

# ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

*На правах рукописи*

МУМИНОВ АБУЛКОСИМ ОМАНКУЛОВИЧ

## **ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАССЕЙНА РЕКИ ВАХШ И ВЛИЯНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ**

**Специальность:**

25.00.36 - Геоэкология (Науки о Земле)

### **ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

**Научный руководитель:**

доктор химических наук,  
профессор Фрумин Г.Т.

**Научный консультант:**

кандидат географических наук,  
Норматов П.И.

Санкт-Петербург

2020 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ БАССЕЙНА РЕКИ ВАХШ .....	8
1.1. Физико-географические условия бассейна реки Вахш.....	8
1.2. Состояние сельского хозяйства в бассейне реки Вахш и гидроэнергетический потенциал бассейна реки Вахш и перспектива его освоения.....	11
1.3. Водные ресурсы бассейна реки Вахш и перспективы их использования.....	12
1.4. Характеристики окружающей среды.....	25
1.5. Современное состояние и методология.....	32
1.6. Анализ водного режима и определение типа питания реки.....	35
ГЛАВА II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	38
2.1. Характеристика информационного массива.....	38
2.2. Методика обоснования территорий мониторинга в бассейне реки Вахш.....	40
2.3. Химико-аналитические исследования отобранных образцов и проб.....	43
2.4. Изотопное исследование отобранных образцов.....	67
ГЛАВА III. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НУРЕКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИБРЕЖНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАЙОНОВ.....	68
3.1. Состояние вопроса.....	68
3.2. Объекты исследований и исходные данные.....	71
3.3. Формирование метеорологических условий прибрежных к Нурекскому водохранилищу районов Файзабада, Дангары и Явана.....	72
3.4. Критерии эффективности Нурекской гидроэлектрической станции (ГЭС) с водохранилищем.....	85
3.5. Седиментация в водохранилище Нурека.....	90
ГЛАВА IV. ГИДРОХИМИЯ И ИЗОТОПЫЙ СОСТАВ РЕКИ ВАХШ И ЕЕ ПРИТОКОВ .....	98
4.1. Состояние вопроса.....	98
4.2. Объект исследования .....	100
4.3. Гидрохимия и изотопный состав реки Вахш и притоков.....	101
4.4. Исследование изотопного состава ( $\delta^2\text{H}$ $\delta^{18}\text{O}$ ) реки Вахш и ее притоков.....	106
4.5. Изменение химического состава подземных вод в период ирригации сельскохозяйственных земель.....	110
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.....	115
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	116

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Энергетический аспект рек с действующими гидротехническими объектами и богатым запасом гидроэнергетических ресурсов главным образом определяется двумя ключевыми факторами. Во-первых, водностью реки, расходом воды и, во-вторых, стоком взвешенных наносов. В свою очередь, водность реки предопределяется гидрологическим режимом ее притоков. Проблема взвешенных наносов особенно актуальна в горных местностях, где сильное течение рек вымывает огромную массу прибрежных горных пород и, следовательно, накопление их в водохранилищах отрицательно влияет на уменьшение полезного объема. Вышеназванные проблемы актуальны для реки Вахш - одного из главных притоков трансграничной реки Амударья. Река Вахш - это 38% всех гидроэнергетических ресурсов бассейна Амударьи с потенциальным энергетическим ресурсом 28,6 млн. кВт (250 млрд. кВт.ч/год электроэнергии). Наличие таких потенциальных ресурсов, несомненно, свидетельствует о решающей ее роли, как для экономики Таджикистана, так и всего Центрально-Азиатского региона. Планомерное и рациональное использование энергетических ресурсов с учетом интересов стран низовья, заинтересованных в ирригационном аспекте воды, стимулируют проведения систематических наблюдений за метеорологическими и гидрологическими условиями бассейна реки Вахш.

Известно, что освоение гидроэнергетических ресурсов водных артерий и тем самым обеспечение энергетической безопасности является стратегическим направлением политики Республики Таджикистан. Орография и географические особенности республики являются благоприятствующими факторами для развития гидроэнергетики. При этом следует особо отметить, что гидроэнергетику считают представителем возобновляемых источников энергии, не загрязняющий окружающую среду.

Этот аспект приобрел особую актуальность в связи с глобальным

изменением климата. Для обеспечения своих потребностей на энергетические ресурсы страны низовья трансграничных рек Центральной Азии сжигают огромные количества органического топлива и тем самым выбрасывают в атмосферу широкий спектр загрязняющих веществ и газов - стимуляторов процесса изменения климата. При налаживании добрососедских отношений и с пониманием нынешней тревоги человечества, связанной с Глобальным изменением климата, можно внести существенный вклад в ослабление влияния изменений климата. В этом плане Республика Таджикистан в состоянии обеспечить соседей чистой энергией.

Ныне одной из актуальных проблем, с которой столкнулось человечество, - это продовольственная безопасность. С нарастанием демографического фактора в сочетании с чрезвычайными факторами климатической природы созрела острая проблема по селекции высокоурожайных зерновых и других сельскохозяйственных культур, устойчивых к климатическим стрессам. Наряду с этим также появилась проблема разработки механизмов адаптации к изменениям компонентов экосистемы и окружающей среды, вызванное необходимостью обеспечения жизнедеятельности и развития инфраструктуры. В связи с этим систематическое исследование протекания метеорологических и гидрологических процессов в зонах действия таких искусственных объектов является актуальной проблемой. К примеру, изменения локальных метеорологических условий местности под влиянием водохранилищ. Сбор информации о таких воздействиях вносят существенный вклад в планирование развития аграрного сектора в этих районах.

Актуальность исследования определяется необходимостью совершенствования современных методов оценки загрязнённости поверхностных вод суши, что является предметом оживленных дискуссий.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является геоэкологическая оценка загрязнённости вод бассейна реки Вахш и

влияние водохранилищ на климатические характеристики прибрежных районов.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- собрать, обобщить и проанализировать метеорологические данные районов, прибрежных к Нурекскому водохранилищу;
- определить критерии эффективности возведения гидроэлектростанций с водохранилищами;
- определить влияние стока взвешенных наносов на изменение скорости стока воды в реках;
- провести комплексное геоэкологическое исследование химического состава вод реки Вахш и её притоков в зонах формирования и рассеяния;
- исследовать процессы взаимодействия поверхностных и подземных вод в бассейне реки Вахш с применением изотопной гидрологии.

**Объект исследования.** Объектом исследования является бассейн реки Вахш и ее притоки.

**Предмет исследования** – геоэкологическая оценка загрязнённости поверхностных вод бассейна реки Вахш и влияние водохранилищ на климатические характеристики прибрежных районов.

**Методологическая, теоретическая и эмпирическая базы исследования.**

В диссертационной работе использованы статистические методы для обобщения, систематизации и обработки метеорологических и гидрологических данных, методы определения взвешенных наносов и их количественная связь с расходом воды. В работе широко используются данные наблюдений на притоках реки Вахш.

Достоверность оценок и результатов обеспечивается использованием статистических и математических методов данных наблюдений.

### **Научные результаты, выносимые на защиту:**

1. Результаты изучения влияния Нурекского водохранилища на метеорологические условия прибрежных к нему сельскохозяйственных районов.
2. Результаты исследования динамики изменения стока взвешенных наносов в реке Вахш за период 1950-1990 гг.
3. Результаты исследований взаимодействия поверхностных и подземных вод и взаимообмена химическими ионами в бассейне реки Муксу – притока реки Вахш.

### **Научная новизна исследования:**

- Количественно определен сток взвешенных наносов в реке Вахш за период 1960-1990 гг. до и после возведения Нурекского водохранилища. Обнаружена зависимость объёма формирования взвешенных наносов от скорости течения воды.
- Разработана рекомендация по норме ирригационной воды для сельскохозяйственных земель с учетом агроклиматических условий районов, прибрежных к водохранилищам.
- Показана перспективность методов изотопной гидрологии в установлении степени загрязнённости водных объектов и определения источников питания водных артерий.

### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Результаты исследований внедрены в тематический план Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Академии наук Республики Таджикистан и в Агентство по гидрометеорологии Комитета охраны окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан.

Основные положения диссертационной работы включены в учебную программу дисциплины «Гидрология суши и гидрохимия рек» кафедры Метеорологии и климатологии Таджикского национального университета.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований докладывались на International research and practice conference «Influence of Climate change on snow, ice and water resources», September 2014, Issyk-Kul, Kyrgyzstan, International Conference «Adapt to Climate», 27-28 March 2014, Nicosia, Cyprus, 16<sup>th</sup> Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences, Jawaharlal Nehru University, New Delhi, India 17-20 October 2014, The impact of Climate change and Agroclimatic resources on maintenance of Food Security and creation of adaptation mechanisms. Proc. International Conference «Adapt to Climate», 27-28 March 2014, Nicosia, Cyprus, Perspective of the Agriculture development of the Mountain areas in modern conditions of Climate change. Proc. of 16<sup>th</sup> Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences, Jawaharlal Nehru University, New Delhi, India 17-20 October 2014, The chemical and isotope methods application for Risk Assessment contamination of the main tributaries of the Transboundary Amudarya River. International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering (IPCБЕЕ, ISSN: 2010-4618), Rome, Italy July 18-20, 2017

**Личный вклад автора.** Личный вклад автора заключается в постановке проблемы исследования, методическом обеспечении её решения и анализе полученных автором результатов мониторинга метеорологических условий бассейна и гидрологических характеристик притоков реки Вахш. В основе диссертации лежат результаты пятилетних исследований автора по проблеме метеорологии и гидрологии бассейна реки Вахш.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе 3 публикации в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав и выводов, изложена на 123 страницах основного текста и включает 25 рисунков и 25 таблиц. Список использованных источников включает 115 наименований, в том числе 60 иностранных.

# **ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ БАСЕЙНА РЕКИ ВАХШ**

## **1.1. Физико-географические условия бассейна реки Вахш**

Бассейн реки Вахш (рис.1) является одним из больших по территории бассейнов 31200 км<sup>2</sup>, находящихся в наиболее высокой части Средней Азии. Верхняя часть бассейн реки Вахш расположена на северной окраине Памира в пределах Памирского и Алайских хребтов, средняя и нижняя части в полуаридной зоне Южно-Таджикской депрессии. Вахшская долина расположена в юго-западной части Таджикистана на высоте 329-445 м над уровнем моря, и она вытянута в меридианном направлении по правому и левому берегу нижнего течения реки Вахш, с севера к ней примыкает Яванская долина. Границами её служат с востока хребты Теракчитау и Каратау, с севера - хребет Рангун, с запада - хребет Ак-Тау, а с юга она сливается с равнинами и песками правого берега реки Пяндж [1]. Бассейн Реки Вахш отличается высокой теплообеспеченностью. Сумма положительных температур в пределах периода с температурой выше 10°C составляет 50,37-56,73°C, сумма эффективных температур (выше 10°C) варьирует в пределах 26,87-32,23°C [1-2]. Первые весенние заморозки в воздухе отмечаются 7-13 марта, а первые осенние - в интервале 30 октября-09 ноября. Продолжительность безморозного периода составляет 230-246 дней. Важным фактором формирования климата бассейн реки Вахш является циркуляция атмосферы. В холодное время над Средней Азией и южнее её проходит полярный фронт, господствуют холодные континентальные воздушные массы. Одновременно с запада и юго-запада в Среднюю Азию движутся циклоны из Средиземного моря и Ирана, приносящие теплый воздух и осадки [1]. Такое взаимодействие воздушных масс обуславливает неустойчивость зимней погоды и резкое колебание температуры. В бассейне реки Вахш в январе морозы могут достичь 20-25°C, а положительные



температуры 22-23°C [1]. В условиях Вахшской долины среднемесячная температура воздуха достигает 28,4-31,4°C, а среднегодовая равна 15,7-16,7°C.

В бассейне реки Вахш насчитывается 569 горных озёр общей площадью 17,37 км<sup>2</sup> (рис. 1). В основном они расположены на высотах 2800-3500 м [3] и представляют собой небольшие водоёмы с площадью зеркала от несколько сот квадратных метров до 1км<sup>2</sup>. Бассейн реки Вахш характеризуется весьма высокой интенсивностью денудации (2900 т/км<sup>2</sup>). Среднее значение мутности реки Вахш превышает 4000 г/м<sup>2</sup> (табл.1). Высокие значения интенсивности смыва средней мутности объясняются тем, что бассейн реки Вахш сложен породами малоустойчивыми против выветривания, его отличают слаборазвитый или совсем неразвитый растительный покров.

Таблица 1. Характеристика стока взвешенных наносов бассейна реки Вахш [10-14]

Река	Пункт наблюдения	Среднегодовой расход, кг/с	Годовой сток наносов, тыс. т	Годовой модуль стока наносов, т/км <sup>2</sup>	Сток наносов за половодье, тыс./т	Сток наносов за половодье, % от годового	Наибольший срочный расход наносов, кг/с	Среднегодовая мутность воды, г/м <sup>3</sup>
Вахш	п. Гарм	1400	44000	2200	39000	90	53000	6700
Вахш	п. Саригузар	930	30000	940	-	-	36000	3800
Кызылсу	к. Домбрачи	100	3200	380	3300	97,8	2700	
Муксу	п. Девсеар	440	14000	2200	13000	98,7	12000	3900
Обигарм	п. Обигарм	4	130	640	150	76,8	300	810
Нурек	п. Дагана	9,4	300	3700	290	88,1	13000	9000
Дагана	к. Гофилабад	0,54	17	780	17	92,5	4100	3600



Рис. 1. Главные речные бассейны Республика Таджикистан.

После слияния Вахша с Пянджем река носит название Амударья, в которую впадают река Кафирниган с притоками Варзоб, Ханака, Каратаг и Сурхандарья с многочисленными притоками.

Речные бассейны Таджикистана различаются высотой водосборов, степенью оледенения, условиями питания [8].

На реках различных типов питания достаточно чётко выделяется два периода в годовом стоке: весенне-летнее половодье и осенне-зимняя межень. В период половодья проходит 60-90% годового стока. Среднемноголетний сток рек, формирующийся в Таджикистане, составляет  $64 \text{ км}^3/\text{год}$ , из них от 70 до 90% образуется в паводковый период [17].

По условиям увлажнения климат бассейна реки Вахш относится к сухому климату. Годовое количество осадков составляет 143-297мм, а за период апрель-сентябрь варьирует в пределах 45-77мм. Из среднегодового количества осадков по четырем метеостанциям 40% приходится на зиму, 48% на весну, на лето - 1,5% и на осень - 10,5% [1]. Бассейн реки Вахш

относится к соленосным бассейнам. Здесь насчитывается 48 рек со следами селевой деятельности. Сели образуются чаще всего при дождях. Глинистые слои и песчаники при сильном переувлажнении обуславливают возникновение оползней, которые при своём движении попадают в русло и образуют селевой поток. На территории бассейна реки Вахш формируется 1213 млн.м<sup>3</sup>/год сточных и коллекторно-дренажных вод, из них на орошение используется 4 млн.м<sup>3</sup>/год [9] и сбрасывается в природные поверхностные водные объекты 1209 млн.м<sup>3</sup>/год.

Самым крупным водопотребителем в бассейн реки Вахш является орошаемое земледелие. Однако вода использовалась, и продолжает использоваться крайне неэффективно. Фермеры в среднем забирают около 20000м<sup>3</sup> воды на гектар для орошения. Бассейн реки Вахш характеризуется слабо развитой промышленностью. Здесь расположены два крупных химических предприятия – Вахшский азотно-туковый завод и Яванский электрохимический комбинат. Количество воды, потребляемое на производственные нужды составляет 13633,8 м<sup>3</sup>/сутки, на хозяйственные нужды – 119,25м<sup>3</sup>/сутки.

## **1.2. Состояние сельского хозяйства в бассейне реки Вахш и гидроэнергетический потенциал бассейна реки Вахш и перспектива их освоения**

Таблица 2. Площади используемой земли и процентное отношение от площади бассейна

Формы и использование земли	Площадь, м <sup>2</sup>	Процент от площади бассейна, %
Орошаемые земли	2023000000	6,48
Пастбища	8800000000	28,20
Районы	24043750000	77,06
Водохранилища	6200000000	1,99
Озера	173700000	0,06
Оледенение	3150000000	10,10
Орошаемые земли на душу населения	800	0,000003

### **1.3. Водные ресурсы бассейна реки Вахш и перспективы их использования**

Главная река Республики Таджикистан – Вахш, которая, сливаясь с Пянджем, образует Амударью – самую большую реку Центральной Азии. Длина Вахша от истока до устья 691 км, от места слияния составляющих его рек - 524 км, площадь бассейна 39160 км<sup>2</sup> – почти четверть площади всего Таджикистана, его истоком официально принято считать безымянный ледник на высоте 4685 м над уровнем моря неподалеку от перевала Кокуй-Бель. Падение реки, то есть разница в высоте между истоком и устьем – 4350 м. Десятую часть бассейна Вахша занимают ледники, третью часть – скалы и осыпи, остальное – горные луга, редкие леса, а в низовьях – полупустыня. У Вахша 6276 притоков, а вот озер в его бассейне всего два десятка общей площадью 4 км<sup>2</sup>. Питание р.Вахш ледниково-снеговое, то есть более 40% его стока в половодье, с июля по сентябрь, составляют талые воды ледников. Кроме того, ему дают воду тающие сезонные снега, родники и дожди.

Средний расход р. Вахш у головного сооружения Вахшского магистрального канала 2273 м<sup>3</sup>/с, наибольший – 4500 м<sup>3</sup>/с, наименьший - 1420 м<sup>3</sup>/с. Половодье, то есть многоводье на нём продолжается с марта по октябрь, средняя продолжительность половодья 221 день. За это время по реке проходит 87% годового стока (табл. 3, 4).

Как и многие другие, центрально азиатские реки, р. Вахш рождается в результате слияния двух рек – Сурхоб справа и Обихингоу слева. В свою очередь каждая из этих составляющих также получает свое название после слияния двух, а то и большего количества рек [18].

Таблица 3. Морфометрические характеристики некоторых рек бассейна реки Вахш [3]

Река	Куда впадает	Длина, км	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Высота, м над уровнем моря		Средний уклон, %
				исток	устье	
Кызылсу	Сурхоб(п)*	254	8380	3800	1835	7,7
Муксу	Сурхоб(л)*	88	7070	2714	1835	10
Сурхоб	Вахш(п)	146	7286	1835	1163	4,6
Коксу	Сурхоб(п)	11	1294	1823	1708	9,6
Ярхыч	Сурхоб(п)	48	1170	3309	1570	36,2
Ясман	Сурхоб(п)	30	208	3400	1568	61
Сарбог	Сурхоб(п)	81	1780	3580	1246	28,8
Сангикар	Сурхоб(п)	42	291	3400	1242	51,4
Обихингоу	Вахш(л)	196	6660	2960	1163	9,2
Обимазор	Обихингоу(л)	38	1030	3200	2168	27,1
Рангоу	Обихингоу(п)	62	781	3210	1958	20,2
Сурхсу	Обихингоу(п)	36	266	3800	1446	65,4

Примечание: \*(п) - справа, (л)слева

Таблица 4. Характеристики годового стока основных рек бассейна р. Вахш

Река	Пункт наблюдения	Источники питания, % от среднегодового объема стока				Тип реки	Средний за период наблюдения			
		подземное	ледниковое	снеговое	дождевое		Среднегодовой расход воды, м <sup>3</sup> /с	Среднегодовой модуль стока, л/с·км <sup>2</sup>	Годовой слой стока, мм	Годовой объем стока, млн м <sup>3</sup>
Вахш	к. Туткаул	40	27	31	2	л-с	640	20,5	647	20183
Кызылсу	к. Дараут-Курган	75	12	13	0	л-с	41,6	7,33	231	1310
Муксу	пост Давсеар	18	52	30	0	л-с	111	16,9	533	3490
Тамдыкуль	10км выше устья	33	25	45	0	л-с	16,1**	40,4	1273	508
Питаукуль	к.Ярмазор	40	23	37	0	л-с	16,7	31,4	991	526

Сурхоб и Обихингоу сливаются на высоте 1151 м над уровнем моря, устье р. Вахш находится на высоте всего 316 м над уровнем моря. Уклон реки составляет 0,0024, то есть Вахш по удельной русловой мощности превосходит Нарын, Амударью, а также Волгу, Енисей, Ангару, Лену. Благодаря этому и Пянджу Республика Таджикистан по гидроэнергетическому потенциалу занимает второе место в СНГ после России. Вахш – это 38% всех гидроэнергетических ресурсов бассейна Амударьи. Потенциальные энергетические ресурсы Вахша составляют 28,6 миллиона киловатт, он может давать в год 250 миллиардов киловатт/часов электроэнергии (табл. 4, рис.2) [8-17]. Правую составляющую р. Вахш - реку Сурхоб рождают реки Муксу и Кызылсу-алайская, сливающиеся там, где начинается гигантский Заалайский хребет – северная граница Таджикистана. На Кызылсу водомерный пост находится в кишлаке Домбрачи, а на Муксу – в кишлаке Девсеар. Длина Кызылсу-алайская 235 км, площадь бассейна 8370 км<sup>2</sup>, падение 2300 метров. Воду она собирает из родников и ледников южного склона Алайского и северного склона Заалайского хребтов, общая площадь оледенения ее бассейна больше тысячи квадратных километров. Самый большой узел оледенения находится в районе пика Национального согласия, бывший пик Ленина (7134 м над уровнем моря). Талые воды ледников составляют 69% всего стока Кызылсу-алайской. По скалистой теснине между киргизским кишлаком Катта-Карамык и таджикским кишлаком Кичи-Карамык река приходит на территорию Таджикистана, неся каждую секунду примерно семьдесят кубометра воды (табл.5) [8-17]. Площадь бассейна Муксу 6550 км<sup>2</sup>. В бассейне Муксу ледники занимают 38%, а именно 2518 км<sup>2</sup> – почти треть всего оледенения страны. Талая вода ледников составляет 54% ее годового стока. Средний расход реки Муксу 132 м<sup>3</sup>/с.

Муксу сливается из нескольких рек - Сельдары, Баляндкиика, Каинды и Саукся. Из них самая бурная и многоводная Сельдара, берущая своё

начало из ледника Федченко. В 1932 году открылась гидрометеостанция Алтын-Мазар у истоков реки Муксу на высоте 2820 м над уровнем моря. Но наиболее известной стала уникальная, самая высокая в мире гидрометеорологическая станция на леднике Федченко – 4169 м над уровнем моря. Станция вступила в строй и вышла в эфир 7 ноября 1933 года. Река Коксу, на берегу которой стоит большой районный центр Джиргаталь, образуется слиянием рек Тамдыкуль и Питаукуль. В ее бассейне 168 ледников общей площадью более 160 км<sup>2</sup>.

Примерно на полпути между Гармом и Джиргаталем справа в Сурхоб впадает большой приток - река Ярхыч. В её бассейне имеется 177 ледников общей площадью 107 км<sup>2</sup>.

Напротив Гарма, на противоположном борту долины Сурхоба, расположен районный центр Таджикабад и несколько кишлаков. Выше его, на северном склоне хребта Петра Первого, находится 52 небольших ледников общей площадью 19,4 км<sup>2</sup>. В настоящее время они интенсивно тают, сокращаются. Среди них интересен ледник Дидадь длиной 4,8 км и площадью всего 1,6 км<sup>2</sup>, который в 1974 году неожиданно стал наступать, увеличился в длину на несколько сот метров, а затем вся его передняя шестисотметровая часть объёмом около двух миллионов кубометров оторвалась и, промчавшись несколько километров по крутому скалистому ущелью, засыпала долину реки Каудаль битым льдом. К счастью, этот обвал не принес никакого ущерба и не вызвал жертв.

Весной 1988 года в бассейне реки Шурак - Восточный обрушился ещё один небольшой пульсирующий ледник №504 (по «Каталогу ледников»), точнее, его передняя часть. Масса льда промчалась под уклон более пяти километров. Жертв не было.

Правый приток Сурхоба - река Сорбог, которую рождает слияние рек Горифа и Дубурсы, достаточно многоводна. Длина реки 81 км, площадь бассейна 1760 км<sup>2</sup>, средняя высота 3140 м над уровнем моря, падение реки 2280 м. В бассейне реки Сорбог насчитывается 246 ледников общей площадью 105,6 км<sup>2</sup>. На этой реке у кишлака Санги-Малика находится водомерный пост [3]. Левая составляющая р. Вахш – река Обихингоу имеет длину 196 км, площадь бассейна 6660 км<sup>2</sup> и перепад высот между истоком и устьем 2020 м. В её бассейне находится 756 ледников общей площадью 712 км<sup>2</sup>. В истоках Обихингоу располагается один из крупнейших ледников Памира - Гармо, дающий начало одноименной реке. Его длина 34 км, площадь 114 км<sup>2</sup>. В настоящее время этот ледник, имеющий западную экспозицию, интенсивно отступает, его поверхность оседает, от ледника отделяются большие ледяные блоки. Река Гармо вырывается из ледяного грота и через двадцать километров принимает два больших притока: справа – Киргизоб, слева – Бохуд. После этого река получает название Обихингоу.

Средний расход Обихингоу в ее низовьях у водомерного поста Лабиджар составляет 224 м<sup>3</sup>/с, однако понятие «средний» к горной реке трудно применимо. Зимой, когда ледники не тают, а воду реке дают только родники, её расход падает до 46 м<sup>3</sup>/с, зато летом средний расход возрастает до 600 м<sup>3</sup>/с, а в 1934 году по реке прошел паводок с расходом 1700 м<sup>3</sup>/с - она почти сравнялась по водности с Сырдарьей. У слияния Обихингоу и Сурхоба, где рождается р.Вахш заканчивается зона формирования стока. Ниже начинается зона рассеивания стока, которая почти в четыре раза меньше: каскад гидроэлектростанций и Вахшская долина. Возле Нурекской ГЭС ледниковый сток в режиме р.Вахш составляет 26%, остальное - талая вода сезонных снегов, дождевая и родниковая (табл. 6).



Таблица 5. Перечень действующих и строящихся гидроэлектростанций в бассейне р. Вахш [8-17]

№	Наименование	Параметры			
		Мощность, мВт	Выработка, ТВт·ч/год	Напор, м	Полезный объем водохранилища, км <sup>3</sup>
Каскад ГЭС на реки Вахш					
1	Рогунская**	3600	13,3	300	8,6
2	Шуробская	800	3	55	0,02
3	Нурекская*	3000	11,2	250	4,5
4	Байпазинская*	600	2,5	54	0,08
5	Сангтудинская1**	670	2,7	58	0,02
6	Сангтудинская2	220	1	19	0,005
7	Головная*	240	1,3	26	0,004
8	Перепадная*	30	0,25	39	0
9	Центральная*	18	0,11	22	0
	Всего	9178	35,36		13,229
Каскад ГЭС на реки Обихингоу					
1	Сангворская	800	2	268	1,5
2	Урафатинская	850	2,1	280	0,01
3	Шитенская	600	1,5	150	0,01
4	Евтачская	800	2	185	0,02
5	Кафтаргузарская	650	1,7	140	0,01
	Всего	3700	9,3		1,55
Каскад ГЭС на реки Сурхоб					
1	Джадбулакская	600	2	200	1,4
2	Сайронская	500	2,2	135	0,01
3	Горгенская	600	2,7	138	0,02
4	Гармская	400	1,8	90	0,02
	Всего	2100	8,7		1,45
	ИТОГО	14978	53,36		16,229

\* - действующие, \*\* - строящиеся

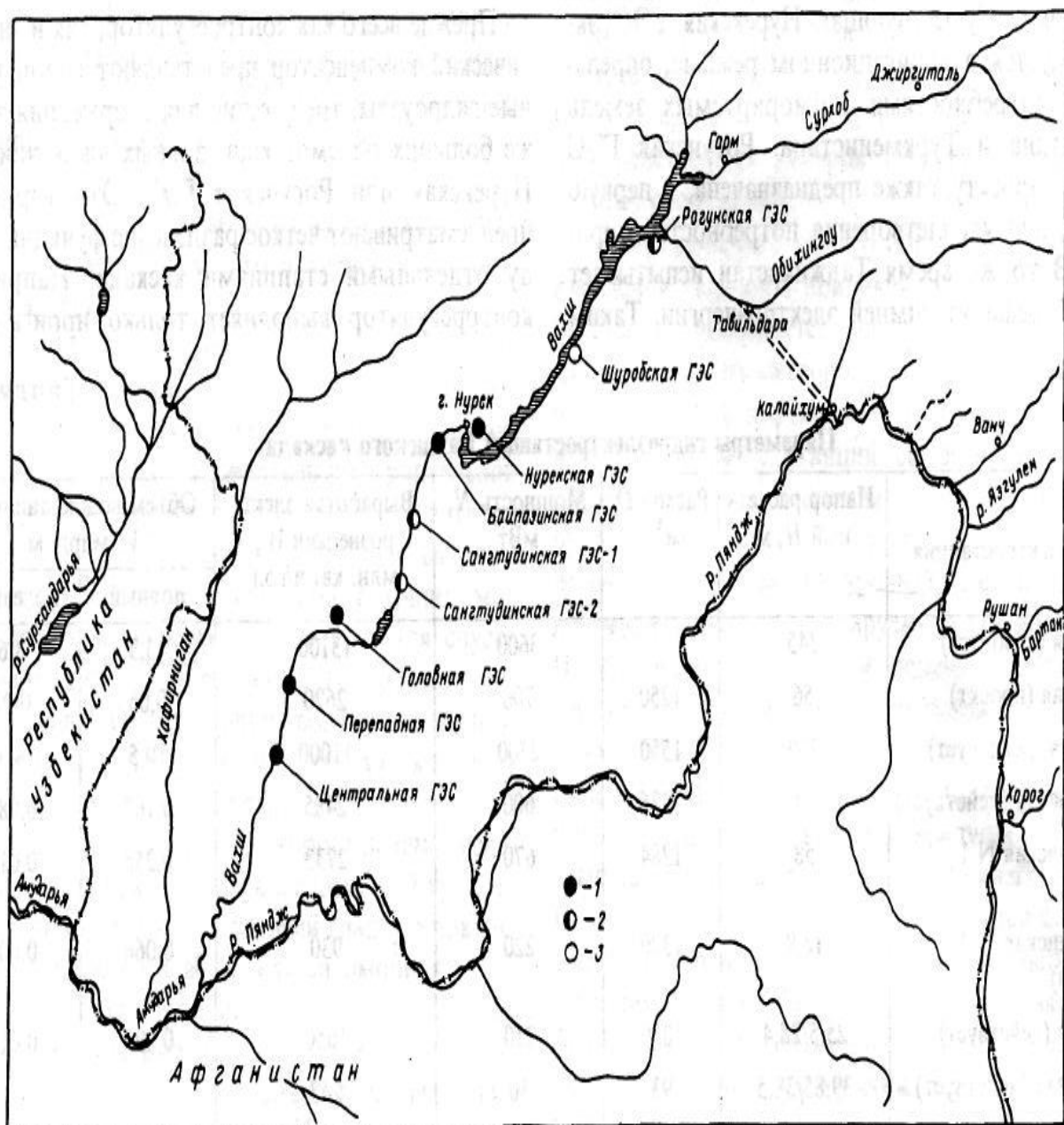


Рис.2. Перечень действующих и строящихся гидроэлектростанций в бассейн реки Вахш [10-14].

В бассейн реки Вахш насчитывается 569 горных озер общей площадью 17,37 км<sup>2</sup>. В основном они расположены на высотах 2800-3500 м. Озера большей частью представляют собой небольшие водоёмы с площадью зеркала от нескольких сот м<sup>2</sup> до 1 км<sup>2</sup> [3].

Таблица 6. Средний годовой ледниковый сток реки Вахш и её притоков (на 1990 год) [17-19]

Река	Место наблюдений	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Площадь оледенения, км <sup>2</sup>	Степень оледенения, %	Сред. годовой сток, млн.м <sup>3</sup>	Ледниковый сток		
						Объем, млн. м <sup>3</sup>	Доля годового стока %	Модуль ледникового стока, л/с·км <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Муксу	Девсеар	6550	2088	31,9	3244	1685	52	26
Вахш	Гарм	20000	3138	15,7	10277	3065	30	29
Вахш	Туткауль	31200	3850,4	12,3	19097	5040	26	39
Ярхыч	Устье	1170	106,8	9	1588	302	19	90
Сорбог	Санги-Малик	1760	105,6	6	2180	338	15	101
Сангикар	Сангикар	291	8,9	3	378	19	5	67
Питаукуль	Ярмазар	531	61,8	12	960	221	23	113
Тамдыкуль	10км выше устья	398	90,8	22,5	507	198	39	69
Обихингоу	Сангвор	1880	398,2	21,2	1568	685	44	39
Обихингоу	Лабиджар	6600	712,4	10,8	6883	1522	22	71
Обимазор	Сангвор	1030	171,5	16,7	832	283	34	51

В реках бассейна реки Вахш отмечается повышенная минерализация с преобладанием хлоридов и сульфатов. Максимальное содержание этих веществ наблюдалось в водах реки Явансу, что обусловлено наличием в горах, окружающих Вахшскую долину, соленосных пород. Повышенной минерализацией характеризуются также притоки реки Вахша – реки Нурек и Дагана. От посёлка Гарм вниз по течению р. Вахш минерализация в период половодья несколько понижается, очевидно, за счёт впадения менее минерализованных притоков (табл. 7).

Вода реки Вахш относится к сульфатному классу (группа кальция). Кислородный режим реки Вахш удовлетворительный, процент насыщения воды кислородом изменялось от 44 до 129%. Содержание органических веществ (по ХПК) варьировало в период маловодья от 0 до 23,9 мг/л. По индексу загрязнённости вод (ИЗВ) качество воды во всех пунктах контроля в основном соответствует первому классу, то есть вода чистая.

Было обнаружено увеличение содержания нитратов в составе вод за период 1984-1988 годы [1]. На территории бассейна реки Вахш формируется 1213 млн.м<sup>3</sup>/год сточных и коллекторно-дренажных вод, из них на орошение используется 4 млн.м<sup>3</sup>/год и сбрасывается в природные поверхностные водные объекты 1209,1 млн.м<sup>3</sup>/год. Эксплуатационные запасы подземных вод бассейна реки Вахш составляют 2,87 м<sup>3</sup> в сутки или 0,090 км<sup>3</sup> в год и сосредоточены в следующих основных месторождениях: Куйбышевское (24,1 тыс.м<sup>3</sup> в сутки), Курган-Тюбинское (223,7 тыс.м<sup>3</sup> в сутки) (табл. 8).

Таблица 7. Посты по контролю качества воды и источников загрязнения на Бассейна реки Вахш

Река	Категория контрольного поста	Расстояние от устья реки, км	Место нахождения	Источники загрязнения
Вахш	IV	416	Пос.Гарм	Сыреплавленный завод г.Гарм
Вахш	IV	373	Нурабад	-
Вахш	III	242	г.Нурек	ГЭС-Нурек, бытовые стоки г.Нурека
Вахш	III	171	г.Калининабад	Каскад ГЭС-Вахш; Завод ЖБИ – 1
Вахш	III	-	Заповедник “Тигровая балка”	Коллекторы БД –3, БД – 6
Кызылсу	IV	0,6	Домбрачи	-
Ярхич	IV	5,0	Хаит	-
Сарбог	IV	4,4	Сангималик	-
Обинхигоу	IV	-	Лайрон	-
Сариоб	IV	4,5	Калайсанг	-
Язгон	IV	0,6	Язгон	-
Сурхсу	IV	4,5	Шаков	-
Нурек	IV	2,3	Дагана	-
Дагана	IV	1,3	Гофилабад	-
Явансу	III	62,5	г.Яван	электрохимический завод

Таблица 8. Гидрохимический режим реки Вахш

Год	Минерализация, мг/л	Кислородный режим, %	ХПК; мгО/л	Нитраты, мг/л
1984	312-951 (“Тигровая балка”)	55-88	1,3-26,8 3,1-23,9	0,05 (г.Калининабад)
1985	342,7-946 (г. Курган-Тюбе)	52-83	0-20,1 0-20,2	0,042 (“Тигровая балка”)
1986	260,6-2177,4	50-100	0-17,7 0-18,7	0,97 (г.Калининабад)
1987	194,1-1798,2	44-129	0-22 0-23,9	0,028 (г.Нурек)
1988	259,9-1480b (г. Курган-Тюбе)	55-107	0-15,6 0-19,5	0,09 (г.Калининабад)
За весь период	194-2177,4	44-129	0-26,8 0-23,9	0.097

Основными источниками питьевой воды в бассейне являются открытые водные источники (реки, ирригационные каналы, малые водоемы). Около 75% воды подаётся в системы именно из таких источников. Количество воды, потребляемое на производственные нужды (нормативное), составляет 13633,8 м<sup>3</sup>/сутки. Количество воды, потребляемое на хозяйственные нужды (нормативное), составляет 119,25 м<sup>3</sup>/сутки или 38947,9 м<sup>3</sup>/год. Хозяйственные сточные воды в количестве 75,4 м<sup>3</sup>/сутки отводятся на существующие канализационно-очистные сооружения города Курган-Тюбе. Объём воды, используемой на коммунально-бытовые нужды населения, составляет около 6% от общего водозабора. Это примерно 1.2 млрд. м<sup>3</sup>. Приблизительно такое же соотношение характерно и для бассейна реки Вахш.

Половина населения бассейна, для которых источником водоснабжения являются река и ирригационные каналы, не пользуются услугами централизованного водоснабжения. Обеспеченность городского населения бассейна водопроводной водой составляет примерно 90%, а сельского - не превышает 45%. В верхней части бассейна реки Вахш преобладает использование родниковых вод для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения. Так, например, водоснабжение г. Рогун, районных центров Рашт, Тавильдара, Таджикобод базируется на родниковых водах, а районный центр Джиргаталь использует артезианские подземные воды.

Для районов, расположенных в нижней части бассейна реки, источником водоснабжения служат поверхностные воды Вахшского магистрального канала. Так, 80% населения города Курган-Тюбе обеспечивается водой из этого источника, а районные центры Вахш, Колхозабад, Джиликуль используют только этот источник. Районный центр Кумсангир получает воду из Кумсангирского магистрального канала. Подземные водозаборы действуют в Ходжамастонском, Бохтарском и Шаартузском райцентрах. Районный центр Хуросон (бывший Гозималикский район) частично обеспечивается питьевой водой из Кафирниганского месторождения подземных вод, посредством водовода протяженностью 44

км. Здесь наблюдается дефицит питьевой воды, и население временами пользуется привозной водой. Потребность в питьевой воде основной части населения покрывается забором воды из оросительного канала, берущего начало из Вахш-Яванского ирригационного туннеля. Часть населения Ходжамастонского района (Джами) также использует поверхностную воду реки Вахш. Население г. Яван в основном обеспечивается подземными водами Кафирниганского месторождения, путём транспортировки воды водоводом длиной в 35 км, насосными станциями с тремя перекачками. В 8-9 месяцы оросительного периода население Яванского района использует воду из каналов Вахш-Яванского ирригационного туннеля. Население района, проживающее в горной части удовлетворяют свои потребности родниковыми водами. Основным источником воды города Курган-Тюбе является Вахшский магистральный канал, откуда производится водозабор в объёме до 30 тысяч м<sup>3</sup>/сутки. Главными экологическими проблемами для бассейна реки Вахш являются: отсутствие адекватного доступа к качественной питьевой воде, деградация земель (снижение плодородия) и деградация экосистем. В целом для бассейна реки Вахш характерна тенденция ухудшения качества и увеличения объема забираемой пресной воды для целей питьевого водоснабжения. Ухудшение качества воды связано с отсутствием необходимых очистных сооружений, а увеличение объемов забора воды на питьевые нужды - в связи с ростом численности населения. Основной причиной ухудшения качества воды основного источника - р. Вахш, связано со сбросом неочищенных промышленных и коммунально-бытовых стоков. Загрязнение поверхностных и подземных вод коммунально-бытовыми, промышленными и сельскохозяйственными стоками является одной из основных причин существующего дефицита питьевой воды в Кумсангирском, Яванском и Колхозабадском районах. Учитывая состояние и уровень оснащенности сооружений для очистки воды и то, что треть населения пользуется водой из источников, вода из которых не подвергается достаточной очистке, угрозы здоровью населения, связанные с качеством

питьевой воды остаются повседневной реальностью. Общее состояние систем подачи и распределения определяется наличием и состоянием насосных агрегатов, электротехнического оборудования, водоводов и разводящей сети. Состояние практически всех насосных станций, включая скважины, катастрофически плохое. Состояние систем электроснабжения: трансформаторов, электрических щитов управления и защиты, а также кабелей также очень плохое. Многие водопроводы бездействуют по причине отсутствия насосного оборудования и отсутствия квалифицированного эксплуатационного персонала.

Основной проблемой водоснабжения городов бассейна реки Вахш (Курган-Тюбе, Яван, Нурек, Сарбанд и Рогун) являются износ основного оборудования, водоводов, уличных и внутриквартальных сетей, внутридомовых сетей и, как следствие, большие объемы утечек воды в системе водоснабжения. Системы подачи воды и водораспределительные сети предприятия водоканализации ГУП «Хочагии манзилию коммунали», «Таджиксельхозводопровод» находятся в полуразрушенном состоянии. Износ систем водоснабжения специалистами оценивается в 65-75%. Потери воды в распределительной сети достигают до 50-60%. Подземные водозаборы, из-за выхода из строя водоподъёмных устройств - глубинных насосов, с 1992 – 1993 годов не функционируют. Например, в системе водоснабжения областного центра – г. Курган-Тюбе, из 13 скважин не функционирует 11. Необходимо отметить, что из шести районов, расположенных в верховьях реки Вахш, всего в двух имеются централизованные системы канализации, построенные в 1985 – 1987 годах. Протяженность канализационных сетей в г. Рогуне – 6 км, п. Гарм – 1,1 км. Однако эти системы не работают с 1992 года. В низовьях р. Вахш система канализации была построена всего в четырёх городах (Курган-Тюбе, Нурек, Яван, Сарбанд), а из семи райцентров систему канализации имеют только четыре - Колхозобадский, Кумсангирский, Вахшский и Бохтарский. Централизованная система канализации г. Курган-Тюбе построена еще в



1965 г. Общая протяженность системы - 117,8 км. В городе существуют очистные сооружения (КОС) мощностью 36,0 тыс. м<sup>3</sup>/сутки. Однако эти сооружения не работают с 1992 г.

#### 1.4. Характеристики окружающей среды

В реках бассейна реки Вахш отмечается повышенная минерализация с преобладанием хлоридов и сульфатов. Воды рек бассейна реки Вахш загрязнены минеральными удобрениями и ядохимикатами, попадающими из орошаемых земель. Максимальное содержание этих веществ наблюдается в воде реки Явансу, что обусловлено наличием в горах, окружающих Вахшскую долину, соленосных пород. Вода реки Вахша относится к сульфатному классу (группа кальция) с удовлетворительным кислородным режимом. Насыщение воды кислородом изменяется от 44 до 129%,. Содержание органических веществ (ХПК) изменяется в период маловодья от 0 до 23,9 мг/л, а в меженный период от 0 до 26,8 мг/л. По индексу загрязненности качество воды во всех пунктах контроля в 80-е годы прошлого века в основном соответствует первому классу-очень чистых вод, а в створе реки, после сбросов Вахшского Азотно-Тугого завода- II классу (чистых вод) [19] (табл.9,10,11).

Таблица 9. Результаты химических анализов реки Вахш  
(даты проведение анализов май - июнь 2004 года) [20].

Наименование ингредиентов	ПДК	Нурек, створ водохранилища	Створ Вахш-Яванского туннеля	С арбанд (Вахшский магистральный канал)	Курган-Тюбе (до слияния с р. Явансу)	Явансу (перед слиянием с р. Вахш)	р. Вахш 1 км. после слияния с р. Явансу)
рН	6,5-8,5	8,1	8,2	6,5	7,2	7,6	7,2
Цветность, градусы	20	0		42	49	1440	960
Минерализация, мг/л	1000		830	400	400	1290	700
Хлориды, мг/л	350	51,9	86,7	72	72,4	93,2**	72,8

Азот аммония, мг/л	2	0,05	0,24	0,01	0,24	0,96	0,7
Азот нитратов, мг/л	45	0,62	0,15	2,5	0,8	1,4	1,1
Азот нитритов, мг/л	1	0,09	0,02	0,02	0,02	0,06	0,04
Фториды, мг/л	1,5			0,58	0,09		0,12
Фосфор общий, мг/л	0,1			0,02	0,08	0,06	0,04
Сульфаты, мг/л	500	153		195	28	36	30
Медь, мг/л	1	0,3		0,74	0,46	0,54	0,42
Железо общее, мг/л	0,3	0,04		0,08	0,05	0,06	0,11
Иодиды, мг/л	0,2			0,17			
Жесткость, мг. экв/л	7	4,75		3,5			
Взвешенные вещества, мг/л	25	25	53	70			
Хром 6-ти валентный, мг/л	0,01			0,01			

Таблица 10. Характеристика сточных вод Вахшского Азотно-Тукового завода [20]

Наименование	ед. измерения	ПДК	Условно-чистые стоки (производственные)
Азот аммония	мг/л	0,5	22
Азот нитратов	мг/л	0,02	0,02
Азот нитритов	мг/л	9,1	1,2
Медь	мг/л	0,001	0,03
Нефтепродукты	мг/л	0,05	0,2

Таблица 11. Качество воды в р. Вахш (район расположения Азотно-Тукового завода) [20]

Наименование показателей	ед. измерения	ПДК	В створе выше выпуска сточных вод	Ниже выпуска сточных вод
Взвешенные вещества	мг/л	15	13,5	13,5
БПК	мгО <sub>2</sub> /л	3	1,7	1,73
Общая минерализация	мг/л	1000	245	251
Азот аммония	мг/л	0,5	0,206	0,21
Азот нитратов	мг/л	0,02	0,02	0,02
Азот нитритов	мг/л	9,1	2,6	2,7
Медь	мг/л	0,001	0,028	0,03
Нефтепродукты	мг/л	0,05	0,13	0,13

В бассейн реки Вахш заболачиванием в 2003 году было охвачено 13444 га орошаемых земель. По сравнению с 1990 годом площадь заболоченных земель увеличилось на 958 га. Засолением охвачено 7426 га орошаемых земель (табл. 12).

Таблица 12. Площадь распространения эродированных почв

Администрация и районы	Степень эрозии (%)					Общая площадь
	Не эродированные	Слабо эродированные	Средне эродированные	Сильно эродированные	Очень сильно эродированные	
Курган-Тюбинская группа районов	3,2	18,8	51,8	18,0	8,2	96,8
Кулябская группа районов	2,0	14,0	43,0	26,4	14,6	98,0
Сугдская область	2,8	4,5	58,6	22,0	12,1	97,2
Гиссарская группа районов	4,3	9,4	40,2	31,5	14,6	95,7
Раштская группа районов	0,5	4,2	35,1	32,9	27,3	99,5
Горно-Бадахшанская автономная область	-	4,2	32,6	37,8	25,4	100,0

Одновременно недопустимым залеганием уровня грунтовых вод и засолением охвачено 1182 га. В целом имеется 22052 га орошаемых земель с неудовлетворительным мелиоративным состоянием, которых по сравнению с 1990 годом стало на 261 га больше. В 2003 году в бассейн реки Вахш не использовалось 1375 га орошаемых земель, из них 328 га по причине засоления и заболачивания, 410 га из-за отсутствия воды, 160 га из-за эрозии и 637 га по организационно-хозяйственным причинам. По состоянию на 2003 год в БРВ имелось 168,9 тыс.га земель (85,1% от их общего количества) на которых требовалось повышение уровня технического состояния оросительных систем. На 2736 га земель требуется строительство дренажа и

на 12011 га необходим ремонт коллекторов и дрен. Необходима промывка 11618 га засоленных земель и ликвидация подтопления населенных пунктов на площади 95 га. Пастбищный потенциал бассейн реки Вахш составляет 24% всех пастбищ Таджикистана(880 тыс.га), 60% которого находится в горной зоне. Полноценному использованию пастбищ горно-долинной зоны препятствует недостаточность обводнения.

**Озера и производство рыбы.** Природно-климатические условия, наличие 569 озер, площадью 17,4 км<sup>2</sup> и в целом огромного водного фонда в бассейне реки Вахш позволяет заниматься производством рыбы. Но имеющееся прудовое хозяйство, мощностью 3,5 тыс. тонн рыбы в год пришло в упадок (в 2003 году произведено 100 тонн рыбы.). Около 30% водопроводных сетей в бассейне реки Вахш не функционируют. Только 51,2% населения использует водопроводную воду и 48,8% потребляют воду из рек, каналов и других качественно неблагоприятных в санитарном отношении источников. Развивающиеся в бассейн реки Вахш процессы урбанизации сопряжены с риском отрицательного воздействия на земельные и водные ресурсы. За 1991-2003 годы площади под городами увеличились вдвое, под сельскими населенными пунктами в 1,8 раза, земли промышленности, транспорта, связи и других возросли на 10%. Около трети этих площадей составляют земли сельскохозяйственного назначения, включая орошаемые [9]. По утвержденному проекту Нурекской ГЭС в бассейн реки Вахш, максимальные проектные попуски из ее водохранилища равны, 5400 м<sup>3</sup>/сек. Но в нынешних условиях, в результате отсутствия интегрированного управления, на всем протяжении реки Вахш ниже Нурекской ГЭС, произошло хозяйственное освоение поймы реки и ее застройка, в результате чего даже попуски воды с расходами 1500-2000 м<sup>3</sup>/сек приводят к серьезным негативным последствиям.

1. Значительные потери воды в бассейне, экологические и экономические проблемы связаны с неудовлетворительным техническим состоянием водохозяйственных объектов, включая внутрихозяйственные и

межхозяйственные оросительные каналы, системы дренажа. Учитывая это, необходимо провести мероприятия по восстановлению технического состояния и улучшению порядка эксплуатации водохозяйственных объектов. На внутрихозяйственных оросительных системах эксплуатационная надежность ухудшилась в большей степени, чем на межхозяйственных оросительных системах. Созданные крестьянские хозяйства и ассоциации водопользователей экономически слабы и не в состоянии в достаточных объемах финансировать работы по эксплуатации и ремонту оросительных систем. В Таджикистане пока не достигнут уровень полного покрытия затрат по подаче воды потребителям. Это объясняется неадекватным тарифом по подаче воды (0.15 центов за  $1\text{ м}^3$  воды при расчетной 0,82 цента). Как следствие пропускная способность оросительной сети уменьшилась на 15-20 %, производительность насосных станций сократилось на 20-30 %. Все больше увеличивающаяся ненадежность доставки воды в основном происходит в силу прихода в негодность инфраструктуры и потерь воды при ее доставке. Однако доставка также осуществляется с перебоями не только потому, что каналы не могут пропустить воду, но и потому, что организации и управленческие структуры не в состоянии обеспечить ее справедливое распределение и своевременную доставку [16].

2. В последние годы происходит ухудшение экологической ситуации в БРВ. Резкое ухудшение обеспечения населения электроэнергией, природным газом, углем и другими энергоносителями в 90-е годы привело к многократному увеличению масштабов рубки лесов на горных склонах, к уничтожению многолетних насаждений в населенных пунктах. За период с 1992 по 2001 годы были уничтожены леса на площади 100 тыс.га. Вследствие продолжительного бесконтрольного уничтожения склонных лесов расширяются масштабы опустынивания гор. Не менее опасно и такое явление, как расширение масштабов эрозии почв.

3. К настоящему времени зарегистрировано более 50 тыс. оползневых участков, из которых 1200 угрожают населенным пунктам. Растут масштабы потерь гумуса – наиболее ценной части земель, определяющей их плодородие. Ежегодно смыв почвы составляет 87 млн. тонн, при этом потери гумуса достигают 11-13 млн. тон в год [1-3]. Главными экологическими проблемами для бассейн реки Вахш являются: отсутствие адекватного доступа к качественной питьевой воде, деградация земель (снижение плодородия) и деградация экосистем.
4. Водоснабжение и канализация относятся к основным системам жизнеобеспечения населения и экономики. Основными источниками питьевой воды в бассейне реки Вахш являются открытые водные источники [9]. Около 75% воды подается в системы именно из таких источников. Половина населения БРВ, для которых источником водоснабжения являются река и ирригационные каналы, не пользуются услугами централизованного водоснабжения. Обеспеченность городского населения бассейн реки Вахш водопроводной водой составляет примерно 90%, а сельского населения не превышает 45%. Из-за демографического роста населения происходит урбанизация территории путем вовлечения земель сельскохозяйственного назначения под строительство сельских населенных пунктов. Это обстоятельство увеличивает давление на водные ресурсы[9].
5. Организационная структура управления водными ресурсами Таджикистана имеет сложный многоуровневый характер. Планирование использования водных ресурсов для целей ирригации, управление располагаемыми ресурсами и контроль использования сосредоточены в одном министерстве – министерстве мелиорации и водного хозяйства. Аналогичные функции, но для иных целей – выработки электроэнергии, сосредоточены в министерстве энергетики. Мониторинг за состоянием водных ресурсов также рассредоточен и носит многоуровневый характер. Водные отношения в Таджикистане регулируется

Конституцией, Водным Кодексом, Земельным Кодексом, Гражданским Кодексом, Законом о недра, Законом о местном самоуправлении и рядом Постановлений Правительства. Экологические аспекты водопользования регламентируются Законом об охране природы Таджикистана. Сравнение функциональных обязанностей министерств и ведомств, вовлеченных в планирование и управление водными ресурсами, показывает, что многие функции дублируются. Излишняя централизация и доминирование ведомственных интересов не позволяет эффективно использовать имеющиеся людские и материальные ресурсы.

6. В качестве рекомендаций, направленных на улучшение управления водными ресурсами, которые необходимо реализовать в первую очередь, предлагается создание Республиканской Координационной Комиссии в компетенцию, которой может войти:
- координация долгосрочного планирования использования водных ресурсов и планирование развития водохозяйственного сектора;
  - выработка рекомендаций по определению и согласованию аспектов политики в области использования и охраны водных ресурсов;
  - совершенствование режимов использования водных ресурсов, а также информирование общественности о планах развития и использования водных ресурсов.

Что касается институциональных преобразований, то, принимая во внимание структуру строго централизованного управления вряд ли стоит ожидать радикальных и быстрых преобразований в водной сфере. В сфере планирования, использования и управления водными ресурсами необходима разработка механизма участия заинтересованных сторон в процессе планирования с тем, чтобы эффективно и оптимально использовать имеющиеся ресурсы. Таким механизмом может стать Республиканская Комиссия, в рамках которой заинтересованные министерства и ведомства, а также общественность могут обсуждать и предлагать Правительству для рассмотрения планы развития сектора с учетом требований других секторов и экономики страны в целом.

## 1.5. Современное состояние и методология

Бассейн реки Вахш для Республики Таджикистан с экономической, социальной и экологической точек зрения является одним из главных бассейнов определяющих жизнедеятельность несколько сот тысячи людей. С начала 30-х годов прошлого века бассейн реки Вахш постоянно находится в состоянии интенсивного развития. Одной из главных водных артерий данного бассейна - река Вахш является трансграничной использование её ресурсов непосредственно затрагивает интересы расположенных ниже по течению реки стран Центрально-Азиатского региона. Все имеющиеся проблемы по использованию водных ресурсов и охраны окружающей среды бассейн реки Вахш можно классифицировать по следующим областям:

- **энергетика:** построены и функционируют Нурекская, Байпазинская ГЭС и каскад Вахшских ГЭС (Головная, Перепадная и Центральная). Строится Сангтудинская ГЭС-1 и в стадии решения находится проекты строительства Рогунской ГЭС и Сангтудинской ГЭС. Разрабатывается программа развития малых ГЭС. Общая схема использования водных ресурсов реки Вахш и ее притоков разрабатывалась более 25 лет назад. С тех пор произошли кардинальные политические, экономические и социальные изменения. Это требует корректировки критериев разработки таких схем, определения основных принципов их разработки в современных условиях. В отношении уже действующих ГЭС требуется разработка оптимальных режимов работы ГЭС и регулирования речного стока в интересах энергетики и ирригации.
- **ирригация:** освоение больших территорий и массивов орошения привело к серьёзным негативным последствиям: истощению и деградации земель и воды. При этом сельское хозяйство, являясь с одной стороны жизнеобеспечивающей отраслью экономики страны, с другой стороны является недостаточно рентабельной для населения. Это требует мониторинга и уточнения основных принципов Стратегии развития страны в схеме использования водных ресурсов



(гидроэнергетика - ирригация). Непосредственно в сфере сельского хозяйства необходимо внедрение новых технологий орошения, обеспечивающих водосбережение.

- **экология:** наблюдается увеличение площади деградированных земель и ухудшение качества воды, под угрозой находится заповедник «Тигровая балка». Это требует разработки оптимального водного режима заповедника «Тигровая балка» и согласование его с энергетикой и ирригацией. Также необходим постоянно действующий мониторинг использования водных ресурсов на основании выбранных и утвержденных индикаторов.
- **климат:** в настоящее время нет достаточной ясности в вопросе влияния изменения климата на состояние водных ресурсов бассейн реки Вахш – их объём и изменчивость. В этом плане необходим анализ разработанных в мировой практике математических моделей изменения климата и выбор из них соответствующих бассейну реки Вахш. Кроме того, необходима разработка механизмов и практических мер адаптации деятельности в сферах использования водных ресурсов к возможным изменениям климата.

**Существующие проблемы в бассейне реки Вахш стимулируют следующие мероприятия:**

- Развитие механизмов комплексного управления водными ресурсами и совершенствование организационной структуры по переходу на гидрографический принцип управления водными ресурсами бассейн реки Вахш.
- Укрепление потенциала путем обучения персонала, вовлеченного в управление водными ресурсами современным методам планирования и управления.
- Разработка экономических механизмов управления водохозяйственным комплексом, включая механизмы взаиморасчётов между поставщиками и потребителями воды.

- Разработка типовых положений и уставов новых институциональных структур в водохозяйственном комплексе, приспособленных к условиям рынка.
- Формирование общественного мнения по вопросам водосбережения и охраны водных ресурсов [9].
- Стимулирование исследований по улучшению техники и технологии полива и очистки вод, внедрение прогрессивных водосберегающих технологий.
- Усовершенствование сети речных гидрологических постов и процедур обработки и анализа гидрометеорологических данных и широкое развитие ГИС технологии для распространения гидрометеорологических данных.
- Развитие сети поисково-разведывательных работ установления источников подземных вод, проведение комплекса физико-химических анализов состава подземных вод.
- Систематическое изучение, сбор и обобщение данных о динамике изменения показателей водообеспеченности сельского населения и санитарно-эпидемиологического состояния источников водопользования БРВ и поиск эффективных способов их улучшения.
- Развитие межсекториального (государственного, частного и неправительственных организаций) сотрудничества в решение актуальных проблем обеспечения населения БРВ питьевой водой.
- Мониторинг качества сточных вод промышленных предприятий бассейн реки Вахш и разработка механизмов внедрения штрафных санкций за загрязнения природных водных объектов.
- Постоянный контроль бактериологических показателей и химического состава вод озёр бассейна реки Вахш и изыскание возможности их использования для выращивания рыб.
- Привлечение частного капитала и заинтересованных организаций для расширения рекреационных зон в бассейне реки Вахш.

- Разработка механизмов, стимулирующих заинтересованность фермеров в экономии поливной воды.

Мониторинг и оценка целей научной работы по бассейну реки Вахш будут осуществляться по следующим аспектам:

### **1.6. Анализ водного режима и определение типа питания реки**

В период половодья, совпадающего с интенсивным снеготаянием и выпадением ливневых осадков (апрель-август), реки несут большое количество взвешенных частиц, содержание которых может превышать  $5 \text{ кг/м}^3$  и увеличивают эрозионную деятельность воды. В результате в одном месте берега размываются, в другом – появляются мели и острова. Поэтому ежегодно на таких реках приходится проводить дорогостоящие берегоукрепительные работы [20]. Большинство формирующихся в горно-предгорной зоне рек отличаются значительным падением, имея большие запасы гидроэнергии, которые составляют почти половину гидроэнергии стран региона Центральной Азии. Реки Восточного Памира стекают на равнины (расположенные на отметках 3000-3500 м) с высот 5000-4000 м, на западном Памире – соответственно с высот от 3500-3000 м - до отметки 1200-1500 м. Сток воды в Северной, Центральной и Южной территориях Республики Таджикистан наблюдается в отметках от 2000-3000 м – до величины 300-1500 м. Таким образом устойчивая твердость горных пород, которые слагаются в руслах и долинах рек, создают благоприятные условия для формирования водохранилищ различной ёмкости и гидроэлектростанций различной мощности [18-19].

Незначительная зона рассеивания стока в РТ (всего 7% территории) представляет собой преимущественно расширенные участки речных долин – Вахшская, Гиссарская, Западно-Ферганская, Пенджекентская, Кулябская, и Нижне-Кафирниганская. Здесь сосредоточены основная часть населения и главные отрасли промышленного и сельскохозяйственного потенциала страны.

Анализ проведённых исследований позволил установить, что

повышение высоты местности приводит к возрастанию количества осадков, понижению значения температуры воздуха, а также к уменьшению испарения. Выявлено, что количество стока имеет прямую зависимость и от ориентации и доступности влагонесущих хребтов. Наибольшая удельная водоносность рек наблюдается у тех, у которых водозаборы расположены на южной части склонах Гиссарской, Зеравшанской и частично Аллайской хребтов. Установлено, что модуль стока имеет значение до  $50 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ , если средние высоты бассейнов рек составляют примерно 3,8 км. Значительное изменение модулей стока (от 1 до  $40 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ ) имеют реки, у которых водосборы расположены по периферийным хребтам Памиро-Алая, имеющие широкий диапазон высот их бассейнов - от 1 до 3,6 км. Следует отметить и тот факт, что в участках перехода рек в предгорные равнины, из-за сильного испарения, инфильтрации, и особенно, вследствие водозабора на орошение, значения их водоносности резко снижается [18-19].

В соответствии с территориальными особенностями РТ выделено 6 гидрологических районов. При этом Южно-Таджикский включает полностью бассейны рек Вахш и Кафирниган.

С гидрографической точки зрения речная сеть Республики Таджикистана принадлежит в двум крупным речным бассейнам Центральной Азии – Сырдарьи и Амударьи, орографический разделенном на самостоятельные речные бассейны, отличающиеся абсолютной средней высотой водосборов, различной степенью оледенения, неоднородной доступностью влагонесущих масс и т.д., и, следовательно, неравномерным увлажнением, различным развитием речной сети, водоносностью рек и внутригодовым режимом стока.

Вместе с тем вся территория Таджикистана в соответствии с проектом Стратегии реформирования водного сектора находится в границах пяти гидрографических речных бассейнов (табл. 13). При этом объём среднего годового речного стока Республики Таджикистана по различным данным находится в пределах от  $47,3 \text{ км}^3$  ...  $65,09 \text{ км}^3$ .

Таблица 13. Доля различных источников питания в годовом стоке бассейна реки Вахш

Река	Пост	Площадь Водосбор км <sup>2</sup>	Средняя высота водосбора, м	Питание в % от среднегодового стока			
				дождевое	подземное	снеговое	ледниковое
Вахш	Гарм	20000	3710		43	27	30
Муксу	Давсеар	6550	4540		18	30	52
Обихингоу	Сангвор	1880	3390		29	27	44
Сарбог	Сангималики	1760	3140	4	21	60	15

На территорию республики из сопредельных стран поступает незначительная часть речного стока. Вместе с тем, водные ресурсы - это непреходящий и ограниченный компонент окружающей среды, их постоянное взаимодействие с другими её элементами в значительной мере определяет динамику и качественные показатели состояния среды, и составляют основу живой материи.

Правой составляющей р. Амударьи является река Вахш – со среднегодовым расходом 647 м<sup>3</sup>/с (кишлак Туткаул). По данным Государственного учреждения Гидрометеорологии (ГМС) средний многолетний сток р. Вахш составляет 20,5 км<sup>3</sup>/год.

Основной приток реки Вахш река Сурхоб в верхнем течении реки Вахш, она по территории Раштской долины. При этом площадь с отметками, превышающими 4000 м, составляют 28,7% от общей площади водосбора Сурхоба (3800 км<sup>2</sup>).

Особенности водного режима реки Вахш обуславливают большое оледенение её бассейна, которое характерно для других рек Таджикистана с ледниково-снеговым питанием (составляет 63% от годового стока), а подземное питание не превышает 37%. С апреля в основном наступает начало половодья.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. Характеристика информационного массива

В работе использованы данные, полученные в периоды экспедиционных и полевых работ в рамках Международного проекта — Contribution to High Asia Runoff from Ice and Snow<sup>1</sup> в сотрудничестве с Университетом Колорадо в Боулдере (США) и Университетом Катманду (Непал) (2012-2016 гг.), финансируемого ЮСАИД по изучению водных, гидроэнергетических ресурсов и экологического состояния бассейна реки Вахш. За период экспедиционных работ по мониторингу химического состава и степени загрязнённости вод реки Вахш и ее притоков, а также метеорологического и гидрологического состояния бассейна реки Вахш с 2008 г. по 2017 г. накоплен большой объём данных, как полевых наблюдений, так и результатов лабораторных исследований. Информационный массив, полученный при проведении экологического мониторинга в бассейне реки Вахш, включает:

- гидрохимические наблюдения, выполненные при отборе проб;
- анализы химического состава подземных вод;
- метеорологические и гидрологические наблюдения;
- результаты химико-аналитических и других лабораторных исследований проб природной среды.

С 2008 г. по 2017 г. в бассейне реки Вахш в процессе геоэкологического мониторинга для определения содержания загрязняющих веществ было отобрано (в более чем 20 створах):

- 585 речной воды;
- 186 подземных вод;

Информационный массив химико-аналитических исследований, полученный по результатам исследований в бассейне реки Вахш за период с

2002 г. по 2017 г., включает 21500 записей значений концентраций загрязняющих веществ и физико-химических свойств, метеорологических и гидрологических условий объектов природной среды, в том числе:

- 450 записей - ( $t^0C$ );
- 450 записей - (P мм);
- 450 записей - (H%);
- 1280 записей- ( $Q \text{ м/с}^3$ );
- 1399 записей -pH;
- 2313 записей концентраций - ( $Ca^{2+}$ );
- 2313 записей концентраций - ( $Mg^{2+}$ );
- 2313 записей концентраций - ( $Na^+$ );
- 2313 записей концентраций - ( $K^+$ );
- 2313 записей концентраций - ( $Fe_{\text{общее}}$ );
- 2313 записей концентраций - ( $Al^{3+}$ );
- 2313 записей концентраций диоксида серы ( $SO_2$ );
- 2313 записи концентраций марганца (Mn);
- 2313 записей концентраций - ( $F^-$ );
- 2313 записей концентраций цинка ( $Zn^{2+}$ );
- 2313 записей концентраций - ( $Cu^{2+}$ );
- 2313 записей концентраций - (Cr)-(VI);
- 2313 записей концентраций сульфат-иона ( $SO_4^{2-}$ );
- 2313 записей концентраций нитратов ( $NO_3^-$ );
- 2313 записей концентраций хлоридов ( $Cl^-$ );
- 2313 записей концентраций фосфатов ( $PO_4^{3-}$ );

## 2.2. Методика обоснования территорий мониторинга в бассейне реки Вахш

Бассейн реки Вахш (рис.3) является одним из больших по территории бассейнов (31200 км<sup>2</sup>), находящихся в наиболее высокой части Средней Азии. Верхняя часть бассейна реки Вахш расположена на северной окраине Памира в пределах Памирского и Алайских хребтов, средняя и нижняя части в полуаридной зоне Южно-Таджикской депрессии. Вахшская долина расположена в юго-западной части Таджикистана на высоте 329-445 м над уровнем моря, и она вытянута в меридианном направлении по правому и левому берегу нижнего течения реки Вахш, с севера к ней примыкает Яванская долина.

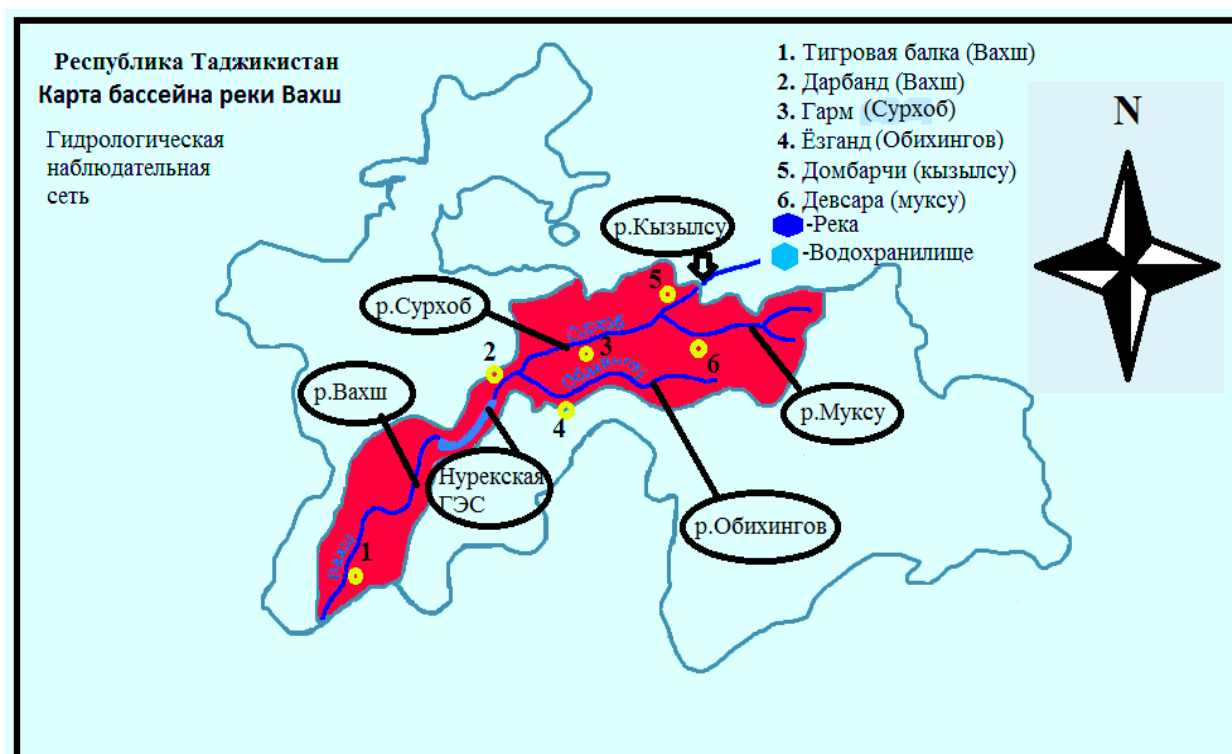


Рис.3. Карта бассейна реки Вахш и ее притоков.

Главная река Республики Таджикистан – Вахш, которая, сливаясь с Пянджем, образует Амударью – самую большую реку Центральной Азии. Длина Вахша от истока до устья 691 км, от места слияния составляющих его рек - 524 км, площадь бассейна 39160 км<sup>2</sup> – почти четверть площади всего Таджикистана, его истоком официально принято считать безымянный ледник на высоте 4685 м над уровнем моря неподалеку от перевала Кокуй-Бель.

Падение реки, то есть разница в высоте между истоком и устьем – 4350



м. Десятую часть бассейна Вахша занимают ледники, третью часть – скалы и осыпи, остальное – горные луга, редкие леса, а в низовьях – полупустыня. У Вахша 6276 притоков, а вот озер в его бассейне всего два десятка общей площадью 4 км<sup>2</sup>. Питание Вахша ледниково-снеговое, то есть более 40% его стока в половодье, с июля по сентябрь, составляют талые воды ледников. Кроме того, ему дают воду тающие сезонные снега, родники и дожди. Средний расход Вахша у головного сооружения Вахшского магистрального канала 2273 м<sup>3</sup>/сек, наибольший – 4500 м<sup>3</sup>/сек, наименьший - 1420 м<sup>3</sup>/сек.

Половодье на нем продолжается с марта по октябрь, средняя продолжительность половодья 221 день. За это время по реке проходит 87% годового стока. Как и многие другие центрально-азиатские реки, Вахш рождается в результате слияния двух рек – Сурхоб справа и Обихингоу слева. В свою очередь и каждая из этих составляющих также получает свое название после слияния двух, а то и больше рек.

Правую составляющую Вахша - реку Сурхоб рождают реки Муксу и Кызылсу-алайская, сливающиеся там, где начинается гигантский Заалайский хребет – северная граница Таджикистана. Длина Кызылсу-алайской 235 км, площадь бассейна 8370 км<sup>2</sup>, падение 2300 м. Воду она собирает из родников и ледников южного склона Алайского и северного склона Заалайского хребтов, общая площадь оледенения ее бассейна больше тысячи квадратных километров. Самый большой узел оледенения находится в районе пика Национального согласия, бывший пик Ленина (7134 м н.у.м). Талые воды ледников составляют 69% всего стока Кызылсу-алайской. Площадь бассейна реки Муксу 6550 км<sup>2</sup>. В бассейне Муксу ледники занимают 38 процентов, а именно 2518 км<sup>2</sup> – почти треть всего оледенения страны. Талая вода ледников составляет 54% ее годового стока. Средний расход реки Муксу 132 м<sup>3</sup> воды в секунду.

Левая составляющая Вахша – река Обихингоу имеет длину 196 км, площадь бассейна 6660 км<sup>2</sup> и перепад высот между истоком и устьем 2020 м. В ее бассейне находится 756 ледников общей площадью 712 км<sup>2</sup>. В истоках Обихингоу располагается один из крупнейших ледников Памира - Гармо, дающий начало одноименной реке. Его длина 34 км, площадь 114 км<sup>2</sup>.

Самым крупным водопотребителем в бассейн реки Вахш является орошаемое земледелие. Однако вода использовалась, и продолжает использоваться крайне неэффективно. Фермеры в среднем забирают около 20.000м<sup>3</sup> воды на гектар для орошения. Бассейн реки Вахш характеризуется слабо развитой промышленностью. Здесь расположены два крупных химических предприятия – Вахшский азотно-туковый завод и Яванский электрохимический комбинат. Количество воды, потребляемое на производственные нужды, составляет 13633,8 м<sup>3</sup>/сутки, на хозяйственные нужды – 119,25м<sup>3</sup>/сутки.

Бассейн реки Вахш отличается богатым запасом гидроэнергетических ресурсов. В табл. 14, представлены основные ныне функционирующие и запланированные к строительству на ближайшее будущее гидротехнические сооружения с их характеристиками.

Таблица 14. Перечень действующих и строящихся гидроэлектростанций в бассейн реки Вахш[10-14]

№	Наименование	Параметры			
		Мощность, мВт	Выработка, ТВт·ч/год	Напор, м	Полезный объем водохранилища, км <sup>3</sup>
Каскад ГЭС на реки Вахш					
1	Рогунская**	3600	13,3	300	8,6
2	Шуробская	800	3	55	0,02
3	Нурекская*	3000	11,2	250	4,5
4	Байпазинская*	600	2,5	54	0,08
5	Сангтудинская1**	670	2,7	58	0,02
6	Сангтудинская2	220	1	19	0,005
7	Головная*	240	1,3	26	0,004
8	Перепадная*	30	0,25	39	0
9	Центральная*	18	0,11	22	0
	Всего	9178	35,36		13,229

Каскад ГЭС на реки Обихингоу					
1	Сангворская	800	2	268	1,5
2	Урафатинская	850	2,1	280	0,01
3	Шитенская	600	1,5	150	0,01
4	Евтачская	800	2	185	0,02
5	Кафтаргузарская	650	1,7	140	0,01
	Всего	3700	9,3		1,55
Каскад ГЭС на реки Сурхоб					
1	Джадбулакская	600	2	200	1,4
2	Сайронская	500	2,2	135	0,01
3	Горгенская	600	2,7	138	0,02
4	Гармская	400	1,8	90	0,02
	Всего	2100	8,7		1,45
	ИТОГО	14978	53,36		16,229

### 2.3 Химико-аналитические исследования отобранных образцов и проб

При выполнении химико-аналитических исследований отобранных образцов и проб воды руководствовались методическими указаниями и руководящими документами, представленными в [34-38].

#### Определение температуры воды.

Температуру природных вод определяют термометром с делениями на  $0,1^{\circ}\text{C}$ , для точных работ – с делениями на  $0,05^{\circ}\text{C}$ .

#### Определение рН.

Для определения рН вод использовался лабораторный рН-метр(потенциометр) со стеклянным электродом и каломельным электродом сравнения.

#### Определение фтора.

*Основной раствор.* Растворяют 0,221 г NaF, высушенного при  $105^{\circ}\text{C}$ , в дистиллированной воде и доводят объем до 1 л; в 1 мл раствора содержится 0,100 мг  $\text{F}^{-}$ .

*Рабочий раствор.* Разбавляют 50 мл основного раствора дистиллированной водой, доводя объем до 1 л. Во всех случаях следует пользоваться свежеприготовленным раствором. В 1 мл рабочего раствора содержится 0,005 мг F<sup>-</sup>.

*Калибровочная кривая.* В несколько колб наливают 0; 1,0; 3,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0; 50,0 мл рабочего раствора и доводят объем жидкости в каждой колбе до 100 мл дистиллированной водой. Приготовленные растворы содержат 0; 0,5; 0,15, . . . ; 2,5 мг фторид-ионов в 1 л. Через 1 ч после внесения реактивов измеряют оптические плотности и строят график зависимости оптической плотности от концентрации растворов.

Калибровочный график надо строить заново после каждого приготовления новых растворов ализарина и соли циркония.

*Ход определения.* Отмеряют в цилиндры Несслера 0; 1,0; 2,0; 3,0; . . . ; 30 мл рабочего раствора и доводят объемы до 100 мл дистиллированной водой. Растворы будут содержать 0; 0,05; 0,010; 0,15; . . . ; 1,5 мг/л фторидов.

В один цилиндр наливают 100 мл прозрачной пробы или дистиллята, или небольшое количество пробы, доведенной до объема 100 мл дистиллированной водой. После выравнивания температуры вносят в пробу и в стандарты по 5 мл кислого цирконий-ализаринового реактива и тщательно перемешивают. Через 1 ч сравнивают полученную окраску со стандартом. Для каждого цикла определений необходимо готовить свежие стандарты. Для анализа проб с ориентировочно известной концентрацией фтора следует готовить ряд стандартов, близких по концентрациям к предполагаемой концентрации фтора в пробе.

*Расчет.* Содержание фторид-ионов ( $x$ ) в мг/л вычисляют по формуле:

$$x = \frac{100c}{V}$$

где  $c$  — концентрация фторидов, найденная по калибровочному графику или по шкале стандартов, мг/л;  $V$  — объем взятой для анализа пробы, мл; 100 — объем, до которого разбавлена проба, мл

## Определение $\text{SO}_4^{2-}$ .

Определению  $\text{SO}_4^{2-}$  мешает высокое содержание силикатов и железа, взвешенные и коллоидные вещества. Одновременно с сульфатами определяются и сульфиты. Взвешенные и коллоидные вещества устраняют фильтрованием или центрифугированием, а в некоторых случаях — прибавлением активированного угля.

Высокое содержание кремневой кислоты и железа устраняют выпариванием взятого объема пробы досуха после подкисления 5 мл разбавленным (1:1) раствором  $\text{HCl}$ . Сухой остаток нагревают около 1 ч при  $105^\circ\text{C}$ , смачивают 5 мл разбавленного (1:1) раствора  $\text{HCl}$ , нагревают и разбавляют примерно до 50 мл дистиллированной водой. Горячий раствор фильтруют, промывают разбавленной (1:50) соляной кислотой. К фильтрату прибавляют 1 мл разбавленной (1:1) азотной кислоты и слабо кипятят. Затем прибавляют разбавленный (1:1) раствор аммиака до явно щелочной реакции и смесь нагревают на водяной бане около 30 мин. Выделившиеся гидроксиды отфильтровывают и промывают горячей дистиллированной водой. Объем фильтрата доводят до 250 мл.

В присутствии сульфитов пробу предварительно окисляют, добавляя необходимое количество 0,1 н. раствора йода. Из результатов определения сульфатов вычитают найденное отдельно содержание сульфитов.

Аппаратура: Водяная баня, Муфельная или тигельная печь ( $800^\circ\text{C}$ ).

Реактивы: Соляная кислота чда, разбавленная (1:1), хлорид бария, 10%-ный раствор для осаждения. Растворяют 10 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ч. д. а. в дистиллированной воде и доводят объем до 100 мл, нитрат серебра, 1,7%-ный раствор. Растворяют 8,5 г  $\text{AgNO}_3$  чда в 500 мл дистиллированной воды и подкисляют 0,5 мл концентрированной  $\text{HNO}_3$  ч. д. а.

Ход определения. В стакане емкостью 400—600 мл к 250 мл пробы с содержанием 5—50 мг  $\text{SO}_4^{2-}$  или к меньшему объему с таким же содержанием сульфат-ионов, но доведенному до 250 мл дистиллированной водой, прибавляют 2 мл разбавленной соляной кислоты. Смесь нагревают до

кипения, при постоянном перемешивании прибавляют 3 мл горячего раствора хлорида бария, перемешивают около 1 мин, нагревают 1 ч на водяной бане и оставляют на 8—12 ч при комнатной температуре. Фильтруют через плотный фильтр (синяя лента) и промывают декантацией. Выделившийся сульфат бария переводят количественно на фильтр. Прилипшие к стенкам стакана частицы сульфата бария удаляют кусочком влажной беззольной фильтровальной бумаги и ополаскивают стакан дистиллированной водой. Осадок на фильтре промывают горячей дистиллированной содой до отрицательной реакции на хлорид-ионы в фильтрате (реакция с нитратом серебра).

Содержание сульфат-ионов вычисляют в мг/л ( $y$ ) по формуле:

$$y = m \cdot 0,4116 \cdot 1000/V = m \cdot 411,6/V$$

где  $m$  — масса  $BaSO_4$ , мг;  $V$  - объем пробы, взятой для анализа, мл; 0,4116 — коэффициент пересчета с  $BaSO_4$  на  $SO_4^{2-}$ .

### **Определение $SiO_2$ .**

**Основной раствор.** Сплавляют 3,0 г  $Na_2CO_3$  с 0,200 г  $SiO_2$  в платиновом тигле. Горячий плав растворяют в дистиллированной воде и разбавляют до 500 мл. Содержание  $SiO_2$  в этом растворе определяют весовым методом. В зависимости от полученного результата раствор разбавляют так, чтобы 1 мл его содержал 0,2 мг  $SiO_2$ .

**Рабочий раствор.** Разбавляют 250 мл основного раствора дистиллированной водой до 1 л. Следует всегда применять свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,05 мг  $SiO_2$ .

Растворы, приготовленные для определения силикатов, хранят в парафинированных или полиэтиленовых склянках.

**Калибровочная кривая.** В несколько колб из химически устойчивого стекла наливают 0; 1,0; 2,0; . . . ; 20 мл рабочего раствора и доливают дистиллированной водой до 50 мл. Приготовленные таким образом растворы

содержат 0; 1,0; 2,0; . . . ; 20 мг  $\text{SiO}_2$  в 1 л. Растворы обрабатывают описанным выше способом. Измеряют оптическую плотность, вводят поправку на холостое определение и составляют график зависимости оптической плотности от концентрации  $\text{SiO}_2$ . При подготовке стандартных растворов в цилиндрах Несслера ход работы такой же. Для построения шкалы стандартов в цилиндры Несслера вводят 0; 0,25; 0,50; . . . ; 5,0 мл раствора хромата, добавляют в каждый раствор 5 мл раствора буры и доводят дистиллированной водой до 55 мл. Окраска стандартов соответствует содержанию  $\text{SiO}_2$  от 1,0 до 20 мг/л.

Ход определения. В колбу из химически устойчивого стекла наливают 50 мл прозрачной пробы, профильтрованной через плотный фильтр (голубая лента), или отбирают меньший объем пробы и разбавляют ее дистиллированной водой до 50 мл. Прибавляют 2 мл раствора молибдата и перемешивают. Затем приливают 1 мл соляной кислоты и смесь снова перемешивают. Через 5 мин прибавляют 1,5 мл раствора щавелевой кислоты и измеряют оптическую плотность или сравнивают окраску со стандартной шкалой в цилиндрах Несслера или, наконец, определяют  $\text{SiO}_2$  колориметрическим титрованием. Одновременно проводят холостое определение с дистиллированной водой, вводят поправку и по калибровочной кривой находят содержание  $\text{SiO}_2$ .

Для определения концентрации  $\text{SiO}_2$  колориметрическим титрованием берут другую колбу такой же формы и емкости. В нее наливают 5 мл раствора буры и 50 мл дистиллированной воды и прибавляют из бюретки раствор хромата до тех пор, пока цвет раствора в этой колбе не совпадет с окраской пробы (в колбу с пробой доливают столько дистиллированной воды, сколько добавили раствора хромата в колбу для сравнения). Объем израсходованного раствора хромата в миллилитрах умножают на 4 и получают значение  $c$  для расчета по приведенной ниже формуле.

Содержание растворенных ортосиликатов ( $x$ ) в  $мг/л$  вычисляют по формуле:

$$x=c \cdot 50/V$$

где  $c$  — концентрация  $SiO_2$ , найденная по калибровочной кривой, сравнением со стандартами или колориметрическим титрованием,  $мг/л$ ;  $V$  — объем анализируемой пробы,  $мл$ ;  $50$  — объем, до которого разбавлена проба,  $мл$ .

### **Определение натрия и калия.**

В основу определения положена способность атомов натрия и калия возбуждаться в пламени и при переходе в нормальное состояние излучать свет определенных длин волн. В испускаемом свете выделяют характерную для определяемого металла спектральную линию ( $\lambda = 589$  нм для натрия и  $768$  нм для калия). Ее интенсивность, пропорциональная содержанию определяемого металла, регистрируется как аналитический сигнал.

Определению мешает наличие в воде ионов кальция при концентрации более  $50$   $мг/л$ . Это мешающее влияние устраняют либо разбавлением пробы дистиллированной водой (при достаточно высоком содержании натрия и калия), либо введением в анализируемые пробы специального буферного раствора (хлорида цезия и нитрата алюминия).

Приготовление буферного раствора.  $2,5$  г  $CsCl$  и  $125$  г  $Al(NO)_3 \cdot 9H_2O$  растворяют в  $500$   $см^3$  дистиллированной воды. Хранят в полиэтиленовой посуде.

Приготовление градуировочных растворов: Градуировочные растворы, аттестованные по процедуре приготовления, готовят из стандартных образцов или хлоридов натрия и калия. Массовая концентрация натрия или калия в градуировочном растворе должна составлять  $1,000$   $г/л$ .



При использовании стандартных образцов производят разбавление исходных растворов в соответствии с инструкцией по их применению. Приготовление градуировочных растворов из твердых солей выполняют следующим образом:

1,2710 г хлорида натрия или 0,9535 г хлорида калия, предварительно высушенных при 105 °С в течение 2 ч, количественно переносят в мерную колбу вместимостью 500 куб. см, растворяют в дистиллированной воде и объем раствора доводят дистиллированной водой до метки. Хранят в плотно закрытом полиэтиленовом сосуде не более 1 года.

Для всех градуировочных растворов погрешности, обусловленные процедурой приготовления, не превышают 0,5% относительно приписанного значения массовой концентрации натрия или калия.

Установление градуировочных зависимостей. В мерные колбы вместимостью 100 куб. см последовательно вносят 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 куб. см градуировочного раствора натрия (калия) с массовой концентрацией 1,000 мг/л. Объемы растворов доводят до меток на колбах дистиллированной водой и тщательно перемешивают. Массовая концентрация натрия (калия) в полученных растворах составит соответственно 0,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 мг/л. Растворы используют в день приготовления.

25–30 см<sup>3</sup> каждого из полученных растворов переносят в стаканы вместимостью 50 см<sup>3</sup>, последовательно распыляют их в пламени горелки фотометра в соответствии с инструкцией по его эксплуатации и записывают показания прибора. Повторяют измерение и значения аналитического сигнала для каждой концентрации усредняют, если расхождение между ними не превышает 3% для натрия и 5% для калия. В противном случае следует вновь повторить измерение.

Градуировочные зависимости строят в координатах: массовая концентрация натрия (калия), мг/л - средняя величина аналитического сигнала графически или устанавливают градуировочную зависимость в

соответствии с инструкцией по эксплуатации используемого прибора. Градуировочную зависимость устанавливают перед выполнением каждой серии измерений.

В мерные колбы вместимостью 25 см<sup>3</sup> вносят по 2,5 см<sup>3</sup> буферного раствора и доводят объемы растворов в колбах до метки водой анализируемых проб (при содержании кальция менее 50 мг/дм<sup>3</sup> допускается вместо буферного раствора использовать 2,5 см<sup>3</sup> дистиллированной воды). Переносят пробы в стаканы вместимостью 50 см<sup>3</sup>, распыляют их в пламени горелки фотометра в соответствии с инструкцией по его эксплуатации и измеряют величину аналитического сигнала определяемого металла при соответствующей длине волны (589 нм для натрия и 768 нм для калия). Повторяют измерение, и значения аналитического сигнала усредняют, если расхождение между ними не превышает 3% при определении натрия и 5% при определении калия по отношению к средней величине сигнала. В противном случае измерение повторяют.

Если величина аналитического сигнала пробы выше таковой для последней точки градуировочной зависимости, повторяют определение с меньшей аликвотой анализируемой воды. Для этого в мерную колбу вместимостью 25 см<sup>3</sup> вносят 2,5 см<sup>3</sup> буферного раствора, аликвоту анализируемой воды (1 - 10 см<sup>3</sup>) и доводят до метки дистиллированной водой.

Массовую концентрацию натрия (калия) в анализируемой пробе воды рассчитывают по формуле:  $S_x = 1,11 \cdot C_r$

где:  $S_x$  - массовая концентрация натрия (калия) в анализируемой пробе, мг/л;

$C_r$  - массовая концентрация натрия (калия), найденная по градуировочной зависимости, мг/л; 1,11 - коэффициент, учитывающий разбавление пробы буферным раствором.

Если для анализа брали меньшую аликвоту пробы воды, массовую

концентрацию натрия (калия) в анализируемой пробе рассчитывают по формуле

$$C_x = C_r \cdot 25/V$$

где:  $C_x$  - массовая концентрация натрия(калия)в анализируемой пробе, мг/л;  $C_r$  -концентрация натрия (калия), найденная по градуировочной зависимости, мг/л;  $V$  - объем аликвоты анализируемой пробы воды, см<sup>3</sup>.

### **Определение $Ca^{2+}$ .**

В колбу для титрования отбирают пипеткой 100 мл пробы, содержащей не больше 15 мг кальция, или меньшее количество пробы, доведенной до объема 100 мл дистиллированной водой. При анализе кислых проб их нейтрализуют едким натром. При анализе проб, щелочность которых превышает 6 мг-экв/л, прибавляют эквивалентное количество 0,1 н. соляной кислоты, кипятят 1 мин и охлаждают. Потом прибавляют 2 мл приблизительно 1 н. раствора едкого натра и от 0,1 до 0,2 г смеси индикатора с солью или смеси индикатора с солью и нафтоловым зеленым Б, после чего медленно титруют титрованным раствором комплексона III до появления интенсивной фиолетовой окраски (когда применяют смесь мурексида с нафтоловым зеленым Б, то до чисто-синей окраски).

Содержание кальций-ионов в мг/л ( $x$ ) вычисляют по формуле:

$$x = a \cdot k \cdot 0,05 \cdot 40,08 \cdot 1000/V = a \cdot k \cdot 2004/V$$

где  $a$  — объем израсходованного 0,05М титрованного раствора комплексона III, мл;  $k$  — поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора комплексона III к точно 0,05 М;  $V$  — количество пробы, взятой для определения, мл; 40,08 — эквивалент  $Ca^{2+}$ -иона в комплексонометрии.

### **Определение $Mg^{2+}$ .**

Для определения содержания магния в питьевых и поверхностных водах достаточно рассчитать его по результатам определения жесткости и кальция.

Концентрацию магния вычисляют по разности между израсходованными объемами титрованного раствора комплексона III на определение

жесткости и на определение кальция.

Содержание магний-ионов в мг/л (x) вычисляют по формуле:

$$x = 12,16 (a \cdot k \cdot 0,05 \cdot 2 \cdot 1000 / V_1 - b \cdot k \cdot 0,05 \cdot 2 \cdot 1000 / V_2) = 1216(a \cdot k / V_1 - b \cdot k / V_2),$$

где a — объем 0,05 М раствора комплексона III, израсходованного при определении жесткости, мл; b — объем 0,05 М раствора комплексона III при определении кальция, мл; k — поправка для приведения концентрации комплексона к точно 0,05 М;  $V_1$  — объем пробы, взятой для определения жесткости, мл;  $V_2$  — объем пробы, взятой для определения кальция, мл; 0,05 — молярность раствора комплексона III; 12,16 — эквивалент  $Mg^{2+}$ -иона при ацидиметрическом титровании.

### **Определение алюминия (Al).**

Основной раствор. Растворяют 1,7582 г  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  в дистиллированной воде и разбавляют до 1 л; 1 мл раствора содержит 0,100 мг Al.

Рабочий раствор. Разбавляют 10 мл основного раствора дистиллированной водой до 1 л. Применяют всегда свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,001 мг Al.

Калибровочная кривая. В ряд колб отмеривают 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 мл рабочего стандартного раствора и дополняют каждый раствор до 50 мл дистиллированной водой. Полученные растворы соответствуют содержанию алюминия 0; 0,040; 0,10; . . . ; 1,0 мг/л.

Стандартные растворы обрабатывают, как описано в ходе определения, и измеряют оптическую плотность. Вводя поправку на холостое определение, строят график в координатах оптическая плотность — концентрация алюминия.

Ход определения. В колбу емкостью 250 мл помещают 50 мл пробы (если надо, предварительно разбавленной или упаренной так, чтобы содержание алюминия в этом объеме оказалось в пределах 0,001—0,05 мг).

Добавляют каплю раствора д-нитрофенола и раствор аммиака до появления желтой окраски индикатора. Вводят по каплям соляную кислоту до исчезновения окраски и последовательно приливают 1 мл раствора лимонной кислоты и 2 мл раствора тиогликолевой кислоты, затем смесь тщательно взбалтывают. Добавляют 10 мл раствора алюминона в буферной смеси и погружают колбу на 15 мин в кипящую водяную баню. Охладив смесь примерно до 20°C, переносят ее в мерную колбу емкостью 100 мл или в цилиндр Несслера, доливают водой до метки и перемешивают.

Содержание алюминия (x) в мг/л вычисляют по формуле:

$$x = c \cdot 50 / V$$

где c – концентрация алюминия, найденная по калибровочной кривой, мг/л; V – объем пробы, взятой для определения, мл; 50 – объем до которого разбавляют пробу, мл.

### **О п р е д е л е н и е   ж е л е з а   ( F e ) .**

**О с н о в н о й   р а с т в о р .** Растворяют в дистиллированной воде 0,8634 г  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  чда, высушенного в эксикаторе при нормальной температуре, прибавляют 2 мл концентрированной HCl и доводят объем до 1 л; 1 мл раствора содержит 0,100 мг железа.

**Рабочий раствор.** Разбавляют 50,0 мл основного стандартного раствора до 1 л дистиллированной водой, каждый раз приготавливают свежий рабочий раствор; 1 мл раствора содержит 0,005 мг железа.

**Калибровочная кривая.** В ряд колб для кипячения помещают 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 мл рабочего раствора и доводят объемы дистиллированной водой до 50 мл. В приготовленной так серии растворов, содержащих 0; 0,05; 0,10; . . . ; 4,0 мг/л железа, определяют железо указанным ниже способом. Вычитают оптическую плотность холостой пробы и строят график в координатах оптическая плотность — концентрация железа.

**Ход определения.** В широкогорлую колбу для кипячения емкостью 200 мл помещают 50 мл хорошо перемешанной пробы, содержащей не более 4,0

мг железа в 1 л, или же меньший объем пробы, разбавленной дистиллированной водой до 50 мл, добавляют 2,5 мл разбавленной серной кислоты, 2,5 мл раствора перманганата и кипятят смесь 3—5 мин до тех пор, пока не испарится по крайней мере 5 мл жидкости. Горячий раствор обесцвечивают щавелевой кислотой и осторожно прибавляют к нему раствор перманганата калия до повторного возникновения розового окрашивания. Если окисленный раствор мутен, то его после охлаждения фильтруют и объем фильтрата доводят до 50 мл. Прибавляют 2,5 мл разбавленной соляной кислоты и перемешивают. Прибавляют 5,0 мл раствора роданида и после перемешивания сейчас же измеряют оптическую плотность; вводят поправку на оптическую плотность холостой пробы, приготовленной таким же способом, но с дистиллированной водой и по калибровочной кривой находят содержание железа.

Содержание железа ( $x$ ) в мг/л вычисляют по формуле:

$$x = c \cdot 50 / V$$

где,  $c$  — концентрация железа, найденная по калибровочной кривой, мг/л;  $V$  — объем пробы, взятой для определения, мл; 50 — объем, до которого разбавлена проба, мл.

### **О п р е д е л е н и е м а р г а н ц а ( M n ) .**

Основной раствор. Растворяют 0,2748 г  $MnSO_4$ , прокаленного при 500°C, примерно в 10 мл разбавленной (1: 4) горячей серной кислоты и доводят объем дистиллированной водой до 1 л; 1 мл раствора содержит 0,100 мг Mn.

Рабочий раствор. Разбавляют 100,0 мл основного раствора до 1 л дистиллированной водой; каждый раз готовят свежий рабочий раствор; 1 мл раствора содержит 0,010 мг Mn.

Калибровочная кривая. В ряд стаканов емкостью около 150 мл помещают 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 мл рабочего стандартного раствора сульфата марганца, что после доведения объемов

дистиллированной водой до 100 мл соответствует концентрациям 0,05; 0,10; 0,25; ...4,00 мг марганца в 1 л.

При пользовании кюветами с толщиной слоя 2 см серию концентраций можно расширить до 10,0 мг марганца в 1 л включительно. В этих растворах определяют марганец так, как описано выше. Вводят поправку на холостое определение и строят график в координатах оптическая плотность  $t$  — концентрация марганца.

При пользовании цилиндрами Несслера удобен ряд 0,05; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90; 1,00 мг марганца в 1 л.

Ход определения. К 100 мл пробы, содержащей 0,005—1,0 мг марганца, или к 100 мл выпаренной или разбавленной пробы прибавляют 2 мл азотной кислоты и осаждают хлориды, вводя по каплям раствор нитрата серебра до тех пор, пока не прекратится выделение осадка. Затем прибавляют еще 1—2 мл раствора нитрата серебра и после полного осаждения хлоридов смесь фильтруют. При низкой концентрации марганца и высокой концентрации хлоридов лучше устранять хлориды выпариванием пробы с азотной кислотой (см. «Мешающие влияния»). Так избегают возможной адсорбции марганца осадком хлорида серебра. К фильтрату добавляют 0,5 г персульфата, нагревают смесь и равномерно кипятят около 10 мин. Охладив пробу, доводят ее объем дистиллированной водой до 100 мл. Определяют величину оптической плотности в кюветах с толщиной слоя 2—5 см (в зависимости от интенсивности окраски) или же сравнивают полученную окраску со стандартами в цилиндрах Несслера и по калибровочной кривой находят концентрацию марганца.

Содержание марганца(II) в мг/л ( $x$ ) вычисляют по формуле:

$$x = c \cdot 100/V$$

где  $c$  — концентрация марганца, найденная по калибровочной кривой или сравнением со стандартами, мг/л;  $V$  — объем пробы, взятой для анализа, мл; 100 — объем, до которого разбавлена проба, мл.

## Определение меди (Cu).

Основной раствор. Растворяют 0,200 г медной фольги или медной проволоки чда в 10 мл разбавленной (1:1) азотной кислоты. После растворения приливают 1 мл концентрированной серной кислоты чда и выпаривают до появления паров серной кислоты. Объем раствора дополняют при 20°С до 1 л; 1 мл раствора содержит 0,200 мг меди.

Рабочий раствор I. Разбавляют 250 мл основного раствора до объема 1 л. Применяют всегда свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,050 мг меди.

Рабочий раствор II. Разбавляют 20,0 мл рабочего раствора I до 1 л. Применяют всегда свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,001 мг меди.

Для приготовления всех реактивов, для разбавления пробы и для мытья использованной посуды применяют бидистиллят, полученный в приборе из стекла.

Калибровочная кривая. В делительные воронки отмеривают 2,0; 3,0; 10,0; 20,0; 40,0; 60,0; 100,0 мл стандартного рабочего раствора II и доводят объемы бидистиллятом до 100 мл, получая так серию стандартных растворов с содержанием 0; 0,02; 0,05; 0,10; . . . 1,00 мг меди в 1 л. Стандартные растворы обрабатывают описанным выше способом. Из величин измеренных оптических плотностей вычитают величину оптической плотности холостого определения и строят график в координатах оптическая плотность — концентрация меди.

Ход определения. В делительную воронку емкостью 250—500 мл помещают 100—250 мл пробы либо первоначальной, либо предварительно разбавленной или сконцентрированной выпариванием так, чтобы в ней содержалось 0,005-0,1 мг меди. Очень кислые или сильнощелочные пробы нейтрализуют соответственно разбавленным раствором едкого натра или



соляной кислоты. На каждые 100 *мл* пробы добавляют 5 *мл* раствора цитрата аммония, 10 *мл* раствора комплексона III, 10 *мл* раствора аммиака и 10 *мл* хлороформа. Эту смесь перемешивают около 1 мин и встряхивают. Слою хлороформа дают собраться на дне воронки, после чего его удаляют. Если он окрашен, то экстракцию продолжают новыми порциями хлороформа по 10 *мл* до тех пор, пока полученный экстракт не станет бесцветным. Затем к водному раствору добавляют 10 *мл* хлороформа (из цилиндра, в который заранее было отмерено 24 *мл* хлороформа) и 10 *мл* раствора диэтилдитиокарбамината натрия. Примерно двухминутным встряхиванием проводят экстракцию, дают отделиться хлороформной фазе и сливают ее, фильтруя через маленький бумажный фильтр (белая лента) в мерную колбу емкостью 25 *мл*. Наливают в делительную воронку 2 *мл* хлороформа и тотчас сливают в колбу, ополаскивая таким образом отверстие крана и трубку воронки. После этого экстрагируют новой порцией в 5 *мл* хлороформа, встряхивая в течение 2 *мин* и сливают хлороформ после отделения слоев в ту же мерную колбу через тот же фильтр. Как и в предшествовавшем экстрагировании, отверстие крана и трубки воронки ополаскивают 1 *мл* хлороформа. Экстрагирование и прополаскивание повторяют с 5 и с 1 *мл* хлороформа. Собранные в мерной колбе экстракты доливают хлороформом до метки и перемешивают.

Измерение оптической плотности проводят быстро, так как хлороформ испаряется. Из измеренной величины вычитают оптическую плотность холостого определения с дистиллированной водой и по калибровочной кривой находят содержание меди.

Содержание меди ( $x$ ) в *мг/л* вычисляют по формуле:

$$x = c \cdot 100/V$$

где  $c$  - концентрация меди, найденная по калибровочной кривой, *мг/л*;  $V$  — объем пробы, взятой для анализа, *мл*; 100 — объем, до которого разбавлена проба, *мл*.

### Определение цинка (Zn).

Растворяют 0,15 г  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (ч. д. а) и 24 г  $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (чда) в 200 мл дистиллированной воды и добавляют 10 мл 2 н. раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  и 70 мл 1 н. раствора  $\text{HCl}$ ;

Растворяют 120 г  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  в 200 мл дистиллированной воды. Оба раствора соединяют и разбавляют водой до 1 л.

Четыреххлористый углерод (чда) или очищенный перегонкой.

Дитизон, раствор для экстрагирования.

Основной раствор. Растворяют 50 мг дитизона в 100 мл четыреххлористого углерода в делительной воронке, добавляют 200 мл дистиллированной воды и 5—10 мл концентрированного раствора аммиака чда. Смесь тщательно перемешивают в течение 2 мин. После разделения слоев четырех хлор истый углерод сливают. В делительную воронку прибавляют 20 мл четыреххлористого углерода, смесь немного взбалтывают, дают постоять и снова сливают слой органического растворителя. Трубку воронки высушивают фильтровальной бумагой и в воронку добавляют 200 мл четыреххлористого углерода и разбавленную соляную кислоту до явно кислой реакции. Смесь встряхивают до тех пор, пока дитизон не перейдет в слой четыреххлористого углерода. Слой растворителя сливают в другую воронку и три раза промывают его порциями по 50 мл дистиллированной воды. После этого раствор дитизона переливают в коричневую склянку и осторожно наливают сверху 0,5%-ный раствор соляной кислоты, содержащий 0,5% серноокислого гидразина  $\text{NH}_2\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ .

Раствор хранят на холоду в темном помещении. Он устойчив в течение нескольких месяцев.

Рабочий раствор. К 1 объемной части основного раствора добавляют 9 объемных частей четыреххлористого углерода. Раствор хранят в темной склянке на холоду; он устойчив примерно одну неделю.

Промывной раствор (фосфат натрия и сульфид натрия). Растворяют 6 г  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  в 100 мл дистиллированной воды; pH раствора доводится до 11 добавлением 5 н. раствора NaOH. После этого добавляют 10 мл 0,25 н. раствора сульфида натрия, полученного пропусканием сероводорода в 0,25 н. раствор едкого натра (10 г NaOH в 1 л дистиллированной воды); pH этого раствора должен достичь 8. Раствор сульфида применяют всегда свежеприготовленным.

Сульфат цинка, стандартный раствор. Основной раствор. Растворяют 1,000 г цинка в 10 мл концентрированной азотной кислоты ч. д. а., добавляют 5 мл серной кислоты и выпаривают на водяной бане до появления белых паров  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Затем разбавляют дистиллированной водой до 1 л; 1 мл раствора содержит 1,000 мг цинка.

Рабочий раствор I. Смешивают 25 мл основного раствора с 5 мл концентрированной серной кислоты ч. д. а. и дистиллированной водой доливают до 1 л. Применяют всегда свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,025 мг Zn.

Рабочий раствор II. К 20,0 мл рабочего раствора I прибавляют 5 мл серной кислоты и доливают до 1 л дистиллированной водой. Применяют всегда свежеприготовленный раствор; 1 мл раствора содержит 0,0005 мг цинка.

Калибровочная кривая. В делительные воронки отмеряют 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0; 60,0 мл рабочего стандартного раствора II, что соответствует после дополнения до 100 мл концентрациям 0,050; 0,10 до 0,30 мг цинка в 1 л. Стандартные растворы обрабатывают описанным ниже способом, измеряют значение оптической плотности, вводят поправку на холостое определение и строят график в координатах оптическая плотность — концентрация цинка.

Ход определения. В делительную воронку помещают 100—200 *мл* пробы, если надо, предварительно разбавляя ее или упаривая, чтобы содержание цинка в этом объеме оказалось в пределах 0,005— 0,03 *мг*, и прибавляют 1 *мл* концентрированной соляной кислоты ч. д. а., не содержащей цинка. Прибавляют раствор ацетата натрия до рН 5 (проверяют индикаторной бумажкой) и 20 *мл* маскирующего раствора. После перемешивания экстрагируют цинк 50,0 *мл* рабочего раствора дитизона.

Встряхивают до тех пор, пока окраска раствора не перестанет изменяться. Если экстракт окрашен в интенсивно-фиолетовый или даже в красный цвет, экстракцию повторяют с меньшим объемом пробы. После полного разделения слоев сливают экстракт в другую делительную воронку, добавляют 10 *мл* промывного раствора, 15 *мл* дистиллированной воды и встряхивают до полного удаления дитизона из слоя четыреххлористого углерода.

Содержание цинка определяют по формуле:

$$x = c \cdot 100/V$$

где *c* - концентрация цинка, найденная по калибровочной кривой, *мг/л*; *V* — объем пробы, взятой для анализа, *мл*; 100 — объем, до которого разбавлена проба, *мл*.

### **Определение хрома Cr (VI).**

Основной раствор. Растворяют 2.8285 *г*  $K_2Cr_2O_7$  ч. д. а., высушенного при 105°С, в дистиллированной воде и дополняют объем при 20° С до 1 л. 1 *мл* раствора содержит 1 *мг* Cr.

Рабочий раствор I. Разбавляют 25,0 *мл* основного раствора дистиллированной водой, доводя объем до 500 *мл*; 1 *мл* раствора содержит 0,050 *мг* Cr.

Рабочий раствор II. Разбавляют 20,0 *мл* рабочего раствора I дистиллированной водой до 500 *мл*; применяют свежеприготовленным; 1 *мл* раствора содержит 0,002 *мг* Cr.

Для приготовления реактивов и разбавления пробы используют бидистиллят, полученный в стеклянном приборе.

Калибровочная кривая. В ряд мерных колб емкостью 100 *мл* отмеривают 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0 *мл* рабочего стандартного раствора II, после доведения объемов до 100 *мл* получают серию стандартов с концентрациями хрома 0,02; 0,04; . . . ; 1,0 *мг* в 1 *л*. Затем проводят определение по варианту А. Из полученных значений оптической плотности вычитают величину оптической плотности холостого определения и по полученным величинам строят график в координатах оптическая плотность — концентрация хрома.

При визуальном определении в цилиндры Несслера помещают 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; . . . ; 20,0 *мл* рабочего стандартного раствора, получая после разбавления водой до объема 100 *мл* серию стандартов с концентрациями 0,04; 0,08; 0,12; . . . ; 0,4 *мг* хрома в 1 *л*.

Ход определения. В мерную колбу емкостью 100 *мл* или в цилиндр Несслера помещают такой объем прозрачной пробы, чтобы в нем содержалось от 0,005 до 0,1 *мг* хрома. Пробу нейтрализуют 1 н. раствором едкого натра или 1 н. раствором серной кислоты. Необходимое количество щелочи или кислоты устанавливают титрованием отдельной порции пробы. Затем приливают 1 *мл* серной кислоты (1:1), 0,3 *мл* фосфорной кислоты, доводят объем дистиллированной водой до 100 *мл* и перемешивают. Добавляют 2 *мл* раствора дифенилкарбазида и снова перемешивают, через 5—10 *мин* измеряют оптическую плотность или сравнивают пробу со стандартными растворами, обработанными таким же способом; вычитают из полученной величины оптическую плотность холостого определения и по калибровочной кривой находят содержание хрома.

Содержание хрома (VI) и общее содержание хрома (x) вычисляют по формуле:

$$x = c \cdot 100/V$$

где  $c$  — концентрация хрома, найденная по калибровочному графику или сравнением с серией стандартных растворов,  $мг/л$ ;  $V$  — объем пробы, взятой для анализа,  $мл$ ; 100 — объем, до которого разбавлена проба,  $мл$ .

### **Определение хлорид-иона (Cl<sup>-</sup>).**

Хлор выделяет йод из раствора иодида. Выделенный йод титруют раствором тиосульфата натрия по крахмалу. В кислой среде реакции протекают количественно. Титруя 0,01 н. раствором тиосульфата натрия, можно определить 0,05 мг/л и более активного хлора в пробе объемом 500 мл.

Мешающие влияния. Определению хлора в питьевых или поверхностных водах с небольшим содержанием органических веществ не препятствуют нитриты, марганец и железо, если титруют с добавлением разбавленного раствора уксусной кислоты. В присутствии большого количества органических веществ метод не дает правильных результатов.

Реактивы: Уксусная кислота чда, ледяная, иодид калия, ч. д. а., тиосульфат натрия, 0,1 н. раствор. Растворяют 25 г  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  ч. д. а. в свежeproкипяченной и охлажденной дистиллированной воде, добавляют 0,2 г  $Na_2CO_3$  чда и доводят объем до 1 л. Титр или поправку определяют по основному раствору бихромата той же нормальности.

Разбавляют 100 мл 0,1 н. раствора тиосульфата до 1 л свежeproкипяченной и охлажденной дистиллированной водой и добавляют 0,2 г  $Na_2CO_3$  чда. Титр или поправку определяют так же, как 0,1 н. раствора.

Крахмал, 0,5%-ный раствор.

Ход определения. При предполагаемом содержании «активного хлора» менее 1 мг/л отмеривают 1000 мл пробы, при содержании его от 1 до 10 мг/л — 500 мл и т. д. (расход тиосульфата натрия на титрование не должен превышать 20 мл).

Прибавляют к пробе 5 мл уксусной кислоты и около 1 г твердого иодида калия. Титрование проводят на белом фоне 0,01 н. раствором тиосульфата

натрия до получения светло-желтой окраски. Затем добавляют около 1 мл раствора крахмала и продолжают титрование до исчезновения синего окрашивания. Нельзя титровать при прямом солнечном свете. Таким же способом находят расход реактива на холостое определение с дистиллированной водой.

*Расчёт.* Содержание «активного хлора» ( $x$ ) в мг/л вычисляют по формуле:

$$x = (a-b) \cdot k \cdot 0,01 \cdot 35,45 \cdot 1000 / V = (a-b) \cdot k \cdot 354,5 / V$$

где,  $a$  — объем 0,01 н. раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование пробы, мл;  $b$  — объем 0,01 н. раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование в холостом определении, мл;  $k$  — поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора тиосульфата натрия к точно 0,01 н.;  $V$  — объем анализируемой пробы, мл; 35,45 — атомный вес хлора; 0,01 — нормальность раствора тиосульфата.

### **Определение фосфат-иона ( $\text{PO}_4^{-3}$ ).**

*Ход определения.* К 50 мл пробы, профильтрованной в день отбора (на месте отбора или в лаборатории), через плотный фильтр (синяя лента) или к меньшему объему пробы, но разбавленному до 50 мл дистиллированной водой, приливают сначала 2 мл раствора молибдата, через короткое время 0,5 мл раствора аскорбиновой кислоты. Смесь перемешивают. Одновременно проводят «холостое» определение с 50 мл дистиллированной воды. Если анализируемая проба содержит полифосфаты и органические соединения фосфора, измеряют оптическую плотность в промежутке времени от 5 до 15 мин после добавления раствора аскорбиновой кислоты. Если легко гидролизующихся полифосфатов нет, этот промежуток времени может быть увеличен до 60 мин. Если же нет ни полифосфатов, ни органических фосфатов, измерение оптической плотности можно проводить в течение времени от 5 мин до 48 ч после добавления аскорбиновой

кислоты. Из найденной величины оптической плотности вычитают оптическую плотность «холостого» определения. Если проба была несколько мутной или окрашенной, надо также вычесть оптическую плотность раствора, получаемого после добавления молибдата, но перед введением аскорбиновой кислоты. Содержание фосфатов находят по калибровочной кривой.

*Расчет.* Содержание растворенных неорганических ортофосфатов  $\text{PO}_4^{3-}$  (х) мг/л вычисляют по формуле:

$$x = c \cdot 50 / V$$

где *c* — концентрация фосфат-ионов, найденная по калибровочной кривой, мг/л; *V* — объем пробы, взятой для определения, мл; 50 — объем, до которого разбавляют раствор, мл.

### **Определение нитрат-иона ( $\text{NO}_3^-$ ).**

Метод основан на реакции нитратов с салициловокислым натрием в присутствии серной кислоты с образованием соли нитросалициловой кислоты, окрашенной в желтый цвет.

Чувствительность метода 0,1 мг/л нитратного азота.

Приготовление основного стандартного раствора азотнокислого калия. 0,7218 г азотнокислого калия  $\text{KNO}_3$ , х. ч., высушенного при  $105 \pm 2^\circ\text{C}$ , растворяют в дистиллированной воде, добавляют 1 мл хлороформа и доводят объем до 1 л.

1 мл раствора содержит 0,1 мг нитратного азота.

Приготовление рабочего стандартного раствора азотнокислого калия. 10 мл основного раствора разбавляют в мерной колбе дистиллированной водой до 100 мл.

1 мл этого раствора содержит 0,01 мг нитратного азота.

Применяют свежеприготовленный раствор.

Приготовление раствора виннокислого калия-натрия. 30 г калия-натрия виннокислого растворяют в 70 мл дистиллированной воды.



Приготовление 0,5%-ного раствора салициловокислого натрия.

0,5 г салициловокислого натрия растворяют в 100 мл дистиллированной воды.

Применяют свежеприготовленный раствор.

Приготовление 10 н. раствора едкого натра.

400 г едкого натра растворяют в дистиллированной воде и после охлаждения доводят объем до 1 л.

Определению мешают цветность воды, влияние которой устраняется так же, как и в методе с фенолдисульфокислотой; хлориды в концентрации, превышающей 200 мг/л, удаляют добавлением раствора сернокислого серебра к 100 мл исследуемой воды в количестве, эквивалентном содержанию хлор-иона. Осадок хлорида серебра отфильтровывают или отделяют центрифугированием; нитриты в концентрации 1—2 мг/л и железо в концентрации более 0,5 мг/л. Влияние железа может быть устранено добавлением 8—10 капель раствора калия-натрия виннокислого перед выпариванием воды в фарфоровой чашке.

10 мл исследуемой воды помещают в фарфоровую чашку. Прибавляют 1 мл раствора салициловокислого натрия и выпаривают на водяной бане досуха. После охлаждения сухой остаток увлажняют 1 мл концентрированной серной кислоты, тщательно растирают его стеклянной палочкой и оставляют на 10 мин. Затем добавляют 5—10 мл дистиллированной воды и количественно переносят в мерную колбу вместимостью 50 мл. Прибавляют 7 мл 10 н. раствора едкого натра, доводят объем дистиллированной водой до метки и перемешивают. В течение 10 мин после прибавления едкого натра окраска не изменяется. Сравнение интенсивности окраски исследуемой пробы производят фотометрическим методом, измеряя оптическую плотность раствора с фиолетовым светофильтром в кюветах с толщиной рабочего слоя 1—5 см. Из найденных величин оптической плотности вычитают оптическую плотность нулевой пробы и по калибровочному графику находят

содержание нитратов.

Для приготовления стандартных растворов в колориметрические пробирки с отметкой на 10 мл отбирают 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0 и 10 мл рабочего стандартного раствора азотнокислого калия (1 мл — 0,01 мг N) и доводят дистиллированной водой до отметки. Содержание нитратного азота в растворах соответственно будет равно 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 10,0 мг/л. Затем растворы переносят в фарфоровые чашки, прибавляют по 1 мл раствора салициловокислого натрия и выпаривают на водяной бане досуха. Сухой остаток обрабатывают так же, как описано при анализе пробы исследуемой воды. Оптическую плотность окрашенных растворов измеряют при помощи электрофотокolorиметра, используя фиолетовый светофильтр и кюветы с толщиной рабочего слоя 1—5 см. Из полученных величин вычитают оптическую плотность нулевой пробы и результаты наносят на график.

Содержание нитратов. (X) в мг/л вычисляют по формуле в пересчете на нитратный азот

$$X = C$$

где C — содержание нитратов, найденное по графику, мг/л. Сходимость результатов анализа (A) в процентах вычисляют по формуле

$$A = 2(P_1 - P_2) / (P_1 + P_2) \cdot 100$$

где  $P_1$  — больший результат из двух параллельных определений;

$P_2$  — меньший результат из двух параллельных определений.

#### **2.4. Изотопное исследование отобранных образцов**

Изотопно-кислородный и дейтериевый состав, дейтериевый эксцесс считаются одними из информативных индикаторов в гидрологических и гляциологических исследованиях в установлении закономерностей процессов льдообразования, снегонакопления и протекания взаимных агрегатных превращений. В главе представлены результаты изотопных анализов образцов вод из притоков реки Вахш: Кызылсу, Муксу, Сурхоб, Обихингоу, а также из ледника Гармо. При отборе проб руководствовались

инструкцией, разработанной в университете Колорадо в Боулдере. Анализы образцов вод и льда выполнялись на Wavelength-Scanned Cavity Ringdown Spectroscopy (WS-CRDS) и изотопный состав водорода и кислорода выражались в относительных величинах  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$ :  $\delta = [(R_{\text{об}} / R_{\text{ст}}) - 1] \cdot 1000\text{‰}$ , где  $R_{\text{об}}$  и  $R_{\text{ст}}$  отношения  $^2\text{H}/^1\text{H}$  и  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  в измеряемом образце и в стандарте. В качестве стандарта принята средняя океаническая вода (SMOW, Vienna, IAEA). Точность измерения составляла  $\pm 0.05\text{‰}$ .

## **Глава III. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НУРЕКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИБРЕЖНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАЙОНОВ**

### **3.1. Состояние вопроса**

В бассейне Аральского моря, на территории которого расположены пять государств, водные ресурсы используются в основном для ирригации и гидроэнергетики. Ирригация и гидроэнергетика требуют разных режимов регулирования речного стока. В интересах гидроэнергетики – наибольшая выработка электроэнергии и, соответственно, использование большей части годового стока рек в зимний, наиболее холодный период года. Для ирригации наибольший объем воды требуется летом, в период вегетации. Регулирование речного стока при этом осуществляется крупными водохранилищами, входящими вместе с гидроэлектростанциями в состав гидроузлов комплексного назначения. При этом все наиболее крупные гидроэлектростанции построены в республиках зоны формирования стока в верхнем течении рек Амударья и Сырдарья – в Кыргызстане и Таджикистане, а основные площади орошаемых земель расположены в республиках нижнего течения рек – Казахстане, Туркменистане и Узбекистане.

Вопрос о регулировании речного стока и строительстве крупных водохранилищ в Центральной Азии возник в 1950-е годы именно в связи с развитием орошаемого земледелия. Только с этого времени началось

строительство таких крупных гидросооружений с водохранилищами большого объема как Каракумский и Нурекский в Таджикистане, Токтогульский в Киргизии, Тюямуонский в Узбекистане. Ошибочное мнение о том, что естественный режим реки отвечает интересам ирригации, основано на внешнем сходстве этих режимов. В обоих случаях наибольшие расходы проходят летом, а наименьшие – зимой. Однако при более внимательном рассмотрении оказывается, что конкретные распределения расходов реки совершенно не соответствуют требованиям ирригации.

Кардинальным решением совместного использования ирригационной и энергетических аспектов воды и предотвращения возможных конфликтных ситуаций между ирригацией и гидроэнергетикой является не ограничение деятельности какой-то одной из них или подчинение одной другой, а наоборот, наибольшее совместное их развитие путем строительства новых крупных ГЭС с водохранилищами большого объема. Для гидроэнергетики это означает увеличение производства дешевой и экологически чистой энергии, для ирригации – повышение глубины многолетнего регулирования стока и водообеспеченности уже освоенных земель, а также возможность освоения новых.

Наличие нескольких гидроузлов с водохранилищами позволит разрешить противоречия между гидроэнергетикой и ирригацией. Сегодня конфликт между ними возникает потому, что в бассейнах каждой из двух основных рек региона имеется всего по одному крупному гидроузлу с водохранилищем: на Сырдарье – Токтогульское в Киргизии, на Амударье – Нурекское в Таджикистане. Единственный на реке крупный гидроузел не может осуществлять регулирование стока одновременно в двух режимах – ирригационном и энергетическом.

Строительство еще одного крупного гидроузла на каждой из двух рек кардинально изменит ситуацию. В этом случае верхнее по течению водохранилище сможет работать в чисто энергетическом режиме, нижнее водохранилище такого же объема сможет перерегулировать сток вплоть до

восстановления его естественного режима. Тем более оно может обеспечить регулирование стока в интересах ирригации. При наличии не двух, а большего количества гидроузлов с водохранилищами ситуация еще более улучшится [55].

В Республике Таджикистан из 527 Млрд. кВт·ч общих потенциальных гидроэнергетических ресурсов в настоящее время используется чуть более 5% [56]. Следовательно, можно ожидать, что в ближайшей перспективе будет возведено не одни десятки средних и крупных гидроэлектростанций с водохранилищами. Это значит, при планировании перспективы развития сельскохозяйственных районов прибрежных к водохранилищам необходимо учитывать фактор влияния водных резервуаров в трансформации метеорологических условий местности и внесение корректировок к нормам ирригации соответствующих культур.

Согласно [57] непосредственное влияние водохранилищ на метеорологические параметры близлежащих районов ощущается на расстояниях несколько сот метров, а в направлении ветра такое влияние может быть зарегистрировано на расстояниях более 10 км.

Проблема продовольственной безопасности важна для любой страны и в любое время. Она должна быть поддержана не только с экономической, но и социальной и политической позиции. Государство, которое не обеспечивает продовольственную независимость, не может чувствовать себя безопасным в современном мире. В современном мире с увеличением противоречивых процессов в мировой экономике все актуальнее становится проблема продовольственной безопасности. Это прежде всего рост потребления продовольствия в развивающихся странах и финансовый кризис, который вызвал спад производства и доходов. Среди вызовов, с которым человечество столкнулся в современном мире является изменение климата, который представляет серьезную угрозу для всех природно-хозяйственных комплексов, в том числе водных и земельных ресурсов. Увеличение температуры и уменьшение количества осадков ведет к усилению засухливости климата. Большая часть Центральной Азии

находится в аридных условиях окружающей среды, для которых характерна исключительно низкая влажность, высокая интенсивность испарения и излишняя солнечная радиация. Резкий рост населения в странах Центральной Азии, который превышает мировые темпы вызывает тревогу, так как рост населения обуславливает процессы интенсификации экономики и соответственно повышению техногенной нагрузки на водные и земельные ресурсы. Производство продуктов питания в Таджикистане уже сталкивается с множеством серьезных проблем, вызванных главным образом, стремительным ростом населения, горной местностью, ограниченностью сельскохозяйственных площадей. В среднем на каждого жителя Таджикистана приходится 0,14 га пахотных земель который по сравнению со среднемировым (0,26 га/чел) достаточно низкая. Помимо деградации земель, протекающих в результате нарушения норм землепользования, вырубки лесов, деградации пастбищ эрозия почв, наводнения, засоление сельскохозяйственных почв и опустынивание способствуют ежегодное снижение объема продовольственных товаров. Один из способов достижения продовольственной безопасности в уязвимых странах региона является развитие новых земель и наращивание производства сельскохозяйственной продукции. В Таджикистане, общая площадь пригодных для орошения земель составляет 800 тыс. га. Элементарный анализ показывает, что для достижения среднего показателя по региону необходимо расширение площади сельскохозяйственных земель на 0,2 га/чел. Однако такие возможности расширения орошаемых земель в Таджикистане отсутствует. Гидроэнергетика наряду с сельским хозяйством является ключевой базовой отраслью экономики Республики Таджикистан. Факт наличия больших запасов гидроэнергетики свидетельствует, как это указано в Стратегии развития энергетической отрасли Правительство Республики Таджикистан, возведение ряд крупных и средних гидроэлектростанций с водохранилищами в грядущем будущем. Следовательно, при планировании развития сельского хозяйства в районах, прилегающих к водохранилищам, необходимо учитывать факт, трансформации тепловой и радиационных балансов, вызывающих изменения климатических характеристик местности.

### 3.2. Объекты исследований и исходные данные

Для установления влияния горных водохранилищ на возможные изменения агроклиматических условий нами анализировались тренд метеорологических параметров трех районов Дангары, Явана и Файзабада Республики Таджикистан с развитой сельскохозяйственной отраслью. Были использованы метеорологические данные периода 1950-2012 годов станций расположенные в районах исследований.

Строительство Нурекской плотины было начато в 1961 году и в 1979 году уже был достигнут уровень воды 890 м, а отметка НПУ (нормальный подпорный уровень) равная 910 м был достигнут в сентябре 1983 года. Следовательно, можно считать, что влияние водохранилища на метеорологические параметры местности должно ощущаться после восьмидесятых годов двадцатого столетия.

Исходя из данного предположения, нами анализировались метеорологические параметры двух периодов – до (1950-1980) и после (1980-2012) возведения плотины.

Для снятия прочих факторов было использовано метод анализа пространственных разностей. Если физико-географические условия не изменяются сильно, то пространственные разности между двумя парами станций являются устойчивыми величинами (в многолетнем разрезе). По изменению пространственных разностей двух пар станций, одна из которых расположена в сфере воздействия водохранилища, можно судить, каков эффект влияния водоема. Обязательное условие анализа - длительность ряда метеорологических наблюдений до и после возведения водохранилища.

Исследованные нами районы прибрежные к Нурекскому водохранилищу расположены в радиусе до 35 км относительно водохранилища и на различных высотах относительно уровня моря и широтах: Файзабад (1215 м н. у. м., 38°15' с. ш., 69°32' в. д.), Дангара (660 м н. у. м., 38°10' с. ш., 69°32' в. д.), Яван (632 м н. у. м., 38° 32' с. ш., 69°05' в. д.).

### **3.3. Формирование метеорологических условий, прибрежных к Нурекскому водохранилищу районов Файзабада, Дангары и Явана**

В настоящем разделе работы представлен ретроспективный сравнительный анализ статистических параметров 60-летних временных рядов температуры, атмосферных осадков и влажности районов, прибрежных к Нурекскому водохранилищу, и влияние водохранилища на тренд изменения климатических параметров.

Следует отметить, что за период 1950-2012 годов изменение температуры во всех трех районах имеет возрастающий характер без проявления каких-либо отклонений или экстремумов после 80-их годов как признак влияния Нурекского водохранилища.

Однако при сравнении хода изменения температуры до и после возведения водохранилища наблюдается различные тренды возрастания температуры (рис.4-5). Например, если изменение температуры в районах Файзабада и Дангары до 1980 года имело более плавный ход, то после 1980 года приобретает крутой характер увеличения (рис. 4б, 5б). При этом с точностью до наоборот изменения температуры наблюдается в Яване. На рис.6 представлено среднегодовое значение температуры Явана. Из рис. 6(а) видно, что тренд изменения температуры до возведения водохранилища имеет более крутой и выраженный характер, сменяющийся на более плавный ход после 1980 года (рис. 6б).

Объяснение наблюдаемых явлений с точки зрения удаленности расположения районов относительно Нурекского водохранилища является ошибочным, так как Файзабад находится на расстоянии 20 км, Дангара на расстоянии 35 км, а Яван на 30 км. По высоте расположения районов над уровнем моря Дангара (660 м) и Яван (639 м) более близки к друг другу и логично предположить схожесть поведения их метеорологических параметров.



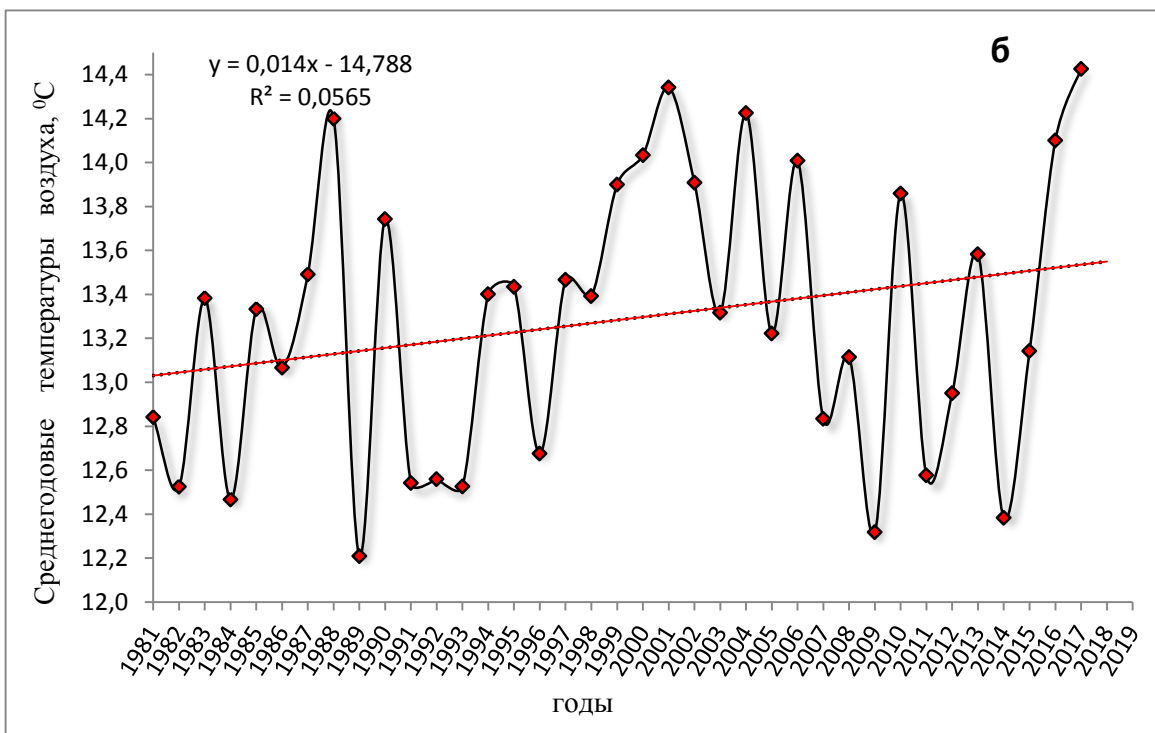
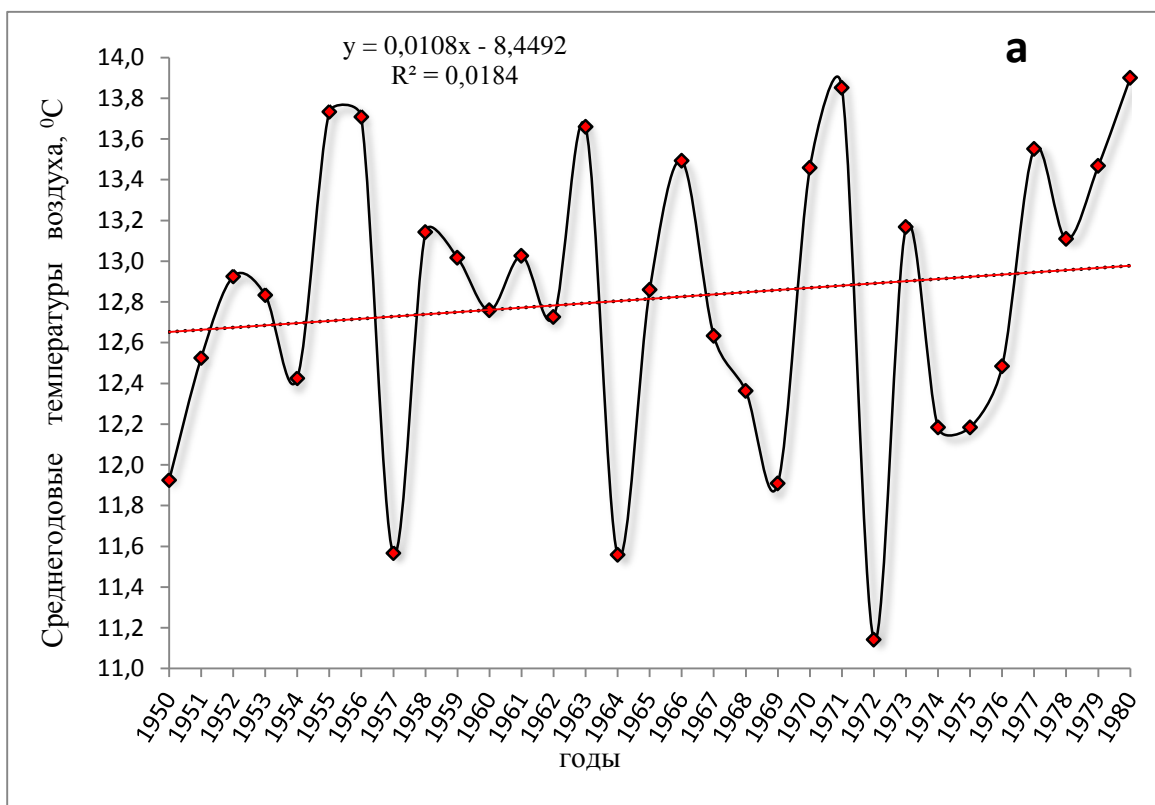


Рис.4. Динамика изменения температуры в области влияния Нурекского водохранилища за период 1950-1980 и 1981-2018 гг. по данным метеостанции Файзабад

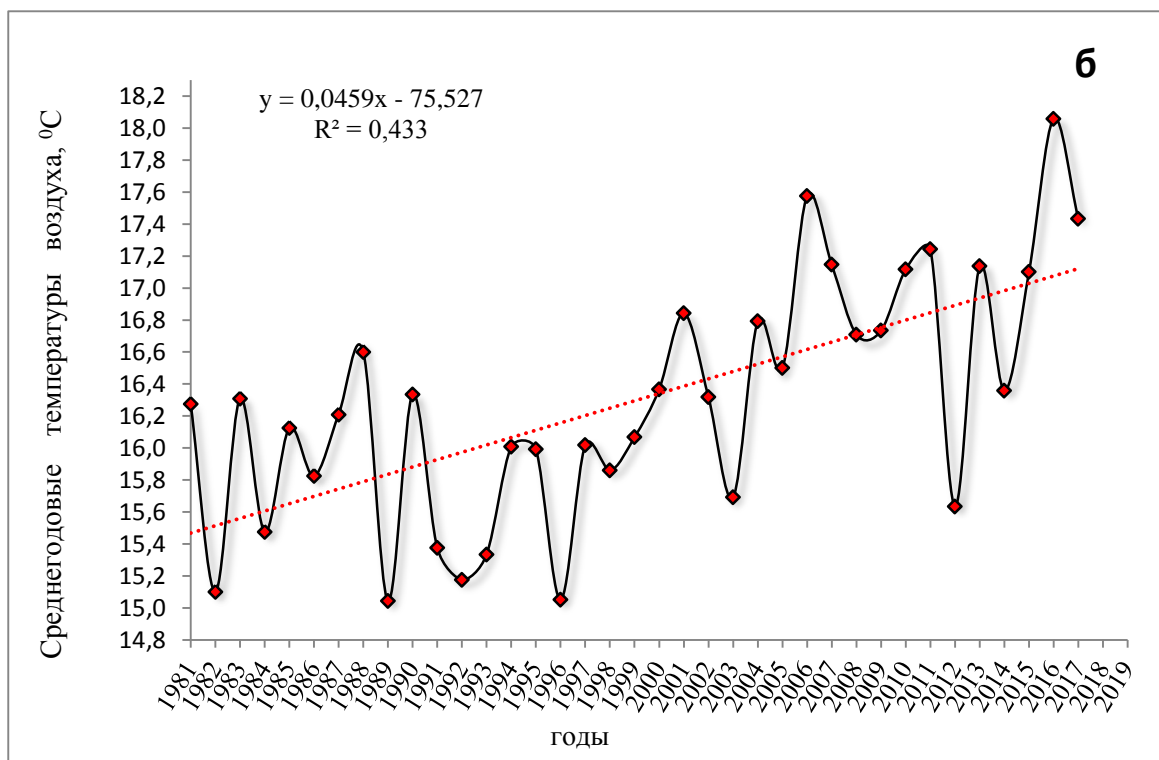
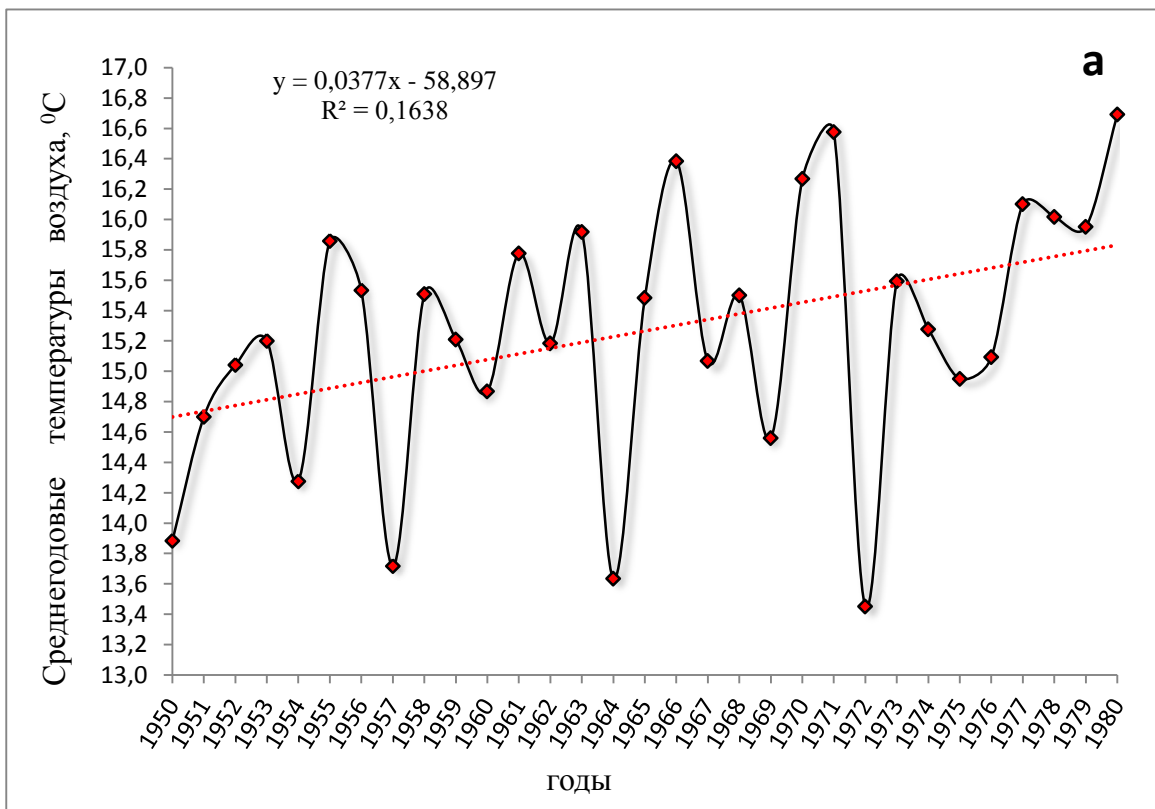


Рис.5. Динамика изменения температуры в области влияния Нурекского водохранилища за период 1950-1980 и 1981-2018 гг. по данным метеостанции Дангара

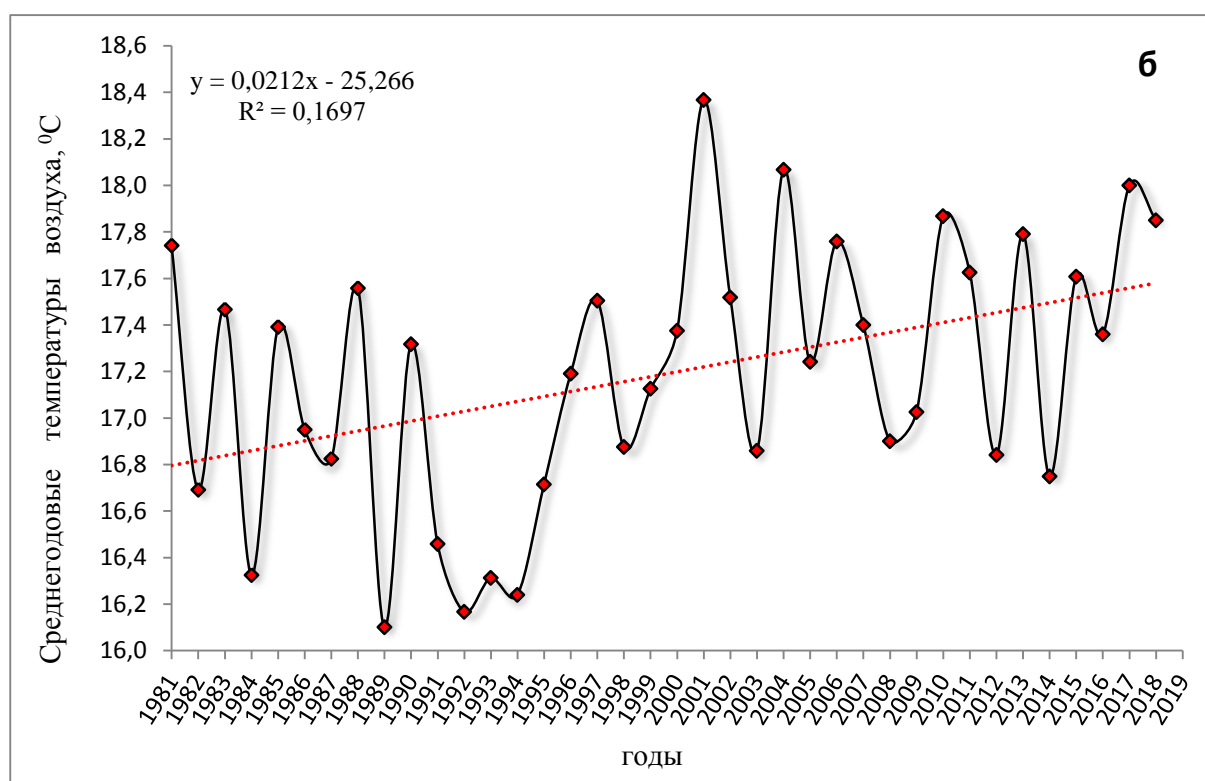
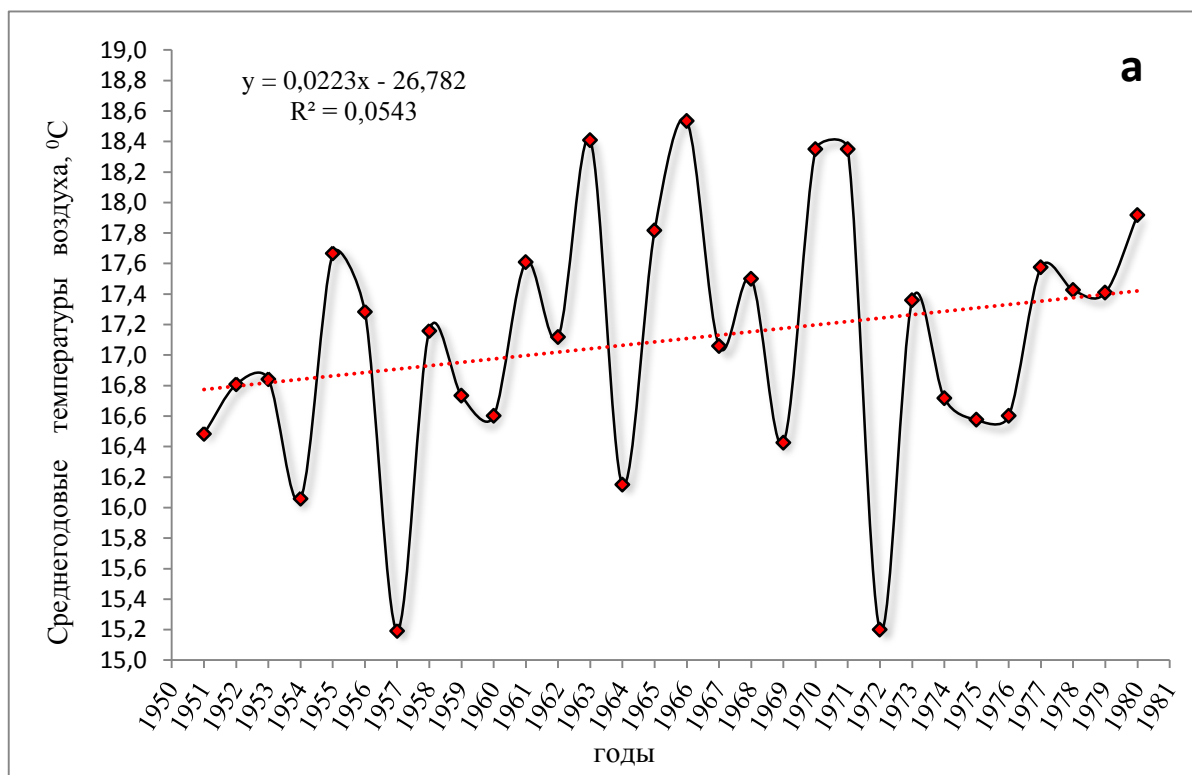


Рис.6. Динамика изменения температуры в области влияния Нурекского водохранилища за период 1950-1980 и 1981-2018 гг. по данным метеостанции Яван

Нами также проводился мониторинг пространственно - временного изменения атмосферных осадков вышеперечисленных районов за период 1950-2012 годы. На рис.7(а,б,) рис.8,9) представлены среднегодовые значения осадков в районе Файзабада за периоды 1950-1980 и 1981-2018 годов.

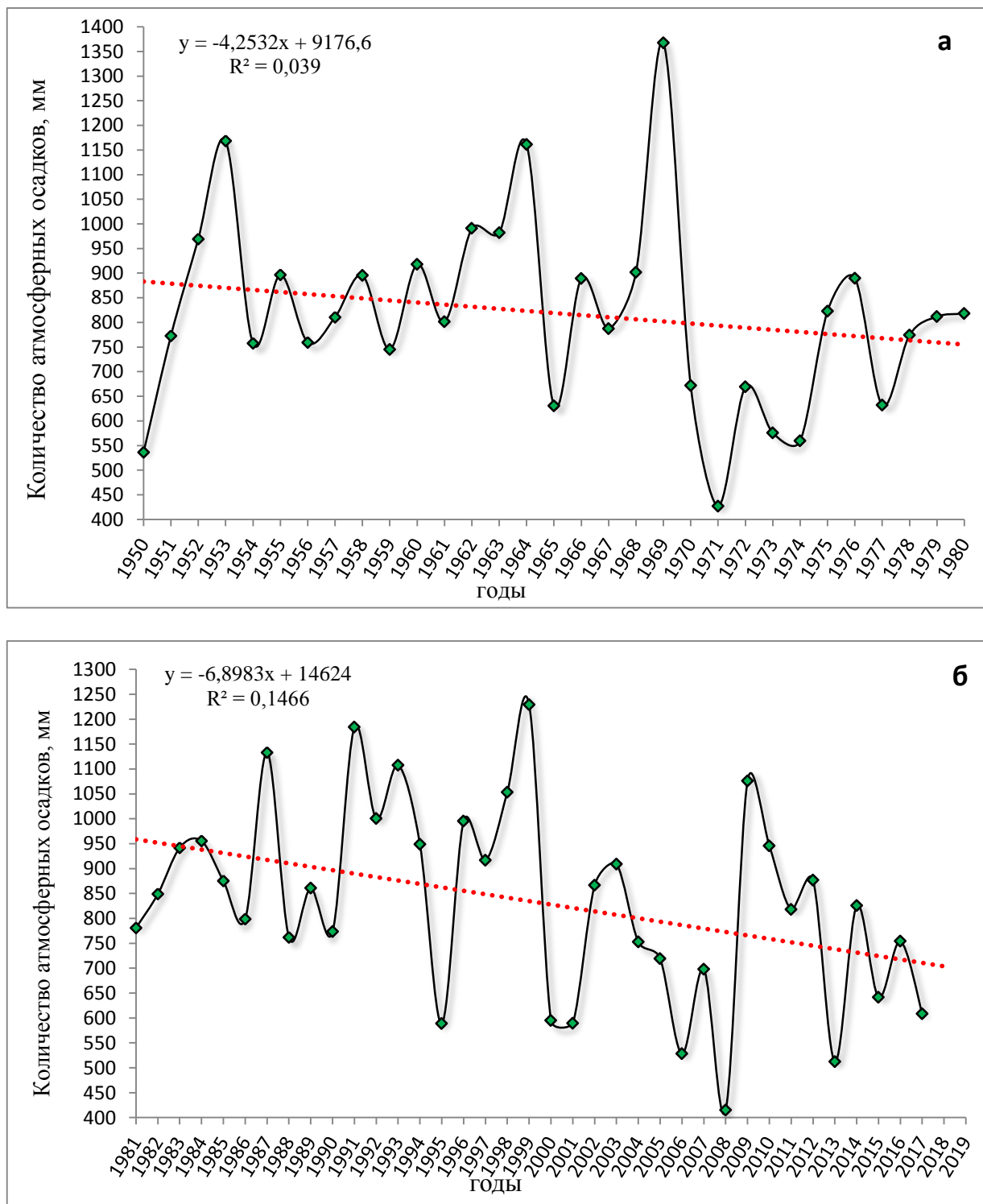


Рис.7. Динамика изменения атмосферных осадков в области влияния Нурекского водохранилища за период 1950-1980 и 1981-2018 гг. по данным метеостанции Файзабад.

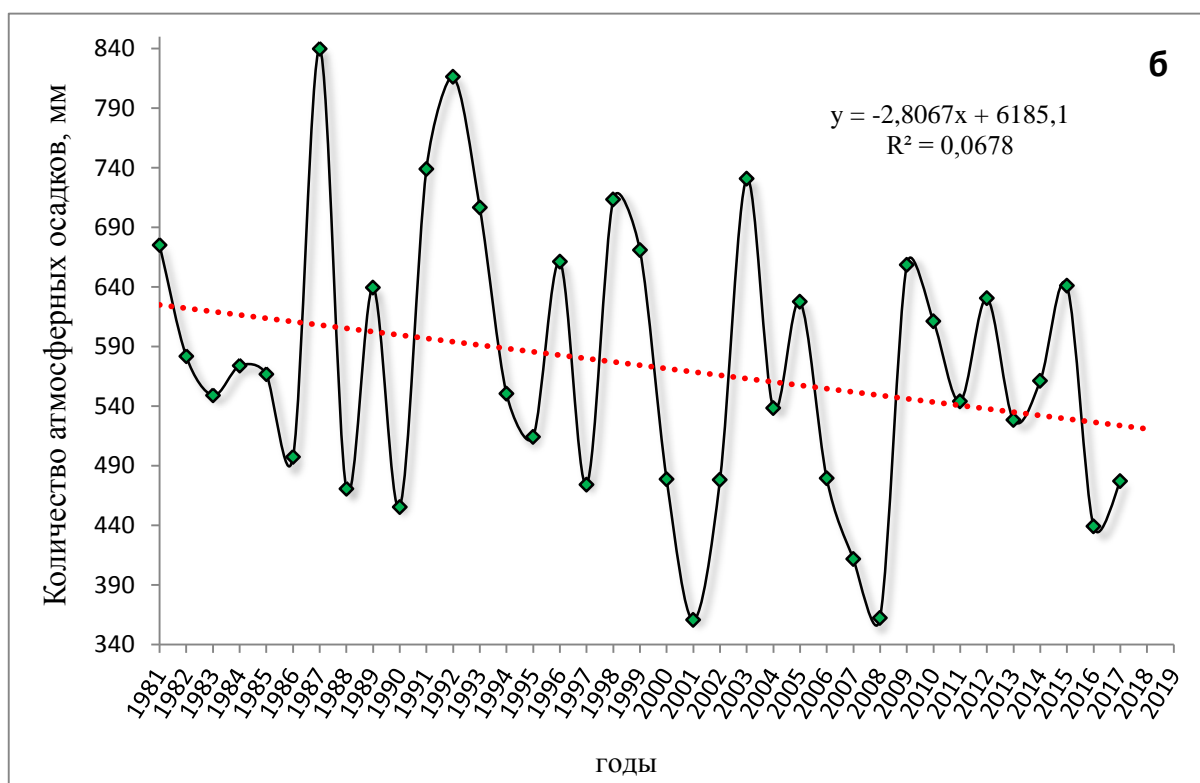
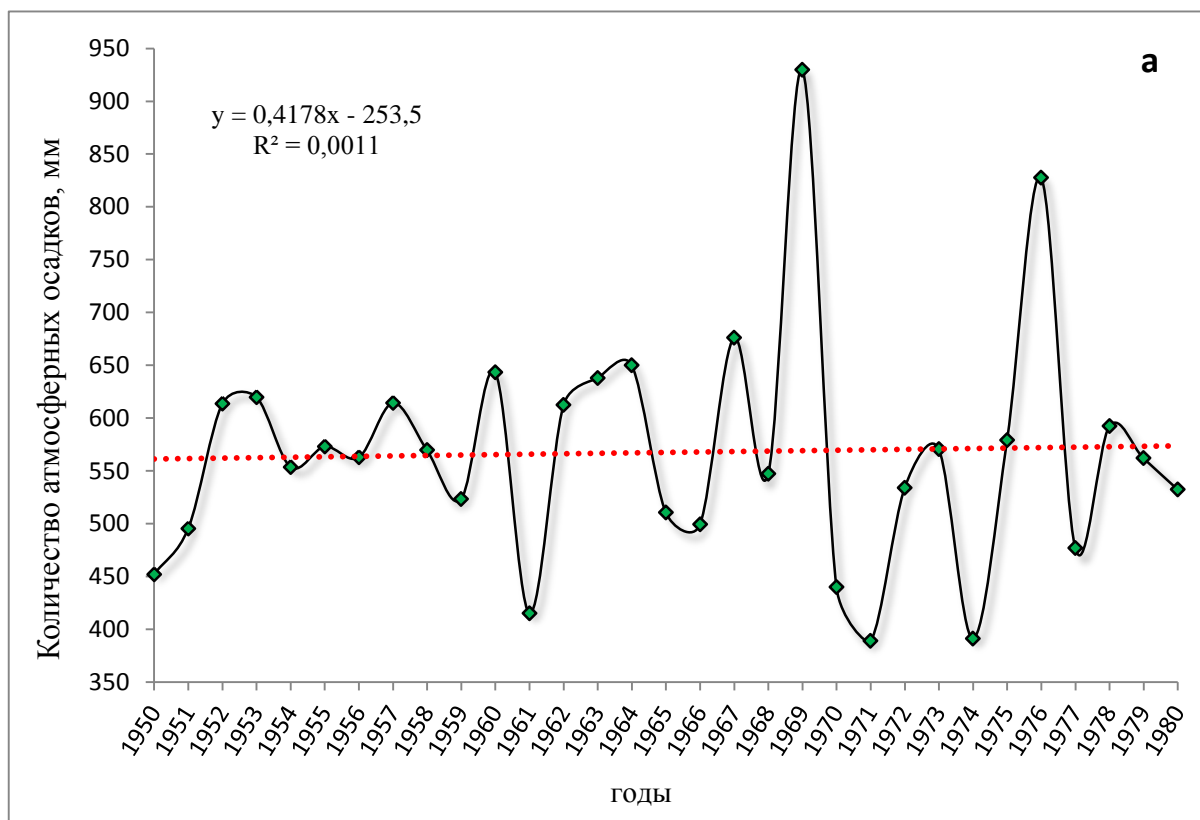


Рис.8. Динамика изменения атмосферных осадков в области влияния Нурекского водохранилища за период 1950-1980 и 1981-2018 гг. по данным метеостанции Дангара

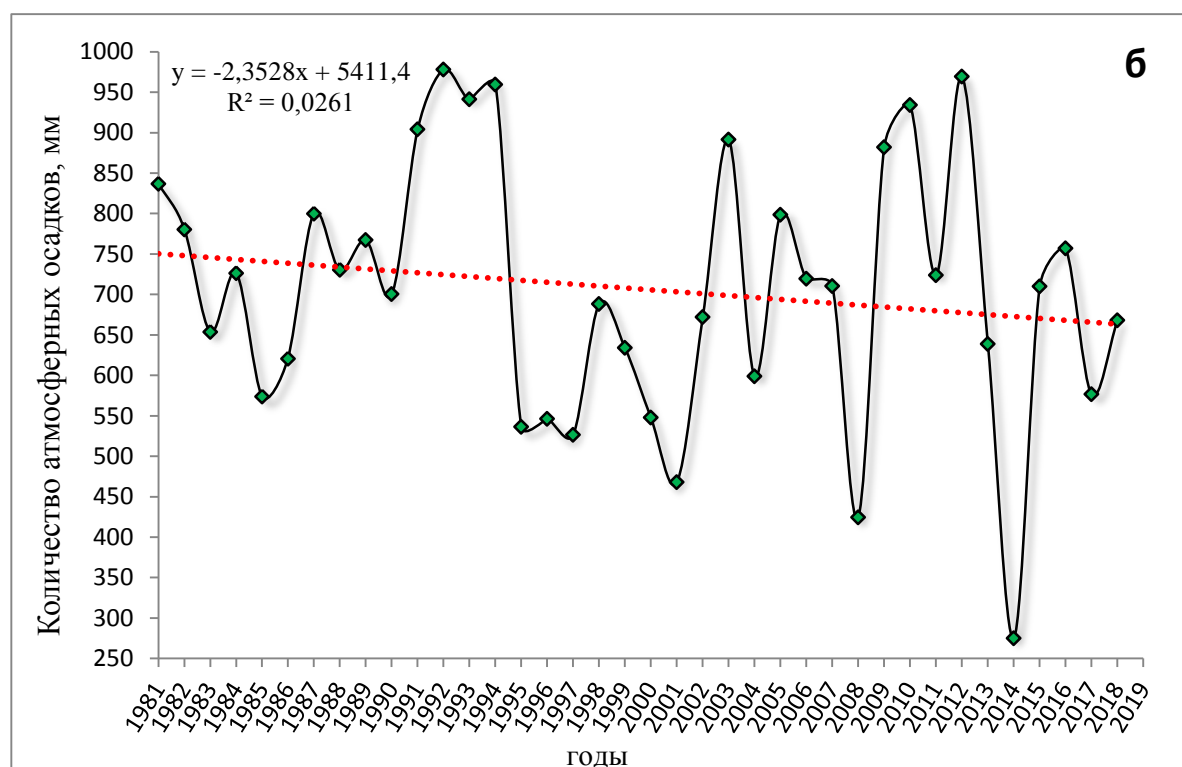
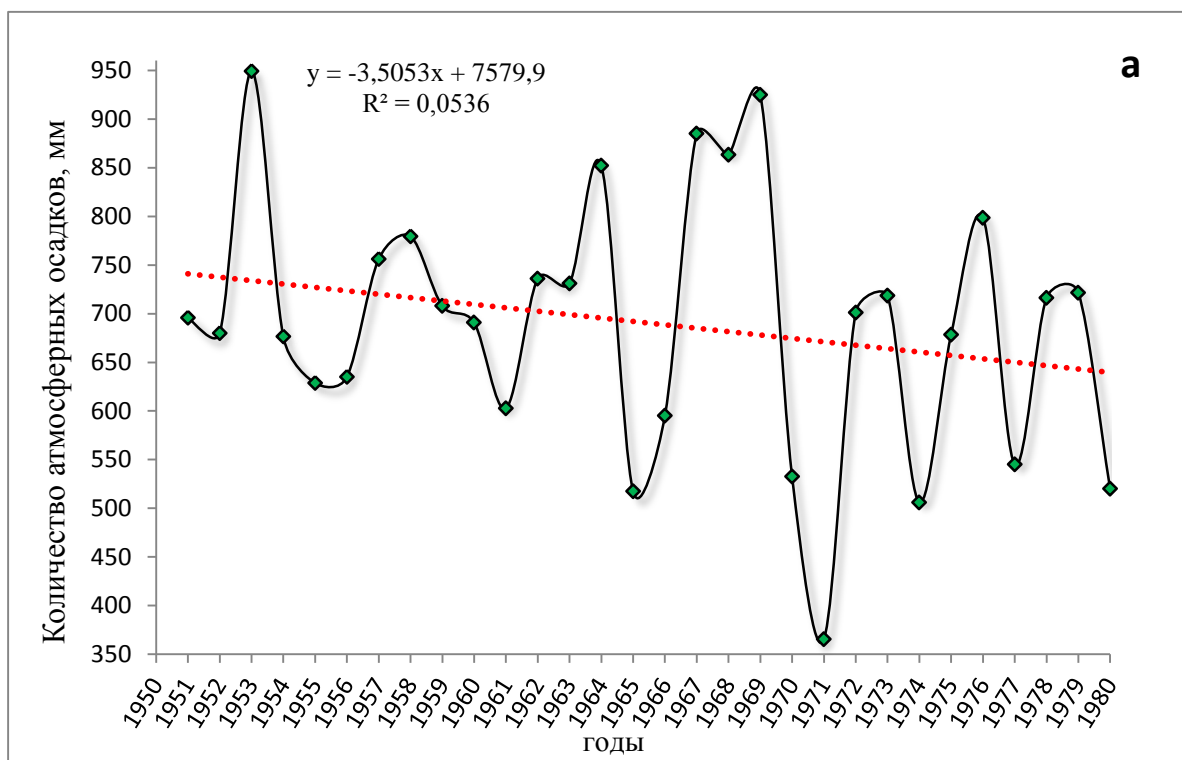


Рис. 9. Динамика изменения атмосферных осадков в области влияния Нурекского водохранилища за период 1950-1980 и 1981-2018 гг. по данным метеостанции Яван

Тренд изменения атмосферных осадков Файзабада как до возведения водохранилища, так и после него имеет убывающий характер. Хотя изменение влажности района за рассматриваемые периоды, как видно из рис.10(а, б), характеризуется возрастающими трендами.

Совершенно иной характер изменения влажности и атмосферных осадков было выявлено при мониторинге метеорологических параметров районов Дангары и Явана.

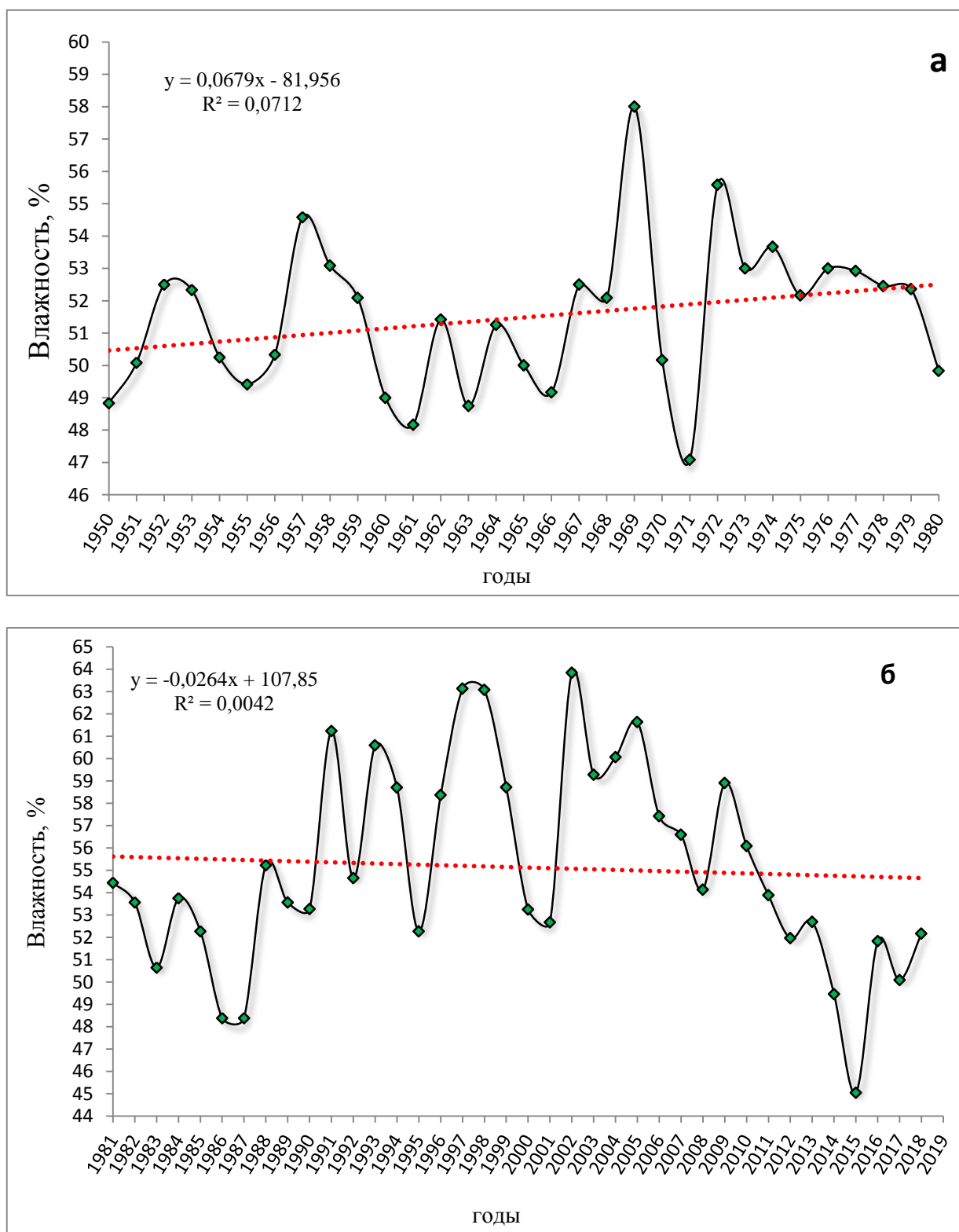


Рис.10. Динамика изменения влажности в области влияния Нурекского водохранилища за период 1950-1980 и 1981-2018 гг. по данным метеостанции Файзабад.

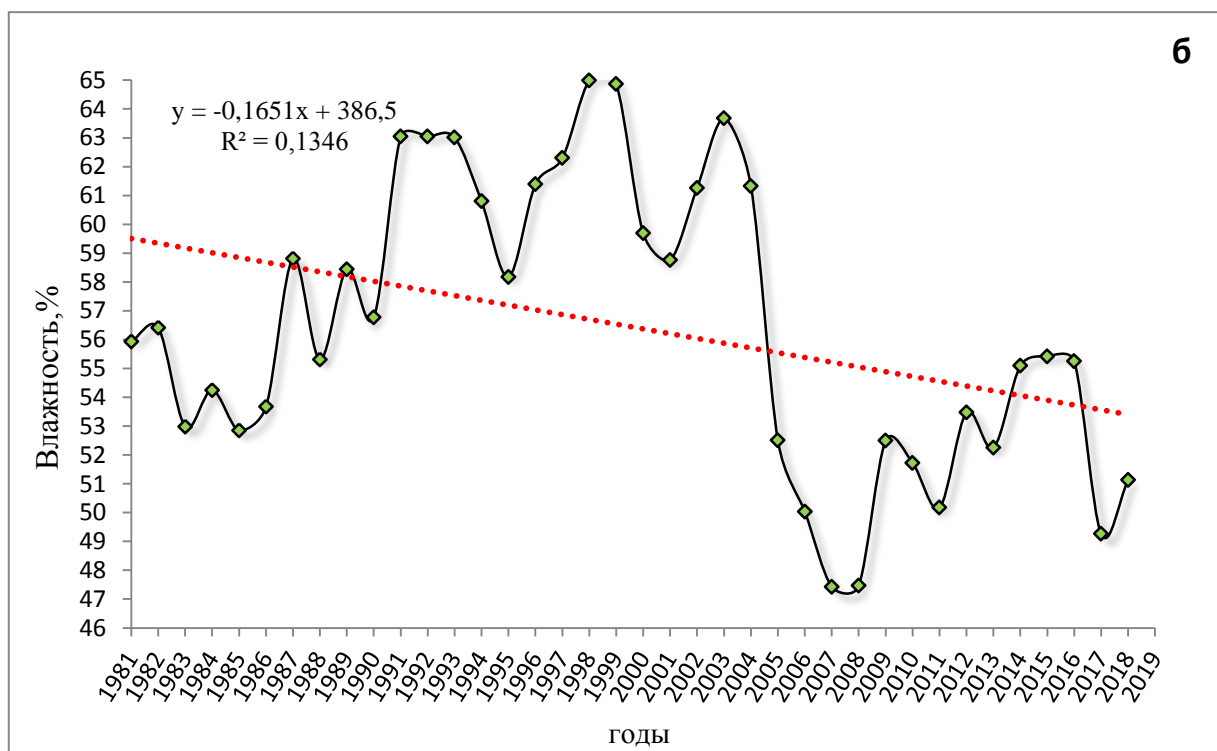
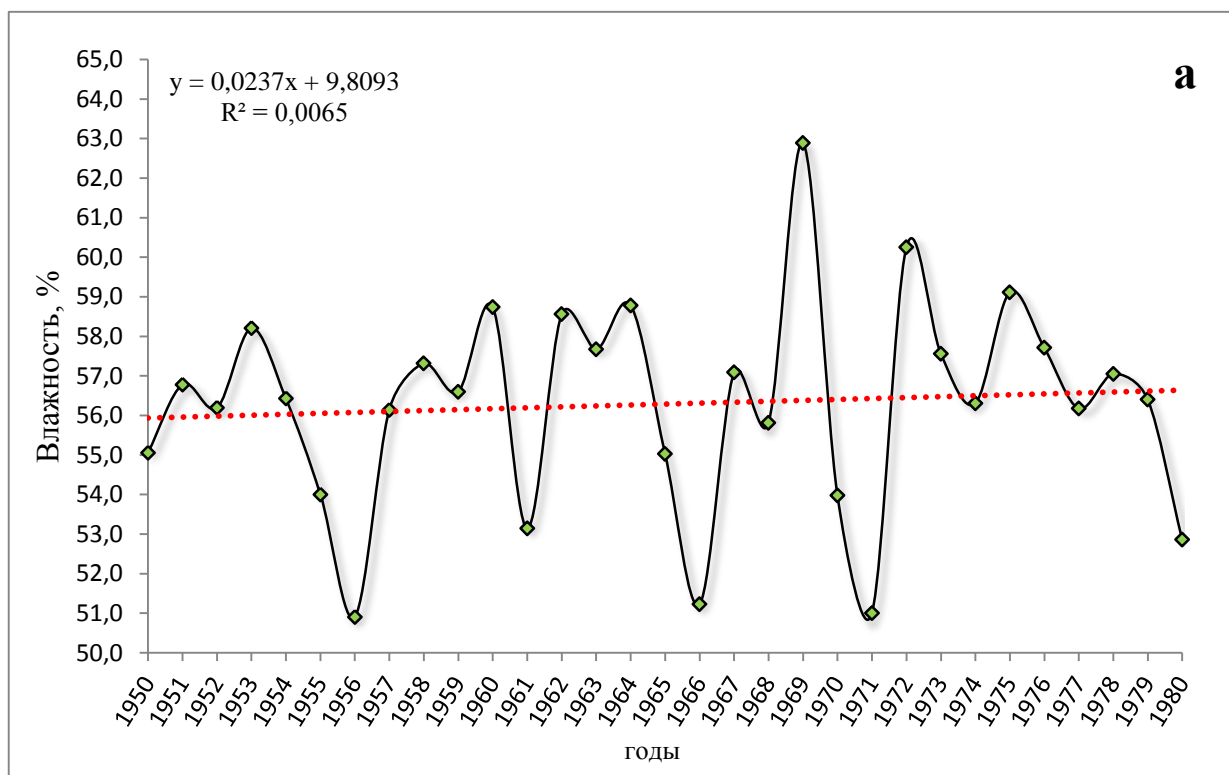


Рис.11. Динамика изменения влажности в области влияния Нурекского водохранилища за период 1950-1980 и 1981-2018 гг. по данным метеостанции Дангара.

На рис.11 (а,б) приведено изменение влажности Дангары до и после возведения Нурекского водохранилища. Как видно из рис. 11(б) за период после возведения водохранилища, т.е. после 1980 года наблюдается тенденция уменьшения влажности, хотя наблюдался её возрастающий тренд до 1980 года. Такой же переход с возрастающего тренда периода 1951-1979



на убывающий тренд периода 1980-2018 годов наблюдалось и в изменение осадков (рис. 12 (а, б)).

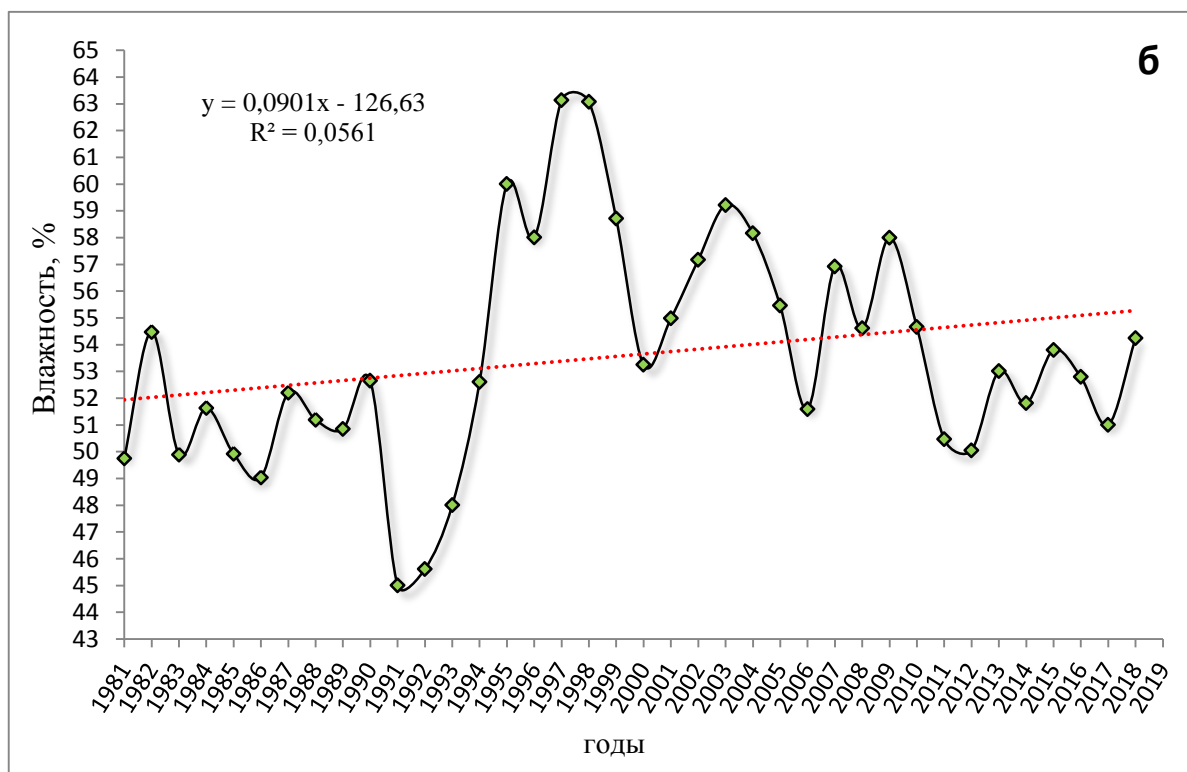
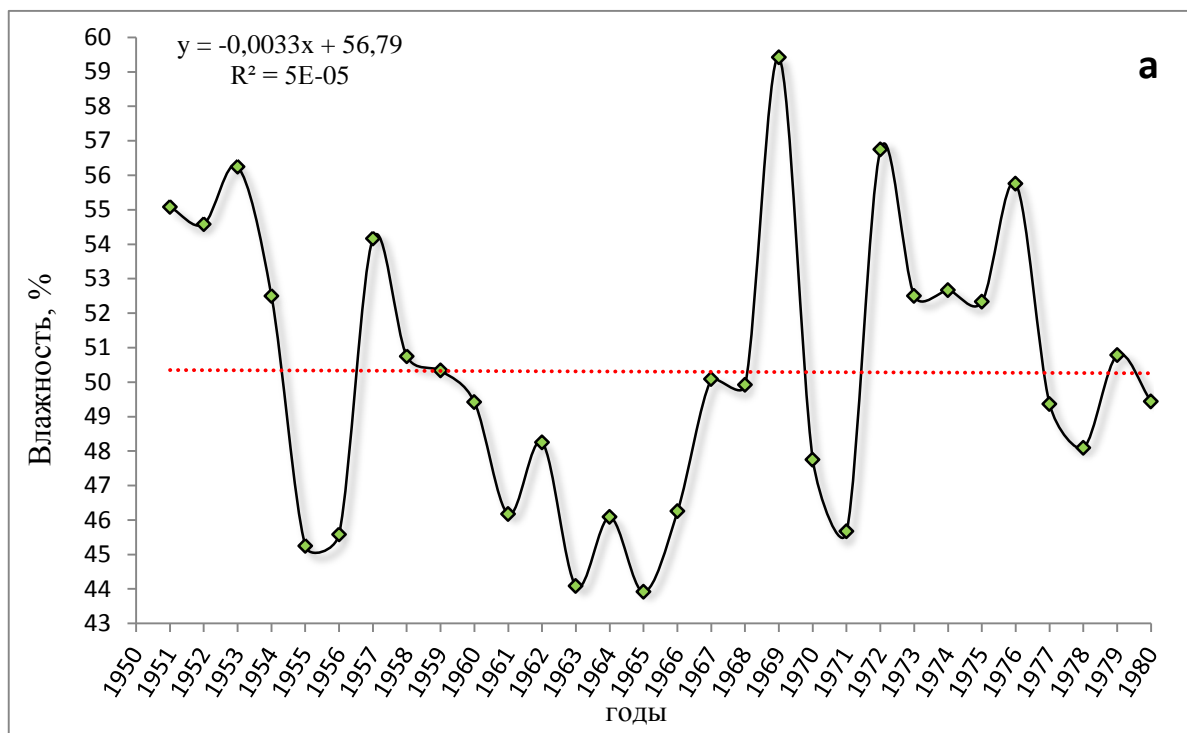


Рис.12. Динамика изменения влажности в области влияния Нурекского водохранилища за период 1950-1980 и 1981-2018 гг. по данным метеостанции Яван.

Из рис. 12 (а,б), где представлена динамика изменения влажности Явана, видно, что влажность данного района имела все уменьшающийся характер до 1980 года и характеризовалась умеренным нарастанием осадков (рис. 9(а)). После 1980 года наблюдается резкое нарастание и влажности и атмосферных осадков (рис. 12(б), 9(б)).

Расчеты показывают, что уменьшение атмосферных осадков Явана за период 1950-1979 годов составляет 4,7 мм при их увеличении за период 1980-2018 до 443,0 мм, что по сравнению с 1979 годом составляет около 30%. Изменение температуры Явана за период 1980-2018 годов равняется  $1,1^{\circ}\text{C}$  против его увеличения на  $0,97^{\circ}\text{C}$  в период с 1950 по 1979 годы.

Таким образом, проведенный нами анализ показывает неоднозначное влияние водохранилищ на метеорологические условия прибрежных к нему районов. Это прежде всего обусловлено тем, что рассматриваемые районы характеризуется горным рельефом. В горных местностях, как обычно, благодаря влиянию высоких возвышенностей наблюдаются процессы отражения, отклонения и возникновения направленного движения воздушных масс. Исходя из этого, наличие развитой сети метеорологических станций в горных местностях является залогом получения реальной картины метеорологических сценарий.

Следует особо отметить, что постоянный мониторинг за метеорологическими параметрами крупных водных объектов важен с точки зрения развития сельского хозяйства. Своевременное установление вариаций метеорологических условий, и разработка технологии адаптации к установившимся условиям, и селекция сельскохозяйственных сортов устойчивых к изменениям климатических факторов и стрессовых ситуаций - залог обеспечения продовольственной безопасности.

### 3.4. Критерия эффективности Нурекской гидроэлектрической станции (ГЭС) с водохранилищем

В настоящее время для определения критериев эффективности гидроэлектрической станции (ГЭС) с водохранилищами широко применяется метод, основанный на анализе ключевых параметров, таких как установленная мощность и производство электроэнергии на ГЭС в зависимости от площади территории, занимаемой для строительства ГЭС.

Показатель эколого-экономической эффективности ГЭС используется как отношение мощности и выхода электроэнергии на один гектар территории, используемые для строительства ГЭС (табл. 15).

Таблица 15. Эколого-экономическая эффективность ГЭС с водохранилищем

Индекс эффективности ГЭС	P/S, МВт/га	T/S, ТВт/га
Среднее для ГЭС с занимаемой площадью менее 100 тыс. га	0,123	0,406

P- установленная мощность, S-площадь территории для строительства ГЭС

С использованием данных, представленных в табл. 15, нами сделана оценка эффективности, ныне действующей Нурекской ГЭС и запланированное в ближайшем будущем строительство Рогунский ГЭС с водохранилищами (табл. 16).

Таблица 16. Критерия эффективности гидроэлектростанций с водохранилищами

ГЭС	P, 10 <sup>2</sup>	W, 10 <sup>2</sup>	S	A	M	Индекс Эффективности			
						P/S	W/S	P/A	W/A
Братск	4400	22,6	547,0	357,3	70,0	0,008	0,041	0,012	0,06
Червак	600	20,0	4,6	2,7	9,18	0,13	0,436	0,225	0,75
Токтогул	1200	41,0	31,9	-	29,3	0,038	0,128	-	-
Нурек	2700	112	21,5	0,2	1,5	0,126	0,522	13,50	56,0
Рогун	3600	133	17,0	6,8	16,0	0,212	0,782	0,529	1,96

R-установленная мощность (МВт); W - производительность (ТВт·ч); A - площадь для сельскохозяйственного производства (Тыс. га); M- переселение (тыс. чел).

Для сравнения в табл. 17 эколого-экономический индекс рассмотренных ГЭС обобщен с аналогами показателей других ГЭС.

Таблица 17. Эколого-экономические показатели ГЭС с водохранилищами

Эколого-экономическая эффективность ГЭС	P/S, МВт/га	W/S, ТВт/га
G	0,123	0,406
Братск	0,008	0,041
Чарвак	0,130	0,436
Токтогул	0,038	0,128
Нурек	0,126	0,522
Рогун	0.212	0,782

В Центрально-азиатском регионе, с присущими ему климатическими условиями выбор места и географическое расположение для строительства водохранилищ является одной из актуальных проблем. Оценка степени влияния водохранилищ на окружающую среду возможно путем применения коэффициента R, определяемого из следующего соотношения [58]:

$$R = \sum S_i / S_{oi} \cdot 100\%$$

где R - коэффициент влияния водохранилища на окружающую среду;  $S_i$ - площадь территории под влиянием водохранилища, км<sup>2</sup>;  $S_{oi}$  - площадь бассейна, км<sup>2</sup>.

Расчеты R показали, что влияние малых предгорных водохранилищ на микроклимат выше, чем равнинных. Например, влияние Нурекского водохранилища в 1,31 раза больше, чем Кайраккумского водохранилища, находящегося в долине.

До заполнения Нурекского водохранилища температура воды реки Вахш до водохранилища не отличались от температуры воды на расстоянии до 17 км по течению в низовье. После 1972 года (год начала заполнения водохранилища) наблюдалось появление разницы по температуре: уменьшение разницы весной (февраль-май) и увеличение разницы летом-

осенью- зимой (июль-январь). С 1980 года после заполнения Нурекского водохранилища начиналось его влияние на термический режим реки Вахш и такое влияние заметно появлялась на расстояние 17 км вниз по течению.

Существенное различие среднемесячного значения температуры воды до и после возведения водохранилища на гидрологическом посту Саригузар наблюдалось в ноябре-декабре ( $4,2^{\circ}\text{C}$ ). По мере удаления из водохранилища вниз по течению наблюдаемая разница уменьшалась до  $1,2^{\circ}\text{C}$  на расстояние 17 км.

Изменение ежегодного распределения среднемесячных значений температуры воды ниже водохранилищ за рассматриваемый временной интервал не связан с изменением годовых средних температур воздуха, а обусловлен влиянием каскада. Хотя по данным метеорологической станции «Нурек» среднемесячная температура после строительства Нурекской ГЭС снижалась (рис.13).

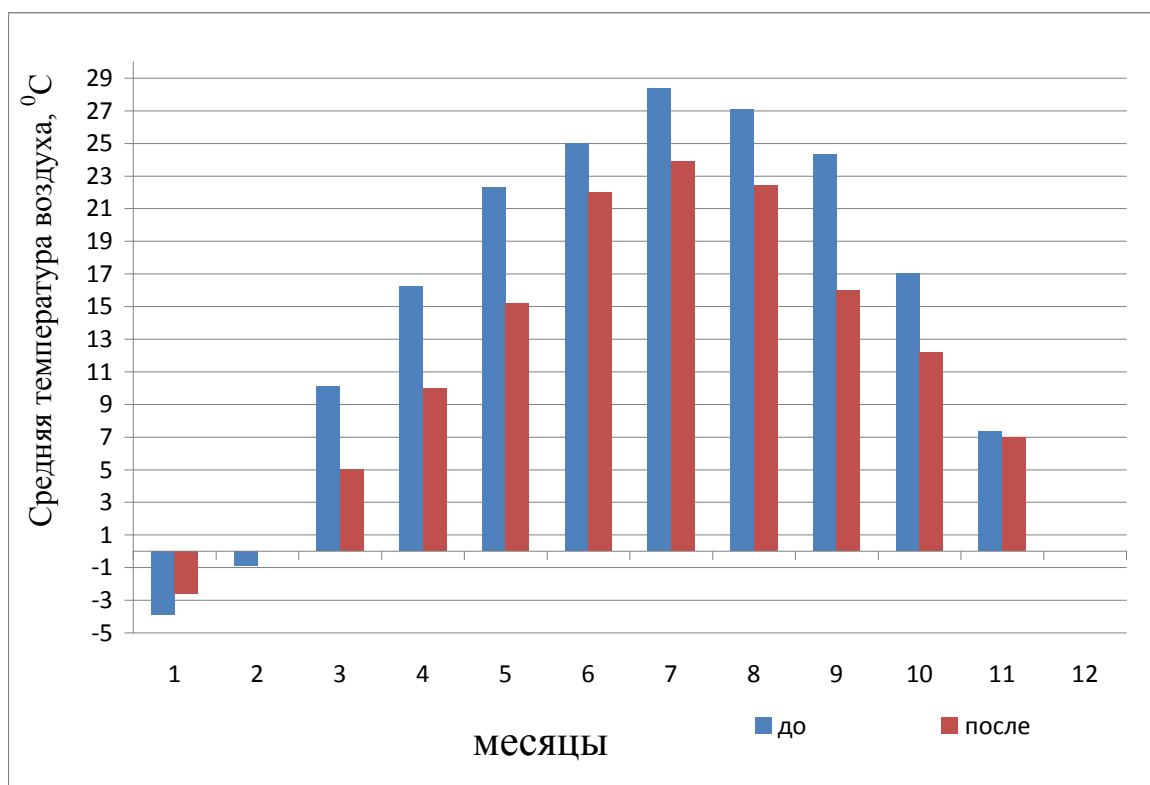


Рис.13. Среднемесячное значение температуры до (■) и после (■) заполнения Нурекского водохранилища

Для установления степени влияния Нурекского водохранилища на микроклимат местности нами проводились анализы климатических параметров трех районов с развитым сельским хозяйством (Дангара, Файзабад и Яван), примыкающих к Нурекскому водохранилищу за период 1968-2000 гг.

Данные, обобщенные в табл. 18, показывают, что за 32 года (1968-2000) среднегодовое значение температуры увеличилась на 1,0-1,5°C, уменьшая влажность на 3-6% и увеличивая испарение на 10-26%.

Таблица 18. Среднемесячные значения температуры, влажности, осадков и испарения в прибрежных районах до и после возведения Нурекской ГЭС

Метеорологическая станция	Индекс	Годы	
		1968-1972	1995-2000
Дангара	$T$ (°C)	15,3	16,4
	$H$ (%)	57,0	56,9
	$F$ (мм)	570,5	598,5
	$I$ (мм)	1196,7	1438,0
Файзабад	$T$ (°C)	13,2	15,4
	$H$ (%)	61,6	55,2
	$F$ (мм)	709,0	675,4
	$I$ (мм)	1013,0	1258,8
Яван	$T$ (°C)	17,2	16,9
	$H$ (%)	47,2	50,4
	$F$ (мм)	677,4	677,3
	$I$ (мм)	1630,8	1567,5

T- Температура; H- влажность; F- осадки; I- испарение

Однако в Яванском районе наблюдалась противоположная тенденция изменения климатических параметров: температура и испарение уменьшались на 0,5 и 7,2%, а влажность увеличилась на 7,2% соответственно.

При разработке режима орошения обычно используются климатические параметры местности за весь период наблюдения. Такой подход часто приводит к существенным ошибкам. На старых орошаемых и перспективных полях орошения из-за игнорирования процесса глобального режима орошения климата не учитываются растущие потребности в воде. Например, в Яванском районе использование старых норм орошения и не учёт фактора изменения климата привело к перерасходу водных ресурсов. Согласно спецификации оросительной нормы, со средним значением коэффициента увлажнения 0,35 Яван относится к категории засушливых районов. Данные, представленные в табл. 18, показывают, что за последние 20 лет испарение в долине уменьшилось почти на 300 мм (17%), а количество осадков увеличилось на 70 мм (11%) и коэффициент влажности до 0,45. Рекомендованные нормы орошения для выращивания тонковолокнистого хлопка и люцерны составляют 1100 м<sup>3</sup>/га и 3000 м<sup>3</sup>/га. Проведенные нами расчеты показывают, что непроизводительные потери воды только в двух районах, прибрежных к Нурекскому водохранилищу составляют более 60 млн.м<sup>3</sup>.

### **3.5. Седиментация в водохранилище Нурека**

Согласно результатам международных экспертных оценок в Таджикистане среднегодовой сток наносов на большей части территории страны варьируется в пределах от 20 до 500 т/км<sup>2</sup> в год. Одним из наиболее характерных бассейнов зоны формирования стока Центральной Азии (ЦА) является бассейн р. Вахш, часть твердого стока которой образуется за счет русловой эрозии, разрушающей берега и дно русел рек [59].

Измерения взвешенных наносов реки Вахш с начала 50-х годов прошлого столетия до настоящего времени производились в основном на трех гидрометеорологических станциях: Туткаул, Саригузар и Чорсада, которые, к сожалению, из-за технических и гидрометеорологических проблем их функционирования не является непрерывным. Особое внимание к проблеме количественного определения взвешенных наносов в горных водных

артериях прежде всего обусловлено тем, что взвешенные наносы являются ключевым фактором, определяющим эффективность водохранилищ и, соответственно, энергоотдачу гидротехнических сооружений, привязанных к ним. В свою очередь, как указано в [60] водохранилища как «звенья» процесса стока, являются образованиями азональными, несвойственными тем природным условиям, в которых они создаются. Последствия создания водохранилищ многообразны, а их взаимодействия с окружающей средой имеют различные пространственные масштабы.

Анализ результатов исследований показывает, что до строительства Нурекского водохранилища река Вахш (с содержанием до 10 кг наносов в одном кубическом метре) доставляет ежегодно более 100 т наносов, богатых различными минералами, в сельскохозяйственные земли. По данным Агентства по Гидрометеорологии Республики Таджикистан среднегодовое значение наносов реки Вахш на Гидрологическом посту Саригузар -17 км ниже Нурекской ГЭС с 1972 года (начало заполнения Нурекского водохранилища) уменьшилось с 1000 г/с до 82 г/с в 1980 году, т.е. Нурекское водохранилище почти полностью осаждает взвешенные отложения реки Вахш (табл. 19).

Таблица 19. Гранулометрический состав наносов реки Вахш

Годы	<i>D</i> (мм)					
	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,05
Комсомолабад						
1972-1976	1,43	7,05	8,6	15,3	37,0	18,0
1977-1987	1,53	7,11	8,7	14,9	37,2	17,9
Саригузар						
1972-1976	0,63	1,77	3,9	8,7	47,3	22,1
1977-1987	0,72	1,94	3,9	9,1	48,2	21,5



За период 1972-1989 гг. поток наносов реки Вахш измерялся в 1977, 1980-1982 годы на гидрологическом посту Комсомолабад и в 1978 и 1985 годы на гидропосту Кишрог. В 1977 и 1985 годах поток наносов, измеренных на станции Комсомолабад изменялся в зависимости от половодья и маловодья от 55,2 до 38,3 млн.т. и на станции Кишрог с 86 до 59 млн.т.

Приток наносов в Нурекское водохранилище в среднем в период маловодья реки Вахш можно оценить в 60-65 млн.т. Расчёт показал, что к шестому году постоянной эксплуатации полезный объем водохранилища уменьшился до 200 млн.м<sup>3</sup> и на 11-й год до 650 млн.м<sup>3</sup>.

В табл. 20 представлены начальные прогнозы нанососкопления Нурекского водохранилища. При его формировании было принято, что процесс седиментации условно начнется в 1978 году, а его интенсивность составит 40 млн. м<sup>3</sup> в год в первые пять лет, а в последующие годы - 90 млн. м<sup>3</sup> в год.

Таблица 20. Прогноз заиления Нурекского водохранилища

Годы	1978	1983	1988	1993	1998	2001
Объем, км <sup>3</sup>	10,5	10,3	9,85	9,4	8,95	8,68

Следует отметить, что различные аспекты проблемы заиления Нурекского водохранилища и измерения потока взвешенных наносов реки Вахш подробно освещены в [61-63].

В работе были использованы данные Агентство по гидрометеорологии Республики Таджикистан, которые охватывают периоды измерения с 1952 по 1966 гг. на станции Туткаул, 1964-1973 гг. на станции Чорсада, 1969-1974 гг. на станции Саригузар бассейна реки Вахш (рис.14).

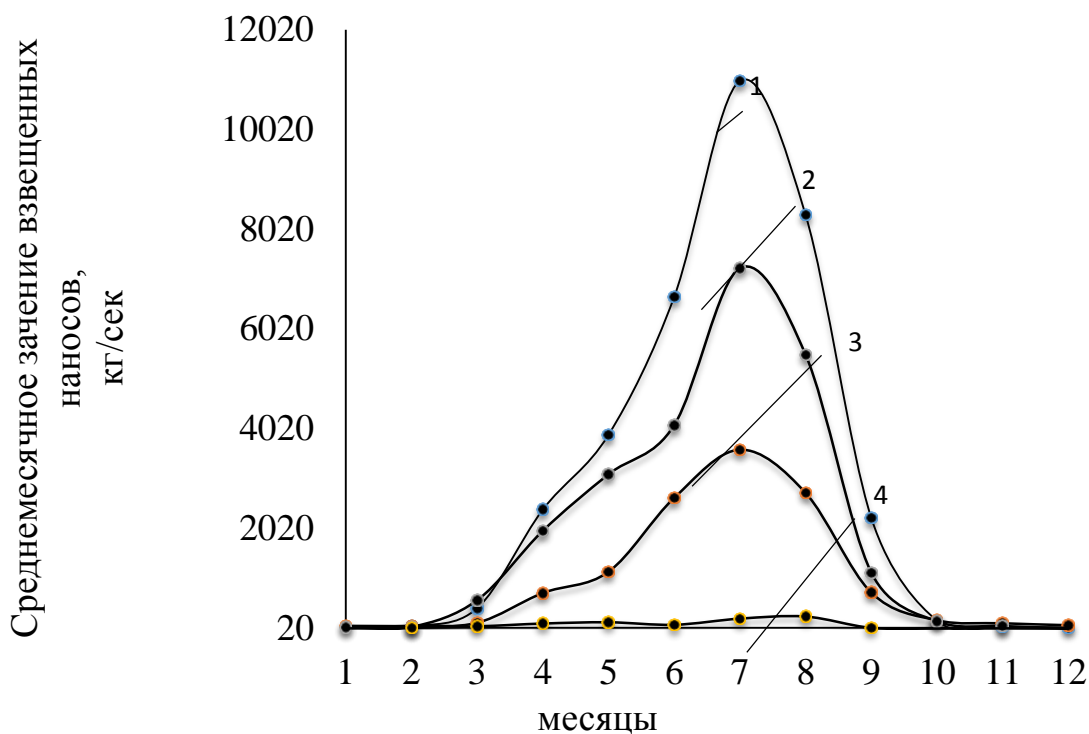


Рис.14. Среднемесячное значение взвешенных наносов реки Вахш отбора проб воды: Туткаул(1), Чорсада (2), Саригузар(3), Саригузар (4) после 1975 г.

Продолжительность наблюдений стока взвешенных наносов р. Вахш прерывиста, незначительна, что не позволяет качественно и в полном объёме дать оценку его изменения по длине реки. Об изменении режима наносов в связи со строительством Нурекского водохранилища можно судить по отдельным имеющимся наблюдениям на р. Вахш. Гидрологический пост Саригузар, расположенный при выходе реки на равнину и ниже плотины Нурекской ГЭС, фиксирует сток с оставшейся зоны формирования.

Из рис.14 видно, что среднемесячные значения взвешенных наносов реки Вахш периода 1952-1966 годов являются высокими при максимальном паводке реки в августе и составляют более  $10^4$  кг/с. Далее эти значения постепенно уменьшаются от Туткаула до Саригузар. Кривая 4 на рис.14, которая соответствует значениям взвешенных наносов после 1975 года на станции Саригузар, отражает именно процесс накопления наносов водохранилищем.

Ранее [10] было отмечено, что количество наносов, поступающих с водным стоком приобретает ощутимое значение при расходе воды более

500м<sup>3</sup>/с. На рис. 15 представлено среднегодовое значение количества взвешенных наносов в реке Вахш за период 1964-1974 гг. Кривая на рис. 15 показывает, что максимальное значение наносов реки Вахш приходится на 1969 г. с уменьшением в последующие годы.

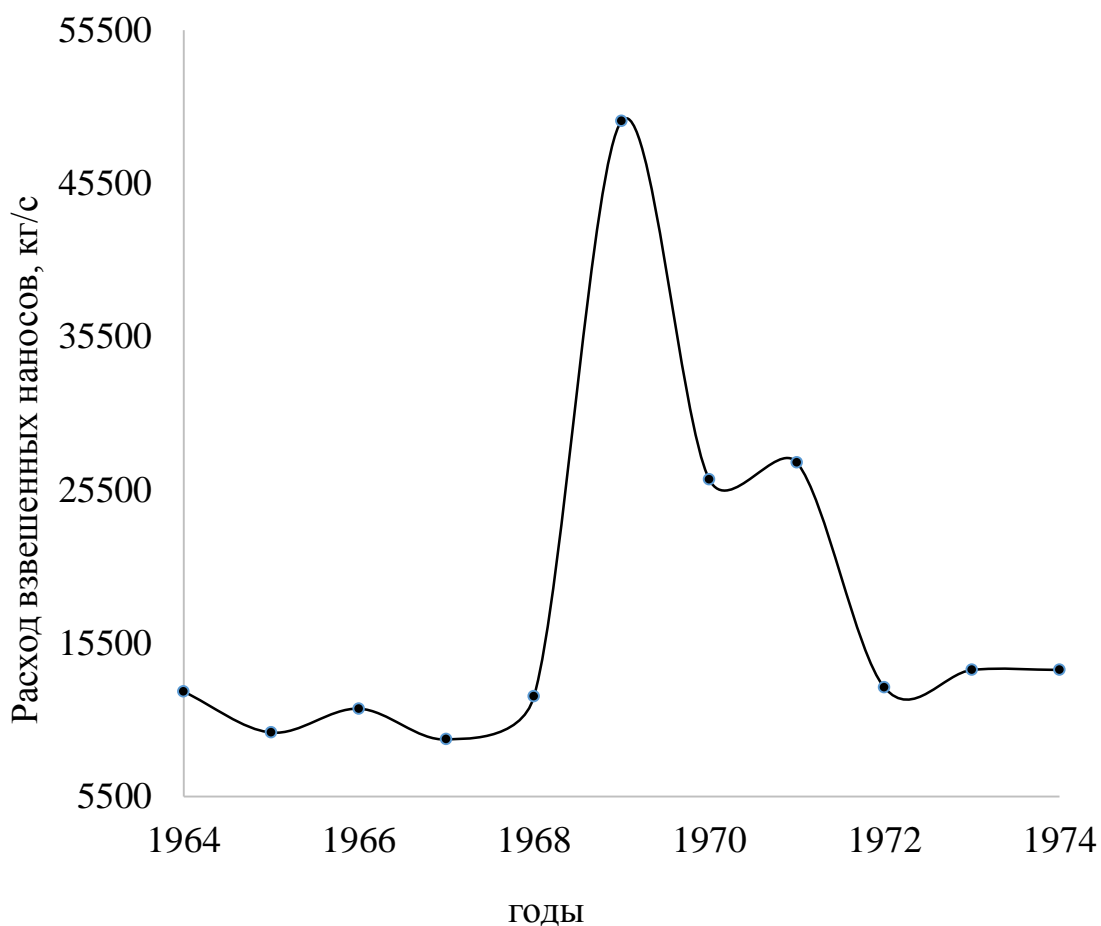


Рис. 15. Значение взвешенных наносов реки Вахш

Для более наглядного представления на рис. 16 приведена динамика уменьшения стока наносов до 1980 г. Данные, представленные на рис.16 и 17, соответствуют измерениям, проведённым на станциях Чорсада, Саригузар и Туткаул.

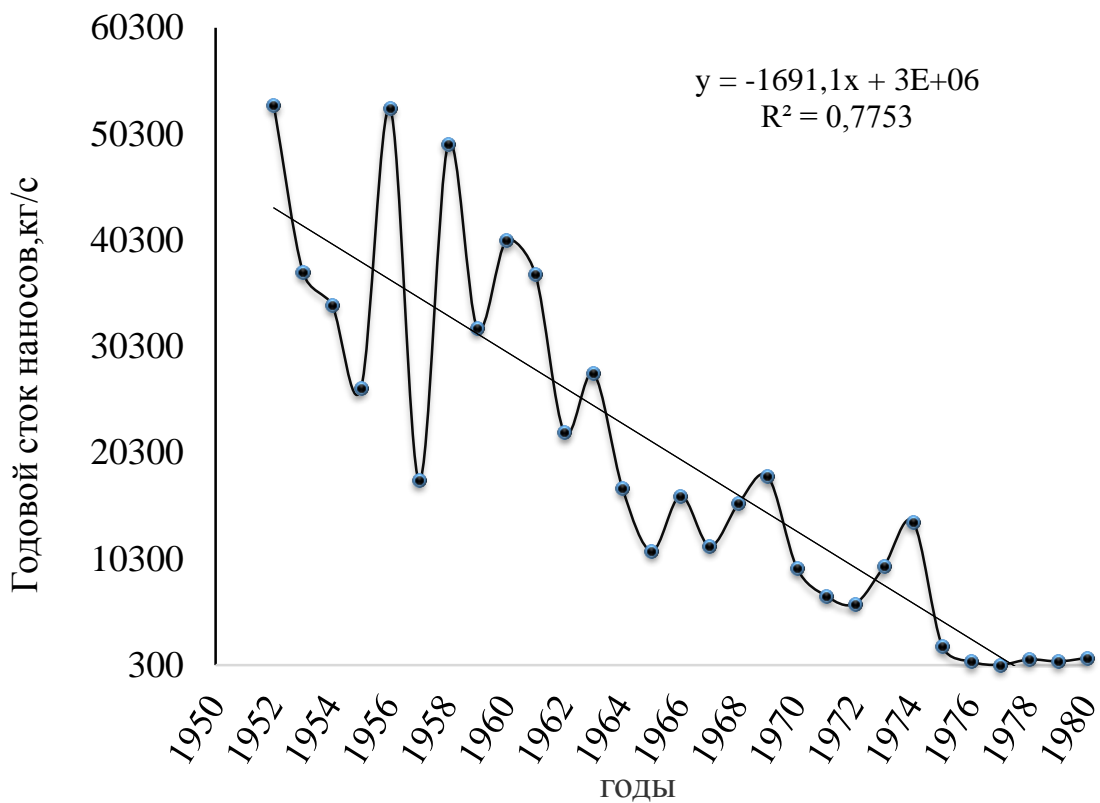


Рис. 16. Динамика количества наносов реки Вахш в 1950-1980 гг.

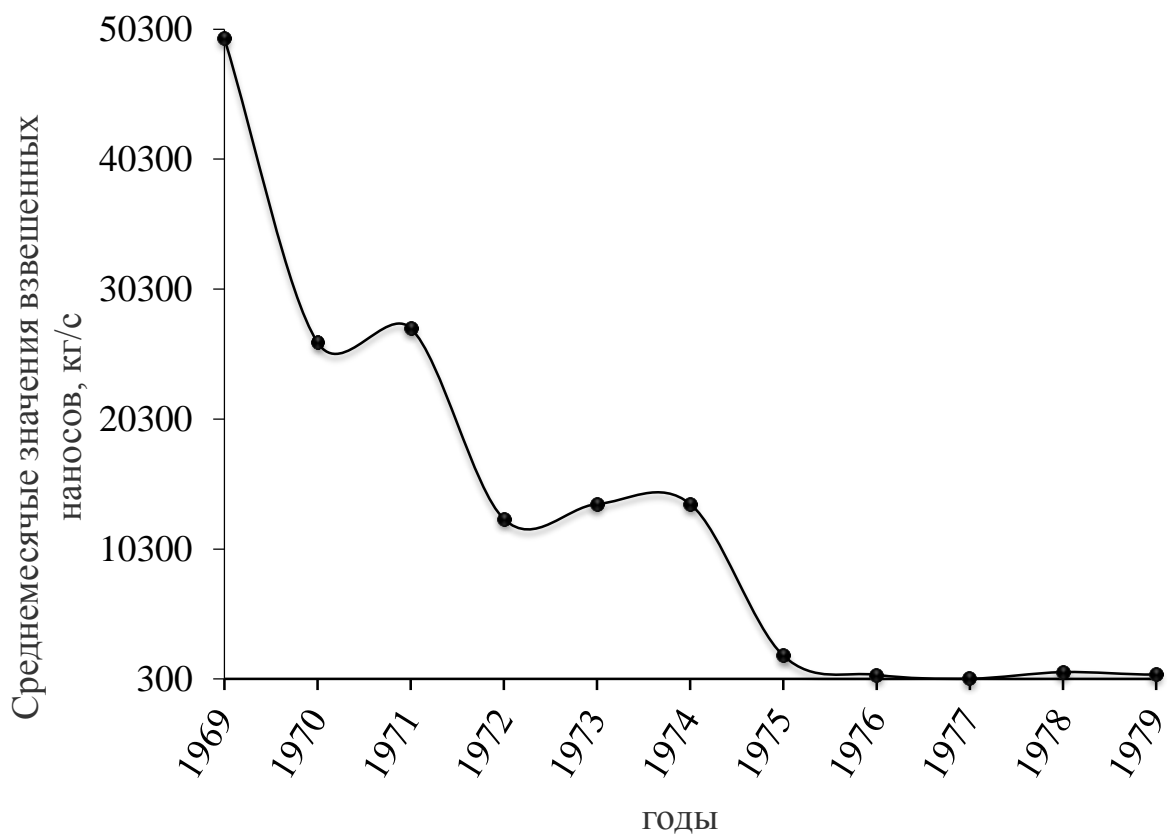


Рис.17. Среднемесячное значение взвешенных наносов реки Вахш отбора проб воды в кишлаке Саригуззар

В свою очередь, на рис. 18 показан расход воды в реке Вахш по результатам, измеренным на гидропосту Комсомолабад.

Сравнение кривых, представленных на рис.17 и рис.18, показывает, что увеличение объёма стока реки становится причиной вымывания берегов и формирования достаточного количества стока наносов.

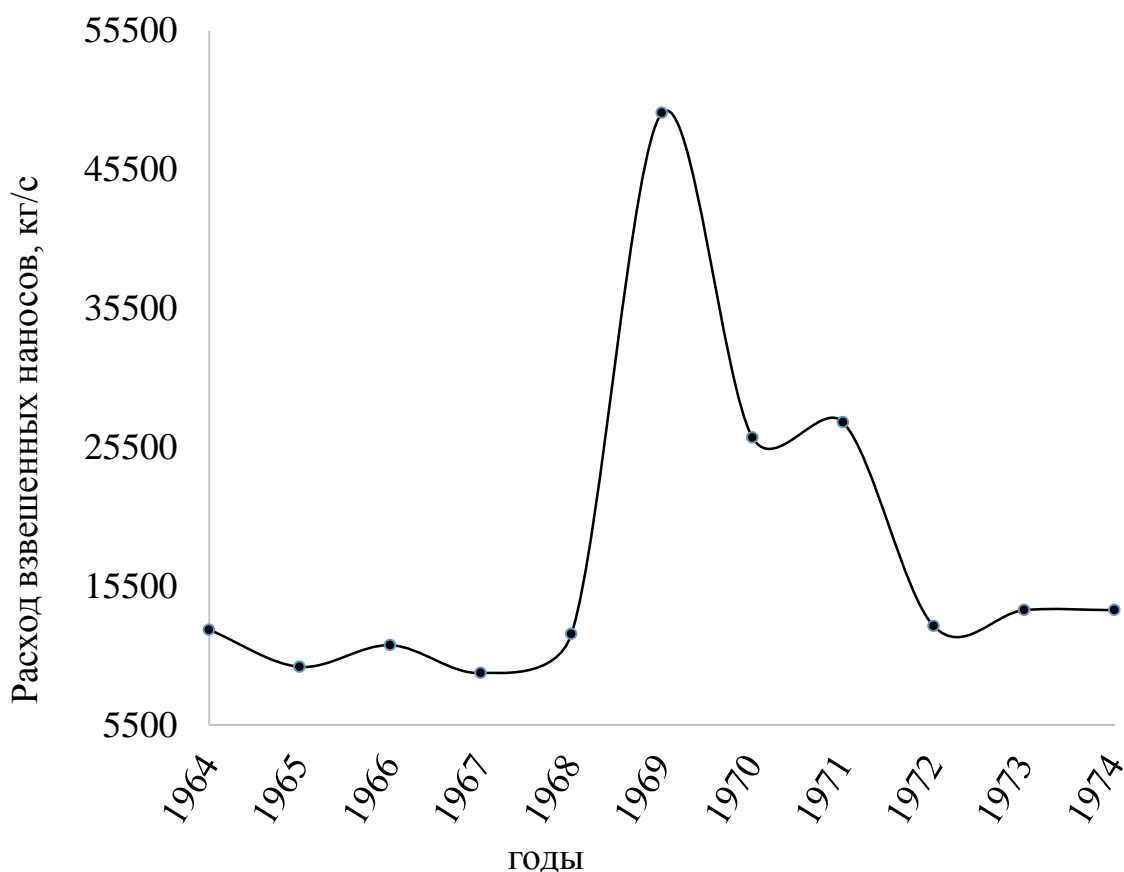


Рис. 18. Изменение объёма стока реки Вахш в 1964-1974 гг.

На рис.19 представлены результаты измерения количества взвешенных наносов реки Вахш на станции Саригузар за период 1975-1980 годы. На кривой среднемесячных значений взвешенных наносов чётко проявляются два максимума, соответствующие маю и августу. На первый взгляд можно предположить, что они соответствуют обильным осадкам в бассейне реки в мае и таянию сезонных снегов и ледников бассейна реки Вахш в августе.

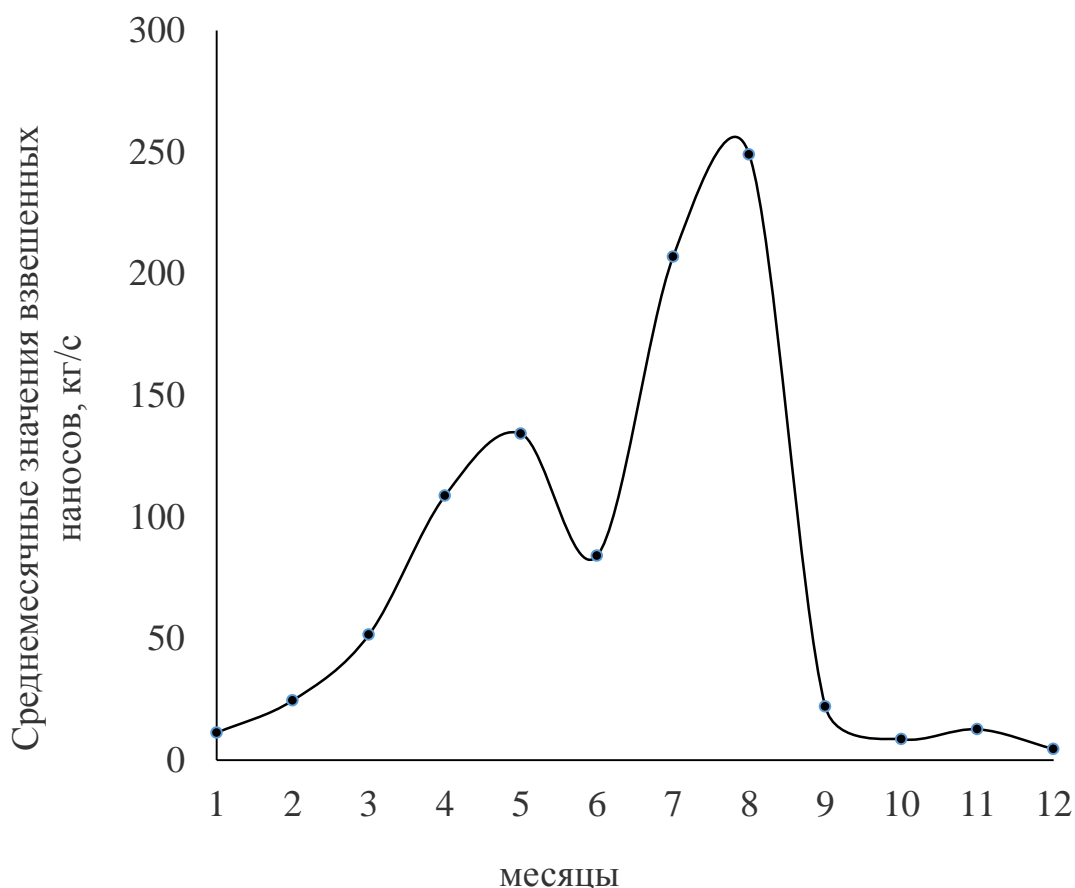


Рис.19. Среднемесячное значение взвешенных наносов реки Вахш за период 1975-1980 гг.

## ГЛАВА IV. ГИДРОХИМИЯ И ИЗОТОПЫЙ СОСТАВ РЕКИ ВАХШ И ЕЕ ПРИТОКОВ

### 4.1. Состояние вопроса

Река Вахш является основной рекой Республики Таджикистан, которая сливаясь с рекой Пяндж, формирует трансграничную реку Амударья - самую крупную реку в Центральной Азии. Бассейн Реки Вахш (БРВ) является одним из больших на территории бассейнов (39100 км<sup>2</sup>), находящихся в наиболее высокой части Средней Азии. Протяженность реки Вахш - 524 км со среднемноголетним стоком 23,7 км<sup>3</sup>/год. Потенциальные энергетические ресурсы реки Вахш составляют 28,6 млн.кВт·ч (250 млн. кВт·ч/год электроэнергии).

Освоение гидроэнергетического потенциала реки Вахш связано со строительством наряду с ныне действующими крупных и средних гидроэлектростанций (ГЭС) с водохранилищами [82-84]. На территории БРВ формируется 1213 млн.м<sup>3</sup>/год сточных и коллекторно-дренажных вод, из них на орошение используется 4 млн.м<sup>3</sup>/год и сбрасывается в природные поверхностные водные объекты 1209,1 млн.м<sup>3</sup>/год. Следовательно, проблема качества воды в бассейне реки является актуальной. Данная проблема приобрела в последнее время глобальный характер. Каждый год озера, реки и дельты рек принимают в эквиваленте массы всего населения - почти 7 миллиардов человек - загрязнения. Каждый год больше людей умирает от воздействия небезопасной воды, чем от всех форм насилия, включая войны и наибольшее воздействие на детей в возрасте до пяти лет.

Водные отношения между республиками Средней Азии в советское время регулировались «Схемой комплексного использования и охраны водных ресурсов в бассейнах Амударьи и Сырдарьи». Основной целью разработки бассейновых «схем» было определение реальных объемов и доступных для использования водных ресурсов в бассейнах Амударьи и Сырдарьи, а также обеспечение их справедливого распределения среди региональных республик, что отвечало интересам всех водопользователей.

Следует отметить, что в разработанной схеме не было рассмотрено и включено множество важных аспектов. В основном это касается санитарно-экологических требований к качеству воды водных артерий. Использование чрезмерно большого объема воды бассейна для ирригации, предначертанное схемой, привело к истощению водных ресурсов и возникновению новых проблем.

Такие как ухудшение экологического состояния, иногда приводящее к экологической катастрофе в низовьях рек бассейна Арала, значительное загрязнение речной воды пестицидами, гербицидами, другими вредными веществами и увеличением минерализации воды.

Целью данного раздела работы является исследование химического и изотопного состава реки Вахш и ее основных притоков, определение стационарных источников загрязнения бассейна реки Вахш.

#### 4.2. Объект исследования

Отборы проб воды из реки Вахш и ее притоков осуществлялись согласно схеме (рис.20), разработанной в [80]. Комплексный химический анализ вод осуществлялся методами, описанными в [78]. Индивидуальность каждой реки с точки зрения химического состава воды составлена путем отбора проб притоков до слияния с главной рекой и с другими притоками.

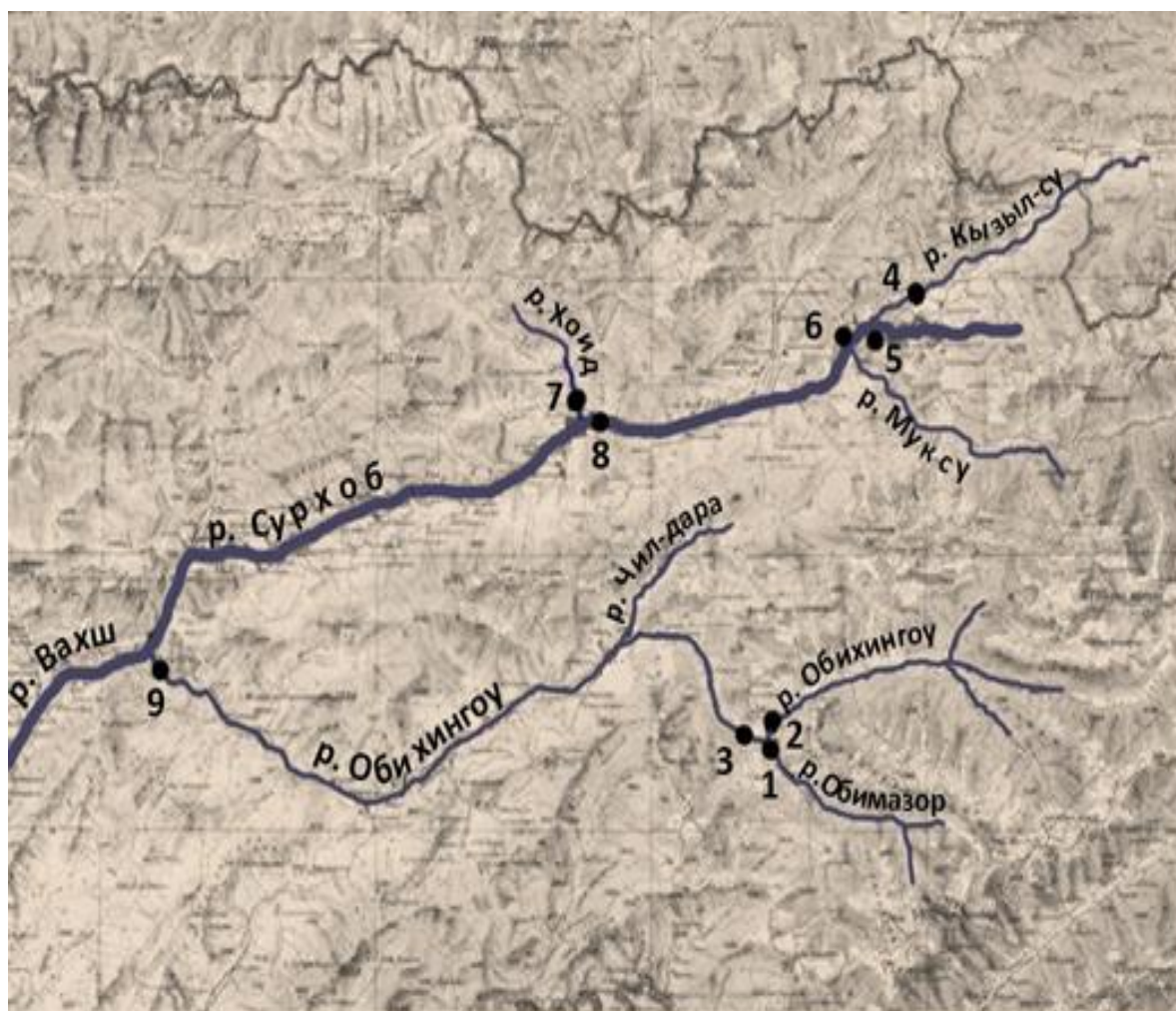


Рис. 20. Схема отбора проб воды из реки Вахш и ее притоков



Ледники, как основной источник формирования стока воды и климатообразующий фактор, рассматриваются в качестве благоприятной природной среды для аккумуляции атмосферных аэрозолей, химических соединений и металлических примесей. Ранее [77] аналогичное явление наблюдалось при анализе содержания тяжелых металлов и их распределение в снежном покрове на ледниках южного склона Эльбруса за счет их переноса воздушным потоком на большие расстояния в виде микрочастиц. Вполне вероятно, что накопленные в снежном покрове и ледников различные загрязняющие вещества в процессе таяния снега и ледников попадают в реки и распространяются на большие расстояния.

Выбор снежного покрова как естественного индикатора загрязнения воздуха обоснован тем, что снег эффективно поглощает примеси из атмосферы и депонирует выбросы сухой пыли из антропогенных источников [79].

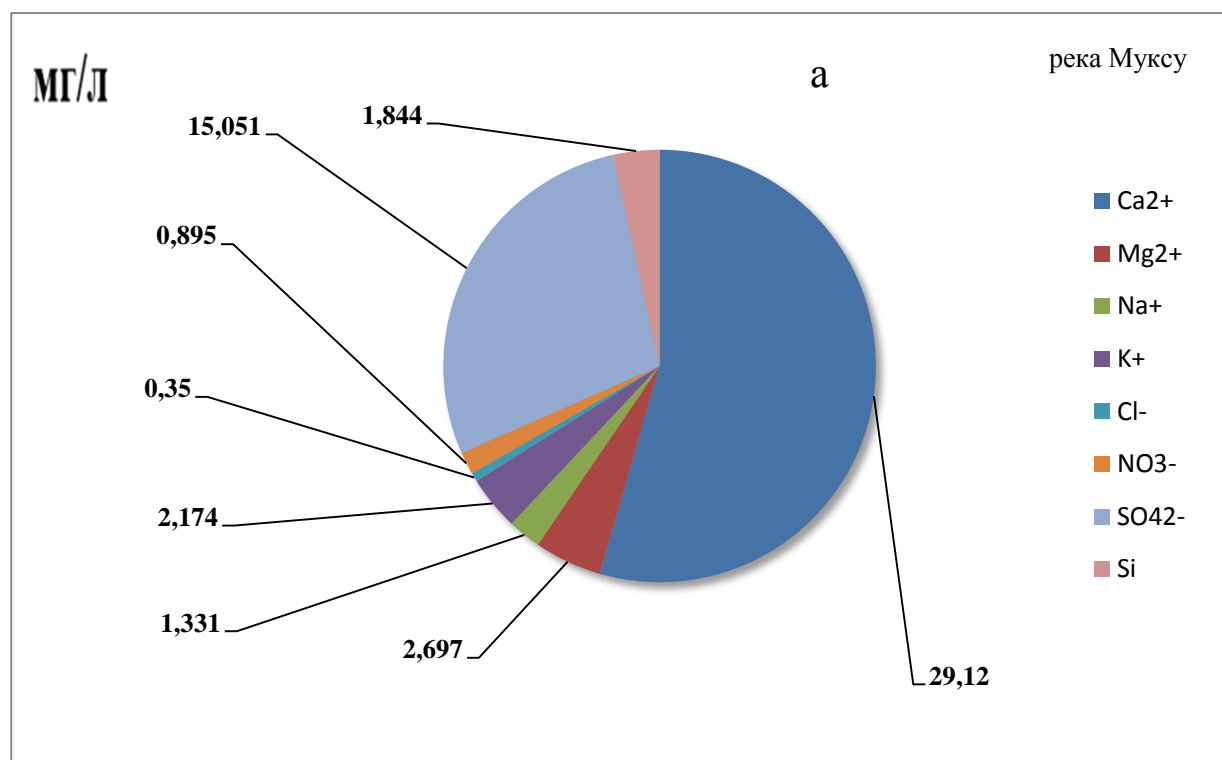
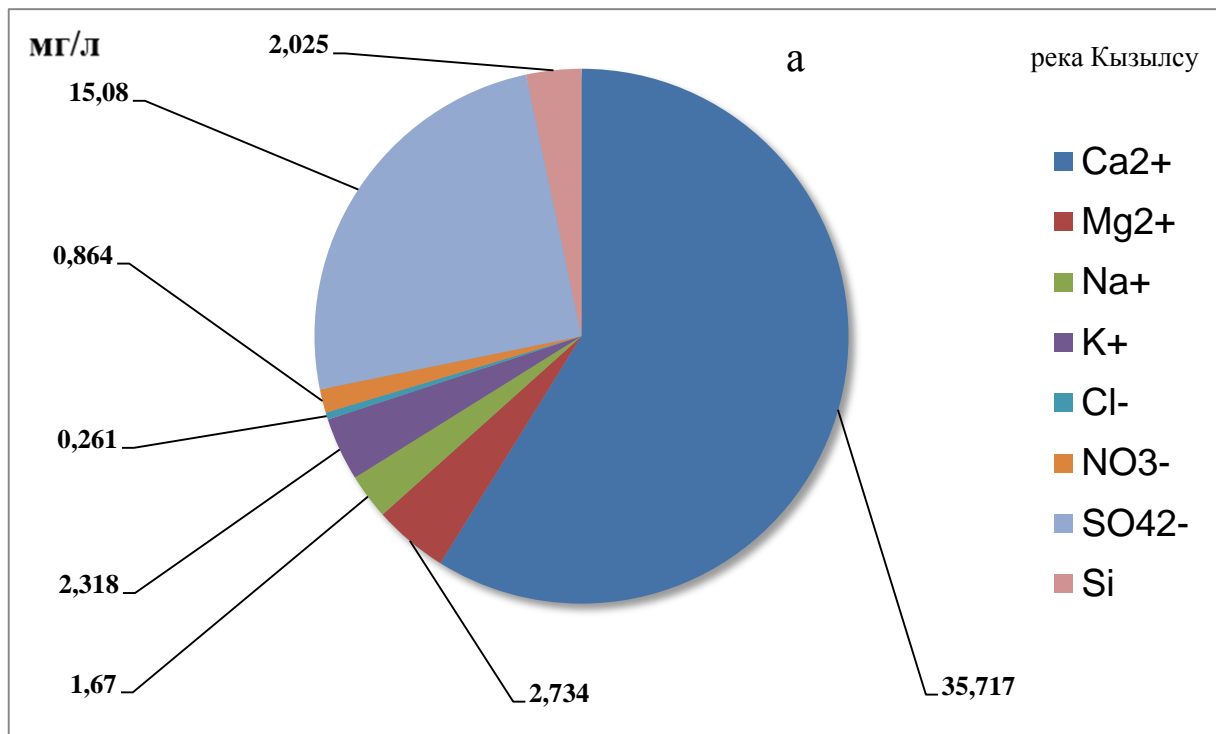
Кроме того, концентрация загрязняющих веществ в составе снега на 2-3 порядка выше, чем в атмосфере. Это позволяет измерять содержание веществ достаточно простыми методами и с высокой степенью надёжности [76].

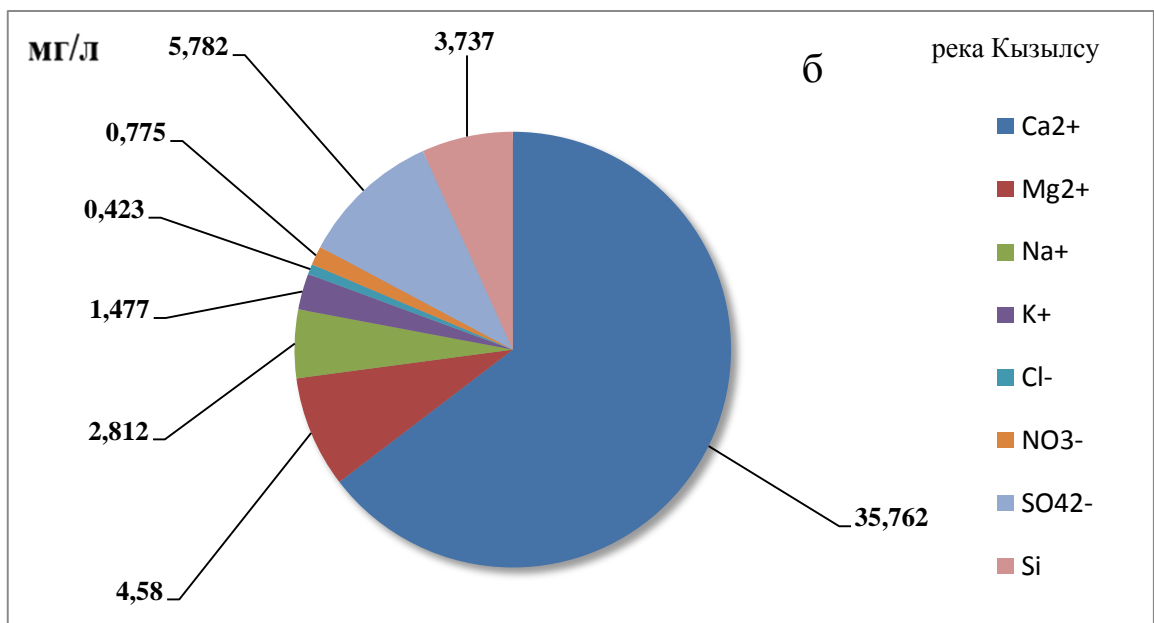
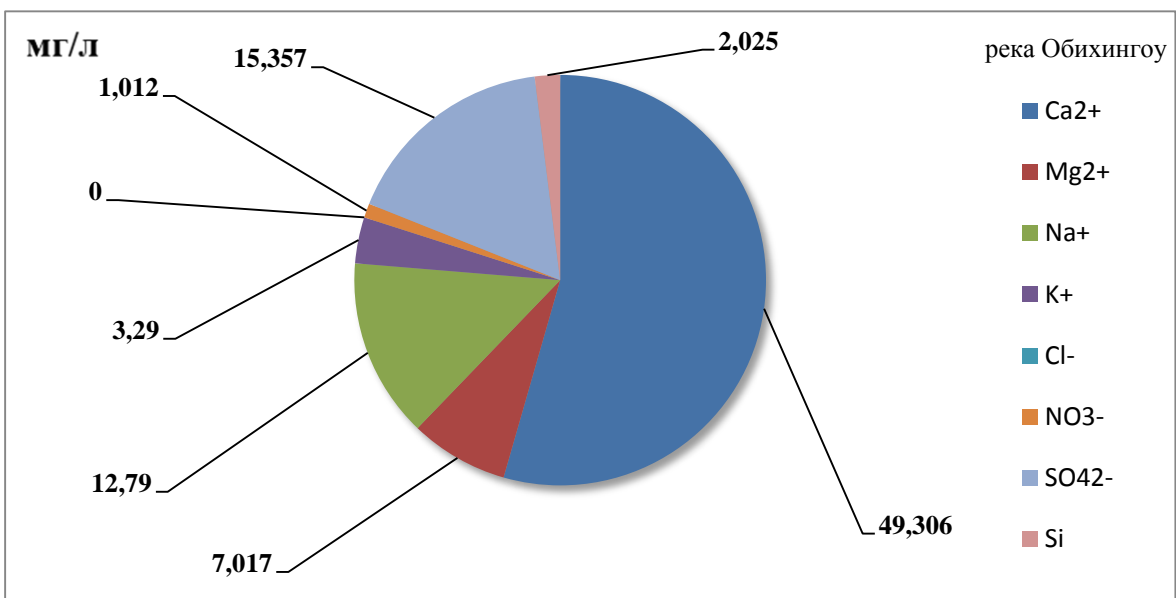
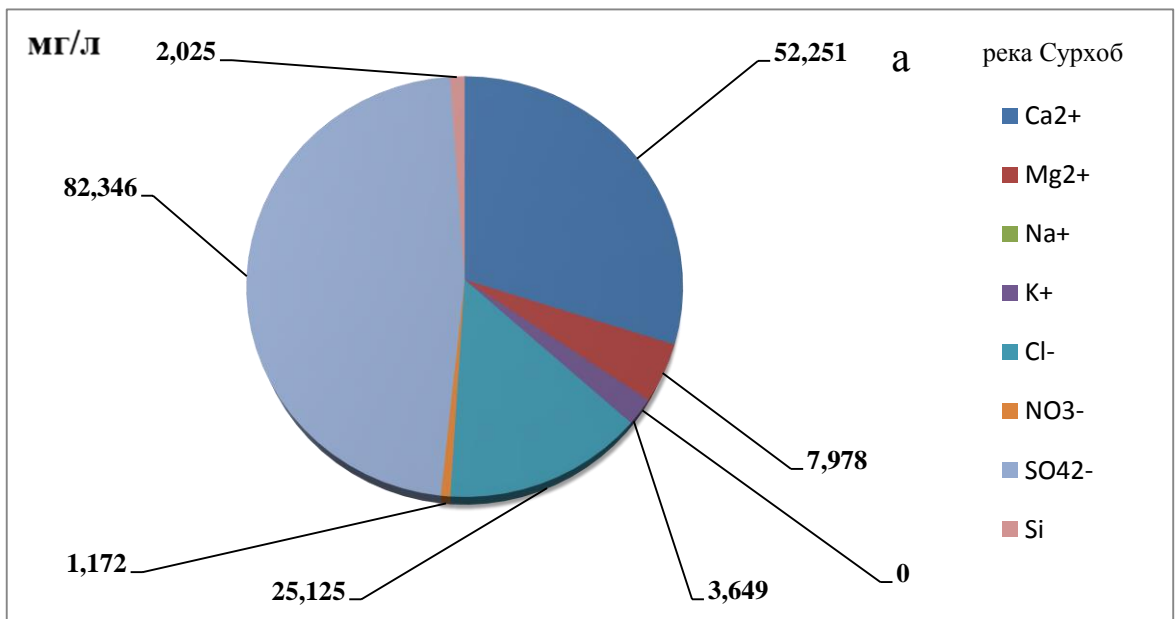
#### **4.3. Гидрохимия и изотопный состав реки Вахш и притоков**

Мониторинг качества воды трансграничных рек, выявление источников антропогенной нагрузки и принятие адекватных мер для их устранения путем разработки современных методов является действенным инструментом для регулирования взаимосвязи между компонентами геоэкологической системы. Это важный элемент геоэкологического анализа проблем Центральной Азии как ключевой элемент в развитии основ рационального использования и охраны водных экосистем.

На рис. 21 (а,б) представлены результаты химического анализа проб воды реки Вахш, её притоков и подземных вод бассейнов притоков реки.

На рис. 22 приведены результаты химического анализа реки Вахш.





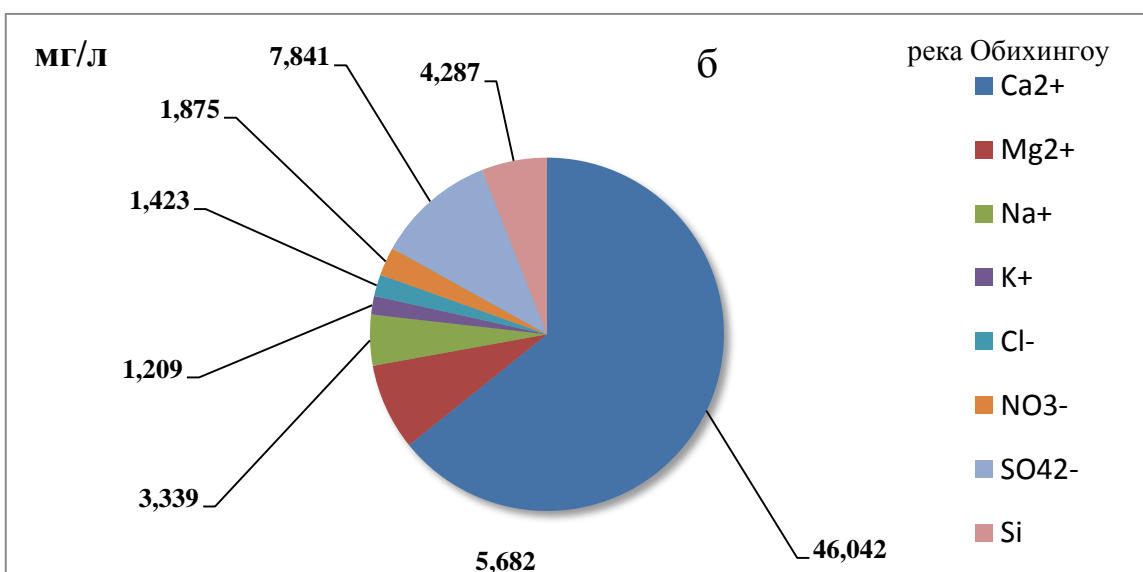
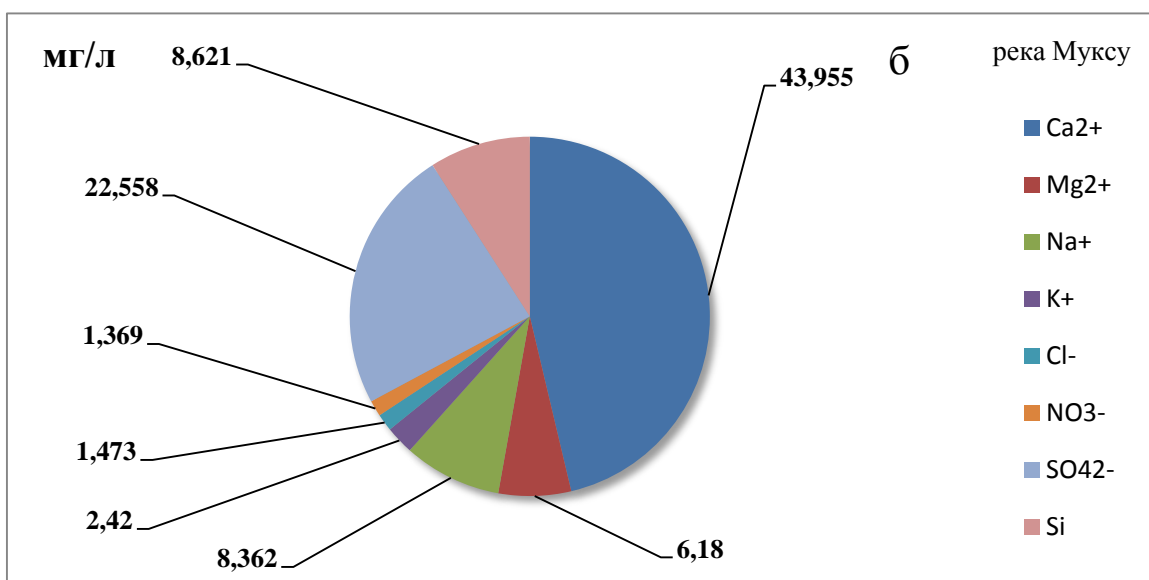
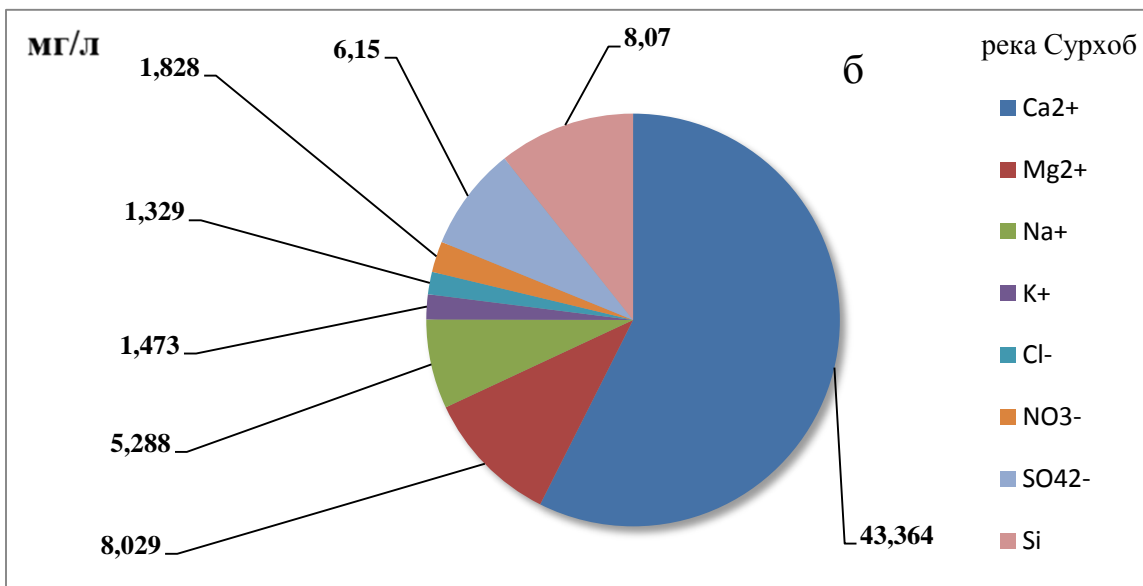


Рис. 21. Результаты химического анализа притоков реки Вахш и подземных вод бассейнов притоков

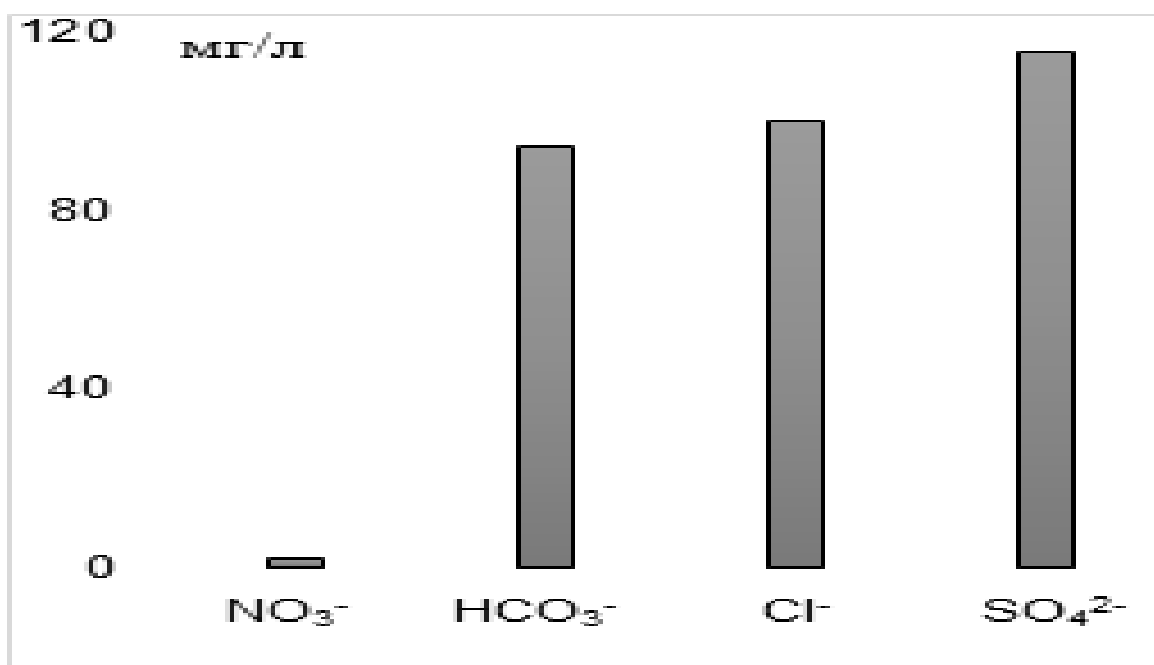
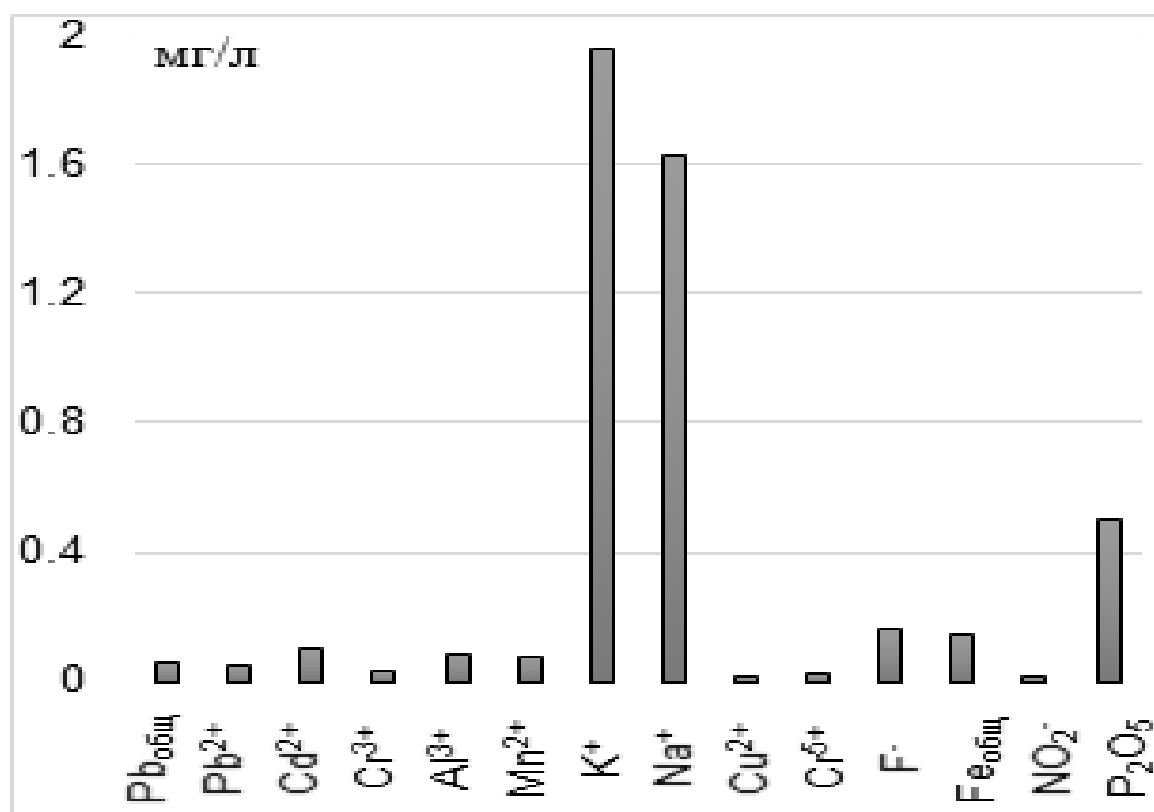


Рис. 22. Результаты химического анализа реки Вахш

Содержание химических веществ в реке Вахш и притоках, приведённых на рис. 21 и рис. 22 указывает, что они не превышают

установленных для них предельно допустимых концентраций. Это свидетельствует о том, что образование химического состава вод рек обусловлено, главным образом, выщелачиванием минеральных горных пород, и на верховье река Вахш не испытывает антропогенной нагрузки.

#### 4.4. Исследование изотопного состава ( $\delta^2\text{H}$ $\delta^{18}\text{O}$ ) реки Вахш и ее притоков

Изотопный состав кислорода, водорода и избыточное значение дейтерия является информативным показателем гидрологических и гляциологических исследований по установлению закономерностей процессов льдообразования, накопления снега и их взаимных превращений.

Изотопный состав водорода и кислорода, выражается в относительных единицах  $\delta^2\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ :

$$\delta = [(R_{\text{образец}} / R_{\text{стандарт}}) - 1] \cdot 1000\text{‰}$$

где,  $R_{\text{образец}}$  и  $R_{\text{стандарт}}$  отношений  $^2\text{H}/^1\text{H}$  и  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  в измеряемом образце и стандарте соответственно.

В качестве стандартной используется океанская вода (SMOW, Вена, МАГАТЭ). Точность измерения составляла  $\pm 0,05\text{‰}$ .

Результаты изотопного анализа реки Вахш и ее притоков представлены на рис. 23.

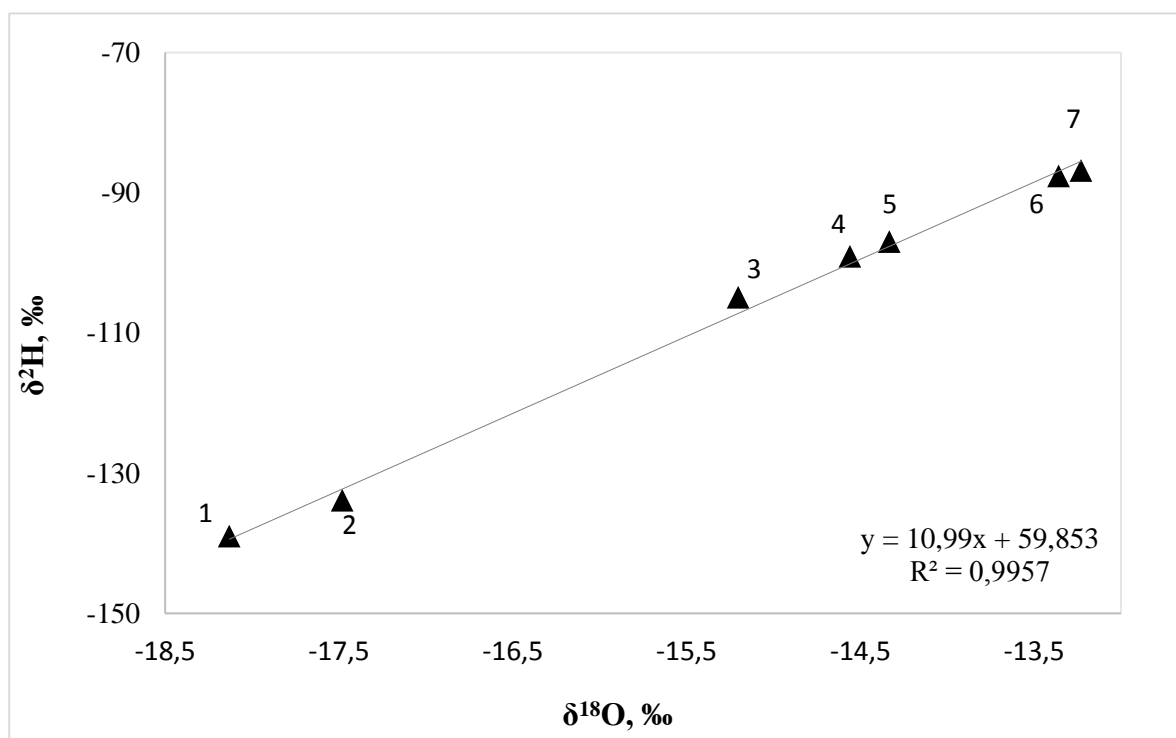


Рис.23. Изотопный состав воды реки Вахш, ее притоков и ледника Гармо: 1,2- ледник Гармо; 3 – река Сурхоб; 4 – река Вахш; 5 –река Обихингоу; 6 – река Кызылсу; 7 – река Муксу

Для интерпретации изотопного анализа вод реки Вахш и её притоков проанализировано состояние оледенения в речных бассейнах. В бассейне реки Сурхоб интенсивно тают небольшие ледники северных склонов в западной части хребта Петра Великого. На южных склонах Алайского хребта оледенение уменьшается медленнее, так как есть более крупные ледники. В бассейне реки Обихингоу наибольший ледник Гармо интенсивно тает.

В течение XX века он сократился почти на 7 км, потеряв более 6 км<sup>2</sup> площади. В настоящее время он отступает со средней скоростью 9 м в год и поверхность оседает из-за таяния до 4 м в год. Другой ледник в том же бассейне, Скогач, отступает ежегодно на 11 м.

В связи с этим можно утверждать, что реки Сурхоб и Обихингоу питаются ледниками, и можно предположить, что осадки в основном происходят зимой и изотопный состав значительно легче.

Погодные и климатические условия Вахшской долины теплее, чем в долинах ее притоков Сурхоб и Обихингоу, и, следовательно, из-за процесса испарения будет иметь тяжелый изотопный состав. Однако вклад притоков приводит к тому, что изотопный состав воды реки Вахш становится легче.

Изотопный состав реки Кызылсу характеризуется значениями  $\delta^{18}\text{O} = -13,36\text{‰}$ ,  $\delta^2\text{H} = -87,88\text{‰}$ , что близко к значениям изотопного состава экваторий со средней годовой температурой выше 0°C (рис. 24).

Ранее [85] было установлено, что изотопный состав реки Нарын в зависимости от сезона изменяется в следующем диапазоне: весной  $\delta^{18}\text{O} = -13,4\text{‰}$ ;  $\delta^2\text{H} = -96\text{‰}$  и осенью  $\delta^{18}\text{O} = -12,4\text{‰}$ ;  $\delta^2\text{H} = -89\text{‰}$ . На основе полученных данных авторами предполагалось, что отсутствует значительный вклад ледниковой воды в реку Нарын.

Учитывая это предположение, можно сделать вывод, что для формирования потока воды в реке Кызылсу вклад ледникового стока меньше и в основном происходит из-за сезонных дождей.

При анализе химического состава речной воды и грунтовых вод в речных бассейнах Таджикистана было обнаружено существование процессов

обогащения резервуаров подземных вод химическими элементами речной воды [81]. Был обнаружен механизм динамического взаимодействия поверхностных и подземных вод в бассейне реки Муксу, но в противоположном направлении, т.е. превращения резервуаров подземных вод в источник питания реки.

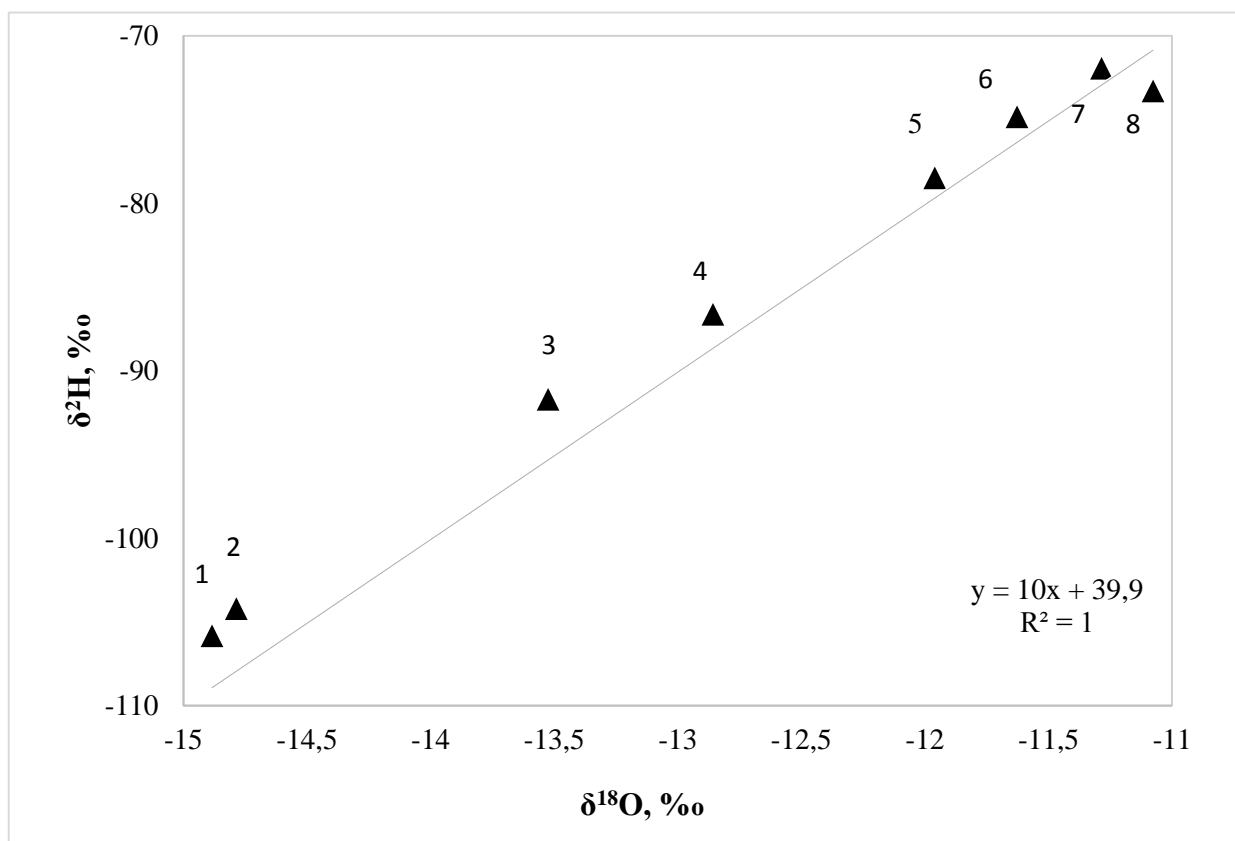


Рис. 24. Результаты изотопных анализов родниковых (1,3,4,5) и подземных вод (2, 6, 7, 8) бассейнов рек Муксу, Кызылсу, Сурхоб и Обихингоу соответственно

Результаты изотопного анализа родниковых и грунтовых вод бассейнов рек Муксу, Кызылсу, Сурхоб и Обихингоу показаны на рис. 24. Из рисунка 24 видно, что грунтовые воды и родниковые воды бассейна реки Муксу по значениям изотопного состава значительно легче среднего состава речной воды и близки к значениям ледниковой воды. Можно предположить, что во время весеннего снеготаяния процессами инфильтрации, подземные резервуары накапливают талую воду и в сухие периоды превращаются в



источник речного стока, т.е. питают реку. Конечно, это отразится на изотопный состав речной воды.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что химический состав реки Вахш и ее притоков на верховье формируется в результате выщелачивания прибрежных горных пород и содержание химических элементов не превышает установленных ПДК. По результатам изотопных анализов установлено, что реки Сурхоб и Обихингоу- притоки реки Вахш - характеризуются ледниковым питанием. Процесс превращения резервуаров подземных вод в источник питания рек в сухие периоды обнаружены в бассейне реки Муксу.

#### **4.5. Изменение химического состава подземных вод в период ирригации сельскохозяйственных земель**

В Центрально-азиатском регионе и в бассейнах двух великих трансграничных рек бассейна Аральского моря, Сырдарьи и Амударьи, к использованию рекомендовано и одобрено до 339 месторождений подземных вод. Общие региональные объемы подземных вод оценивается в 43,49 км<sup>3</sup>/год (табл. 21): в бассейнах рек Амударья и Сырдарья 25,09 и 18,40 км<sup>3</sup>/год соответственно [52].

Таблица 21. Ресурсы подземных вод бассейна Аральского моря (км<sup>3</sup>/год)

Страна	Запас	Утвержд. к откачке	Актуальная откачка	Использование		
				Питьевое	Промышленность	Сельское хозяйство
Казахстан	1,846	1,270	0,293	0,200	0,081	0,000
Кыргызстан	1,595	0,632	0,244	0,043	0,056	0,145
Таджикистан	18,700	6,020	2,294	0,485	0,200	0,428
Туркменистан	3,360	1,220	0,457	0,210	0,036	0,150
Узбекистан	18,455	7,796	7,749	3,369	0,715	2,156

Источник: проект СПЕКА, НИЦ МКВК, 2000

## **Влияние орошения сельскохозяйственных земель на минерализацию подземных вод**

Вода является одним из динамических компонентов экосистем и способна переносить вредные вещества и инфекционные заболевания на большие территории в водосборных бассейнах. Это в основном относится к поверхностным водам, но также свойственно и для подземных вод.

Поверхностные и грунтовые воды находятся в постоянном динамическом взаимодействии и, следовательно, можно утверждать, что поверхностные воды загрязняют грунтовые воды и наоборот. Нами было обнаружено значительное сезонное изменение концентрации нитратов в подземных водах: в период с незначительным количеством атмосферных осадков концентрация нитратов в составе подземных вод не превышала установленной ПДК, а в сезон дождей достигала до 18 мг/дм<sup>3</sup>. Республика Таджикистан является аграрной страной, и хлопок является основным сельскохозяйственным производством. Для хорошего сбора урожая многие фермеры применяют значительное количество минеральных удобрений и пестицидов, тем самым превышая установленные стандарты. При этом следует отметить, что подземные резервуары являются источниками питьевой воды большинства сельского населения. В Республике Таджикистан более 90% сельскохозяйственных культур (730000 га) производится на орошаемых землях на площади более 750 тыс. га. Для поддержания уровня грунтовых вод на глубине 3,0-3,5 м более 325000 га обеспечены коллекторно-дренажной сетью. Другие орошаемые земли расположены в предгорных районах, которые дренируются естественным путем и имеют глубокие грунтовые воды. В 2002 году орошаемые земли в Курган-Тюбинской зоне Республики Таджикистан распространились на 238 005 га. Начало производства хлопка, риса и люцерны на этих землях с орошением более 20 000 м<sup>3</sup>/га резко изменило глубину залегания и уровня грунтовых вод. При использовании современной технологии орошения (например, на бороздах) потеря воды составляет более 40%. Эти потери воды

вливают на уровень грунтовых вод и приводят к засолению профиля почвы. В табл. 22 представлены потери инфильтрационной воды за период 1995-2002 гг. на орошаемых землях Курган-Тюбинской зоны.

Таблица 22. Потери воды в процессе инфильтрации

	Единица	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Количество воды для ирригации	$10^6 \text{ м}^3$	5215	5612	5795	5356	5484	4999	5008	4413
Общее количество инфильтрации	$10^6 \text{ м}^3$	1870	2258	2260	2098	2098	2084	1907	1860

Основными источниками воды для орошения земель Курган-Тюбинской зоны являются реки Пяндж, Вахш и Каферниган, минерализация которых колеблется от 0,23 до 0,5-1,0 г/л. Химический состав вод рек Пяндж и Каферниган в основном представляет собой гидрокарбонатно-кальциевый тип, а воды реки Вахш - типа кальция-натрия и сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридный. Минерализация грунтовых вод в зоне Курган-Тюбе составляет от 0,5 до 3,0 г/л и более (общее количество растворенных твердых веществ).

Увеличение площади орошаемых земель с высокой минерализацией подземных вод с течением времени показано в табл. 23.

Таблица 23. Распределение орошаемых земель ( $\times 10^3$  га) по степени минерализации подземных вод

Минерализация г/л	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
< 1,0	75,2	66,6	68,83	71,30	73,89	72,07	72,03	72,6
1,0 – 1.3	146,8	157,3	157,36	152,45	149,64	150,1	151,4	151,7

В табл. 24 и табл. 25 представлены результаты, показывающие распределения площадей орошаемых земель в зависимости от уровня подземных вод и степени их минерализации.

Таблица 24. Площадь орошаемых земель в зависимости от глубины и уровня подземных вод

Уровень подземных вод, м	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
< 1,0	5450	6970	6952	7214	7836	7433	9280	8120
1,0-1,5	12180	12600	13735	14070	16005	15433	14660	15230
1,5-2,0	22750	22120	23617	23744	24056	25709	24890	25120
2,0-3,0	53260	55930	55856	52784	49712	56696	47590	47480
> 3,0	142060	141130	141216	141215	143521	132664	142482	142572
Общая	235700	238750	241016	238027	238027	237935	238902	238522

Таблица 25. Площадь орошаемых земель в зависимости от степени минерализации подземных вод

Минерализация, г/л	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
	га							
< 1,0	75200	66600	68832	71304	73893	72023	72030	72570
1,0 -3,0	146806	157300	157361	152450	149638	150100	151440	151790
> 3,0	13694	14850	14823	14273	14496	15812	15432	14232
Общая	235700	238750	241016	238027	238027	237935	238902	238522

Изменение концентрации хлоридов в двух источниках подземных вод Таджикистана за 2000 и 2002 гг. приведено на рис.25. Из рис.25 видно, что летом (при незначительном количестве атмосферных осадков) в двух

резервуаров подземных вод 1 и 2 концентрации хлоридов имеют различные значения. Осенью 2002 года, которая характеризовалась значительным количеством атмосферных осадков, концентрации хлоридов в этих двух источниках подземных вод стали приравняться. Такое поведение было обнаружено для нитратов, сульфатов и других химических компонентов.

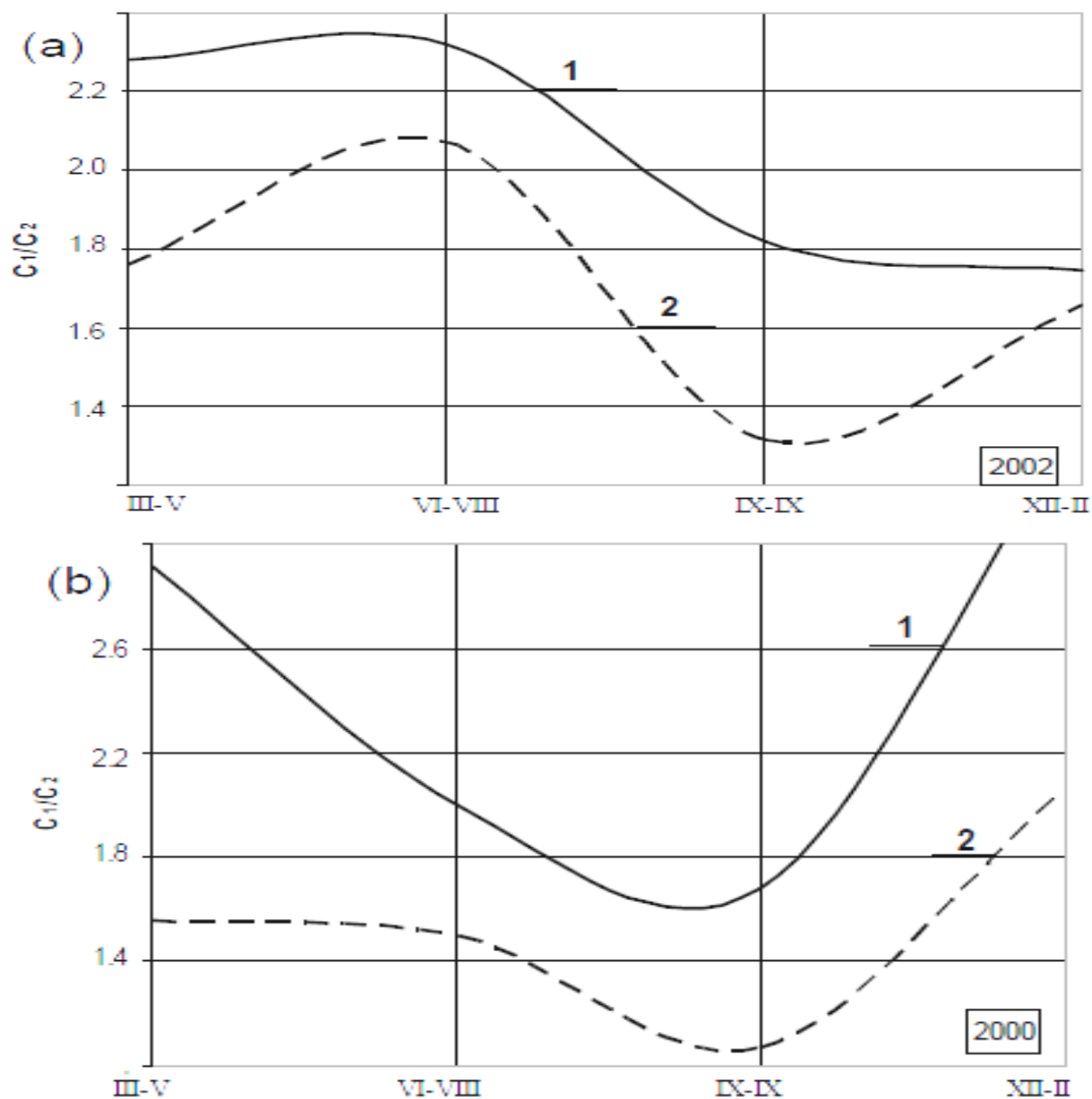


Рис.25. Относительное сезонное изменение концентрации хлоридов в двух (1,2) резервуарах подземных вод в 2000 и 2002 гг.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В ходе проведённого исследования выполнена комплексная геоэкологическая оценка загрязнённости вод бассейна реки Вахш и влияния водохранилищ на климатические характеристики прибрежных районов.

В процессе работы над диссертацией были сформулированы следующие выводы:

1. Показано, что химический состав вод реки Вахш обусловлен, главным образом, выщелачиванием минеральных горных пород, и в верховье река Вахш не испытывает антропогенную нагрузку. Установлено, что содержание химических элементов реки Вахш не превышает установленных ПДК.
2. С применением методов изотопной гидрологии определён изотопный состав ( $\delta^{2}\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) воды реки Вахш и ее притоков Сурхоб, Обихингоу и Кызылсу и определён тип питания рек.
3. Установлено влияние Нурекского водохранилища на формирование геоэкологических условий прибрежных районов. Характер влияния зависит от рельефа местности и изменяется в широких пределах благодаря процессам отражения, отклонения и возникновения направленного движения воздушных масс.
4. Установлено, что увеличение объёма стока реки является причиной вымывания берегов и формирования достаточного количества стока наносов. Показана роль Нурекского водохранилища как накопителя наносов.
5. Выявлен механизм динамического взаимодействия поверхностных и подземных вод в бассейне реки Муксу, но в противоположном направлении, то есть превращения резервуаров подземных вод в источник питания реки.

6. Установлено, что показатель эколого-экономической эффективности Нурекской и Рогунской ГЭС определяется мощностью производства электроэнергии в зависимости от площади территории, занимаемой для строительства ГЭС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Бабушкин Л.Н. Агроклиматическое районирование Средней Азии/ Бабушкин Л.Н. //«Научные труды ТашГУ», 1964 выпуск 206.
2. Декадные отчеты Курган-Тюбинской метеорологической станции за 2002-2004 гг.
3. Саттаров М.А. Математические методы в вопросах оптимизации работы каскада водохранилища в горных реках / М.А. Сатаров // Отчет на тему: «Математические методы в вопросах оптимизации работы каскада водохранилища в горных реках», -Душанбе: ИВПГиЭ АНРТ, 2012. С. 3-12.
4. Норматов И.Ш., Мониторинг гидрологических параметров реки Вахш условиях изменения климата /Норматов И.Ш., Фроебрих Й., Петров Г.Н., Олссон О. //Труды международной конференции Москва, 19-20октября 2006, 124-128 с.
5. Махмадалиев Б.У. Влияние изменения климата на водные ресурсы Таджикистана и адаптационные меры по снижению их уязвимости./ Махмадалиев Б.У., Каюмов А.К., Новиков В.В. // Душанбе, 2003. - 100 с.
6. Петров Г.Н. Гидроэнергетика и ее роль в региональной интеграции стран центральной Азии. /Петров Г.Н. //Евразийская экономическая интеграция, №3 (4), 2009,118-131с.
7. Сидирова Л. Проблемы совместного использования трансграничных водных ресурсов. / Сидирова Л.// Центральная Азия и Кавказ №1(55) 2008. - 92-104 с.
8. Фазылов А.Р.. Исследование роли твердого стока в зоне формирования реки Вахш. /Фазылов А.Р., Кодиров А.С., Степанова Н.Н.//Доклады академии наук республики Таджикистан 2014, том 57, №3, 240-245 с.

9. Сборник статистических данных Агентства по гидрометеорологии Комитета по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан.
10. Петров Г.Н. Водные ресурсы Центральной Азии. /Петров Г.Н., Норматов И.Ш., Леонидова Н.В. // 2004, №1, С. 35-49.
11. Петров Г.Н. Изменчивость и прогноз водного стока крупных рек бассейна Аральского моря./ Петров Г.Н. //Доклады академии наук республики Таджикистан 2008, том 51, №4, 290-294 с.
12. Петров Г.Н.. Математические критерии экономической эффективности развития энергосистем. /Петров Г.Н., Халиков Х.Х. //Доклады академии наук республики Таджикистан 2007, том 50, №3, 225-231с.
12. Борисова Е. А. Особенности водного кризиса в Центральной Азии/ Борисова Е. А. //История и современность, № 1, март 2012, 138–146с.
13. Петров Г.Н. Прогноз гидрографа годового стока р. Вахш. /Петров Г.Н.// Доклады академии наук республики Таджикистан 2010, том 53, №8, 645-651 с.
14. Петров Г.Н. Региональная интеграция и водно-энергетическая независимость./ Петров Г.Н.// Евразийская экономическая интеграция, №4 (9), ноябрь 2010 95-107 с.
15. Борисова Е. А. Споры вокруг Рогунской ГЭС./ Борисова Е. А.// История и современность, № 1, март 2011 - 93–106 с.
16. Кондратьев К.Я. Глобальный климат. /Кондратьев К.Я.// Сер. Итоги науки и техники. Метеорология и гидрология. - М.: ВИНТИ, 1987. Т. 17. - 313 с.
17. Аналитический обзор «Состояние и перспективы интегрированного управления водными ресурсами в Республике Таджикистан» // ПРООН, 2011. – Душанбе, 2011. -74 с.
18. Схема комплексного использования река Вахш /сайт Министерства энергетики и промышленности Республики Таджикистан - <http://www.minenergoprom.tj>.



19. Атлас Таджикской ССР / Колл. авторов. –Душанбе-Москва,1968. -200 с.
20. Джураев, А. Анализ источников загрязнения водных ресурсов // Проблемы водного хозяйства и пути их решения /А. Джураев// Материалы Республ. научно-практич. конфер. - Душанбе, 2002. - С.33-36.
21. Перов В.Ф. Селевые явления. (Терминологический словарь) / В.Ф. Перов //Издательство Московского Университета. –М.: 1996. -С. 13-14. [http://nilsls.narod.ru/pdf/Dictionary\\_Perov.pdf](http://nilsls.narod.ru/pdf/Dictionary_Perov.pdf).
22. Сборник статистических данных. Сайт Комитета по чрезвычайным ситуациям при Правительстве Республики Таджикистан, [www.khf.tj](http://www.khf.tj).
23. Груза Г.В. Об изменении температуры воздуха и осадков на территории СССР за период инструментальных наблюдений. /Груза Г.В., Клещенко Л.К., Ранькова Э.Я.// Метеорология и гидрология, 1977. № 1. С. 13-25.
24. Груза Г.В. Вероятностный прогноз приземной глобальной температуры воздуха до 2005 года. /Груза Г.В., Ранькова Э.Я. //Метеорология и гидрология. 1991. №4. С. 95-103.
25. Гройсман П.Я. Оценки изменчивости средней годовой зональной температуры воздуха. /Гройсман П.Я. //Метеорология и гидрология. 1987. № 3. С. 103-105.
26. Голицын Г.С. Изменения климата в настоящем и будущем./ Голицын Г.С. //Метеорология и гидрология. 1987. № 6. С. 116-119.
27. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды./ Израэль Ю.А. //М.: Гидрометеиздат, 1984. - 560 с.
28. Израэль Ю.А. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий. /Израэль Ю.А., Груза Г.В., Катцов В.М., Мелешко В.П. // Метеорология и гидрология. 2001. № 5. С. 5-21.
29. Дроздов О.А. Циклические составляющие в многолетних характеристиках атмосферной циркуляции. /Дроздов О.А., Григорьева А. С. //Труды ГГО. 1969. Вып. 245. С. 14-16.

30. Сборник статистических данных. /Сайт государственного учреждения по гидрометеорологии Комитета по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан – [www.meteo.tj](http://www.meteo.tj).
31. Фазылов А.Р. Гидроэкологическая безопасность водопользования в зоне формирования стока. /А.Р. Фазылов, И.И. Саидов Сб. научн. тр. ФГБОУ ВПО РГАУ: Современные энерго-ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства. - Рязань, 2013 - С. 546-553.
32. Маматканов Д.М. Роль малых и средних водохранилищ в защите от селевых потоков (на примере Таджикистана) /Д.М. Маматканов, У.И. Муртазаев, И.И. Саидов. Известия национальной Академии наук Республики Кыргызстан. – Бишкек: «Илим», 2011. -№2. - С.11-14.
33. Маматканов, Д.М. Водные ресурсы горного Кыргызстана на современном этапе /Д.М. Маматканов, Л.В. Бажанова, В.В. Романовский Бишкек: Илим, 2006. -276 с.
34. Унифицированные методы анализа вод /Под. ред. Ю.Ю. Лурье. - М.: Химия, 1971. – 375 с.
35. Фрумин Г.Т. Оценка состояния водных объектов и экологическое нормирование. – СПб.: Синтез, 1998. – С.45-53.
36. Фрумин Г.Т. Экологическая химия и экологическая токсикология. Учеб. Пособие. – СПб.: РГГМУ, 2002. - С.107-111.
37. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. – СПб.: Наука, 2004. – 294 с.
38. Вода питьевая. Методы анализа. М.: Изд-во стандартов, 1984. – 239 с.
39. Дроздов О.А. Возможные изменения влагооборота при потеплении климата. /Дроздов О.А., Малкова И.В.//Труды ГГИ. 1981. Вып. 271. С. 3-10.
40. Дроздов О.А. Формирование увлажнения суши при колебаниях климата. /Дроздов О.А. //Метеорология и гидрология. 1981. № 4. С. 17-24.
41. Дроздов О.А. Влияние термического режима на увлажнение суши./ Дроздов О.А. //Труды ГГИ. 1983. Вып.280. С. 3-14.

42. Дроздов О.А. О влиянии изменения температуры Новой Земли на осадки ЕТС и срединного региона. /Дроздов О.А., Григорьева А.С., Горцевская О.А. //Труды ГГИ. 1983. Вып. 280. С.87-98.
43. Дроздов О.А. Исследование связи между глобальной температурой и увлажнением. /Дроздов О.А. //Труды ГГИ. 1985. Вып. 317. С. 3-22.
44. Мещерская А.В. Анализ тенденций увлажнения основной сельскохозяйственной зоны СССР за период инструментальных наблюдений. /Мещерская А.В., Блажевич В.Г., Голод М.П., Белянкина И.Г. //Труды ГГО. 1986. Вып.505. С. 108-120.
45. Мещерская А.В. Тренды температуры воздуха в основных зернопроизводящих районах СССР за период инструментальных наблюдений. /Мещерская А.В., Белянкина И.Г. //Труды ГГО. 1989. Вып. 525. С.35-43.
46. Попова В.В. Пространственная и временная структура колебаний атмосферных осадков на территории восточной и Центральной Европы./ Попова В.В. //Водные ресурсы. 1992. № 4. С. 124-130.
47. Доклад об изменении климата в Таджикистане. Душанбе 2001 г.
48. Национальный план действий республики Таджикистан по смягчению последствий изменения климата. Душанбе - 2003г.
49. Малинин В.Н. Влагообмен в системе океан-атмосфера. /Малинин В.Н. //СПб.: Гидрометеиздат, 1994. - 197 с.
50. Малинин В.Н., Экстатические колебания уровня Мирового океана в современных климатических условиях. /Малинин В.Н., Шевчук О.И. //Изв. Рус. геогр. общества. 2008. Т. 140. Вып.4. С .20-30.
51. Груза Г. В. Потепление неотвратимо. /Груза Г.В., Ранькова Э. Я. // Земля и Вселенная. 2003. № 3. С. 21-30.
52. Сайт [http://www.cawater-info.net/library/rus/ifas/asbp\\_way\\_decision\\_rus.pdf](http://www.cawater-info.net/library/rus/ifas/asbp_way_decision_rus.pdf).
53. Бабушкин Л.Н. Агроклиматическое районирование Средней Азии./ Бабушкин Л.Н. //«Научные труды ТашГУ», 1964, выпуск 206.

54. Научно-прикладной справочник по климату СССР: Сер. 3. Многолетние данные. Вып. 31. Части 1-6 /Гос. ком. СССР по гидрометеорологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1931-1990.
55. Normatov I. S, G. Petrov. Use of Central Asia water resources in irrigation and hydropower: Conflict of interests or mutually beneficial collaboration - J. Wat. Res., 2005, vol.2, pp. 24-293.
56. Муртазаев У.И. Водохранилища Таджикистана и их влияние на прилегающие ландшафты /Душанбе: Ирфон, 2005. - С. 262.
57. Муртазаев У.И. Эволюция природных комплексов водохранилищ Таджикистана и их влияние на прилегающие ландшафты. - Дис. д.г.н. Бишкек, 2005, - 322р.
58. Авакян А.Б. Некоторые проблемы эксплуатации водных ресурсов СССР. Водохранилища, их влияние на природу и хозяйство, принципы создания // Вестник РАН. 1973. № 11. С. 46-51.
59. Маматканов Д.М., Бажанова Л.В., Кузьмиченок В.А. и др. Влияние изменений климата на горную экосистему Тянь-Шаня (на примере Иссык-кульского и Чуйского бассейнов) /Бишкек: Нур-Ас, 2014. С. 136.
60. Normatov I. Optimization of mode of operations of Hydropower stations with reservoir. Proc. 6<sup>th</sup> Intern. Conf. On Hydroinformatics-Liong, Phoon (Eds), 2004 World Scientific Publ. Company, ISBN 981-238-7870, pp. 238-245.
61. Normatov, I. Sh., Petrov, G. N. Economic aspects of development of Tajikistan Hydropower, (N.N. Stepanova), Publishing Honse "Donish", 2006, Dushanbe, Tajikistan. – 175 С.
62. Froebrich J., Olsson O., Bauer M., Normatov, I. Sh. , Petrov, G.N. (2006): Improved dam operation in the Amu Darya river basin including Transboundary aspects, International Conference Dams and Reservoirs, Societies Environment in the 21st century, Berga et al (Eds), Taylor & Francis Group, ISBN 0-41523-1, pp.97-103.
63. Отчет Института математики с ВЦ АН Таджикской ССР, 1973

64. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 210-215 с.
65. Быков В.Д. Гидрометрия. /Быков В.Д., Васильев А.В. //Л.: Гидрометеиздат, 1977. – С. 300-320.
66. Горошков И.Ф. Гидрологические расчёты. /Горошков И.Ф.//Л.: Гидрометеиздат., 1979. – С. 231-260.
67. Мезенцев В.С. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях./ Мезенцев В.С. //Омск: 1982. – С. 20-35.
68. Плешков Я.Ф. Регулирование речного стока. /Плешков Я.Ф. //Л.: Гидрометеиздат, 1975.- С. 260-273.
69. Горланова Л.А. Дендрохронологический мониторинг /Горланова Л.А., Мазепа В.С., Хантемиров Р.М. //Методы экологического мониторинга: большой спец. практикум: учеб. пособие для вузов /Урал. гос. ун-т им. А. М. Горького [отв. ред. Т.А. Радченко].- Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2005.- [Гл.] 3.2. - С. 90-106.
70. Руководство по гидрологическим расчётам при проектировании водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1983.
71. Шапов Г.И. Речные наносы. /Шапов Г.И. // Л.: Гидрометеиздат, 1959 - 379 с.
72. Муминов, А.О. Изучение влияния Нурекского водохранилища на метеорологические условия сельскохозяйственных районов Республики Таджикистан /Муминов А.О., Курбонов Н.Б., Норматов П.И. // Наука и новые технологии. - Бишкек, 2013. - №7. - С.52-55.
73. Normatov I.Sh. Estimation of the Carbon Dioxide Formation in Heat-Power Complex of the Central Asia and Prospective of Development of Hydrogen Power Engineering./ Normatov I.Sh.,Narzulloev N., Muminov A.O.//Journal of Environmental Science and Engineering B Vol.2, no.2, 2013, pp 61-68.
74. Норматов П.И., Фрумин Г.Т., Норматов И.Ш., Муминов А.О.. Мониторинг метеорологических условий зоны формирования водных

ресурсов трансграничной реки Пяндж (Таджикистан). Учений записки РГГМУ №47. Научно-теоретический журнал ISSN 2074-2762, Санкт-Петербург, 2017. – С. 9-15.

75. Normatov I., Muminov A., Normatov P. and Normatova R.. The chemical and isotope methods application for Risk Assessment contamination of the main tributaries of the Transboundary Amudarya River. International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering/ (IPCБЕЕ, ISSN: 2010-4618), Rome, Italy July 18-20, 2017

76. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Ф. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 182 с.

77. Керимов А.М., Рототаева О.В., Хмелевской И.Ф. Распределение тяжелых металлов в поверхностных слоях снежно-фирновой толщи на южном склоне Эльбруса - Лед и Снег, 2011, № 2 (114), с.24-35.

78. Норматов П.И., Фруммин Г.Т. Сравнительный анализ гидрохимических показателей верховья и низовья трансграничной реки Зеравшан - Ученые записки РГГМУ. – 2015. - №39. - С. 181-188.

79. Темерев С.В., Индюшкин И.В. Химический мониторинг снежного покрова в области влияния Барнаула - Изв. Алтайского государственного университета, 2010, 3-1(67), с.196-203.

80. Groll M., Ch. Opp Ch., Normatov I. et al. Water quality, potential conflicts and solutions—an upstream-downstream analysis of the transnational Zarafshan River (Tajikistan, Uzbekistan) - J. Environmental Earth Sciences, 73(2), 743-764.

81. Kholmirezova M.O., Radzhabova A.S., Buranova S.A., Normatov I. Monitoring and physical-chemical studies of ground and surface water sources of Republic of Tajikistan. Water: chemistry and ecology, 2012, 6, pp.92-96.

82. Normatov I (2003). The water balance and the solution of water problems in the Central Asian region. Proceeding UNESCO/IAHS/IWHA Symposium, 1-4 December 2003, Rome, Italy, pp. 300-314.

83. Normatov I (2004). Regional experiences in solving water resources problems in Tajikistan. Book Building a New Asia. Ed: M. Singh. Kolkata, SHIPRA, pp. 295-304.
84. Normatov I., Murtazaev U., Nasirov N. Creation of adaptation mechanisms: The key to more cost-effective and environment-friendly water management. Red Book. IAHS Publ. 338, 2010, pp. 74-76.
85. Tokarev I.V., Polyakov V.A., Samsonova A.A., et al. Water Isotope composition in the formation of conditions of the Toktogul reservoir water budget //hge.spbu.ru/download/tokarpapper/isotopes.pdf.
86. Normatov P. Abstract of international research and practice conference about “influence of climate change on snow, ice and water resources”/ Normatov P., Muminov A.O., Normatov I.//, September 2014, Issyk-Kul, Kyrgyzstan.
87. Normatov I. The impact of Climate change and Agroclimatic resources on maintenance of Food Security and creation of adaptation mechanisms. Proc./ Normatov I., Muminov A.// International Conference “Adapt to Climate”, 27-28 March 2014, Nicosia, Cyprus, pp. 128-134.
88. Petrov G. Tajikistan's Energy Projects:/ Petrov G// Past, Present and Future, 2004, №5(29), p.93-103.
89. Normatov I. Perspective of the Agriculture development of the Mountain areas in modern conditions of Climate change./ Normatov I., Normatov P.I. and Muminov A.// Proc. of 16<sup>th</sup> Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences, Jawaharlal Nehru University, New Delhi, India 17-20 October 2014. pp. 231-235.
90. Normatov I., Modern adaptation approach of Agriculture to the Climate change and reservoirs impact./ Normatov I., Normatov P.I. and Muminov A.// Proc. 5th International Disaster and Risk Conference IDRC Davos 2014, Davos, Switzerland, pp.102- 106.

91. Normatov I.Sh. The economic aspects of water using in Central Asia./ Normatov I.Sh.// J. Agrosience.2001.V.7-9.№517-519. P.450-451.
92. Normatov I.Sh. Analysis state and work out strategy used of hydropower resources of little rivers of Pamir./ Normatov I.Sh. //International Conference “Pamir- resources of drinking water of Central Asia ”,Khorog,Tajikistan,28-29 June,2003.
93. Normatov I.Sh. Ecological aspects of water resources management in transboundary rivers of Central Asia./Normatov I.Sh.// Central Asia International Conference “Ecological stability and modern methods in management of water resources of Aral See basin”, Almaty,Kazakhstan,5-8 May,2003.P.396-398.
94. Normatov I.Sh. Regional experiences in solving water resources problems in Tajikistan./ Normatov I.Sh. // NATO Advanced research Workshop «Transboundary water resources: Strategies for regional security and ecological stability», Novosibirsk, Russia, 25-27 August, 2003. P. 16-18.
95. Normatov I.Sh. Water resources and support of developments of the Central Asian Countries./ Normatov I.Sh.// International Conf.”Water is the basis of the Life and Hyman existence”. Dushanbe,Tajikistan,20-22 November, 2003.
96. Normatov I.Sh. Economical, social and political aspects of water utilization in Central Asia./ Normatov I.Sh. // International Symposium “Urban Hydrology for the 21<sup>st</sup> Century”. Kuala Lumpur, Malaysia, 14-16 October, 2002. P.159-164.
97. Normatov I. Sh. Country paper on Water in Arid and Semi-Arid regions of Tajikistan./Normatov I.Sh. // G- WADI Asia-Global Network for Water and Development Information in Arid and Semi-Arid Regions of Asia. Intern. G - WADI modeling Workshop-28<sup>th</sup> Febrary-04<sup>th</sup> March 2005, Roorkee, India. - 36 p.
98. Normatov I. Sh. Regional experiences in solving of water resources problems in Tajikistan./ Normatov I.Sh.// Book: Transboundary Water Resources: Strategies for Regional Security and Ecological Stability Ed: H. Vogtmann and N. Dobretsov. Netherlands, Springer. 2005, pp. 55-72.



99. Normatov I. Sh. Regional experiences in solving of water resources problems in Tajikistan./Normatov I.Sh.//Book: Building a New Asia. Ed: M. Singh. Kolkata, "SHIPRA". 2005, pp.295-304.
100. Normatov I. Sh. To a problem formation of market relations in a water-economic complex of Tajikistan and Central Asia./ Normatov I.Sh.// Proc. Intern. Conference "Head Water 2005" Headwater Control VI: Hydrology, Ecology and water Resources in Headwater, Bergen, Norway, 20-23 June, 2005.
101. Normatov I. Formation of hydro fauna in Reservoirs of the Central Asia in condition of Global Climate Change./Normatov I., Murtazaev U.// Abs.2<sup>nd</sup> Intern. Conf. biohydrology 2009: A changing climate for biology and soil hydrology interactions, Bratislava, Slovakia,21-24 September 2009. P.203.
102. Normatov I. Integrated Management Strategy of Tran boundary Water Resources of Central Asia./Normatov I., Petrov G. //Proc. of General Assembly of the Mediterranean Network of Basin Organizations (MENBO), 6-9 October 2009, Beirut, Lebanon.PP.114-121.
103. Normatov I. Ecological and social-economical estimation of the flood impacts in Mountain regions of Tajikistan./Normatov I.// Materials of Intern. Conf. Mitigation of natural hazard in Mountain areas, 15-18 September 2009, Bishkek, Kyrgyzstan. P.175.
104. Normatov I. Formation of Market relation in Water-Economy complex of Tajikistan and the Central Asia./ Normatov I.// Abs. of World City Water Forum 2009, 18-21 August 2009, Incheon, Korea. P.22.
105. Normatov I. The current condition of mountain glaciers of Tajikistan and adaptation of economic activities of the Vakhsh sub-basin to global and local changes./ Normatov I., Lipponen A., Petrov G. // Proc of Intern. Workshop on Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins, 30 March-02 April 2009, Goslar-Hahnenklee, Germany.PP.96-104.
106. Normatov P.I. Role of the information technology in water quality management and social-economical estimation of the flood impacts in mountain regions of the Central Asia. /Normatov P.I., Bokiev O.S., Emomov K.F.,

Normatov I.Sh.// Proc. the 2<sup>nd</sup> International Conference Integrated Water Resources Management and Challenges of the Sustainable Development, Agadir, 24-26 March 2010, Marocco,-5p.

107. Kholmierzoeva M. Monitoring of change of the chemical composition of the underground waters at vegetation periods./ Kholmierzoeva M, Nosirov N, Normatov I.// Proc. 7<sup>th</sup> International Groundwater Quality Conference “GQ10: Groundwater Quality Management in a Rapidly Changing World”, Zurich, Switzerland, 13-18 June 2010.-5p.

108. Normatov I .Sh. Current situation of water supply and improvement of sanitary conditions in Republic of Tajikistan./ Normatov I .Sh., Karomatulloeva N., Rakhimov I. M. // International Archives of the Photogrammetric, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan 2010,pp.335-338.

109. Normatov I. Water in Arid and Semi-arid regions(Tajikistan)./ Normatov I.//Abs.3<sup>rd</sup> Intern. Symp. on Arid Climate Change and Sustainable Development(ISACS - 3), 8-10 September,2010, Lanzhou,China.p.111.

110. Normatov I. Monitoring of impact of the Mountain Concentrating Industrial Complex Wastewaters on quality of waters of the Tran boundary Zeravshan River./ Normatov I, Fayz N.//Abstract of the 6<sup>th</sup> Jordanian International Conference of Chemistry and 10<sup>th</sup> Jordanian Chemical Conference, 19-21 April, 2011, Irbid-Jordan, P.62.

111. Normatov I. Appearance of the risk contamination of drinking water supply sources at rainfall and vegetation periods./ Normatov I, Fayz N, Nasirov N, Idiev M, Bokiev O.// Book “Technical Progress in Sanitary Engineering”. Ed.: Jerzy M. Sawicki, Katarzyna Weinerowska-Bords. Gdansk, Poland, PP.34-39.

112. Normatov I .Sh., Risk to contaminate drinking water supply sources during rainfall and vegetation periods./ Normatov I .Sh. , Groll M.// J.Water: Chemistry and Ecology, 2011, №6, PP.123-131.

113. Normatov I. Maintenance of Food Security in the conditions of change of Agroclimatic Resources and working out of mechanisms of adaptation of

agricultural crops to climate changes./ Normatov I.//Proc. International Conference Hydrological and Ecological Responses to Climatic Change and to LUCC in Central Asia, 5-9 August 2012, Urumqi, China,pp.170-176.

114. Froebrich J. Improved dam operation in the Amu Darya river basin including Transboundary aspects./ Froebrich J. Olsson O., Bauer M., Normatov, I.Sh. , Petrov, G.N. (2006)://International Conference Dams and Reservoirs, Societies Environment in the 21st century, Berga et al (Eds), Taylor & Francis Group, ISBN 0-41523-1, pp.97-103.

115. Normatov I. Optimization of mode of operations of Hydropower stations with reservoir./ Normatov I.// Proc. 6<sup>th</sup> Intern. Conf. On Hydroinformatics-Liong, Phoon (Eds), 2004 World Scientific . Publ. Company, ISBN 981-238-787-0, PP. 238-245.