 (25.05.1966)	действует
р. Коксу	с. Коксу	102	1590	01.10.1955	действует
р. Аксу	п. Жансугиров	250	1330	1930	1986
р.Аксу	с. Аксу	200	2770	1977	1993

Особенностью исследуемого региона является то, что посты расположены неравномерно по территории. Большинство гидрометеорологических створов находится по выходе рек из гор у нижней границы зоны формирования стока. Зоны рассеивания и потерь стока (равнинная территория), наиболее используемые в сельском хозяйстве, освещены недостаточно. Наблюдения за стоком в устьях рек практически отсутствуют. Эти все факторы усложняют исследования водных ресурсов региона и их изменений под влиянием климата.

## 1.7 Современное экологическое состояние района исследования

Бассейн озера Балкаш – уникальный природный комплекс, который особенно остро подвержен негативному влиянию антропогенной деятельности на экологию. У многих ученых существуют серьезные опасения за экологию озера Балкаш, особенно они касаются возможности повторения катастрофы, подобно «Аральской». Существует несколько весомых причин подобного беспокойства:

– в 1970 г. на реке Иле было введено в работу Капшагайское водохранилище, которое не было наполнено до проектной отметки, т.к. уровень озера Балкаш резко начал снижаться. И в настоящее время объем Капшагайского водохранилища составляет 14 км<sup>3</sup>, вместо запроектированных 28,14 км<sup>3</sup>. Строительство Капшагайского водохранилища имело не только положительные стороны, такие как улучшение условий полива для сельского хозяйства, выработка электроэнергии, но и отрицательные. А именно: увеличение потерь воды на фильтрацию из ложа водохранилища и на испарения с его поверхности.

– Влияние антропогенной деятельности в верхнем течении реки Иле, на территории Китая. В последнее время Китай увеличивает забор воды из бассейна реки Иле, что может негативно сказаться на уровне озера Балкаш. Кроме того, вода в реке Иле, после выхода из границ Китая, загрязнена содержанием вредных химических элементов.

– Влияние медеплавильного комбината, который располагается на берегу озера и загрязняет воду отходами производства.

В Иле-Балкашском регионе сложилась критическая экологическая ситуация с прогрессирующей уязвимостью экосистемы и нестабильностью уровня озера [2]. Увеличивается загрязненность и минерализация воды в озере, деградируют водно-болотные угодья, которые являются домом для многих видов редких птиц [2]. В исследуемом регионе довольно часто происходят песчаные бури, которые имеют особую активность в весенние и осенние сезоны года [34].

В РГП «Казгидромет» проводятся экспедиционные работы для определения содержания загрязняющих веществ в воде, в донных отложениях водных объектов, а также в почве исследуемых бассейнов. Все обработанные данные собираются в

информационные бюллетени и публикуются в свободном доступе на сайте Министерства энергетики. В таблице 1.9 приведено содержание загрязняющих веществ в воде озера Балкаш и рек, впадающих в него за 2015 г. и первое полугодие 2016 г.

Таблица 1.9 – Состояние качества поверхностных вод Балкаш-Алакольского бассейна по последним экспедиционным данным [35]

Наименование водного объекта (бассейн, река, гидрохимический створ)	Комплексный индекс загрязненности воды (КИЗВ) и класс качества воды		Содержание загрязняющих веществ за 1 полугодие 2016 г.		
	1 полугодие 2015 года	1 полугодие 2016 года	показатели качества воды	средняя концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	кратность превышения
оз. Балкаш	11,5 (нормативно чистая)	10,4 (нормативно чистая)	Растворенный кислород	10,4	
	0,53 (нормативно чистая)	1,1 (нормативно чистая)	БПК <sub>5</sub>	1,1	
	6,3 (высокого уровня загрязнения)	5,5 (высокого уровня загрязнения)	<b>тяжелые металлы</b>		
			Медь	0,0115	11,5
			Цинк	0,017	1,7
			Марганец	0,011	1,1
			<b>главные ионы</b>		
			Хлориды	1146,0	3,8
			Сульфаты	938,3	9,4
			Магний	294,3	7,4
			Натрий	636,3	5,3
			<b>биогенные вещества</b>		
			Аммоний солевой	4,75	9,5
Железо общее	0,12	1,2			
р. Иле		9,9 (нормативно чистая)	Растворенный кислород	9,9	
		1,1 (нормативно чистая)	БПК <sub>5</sub>	1,1	
	1,3 (умеренного уровня загрязнения)		<b>главные ионы</b>		
			Сульфаты	124,75	1,25
			<b>тяжелые металлы</b>		
			Медь	0,0016	1,6
			Цинк	0,011	1,1
Марганец	0,018	1,8			
р. Лепси	11,7 (нормативно чистая)	10,25 (нормативно чистая)	Растворенный кислород	10,25	
	1,2 (нормативно чистая)	0,9 (нормативно чистая)	БПК <sub>5</sub>	0,9	
	2,6 (умеренного уровня загрязнения)	3,0 (умеренного уровня)	<b>тяжелые металлы</b>		
			Медь	0,00345	3,5



Наименование водного объекта (бассейн, река, гидрохимический створ)	Комплексный индекс загрязненности воды (КИЗВ) и класс качества воды		Содержание загрязняющих веществ за 1 полугодие 2016 г.		
	1 полугодие 2015 года	1 полугодие 2016 года	показатели качества воды	средняя концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	кратность превышения
		загрязнения)	<b>биогенные вещества</b>		
р. Аксу – станция Матай	10,4 (нормативно – чистая)	10,08 (нормативно-чистая)	Растворенный кислород	10,08	
	1,0 (нормативно – чистая)	0,8 (нормативно-чистая)	БПК <sub>5</sub>	0,8	
	4,4 (высокого уровня загрязнения)	2,9 (умеренного уровня загрязнения)	<b>тяжелые металлы</b>		
			Медь	0,0029	2,9
			<b>биогенные вещества</b>		
			Железо общее	0,29	2,9
р. Каратал	11,5 (нормативно – чистая)	10,76 (нормативно-чистая)	Растворенный кислород	10,76	
	0,5 (нормативно – чистая)	1,05 (нормативно-чистая)	БПК <sub>5</sub>	1,05	
	1,3 (умеренного уровня загрязнения)	2,3 (умеренного уровня загрязнения)	<b>тяжелые металлы</b>		
			Медь	0,0014	1,4
			Марганец	0,012	1,2
			<b>биогенные вещества</b>		
		Аммоний солевой	0,595	1,2	
		Железо общее	0,525	5,3	

Как показывают данные таблицы 1.9, вода в озере Балкаш по содержанию в ней тяжелых металлов относится к классу – высокий уровень загрязненности. Вода в реках, впадающих в озеро более чистая и относится к классу – умеренного уровня загрязнения.

Несмотря на то, что сейчас большое внимание уделяется экологической проблеме озера Балкаш, каких то конкретных действий по стабилизации ситуации не происходит. Автором поднимался вопрос о необходимости внесения озера Балкаш в список ЮНЕСКО, но пока результатов это не принесло [36]. Поэтому проблема стабилизации экологической ситуации в бассейне уникального озера Балкаш является крайне актуальной.

## ГЛАВА 2

### МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РЕЧНОГО СТОКА БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЛКАШ

#### 2.1 Степень изученности проблемы исследования

Впервые сведения о гидрологии озера Балкаш и рек Иле-Балкашского бассейна были описаны Л.С. Бергом в 1903 году, во время путешествия по Средней Азии [29]. Самое первое представление о стоке рек бассейна озера Балкаш дает карта Б.Д. Зайкова, которая была составлена им для всей территории бывшего Советского Союза [30]. В дальнейшем исследованием поверхностного стока занимались В.Л. Шульц (по левобережью р. Иле) [31], П.Ф. Лаврентьев (по северному склону Жетысуского Алатау), З.Т. Беркалиев (по северному Прибалкашью и бассейну р. Иле) [32], Л.Д. Лаврентьева (по юго-западному склону хребта Тарбагатай), К.П. Воскресенский (по территории СССР). В работе П.Ф. Лаврентьева, В.В. Голубцова и Е.Г. Юриной обобщены все имеющиеся данные по стоку рек Балкаш-Алакольского бассейна по 1958 г. [33]. В 1967 г. была издана монография «Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза», где была подробно приведена оценка речного стока бассейна озера Балкаш по данным наблюдений, накопленных по 1960 г. [37].

Детальная оценка ресурсов поверхностных вод речного стока до 1968 г. была приведена в монографии «Ресурсы поверхностных вод СССР, том 13 Центральный и Южный Казахстан, выпуск 2 бассейн озера Балхаш» [1]. Представительство ПРООН в РК в 2004 г. подготовило обзор «Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии», где использованы данные наблюдений до начала 21-го века. Последние комплексные исследования по оценке водных ресурсов Республики Казахстан были выполнены в ТОО «Институт Географии».

#### 2.2 Существующие методы оценки речного стока в регионе

Вопросу оценки речного стока многие ученые-гидрологи посвящали свои исследования. Оно и понятно, т.к. водообеспеченность района имеет большое значение в

жизни человеческого общества, а с развитием экономики и увеличением водопотребления, очень важно иметь точную количественную оценку имеющихся запасов.

Вначале стоит отметить, что такое водные ресурсы вообще, и что такое ресурсы речного стока. Водные ресурсы – это все поверхностные, а также подземные воды, которые находятся в водных объектах и используются в хозяйственной деятельности человека или могут быть использованы [38].

Водные ресурсы рек – это средние запасы воды, которые находятся в речной сети в рассматриваемый период времени. Наиболее часто водные ресурсы территории определяются по среднемноголетнему стоку рек исследуемого района [39]. Среднее многолетнее значение стока – это норма стока. Она является основной характеристикой водных ресурсов рек, а также служит одним из главных параметров при решении вопросов водохозяйственного проектирования [40].

Местный сток, который формируется в определенном районе, рассчитывается либо суммированием значений стока отдельных рек, либо по разности общего количества оттока и притока вод. Одной из основных задач при определении ежегодных значений стока рек является установление расчетных параметров: среднего многолетнего стока, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии.

Среднегодовой сток относится к основным гидрологическим характеристикам. С помощью этой характеристики стока можно судить не только о водных ресурсах речных бассейнов определенных регионов, но и степени их увлажненности, а также о водном балансе различных территорий [39].

Исследованиями годового стока занимались такие выдающиеся ученые-гидрологи, как Д.И. Кочерин, А.В. Огиевский, Б.Д. Зайков, Д.Л. Соколовский, К.П. Воскресенский, Б.В. Поляков, В.Г. Андреев, И.А. Шикломанов.

Существует ряд методик для расчета годового стока. В работе [40] подробно приводятся все существующие методики расчета водных ресурсов. Большинство методик основано на уравнении водного баланса. В книге Владимирова А.М. [39] приводятся методы расчета годового стока, которые применяются в классической гидрологии. Согласно этому, в зависимости от наличия и объема информации о стоке, при расчетах годового стока применяется один из трех способов:

1) При длительном периоде наблюдений, который удовлетворяет определению нормы стока, расчет осуществляется непосредственно по данным наблюдений. В расчетах используется репрезентативный период из этого ряда или весь ряд.

2) При коротком периоде наблюдений и не репрезентативных данных осуществляется приведение этого ряда к длинному периоду с использованием метода гидрологической аналогии.

3) Если ряд очень короткий и метод гидрологической аналогии неприменим, т.к. отсутствуют реки-аналоги или вообще нет гидрологических наблюдений, то норма годового стока определяется на основании обобщений, осуществленных по изученным рекам, или используются уравнения водного баланса [39].

Если река находится или находилась под влиянием хозяйственной деятельности, то необходимо восстановить сток, соответствующий естественному режиму этой реки. Если на реке, которая находится в естественном состоянии, планируется забор воды на хозяйственное использование, то в рассчитанные значения стока вводятся соответствующие поправки.

Для удлинения ряда данных о стоке или для восстановления естественного стока реки подбираются реки-аналоги, с помощью которых и производятся необходимые расчеты. При подборе рек-аналогов необходимо учитывать следующее:

- географические условия, т.е. расчетная река и выбираемая нами река-аналог должны находиться в максимальной географической близости, поскольку чем меньше расстояние между их бассейнами, тем менее вероятны различия в условиях формирования стока;

- климатические условия, влияющие на формирование стока рассматриваемых рек, должны быть практически одинаковыми;

- рельеф водосборов, почво-грунты и гидрогеологические условия в бассейнах рассматриваемых рек не должны сильно отличаться;

- на потенциальной реке-аналоге должны отсутствовать факторы, значительно искажающие ее естественный сток (водохранилища, сбросы или заборы воды);

– продолжительность совместных лет наблюдений за годовым стоком на исследуемой реке и реке-аналоге должна быть не менее 10 лет, т.к. именно за этот период обычно успевают проявиться общие черты в формировании стока.

Чтобы убедиться в правильности выбора реки-аналога необходимо построить зависимость стока расчетной реки от выбранного аналога. Связь за годы одновременных наблюдений должна быть достаточно тесная, характеризующаяся коэффициентом корреляции  $r \geq 0,7$ . Количество пунктов-аналогов, используемых для приведения годового стока в расчетном пункте, может быть от одного до трех-четырех.

### 2.3 Методы, используемые при расчете речного стока исследуемого бассейна

Речной сток бассейна озера Балкаш оценивался по изменению параметра среднемноголетнего стока (нормы стока). При выборе расчетного периода для определения нормы стока, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии использовались разностные интегральные кривые в пунктах с наиболее продолжительными наблюдениями. Разностные интегральные кривые необходимы для выявления циклов колебания годового стока. Эти кривые удобны для выбора репрезентативного расчетного периода из длинного ряда наблюдений. Способ разностной интегральной кривой для оценки циклических колебаний многих явлений природы впервые был предложен В.Г. Глушковым [41]. В.Г. Андреев впервые начал производить сопоставительный анализ разнородного материала на основе нормирования разностных интегральных кривых модульных коэффициентов [42]. Способ вычисления разностной интегральной кривой заключается в том, что сначала для выбранного ряда наблюдений вычисляются модульные коэффициенты по формуле:

$$K = \frac{M_i}{M_{cp}}, \quad (2.1)$$

где  $M_i$  – значение данного ряда,  $M_{cp}$  – среднее значение ряда.

Затем необходимо определить их отклонения от середины ( $K-1$ ) и построить интегральную кривую, путем последовательного суммирования этих отклонений по выражению:

$$\sum_1^i (K-1) = f(t), \quad (2.2)$$

Таким образом, разностная интегральная кривая представляет собой нарастающую сумму отклонений модульных коэффициентов от среднемноголетнего значения ряда на конец каждого  $M_i$  года.

Положительные значения отклонений модульных коэффициентов при суммировании за интервал времени дают наклон разностной интегральной кривой вверх относительно горизонтальной линии, а отрицательные их значения – наклон кривой вниз.

Для восстановления стока рек, имеющих короткие ряды наблюдения или сток, которых искажен хозяйственной деятельностью, применялись методы, приведенные в книге Владимирова А.М. [38], описанные выше (см. раздел 2.1).

Для каждой расчетной реки тщательно подбирались реки-аналоги, удовлетворяющие всем требованиям.

Далее строились зависимости стока исследуемых рек от рек-аналогов, и если коэффициент корреляции ( $r$ ) был равен более 0,7, то определялось уравнение связи и далее восстанавливался сток.

В таблице 2.1 для примера приведены сведения об удлинении рядов и восстановлении стока рек, впадающих в восточную часть озера Балкаш.

Таблица 2.1 – Сведения о восстановлении среднегодового стока рек восточного склона Жетысуского Алатау

Река – пункт	Река-аналог	Уравнение зависимости	$r$	Период расчета уравнения, гг.	Число лет	Исключенные годы	Восстановленные годы
р. Каратал – с. Каратал	сумма 3-х рек Кора, Шыжын, Текели	$Q_{KK} = 1,05 \cdot Q_{\Sigma 3} + 0,03$	1,0	1959 – 2008	50	1959	1997 – 2013
р. Каратал – ст. Уштобе	р. Каратал – с. Наймансуек	$Q_{KV} = 1,03 \cdot Q_{KH} - 4,2$	0,98	1965 – 1980	16	–	1940 – 1964

Река – пункт	Река-аналог	Уравнение зависимости	г	Период расчета уравнения, гг.	Число лет	Исключенные годы	Восстановленные годы
		$Q_{KV} = 1,07 \cdot Q_{KH} - 11,5$	0,99	1981 – 1990	10	–	1991 – 2013
р. Аксу – с. Жансугиров	р. Лепси – г. Лепси	$Q_{AJK} = 0,56 \cdot Q_{JLT} + 1,22$	0,94	1932 – 1968	37	1933, 1960, 1963	1987 – 2013
р. Коксу – с. Кукреу	р. Коксу – с. Коксу	$Q_{KKYK} = 1,62 \cdot Q_{KKOK} + 3,7$	0,98	1955 – 2005	51	–	1969 – 2013
р. Лепси – аул Толебаев (подх. Лепси)	р. Лепси – г. Лепси	$Q_{JLT} = 1,92 \cdot Q_{JLT} - 14,4$	0,86	1934 – 2001	68	–	2002 – 2013

Все произведенные расчеты, описаны ниже (см. гл. 3).

## 2.4 Методика оценки водопотребления в бассейне реки Иле на территории Китайской Народной Республики

Оценка водопотребления на территории КНР в бассейне реки Иле производилась как разность восстановленного естественного стока и бытового (наблюденного) стока рассматриваемой реки на границе КНР и РК.

Для восстановления естественного стока реки Иле в верхней части ее бассейна применялся широко используемый в гидрологии – метод гидрологической аналогии.

Для оценки дефицита воды определялось возможное сокращение годового стока р. Иле в пределах КНР, используя косвенные методы. Один из таких методов основан на предположении синхронности формирования стока в верхней части бассейна реки в пределах КНР и его средней части в пределах территории Республики Казахстан. Это предположение основано на том, что влажные воздушные массы поступают на территорию бассейна в основном с северо-западного направления. В качестве характеристики годового стока, формирующегося в средней части бассейна реки Иле на территории Казахстана, был использован суммарный годовой сток её притоков и рек, расположенных в одном бассейне и имеющих неискаженный сток: рек Шарын – с. Сарытогой, р. Шилик – с. Малыбай, р. Каратал – с. Каратал, р. Коксу – с. Коксу и р. Тентек – с. Тункурус.

Разностная интегральная кривая суммарного годового стока этих рек за период с 1932 по 2013 гг. приведена на рисунке 2.1.

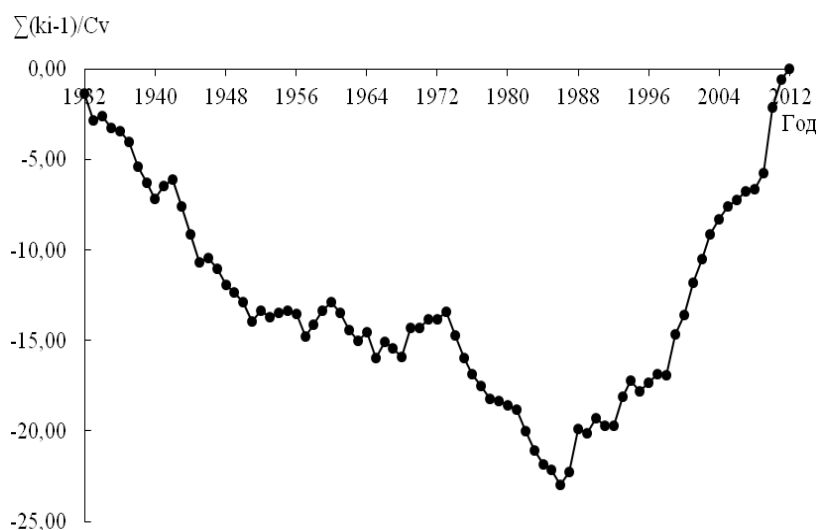


Рис 2.1. Разностная интегральная кривая суммарного стока 5-ти рек (Каратал, Коксу, Тентек, Шарын, Шилик) за период 1932–2013 гг.

На этой кривой, также как и на разностных кривых, для отдельных рек, отчетливо выделяются два периода 1932–1986 гг. и 1987–2013 гг. Первый период отражает условия формирования стока реки Иле на территории Казахстана, когда ещё на сток этой реки не отмечалось воздействие водозабора на территории КНР. Второй период, по сравнению с первым, характеризуется повышенным стоком в связи с увеличением увлажнения горных склонов, повышением температуры воздуха и увеличением поступления воды в реки за счет деградации горного оледенения.

В качестве характеристики стока р. Иле на границе Казахстана и КНР были использованы ряды наблюдений в гидрометрическом створе р. Иле – с. Ямату (площадь водосбора 48182 км<sup>2</sup>). Для подтверждения синхронности формирования стока в верхней части бассейна р. Иле, т.е. на территории КНР и стока 5 рек, формирующих сток бассейна озера Балкаш на территории Казахстана сделано сопоставление стока р. Иле в гидрометрическом створе с. Ямату со стоком 5 рек за период до 1986 г. Была построена зависимость стока р. Иле – с. Ямату за период до



1986 г. и суммарного годового стока указанных выше пяти рек за это же период (рисунок 2.2).

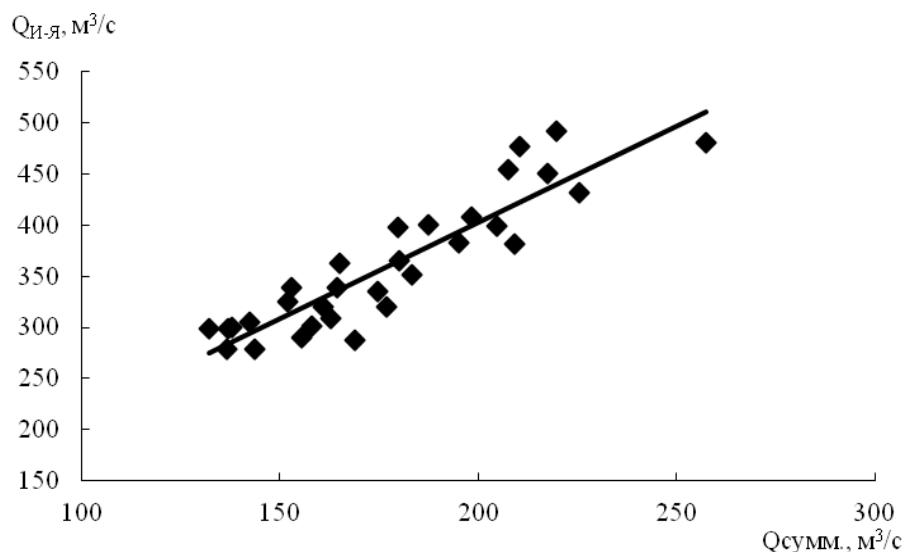


Рис 2.2. Зависимость стока р. Иле – с. Ямату ( $Q_{И-Я}$ ,  $m^3/c$ ) и суммарного стока 5-ти рек (Каратал, Коксу, Тентек, Шарын, Шилик,  $Q_{сумм.}$ ,  $m^3/c$ ) за 1954–1986 гг.

Оказалось, что эта зависимость имеет высокий коэффициент корреляции ( $r = 0,91$ ). Следовательно, до 1986 г. формирование стока р. Иле в створе с. Ямату аналогично формированию стока 5 рек бассейна озера Балкаш на территории Казахстана. Эту зависимость рекомендуется использовать для восстановления стока р. Иле – с. Ямату за период позже 1986 г., когда увеличилось водопотребление стока на территории КНР. Восстановленный сток назовём естественным, т.е. стоком, который не отражает водопотребление стока на территории КНР.

Восстановление естественного стока р. Иле – с. Ямату производилось по уравнению 2.3.

$$Q_{ИЯест} = 1,87 \cdot Q_{\Sigma_5} + 30,4 \quad , \quad (2.3)$$

где  $Q_{ИЯест}$  – естественный годовой сток р. Иле – с. Ямату,  $m^3/c$ ;  $Q_{\Sigma_5}$  – суммарный сток 5-ти рек (Каратал, Коксу, Тентек, Шарын, Шилик) за период 1954 – 1986 гг.

Для восстановления пропусков наблюдений за стоком реки Иле в гидрометрическом створе Саньдаохэцзы, расположенном в пределах КНР вблизи с

границей Республики Казахстан, и оценке естественного стока в этом створе была использована следующая зависимость:

$$Q_{ис} = Q_{ия} + 50,3, \quad (2.4)$$

где  $Q_{ис}$  – сток реки Иле – ст. Сандаохэцзы, м<sup>3</sup>/с,  $Q_{ия}$  – сток реки Иле – с. Ямату, м<sup>3</sup>/с,  $r=0,97$ .

С помощью этого уравнения был восстановлен сток реки в рассматриваемом створе за 1989–1990, 1992, 1994–2001 гг. Также с помощью этого уравнения были определены значения естественного стока в этом створе, в зависимости от его величины, определенной для гидрометрического створа р. Иле – с. Ямату.

## 2.5 Использование гидрологической модели HBV для прогнозирования стока реки Иле, калибровка и адаптация к условиям бассейна озера Балкаш

Для моделирования стока реки Иле использовалась гидрологическая модель прогнозирования стока HBV, которая представляет собой концептуальную модель водосбора, и преобразует осадки, потенциальное суммарное испарение и снеготаяние в сток [43].

Модель HBV – это концептуальная модель речного бассейна, разработанная в Шведском метеорологическом и гидрологическом институте (Sten Bergström). Модель HBV является компьютеризированной моделью водосбора, которая преобразует осадки, потенциальное испарение и тающий снег в речной сток с помощью моделирования естественных гидрологических процессов (рис. 2.3)



Рис. 2.3. Блок-схема модели HBV

Модель включает процедуру, описывающую накопление снега и его таяние, процедуру расчета почвенной влаги, процедуру учета подземных вод и процедуру расчета гидрографа стока. Необходимые входные данные для модели HBV: средневзвешенные осадки, а также распределение осадков по высотным зонам; средневзвешенные значения температуры воздуха, и ее распределение по высотным зонам; потенциальное испарение. Также для подготовки входных данных были построены карты цифровой модели рельефа исследуемой территории и распределение склонов по заданным экспозициям, используя программу ArcMap 10.1 (рис.2.4, 2.5)

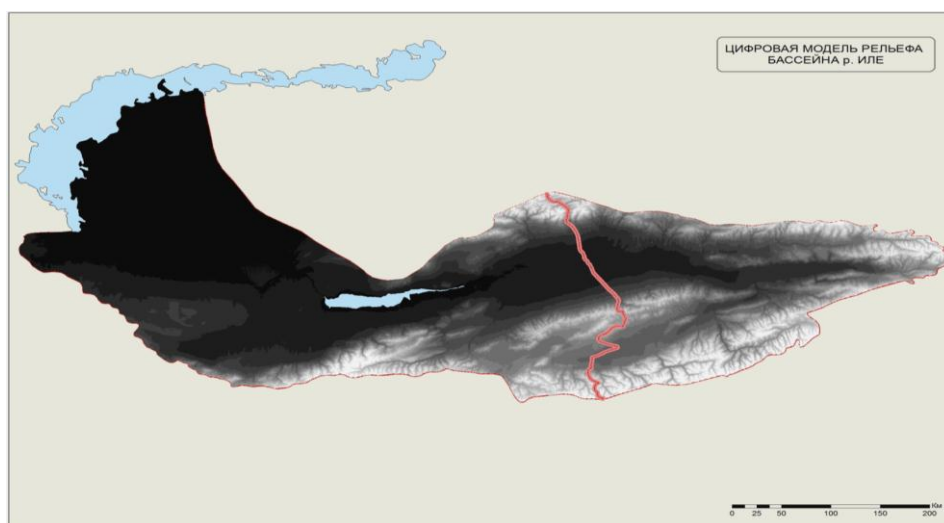


Рис. 2.4. Цифровая модель рельефа бассейна реки Иле

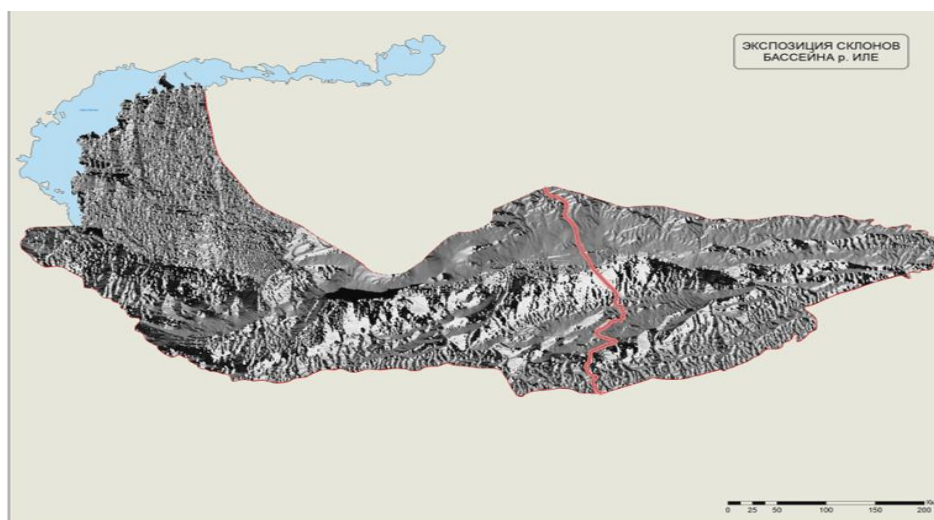


Рис. 2.5. Распределение склонов по экспозициям

Для оценки влияния изменения климата на сток рассматриваемой реки, в качестве входных параметров использовались значения температуры воздуха и осадков, которые были смоделированы на перспективу с помощью глобальных моделей климата. Использовались входные метеорологические данные для трех периодов: 2030 г. (2016–2045 гг.), 2050 г. (2036–2065 гг.), и 2085 г. (2071–2100 гг.), по двум сценариям [44] А1В и В1. За базовый период принимался 1961–1990 гг.

Для калибровки модели и последующей ее проверки использовались среднемесячные значения речного стока реки Иле, измеренные в створе с. Ямату, среднемесячная температура воздуха и месячные значения осадков, измеренные на метеостанции Инин [45]. Калибровочный период составил тридцать лет с 1961 г. по 1990 г. На рисунке 2.6 приведены результаты моделирования стока реки Иле за 1961–1990 гг.

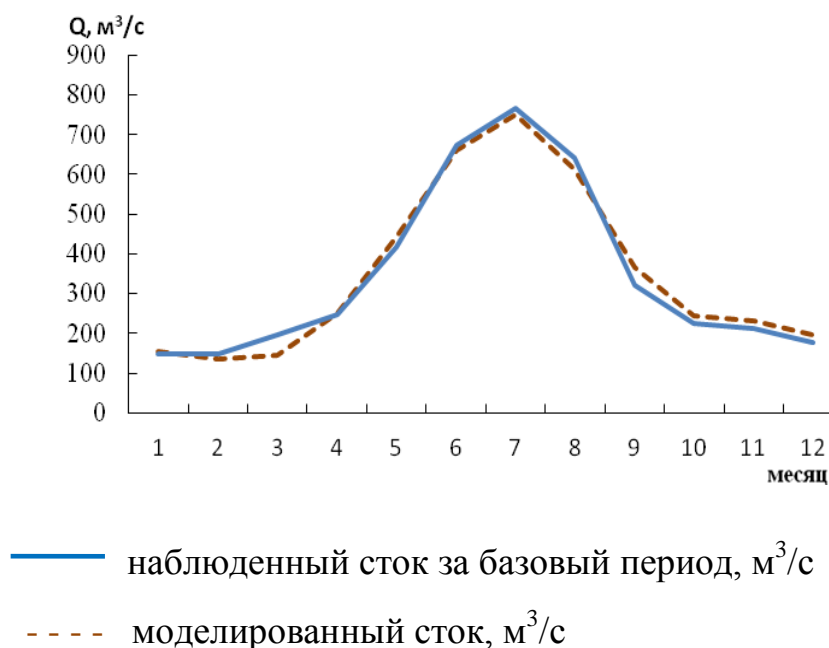


Рис. 2.6. Сопоставление моделированного и наблюдаемого гидрографа стока р. Иле – с. Ямату за период наблюдений 1961–1990 гг.

Результаты калибровки и адаптации модели HBV показали, что модель дает хорошие результаты при моделировании стока реки Иле за базовый период (разница моделированного и наблюдаемого стока составляет не более 5 %), а следовательно может быть использована для моделирования стока на перспективу.

## ГЛАВА 3. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕК БАССЕЙНА ОЗЕРА БАЛКАШ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

### 3.1. Анализ изменения стока р. Иле и ее основных притоков

#### 3.1.1. Восстановление пропусков в рядах наблюдений годового стока основных притоков р. Иле

Основными притоками р. Иле на участке от государственной границы РК с КНР до уроч. Капшагай являются реки: Коргас (Хоргос), Осек (Усек), Шарын и Шилик [46].

Наблюдения за стоком р. Коргас – с. Баскунши имеются только за неполные три года (1939–1941 гг.). Для восстановления месячного и годового стока р. Коргас с 1930–1997 гг., а также 2006–2013 гг. использована зависимость среднемесячных расходов воды р. Коргас от суммарного среднемесячного стока рек Осек – в 1,7 км выше впадения р. Киши Осек и р. Киши Осек – в 0,2 км выше слияния с р. Осек, суммарный сток которых практически равен стоку р. Осек – с. Талды (рис. 3.1).

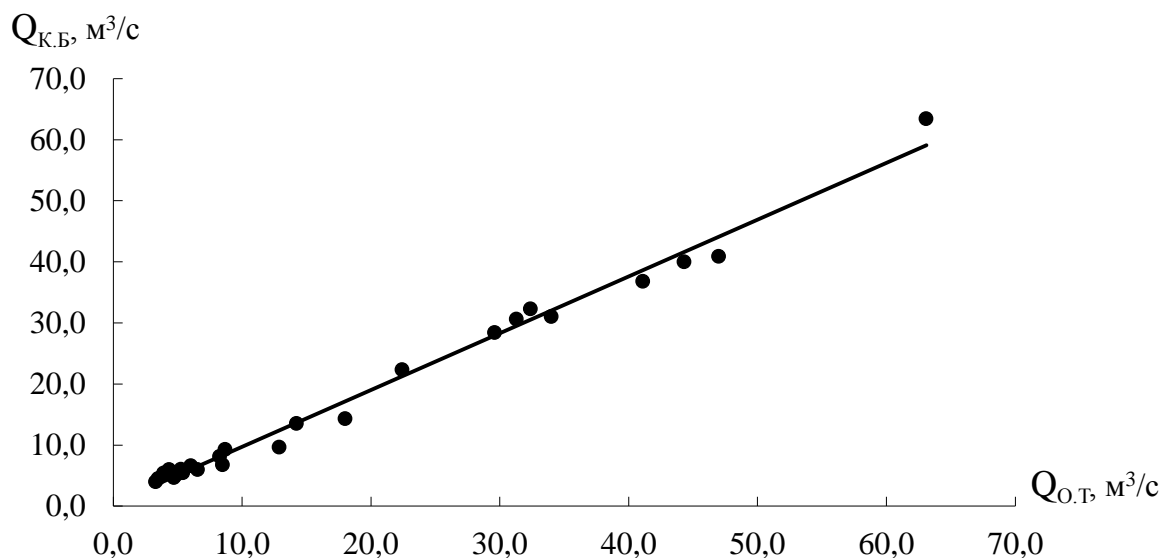


Рис. 3.1. Зависимость среднемесячных расходов воды р. Коргас – с. Баскунши от суммарного стока р. Осек – с. Талды за 1939 г (5–12 мес.), 1940 г (1–6, 9–12 мес.), 1941 г. (1–8 мес.)

Уравнение зависимости имеет следующий вид:

$$Q_{К.Б.} = 0,93 \cdot Q_{О.Т.} + 0,40; \quad r = 0,99; \quad E_r = \pm 0,0026, \quad (3.1)$$

где  $Q_{К.Б.}$  – среднемесячные расходы воды р. Коргас – с. Баскунши, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{О.Т.}$  – среднемесячные расходы воды р. Осек – с. Талды, м<sup>3</sup>/с,  $r$  – коэффициент корреляции,  $E_r$  – ошибка коэффициента корреляции.

Для восстановления стока р. Коргас за 1929, 1998–2005 гг. использована зависимость суммарного стока р. Коргас – с. Баскунши, р. Осек – с. Талды и р. Шарын – уроч. Сарытогай от стока р. Шарын – уроч. Сарытогай (рис. 3.2)

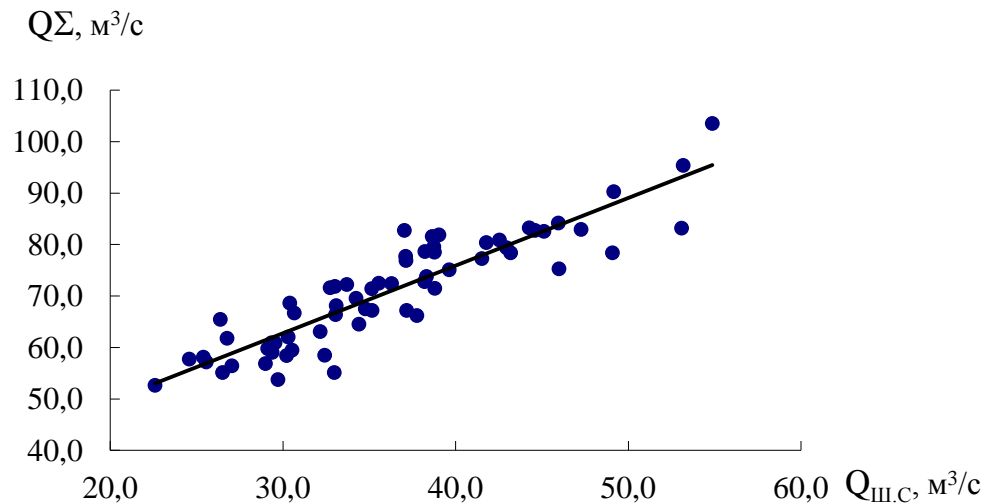


Рис. 3.2. Зависимость суммарного годового стока р. Коргас – с. Баскунши, р. Осек – с. Талды и р. Шарын – уроч. Сарытогай от годового стока р. Шарын – уроч.

Сарытогай за 1930–1951, 1953–1955, 1957–1974, 1976–1996 гг.

Уравнение этой зависимости имеет следующий вид:

$$\sum Q = 1,32 \cdot Q_{Ш.С.} + 23,1; \quad r = 0,90; \quad E_r = \pm 0,016 \quad (3.2)$$

где  $\sum Q$  – суммарный годовой сток р. Коргас – с. Баскунши, р. Осек – с. Талды р. Шарын – уроч. Сарытогай, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{Ш.С.}$  – годовой сток р. Шарын – уроч. Сарытогай, м<sup>3</sup>/с.

При построении данной зависимости по р. Коргас – с. Баскунши использовались восстановленные значения расходов воды. Далее, по этой зависимости был определен суммарный сток рек Шарын, Осек и Коргас за 1929, 1998–2005 гг. Затем определен суммарный годовой сток р. Коргас и р. Осек путем вычитания из суммарного годового стока трех рек годового стока р. Шарын. Для выделения стока р. Коргас из значений суммарного стока рек Коргас и Осек

использована зависимость годового стока р. Коргас от годовых значений р. Осек за 1930–1997 гг. и 2006–2013 гг. (рис. 3.3)

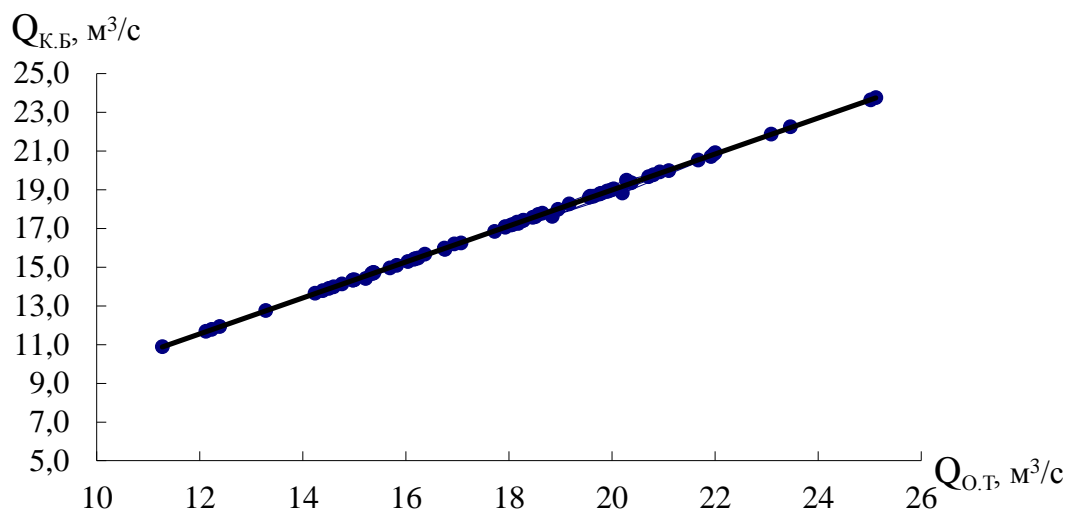


Рис. 3.3. Зависимость годового стока р. Коргас – с. Баскунши от годового стока р. Осек – с. Талды за 1930–1997, 2006–2013 гг.

Уравнение этой зависимости имеет следующий вид:

$$Q_{KB} = 0,93 \cdot Q_{OT} + 0,39; r = 1,00; E_r = \pm 0, \quad (3.3)$$

где  $Q_{KB}$  – сток реки Коргас у с. Баскунши,  $Q_{OT}$  – сток реки Осек у с. Талды.

Для выделения стока р. Коргас – с. Баскунши и стока р. Осек – с. Талды из суммарного стока этих рек используем полученную систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} 0,93 \cdot Q_{OT} + 0,39 = Q_{KB} \\ Q_{KB} + Q_{OT} = Q_{\Sigma KO} \end{cases}, \quad (3.4)$$

В результате решения этой системы уравнений получим следующее выражение:

$$Q_{OT} = 0,52 \cdot Q_{\Sigma KO} - 0,20, \quad (3.5)$$

где  $Q_{\Sigma KO}$  – суммарный сток рек Осек – с. Талды и Коргас – с. Баскунши, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{OT}$  – годовой сток р. Осек – с. Талды, м<sup>3</sup>/с.

С помощью этого выражения производим выделение стока р. Осек – с. Талды из суммарного стока рек Коргас и Осек, используя в качестве значения  $Q_{\Sigma KO}$  ежегодные значения суммарного стока за 1929, 1998–2005 гг. Затем, вычитая из

значений суммарного годового стока этих рек значения стока р. Осек – с. Талды, получаем значения р. Коргас – с. Баскунши за этот же период.

В таблице 3.1 приведены значения годовых расходов воды рек Коргас у с. Баскунши и Осек у с. Талды за 1929–2013 гг.

Таблица 3.1 – Восстановленный бытовой годовой сток р. Коргас – с. Баскунши и р. Осек – с. Талды

Год	Q <sub>КБ</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>ОТ</sub> , м <sup>3</sup> /с	Год	Q <sub>КБ</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>ОТ</sub> , м <sup>3</sup> /с	Год	Q <sub>КБ</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>ОТ</sub> , м <sup>3</sup> /с
1929	17,1	18,1	1958	19,3	20,4	1987	20,0	21,1
1930	19,8	20,8	1959	17,4	18,3	1988	23,6	25,0
1931	22,2	23,5	1960	18,8	19,8	1989	17,4	18,3
1932	13,6	14,2	1961	15,7	16,4	1990	19,7	20,7
1933	15,4	16,2	1962	18,7	19,6	1991	18,8	19,8
1934	19,0	20,0	1963	14,7	15,4	1992	18,9	19,9
1935	17,6	18,5	1964	18,6	19,6	1993	18,7	19,6
1936	14,3	15,0	1965	12,8	13,3	1994	18,6	19,6
1937	18,3	19,2	1966	20,9	22,0	1995	15,9	16,8
1938	11,8	12,2	1967	15,9	16,8	1996	17,2	18,2
1939	14,3	15,0	1968	15,3	16,0	1997	21,9	23,1
1940	14,4	15,2	1969	20,5	21,7	1998	18,1	19,2
1941	19,5	20,3	1970	14,3	15,0	1999	16,2	17,2
1942	19,9	20,9	1971	17,2	18,0	2000	17,9	19,0
1943	16,2	16,9	1972	17,3	18,2	2001	19,0	20,1
1944	14,7	15,4	1973	17,8	18,7	2002	19,5	20,7
1945	14,0	14,6	1974	15,1	15,8	2003	20,4	21,6
1946	17,7	18,6	1975	11,9	12,4	2004	20,8	22,1
1947	13,8	14,4	1976	15,0	15,7	2005	19,2	20,3
1948	17,6	18,5	1977	17,1	17,9	2006	17,6	18,8
1949	18,9	19,9	1978	15,4	16,2	2007	18,8	20,2
1950	17,2	18,1	1979	16,0	16,8	2008	20,7	21,9
1951	16,2	17,1	1980	18,0	19,0	2009	16,7	17,5
1952	23,8	25,1	1981	16,8	17,7	2010	21,1	22,2
1953	13,9	14,5	1982	14,1	14,8	2011	18,8	19,8
1954	14,7	15,4	1983	15,5	16,2	2012	19,1	20,2
1955	20,8	22,0	1984	19,0	20,0	2013	20,3	21,4
1956	11,7	12,1	1985	14,7	15,3			
1957	10,9	11,3	1986	17,1	17,9			

В результате получаем непрерывные ряды восстановленных значений годового стока рек Коргас у с. Баскунши и Осек у с. Талды за 1929–2013 гг.



## **Восстановление естественного годового стока р. Шилик – с. Малыбай**

Наблюдения в створе р. Шилик – с. Малыбай начаты с 1928 г. В связи с построением в 1983 году Бартогайского водохранилища, возникла необходимость восстановления естественного стока р. Шилик – с. Малыбай за период его существования.

В связи с отсутствием данных наблюдений за элементами водного баланса с 1982 по 1995 гг. его естественные значения за указанный период определялись следующим образом. При восстановлении естественного стока реки предполагалось, что емкость Бартогайского водохранилища, равная 250 млн. м<sup>3</sup>, заполнялась в течение 1982–1984 гг. Для его заполнения был необходим расход около 8 м<sup>3</sup>/с. Для компенсации этих затрат при заполнении Бартогайского водохранилища в расчетах бытовой годовой сток был увеличен: в 1982 г – на 4 м<sup>3</sup>/с, 1983 г – на 3 м<sup>3</sup>/с и 1984 г – на 1 м<sup>3</sup>/с. В дальнейшем с 1985 по 1995 гг. бытовой годовой сток был увеличен на 1 м<sup>3</sup>/с за счет потерь на испарение с поверхности водохранилища.

Результаты восстановления естественного стока р. Шилик – с. Малыбай с 1982 по 1995 гг. приведены в таблице 3.2.

Для восстановления естественного годового стока р. Шилик – с. Малыбай за 1996–2013 гг. исходными материалами послужили данные по притоку и сбросу воды с Бартогайского водохранилища. Бассейновой Водохозяйственной Инспекцией (БВИ) приток воды в водохранилище определялся по его водному балансу, а сброс из водохранилища путем использования тарифованных таблиц сбросных сооружений. В связи с отсутствием притока воды на участке от верхнего бьефа водохранилища до его плотины, сток воды в ее створе, т.е. в створе плотины, принимался равным притоку воды в водохранилище. Изменение стока реки на участке от гидрометрического створа у с. Малыбай (по данным гидрологических ежегодников) определялось как разность бытового стока в нижнем створе реки и в створе плотины, определяемого БВИ. Таким образом, восстановленный естественный сток в створе р. Шилик – с. Малыбай определялся как сумма притока воды в Бартогайское водохранилище, полученного в БВИ и указанного выше

изменения бытового стока на участке от створа плотины до гидрометрического створа реки у с. Малыбай (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Восстановленные значения естественного годового стока р. Шилик – с. Малыбай за период с 1982 по 2013 гг.

Год	Q, м <sup>3</sup> /с	Год	Q, м <sup>3</sup> /с
1982	31,1	1998	44,4
1983	35,0	1999	42,0
1984	32,5	2000	40,9
1985	32,4	2001	39,8
1986	30,1	2002	50,3
1987	33,0	2003	43,7
1988	49,6	2004	41,6
1989	35,0	2005	38,9
1990	40,8	2006	40,2
1991	42,7	2007	43,5
1992	39,4	2008	37,2
1993	40,7	2009	42,0
1994	44,6	2010	41,2
1995	36,4	2011	41,3
1996	45,8	2012	36,8
1997	44,2	2013	32,3

В процессе анализа восстановления естественного стока р. Шилик – с. Малыбай с 1996 по 2013 гг. удалось установить, что полученные БВИ данные измерения сброса воды из Бартогайского водохранилища занижены, по-видимому, в связи с ошибками тарировки сбросных гидротехнических сооружений. Это было установлено путем сопоставления результатов вычисления стока в створе плотины, определенного по зависимости от стока в гидрометрическом створе р. Шилик – с. Малыбай и сброса воды из водохранилища, полученного БВИ путем измерений с помощью тарированных сбросных гидрометрических сооружений. Сток в створе плотины определялся с помощью уравнения (3.6), полученного институтом Казгипрпроводхоз при подготовке обоснования строительства Бартогайского водохранилища:

$$Q_{c.n.} = 1,16 \cdot Q_{Ш-М} - 3,35, \quad (3.6)$$

где  $Q_{c.n.}$  – среднедекадные и среднемесячные расходы воды в створе плотины Бартогайского водохранилища, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{Ш-М}$  – среднедекадные и среднемесячные

расходы воды р. Шилик – с. Малыбай, м<sup>3</sup>/с. Сопоставление указанных выше значений приведено в таблице 3.3 и показано на рисунке 3.4.

Таблица 3.3 – Наблюденный ( $Q_H$ ) и восстановленный ( $Q_B$ ) сброс воды из Бартогайского вдхр. за 1996, 1997, 2001 гг.

Год	Месяц	Сброс, м <sup>3</sup> /с	
		$Q_B$	$Q_H$
1996	3	0,62	1,50
	4	18,7	12,1
	5	52,6	29,5
	6	99,2	59,3
	7	112	64,6
	8	108	73,8
1997	5	89,3	61,1
	6	93,7	63,3
	7	109	75,5
	8	87,9	59,3
	9	88,2	60,0
2001	3	-2,61	2,00
	4	12,1	11,5
	5	64,7	48,8
	7	102	78,0
	8	117	89,9
	9	92,6	69,1
	10	21,5	12,5
	11	-2,58	1,50
	12	-2,47	1,50
<b>Среднее</b>		<b>63,1</b>	<b>43,7</b>

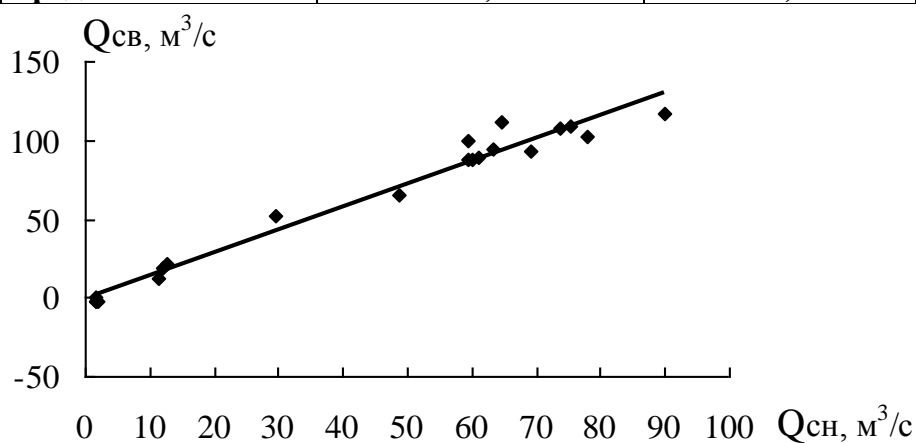


Рис. 3.4. Зависимость среднемесячных значений сброса, восстановленных по данным наблюдений за стоком р. Шилик – с. Малыбай от значений, определенных по сбросным гидротехническим сооружениям плотины Бартогайского вдхр. за 1996 г.(3–8 мес.), 1997 г. (5–9 мес.), 2001 г. (3–8 мес.)

Данные, приведенные в таблице 3.3, показывают, что за рассматриваемый период данные БВИ по величине сброса занижены в среднем на 19,4 м<sup>3</sup>/с, по-видимому, за счет погрешностей тарировки сбросных гидротехнических сооружений. На эту же величину будет занижен и приток в Бартогайское вдхр., определяемый по уравнению его водного баланса.

Приведенная на рисунке 3.4 зависимость имеет следующий вид:

$$Q_{св} = 1,45 \cdot Q_{сн} - 0,30, \quad r = 0,99, \quad E_r = \pm 0,003 \quad (3.7)$$

где  $Q_{св}$  – восстановленный сброс из Бартогайского вдхр., м<sup>3</sup>/с;  $Q_{сн}$  – наблюдаемый сброс, м<sup>3</sup>/с.

По нашему мнению, зависимость, приведенная на рисунке 3.4, может быть использована для уточнения сброса воды из Бартогайского вдхр. Результаты проведенного анализа показывают, что использованная нами разность между бытовым стоком р. Шилик – с. Малыбай и наблюдаемым сбросом воды из Бартогайского вдхр. при восстановлении естественного стока рассматриваемой реки учитывает приведенную выше погрешность.

### **Восстановление стока р. Иле – 164 км выше Капшагайской ГЭС [47]**

При сборе гидрологической информации стало известно, что сток р. Или – 164 км выше Капшагайской ГЭС за период 1993–2008 гг., измерялся без учета существующей там протоки. В связи с этим, за 16 лет сток рассматриваемой реки был занижен. В сложившихся условиях возникла необходимость его восстановления в полном объеме, с учетом стока в протоке.

Для этого были использованы данные об измеренных расходах и уровнях воды в основном русле и в протоке. Далее строились зависимости логарифма скорости течения в протоке от логарифма площади водного сечения за период измерения стока воды в протоке. На рис. 3.5 представлены наглядные зависимости за 1991 и 2009 гг. Площадь водного сечения определялась по зависимости логарифма площади протоки от логарифма уровня воды в основном русле (рис. 3.6). Расход воды в протоке определялся посуточно за отдельные месяцы, путем умножения скорости течения в протоке на площадь сечения в протоке. Далее

восстановленные данные были осреднены помесячно и прибавлены к измеренному стоку в основном русле.

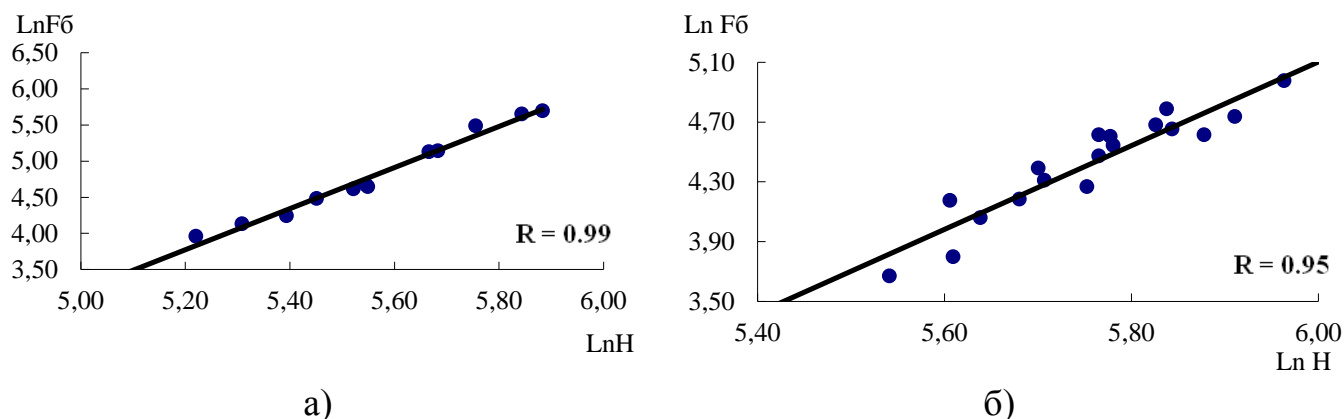


Рис. 3.5. График зависимости логарифма площади сечения протоки ( $\text{LnFб}$ ) от логарифма уровня воды в основном русле ( $\text{LnH}$ ): а) за 1991 г., б) за 2009 г.

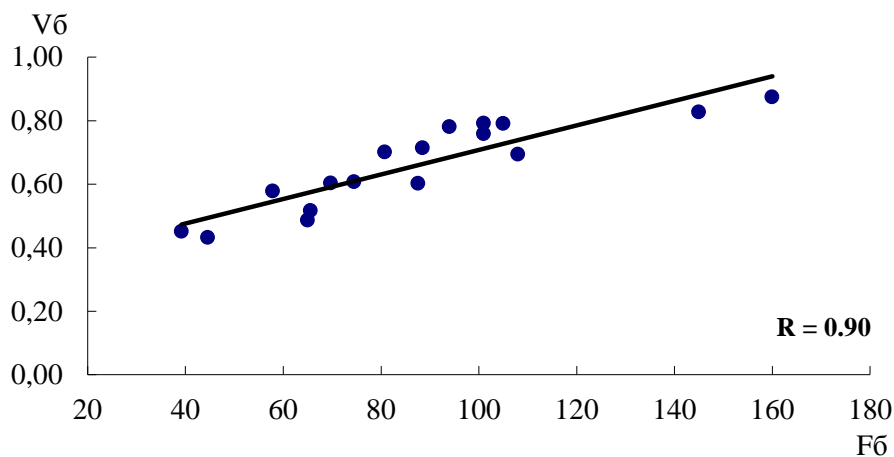


Рис. 3.6. График зависимости скорости течения в протоке ( $Vб$ , м/с) от площади сечения в протоке ( $Fб$ , м<sup>2</sup>) за 1991 и 2009 гг.

В таблице 3.4 приведены восстановленные значения стока в протоке с 1993 по 2008 гг., которые, и прибавлялись к месячным значениям стока в основном русле, чтобы избежать недоучета стока за этот период.

Таблица 3.4 – Восстановленные расходы воды в протоке за различные месяцы, м<sup>3</sup>/с

Год	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1993	20,3	23,0	292	389	241	27,7
1994	61,4	112,8	174	182	157	27,7
1995	6,20	12,2	17,8	121	49,6	5,97
1996	19,7	67,2	166	171	105	4,47
1997	16,3	27,5	60,5	90,6	57,8	12,8
1998	7,81	68,6	383	287	314	54,0
1999	17,4	122	109	220	264	70,7

Год	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
2000	19,7	83,6	72,7	168	116	36,1
2001	22,8	103	178	98,3	189	57,8
2002	28,7				161	39,7
2003	18,9	59,4	282	230	101	44,8
2004	52,6	74,0	97	154	114	32,5
2005	19,2	54,8	101	49	135	51,0
2006	10,7	61,9	147	112	73,1	22,3
2007	24,1	40,5	40,1	103	165	25,5
2008	13,4	45,6	28,2	20,1	13,2	16,0

### **Восстановление суммарного бокового притока в Капшагайское водохранилище**

В р. Иле на участке от 164 км выше Капшагайской ГЭС до уроч. Капшагай кроме р. Шилик впадает еще несколько небольших рек. С 1970 г. все они так же как и р. Шилик впадают в водохранилище Капшагайской ГЭС [47].

Капшагайское водохранилище располагается на р. Иле, в западной части Илийской долины, и занимает второе место по размерам среди искусственных водоемов Республики Казахстан. В него кроме р. Иле также впадает ряд небольших горных рек: Шилик, Каскелен, Кутентай, Киши Алматы (Малая Алматинка), Саз-Талгар, Есик (Иссык), Курузек, Карасу, Лавар, Терень-Кара, Актоган, ручьи Шадай и Шенгельды и другие. Сведения о суммарном боковом притоке в реку Иле (до 1970 г.) и водохранилище Капшагайской ГЭС имеются с 1942 по 1997 гг. [1].

Для восстановления суммарного бокового притока в Капшагайское водохранилище за период 1998–2013 гг. была использована зависимость суммарного бокового притока от суммарного стока рек Шилик – с. Малыбай, Есик – г. Есик, Каскелен – г. Каскелен. В связи с отсутствием данных по реке Есик – г. Есик за 2006–2013 гг., для восстановления стока была использована зависимость суммарного среднегодового стока указанных рек от суммарного среднегодового стока рек Шилик – с. Малыбай, Каскелен – г. Каскелен с 1964 по 2005 гг. (т.е. после прорыва расположенного выше по течению реки оз. Есик), уравнение которой имеет следующий вид:

$$\sum Q = 1,02 \cdot Q_{\text{шк}} + 3,95, r = 0,99; E_r = \pm 0,0021 \quad (3.8)$$

где  $\sum Q$  – суммарный сток 3-х рек (р. Шилик – с. Малыбай, р. Каскелен – г. Каскелен, р. Есик – г. Есик);  $Q_{шк}$  – суммарный сток 2-х рек (р. Шилик – с. Малыбай, р. Каскелен – г. Каскелен).

Для восстановления суммарных годовых значений бокового притока в р. Иле на участке 164 км выше устья – г. Капшагай за период с 1998–2013 гг. была использована зависимость среднегодового суммарного бокового притока от среднегодового суммарного стока 3-х рек (р. Шилик – с. Малыбай, р. Каскелен – г. Каскелен, р. Есик – г. Есик) (рис. 3.7).

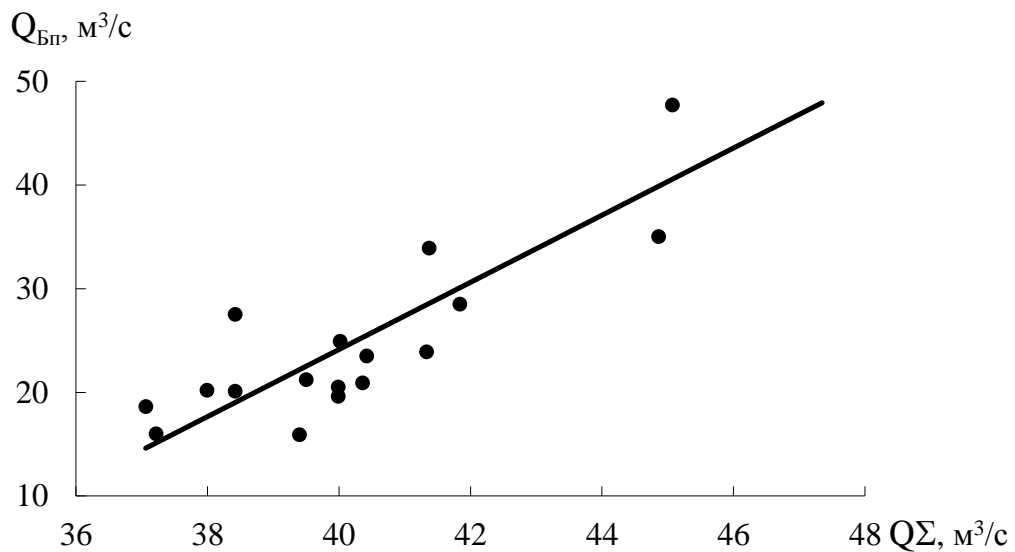


Рис. 3.7. Зависимость годовых значений притока воды в р. Иле на участке 164 км выше устья – г. Капшагай от суммарного стока 3х рек (Шилик, Каскелен, Есик) за 1965–1966, 1968–1970, 1972, 1974–1977, 1979–1982, 1984–1987 гг.

Уравнение этой зависимости имеет следующий вид:

$$Q_{Бп} = 3,14 \cdot \sum Q - 101; r = 0,91, E_r = \pm 0,003, \quad (3.9)$$

где  $Q_{Бп}$  – годовые значения суммарного бокового притока,  $m^3/c$ .

Таблица 3.5 – Суммарный боковой приток воды ( $\sum Q$ ) в водохранилище Капшагайской ГЭС,  $m^3/c$

Год	$\sum Q$	Год	$\sum Q$	Год	$\sum Q$
1942	61,5	1966	50,9	1990	24,3
1943	35,9	1967	34,9	1991	10,7
1944	25,7	1968	20,9	1992	15,3
1945	35,7	1969	35,0	1993	31,6
1946	44,2	1970	47,7	1994	38,0

Год	$\Sigma Q$	Год	$\Sigma Q$	Год	$\Sigma Q$
1947	49,6	1971	26,4	1995	12,2
1948	41,3	1972	23,9	1996	21,8
1949	47,2	1973	29,7	1997	11,0
1950	43,3	1974	16,0	1998	73,8
1951	35,4	1975	18,6	1999	51,4
1952	53,9	1976	20,5	2000	52,3
1953	43,7	1977	21,2	2001	47,5
1954	47,1	1978	22,6	2002	91,1
1955	45,2	1979	24,9	2003	67,8
1956	48,2	1980	23,5	2004	52,7
1957	28,6	1981	28,5	2005	48,9
1958	49,4	1982	20,2	2006	52,1
1959	51,0	1983	16,6	2007	62,7
1960	48,5	1984	15,9	2008	39,6
1961	32,6	1985	19,6	2009	58,3
1962	31,2	1986	20,1	2010	63,6
1963	45,5	1987	33,9	2011	66,4
1964	36,7	1988	37,0	2012	65,5
1965	27,5	1989	17,4	2013	66,4

Сведения о суммарном боковом притоке в водохранилище Капшагайской ГЭС (табл. 3.5) могут быть использованы при определении восстановленных значений  $p$ . Иле в створе уроч. Капшагай.

### 3.1.2. Анализ многолетних колебаний стока рек Шарын и Шилик

Анализ рядов годового стока рек производился с помощью интегральных кривых. Эти кривые позволяют выявить в рядах годового стока рек однородные периоды с целью определения его статистических характеристик среднемноголетних значений  $Q_0$ , коэффициента вариации  $C_v$  и коэффициента асимметрии  $C_s$ .

На рисунках 3.8 и 3.9 приведены разностные интегральные кривые  $p$ . Шарын – уроч. Сарытогай и  $p$ . Шилик – с. Малыбай за период с 1929 по 2013 гг.

Анализ этих кривых показал что, в рядах годового стока рассматриваемых рек можно выделить два однородных периода 1929–1986 гг. и 1987–2013 гг. Более наглядное отличие одного периода от другого периода можно видеть на интегральных кривых, представленных на рисунках 3.10 и 3.11. При построении



этих кривых использовались среднегодовые значения и коэффициент вариации, определенные только за период 1929–1986 гг.

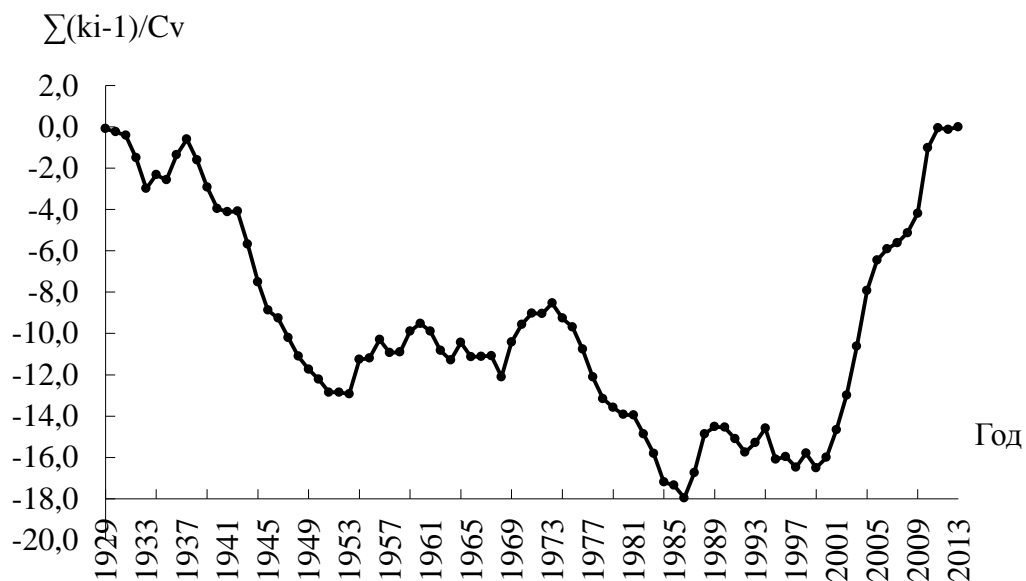


Рис. 3.8. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Шарын – уроч. Сарытогай за 1929–2013 гг.

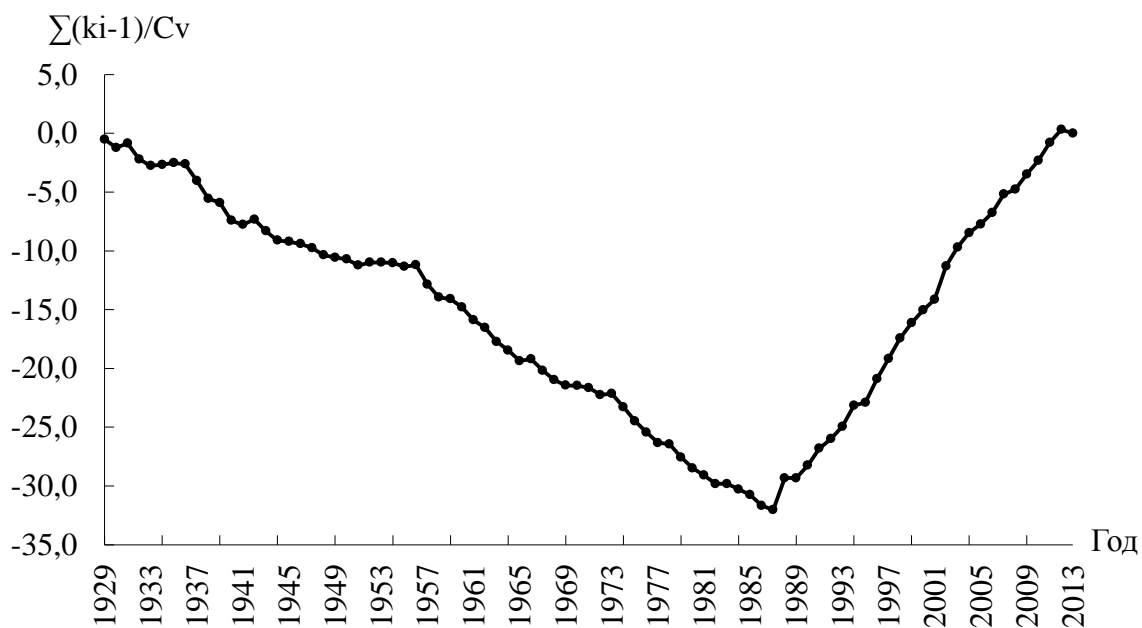


Рис. 3.9. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Шилик – с. Малыбай за 1929–2013 гг.

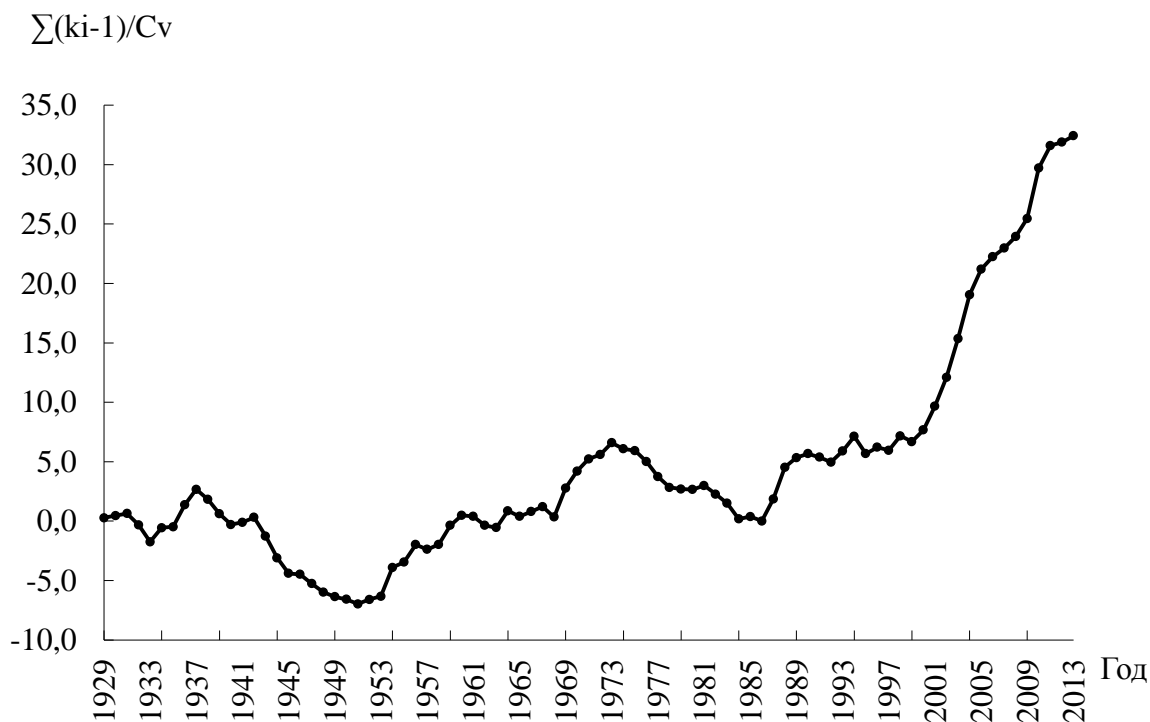


Рис. 3.10. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Шарын – уроч. Сарытогай за 1929–2013 гг. (при среднем значении стока за период с 1929 по 1986 гг.)

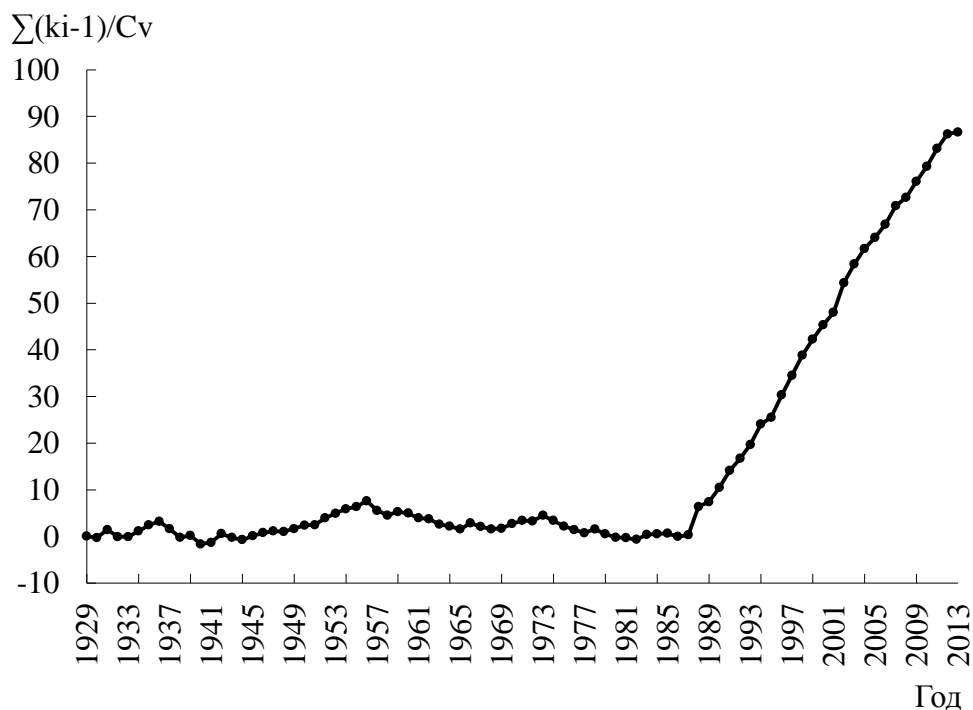


Рис. 3.11. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Шилик – с. Малыбай за 1929–2013 гг. (при среднем значении стока за период с 1929 по 1986 гг.)

Период 1929–1986 гг. отражает климатические условия 20–го века, а второй период 1987–2013 гг. – конец 20–го века и начало 21–го века, характеризующихся значительными изменениями климата, в первую очередь, температуры воздуха и атмосферных осадков. В этот период в бассейне р. Иле наблюдалось существенное повышение температуры воздуха и деградация горного оледенения. Сопоставление среднемноголетнего стока за второй период (1987–2013 гг.) по сравнению с периодом 1929–1986 гг. показало, что второй период в большей степени выше первого в бассейнах с большей площадью оледенения (табл. 3.6) [48].

Таблица 3.6 – Характеристики стока рек ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) за разные периоды

Река-Пункт	Площадь водосбора, $\text{км}^2$	Площадь оледенения		$R_1, \text{м}^3/\text{с}$	$R_2, \text{м}^3/\text{с}$	$(R_2 - R_1) = (P + D)$	
		$\text{км}^2$	%			$\text{м}^3/\text{с}$	%
Коргас – с. Баскунши	1080	82,7	7,7	16,6	18,9	2,30	13,9
р. Осек – с. Талды	1220	103	8,4	17,40	20,0	2,60	14,9
р. Шарын – уроч. Сарытогай	7370	143	1,9	35,8	43,7	7,90	22,1
р. Шилик – с. Малыбай	4300	302	7,0	32,1	41,6	9,50	29,6

*Примечание:*  $R_1$  – средний годовой сток за период 1929–1986 гг.,  $R_2$  – средний годовой сток за период 1987–2013 гг.,  $(R_2 - R_1) = (P + D)$  – превышение среднего годового стока за счет увеличения увлажнения и деградации горного оледенения.

Это подтверждает поступление воды в реки за счет деградации горного оледенения. Период 1987–2013 гг., по-видимому, отражает переход от климатических условий основной части 20–го века к следующему однородному периоду, формирование которого начнется в первой половине 21–го века, после завершения деградации горного оледенения в рассматриваемом бассейне [46].

В результате проведенных исследований были определены статистические характеристики годовых значений стока рек Шарын – уроч. Сарытогай, Шилик – с. Малыбай, Коргас – с. Баскунши, Осек – с. Талды за периоды 1929–1986 гг. и 1987–2013 гг. Результаты, которых приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Расходы воды, ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) различной обеспеченности (%), р. Шарын – уроч. Сарытогай за 1929–1986 гг. и 1987–2013 гг.

Река-пункт	Обеспеченность, %						
	5	10	25	50	75	90	95
р. Шарын – уроч. Сарытогай	<b>период с 1929–1986 гг., <math>Q_0=35,8 \text{ м}^3/\text{с}</math>, <math>C_v=0,20</math>, <math>C_s=0,60</math></b>						
	48,69	45,32	38,77	35,08	30,64	27,21	25,42
	<b>период с 1987–2013 гг., <math>Q_0=43,7 \text{ м}^3/\text{с}</math>, <math>C_v=0,21</math>, <math>C_s=0,63</math></b>						
	60,27	55,91	50,1	42,73	37,09	32,74	30,45
р. Шилик – с. Малыбай	<b>период с 1929–1986 гг., <math>Q_0=32,1 \text{ м}^3/\text{с}</math>, <math>C_v=0,09</math>, <math>C_s=0,23</math></b>						
	37,03	35,86	34,4	32,00	30,09	28,48	27,57
	<b>период с 1987–2013 гг., <math>Q_0=41,6 \text{ м}^3/\text{с}</math>, <math>C_v=0,10</math>, <math>C_s=0,25</math></b>						
	48,71	47,01	44,2	41,43	38,69	36,4	35,11
р. Коргас – с. Баскунши	<b>период с 1929–1986 гг., <math>Q_0=16,6 \text{ м}^3/\text{с}</math>, <math>C_v=0,16</math>, <math>C_s=0,40</math></b>						
	21,25	20,11	18,64	16,41	14,71	13,33	12,56
	<b>период с 1987–2013 гг., <math>Q_0=18,9 \text{ м}^3/\text{с}</math>, <math>C_v=0,10</math>, <math>C_s=0,25</math></b>						
	22,13	21,36	19,98	18,82	17,58	16,54	15,95
р. Осек – с. Талды	<b>период с 1929–1986 гг., <math>Q_0=17,4 \text{ м}^3/\text{с}</math>, <math>C_v=0,17</math>, <math>C_s=0,43</math></b>						
	22,59	21,3	19,58	17,18	15,3	13,78	12,92
	<b>период с 1987–2013 гг., <math>Q_0=20,0 \text{ м}^3/\text{с}</math>, <math>C_v=0,10</math>, <math>C_s=0,25</math></b>						
	23,42	22,6	21,1	19,92	18,6	17,5	16,88

Как видно из таблицы 3.7, сток рек северного склона Илейского Алатау за последний период (1987–2013 гг.) в основном увеличился. Так, по реке Шарын увеличение стока составило около 22 %, а по реке Шилик – 30 %. Коэффициент вариации за тот же период незначительно увеличился, в связи с увеличением увлажнения горных склонов и поступления воды в реки за счет деградации горного оледенения. Это привело к увеличению значений речного стока различной обеспеченности. Сток основных рек правобережной части р. Иле, стекающих с южных склонов Жетысуского Алатау, за второй период 1987–2013 гг. по сравнению с предыдущим периодом также увеличился. По реке Коргас увеличение стока составило около 14 %, а по реке Осек – 15 %. Коэффициент вариации за тот же период уменьшился, в связи с увеличением увлажнения горных склонов и поступления воды в реки за счет деградации горного оледенения. Это привело к увеличению значений речного стока различной обеспеченности [48]. На других реках Казахстана также наблюдается изменение стока под влиянием климата [49].

### 3.2 Оценка водопотребления в бассейне реки Иле на территории Китайской Народной Республики

Определение дефицита годового стока, поступающего в Республику Казахстан из Китая по р. Иле является очень важным и актуальным исследованием, особенно в условиях изменяющегося климата и его влияния на сток рек [48]. Для оценки дефицита стока была разработана специальная методика, с помощью которой определялось возможное сокращение годового стока р. Иле в пределах КНР, как разность восстановленного естественного и бытового (наблюденного) стока этой реки (более подробно методика оценки восстановления описана в главе 2) [50].

На рис. 3.12 приведена карта бассейна реки Иле (казахстанская и китайская части). На этой карте приведены два гидрологических поста, расположенных на территории КНР, по которым и будет оцениваться водопотребление.

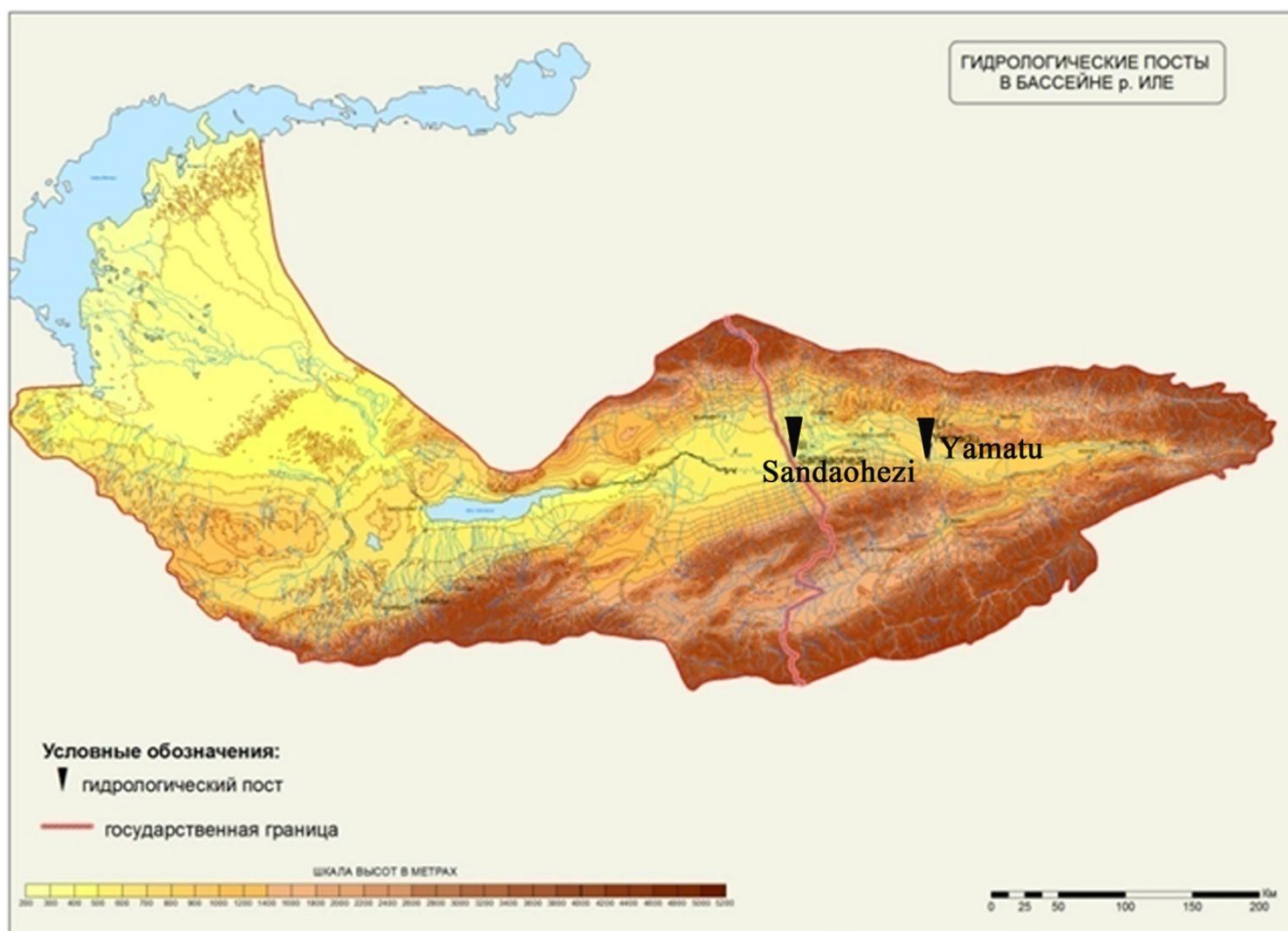


Рис. 3.12. Карта бассейна реки Иле с приведенными на ней гидрологическими постами р. Иле – с. Ямату и р. Иле – ст. Саньдаохэцзы.

На рисунке 3.13 приведена совмещенная разностная интегральная кривая восстановленного и наблюдаемого бытового стока р. Иле в створе с. Ямату за период 1954–2013 гг.

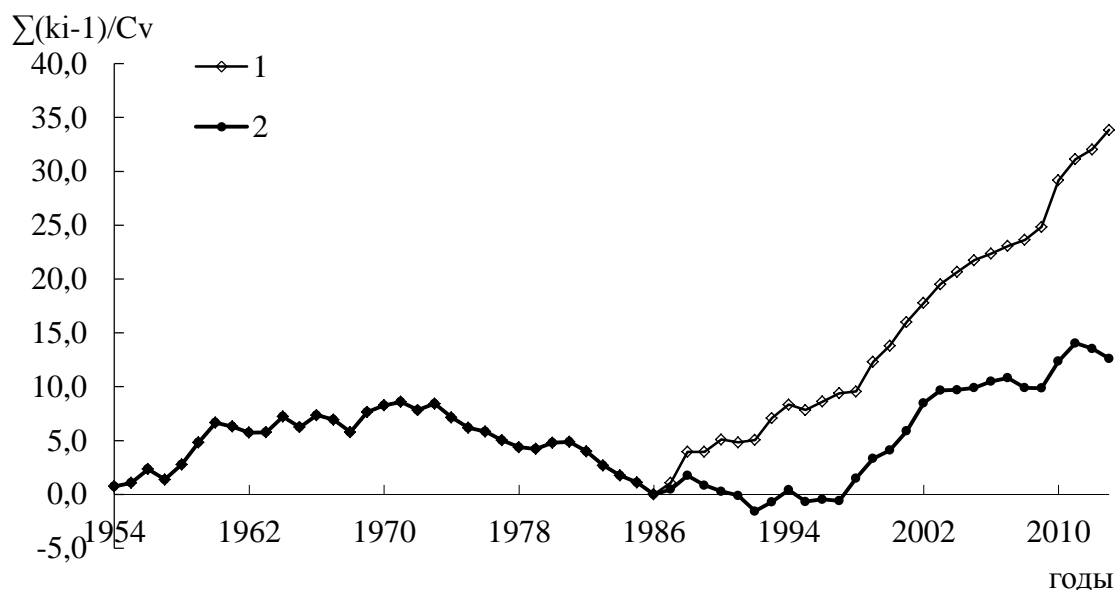


Рис. 3.13. Совмещенная разностная интегральная кривая 1 – естественного (восстановленного) и 2 – бытового стока р. Иле – с. Ямату за период 1954–2013 гг.

Изменение стока, приведенное на этом рисунке, показывает, что значение естественного стока, начиная с 1987 г., существенно превышает значения стока, наблюдаемого в гидрометрическом створе с. Ямату, расположенном на р. Иле на территории КНР. Такое различие наблюдаемого и естественного стока свидетельствует о том, что, начиная с 1987 года, несмотря на значительные водные ресурсы, сформировавшиеся на территории КНР, Казахстан не дополучил сток по р. Иле из-за увеличения водопотребления на территории КНР.

В таблице 3.8 представлены результаты расчёта водопотребления стока реки Иле на территории КНР за период 1987–2013 гг. Водопотребление рассчитывалось по разности восстановленного естественного стока и наблюдаемого (бытового) стока этой реки в гидрометрическом створе с. Ямату. В таблице кроме разности восстановленного естественного и наблюдаемого (бытового) стока приведена их последовательная сумма за рассматриваемый период, которая представляет собой суммарный дефицит стока р. Иле [50].

Таблица 3.8 – Водопотребление в КНР и суммарный дефицит стока по данным бытового и естественного стока р. Иле – с. Ямату за период с 1987 по 2013 гг.

Год	Q ср, год, (бытовой сток)		Q ср, год, (естественный сток)		Водопотреблени е в КНР		Суммарный дефицит стока	
	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>
1987	391	12,4	430	13,6	38,8	1,23	38,8	1,23
1988	443	14,0	545	17,2	101	3,20	140	4,43
1989	304	9,6	362	11,4	58,2	1,84	199	6,26
1990	325	10,3	434	13,7	109	3,44	308	9,7
1991	337	10,6	345	10,9	7,6	0,24	315	9,9
1992	268	8,5	375	11,8	107	3,38	422	13,3
1993	416	13,1	491	15,5	75,4	2,38	498	15,7
1994	433	13,7	441	13,9	8,49	0,27	506	16,0
1995	292	9,2	329	10,4	37,0	1,17	543	17,1
1996	374	11,8	411	13,0	37,0	1,17	580	18,3
1997	352	11,1	411	13,0	58,4	1,84	639	20,2
1998	496	15,6	371	11,7	-125	-3,93	514	16,2
1999	478	15,1	537	17,0	59,7	1,88	574	18,1
2000	411	13,0	457	14,4	46,1	1,45	620	19,6
2001	475	15,0	502	15,8	27,1	0,86	647	20,4
2002	527	16,6	474	15,0	-53,3	-1,68	594	18,7
2003	436	13,8	473	14,9	36,6	1,15	630	19,9
2004	364	11,5	435	13,7	70,2	2,22	700	22,1
2005	374	11,8	430	13,6	56,4	1,78	757	23,9
2006	399	12,6	400	12,6	1,39	0,04	758	23,9
2007	383	12,1	407	12,9	24,4	0,77	783	24,7
2008	302	9,5	397	12,5	95,7	3,02	878	27,7
2009	360	11,4	438	13,8	78,3	2,47	957	30,2
2010	521	16,4	638	20,1	116	3,67	1073	33,9
2011	468	14,8	490	15,5	22,2	0,70	1095	34,6
2012	329	10,4	419	13,2	89,7	2,83	1185	37,4
2013	303	9,6	477	15,1	173,8	5,49	1359	42,9
сумма	10561	324	11920	376	1359	42,9		
среднее	391	12,5	441	13,9	50,3	1,59		

За период с 1987 по 2013 г среднее водопотребление составляет 1,59 км<sup>3</sup>/год.

Более наглядно дефицит стока р. Иле в створе с. Ямату представлен на рис. 3.14

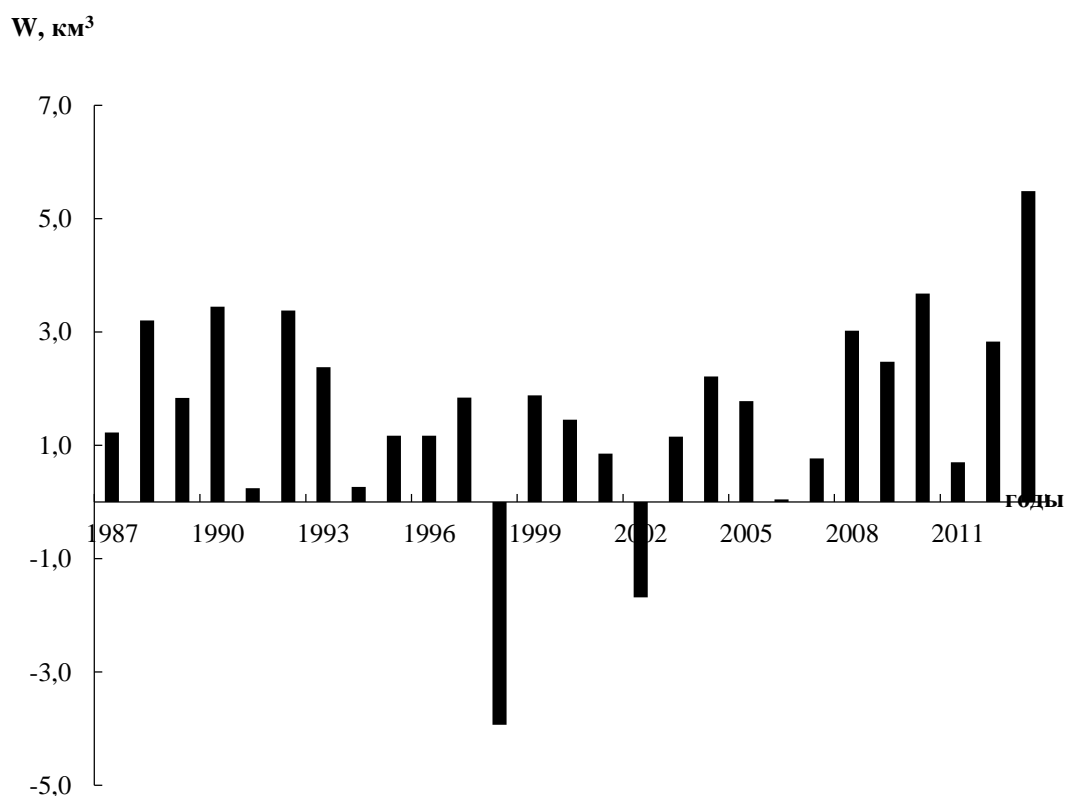


Рис. 3.14. Дефицит годового стока р. Иле – с. Ямату за период 1987–2013 гг. за счёт забора воды в СУАР КНР

На рис. 3.14 видно, что ежегодно за счёт водозабора из реки Иле на территории КНР в Казахстане наблюдался дефицит стока, т.е. происходило сокращение стока р. Иле, за исключением 2-х лет (1998 и 2002 гг.), когда производился сброс из водохранилищ, расположенных в верхней части бассейна реки Иле.

Суммарное сокращение годового стока р. Иле – с. Ямату за период 1987–2013 гг. под влиянием забора воды в СУАР КНР показано на рис. 3.15.



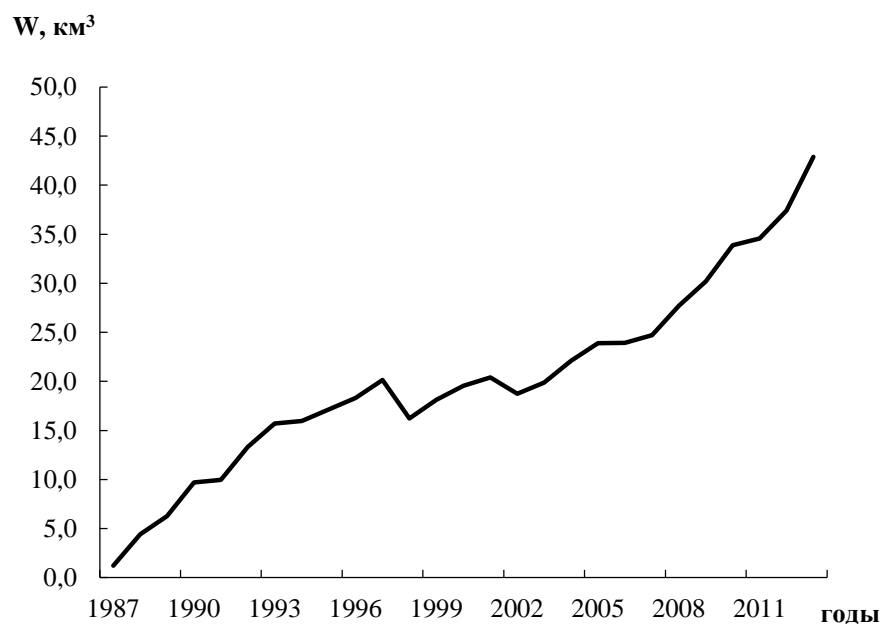


Рис. 3.15. Суммарное сокращение годового стока р. Иле в гидрометрическом створе с. Ямату под влиянием забора воды в СУАР КНР за период с 1987 по 2013 гг.

Характер изменения суммарного стока, приведенного на этом рисунке, показывает, что наибольшее сокращение стока, обусловленное забором воды на территории СУАР КНР, наблюдалось в первой половине рассматриваемого периода. Суммарное сокращение стока за период с 1987 по 2013 гг. составляет порядка  $42,9 \text{ км}^3$ .

В таблице 3.9 приведены суммарные и средние значения сокращения стока р. Иле в гидрометрическом створе с. Ямату за различные периоды в  $\text{м}^3/\text{с}$  и  $\text{км}^3$  год.

Таблица 3.9 – Сокращение стока р. Иле за различные периоды за счет водопотребления в СУАР КНР

Период, гг.	Число лет	Сокращение стока			
		суммарное за период		среднее за период	
		$\text{м}^3/\text{с}$	$\text{км}^3$	$\text{м}^3/\text{с}$	$\text{км}^3$
1987–1997	11	639	20,2	58,0	1,83
1998–2013	15	720	22,7	45,0	1,42
1987–2013	27	1359	42,9	50,3	1,59

Полученные характеристики сокращения стока р. Иле в пределах СУАР КНР по данным в створе с. Ямату представляются нам наиболее надежными.

По данным, приведенным в таблице 3.9, наибольшее среднегодовое сокращение стока, равное  $1,83 \text{ км}^3/\text{год}$ , отмечалось в период с 1987 г. по 1997 г.

Для подтверждения правильности результатов расчета водопотребления в Китае, подобные расчеты произвелись также для створа Саньдаохэцзы. Для восстановления пропусков наблюдений за стоком реки Иле в гидрометрическом створе Саньдаохэцзы, расположенном в пределах КНР вблизи с границей Республики Казахстан, и оценке естественного стока в этом створе была использована следующая зависимость:

$$Q_{ис} = Q_{ия} + 50,3, \quad (3.10)$$

где  $Q_{ис}$  – сток реки Иле – ст. Саньдаохэцзы, м<sup>3</sup>/с,  $Q_{ия}$  – сток реки Иле – с. Ямату, м<sup>3</sup>/с,  $r = 0,97$ .

С помощью этого уравнения был восстановлен сток реки в рассматриваемом створе за 1989, 1990, 1992, 1994–2001 гг. Также с помощью этого уравнения были определены значения естественного стока в этом створе, в зависимости от его величины, определенной для гидрометрического створа р. Иле – с. Ямату.

Таблица 3.10 – Водопотребление на территории КНР и суммарный дефицит стока по данным бытового и естественного стока р. Иле на границе с РК (ст. Саньдаохэцзы) за период с 1987 по 2013 гг.

годы	Q ср, год, (бытовой сток)		Q ср, год, (естественный сток)		Водопотребление в КНР		Суммарный дефицит стока	
	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup> /Г	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup> /Г	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup> /Г	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup> /Г
1987	448	14,1	481	15,2	32,2	1,02	32,2	1,02
1988	<b>494*</b>	15,6	595	18,8	101	3,20	134	4,22
1989	<b>354</b>	11,2	412	13,0	58,2	1,84	192	6,06
1990	<b>375</b>	11,8	484	15,3	109	3,44	301	9,5
1991	372	11,7	395	12,5	23,3	0,74	324	10,2
1992	<b>318</b>	10,0	425	13,4	107	3,38	431	13,6
1993	435	13,7	542	17,1	107	3,37	538	17,0
1994	<b>483</b>	15,2	492	15,5	8,5	0,27	547	17,3
1995	<b>343</b>	10,8	380	12,0	37,0	1,17	584	18,4
1996	<b>425</b>	13,4	462	14,6	37,0	1,17	621	19,6
1997	<b>403</b>	12,7	461	14,5	58,4	1,84	679	21,4
1998	<b>546</b>	17,2	422	13,3	-125	-3,93	555	17,5
1999	<b>528</b>	16,7	588	18,6	59,7	1,88	614	19,4
2000	<b>461</b>	14,6	507	16,0	46,1	1,45	660	20,8
2001	<b>525</b>	16,6	553	17,4	27,1	0,86	687	21,7
2002	576	18,2	524	16,5	-51,5	-1,63	636	20,1
2003	487	15,4	523	16,5	35,9	1,13	672	21,2
2004	439	13,9	485	15,3	45,4	1,43	717	22,6

годы	Q ср, год, (бытовой сток)		Q ср, год, (естественный сток)		Водопотребление в КНР		Суммарный дефицит стока	
	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup> /Г	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup> /Г	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup> /Г	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup> /Г
2005	437	13,8	480	15,2	43,5	1,37	761	24,0
2006	459	14,5	451	14,2	-8,61	-0,27	752	23,7
2007	455	14,4	458	14,4	2,7	0,09	755	23,8
2008	392	12,4	448	14,1	55,9	1,77	811	25,6
2009	444	14,0	489	15,4	44,7	1,41	855	27,0
2010	672	21,2	688	21,7	15,5	0,49	871	27,5
2011	523	16,5	540	17,1	17,4	0,55	888	28,0
2012	375	11,8	469	14,8	93,8	2,96	982	31,0
2013	348	11,0	528	16,6	179,6	5,67	1162	36,7

*Примечание:* \*Жирным шрифтом отмечены восстановленные пропуски в наблюдениях за стоком.

За период с 1987 по 2013 гг. среднее водопотребление составляет 1,36 км<sup>3</sup>/год. Рассчитанная величина водопотребления стока р. Иле на территории КНР представляет собой дефицит стока реки Иле на территории РК. В 90 годы дефицит стока достигал более 3 км<sup>3</sup>/год, вероятно, это объясняется заполнением водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования.

Более наглядно дефицит стока р. Иле в створе ст. Сандьаохэцзы представлен на рисунке 3.16.

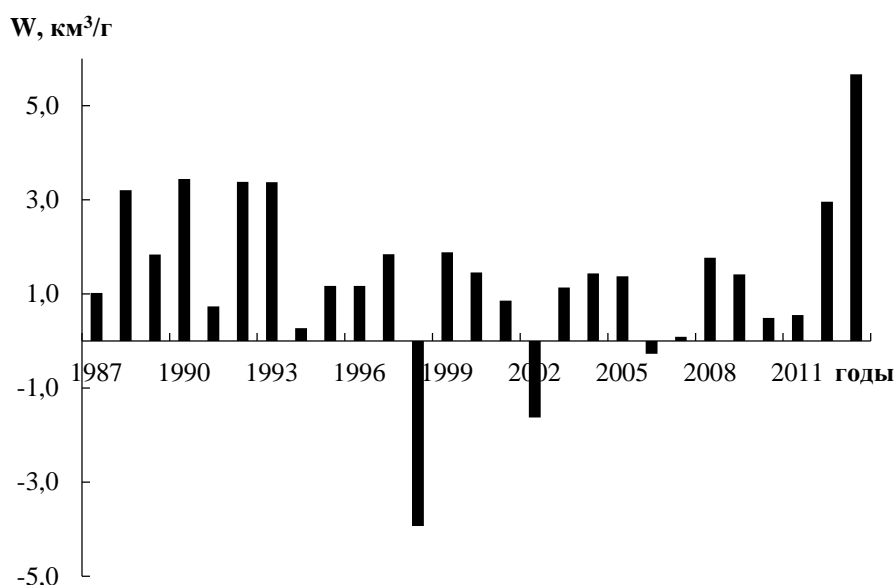


Рис. 3.16. Дефицит годового стока р. Иле - ст. Сандьаохэцзы за период 1987–2013 гг. за счёт забора воды в СУАР КНР

На рисунке 3.16 видно, что ежегодно за счёт водозабора из реки Иле на территории КНР наблюдался дефицит стока, т.е. происходило сокращение стока р. Иле, за исключением 2-х лет (1998 и 2002 гг.), когда производился сброс из водохранилищ, расположенных в верхней части бассейна реки Иле. Наибольшее значение сокращения стока наблюдалось в 1990 г. и составило 3,44 км<sup>3</sup>/год.

Суммарное сокращение годового стока р. Иле – ст. Саньдаохэцзы за период 1987–2013 гг. под влиянием забор воды в СУАР КНР показано на рис. 3.17.

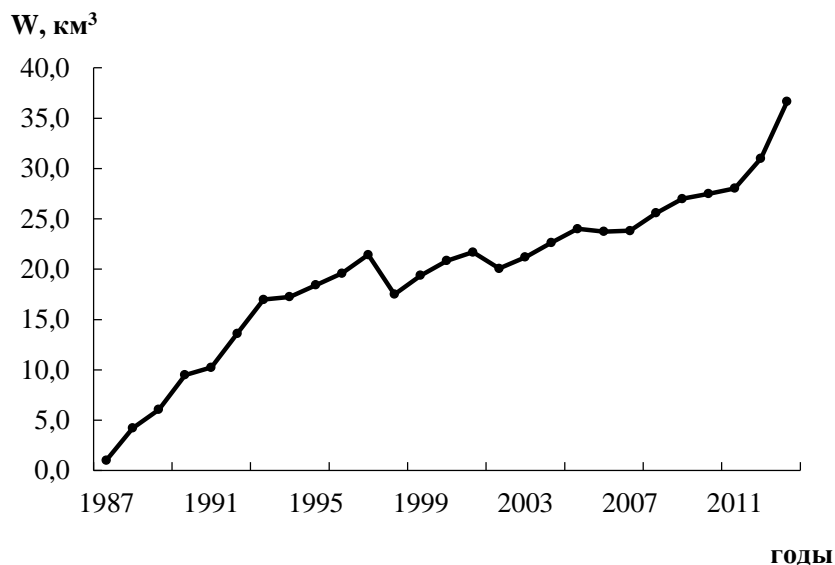


Рис. 3.17. Суммарное сокращение годового стока р. Иле в гидрометрическом створе ст. Саньдаохэцзы под влиянием забор воды в СУАР КНР за период с 1987 по 2013 гг.

Характер изменения суммарного стока, приведенного на этом рисунке, показывает, что наибольшее сокращение стока, обусловленное забором воды на территории СУАР КНР, наблюдалось в первой половине рассматриваемого периода. Суммарное сокращение стока за период с 1987 по 2013 гг. составляет порядка 36,7 км<sup>3</sup>.

Проведенные исследования показали, что сокращение стока реки Иле в верхней части ее бассейна на территории КНР за период с 1987 по 2013 гг. изменяется в основном от 0,09 км<sup>3</sup> в год до 3,44 км<sup>3</sup> в год, и в среднем составляет 1,36 км<sup>3</sup> в год или 9 % от среднего естественного стока реки, равного 15,5 км<sup>3</sup> в год.

Полученные результаты были использованы при оценке поступления воды в водохранилище Капшагайской ГЭС и оз. Балкаш.

### 3.3 Оценка изменения внутригодового распределения стока р. Иле, поступающего в Республику Казахстан из КНР

Внутригодовое распределение стока является важнейшей характеристикой гидрологического режима рек, который определяется, в основном, климатическими условиями (количеством осадков, температурой воздуха в весенне-летний период, обуславливающей таяние снежного покрова и горных ледников, выпадение жидких осадков, испарение), распределением речных водосборов по высотным зонам, хозяйственной деятельностью, а также характером инфильтрации воды в почву и особенностями гидрогеологического строения территории [51].

При решении вопросов использования речного стока большое значение имеет его внутригодовое распределение в зависимости от водности отдельных лет. Оценка внутригодового распределения стока р. Иле в пункте с. Ямату производилась согласно своду правил по проектированию и строительству «Определение основных расчетных гидрологических характеристик» [52], по методу среднего распределения стока за годы характерной градации водности. Согласно этой методике, внутригодовое распределение стока рек определяется в зависимости от водности отдельных лет по шкале, приведенной в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Шкала водности годового стока рек, при использовании ряда наблюдений от 15-ти до 30-ти лет и более 30-ти лет

Номер фазы водности	Характеристика водности года	Обеспеченность, %
От 15-ти до 30-ти лет		
1	Маловодный	$P > 66,7$
2	Средний	$33,3 \leq P \leq 66,7$
3	Многоводный	$P < 33,3$
Более 30-ти лет		
1	Очень маловодный	$P > 90$
2	Маловодный	$75 \leq P \leq 90$
3	Средний	$25 \leq P \leq 75$
4	Многоводный	$10 \leq P \leq 25$
5	Очень многоводный	$P < 10$

Продолжительность и повторяемость одинаковых фаз водности оценивалась путем определения статистических характеристик годового стока  $Q_0$ ,  $C_v$ ,  $C_s$  [53, 38].

Коэффициент асимметрии  $C_s$  и коэффициент вариации  $C_v$  определялись путем построения и использования кривой обеспеченности годового стока.

В условиях изменения глобального климата сток р. Иле за последние десятилетия (с 1987 по 2013 гг.) увеличился в связи с повышением увлажнения горных склонов и поступлением воды за счет деградации горного оледенения под влиянием повышения температуры воздуха. В этот период в верхней части бассейна рассматриваемой реки в пределах КНР осуществлялось значительное гидротехническое строительство с целью регулирования стока и его использования в основном для целей орошения. Это привело к существенному изменению внутригодового распределения стока реки. Эти изменения были впервые обнаружены гидрологами отдела гидрологических прогнозов РГП «Казгидромет» при оценке оправдываемости прогноза притока воды в водохранилище Капшагайской ГЭС.

Для оценки изменения внутригодового распределения стока р. Иле нами были использованы данные наблюдений за 2003–2013 гг. по гидрометрическому створу с. Ямату, расположенному на территории КНР.

Анализ изменения годового стока р. Иле – с. Ямату производился путем сопоставления восстановленного естественного стока и бытового (наблюденного) стока этой реки (таблица 3.12). Восстановление естественного стока р. Иле у с. Ямату за 2003-2013 гг. (графа 2) производилось в зависимости от суммарного стока пяти рек (Каратал, Коксу, Шарын, Шилик, Тентек) за 1954–1986 гг. по зависимости:

$$Q_{Иля} = 1,78 \cdot Q_{\Sigma 5} + 37,6, \quad (3.11)$$

где  $Q_{Иля}$  – восстановленный естественный сток р. Иле в створе с. Ямату;  $Q_{\Sigma 5}$  – суммарный сток пяти рек (Каратал, Коксу, Шарын, Шилик, Тентек)

Таблица 3.12 – Сведения о восстановлении и изменении естественного стока р. Иле – с. Ямату за 2003-2013 годы

Год	р. Иле – с. Ямату (восстановлен.) ествен. сток, м <sup>3</sup> /с	Водность года	р. Иле – с. Ямату бытовой (наблюденный) сток, м <sup>3</sup> /с	Разность, м <sup>3</sup> /с
1	2	3	4	5
2003	488	Очень многоводный	436	-52.0
2004	447	Многоводный	364	-83.0
2005	443	Многоводный	374	-69.0
2006	411	Многоводный	399	-12.0

Год	р. Иле – с. Ямату (восстановлен.) ествен. сток, м <sup>3</sup> /с	Водность года	р. Иле – с. Ямату бытовой (наблюденный) сток, м <sup>3</sup> /с	Разность, м <sup>3</sup> /с
2007	419	Многоводный	383	-36.0
2008	397	Сред. по водности	302	-95.0
2009	454	Многоводный	360	-94.0
2010	661	Очень многоводный	521	-140
2011	502	Очень многоводный	468	-34.0
2012	419	Многоводный	329	-90
2013	477	Многоводный	303	-174

Данные, приведенные в таблице 3.12, показывают, что за рассматриваемые 11 лет наблюдались 3 года очень многоводные, 7 лет – многоводных и один год был средним по водности. Анализ изменения внутригодового распределения стока в процессе водопотребления на территории КНР производился путем сопоставления восстановленного естественного месячного, квартального и годового стока этой реки и наблюдаемого бытового стока за 2003–2013 гг. Сопоставление изменений в многоводные годы производилось по данным осредненным за 2004–2007 и 2009 гг.

Результаты анализа изменения внутригодового распределения стока в многоводные годы приведены в таблице 3.13 и представлены на рисунке 3.18.

Таблица 3.13 – Анализ изменения внутригодового распределения стока р. Иле – с. Ямату в многоводные годы (2004–2007 и 2009, 2012, 2013 гг.) по кварталам

Наименование стока	Размерность	Квартальный сток				Годовой сток
		1	2	3	4	
Естественный сток	м <sup>3</sup> /с	228	513	710	288	435
	%	13,1	29,5	40,8	16,5	100
Наблюденный (бытовой) сток	м <sup>3</sup> /с	212	461	571	260	376
	%	12,2	26,5	32,8	14,9	86,5
Разность	м <sup>3</sup> /с	-16,1	-51,9	-140	-27,8	-58,9
	%	0,9	3,0	8,0	1,6	13,5

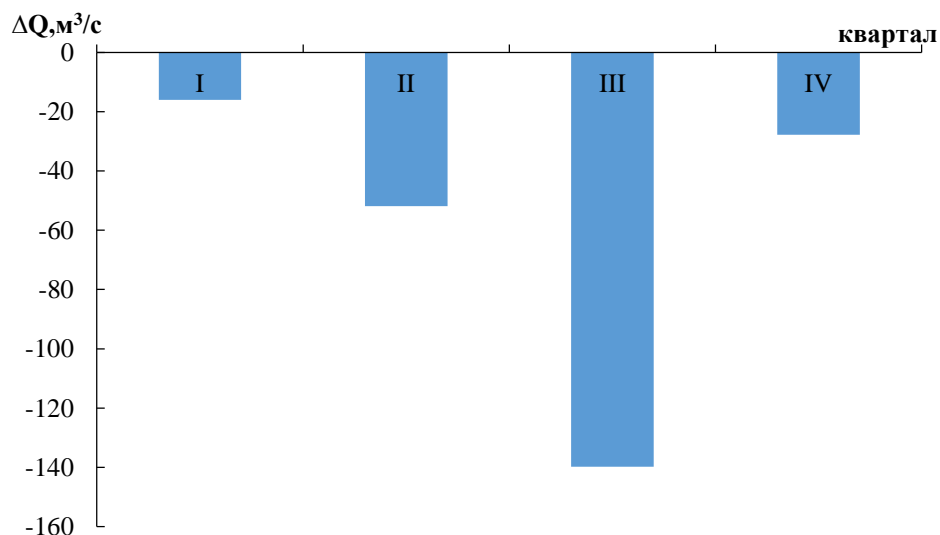


Рис. 3.18. Сокращение стока р. Иле в пределах КНР в многоводные годы, м<sup>3</sup>/с

Данные, приведенные в таблице 3.13, и на рисунке 3.18 показывают, что при использовании стока р. Иле в КНР в многоводные годы сток в основном уменьшился во втором квартале на 51,9 м<sup>3</sup>/с или 3 % и в третьем квартале на 140 м<sup>3</sup>/с или 8 %. В первом и четвертом квартале сток изменился незначительно. В первом квартале уменьшился на 16,1 м<sup>3</sup>/с или 0,9 %, а в четвертом квартале – на 27,8 м<sup>3</sup>/с или 1,6 %.

В таблице 3.14 приведены результаты анализа изменения внутригодового распределения стока в средний по водности 2008 год.

Таблица 3.14 – Анализ изменения внутригодового распределения стока р. Иле – с. Ямату в средний по водности 2008 год по кварталам.

Наименование стока	Размерность	Квартальный сток				Годовой сток
		1	2	3	4	
Естественный сток	м <sup>3</sup> /с	182	517	657	228	396
	%	11.5	32.6	41.4	14.4	100
Наблюденный (бытовой) сток	м <sup>3</sup> /с	310	393	297	206	302
	%	19.6	24.8	18.7	13.0	76.1
Разность	м <sup>3</sup> /с	128	-124	-360	-22.4	-94.6
	%	8.1	7.8	22.7	1.4	23.8

Данные, приведенные в таблице 3.18 и на рисунке 3.19, показывают, что при использовании стока р. Иле на территории КНР в среднем по водности 2008 году сток уменьшился во втором квартале (7,8 %) и в третьем квартале (22,7 %). В



первом квартале сток увеличился на 8,1 %. Сток в четвертом квартале изменился незначительно, уменьшился на 1,4 %.

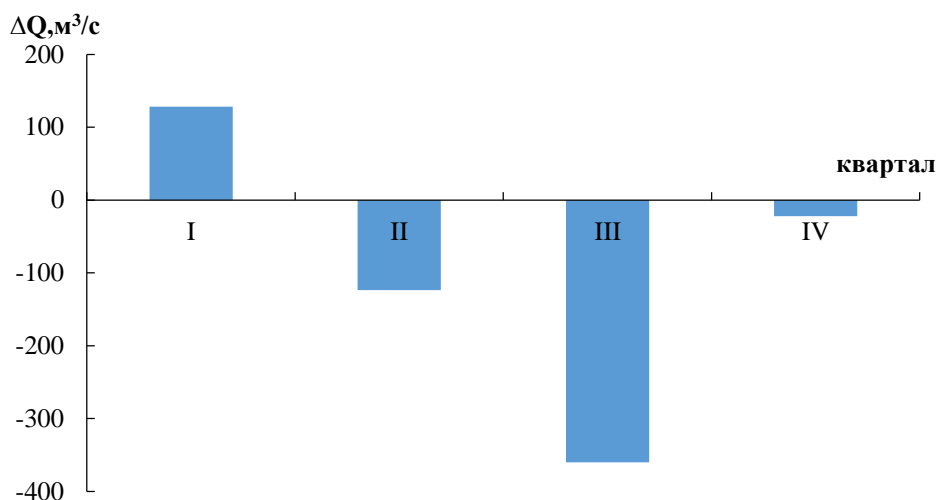


Рис. 3.19. Сокращение стока р. Иле в пределах КНР в средние по водности годы, м<sup>3</sup>/с

В таблице 3.19 приведены результаты анализа изменения внутригодового распределения стока в очень многоводные 2003, 2010, 2011 годы.

Таблица 3.15 – Анализ изменения внутригодового распределения стока р. Иле – с. Ямату в очень многоводные 2003, 2010, 2011 годы по кварталам

Наименование стока	Размерность	Квартальный сток				Годовой сток
		1	2	3	4	
Естественный сток	м <sup>3</sup> /с	196	731	988	282	549
	%	8,9	33,2	44,9	12,8	99,8
Наблюденный (бытовой) сток	м <sup>3</sup> /с	312	696	715	378	525
	%	14,2	31,6	32,5	17,2	95,4
Разность	м <sup>3</sup> /с	116	-35,3	-274	96,4	-24,1
	%	5,3	1,6	12,4	4,4	4,4

Данные, приведенные в таблице 3.15 и на рисунке 3.20, показывают, что при использовании стока р. Иле в пределах территории КНР в очень многоводные годы сток в основном значительно уменьшился в третьем квартале (12,4 %). В первом и четвертом кварталах сток увеличился; в первом квартале на 5,3 %, а в четвертом квартале на 4,4 %.

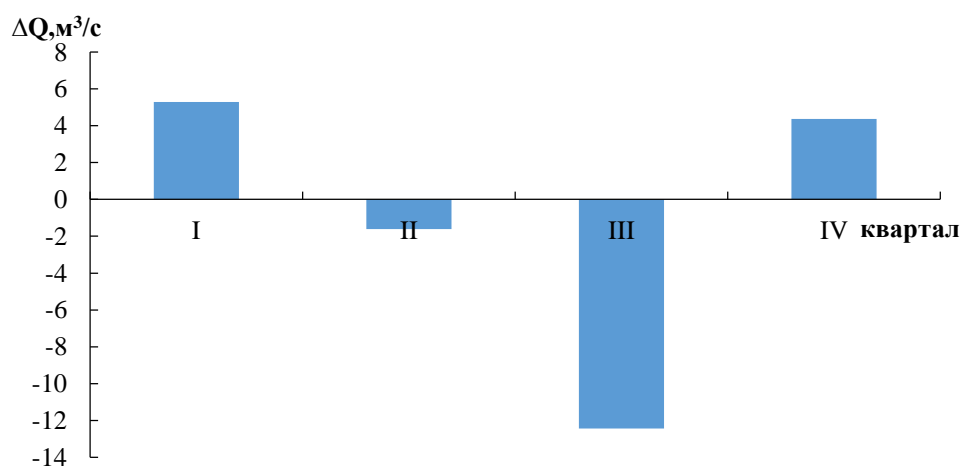


Рис. 3.20. Сокращение стока р. Иле в пределах КНР в очень многоводные годы,  $\text{m}^3/\text{с}$

Проведенные исследования показывают, что использование стока р. Иле в верхней части ее бассейна на территории КНР, в основном, осуществляется во втором и третьем кварталах [54].

Больше всего негативное воздействие сказывается в средние по водности годы, когда сокращение стока в третьем квартале составляет порядка 23 %.

### 3.4 Расчет ресурсов речного стока рек Северного склона Жетысуского Алатау, впадающих в восточную часть озера Балкаш

#### 3.4.1 Восстановление пропусков в рядах наблюдений

Сведения о стоке рассматриваемых рек изложены в работе [1]. В настоящее время, в связи с изменением стока под влиянием естественных и антропогенных изменений климата [55], возникла необходимость оценки стока рек по данным наблюдений до 2013 года. Для рассматриваемых рек использовался ряд наблюдений длительностью 82 года, с 1932 по 2013 гг.

Сведения, приведенные в опубликованных материалах, зачастую не в полной мере отражают действительные значения основных гидрологических характеристик рек. Так, например, отсутствие среднемесячных и среднегодовых расходов воды по водотокам объясняется пропусками в сведениях об измеренных расходах воды на гидрологических постах. Сток не приведен из-за низкого качества материалов или отсутствия наблюдений на постах.

Поэтому возникла необходимость в восстановлении расходов воды рек исследуемого района, по методике определения нормы стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений с использованием рек аналогов по уравнениям регрессии [56]. Для этого строился график связи, и выводилось уравнение, по которому и производилось восстановление среднегодовых расходов воды. Связь считается удовлетворительной и приемлемой для практических расчетов, если отклонения большей части точек не превышают 15 % и коэффициент корреляции равен  $r \geq 0,7-0,8$  [56]. На рисунках 3.21– 3.23 представлены графики связи годового стока рек. В таблице 3.16 приведена информация о восстановлении среднемесячных и среднегодовых расходов воды.

По всем рекам исследуемого района были собраны и восстановлены данные среднегодовых значений стока длительностью 82 года за период с 1932 по 2013 гг.

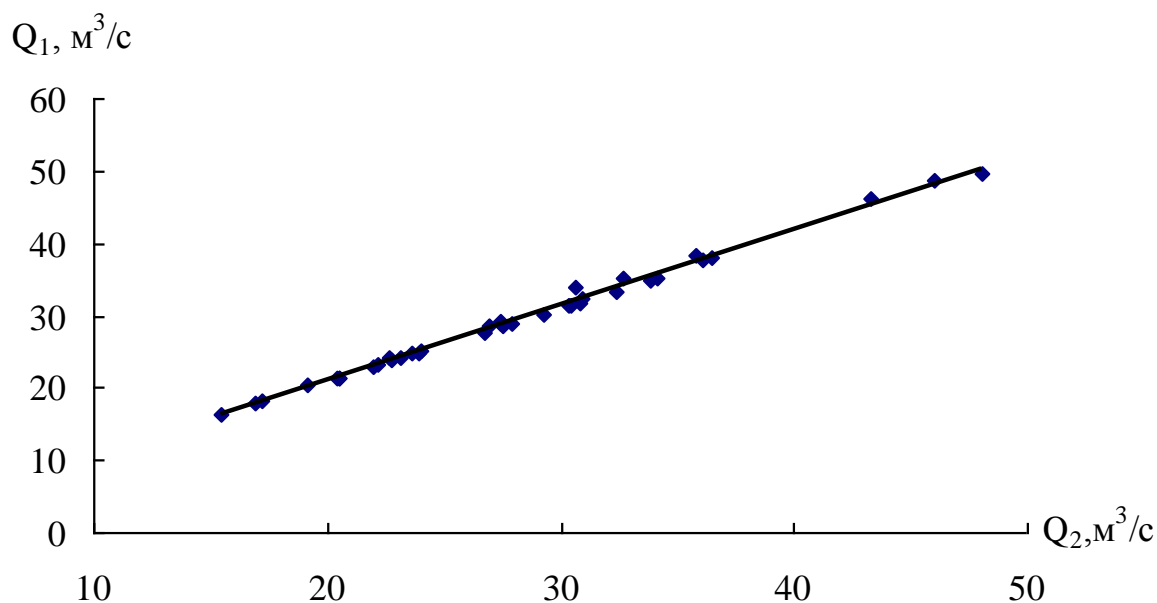


Рис. 3.21. График связи годового стока р. Каратал – с. Каратал (с. Каратал) ( $Q_1$ ) и суммы рек Кора, Шыжын и Текели ( $Q_2$ ).

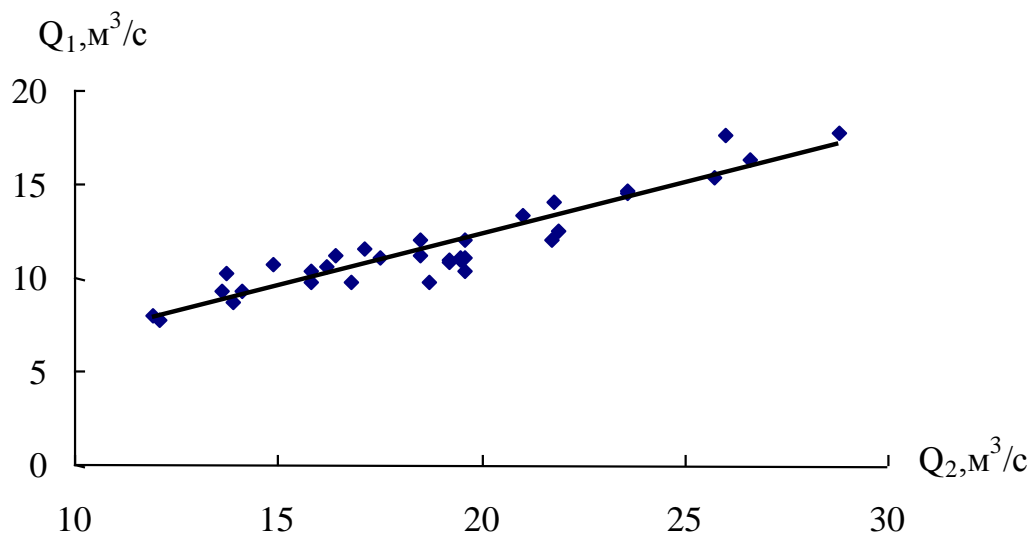


Рис. 3.22. График связи годового стока р. Аксу – с. Жансугиров ( $Q_1$ ) и р. Лепси – г. Лепси ( $Q_2$ ).

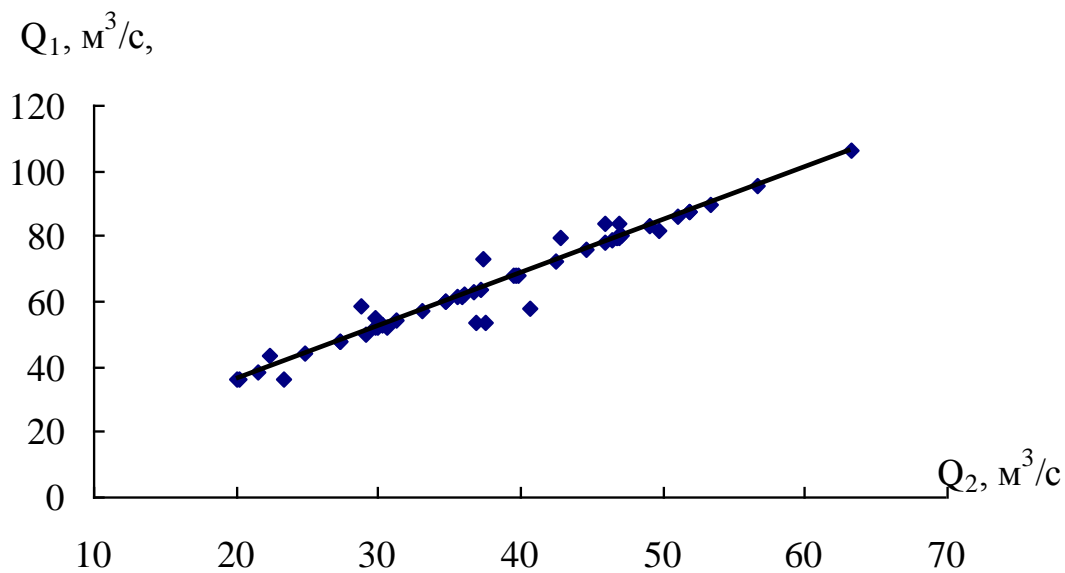


Рис. 3.23. График связи годового стока р. Коксу – с. Кукреу ( $Q_1$ ) и р. Коксу – с. Коксу ( $Q_2$ ).

Таблица 3.16 – Сведения о восстановлении среднегодового стока [57]

Река – пункт	Река – аналог	Уравнение зависимости	r	Период расчета уравнения, гг.	Число лет	Исключенные годы	Восстановленные годы
р. Каратал – с. Каратал	Сумма 3-х рек Кора, Шыжын, Текели	$Q_1 = 1,05 \cdot Q_2 + 0,03$	1,0	1959–2008	51	1959	1997–2013
р. Каратал – ст. Уштобе	р. Каратал – с. Наймансуек	$Q_1 = 1,03 \cdot Q_2 - 4,2$	0,98	1965–1980	16	–	1940–1964
		$Q_1 = 1,07 \cdot Q_2 - 11,5$	0,99	1981–1990	11	–	1991–2013
р. Аксу – с. Жансугиров	р. Лепси – г. Лепси	$Q_1 = 0,56 \cdot Q_2 + 1,22$	0,94	1932–1968	38	1933, 1960, 1963	1987–2013
р. Коксу – с. Кукреу	р. Коксу – с. Коксу	$Q_1 = 1,62 \cdot Q_2 + 3,7$	0,98	1955–2005	52	–	1969–2013
р. Лепси – аул Толебаев (подх. Лепси)	р. Лепси – г. Лепси	$Q_1 = 1,92 \cdot Q_2 - 14,4$	0,86	1934–2001	69	–	2002–2013

### 3.4.2 Определение статистических характеристик стока рек исследуемого района

Одной из основных задач определения ежегодных значений стока рек является установление расчетных параметров: среднего годового стока, коэффициента вариации и асимметрии. Среднее многолетнее значение стока – норма стока – это основная характеристика водных ресурсов рек.

Разностные интегральные кривые необходимы для выявления циклов колебания годового стока. Эти кривые удобны для выбора репрезентативного расчетного периода из длинного ряда наблюдений. Также с их помощью можно оценить положение имеющегося сравнительно короткого ряда наблюдений одной реки, относительно циклов изменения водности в течение длительного многолетнего периода другой реки. При выборе расчетного периода для определения  $Q_0$ ,  $C_v$  и  $C_s$  использовались разностные интегральные кривые в пунктах с наиболее продолжительными наблюдениями.

На рисунках 3.24–3.27 приведены разностные интегральные кривые среднегодовых расходов воды, построенные по основным пунктам, показывающие ход во времени накопленной разности  $\sum(k_i - 1)$ . Фаза подъема кривой означает многоводный период (сток выборочного среднего), фаза спада – маловодный (ниже среднего), а точка перегиба – граница этих периодов.

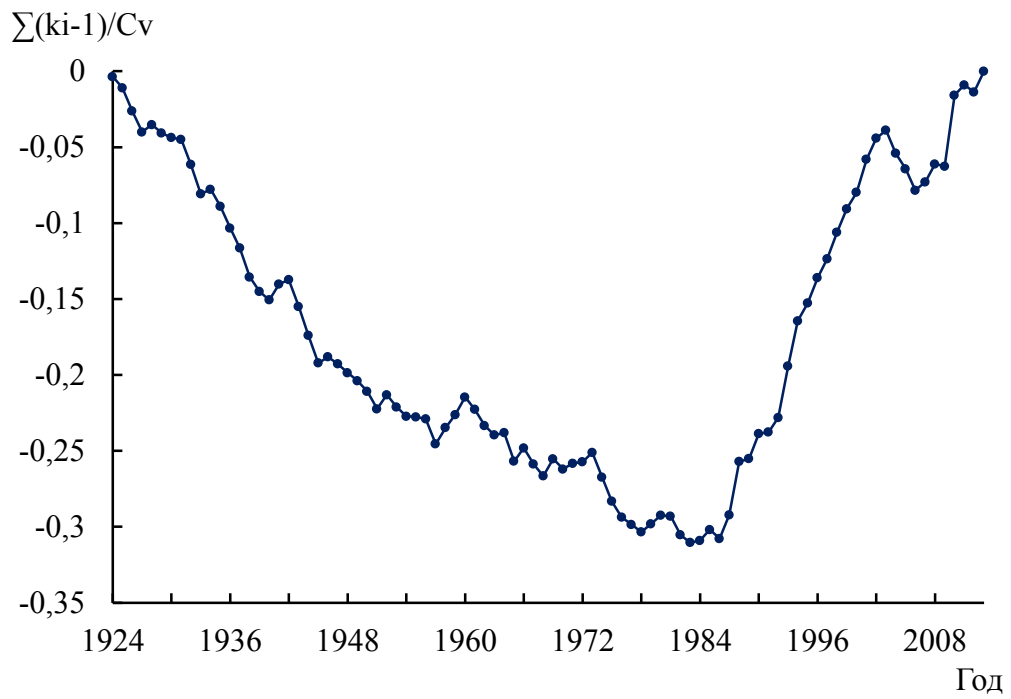


Рис. 3.24. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Каратал – с. Каратал.

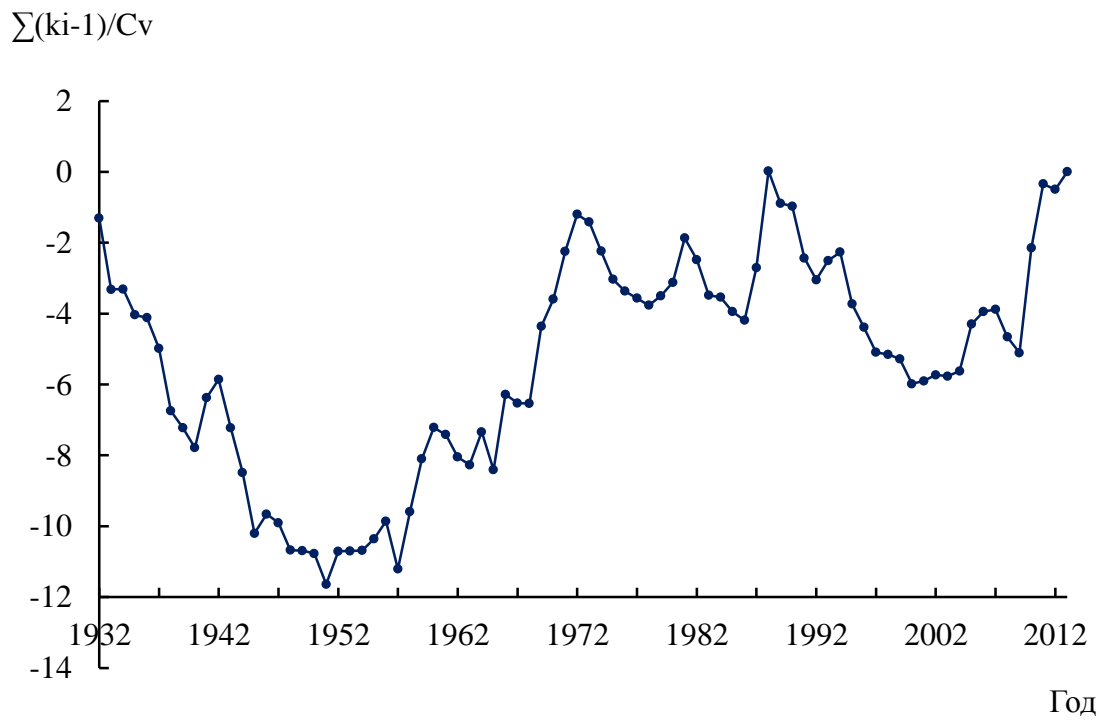


Рис. 3.25. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Лепси – г. Лепси.

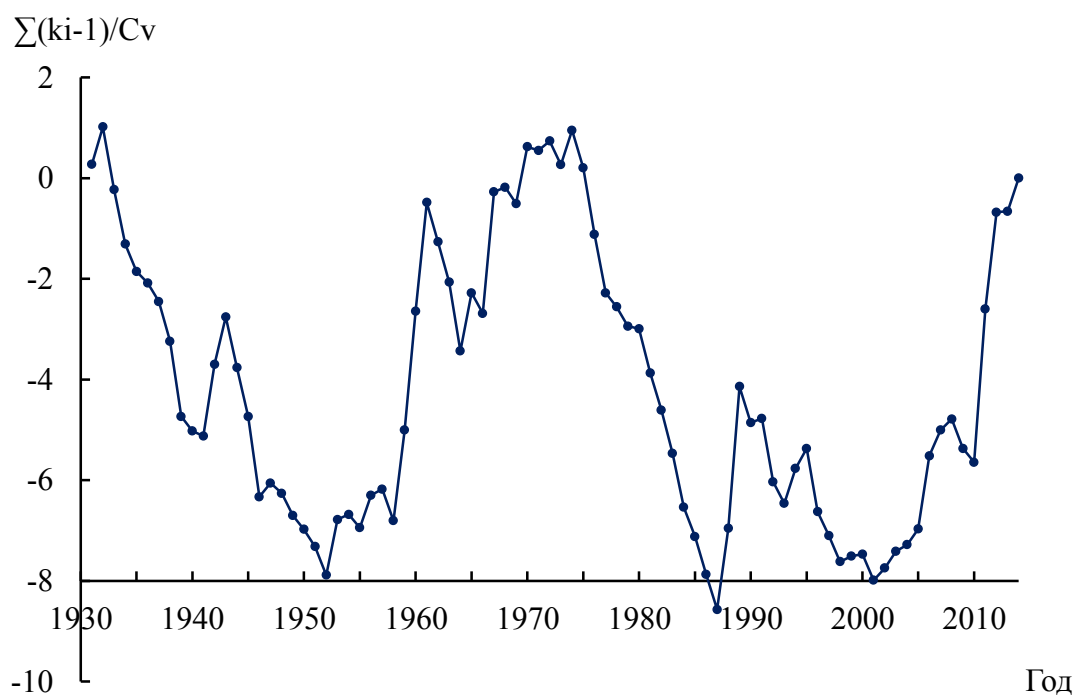


Рис. 3. 26. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Аксу – с. Жансугиров.

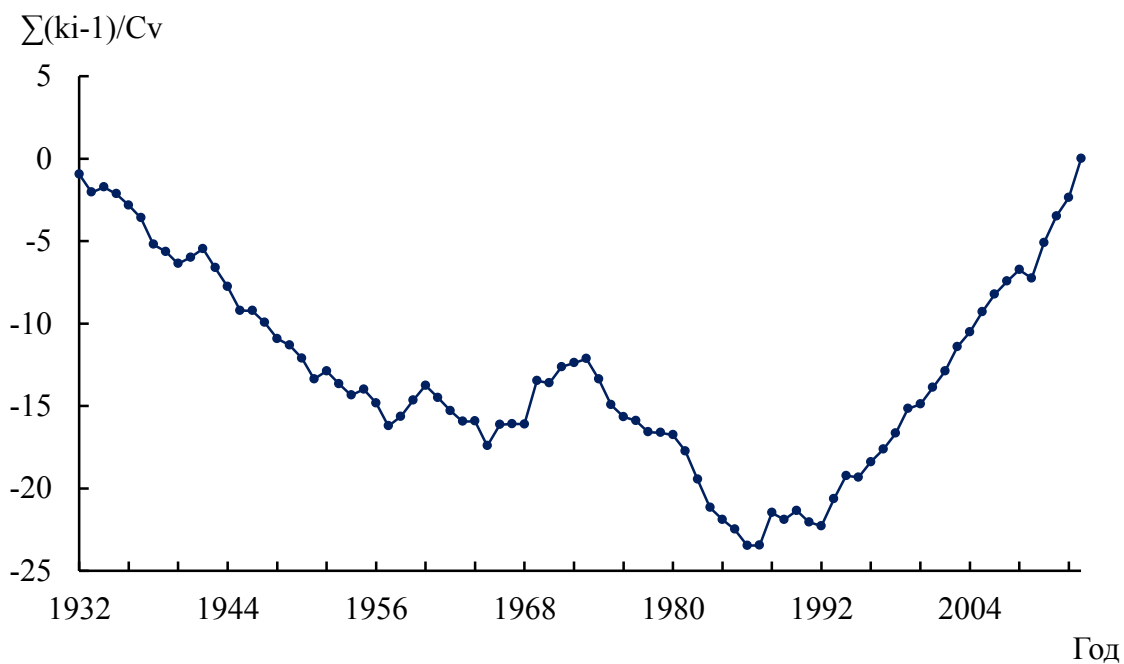
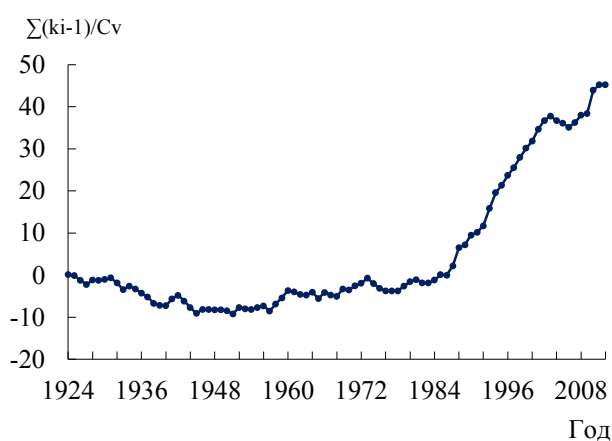


Рис.3.27. Разностная интегральная кривая расходов воды р. Коксу – с. Коксу.

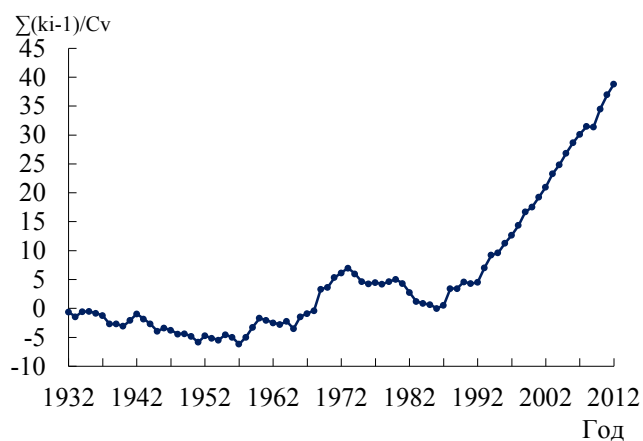
Анализ разностных интегральных кривых за период с 1932 по 2013 гг. (рис. 3.24–3.27) показал, что сток исследуемых рек начал увеличиваться с середины 80-х годов 20-го века, в связи с природными и антропогенными изменениями климата, и деградацией горного оледенения [58, 59].



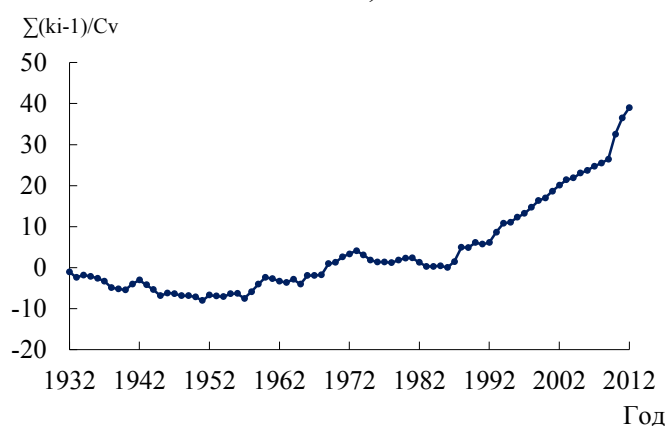
Более наглядно это видно на разностных интегральных кривых (рис. 3.28), где основные характеристики приняты за период 1932–1986 гг., который, как мы видим, является однородным. На этих кривых, начиная с 1987 года, однородность рассматриваемого ряда существенно нарушается. В качестве нормы стока необходимо выбирать однородный период, поэтому в нашем случае, за период наблюдений 1932–2013 гг. в качестве нормы был принят период 1932–1986 гг. Этот период характеризует изменение стока в 20-м веке до начала существенного влияния климата на ресурсы поверхностных вод рассматриваемого региона. Характер изменения стока за этот период указывает, что его увеличение за счет деградации горного оледенения еще не происходило.



а)



б)



в)

Рис. 3.28. Разностные интегральные кривые расходов воды (характеристики взяты за период 1932–1986 гг.): а) р. Каратал – с. Каратал; б) р. Коксу – с. Коксу; в) суммы 4-х рек Каратал, Коксу, Лепси и Аксу на выходе из гор.

Оценка увеличения стока в период 1987–2013 гг. за счет увеличения увлажнения и деградации горного оледенения может быть произведена путем сопоставления стока рек с различной долей оледенения горных бассейнов (в км<sup>2</sup> и в %) (таблицы 3.17, 3.18).

Таблица 3.17 – Характеристики стока рек Каратал, Коксу и Шыжын

Река–Пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Площадь оледенения		Сток, м <sup>3</sup> /с			Повышение стока	
		км <sup>2</sup>	%	1932–2013	1932–1986	1987–2013	м <sup>3</sup> /с	%
р. Каратал – п. Каратал	1160	76,7	6,6	28,2	25,0	34,9	9,9	39,6
р. Коксу – с. Коксу	1590	124	7,8	36,8	32,9	45,1	12,2	37,1
р. Шыжын – г. Текели	682	11,6	1,7	11,9	11,2	13,1	1,9	17,0

Таблица 3.18 – Оценка превышения стока рек Каратал, Коксу и Шыжын за счет увеличения увлажнения и деградации горного оледенения

Река-Пункт	Повышение стока		Повышение стока за счет увеличения увлажнения		Повышение стока за счет деградации горного оледенения		
	м <sup>3</sup> /с	%	%	за год, м <sup>3</sup> /с	%	за год, м <sup>3</sup> /с	за период 1987–2013 гг. км <sup>3</sup>
р. Каратал – п. Каратал	99	396	13,0	4,25	26,6	6,66	5,46
р. Коксу – с. Коксу	122	371	14,9	5,59	22,2	7,29	5,98
р. Шыжын – г. Текели	19	170	13,0	1,45	4,0	0,45	0,37

Сравнение данных наблюдения за стоком реки Шыжын, бассейн которой характеризуется незначительным оледенением (1,7 %), и реки Коксу, бассейн которой характеризуется значительным количеством ледников (7,8 %), показывает, что увеличение стока за период 1987–2013 гг. по реке Коксу составило 12,2 м<sup>3</sup>/с (т.е. на 37,1 % больше, чем за период с 1932 по 1986 гг.), а по реке Шыжын – 1,9 м<sup>3</sup>/с (на 17,0 %). Также было произведено сравнение стока реки Каратал и реки Шыжын. За период 1987–2013 гг. сток реки Каратал увеличился на 9,9 м<sup>3</sup>/с (на 39,6 %). Это значительное увеличение

стока рек Коксу и Каратал, по сравнению с увеличением стока реки Шыжын, мы полагаем, в основном произошло за счет поступления дополнительного количества воды в результате деградации горного оледенения в бассейнах данных рек (таблицы 3.17, 3.18) [60].

В таблице 3.22 приведены характеристики оледенения в бассейнах рек Каратал, Коксу и Шыжын и превышения стока этих рек за период 1987–2013 гг. по сравнению с периодом 1932–1986 гг. Это превышение оказалось более значительным для рек, бассейны которых характеризуются большим горным оледенением, по сравнению с бассейном реки Шыжын, оледенение которого сравнительно невелико. Поэтому, в первом приближении, для оценки превышения стока рек за период 1987–2013 гг., по сравнению с предыдущим периодом 1932–1986 гг., может быть принято такое же соотношение, как и для реки Шыжын. В этом случае, превышение стока рек Коксу и Каратал за указанные периоды за счет деградации горного оледенения может быть определено как разность общего превышения и превышения стока за счет увеличения увлажнения, принятого по аналогии с бассейном реки Шыжын. Для бассейна реки Каратал  $6,66 \text{ м}^3/\text{с}$  в год, а для реки Коксу –  $7,29 \text{ м}^3/\text{с}$  в год.

За период 1987–2013 гг. объем поступления стока за счет деградации горного оледенения составил  $5,46 \text{ км}^3$  по реке Коксу и  $5,98 \text{ км}^3$  по реке Каратал.

В работе [61] показано, что деградация горного оледенения в бассейне реки Каратал наблюдалась, по крайней мере, начиная с 1956 года. По данным, приведенным в этой работе, объем ледникового стока за период с 1956 по 2000 год по реке Каратал составил  $112 \text{ млн.м}^3$ , а по реке Коксу –  $155 \text{ млн.м}^3$ . Однако, до середины 80-х годов прошлого века поступление воды за счет деградации горного оледенения в рассматриваемые реки, по-видимому, не осуществлялось. Оно стало заметным только в период 1987–2013 гг. Такое запаздывание поступления воды от деградации горного оледенения в реки, по-видимому, было обусловлено формированием и начальным заполнением водой новых регулирующих емкостей ледниково-моренного комплекса не

только в нижней части горного оледенения, но и в пределах высотных зон, расположенных выше, вплоть до гребней горных систем.

В соответствии с законом сохранения массы, дополнительное количество воды за счет деградации горного оледенения все-таки должно поступить в речную сеть и увеличить сток рек. Если полагать, что объем стока, поступивший в указанные реки за период 1987–2013 гг., в основном сформировался во второй половине 20-го века (1956–2000 гг.), то величина стока за указанный период для реки Каратал окажется равной 101 млн. м<sup>3</sup>, т.е. несколько меньше, чем ледниковый сток за тот же период, равный 112 млн.м<sup>3</sup> [61], а для реки Коксу – 90 млн. м<sup>3</sup>, так же несколько меньше, чем ледниковый сток за тот же период, равный 155 млн. м<sup>3</sup>.

Результаты проведенного анализа указывают на возможность его использования для оценки изменения стока в процессе деградации горного оледенения в речных бассейнах.

На рисунках 3.29–3.32 представлены кривые обеспеченности расходов воды основных рек северного склона Жетысуского Алатау. С помощью данных кривых обеспеченностей определялись расходы воды различной обеспеченности. Основные параметры годового стока рек северного склона Жетысуского Алатау на выходе из гор и при впадении в озеро Балкаш приведены в таблице 3.19.

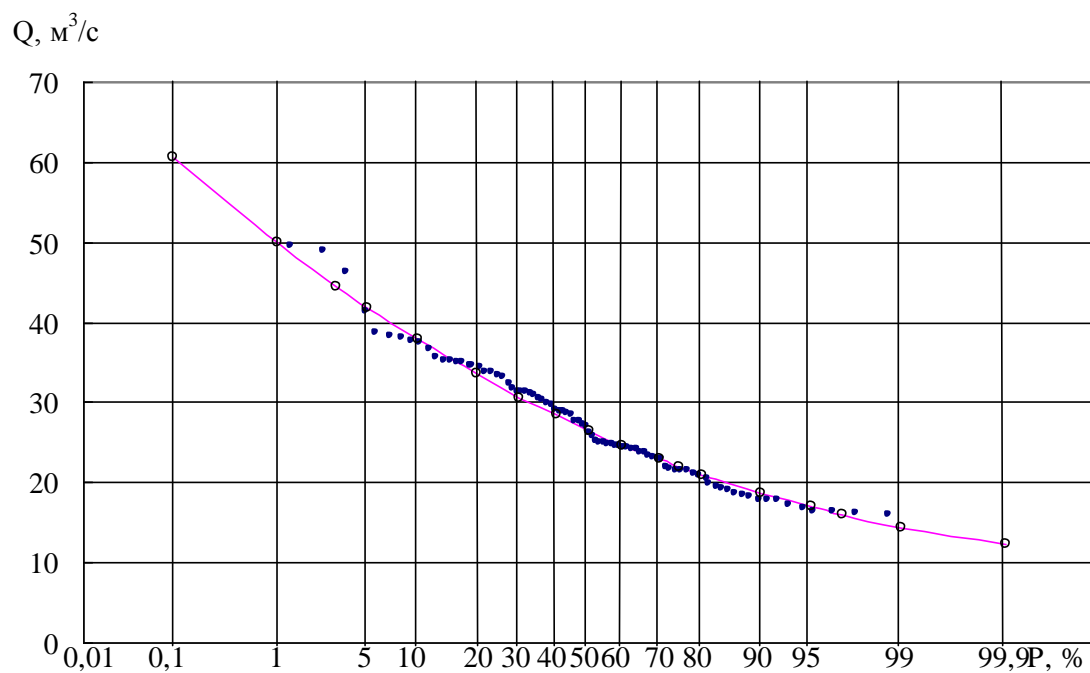


Рис. 3.29. Кривая обеспеченности расходов воды р. Каратал – с. Каратал.

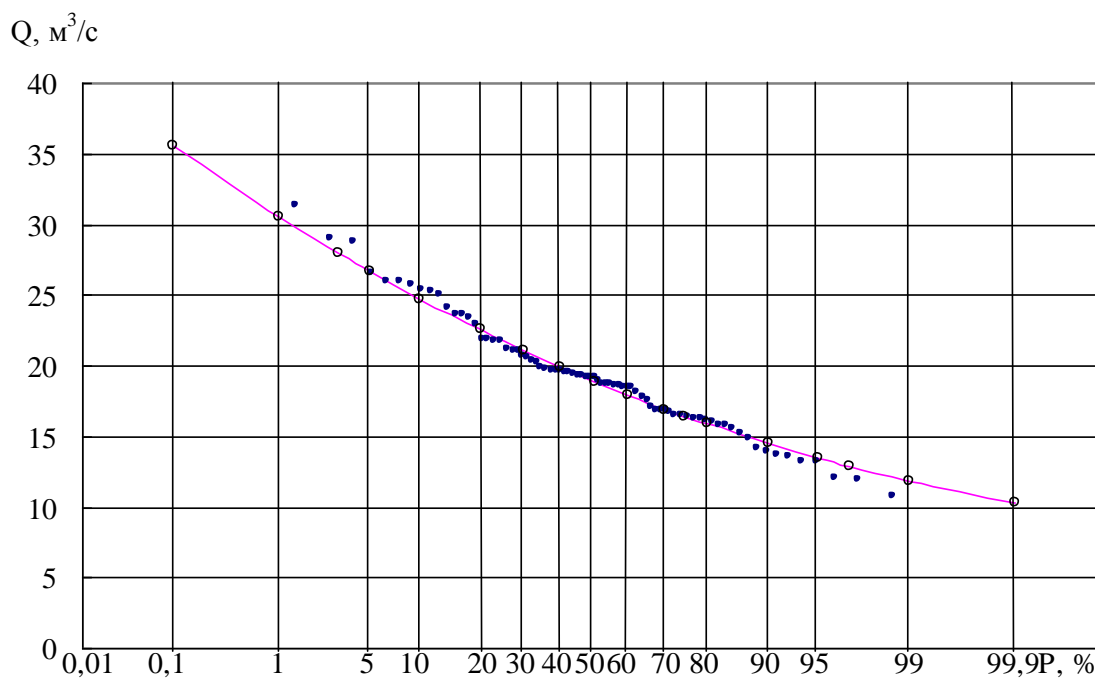


Рис. 3.30. Кривая обеспеченности расходов воды р. Лепси – аул Лепси

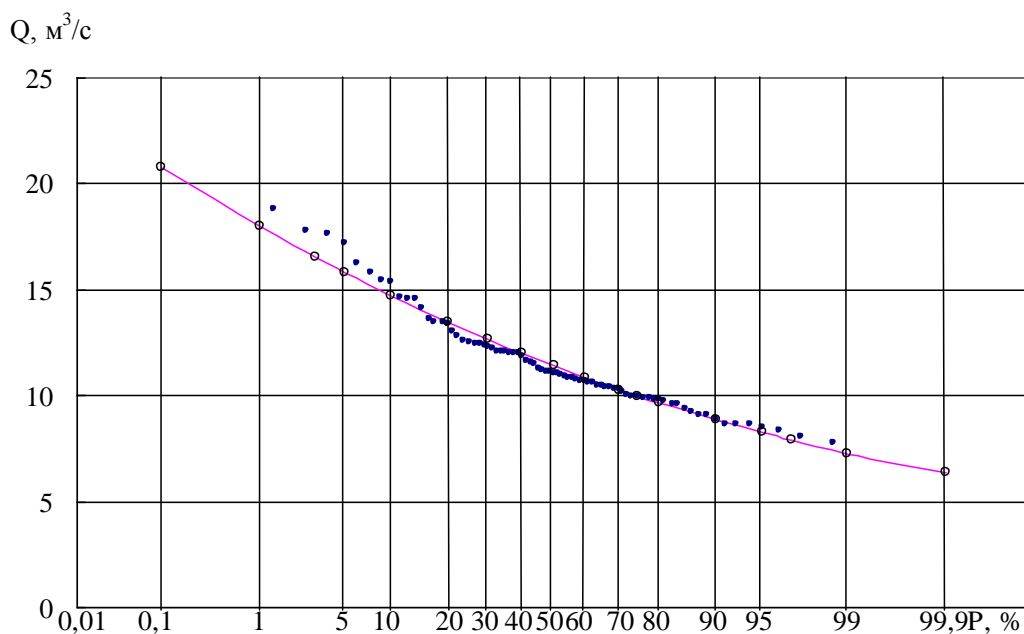


Рис. 3.31 – Кривая обеспеченности расходов воды р. Аксу – с. Жансугиров

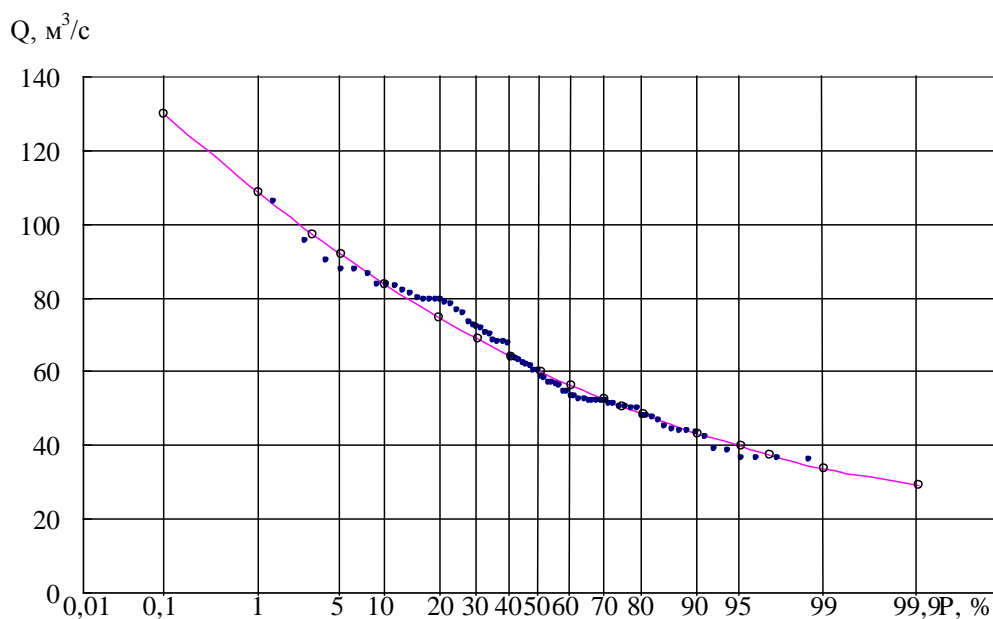


Рис. 3.32. Кривая обеспеченности расходов воды р. Коксу – с. Коксу.

Таблица 3.19 – Средние многолетние характеристики стока реки Каратал – с. Каратал

Река-Пункт	Q, м³/с	W, млн.м³	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Расходы воды различной обеспеченности, м³/с						
					5 %	10 %	20 %	50 %	75 %	90%	95 %
На выходе из гор											
р. Каратал–с.Каратал	1932–1986 гг.										
	25	789	0,23	0,69	35,5	32,7	29,6	24,3	20,9	18,2	16,8
	1987–2013 гг.										
	34,9	1100	0,26	0,78	51,6	47,1	42,0	33,8	28,3	24,3	22,3

Река-Пункт	Q, м <sup>3</sup> /с	W, млн.м <sup>3</sup>	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Расходы воды различной обеспеченности, м <sup>3</sup> /с						
					5 %	10 %	20 %	50 %	75 %	90%	95 %
р. Лепси – аул Лепси	19,2	606	0,21	0,63	1932–1986 гг.						
					26,5	24,6	22,5	18,8	16,3	14,4	13,4
р. Аксу – с. Жансугиров	20,2	638	0,24	0,72	1987–2013 гг.						
					29,0	26,6	24,0	19,6	16,7	14,5	13,3
р. Коксу – с. Кукреу	11,4	359	0,21	0,63	1932–1986 гг.						
					15,7	14,7	13,3	11,1	9,66	8,53	7,93
р. Коксу – с. Кукреу	12,5	395	0,22	0,66	1987–2013 гг.						
					17,5	16,2	14,7	12,2	10,5	9,25	8,56
р. Карагал – с. Наймансуек	32,9	1037	0,25	0,75	1932–1986 гг.						
					47,9	43,9	39,3	31,9	27	23,2	21,4
р. Лепси – аул Толебаев	45,1	1423	0,17	0,51	1987–2013 гг.						
					58,7	55,2	51,3	44,5	39,7	35,8	33,7
р. Карагал – с. Наймансуек	71,9	2269	0,33	0,89	При впадении в озеро 1932–1986 гг.						
					115	103	89,7	68	54,3	44,3	39,6
р. Лепси – аул Толебаев	77,4	2443	0,29	0,78	1987–2013 гг.						
					119	107	94,9	74,6	61,1	51,1	46,2
р. Коксу	22,2	701	0,44	1,1	1932–1986 гг.						
					40,7	35,3	29,4	20,4	15,0	11,5	9,70
р. Коксу	23,7	748	0,3	0,75	1987–2013 гг.						
					36,7	33,2	29,3	22,9	18,6	15,3	13,8
р. Коксу	12,5	395	0,35	0,88	1932–1986 гг.						
					20,6	18,3	15,9	11,8	9,28	7,43	6,58
р. Коксу	14,1	445	0,32	0,80	1987–2013 гг.						
					22,4	20,2	17,6	13,5	10,8	8,83	7,88

Результаты исследования показали, что период с 1987 по 2013 год отражает современное увеличение стока под влиянием повышенного увлажнения, и поступления воды за счет деградации горного оледенения. Полученные результаты могут быть использованы для оценки водного баланса озера Балкаш.

Разностные интегральные кривые (рис. 3.28) показывают, что, начиная со второй половины 80-х годов 20-го века, происходит повышение стока рек по выходе из гор. Средний годовой сток р. Карагал за 1987–2013 гг. по сравнению с предыдущим периодом (1932–1986 гг.) увеличился с 25,0 до 34,9 м<sup>3</sup>/с, т. е. на 9,90 м<sup>3</sup>/с или на 28 % (табл. 3.19). Одновременно с этим

происходило повышение потерь стока на участке от выхода из гор до впадения в озеро Балкаш. В результате этого, сток при впадении в озеро Балкаш за 1987–2013 гг. возрос на 8 % с 71,5 до 77,4 м<sup>3</sup>/с, т. е на 5,9 м<sup>3</sup>/с.

Средний годовой сток р. Лепси за 1987–2013 гг., по сравнению с 1932–1986 гг., возрос на 0,3 м<sup>3</sup>/с или на 1,5 %. Сток при впадении в озеро Балкаш увеличился на 1,5 м<sup>3</sup>/с или на 6 %.

Средний годовой сток р. Аксу за указанный период (1987–2013 гг.) повысился на 0,7 м<sup>3</sup>/с или на 6 %.

По выходе из гор суммарный сток рек Каратал, Аксу, Лепси, Коксу увеличился за период 1987–2013 гг. с 88,4 до 111 м<sup>3</sup>/с, т. е на 22,6 м<sup>3</sup>/с (26 %). При впадении в озеро Балкаш суммарный сток исследуемых рек изменился со 104 до 114 м<sup>3</sup>/с, т. е повысился на 10 м<sup>3</sup>/с (9,9 %) [62].

Сток возрастает не только за счет увеличения деградации горного оледенения, но и поступления воды от талых вод подземных льдов [63] и некотором повышении количества атмосферных осадков.

### 3.5 Оценка влияния водопотребления из реки Иле на территории КНР на водохозяйственную и экологическую системы озера Балкаш

Сокращение стока реки Иле, в верхней части ее бассейна на территории КНР, оказало существенное влияние на заполнение Капшагайского водохранилища и уровенный режим озера Балкаш.

#### 3.5.1 Оценка изменений уровня Капшагайского водохранилища в связи с увеличением водопотребления из реки Иле на территории Китайской Народной Республики

В первую очередь рассмотрим возможное изменение уровня Капшагайского водохранилища при отсутствии сокращения стока реки Иле.



Капшагайское водохранилище является одним из наиболее крупных искусственных водоемов Казахстана. Основным притоком в Капшагайское водохранилище является река Иле [1, 64].

Кроме р. Иле, в водохранилище впадают реки Шилик, Каскелен, Киши Алматы, Кутенсай, Саз-Талгар, Есик, Курузек, Карасу, Лавар, Терень-Кара, Актоган, ручьи Шадай и Шенгельды. Вклад боковых притоков в суммарный приток воды к водохранилищу не превышает 5 % [1].

Основным назначением Капшагайского водохранилища является многолетнее регулирование стока р. Иле с целью выработки гидроэлектроэнергии Капшагайской ГЭС. Вода, накопленная в водохранилище, используется для орошения сельскохозяйственных угодий Шенгельдинского массива, для водоснабжения г. Капшагай. Заполнение водохранилища началось в мае 1970 г., но проектных отметок не достигло, т.к. проектный уровень 485.00 м был признан завышенным [65].

В дальнейшем, постановлением правительства № 423 от 12.05.1992 г. «О мерах по решению экологических проблем Или-Балхашского бассейна» для Капшагайского водохранилища установлен уровень нормального подпертого горизонта 479.00 м (таблица 3.20) [65].

Таблица 3.20 – Новые проектные характеристики Капшагайского водохранилища

Наименование проектной характеристики	Значение проектной характеристики
Уровень нормального подпертого горизонта (НПГ), м	479,00
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	1370
Полный объем воды, км <sup>3</sup>	18,45

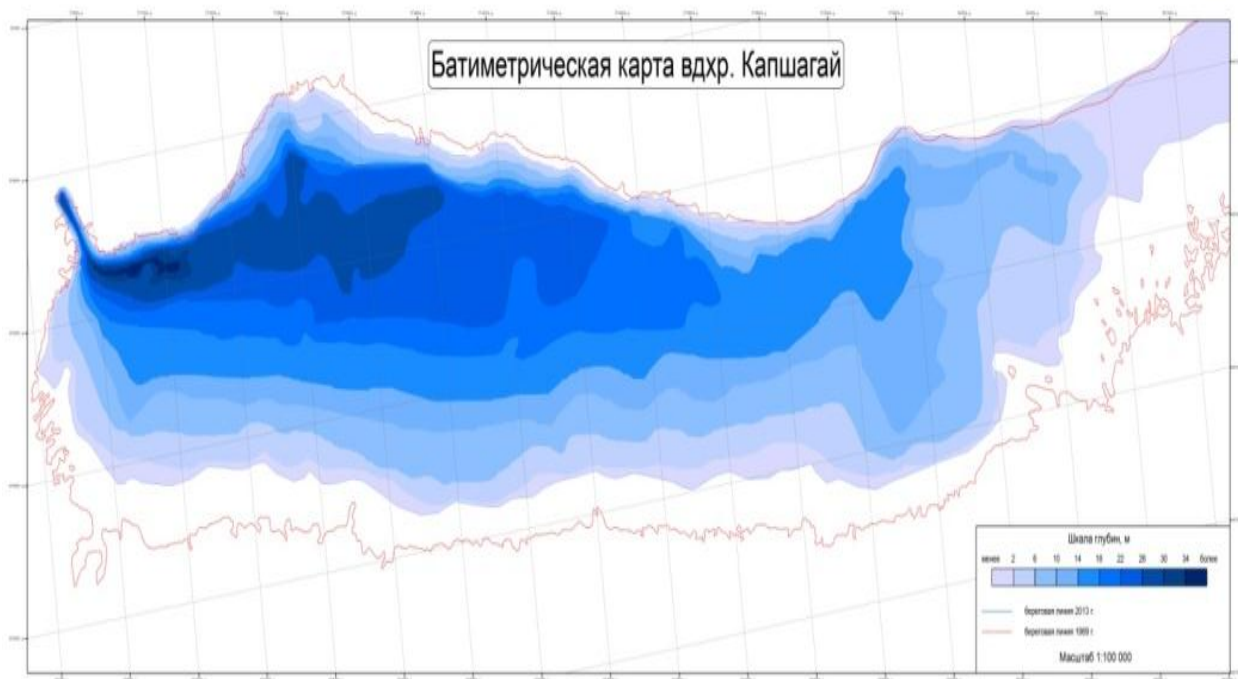


Рис. 3.33. Батиметрическая карта Капшагайского водохранилища при уровне наполнения 477 м. абс. (ноябрь 2013 г) и проектные очертания берега водохранилища (карта 1969 г.) [65].

На рис. 3.33 представлена батиметрическая карта Капшагайского водохранилища, построенная по результатам проведенных исследований учеными Института Географии РК [65].

Моделирование уровней Капшагайского водохранилища производилось на основе использования следующего уравнения его водного баланса:

$$W_n = (W_{n-1}) + W_{np.} - E - W_{сб.} - W_з, \quad (3.11)$$

где  $W_n$  – объем на конец года, млрд. м<sup>3</sup>;  $(W_{n-1})$  – объем на начало года, млрд. м<sup>3</sup>;  $W_{np.}$  – объем притока речных вод в водохранилище, млрд. м<sup>3</sup>;  $E$  – объем затрат воды на испарение минус осадки, млрд. м<sup>3</sup>;  $W_{сб.}$  – объем сброса воды через турбины водохранилища, млрд. м<sup>3</sup>;  $W_з$  – затраты воды на хозяйственные нужды, млрд. м<sup>3</sup>

Для определения объема и площади Капшагайского водохранилища на начало и на конец года, были построены прямые и обратные зависимости объема от уровня и площади от уровня (уравнения 3.12–3.15).

$$F = 0,5332 \cdot H + 7,53, \quad (3.12)$$

$$H = 1,8744 \cdot F - 1411, \quad (3.13)$$

где  $F$  – площадь Капшагайского водохранилища, км<sup>2</sup>;  $H$  – уровень воды Капшагайского водохранилища, см над 0 графика (отметка нуля графика 467.50 м. абс.).

$$W = 0,0108 \cdot H + 5,59, \quad (3.14)$$

$$H = 92,207 \cdot W - 513, \quad (3.15)$$

где  $W$  – Объем Капшагайского водохранилища, км<sup>3</sup>;  $H$  – уровень воды Капшагайского водохранилища, см над 0 графика.

Оценка возможного изменения уровня режима Капшагайского водохранилища производилась путем его моделирования при отсутствии сокращения стока в верхней части бассейна реки Иле за период с 1970 по 2013 гг. При моделировании использовалась оценка сокращения стока реки Иле в верхней части ее бассейна, которая производилась по данным наблюдений на посту р. Иле – с. Ямату (СУАР КНР, вблизи с границей Казахстана). При этом допускалось заполнение Капшагайского водохранилища до принятых в современных условиях предельных значений его уровня (1150 см над 0 гр.) и объема, равного 18,45 млрд.м<sup>3</sup> [48]. А излишки воды, добавлялись к бытовому сбросу воды из водохранилища Капшагайской ГЭС.

В таблице 3.21 приведены элементы водного баланса, характеризующие поступление воды в водохранилище Капшагайской ГЭС, а также изменение его уровня в наблюдавшихся бытовых и восстановленных естественных условиях.

Таблица 3.21 – Элементы водного баланса Капшагайского водохранилища

год	суммарный приток в Капшагайское вдхр.		сокращение стока на границе		дополнительный сброс из вдхр.		суммарный сброс из вдхр.		Фактический уровень на начало года, см над 0 гр.	Смоделир. ур. в условиях отсутствия водопотребл. в верхней части бассейна р. Иле, см над 0 гр.
	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>		
1970	525	16,6	0,00	0,00	0,00	0,00	321	10,1	272,00	272,00
1971	542	17,1	0,00	0,00	0,00	0,00	392	12,4	274,00	274,00
1972	459	14,5	0,00	0,00	0,00	0,00	339	10,7	277,20	277,20
1973	552	17,4	0,00	0,00	0,00	0,00	433	13,7	463,10	463,10
1974	378	11,9	0,00	0,00	0,00	0,00	377	11,9	741,10	741,10
1975	362	11,4	0,00	0,00	0,00	0,00	372	11,7	622,90	622,90
1976	394	12,4	0,00	0,00	0,00	0,00	359	11,3	605,30	605,30
1977	415	13,1	0,00	0,00	0,00	0,00	346	10,9	699,20	699,20
1978	411	13,0	0,00	0,00	0,00	0,00	332	10,5	672,70	672,70
1979	462	14,6	0,00	0,00	0,00	0,00	363	11,4	776,70	776,70
1980	513	16,2	0,00	0,00	0,00	0,00	421	13,3	904,60	904,60
1981	513	16,2	0,00	0,00	0,00	0,00	437	13,8	976,00	976,00
1982	419	13,2	0,00	0,00	0,00	0,00	394	12,4	944,10	944,10
1983	407	12,8	0,00	0,00	0,00	0,00	322	10,2	833,50	833,50
1984	390	12,3	0,00	0,00	0,00	0,00	337	10,6	833,20	833,20
1985	472	14,9	0,00	0,00	0,00	0,00	344	10,8	772,70	772,70
1986	424	13,4	0,00	0,00	0,00	0,00	333	10,5	868,90	868,90
1987	559	17,6	38,8	1,23	0,00	0,00	474	14,9	836,70	966,24
1988	717	22,6	101	3,20	69,7	2,20	626	19,7	884,00	1146,73
1989	438	13,8	58,2	1,84	110	3,48	590	18,6	1044,60	1146,73
1990	460	14,5	109	3,44	38,9	1,23	467	14,7	809,40	1146,73
1991	455	14,3	7,6	0,24	0,00	0,00	328	10,3	686,80	1081,20
1992	371	11,7	107	3,38	113	3,56	440	13,9	789,70	1146,73
1993	614	19,4	75,4	2,38	112	3,54	538	17,0	783,70	1146,73
1994	548	17,3	8,49	0,27	61,7	1,95	580	18,3	958,50	1146,73
1995	348	11,0	37,0	1,17	0,00	0,00	385	12,1	842,60	1142,31
1996	437	13,8	37,0	1,17	50,4	1,59	437	13,8	840,90	1146,73
1997	420	13,2	58,4	1,84	101	3,20	500	15,8	941,70	1146,73
1998	711	22,4	-125	-3,93	0,00	0,00	392	12,4	930,20	791,71
1999	691	21,8	59,7	1,88	0,00	0,00	660	20,8	1000,75	1128,39
2000	618	19,5	46,1	1,45	76,6	2,42	592	18,7	1071,30	1146,73
2001	658	20,7	27,1	0,86	20,3	0,64	527	16,6	1016,60	1146,73
2002	743	23,4	-53,3	-1,68	0,00	0,00	676	21,3	1012,40	1011,72
2003	676	21,3	36,6	1,15	0,00	0,00	590	18,6	991,30	1136,49
2004	556	17,5	70,2	2,22	62,5	1,97	622	19,6	1028,80	1146,73
2005	568	17,9	56,4	1,78	32,0	1,01	502	15,8	963,70	1146,73

год	суммарный приток в Капшагайское вдхр.		сокращение стока на границе		дополнительный сброс из вдхр.		суммарный сброс из вдхр.		Фактический уровень на начало года, см над 0 гр.	Смоделир. ур. в условиях отсутствия водопотребл. в верхней части бассейна р. Иле, см над 0 гр.
	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup>		
2006	633	20,0	1,39	0,04	8,15	0,26	510	16,1	1001,10	1146,73
2007	579	18,3	24,4	0,77	8,13	0,26	524	16,5	1007,00	1146,73
2008	365	11,5	95,7	3,02	59,0	1,86	483	15,2	1029,90	1146,73
2009	491	15,5	78,3	2,47	21,0	0,66	417	13,2	913,60	1146,73
2010	813	25,7	116	3,67	68,0	2,15	786	24,8	1018,70	1146,73
2011	633	20,0	22,2	0,70	47,9	1,51	624	19,7	1086,30	1146,73
2012	471	14,8	89,7	2,83	100	3,16	536	16,9	1085,60	1146,73
2013	482	15,9	173,8	5,49	135	4,20	409	13,03	1087,60	1146,73
среднее	516	16,3	50,3	1,59	44,6	1,41	466	14,7		
сумма	22209	700	1308	41,3	1161	36,6	20030	632		

Данные, приведенные в этой таблице, показывают, что при отсутствии сокращения стока в верхней части бассейна реки Иле, уровень Капшагайского вдхр., начиная с 1987 г. можно было бы поддерживать на отметке близкой к 1150 см над 0 графика (рис. 3.34). Для этого было необходимо использовать 4,7 км<sup>3</sup> из суммарного сокращения стока за период 1987–2013 гг., равного 42,9 км<sup>3</sup>.



Рис. 3.34. Изменение уровня Капшагайского водохранилища за 1970–2013 гг. (см над 0 графика)

### 3.5.2 Оценка изменений уровня озера Балкаш в связи с увеличением водопотребления из реки Иле на территории Китайской Народной Республики

Для моделирования уровня озера Балкаш было использовано следующее уравнение водного баланса:

$$W_n = (W_{n-1}) + W_{np.} - E, \quad (3.16)$$

где  $W_n$  – объем на конец года, млрд. м<sup>3</sup>;  $(W_{n-1})$  – объем на начало года, млрд. м<sup>3</sup>;  $W_{np.}$  – объем притока речных вод в озеро, млрд. м<sup>3</sup>;  $E$  – объем затрат воды на испарение минус осадки, млрд. м<sup>3</sup>.

Приток воды в озеро Балкаш оценивался по суммарному стоку впадающих в него рек. Сток реки Иле, впадающей в его западную часть, определялся как разность сброса воды из Капшагайского водохранилища и потерь в ее дельте [66]. Потери в дельте реки Иле определялись по формуле И.И. Скоцеляса (уравнение 3.17) [67, 68]:

$$P = \alpha \cdot (1,92 - 1,20 \cdot C_v) \cdot (0,15 \cdot V - 1,03) / [1 + \exp \cdot (3,75 \cdot H_H - 9,95)] \cdot k, \quad (3.17)$$

где  $P$  – потери стока в дельте реки Иле, млрд. м<sup>3</sup>;  $V$  – объем стока реки Иле в урочище Капшагай, млрд. м<sup>3</sup>;  $C_v$  – коэффициент вариации среднемесячных расходов воды р. Иле в уроч. Капшагай;  $\alpha$  – коэффициент, определяемый в зависимости от состояния обводнения дельты реки Иле;  $H_H$  – уровень воды в озере Балкаш на начало года, м;  $k$  – коэффициент, учитывающий степень уменьшения водоотдачи по мере истощения запасов воды в дельте реки Иле.

В таблице 3.22 приведены элементы водного баланса, характеризующие поступление воды в озеро Балкаш, а также изменение его уровня в условиях отсутствия сокращения стока реки Иле в верхней части ее бассейна [69].

Таблица 3.22 – Элементы водного баланса и уровня режима озера Балкаш [70]

Год	Приток воды в оз. Балкаш, км <sup>3</sup>		Сброс из Капшагайского вдхр., км <sup>3</sup>		Уровень оз. Балкаш, м БС	
	В Восточный Балкаш	В Западный Балкаш	В бытовых условиях	При естественном стоке	Наблюдавшийся	При отсутствии сокращения стока р. Иле
1970	4,29	9,91	10,1	10,1	342,86	342,86
1971	4,76	11,8	12,4	12,4	342,66	342,66
1972	4,52	10,2	10,7	10,7	342,55	342,55
1973	4,51	12,7	13,7	13,7	342,51	342,51
1974	2,14	11,1	11,9	11,9	342,45	342,45
1975	1,92	10,8	11,7	11,7	342,15	342,15
1976	2,37	10,3	11,3	11,3	341,84	341,84
1977	2,94	9,96	10,9	10,9	341,67	341,67
1978	2,45	9,59	10,5	10,5	341,53	341,53
1979	3,88	10,4	11,5	11,5	341,33	341,33
1980	3,87	11,7	13,3	13,3	341,34	341,34
1981	3,51	12,1	13,8	13,8	341,28	341,28
1982	2,01	11,0	12,4	12,4	341,32	341,32
1983	1,81	9,36	10,2	10,2	341,19	341,19
1984	2,27	9,70	10,6	10,6	340,97	340,97
1985	3,16	9,90	10,9	10,9	340,72	340,72
1986	2,54	9,63	10,5	10,5	340,65	340,65
1987	4,33	13,1	15,0	15,0	340,50	340,50
1988	6,28	15,2	17,5	19,7	340,68	340,68
1989	2,78	13,2	15,1	18,6	341,22	341,30
1990	4,09	11,9	13,5	14,7	341,27	341,47
1991	2,60	9,54	10,4	10,4	341,29	341,52
1992	3,09	9,47	10,3	13,9	341,08	341,28
1993	4,70	11,9	13,4	17,0	340,94	341,25
1994	4,87	14,0	16,3	18,3	341,05	341,47
1995	2,17	10,8	12,2	12,2	341,30	341,75
1996	2,89	10,9	12,2	13,8	341,08	341,48
1997	2,96	11,2	12,6	15,8	341,00	341,42
1998	3,79	11,1	12,4	12,4	340,94	341,43
1999	3,25	17,6	20,8	20,8	341,15	341,60
2000	2,54	14,0	16,3	18,7	341,42	341,83
2001	3,63	13,7	16,0	16,6	341,54	342,00
2002	4,27	18,3	21,3	21,3	341,64	342,08
2003	4,67	16,3	18,6	18,6	342,06	342,47
2004	4,24	15,7	17,7	19,6	342,39	342,80
2005	5,21	13,7	14,8	15,8	342,58	343,08
2006	3,44	14,4	15,9	16,1	342,52	343,06
2007	3,60	14,6	16,3	16,5	342,44	342,97
2008	2,50	12,3	13,4	15,2	342,39	342,93

Год	Приток воды в оз. Балкаш, км <sup>3</sup>		Сброс из Капшагайского вдхр., км <sup>3</sup>		Уровень оз. Балкаш, м БС	
	В Восточный Балкаш	В Западный Балкаш	В бытовых условиях	При естественном стоке	Наблюдавшийся	При отсутствии сокращения стока р. Иле
2009	2,47	11,4	12,5	13,2	342,21	342,81
2010	7,82	19,8	22,7	24,8	342,10	342,70
2011	4,09	16,5	18,2	19,7	342,55	343,24
2012	3,01	13,1	13,8	16,9	342,76	343,53
2013	4,52	11,0	11,6	13,03	342,61	343,48
ср. знач	3,54	12,4	13,8	14,7		
сумма	152	534	596	632		

Как видно в таблице 3.22 и на рисунке 3.35, при отсутствии сокращения стока в верхней части бассейна реки Иле, уровень озера Балкаш к 2013 году увеличился бы на 0,87 м до отметки 343,48 м БС.

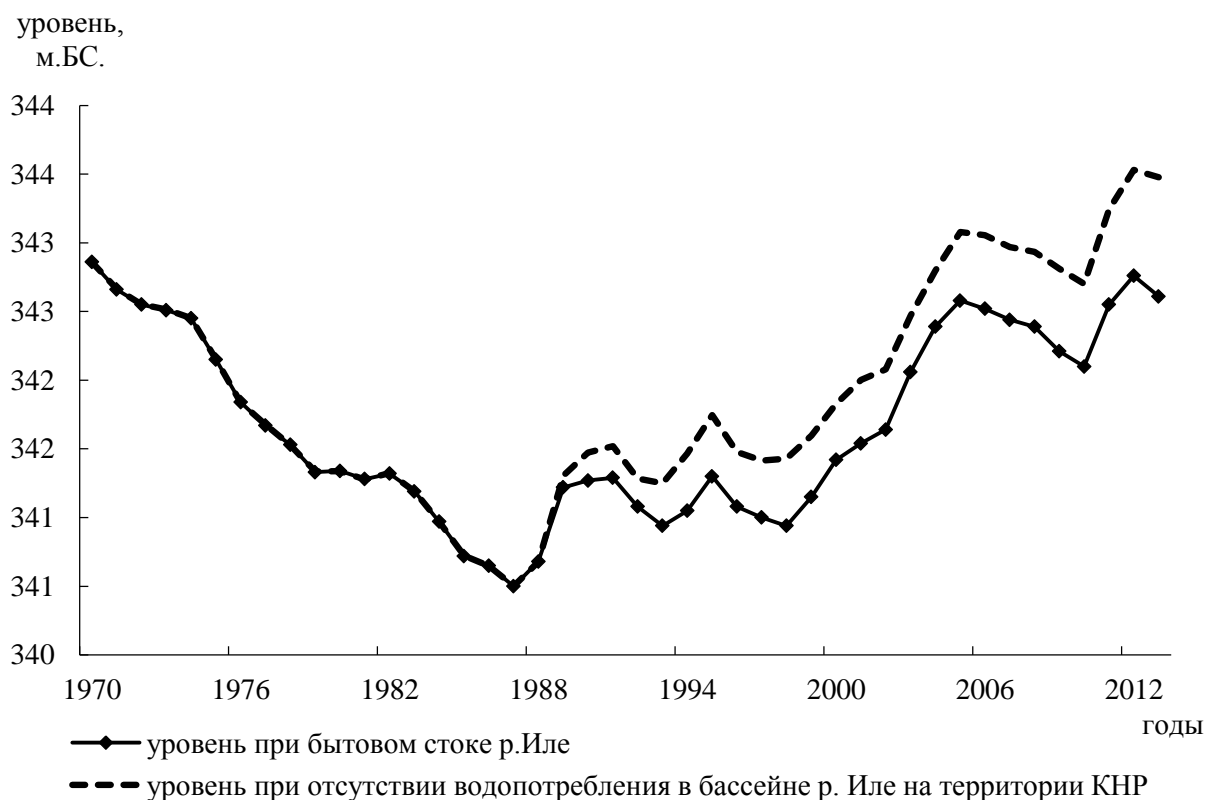


Рис. 3.35. Изменение уровня озера Балкаш за 1970–2013 гг. (м БС)

Сопоставление характеристик Капшагайского водохранилища и озера Балкаш позволяет оценить негативные последствия сокращения стока реки Иле в верхней части ее бассейна на территории КНР. Приведенные данные



показывают, что отсутствие сокращения стока реки Иле в верхней части ее бассейна на территории КНР позволило бы к концу 2013 года поддерживать уровень Капшагайского водохранилища на отметке близкой 1150 см над 0 графика или объеме 18,00 км<sup>3</sup>, и уровень озера Балкаш на отметке 343,48 м БС, т.е на 0,87 м выше современного уровня.

### 3.5.3 Экологические последствия изменения водопотребления

Увеличение водопотребления из реки Иле на территории КНР может уже в ближайшем будущем привести к негативным последствиям, вплоть до исчезновения озера Балкаш. Это обусловлено тем, что для существования озера Балкаш необходимы обязательный экологический приток не менее 11 км<sup>3</sup> в год [71]. Уровень озера Балкаш характеризуется значительными циклическими колебаниями и зависит: – от стока впадающих в него рек; – от режима работы Капшагайской ГЭС; – безвозвратного водопотребления в верхней части бассейна р. Иле на территории КНР, а также в средней части бассейна на территории Республики Казахстан [71].

Известно, что критическим уровнем для озера Балкаш является 341 м БС [71]. Нельзя допустить, чтоб уровень достиг этой отметки. В противном случае, озеро может разделиться на две части: западную и восточную и начнет засоляться. Как известно, в природе все взаимосвязано, и нарушение одного звена, ведет к неизбежному нарушению и других звеньев цепи. При нарушении экологического равновесия озера Балкаш могут произойти следующие негативные последствия:

- 1) Засоление западной пресной части озера Балкаш может привести к гибели многих видов рыб, обитающих в пресной воде;
- 2) Увеличение повторяемости пыльных бурь в регионе, перенос песка, на плодородные, распаханые земли приведет к деградации земель [72]

- 3) Бассейн исследуемого озера распространился на территории 4-х областей Казахстана, где проживает порядка 3 млн. человек. Ухудшение условий проживания людей в районе экологического бедствия повлечет за собой миграцию населения в более благоприятные районы.
- 4) Внутригодовое перераспределение стока реки Иле может негативно сказаться на сельском хозяйстве
- 5) Загрязнение воды пестицидами и другими ядовитыми веществами [73].
- 6) Снижение уровня воды в Капшагайском водохранилище может стать причиной экономических потерь.

В период СССР, при заполнении Капшагайского водохранилища, гидрологи, экологи и другие специалисты в области охраны окружающей среды, уже сталкивались с подобной ситуацией. При заполнении водохранилища уровень озера Балкаш снизился практически до критического, поэтому было принято решение не заполнять Капшагай до проектных отметок. В то время смогли вовремя распознать последствия своих действий и уберечь Балкаш от гибели. Сейчас назревает проблема большего масштаба, т.к. Китай активно строит водохранилища на своей территории и внедряет программу переселения населения в СУАР.

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что если не принять все меры по предотвращению негативных последствий, то уникальный, цветущий регион может превратиться в вымирающую пустыню.

### 3.6 Моделирование стока реки Иле на перспективу на основе различных сценариев изменения климата

Для того чтобы оценить влияние изменения климата на сток реки Иле до конца 21-го века, сток этой реки был смоделирован с помощью модели HBV по двум климатическим сценариям, за периоды 2030 г. (2016–2045 гг.),

2050 г. (2036–2065 гг.) и 2085 г. (2071–2100 гг.) [43]. Эти сценарии были выбраны исходя из того, что они отражают предельные изменения температуры воздуха и осадков. Следует отметить, что объем оледенения брался постоянным. Распределение оледенения в бассейне реки Иле было получено с базы данных глобальных измерений оледенения из космоса (*Global Land Ice Measurements from Space*) [74].

По оценке Долгих С.А. [75] на территории бассейна в 21 веке ожидается дальнейшее потепление климата при всех рассматриваемых сценариях выбросов парниковых газов (ПГ) (табл. 3.23). Наименьшие изменения температуры воздуха произойдут по сценарию В1, наибольшие – по сценарию А1В. Уже к 2030 г. величина потепления климата превысит стандартное отклонение, характеризующее межмодельный разброс оценок. Это говорит о четком сигнале повышения температуры воздуха. При этом модели показывают достаточно близкие по величине изменения температуры воздуха, так как стандартное отклонение составляет  $\pm 0,3\text{--}\pm 0,4$  °С.

Таблица 3.23 – Изменения осредненных по территории бассейна р. Иле-оз. Балкаш среднегодовой температуры приземного воздуха (°С) и годового количества атмосферных осадков (%) [75].

Характеристика	Период					
	2016–2045		2036–2065		2071–2099	
	В1	А1В	В1	А1В	В1	А1В
температура воздуха	1,6	1,8	2,0	2,8	2,6	4,1
осадки	5,0	8,3	7,9	9,3	9,0	12,4

Все расчеты стока произведены без учета забора воды на хозяйственные, промышленные и питьевые нужды. Сток за базовый период можно считать практически естественным стоком этой реки, так как наибольшая нагрузка на сток началась только в конце 20-го – начале 21-го века.

На рис. 3.37 представлены результаты моделирования стока реки Иле – с. Ямату за период 2016–245 гг. (2030 г.) по климатическим сценариям А1В и В1.

Как показывают рассматриваемые сценарии климата, в бассейне реки Иле к 2030 г. будет наблюдаться увеличение атмосферных осадков в горной территории на 6–10 % по сравнению с их значениями за базовый период (1961–1990 гг.).

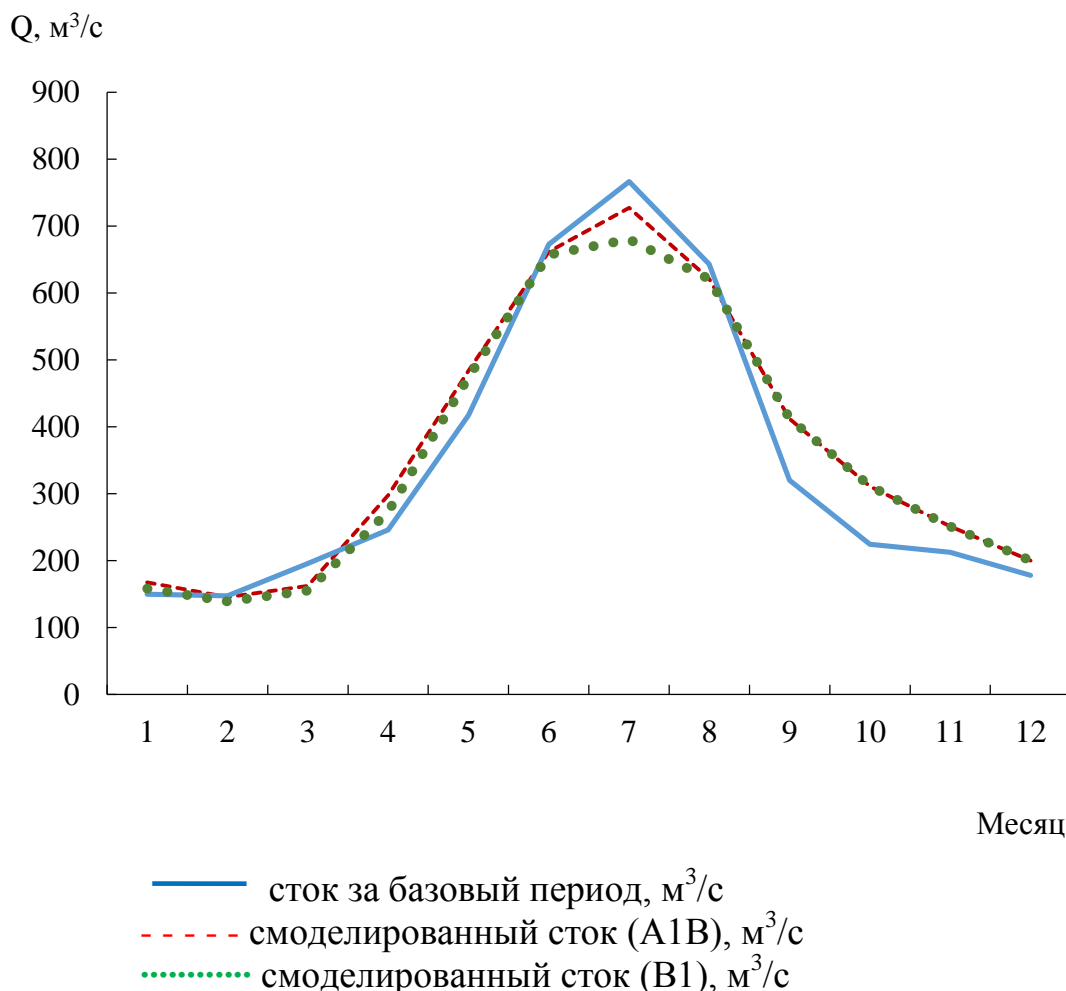


Рис. 3.37. Среднегодовое (2016–2045 гг.) гидрограф стока р. Иле – с. Ямату, смоделированный по сценарию А1В.

При тенденции изменения климата, в соответствии со сценариями А1В и В1, сток реки Иле к 2030 году вероятно будет увеличиваться, в сравнении с его значениями за базовый период. В среднем это увеличение может составить 4–6 % от стока за базовый период.

На рис. 3.38 представлены результаты моделирования стока реки Иле – с. Ямату по климатическому сценарию А1В и В1 на 2050 г. Согласно климатическим сценариям, увеличение количества атмосферных осадков

продолжится и может составить 10–12 % от их значений за базовый период или 2 % по сравнению с предыдущим периодом (2016–2045 гг.).

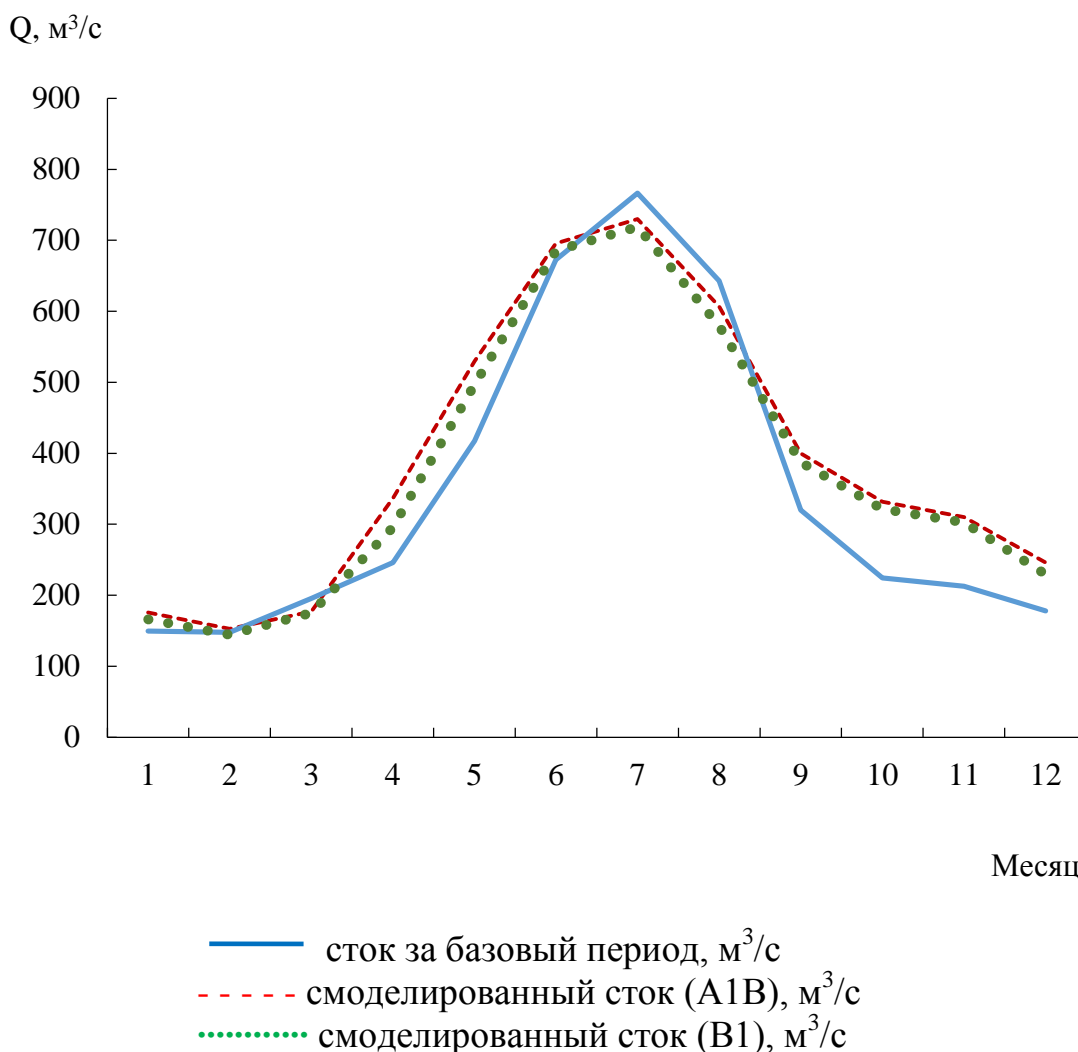


Рис. 3.38. Среднегодовое (2036–2065 гг.) гидрограф стока р. Иле – с. Ямату, смоделированный по сценарию A1B и B1.

Если тенденция повышения атмосферных осадков, смоделированная сценариями климата, будет продолжаться, то сток р. Иле в створе с. Ямату, может увеличиться к 2050 г. на 7–10 %, по сравнению с его значением за базовый период (1961–1990 гг.).

Последний период моделирования, представленный на рисунке 3.40, характеризует изменение стока реки Иле под влиянием климата к концу 21-го века. Количество атмосферных осадков за период 2071–2100 гг., согласно выбранным сценариям, несколько увеличится. Это увеличение составит порядка 12–15 % от базового периода.

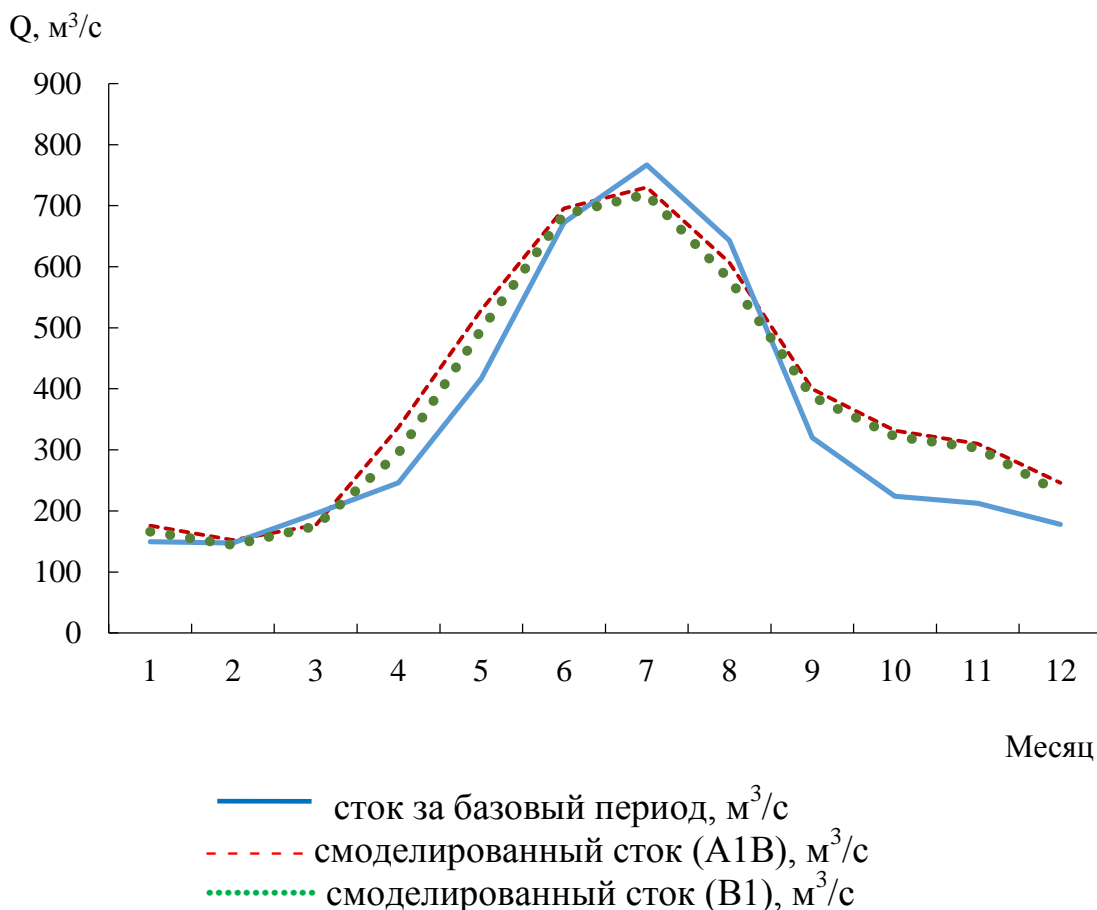


Рис. 3.39. Среднегодовой (2071–2100 гг.) гидрограф стока р. Иле – с. Ямату, смоделированный по сценарию А1В и В1.

При дальнейшем увеличении количества осадков к 2085 г., сток реки Иле в створе с. Ямату повысится на 11–17 % в сравнении с его значениями за период 1961–1990 гг. Стоит отметить, что произведенные расчеты стока реки Иле на будущее не учитывают потребления воды из этой реки на хозяйственные, промышленные и бытовые нужды. Так как, смоделированный сток сравнивается со стоком за период 1961–1990 гг., то есть за период практически естественного стока, когда забор воды на хозяйственные нужды был достаточно не велик.

Важно отметить, что увеличение стока в основном будет происходить в весенний и осенне-зимний период, что объясняется увеличением количества осадков именно в эти месяцы. А в летнее время, наоборот, будет отмечаться некоторое снижение стока, в связи с уменьшением количества осадков и увеличением температуры воздуха. На рис. 3.40 и 3.41, для более наглядного

представления изменения температуры воздуха, количества осадков и стока реки, приведен комплексный график.

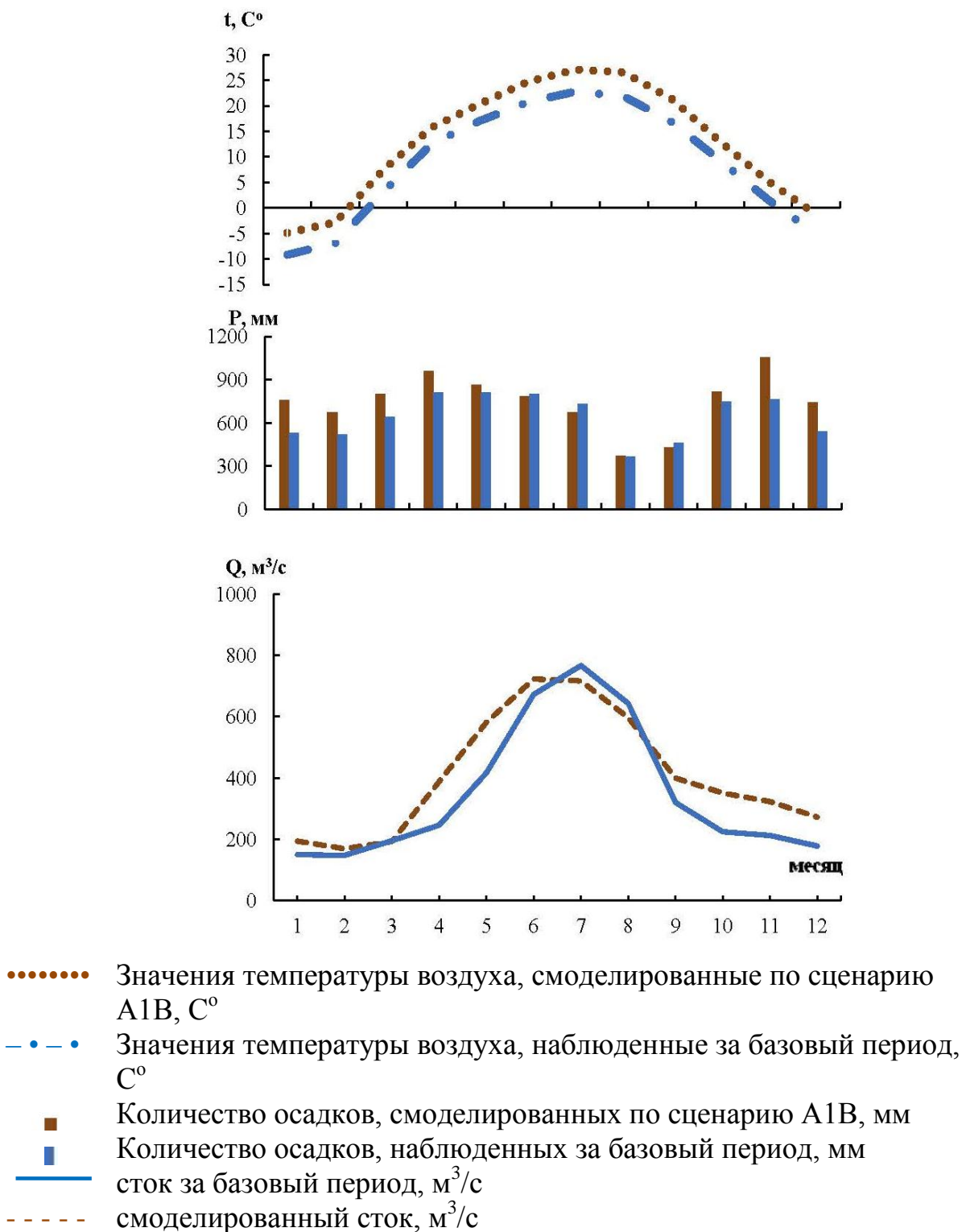
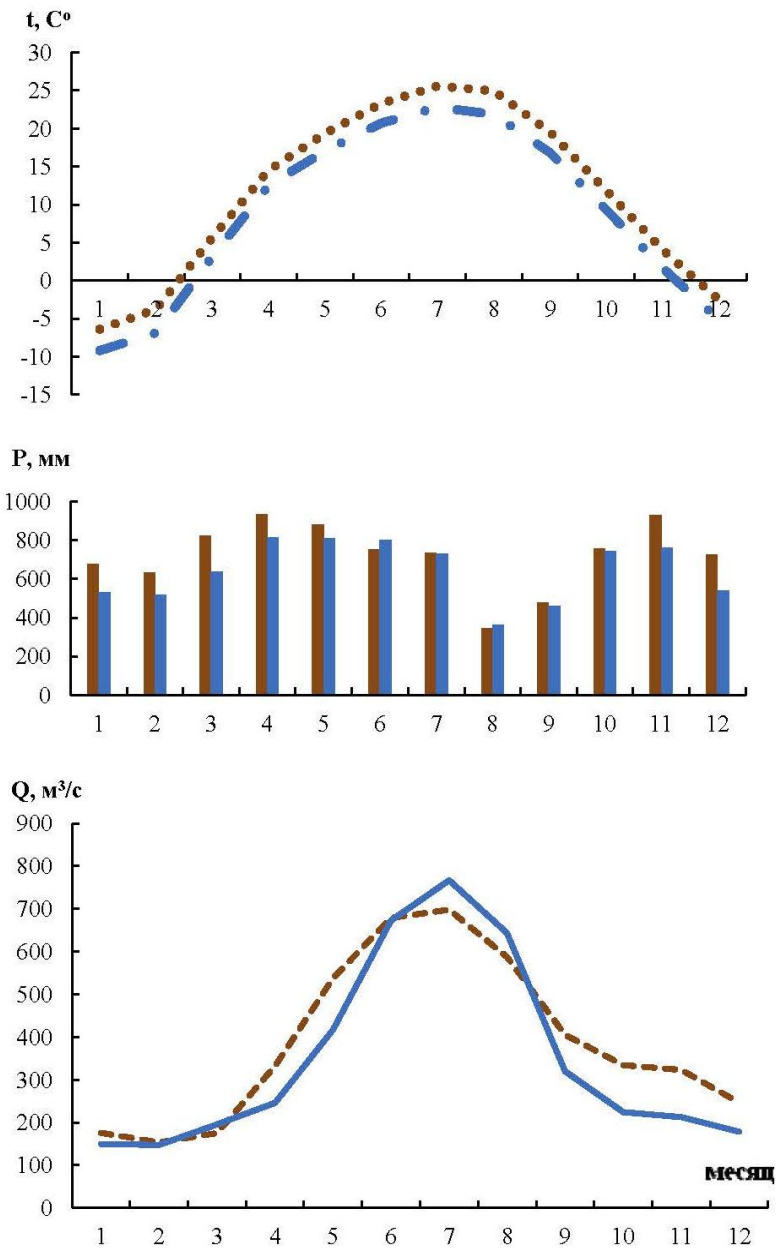


Рис.3.40. Комплексный график смоделированных (сценарий А1В, за 2071–2100 гг.) и наблюдаемых значений температуры воздуха, атмосферных осадков и расхода воды реки Иле.



- Значения температуры воздуха, смоделированные по сценарию В1,  $C^{\circ}$
- ● — ● Значения температуры воздуха, наблюдаемые за базовый период,  $C^{\circ}$
- Количество осадков, смоделированных по сценарию В1, мм
- Количество осадков, наблюдаемых за базовый период, мм
- сток за базовый период,  $\text{м}^3/\text{с}$
- - - смоделированный сток,  $\text{м}^3/\text{с}$

Рис. 3.41. Комплексный график смоделированных (сценарий В1, за 2071–2100 гг.) и наблюдаемых значений температуры воздуха, атмосферных осадков и расхода воды реки Иле.



Для более наглядного представления, на рис. 3.42 приведены совмещенные графики смоделированных значений стока реки Иле.

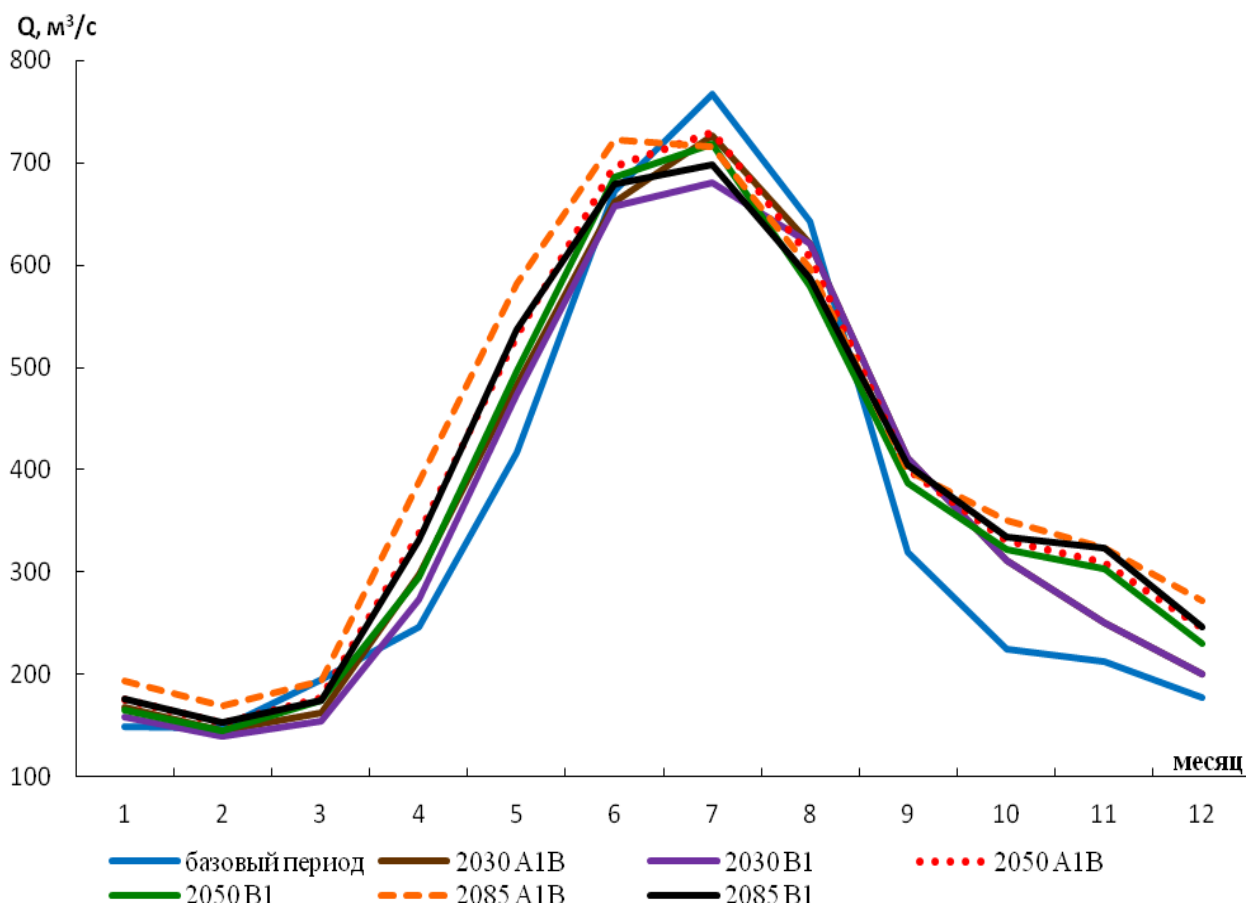


Рис. 3.42. Совмещенные графики смоделированных расходов воды реки Иле.

Результаты моделирования стока реки Иле в створе с. Ямату под влиянием изменения климата до конца 21-го века, показывают, что при изменении климата, описанном сценариями A1B и B1, сток реки Иле будет постепенно увеличиваться. К 30-м годам 21-го века сток может увеличиться на 4–6 % по сравнению с его значением за базовый период. В дальнейшем, при продолжении увеличения количества атмосферных осадков, сток реки Иле в створе с. Ямату увеличится на 7–12 % от его значений за 1961–1990 гг. И к концу столетия, при сохранившейся тенденции изменения климата, сток рассматриваемой реки может достигнуть увеличения на 11–17 % в зависимости от стока за базовый период. Также изменится внутригодовое распределение стока. Увеличение стока будет наблюдаться в основном в

весенние и осенне-зимние периоды, а в летние месяцы, наоборот, последует его уменьшение. Проведенное моделирование не учитывает деградацию горного оледенения. А по прогнозам гляциологов уже к середине нынешнего столетия ледники в бассейне реки Иле могут полностью исчезнуть. Исходя из этого, нами было проведено моделирование стока на перспективу, учитывая сценарии изменения климата А1В и В1, описанные выше, но при площади оледенения, равной нулю. Полученные результаты приведены в таблице 3.24.

Таблица 3.24 – Изменения осредненных по территории бассейна р. Иле-оз. Балкаш среднегодовой температуры приземного воздуха (°С) и годового количества атмосферных осадков (%), а также смоделированный сток [75].

Характеристика	Период					
	2016–2045		2036–2065		2071–2099	
	В1	А1В	В1	А1В	В1	А1В
температура воздуха	1,6	1,8	2,0	2,8	2,6	4,1
осадки	5,0	8,3	7,9	9,3	9,0	12,4
Сток, смоделированный по HBV при оледенении равном нулю	–	–	2,4	4,3	6,5	7,8

Результаты моделирования показывают, что сток реки Иле будет увеличиваться, как и при моделировании с учетом оледенения, но процент увеличения стока значительно меньше. Увеличение стока будет обусловлено увеличением количества осадков, которое прогнозируют сценарии изменения климата. Смоделированный сток сравнивался со стоком за базовый период (1971–1990 гг.), т.е. период в который водопотребление было значительно меньше, чем в настоящее время. В будущем, согласно проекту развития КНР, Синьзян Уйгурский Автономный район будет активно развиваться, поэтому

водопотребление может возрасти [76]. Также при отсутствии оледенения изменится внутригодовое распределение стока (рис. 3.42, 3.43).

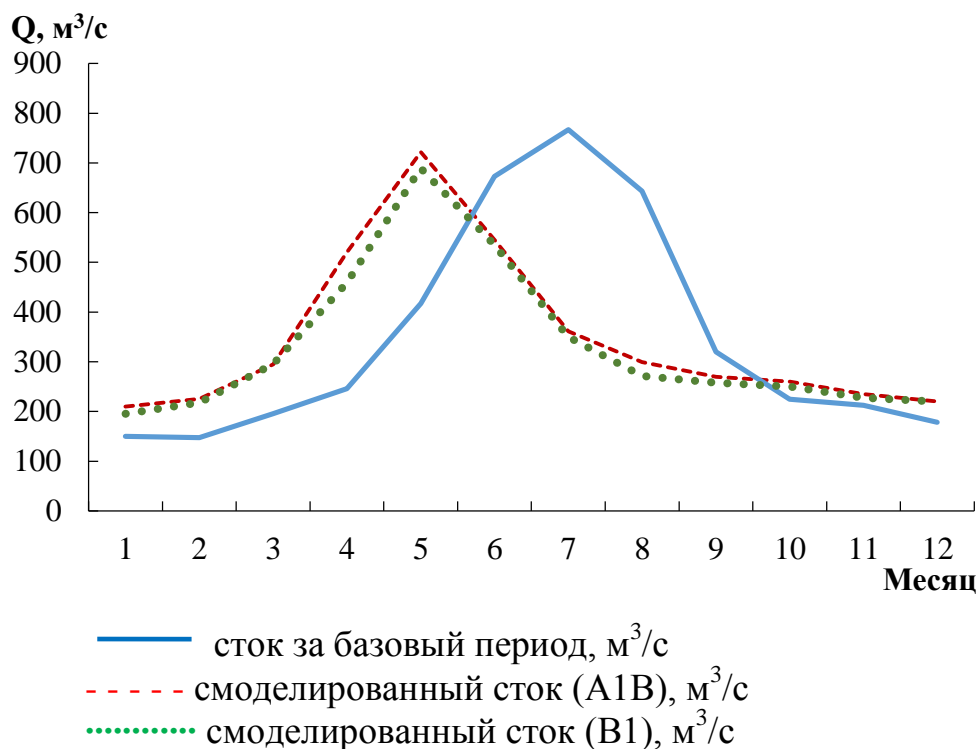


Рис. 3.43 Совмещенные графики смоделированных расходов воды реки Иле (вариант без оледенения) до 2050 г.

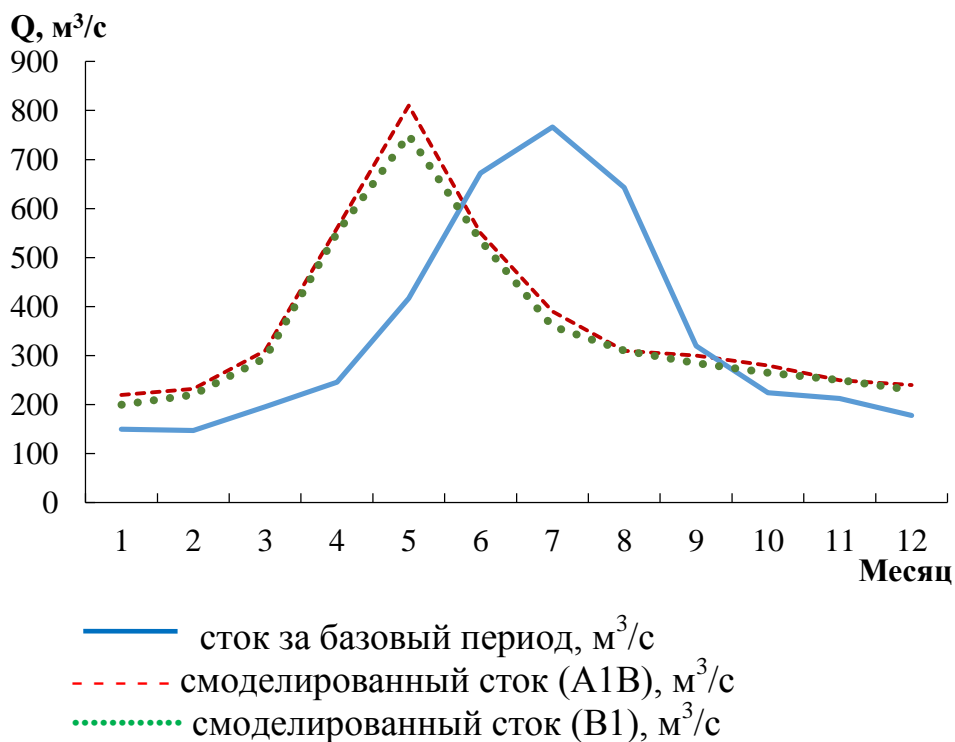


Рис. 3.44 Совмещенные графики смоделированных расходов воды реки Иле (вариант без оледенения) до 2085 г.

Ледники в естественных условиях выступают регуляторами стока, т.е. наибольший расход воды наблюдается в летнее время, что очень благоприятно для сельского хозяйства. При отсутствии оледенения максимальный сток будет проходить в весеннее половодье, а в летние (вегетационные) месяцы будет наблюдаться летняя межень.

## ГЛАВА 4

### РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ И СТАБИЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЛКАШ

В настоящее время большое внимание уделяется экологическим проблемам и охране окружающей среды, т.к. их решение стало важнейшей задачей всего человечества. Начиная со второй половины 20-го столетия, возникли глобальные экологические проблемы, такие как потепление климата, загрязнение воздуха и воды, Аральская экологическая катастрофа, процессы опустынивания и деградации земель, от которых зависит существование всего мирового сообщества. В состав глобальных проблем входят, не менее важные, региональные экологические проблемы, которые также требуют пристального внимания. Среди них особое место занимает проблема современного экологического состояния бассейна озера Балкаш, являющегося уникальным природным объектом.

Уровень озера Балхаш является основным показателем состояния всей экосистемы его водосборного бассейна. Так как бассейн озера Балкаш является трансграничным – река Иле, дающая большую часть притока воды в озеро, начинается в ледниках КНР –, то количество воды во многом зависит от ее использования на территории Китая. В 2001 году в г. Астане было подписано «Соглашение между Правительством Республики Казахстан и Правительством Китайской Народной Республики о сотрудничестве в сфере использования и охраны трансграничных рек» [77]. Но, к сожалению, до настоящего времени вопрос вододеления реки Иле так и не решен.

Экологическая устойчивость озера – это интегрированный индикатор эффективности всей хозяйственной деятельности в бассейне, региональной и международной политики в целом. Озеро поддерживает равновесие многочисленных экосистем, обеспечивающих благоприятный режим для

жизнедеятельности в регионе и воспроизводства водных ресурсов, плодородия почв, растительного и животного мира. Однако в связи с природно-климатическими условиями и экологическими особенностями это равновесие очень хрупкое и даже небольшое антропогенное воздействие может вызвать значительные негативные изменения природной среды [78].

Негативным фактором для экологической системы бассейна озера Балкаш является увеличение площади орошения, и, как следствие, забора воды из рек (рис. 4.1).

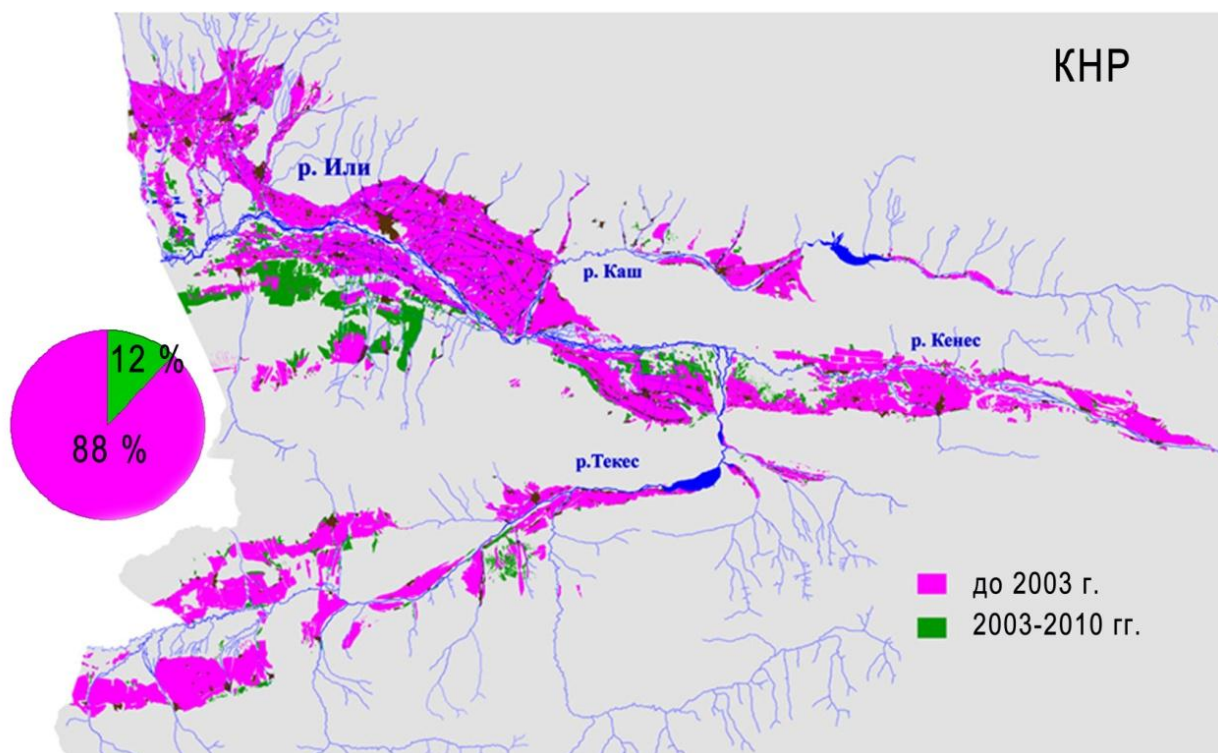


Рис. 4.1. Изменение площади орошаемых земель в верхней части бассейна реки Иле за 2003–2010 гг. (по данным LANDSAT) [79].

Как видно из данных, приведенных на рисунке 4.1, площадь орошаемых земель в бассейне реки Иле на территории КНР за 7 лет увеличилась на 12 % [79]. Более наглядно увеличение орошаемых земель представлено на рисунке 4.2, где сравнивается один и тот же исследуемый участок за 2000 и 2009 гг.

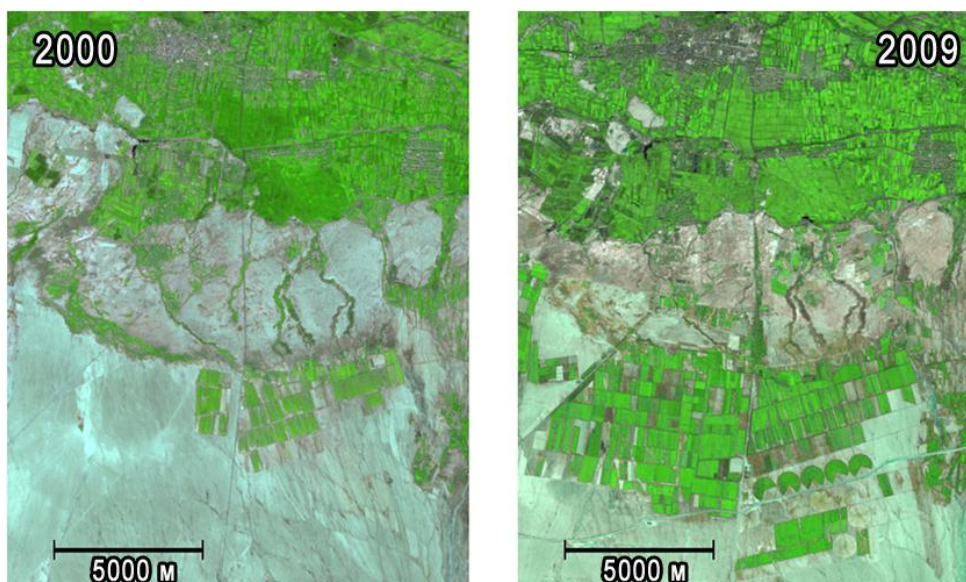
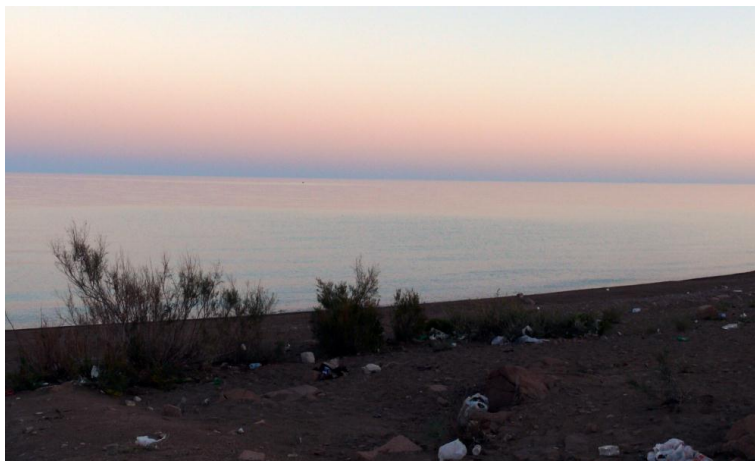


Рис. 4.1. Пример увеличения площади орошаемых земель в верхней части бассейна реки Иле (по данным LANDSAT) [79].

На территории Республики Казахстан в Балкаш-Алакольском бассейне в настоящее время обрабатывается порядка 670 тыс. га орошаемых земель. По прогнозу ученых площади орошаемых земель вырастут до 738 тыс. га к 2020 году, а к 2030 году соответственно составят 740 тыс. га. За прогнозируемый период ожидается снижение площадей зерновых культур, риса, а по остальным культурам – рост посевных площадей [80].

В бассейне озера Балкаш кроме самих водозаборов, отрицательное влияние также оказывает состояние оросительной сети. Низкий технический уровень оросительных систем является основной причиной того, что продуктивность орошаемых земель уменьшается, происходит прогрессирующий процесс опустынивания. Создавшееся положение требует пересмотра водохозяйственной практики; при этом приоритете должен отдаваться реконструкции и техническому перевооружению оросительных каналов и сооружений на них, что, в свою очередь, будет способствовать рациональному использованию водных ресурсов. Комплексная реконструкция оросительных систем позволит увеличить коэффициент полезного действия с 0,55–0,60 до 0,75. Большинство оросительных каналов являются песчаными, что увеличивает потери воды на фильтрацию и испарение.

Берега озера и рек, впадающих в него, загрязнены бытовым мусором, остающимся после отдыхающих туристов (рис. 4.3).



1



2



3

*\*Примеч.:* фото автора

Рис. 4.3. Загрязнение берегов рек и озера бытовым мусором. 1– Берег озера Балкаш, 2 – река Есентай, устье, 3 – Большой Алматинский канал.



В результате бесконтрольного использования воды в верховьях реки Иле, в бассейне озера Балкаш уже в самое ближайшее время может сложиться очень неблагоприятная экологическая ситуация, и озеро может повторить судьбу Аральского моря.

В связи с этим, автор работы предлагает рекомендации по стабилизации экологической ситуации в бассейне озера Балкаш.

1) Не допустить притока воды в озеро по реке Иле меньше экологически допустимого  $11 \text{ км}^3$  в год. Тем самым уровень воды в озере не уменьшится до предельно допустимого 341 м БС. Уменьшению уровня воды в озере до отметок ниже 341 м БС повлечет за собой обмеление озера, увеличение солености воды, а также будет происходить переток соленой воды из восточной (глубоководной) части в западную (мелководную) часть через пролив Узын-Арал. [67, 81].

2) Необходимо предпринять реальные шаги по заключению договора с КНР о совместном использовании ресурсов поверхностных вод бассейна реки Иле в соответствии с международным водным правом и принятыми конвенциями. Определить и обозначить в этом договоре совместный уровень водопотребления в этом бассейне. Пока договор не подписан, Китай активно ведет строительство и заполнение новых водохранилищ, каналов, а также политику переселения населения из центральных районов Народной Республики в СУАР. По последним данным в бассейне реки Иле на территории КНР уже существует более 13-ти водохранилищ и 40 ГЭС [82].

На рисунке 4.3 приведен снимок со спутника LANDSAT за 4 июня 2015 г., где можно наглядно увидеть несколько самых крупных водохранилищ в бассейне реки Иле на территории Китая, и ряд небольших водохранилищ.

В настоящее время строительство водохранилищ на территории Китая продолжается [82].

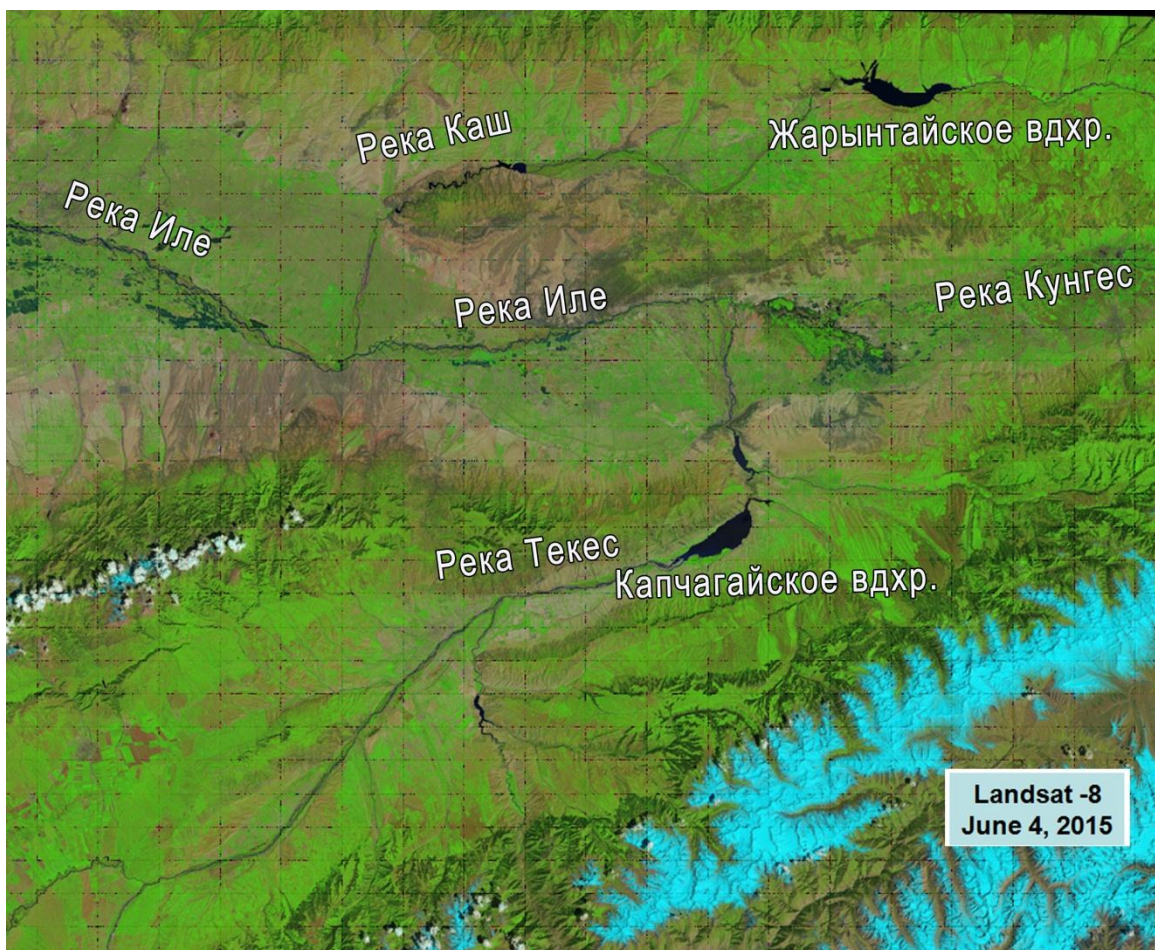


Рис. 4.4. Водохранилища в верховье реки Иле на 4 июня 2015 г. [79].

3) Модернизация оросительной сети в бассейне и переориентация сельскохозяйственных планов.

4) При развитии неблагоприятного сценария и уменьшения уровня исследуемого озера, важно рассмотреть возможность строительства плотины с регулируемым водосбросом в проливе Узун-Арал, которая будет отделять западную часть Балкаша от восточной. Ученые-гидрологи РГП «Казгидромет», а также других организаций уже на протяжении нескольких лет занимаются исследованием вопроса строительства данной плотины и пришли к выводу, что это решение по спасению части озера весьма рациональное и поможет уменьшить негативное влияние сокращения притока воды к озеру [77, 81, 83, 84].

5) Еще один вариант спасения озера Балкаш – это увеличить попуски из Капчагайского водохранилища, вплоть до его полного спуска.

Конечно, этот вариант поможет продержаться уровень озера на критической отметке, но проблему не решит, а только отсрочит время. К тому же район Алматинской области понесет экономический урон, т.к. электроэнергия, вырабатываемая гидроэлектростанцией, питает большую часть региона.

6) Переброска части стока из реки Ертис (Иртыш) в озеро Балкаш [85, 86].

7) Усилить просветительскую работу среди населения о возможных негативных последствиях. Для примера просветительской работы, автором разработаны две брошюры (приложение 1, 2), с помощью которых можно более ярко и наглядно рассказать местному населению о сложившейся ситуации в бассейне озера Балкаш. Брошюры призваны привлечь внимание населения, где они могут в доступной форме почерпнуть важную информацию о существующих экологических проблемах и путях их решения.

Для решения проблем бассейна озера Балкаш необходимы скоординированные действия двух государств: Республики Казахстан и Китайской Народной Республики. Только объединив усилия можно предотвратить большую экологическую катастрофу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бассейн озера Балкаш является трансграничным и располагается на территории двух государств, что только придает важность и необходимость проводимых работ. Бассейн этого озера – уникальный и очень интересный объект для исследования.

В результате исследования произведены следующие работы и получены результаты:

– Для того, чтобы более целостно понимать все особенности исследуемого региона была описана краткая характеристика его природных условий, подробно приведены гидрографические характеристики и особенности водного режима рек исследуемого региона, их гидрологическая изученность, климатические условия, приведены данные по современному оледенению верховьев рек, а также экологическая обстановка в данном бассейне. В Иле-Балкашском регионе сложилась критическая экологическая ситуация с прогрессирующей уязвимостью экосистемы и нестабильностью уровня озера. Увеличивается загрязненность и минерализация воды озера, деградируют водно-болотные угодья, которые являются домом для многих видов редких птиц. В исследуемом регионе довольно часто происходят песчаные бури, которые имеют особую активность в весенние и осенние сезоны года.

– В работе были описаны существующие методы оценки речного стока, а также выбран конкретный метод для исследуемого бассейна, основанный на изменении параметра среднегодового стока (нормы стока). При выборе расчетного периода для определения нормы стока, коэффициента вариации и коэффициента асимметрии использовались разностные интегральные кривые в пунктах с наиболее продолжительными наблюдениями. А для восстановления стока рек, имеющих короткие ряды наблюдения или сток, которых искажен хозяйственной деятельностью, применялись методы-

аналогии. Для каждой расчетной реки тщательно подбирались реки-аналоги, удовлетворяющие всем требованиям. Далее строились зависимости стока исследуемых рек от рек-аналогов, и если коэффициент корреляции был равен более 0,7, то определялось уравнение связи и по нему восстанавливался сток.

– По выбранным методикам, восстановлен сток рек, с пропусками данных наблюдений, а также естественный (не искаженный хозяйственной деятельностью) сток, были определены основные гидрологические характеристики рек, впадающих в восточную часть озера Балкаш.

При сборе гидрологической информации удалось выявить ошибки в наблюденном стоке реки Иле, так как стало известно, что сток р. Или – 164 км выше Капшагайской ГЭС за период 1993–2008 гг., измерялся без учета существующей там протоки. В связи с этим, за 16 лет сток рассматриваемой реки был занижен. Сток был восстановлен в полном объеме, с учетом стока в протоке.

– Проведенные исследования позволили выявить, что период 1929–1986 гг. отражает климатические условия 20-го века, а второй период 1987–2013 гг. – конец 20-го века и начало 21-го века, характеризующихся значительными изменениями климата, в первую очередь, температуры воздуха и атмосферных осадков. В этот период в бассейне р. Иле наблюдалось существенное повышение температуры воздуха и деградация горного оледенения. Сопоставление среднемноголетнего стока за второй период (1987–2013 гг.) по сравнению с периодом 1929–1986 гг. показало, что сток второго периода в большей степени выше стока первого в бассейнах с большей площадью оледенения.

– В работе была разработана специальная методика для оценки дефицита стока, с помощью которой определялось возможное сокращение годового стока р. Иле в пределах КНР, как разность восстановленного естественного и бытового (наблюденного) стока этой реки. Проведенные исследования показали, что сокращение стока реки Иле в верхней части ее

бассейна на территории КНР за период с 1987 по 2013 гг. изменяется в основном от 0,09 км<sup>3</sup> в год до 3,44 км<sup>3</sup> в год, и в среднем составляет 1,36 км<sup>3</sup> в год или 9 % от среднего естественного стока реки, равного 15,5 км<sup>3</sup> в год. В 90-е годы дефицит стока достигал более 3 км<sup>3</sup>/год, вероятно, это объясняется заполнением водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования на территории КНР.

– Результаты расчета сокращения стока, поступающего с территории КНР, позволили оценить его влияние на уровень Капшагайского водохранилища и озера Балкаш. Оценка возможного изменения уровня Капшагайского водохранилища производилась путем его моделирования при отсутствии сокращения стока в верхней части бассейна реки Иле за период с 1970 по 2013 гг. При моделировании использовалась оценка сокращения стока реки Иле в верхней части ее бассейна, которая производилась по данным наблюдений на посту р. Иле – ст. Саньдаохэцзы (СУАР КНР, вблизи с границей Казахстана). При этом допускалось заполнение Капшагайского водохранилища до принятых в современных условиях предельных значений его уровня (1150 см над 0 гр.) и объема, равного 18,45 млрд.м<sup>3</sup>. А излишки воды, добавлялись к бытовому сбросу воды из водохранилища Капшагайской ГЭС. Расчеты показали, что при отсутствии сокращения стока в верхней части бассейна реки Иле, уровень Капшагайского водохранилища, начиная с 1987 г. можно было бы поддерживать на отметке близкой к 1150 см над 0 графика. Для этого было необходимо использовать 4,7 км<sup>3</sup> из суммарного сокращения стока за период 1987–2013 гг., равного 42,9 км<sup>3</sup>. При этом уровень озера Балкаш держался бы на отметке 343,48 м БС, т.е на 0,87 м выше современного уровня.

– Увеличение водопотребления из реки Иле на территории КНР может уже в ближайшем будущем привести к негативным последствиям, вплоть до исчезновения озера Балкаш. Это обусловлено тем, что для существования

озера Балкаш необходимы обязательный экологический приток не менее 11 км<sup>3</sup> в год. Уровень озера Балкаш характеризуется значительными циклическими колебаниями и зависит: – от стока впадающих в него рек; – от режима работы Капшагайской ГЭС; – безвозвратного водопотребления в верхней части бассейна р. Иле на территории КНР, а также в средней части бассейна на территории Казахстана.

– В работе рассматривался вопрос изменения внутригодового распределения стока реки Иле. При решении вопросов использования речного стока большое значение имеет его внутригодовое распределение в зависимости от водности отдельных лет. Оценка внутригодового распределения стока р. Иле в пункте с. Ямату производилась согласно своду правил по проектированию и строительству «Определение основных расчетных гидрологических характеристик», по методу среднего распределения стока за годы характерной градации водности. Проведенные исследования показали, что использование стока р. Иле в верхней части ее бассейна на территории КНР, в основном, осуществляется во втором и третьем кварталах. Больше всего негативное воздействие сказывается в средние по водности годы, когда сокращение стока наблюдается в третьем квартале

– Важным этапом работы было моделирование стока реки Иле на границе с КНР с учетом изменения климата до конца текущего столетия с помощью гидрологической модели HBV, разработанной в Шведском гидрологическом и метеорологическом институте. Для этого использовались различные сценарии изменения регионального климата на ближайшую и более отдаленную перспективу в бассейне реки Иле. Были получены выводы о том, что если температура воздуха и количество осадков будут изменяться в будущем, согласно выбранным сценариям, то сток реки Иле может увеличиться на 4–17 %, а при условии полной деградации оледенения, увеличение составит лишь от 2 до 8 % в сравнении с базовым периодом.

– В завершении работы даны рекомендации по рациональному использованию и стабилизации экологической ситуации в бассейне озера Балкаш, которые помогут в будущем сохранить экосистему озера Балкаш.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 13 Центральный и Южный Казахстан. – Вып. 2. Бассейн озера Балкаш. Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 644 с.
2. Современное экологическое состояние бассейна озера Балхаш / Под ред. Т.К. Кудекова. – А.: Каганат, 2002. –388 с.
3. Балхаш // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969–1978.
4. Бейлинсон М.М. Режим осеннего ледообразования на озере Балхаш // Труды КазНИГМИ.– Вып. 17.– 1962.– С. 19-30.
5. [Электронный ресурс]. – URL:  
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D0%BB%D1%85%D0%B0%D1%88>
6. Чередниченко В.С., Кожаметова Э.П. Колебания климата в Иле-Балхашском бассейне. //Гидрометеорология и экология. – 2008. – №3. – С. 71-86.
7. Байдал М.Х. Циркуляционные факторы климата. Климат Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. ...с
8. Климат Казахстана // Под редакц. Утешева А.С. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 360 с.
9. Справочник по климату Казахстана. Раздел 2. Вып. 14. – Алматы, 2004. – 71 с.
10. Вилесов Е.Н., Морозова В.И., Северский И.В. Оледенение Джунгарского (Жетысу) Алатау: прошлое, настоящее, будущее.-Алматы, 2013.-244 с.
11. Пальгов Н.Н. Современное оледенение в Заилийском Алатау. – Алма-Ата: АН КазССР, 1958. – 312 с.
12. Черкасов П.А., Зенкова В.А. История исследования современного и древнего оледенения хребта Джунгарский Алатау // Гляциол. Исслед. В период МГГ. Заилийский и Джунгарский Алатау. – 1961. – Вып. 1. – Алмат-Ата: АН КазССР. – С. 170-182.
13. Лаврентьев П.Ф. Современное оледенение Джунгарского Алатау // Известия ВГО. – 1958. – Т. 90, вып. 2. – С. 166-170.

14. Токмагамбетов Г.А., Ерасов Н.В. Расчет и прогноз распределения и режима горных ледников. – Алма-Ата: АН КазССР, 1985. – 160 с.
15. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. – Алматы: КазНУ им. аль-Фараби, 2001. – 252 с.
16. Каталог ледников СССР. – Л: Гидрометеоздат, 1967-79 гг. – Том 13. Вып.2, часть 1.
17. Макаревич К.Г., Волошина А.П., Уваров В.Н. Внешний массообмен ледника Туйыксу: пространственно-временной анализ за период инструментальных наблюдений. – М: МГИ, 1992. – Вып.75.- С. 135-139
18. Северский И.В., Токмагамбетов Т.Г. Современная деградация оледенения гор юго-восточного Казахстана // МГИ, 2005, вып.98. С. 3-10.
19. Черкасов П.А. Мониторинг ледниковых систем Иле-Балкашского бассейна. // материалы межд. экологич. форума «Балкаш-2000». Алматы, 2000. – Вып. 1. – С. 190-204.
20. Глазырин Г.Е. Горные ледниковые системы, их структура и эволюция. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 110 с.
21. Панов В.Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. – Спб.: Гидрометеоздат, 1993. – 432 с.
22. Кокарев А.Л., Шестерова И.Н. Современное состояние оледенения и погребенных льдов Южного Джунгарского (Джунгарского) Алатау // Вопросы географии Сибири. Томск, 2009. Вып. 27. С. 62-67.
23. Severskiy I.V., Kokarev A.L. Severskiy S.I., Tokmagambetov T.G., Shagarova L.V., Shesterova I.N. Contemporary and prognostic changes of glaciation in Balkhash Lake basin. Almaty, 2006. 68 p.
24. Котляков В.М., Северский И.В. Ледники Центральной Азии: современное состояние, изменения, возможное влияние на водные ресурсы // Материалы международного семинара «Оценка снежно-ледовых и водных ресурсов Азии». Алматы, Казахстан (28-30 ноября 2006 г.). Алматы, 2007. С. 21-55.

- 25.Северский И.В. Современные и прогнозные изменения снежности и оледенения зоны формирования стока и их возможное воздействие на водные ресурсы Центральной Азии // Материалы международного семинара «Оценка снежно-ледовых и водных ресурсов Азии». Алматы, Казахстан (28-30 ноября 2006 г.). Алматы, 2007. С. 180-205.
- 26.Северский И.В., Вилесов Е.Н., Кокарев А.Л., Шестерова И.Н., Морозова В.И., Когутенко Л.В., Усманова З.С. Ледниковые системы Балкаш-Алакольского бассейна: состояние, современные изменения. //Вопросы географии и геоэкологии, Алматы, 2012. № 2. С. 31-40.
- 27.Влияние изменения климата на горную экосистему Тянь-Шаня (на примере иссык-Кульского и Чуйского бассейнов) / Под. Ред. Маматканова Д.М., Chen Xi, Jilili Abuduwali. – Бишкек: Нур-ас, 2014. – 524 с.
- 28.Аламанов С., Сакиев К., Ахмедов С., Чодураев Т.М. и др. Физическая география Кыргызстана. – Бишкек: Турар, 2013. –588 с.
- 29.Берг Л.С. Предварительный отчет об исследовании оз. Балхаш летом 1903 г. – изд. РГО, 1904. – Т.40, вып.4. – С. 584-599.
- 30.Зайков Б.Д. Средний сток и его распределение в году по территории СССР.// Тр. НИУ ГУГМС, сер. IV, вып.24. – Л. – М.:Гидрометеиздат, 1946.
- 31.Щульц В.Л. Реки Средней Азии. Ч.1, 2. – Л.: Гидрометеиздат, 1965.
- 32.Беркалиев З.Т. Гидрологические основы водохозяйственного использования бассейна реки Или. – Алма-Ата: Изд. Казгосиздат, 1960.
- 33.Лаврентьев П.Ф., Голубцов В.В., Юрина Е.Г. Средний сток и его колебания в бассейнах озер Балхаш-Алакольской впадины. // Тр. КазНИГМИ, 1963. – Вып.18.
- 34.Семенов О.Е. Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. – Алматы, 2011. – 580 с.
- 35.Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды бассейна озера Балкаш за 2015, 2016 гг. – [Электронный ресурс] – URL: <http://energo.gov.kz/index.php?id=2215>

36. Галаева А.В. О необходимости внесения озера Балхаш в список Всемирного наследия ЮНЕСКО. // Гидрометеорология и экология, №2, 2012. С.160-165.
37. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. – Л.: Гидрометеоздат, 1967. – 199 с.
38. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. проф. И.А. Шикломанова. – СПб.: ГГИ, 2008. – 600 с.
39. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 365 с.
40. Шикломанов И.А. Исследование водных ресурсов суши: итоги, проблемы, перспективы. Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 154 с.
41. Глушков В.Г. Географо-гидрологический метод // Известия ГГИ. – 1993. – № 57-58. – С. 5–10.
42. Андреев В.Г. Внутригодовое распределение речного стока. Л.: Гидрометеоздат, 1960. – 327 с.
43. Jan Seibert. HBV light version 2, Users Manual. Stockholm University, Department of Physical Geography and Quaternary Geology. 2005. – 32 p.
44. Оценочный доклад об изменениях климата на территории Казахстана / под рук. Долгих С.А. – Караганда: Экожан, 2014. – 56 с.
45. Галаева А. В. О возможности применения модели HBV для моделирования стока рек Или и Иртыш. // Гидрометеорология и экология. – 2013. – №2. – С.108-114
46. Шиварева С.П., Галаева А.В. Анализ изменения стока в бассейне р. Или в пределах Казахстана и Китая // Гидрометеорология и экология. – 2014. – №1. – С. 55-67.
47. Галаева А.В. Изменение стока реки Или на участке от гидрометрического створа 164 км выше Капшагайской ГЭС до ур. Капшагай за счет деградации оледенения и увеличения атмосферных осадков // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета, Т. 14, № 7, 2014. – С. 93-95.

48. Ли В.И., Домран А.О., Линейцева А.В. Оценка уязвимости водных ресурсов Казахстана при антропогенном изменении климата на перспективу до 2035 года // Гидрометеорология и экология, № 2, 2011. – С. 37-55.
49. Голубцов В.В., Линейцева А.В. Поступление стока в Республику Казахстан из Российской Федерации по трансграничной реке Урал в современных условиях и на перспективу до 2035 г. // Чистая вода: проблемы и решения. М.: АО «Институт микроэкономики», 2012. – №1-2. – С. 117-120.
50. Галаева А.В. Водные ресурсы реки Или в условиях изменения климата и водопотребления // Вестник Кыргызского государственного университета имени И. Арабаева. Серия: естественные науки. Матер. Межд. Научно-практич. конф. «Проблемы совершенствования управления природными и социально-экономическими процессами». – Спец. Вып. № 1, 2013. – с. 54-58
51. Бейлинсон М.М. Формирование и разрушение ледяного покрова (на водотоках и водоемах Казахстана), Алма-Ата: Наука, 1989. 215 с.
52. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. 2003
53. Методические рекомендации по определению основных расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений – Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007. – 134 с.
54. Шиварева С.П., Галаева А.В., Азнабакиева М.М., Кишкимбаева А.А. Анализ многолетней динамики внутригодового распределения речного стока в бассейнах рек Иле и Ертис в пределах Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. – № 3, 2015. – С. 78-92.
55. Чередниченко В.С., Кожаметова Э.П. Колебания климата в Иле-Балхашском бассейне. // Гидрометеорология и экология. – 2008. – №3. – С. 71-86.
56. Лебедев В.В. Гидрология и гидрометрия в задачах. Л: Гидрометеоиздат, 1961. – 700 с.
57. Линейцева А.В. Современное поступление речного стока в Восточный Балхаш // Гидрометеорология и экология, № 1, 2010. – С. 109-116.

58. Линеицева А.В. Изменение годового стока реки Каратал во второй половине 20-го начале 21-го века // гидрометеорология и экология, № 1, 2009. – С. 23-27.
59. Голубцов В.В., Линеицева А.В. Поступление воды в реку Каратал за счет деградации горного оледенения // Гидрометеорология и экология, № 4, 2010. – С. 101-108.
60. Голубцов В.В., Линеицева А.В. Поступление воды в реки северного склона Жетысуского Алатау в связи с деградацией горного оледенения // Сборник статей междунауч. симпозиума «Вода в центральной Азии». – Ташкент, Узбекистан. – 2010. – С. 13-14.
61. Вилесов Е.Н., Морозова В.И. Современные тенденции изменения размеров оледенения и ледникового стока в бассейне реки Каратал, Западная Джунгария. // Гидрометеорология и экология. – 2006. – №3. – С. 80-92
62. Линеицева А.В. Изменение водных ресурсов рек Каратал, Лепси и Аксу в результате деградации горного оледенения // Гидрометеорология и экология, № 1, 2011. – С. 95-100.
63. Браславский А.П., Чистяева С.П. О величине изменения стока р. Или в пределах ее дельты // Труды КазНИГМИ
64. Алма-Ата. Энциклопедия / Гл. ред. Козыбаев М. К.. — Алма-Ата: Гл. ред. Казахской советской энциклопедии, 1983. — С. 291—292. — 608 с.
65. Э.А. Турсунов, А.С. Мадибеков, С.У. Ранова, А.В. Галаева. Современные батиграфические характеристики Капшагайского водохранилища // Гидрометеорология и экология. – 2014. – №2. – С. 105-110.
66. Линеицева А.В. Современное поступление речного стока в озеро Балхаш. Материалы международной научно-практической конференции «Современные аспекты использования природно-ресурсного потенциала трансграничных рек Центральной Азии», Тараз, 10-12 ноября 2009 г. Алматы, 2010. С. 114-118.
67. Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья / под редак. Скоцеляса И.И. – Спб: гидрометеоиздат, 1995. – 269 с.

68. Скоцеляс И.И., Ли В.И., Попова В.П, Ерисковский С.А. Боковой приток речных вод в Капчагайское водохранилище // Гидрометеорология и экология, 2001.– № 3-4. – С. 69-79.
69. Igor Klein, Andreas J. Dietzb, Ursula Gessnerb, Akhan Myrzakhmetovd, Claudia Kuenzerba. Evaluation of seasonal water body extents in Central Asia over the past 27 years derived from medium-resolution remote sensing data // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation № 26, 2014. – P. 335–349.
70. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны рек оз. Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана. Т. 5 вып. 4. Алма-Ата 1970-2013 гг.
71. Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С., Алимкулов С.К. Водная безопасность Республики Казахстан: проблемы устойчивого водообеспечения. – Алматы, 2015. – 582 с.
72. Семенов О.Е. Эоловые формы рельефа и их перемещение ветром // Гидрометеорология и экология, №3, 2014. – С. 7-33.
73. Амиргалиев Н.А. Полихлорированные бифенилы в водной экосистеме Иле-Балкашского бассейна. – Алматы, 2016. – 192 с.
74. База данных оледенения GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space). – [Электрон. ресурс]. – URL: <http://glims.colorado.edu/glacierdata/>
75. Оценочный доклад об изменениях климата на территории Казахстана / под рук. Долгих С.А. – Караганда: Экожан, 2014. – 56 с.
76. Современный Синьцзян и его место в казахстанско-китайских отношениях / под общей ред. К.Л. Сыроежкина. – Алматы: Фонд Евразии, 1997. – 245 с.
77. Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С., Алимкулов С.К. Водная безопасность Республики Казахстан: проблемы устойчивого водообеспечения. – Алматы, 2015. – 582 с.
78. Есекин Б., Каменев Е., Садомский В., Тэн В. План интегрированного управления озера Балхаш. [Электрон. ресурс]. – 2011. – URL: [http://www.cawater-info.net/6wwf/conference\\_tashkent2011/files/esekin\\_kamenev\\_sadomsky\\_ten\\_paper\\_r.pdf](http://www.cawater-info.net/6wwf/conference_tashkent2011/files/esekin_kamenev_sadomsky_ten_paper_r.pdf).

79. Alexey Terekhov, Svetlana Dolgikh. 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, 2016. – Almaty, Kazakhstan. [Электрон. ресурс]. – URL: [https://www.iamo.de/fileadmin/user\\_upload/Bilder\\_und\\_Dokumente/06-veranstaltungen/silk\\_road\\_2016/presentations\\_silk\\_road/Terekhov-Land\\_cover\\_dynamics\\_and\\_water\\_management\\_in\\_basin-248\\_a.pdf](https://www.iamo.de/fileadmin/user_upload/Bilder_und_Dokumente/06-veranstaltungen/silk_road_2016/presentations_silk_road/Terekhov-Land_cover_dynamics_and_water_management_in_basin-248_a.pdf)
80. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Том 10 – Орошаемое земледелие Казахстана: состояние и перспективы. – Алматы, 2012. – 363 с.
81. Голубцов В.В, Ли В.И. О необходимости проектирования и строительства водосливной плотины на озере Балхаш в проливе Узун – Арал // Гидрометеорология и экология. №4. 2006. – С. 37-40.
82. Турсунова А., Мырзахметов А.Б. Водные ресурсы Иле-Балкашского бассейна с учетом международных принципов совместного использования // Матер. Междунар. Научной Конференции «Европейская наука XXI века». Пшемьсль, польша, 2012. С. 23-34.
83. Абишев И.А., Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Водные ресурсы Казахстана и их использование // Матер. Междунар. Науч.-практич. Конф. «Водные ресурсы Центральной Азии и их использование». – Книга 1. Алматы, 2016. – С. 9-18.
84. Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление (концепция) // Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Алматы, 2012. – Т.2. – 330 с.
85. Территориальное перераспределение водных ресурсов Казахстана: возможность и целесообразность / Под ред. И.М. Мальковского. – Алматы, 2012. – 414 с.
86. Медеу А.Р., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Управление водными ресурсами Республики Казахстан: Проблемы и решения // Матер. 1 междунар. Научно-практич. Конференции «Гидрология и инновационные технологии в водном хозяйстве». – Астана, 2015. – С. 18-22.



## **ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 2**