

61-92-11/22-8

Государственный концерн "Водстрой"  
Научно-производственное объединение САНИИРИ  
(НПО САНИИРИ)

На правах рукописи

СОКОЛОВ ВАДИМ ИЛЫЧ

УДК 556.1:628.3

ФОРМИРОВАНИЕ БОКОВОЙ ПРИТОЧНОСТИ И ЕЁ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
БАССЕЙНОМ р. СЫРДАРЬЯ

II.00.07 - Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата  
географических наук

Научный руководитель  
лауреат Государственной премии  
УзССР им. Беруни, премии Совета  
Министров СССР, доктор  
технических наук,  
старший научный сотрудник

В.А.ДУХОВНЫЙ

Научный консультант  
кандидат технических наук,  
доцент

Н.И.ПРОХОРЕНКО

Ташкент - 1991

С О Д Е Р Ж А Н И Е

	стр.
В В Е Д Е Н И Е . . . . .	4
ГЛАВА I. ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА р.СЫРДАРЬИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. . . . .	8
I.1. Географическая характеристика бассейна. . . . .	9
I.2. Водные ресурсы. . . . .	16
I.2.1. Ресурсы поверхностных вод. . . . .	16
I.2.2. Гидрогеологические условия и ресурсы подземных вод. . . . .	18
I.2.3. Инфильтрация атмосферных осадков . . . . .	24
I.3. Водохозяйственное строительство в бассейне. . . . .	25
I.4. Изменение стока р.Сырдарьи под влиянием антропогенных факторов. . . . .	31
ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АСУБ СЫРДАРЬИ. . . . .	35
2.1. Информационное обеспечение подсистемы "Водные ресурсы" АСУБ Сырдарьи. . . . .	41
2.2. Программное обеспечение подсистемы "Водные ресурсы". . . . .	47
ГЛАВА 3. ФОРМИРОВАНИЕ БОКОВОЙ ПРИТОЧНОСТИ В БАССЕЙНЕ И МЕТОДЫ ЕЕ ОЦЕНКИ . . . . .	50
3.1. Структура боковой приточности . . . . .	50
3.2. Исходный гидрометрический материал и составление русловых балансов . . . . .	55
3.2.1. Оценка точности расчета руслового водного баланса. . . . .	64
3.3. Особенности формирования генетических составляющих боковой приточности . . . . .	66

3.3.1. Коллекторно-дренажные воды и методы их оценки. . . . .	стр. 66
3.3.2. Русловое выклинивание. . . . .	79
3.4. Взаимосвязь поверхностных и подземных вод в условиях водохозяйственных районов бассейна . . . . .	85
ГЛАВА 4. МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БОКОВОЙ ПРИТОЧНОСТИ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ЕЮ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АСУБ СЫРДАРЬИ . . . . .	
4.1. Долгосрочный прогноз боковой приточности заблаговременностью один год. . . . .	94
4.1.1. Методика прогнозирования коллекторно- дренажного стока . . . . .	94
4.1.2. Методика прогнозирования руслового выклинивания . . . . .	108
4.1.3. Оценка точности расчетов . . . . .	112
4.2. Оценка сокращения поверхностного стока при эксплуатации подземных вод. . . . .	119
4.3. Некоторые принципы управления водными ресурсами при водохозяйственном планировании АСУБ . . . . .	127
4.4. Экономическая эффективность внедрения задач по оценке и прогнозу боковой приточности в АСУБ СЫРДАРЬИ . . . . .	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .	144
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .	148
ПРИЛОЖЕНИЯ . . . . .	158

## В В Е Д Е Н И Е

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР "О первоочередных мерах по улучшению использования водных ресурсов в стране" значительная роль отводится научно-техническому прогрессу в использовании воды для повышения продуктивности орошаемого земледелия. Одним из наиболее эффективных средств снижения непродуктивных потерь стока является повышение степени управляемости водными ресурсами за счет внедрения автоматизированных систем управления речными бассейнами (АСУБ).

На качество функционирования АСУБ отрицательно влияет отсутствие надежных методов долгосрочного прогноза элементов стока. В связи с этим большое научное и практическое значение приобретает разработка доступных для инженерной практики и в то же время надежных методов долгосрочного прогноза водных ресурсов речных бассейнов по отдельным их составляющим. Здесь можно привести слова И.П. Дружинина: "Хорошо управлять - значит надежно и с достаточной заблаговременностью предвидеть" [19, стр.4].

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. Цель работы - разработка методики прогноза боковой приточности в водохозяйственных районах бассейна р. Сырдарьи с заблаговременностью один год для практического применения в АСУБ Сырдарьи. Для ее достижения были поставлены и решены следующие основные задачи:

- исследованы условия и закономерности формирования боковой приточности в водохозяйственных районах бассейна;

- обоснована методика прогноза боковой приточности по ее генетическим составляющим;

- дан прогноз боковой приточности по генетическим составляющим для ряда лет различной водности;

- обоснованы принципы управления боковой приточностью при водохозяйственном планировании АСУ бассейна.

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ. Методологической основой исследования являются системный подход; обобщение обширного материала гидрологических изысканий с использованием новейших проработок в области географии, гидрологии, гидрогеологии; методы воднобалансовых расчетов; регрессивный анализ.

В работе широко использованы данные Узкомгидромета, САНИИ им. В.А.Бугаева, институтов "Средазгипроводхлопок", "Узгипроводхоз", САНИИРИ, Минводхозов УзССР, КиргССР, ТаджССР, КазССР, НПО "Узбекгидрогеология" и других организаций.

ОБЪЕКТОМ ИССЛЕДОВАНИЯ являются источники водных ресурсов по водохозяйственным районам бассейна, принятые в "Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р.Сырдарьи" (рис. I. I):

- I. Верховья р.Нарын.
- II. Ферганская впадина.
- III. Среднее течение.
- IV. Чирчик-Ахангаран-Келесский ирригационный район (ЧАКИР).

НА ЗАЩИТУ ВНОСЯТСЯ :

- методика прогноза генетических составляющих боковой приточности с заблаговременностью один год;
- метод оценки сокращения поверхностного стока при эксплуатации подземных вод, связанных с речным стоком;
- основные и локальные принципы управления боковой приточностью при водохозяйственном планировании АСУБ.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЯ : Применительно к бассейну

р. Сырдарья:

а) впервые разработана методика прогноза отдельных генетических составляющих боковой приточности с заблаговременностью один год;

б) построены алгоритмы и созданы программы в системе ОС ЕС ЭВМ прогноза для целей АСУБ коллекторно-дренажных вод и руслового выклинивания;

в) получены численные значения времени рекуперации (сдвиги во времени) между водозабором на орошение и коллекторно-дренажным стоком для водохозяйственных районов бассейна р. Сырдарья;

г) предложены региональные способы оценки величины сокращения поверхностного стока при эксплуатации подземных вод через уменьшение величины руслового выклинивания.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ ДИССЕРТАЦИИ И ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.

Полученные результаты могут служить основой для разработки прогнозов боковой приточности при планировании работы водохозяйственного комплекса бассейна в условиях функционирования АСУБ.

Основные результаты исследований использованы лабораторией научно-технического прогнозирования САНИИРИ при разработке и внедрении задач подсистемы "Водные ресурсы" АСУБ Сырдарья в промышленную эксплуатацию. Имеется соответствующая справка о внедрении законченной научно-исследовательской работы в Бассейновом водохозяйственном объединении "Сырдарья". Экономический эффект от внедрения результатов исследования составил 175 тысяч рублей.

Кроме того, некоторые результаты легли в основу утвержденных Минводхозом УзССР "Рекомендаций по методике расчета объема

коллекторно-дренажного стока на предстоящий год" /51/.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ И ПУБЛИКАЦИИ. Основные результаты исследования изложены в 9 научных публикациях. Отдельные положения доложены на научных конференциях молодых ученых и специалистов: в КазНИИВХ, г.Джамбул, 1983 г.; в ИВП АН СССР, г.Москва, 1986 г.; в ГрузНИИГиМе, г.Тбилиси, 1987 г.; во ВНИИГиМе, г.Москва, 1987г.; на научно-техническом семинаре по моделированию гидрогеологических процессов в г.Новосибирске, 1984 г.; на Научно-практической конференции по рациональному использованию и охране ресурсов малых рек в г.Таллинне, 1985 г.; на научном семинаре по использованию подземных вод на орошение в г.Баку, 1986 г.; на секции гидротехники Ученого Совета САНИРИ, 1988 г.; на расширенном заседании лабораторий гидрологии, гляциологии и региональной климатологии Института географии СО АН СССР, г.Иркутск, 1990 г.

ГЛАВА I. ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА р.СЫРДАРЬИ ПОД  
ВЛИЯНИЕМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА

Бассейн р.Сырдарьи является одним из крупнейших народно-хозяйственных районов страны, где сконцентрировано производство основных объемов продукции промышленности и сельского хозяйства Средней Азии.

В результате гидромелиоративного строительства бассейн р.Сырдарьи превратился в сложную водохозяйственную систему (ВХС). Как отмечается в работах В.А.Духовного [23,24], отсутствие постоянного единого централизованного управления бассейном сказывается на недостаточной увязке бассейновых возможностей с территориальным водопотреблением и его совершенствованием.

К 1982 году водные ресурсы бассейна достигли уровня полного использования, и дальнейшее развитие народного хозяйства в бассейне возможно лишь при постоянном строгом контроле использования водных ресурсов, сокращении непродуктивных потерь воды.

Наиболее эффективным средством достижения этих целей является повышения качества управления водными ресурсами за счет внедрения автоматизированной системы управления бассейном реки Сырдарьи (АСУБ). Для повышения качества управления речным бассейном огромную актуальность приобретает разработка надежных алгоритмов прогноза его водных ресурсов.

В свою очередь, достоверность прогнозов водных ресурсов повышается при членении их на отдельные генетические составля-



ющие. Такой подход принят нами при разработке алгоритмов прогноза боковой приточности в бассейне для целей АСУБ.

Для лучшего понимания особенностей формирования боковой приточности в бассейне р.Сырдарьи рассмотрим природные условия бассейна и их изменения под влиянием хозяйственной деятельности.

### 1.1. Географическая характеристика бассейна

Бассейн р.Сырдарьи расположен между  $30^{\circ}23'$  и  $46^{\circ}$  северной широты, простираясь с севера на юг почти на 800 км. С запада на восток бассейн вытянут на 2000 км между  $61^{\circ}$  и  $78^{\circ}24'$  восточной долготы.

Естественными границами бассейна являются: на севере - хребты Терской Алатау, Киргизский, Таласский Алатау и Каратау; на юге и востоке - хребты Нуратау, Туркестанский, Алайский, Атабашинский, Борколдай и Акшийрак. На западе, в нижнем течении р.Сырдарьи, большую часть территории занимают песчаные равнины, где границы бассейна четко не выражены, поэтому таковыми там являются границы Кызыл-Ординской области Казахской ССР.

В бассейн входят территории четырех союзных республик: Киргизской, Узбекской, Таджикской и Казахской ССР. Всего в границах бассейна насчитывается 117 административных районов.

Вся площадь бассейна составляет 443,93 тыс.км<sup>2</sup> [29].

В Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р.Сырдарьи ("Средазгипроводхлопок", 1979 г.) было произведено водохозяйственное районирование бассейна. При этом был использован предложенный Г.В.Воропаевым [10] метод эквива-

лентирования и агрегирования, согласно которому построение водохозяйственного комплекса осуществляется в привязке к возможному членению бассейна по управляющим воздействиям, учетным створам (постам Госкомгидромета) и характерным географическим признакам. Бассейн делится на водохозяйственные районы (ВХР) так, что, исходя из ландшафтного и гидрологического построения, могут быть выделены замкнутые участки управления. Приурочиваясь к водосборным территориям притоков основного ствола, к замыкающим (управляющим) створам водохранилищ, они отличаются единым характером гидрологического взаимодействия реки и примыкающих (дренируемых) территорий. В каждом из ВХР выделяются отдельные орошаемые массивы, на которых формируется природно-производственный ирригационный комплекс. Последний характеризуется единым состоянием социально-экономического развития и единством водного питания.

Таким образом, по природным условиям и используемым источникам орошения выделены следующие ВХР, которые можно рассматривать в качестве единицы с точки зрения водного хозяйства (рис. I.I):

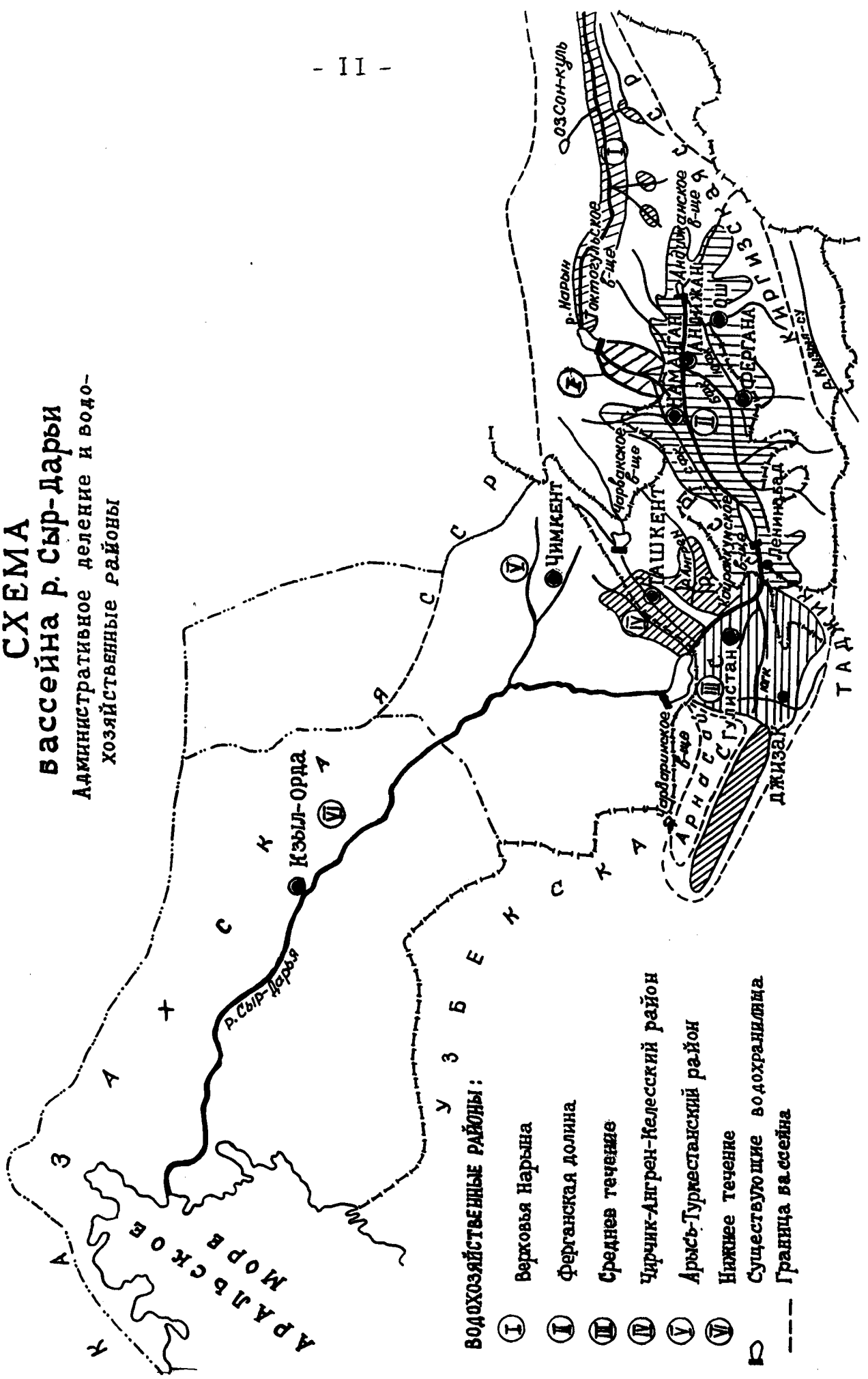
I. Верховья р.Нарын - от истоков до створа г.Учкурган при выходе реки в Ферганскую впадину.

II. Ферганская впадина - от истоков Карадарьи и г.Учкургана на р.Нарын до створа Фархадского гидроузла на р.Сырдарье (замыкающий створ г.Бекабад).

III. Среднее течение р.Сырдарьи - от г.Бекабада до Чардаринского водохранилища.

IV. Чирчик-Ахангаран-Келесский ирригационный район (ЧАКИР) - объединяет бассейны трех рек - замыкающие устьевые створы на

**СХЕМА**  
**бассейна р. Сыр-Дарья**  
 Административное деление и водо-  
 хозяйственные районы



ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАЙОНЫ :

- Ⓘ Верхняя Нарына
- Ⓡ Ферганская долина
- Ⓢ Среднее течение
- Ⓣ Чирчик-Ангрен-Келесский район
- Ⓤ Арысь-Туркестанский район
- Ⓥ Нижнее течение
- Ⓦ Существующие водохранилища
- Граница бассейна

реках Чирчик, Ахангаран, Келес и канале Бозсу.

У. Арысь-Туркестанский водохозяйственный район (АРТУР) - бассейн р. Арысь и мелкие системы юго-западного склона Каратау.

УІ. Низовья р. Сырдарьи - от Чардаринского водохранилища до Аральского моря.

Поскольку настоящие исследования проводились в интересах АСУБ Сырдарьи, в дальнейшем мы будем рассматривать территорию от Токтогульского и Андижанского водохранилищ до Чардаринского.

I. Верховья р. Нарын занимают высокогорную и среднегорную зоны от истоков Нарына до выхода реки в Ферганскую впадину. Район полностью расположен на территории Киргизской ССР. По геоморфологическому строению - это территория с системой внутренних хребтов (Сусамыр, Джумгол, Нарынтау и др.), разделенных межгорными впадинами. Структурное строение площади глыбово-складчатое, глубоко расчлененное речной сетью. К межгорным понижениям приурочиваются долины р. Нарын и его многочисленных притоков.

В наших исследованиях мы рассматриваем не всю территорию верховьев р. Нарын, а лишь ту ее часть, которая была включена в состав АСУБ, а именно территорию от Токтогульского водохранилища до г. Учкургана.

II. Ферганская впадина занимает межгорную одноименную замкнутую впадину, ограниченную с севера, востока и юга горными хребтами. Параллельно пограничным хребтам, отделяясь от них внутригорными впадинами, протягиваются гряды передовых хребтов, меняющиеся пологими предгорными возвышенностями-адырами. От передовых гряд они отделяются заадарными, а друг от друга - меж-

адырными впадинами. Предгорные возвышенности сменяются конусами выноса, образованными обломочным материалом, снесенным с гор реками. Реки района формируют свой сток в горной области. Передовые гряды и адыры они пересекают по глубоким ущельям, по впадине протекают по наиболее пониженным отметкам. В образованных реками долинах насчитывается до 3-х террас.

Ферганская впадина является самым крупным водохозяйственным и наиболее развитым в хозяйственно-экономическом отношении районом бассейна. Климатические условия района благоприятствуют орошаемому земледелию. Территория Ферганской впадины принадлежит трем республикам: Узбекской ССР (Ферганская, Наманганская, Андижанская области), Киргизской ССР (часть Ошской области), Таджикской ССР (часть Ленинабадской области).

Ш. Среднее течение р.Сырдарьи объединяет территорию Дальверзинской, Голодной, Джизакской степей и мелкие системы северного склона Туркестанского хребта. Дальверзинская степь расположена на правом берегу Сырдарьи при выходе реки из Ферганской впадины. Территория ее принадлежит Узбекской ССР (часть Ташкентской области) и Таджикской ССР (часть Ленинабадской области).

Голодная степь расположена на левобережье Сырдарьи между г.Бекабадом и Чардарой. Территория принадлежит Узбекской ССР (Сырдарьинская область), Таджикской ССР (часть Ленинабадской области) и Казахской ССР (часть Чимкентской области).

Джизакская степь граничит с Голодной степью, занимает предгорье Туркестанского хребта и входит в состав Узбекской ССР (часть Джизакской области). Мелкие системы Туркестанского хребта расположены на предгорьях выше Джизакской степи. К этим системам относятся: Каттасай, Дагансай, Зааминсай, Санзар и др.

Территория принадлежит Таджикской ССР (часть Ленинабадской области) и Узбекской ССР (часть Джизакской области).

Рельеф района вблизи Туркестанского и Нуратинского хребтов представлен предгорными равнинами, образованными конусами выноса рек, стекающих с гор. Наиболее крупными из них являются Санзарский, Рават-Пишагарский и группа юго-восточных конусов выноса.

К центральной части района подгорья переходят в покатую равнину, образованную периферийными частями конусов выноса и сливающуюся с третьей террасой р.Сырдарьи. Эта терраса разделяется на южную пролювиально-аллювиальную и северную аллювиально-пролювиальную части, граница между которыми проходит через Джетысайское, Сардобинское и Карайское понижения. В примыкающей к ней долине р.Сырдарьи выделяются две аллювиальные террасы. Верхняя из них изрезана многочисленными мелкими руслообразными понижениями (в ее пределах располагается Шорузьякское понижение). Нижняя не везде имеет четкую границу и местами непосредственно примыкает к третьей террасе. Поверхность ее ровная с большим количеством озер различной величины и формы.

IV. Чирчик-Ахангаран-Келесский водохозяйственный район (ЧАКИР) находится на правом берегу р.Сырдарьи. Территория входит в состав Узбекской ССР (Ташкентская области) и Казахской ССР (часть Чимкентской области). В горной части на р.Чаткал расположены пастбищные угодия Киргизской ССР.

По рельефу район подразделяется на северо-восточную и восточную горную, а также западную равнинные части. Горная часть представлена хребтами Каржантау, Угамским, Майдантальским,

Пскемским и Чаткальским. Хребты вытянуты с северо-запада на юго-восток, с возрастанием гипсометрических отметок — с запада на восток. Северная часть района представляет собой всхолмленную предгорную и подгорную равнины, расчлененные многочисленными периодически действующими водотоками (саями). Юго-восток района — это всхолмленная предгорная равнина, расположенная у западных склонов Кураминского хребта. Равнинную часть территории составляют террасированные долины рек Чирчика, Ахангарана, Келеса и коллектора Курук-Келеса.

В заключении обзора характеристик ВХР необходимо отметить, что в верховьях р. Нарын водозаборы и объемы хозяйственной деятельности сравнительно невелики и не оказывают существенного влияния на сток реки Сырдарьи. Основная трансформация стока под влиянием антропогенных факторов происходит в пределах Ферганской впадины, ЧАКИРа, Голодной и Дальверзинской степей.

По климатическим условиям территория бассейна р. Сырдарьи входит в состав Туранской климатической провинции, которая характеризуется большим количеством тепла и значительной продолжительностью вегетации в летний период, что обеспечивает выращивание теплолюбивых растений, для которых другие территории Советского Союза непригодны.

По высотной зональности Туранская провинция подразделяется на равнинную и предгорно-горную подпровинции. В свою очередь, предгорно-горная разделена на пояса — подгорные равнины, предгорья, среднегорья и высокогорья.

Все перечисленные вертикальные пояса имеют большие различия в природных особенностях, но в сельскохозяйственном отношении они взаимно дополняют друг друга (поливное земледелие, зер-

новая богара, сады, виноградники, пастбища разной сезонности) и служат основой специализации отдельных сельскохозяйственных зон в пределах водохозяйственных районов.

## 1.2. Водные ресурсы

Водные ресурсы бассейна р.Сырдарья складываются из учтенного и неучтенного притока поверхностных вод, ресурсов подземных вод и инфильтрации атмосферных осадков.

Речной сток бассейна р.Сырдарья достаточно полно изучен И.А.Ильиным [27], В.А.Шульцем [83] и другими [5,29]. Поэтому мы не будем останавливаться на описании гидрографии бассейна и источниках питания рек. Дадим лишь краткую оценку ресурсов поверхностных вод.

### 1.2.1. Ресурсы поверхностных вод

Поверхностные (речные) воды учитываются гидрометрическими постами Госкомгидромета на основном стволе (реки Нарын, Карадарья, Сырдарья и Чирчик) и на притоках основного ствола. К ресурсам поверхностных вод относится приток в водохозяйственные районы, учтенный гидрометрическими постами, выше которых сток рек не искажен хозяйственной деятельностью. Ниже этих гидрометрических постов, в зоне предгорий, развиты периодически действующие водотоки - саяи, формирующие так называемый "неучтенный поверхностный приток". Оценка последнего произведена в работах В.А.Шульца [83] и М.Н.Большакова [5].

В настоящее время поверхностные водные ресурсы бассейна изучены достаточно полно. Используя данные Узкомгидромета, оце-



нены среднемноголетние ресурсы бассейна. В расчетах приняты среднегодовые расходы воды, рассчитанные за водохозяйственные годы. За начало водохозяйственного года принят апрель - начало вегетационного периода.

По среднемноголетним данным, поверхностные водные ресурсы всего бассейна (учтенные и неучтенные) составляют 37,09 км<sup>3</sup>/год (табл. I. I), снижаясь в годы 95 %-ной обеспеченности до 24,9 км<sup>3</sup>/год.

Таблица I. I.

Поверхностные водные ресурсы  
бассейна реки Сырдарьи за весь  
период наблюдений до 1988 года  
(км<sup>3</sup>/год)

Водохозяйственный район	Учен- ные ресурсы	Неучтен- ные ресурсы	Всего
П. Ферганская впадина. . . . . <sup>х)</sup>	24,70	0,69	25,39
Ш. Среднее течение . . . . .	0,36	-	0,36
IV. ЧАКИР . . . . .	8,75	0,21	8,96
Итого до Чардаринского водохранилища . . . . .	33,81	0,90	34,71
Низовья с АРТУРОМ . . . . .	2,38	-	2,38
Всего бассейн	36,19	0,90	37,09

х) учтены верховья р. Нарын

Средняя квадратическая погрешность нормы стока (37,09 км<sup>3</sup>/год) прямо пропорциональна коэффициенту вариации гидрологического ряда и обратно пропорциональна объему выборки и составляет  $\pm 2,6$  %. Следовательно, данная норма стока лежит в интерва-

ле 36,13 - 38,05 км<sup>3</sup>/год при средневзвешенном коэффициенте вариации годового стока 0,20.

Около 70 % ресурсов - 25,39 км<sup>3</sup>/год - составляют притоки рек в Ферганскую впадину. Наибольшая доля в этой сумме принадлежит р. Нарыну - 55 % и р. Карадарье - 15 %, около 30 % составляет доля притоков.

Неучтенный поверхностный сток с площади примерно 18 тыс. км<sup>2</sup>, занимающей низкие зоны гор Ферганской впадины, по оценкам В.Л. Шульца [83] и М.Н. Большакова [5], составляет 2,8 % учтенного годового притока рек, или около 0,69 км<sup>3</sup>/год.

Среднемноголетний сток рек ЧАКИРА равен 8,96 км<sup>3</sup>/год. В этой сумме 81 % принадлежит р. Чирчику, 12 % - Ахангарану и примерно 5 % - рекам Келесу, Акташу и Аксакатасю. Сток саев, расположенных в междуречье Чирчика и Ахангарана, определен по картам модулей стока [5,83] в размере 2,4 % учтенного стока, или 0,21 км<sup>3</sup>/год.

Поверхностные ресурсы **среднего** течения складываются из ресурсов большого числа мелких речек и саев, стекающих с Туркестанского хребта (рр. Каттасай, Басманды, Зааминсай, Санзар и др.) и составляют 0,36 км<sup>3</sup>/год.

### 1.2.2. Гидрогеологические условия и ресурсы подземных вод

Современная гидрогеологическая обстановка в бассейне реки Сырдарьи оценивается целым комплексом факторов, которые определяются следующими условиями:

- геоморфологией и геологическим строением, от которых зависит степень естественной дренированности территорий;

- геоструктурой, определяющей характер связи подземных вод различных горизонтов, в частности, грунтовых вод с нижележащими и напорными водоносными горизонтами;
- влиянием изменчивости метеорологических факторов и водоносности рек;
- ирригационно-хозяйственными факторами;
- общими гидрохимическими условиями.

Анализ вышеперечисленных факторов для условий водохозяйственных районов бассейна произведен в многочисленных работах Д.М.Каца [33], М.С.Алимова [1], С.Ш.Мирзаева [43,44] и других [7,16,76,77,82]. Поэтому не будем подробно рассматривать этот вопрос, а лишь кратко дадим оценку ресурсов подземных вод бассейна р.Сырдарьи.

Естественные запасы подземных вод представляют собой гравитационные воды, содержащиеся в порах и трещинах водоносных горизонтов в естественных условиях. Мы рассмотрим прогнозные, или потенциальные, эксплуатационные запасы подземных вод бассейна реки Сырдарьи. Прогнозные запасы отражают потенциальный предел возможного использования подземных вод при равномерной их эксплуатации и снижении уровня до максимально допустимой отметки в пределах всей площади распространения основных горизонтов или комплексов. В реальных условиях эксплуатационный отбор подземных вод всегда меньше потенциальных эксплуатационных ресурсов из-за фильтрационной сопротивляемости водоносных пластов [28].

Первые определения количественных значений отдельных составляющих балансов подземных вод в оазисах Средней Азии начали проводиться исследователями в 20-х годах нашего столетия. Реги-

ональные исследования по изучению режима и баланса подземных вод, оценке их запасов начались только лишь после 1950 года.

В Узбекистане итогом многолетних исследований всех гидрогеологов стала оценка и картирование региональных запасов подземных вод основных водоносных горизонтов, которая была произведена в 1963-68 гг. коллективом гидрогеологического треста и ГИДРОИНГЕО под научно-методическим руководством С.Ш.Мирзаева.

В 1960 году начались работы по контролю за использованием и охраной подземных вод на Таджикской территории бассейна. Работу эту и по сей день проводит Кайраккумская гидрогеологическая партия Северной Таджикской экспедиции.

В первые годы отряд охраны подземных вод занимался в основном регистрацией существующих скважин, составлял акты обследования водозаборов. Систематизировать основные сведения по расходам эксплуатационных скважин, их санитарно-техническому состоянию, количеству и качеству подземных вод удалось лишь к 1973 году. Детальная разведка подземных вод с утверждением запасов в ГКЗ СССР и ТКЗ произведена на 34 участках.

Также в начале 60-х годов аналогичная работа началась в Южной Киргизии. Работы по разведке запасов подземных вод и контролю за их использованием и охраной проводит здесь Ошская гидрогеологическая партия. В ГКЗ СССР и ТКЗ Управлением геологии Киргизской ССР утверждены запасы подземных вод по 44 месторождениям.

В таблице I.2 приведены данные об эксплуатационных запасах подземных вод бассейна р.Сырдарьи. Как видно из таблицы I.2, запасы подземных вод оцениваются специалистами НИГО "Узбекгидрогеология" (Л.З.Шерфидинов и др.) в размере 12,7 км<sup>3</sup>,

Таблица I.2

Эксплуатационные запасы и прогнозные ресурсы  
подземных вод в бассейне реки Сырдарьи  
(среднегодовые расходы воды, м<sup>3</sup>/с)

Водохозяйственный район	Эксплуатационные запасы (категории достоверности А-С <sub>2</sub> )	Прогнозные ресурсы (Р)	Всего (А-Р)
1. Верховье Нарына КиргССР, Нарынская область.....	33,0	-	33,0
2. Ферганская впадина .....	154	145	299
КиргССР, Ошская обл.....	22,2	17,3	39,5
Андижанская область .....	5,84	43,2	49,04
Наманганская область.....	29,2	28,0	57,2
Ферганская область.....	56,7	49,8	106,5
Итого по УзССР .....	91,74	121	212,7
ТаджССР, Ленинабадская обл	6,5	6,51	13,01
3. Среднее течение и ЧАКИР.....	62,4	24,4	86,8
Ташкентская область.....	35,8	16,3	52,1
Сырдарьинская область.....	5,0	6,59	11,6
Джизакская область.....	5,3	1,48	6,78
Итого по УзССР.....	46,2	24,4	70,6
ТаджССР, Ленинабадская обл	15,8	-	15,8
КазССР, Чимкентская область	0,47	-	0,47
4. Нижнее течение	17,0	-	17,0
АРТУР (КазССР, Чимкентск.обл.	0,47	-	0,47
Низовья (КазССР, Кызылординск. обл.	7,65	-	7,65
Всего в бассейне р. Сырдарьи	233	169	402
в т.ч. УзССР	138	145	283
КиргССР	55,2	17,3	72,5
ТаджССР	22,2	6,51	28,71
КазССР	17,5	-	17,5

из них эксплуатационные запасы составляют 7,35 км<sup>3</sup>.

К 01.01.1985 г. в ГКЗ СССР и ТКЗ союзных республик утверждены запасы подземных вод в размере 6,34 км<sup>3</sup>.

Первой работой по оценке использования подземных вод на Узбекской территории стал отчет партии контроля за использованием подземных вод НПО "Узбекгидрогеология" за 1971-1974 гг.

С 1975 г. НПО "Узбекгидрогеология" начало выпускать ежегодные информационные бюллетени по контролю за охраной подземных вод от истощения и загрязнения в Узбекской ССР.

С начала 70-х годов ежегодные отчеты о результатах работ по контролю за охраной подземных вод от истощения и загрязнения выпускают: в Северном Таджикистане - Кайраккумская ГПП, по Южной Киргизии - Ошская ГПП, по Казахстану - НПО "Казгидрогеология".

В таблице 1.3 приведена сводка данных об использовании подземных вод в народном хозяйстве бассейна. Из приведенных данных видно, что только за последние 10 лет отбор подземных вод в Ферганской впадине и в среднем течении возрос в 2 раза, в ЧАКИРе - в 1,2 раза.

В 1985 г. в Ферганской впадине было откачено 5,1 км<sup>3</sup>/год подземных вод, от этой величины 64 % приходится на территорию УзССР, 16,4 % - на КиргССР, остальное - на ТаджССР.

В среднем течении в 1985 г. было откачено 1,61 км<sup>3</sup>/год. Из этого объема 62 % приходится на УзССР, 26 % - на ТаджССР, остальное - на территорию КазССР.

В ЧАКИРе было откачено 1,12 км<sup>3</sup>/год. Основной объем - 98 % отбираемой воды - здесь приходится на УзССР.

Как показано в отчетных материалах по контролю за охраной подземных вод от истощения и загрязнения в союзных республиках,

Таблица 1.3

Динамика отбора подземных вод и их использование в народном хозяйстве бассейна р. Сырдарья

Водохоз. р-н район	Суммарный среднегодо- вой отбор, м <sup>3</sup> /с		1985 г., в т.ч. по целям использования, м <sup>3</sup> /с *						
	Количество действующих скважин, шт.		ХПВ	ПТВ	ОРЗ	ВД	ОП	Прочие	
	1975	1980							1985
Ферганская впадина	81,9	131	162	46,7	11,4	79,0	23,7	1,25	0,07
	6630	9947	10346						
Среднее течение	25,6	38,6	51,2	7,77	1,08	11,3	30,7	0,25	-
	2325	3566	4292						
ЧАКИР	28,5	30,6	35,4	22,9	11,4	0,55	0,51	-	-
	2530	3129	3207						
Итого до Чар- даринского водохранилища	136	200	249	77,4	23,9	90,9	54,9	1,50	0,07
	11485	16632	17845						

\* В таблице приняты следующие обозначения: ХПВ - хоз. питьевое водоснабжение (городское и сельск.)  
ПТВ - пром.-тех. водоснабжение; ОРЗ - орошаемое земледелие; ВД - вертикальный дренаж (сбор в  
коллекторно-дренажную сеть); ОП - обводнение пастбищ и водопой скота.

большинство объемов подземных вод откачивается из неутвержденных Государственной комиссией по запасам СССР (ГКЗ СССР) месторождений. Так, в Ферганской впадине в пределах УзССР утвержденные запасы используются на 15 %, в Таджикской ССР - на 43 %, в Киргизской ССР - на 63 %. В среднем течении утвержденные запасы используются в размере 53 %, в ЧАКИРе - только 35 %.

Такое положение является следствием бессистемного сооружения водозаборов ввиду плохой изученности месторождений подземных вод в 60-70-х годах, когда закладывался фундамент использования подземных вод в больших масштабах. Кроме того, грунтовые потоки на орошаемых территориях, эксплуатируемые вертикальным дренажем, не учитываются ГКЗ СССР.

Из таблицы I.3 видно, что в 1985 году суммарный отбор подземных вод в бассейне Чардаринского водохранилища составил 7,85 км<sup>3</sup>/год. Более 36,5 % общего объема было использовано на орошение земель, 31 % - на нужды хозяйственно-питьевого водоснабжения городов и сел, 22 % было откачено скважинами вертикального дренажа и сброшено без использования в коллекторно-дренажную сеть, 9,6 % от общего объема откачиваемой воды было использовано на нужды промышленно-технического водоснабжения, менее 1 % приходится на прочие цели.

### I.2.3. Инфильтрация атмосферных осадков

Инфильтрацию атмосферных осадков в гидрологических расчетах принято относить к числу дополнительных водных ресурсов, которые могут поступать в русла рек в составе боковой приточности. В условиях аридного климата бассейна р.Сырдарьи осадки, выпавшие в вегетационный период, когда испаряемость превышает



их реальную величину, полностью расходуются на испарение. В не-vegetационный период, как только величина осадков становится больше величины испаряемости, избыточная их часть фильтруется в почво-грунты.

Величина инфильтрации атмосферных осадков зависит от климатических условий, уклонов местности, водопроницаемости и мощности пород зоны аэрации. Величина эта изменчива в многолетнем разрезе времени в связи с изменениями метеорологических условий и глубины залегания грунтовых вод.

Примерное среднемноголетнее значение естественного инфильтрационного питания грунтовых вод по расчетам А.В.Лебедева [35] составляет: в верхнем течении и Ферганской впадине - 1,5 - 5,0 мм/год; в среднем течении - менее 0, то есть преобладает испарение; в ЧАКИРЕ и нижнем течении - не более 1,5 мм/год.

Так как выделить отдельно эти воды практически невозможно, мы учитываем их в составе возвратных вод.

### 1.3. Водохозяйственное строительство в бассейне

Началом интенсивного водохозяйственного строительства в бассейне принято считать 1940 г. [29,53].

Для обеспечения прироста гарантированной водоотдачи в бассейне в 40-80-х годах интенсивно велось строительство водохранилищ. Сегодня объем зарегулированной водоподачи в бассейне Сырдарьи составляет 33,2 км<sup>3</sup>/год, что за счет водохранилищ многолетнего регулирования на 5,1 км<sup>3</sup> больше ресурсного стока (табл.1.4, данные предоставлены Н.П.Стариковым).

Строительство водохранилищ, создание новых и реконструкция

Таблица I.4

Технические параметры водохранилищ в бассейне р. Сырдарья  
(по данным САНИГИ - Стариков Н.П.), км<sup>3</sup>

Водохранилища	Норма стока в створе т/у	Объем водохранилища				Ресурсный сток 90% обеспеченности			
		Полный	Полезный	Технически возможная сброска МО	Пределно возможный объем сброски	Естественный	Потребляемый	Зарегулированный	Прирост гарантированно до ре-сурса
Токтогульское	11,4	19,5	14,0	2,20	16,2	8,95	4,2	12,0	7,8
Андижанское	3,8	1,75	1,60	-	1,60	2,25	1,3	3,1	1,8
Кайраккумское	25,6	3,41	2,52	0,84	3,36	19,6	12,3	18,3	6,0
Чарвакское	6,6	2,01	1,58	0,24	1,82	4,6	2,4	5,2	2,8
Чардаринское	34,9	5,56	4,70	0,77	5,47	26,1	17,0	21,2	4,2
Итого 5 водохранилищ	-	32,2	24,4	4,05	28,4	-	17,0	32,4	15,4
Малые водохранилища	-	2,45	2,3	-	2,85	-	0,2	0,8	0,6
Всего	37,3	34,6	26,7	4,05	30,7	27,1	17,2	33,2	16,0

старых оросительных систем направлены на рост орошаемых земель и повышение их гарантированной водообеспеченности. Наличие орошаемых площадей и их динамика показаны в таблице I.5. Как видно из этих данных, к 1985 г. орошаемая площадь увеличилась по сравнению с 1940-м годом в Ферганской впадине в 1,4 раза; в ЧАКИРе - в 1,6 раза; в среднем течении - в 6,7 раза. В целом по бассейну площадь орошаемых земель за этот период увеличилась в 2,2 раза. Ввиду того, что использование водных ресурсов в бассейне достигло своего предела, прироста орошаемых площадей в перспективе не ожидается.

В соответствии с ростом орошаемых площадей увеличивался и отбор стока из рек. Отсутствие сведений о водозаборе до 50-х годов в среднем течении и в ЧАКИРе не позволяет провести более полный анализ динамики изъятия стока из реки. Однако даже имеющиеся сведения наглядно иллюстрируют, как существенно возросла величина водозабора во всех водохозяйственных районах бассейна. Наиболее интенсивно водозабор увеличивался в среднем течении, высокие темпы роста наблюдались и в Ферганской впадине. Самый низкий рост - в ЧАКИРе.

Величина водозабора из поверхностных вод в пределах Ферганской впадины к середине 80-х годов увеличилась по сравнению с концом 30-х в 2,6 раза. Такое же увеличение произошло и в среднем течении, только за более короткий период - с середины 50-х годов до середины 80-х. В пределах ЧАКИРа водозабор за этот же период увеличился лишь в полтора раза.

С начала 70-х годов сток, сформированный в горах, практически полностью изымался из рек. В последние годы суммарный водозабор из поверхностных вод стал превышать величину притока

Таблица 1.5

Динамика используемых орошаемых площадей в бассейне р. Сырдарья, тыс. га

Уровень	Ферганская владина	Среднее течение	ЧАКИР	Итого до Чардаринского водохранилища	Источник данных
1913	743	57	219	1019	Ирригация Узбекистана, т.2
1940	847	118	249	1241	--"
1960	993	340	285	1617	--"
1965	1040	420	364	1824	Схема КИОВР, СредАзгипроводжлопок, 1979г.
1970	1075	510	334	1919	--"
1975	1167	640	356	2163	--"
1980	1227	687	389	2303	Отчеты облПУОСов ММВХ УзССР, Кирг ССР, ТаджССР, КазССР (ежегодные)
1981	1233	705	391	2329	--"
1982	1243	715	394	2352	--"
1983	1252	718	397	2367	--"
1984	1260	721	398	2379	--"
1985	1282	721	399	2402	--"

из области формирования стока за счет неоднократного использования возвратных вод. В отдельные годы это превышение бывает особенно велико. Например, в маловодном 1975 г. водозабор в пределах бассейна до Чардаринского водохранилища составил 138 % от сформированного в горах поверхностного стока, в 1983 г. - 124 %. Даже в относительно благоприятные по водообеспеченности годы водозабор превышает поверхностный приток. Так, в 1980 году водозабор составил 104 %, а в 1985 году - 108 % от поверхностного притока.

Помимо орошения, водные ресурсы используются на водоснабжение промышленности и коммунального хозяйства, а также на обводнение пастбищ. Водозабор на эти нужды сегодня составляет менее 10 % от суммарного по бассейну. Безвозвратное водопотребление промышленности составляет в среднем около 32 %, а коммунального хозяйства - 88 % объема воды, забираемой на эти нужды [29,72]. В бассейне обводняется свыше 22 млн га пастбищ, которые расположены в горной зоне, на предгорных равнинах и в пустынях по нижнему течению реки.

Рост площадей орошения и их водообеспеченности вызвало необходимость строительства новых и реконструкции существующих коллекторно-дренажных систем. В таблице I.6 приведена характеристика коллекторно-дренажной сети и вертикального дренажа бассейна по данным Минводхозов союзных республик. Как видно из таблицы I.6, только за последние 16 лет (1970-1985 гг.) протяженность коллекторно-дренажной сети на территории до Чардаринского водохранилища увеличилась более чем в 2 раза. Площадь земель, обеспеченных дренажем, за это время увеличилась в 1,6 раза.

Таблица 1.6

Характеристика коллекторно-дренажной сети и вертикального дренажа бассейна  
р. Сырдарьи (по данным ММВХ УзССР, ТаджССР, КазССР, КиргССР)

Водохозяйственный р-н	Ферганская впадина			Среднее течение			ЧАКИР		
	1970	1980	1985	1970	1980	1985	1970	1980	1985
Характеристика									
Орошаемая площадь, тыс. га	1076,9	1227,3	1254,8	544,0	721,4	765,5	325,5	388,9	400,0
Протяженность КДС, км	16769	23417	24725	6186	11520	24934	5377	6654	8236
В т.ч. межхозяйственная	5946	8201	8708	1399	2160	2898	1449	2249	2707
Внутрихоз. закрытая*	14,3	206,2	484,5	288,2	4252	14969	6,7	42,2	65,5
Кол-во скважин верт. дренажа, шт.	280	807	868	350	1458	2070	100	75	73
Площадь обеспеченная дренажем, тыс.га	403,9	509,8	537,4	293	468,2	634,3	183,4	227,1	232,9
В т.ч. закрытым	0,4	5,7	10,5	147	276	311	0,6	1,8	2,8
Вертикальным дренажем	10,2	65,5	101	93,5	127	261	2,7	9,9	11,7
Годовой сток КДВ млн. м <sup>3</sup>	7884	8956,2	7685	2633,3	3910,5	3380	980,8	961,8	1393,1

\* Не учтена зона, осваиваемая Средазирсовхозстроем.

Соответственно возрос и объем коллекторно-дренажного стока. Так, в Ферганской впадине коллекторный сток к 1985 году увеличился в 14 раз по сравнению с концом 30-х годов. В среднем течении с начала 50-х годов и до середины 80-х сток коллекторно-дренажных вод возрос в 4 раза. В пределах ЧАКИРА эта величина увеличилась с середины 50-х годов в 3 раза.

#### 1.4. Изменение стока рек под влиянием антропогенных факторов

Потребление воды и обеспечивающие его инженерные мероприятия оказывают существенное влияние на гидрологический цикл и водные ресурсы рек. Основные изменения в водном режиме связаны с использованием водных ресурсов для сельскохозяйственных целей и, прежде всего, с развитием орошаемого земледелия.

Исследованиям и оценке стока рек под влиянием орошения в современной литературе посвящено немало работ. Следует отметить известные работы в этом направлении И.А.Шикломанова [79], А.А.Соколова [59], С.М.Перехреста [47], С.И.Харченко [74], Ф.Э.Рубиновой [52-54], ряда зарубежных авторов [85,88,89,94] и других [3,4].

Результаты влияния антропогенного воздействия на водные ресурсы общеизвестны. Во-первых, регулирование стока рек водохранилищами изменяет водный режим по длине реки, а также режим наносов. Во-вторых, увеличение водозаборов по длине реки на орошение и другие нужды уменьшает сток. Изменяется структура затрат стока. В бассейне р.Сырдарьи изъятие стока рек, главным образом на орошение, началось с незапамятных времен. Однако до

начала 40-х годов нашего столетия режим годового стока Сырдарьи можно считать близким к естественному, поскольку снижение стока за счет антропогенного вмешательства в тот период не превышал 2-5 % [53,79]. Наиболее полно вопросы изменения структуры затрат стока после 1940 года изучены в работах Ф.Э.Рубиновой [52,53]. Как видно из этих работ, процесс увеличения затрат стока особенно интенсивно происходит начиная с 1970 года.

Несмотря на интенсивную хозяйственную деятельность в бассейне в 50-60-х годах, существенного уменьшения стока не наблюдалось. Объясняется это влиянием компенсационных факторов, обусловленных сокращением непродуктивных потерь на испарение на водосборной территории [79].

В общем случае затраты стока слагаются из суммарного испарения с орошаемых земель и с неорошаемых, с водотоков и водоемов; промышленного и коммунального водопотребления; объемов стока, идущих на заполнение "мертвых" объемов водохранилищ и пополнение запасов грунтовых вод и других потерь. Как показано в работах И.А.Шикломанова [79] и Ф.Э.Рубиновой [52,53], абсолютная величина уменьшения стока под влиянием антропогенных факторов в маловодные годы значительно больше, чем в средние и тем более в многоводные годы. В многоводные годы в значительной степени сказываются упомянутые выше компенсационные факторы.

Интенсивное мелиоративное и водохозяйственное строительство в бассейне существенно отразилось на стоке боковых притоков основного ствола. Вода большинства боковых притоков в настоящее время не поступает в основной ствол. Особенно заметно это явление стало проявляться к середине 70-х годов в пределах Ферганс-



кой впадины, где сток боковых притоков почти полностью используется на хозяйственные нужды. "Хвостовые" участки рек здесь либо перехватываются крупными каналами - БФК, СФК, ЮФК, либо заканчиваются веером ирригационных каналов. Примером последних могут служить реки Исфара и Сох. Кроме того, "хвостовые" участки некоторых рек в настоящее время выполняют функции коллекторов, то есть сток по ним учитывается в составе коллекторно-дренажных вод.

Следствием этого процесса является изменение структуры боковой приточности. До 30-х годов объем боковой приточности почти полностью состоял из устьевых сбросов притоков и руслового выклинивания. В современных условиях в каждом водохозяйственном районе бассейна сложилась новая структура боковой приточности.

Анализ русловых водных балансов показывает, что в пределах Ферганской впадины сток боковой приточности состоит на 60 % из коллекторно-дренажных вод и на 40 % из руслового выклинивания.

Лишь в отдельные периоды до основного ствола доходят воды боковых притоков в виде паводковых селей.

В ЧАКИРе примерно 50 % боковой приточности составляет русловое выклинивание, 40 % - коллекторно-дренажные воды и 10 % - сток мелких саев и рек. В пределах среднего течения боковая приточность состоит на 45 % из коллекторно-дренажного стока, 40 % - сброса речных вод из ЧАКИРа и 15 % - руслового выклинивания.

Кроме количественных изменений, в результате антропогенного воздействия происходит ухудшение и качества водных ресур-

сов. В результате значительного увеличения количества сточных вод от промкомбыта и коллекторно-дренажного стока от орошения происходит рост минерализации речных вод, наблюдающийся со второй половины 50-х годов [53,54], что связано главным образом с интенсивным развитием орошения.

Одновременно с минерализацией происходит повышение в речной воде предельно допустимых концентраций (ПДК) отдельных ионов - сульфатов, хлоридов, магния и др. Возрастает наличие в воде биогенных компонентов и пестицидов. Происходит это под влиянием изменения структуры по анионно-катионному составу коллекторно-дренажного стока и сточных вод от промкомбыта.

Вопросы качества водных ресурсов бассейна р.Сырдарьи достаточно полно изучены и освещены в работах А.П.Орловой [45,46], Ф.Э.Рубиновой [52-54], Э.И.Чембарисова [69,78] и других [48,50]. Поэтому мы не будем останавливаться подробно на освещении этой проблемы.

## Р Е З Ю М Е

Итак, мы рассмотрели природные условия бассейна, оценили водные ресурсы и изменения их под воздействием водохозяйственных мероприятий. Общеизвестно, что стратегия управления водными ресурсами должна основываться на выявлении закономерностей формирования и распределения ресурсов по территории и во времени. Однако, прежде чем привести результаты исследования особенностей формирования боковой приточности в водохозяйственных районах бассейна (глава 3), остановимся на краткой характеристике автоматизированной системы управления водохозяйственным комплексом (ВХК) бассейна р.Сырдарьи.

## ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АСУБ СЫРДАРЬИ

Автоматизированная система управления ВХК бассейна реки Сырдарья относится к классу информационно-управляющих систем и предназначена для рационального использования водных ресурсов бассейна путем планирования оптимального режима расходования воды в интересах водного хозяйства, мелиорации, энергетики и других водопотребителей и водопользователей.

В целях упрощения управления объектами ВХК бассейна р.Сырдарья принята трехуровневая иерархическая структура управления, которая представляется в форме взаимодействующих территориальных управлений. Организационная структура АСУБ Сырдарья следующая (см.приложение I):

- первый уровень - центральное бассейновое управление, которое ведется из центрального диспетчерского пункта (ЦДП) при Бассейновом водохозяйственном объединении (БВО "Сырдарья");

- второй уровень - территориальное управление, которое ведется из диспетчерских пунктов территориальных управлений (ТУ). В I очереди АСУБ - пять ТУ: Учкурганское (в пределах верховьев Нарына), Андижанское и Ленинабадское (в пределах Ферганской впадины), Гулистанское (в пределах среднего течения), Чирчикское (в пределах ЧАКИРа);

- третий уровень - пункты контроля и управления (ПКУ), к ним относятся объекты: гидросты на основном стволе, головные регуляторы магистральных каналов, насосные станции и другие сооружения (в I очереди АСУБ - 75 ПКУ).

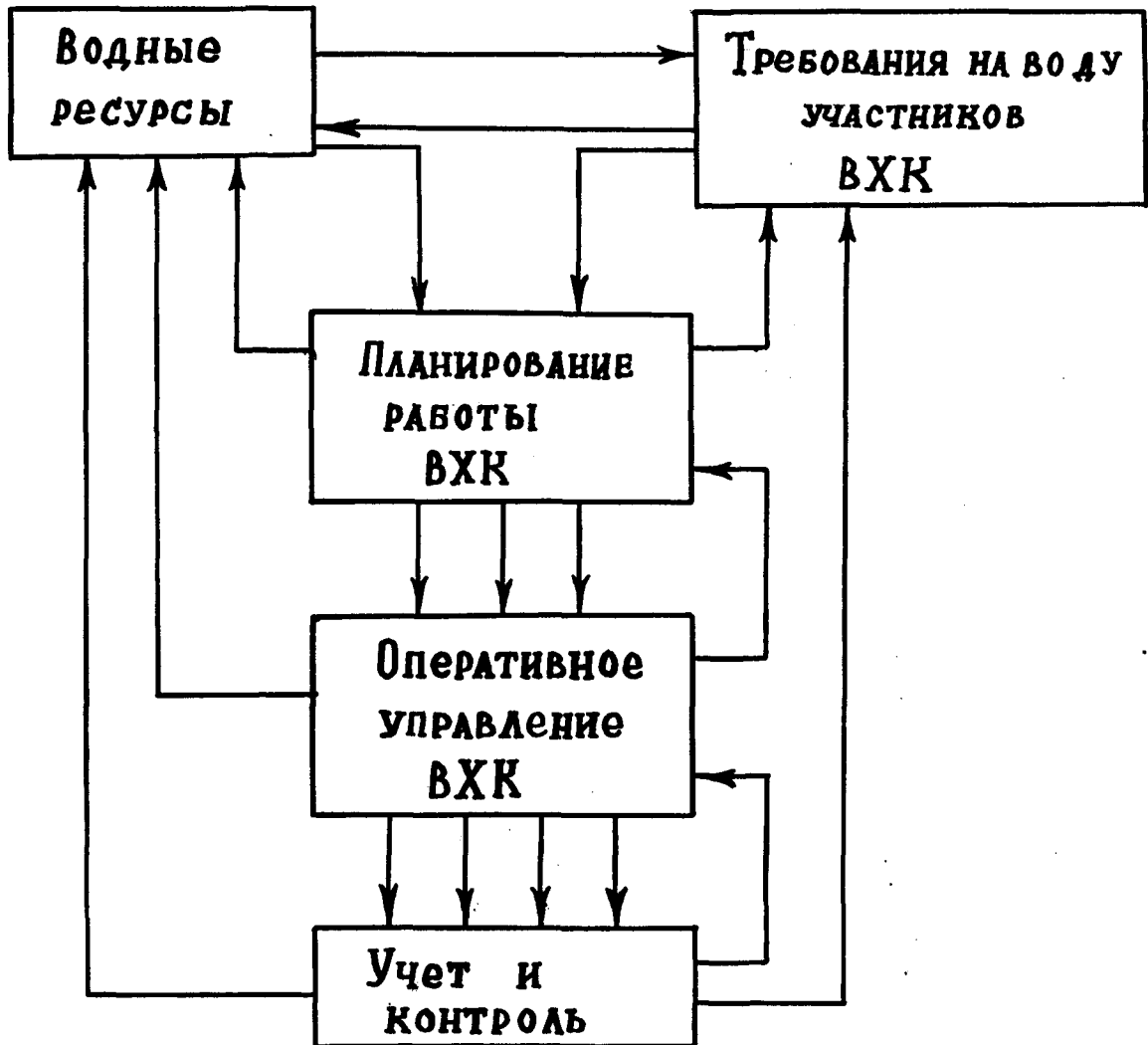
На уровне бассейнового управления в ЦДП решается комплекс задач подсистем "Водные ресурсы", "Требования на воду", "Планирование". Здесь на основе требований участников ВХК на воду с учетом прогноза водных ресурсов и уровня дефицита воды на предстоящий водохозяйственный год формируются планы водораспределения на вегетационный и межвегетационный периоды подекадно в целом по бассейну и для каждого ТУ.

В диспетчерских пунктах ТУ решается комплекс задач подсистемы "Оперативное управление". Здесь осуществляется водораспределение между ПКУ в пределах каждого ТУ.

Анализ качества функционирования подсистем осуществляется в ЦДП комплексом задач подсистемы "Учет и контроль". На рис. 2.1 приведена схема связей подсистем АСУБ Сырдарьи.

Подсистема "Водные ресурсы" АСУБ Сырдарьи на стадии I очереди включает в себя 12 задач. Пять - информационные: получение информации о притоке поверхностных вод по основному стволу, о местных источниках, о коллекторно-дренажном стоке, о водозаборе подземных вод, об объемах воды в водохранилищах. Семь задач - прогнозные: прогноз притока по основному стволу, стока местных источников, боковой приточности, коллекторно-дренажного стока, руслового выклинивания, эксплуатационных запасов подземных вод и суммарных располагаемых водных ресурсов.

Основные функции информационных задач - получение оперативной информации о водных ресурсах (ежедекадно) от организаций, осуществляющих учет воды, и преобразование полученной информации в вид, удобный для АСУБ; создание ретроспективных рядов этой информации; обеспечение контроля прогнозных задач.



**Рис. 2.1. СХЕМА СВЯЗЕЙ ПОДСИСТЕМ АСУБ СЫРДАРЬИ**

Для прогнозных задач разработана методика прогнозирования располагаемых водных ресурсов по отдельным генетическим составляющим с заблаговременностью один год с внутригодовым распределением (подекадно) прогнозируемого годового стока.

Подсистема "Требования на воду" предназначена для оценки потребностей в воде участников ВХК (орошение, промышленность, теплоэнергетика, коммунально-бытовые нужды, рыбное хозяйство и др.), необходимых для их нормальной хозяйственной деятельности.

Исходная информация для расчета водопотребления представляется участниками ВХК, кроме потребностей на гидроэнергетику, которые поступают из подсистемы "Планирование". Содержание и состав исходной информации идентичен принятой в практике планирования водопользования эксплуатационных водохозяйственных организаций Госконцерна "Водстрой". Требования на воду составляются отдельно на вегетационный и межвегетационный периоды. Потребители воды разделены на три категории (промтехнужды, гидроэнергетика, орошение), поскольку планирование водораспределения для них осуществляется по различным критериям.

Все виды потребностей в воде представляются в виде декадных расходов водоподачи и водозабора по уровням управления и категориям потребителей.

Подсистема "Планирование работы ВХК" предназначена для выработки показателей рационального плана работы ВХК бассейна реки Сырдарья. План имеет годовые и внутригодовые (декадные) показатели.

Участники ВХК в задачах подсистемы представлены своими требованиями (планами водоподачи) и экономическими показателями ущерба от недоподачи воды. При этом считается, что при дефи-

ците водных ресурсов производится ущемление по водоподаче только гидроэнергетики и сельского хозяйства, а требования остальных участников ВХК удовлетворяются полностью.

Подсистемой "Планирование" на основе сезонных и годовых прогнозов стока рек бассейна, представленных в декадном разрезе, разрабатывается план аккумуляирования и распределения водных ресурсов на расчетный период. Долгосрочный (годовой) план предполагает разработку оптимального водохозяйственного баланса как по отдельным участкам, так и по всему бассейну в целом. При этом статьи водохозяйственного баланса рассчитываются на каждую декаду планируемого года.

Сущность задач подсистемы "Оперативное управление" заключается в целенаправленном и методическом воздействии на объект с целью выработки своевременных решений по выполнению оперативных планов на основе достоверной информации с объекта. Подсистема выполняет следующие функции:

- расчет диспетчерского плана-графика на основе декадного плана водораспределения с суточной дискретизацией с учетом времени добегания расходов воды на ПКУ;
- расчет режимов работы ПКУ;
- контроль выполнения команд управления ПКУ;
- оценка фактического состояния ПКУ;
- корректировка режимов работы ПКУ.

Подсистема "Учет и контроль" предназначена для совершенствования организации учета и контроля водопотребления, а также выполнения информационных функций, связанных с обеспечением всех подсистем АСУБ необходимыми данными.

Решение задач подсистемы позволяет:

- обеспечить оперативность получения на ЦДП информации для анализа водохозяйственной обстановки и совершенствования системы планирования водопользования на перспективу;

- максимально разгрузить управленческий персонал от информационно-канцелярской работы;

- накопить статистические данные по водопотреблению в разрезе объектов ВХК и отраслей народного хозяйства с целью улучшения планирования использования водных ресурсов на последующие периоды;

- обеспечить контроль выполнения плана водопользования;

- учесть выполнение требований отраслей народного хозяйства на воду.

Экономическая эффективность внедрения АСУБ Сырдарьи определяется следующими показателями:

1. Ценность информации. Фактор ценности информации складывается из новизны сведений, точности данных, своевременности и полноты их поступления, активности восприятия.

2. Повышение производительности труда эксплуатационников путем: автоматизации значительной части ручных работ (сбор, регистрация, учет, расчет расхода воды) и представления оперативной информации для принятия решений. Снижаются затраты труда и времени на производство регулировок попусков воды в соответствии с графиком водоподачи, регулировочных и эксплуатационных работ на сооружениях.

3. Экономия водных ресурсов за счет повышения качества водоподачи посредством оптимизации режима работы водохранилищ, усовершенствования технологии управления процессом водозабора, водораспределения на гидросооружениях, снижения непродуктивных



эксплуатационных потерь.

Вопросы обоснования эффективности подсистемы "Водные ресурсы" описаны в работе [64].

## 2.1. Информационное обеспечение подсистемы "Водные ресурсы" АСУБ Сырдарьи

Как известно, от качества программно-математического обеспечения зависит эффективность использования ЭВМ и в конечном счете - всей АСУБ. При разработке математического аппарата подсистемы "Водные ресурсы" АСУБ Сырдарьи мы исходили из того, чтобы алгоритмы задач, с одной стороны, достаточно точно отражали реальность, а с другой - не были излишне сложными. Мы учли те составляющие водных ресурсов и закономерности их динамики, которые необходимы, с нашей точки зрения, для принятия решений в подсистемах "Планирование" и "Оперативное управление", а также опирались на ту информацию, которая сегодня имеется в распоряжении водохозяйственных организаций бассейна р.Сырдарьи. Алгоритмы решения задач подсистемы "Водные ресурсы" описаны в работах [49,61]. Вся информация подсистемы "Водные ресурсы" разделяется на входную, промежуточную и выходную. Входная информация представляет собой совокупность исходных данных, необходимых для решения задач подсистемы. К исходным данным относятся все первичные гидрологические данные и нормативно-справочная информация.

Промежуточная информация получается в результате решения задач и используется в качестве входной для решения последующих задач как в своей подсистеме, так и в других. Входная и проме-



жуточная информация составляют информационную базу подсистемы.

К выходной относится информация, получаемая как результат решения задач подсистемы и предназначенная для непосредственного использования при принятии решений по управлению водными ресурсами бассейна в подсистемах "Планирование" и "Оперативное управление".

Информационная база подсистемы "Водные ресурсы" представляет собой набор массивов данных (файлов) последовательной и индексно-последовательной организации. Ввод информации для подсистемы осуществляется специальными программами загрузки баз данных по разработанным формам входных документов.

Гидрологическая информация сконцентрирована в II файлах (см. Приложение 2).

Файл F I6I - "Среднедекадные расходы воды в створах ПКУ" формируется фактическими данными гидрометрических наблюдений на головных сооружениях крупных ирригационных каналов, забирающих воду из основного ствола реки.

Файл F IO3 - "Среднедекадные расходы воды по рекам" формируется оперативными фактически наблюдаемыми данными по ресурсоформирующим створам на реках, а также по выходным створам ТУ и водохозяйственных районов (всего 7I наименование).

Файл F II5 - "Среднедекадные расходы по коллекторам" формируется фактическими оперативными данными о коллекторно-дренажном стоке, поступающими с устьевых створов на коллекторах и сбросах (более I90 наименований).

Файл F I27 - "Информация о подземных водах" формируется среднегодовыми данными:

- об утвержденных запасах подземных вод в ГКЗ СССР и ТКЗ

республик;

- об отборе подземных вод, в т.ч. по целям хозяйственного использования;

- количество эксплуатируемых скважин.

Информация дана в разрезе административных единиц (области, районы).

Файл F I37 - "Объемы и уровни верхнего бьефа водохранилищ" формируется данными, фактически наблюдаемыми в последний день декады по 5 водохранилищам.

Вышеперечисленные 5 файлов формируются при решении информационных задач. Информация, заложенная в них, используется для контроля прогнозных задач и создания ретрорядов. Ретроинформация (за весь период наблюдений) хранится в четырех файлах.

Файл F III - "Ретроряд ресурсов ствола и местных источников" формирует ряды среднемесячных расходов воды по рекам бассейна за весь период наблюдений (38 наименований рек - створов).

Файл F I23 - "Ретроряд коллекторно-дренажного стока" формирует ряды среднемесячных расходов воды коллекторно-дренажного стока в пределах территориальных управлений и водохозяйственных районов за весь период наблюдений.

Файл F I33 - "Ретроряд подземных вод" формирует ряды среднегодовых расходов воды суммарного отбора подземных вод в пределах ТУ и ВХР за весь период учета. Отдельно выделяется объем отбираемой воды с минерализацией выше 2 г/л.

Файл F I45 - "Ретроряд объемов воды в водохранилищах" формирует ряды среднемесячных расходов регулирования пяти основных водохранилищ бассейна (Токтогульское, Андижанское, Кайраккумское, Чарвакское и Чардаринское) за весь период их эксплуатации.

Ретроряды формируются с целью их использования в перспективе для совершенствования прогнозных алгоритмов.

Для прогнозных задач подсистемы входной информацией является файл F I49 - "Прогноз на вегетационный период по рекам бассейна", данные для которого поступают из Госкомгидромета УзССР в виде официального документа "Консультация "прогноз" средних расходов воды рек Средней Азии на вегетационный период 19\_\_ года".

Выходная информация всех прогнозных задач сведена в файл F I57, который условно назван "Прогнозы". Здесь формируется рассчитанный годовой сток с разбивкой на 36 декад по всем составляющим водных ресурсов бассейна в разрезе ПКУ, ТУ, ВХР и других территориальных единиц. Данные этого файла являются входными для других подсистем. Кроме того, по данным файла F I57 выдаются на печать все выходные формы (документы) подсистемы "Водные ресурсы". Поскольку прогнозные величины рассчитаны с учетом стандартного отклонения  $\sigma$ , все прогнозные значения в файле F I57 представлены в интервале  $0,674\sigma$ , т.е. даны минимальное, среднее и максимальное прогнозные значения.

Нормативно-справочная информация подсистемы "Водные ресурсы" содержится в IO файлах. Для представления гидрологической информации в виде, удобном для обработки на ЭВМ, были произведены классификация и кодирование водохозяйственных объектов, охватываемых АСУБ. С этой целью в подсистеме сформированы следующие файлы.

Файл F IO2 - "Справочник-кодификатор рек - створов", где всем существующим гидропостам Госкомгидромета на реках бассейна присвоены принятые в АСУБ цифровые коды.

Ф 119 - "Справочник-кодификатор коллекторов", где всем коллекторам и сбросам, собирающим коллекторно-дренажные воды, учитываемые гидрометрической службой Минводхозов союзных республик, присвоены принятые в АСУБ цифровые коды.

Ф 131 - "Справочник-кодификатор административных единиц", где административным областям и районам присвоены принятые в АСУБ цифровые коды.

Ф 141 - "Справочник-кодификатор водохранилищ", где пяти крупнейшим водохранилищам бассейна присвоены принятые в АСУБ цифровые коды.

Кроме того, были сформированы: файл "Справочник кодов задач, используемых в программах подсистемы "Водные ресурсы", и файл "Справочник-кодификатор территориальных управлений и ПКУ".

Ряд файлов хранит информацию, необходимую для численной реализации алгоритмов задач подсистемы.

Файл Ф 153 - "Справочник коэффициентов уравнений для расчета годового прогноза" содержит численные значения коэффициентов уравнений множественной регрессии для расчета поверхностного притока по основному стволу, ресурсов местных источников и боковой приточности, а также значения коэффициентов полинома второй степени для расчета руслового выклинивания.

Файл Ф 171 - "Справочник коэффициентов уравнений для прогнозов коллекторно-дренажных вод".

Файл Ф 159 - "Справочник процентов внутригодового распределения годового стока" представляет собой таблицу подекадного распределения (в процентах) расчетного годового стока по всем рекам, участкам, территориальным управлениям, водохозяйственным районам. Внутригодовое распределение прогнозируемого стока

производится согласно рекомендациям [55].

Файл F I79 - "Справочник ключей расчета располагаемых ресурсов" включает в себя цифровые коды (ключи) для нахождения нужной информации в файле F I57 "Прогнозы".

Файл F I67 - "Справочник ключей для контроля прогноза" служит для выбора нужной информации в файле F I57 "Прогнозы" и в информационных файлах с целью сопоставления прогноза с фактом.

В 1986 году при Бассейновом водохозяйственном объединении "Сырдарья" (БВО), которое эксплуатирует АСУБ, была создана диспетчерская служба для сбора оперативной водохозяйственной информации, пополнения ретрорядов и других файлов подсистемы "Водные ресурсы", а также других подсистем. В диспетчерскую службу БВО "Сырдарья" регулярно поступают все официальные документы Госкомгидромета (гидрологические бюллетени, консультации, прогнозы), а также справочники "Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши". Кроме того, по запросам БВО "Сырдарья" получает информацию о текущем режиме рек, водохранилищ, каналов, коллекторов, а также информацию об использовании подземных вод в бассейне р.Сырдарьи (форма 2 ТП - водхоз).

В перспективе предусмотрена подсистема автоматизированного получения гидрологической информации, что повысит оперативность и качество обслуживания потребителей АСУБ.

## 2.2. Программное обеспечение подсистемы "Водные ресурсы"

Функционирование информационных задач подсистемы "Водные ресурсы" (I очередь) не нуждалось в разработке сложного программного обеспечения. Процедура решения этих задач сводится к записи информации, ее хранению и выдаче по запросу. Для прогнозных задач был разработан специальный комплекс программной документации, который включает в себя семь программ (см. Приложение 2).

Программа PI051 предназначена для расчета прогноза притока по стволу, боковой приточности, ресурсов местных источников, руслового выклинивания. Прогноз выдается на водохозяйственный год с разбивкой по декадам. Выходная информация формируется в файле F I57 "Прогноз".

Программа PI052 предназначена для расчета отклонений прогнозных величин всех составляющих водных ресурсов за различные временные интервалы (декада, месяц, квартал, вегетация, межвегетация, год) от фактических значений. Выходной документ по результатам работы программы - "Ведомость сравнения прогноза с фактом", где, кроме абсолютного значения отклонений, дана и оценка качества прогноза. Прогноз считается удовлетворительным, если отклонение не превышает 10 % от абсолютной фактической величины. Кроме того, на печать выдается документ "Расчет нормы стока", в котором дана среднеголетняя величина с учетом вновь поступивших фактических данных.

Программа PI053 предназначена для ежегодного перерасчета коэффициентов уравнений для прогноза ресурсов ствола и ресурсов

местных источников, а также руслового выклинивания по мере накопления фактической информации за прошедший год. Коэффициенты рассчитываются методом наименьших квадратов в результате линейного регрессионного анализа ретрорядов по рекам - створам.

Выходная информация записывается в обновляемый файл F I53 "Коэффициенты уравнений для расчета годового прогноза".

Программа P108I предназначена для расчета прогноза коллекторно-дренажных вод на год с разбивкой по декадам для заданной территории. Выходная информация записывается в файл F I57 "Прогноз".

Программа P110I предназначена для прогнозирования эксплуатационных запасов подземных вод на предстоящий год с учетом возможного маловодья. Выходные данные записываются в файл F I57 "Прогноз".

Программа P111I предназначен для формирования суммы прогнозных располагаемых водных ресурсов двумя способами. По первому способу располагаемые ресурсы рассчитываются как сумма притока по основному стволу и боковой приточности (в целом).

По второму способу располагаемые ресурсы рассчитываются как сумма притока по стволу, коллекторно-дренажных вод и руслового выклинивания. Выходная информация записывается в файл F I57 "Прогноз". Расчет двумя способами производится с целью сопоставления результатов, полученных различными методами. Боковая приточность в целом прогнозируется по методике Госкомгидромета [13,14]. Второй способ описан в настоящей работе (главы 3 и 4).

Программа P1112 предназначена для выдачи на печать выходных документов подсистемы "Водные ресурсы".



1. "Прогноз и внутригодовое распределение ресурсов местных источников".
2. "Прогноз и внутригодовое распределение ресурсов ствола реки (2 способа)".
3. "Прогноз располагаемых водных ресурсов по стволу и бассейну р.Сырдарьи (на запрашиваемый период)".

### Р Е З Ю М Е

Итак, из краткого описания АСУБ Сырдарьи видно, что задачи долгосрочного прогнозирования боковой приточности по ее отдельным составляющим являются лишь малой частью огромного комплекса задач. Однако значение этих задач имеет первостепенную важность, поскольку возвратные воды, входящие в состав боковой приточности, с каждым годом все больше и больше загрязняют речной сток.

Далее приведем анализ закономерностей формирования этих вод в бассейне р.Сырдарьи.

### ГЛАВА 3. ФОРМИРОВАНИЕ БОКОВОЙ ПРИТОЧНОСТИ В БАССЕЙНЕ И МЕТОДЫ ЕЕ ОЦЕНКИ

Под боковой приточностью на участке реки понимается приток в реку с части водосбора, заключенного между верхним и нижним створами [39-41]. В реальных условиях боковая приточность не поддается гидрометрическому измерению (за исключением некоторых ее генетических составляющих), поэтому в практике водохозяйственных расчетов величина боковой приточности определяется посредством составления русловых водных балансов.

Общеизвестно, что полно учесть водные ресурсы бассейна при их использовании можно путем составления русловых балансов. Изучение водного баланса основывается на использовании закона сохранения вещества - воды. В данном случае он заключается в том, что для любого участка реки в течение любого периода времени разность между общим приходом и расходом воды равна изменению ее запаса на данном участке [38,39].

#### 3.1. Структура боковой приточности

В общем случае составление русловых водных балансов с учетом хозяйственного использования вод осуществляется по уравнению [39-41]:

$$U_1 + U_B - U_{op} - U_2 - A - E = 0, \quad (3.1)$$

в котором приняты следующие обозначения:  $U_1$  - приток речных вод, зафиксированный на верхнем (входном) гидростворе участка

реки;  $U_b$  - боковая приточность на расчетном участке;  $U_{ор}$  - забор воды из реки на хозяйственные нужды (в основном на орошение);  $U_2$  - сток реки в нижнем створе реки;  $A$  - изменение запасов воды в водохранилищах (аккумуляция), построенных в русле реки на участке;  $E$  - испарение с водной поверхности.

Если уравнение (3.1) рассмотреть более детально, то становится ясно, что боковая приточность представляет собой сумму следующих элементов руслового баланса:

$$U_b = U_{ус} + A + C \pm U_{рус}, \quad (3.2)$$

где:  $U_{ус}$  - устьевые сбросы боковых притоков, определяемые по данным гидрометрических измерений;  $A + C$  - дренажные и сбросные воды, поступающие в основной ствол на данном участке по коллекторам; учитываются гидрометрической службой Минводхозов союзных республик;  $U_{рус}$  - подземная составляющая боковой приточности, выклинивающаяся в русло реки, как в естественную дренаж ("русловое выклинивание" или "русловые потери" - в зависимости от знака). Эта величина представляет собой остаточный член уравнения руслового водного баланса и включает в себя неизмеряемые элементы баланса, а также погрешности измерения и расчетов всех членов баланса  $\xi$ .

К неизмеряемым элементам руслового баланса относятся: поверхностный сток с межустьевых пространств расчетного участка -  $U_{мус}$ ; подрусловой сток -  $\Pi$ ; часть грунтового потока, дренируемого рекой со всего прилегающего водосбора -  $U_{гв}$ ; расходы руслового регулирования -  $U_{рр}$ ; а также береговое регулирование -  $U_{бр}$ , т.е.

$$U_{рус} = U_{мус} \pm \Pi \pm U_{гв} \pm U_{рр} \pm U_{бр} \pm \xi. \quad (3.3)$$

Поверхностный сток с межустьевых пространств (с участков между устьями боковых рек и коллекторов) формируется за счет той небольшой доли атмосферных осадков, которая не израсходовалась на испарение, инфильтрацию и не поступила в искусственную гидрографическую сеть, а стекла в реку.

Подрусловой сток - это сток в толще аллювия вдоль русла реки, который не учитывается на гидрометрических постах. Формируется подрусловой сток за счет потерь на фильтрацию поверхностного стока в пределах первой речной террасы в верхнем участке, который снова поступает в этот же источник в нижнем участке.

Дренируемая рекой часть подземного стока с водосборной территории по своему генезису складывается из непосредственно естественного грунтового потока, который по пути движения из зоны формирования пополняется также за счет фильтрации атмосферных осадков и оросительной воды на орошаемых землях.

Расход воды на русловое регулирование (м<sup>3</sup>/с) предлагается [41] определять по формуле:

$$Q_{pp} = \frac{\Delta W}{86400 \cdot T}, \quad (3.4)$$

где:  $\Delta W = W_k - W_n$  - изменение объема (м<sup>3</sup>) на участке реки за расчетный интервал времени  $T$  (сутки).

Береговое регулирование стока имеет место только в периоды половодья или паводка, когда происходит перераспределение речного стока во времени. Методическими указаниями [41] рекомендуется производить количественную оценку берегового регулирования по значению фильтрационного расхода, рассчитываемого

по формуле

$$У_{бр} = Q_c - \Delta Q, \quad (3.5)$$

где:  $Q_c$  - величина начального фильтрационного расхода при квазистационарном режиме фильтрации (перед половодьем или паводком);  $\Delta Q$  - средний за расчетный период дополнительный расход, обусловленный изменением уровня воды в русле.

Несколько слов необходимо сказать об участии устьевых сбросов притоков в формировании боковой приточности. Как уже отмечалось (глава I), значительную часть поверхностных ресурсов бассейна составляют боковые притоки.

Из всех боковых рек бассейна (до Чардаринского водохранилища) гидрометрические наблюдения в настоящее время в устьевых створах ведутся только на реках Карасу - лев., Карасу - прав., Ахангаран, Чирчик, Келес. На всех других боковых реках учет водных ресурсов осуществляется на опорных (верхних) створах, а устьевые сбросы учитываются в составе коллекторно-дренажного стока. Отметим также и то, что сток в верховьях Нарына не искажен хозяйственной деятельностью. На устьевой же сток рек Ахангаран, Чирчик и Келес, несомненно, оказано антропогенное влияние. Необходимо также несколько слов сказать и о формировании коллекторно-дренажных вод в бассейне.

Коллекторно-дренажные воды ( $D+C$ ) являются возвратными водами, в основном искусственного (антропогенного) происхождения. Их поверхностная составляющая ( $C$ ) формируется за счет вод, сбрасываемых с поливных и промывных участков оросительных систем, организационных сбросов из ирригационной сети и потерь оросительных вод при эксплуатации гидротехнических устройств,

а также сбросов в коллектора вод, откачиваемых скважинами вертикального дренажа.

Ирригационно-грунтовая составляющая возвратного стока (Д) образуется в результате инфильтрации оросительных вод из каналов и на сельскохозяйственных полях. Профильтровавшиеся воды, подпитывая грунтовые воды, частично или полностью (в зависимости от мелиоративного режима) выклиниваются в коллекторно-дренажную сеть). В дальнейшем будем обозначать коллекторно-дренажные воды (Q<sub>кд</sub>).

Некоторые исследователи [3, 4, 36, 74, 75] выделяют из общего стока возвратных вод инфильтрацию атмосферных осадков в пределах деятельной территории. Несомненно, инфильтрация атмосферных осадков в пределах рассматриваемых контуров имеет место. Однако частично эти воды поступают на пополнение запасов грунтовых вод (при глубоком их залегании), но большей частью выклиниваются в искусственную и естественную гидрографическую сеть. Кроме того, часть атмосферных осадков поступает поверхностным путем в коллекторно-дренажную сеть. Выделить все эти воды из состава возвратных невозможно, поэтому мы учитываем их в составе последних.

Коллекторно-дренажные воды формируются на полях орошения и стекают в коллекторно-дренажную сеть, где и учитываются гидрометрическими службами Минводхозов союзных республик.

Вода, забранная на орошение в верховьях Нарына (на участке от Токтогульского водохранилища до Учкургана), используется ниже, ввиду чего в этом районе отсутствует коллекторный сток. Коллекторно-дренажные воды разгружаются уже в пределах Ферганской впадины, где учитываются в более чем 90 коллекторах и сбросах, отводящих воду в основной ствол (Нарын, Карадарья, Сырдарья) до Кайраккумского водохранилища. Кроме того, в Кайраккумское водохранилище и ниже до г. Бекабада в основное русло сбрасываются

еще коллекторно-дренажные воды с территории Таджикской ССР с общим среднегодовым расходом 8-18 м<sup>3</sup>/с.

В ЧАКИРе коллекторно-дренажные воды учитываются в 37-ми коллекторах и сбросах, в т.ч. по 16 из них - поступают непосредственно в Сырдарью, остальные - в Чирчик и Ахангаран.

Из Дальверзинской степи коллекторно-дренажные воды отводятся в Сырдарью по 12-ти коллекторам и сбросам. В Голодной и Джизакской степях работают 23 крупных коллектора и сброса, в т.ч. 8 отводят воду в Арнасай, остальные - в Сырдарью.

### 3.2. Исходный гидрометрический материал и составление русловых балансов

Для расчета русловых балансов, исследований особенностей и закономерностей формирования боковой приточности и отдельных ее генетических составляющих, а также для разработки алгоритмов прогноза боковой приточности автором произведен сбор ретроспективного гидрометрического материала.

Осуществлен сбор данных о поверхностных водах по трем водохозяйственным районам бассейна, территории которых входят в состав АСУБ Сырдарьи. Среднемесячные и среднегодовые расходы воды собраны за различные периоды наблюдений: по Ферганской впадине - 1938-85 гг., по ЧАКИРу - 1954-85 гг., по среднему течению - 1950-85 гг.

Данные собирались из известных официальных источников Госкомгидромета: Государственный водный кадастр - "Основные гидрологические характеристики", Государственный водный кадастр - "Ежегодные данные о режиме и ресурсах вод и суши".

При расчетах поверхностного стока учитывались расходы регулирования водохранилищ и испарение с их поверхности (Токтогульское, Кайраккумское, Чарвакское и Чардаринское).

На основании изучения фондовых материалов институтов Сред-азгипроводхлопок, Узгипроводхоз, гипроводхозов союзных республик, а также рекогносцировочного обследования бассейна автором уточнена схема формирования водозабора на орошение (каналы и прочие водозаборные сооружения) и коллекторно-дренажных вод (коллекторы и сбросы) для каждого водохозяйственного района бассейна.

Водозабор на орошение учитывается гидрометрической службой Минводхозов республик в головных створах каналов и на границах республик. Коллекторно-дренажный сток учитывается также гидрометрической службой Минводхозов республик в устьевых створах коллекторов и сбросов.

Нами собраны среднемесячные расходы воды водозабора и коллекторно-дренажного стока за различные периоды (в зависимости от их наличия):

- по Ферганской впадине - 1956-1985 гг.;
- по ЧАКИРу - 1954-1985 гг.;
- по среднему течению - 1950-1985 гг.

С использованием рядов среднегодовых расходов воды, составляющих водные ресурсы бассейна (до Чардаринского водохранилища), составлены условные балансы (табл.3.1-3.3).



Таблица 3.1

Русловой баланс Ферганской впадины (среднегодовые расходы воды, м<sup>3</sup>/с)

Водохозяйственный год	Приходные статьи		Расходные статьи		Остаточный член (руслевое выклинивание) (4+5)-(2+3)	Боковая приточность (3+6)
	Учетный поверхностный приток	Коллекторно-дренажный сток в реку	Поверхностный отток	Суммарный водозабор из реки		
I	2	3	4	5	6	7
I938-39	596	12,0	378	337	I07	I19
I939-40	584	15,0	383	322	I06	I21
I940-41	647	20,0	417	388	I38	I58
I941-42	778	34,1	530	423	I41	I75
I942-43	904	45,7	635	450	I35	I81
I943-44	757	46,9	520	425	I41	I88
I944-45	689	43,5	450	423	I41	I84
I945-46	845	50,8	628	418	I50	201
I946-47	784	54,4	599	428	I89	243
I947-48	595	35,5	433	403	206	241
I948-49	789	47,1	567	435	I66	213
I949-50	876	63,0	643	417	I21	I84

\*) Учено регулирование Токтогульского и Андijanского водохранилищ и испарение с их поверхности.

Продолжение таблицы 3.1.

I	2	3	4	5	6	7
I950-51	72I	68,7	509	403	I22	I9I
I95I-52	755	74,3	55I	402	I24	I98
I952-53	I069	76,6	866	458	I78	255
I953-54	956	90,8	786	447	I86	277
I954-55	I022	I05	8I8	452	I43	248
I955-56	838	II3	643	475	I67	280
I956-57	860	I08	642	485	I59	267
I957-58	625	99,3	4I9	47I	I66	265
I958-59	959	I3I	7I6	5I7	I43	274
I959-60	996	I5I	725	557	I35	286
I960-6I	985	I53	73I	542	I35	288
I96I-62	632	III	384	546	I87	298
I962-63	607	I4I	358	534	I44	285
I963-64	77I	202	5I2	567	I06	308
I964-65	908	204	602	622	II2	3I6
I965-66	6I3	I63	349	546	II9	282
I966-67	994	230	689	647	II2	342
I967-68	767	226	477	639	I23	349
I968-69	8II	2I5	543	585	I02	3I7
I969-70	I276	250	I0I9	629	I22	372

Продолжение таблицы 3.1

I	2	3	4	5	6	7
I970-71	95I	26I	670	670	I28	389
I971-72	84I	240	530	669	II8	358
I972-73	774	234	507	663	I62	396
I973-74	935	245	584	707	III	356
I974-75	5I8	I75	264	560	I3I	306
I975-76	583	I93	287	602	II3	306
I976-77	650	207	340	622	I05	3I2
I977-78	7I6	225	403	620	82	307
I978-79	7II	249	39I	706	I37	386
I979-80	84I	284	539	768	I82	466
I980-8I	74I	277	348	724	54	33I
I98I-82	847	268	509	702	96	364
I982-83	663	29I	395	663	I04	395
I983-84	759	258	46I	635	79	337
I984-85	7I8	294	358	654	68	362
Среднее за						
I938-85	793	I5I	534	540	I32	283

Таблица 3.2

Русловой баланс ЧАКИГА (среднегодовые расходы воды, м<sup>3</sup>/с)

Водохозяйственный год	Приходные статьи		Расходные статьи		Русловое выклинивание (остаточный член) (4+5)-(2+3)	Боковая приточность (3+6)
	Ученный поверхност- ный приток*	Коллекторно- дренажный сток в реку	Поверхностный отток	Суммарный водозабор из реки		
I	2	3	4	5	6	7
1954-55	289	8,96	241	I37	80,0	89
1955-56	219	10,6	150	I36	56,4	67
1956-57	235	6,72	166	I41	65,3	72
1957-58	165	7,78	101	I23	51,2	59
1958-59	357	14,3	304	I48	80,7	95
1959-60	349	14,7	279	I59	74,3	89
1960-61	358	14,5	295	I50	72,5	87
1961-62	185	10,6	107	I35	46,4	57
1962-63	220	16,5	120	I63	46,5	63
1963-64	270	36,7	194	I83	70,3	107
1964-65	267	34,6	199	I66	63,4	98
1965-66	186	22,8	96	I48	35,2	58

\* Учтено регулирование Чарвакского водохранилища и испарение с его поверхности.

Продолжение таблицы 3.2

I	2	3	4	5	6	7
I966-67	282	25,5	I87	I85	64,5	90
I967-68	220	20,3	I36	I57	52,7	73
I968-69	307	22,6	228	I70	68,4	91
I969-70	510	31,1	443	I78	79,9	111
I970-71	250	24,2	I66	I87	78,8	103
I971-72	239	27,1	I50	I76	59,9	87
I972-73	265	30,5	I81	I92	77,5	108
I973-74	262	31,6	I74	I83	63,4	95
I974-75	I58	22	59	I64	43,0	65
I975-76	I74	I9,2	60	I81	47,8	67
I976-77	213	24,0	I29	I90	82,0	106
I977-78	200	22,7	110	I89	76,3	99
I978- 79	276	31,0	I80	204	77,0	108
I979-80	316	30,3	264	I96	114	144
I980-81	259	55,5	I60	I75	20,5	76
I981-82	243	35,4	I47	I56	24,6	60
I982-83	I73	36,9	I35	I53	78,1	115
I983-84	I98	40,7	I20	I69	50,3	91
I984-85	240	44,2	I32	I70	I7,6	61,8
среднее	254	25,0	I75	I67	61,9	86,9

Таблица 3.3

Русловой баланс среднего течения (среднегодовые расходы м<sup>3</sup>/с)

Водохоз. год	П р и х о д н ы е с т а т ь и		Коллекторно- дренажный сток в реку	Расходные статьи		Русловое выклинива- ние (оста- точный член) (5+6)-(2+3+4)	Боковая приточ- ность (3+4+7)
	Поверхностный приток из Ферганской впадины	Поверхност. приток из ЧАКИРА		Поверхност. отток*	Суммарный водозабор из реки		
I	2	3	4	5	6	7	8
1950-51	509	121	7,8	548	70,2	-19,6	109
1951-52	551	157	11,1	614	75,1	-30,0	138
1952-53	866	324	15,6	1055	78,5	-72,1	268
1953-54	786	248	16,4	917	77,6	-55,8	209
1954-55	818	241	15,1	1017	80,1	23,0	279
1955-56	643	150	14,3	723	87,5	3,2	168
1956-57	642	166	12,2	702	94,6	-23,6	155
1957-58	419	101	23,3	434	114	4,7	129
1958-59	716	304	27,2	987	101	40,8	372
1959-60	725	279	17,9	912	111	1,1	298
1960-61	731	295	31,8	883	118	-56,8	270
1961-62	384	107	29,6	364	139	-17,6	119
1962-63	358	120	35,7	382	149	17,3	173
1963-64	512	194	35,5	671	154	83,5	313
1964-65	602	199	39,3	738	149	46,7	285

\* Учтено регулирование Кайраккумского и Чардаринского водохранилищ и испарение с их поверхности.

Продолжение таблицы 3.3

I	2	3	4	5	6	7	8
I965-66	349	96,0	35,9	349	I78	46,1	I78
I966-67	689	I87	39,4	733	I99	I6,6	243
I967-68	477	I36	39,4	484	209	40,6	2I6
I968-69	543	228	47,8	770	I9I	I42	4I8
I969-70	I0I9	443	44,5	I525	I64	I83	670
I970-7I	670	I66	47,0	656	228	I,0	2I4
I97I-72	530	I50	59,7	543	25I	54,3	264
I972-73	507	I8I	58,2	592	233	78,8	3I8
I973-74	584	I74	55,6	582	256	24,4	254
I974-75	264	59	43,1	I92	2I6	4I,9	I44
I975-76	287	60	24,2	I92	204	24,8	I09
I976-77	340	I29	42,8	288	249	25,2	I97
I977-78	403	IIO	46,0	355	238	34,0	I90
I978-79	39I	I80	4I,9	374	245	6,1	228
I979-80	539	264	47,7	598	252	0,7	3II
I980-8I	348	I60	40,0	290	263	5,0	205
I98I-82	509	I47	38,0	452	255	I3,0	I98
I982-83	395	I35	36,6	337	233	3,4	I75
I983-84	46I	I20	35,1	40I	227	I2,0	I67
I984-85	358	I32	42,0	348	228	44,4	I83
Среднее за	54I	I79	34,2	600	I75	36,9	250
I950-85							

### 3.2.1. Оценка точности расчета руслового водного баланса

Надежность расчета руслового водного баланса определяется точностью исходных данных. Точность руслового водного баланса оценивается средним квадратическим значением совокупной погрешности расчета его элементов ( $\sigma_0$ ), вычисляемым по формуле [41]:

$$\sigma_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}, \quad (3.6)$$

где  $\sigma_i$  - средняя квадратическая погрешность определения всех составляющих уравнения руслового водного баланса, которая вычисляется следующим образом:

$$\sigma_i = \delta_i \cdot Q_i \quad (3.7)$$

где  $\delta_i$  - относительная средняя квадратическая погрешность определения расхода  $Q_i$ .

Результаты расчета руслового водного баланса считаются надежными, если абсолютная величина остаточного члена уравнения руслового водного баланса значимо отличается от предельной погрешности его определения. Методические указания Госкомгидромета [41] рекомендуют следующий критерий надежности расчета руслового водного баланса:

$$\sigma_0 \leq 0,5 \cdot |Q_0|. \quad (3.8)$$

Нами была произведена оценка точности расчета величины руслового выклинивания как остаточного члена уравнения руслового водного баланса для трех водохозяйственных районов бассейна реки Сырдарья. При этом, согласно рекомендациям [41], погрешность



определения расходов воды элементов руслового водного баланса принята нами равной 5 %.

Погрешность определения величины руслового выклинивания (средневзвешенная) для Ферганской впадины составляет (табл.3.1):

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{рус}} &= 0,05 \cdot \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2 + Q_{\text{ор}}^2 + Q_{\text{кд}}^2} = \\ &= 0,05 \cdot \sqrt{(793)^2 + (534)^2 + (540)^2 + (151)^2} = 55,4 \text{ м}^3/\text{с} \end{aligned}$$

Погрешность определения величины руслового выклинивания (средневзвешенная) для ЧАКИРА составляет (табл.3.2):

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{рус}} &= 0,05 \cdot \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2 + Q_{\text{ор}}^2 + Q_{\text{кд}}^2} = \\ &= 0,05 \cdot \sqrt{(254)^2 + (175)^2 + (167)^2 + (25)^2} = 17,6 \text{ м}^3/\text{с} \end{aligned}$$

Надежность расчета руслового водного баланса для Ферганской впадины и ЧАКИРА удовлетворяет критерию (3.8), т.е.

$\sigma_{\text{рус}} < 0,5 |Y_{\text{рус}}|$ , что указывает на существование физических факторов, обуславливающих величину руслового выклинивания в этих водохозяйственных районах.

Погрешность определения величины руслового выклинивания (средневзвешенная) для среднего течения составляет (табл.3.3):

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{рус}} &= 0,05 \cdot \sqrt{Q_{1\text{ф}}^2 + Q_{1\text{ч}}^2 + Q_2^2 + Q_{\text{ор}}^2 + Q_{\text{кд}}^2} = \\ &= 0,05 \cdot \sqrt{(541)^2 + (179)^2 + (600)^2 + (34,2)^2} = 42,3 \text{ м}^3/\text{с} \end{aligned}$$

Погрешность расчета руслового водного баланса среднего течения соизмерима с величиной руслового выклинивания, что говорит о случайном характере последней. Поэтому все последующие теоре-

тические и расчетные выкладки по величине руслового выклинивания для среднего течения условны.

### 3.3. Особенности формирования основных генетических составляющих боковой приточности

Определенная нами структура боковой приточности и собранный гидрометрический материал позволяет провести анализ формирования генетических составляющих боковой приточности.

#### 3.3.1. Коллекторно-дренажные воды и методы их оценки

Как известно, в условиях орошения на режим грунтовых вод речного бассейна главное влияние оказывают оросительные воды. Согласно Д.М.Кацу [33], доля оросительных вод составляет 90 %, остальная часть приходится на естественные факторы, в основном на атмосферные осадки. Под влиянием орошения естественный влагообмен на территории бассейна резко изменяется и вначале находится в постоянной динамике, а затем постепенно стабилизируется. При этом интенсивность влагообмена выше, чем в естественных условиях.

Можно сказать, что к началу 80-х годов в бассейне р.Сырдарьи режим грунтовых вод под влиянием орошения находился в относительно стабильном состоянии. Это следует из того, что, ввиду истощения водных ресурсов, прекратился рост площадей орошаемых земель. В последние годы здесь проявляется даже тенденция неко-

торого снижения используемых орошаемых площадей. Так, если с 1970 по 1980 гг. посевные площади в бассейне увеличились на 220 тыс.га, то с 1980 по 1985 гг. - уменьшились на 80 тыс.га и составили в 1985 г. 2605 тыс.га [65,68]. В настоящее время в целом по бассейну под посевы сельхозкультур используется 85 % орошаемых площадей.

В перспективе рост орошаемых земель в бассейне не предусмотрен. Дальнейшее развитие мелиорации и водного хозяйства здесь будет связано с повышением продуктивности имеющихся орошаемых земель на основе водосберегающих и природоохранных мероприятий. Поэтому основные средства будут вкладываться в реконструкцию оросительных систем, совершенствование техники полива, а также во внедрение новых видов дренажа, уменьшение непродуктивного мелиоративного водопотребления. При проведении всех вышеперечисленных мероприятий установившееся равновесие в антропогенно-природном комплексе нарушается, и с течением времени параметры влагообмена (в первую очередь грунтовых вод) вновь постепенно стабилизируются.

Характер нового режима составляющих водного баланса зоны аэрации и грунтовых вод, как отмечает В.А.Духовный [23], зависит от коэффициента полезного действия системы, техники полива, промывной нормы (поскольку почти все почвогрунты бассейна подвержены засоленности), а также от условий взаимосвязи грунтовых вод орошаемого массива с подстилающими водоносными горизонтами. При этом "...КПД системы, КПД техники полива и промывная норма являются первично управляемыми факторами, а взаимосвязь их с грунтовыми водами - следствием изменения уровня грунтовых вод на мас-

сиве, который можно регулировать дренажем различного типа" [23, стр.114].

По изменению режима уровня грунтовых вод под влиянием орошения В.А.Духовный [23] выделил шесть типовых видов кривых подъема. Они отличаются друг от друга соотношением статей баланса грунтовых вод в разные сезоны года. На основе общего вида балансового уравнения, учитывающего гидродинамические факторы при орошении, В.А.Духовный [23] определил условие поддержания уровня грунтовых вод на постоянных отметках за ограниченный период времени на ограниченной площади. Исходя из этого условия, можно оценивать интенсивность подъема уровня грунтовых вод, время достижения критического уровня и определять нагрузку на дренаж (дренажный модуль - м<sup>3</sup>/га в сутки).

На основании вышеизложенного в работе [23] предложено уравнение водного баланса 1 гектара орошаемых земель для оценки дренажно-сбросного стока. В уравнении все элементы баланса представлены величинами, которые не измеряются, а рассчитываются через КПД систем, КПД техники полива, оросительную и поливную нормы, степень дренированности, характеристики мелиоративного режима. Все эти параметры имеют стабильные значения на протяжении 3-7 лет даже при соответствующих технических решениях по их совершенствованию. Поэтому методика В.А.Духовного лучше всего приемлема для оценки перспективного (на 5 лет вперед и более) объема коллекторно-дренажного стока.

В настоящее время существует множество методов определения объемов коллекторно-дренажного стока на перспективу: метод аналогов [3,4], воднобалансовый [11,30,36,74,75], корректирующих коэффициентов [56,57] и другие [17,18,53,89,90,93]. Наиболее ши-

роко используются методы, основанные на уравнениях водного баланса орошаемой территории, и в большинстве случаев отличающиеся лишь степенью детализации приходных и расходных статей баланса.

В ряде работ С.И.Харченко и Г.П.Левченко [36,74,75] разработана методика оценки грунтовой составляющей коллекторно-дренажного стока, поскольку она не поддается прямому измерению, как сбросные воды. С.И.Харченко и Г.П.Левченко предлагают определять ее двумя способами: воднобалансовым и гидродинамическим. В основе последнего лежат уравнения неустановившегося движения подземных вод. В обоих случаях дренажные воды могут быть оценены по разности величин грунтового стока с орошаемых полей при наличии и отсутствии орошения. Другими словами, здесь водобалансовый и гидродинамический методы сочетаются с методом аналогов, что имеет свои преимущества и недостатки.

Достоинством воднобалансового метода является возможность выявить динамику поступления и расходования влаги на данной территории, оценить величину основных элементов баланса. На этой основе возможно оценить характер использования оросительных вод, и, что особенно важно, метод водного баланса достаточно достоверно позволяет прогнозировать перспективы развития орошения.

Однако, с нашей точки зрения, применение воднобалансовых уравнений для коротких промежутков времени (один год и менее) ограничено рядом недостатков, которые заключаются в неточности расчетов, связанной, в первую очередь, с оценкой испарения, а также с тем, что нет надежных способов перехода от измерения элементов водного баланса в точке к средним значениям по всей исследуемой площади.

Реализуя метод С.И.Харченко, В.В.Сумарокова [70] оценивает "возвратные воды" с помощью уравнений водного баланса орошаемого массива, включающих, кроме фактически политых земель, и площади транзитной зоны, а также перелог. К последним относятся, как известно, неорошаемые земли с близким залеганием грунтовых вод, расположенные внутри орошаемого массива. Объем возвратного стока в этом случае равен (в обозначениях В.В.Сумароковой):

$$V_c = Q + \Delta E \pm \Delta И, \quad (3.9)$$

где:  $Q$  - водоподача (водозабор) на орошение;

$\Delta E$  - безвозвратные потери на испарение;

$\Delta И$  - изменение запасов грунтовых вод под воздействием орошения.

Воднобалансовые уравнения используются и зарубежными исследователями. Например, *Dickenson W.* [87] использовал их при определении объемов возвратного стока с сельскохозяйственных угодий провинции Онтарио в Канаде. Нам известны аналогичные работы некоторых американских авторов [85, 91, 92, 94], оценивающих эффективность использования возвратных вод для орошения в Калифорнии.

Для приближенных расчетов по определению количественных характеристик возвратных вод на перспективу В.П.Светицкий [56, 57] предлагал метод коррективов, сущность которого заключается в следующем. Первоначально делается количественная оценка (любым методом) возвратных вод для существующих условий, или для условного уровня. Затем за счет учета изменений размеров орошаемых площадей, состава сельскохозяйственных культур, режима орошения, условий эксплуатации оросительных систем и мелиоративных условий

устанавливаются корректирующие коэффициенты. Произведение указанных коэффициентов дает обобщенный коэффициент, при помощи которого и производится корректировка количественных характеристик возвратных вод на перспективу для соответствующих расчетных уровней.

В сущности метод корректирующих коэффициентов является прямой экстраполяцией между существующим положением, т.е. существующим объемом возвратных вод, и перспективным уровнем, назначение которого по методу корректировок носит субъективный характер.

В последнее время появилось достаточно большое количество работ, где для оценки величины коллекторно-дренажных вод применяются математические модели орошаемых массивов [17, 18, 84, 88, 89, 90, 93]. Например, Ю.М.Денисов в своих работах [17, 18] разработал принципы построения математической модели формирования водного баланса орошаемой территории. Согласно методике Ю.М.Денисова, подаваемая на поле вода совместно с выпавшими осадками поступает в зону аэрации. Если влажность этой зоны становится выше максимальной влагоемкости пород, то избыток воды идет на пополнение грунтовых вод. Расход воды, поступающей подземным путем в коллекторно-дренажную сеть, определяется в зависимости от **поверхностных** сбросов оросительной воды, уровня грунтовых **вод** и уровня воды в коллекторно-дренажной сети.

Для построения модели формирования ирригационных возвратных вод Ю.М.Денисов использовал "улучшенную" конечноразностную схему Эйлера (метод "Эйлера-Коши") с применением интеграционной обработки каждого значения искомой величины. В результате автор получил замкнутую систему уравнений, описывающих динамику вод-

ного режима орошаемого массива, состоящего из взаимосвязанных участков (орошаемых полей).

В выведенной системе уравнений большинство входящих параметров является физическими величинами, требующими экспериментального определения (коэффициенты фильтрации и проницаемости пород, коэффициенты пьезо- и уровнепроводности; параметры, характеризующие фильтрационное сопротивление ложа водотоков, и многие другие). Определяются все упомянутые параметры на основе опытно-фильтрационных работ, путем наблюдений за режимом подземных вод, а также в лабораторных приборах, оптимизационными методами (для длительно работающих гидромелиоративных систем) и прочими методами. Проведение названных работ, обработка и интерпретация получаемых данных требуют порой большого интервала времени.

Известна также математическая модель формирования возвратного стока с рисовых систем японского исследователя *К. У.* [90], которую автор применил для оценки возможности повторного использования возвратных вод на орошение в бассейне р. Могами.

Математическое описание природных процессов в силу своей сложности и многофакторности приводит к сложным нелинейным дифференциальным уравнениям, численное решение которых требует больших затрат рабочего времени ЭВМ, что нередко затрудняет их использование при необходимости оперативного прогнозирования. Но главный недостаток метода заключается в том, что, построив сложную математическую модель, включающую ряд малоизученных параметров, авторы прибегают к бесконечным допущениям и упрощениям, сводящим к минимуму достижения модели.



В практике исследований известны также и попытки получения эмпирических зависимостей для оценки возвратных вод [30, 32, 86]. Так, например, в исследованиях М.И.Каплинского [32] учитывается ряд коэффициентов рассеивания стока, объемов вод площадного выклинивания. Однако эти коэффициенты трудноопределимы в региональных масштабах, поэтому использование эмпирических зависимостей для оценки возвратных вод на больших территориях не представляется возможным.

В практике водохозяйственных расчетов для оценки коллекторно-дренажных вод ( $Q_{kd}$ ) обычно используются графики зависимости этой величины от водозабора ( $X_{op}$ ). Используя ряды среднегодовых расходов, мы получили зависимость  $Q_{kd} = f(X_{op})$  для каждого водохозяйственного района бассейна р.Сырдарьи (табл.3.4).

Как видно из таблицы 3.4, во всех исследуемых водохозяйственных районах имеется довольно тесная связь между среднегодовыми расходами коллекторно-дренажного стока и водозабора на орошение. Однако зависимости такого типа весьма условны при повторном использовании возвратных вод (особенно распространенном в маловодные годы) в районах их формирования, а также при интенсивной откачке подземных вод. Кроме того, подобные зависимости объединяют все уровни развития дренажа и водообеспеченности поверхностного стока.

Наиболее наглядно ретроспективный рост объема коллекторно-дренажных вод иллюстрируется графиками зависимости относительно стока коллекторно-дренажных вод (к суммарному водозабору  $Q_{kd}/X_{op}$ , %) от водности лет ( $P$ , %), которые представлены на рис.3.1 и 3.2.

Таблица 3.4

Показатели тесноты связи между среднегодовыми расходами воды в коллекторно-дренажной сети и водозабора на орошение в бассейне р. Сырдарья

Водохозяйствен. район	Расчетный период	Коэффициент корреляции	Стандартная ошибка, м <sup>3</sup> /с	Уравнение регрессии ( $Y = a_{крд} \cdot X$ ; $X = X_{ор}$ )
Ферганская <del>В</del> ладина	1938-85	0,97	20,4	$Y = 0,999 \cdot X - 0,0003 \cdot X^2 - 311$
ЧАКИР	1954-85	0,82	5,02	$Y = 1,03 \cdot X - 0,002 \cdot X^2 - 88$
Среднее течение	1950-85	0,96	9,80	$Y = 0,092 \cdot X + 0,002 \cdot X^2 + 11,7$
В т.ч.: Дальвер- зинская степь	1950-85	0,74	2,61	$Y = 0,177 \cdot X + 0,0004 \cdot X^2 + 3,86$
Голодная степь	1950-85	0,96	9,35	$Y = 0,485 \cdot X - 27,1$
В т.ч.: Голодная степь- <del>Ар</del> насай**	1957-85	0,90	10,0	$Y = -0,956 \cdot X + 0,009 \cdot X^2 + 34,5$
Голодная степь - Сырдарья***	1957-85	0,88	4,20	$Y = -0,103 \cdot X + 0,004 \cdot X^2 + 13,3$

\*\* Здесь имеются в виду земли, с которых КДВ отводятся в Арнасай

\*\*\* То же - в р. Сырдарью

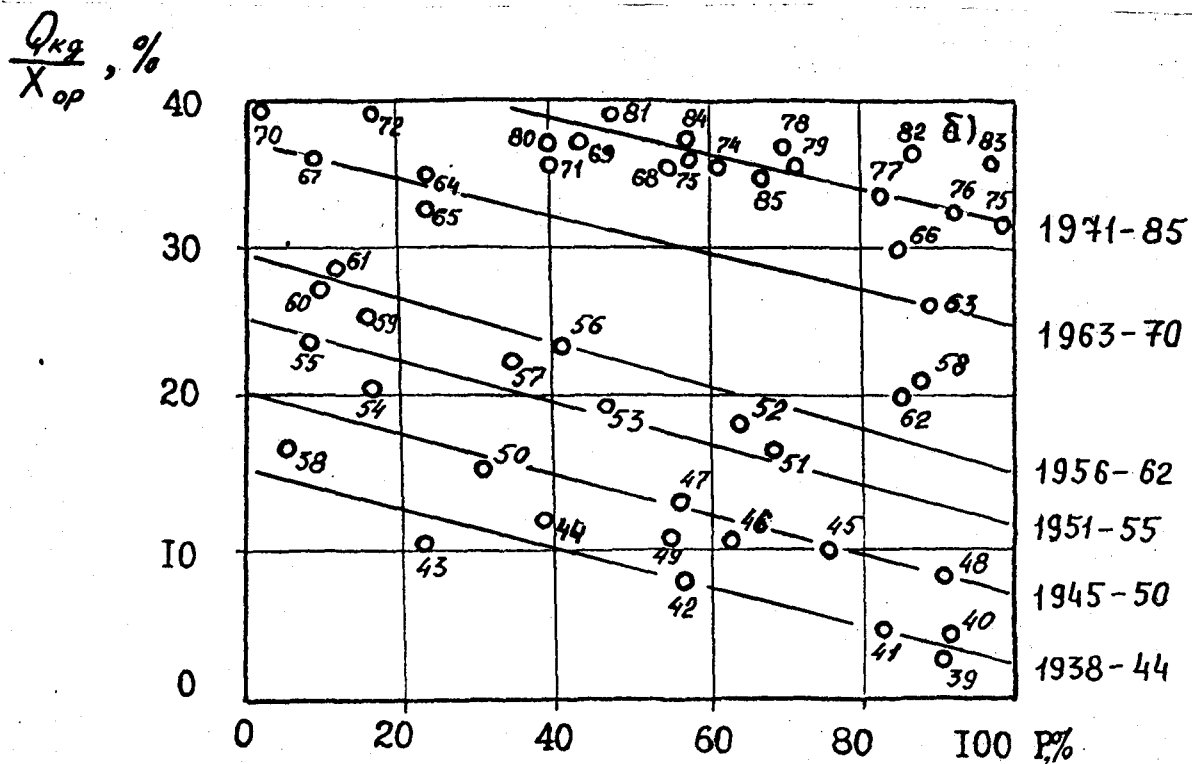
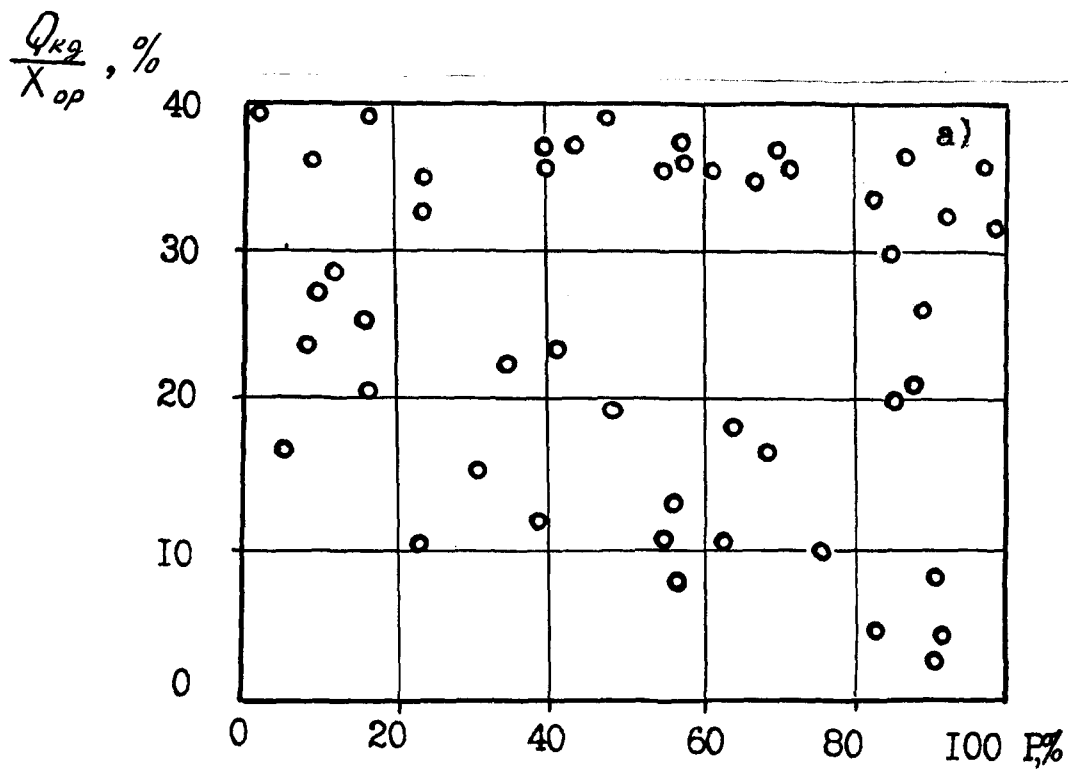


Рис.3.1. Зависимость относительной величины коллекторно-дренажных вод от водообеспеченности поверхностного притока в Ферганской впадине

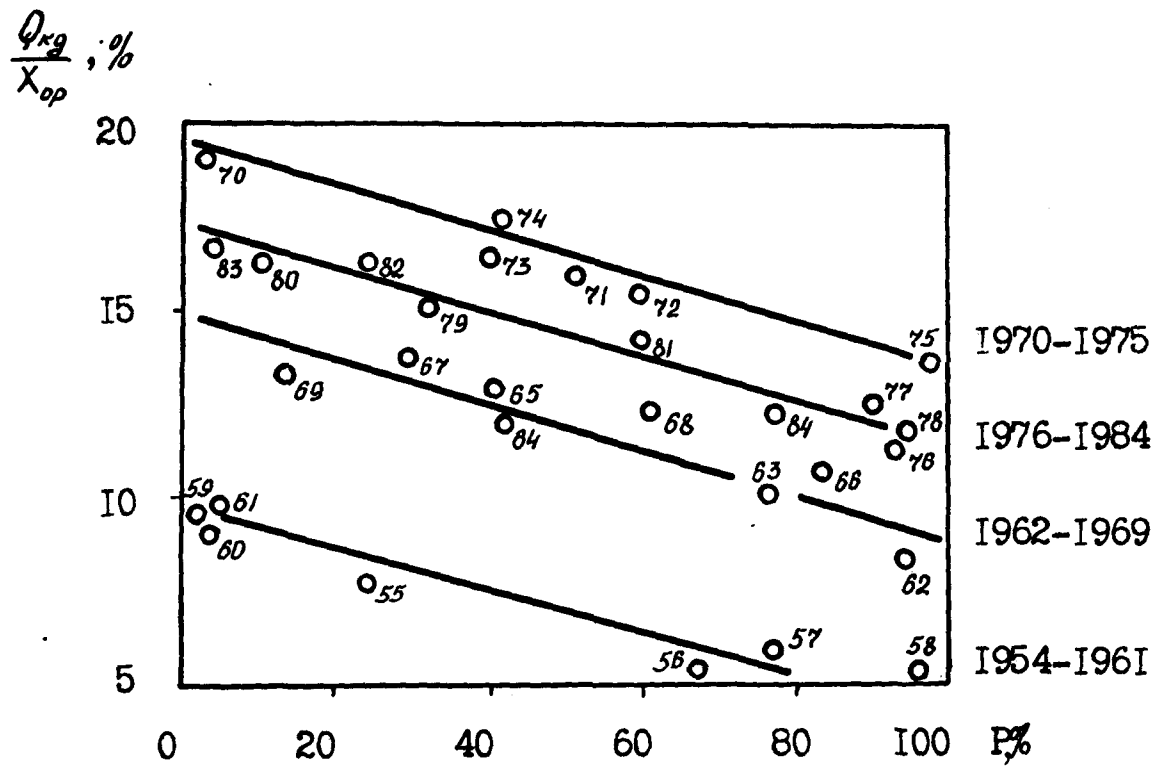


Рис.3.2 Зависимость относительной величины коллекторно-дренажных вод от водообеспеченности поверхностного притока в ЧАКИРе

Как видно из рис.3.1.а, в целом за весь расчетный период какая-либо зависимость  $Q_{kd}/X_{op}$  от  $P, \%$  отсутствует. Это подтверждается работами практически всех исследователей, занимающихся возвратными водами [3,4,11,12,21,24,25,32,53,54,56,57,74,75], отмечающими отсутствие связи между величинами коллекторно-дренажных вод и обеспеченностью поверхностного стока.

Однако, как видно из рис.3.1.б, точки графика  $Q_{kd}/X_{op} = f(P, \%)$  довольно четко группируются в отдельные временные периоды, что указывает на наличие выраженного временного тренда в стоке коллекторно-дренажных вод, определяемого повышением коэффициента земельного использования на фоне интенсивного строительства дренажа. Кроме влияния названных антропогенных факторов, на величину стока коллекторно-дренажных вод для каждого временного периода оказывает влияние и водообеспеченность поверхностного притока.

При этом степень влияния водности лет на величину  $Q_{kd}/X_{op}$  для каждого временного периода равнозначна. Другими словами, приращение величины  $Q_{kd}/X_{op}$  (тангенс угла наклона графика- $tg\alpha$ ) остается постоянным для каждого уровня развития дренажа.

Величина  $tg\alpha$  является, на наш взгляд, интегральным показателем, зависящим от данного ирригационного района от условий стекания коллекторно-дренажных вод и водно-физических свойств почвогрунтов. Для Ферганской впадины:  $tg\alpha = 0,105$ ; для ЧАКИРА:  $tg\alpha = 0,055$ . По нашему мнению, меньший  $tg\alpha$  в ЧАКИРЕ связан с большим участием здесь в коллекторно-дренажном стоке атмосферных осадков.

По мере увеличения поверхностного стока (уменьшения  $P, \%$ ) доля возврата коллекторно-дренажных вод увеличивается; для

крайних экстремальных лет это увеличение составляет в Ферганской впадине 10 % и в ЧАКИРе - 5,5 %. Таким образом, недоучет факторов водности года может привести к тому, что при составлении перспективных водохозяйственных балансов коллекторно-дренажный сток будет принят одинаковым для лет различной водообеспеченности.

Общеизвестно, что для речных русел наибольшее выклинивание грунтовых вод наблюдается в маловодные годы, когда подкомандная территория подпитывает водную артерию. Для коллекторно-дренажных вод влияние водности лет обратное в силу того, что коллекторно-дренажная сеть играет роль сухих или почти сухих русел. В многоводные годы, когда командные массивы наиболее увлажнены, выклинивание вод в коллекторную сеть наибольшее и, наоборот - для маловодных лет. Кроме того, в многоводные годы в составе коллекторно-дренажного стока возрастает доля сбросных вод с орошаемых полей и боковых рек.

Несколько слов необходимо сказать о динамике коллекторно-дренажных вод в ЧАКИРе. Как видно из рис.3.2, до середины 70-х годов здесь прирост коллекторно-дренажного стока превышал прирост водозабора. В дальнейшем, как отмечала Ф.Э.Рубинова [52, 53], прослеживается обратная тенденция. На наш взгляд, это явление связано с рядом причин. Так, в ЧАКИРе в большей мере, чем где-либо в другой части бассейна р.Сырдарьи, практикуется внутрисистемное использование стока коллекторов для нужд орошения, которое особенно велико в маловодные годы. Кроме того, в ЧАКИРе сосредоточены крупнейшие в бассейне города и промышленные объекты, обеспечение водой которых производится за счет подземных вод, изъятие которых, естественно, снижает величину дренажных вод.

Наши исследования по оценке коллекторно-дренажных вод базируются на структурной модели, изложенной в работах В.А.Духовного [21,23-25], а также в работах [49,62,63].

Нами разработаны статистические зависимости для оценки коллекторно-дренажных вод, которые учитывают наиболее влияющую на их величину характеристику орошаемой территории - водозабор на орошение. Величина эта косвенно учитывает технические параметры оросительных систем (КПД систем и КПД техники полива), а также естественные факторы территории. Подробно суть нашего подхода рассмотрена в главе 4.

### 3.3.2. Русловое выклинивание

Первые исследования русловых балансов с целью учета "выклинивающихся подземных" вод относятся к 30-м годам нашего столетия [31,37,80,81]. Дальнейшее изучение "дополнительных выклинивающихся" вод и разработка методики их учета нашли отражение в работах М.А.Шмидта и А.И.Шевченко [82], В.Л.Шульца [83], Л.В.Дунин-Барковского [20], В.П.Светицкого [56,57] и др.[44].

В естественных условиях русловое выклинивание не измеряется. Его величина рассчитывается по известному уравнению руслового баланса, которое, исходя из выражений (3.1) и (3.2), имеет вид:

$$U_{рус} = U_2 - U_1 + U_{ор} - Q_{кд} - U_{ус} + A + E, \quad (3.10)$$

где приняты те же обозначения, что и в (3.1) и (3.2).

Нами составлены русловые балансы и рассчитаны среднегодовые величины расходов воды руслового выклинивания по водохозяйствен-

ным районам бассейна. Данные расчетов, приведенные в табл.3.1-3.3, наглядно показывают, насколько изменчива величина руслового выклинивания в пределах одного и того же водохозяйственного района. Изменчивость обусловлена как естественными, так и антропогенными факторами (табл.3.5). Несомненно, влияние здесь имеют и ошибки измерений всех величин.

Наши исследования [26,49,69] по выявлению закономерностей влияния отдельных факторов на величину руслового выклинивания обнаружили, что закономерность изменчивости ее достаточно хорошо аппроксимируется зависимостью руслового выклинивания от обеспеченности притока из зоны формирования текущего ( $P_t$ , %) и предшествующего ( $P_{t-1}$ , %) годов. Так, анализ русловых балансов показал, что с ростом обеспеченности поверхностного притока от 0,4 до 99 % объем руслового выклинивания в Ферганской впадине увеличивается в среднем на 10 %, составляя в маловодные годы 12-20 %, в многоводные - 4-10 % от поверхностного притока; в ЧАКИРе увеличивается в среднем на 8 %, изменяясь от 22-28 % до 16-20 % (рис.3.3).

Большое расхождение экстремальных значений руслового выклинивания определяется, на наш взгляд, двумя факторами. С одной стороны, гидрологической обстановкой предшествующего года, а с другой - хозяйственной деятельностью. Например, для Ферганской впадины водохозяйственные годы 1961/62 и 1962/63 характеризовались относительно низкой водностью (соответственно  $P = 85$  % и 89 %). Однако величина руслового выклинивания в эти годы была неоднозначной, составляя соответственно 22 и 15 % от поверхностного притока. Причина последнего в том, что водохозяйственному году 1961/62 предшествовал многоводный 1960/61 г. ( $P = 11$  %), а



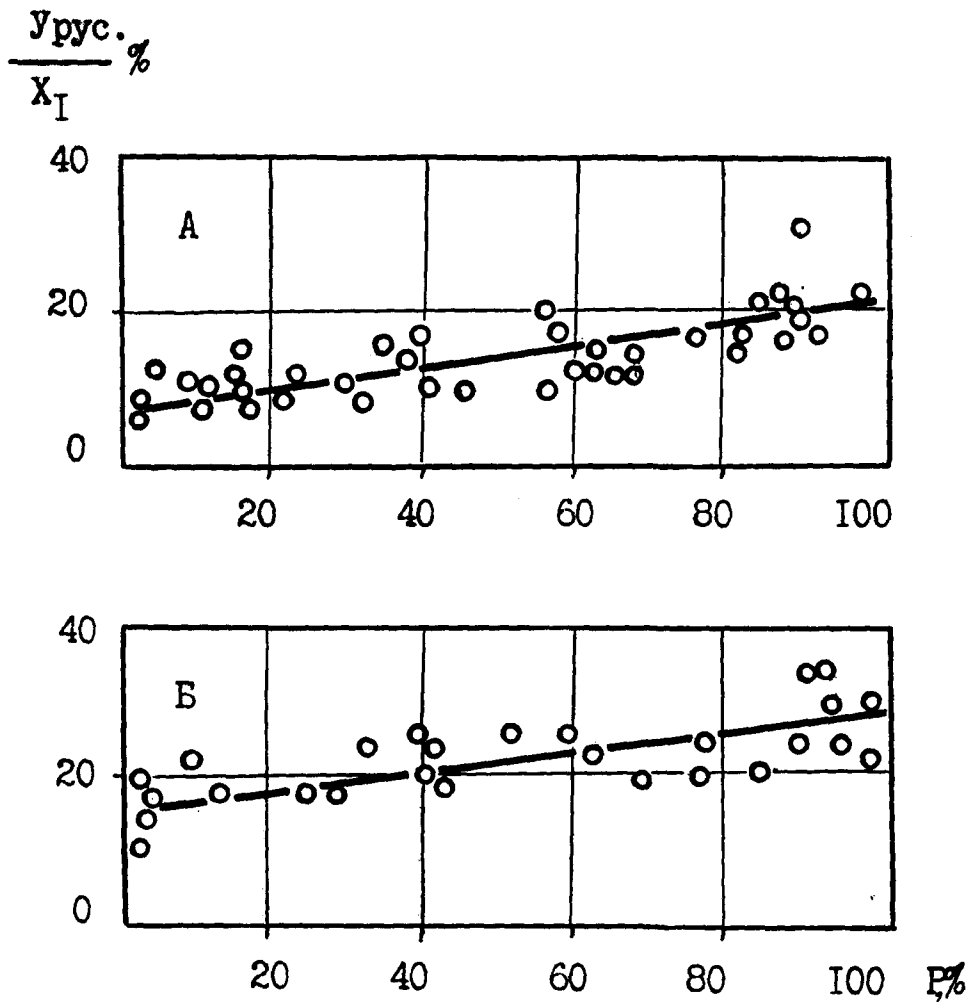


Рис. 3.3. Зависимость относительной доли руслового выклинивания от обеспеченности поверхностного притока: А - Ферганская владина; Б - ЧАКИР

1962/63 году -маловодный.

Объясняется это значительной ролью подземной регулирующей емкости в долине реки. Другими словами, на величину руслового выклинивания оказывает влияние соотношение высотного уровня воды в реке и уровня грунтовых вод на прилегающей территории. В многоводные годы происходит подпитка влаговмещающих пород вследствие повышения уровня воды в реке. В следующее за этим маловодье происходит обратный процесс.

К антропогенным факторам, оказывающим влияние на величину руслового выклинивания, можно отнести следующие:

- подпор грунтовых вод в зоне действия крупных водохранилищ;

- повышение уровня грунтовых вод вследствие орошения на фоне понижения уровня воды в реке из-за увеличения изъятий стока;

- понижение уровня грунтовых вод вследствие строительства дренажа;

- отбор подземных вод.

Первые два фактора увеличивают объем руслового выклинивания в реку.

Влияние орошения на величину руслового выклинивания в бассейне р.Сырдарьи имеет, на наш взгляд, огромное значение. Попытка выявления связи между величинами руслового выклинивания и водозабора на орошение показала, что такая связь существует. Свидетельством этому могут служить значения коэффициентов корреляции между двумя данными величинами (0,68-0,70).

Это объясняется повышением уровня подземных вод на орошаемых массивах. Общеизвестно, что на скорость подъема уровня под-

земных вод в первую очередь влияет приращение их питания в условиях интенсивного расширения орошения.

Последние два фактора из вышперечисленных уменьшают величину руслового выклинивания. Внутрисистемное использование коллекторно-дренажных вод приводит к уменьшению выклинивания грунтовых вод в коллекторно-дренажную сеть и, как следствие, к уменьшению их выклинивания в русло рек.

Влияние отбора подземных вод более подробно мы рассмотрим ниже.

В табл.3.1-3.3 представлены основные гидрологические характеристики водохозяйственных районов бассейна, где наглядно видны ретроспективные изменения величины руслового выклинивания. Как видно, в Ферганской впадине на величину руслового выклинивания, несомненно, фактор орошения оказывает влияние. Но действие его выражено весьма слабо.

До начала 60-х годов основным фактором здесь была величина поверхностного притока: пикам водности поверхностного притока соответствуют самые низкие величины руслового выклинивания и, наоборот, в маловодья наблюдалось наибольшее русловое выклинивание. С 1962 года имеется тенденция сокращения величины руслового выклинивания, которое продолжается и по настоящее время, хотя величина водозабора в это время стремительно возрастает.

На наш взгляд, спад величины руслового выклинивания объясняется интенсивным строительством дренажа (с 1960 по 1984 гг. коллекторно-дренажный сток возрос почти вдвое), а также внутрисистемным использованием коллекторно-дренажных вод и увеличением отбора подземных вод.

В ЧАКИРе до конца 60-х годов величина руслового выклинива-

ния была довольно стабильной: в среднем за 1954/55 - 1969/70 годы она составляла 46 м<sup>3</sup>/с. Водозабор на орошение за те же годы увеличился на 18 %.

**Стабильность** величины руслового выклинивания при при возрастающем объеме орошения объясняется тем, что в этот период наблюдался целый ряд многоводных лет, ввиду чего в реке поддерживался высокий уровень воды, и повышение уровня грунтовых вод под воздействием орошения на величине руслового выклинивания не отразилось.

С 1970/71 по 1979/80 годы водозабор на орошение в ЧАКИРе увеличился на 14 %. Русловое выклинивание увеличилось более интенсивно - в 1,58 раза. Это можно объяснить наложением на фактор орошения понижения водности. Средняя обеспеченность стока за период составляла 58,7 %, снижаясь в отдельные годы до 87,5 % (1975/76 гг.).

Наиболее сильно влияние орошения на величину руслового выклинивания проявилось в среднем течении. Как видно (табл.3.3), до 1962 г. здесь наблюдались русловые потери ввиду того, что уровень грунтовых вод залегал ниже уровня воды в Сырдарье. Лишь в отдельные маловодные годы отмечалось выклинивание грунтовых вод в реку.

После начала интенсивного комплексного освоения земель Голодной степи (с конца 50-х годов) водозабор на орошение возрос уже к концу 60-х годов почти в два раза. Это привело к резкому повышению уровня грунтовых вод на орошаемых землях, и, как следствие, подземный поток изменил направление к руслу реки. Строительство дренажа, ведущееся не столь быстрыми темпами, не изменило новой тенденции в направлении подруслового стока. Несомнен-

ное влияние здесь оказывает Чардаринское водохранилище.

Наши расчеты русловых балансов для среднего течения подтверждаются натурными исследованиями ряда экспедиций. Совместная экспедиция институтов Средазгипроводхлопок и ГГИ в 1949-53 гг. установила, что на участке р.Сырдарьи от г.Бекабада до г/п Кокбулак наблюдались стабильные потери речной воды. В 1961 году экспедиция Средазгипроводхлопка установила наличие руслового выклинивания. Дальнейшие натурные исследования ГГИ и САРНИГМИ на этом участке показали стабильную русловую приточность. Лишь в отдельные периоды, когда перебрасывается часть стока из Кайраккумского водохранилища в Чардаринское, в реке наблюдаются русловые потери, связанные с резким повышением уровня воды в русле.

#### 3.4. Взаимосвязь поверхностных и подземных вод в условиях водохозяйственных районов р.Сырдарьи

Связь подземных вод с речными обуславливается геологической историей развития бассейна и его участков. Изучение этих аспектов нашло отражение в ряде работ гидрогеологов [7,9,42,77], которые выделили различные тектонические области в каждом речном бассейне Средней Азии и вскрыли особенности формирования подземных вод в них. Краткая характеристика их сводится к следующему.

Восточная и северо-восточная части бассейна р.Сырдарьи относятся к Тяньшаньскому эпиплатформенному орогену, остальная часть - к Туранской платформенной области. Значительная часть

территории эпиплатформенного орогена занята положительными тектоническими формами в виде горных массивов. Они разобщены каскадами изолированных и разных по размерам межгорных впадин, являющихся внутригорными мелкими артезианскими бассейнами. Межгорные впадины представляют собой значительные по мощности, но небольшие по площади геоморфологические формы рельефа с пролегающими в их пониженных центральных частях руслами рек, которые в региональном плане являются дренами для подземных вод.

В платформенной области широкое распространение имеют значительные по размерам артезианские бассейны, которые приурочены к отрицательным тектоническим формам — мульдам, впадинам, синклиналям с прилегающими склонами. Равнинно-низменная территория платформенной области характеризуется развитием пустынных степных пространств.

В горных массивах водоносные зоны трещиноватости аккумулируют и трансформируют значительную часть атмосферных осадков. За счет этого формируется подземный сток, который является частью речного.

В межгорных впадинах, долинах, дельтах рек орогена и платформы подземные воды формируются за счет потерь из рек и с орошаемых массивов. На этой территории происходит аккумуляция и трансформация части речного стока водоносными горизонтами, а затем их разгрузка на более низких гипсометрических отметках обратно в водотоки.

Водоносные горизонты и комплексы артезианских бассейнов платформы выполняют ту же роль по отношению к атмосферным осадкам и подземному оттоку с эпиплатформенного орогена.

По характеру взаимодействия подземных и речных вод выделя-

ются территории и участки двух типов: гравитационного и гидростатического. Они подразделяются на три вида взаимосвязи. В первом они не имеют гидравлической связи и разделяются на две разновидности:

- нисходящая с формированием речного стока - горные массивы;
- нисходящая с потерями речного стока - верхние части предгорных шлейфов и предгорных равнин.

Во втором виде подземные и поверхностные воды являются гидравлически взаимосвязанными. Здесь выделяются две разновидности:

- с постоянной -
- с периодической гидравлической связью.

Этот вид характерен для средних и центральных частей межгорных впадин, долин и дельт рек.

Третий вид взаимосвязи обусловлен субнапорностью водоносных комплексов.

Для рассматриваемых нами водохозяйственных районов бассейна р. Сырдарьи преобладающим является второй из вышеперечисленных видов взаимосвязи поверхностных и подземных вод, хотя имеются отдельные участки и с другими видами взаимосвязи.

Специалисты ЦНИИКИВР считают, что если примерно 50 % подземных вод гидравлически связаны с поверхностным стоком, то их отбор уменьшает ресурсы речного стока [73]. Поэтому подземные воды можно рассматривать, как дополнительный источник водопотребления только в том случае, если их забор составляет не более 50 % от эксплуатационных запасов [73, стр. 54].

Это положение, очевидно, требует уточнения для каждого конкретного региона. В последние 15-20 лет гидрогеологи уделяют бо-

льшее внимание оценке влияния эксплуатации подземных вод на речной сток. Перед гидрологами также весьма актуальная задача - выявление характера и закономерностей гидрологической связи этих вод в речном бассейне [11].

Первые работы по изучению вопросов изменения поверхностного стока под влиянием отбора подземных вод появились в 40-х годах нашего столетия [31]. Наиболее полно история изучения вопроса дана в работе С.Я.Концевовского и Е.Л.Минкина [34, стр.84-85], поэтому не будем останавливаться на обзоре всех исследований еще раз. Необходимо только отметить, что работы Е.Л.Минкина и С.Я.Концевовского [34,42] отражают самые последние и наиболее перспективные достижения гидрогеологии в этом направлении.

С.Я.Концевовский и Е.Л.Минкин [34] рассматривают фильтрационную систему водозабор - водоносный пласт - поверхностный водоток. В такой системе реакцией на возмущение, вызванное водоотбором, является "редукция" поверхностного стока.

"Редукцией" авторы называют те "...определенные изменения поверхностного стока, которые происходят под влиянием эксплуатации водозаборов подземных вод [34, стр.5].

Универсальной характеристикой реакции геофильтрационной системы служит передаточная функция. В работе [34] рассмотрена методика получения и даны конкретные выражения для передаточных функций, связывающих изображения по Лапласу редукции с изображением возмущения (водоотбора) для различных природных условий и разных типов водозаборов.

Для использования предлагаемого метода [34] необходимо всестороннее знание исходных параметров природных и хозяйственных



условий формирования потоков и бассейнов подземных вод. К природным факторам относятся гидрогеологические условия залегания подземных вод, факторы их естественного питания и разгрузки, а также состав и фильтрационные свойства водовмещающих пород. При этом необходимо учесть различные уровни развития орошаемого земледелия в каждом водохозяйственном регионе и другие хозяйственные факторы.

Кроме того, рекомендованная в работах [34,42] методика учитывает одно месторождение подземных вод в системе их совместного использования с поверхностными, тогда как в каждом водохозяйственном регионе бассейна р.Сырдарьи эксплуатируется несколько десятков месторождений. Методику С.Я.Концевовского и Е.Л.Минкина [34] весьма сложно практически применять в масштабах крупного региона в целом. Это объясняется низкой степенью точности расчетных схем, описывающих фактические гидрогеологические условия большого водохозяйственного региона.

Как известно, в масштабах крупной территории влияние эксплуатации подземных вод на поверхностный сток выражается в виде сокращения его расходов, т.е. справедлива закономерность Н.Н.Веригина [9] - сокращение поверхностного стока равно уменьшению подземного питания реки. Другими словами, увеличение отбора подземных вод влечет за собой сокращение величины руслового выклинивания и, как следствие, сокращение поверхностного стока. Русловое выклинивание играет роль буфера между поверхностными и грунтовыми водами.

Объем руслового выклинивания в общем случае зависит от соотношения уровней воды в реке и грунтовых вод на массиве. Для

условий водохозяйственных районов бассейна р.Сырдарьи можно утверждать, что среднегодовой уровень воды в реке зависит от величины среднегодового расхода воды в верхнем створе района. Среднегодовой уровень грунтовых вод на территории района обусловлен среднегодовым расходом воды в реке в предшествующем году, водоподачей на орошение, а также величиной отбора подземных вод.

В различных водохозяйственных районах вес каждого из перечисленных факторов неоднозначен даже в пределах одного речного бассейна. Это объясняется различием гидрогеологических и мелиоративных условий. Наглядным тому свидетельством могут служить значения коэффициентов корреляции связей между величиной руслового выклинивания и величинами факторов, влияющих на него (таблица 3.5).

Как видно из таблицы 3.5, наибольший коэффициент линейной парной корреляции имеют величины руслового выклинивания с поверхностным притоком и отбором подземных вод. Последнее служит доказательством справедливости тезиса о связующей роли руслового выклинивания между поверхностными и подземными водами.

## Р Е З Ю М Е

I. Исходя из гидрологических и водохозяйственных особенностей бассейна р.Сырдарьи, нами принята структура боковой приточности, согласно которой последняя складывается из устьевых сбросов боковых притоков, коллекторно-дренажных вод и подземной составляющей.

Таблица 3.5

Показатели тесноты связи руслового выклинивания с различными факторами, на него влияющими в водохозяйственных районах бассейна р. Сырдарья

Водохоз. район	Параметр, с которым установлена связь	Расчетный период	Коэффициент корреляции	Стандартное отклонение $M^3/c$	Уравнение регрессии
Ферганская Владина	Водозабор на орошение	1938-85	0,679	43,9	$Y = 44,2 + 0,62 \cdot X - 0,0008 \cdot X^2$
	Поверхностный приток текущего года	1938-85	0,752	41,7	$Y = 47,5 + 0,07 \cdot X + 0,00007 \cdot X^2$
	Поверхностный приток предшествующего года	1938-85	0,729	37,2	$Y = 46,1 + 0,12 \cdot X + 0,00012 \cdot X^2$
	Отбор подземных вод	1970-85	0,711	8,97	$Y = 17,1 + 0,09 \cdot X - 0,00002 \cdot X^2$
ЧАКИР	Водозабор на орошение	1954-85	0,695	11,2	$Y = 117 - 0,92 \cdot X + 0,0004 \cdot X^2$
	Поверхностный приток текущего года	1954-85	0,854	7,24	$Y = -44,3 + 0,76 \cdot X - 0,0011 \cdot X^2$
	Поверхностный приток предшествующего года	1954-85	0,871	8,12	$Y = 25,1 + 0,65 \cdot X - 0,0031 \cdot X^2$
	Отбор подземных вод	1970-85	0,849	5,10	$Y = 72,3 - 0,71 \cdot X + 0,003 \cdot X^2$

Продолжение таблицы 3.5

I	2	3	4	5	6
Среднее течение	Водозабор на орошение	1950-85	0,689	30,2	$y = -118 + 1,41 \cdot X - 0,0003 \cdot X^2$
	Поверхностный приток текущего года	1950-85	0,710	9,31	$y = -22,2 + 0,3 \cdot X - 0,0004 \cdot X^2$
	Поверхностный приток предшествующего года	1950-85	0,710	9,31	$y = -12,4 + 0,4 \cdot X - 0,0003 \cdot X^2$
	Отбор подземных вод	1970-85	0,697	25,7	$y = 10,1 + 0,5 \cdot X - 0,0007 \cdot X^2$

2. В каждом водохозяйственном районе бассейна доля той или иной составляющей в сумме боковой приточности различна. В результате хозяйственной деятельности практически полностью сократился устьевой сток боковых рек, значительно возросла доля коллекторно-дренажных вод и руслового выклинивания.

3. На величину коллекторно-дренажного стока основное влияние оказывает величина водозабора на орошение.

4. Величина руслового выклинивания зависит от ряда факторов, основными из которых являются поверхностный приток текущего и предшествующего периодов, водозабор на орошение и отбор подземных вод.

5. Русловое выклинивание является связующим звеном между поверхностными и подземными водами в замкнутых границах каждого водохозяйственного района бассейна р.Сырдарьи.

6. Собранный статистический материал позволяет разработать алгоритмы прогноза боковой приточности по отдельным ее составляющим, чему посвящена 4 глава работы.

## ГЛАВА 4. МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БОКОВОЙ ПРИТОЧНОСТИ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ЕЮ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АСУБ СЫРДАРЬИ

### 4.1. Долгосрочный прогноз боковой приточности заблаговременностью один год

На стадии разработки научно-методических основ АСУ водохозяйственным комплексом бассейна р. Сырдарьи (АСУБ Сырдарьи) была разработана методика долгосрочного (заблаговременностью один год) прогнозирования боковой приточности [49, 61, 62]. Суть методики состоит в расчленении боковой приточности на отдельные генетические составляющие с учетом особенностей каждого водохозяйственного района бассейна.

Расчленение боковой приточности на генетические составляющие позволяет учесть большее число факторов при разработке расчетных уравнений, что повышает достоверность прогноза. Кроме того, на стадии II очереди АСУБ Сырдарьи такой подход обеспечит более точный учет качества вод, что имеет особую актуальность в условиях нарастающего дефицита чистой воды.

### 4.1.1. Методика прогнозирования коллекторно-дренажного стока

Задачи планирования и оперативного управления в условиях АСУБ Сырдарьи требуют разработки доступных для повседневной инженерной практики и в то же время надежных методов прогноза коллекторно-дренажного стока заблаговременностью один год с исполь-

зованием измеряемых в натуральных условиях элементов водного баланса орошаемой территории. В связи с этим нам импонирует опыт разработки регрессионных моделей учета возвратных вод от ирригации, описанный в работе [6]. Используя идею учета времени поступления оросительной воды в коллекторно-дренажную сеть после ее забора из водоисточника, мы предложили упрощенную схему расчета изменения запасов влаги в почвогрунтах на орошаемом массиве [51,63].

Изменение запасов влаги в почвогрунтах (здесь подразумевается слой от поверхности земли до первого водоупора) орошаемого массива  $W$  за время  $dt$  можно описать следующим выражением:

$$\frac{dW}{dt} = Q_{op} + \sum Q_{п} - Q_{кд} - \sum Q_{р}, \quad (4.1)$$

в котором приняты обозначения:

$Q_{op}$  - водозабор на орошение;

$\sum Q_{п}$  - суммарный приход влаги, складывающийся из подземного притока с соседних территорий и других влагоемких слоев; инфильтрации осадков; фильтрационных потерь из рек и каналов;

$Q_{кд}$  - коллекторно-дренажный сток;

$\sum Q_{р}$  - суммарный расход влаги, который складывается из подземного оттока за пределы расчетного контура, выклинивания грунтовых вод в русла рек или в виде родников; отбора подземных вод на хозяйственные нужды.

Исходя из закона сохранения вещества (воды) в предложенной схеме, можно величину коллекторно-дренажного стока выразить в виде пропорции из запасов влаги в почвогрунтах:

$$Q_{kd} = \alpha \cdot W \quad (4.2)$$

В свою очередь, величину  $\sum Q_p$  также можно выразить пропорционально, а величину  $\sum Q_n$  - обратно пропорционально запасам влаги в почвогрунтах, т.е.:

$$\sum Q_n = \frac{1}{\beta} \cdot W; \quad (4.3)$$

$$\sum Q_p = \gamma \cdot W, \quad (4.4)$$

где:  $\alpha, \beta, \gamma$  - некоторые коэффициенты пропорциональности. Причем  $\alpha + \frac{1}{\beta} + \gamma < 1$ , поскольку в величине запасов влаги в почвогрунтах принимают участие еще и оросительные воды.

Исходя из уравнения (4.2), можно соответствующим образом переписать выражения (4.3) и (4.4):

$$\sum Q_n = \frac{1}{\alpha \cdot \beta} \cdot Q_{kd}; \quad (4.5)$$

$$\sum Q_p = \frac{\gamma}{\alpha} \cdot Q_{kd}. \quad (4.6)$$

Подставив выражения (4.5) и (4.6) в уравнение (4.1), получим:

$$\frac{dW}{dt} = Q_{op} - \frac{\alpha \cdot \beta - 1 + \gamma \cdot \beta}{\alpha \cdot \beta} \cdot Q_{kd}. \quad (4.7)$$

Поскольку, как известно, между водозабором на орошение и



коллекторно-дренажным стоком, сформированным в результате первого, существует некоторая сдвигка во времени, необходимо ее учесть (обозначим ее  $M$ ). Используя неявную схему численного решения дифференциального уравнения I-го порядка и полагая  $\Delta t = 1$ , получим следующее решение уравнения (4.7):

$$\frac{1}{\alpha} \cdot (Q_{kd_{t+1}} - Q_{kd_t}) = \frac{1}{2} \left[ Q_{op_{t+1-M}} + Q_{op_{t-M}} - \frac{\alpha\beta - 1 + \gamma\beta}{\alpha\beta} \cdot (Q_{kd_{t+1}} + Q_{kd_t}) \right] \quad (4.8)$$

В результате арифметических упрощений уравнение (4.8) приводится к следующему виду:

$$Q_{kd_{t+1}} = K_1 \cdot Q_{kd_t} + K_2 \cdot (Q_{op_{t+1-M}} + Q_{op_{t-M}}), \quad (4.9)$$

где:  $K_1$  и  $K_2$  - коэффициенты пропорциональности, выражение которых через  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  мы для простоты опускаем.

Здесь нужно подробнее остановиться на физическом смысле величины  $M$ . Очевидно, что величина  $M$  является интегральной характеристикой конкретного водохозяйственного района. По сути это - промежуток времени с момента учета величины водозабора из источника (в голове ирригационных каналов) до момента учета коллекторно-дренажных вод (в устьях коллекторов и сбросов), то есть время добегания. За это время вода, забираемая из источника, протекает по каналам всех порядков (включая и временные оросители), трансформируется на орошаемом поле в дренажный сток, который совместно со сбросными водами поступает в коллекторно-дренажную сеть. В дальнейшем будем называть эту величину "временем рекуперации" - от латинского **RECUPERATIO** - обратное

частичное получение вещества для повторного использования в том же технологическом процессе.

Несомненно, величина времени рекуперации для конкретного водохозяйственного района зависит от особенностей гидрографии, степени искусственной и естественной дренированности территорий. Последняя, в свою очередь, зависит от расчлененности рельефа, его уклонов и фильтрационных свойств пород, что будет показано ниже.

Необходимо также отметить и тот факт, что значения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  уравнения (4.9) непостоянны во времени вследствие изменчивости водного режима орошаемых территорий. Изменчивость последнего, в свою очередь, происходит в результате совершенствования технического уровня мелиоративных систем, мелиоративного режима, при изменении интенсивности отбора подземных вод. Однако очевидно и то, что заметные изменения перечисленных характеристик происходят не в один год, а за период 5-6 лет и более.

Все изложенное выше говорит о том, что предложенное регрессионное уравнение (4.9) возможно использовать для прогноза коллекторно-дренажного стока в течение одного водохозяйственного года. Для каждого последующего года необходимо пересчитать коэффициенты уравнения с учетом новой информации.

Для получения численных значений коэффициентов уравнения (4.9) были использованы ряды гидрологической информации - среднемесячные расходы воды водозаборов на орошение и коллекторно-дренажных вод. Причем количество членов рядов водозабора на I2 больше, чем членов ряда коллекторно-дренажных вод, что обусловлено наличием времени рекуперации.

Линейный регрессионный анализ начнем с проверки нормальности вектор-столбца среднемесячных расходов воды водозабора и коллекторно-дренажного стока для каждого водохозяйственного района бассейна. Проверим, находится ли отношение  $R/S$  в допустимых пределах (10 %-ных границах) [38], где:  $R$  - размах варьирования;  $S$  - среднеквадратические отклонения. Вычисление отношений  $R/S$  для водохозяйственных районов дало следующие результаты:

Ферганская впадина -	$R/S$	= 4,12
ЧАКИР -	$R/S$	= 3,96
Голодная степь -	$R/S$	= 4,28
Дальверзинская степь -	$R/S$	= 4,19.

Все вычисленные  $R/S$  попадают в табличный интервал (табличные значения взяты в [38]). Следовательно, гипотезу нормальности распределения рядов наблюдений можно принять.

Таким образом, наблюдения за водозабором и коллекторно-дренажным стоком являются двумерной нормально распределенной величиной и имеет место второй тип регрессии [38], при котором могут быть исследованы прямая  $y = f(x)$  и обратная  $x = f(y)$  регрессии и выполнен корреляционный анализ.

Определение численных значений коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$  и времени рекуперации  $M$  производилось следующим образом. Из имеющихся дискретных рядов наблюдений фиксированной длины формировались одномерные массивы для проведения многофакторного анализа методом наименьших квадратов по формуле вида:

$$\bar{Y} = K_1 \cdot \bar{X} + K_2 \cdot \bar{Z}, \quad (4.10)$$

где:  $\bar{y}$  - вектор зависимых переменных;

$\bar{x}, \bar{z}$  - вектора независимых переменных;

$K_1, K_2$  - коэффициенты, подлежащие определению.

Формирование векторов уравнения (4.10) и операции вычислений происходят следующим образом. Задается целое значение времени рекуперации  $M$  ( $0 \leq M \leq 12$ ) - за шаг итерации принят месяц. Формируется вектор  $\bar{z}, [z_i = x_{op_{t-M}} + x_{op_{t-M-1}}]$ ; формируется вектор  $\bar{x}, [x_i = x_{kd_{t-1}}]$ ; формируется вектор  $\bar{y}, [y_i = y_{kd_t}]$ .

Численные значения коэффициентов регрессии  $K_1$  и  $K_2$  необходимо подобрать так, чтобы среднее квадратическое отклонение значений  $\bar{y}$  от формулы (4.10) было наименьшим. Суммарные отклонения  $S$  определяются по следующей формуле:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - K_1 \cdot x_i - K_2 \cdot z_i)^2 \quad (4.11)$$

Для того, чтобы найти такие  $K_1$  и  $K_2$ , которые доставляют величине  $S$  наименьшее значение, надо вычислить производные  $S$  по  $K_1$  и  $K_2$  и приравнять их к нулю:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial K_1} &= \sum_{i=1}^n (y_i - K_1 \cdot x_i - K_2 \cdot z_i) \cdot x_i = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial K_2} &= \sum_{i=1}^n (y_i - K_1 \cdot x_i - K_2 \cdot z_i) \cdot z_i = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.12)$$

Преобразуем полученную систему нормальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i - K_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - K_2 \cdot \sum_{i=1}^n z_i \cdot x_i &= 0 \\ \sum_{i=1}^n y_i \cdot z_i - K_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot z_i - K_2 \cdot \sum_{i=1}^n z_i^2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.13)$$

В формулах (4.13) и далее для краткости у знака суммы  $\Sigma$  опущены индексы. Систему (4.13) решаем с помощью определителей:

$$K_1 = \theta_1 / \theta ; K_2 = \theta_2 / \theta , \quad (4.14)$$

где  $\theta$  - главный определитель.

Имеем:

$$\theta = \begin{vmatrix} \Sigma x_i^2 & \Sigma z_i \cdot x_i \\ \Sigma x_i \cdot z_i & \Sigma z_i^2 \end{vmatrix} ; \quad (4.15)$$

$$\theta_1 = \begin{vmatrix} \Sigma y_i \cdot x_i & \Sigma x_i^2 \\ \Sigma y_i \cdot z_i & \Sigma x_i \cdot z_i \end{vmatrix} ; \quad (4.16)$$

$$\theta_2 = \begin{vmatrix} \Sigma y_i \cdot x_i & \Sigma z_i \cdot x_i \\ \Sigma y_i \cdot z_i & \Sigma z_i^2 \end{vmatrix} ; \quad (4.17)$$

откуда:

$$K_1 = \frac{\Sigma y_i \cdot x_i \cdot \Sigma x_i \cdot z_i - \Sigma x_i^2 \cdot \Sigma y_i \cdot z_i}{\Sigma x_i^2 \cdot \Sigma z_i^2 - (\Sigma x_i \cdot z_i)^2} ; \quad (4.18)$$

$$K_2 = \frac{\Sigma y_i \cdot x_i \cdot \Sigma z_i^2 - \Sigma y_i \cdot z_i \cdot \Sigma z_i \cdot x_i}{\Sigma x_i^2 \cdot \Sigma z_i^2 - (\Sigma x_i \cdot z_i)^2} . \quad (4.19)$$

Далее в уравнение (4.10) подставляются вычисленные значения коэффициентов регрессии  $K_1$  и  $K_2$ , по значению параметра  $M$  выбираются наблюдаемые величины водозабора и строится вектор расчетных значений коллекторно-дренажного стока  $\bar{y}$ . Затем вычисляется коэффициент линейной корреляции между фактическими значениями коллекторно-дренажного стока и рассчитанными по уравнению (4.10) для одних и тех же месяцев.

После проведения всех перечисленных операций задается следующее значение времени рекуперации  $M$  из интервала  $0 \leq M \leq 12$  и все операции повторяются.

Окончательно для расчетов коэффициенты регрессии  $K_1$ ,  $K_2$  и параметр  $M$  принимаются по максимальному значению коэффициента линейной корреляции между рассчитанными и фактическими значениями коллекторно-дренажного стока ( $R$ ).

Результаты расчетов на ЕС ЭВМ-1035 по специально составленной автором программе с использованием имеющихся данных по каждому водохозяйственному району бассейна приведены в табл.4.1.

Проверка адекватности уравнений по критерию Фишера [38]:

$$\hat{F}_{kd} = \bar{S}_{kd}^2 / \bar{S}_{kd_{ост}}^2 \quad (4.20)$$

показывает, что полученные нами уравнения регрессии значимы только при 10 %-ном уровне значимости (90 %-й доверительной вероятности). В формуле (4.20)  $\bar{S}_{kd_{ост}}^2$  - остаточная дисперсия, которая вычисляется по формуле [38]:

$$\bar{S}_{ост}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1} \quad (4.21)$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии  $K_1$  и  $K_2$  по  $t$  - критерию Стьюдента [38]:

$$\hat{t}_{k_i(yx)} = K_i(yx) / \bar{S}_{k_i(yx)} \quad (4.22)$$

показала, что найденные значения коэффициентов регрессии статистически значимы.

Таблица 4.1.

Расчетные значения коэффициентов регрессионного уравнения (4.9) для прогноза коллекторно-дренажного стока

Водохозяйственный район	Расчетный период	Значения коэффициентов				
		$K_1$	$K_2$	$M$ , месяц	$R$	$G$ , м <sup>3</sup> /с
Ферганская впадина	1956-1988	0,911	0,014	7	0,866	27,10
Ч А К И Р	1954-1988	0,923	0,004	8	0,861	10,60
Голодная степь	1950-1988	0,800	0,028	11	0,913	18,80
Дальверзинская степь	1950-1988	0,844	0,027	0	0,796	5,18

В пределах верховьев Нарына коллекторно-дренажные воды не формируются.

Как видно из табл.4.1, полученные значения времени рекуперации вполне согласуются с геоморфологией и гидрогеологическими условиями водохозяйственных районов бассейна, т.е. величина  $M$  имеет определенный физический смысл.

Последний тезис мы можем обосновать на примере Дальверзин-

ской степи, где, как видно из приведенных расчетных данных (табл.4.I), величина  $M = 0$  месяцев.

Для этого более подробно рассмотрим гидрогеологические условия и особенности расположения мелиоративных систем данного района. При этом нами была использована инженерно-геологическая карта мелиорируемых земель Дальверзинского массива по материалам съемки 1985-87 гг. отдела дренажа САНИИРИ (Ф.Карамов) масштабом 1:200000.

Дальверзинский массив размещен в зоне транзита потоков грунтовых вод Мирзаватской межгорной впадины (рис.4.I). Нижняя часть орошаемого массива расположена на плоской равнине третьей надпойменной террасы р.Сырдарьи, сложенной четвертичными аллювиальными гравийно-галечными отложениями, подстилаемыми с глубины 250-300 м глинами и алевролитами неогена. Крупнообломочные породы хорошо промыты, отсортированы и характеризуются величиной коэффициента фильтрации  $K_{\Phi} = 30 \div 50$  м/сут [76]. Средняя для нижней зоны мощность водоносного пласта принята нами  $m = 200$  м (рис.4.I). коэффициент водоотдачи грунта  $\mu = 0,12$  [76]. В этой зоне для отвода инфильтрационных вод сооружены коллекторные системы, которые подвешены к крупным коллекторам, отводящим воду в р.Сырдарью: Главный водосборный коллектор, Соликат, Уртукли, ХВ-15-17-19 и ХВ-19-21. Расстояние между коллекторами в среднем составляет около 1200 м.

Верхняя часть Дальверзинского массива расположена на предгорной аллювиально-пролювиальной равнине слившихся конусов выноса периодически действующих водотоков (саев), сложенных галечно-щебнистыми породами, обогащенными мелкоземами. Величина коэффи-



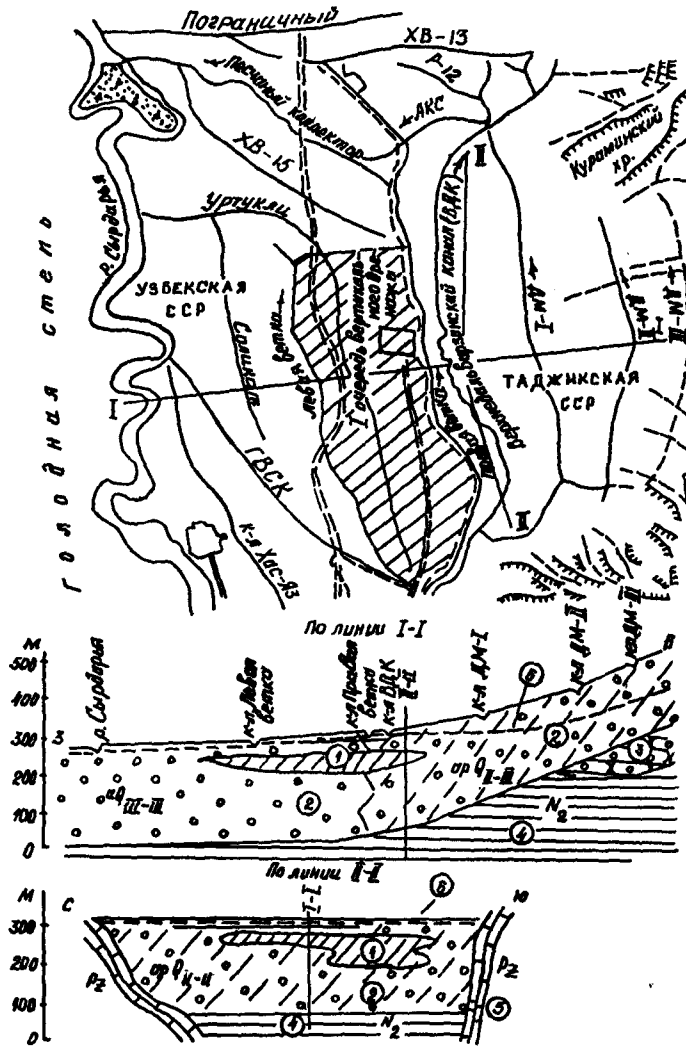


Рис. 4.1. План и разрезы Дальварзинской оросительной системы (по Ходжибаеву Н.Н., Нейману Б.Я. [76]).

Цифры в кружках: 1-суглинок, 2-галечник, 3-конгломерат, 4-глины, 5-известняк, 6-уровень грунтовых вод.

циента фильтрации в этой зоне составляет  $10\pm 30$  м/сут, коэффициент водоотдачи грунта  $\mu = 0,12$ , средняя мощность водоносного пласта  $m = 150$  м [76]. В 1968-76 гг. на орошаемых землях, прилегающих к каналу Правая ветка (рис.4.1), была построена система вертикального дренажа из 73 скважин для защиты земель от подтопления. Аналогичная система вертикального дренажа из 31 скважины была построена в 1972-73 гг. вдоль канала ВДК (рис.4.1). Вода, откачиваемая этими скважинами, сбрасывается в коллектора Уртуклинский, Песчаный, Пограничный, по которым отводится в р.Сырдарью.

Весь Дальверзинский массив вытянут вдоль р.Сырдарьи на 50 км, ширина его составляет около 20 км. Площадь орошаемых земель здесь составляет около 80 тыс.га.

Оценим величину радиуса распространения фильтрационного потока в обеих зонах Дальверзинского массива, используя общеизвестную формулу:

$$R = 1,5 \cdot \sqrt{\alpha \cdot t}, \quad (4.23)$$

где:  $R$  - радиус распространения фильтрационного потока;

$t$  - время от начала развития кривой депрессии на прилегающую территорию (сутки);

$\alpha$  - коэффициент уровнепроводности (м<sup>2</sup>/сут), который определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{K_f \cdot m}{\mu}, \quad (4.24)$$

в которой:  $K_f$  - коэффициент фильтрации грунта, м/сут;

$m$  - мощность водоносного пласта (м);

$\mu$  - коэффициент водоотдачи грунта (в долях единицы).

Задавшись величиной времени  $t = 10$  сут и используя числен-

ные значения всех параметров формул (4.23 и 4.24), которые приведены выше, произведем расчет величины радиуса распространения фильтрационного потока:

$$\text{— для верхней зоны: } R = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{20 \cdot 150}{0,12} \cdot 10} = 750 \text{ м;}$$

$$\text{— для нижней зоны: } R = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{40 \cdot 200}{0,12} \cdot 10} = 1225 \text{ м.}$$

Таким образом, полученные значения говорят о том, что оросительная вода, поданная на земли верхней зоны, менее чем за 10 суток в виде инфильтрационного потока перехватывается скважинами вертикального дренажа и сбрасывается в коллектора Уртуклинский и Песчаный. Учитывая, что средняя скорость течения воды в этих коллекторах составляет около 0,5 м/с, а их протяженность составляет около 20 км, ясно, что сброшенная в коллектора вода достигнет р.Сырдарьи в течение 1 суток.

В нижней зоне профильтровавшаяся оросительная вода также в течение 10 суток попадет в коллекторную сеть, по которой в течение еще одних суток достигнет р.Сырдарьи. Это следует из того, что расстояние между коллекторами здесь, как уже упоминалось, составляет около 1200 м.

Приняв во внимание время, за которое вода, забранная из р.Сырдарьи, достигла по магистральным каналам орошаемых полей (не более 2 суток), можно заключить следующее. Величина времени рекуперации для Дальверзинского массива не превышает 15 суток. Поскольку при расчетах численных значений коэффициентов и параметров уравнения (4.9) за шаг итерации времени рекуперации нами был принят целый месяц, ясно, почему в результате расчетов время

рекуперации для Дальверзинской степи составило 0 месяцев (табл. 4.1).

Аналогичные выкладки можно привести и для других водохозяйственных районов бассейна. Поскольку это большой по объему материал, ограничимся только общими рассуждениями.

Для Голодностепского района среднего течения время рекуперации составляет II месяцев. Объясняется это тем, что район занимает "глухую" зону погружения и рассеивания потоков грунтовых вод. Коэффициент фильтрации пород в среднем составляет 0,5 м/сут, уклоны потока грунтовых вод не превышают величин 0,002-0,003. Уровень грунтовых вод практически стабилен, годовая амплитуда до 0,2 м, многолетняя - до 0,5 м, без четко выраженных экстремальных положений, что весьма характерно для грунтовых вод застойного типа [76].

В ЧАКИРЕ процесс рекуперации растянут на 8 месяцев, в Ферганской впадине - на 7 месяцев. Объясняется это, в первую очередь, масштабностью данных районов, распластанностью орошаемых массивов на большой территории. Здесь территории с интенсивной естественной дренированностью перемежаются с районами со слабой дренированностью.

#### 4.1.2. Методика прогнозирования руслового выклинивания.

С учетом закономерностей формирования руслового выклинивания произведен выбор оптимальной формы уравнения регрессии в множественной ситуации, когда искомая величина зависит от шести факторов: поверхностного притока в расчетном ( $X_1$ ) и предшест-

вующем ( $X_2$ ) годах, водозабора на орошение ( $X_3$  и  $X_4$ ) и отбора подземных вод ( $X_5$  и  $X_6$ ), также в расчетном и предшествующем годах. Выбор уравнения осуществлен по максимальному значению коэффициента множественной корреляции. Для этого вначале мы построили полную квадратичную модель с 27 эффектами (для каждого водохозяйственного района бассейна) вида:

$$\begin{aligned} Y = & b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_4 \cdot X_4 + b_5 \cdot X_5 + \\ & + b_6 \cdot X_6 + b_{11} \cdot X_1^2 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + b_{14} \cdot X_1 \cdot X_4 + \\ & + b_{15} \cdot X_1 \cdot X_5 + b_{16} \cdot X_1 \cdot X_6 + b_{22} \cdot X_2^2 + b_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + b_{24} \cdot X_2 \cdot X_4 + \\ & + b_{25} \cdot X_2 \cdot X_5 + b_{26} \cdot X_2 \cdot X_6 + b_{33} \cdot X_3^2 + b_{34} \cdot X_3 \cdot X_4 + b_{35} \cdot X_3 \cdot X_5 + \\ & + b_{36} \cdot X_3 \cdot X_6 + b_{44} \cdot X_4^2 + b_{45} \cdot X_4 \cdot X_5 + b_{46} \cdot X_4 \cdot X_6 + \\ & + b_{55} \cdot X_5^2 + b_{56} \cdot X_5 \cdot X_6 + b_{66} \cdot X_6^2. \end{aligned} \quad (4.25)$$

Критерий Фишера для этой модели:

$$F = \bar{S}_y^2 / \bar{S}_{ост}^2, \quad (4.26)$$

где:  $\bar{S}_y^2$  - дисперсия среднего;  
 $\bar{S}_{ост}^2$  - остаточная дисперсия.

Были получены величины:

- |                          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| - для верховьев Нарына   | - $\hat{F} = 5,7 > F^T = 4,1;$ |
| - для Ферганской впадины | - $\hat{F} = 6,9 > F^T = 3,8;$ |
| - для Среднего течения   | - $\hat{F} = 5,5 > F^T = 3,7;$ |
| - для ЧАКИРА             | - $\hat{F} = 6,8 > F^T = 3,5.$ |

Табличные значения критерия Фишера приняты по [38] при 5 %-м уровне значимости.

Затем произвели отсев незначимых эффектов, в процессе которого были исключены статистически незначимые по  $t$  - критерию Стьюдента эффекты. В результате получены модели:

- |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| - для Верховьев Нарына   | - с 3-мя коэффициентами; |
| - для Ферганской впадины | - с 9-ю;                 |
| - для Среднего течения   | - с 6-ю;                 |
| - для ЧАКИРА             | - с 6-ю.                 |

Критерий Фишера итоговых уравнений увеличился незначительно, однако значения коэффициента множественной корреляции возросли значительно.

Численные значения коэффициентов уравнений для каждого водохозяйственного района получены на основании статистических рядов наблюдений за всеми входящими величинами, а также ряда рассчитанной по уравнениям руслового баланса величины руслового выклинивания (среднегодовые расходы воды за 35-летний период 1950-1985 гг.).

Результаты расчетов по специально разработанной программе для ЕС ЭВМ-1035 следующие.

Верховья Нарына:

$$U_{рус_t} = 0,14 \cdot X_{1_t} - 0,031 \cdot X_{1_{t-1}} - 0,000254 \cdot X_{1_t}^2 ; \quad (4.27)$$

Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,90$ ; стандартная ошибка зависимого параметра  $\sigma = 2,38$  м<sup>3</sup>/с.

Ферганская впадина:

$$\begin{aligned} Y_{рус_t} = & 0,56 \cdot X_{1_t} + 0,29 \cdot X_{1_{t-1}} + 2,18 \cdot X_{ор_t} - \\ & - 2,61 \cdot X_{олв_t} + 0,0006 \cdot X_{1_t}^2 - 0,0003 \cdot X_{1_t} \cdot X_{1_{t-1}} - \\ & - 0,0026 \cdot X_{1_t} \cdot X_{ор_t} + 0,0031 \cdot X_{1_t} \cdot X_{олв_t} - 832; \end{aligned} \quad (4.28)$$

$R = 0,75$ ;  $\sigma = 23,1$  м<sup>3</sup>/с.

Среднее течение:

$$\begin{aligned} Y_{рус_t} = & -0,416 \cdot X_{1_t} - 0,045 \cdot X_{1_{t-1}} + 2,05 \cdot X_{ор_t} - \\ & - 0,386 \cdot X_{олв_t} + 0,0004 \cdot X_{1_t}^2 - 300; \end{aligned} \quad (4.29)$$

$R = 0,79$ ;  $\sigma = 15,2$  м<sup>3</sup>/с.

ЧАКИР:

$$\begin{aligned} Y_{рус_t} = & -0,465 \cdot X_{1_t} - 0,197 \cdot X_{1_{t-1}} + 2,13 \cdot X_{ор_t} - \\ & - 0,461 \cdot X_{олв_t} + 0,0008 \cdot X_{1_t}^2 - 137; \end{aligned} \quad (4.30)$$

$R = 0,85$ ;  $\sigma = 13,8$  м<sup>3</sup>/с.

В уравнениях (4.27 - 4.30) приняты обозначения:

$Y_{рус}$  - русловое выклинивание;

$X_1$  - поверхностный приток;

$X_{ор}$  - водозабор на орошение из русла реки;

$X_{олв}$  - отбор подземных вод в пределах расчетного контура;

$t$  - индекс года.

В табл. 4.2 приведены пределы вариации факторов, входящих в уравнения (4.27 - 4.30) в матрице исходной информации. Лучше все-

го уравнения регрессии (4.27 - 4.30) использовать для прогнозирования величины руслового выклинивания в пределах исходной изменчивости факторов, на нее влияющих, т.е. в пределах, приведенных в табл.4.2.

Таблица 4.2.

Пределы вариации факторов, входящих в уравнения для расчета руслового выклинивания

Параметры	: Русловое выклинивание	: Поверх- ностный приток	: Водоза- бор из реки	: Отбор подземных вод
Единицы измерения *	: м <sup>3</sup> /с	: м <sup>3</sup> /с	: м <sup>3</sup> /с	: м <sup>3</sup> /с

Пределы изменения факторов в исходном материале (min/max):

Верховья Нарына (Токтогул-Учкурган)	$\frac{4,0}{19,5}$	$\frac{230}{601}$	$\frac{180}{380}$	$\frac{0}{2,0}$
Ферганская впадина	$\frac{68}{187}$	$\frac{518}{1276}$	$\frac{402}{768}$	$\frac{12,5}{170}$
Среднее течение	$\frac{-72,1}{183}$	$\frac{323}{1462}$	$\frac{70,2}{263}$	$\frac{8,9}{54}$
ЧАКИР	$\frac{57}{144}$	$\frac{158}{510}$	$\frac{123}{204}$	$\frac{15,1}{36}$

\* среднегодовые расходы воды

#### 4.1.3. Оценка точности прогнозов

Точность методики оценивается по величинам вероятности того, что погрешности прогнозов не превысят некоторых заданных предельных значений. Под погрешностью прогноза понимается разность между



предсказанной и фактической (наблюденной) величинами. Такая оценка точности методики, как отмечается в работе [2], исходит из предпосылки о том, что распределение погрешностей прогнозов, которые будут выпускаться в будущем по разработанной методике, является таким же, как и для проверочных прогнозов. Под проверочными прогнозами подразумевается совокупность прогнозов, составленных по разработанной методике по данным наблюдений за прошлые годы.

Оценку оправдываемости прогнозов произведем используя номограмму, предложенную Г.В.Груза и Э.Я.Раньковой [15, стр.142]. Номограмма связывает три величины: коэффициент множественной корреляции  $R$  ; допуск  $\Delta Y$  , принятый для предиктанта (на номограмме он представлен в долях стандартного отклонения предиктанта  $\delta = \Delta Y / \sigma_y$  ); оправдываемость  $P$  (%) прогноза осуществления предиктанта ( $\hat{Y}$ ) в интервале  $\hat{Y} \pm \Delta Y$  при заданном законе распределения.

Исходя из опыта разработок гидрологических прогнозов, допустимая погрешность принята [2,55]:

$$\Delta Y \leq 0,674 \cdot \sigma_y \quad (4.31)$$

Тогда, согласно полученным нами значениям коэффициентов корреляции, по номограмме [15] можем определить оправдываемость прогнозов по предложенным регрессионным уравнениям.

Оправдываемость прогнозов ( $P$ , %) величин коллекторно-дренажного стока составляет для:

- Ферганской впадины      - 82 %;
- Голодной степи            - 87 %;

- Дальверзинской степи - 74 %;
- ЧАКИРА - 80 %.

Аналогично оправдываемость прогнозов ( $P$ , %) величин руслового выклинивания составляет:

- Верховья р.Нарын - 86 %;
- Ферганская впадина - 70 %;
- Среднее течение - 74 %;
- ЧАКИР - 79 %.

Исходя из предложенной Б.А.Аполловым и др. [2] классификации оценок точности методик прогнозов, можно сделать вывод об удовлетворительной точности полученных нами регрессионных уравнений.

На рис.4.2 показан прогноз хода коллекторно-дренажного стока для проверочной выборки 1983-1987 гг. Расчетные зависимости получены на независимой выборке данных до 1983 года.

Для проверки истинности теоретических положений и установления достоверности расчетов руслового выклинивания автор принял участие в работе комплексной экспедиции САНИИРИ в 1983-1984 гг.

Комплексная экспедиция была организована в соответствии с распоряжением Минводхоза СССР от 24.12.1982 г. № 6/7-05-497 для проведения в 1983-1984 гг. научно-исследовательской работы по теме "Производственные исследования речного стока в низовьях реки Нарын", научный руководитель - заведующий сектором метрологии отдела гидрометрии САНИИРИ, к.т.н. М.П.Сальников.

Целью работы экспедиции было выявление руслового выклинивания или русловых потерь на участке р.Нарын от Токтогульской ГЭС до Учкурганской водозаборной плотины.

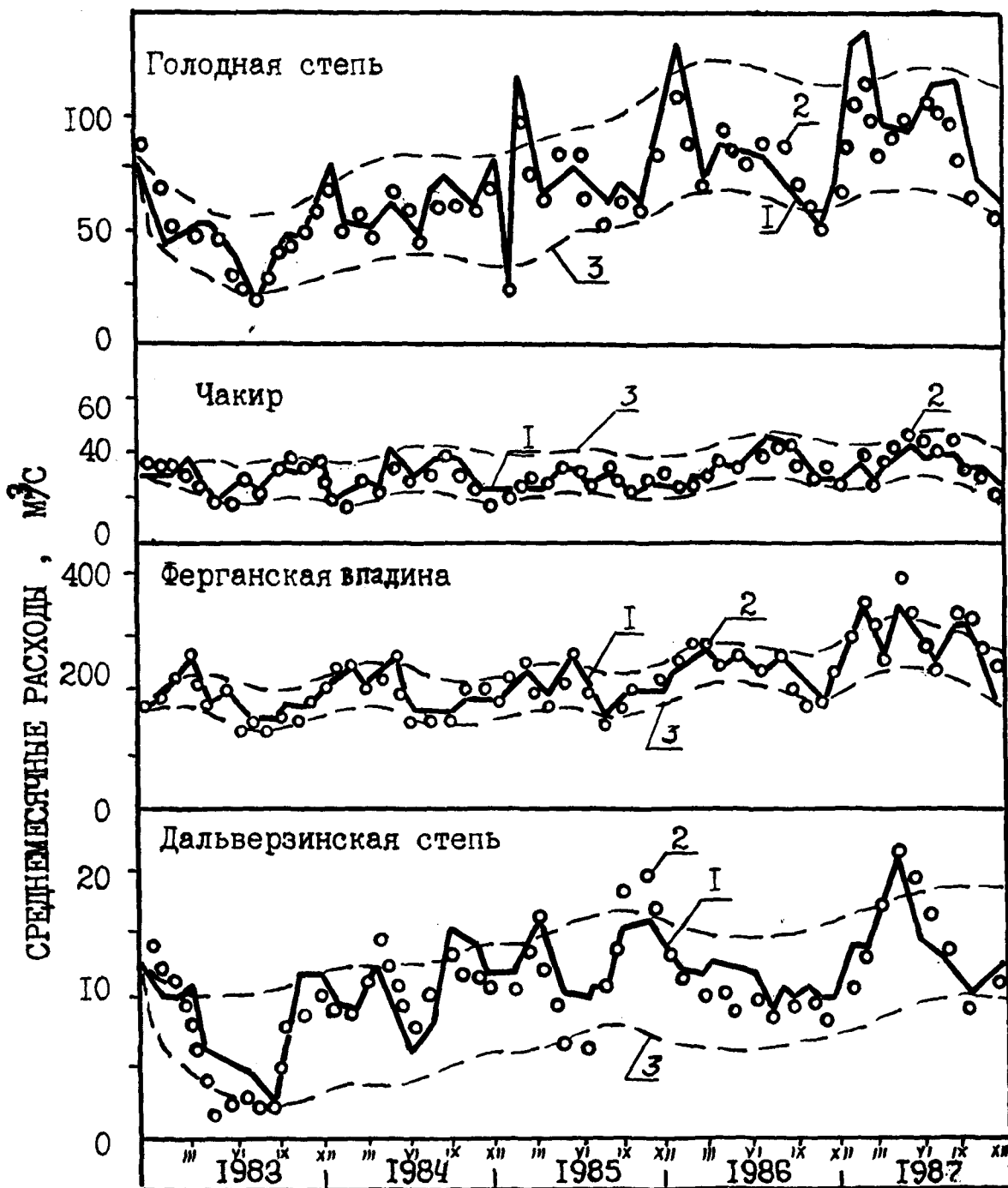


Рис. 4.2. Сопоставление прогнозных - I и фактических - 2 величин коллекторно-дренажных вод на проверочной выборке данных 1983-1987г.г. 3 - доверительный интервал.

Автор принимал непосредственное участие в натурных исследованиях, связанных с проведением гидрометрических и изыскательских работ в районе Учкурганского гидроузла, а также в обработке результатов натурных исследований и их анализе.

Исследования с IY.1983 по III.1984 гг. показали, что на участке Токтогул-Учкурган имелась общая приточность 530 млн м<sup>3</sup>, в том числе 197 млн м<sup>3</sup> - русловая составляющая и 333 млн м<sup>3</sup> - боковая приточность.

Количественная оценка была получена на основе гидрометрического учета экспедицией элементов руслового водного баланса, расчета притока и оттока подземных вод по эмпирическим зависимостям, оценки испарения с водной поверхности и атмосферных осадков по данным натурных наблюдений на станциях Госкомгидромета.

Ниже приведен русловой баланс участка Токтогул-Учкурган за 1983-84 гг., составленный по натурным данным экспедиции САНИИРИ (млн м<sup>3</sup>):

Приходная часть:

1. Речной приток	- 12514,8
2. Боковая приточность	- 333,1
3. Атмосферные осадки	- 5,29
4. Подземный приток	- 14,2
5. Сработка Курпсайского и Учкурганского водохранилищ	- 109,1
6. Всего	- 12976,5

Расходная часть:

7. Н/б Учкурганского г/у	- 6170,5
8. Водозабор	- 6590,4

9. Испарение с водной поверхности	- 23,7
10. Отток подземных вод	-153,3
11. Аккумуляция водохранилищ	-235,5
12. Всего	- 13173,4
13. Приточность русловая (12 - 6)	-196,9
14. Общая приточность (2 + 13)	-530,0

Как видно из приведенного руслового баланса, русловое выклинивание по данным экспедиции САНИИРИ в 1983-84 водохозяйственном году составило 196,9 млн м<sup>3</sup>, или 6,24 м<sup>3</sup>/с.

Расчетная величина руслового выклинивания по уравнению (4.25) для этого участка составляет:

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{рус}} &= 0,14 \cdot X_{1t} - 0,031 \cdot X_{1t-1} - 0,000254 \cdot X_{1t}^2 = \\
 &= 0,14 \times 397 - 0,031 \times 309 - 0,000254 (397)^2 = 6,02 \text{ м}^3/\text{с}, \text{ или} \\
 &189,9 \text{ млн м}^3 \qquad \qquad \qquad (4.32)
 \end{aligned}$$

Здесь:  $X_{1t}$  - приток к Токтогульскому водохранилищу в 1983-1984 году, равен 397 м<sup>3</sup>/с (среднегодовой расход воды);

$X_{1t-1}$  - то же, в 1982-1983 году, равен 309 м<sup>3</sup>/с (данные Госкомгидромета).

В результате сопоставления расчетной величины с данными экспедиции видно, что расхождение между ними ( $\Delta Y = 0,22$  м<sup>3</sup>/с) находится в пределах допустимого отклонения предиктанта для уровня оправдываемости  $P = 86$  %.

В процессе опытной эксплуатации задач подсистемы "Водные ресурсы" АСУБ Сырдарьи в 1988 году нами было проведено сопоставление прогнозных величин боковой приточности, рассчитанных по предложенной методике, с официальными прогнозами Узбекского УГКС.

До настоящего времени в практике водохозяйственных расчетов нет методики прогнозирования боковой приточности заблаговременностью один год. Для бассейна р.Сырдарьи Госкомгидромет использует методику прогноза боковой приточности на вегетационный период, разработанную в САННИИ им.В.А.Бугаева под руководством Е.И.Гирник [13,14]. В основе этой методики лежат многофакторные регрессионные уравнения, связывающие среднесезонные величины боковой приточности с осадками в зоне формирования стока в зимние месяцы, а также с величинами запасов снега в этой зоне.

Для сопоставления нами взяты прогнозы средних расходов воды боковой приточности на вегетационный период за 1985-87 гг., выпущенные отделом гидрологических прогнозов Узгидромета (документы № 25-08-18/33 от 8 апреля 1985 г., № 25-08-18/38 от 7 апреля 1986 г., № 25-08-18/38 от 8 апреля 1987 г.).

Величина боковой приточности, рассчитываемая по нашей методике, складывалась из коллекторно-дренажного стока и руслового выклинивания. Коллекторно-дренажный сток прогнозировался ежемесячно (апрель-сентябрь), русловое выклинивание - по годам с последующим членением годовой величины на вегетацию и невегетацию. Членение производилось в соответствии с рекомендациями работы [55].

Все прогнозные и фактические (по данным Узгидромета) вели-

чины представлены на рис.4.3 и в табл.4.3. Как видно из приведенных данных, достоверность прогноза автора превышает достоверность официальных прогнозов Узгидромета.

#### 4.2. Оценка сокращения поверхностного стока при эксплуатации подземных вод

Полученные уравнения (4.27 - 4.30) для прогноза руслового выклинивания позволяют не только оценивать его величину при любой комбинации чередования лет по обеспеченности поверхностного притока, но и определять величину сокращения поверхностного стока при отборе подземного в масштабах водохозяйственных районов бассейна [26].

Величина сокращения поверхностного стока определяется путем сопоставления величин руслового выклинивания при нулевом и конкретном отборе подземных вод для заданного года. Предлагаемый метод удобен тем, что отражает суммарное влияние хозяйственной деятельности на речной и подземный сток.

В табл.4.4. приведены расчеты по уравнениям (4.27 - 4.30). Для каждого водохозяйственного района бассейна русловое выклинивание рассчитывалось при различной вариации водообеспеченности поверхностного притока и трех уровнях отбора подземных вод - нулевом, современном и перспективном. Водозабор на орошение принят для современного уровня, величина которого изменяется от маловодных к многоводным годам в следующих пределах:

- по Ферганской впадине      19-22 км<sup>3</sup>/год;
- по ЧАКИРУ                      5,0-6,3 км<sup>3</sup>/год;

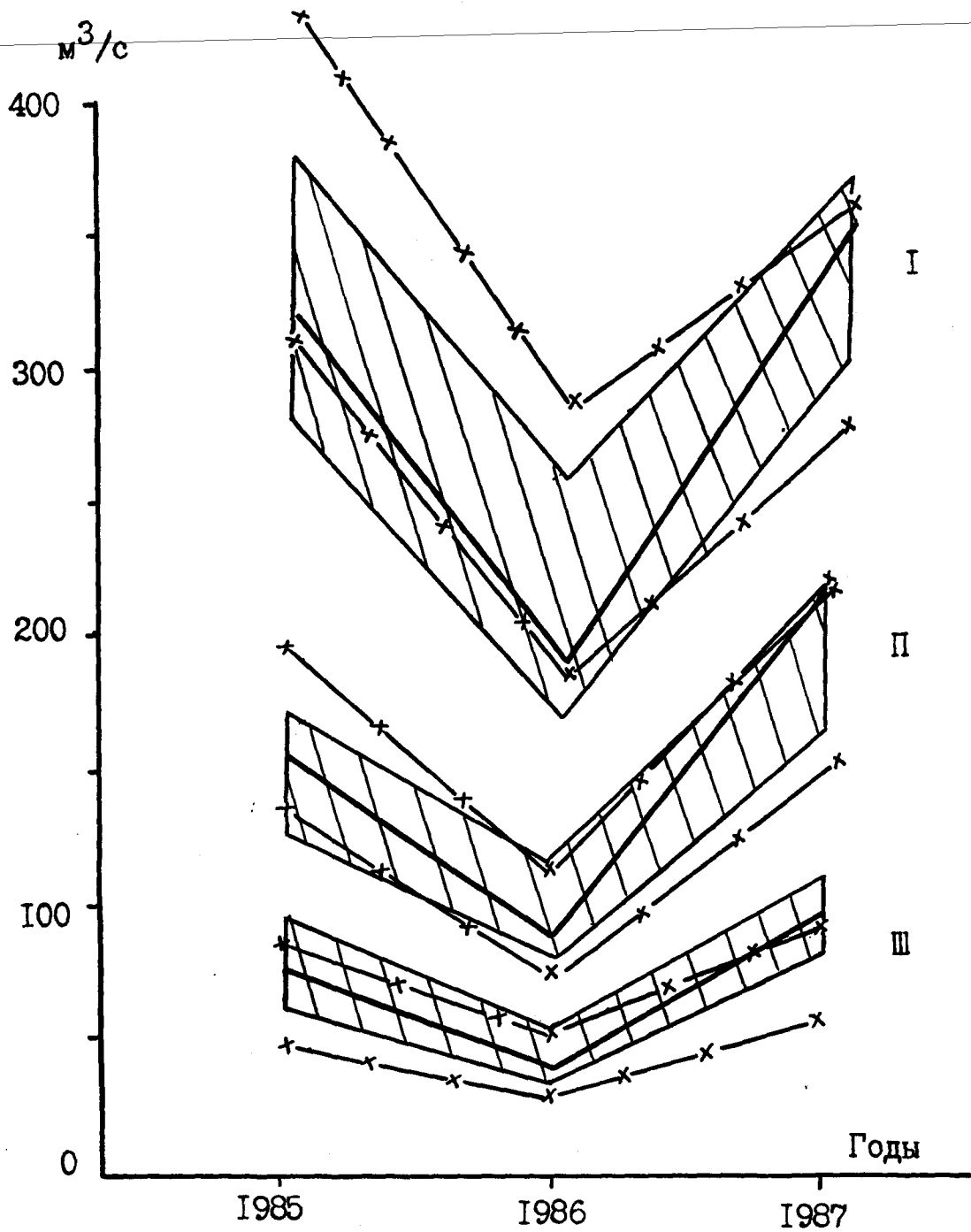




Рис. 4.3. Сопоставление прогнозных и фактических средних расходов боковой приточности за вегетационные периоды 1985, 1986, 1987 годов для участков:  
I. от Андижанского вдхр. и Учкургана до Кайраккумского вдхр.;  
II. от Кайраккумского до Чардаринского вдхр.  
III. от Чарвакского вдхр. до устья р. Чирчик.  
Доверительные границы прогноза 0.6746 : УГКС  
автора   
факт. (УГКС) 



Таблица 4.3.

Сопоставление прогнозов средних расходов воды боковой приточности на вегетационный период за 1985-87 годы, составленных автором и отделом гидропрогнозов УГКС УзССР с фактом

Водохозяйственный участок	1985				1986				1987				
	Прогноз		Факт	Прогноз	Прогноз		Факт	Прогноз		Факт	Прогноз		Факт
	УГКС	Автор			УГКС	Автор		УГКС	Автор		УГКС	Автор	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Андижанское вдхр.- Учтеле	150-210	-	147	90-130	-	90,6	160-200	-	168				
Учкурган и Учтеле - Кайраккумское вдхр.	170-230	-	174	100-160	-	107	130-170	-	196				
Итого в пределах Ферганской впадины	320-440	282-382	321	190-290	172-262	198	290-370	310-385	364				
Кайраккумское вдхр.- Чардаринское вдхр.*)	140-200	130-175	161	75-115	85-120	94,4	160-220	175-230	225				
Чарвакское вдхр.- устье р. Чирчи к	50- 90	65-100	79,1	33- 55	39-59	43,6	70-100	92-120	106				

\* ) Без сбросов ЧАКИРА

Таблица 4.4.

Расчет руслового выклинивания и его сокращения от изъятия подземных вод при различной водообеспеченности поверхностного притока и современном уровне водозабора на орошение в бассейне р. Сырдарьи.

Водохозяйственный район	Отбор подземных вод, м <sup>3</sup> /с	Русловое выклинивание, м <sup>3</sup> /с	Сокращение руслового выклинивания	
			м <sup>3</sup> /с	% от величины отбора
I	2	3	4	5
Обеспеченность поверхностного притока $P_t = 10\%$ ; $P_{t-1} = 90\%$				
Ферганская впадина	0	205		
	162	100	105	65
	375	-90	295	79
ЧАКИР	0	97		
	36	77	20	56
	136	5	92	68
Среднее течение	0	83		
	51	60	23	45
	54	57	26	48
Обеспеченность поверхностного притока $P_t = 50\%$ ; $P_{t-1} = 90\%$				
Ферганская впадина	0	170		
	162	73	97	60
	375	-100	270	72
ЧАКИР	0	80		
	36	63	17	47
	136	-6	86	63
Среднее течение	0	58		
	51	37	21	41
	54	34	24	44
Обеспеченность поверхностного притока $P_t = 90\%$ ; $P_{t-1} = 90\%$				
Ферганская впадина	0	150		
	162	61	89	55
	375	-123	263	70
ЧАКИР	0	66		
	36	51	15	42
	136	-12	78	57
Среднее течение	0	45		
	51	25	20	39
	54	22	23	42

Продолжение таблицы 4.4.

I	2	3	4	5
Обеспеченность поверхностного притока $P_t = 10\%$ ; $P_{t-1} = 50\%$				
Ферганская впадина	0 162 375	207 105 -78	102 285	63 76
ЧАКИР	0 36 136	107 88 17	19 90	53 66
Среднее течение	0 51 54	102 80 77	22 25	43 46
Обеспеченность поверхностного притока $P_t = 50\%$ ; $P_{t-1} = 50\%$				
Ферганская впадина	0 162 375	172 78 -91	94 263	58 70
ЧАКИР	0 36 136	90 74 8	16 82	44 60
Среднее течение	0 51 54	69 50 47	19 22	37 41
Обеспеченность поверхностного притока $P_t = 90\%$ ; $P_{t-1} = 50\%$				
Ферганская впадина	0 162 375	152 65 -103	87 255	54 68
ЧАКИР	0 36 136	76 62 3	14 73	40 54
Среднее течение	0 51 54	55 37 34	18 21	35 39
Обеспеченность поверхностного притока $P_t = 10\%$ ; $P_{t-1} = 10\%$				
Ферганская впадина	0 162 375	210 110 -65	100 275	62 73
ЧАКИР	0 36 136	115 97 31	18 84	50 62
Среднее течение	0 51 54	120 101 98	19 22	37 41

Продолжение таблицы 4.4.

I	2	3	4	5
Обеспеченность поверхностного притока		$P_t = 50\%$ ; $P_{t-1} = 10\%$		
Ферганская впадина	0 162 375	175 84 -80	91 255	56 68
ЧАКИР	0 36 136	95 80 19	15 76	42 56
Среднее течение	0 51 54	80 62 59	18 21	35 39
Обеспеченность поверхностного притока		$P_t = 90\%$ ; $P_{t-1} = 10\%$		
Ферганская впадина	0 162 375	155 71 -93	84 248	52 66
ЧАКИР	0 36 136	83 69 12	14 71	38 52
Среднее течение	0 51 54	65 48 45	17 20	33 37

- по Среднему течению 6,9-8,2 км<sup>3</sup>/год

На рис.4.4 показаны зависимости относительной величины руслового выклинивания от основных факторов, влияющих на нее. Линиями даны расчетные величины  $U_{рус}$  по уравнениям (4.27-4.30) для трех уровней отбора подземных вод и различной водообеспеченности предшествующего года. Точками показаны величины руслового выклинивания, рассчитанные по уравнению руслового баланса (3.6).

Выявленные зависимости и произведенные по ним расчеты (рис.4.4, табл.4.4) показывают, что наиболее ощутимое сокращение поверхностных вод при отборе подземных происходит в многоводный год, следующий за маловодным.

В современных условиях максимальное сокращение составляет для:

- Ферганской впадины - 65 %;
- ЧАКИРА - 56 %;
- Среднего течения - 45 % от величины отбора подземных вод.

Наименьший ущерб отбор подземных вод наносит поверхностному стоку в маловодные годы, следующие за многоводными - соответственно 52 %, 38 %, 33 % от изъятия.

В перспективе, при доведении отбора до величины восполняемых региональных эксплуатационных запасов подземных вод в бассейне р.Сырдарьи, как это предусмотрено Схемой комплексного использования и охраны водных ресурсов, ущерб поверхностному стоку, по нашим расчетам, увеличится и составит 48-79 % от величины изъятия в многоводные, 37-66 % - в маловодные годы.

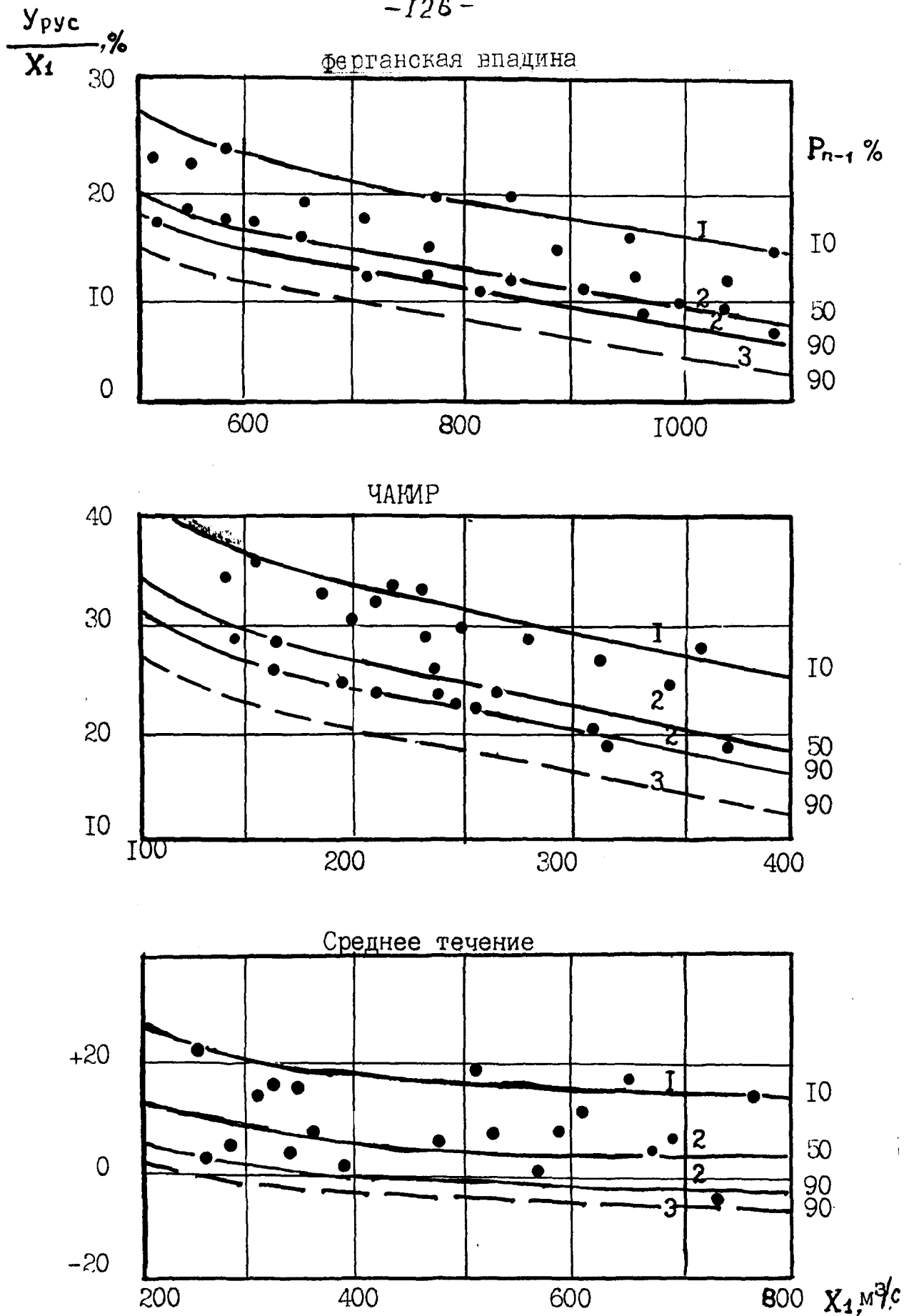


Рис.4.4. Зависимость относительной величины руслового выклинивания от поверхностного притока для различной водообеспеченности предшествующего года при отборе подземных вод: 1 - нулевом; 2 - современном; 3 - перспективном.

В табл. 4.5 приведена сопоставительная оценка сокращения поверхностного стока по данным Схемы КИОВР и нашим расчетам. Из приведенных данных видно, что сокращение, принятое в "Схеме", совпадает с максимальным сокращением по нашим расчетам. Однако недоучет в "Схеме" фактора водности лет приводит к завышению величины сокращения в средние и маловодные годы соответственно на 7 и 12 % от величины отбора подземных вод.

Следует отметить, что приведенные расчеты относятся к разряду теоретически возможных. Фактически в бассейне р. Сырдарьи предусмотрено частичное консервирования эксплуатационных запасов подземных вод для целей хозпитьевого водоснабжения, с доведением изъятий подземных вод к 2010 году без ущербов поверхностному стоку.

#### 4.3. Некоторые принципы управления водными ресурсами при водо- хозяйственном планировании АСУБ Сырдарьи

Основами водного законодательства СССР установлен бассейновый принцип управления водным хозяйством. Главным структурным звеном управления является водохозяйственный комплекс (ВХК) речного бассейна, который обеспечивает использование располагаемых водных ресурсов различными отраслями народного хозяйства. Управление ВХК бассейна проблематично из-за рассредоточенности объектов, изменчивости природных процессов, влияния антропогенных факторов на водные ресурсы. Решить столь сложную задачу сегодня возможно путем внедрения АСУ ВХК речного бассейна (АСУБ).

Таблица 4.5.

Сопоставительная оценка сокращения поверхностного стока от эксплуатации подземных вод в бассейне р. Сырдарьи по данным Института Среднеазиатского водного хозяйства и автора (среднегодовые расходы воды, м<sup>3</sup>/с)

Водохозяйственный район	Отбор подземных вод в размере воспользуемых эксплуатационных запасов	Сокращение поверхностного стока по схеме (КИОВРЖ)	Сокращение поверхностного стока по расчетам автора		
			Многолетний год	Средний год	Маловодный год
I	2	3	4	5	6
Ферганская впадина	373	294	295	263	248
ЧАКИР	136	87	92	82	71
Среднее течение	54	28	26	22	20
Всего до Чардаринского водохранилища	563	409	413	367	339

\*) Уточнение Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна р. Сырдарья - Среднеазиатского водного хозяйства, 1979 г., т.2, кн. 2.



Выработка оптимальной стратегии водопользования и водопотребления в бассейне р. Сырдарьи зависит от того сценария, который будет принят в отношении развития всего Среднеазиатского региона на перспективу. На основе оптимизационных расчетов, выполненных в лаборатории научно-технического прогнозирования НИО САНИИРИ в 1988 году, предложен вариант замораживания производства хлопка в Средней Азии на уровне 1987-88 гг. с повышением **урожайности** и уменьшением удельного водопотребления всех сельскохозяйственных культур. При этом преимущество отдается развитию маловодоемких отраслей земледелия - садоводству, виноградарству, овощеводству с обеспечением интенсивного развития промышленной переработки сельхозпродукции на месте. Такое развитие сельскохозяйственного производства выгодно с точки зрения рационализации водопотребления, но не экономически, т.к. сохранятся дотации государства по мясу на 50 % и молоку на 25...30 %.

Расчеты показывают, что в пределах потенциально возможных инвестиций в Среднеазиатский регион наиболее эффективным является увеличение к 2015 году в 6...6,5 раз производства промышленной продукции, что займет все прирастающие трудовые ресурсы (около 7,5...8,5 млн человек).

Размеры и темпы увеличения товарной продукции промышленности приняты по данным Комплексной программы развития производительных сил союзных республик Средней Азии и Казахстана на период до 2010 года, разработанной в соответствии с постановлением ЦК КПСС и Совмина СССР от 14 августа 1986 г. "О прекращении работ по переброске части стока северных и сибирских рек" Госпланом СССР совместно с ГКНТ СССР, Госагропромом СССР, Минводхозом

СССР, АН СССР, ВАСХНИЛ, с участием Совминов республик Средней Азии и Казахстана. При этом приоритет отдан отраслям промышленности, перерабатывающим сырье до высокой степени конечной продукции. Одновременно необходимо обеспечить потребность в воде населения при централизованном водоснабжении и частично канализации.

При таком сценарии развития в бассейне р.Сырдарьи использование воды в промышленности, коммунальном и рыбном хозяйствах к 2015 году возрастет в 2,1 раза при росте безвозвратного водопотребления в 1,7 раза (табл.4.6).

В бассейне р.Сырдарьи существуют три категории водопотребителей, разделяющихся в зависимости от очередности подачи им воды. Согласно существующему законодательству [72], в первую очередь вода подается для коммунального и бытового водоснабжения, питьевого водоснабжения, предприятиям пищевой промышленности. Требования на воду промышленности также удовлетворяются полностью. Орошаемое земледелие хотя и является основным потребителем водных ресурсов, получает воду в последнюю очередь.

Исходя из вышеизложенного, ясно, что в условиях существующего дефицита водных ресурсов в бассейне р.Сырдарьи, вся нехватка воды приходится на орошаемое земледелие. Снижение водообеспеченности орошаемого земледелия ниже оптимального уровня отражается на социально-экономическом развитии бассейна.

С экономической точки зрения происходит недополучение продукции, снижение прибылей агропромышленного комплекса. В связи с этим создается социальный ущерб, который проявляется в виде снижения национального дохода, уменьшения фондов поощрения, до-

Таблица 4.6.

Использование водных ресурсов в промышленности, коммунальном и рыбном хозяйствах бассейна р. Сырдарья, км<sup>3</sup>/год (по данным лаборатории научно-технического прогнозирования НПО САБИРИ)

Показатели	Расчетный уровень							
	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	
	2	3	4	5	6	7	8	
Водозабор (использование свежей воды)	7,30	7,20	8,20	9,70	12,5	14,1	16,1	
Безвозвратное водопотребление	2,80	2,70	3,30	3,80	4,50	4,70	5,00	
в том числе:								
Промышленность	0,70	0,73	1,10	1,50	2,13	2,30	2,57	
коммунально-бытовое хозяйство	1,50	1,35	1,50	1,52	1,55	1,60	1,63	
рыбное хозяйство	0,60	0,62	0,70	0,78	0,82	0,80	0,80	
Сбор сточных вод	4,50	4,50	4,90	5,90	8,00	9,40	11,1	

полнительных выплат и затрат на культурно-бытовое обслуживание населения. Одновременно с этим снижается обеспеченность населения продуктами питания.

Поэтому перед АСУБ Сырдарьи стоит задача разработать принципы управления водными ресурсами с точки зрения достижения минимального народнохозяйственного ущерба от снижения водообеспеченности орошаемого земледелия. Работа в этом направлении проводится в лаборатории научно-технического прогнозирования НПО САНИИРИ под руководством В.А.Духовного.

Стратегия управления водными ресурсами, предложенная им, сводится к следующему:

1. Установить распределение воды, при котором будет получен минимальный народнохозяйственный ущерб по бассейну в целом;
2. Установить распределение воды между потребителями, при котором различные республики и различные зоны, расположенные в пределах бассейна, будут иметь равные социально-экономические эффекты (ущербы).

При распределении располагаемых водных ресурсов необходимо учитывать возможность повторного использования для орошения коллекторно-дренажных и сточных вод в объеме, который ограничен качеством этих вод [64].

На основе методики, разработанной в САНИИРИ [23,25], дан прогноз количества коллекторно-дренажных вод на перспективу (табл.4.7).

Как видно из табл.4.7, в перспективе в результате реконструкции мелиоративных систем (повышение КПД систем путем проведения противотрационной защиты на каналах и автоматизации

Таблица 4.7.

Коллекторно-дренажные воды бассейна р.Сырдарьи в современных условиях и перспективе, кмЗ

	Расчетный уровень							
	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	
Водохозяйственный район								
I	2	3	4	5	6	7	8	
Ферганская впадина	7,3	7,4	6,9	5,3	4,7	4,1	3,5	
Среднее течение, в т.ч. сброс в Арнасай	2,9	2,9	2,2	2,0	1,7	1,5	1,3	
ЧАКИР	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,9	
	1,3	1,3	1,1	1,0	0,8	0,8	0,8	
Итого до Чардаринского вдхр	11,5	11,6	10,2	8,3	7,2	6,3	5,6	
Всего в бассейне р.Сырдарьи	12,7	12,9	11,3	8,9	8,0	7,2	6,7	

дораспределения; внедрение соответствующей поливной техники; устройство совершенных типов дренажа) и достижения оптимального мелиоративного режима в водохозяйственных районах бассейна реки Сырдарья количество коллекторно-дренажных вод существенно сократится.

Нельзя забывать, что до 60-х годов р.Сырдарья выносила в Аральское море около 10-15 млн тонн солей в год. При практически полном использовании стока реки и значительной части коллекторных вод эти соли будут неизбежно накапливаться на полях орошения и в местах выклинивания дренажных вод - в аккумулярующих емкостях. При этом, если в Ферганской впадине и ЧАКИРе будет наблюдаться некоторое рассоление земель за счет мелиорации, то в Среднем течении 3,5-5 млн тонн солей необходимо отводить за пределы деятельности территории - в Арнасайское понижение. Такой же солеприемник должен быть организован и на коллекторах низовьев.

Кроме того, необходимо предусмотреть отведение некоторого объема возвратных вод в Аральское море - во исполнение постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР № IIIО от 19 сентября 1988 года "О мерах по коренному улучшению экологической и санитарной обстановки в районе Аральского моря...". Отводить в Арал предполагается те высокоминерализованные возвратные воды, которые невозможно использовать внутри орошаемого контура и которые нецелесообразно отводить во внутренние понижения (табл.4.8).

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что стоимость опреснения минерализованных вод технически доступными методами

Таблица 4.8.

Возвратные воды бассейна р.Сырдарья и их использование  
в современных условиях и перспективе, км<sup>3</sup>

Расчетный уровень	Возвратные воды		Использование :(внутрисистем. + сброс в реку)	Отводятся во внутр. понижения	В дельту Арала
	от промком- быта *)	коллекторно- дренажные			
I	2	3	4	5	6
1985	4,5	12,7	8,9	2,8	-
1990	4,5	12,9	7,2	3,4	-
1995	4,9	11,3	4,7	3,7	1,3
2000	5,9	8,9	4,1	3,5	1,3
2005	8,0	8,0	4,0	2,7	1,3
2010	9,4	7,2	3,8	2,1	1,3
2015	11,1	6,7	3,4	2,0	1,3

\*) Эти объемы учитываются в водозаборе орошаемого земледелия

не позволит выйти на широкие пределы их использования. Исходя из этого, целесообразно ограничить сброс в реку сточных вод от промкомбыта и ирригации. За уровнем 2000 года в реку рекомендуется отводить 3,5...4,0 км<sup>3</sup>/год возвратных вод (с учетом их внутрисистемного использования на орошение) (табл.4.8).

Несколько слов необходимо сказать об использовании сточных и коллекторно-дренажных вод. В настоящее время накоплен определенный опыт использования вод повышенной минерализации для орошения и промывок засоленных земель. Вместе с тем, существующие в нашей стране и за рубежом рекомендации по возможности использования этих вод для орошения средних и тяжелых по техническому составу плодородных почв основаны, как правило, на результатах относительно кратковременных исследований в различных природных зонах и на различных почвах. Поэтому точки зрения и мнения специалистов на этот счет различны, а зачастую и противоречивы. Бесспорным является лишь то, что длительное орошение водами повышенной минерализации эффективно только на песчаных и легких по механическому составу почвах при условии хорошей естественной или искусственной дренированности и применении промывного режима орошения.

Для условий бассейна р.Сырдарьи некоторые специалисты (С.Ш.Мирзаев, [48]) рекомендуют полное использование возвратных вод в пределах оросительных систем в смеси со свежей водой. Однако в этом случае создается замкнутый солевой баланс, при котором будет постепенно возрастать засоление почв. Поэтому необходимо сбрасывать часть солей за пределы орошаемой территории. Кроме того, ограничением служит и степень минерализации



смешанной воды, которая не должна превышать размера, допустимого для орошаемых культур. Здесь вредное влияние минерализованной воды на урожай можно снизить чередованием поливов - речной водой и смешанной.

Наиболее перспективной технологией использования коллекторных вод является создание внутри- или межсистемных регулирующих и аккумулирующих емкостей, куда будет сбрасываться дренажная вода, а также неизбежные организационные сбросы из оросительной сети. Сооружение таких емкостей не только увеличит располагаемые водные ресурсы, но и в сочетании с АСУ водораспределением позволит в перспективе уменьшить организационные потери ориентировочно до 2 % от головного водозабора в систему (расчеты Р.М.Горбачева).

При водохозяйственном планировании необходимо также помнить о том, что при отборе подземных вод, связанных с речным стоком, сокращается величина руслового выклинивания. Поэтому в плановых водохозяйственных балансах величину этого сокращения необходимо учитывать [64].

Как показывают наши расчеты (табл.4.4), максимальное использование эксплуатационных запасов подземных вод целесообразнее в маловодные годы. При этом ущерб поверхностному стоку будет еще меньше, если свести к минимуму отбор из неутвержденных запасов подземных вод.

В многоводные годы эксплуатацию подземных вод необходимо довести до минимума. Причем для орошения подземные воды вообще не откачивать, сохраняя их для маловодных лет.

#### 4.4. Экономическая эффективность внедрения задач по оценке и прогнозу боковой приточности в АСУБ Сырдарьи

Как показали расчеты по разработанной методике, недоучет в "Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна" факторов водности лет приводит к завышению величины сокращения поверхностного стока при эксплуатации подземных вод в средние и маловодные годы соответственно на 7 и 12 % от величины отбора подземных вод (табл.4.4).

Принятие недостоверного объема располагаемых к использованию водных ресурсов (в сторону занижения) приводит к занижению продуктивности орошаемых земель. Таким образом, социально-экономическая эффективность орошаемого земледелия, рассчитанная по величине располагаемых водных ресурсов, принятых в Схеме КИОВР, будет соответствующим образом занижена.

Для определения величины этого занижения произведем сопоставительный расчет социально-экономического эффекта орошаемого земледелия, используя методику САНИИРИ - В.А.Духовного [22], разработанную для целей АСУБ Сырдарьи.

Согласно данным ЦСУ союзных республик [65-68], стоимость валовой продукции растениеводства (В) в бассейне р.Сырдарьи (до Чардаринского водохранилища) в 1985 г. составила 3070 млн руб. при фактически орошаемой площади (F) 2402 тыс.га. Таким образом, общая продуктивность орошаемого гектара в 1985 г. составляет:

$$V_{\text{общ}} = \frac{B}{F} = \frac{3070}{2,40} = 1275 \text{ руб/га} \quad (4.33)$$

Для дальнейших расчетов необходимо также определить фактическую продуктивность орошаемого гектара ведущей культуры (хлопчатник), которая вычисляется следующим образом:

$$V_{\text{вк}} = \bar{y} \cdot \bar{z}, \quad (4.34)$$

где:  $\bar{y}$  - средняя по бассейну урожайность хлопка (в 1985 году - 27,1 ц/га);

$\bar{z}$  - средняя реализационная цена хлопка-сырца за 1 тонну, составляет 720 руб.

Таким образом:

$$V_{\text{вк}} = 27,1 \times 72 = 1951 \text{ руб/га}$$

Общий объем водозабора на орошение из ствола р.Сырдарьи ( $W$ ) в современных условиях равен 22,8 км<sup>3</sup>/год. Учет фактора водности при оценке ущерба поверхностному стоку от изъятия подземных вод дает снижение величины ущерба ( $\Delta W$ ) по сравнению с принятой в "Схеме" (для года 50 % обеспеченности) на 1,32 км<sup>3</sup> (табл.4.4). Следовательно, суммарный водозабор, увеличенный на эту величину, будет использован в условиях функционирования АСУБ Сырдарьи более продуктивно [64].

Расчет новой продуктивности земель проведем по формуле В.А.Духовного [22]:

$$V_0 = \frac{V_{\text{вк}}}{\left(1 - \frac{\Delta W}{W}\right)^2}, \quad (4.35)$$

где:  $\lambda$  - коэффициент изменения урожайности ведущей культуры от водообеспеченности (для хлопка  $\lambda = 3/2$ ).

Необходимо отметить, что увеличение водоподачи на орошение не всегда и не везде приводит к росту продуктивности земель. Так, исследования лаборатории научно-технического прогнозирования САНИИРИ в Ферганской впадине показали, что увеличение водозабора на орошение в многоводные годы не повышает продуктивности земель. Объясняется это превышением оптимума потребности орошаемого земледелия в воде. В маловодные же и средние годы по водности увеличение удельного водозабора в Ферганской впадине согласуется с достаточной степенью объективной необходимости в нем. В ЧАКИРе и Среднем течении увеличение удельного водозабора всегда ведет к повышению продуктивности земель (в современных условиях). Другими словами, для применения формулы (4.35) имеется ограничение: прирост водоподачи будет повышать продуктивность земель до тех пор, пока не будет достигнута оптимальная водообеспеченность для данной территории.

Таким образом, новая продуктивность с учетом увеличения располагаемых водных ресурсов на 1,32 км<sup>3</sup>/год для территории до Чардаринского водохранилища составит:

$$V_0 = \frac{1951}{\left(1 - \frac{1,32}{22,8}\right)^{3/2}} = 2100 \text{ руб/га} \quad (4.36)$$

Прирост продуктивности за счет учета фактора водности составит:

$$\Delta V_{\text{вк}} = V_0 - V_{\text{вк}} = 2100 - 1951 = 149 \text{ руб/га} \quad (4.37)$$

или в пересчете для комплексного гектара:

$$\Delta V_{\text{общ}} = \Delta V_{\text{вк}} \cdot \frac{V_{\text{общ}}}{V_{\text{вк}}} = \frac{1275}{1951} \times 149 = 102 \text{ руб/га} \quad (4.38)$$

С учетом увеличения продуктивности земель на всей площади орошения  $F$  рост объема валовой продукции составит:

$$\Delta B = \Delta V_{\text{общ}} \cdot F = 102 \times 2,40 \times 10^6 = 244,8 \text{ млн руб.} \quad (4.39)$$

Коэффициент роста объема валовой продукции составит:

$$K_{\Delta B} = \frac{3070 + 244,8}{3070} = 1,08 \quad (4.40)$$

Увеличение располагаемых ресурсов приведет к росту затрат на полив, уборку, транспортировку дополнительного урожая. С учетом перечисленных затрат косвенный прирост годового дохода от получения сельскохозяйственной продукции за счет увеличения располагаемых водных ресурсов вычисляется по функциональной зависимости, полученной для бассейна р.Сырдарьи эмпирическим путем Э.А.Духовным и И.С.Авакян:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= 1,659 + 1,19 \ln K_{\Delta B} = 1,659 + 1,19 \ln 1,08 = \\ &= 1,750 \text{ млн руб.} \end{aligned} \quad (4.41)$$

Доля экономического эффекта, приходящаяся на исполнителя научно-исследовательской работы (САНИИРИ), составляет 10 % от эффективности функционирования АСУБ, т.е. 175 тыс.руб.

## Р Е З Ю М Е

1. Изучение особенностей формирования основных генетических составляющих боковой приточности в бассейне р.Сырдарьи и накопленный информационный материал позволили нам разработать расчетные зависимости для их прогноза. Зависимости представляют собой многофакторные регрессионные уравнения, что позволяет по мере накопления гидрологической информации постоянно их корректировать.

2. Проверка полученных уравнений на контрольной выборке показала достаточно высокую точность прогнозов. Сравнение расчетной величины руслового выклинивания на участке от Токтогульского водохранилища до г.Учкургана с натурными данными комплексной экспедиции САНИИРИ за 1983-84 водохозяйственный год дало близкие по значению величины.

3. Полученные уравнения для прогноза руслового выклинивания позволяют оценивать величину сокращения поверхностного стока при отборе подземного в масштабах водохозяйственных районов бассейна или территориальных управлений АСУБ. Расчетами показано, что максимальное сокращение поверхностного стока при эксплуатации подземных вод происходит в многоводные годы, особенно если этому предшествовал маловодный период.

4. Использование предложенных уравнений с учетом качества воды позволяет более рационально управлять боковой приточностью для достижения минимального народнохозяйственного ущерба от снижения водообеспеченности орошаемого земледелия в условиях нарастающего дефицита воды.

5. Экономический эффект от внедрения задач по оценке и прогнозу боковой приточности в АСУБ Сырдарьи составляет 175 тыс.рублей в год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование условий и закономерностей формирования боковой приточности в водохозяйственных районах бассейна р.Сырдарьи позволило разработать алгоритмы прогноза боковой приточности по ее генетическим составляющим заблаговременностью в один год. Разработанные алгоритмы внедрены в задачи подсистемы "Водные ресурсы" АСУБ Сырдарьи, которая принята с 01.01.1991 года в промышленную эксплуатацию.

До настоящего времени в практике водохозяйственных расчетов нет методики прогнозирования боковой приточности в целом заблаговременностью один год. Госкомгидромет Узбекской ССР использует методику прогноза боковой приточности на вегетационный период, разработанную для бассейна р.Сырдарьи в САННИ им.В.А. Бугаева под руководством Е.И.Гирник [13,14]. На более длительный период методики нет.

Для ориентировочных оценок сезонных величин боковой приточности можно использовать методику Д.А.Буракова [8], которая под его руководством разработана для расчета кривых добегания и гидрографа весеннего половодья. Общий подход к оценке моментов кривой добегания на приточном участке реки состоит в том, что боковой приток представляется в виде отдельных порций, сосредоточенно поступающих в главное русло на различном удалении от замыкающего створа, а добегание каждой порции притока подчиняется определенным вероятностным закономерностям.

Наибольший задел сделан в области прогнозирования коллек-



торно-дренажных вод. Для долгосрочного прогноза последних в бассейне р.Сырдарьи возможно использовать методики ГТИ [36,70, 74,75], В.А.Духовного [21,23-25], Ю.М.Денисова [17,18] и другие [6,53,54]. В настоящее время практическое применение нашла методика Т.А.Труновой [71], которая использована в Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов рек Сырдарьи и Амударьи.

Внедрение в АСУБ Сырдарьи предлагаемой нами методики прогнозирования коллекторно-дренажных вод обусловлено тем, что она не уступает по точности прогноза вышеперечисленным методам, но более удобна в практике инженерных расчетов, поскольку опирается на ту информацию, которая сегодня имеется в распоряжении водохозяйственных организаций бассейна р.Сырдарьи.

Что касается другой генетической составляющей боковой приточности - руслового выклинивания, то до настоящего времени исследователи занимались лишь его современной оценкой.

По крайней мере автору не известны работы по разработке методики долгосрочного прогнозирования величины руслового выклинивания для бассейна р.Сырдарьи.

В процессе промышленной эксплуатации I очереди АСУБ Сырдарьи предложенные нами алгоритмы прогноза генетических составляющих боковой приточности при необходимости будут корректироваться. На стадии II очереди АСУБ Сырдарьи предполагается учет качества водных ресурсов. В этой связи разбивка боковой приточности на отдельные генетические составляющие позволит более точно прогнозировать качество ее вод.

Поскольку коллекторно-дренажные воды являются одним из главных загрязнителей вод бассейна, прогнозирование их количеств

ва с учетом качества позволит эффективнее управлять водными ресурсами с точки зрения экологии.

Проведенное исследование дает основание для следующих выводов и предложений:

1. Гидрологические и водохозяйственные особенности бассейна р.Сырдарьи определяют структуру боковой приточности, согласно которой последняя складывается из устьевых сбросов боковых притоков, коллекторно-дренажного стока и подземной (русловой) составляющей. В каждом водохозяйственном районе бассейна доля той или иной составляющей в сумме боковой приточности различна. В результате хозяйственной деятельности практически полностью прекратился устьевой сток боковых рек, значительно возросла доля коллекторно-дренажных вод и руслового выклинивания.

2. На величину коллекторно-дренажного стока основное влияние оказывает величина водозабора на орошение. Между водозабором и сформированным им коллекторно-дренажным стоком существует определенная сдвигка во времени, которая обусловлена геоморфологией, гидрогеологическими условиями и строением гидрографической сети конкретного водохозяйственного района. Впервые получены численные значения этой сдвигки для четырех водохозяйственных районов бассейна р.Сырдарьи.

3. Величина руслового выклинивания зависит от ряда факторов естественного и антропогенного характера, основными из которых являются поверхностный приток в текущем и предшествующем периодах, водозабор на орошение и отбор подземных вод. В замкнутых границах каждого водохозяйственного района бассейна реки Сырдарьи русловое выклинивание является связующим звеном между поверхностными и подземными водами.

4. Многофакторные регрессионные модели коллекторно-дренажного стока и руслового выклинивания с удовлетворительной точностью прогнозируют их значение с заблаговременностью один год. Предложенные уравнения используются при решении задач I очереди АСУБ Сырдарьи.

5. В работе оценивается величина сокращения поверхностного стока при эксплуатации подземных вод в масштабах водохозяйственных районов бассейна через величину сокращения руслового выклинивания. Максимальное сокращение поверхностного стока при отборе подземных вод происходит в многоводные годы (с экстремумом в многоводные годы, которым предшествовал маловодный период).

6. Максимальное использование эксплуатационных запасов подземных вод целесообразнее в маловодные годы. При этом ущерб будет меньшим, если свести к минимуму отбор из неутвержденных запасов подземных вод. В многоводные годы эксплуатацию подземных вод необходимо довести до минимума. Причем для орошения подземные воды вообще не откачивать, сохраняя их для маловодных лет.

7. Использование предложенных уравнений с учетом качества воды позволит в перспективе более рационально управлять боковой приточностью для достижения минимального народнохозяйственного ущерба от снижения водообеспеченности орошаемого земледелия в условиях нарастающего дефицита воды.

8. Практическая реализация разработок диссертации в ходе создания и эксплуатации АСУБ Сырдарьи подтверждает их эффективность, а также перспективность выбранного автором направления исследований.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Алимов М.С. Опыт и методика оценки элементов баланса грунтовых вод орошаемых территорий Узбекистана. - Ташкент: - Фан. - 1979, 136 с.
2. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. - Л.: - Гидрометеиздат - 1974, 419 с.
3. Аткарская Т.Н., Шимельмиц И.Я. Влияние орошаемого земледелия на водные ресурсы и водный баланс р.Сырдарьи // Водные ресурсы - 1973. - № 6. - с.49-71.
4. Аткарская Т.Н., Королева Н.Ю., Крутик Ф.М., Карелина Д.П. Возвратные воды в бассейне р.Сырдарьи // Тр. IУ Всесоюзного гидрологического съезда - 1976. - т.4 - с.326-333.
5. Большаков М.Н., Шпак В.Г. Водноэнергетические ресурсы Киргизской ССР. - Фрунзе: Изд-во АН Киргизской ССР. - 1960, 253 с.
6. Борзова Л.А., Куприянова Е.И. Регрессионная модель учета возвратных вод от ирригации / Сб. Автоматизированные системы управления в водном хозяйстве // М.: ВНИИГим. - 1980, с.74-77.
7. Борисов В.А. Подземные воды, их связь с речными бассейнами и использование в народном хозяйстве / Сб. Проблемы развития водных ресурсов в аридных зонах // Ташкент: - ЭКА ООН.- 1986. - ч.П. - с.285-299.
8. Бураков Д.А. Кривые добегаания и расчет гидрографа весеннего половодья. - Томск: Изд-во Томского Ун-та, 1978, 129 с.
9. Веригин Н.Н. О сокращении руслового стока при действии подземных водозаборов / Сб. Математическое моделирование гидрогеологических процессов // Новосибирск. - 1984, с.25-35.

10. Воропаев Г.В. Единая водохозяйственная система страны // Водные ресурсы - 1976. - № 6. - с.

11. Воропаев Г.В., Исмаилов Г.Х., Федоров В.М. Моделирование водохозяйственных систем аридной зоны СССР. - М.: Наука.- 1984, 312 с.

12. Гельбух Т.М., Джоган Л.Я. Воднобалансовые исследования в районах развитого орошаемого земледелия (на примере бассейна Сырдарьи) // Водные ресурсы - 1974. - № 1. - с.74-91.

13. Гирник Е.И. Метод прогноза бокового притока воды в Чардаринское водохранилище на р.Сырдарье // Тр.САРНИГМИ. - 1976. - вып. 39 (120). - с.69-70.

14. Гирник Е.И. Метод прогноза бокового притока в р.Сырдарье выше Кайраккумского водохранилища // Тр. САННИ Госкомгидромета - 1980. - вып. 74 (155). - с.103-116.

15. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Вероятностные метеорологические прогнозы. - Л.: Гидрометеиздат, 1983, 271 с.

16. Гуркин А.Я., Беляков В.М. Более интенсивно использовать подземные воды на орошение и обводнение земель // Сб. научн.тр. ин-та Союзводпроекта. - 1977. - № 48. - с.122-126.

17. Денисов Ю.М., Рубинова Ф.Э., Сергеев А.И., Какурина К.Г. Математическая модель возвратных вод // Тр.САРНИГМИ. - 1975. - вып.26 (107). - с.150-153.

18. Денисов Ю.М., Сергеев А.И., Захидов А.Э. Математическое моделирование водного режима орошаемого массива // Тр.ин-та Кибернетики с ВЦ АН УзССР. - 1975. - вып.7. - с.120-131.

19. Дружинин И.П. Долгосрочный прогноз и информация. - Новосибирск: Наука, 1987, 255 с.

20. Дунин-Барковский Л.В. О водном балансе орошаемой территории // Изв. АН СССР, сер.географ.наук. - 1965. - № 5. - с.61-73.

21. Духовный В.А. Возвратные воды и их формирование в связи с развитием орошения и техническим совершенствованием оросительных систем // Водные ресурсы. - 1981. - № 3. - с.5-12.

22. Духовный В.А. Оптимизация путей развития сельского хозяйства среднеазиатских республик в связи с осуществлением переустройства оросительных систем // Тр.САНИИРИ. - 1980. - № 165. - с.3-23.

23. Духовный В.А. Водохозяйственный комплекс в зоне орошения. Формирование, развитие. - М.: Колос. - 1984, 255 с.

24. Духовный В.А., Литвак Л.С. Рационализация использования водных ресурсов в бассейне Аральского моря // Хлопководство. - 1975. - № 10. - с.31-33, № 11. - с.32-35.

25. Духовный В.А., Прохоренко Н.И., Соколов В.И. Возвратный сток в бассейне р.Сырдарьи // Гидротехника и мелиорация. - 1983. - № 3. - с.76-79.

26. Духовный В.А., Прохоренко Н.И., Соколов В.И. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод Средней Азии в условиях их использования / Сб. Состояние и перспективы использования подземных вод для орошения // М.: Наука. - 1988, с.160-164.

27. Ильин И.А. Водные ресурсы Ферганской долины. - Л.: Гидрометеиздат. - 1959, 246 с.

28. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям пресных вод. - М.: Недра. - 1978, 114 с.

29. Ирригация Узбекистана. Современное состояние и перспек-

тивы развития ирригации в бассейне р.Сырдарьи. - Ташкент: АН УзССР. - 1975, т.2 - 359 с.

30. Исмаилов Г.Х., Федоров В.М. Исследования закономерностей формирования возвратных вод в бассейне Сырдарьи // Водные ресурсы. - 1981. - № 4. - с.5-20.

31. Исчисление выклинивающихся вод юго-западных бассейнов Узбекистана в водоземельных балансах Узводпроиза / Бостанджоголо А.В., Шульц В.А. и др. // Ирригация и гидротехника. - 1936. - № 7. - с.56-84.

32. Каплинский М.И. Вопросы учета возвратных вод при проектировании и эксплуатации оросительных систем // Вопросы водного хозяйства. - 1977. - вып.38. - с.37-60.

33. Кац Д.М. Основы геологии и гидрогеологии. - М.: Колос. - 1981, 351 с.

34. Концевовский С.Я., Минкин Е.Л. Ресурсы подземных вод в водохозяйственных балансах орошаемых территорий. - М.: Наука. - 1986, 198 с.

35. Лебедев А.В. Формирование баланса грунтовых вод на территории СССР. - М.: Недра. - 1980, 102 с.

36. Левченко Г.П. Гидрология и сельскохозяйственные мелиорации. - Л.: Гидрометеиздат. - 1984, 247 с.

37. Луценко И.М. К вопросу о методике исчисления добавочных вод в оазисах Средней Азии // Труды и материалы по гидрологии Средней Азии. - 1935. - вып.1 - с.47-68.

38. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб.пособие для втузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш.шк. - 1988, 239 с.

39. Методы изучения и расчета водного баланса. - Л.: Гид-

рометеиздат. - 1981, 397 с.

40. Методы расчетов водных балансов. Международное руководство по исследованиям и практике / под. ред. Соколова А.А., Чапмена Т.Г. // Л.: Гидрометеиздат. - 1976, 120 с.

41. Методические указания управлениям Гидрометслужб № 90. Составление русловых водных балансов. - Л.: Гидрометеиздат. - 1977, 103 с.

42. Минкин Е.Л. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и водохозяйственных задач. - М.: Стройиздат. - 1973, 103 с.

43. Мирзаев С.Ш. Формирование и размещение запасов подземных вод Узбекистана, вопросы методики их изучения и проблемы хозяйственного использования. - Ташкент: Фан. - 1974, 224 с.

44. Мирзаев С.Ш., Бакушева Л.П. Оценка влияния водохозяйственных мероприятий на запасы подземных вод (на примере Средней Азии). - Ташкент: Фан. - 1979, 124 с.

45. Орлова А.П. К вопросу разработки методики прогнозирования качества вод рек Средней Азии // Тр. САННИРИ - 1975. - вып. 146. - ч. I. - с. 19-22.

46. Орлова А.П. Приемы прогноза и нормирование загрязнения поверхностных водных источников // Тр. САННИРИ. - 1981. - вып. 165. - с. 3-16.

47. Перехрест С.М. Влияние хозяйственной деятельности на водный баланс // Водные ресурсы. - 1974. - № 5. - с. 15-30.

48. Проблемы использования минерализованных дренажных вод для орошения сельскохозяйственных культур и промывок засоленных земель // Тез. докл. Среднеазиатской научн. конф. - Ташкент. - 1978. - 80 с.



49. Прохоренко Н.И., Соколов В.И. Об особенностях определения водных ресурсов в бассейне р.Сырдарьи -// Сб.научн.тр. ин-та Средазгипроводхлопок. - Ташкент. - 1985. - с.55-61.

50. Ракитин К.А., Побережский Л.Н. К прогнозу минерализации воды рек Сырдарьи и Амударьи // Сб.научн.тр.ин-та Средазгипроводхлопок. - 1978. -с.3-14.

51. Рекомендации по методике расчета объема коллекторно-дренажного стока на предстоящий год / Соколов В.И., Мягков С.В. // Утверждены Минводхозом УзССР 16.04.1990, 19 с.

52. Рубинова Ф.Э. Изменение структуры водного баланса р.Сырдарьи (выше Чардары) под влиянием водохозяйственного строительства // Тр.ГГИ. - 1973. - вып.208. - с.III-II6.

53. Рубинова Ф.Э. Изменение стока р.Сырдарьи под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне // Тр.САРНИГМИ - вып.58 (139). - 1979, 138 с.

54. Рубинова Ф.Э. Влияние водных мелиораций на сток и гидрохимический режим рек бассейна Аральского моря // Тр.САНИИ Госкомгидромета. - 1987. - вып.124 (205). - 161 с.

55. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеиздат. - 1973, III с.

56. Светицкий В.П. Вопросы исследования возвратных вод // Тр.САНИИРИ. - 1969. - вып.II8. - с.153-172.

57. Светицкий В.П. Ресурсы возвратных вод реки Сырдарьи // Тр.САНИИРИ. - 1971. - вып.I23. - с.135-183.

58. Семенова-Ерофеева С.М. Исследование взаимосвязи поверхностных и подземных вод (обзор) // М. - ВНИИ экономики сырья и геолого-разведочных работ. - 1982. - 50 с.

59. Соколов А.А. Водные ресурсы и их антропогенные изменения / Сб. Некоторые вопросы современной научной и практической гидрологии // М. - МГУ - 1985. - ч.1. - с.35-43.
60. Соколов В.И. Прогнозная оценка подруслового стока в бассейне Сырдарьи (на примере Ферганской долины) // Изв. АН УзССР. - сер.техн.наук. - 1985. - № 2. - с.43-45.
61. Соколов В.И. К прогнозу боковой приточности для целей АСУБ - Сырдарья // Тез.докл.Всесоюзн.научно-технич.совещания. - Минск. - 1986. - с.135.
62. Соколов В.И. Особенности формирования боковой приточности в бассейне р.Сырдарьи. // Тез.докл.Всесоюзн.конф.ИВП АН СССР. - М. - 1986. - с.30-32.
63. Соколов В.И., Мягков С.В. Особенности формирования дренажно-сбросных вод и методика их прогнозирования в бассейне р.Сырдарьи // Тр.САНИИРИ. - 1986. - с.114-123.
64. Соколов В.И. К вопросу обоснования эффективности системы "Водные ресурсы" АСУБ Сырдарьи // тр.САНИИРИ. - 1987. - с.9-14.
65. Статистический ежегодник. Народное хозяйство Казахской ССР. - Алма-Ата: Казахстан. - 1980. - 1985.
66. Статистический ежегодник. Народное хозяйство Киргизской ССР. - Фрунзе: Киргизстан. - 1980 - 1985.
67. Статистический ежегодник. Народное хозяйство Таджикской ССР. - Душанбе: Таджикистан. - 1980 - 1985.
68. Статистический ежегодник. Народное хозяйство Узбекской ССР. - Ташкент: Узбекистан. - 1980 - 1985.
69. Степанов И.Н., Чембарисов Э.И. Влияние орошения на минерализацию речных вод. - М.: Наука. - 1978, 120 с.

70. Сумарокова В.В. Водоотведение при орошении в среднем течении Сырдарьи // Сб. работ по гидрологии. - Л.: Гидрометеоздат. - 1980. - № 16. - с.128-140.

71. Трунова Т.А. Ирригационный возвратный сток, его качество и использование в бассейне Амударьи // Сб. научн. тр. ин-та Средазгипроводхлопок. - 1984. - с.17-31.

72. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей / СЭВ ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии // М.: Стройиздат. - 2-е изд. - 1982. - 528 с.

73. Усенко В.С., Яковенко П.И. Проблемы использования подземных вод / Сб. Проблемы использования и охраны водных ресурсов // Минск.: Наука и техника. - 1986. - с.43-58.

74. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. - Л.: Гидрометеоздат. - 1975, 373 с.

75. Харченко С.И., Левченко Г.П. Методика определения возвратных вод с орошаемых земель // Тр. ГГИ. - Л. - Гидрометеоздат. - 1972. - вып.199. - с.3-67.

76. Ходжибаев Н.Н., Нейман Б.Я. Гидрогеологическое обоснование ирригационно-мелиоративных мероприятий. - Ташкент: Фан, 1982, 131 с.

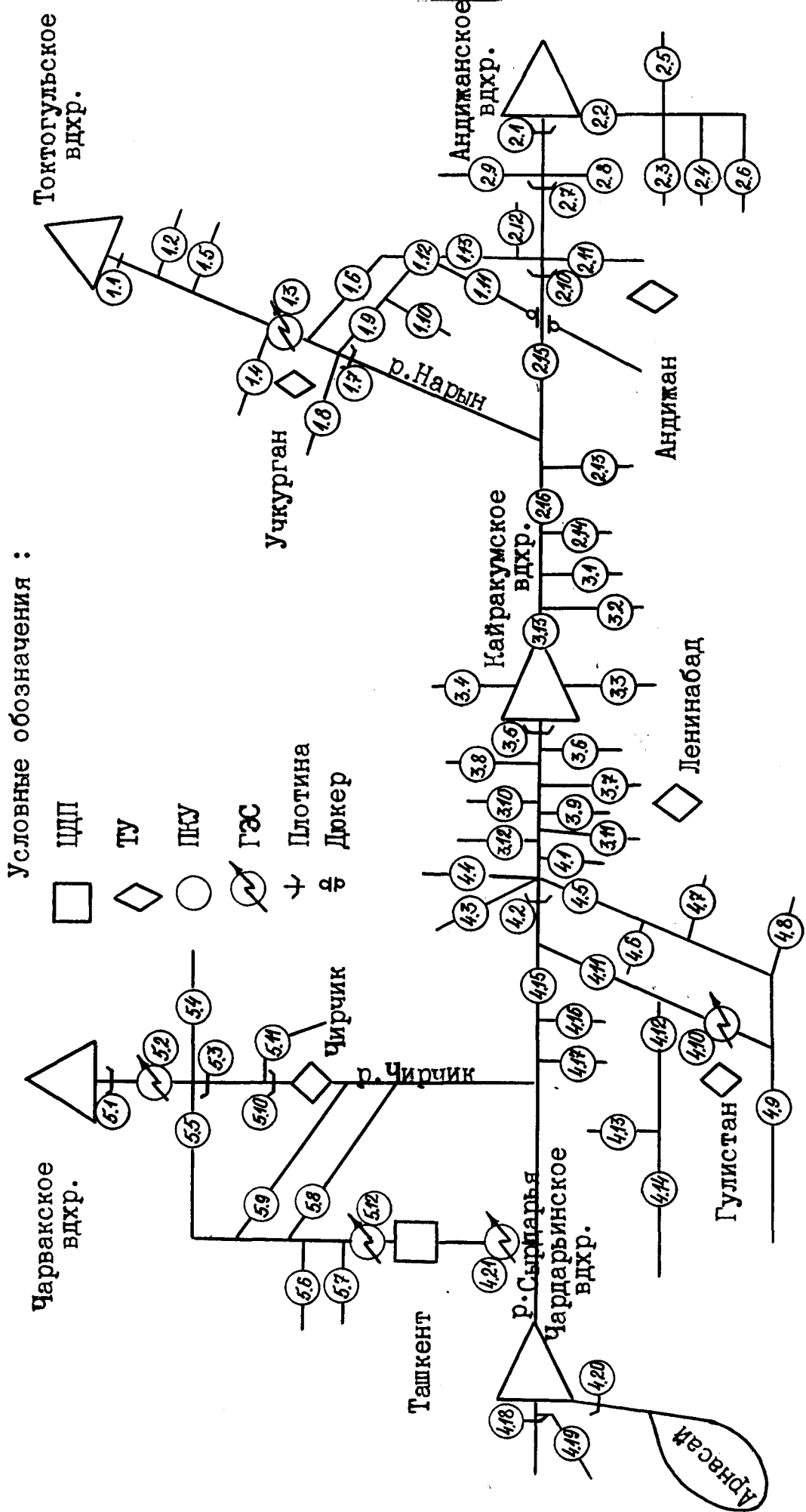
77. Ходжибаев Н.Н., Шерфидинов Л.З. Вопросы гидрогеологического прогнозирования в аридных областях. - Ташкент: Фан. - 1982, 178 с.

78. Чембарисов Э.И. Гидрохимия орошаемых территорий (на примере бассейна Аральского моря). - Ташкент: Фан. - 1988, 104с.

79. Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. - Л.: Гидрометеоздат. - 1979, 302 с.

80. Шмидт М.А. К вопросу о методике учета возвратных вод в системе р.Туполанг / Сб. Материалы по гидрологии Узбекистана // Ташкент. - 1933. - вып.10. - с.3-7.
81. Шмидт М.А. Взаимоотношение оросительных и возвратных вод в некоторых оазисах Узбекистана и методы его учета /Сб. Иригация и гидротехника // Ташкент. - 1935. - с.3-7.
82. Шмидт М.А., Шевченко А.И. Гидрогеологические типы оазисов Узбекистана и методы учета возвратных (выклинивающихся подземных) вод // Тр.САНИИРИ. - 1948. - вып.71. - с.31-40.
83. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. - Л.: Гидрометеиздат. - 1965, 691 с.
84. An irrigation scheduling project the south-west Kansas groundwater management district /Steiner T. et al. //Proceedings irrigation workshop. -1979.- p.73-80
85. Benefits from reuse of drainage water for irrigation /Schilfgaard G., Rhoades J. //Trans.ASAE. - St.Joseph, Mich. - 1979. - p.1-7.
86. Calculation of damage caused by groundwater extraction - a case study /Grotentraact G., Couwenhoven F.//ICID Bull. - 1978. - vol.27. - N 2. - p.54-61.
87. Determination of Runoff from agricultural areas /Dickenson W. //Ontario Ministry of Agric.-1980.-vol.52. -p.1-24.
88. Influence of land use on runoff from agricultural watersheds /Ricca V., Simmons P.W., McGuinness G.L., Taiganides E.P. //Trans.ASAE. - 1970.-vol.13.-N 2. - p.187-190.
89. Models to predict environmental impact of mine drainage on streams /Herricks E.E., Shanholts V.O., Contractor D.N.// Trans.ASAE.-1975.-vol.18.-N 4.-p.657-663.

90. Numerical estimation of return flow in river basin  
/Ito Y.et al.//IARO-1980.-vol.14.-N 1.-p.24-30.
91. Predicting irrigation return flow rates /Boundurant I.  
et.al.//Trans.ASAE.-St.Joseph, Mich.-1978.-vol.21.-N 6.-  
p.1142-1143.
92. Reuse (tailwater recovery) systems /Burt Ch.//Irrigat.  
Assoc.-1980.-p.68-75.
93. The assessment of regional groundwater schemes by river-  
flow regression equations /Wright C.E.//J.Hydrol.-1975.-  
vol.26.-N 3-4.-p.209-215.
94. The characteristier and pollution problems of irrigation  
return flow /Bishop A.A., Peterson H.B.//U.S.Department  
of the Interior.-1969.-237p.



ПРИЛОЖЕНИЕ I. Линейная схема АСУБ Сырдарья ( I очередь )

Спецификация к Приложению I

- I00 Учкурганское ТУ  
I01 Плотина Токтогульского водохранилища  
I02 Насосные станции (НС I и НС 2) на р. Нарын  
I03 Плотина Учкурганской ГЭС на р. Нарын  
I04 Головной регулятор Большого Наманганского канала (БНК)  
I05 Головной регулятор Левобережного Нарынского канала (ЛНК)  
I06 Головной регулятор Большого Ферганского канала (БФК)  
I07 Плотина Учкурганского г/у  
I08 Головной регулятор Северного Ферганского канала (СФК)  
I09 Головной регулятор канала дополнит. питания (КДП)  
I10 Головной регулятор канала Хокулабад  
I11 Головной регулятор БАК ПК 64+40  
I12 Головной регулятор из КДП в "Объединитель" на ПК 66+40  
I13 Головной регулятор из КДП в БФК на ПК 66+40
- 
- 200 Андижанское территориальное управление  
201 Плотина Андижанского водохранилища на р. Карадарье  
202 Левобережный головной регулятор Андижанского водохранилища  
203 Головной регулятор канала Андижансай  
204 Головной регулятор канала Шарихансай  
205 Головной регулятор канала Савай  
206 Головной регулятор ЮФК на Шарихансае  
207 Плотина Тешикташского г/у  
208 Головной регулятор канала Улунгур  
209 Головной регулятор канала Пахтаабад  
210 Плотина Куйганьярского г/у  
211 Головной регулятор БФК на р. Карадарье  
212 Головной регулятор канала Сиза  
213 Головной регулятор канала Ахунбабаева  
214 Чиганакская насосная станция  
215 Гидропост Учтепе  
216 Гидропост Куль
-

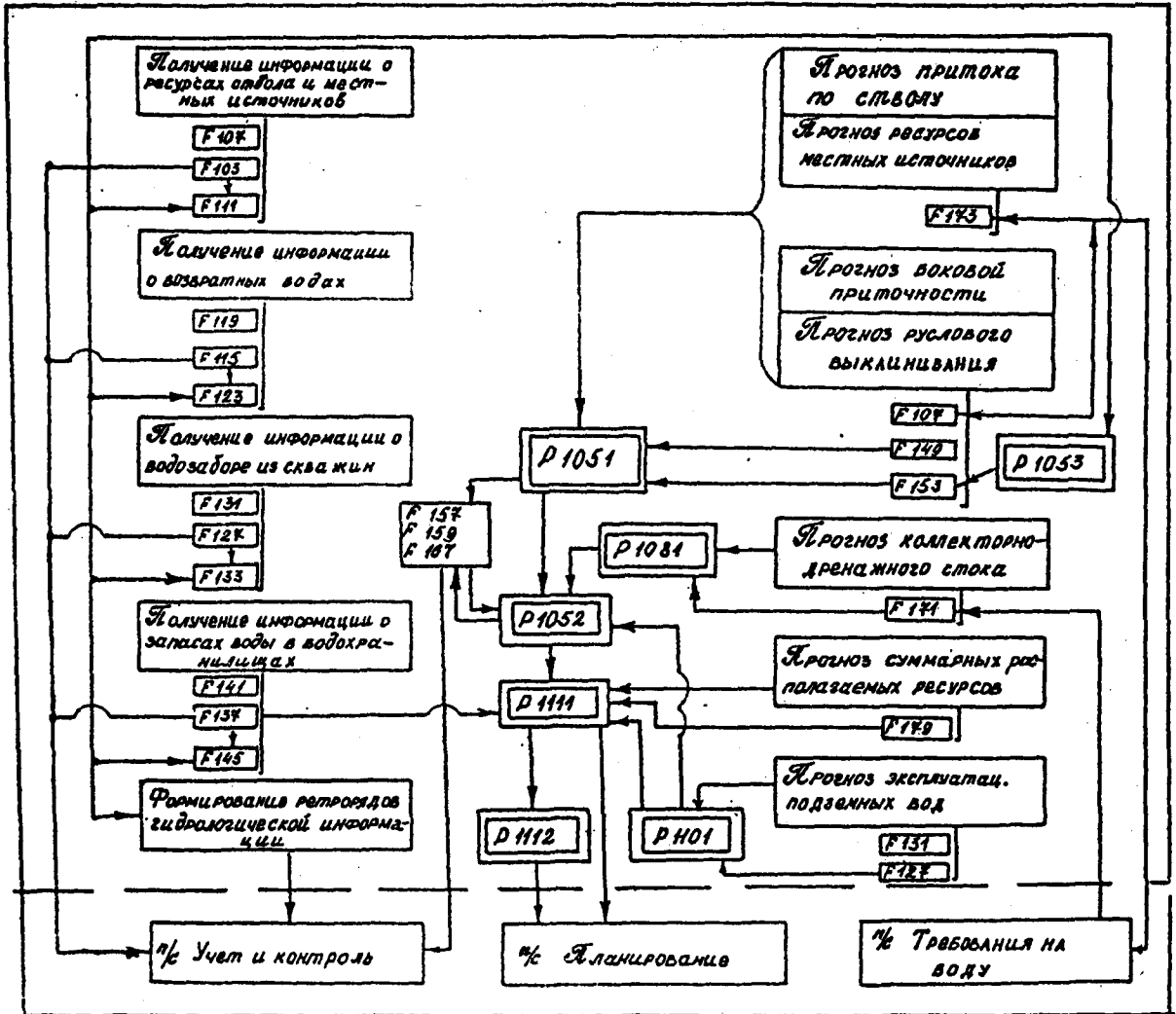
Продолжение спецификации к  
Приложению I

- 300 Ленинадское территориальное управление
  - 301 Фрунзенская насосная станция
  - 302 Абдусаматская насосная станция
  - 303 Ходжабагирганская насосная станция на Кайраккумском г/у
  - 304 Самгарская насосная станция
  - 305 Плотина Кайраккумского г/у
  - 306 Коктурлюкская насосная станция
  - 307 Унжинская насосная станция
  - 308 Симчакская насосная станция
  - 309 Явааральская насосная станция
  - 310 Кзылтукайская насосная станция
  - 311 Дигмайская насосная станция
  - 312 Акташская насосная станция
  - 313 Гидропост Чильмахрам
- 
- 400 Гулистанское территориальное управление
  - 401 Наупролетарская насосная станция
  - 402 Плотина Фархадского г/у
  - 403 Головной регулятор Верхнедальверзинского канала (ВДК)
  - 404 Головной регулятор Нижнедальверзинского канала (НДК)
  - 405 Головной регулятор Деривационного канала Фархадской ГЭС
  - 406 Головной регулятор канала Беговат
  - 407 Насосная станция на деривации Фархадской ГЭС
  - 408 Насосная станция ТМ-1 и ТМ-2 из деривации
  - 409 Головной регулятор ЮГК
  - 410 Фархадская ГЭС
  - 411 Головной регулятор сброса в р. Сырдарью
  - 412 Головной водозабор канала им. Кирова
  - 413 Головные регуляторы водозаборов в распределители УзССР из КМК
  - 414 Головные регуляторы водозаборов в распределители КазССР из КМК
  - 415 Надеждинский гидропост
  - 416 Временные насосные установки



Продолжение спецификации  
к Приложению I

- 417 Насосная станция № 6  
418 Плотина Чардаринского г/у  
419 Головной регулятор Кызылкумского канала  
420 Головной регулятор сброса в Арнасайскую впадину  
421 Нижнебозсуйская ГЭС № 6
- 
- 500 Чирчикское территориальное управление
- 501 Плотина Чарвакского г/у  
502 Ходжикентская ГЭС на р. Чирчик  
503 Плотина Газалкентского г/у  
504 Регулятор канала Янги  
505 Водоприемное сооружение Верхнего Деривационного канала  
ВДК  
506 Головной регулятор канала Ханым  
507 Головной регулятор канала Зах  
508 Головной регулятор водозабора для Чирчикского химкомбината  
509 Головной регулятор сброса Комсомольской ГЭС  
510 Плотина Верхнечирчикского г/у  
511 Головной регулятор Левобережного Карасу  
512 Головной регулятор Аккаваксайской ГЭС № I



Приложение 2.

Схема функционирования подсистемы "Водные ресурсы"

Спецификация к Приложению П

- F I03 Среднедекадные расходы воды по рекам
- F I07 Справочник рек-створов
- F III Ретроряд среднемесячных расходов воды по рекам
- F II5 Среднедекадные расходы воды по коллекторам
- F II9 Справочник коллекторов
- F I23 Ретроряд среднемесячных расходов коллекторных вод
- F I27 Текущая информация о подземных водах
- F I3I Справочник административных областей
- F I33 Ретроряд среднегодовых расходов отбора подземных вод
- F I37 Объем и уровень в/б водохранилищ на последний день декады
  
- F I4I Справочник водохранилищ
- F I45 Ретроряд среднемесячных расходов регулирования
- F I49 Прогноз на вегетацию Госкомгидромета
- F I53 Справочник коэффициентов для расчета годового прогноза
- F I57 Файл прогнозов
- F I59 Справочник внутригодового распределения прогноза в процентах
  
- F I67 Справочник ключей для контроля прогноза
- F I7I Коэффициенты для прогноза коллекторно-дренажных вод
- F I73 Справочник соответствия кодов местных источников
- F I79 Справочник ключей для расчета располагаемых ресурсов
- P I05I Программа расчета годового прогноза и его внутригодового распределения
- P I052 Программа контроля прогноза
- P I053 Программа пересчета коэффициентов прогнозных уравнений
- P I08I Программа расчета годового прогноза коллекторно-дренажных вод
  
- P II0I Программа расчета годового прогноза подземных вод
- P IIII Программа расчета располагаемых ресурсов
- P III2 Программа печати выходных документов