

120114  
P-32

ISSN 0130—4887

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

64040

ТРУДЫ  
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА  
им. В. А. БУГАЕВА

Выпуск 106 (187)

ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА  
р. АМУДАРЬИ  
ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДНЫХ  
МЕЛИОРАЦИЙ В ЕЕ БАССЕЙНЕ

МОСКВА  
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ  
1985

55-1148  
P-82  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ТРУДЫ  
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА  
им. В. А. БУГАЕВА

Выпуск

106 (187)

Ф. Э. РУБИНОВА

64040  
ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА  
р. АМУДАРЬИ  
ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДНЫХ  
МЕЛИОРАЦИЙ В ЕЕ БАССЕЙНЕ

Под редакцией  
канд. геогр. наук Ю. Н. ИВАНОВА



Излагаются результаты исследования изменения стока р.Амударья и ее гидрохимического режима в современных условиях и перспективе под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне.

Монография рассчитана на научных работников, инженеров-гидрологов и других специалистов, работающих в области использования водных ресурсов.

## ВВЕДЕНИЕ

Интенсивно увеличивающееся использование водных ресурсов для хозяйственных нужд приводит к существенным изменениям стока рек, водного режима территории их бассейнов и водоприемников.

Особенно велико это влияние в аридных и полупустынных областях, где едва ли остались реки, сток которых не используется в хозяйстве. В ряде районов "деятельность человека в области управления водными ресурсами суши по своим масштабам становится соизмеримой с воздействием на них природных факторов" [40]. Еще более велико будет влияние антропогенных факторов в перспективе, когда предполагается оросить дополнительно десятки млн. га и осуществить грандиозные работы по межбассейновой переброске стока [47].

В этих условиях рациональное и наиболее эффективное использование водных ресурсов в перспективе невозможно без достоверных знаний об изменениях, уже произошедших в водном режиме и стоке рек под влиянием антропогенных факторов. Еще более важно предвидеть изменения, которые произойдут под влиянием осуществления планируемых мероприятий. "Нахождение оптимального соотношения между условиями расходования и пополнения вод суши является одной из важнейших проблем, от решения которой в значительной мере зависят условия существования человеческого общества и лик планеты" [40].

Один из основоположников гидрологической науки В.Г.Глушков [25] уже в начале тридцатых годов писал, что в перспективе "гидрология от естественных вод должна будет перейти к водам измененным, отклонения которых от бытовых условий будут прогрессивно нарастать".

В наши годы мероприятия по интенсификации использования стока на всем земном шаре и у нас в Советском Союзе разворачиваются столь стремительно и проблема его изменения под влиянием антропогенных факторов столь велика, что центр гидрологических исследований все более активно смещается из области формирования стока в область его использования. Об этом красноречиво говорит все увеличивающееся количество исследований по проблеме изменения стока, его режима и минерализации под влиянием хозяйственной деятельности человека [51, 83, 104]. Выводы их относительно воздействия антропогенных факторов на сток рек часто

противоречия, что связано с большой сложностью рассматриваемой проблемы и скудостью исходной информации.

Из всего комплекса мероприятий, влияющих на сток рек в условиях Средней Азии, основными являются орошение, дренирование территории, регулирование стока водохранилищами. Промышленно-коммунальное безвозвратное водопотребление возрастает во времени, но оно неизмеримо мало по сравнению с ирригационным. Поэтому антропогенные изменения стока рек Средней Азии вызваны главным образом воздействием водных мелиораций. Влияние последних проявляется в основном в трех направлениях: а) изменение стока реки и его режима во времени и по длине; б) изменение качества воды; в) изменение структуры водного баланса орошаемой территории.

В работе на примере бассейна р. Амударьи дана оценка изменения стока реки, его режима и минерализации в современных условиях и в перспективе.

# Глава I. АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ СТОКА РЕК И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НА НЕГО ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

## I. I. Антропогенные факторы стока

Влияние человека на сток рек и водный режим территории многообразно — орошение, обводнение засушливых и осушение переувлажненных земель, отъемы стока и межбассейновые переброски его, агролесомелиоративные мероприятия, создание прудов и водохранилищ, промышленно-коммунальное водопотребление, урбанизация, горнорудные работы и отъемы подземных вод на орошение и обводнение территории.

В каждом сколько-нибудь большом бассейне могут действовать если не все, то большинство из приведенных выше факторов. При этом в условиях конкретного бассейна одни факторы являются главными, а другие — второстепенными. Так, на реках, расположенных в степной и лесостепной зонах, основными факторами, влияющими на сток, являются агролесомелиоративные мероприятия и создание прудов и водохранилищ. В районах Западной Сибири, Прибалтики и Полесья доминирующий антропогенный фактор — это осушение болот и заболоченных земель и в некоторой мере орошение на осушенных землях. В бассейнах малых и средних рек, территориально тяготеющих к крупным промышленным центрам, основными антропогенными факторами являются регулирование стока, промышленно-коммунальное водопотребление и урбанизация.

В аридных и полупустынных зонах (Средняя Азия, Южный Казахстан, Северный Кавказ, Поволжье и т.д.) основным антропогенным фактором является орошение. Однако и в этих районах имеет место осушение переувлажненных земель, регулирование стока во времени и по территории, промышленно-коммунальное водопотребление. Их роль, как правило, второстепенна, хотя отдельные из них в определенные периоды времени имеют главное значение.

Часть антропогенных факторов влияет на сток рек через водный режим территории (орошение, осушение, агролесомелиоративные мероприятия и т.д.), а часть — непосредственно в русле (регулирование водохранилищами, водоподъемные плотины, межбассейновые переброски стока и т.д.).

На равнинной территории, где области формирования стока и его использования частично совпадают, хозяйственная деятельность вызывает нарушение естественных условий формирования стока. Под влиянием орошения (осушения), агролесомелиоративных и других мероприятий меняется водный режим территории, характер ее гидрографической сети, что оказывается на стоке рек и их режиме.

В аридных и полуаридных зонах области формирования и использования стока резко разграничены. Поэтому характер и степень воздействия деятельности человека на сток в этих областях различны.

В области формирования стока следует различать:

1. Местные факторы, связанные либо с изменением поверхности водосборов (распашка склонов, их террасирование, выпас скота, лесопосадка и т.д.), либо с регулированием стока в водохранилищах.

2. Глобальные воздействия, вызывающие изменение влагопереноса.

Известно, что беспорядочный выпас скота и распашка склонов приводят к уничтожению растительного покрова, нарушению структуры почв, их эрозии, увеличивают неравномерность стока, ухудшают его химический состав и способствуют формированию селей.

Напротив, террасирование склонов и лесопосадки создают благоприятные условия для сохранения структуры почв, делают внутригодовое распределение стока более равномерным.

К сожалению, количественные оценки влияния этих хозяйственных мероприятий на сток рек нам не известны. Можно, однако, предположить, что, поскольку все эти мероприятия проводятся в самой низкогорной части водосборов, вклад которой в формирование стока ничтожно мал, влияние этих местных антропогенных факторов на водные ресурсы не должно быть существенным.

Из местных антропогенных факторов наибольшее влияние на сток в области его формирования оказывают водохранилища, без которых практически неосуществима современная ирригация. Так, в зоне формирования стока р. Амударья уже функционирует Нурекское водохранилище и строится Рагунское.

Водоохранилища эти, однако, не меняют условий формирования стока, а лишь трансформируют его. Влияние их заключается в регулировании стока и в связи с этим в сокращении разливов в низовьях рек, в уменьшении количества наносов, поступающих в нижний бьеф, в регулировании солевого режима реки. Некоторое количество воды затрачивается на заполнение мертвого объема водохранилищ и испарение с водной поверхности и обнажающегося ложа (при сработке регулирующего объема). Затраты стока на испарение с поверхности горных водохранилищ в значительной степени компенсируются атмосферными осадками [61]. Кроме того, испаряющая поверхность таких водохранилищ, как правило, невелика по сравне-

нию с объемом, и затраты стока на испарение несоизмеримо малы по сравнению с притоком. Так, согласно проработкам САЭИ, испарение с поверхности Чарвакского водохранилища составляет доли процента от поверхностного притока [61]. Таким образом, местные антропогенные факторы не оказывают сколько-нибудь заметного влияния на условия формирования стока.

Глобальные факторы, определяющие нарушение естественных условий формирования стока, связаны с изменением влагопереноса. В начале 30-х годов Л.А.Молчанов [59] высказал предположение, что в результате развития орошения в предгорных районах Средней Азии и увеличения испарения с орошаемых земель по сравнению с неорошаемыми может возрасти количество осадков в горах. В результате сток из области формирования должен увеличиваться. Л.В.Дуниин-Барковский [30] высказал предположение, что это может быть одной из причин неизменности стока при орошении. Однако расчеты, выполненные А.П.Гальцовым [21], А.С.Григорьевой и О.А.Дроздовым [28], О.А.Дроздовым [29], Г.П.Калининым [40], К.В.Кувшиновой [48], А.М.Алпатьевым [5], показали, что расширение орошаемых площадей в современных условиях не приводит к ощутимому увеличению осадков ни на орошаемой территории, ни в области формирования стока.

На территории Средней Азии, представляющей собой бессточную область, все атмосферные осадки расходуются на испарение либо с орошаемых площадей, либо из конечных водоприемников (Арал, Арнасай, Сарыкамыш и др.). Поэтому расширение орошаемых площадей на базе местного стока не должно привести к увеличению влагооборота [28]. Лишь расширение орошаемых площадей за счет использования стока рек, впадающих в океан, может привести к некоторому его увеличению.

Следовательно, в более отдаленной перспективе, когда орошаемая площадь в Средней Азии резко увеличится за счет стока сибирских рек и испарение увеличится с  $77 \text{ км}^3$  (1970 г.) [47] до  $200 \text{ км}^3$ , можно ожидать некоторого увеличения осадков (на 50–100 мм) в горах Средней Азии [29].

В ближайшей же перспективе, при использовании местных водных ресурсов, условия формирования стока останутся, видимо, без существенных изменений.

Из всего комплекса мероприятий, влияющих на сток рек в области его использования в аридной зоне, основными являются орошение, дренирование и регулирование стока водохранилищами.

Промышленно-коммунальное водопотребление возрастает во времени, но неизмеримо мало по сравнению с ирригационным, на которое приходится более 90% всего водопотребления.

В связи с этим наибольший интерес представляют антропогенные фак-

торы стока, связанные с орошением и дренированием территории. Развитие орошения в бассейне связано с увеличением орошаемых площадей и повышением их водообеспеченности. И то и другое ведет к увеличению изъятия стока из реки. Часть этого стока испаряется с орошаемых полей, внутрисистемных перелогов и других неорошаемых земель, прилегающих к орождаемым, а часть возвращается в источник орошения или другие водоприемники по коллекторно-дренажной сети или естественным путем. Эти два противоположно направленные процесса (орошение и осушение) могут действовать на исследуемой территории одновременно, осложняя и без того чрезвычайно сложный процесс трансформации стока на орошаемых землях.

Интенсивность трансформации речного стока существенно зависит от природных особенностей мелиорируемых территорий, от стадии и темпов их освоения. В каждом конкретном створе и в фиксированный момент времени она определяется соотношением изъятия стока на орошаемый массив и возврата с него в источник орошения.

#### 1.2. Методы, применяемые для количественных оценок влияния антропогенных факторов на сток рек

Методы, используемые для оценки влияния хозяйственной деятельности на сток рек, можно условно объединить в две группы [20,100,104] :

• 1) методы, основанные на анализе стоковых рядов в створе реки, замыкающем территорию, на которой осуществляются водные мелиорации - стоковые;

2) воднобалансовые методы, основанные на учете изменений элементов водного баланса территории под влиянием антропогенных факторов.

Каждое из этих направлений имеет свои преимущества и недостатки. Методы первого позволяют оценить изменение стока под влиянием всего комплекса антропогенных факторов (или одного из них, если он доминирует) по имеющимся гидрометрическим материалам без постановки специальных (трудоемких и дорогих) наблюдений.

В наиболее простой интерпретации этот метод применен в работах [26,30,31,49] , в которых сопоставляется средний за периоды, различающиеся по величине изъятия, сток р.Сырдарьи в створе г.Бекабад.

Использование такой ограниченной информации, как величина стока в замыкающем створе, без учета его естественных колебаний в зоне формирования, привело, наряду с другими причинами, к неправильному выводу о неизменности стока при орошении [30,31] .

В связи с этим наибольшее распространение получили методы, основанные на сопоставлении стоковых рядов в створах реки, замыкающих область использования стока, с основными стокоформирующими факторами

или их индексами [22, 27, 33, 62, 77, 78, 87, 93, 95, 96, 98, 100-103, 106, 111] .  
 Имеется несколько разновидностей этого метода.

Многие авторы [22, 33, 62, 93, 95, 96, 111] используют для оценки изменения (или неизменности) стока под влиянием антропогенных факторов интегральные, разностные интегральные и нормированные разностные интегральные кривые вида

$$\sum \frac{Q_t}{Q} = f(T), \quad \sum \left( \frac{Q_t}{Q} - 1 \right) = f(T), \quad \frac{\sum \left( \frac{Q_t}{Q} - 1 \right)}{C_v} = f(T),$$

построенные по гидрометрическим материалам за весь период наблюдений.

Сопоставление интегральных кривых стока в створах, замыкающих область его использования, с соответствующими кривыми стока реки-аналога или атмосферных осадков и температуры воздуха дает наглядное представление о наличии (либо отсутствии) временного тренда в стоке реки, связанного с хозяйственной деятельностью. При всей своей наглядности метод интегральных кривых дает скорее качественное представление об изменениях стока. Количественная оценка влияния антропогенного воздействия на сток в этом случае затруднительна [100, 104] .

В условиях Средней Азии, где четко разделяются области формирования и использования стока, большое распространение получил метод сопоставления стока в замыкающем створе ( $Y_0$ ) с притоком из зоны его формирования ( $Y_n$ ) [ 27, 62, 72, 77, 88, 93, 95, 96, 99, 101, 106 ] . Сопоставление оттока за пределы мелиорируемых территорий в годы равной водности (по притоку из зоны формирования), но на разных уровнях водохозяйственного строительства позволяет судить об изменениях стока под влиянием комплекса антропогенных факторов в среднем за достаточно длительное время, необходимое для статистического обоснования зависимостей  $Y_0 = f(Y_n)$  [77] .

Тем самым подразумевается стационарность процесса трансформации стока в пределах каждого из расчетных периодов. В некоторой мере этого можно избежать, оценивая суммарный эффект антропогенных факторов стока по разности между наблюдаемым и восстановленным стоком за каждый исследуемый год (или сезон) [ 77, 102, 103, 106 ] . Для восстановления используется уравнение регрессии, связывающее сток в исследуемом створе с основными природными факторами (приток из области формирования, метеорологические элементы в зоне использования стока) за период, когда хозяйственная деятельность на замыкаемой территории либо отсутствовала, либо была минимальной [ 62, 77, 102, 103, 106 ] . Для рек Средней Азии, сток которых используется на орошение с древних времен, такой период может быть принят лишь условно.

И в такой усовершенствованной интерпретации метод дает количественную оценку лишь суммарного воздействия антропогенных факторов на сток. Не вскрывая генетической сущности процессов трансформации стока

при орошении и дренировании, он не позволяет прогнозировать изменение стока на перспективу.

Сток реки в зоне его потребления определяется комплексом природных и антропогенных факторов, находящихся в постоянной эволюции. В процессе водохозяйственного строительства меняется соотношение орошаемых и дренируемых площадей, степень их водообеспеченности и дренированности, коэффициенты полезного действия ирригационных систем в земельном использовании, приемы агротехники и т.д.

Учет этого многообразия постоянно изменяющихся факторов в принципе возможен методом множественной регрессии. Полученные уравнения регрессии можно было бы использовать как для оценки изменений стока, уже произошедших под влиянием хозяйственной деятельности, так и для прогноза на перспективу.

К сожалению, наши относительно систематические сведения об антропогенных факторах стока ограничиваются данными об отъемах стока и размерах орошаемых площадей. Систематические сведения за длительный период о других параметрах водохозяйственных систем, как правило, отсутствуют. Использование же интегрального антропогенного параметра, характеризующего весь комплекс хозяйственного влияния, связано, как справедливо отмечено в работе [98], с рядом трудностей. Основная из них заключается в неоднозначности процесса трансформации стока под влиянием антропогенных факторов в ряде ирригационных районов [6-9, 30-32, 45, 49, 66, 68, 69, 93, 98, 99, 101, 106].

Одновременно с орошением в этих районах осуществлялось дренирование переувлажненных земель. В результате затраты стока, связанные с увеличением испарения с орошаемых полей, в некоторые периоды полностью компенсировались возвратными водами с мелиорируемых массивов: сток в замыкающем створе не уменьшался. Примерами таких территорий служат Ферганский и Чирчик-Ахангаран-Келесский ирригационные районы в бассейне р.Сырдарья, где долгие годы норма стока в замыкающем створе оставалась неизменной [66, 69, 72, 88].

Аналогичная картина наблюдалась в бассейнах рек Куры и Кубани [98, 99, 101, 103, 106]. В этих условиях трудно ожидать хорошей корреляционной зависимости изменения стока от одного из показателей хозяйственной деятельности, например размера орошаемой площади.

При однозначном влиянии хозяйственной деятельности на сток рек применение одного из показателей антропогенного воздействия может дать положительные результаты [98].

Расширение орошаемых площадей (размер которых можно принять за аргумент) за счет освоения засупливых земель неизбежно приведет к убыли стока. Однако и в этом случае убыль стока в реке (или соотношение изъятия стока и его возврата) зависит не только от размера оро-

шаемой площади, но и других характеристик водохозяйственного строительства - удельной водообеспеченности (брутто и нетто), уровня агротехники, коэффициента земельного использования (КЗИ) и т.д. Эти показатели уровня ведения водного хозяйства не являются константами даже в пределах сравнительно коротких периодов; они постоянно меняются по мере его совершенствования. Введение же этих показателей в уравнение множественной регрессии затрудняется, с одной стороны, отсутствием достаточно полных сведений о них, а с другой - слабостью воздействия каждого из этих факторов в отдельности на процесс трансформации стока.

Высокая динамичность большого числа (часто взаимозависимых) антропогенных факторов обуславливает необходимость удлинения расчетных периодов для надежной оценки этих факторов методом множественной регрессии. Между тем число членов в выборке обычно лимитируется либо из-за отсутствия наблюдений за стоком, либо из-за ограниченности данных об антропогенных факторах стока. Надо полагать, что в перспективе, по мере накопления широкой информации о мероприятиях, осуществляемых в орошаемой зоне (протяженность оросительной и дренажной сети, коэффициента полезного действия (КПД) ирригационных систем и КЗИ, удельная водообеспеченность и т.д.), метод множественной регрессии позволит не только оценить влияние комплекса антропогенных факторов на сток рек, но и выделить вклад основных из них.

В современных условиях отсутствия такой информации более строгими являются методы, объединяемые вторым направлением - балансовым [6-9, 17, 22, 66-69, 70, 72, 88, 91, 92, 93, 107], позволяющим вскрыть генетическую сущность процессов, происходящих на территории под влиянием комплекса водохозяйственных мероприятий.

Водный баланс территории является количественным выражением ее водного режима, который определяет соотношение безвозвратного водопотребления и стока возвратных вод. Именно это соотношение в каждом конкретном районе и на каждом уровне водохозяйственного строительства определяет интенсивность изменения стока в процессе его использования, поэтому решение уравнений водного баланса территории, составляемых на разные уровни водохозяйственного строительства (при разных площадях, составах культур, КПД и КЗИ систем, способах орошения и т.д.), является наиболее правильным способом оценки изменения стока под влиянием водных мелиораций.

По изменению составляющих водного баланса территории можно судить о величине и структуре затрат стока и его убыли в современных условиях и, что особенно важно, в перспективе.

В принципе метод водного баланса территории можно использовать

для восстановления естественного (т.е. при отсутствии орошения) стока.

Интересная попытка в этом плане предпринята в работе [91].

Применение воднобалансовых методов ограничивается низкой точностью измерения и отсутствием надежных способов расчета ряда элементов водного баланса территории. Современная система учета воды в области использования стока такова, что не позволяет проследить путь воды от точки водозабора из реки до поля и далее обратно в источник орошения (или другой водоприемник). Это весьма затрудняет достоверную оценку как водозабора, так и стока возвратных вод.

Исследование круговорота воды в системе почва-растение-атмосфера проводится более или менее длительными экспедициями [39, 53-58, 60,

95 и др.], осуществляющими при этом не всегда полный комплекс воднобалансовых наблюдений. Это весьма затрудняет создание методов расчета испарения и изменения запасов влаги в почвогрунтах. Следовательно, применение воднобалансовых методов в современных условиях для малых территорий и коротких промежутков времени ограничивается низкой точностью и отсутствием надежных способов расчета ряда элементов водного баланса.

Однако при значительном осреднении по площади и во времени метод водного баланса территории позволяет оценить не только направленность процесса, но и некоторые его количественные характеристики.

Для восстановления естественных величин стока некоторые авторы [10, 33, 44, 85] рекомендуют использовать метод руслового водного баланса, основанный на выражении

$$U_{\text{восст}} = U_{\text{быт}} + U_{\text{водоз}} - U_{\text{сбр}}, \quad (1.1)$$

где  $U_{\text{восст}}$  - сток, приведенный к естественному уровню;  $U_{\text{быт}}$  - сток в исследуемом створе, искаженный хозяйственной деятельностью;  $U_{\text{водоз}}$  - сток, изымаемый из реки;  $U_{\text{сбр}}$  - сток, сбрасываемый в реку. Потери стока на испарение с русла и поймы учитываются лишь в работах [10, 33].

Использование столь упрощенной модели трансформации речного стока для восстановления его естественной величины может привести к существенным погрешностям. Назовем только две из них, приводящие к преувеличению значений восстановленного стока.

Из выражения (1.1) следует, что величина естественного стока отличается от искаженного на разность  $U_{\text{водоз}} - U_{\text{сбр}}$ . При этом не учитывается то обстоятельство, что затраты на орошение, возрастающие в верхнем и среднем течении реки, частично компенсируются уменьшением потерь в пойме в период разливов.

Повторное использование возвратных вод, имеющее место в бассейнах рек Средней Азии, приводит к преувеличению  $U_{\text{водоз}}$  в уравнении (1.1), а следовательно, и величин  $U_{\text{восст}}$ . В бассейнах рек, где в формирова-

нии возвратных вод принимают участие "чужие" воды (например, часть нарынских вод при переброске стока выклинивается в Карадарью), это обстоятельство усугубляется.

Против широкого использования метода руслового баланса для восстановления естественного речного стока говорит также отсутствие надежных гидрометрических данных о водозаборах из реки и сбросах в нее за достаточно длительное время. Использование же для оценки изъятия стока ориентировочных данных о нормах водопотребления [10,44], а об объемах сбросов чисто умозрительных заключений [33,44] может привести к существенным погрешностям в расчетах.

Впрочем, как справедливо отмечается в работе [33], даже при наличии надежной информации о водозаборах из реки и сбросах в нее предлагаемый метод не дает достоверной оценки убыли стока, так как не учитывает влияния компенсирующих факторов, существующих почти на каждом водосборе.

Итак, наиболее надежными способами оценки антропогенного воздействия на сток рек являются стоковые и воднобалансовые.

Для оценки антропогенного воздействия на сток рек бассейна Амударьи, ввиду скудности информации об элементах водного баланса, использован стоковый метод, основанный на сопоставлении стока в замкнутом створе на разных уровнях хозяйственного его использования при равном притоке из области формирования.

В год средней водности на уровне 50-х годов из рек бассейна выше створа г. Керки изымалось около 9% притока воды из области формирования; на уровне 70-х изъятие увеличилось до 32%. Аналогично в створах Ильчик и Чатлы изъятие возросло с 12 до 40% и с 25 до 66%. Особенно резко коэффициент изъятия стока увеличивается в маловодные годы (рис. 2.1, табл. 2.4). Вместе с тем даже в такие годы в бассейне Амударьи он существенно ниже, чем в бассейне Сырдарьи.

#### Выводы

Водохозяйственное строительство, осуществленное в бассейне Амударьи, сопровождалось:

1. Ростом суммарного изъятия стока из рек бассейна; наиболее интенсивное его нарастание отмечено в начале 60-х годов, что связано с реконструкцией старых оросительных систем и строительством новых.

2. Изменением удельного вклада отдельных частей бассейна в суммарный водозабор.

3. Изменением соотношения водозабора вегетационного и невегетационного периодов.

4. Повышением коэффициента изъятия стока от года к году и от многолетних лет к маловодным.

## Глава 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В БАССЕЙНЕ АМУДАРЬИ

Особенностью бассейнов рек Средней Азии, определяющей характер воздействия антропогенных факторов на сток, является четкое деление их территории на зоны формирования и использования стока. Последнюю В.И.Шульц подразделяет на зоны "равновесия" и "рассеивания" стока [108]. Введение этих понятий обусловлено коренным различием гидрологических функций горной и равнинной территории Средней Азии.

При помощи широкой сети каналов, пересекающих равнинную часть бассейна, сток, сформированный в горах, "распыляется" по прилегающей территории и затем "рассеивается" в атмосферу. Вместе с тем строительство разветвленной дренажной и магистральной сети способствует концентрации стока с равнинной территории в русло. В результате на некоторых участках мелноративного строительства в благоприятных природных условиях зона рассеивания стока может стать областью его формирования. По этой причине назовем область использования стока зоной его трансформации, подразумевая под этим понятием как убыль стока ("рассеивание"), так и его увеличение в отдельных случаях и перераспределение во времени и по территории.

Климатические условия равнинной части бассейнов рек Средней Азии характеризуются высокими летними температурами воздуха и длительным теплым периодом, что позволяет культивировать ценные теплолюбивые культуры. Небольшое количество атмосферных осадков и концентрация их в зимне-осенний период создает необходимость искусственного орошения.

В бассейнах рек имеются богатые земельные ресурсы, освоение которых лимитируется недостатком воды.

Бассейн р.Амударьи расположен между  $34^{\circ}30'$  -  $43^{\circ}45'$  с.ш. и  $56^{\circ}15'$  -  $75^{\circ}07'$  в.д. С севера на юг он вытянут на 1230 км и с запада на восток на 1470 км [65].

Водосборная площадь бассейна Амударьи (без бассейнов рек Зеравшан и Кашкадарья) ниже устья р.Шерабад составляет  $226800 \text{ км}^2$  [65]. Из них 61% находится в пределах Советского Союза и 39% - в Афганистане. Водосборная площадь бассейнов Кашкадарьи и Зеравшана равна  $24300 \text{ км}^2$  [65].

Земельный фонд бассейна, пригодный для орошения, составляет 25 млн.га, из них 13 млн.га – наиболее перспективные земли [38] .

Образуется Амударья слиянием рек Пяндж и Вахш и притоки принимает на первых 180 км. На 12-м км слева в Амударью впадает р.Кундуз, на 38-м справа – Кафирниган, на 137 -м справа–Сурхандарья и на 180-м – Шерабаддарья.

Зеравшан и Кашкадарья, относящиеся по гидрографическим признакам к бассейну Амударьи, до нее не доходят и могут рассматриваться как самостоятельные реки. Это тем более справедливо, что подземный приток в Амударью из бассейна р.Зеравшан практически отсутствует [108] .

Водные ресурсы бассейна Амударьи (без бессточных бассейнов Зеравшана, Кашкадарьи, Мургаба и Теджена) составляют 67,9 км<sup>3</sup>; в том числе 3,65 км<sup>3</sup> формируется в бассейне р.Кундуз, расположенной на территории Афганистана [65] .

Под водными ресурсами принято понимать количество воды, поступающей из области формирования стока.

Оценивались они по данным опорных гидрометрических постов, расположенных на выходе рек из гор. При этом предполагалось, что сток рек выше этих постов не подвержен влиянию хозяйственной деятельности в ощутимых размерах. Сток каналов, забирающих воду выше опорных гидропостов и подводящих ее в пределы исследуемых контуров, суммировался со стоком по опорным постам.

Таблица 2.1

Водные ресурсы Амударьи в годы разной водности, м<sup>3</sup>/с

Бассейн	Годовой сток обеспеченность, %			
	25	50	75	95
Вахш	690	635	572	510
Пяндж	1170	1080	990	875
Кафирниган	196	172	147	128
Сурхандарья	129	110	96	78
Шерабаддарья	8,7	7,2	5,8	3,8
Всего выше г.Керки (без р.Кундуз)	2195	2015	1830	1615

Оценка водных ресурсов Амударьи (без бессточных бассейнов и р.Кундуз) приведена в табл.2.1.

В год средней водности гидрометрически учтенные водные ресурсы

Амударья составляет  $63,6 \text{ км}^3$  \*, снижаясь в годы 95%-ной обеспеченности до  $50,8 \text{ км}^3$ . Около 85% этих ресурсов формируется в бассейнах Пянджа и Вахша.

Внутригодовое распределение водных ресурсов Амударьи благоприятно для использования в ирригации – около 75–80% их концентрируется в период май–октябрь.

Процесс трансформации речного стока под воздействием водных мелиораций существенно зависит от природно-хозяйственной обстановки [77]. В связи с этим для решения поставленной задачи бассейн Амударьи разбит на ряд участков: верхнее, среднее и нижнее течение и современная дельта. Эти участки замыкаются створами Керки, Тюямуун, Чатлы и Кылджар.

Изменения стока, связанные с водными мелиорациями в верхней части бассейна, оцениваются в створе Керки–условный, полученном суммированием стоков Амударьи (Керки), Каршинского и Каракумского каналов.

В среднем течении реки исследуется дополнительно створ Ильчик, поскольку он замыкает зону крупных перебросок стока (Каршинский, Каракумский и Аму–Бухарский каналы), а участок реки между створами Ильчик – Тюямуун является транзитным.

Территория бассейна Амударьи относится к районам древнего орошения. Наследием прошлого являются бесплотинный водозабор на подавляющем большинстве каналов, большое количество водозаборных точек, ведущее к строительству параллельных каналов, большой их извилистости и протяженности; значительные потери воды во всех звеньях ирригационной сети, отсутствие или недостаточность коллекторно–дренажной сети.

В 30–е годы было начато переустройство межхозяйственной и внутрихозяйственной оросительной и осушительной сети, укрупнение поливных участков.

Реконструкция межхозяйственных каналов сопровождалась их объединением и сооружением гидроузлов на местных источниках. Однако и в современных условиях многие каналы в бассейне Амударьи бесплотинного типа, что обуславливает паводковый характер их режима и связанные с этим неоправданно большие водозаборы и сбросы. Повышение водообеспеченности орошаемых земель достигалось сооружением водохранилищ и магистральных каналов для переброски стока из районов, богатых водными ресурсами, в те части бассейна, где воды недостаточно. Наиболее интенсивно водохозяйственное строительство в бассейне Амударьи развернулось во второй половине 50–х и начале 60–х годов XX столетия.

---

\*Некоторые разночтения в сведениях о водных ресурсах с [38] связаны, по-видимому, с различной оценкой стока р.Пяндж (см. гл.3).

В 1956 г. вступила в строй первая очередь Каракумского канала, в 1962 г. – Аму-Бухарского, в 1974 г. – Каршинского и т.д. В этот же период на притоках Амударья был построен ряд водохранилищ сезонного регулирования [38] .

В 60-е и 70-е годы в бассейне Амударья построен ряд новых, хорошо технически оснащенных ирригационных систем; одновременно ведутся работы по реконструкции старых, повышению водообеспеченности орошаемых земель и улучшению их мелиоративного состояния.

В целом для ирригации бассейна Амударья характерно следующее:

1. Наряду с новыми совершенными ирригационными системами (Аму-Бухарский машинный канал, Каршинский машинный канал, Яванский и др.) имеются старые системы неивженарного типа, характеризующиеся большой протяженностью, отсутствием противофильтрационной защиты, что обуславливает большие потери воды во всех звеньях сети.

2. Бесплотный водозабор на большинстве каналов обуславливает паводковый режим их работы и, следовательно, излишне большие водозаборы и сбросы.

3. В бассейне Амударья широко развиты переброски стока в районы, не обеспеченные водными ресурсами. Так, Гиссарский канал перебрасывает воду из бассейна Кафирнигана в бассейн Сурхандарья, канал Зангиз из нижнего течения Сурхандарья в бассейн р.Шерабад, канал Иски-Ангар – из Зеравшана в Кашкадарью, Каракумский канал подает амударьинскую воду в бассейны Теджена, Мургаба и далее на запад, а Аму-Бухарский и Аму-Каракульский – в бассейн р. Зеравшан.

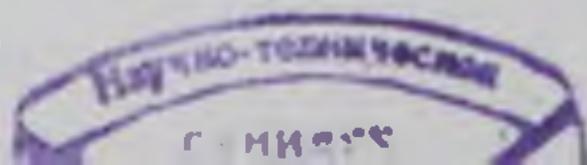
4. В бассейне реки имеется ряд водохранилищ, но сток Амударья практически еще не зарегулирован.

5. В бассейне реки ведутся работы по сооружению коллекторно-дренажной сети. Однако большинство коллекторов не доводят воду до русла Амударья, а концентрируют ее в бессточных понижениях на периферии оазисов.

Водные ресурсы отдельных частей бассейна Амударья используются неравномерно.

Наиболее слабо развита ирригация в верхней части бассейна р.Пяндж. При водных ресурсах  $17,8 \text{ км}^3/\text{год}$  максимальный забор воды в каналы не превышает  $0,78 \text{ км}^3/\text{год}$  [65] . В среднем в нижнем течении р. Пяндж ирригационное использование вод самой реки и ее притоков увеличивается. Кроме каналов, выводящих воду из рек Кзылсу и Яхсу (общее количество около 30), из р.Пяндж берут начало каналы Дехканабад и Халкаяр с пропускной способностью соответственно  $54$  и  $22 \text{ м}^3/\text{с}$  [65] .

В современных условиях водозабор из р.Пяндж составляет  $1,3 \text{ км}^3/\text{год}$ ; основная часть стока ( $1,1 \text{ км}^3$ ) забирается в каналы в течение мая-октября.



Ирригационное использование р.Вахш начинается в основном ниже г. Калининабада, где река выходит на равнину. Несколько ниже г.Калининабада слева из р.Вахш выведен Вахшский магистральный канал (ВМК), а справа - Шуробадский. Кроме этих крупных каналов (пропускная способность 200 и 30 м<sup>3</sup>/с) на участке от г.Калининабада до кишл.Джликуль имеется ряд мелких. В 27 км ниже Нурекской плотины сооружен Байлазинский гидроузел, от которого отходит Яванский канал. В современных условиях (1971-1975 гг.) в бассейне р.Вахш забирается в каналы 6 км<sup>3</sup>/год; при этом водозабор вегетационного периода составляет 64% годового.

В отличие от р.Вахш, где воды притоков слабо используются на орошение, в бассейне р.Кафирниган интенсивно разбираются ее многочисленные притоки. В бассейне существует система сбросных каналов, построенных с учетом подпитывания маловодных рек за счет многоводных.

Наиболее крупными каналами в бассейне являются Рохатинский магистральный канал, Гавкуш, Нижне-Кокташский, Большой Гиссарский, Шаартуз, Хошары и др.

В бассейнах Сурхандарьи и Шерабаддарьи для повышения степени использования стока построены водохранилища Учкызылское и Южносурханское. Наиболее крупные каналы оазиса - Шерабадский и Занг.

Суммарно в верхней части бассейна Амударьи в современных условиях изымается около 16 км<sup>3</sup> воды в год. При этом наиболее крупные водозаборы сосредоточены в бассейнах рек Вахш, Сурхандарья и Кафирниган.

Водозаборы непосредственно из русла Амударьи расположены также весьма неравномерно по длине реки.

На участке от ГЭС Верхнеамударьинской до г.Керки на правом берегу забирают воду каналы Чоршанга и Сурхи с максимальным водозабором до 16 м<sup>3</sup>/с, а также Каршинский магистральный канал с пропускной способностью до 200 м<sup>3</sup>/с; на левом берегу берет начало Каракумский канал, забирающий до 350 м<sup>3</sup>/с [65]. Имеется ряд небольших отводов на афганском берегу.

На участке от кишл.Ильчик до теснины Тьямуни имеется ряд небольших каналов, самый крупный из которых забирает до 2 м<sup>3</sup>/с. На участке теснина Тьямуни - кишл.Чатлы (Саманбай) сосредоточено наибольшее количество крупных ирригационных каналов - Ташсака, Клычниязбай, Советяб, им.Ленина и др. на левом берегу и Пахтаарна, Кызкеткен и др. - на правом.

Ниже поста Чатлы (Саманбай) в первой половине 60-х годов построен ряд каналов, орошающих современную дельту Амударьи. Самым крупным из них является канал Раушан.

По мере осуществления водохозяйственного строительства в бассейне Амударьи происходили существенные изменения в режиме водозабора. Прежде всего водозабор повсеместно увеличился во времени (табл.2.2).

При этом в невегетационный период изъятие стока возросло больше, чем в вегетационный (табл.2.2); следовательно, повысилась доля невегетационного водозабора в суммарном за год.

При общем увеличении изъятия по длине реки за исследуемый период наблюдалось изменение удельного вклада отдельных частей бассейна в

Таблица 2.2

Среднее за 5 лет водопотребление в бассейне Амударьи относительно водозабора первой половины 50-х годов, %

Участок реки	1955/56	1960/61	1965/66	1970/71	1975/76
	1959/60	1964/65	1969/70	1974/75	1977/78
<b>Ноябрь - апрель</b>					
Верховья (Пяндж, Вахш, Кафирниган, Сурхандарья, Шерабад)	130	140	160	194	191
Верхнеамударьинская - Керки	1020	2435	3380	4550	6040
Керки - Ильчик	117	135	292	426	690
Ильчик - Тямуун	119	198	326	506	625
Тямуун - Чатлы	116	150	202	256	295
Итого до створа:					
Керки	189	291	372	480	575
Ильчик	173	258	354	469	599
Тямуун	174	259	356	470	600
Чатлы	143	201	274	357	438
Кзылджар	143	201	282	362	440
<b>Май - октябрь</b>					
Верховья (Пяндж, Вахш, Кафирниган, Сурхандарья, Шерабад)	119	139	190	212	211
Верхнеамударьинская - Керки	535	1035	1570	2470	3120
Керки - Ильчик	134	159	272	355	529
Ильчик - Тямуун	139	179	280	384	520
Тямуун - Чатлы	112	124	146	180	221
Итого до створа:					
Керки	143	192	272	344	382
Ильчик	142	186	272	347	409
Тямуун	142	187	272	347	410
Чатлы	126	153	204	257	308
Кзылджар	126	155	218	267	310

суммарную величину водозабора. Повысился водозабор непосредственно из русла Амударьи. Если в начале 50-х годов он составлял около 61% от суммарного, то в начале 70-х уже 68%. Одновременно изменился удельный вес отдельных участков русла Амударьи в суммарном изъятии стока. В начале 50-х годов основной водозабор (83%) из русла был сосредоточен в низовьях реки. В начале 70-х годов удельный вес низовий в суммарном водозаборе из русла снизился до 55%, а среднего и верхнего течения повысился соответственно с 13 до 16% и с 4 до 29%.

Таблица 2.3

Коэффициент изъятия стока в бассейне Амударьи, осредненный по пятилетиям

Река, отвор	1950/51	1955/56	1960/61	1965/66	1970/71	1975/76
	1954/55	1959/60	1964/65	1969/70	1974/75	1977/78
Май-октябрь						
Пяндж, Н.Пяндж					0,05	0,05
Вахш, устье	0,08	0,08	0,11	0,11	0,20	0,22
Кафирниган, устье	0,23	0,34	0,49	0,44	0,60	0,54
Сурхандарья,						
Мангузар	0,67	0,89	0,99	1,14	1,16	1,07
Всего до створа:						
Керки-условный	0,08	0,10	0,13	0,14	0,21	0,20
Керки	0,09	0,13	0,20	0,22	0,36	0,40
Тьямуки	0,11	0,16	0,23	0,28	0,44	0,52
Чатлы	0,25	0,31	0,42	0,45	0,71	0,85
Кзылджар	0,25	0,31	0,43	0,47	0,73	0,86
Ноябрь-апрель						
Пяндж, Н.Пяндж					0,02	0,02
Вахш, устье	0,07	0,10	0,13	0,16	0,23	0,21
Кафирниган, устье	0,21	0,32	0,38	0,27	0,36	0,27
Сурхандарья,						
Мангузар	0,50	0,69	0,74	0,64	0,98	0,85
Всего до створа:						
Керки-условный	0,08	0,11	0,12	0,16	0,17	0,15
Керки	0,08	0,16	0,27	0,32	0,47	0,47
Тьямуки	0,10	0,19	0,31	0,38	0,58	0,61
Чатлы	0,22	0,33	0,51	0,64	0,94	0,96
Кзылджар	0,22	0,33	0,52	0,65	0,95	0,97

В 50-х годах выше г. Керки было сосредоточено около 41% суммарного водозабора в бассейне, выше Тюямуна - 49%. В современных условиях выше г. Керки сосредоточено 52%, а выше Тюямуна - 62% суммарного изъятия стока из рек бассейна.

Степень использования водных ресурсов характеризует коэффициент изъятия стока (табл. 2.3), представляющий собой отношение суммарного водозабора выше исследуемого створа к притоку из области формирования. Коэффициент этот определяется как уровнем водохозяйственного строительства, так и водностью года, поэтому он возрастает во времени (табл. 2.3) и на каждом уровне водохозяйственного строительства от многоводных лет к маловодным (табл. 2.4, рис. 2.1).

Таблица 2.4

Коэффициент изъятия годового стока в бассейне Амударьи в годы, различные по водности и уровню использования стока

Источник изъятия стока	Время использования стока, год	Обеспеченность притока из области формирования, %				
		5	25	50	75	95
Вахш	1951-1959	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
	1960-1969	0,06	0,09	0,10	0,11	0,13
	1970-1977	0,13	0,16	0,19	0,21	0,24
Кафирниган	1951-1957	0,15	0,24	0,28	0,33	0,39
	1958-1969	0,23	0,35	0,40	0,46	0,53
	1970-1977	0,28	0,43	0,48	0,55	0,63
Сурхандарья	1951-1957	0,41	0,59	0,76	0,90	1,02
	1958-1968	0,53	0,73	0,92	1,07	1,19
	1969-1977	0,62	0,85	1,04	1,19	1,31
Керки-условный	1950-1957	0,08	0,08	0,09	0,10	0,12
	1958-1968	0,12	0,12	0,13	0,14	0,16
	1969-1977	0,14	0,15	0,17	0,20	0,24
Керки	1950-1957	0,07	0,08	0,09	0,11	0,15
	1958-1968	0,15	0,16	0,18	0,22	0,27
	1969-1977	0,25	0,28	0,32	0,38	0,46
Ильчик	1950-1957	0,10	0,11	0,12	0,14	0,18
	1958-1968	0,17	0,20	0,23	0,27	0,33
	1969-1977	0,31	0,36	0,40	0,48	0,56
Чатлы	1950-1957	0,22	0,23	0,25	0,29	0,34
	1958-1968	0,29	0,34	0,39	0,48	0,58
	1969-1977	0,50	0,59	0,66	0,78	0,88

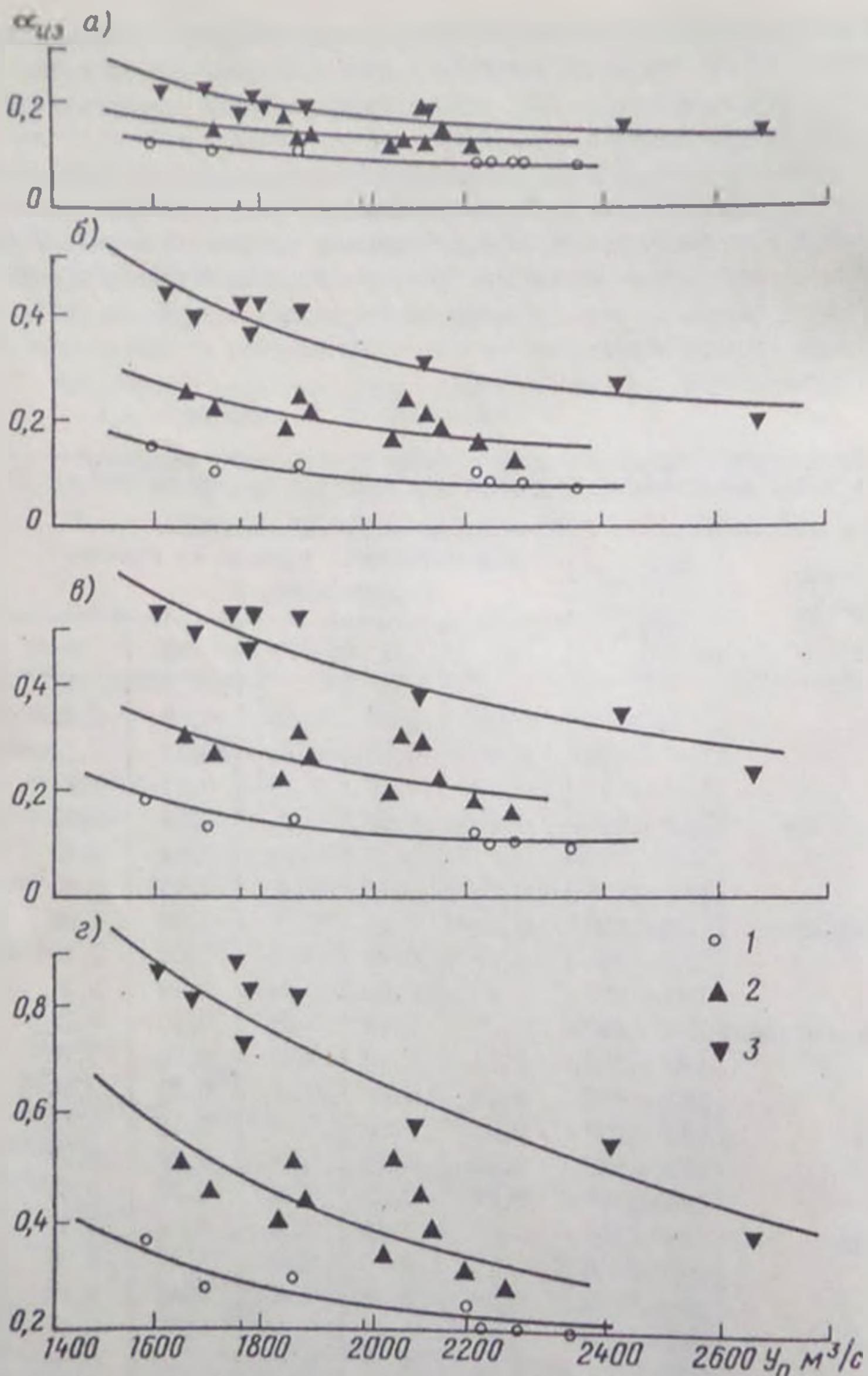


Рис. 2.1. Зависимость среднегодового коэффициента изъятия стока от притока из области формирования в бассейне Амударьи в створах: а - Керки-условный; б - Керки; в - Ильчик; г - Чатлы; 1 - 1950-1957 гг., 2 - 1958-1968 гг., 3 - 1969-1975 гг.

### Глава 3. ГИДРОМЕТРИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ БАССЕЙНА АМУДАРЬИ

Для решения поставленной задачи – оценки изменения стока под влиянием антропогенных факторов – согласно принятому методу необходимо располагать данными о речном стоке на выходе его из зоны формирования и в створах, замыкающих ирригационные районы.

Приток воды из зоны формирования оценивался по данным опорных гидрометрических постов, расположенных на выходе рек из гор. Предполагалось, что выше этих постов сток не подвержен антропогенному воздействию в ощутимых размерах.

В отдельных створах бассейна Амударьи гидрометрические работы начаты в начале XX в., а на большинстве постов – лишь в 30-е годы. Наблюдения велись с большими перерывами, что обуславливает необходимость восстановления стока.

Ниже приводится краткая характеристика гидрологических рядов наблюдений, использованных в дальнейших расчетах.

Водные ресурсы р.Вахш учитывались в створе кишл.Туткаул с 1932 г. В 1967 г. пост был закрыт в связи со строительством плотины Нурекского водохранилища, а наблюдения за стоком перенесены в створ кишл. Чорсада, расположенный выше по течению на 91 км.

Створ Чорсада работал с 1963 по 1973 г. В 1976 г. наблюдения за стоком были продолжены в створе Комсомолабад, расположенном в 106 км выше створа Туткаул. Наблюдения за стоком в этом створе велись также в 1949–1957 гг.

Данные параллельных наблюдений в этих трех створах, а также в створах, расположенных на составляющих р.Вахш – Обихингоу и Сурхобе, использованы для восстановления стока р.Вахш в створе кишл.Туткаул (табл.3.1).

Уравнения получены по среднемесячным значениям стока, сгруппированным по периодам ноябрь–апрель и май–октябрь. При восстановлении по данным кишл.Чорсада разбивка ряда на сезоны не осуществлена ввиду малочисленности данных.

Наблюдения за стоком р. Пяндж начаты экспедицией Гидропроекта в 1965 г. в створе кишл. Нижний Пяндж; в 1967 г. пост передан в Таджикское УГКС. С перерывами в 1968, 1974, 1975 гг. пост продолжает работать в настоящее время. В вышележащих створах (кишлаки Шидх и Хирмондио?) период наблюдений еще короче. По этой причине водные ресурсы р. Пяндж оценивались по створу Нижний Пяндж, восстановленному по связи со стоком р. Вахш у кишл. Туткаул.

Таблица 3.1

Уравнения регрессии, связывающие сток р. Вахш в створе Туткаул со стоком в других створах

Створ, принятый в качестве предиктора $x$	Период, для которого получено уравнение	$R_{y,x}$	Ошибка расчета по $y = f(x)$		$y = f(x)$
			средняя	наибольшая	
Чорсада	XI-X	0,995	6,2	16,0	$y = 1,08x - 22,6$
Комсомолабад	XI-IV	0,957	10,2	37,0	$y = 1,19x - 19,5$
	У-X	0,982	6,5	17,8	$y = 1,03x + 1,9$
Сумба Сурхоба и Обихингоу	XI-IV	0,823	13,8	55,7	$y = 1,71x - 64,9$
	У-X	0,964	14,0	41,1	$y = 1,10x + 121$

Вероятно, асинхронность колебания стока Пянджа и Вахша в эти годы связана с какими-то аномальными условиями формирования стока в одном из исследуемых бассейнов.

В связи с этим проанализируем один из стокоформирующих факторов - атмосферные осадки.

При выводе уравнений месяцы сгруппированы в периоды: а) с октября по март; б) с апреля по июль и в) август, сентябрь.

Уравнения регрессии и их характеристики приведены в табл.3.2.

При достаточно высоких значениях коэффициентов корреляции (табл.3.2) средняя ошибка уравнения  $S$  в период апрель-июль составляет  $200 \text{ м}^3/\text{с}$ , а в отдельные месяцы еще больше.

Так, в июне 1966 г. сток р. Пяндж у кишл. Н. Пяндж, восстановленный по уравнению, оказался выше, а в июле 1971 г. ниже фактического на  $500 \text{ м}^3/\text{с}$  (рис.3.1).

Увязка стока по длине рек Пяндж и Вахш в эти месяцы исключает возможность грубых гидрометрических ошибок. Об этом же свидетельствует связь суммарного стока рек Пяндж и Вахш со стоком Амударьи в створе Верхнеамударьинской станции, т.е. непосредственно после слияния Вахша и Пянджа (рис.3.2).

Таблица 3.2

Уравнения регрессии связи среднемесячного стока р. Пяндж, кишл. Нижний Пяндж (y) и р. Вахш, кишл. Туткаул (x)

Период	n	S	$R_{x,y}$	$y = f(x)$
Апрель-июль	26	198	0,96	$y = 1,43x + 228$
Август-сентябрь	15	95	0,98	$y = 1,31x + 154$
Октябрь-март	38	46	0,85	$y = 1,28x + 192$

Некоторое отклонение точек вправо от биссектрисы при больших расходах может быть связано с потерями стока в поймах рек Пянджа и особенно Вахша в период высоких половодий.

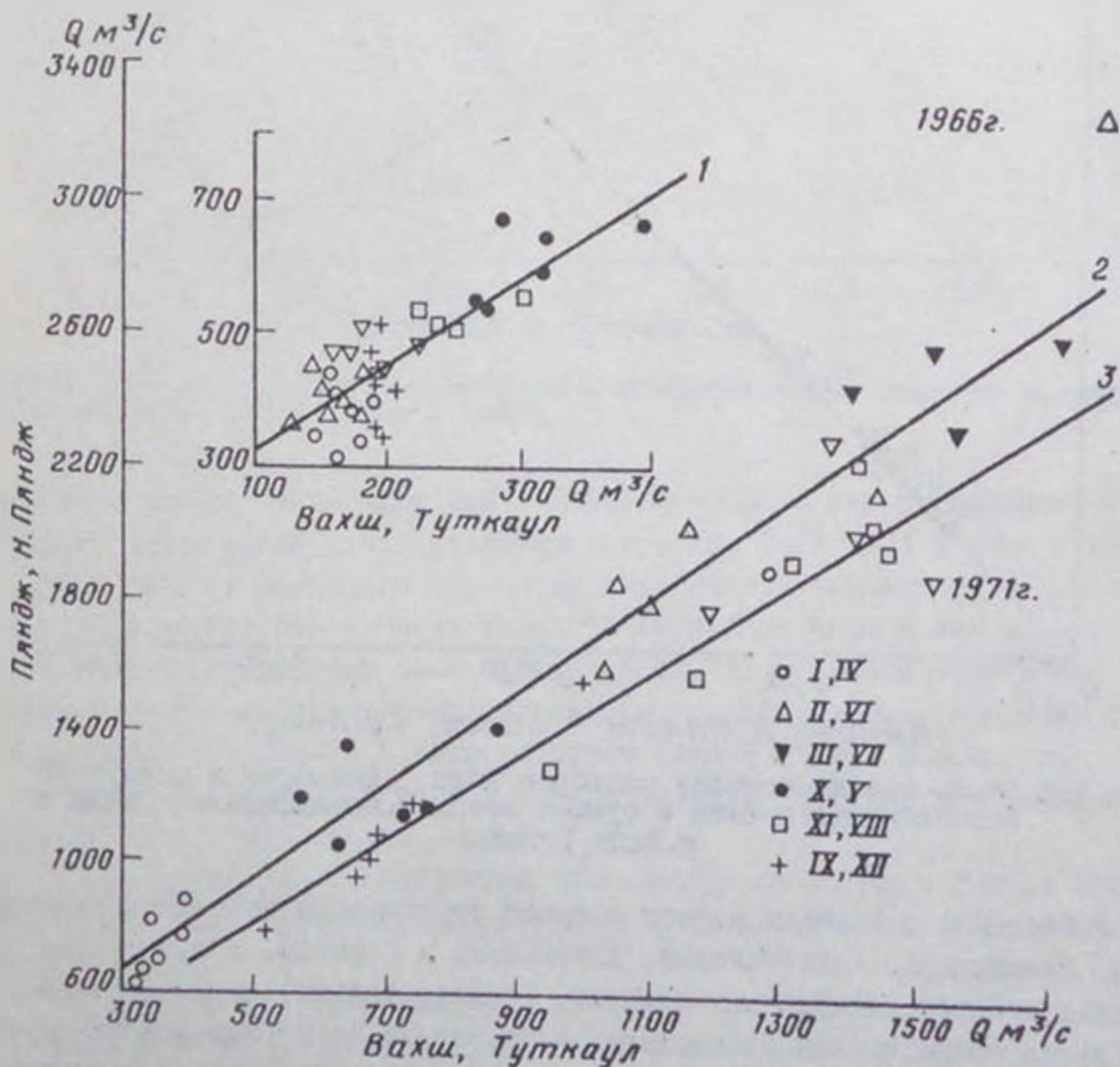


Рис. 3.1. Связь среднемесячных расходов воды р. Пяндж в створе Нижний Пяндж и Вахш в створе кишл. Туткаул:  
 1 - X-V, 2 - IV-VII, 3 - VII-IX

Июнь 1966 и июль 1971 гг. отклоняются на этом графике не более, чем другие годы (рис.3.2).

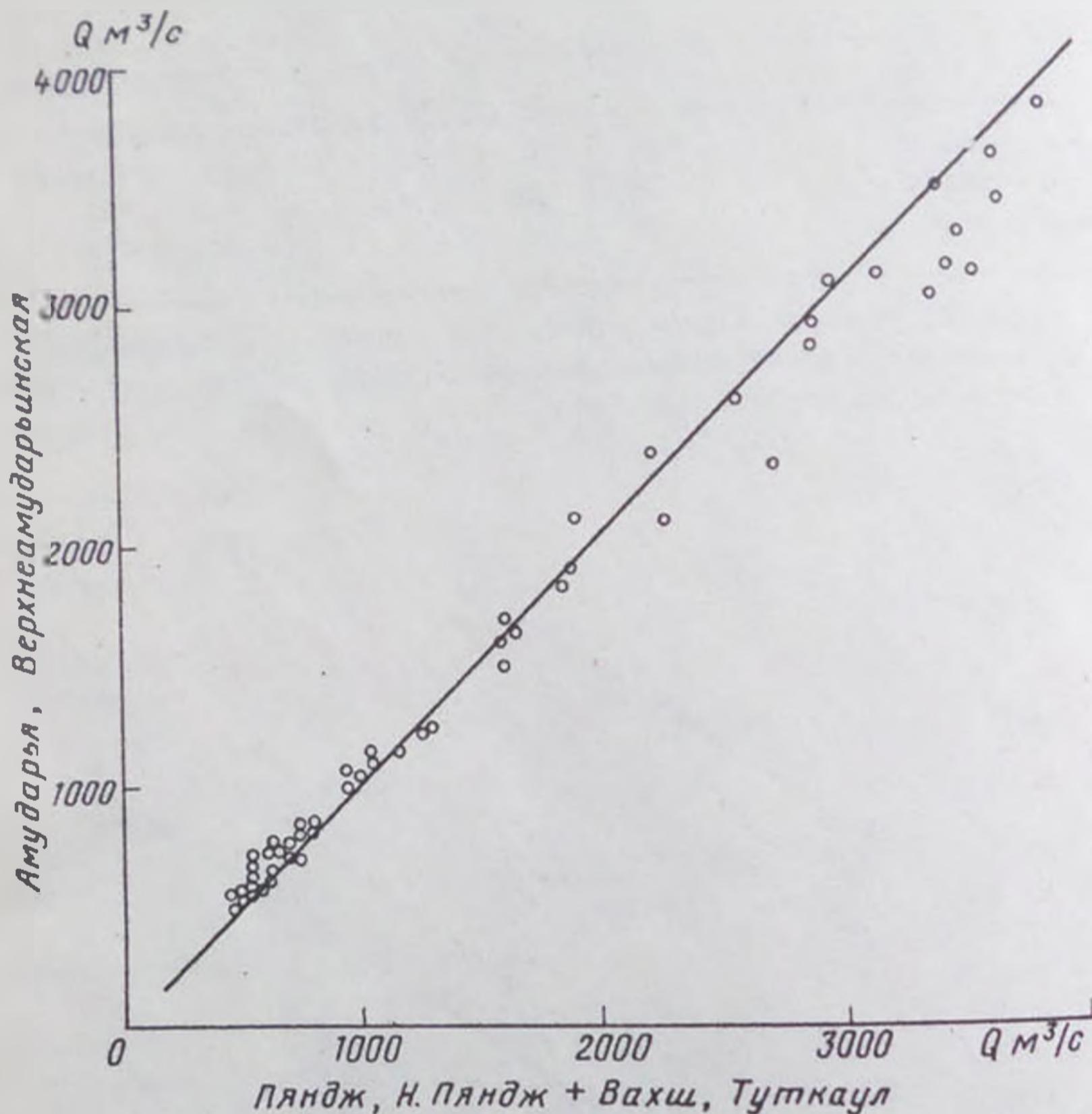


Рис.3.2. Связь среднемесячных расходов воды Амударьи в створе III Верхнеамударьинский с суммой стока р.Пяндж, Нижний Пяндж и р.Вахш, Туткаул

В бассейне р.Вахш их индекс получен осреднением показаний станций Гарм, Тавильдара, Комсомолабад, Алтынмазар и Сарыташ, а в бассейне р.Пяндж – Хорог, Джаушангоз и Куляб. Предварительный анализ показал, что лучше всего со стоком коррелируются осадки за период ноябрь–апрель.

Из рис.3.3 следует, что в целом колебание количества атмосферных осадков в бассейнах Вахша и Пянджа синхронно. Это еще раз подтверждает правомерность восстановления стока р.Пяндж по стоку р.Вахш.

В отдельные годы эта синхронность несколько нарушается. Так, в 1975/76 г. в бассейне р. Пяндж атмосферных осадков выпало существенно выше нормы ( $K_i = 1,3$ ), а в бассейне р. Вахш – меньше нормы ( $K_i = 0,9$ ). Аналогичная картина наблюдалась в 1964/65 г. – в бассейне р. Пяндж  $K_i = 1,0$ , а в бассейне р. Вахш  $K_i = 0,8$ . Однако асинхронность в колебаниях стока этих рек вызвана, вероятно, не только осадками, но и термическим

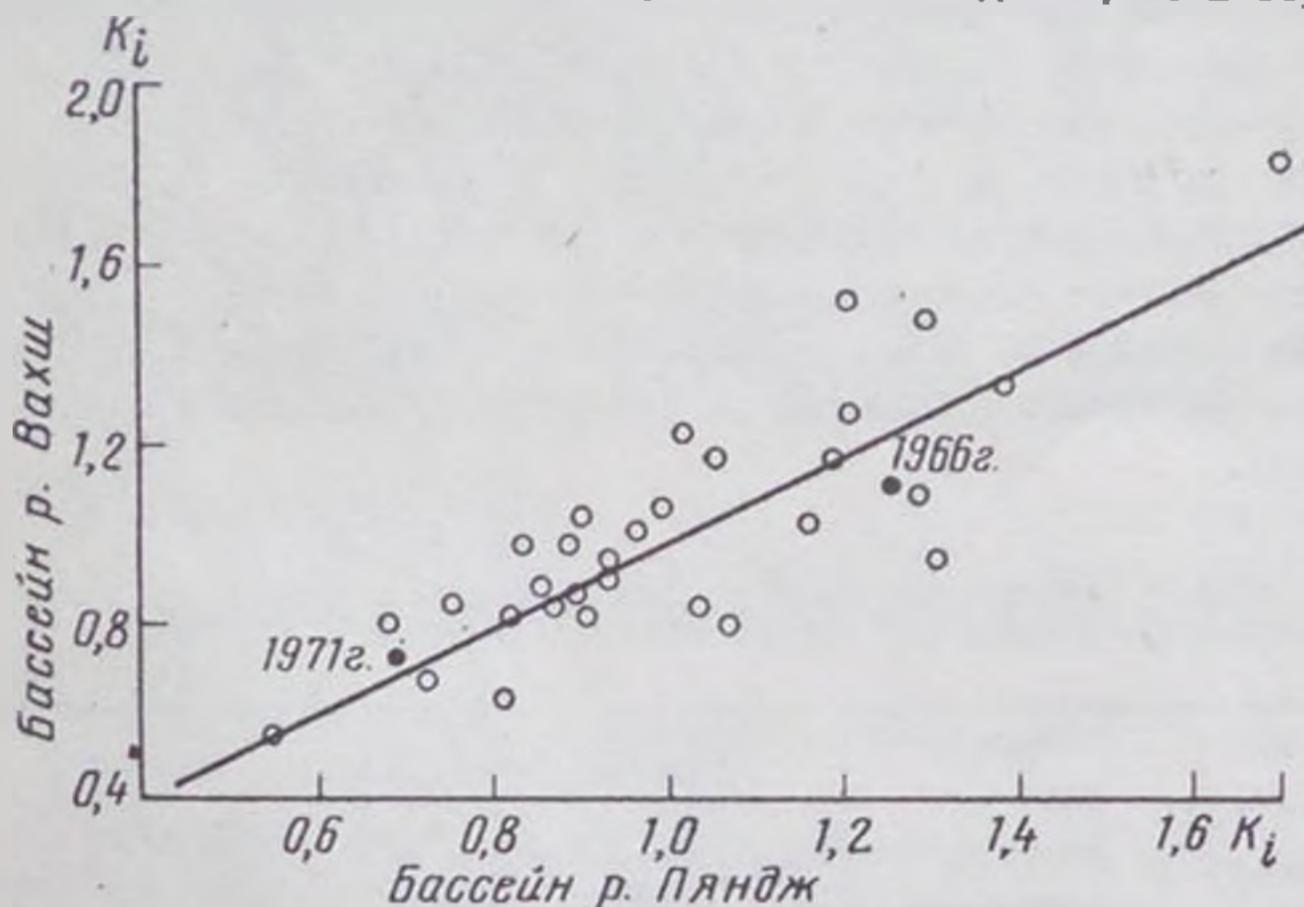


Рис. 3.3. Зависимость (в модульных коэффициентах) осадков за ноябрь-апрель в бассейнах Вахш и Пяндж

режимом, так как в питания рек существенную роль играют ледники. Значительные отклонения стока от линии регрессии (рис.3.2) в июне 1966 г. и июле 1971 г. во всяком случае не объясняются аномалиями в атмосферных осадках, так как степень увлажненности бассейнов в эти годы была примерно равной. Можно лишь предположить, что эти годы отличались аномальным распределением снеготазпасов по высотным зонам. Вероятны также некоторые различия в температурном режиме в этих бассейнах.

Итак, уравнения из табл.3.2 использованы для восстановления стока р. Пяндж по стоку р. Вахш.

Водные ресурсы р. Кафирниган оценивались по стоку в створе кишл. Чинар и сумме стока притоков в створах, расположенных выше основных водозаборов.

По многим из них наблюдения за стоком велись лишь несколько лет. В связи с этим суммарные водные ресурсы в бассейне р. Кафирниган оценивались по уравнениям

$$U_{\text{П-IV}} = 192 X_{\text{В-IV}} \cdot 5,5, \quad (3.1)$$

$$U_{\text{V-I}} = 1,52 X_{\text{V-I}} \cdot 17,4, \quad (3.2)$$

где  $Y_{\text{н.г.}}$  и  $Y_{\text{с.г.}}$  - средние за месяц суммарные водные ресурсы р.Кафирниган (приток из зоны формирования);

$X_{\text{н.г.}}$  и  $X_{\text{с.г.}}$  - среднемесячный сток р.Кафирниган за периоды ноябрь-апрель и май-октябрь в створе кишл.Чинар.

Водные ресурсы р.Сурхандарья слагаются из стока рек Каратаг и Тупаланг и ряда боковых притоков, сток в которых измеряется на выходе из гор. Поскольку на большинстве притоков наблюдения за стоком велись менее регулярно, чем на реках Каратаг и Тупаланг, среднесезонные ресурсы реки (на выходе из гор) оценивались по уравнениям, приведенным в табл.3.3. Уравнения использовались в зависимости от наличия данных по тому или другому створу-предиктору в конкретные сезоны. В случае, если имелись данные по обоим створам, предпочтение отдавалось Тупалангу, так как ошибки восстановления по этому створу несколько меньше (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Уравнения регрессии, связывающие суммарные водные ресурсы р.Сурхандарья со стоком рек Каратаг и Тупаланг

Река, створ-предиктор $x$	Период, для которого получено уравнение	$R_{x,y}$	Ошибка расчета по $y = f(x)$		$y = f(x)$
			средняя	наибольшая	
Тупаланг, Зарчуб	XI-IV	0,931	6,8	15,4	$y = 2,65x - 4,4$
	V-X	0,966	4,2	11,5	$y = 1,88x + 10,8$
Каратаг, Каратаг	XI-IV	0,900	8,8	27,5	$y = 5,96x + 2,9$
	V-X	0,930	4,4	11,0	$y = 5,24x - 11,1$

Примечание.  $y$  - суммарные водные ресурсы р.Сурхандарья в среднем за сезон;  $x$  - среднесезонный сток Тупаланга или Каратага.

К водным ресурсам р.Сурхандарья (с 1942 г.) добавлялся сток, перебрасываемый из бассейна р.Кафирниган по Большому Гиссарскому каналу.

Водные ресурсы р.Шерабад оценивались по створу, расположенному выше устья р.Чайдан.

Итак, площадь водосбора Амударьи ниже устья последнего притока (р.Шерабад) составляет в границах СССР 140910 км<sup>2</sup>. Сток с площади 115960 км<sup>2</sup> (82% поверхности водосбора) учтен гидрометрически постами Узбекского и Таджикского УГКС.

Ниже опорных гидрометрических постов расположено 24950 км<sup>2</sup> площа-

де водосбора. Из них 12180 км<sup>2</sup> (около 49%) представляют собой типичную предгорную равнину с абсолютными высотами от 100 до 500 м; 10650 км<sup>2</sup> (= 43%) – это низкогорная область с высотами 500–1000 м и лишь 2120 км<sup>2</sup> (= 8%) характеризуются высотами от 1500 до 3000 м. Вероятно, наиболее перспективной с точки зрения формирования стока является именно эта территория, так как в низкогорной зоне сток формируется эпизодически, лишь в наиболее увлажненные периоды. Сток с площади 2120 км<sup>2</sup> определен по картам изолиний среднемноголетнего стока [65] в размере 8,6 м<sup>3</sup>/с при среднем модуле 3,6 л/с·км<sup>2</sup>.

Модуль стока с площади 10650 км<sup>2</sup> определен в размере 0,5 л/с·км<sup>2</sup> [65], а сток в 5,3 м<sup>3</sup>/с.

Следовательно, суммарный поверхностный сток, не учтенный гидрометрически, оценен в размере 14 м<sup>3</sup>/с, или меньше 1% от гидрометрически учтенного стока.

Сведения о водных ресурсах р. Кундуз – левого притока Амударьи, формирующегося в пределах Афганистана, – крайне ограничены. В работе [65] они оцениваются примерно в 100 м<sup>3</sup>/с, т.е. около 5% от гидрометрически учтенных ресурсов.

С учетом сказанного выше приведенные в гл. 2 величины водных ресурсов Амударьи занижены примерно на 6%.

Поскольку для оценки антропогенного воздействия на сток рек достаточно знать индекс водных ресурсов (а не их абсолютную величину), недоучет последних не должен сказаться на правильности полученных выводов.

Створы, расположенные в зоне использования речного стока, фиксируют изменения в нем, связанные с хозяйственной деятельностью. В нижнем течении р. Вахш гидрометрические работы велись лишь в течение трех лет (1960–1962 гг.) в створе поста Тигровая балка, расположенном в 75 км выше устья.

В бассейне р. Кафирниган створ кишл. Айвадж, расположенный в 4,4 км выше устья, работал лишь с 1930 по 1942 г.; пост Тартки (102 км выше устья) не замыкает полностью зону использования стока. Ниже этого створа имеет место и водозабор из реки и сброс в нее. Лишь в бассейне р. Сурхандарья замыкающий створ кишл. Мангузар расположен практически в устье реки.

Следовательно, лишь в бассейне р. Сурхандарья гидрометрический материал позволяет оценить изменения стока, связанные с потреблением его в зоне использования. По бассейну р. Кафирниган эта оценка может быть выполнена лишь частично. В бассейне р. Вахш такая возможность практически отсутствует.

В связи с этим изменения в стоке в бассейнах рек Пяндж, Вахш, Кафирниган, Сурхандарья и Кундуздарья приближенно можно оценить по ус-

ловному створу г.Керки. Сток в последнем получен суммированием стоков в трех руслах: Амударьи, Каракумского и Каршинского магистральных каналов. Ниже г.Керки сток Амударьи фиксировался в разных створах. Из них наиболее интересны с точки зрения выполнения поставленной задачи посты Ильчик, Тьямуш, Чатлы и Кзылджар.

Пост Тьямуш замыкает среднее течение реки и фиксирует количество воды, поступающее в зону интенсивного водозабора - Хорезмский и Турткульский оазисы.

Пост Ильчик, расположенный между постами Керки и Тьямуш, делит среднее течение реки на участки интенсивного водозабора и транзита.

Пост Чатлы фиксирует сток, поступающий в пределы современной дельты, а пост Кзылджар замыкает орошаемую зону.

Наиболее длительные наблюдения, хотя и с большими перерывами, ведутся в створах Керки и Чатлы. В Ильчике и Кзылджаре они начаты практически лишь в середине 50-х годов XX столетия. В связи с этим последние могут быть использованы лишь для оценки изменения стока по длине реки в 70-е годы относительно 50-х и 60-х годов.

В качестве реперных постов, по которым исследовалось изменение стока во времени под влиянием хозяйственной деятельности, приняты створы Керки, Тьямуш и Чатлы.

В створе г.Керки наблюдения за жидким стоком ведутся с 1911 г. с перерывом в 1921-1924 и 1938-1951 гг. Восстановлением стока в створе г.Керки за годы отсутствия наблюдений неоднократно занимались водохозяйственные организации [109]. В работе [110] сток за период 1925-1951 гг. в створе г.Керки восстановлен по связи со стоком р. Вахш у Туткаула. Институт Гидропроект восстановил этот сток по данным створа кишл.Чатлы в сумме с водозабором на участке Керки-Чатлы.

В проработке Гидропроекта и Совзводпроекта ряд в створе г.Керки составлен следующим образом. С 1911 по 1933 г. приняты данные А.К.Проскурякова [63]. Расходы воды за март, апрель 1918 г. и январь-март 1925 г. приняты равными среднемноголетним за период фактических наблюдений. Расходы за июнь-сентябрь 1934 г. и с 1939 по 1941 г. восстановлены по данным г/п Чатлы с учетом водозабора на участке Керки-Чатлы, среднего за 1942-1955 гг.

С 1942 по 1949 г., а также март, июнь-декабрь 1957 г., январь, апрель, август-октябрь 1958 г. расходы восстановлены по связи с расходами г/п Чатлы в сумме с водозабором на участке Керки-Чатлы.

С 1950 по июль 1952 г. приняты данные Бассага-Керкинской станции за вычетом расходов воды, забираемой Бассага-Керкинским каналом.

За период с декабря 1963 по 1966 г. и 1968 г. приняты данные Гидропроекта по ст.Кызылаяк, а за все остальные годы - данные УГКС.

Сопоставление стока в створе г. Керки, восстановленного по Ваху у Туткаула и Амударье у Чатлов, приведено в табл. 3.4. Расхождения в оценке среднесезонного стока в створе Керки при использовании различных аналогов в 19% (невегетационный период) и 22% (вегетация) случаев превышает 10% и лишь в 57 и 44% случаев не превышает 5%.

Наиболее существенные расхождения наблюдаются в вегетационный период 1934, 1939 и 1945 гг. и в невегетационный период 1944/45, 1947/48 и 1950/51 гг.

Сток Амударья в створе г. Керки в среднем на 54% определяется

Таблица 3.4

Сопоставление среднесезонных значений стока Амударья в створе Керки при восстановлении по Туткауду ( $Y_1$ ) и Чатлам ( $Y_2$ ), м<sup>3</sup>/с

Сезон	Май - октябрь				Ноябрь - апрель			
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 - Y_2$	$\frac{Y_1 - Y_2}{Y_2} \%$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_1 - Y_2$	$\frac{Y_1 - Y_2}{Y_2} \%$
1932/33					828	923	-95	-10,3
1933/34	3253	4263	-1010	23,8	1035	1126	-91	-8,1
1934/35					888	940	-52	-5,5
1937/38	2837	2857	-20	-0,7	922	919	3	0,3
1938/39	3477	2643	834	31,6	802	815	-13	-1,6
1939/40	2572	2550	22	0,9	814	832	-18	-2,1
1940/41	3378	3452	-74	-2,1	985	1032	-47	-4,6
1941/42	3420	3557	-137	-3,9	1174	1148	26	2,3
1942/43	3110	3352	-242	-7,2	1207	1122	85	7,6
1943/44	3137	3333	-196	-5,9	1066	1178	-112	-9,5
1944/45	3402	4153	-751	-18,0	1014	1225	-210	-17,2
1945/46	2833	2622	211	8,1	1112	1067	45	4,2
1946/47	2578	2282	296	12,9	877	879	-2	-0,2
1947/48	3302	3195	107	3,4	866	1013	-147	-14,5
1948/49	3777	3590	187	5,2	1121	1219	-98	-8,0
1949/50	2813	2812	1	0	1043	994	49	4,9
1950/51	2557	2402	155	6,5	868	767	101	13,2
1951/52	3347	3625	-278	-7,7	1169	1230	-61	-5,0
1956/57	2307	2246	61	2,7	873	860	13	1,5
1957/58	3740	3658	82	2,2	1164	1128	36	3,2
1958/59					1087	1087	0	0

стоком р.Пяндж и только на 31% стоком р.Вахш. В связи с этим восстановление стока Амударьи по Вахшу может давать существенные ошибки в годы, когда колебания стока Вахша и Пянджа асинхронны.

Вероятно, именно повышенной водностью р.Пяндж в вегетацию 1934 и 1945 гг. и пониженной в 1939 г. объясняются столь существенные расхождения в оценке стока в створе г.Керки, восстановленного по Туткаулу и Чатлам. В пользу этого положения говорит и то, что сток, восстановленный по последнему аналогу, хорошо увязывается со стоком в Тлямууне. В связи с этим в последующих проработках мы приняли данные по ст.Керки, восстановленные Союзводпроектom по стоку в створе Чатлы, суммированному с водозабором на участке Керки-Чатлы.

В створе теснина Тлямуун, расположенном в 458 км выше устья реки, наблюдения за стоком начаты в 1934 г. и продолжаются с большими перерывами по сей день. Несколько ниже поста, в створе кишл.Ташсака, наблюдения велись в течение 1926-1938 гг.; некоторый период сток регистрировался в створе кишл.Данишер.

Анализ данных параллельных наблюдений этих трех постов позволил А.К.Проскурякову [63] объединить их в один ряд.

Данные по расходам воды за 1943-1952 гг. восстановлены не были. За все последующие годы приняты результаты наблюдений ГМС Тлямуун.

В створе кишл.Чатлы наблюдения начаты в 1913 г., затем были прерваны в 1918 г. и продолжены в 1931 г. В 1971 г. в связи со строительством в створе поста Тахиаташской плотины пост был перенесен на 15 км ниже по течению в кишл.Саманбай. Выше этого поста из реки забирает воду крупный канал Каттагор. С целью сохранения однородности ряда в створе Чатлы к стоку в створе п.Саманбай прибавлен водозабор в этот канал.

Начало регулярных гидрометрических наблюдений на реках бассейна Амударьи существенно различается во времени. Поскольку водные ресурсы по одной из составляющих Амударьи - р.Вахш - учитываются с 1932 г., вполне закономерно за начало "условно-естественного" периода принять этот уровень. Для корректного решения поставленной задачи немаловажным является также вопрос точности определения стока в исследуемых створах.

Условия производства гидрометрических работ на Амударье весьма неблагоприятно отражаются на точности измерения расходов воды. Погрешности связаны главным образом со сложными гидравлическими условиями протекания потока (большие скорости течения, плановые и глубинные деформации русла, косоструйность течения и т.д.) и методикой производства работ (количество измеренных расходов, количество скоростных и промерных вертикалей и их положение в створе, наличие приборов и вспомогательных средств), не всегда соответствующей этим условиям [63].

В результате - точность учета стока на Амударье в 2-3 раза ниже, чем на реках с устойчивым руслом [82] .

По данным В.Л.Шульца [109], по створу г.Керки в период 1953-1958 гг. за пределы 10%-ных отклонений от кривой  $Q = f(H)$  выходят от 6 до 50% измеренных расходов воды, а отклонения, превышающие 30%, составляют 0-6%.

Среднее отклонение измеренных расходов от кривой  $Q = f(H)$  за эти годы равно 11%.

По данным Ю.Н.Иванова и А.Х.Туляганова [36], средняя квадратическая погрешность измерения расходов воды в створах Тямуун и Чатлы составляет 6-8%.

Аналогичные данные приводятся в работе Н.С.Зубкова [34] . Среднее квадратическое отклонение измеренных расходов от кривой  $Q = f(H)$  составляет в створах Верхнеамударьинском, Керки, Ильчик и Тямуун соответственно 6,8; 3,2; 6,1; 6,7%.

Погрешность расчета среднемесячных величин составляет от 8-10% [42] до 11% [63] . По данным Иванова и Туляганова [36], среднемесячный сток в створах Амударьи вычисляется с точностью 5-6% в паводок и 8% в межень. Погрешность расчета среднесезонного стока, вероятно, несколько меньше. В среднем за год погрешность составляет 6-8% [42] .

Погрешности, связанные со случайными ошибками измерения, компенсируются при осреднении стока по пятилетиям. Этого не происходит с систематическими ошибками, на наличие которых указывают многие авторы [34-36, 42, 53, 82] . Так, в работах [35, 65] наличие невязок русловых балансов на участках реки связывают с систематическим завышением стока в створах Тямуун (1956, 1959, 1964, 1965 гг.), кишл.Чатлы (1970-1973 гг.), Керки (1968 г.). В створе кишл.Ильчик сток, по мнению авторов работ [35, 82] , занижен.

#### Выводы

1. Отсутствие устьевых створов на реках Вахш, Кафирниган не позволяет оценить изменения стока, связанные с хозяйственной деятельностью в бассейнах этих рек. В качестве створа, замыкающего всю верхнюю зону бассейна Амударьи, рассматривается "условный" створ г.Керки.

2. Ряды гидрометрических наблюдений на постах в бассейне Амударьи имеют пропуски в наблюдениях. Это обусловило необходимость восстановления стока.

3. В силу ряда специфических условий точность гидрометрического учета стока Амударьи несколько ниже, чем на других реках. В связи с этим принятая методика оценки антропогенной изменчивости стока не всегда позволяет уловить эти изменения.

## Глава 4. ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ В АМУДАРЬЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ В ЕЕ БАССЕЙНЕ

Интенсификация использования речного стока на известном уровне приводит к его изменению.

Для оценки антропогенных изменений стока Амударья использован метод, основанный на сопоставлении стока в створе, замыкающем зону его использования, с притоком из зоны формирования.

Этот метод в различных модификациях широко применяется в работах Ю.С.Гуляико [27], С.И.Харченко [93,95], И.А.Шикломанова [97], [106] и др.

В одном из вариантов он заключается в использовании уравнений регрессии (табл.4.1), полученных для периодов с различной степенью использования стока.

Сопоставление стока через замыкающие створы ( $Y_0$ ) на разных уровнях водохозяйственного строительства с условно-естественным периодом при одинаковом притоке с гор ( $Y_n$ ) позволяет судить об изменении стока под влиянием антропогенных факторов в среднем за расчетный период.

Среднее за расчетный период изменение стока оценивается по выражению

$$\Delta y = Y_{01} - Y_{02}, \quad (4.1)$$

где  $\Delta y$  - изменение стока реки между двумя расчетными уровнями;  $Y_{01}$  - средний за условно-естественный период сток в замыкающем створе;  $Y_{02}$  - то же за период интенсивного использования стока.

При расчете  $Y_0$  по уравнению  $Y_0 = f(Y_n)$  возникает систематическая ошибка, связанная с тем, что среднее квадратическое отклонение ряда, рассчитанного по уравнению регрессии, занижено на величину  $\frac{1}{2}$  [102].

Для устранения этой систематической погрешности, вызванной отрицательным смещением дисперсии восстановленного ряда по сравнению с его истинным значением, Шикломанов [102] предлагает использовать выражение

$$Y'_0 = \bar{Y}_0 + \frac{Y_0 - \bar{Y}_0}{R}, \quad (4.2)$$

где  $Y_0'$  – сток, рассчитанный по уравнению  $Y_0 = f(Y_n)$  для исследуемого уровня хозяйственной деятельности;  $\bar{Y}_0$  – среднее значение стока в исследуемом створе за период, для которого получено уравнение регрессии с коэффициентом корреляции  $R$ .

Изложенный выше метод позволяет оценить изменение стока лишь в среднем за достаточно длительное время, необходимое для статистического обоснования зависимостей  $Y_0 = f(Y_n)$ . Не учитывая хозяйственного воздействия на сток рек в отдельные конкретные сезоны, этот метод вместе с тем позволяет уловить общие закономерности процесса антропогенного воздействия на сток рек в годы разной водности.

Изменения стока за отдельные годы и сезоны оценивались по методике, разработанной Шикломановым [101 – 103], согласно которой

$$\Delta Y = Y_{\text{восст}} - Y_{\text{факт}}, \quad (4.3)$$

где  $\Delta Y$  – изменение стока в исследуемом створе под влиянием антропогенных факторов;  $Y_{\text{восст}}$  – сток, восстановленный по связи  $Y_0 = f(Y_n)$ , полученной для условно-естественного периода;  $Y_{\text{факт}}$  – фактический сток в исследуемом створе. И в этом случае в рассчитанные величины стока ( $Y_{\text{восст}}$ ) введены поправки, устраняющие отрицательное смещение дисперсии восстановленного ряда по сравнению с его истинным значением.

Эта методика позволяет оценить убыль стока за любой конкретный период относительно условно-естественного уровня.

В обеих методиках в качестве аргумента использован приток из области формирования стока, информативность которого на всех уровнях водохозяйственного развития достаточно высока (табл.4.1).

В вегетационный период на последнем этапе водохозяйственного строительства 81–94% информации об изменчивости стока через замыкающие створы содержит приток из зоны формирования. В невегетационный период, особенно на исследуемом этапе, информативность этого аргумента снижается.

В тех случаях, когда значения парных коэффициентов корреляции между притоком из области формирования и стоком через створы, замыкающие зону его использования, достаточно высоки ( $R > 0,7$ ), получены уравнения регрессии  $Y_0 = f(Y_n)$ . Эти уравнения использованы для оценки убыли стока под влиянием антропогенных факторов относительно условно-естественного уровня.

По этим уравнениям сток определяется с некоторой ошибкой

$$S = \sigma_y \sqrt{1 - R^2}. \quad (4.4)$$

В связи с этим вывод о хозяйственном воздействии на сток реки будет достаточно объективным лишь в случае, если  $\Delta Y$  превышает величину  $S$  (наибольшую для двух сравниваемых уровней).

Таблица 4.1

Уравнения регрессии, связывающие сток рек бассейна Аральского моря в створах, замыкающих зону его использования ( $y$ ), с притоком из зоны формирования ( $x$ )

Расчетный период	Май - октябрь				Ноябрь - апрель			
	$n$	$R_{x,y}$	$S$	$y = f(x)$	$n$	$R_{x,y}$	$S$	$y = f(x)$
	р. Кафирниган - Тартки							
1929/30 - 1949/50	17	0,95	16	$y = 1,11x_1 - 22$	15	0,91	8	$y = x_1 + 29$
1950/51 - 1976/77	27	0,97	13	$y = 1,07x_1 - 28$	26	0,95	8	$y = 1,28x_1 + 14$
	р. Сурхандарья - Мангузар							
1928/29 - 1948/49	21	0,91	13	$y = 0,97x_2 - 76$	22	0,90	6	$y = 0,89x_2 + 0,8$
1949/50 - 1963/64	15	0,86	14	$y = 0,78x_2 - 70$	15	0,89	9	$y = 0,86x_2 + 5,9$
1964/65 - 1976/77	13	0,92	15	$y = 0,94x_2 - 127$	13	0,74	24	$y = 1,22x_2 - 55,0$
	р. Амударья - Керки-условный							
1955/56 - 1966/67	12	0,92	168	$y = 1,03x_3 - 187$	12	0,80	53	$y = x_3 + 47$
1967/68 - 1976/77	9	0,96	157	$y = 1,05x_3 - 329$	9	0,77	63	$y = 0,68x_3 + 330$
	р. Амударья - Керки							
1932/33 - 1954/55	21	0,88	208	$y = 1,13x_3 - 458$	21	0,90	70	$y = 1,13x_3 - 71$
1955/56 - 1966/67	10	0,90	179	$y = 1,07x_3 - 517$	10	0,79	90	$y = 1,46x_3 - 483$
1967/68 - 1976/77	9	0,96	162	$y = 1,09x_3 - 854$	9	0,73	85	$y = 0,80x_3 - 21$
	р. Амударья - Ильчик							
1955/56 - 1966/67	12	0,85	218	$y = 0,91x_3 - 237$	12	0,85	67	$y = 1,08x_3 - 194$
1967/68 - 1976/77	9	0,94	202	$y = 1,06x_3 - 1145$	9	0,81	81	$y = 1,02x_3 - 348$

## р. Амударья - Тюпмун

1932/33 - 1954/55	II	0,61	329	$y = 0,77x_1 + 261$	9	0,79	68	$y = 0,60x_2 + 284$
1955/56 - 1966/67	II	0,85	240	$y = 1,15x_1 - 888$	10	0,88	78	$y = 1,36x_2 - 448$
1967/68 - 1976/77	9	0,93	208	$y = 1,02x_1 - 1048$	8	0,59	112	$y = 0,69x_2 - 30$

## р. Амударья - Чатлы

1932/33 - 1954/55	21	0,91	147	$y = 0,98x_1 - 808$	19	0,72	60	$y = 0,68x_2 + 75$
1955/56 - 1966/67	12	0,90	205	$y = 1,08x_1 - 1395$	12	0,82	64	$y = 0,93x_2 - 335$
1967/68 - 1976/77	9	0,90	300	$y = 1,20x_1 - 2267$	8	0,59	144	$y = 0,72x_2 - 423$

## р. Амударья - Кзылджар

1955/56 - 1966/67	10	0,88	164	$y = 0,89x_1 - 952$	8	0,36		
1967/68 - 1976/77	9	0,91	208	$y = 0,90x_1 - 1671$	9	0,51	126	$y = 0,67x_2 - 404$

Примечание.  $n$  - число членов ряда,  $R_{x,y}$  - парный коэффициент корреляции,  $S$  - ошибка уравнения регрессии,  $y$  - сток в исследуемом створе,  $x_1$  - суммарный сток Кафирнигана у Чинара и Варзоба у Даганаты,  $x_2$  - суммарные водные ресурсы р. Сурхандарья,  $x_3$  - то же в целом по бассейну Амударьи.

В том случае, когда  $\Delta y < S$ , применяемая методика не позволяет уловить антропогенные изменения стока.

В аридных областях, где орошение развито с древнейших времен, изменения стока, связанные с современными водными мелиорациями, оцениваются относительно так называемого условно-естественного периода.

В бассейнах Кафирнигана и Сурхандарьи интенсивный рост водозабора отмечен в начале 50-х, а в целом по бассейну Амударьи в середине 50-х годов. Поэтому конец условно-естественного периода приурочен в первых двух бассейнах к концу 40-х - началу 50-х годов, а в последнем - к середине 50-х годов. Начало этого периода совпадает с установлением регулярных гидрометрических работ в бассейне реки.

Период интенсивного водохозяйственного строительства разбит на два этапа (табл.4.1), отличающихся по интенсивности процессов трансформации стока в орошаемой зоне.

Оценивалось влияние водных мелиораций на изменение стока во времени и по длине реки. При этом трансформация речного стока в верхнем течении реки исследовалась в створах Керки-условный и Керки; изменения стока в среднем течении фиксируются створом Тямуки, а в нижнем - Чатлы и Кызылджар.

#### 4.1. Изменение вегетационного стока

В верхней части бассейна, замкнуемой створом Керки-условный, убыль стока имеет место лишь на втором этапе в исключительно многоводные годы (табл.4.1 и 4.2).

Во всех других случаях  $\Delta y$  меньше возможной ошибки уравнений  $y_0 = f(y_n)$  (табл.4.1). В среднем на втором этапе убыль вегетационного стока составила 2% относительно исходного уровня; невегетационный сток за тот же период увеличился на 1%.

Следовательно, изменения стока в верхней части бассейна, связанные с хозяйственной деятельностью в современных условиях, лежат в пределах ошибок гидрометрического учета стока. Можно говорить лишь о появившейся тенденции к некоторому уменьшению стока в многоводные годы и увеличению его в маловодные (табл.4.2). При этом в отдельных частях бассейна, где изъятие стока велико, изменения его могут быть значительными. Так, в бассейне р.Сурхандарьи вегетационный сток уже на первом этапе уменьшился в среднем на 29% относительно принятого исходного уровня.

В среднем и нижнем течении реки убыль стока оказалась существенной уже на первом этапе хозяйственного освоения (табл.4.2). В среднем за расчетный период сток уменьшился в створе г.Керки на  $225 \text{ м}^3/\text{с}$  (8%) и в створе Чатлы (Саманбад) на  $282 \text{ м}^3/\text{с}$  (13%). Лишь в створе км. 10-

Таблица 4.2

Изменение вегетационного стока в бассейне Амударьи  
относительно условно-естественного периода

Река, створ	Расч. тный период	Беспеченность приток, %						
		5	10	25	50	75	95	Ср.
		$\Delta y \text{ м}^3/\text{о}$						
Амударья, Кер- ки-условный	1955/56-1966/67	-154	-104	-74	-33	34	101	-10
	1967/68-1976/77	-256	-200	-160	-107	-36	39	-55
Амударья, Кер- ки	1955/56-1966/67	-307	-277	-260	-238	-199	-162	-225
	1967/68-1976/77	-629	-585	-555	-512	-450	-394	-480
Амударья, Тья- муш	1955/56-1966/67	131	95	71	65	27	-7	45
	1967/68-1976/77	-637	-583	-553	-511	-443	-371	-465
Амударья, Чатлы	1955/56-1966/67	-169	-206	-229	-259	-309	-361	-282
	1967/68-1976/77	-542	-604	-684	-730	-837	-939	-814
Кафирниган, Тартки	1967/68-1976/77	-21	-19	-17	-15	-13	-8	-15
Сурхандарья, Мангузар	1955/56-1966/67	-38	-31	-29	-25	-20	-18	-30
	1967/68-1976/77	-59	-58	-58	-55	-55	-53	-57
		$\Delta y \%$						
Амударья, Кер- ки-условный	1955/56-1966/67	-4	-3	-2	-1	1	5	0
	1967/68-1976/77	-6	-6	-5	-4	-1	2	-2
Амударья, Кер- ки	1955/56-1966/67	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
	1967/68-1976/77	-16	-16	-16	-17	-18	-19	-17
Амударья, Тья- муш	1955/56-1966/67	4	3	2	2	1	0	2
	1967/68-1976/77	-18	-18	-18	-19	-20	-22	-20
Амударья, Чатлы	1955/56-1966/67	-8	-8	-9	-11	-17	-26	-13
	1967/68-1976/77	-18	-22	-27	-32	-46	-67	-41
Кафирниган, Тартки	1967/68-1976/77	-7	-6	-6	-6	-6	-5	-6
Сурхандарья, Мангузар	1955/56-1966/67	-23	-27	-29	-32	-36	-75	-29
	1967/68-1976/77	-36	-50	-57	-70	-98	-100	-50

ядуш примененная методика не позволила оценить антропогенные изменения вегетационного стока.

Возможная ошибка уравнения регрессии условно-естественного периода, полученного с коэффициентом корреляции 0,61, существенно превышает  $\Delta y$ .

Заметим, что на этом этапе абсолютная убыль вегетационного стока в исключительно многоводные годы ( $P < 10\%$ ) уменьшалась по длине реки. Так, в год 5%-ной обеспеченности (по притоку из зоны формирования) абсолютная убыль вегетационного стока в створе кишл. Чатлы была меньше, чем в створе г. Керки.

В вегетацию средневодных и маловодных лет, а также в невегетационный период наблюдалась обратная картина, т.е. убыль стока нарастала от истока к устью. Очевидно, в паводки исключительно многоводных лет на условно-естественном уровне потери стока были связаны с разливами рек и последующим испарением в пойме. Увеличение водозабора на прилегающих участках реки привело к сокращению естественных потерь стока на участке Керки-Чатлы. Таким образом, убыль стока, связанная с ростом изъятия его из реки, в некоторой степени компенсировалась уменьшением потерь стока на испарение в русле и пойме.

Аналогичная картина наблюдалась в бассейне Сырдарьи [77].

На втором этапе (1967/68-1975/76 гг.) интенсивность использования стока увеличилась, и это привело к росту его изменения.

В среднем за период вегетационный сток уменьшился в створах Керки, Тямури и Чатлы соответственно на 480, 465 и 814 м<sup>3</sup>/с, что составило 17, 20 и 41% стока в этих створах на исходном уровне.

Абсолютная убыль вегетационного стока уменьшалась по длине реки на этом этапе лишь в исключительно многоводные годы ( $P < 5\%$ ). Во всех других случаях изменение стока  $\Delta y$  нарастало по длине реки (табл.4.2). Следовательно, на втором этапе компенсационный эффект, наблюдавшийся на предшествующем уровне, в значительной мере был утрачен.

На каждом уровне водохозяйственного строительства антропогенные изменения стока зависят от водности лет (табл.4.2). В вегетационный период различия в  $\Delta y$  для лет 5- и 95%-ной обеспеченности оказались существенными (т.е. выше ошибки уравнений  $y_0 = f(y_n)$  для большинства створов). Лишь на первом этапе интенсивного хозяйственного освоения в створах Керки и Тямури эта величина лежит в пределах возможной ошибки уравнения (табл.4.1 и 4.2).

В верхней части бассейнов абсолютная убыль стока возрастает от маловодных лет к многоводным (табл.4.2). Это связано, скорее всего, с регулирующей способностью бассейна.

В маловодные годы дренирующая способность рек увеличивается, и

это приводит к сработке запасов подземных вод, накопленных в предыдущие многоводные и средневодные годы.

В среднем течении реки (кишл.Тюямун) убыль стока практически не зависит от водности лет, так как различие в  $\Delta y$  в годы 5- и 95%-ной обеспеченности не превышает ошибки уравнения регрессии (4.1 и 4.2).

В нижнем течении реки (кишл.Чатлы) убыль стока возрастает от многоводных лет к маловодным, что связано с более интенсивным изъятием стока в последние.

Аналогичное влияние водности на убыль стока отмечалось в бассейне Сырдарьи [77] .

Изменение стока по длине Амударьи характеризует табл.4.3. В условно-естественный период вегетационный сток Амударьи в створе Керки-условный в многоводные годы превышал приток \* из области формирования и лишь в маловодные был ниже его. Очевидно, на этом уровне сток, формирующийся ниже опорных гидрометрических постов (особенно в годы повышенной водности), компенсировал водозабор из рек бассейна. По мере осуществления водохозяйственного строительства рост водозабора все меньше компенсировался притоком с неучтенной площади, на грани 60-70-х годов даже в исключительно многоводные годы сток в створе Керки-условный был меньше притока с гор.

На каждом этапе водохозяйственного строительства вегетационный сток убывал по длине реки. Естественно, что наиболее интенсивно это происходило в маловодные годы. На каждом последующем этапе истощение вегетационных водных ресурсов увеличивалось по сравнению с предыдущим (табл.4.3).

Анализ величин  $\Delta y$  , полученных по выражению (4.3) и осредненных по пятилетиям (табл.4.4), подтверждает сказанное выше.

В створе Керки-условный вегетационный сток практически не изменился, лишь в последние годы появилась тенденция к его уменьшению.

В створе г.Керки убыль стока была существенной уже во второй половине 50-х годов и увеличивалась от года к году. В створе теснины Тюямун убыль стока стала нарастать со второй половины 60-х годов, а в створе кишл.Чатлы - с 50-х.

В среднем за 1972/73-1976/77 гг. вегетационный сток Амударьи уменьшился относительно условно-естественного уровня в Керках на 520 и в Чатлах - на 1017 м<sup>3</sup>/с. Это составляет 20 и 58% стока в этих створах на принятом исходном уровне (1932/33-1954/55 гг.).

---

\* Имеется в виду поверхностный приток, учтенный гидрометрически.

Таблица 4.3

Зависимость среднесезонного стока в бассейне Амударья в створах, замыкающих области его использования, от притока из зоны формирования на разных уровнях водохозяйственного строительства, %

Этап водо- хозяй- ственно- го строи- тельства:	Обеспеченность вегетационного притока, %						Обеспеченность невегетационного притока, %					
	5	10	25	50	75	95	5	10	25	50	75	95
Амударья - Керки-условный												
I	104	102	101	99	94	88	109	108	107	105	103	102
II	100	99	98	98	95	93	107	106	106	105	104	104
III	98	97	96	95	93	90	100	101	102	106	106	106
Амударья - Керки												
II	96	94	93	91	87	81	115	110	103	94	84	80
III	88	86	84	82	78	58	85	83	81	77	74	72
Амударья - Ильчик												
II	89	87	86	84	81	76	96	94	91	87	83	80
III	78	75	73	70	64	55	78	75	70	64	57	54
Амударья - Тоямун												
I	93	91	89	86	79	71	87	88	89	90	92	92
II	97	93	91	88	80	71	102	99	94	87	80	76
III	77	75	72	69	63	55	77	74	70	65	59	57

## Амударья - Чатлы

I	79	77	75	72	67	60	79	79	77	75	73	72
II	75	71	68	64	56	45	70	67	62	56	50	47
III	65	60	55	49	37	20	47	42	34	24	14	8

## Амударья - Кзылджар

II	67	64	62	59	53	45						
III	49	45	42	38	28	16	48	43	34	22	12	6

## Кафирниган - Тартки

I	92	92	93	88	86	86	90	98	100	106	111	112
II	86	86	86	82	82	82	102	107	108	111	111	111

## Сурхандарья - Мангузар

I	68	59	56	49	41	22	94	92	91	90	89	86
II	52	43	40	34	26	6	95	95	95	95	94	93
III	44	29	24	15	1	0	82	70	54	27	4	0

Таблица 4.4

Убыль среднесезонного стока по пятилетиям) относительно периода, % Амударьи (осредненная условно-естественного

Расчетный период	Май - октябрь				Ноябрь - апрель			
	Керки-условный	Керки	Тьямуни	Чатлы	Керки-условный	Керки	Тьямуни	Чатлы
1955/56-1959/60	0,2	-8,0	4,1	-3,6	0,7	-3,3	7,9	-17,8
1960/61-1964/65	-0,8	-9,6	-0,9	-20,8	1,4	-15,0	-9,6	-26,1
1965/66-1969/70	0,3	-8,4	-8,8	-24,0	0	-15,9	-16,6	-39,8
1970/71-1974/75	-3,2	-18,3	-27,1	-44,3	1,9	-25,2	-27,1	-63,0
1972/73-1976/77	-0,5	-19,6	-31,5	-58,1	-4,9	-30,9	-28,7	-75,4

#### 4.2. Изменение невегетационного стока

На первом этапе водохозяйственного строительства (1955/56-1966/67 гг.) средняя за расчетный период убыль невегетационного стока была значимой (т.е.  $\Delta y > S$ ) в створах Керки и Чатлы (табл.4.1 и 4.5).

В створе теснина Тьямуни при неизменности стока в среднем за расчетный период наблюдалось уменьшение его в маловодные годы и увеличение в многоводные (табл.4.5).

На втором этапе водохозяйственного строительства рост водопотребления (табл.2.3) сопровождался повсеместным увеличением убыли стока (табл.4.5). Только в створе Керки-условный можно говорить лишь о тенденции к уменьшению стока в многоводные годы. В маловодные годы сток в этом створе несколько увеличился относительно исходного уровня, что связано, скорее всего, с регулирующей способностью бассейна. В маловодные годы дренирующая способность русел рек увеличивается и это приводит к сработке запасов подземных вод, накопленных в предшествующие многоводные и средневодные годы.

Аналогичное явление отмечено в верхней части бассейна Сирдарьи [77] .

В среднем и нижнем течении Амударьи в результате увеличения влагозарядковых и промывных поливов убыль стока нарастает от многоводных лет к маловодным (табл.4.5).

Изменение стока по длине реки в невегетационный период аналогично вегетационному (табл.4.3).

Таблица 4.5

Изменение невегетационного стока в бассейне Амударьи  
относительно условно-естественного периода

Река, створ	Расчетный период	Обеспеченность притока, %						Средняя
		5	10	25	50	75	95	
Амударья, Керки-условный	1955/56-1966/67	29 м <sup>3</sup> /с -26	-19	-9	3	15	18	4
	1967/68-1976/77	-110	-83	-50	12	22	35	11
Амударья, Керки	1955/56-1966/67	71	23	-37	-104	-160	-175	-102
	1967/68-1976/77	-292	-282	-268	-255	-240	-235	-251
Амударья, Тюя-мун	1955/56-1966/67	185	129	54	-32	-98	-130	-10
	1967/68-1976/77	-122	-155	-193	-236	-273	-285	-240
Амударья, Чатлы	1955/56-1966/67	116	-132	-151	-169	-186	-194	-169
	1967/68-1976/77	-375	-405	-441	-484	-513	-526	-484
Кафирниган, Тартки	1967/68-1976/77	16	12	9	5	2	-1	6
Сурхандарья, Мангузар	1955/56-1966/67	1	3	3	3	3	3	2
	1967/68-1976/77	-11	-20	-28	-38	-44		-35
Амударья, Керки-условный	1955/56-1966/67	2 % -2	-2	-1	0	2	2	0
	1967/68-1976/77	-8	-7	-5	1	3	4	1
Амударья, Керки	1955/56-1966/67	5	2	-3	-11	-19	-22	-11
	1967/68-1976/77	-22	-23	-24	-26	-28	-29	-26
Амударья, Тюя-мун	1955/56-1966/67	18	13	6	-4	-13	-18	-1
	1967/68-1976/77	-12	-16	-21	-28	-36	-39	-29
Амударья, Чатлы	1955/56-1966/67	-12	-15	-19	-25	-30	-34	-25
	1967/68-1976/77	-39	-46	-56	-70	-84	-92	-70
Кафирниган, Тартки	1967/68-1976/77	11	9	8	5	2	-1	6
Сурхандарья, Мангузар	1955/56-1966/67	1	4	4	5	6	8	6
	1967/68-1976/77	-11	-24	-40	-68	-94		-57

В створе Керки-условный он превышает приток из области формирования на всех исследуемых уровнях его использования. При этом в условно-естественный период максимальное превышение наблюдается в многоводные годы и минимальное - в маловодные (табл.4.3).

Вероятно, это превышение связано как с выклиниванием возвратных вод, так и с формированием стока ниже опорных постов в весенние месяцы.

Естественно, что в многоводные годы этот сток существенно выше, чем в маловодные. На втором этапе интенсивного водохозяйственного строительства картина несколько меняется. Превышение стока в замыкающем створе над притоком из области формирования снижается в многоводные годы и повышается в маловодные. В маловодные годы при интенсивном хозяйственном использовании стока дренирующая способность русел увеличивается, и это усиливает приток возвратных вод.

Аналогичное явление наблюдается в бассейне р. Кафирниган в створе кншл. Тартки, расположенном в среднем течении реки. Поскольку в этом бассейне приrost стока в орошаемой зоне увеличивается от многоводных лет к маловодным, можно полагать, что он связан не столько с природными, сколько с антропогенными факторами. Очевидно, в этом бассейне под влиянием развития орошения происходит перераспределение стока во времени и по длине реки.

Сток, забранный в верхнем течении реки в вегетационный период, возвращается в среднем течении в невегетационный.

В среднем и нижнем течении Амударьи, где возвратные воды почти не попадают в русло реки, невегетационный сток уменьшается по длине реки; убыль стока нарастает от этапа к этапу и от многоводных лет к маловодным (табл. 4.3).

В середине 70-х годов невегетационный сток Амударьи уменьшился относительно "условно-естественного" уровня в створах Керки-условный, Керки и Чатлы на 5, 31 и 75% соответственно (табл. 4.4).

#### 4.3. Изменение годового стока

Изменение годового стока в зоне его использования определяется теми же процессами, что и среднесезонного.

Поэтому естественно, что среднегодовой сток Амударьи в створе Керки-условный за исследуемые годы практически не изменился относительно условно-естественного периода (табл. 4.6). Наметилась лишь тенденция (как и для среднесезонного стока) к уменьшению его в многоводные и некоторому возрастанию в маловодные годы. В створе г. Керки изменения стока оказались более существенными. На первом этапе интенсивного водохозяйственного строительства годовой сток в этом створе уменьшился на  $151 \text{ м}^3/\text{с}$ , а на втором — уже на  $374 \text{ м}^3/\text{с}$ , что составляет 8 и 19% от стока на исходном уровне. Убыль годового стока в створе Керки, как и вегетационного, возрастает от маловодных лет к многоводным.

В створе кншл. Тямуян изменение стока на первом этапе меньше ошибки уравнения  $y_0 = f(y_n)$ . Можно говорить лишь о тенденции к увеличению стока в многоводные годы. Это явление может быть связано

с действием компенсационных факторов, о которых говорилось выше. На втором этапе сток в этом створе существенно уменьшился (табл.4.6).

В створе кшл.Чатлы уже на первом этапе сток в среднем уменьшился относительно условно-естественного уровня на  $203 \text{ м}^3/\text{с}$  (15%).

Таблица 4.6

Изменение среднегодового стока в бассейне Амударья относительно условно-естественного периода (1932/33-1954/55)

Река, створ	Обеспеченность при притоке с гор, %						
	5	10	25	50	75	95	Средняя
1955/56 - 1966/67							
Амударья, Керки-условный	<u>-109</u> -4,3	<u>-85</u> -3,5	<u>-54</u> -2,4	<u>-11</u> -0,6	<u>45</u> 2,7	<u>82</u> 5,5	<u>0</u> 0
Амударья, Керки	<u>-162</u> -7,2	<u>-175</u> -7,3	<u>-165</u> -7,4	<u>-151</u> -7,5	<u>-134</u> -7,9	<u>-123</u> -8,2	<u>-151</u> -7,8
Амударья, Тямуун	<u>155</u> 7,0	<u>133</u> 6,3	<u>106</u> 5,4	<u>67</u> 3,9	<u>17</u> 1,2	<u>-15</u> -1,2	<u>51</u> 3,1
Амударья, Чатлы	<u>-153</u> -8,1	<u>-162</u> -9,1	<u>-174</u> -10,5	<u>-193</u> -13,3	<u>-220</u> -18,4	<u>-242</u> -23,3	<u>-203</u> -14,7
1967/68 - 1976/77							
Амударья, Керки-условный	<u>-127</u> -5,0	<u>-109</u> -4,5	<u>-78</u> -3,5	<u>-47</u> -2,3	<u>-3</u> -0,2	<u>30</u> 2,0	<u>-36</u> -1,8
Амударья, Керки	<u>-439</u> -17,3	<u>-428</u> -17,7	<u>-411</u> -18,3	<u>-385</u> -19,2	<u>-357</u> -21,2	<u>-339</u> -22,8	<u>-374</u> -19,2
Амударья, Тямуун	<u>-343</u> -15,5	<u>-343</u> -16,4	<u>-343</u> -17,6	<u>-343</u> -19,8	<u>-343</u> -23,8	<u>-343</u> -26,9	<u>-343</u> -20,0
Амударья, Чатлы	<u>-406</u> -21,4	<u>-450</u> -25,2	<u>-510</u> -30,9	<u>-599</u> -41,4	<u>-718</u> -60,0	<u>-790</u> -76,0	<u>-609</u> -43,4

Примечание. В числителе - изменение стока в  $\text{м}^3/\text{с}$ , в знаменателе - %.

На втором этапе убыль стока была еще более существенной - в среднем сток уменьшился на  $609 \text{ м}^3/\text{с}$  (47%) относительно среднего за 1932/33-1954/55 гг. В этом створе, в отличие от предыдущих, убыль стока нарастала от многоводных лет к маловодным.

#### 4.4. Расчет среднесезонного изменения стока

В условиях развитого орошаемого земледелия основным фактором, влияющим на изменение стока, является водозабор из рек. В связи с этим анализировались зависимости  $\Delta y = f(\alpha_{uz})$ , где  $\Delta y$  – убыль стока, финансируемая в створе, замыкающем зону его использования;  $\alpha_{uz}$  – коэффициент изъятия стока выше этого створа. С тем чтобы свести до минимума случайные погрешности расчета  $\Delta y$  по выражению (4.3), а также влияние других, второстепенных, факторов и уловить основные закономерности изменения  $\Delta y$ , исследовались величины  $\Delta y$  и  $\alpha_{uz}$ , осредненные по скользящим трехлетям (рис.4.1 и 4.2).

Как и предполагалось, связи  $\Delta y = f(\alpha_{uz})$  характеризуются высокими значениями коэффициентов парной корреляции (табл.4.7). Лишь в створе Керки-условный, где коэффициент изъятия невелик, связь между последним и убылью стока практически отсутствует. Высокой информативностью характеризуется коэффициент  $\alpha_{uz}$  и в бассейне Сырдарьи [80].

Из табл.4.7 следует, что при  $\alpha_{uz} > 0,2$  (т.е. из реки изымается более 20% стока) использованный предиктор, как правило, содержит 82–98% информации об изменчивости  $\Delta y$  в вегетационный период и 77–94% в не-вегетационный. Лишь на р. Сурхандарье (Мангузар) информативность этого аргумента несколько снижается, очевидно, из-за недостаточно полного учета регулирования Южно-Сурханским водохранилищем.

В створах, выше которых изъятие стока не превышает 20%, убыль стока, как правило, мала и слабо коррелирует с  $\alpha_{uz}$  (табл.4.7). Для большинства полученных уравнений  $\Delta y = f(\alpha_{uz}) R_{\Delta y, \alpha} > 0,87$ . Согласно принятой в службе гидрологических прогнозов оценке надежности уравнений регрессии они являются хорошими. Это позволяет рекомендовать полученные уравнения для прогноза изменения среднесезонной водности рек в зоне использования стока в современных условиях и ближайшей перспективе, когда не произойдет коренных изменений в водном режиме орошаемой территории и ее взаимосвязи с рекой.

Уравнения  $\Delta y = f(\alpha_{uz})$  позволяют установить общие закономерности и особенности антропогенного воздействия на сток рек в различных природно-хозяйственных условиях. Для этого достаточно сопоставить изменение стока ( $\Delta y$ ) в разных створах при одинаковой доле его изъятия ( $\alpha_{uz}$ ). Анализ показывает (табл.4.8), что убыль стока в бассейнах Сырдарьи и Амударьи возрастает по мере увеличения коэффициента изъятия стока. Однако при равном изъятии стока уменьшение его во втором бассейне происходит интенсивнее, чем в первом.

Так, при изъятии 70% вегетационного стока в бассейне Амударьи (кишл. Чатлы) он уменьшается на 45% относительно принятого условного уровня, а в бассейне Сырдарьи (г.Казалинск) – только на 4%.

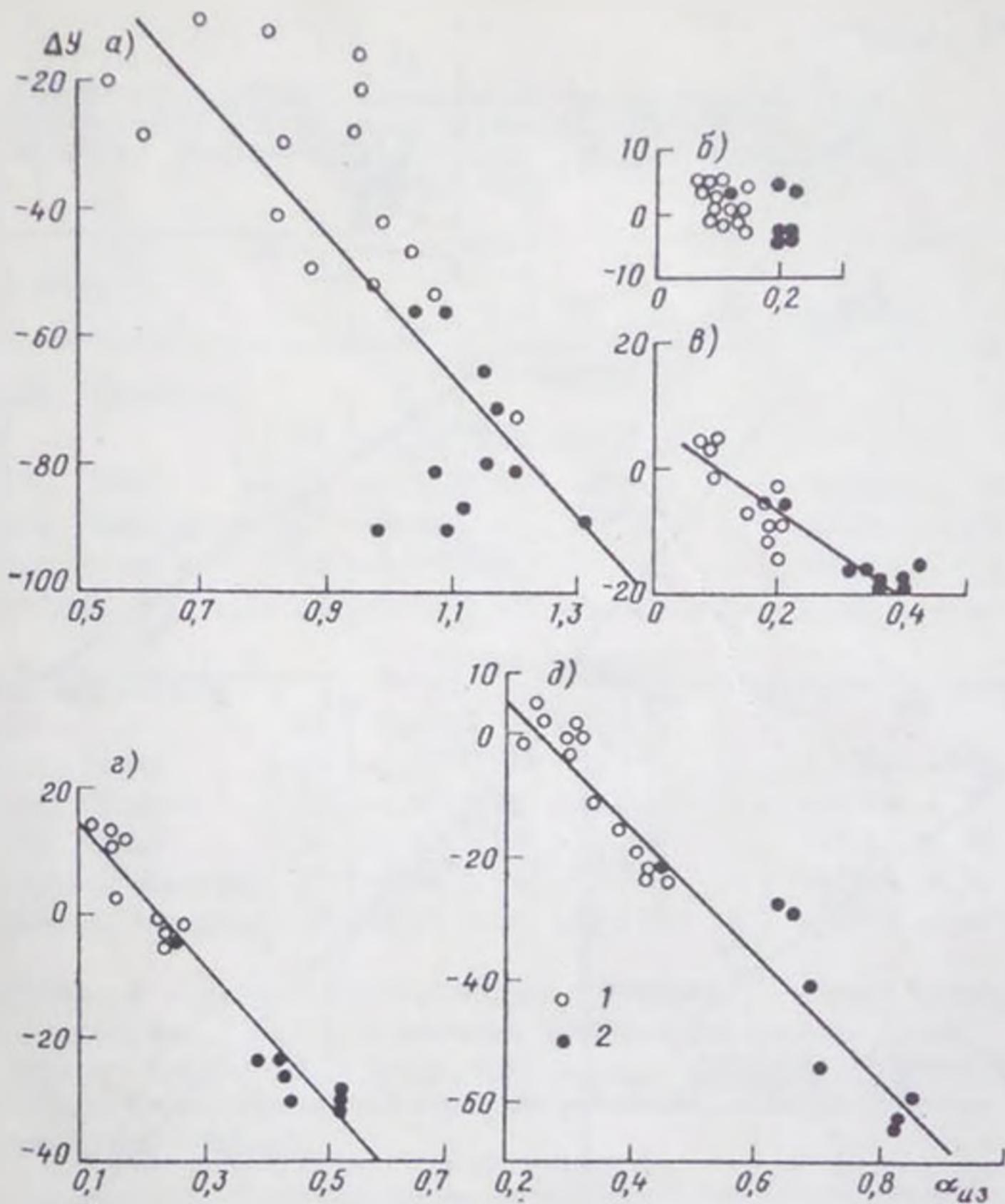


Рис. 4.1. Зависимость средней за вегетацию убыли стока в бассейне Амударьи (средней за трехлетия) от коэффициента изъятия стока в створах:

а - Сурхандарья, Мангузар; б - Амударья, Керки-условный; в - Амударья, Керки; г - Амударья, Тьямуон; д - Амударья, Чатлы; 1 - 1965/66, 2 - 1974/75 гг.

В невегетационный период различия еще более существенны. При таком же изъятии его ( $\alpha_{из} = 0,7$ ) сток в створе г.Керки уменьшается на 44%, а в створе Кокбулак на Сырдарье увеличивается на 8%.

Следовательно, в бассейне Амударьи существенно меньшая часть забранного стока возвращается в русло реки, чем в бассейне Сырдарья.

Действительно, в бассейне Амударьи широко развиты переброски стока. Так, по Каракумскому каналу амударьинская вода подается в мелиоратив-

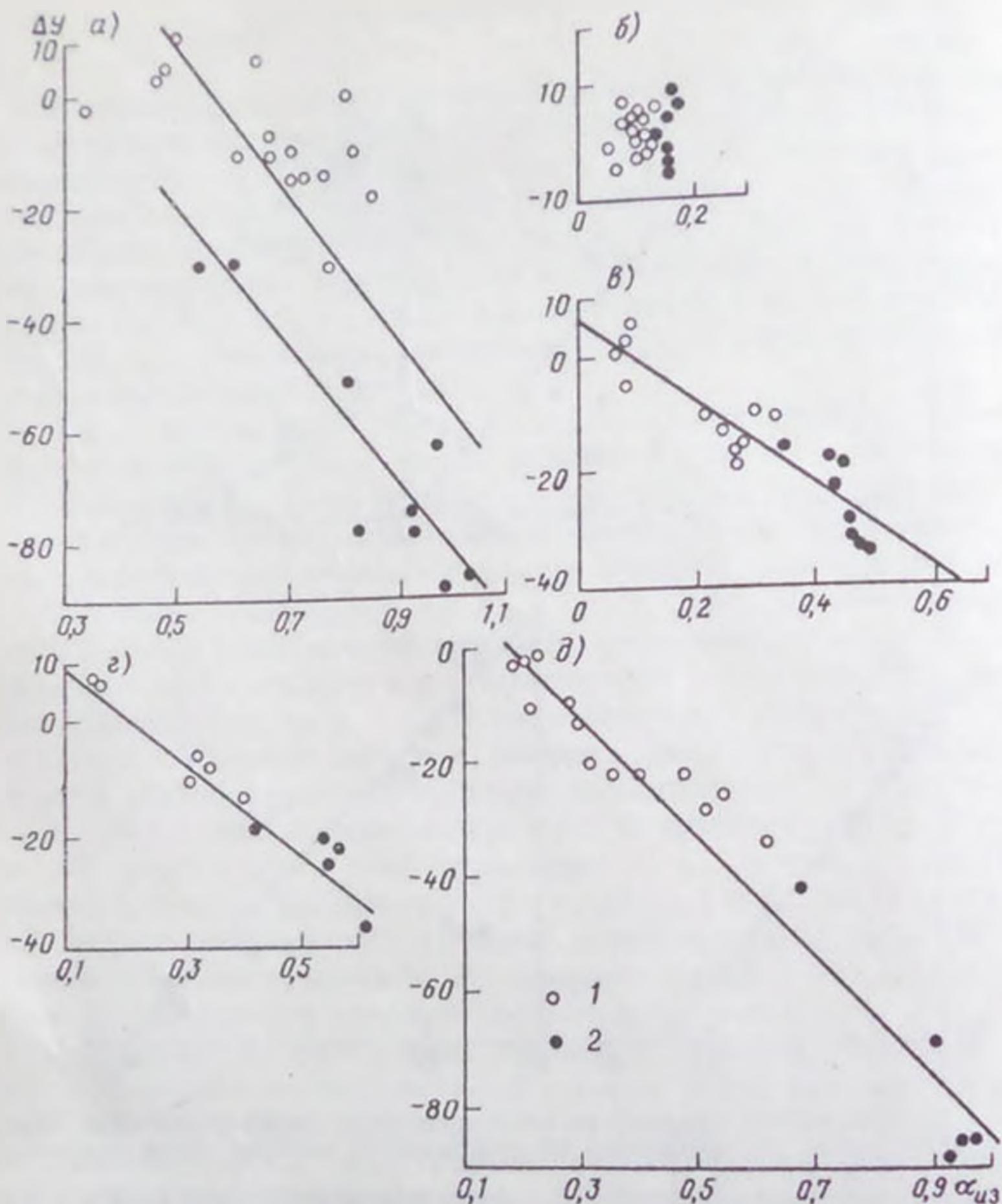


Рис. 4.2. Зависимость средней за невегетационный период убыли стока в бассейне Амударьи (средней за трехлетия) от коэффициента изъятия стока в створах:

Усл. обозначения см. рис. 4.1

ные бассейны рек Теджен, Мургаб и Атрек, по Амубухарскому и Каршинскому в бассейны Зеравшана и Кашкадарьи. Возвратный сток из этих бассейнов практически не попадает в русло Амударьи. Лишь в последние годы, в связи со строительством Главного Бухарского коллектора, часть возвратных вод из бассейна Зеравшана сбрасывается в русло Амударьи.

Таблица 4.7

Уравнения регрессии, связывающие среднесезонную убыль стока в бассейне Амударьи в период 1950–1978 гг. относительно условно-естественного уровня с коэффициентом изъятия стока

Река, створ	$n$	$R$	$\bar{\alpha}$	$\overline{\Delta y}$	$\sigma_{\Delta y}$	Уравнение
Май – октябрь						
Амударья, Керки-условный	23	-0,42	0,14	0,3	3	-
Амударья, Керки	19	-0,91	0,22	-9	8	$\Delta y = -64\alpha + 6$
Амударья, Тямуун	17	-0,98	0,27	-9	17	$\Delta y = -116\alpha + 27$
Амударья, Чатлы	23	-0,97	0,47	-22	22	$\Delta y = -102\alpha + 26$
Сурхандарья, Мангузар	26	-0,78	0,99	-53	26	$\Delta y = -111\alpha + 56$
Ноябрь – апрель						
Амударья, Керки-условный	22	0,09	0,12	0,5	4	-
Амударья, Керки	18	-0,92	0,28	-16	12	$\Delta y = -73\alpha + 7$
Амударья, Тямуун	11	-0,97	0,34	-14	13	$\Delta y = -79\alpha + 17$
Амударья, Чатлы	20	-0,97	0,57	-32	28	$\Delta y = -104\alpha + 20$
Сурхандарья, Мангузар	25	-0,66	0,74	-22	36	$\Delta y = -138\alpha + 79$
Сурхандарья, Мангузар	10	-0,87	0,84	-62	23	$\Delta y = -128\alpha + 46^*$

Примечание.  $n$  – число случаев, вошедших в выборку,  $R$  – парный коэффициент корреляции,  $\bar{\alpha}$  – среднее значение коэффициента изъятия стока,  $\overline{\Delta y}$  – среднее значение убыли стока,  $\sigma_{\Delta y}$  – среднее квадратическое отклонение убыли стока. Звездочкой отмечено уравнение, которое получено за период 1969–1978 гг.

Водные ресурсы Сырдарьи расходуются в пределах собственного бассейна, и орошение здесь сопровождается формированием возвратных вод, сбрасываемых в русло реки [77]. Убыль вегетационного стока в бассейне Сырдарьи уменьшается по мере удаления от зоны формирования. Так, при одинаковом коэффициенте изъятия стока в створе г.Казалинск она существенно ниже, чем в створе Кокбулак и тем более Каль (табл.4.8).

В бассейне Амударьи это явление наблюдается лишь на ранних стадиях развития орошения. При  $\alpha_{\text{в}} > 0,5$   $\Delta y$  возрастает по длине реки до створа Тямуун и затем несколько уменьшается в нижнем течении (створ Чатлы).

Эта особенность антропогенного воздействия на сток рек на разных участках связана с влиянием компенсирующих факторов [80,83], роль

Таблица 4.8

Убыль стока в бассейнах рек Амударья и Сырдарья в период 1950–1978 гг. относительно условно-естественного периода, %

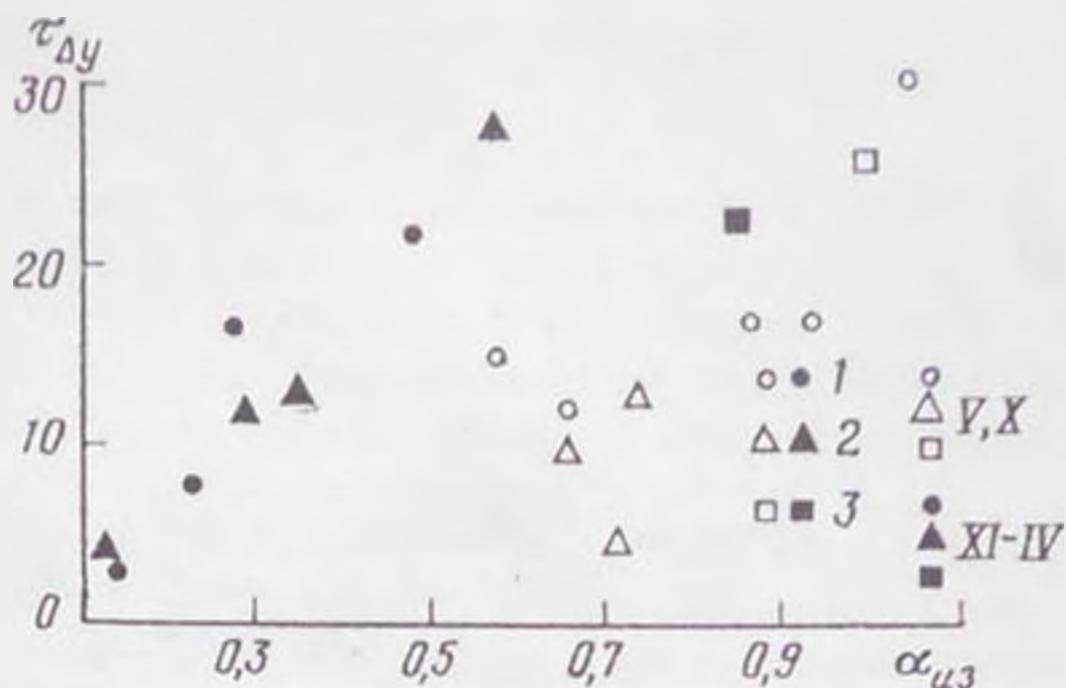
Река, створ	Коэффициент изъятия стока				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	Невегетационный сток				
Амударья, Керки	-25	-32	-39	-45	-52
Амударья, Тяньцун	-31	-43	-54	-66	-77
Амударья, Чатлы	-25	-35	-45	-56	-66
Сурхандарья, Мангузар		-10	-22	-33	-44
Сырдарья, Каль	-16	-26	-35	-45	-54
Сырдарья, Бекабад	-11	-20	-28	-37	-45
Сырдарья, Кокбулак	-8	-16	-24	-32	-40
Сырдарья, Тименьарык		-17	-24	-31	-37
Сырдарья, Казалинск			-4	-16	-28
	Невегетационный сток				
Амударья, Керки	-29	-37	-44	-51	-59
Амударья, Тяньцун	-23	-30	-38	-46	-54
Амударья, Чатлы	-30	-42	-53	-63	-74
Сурхандарья, Мангузар	-18	-31	-44	-56	-69 *
Сырдарья, Каль	-2	-6	-10	-15	-19
Сырдарья, Кокбулак	16	12	8	4	1

\* В среднем за 1965–1978 гг.

которых повышается по мере удаления от зоны формирования. Из табл.4.8 следует, что воздействие компенсирующих факторов (и прежде всего возвратных вод) в бассейне Сырдарьи существенно выше, чем в бассейне Амударьи. Анализ изменения невегетационного стока показывает, что в бассейнах рек происходит перераспределение стока во времени и по длине реки. Этот процесс наиболее интенсивно происходит в бассейне Сырдарьи, в среднем течении которой невегетационный сток увеличился относительно исходного уровня (табл.4.8). По мере увеличения изъятия стока величина  $\Delta y$  уменьшается. В бассейне Амударьи наблюдается уменьшение невегетационного стока по длине реки и по мере роста  $\Delta y$ .

О существенно большем влиянии регулирующих факторов на антропогенные изменения стока в бассейне Сырдарьи по сравнению с Амударьей говорят и значения  $\sigma_{\Delta y}$ . Во втором бассейне изменчивость  $\Delta y$  из года в год выше, чем в первом (рис.4.3).

Рис. 4.3. Зависимость изменчивости убыли стока от среднего значения его изъятия в бассейнах рек Сырдарья (1), Амударья (2) и Сурхандарья (3)



### Выводы

1. Примененная методика оценки влияния хозяйственной деятельности на сток Амударья не выявила существенных его изменений в створе Керки-условный, замыкающем верхнюю часть бассейна. Вместе с тем она показала, что в 60-70-е годы XX столетия появилась тенденция к уменьшению его в многоводные годы и повышению в маловодные.

2. Водные мелиорации, осуществленные в среднем и нижнем течении реки, привели к уменьшению среднесезонного стока во времени и по длине реки. Этот процесс наблюдался еще на первом этапе водохозяйственного строительства и усилился на втором.

3. Одновременно с убылью стока происходит процесс перераспределения его во времени и по длине реки. Сток, забраный в вегетационный период, возвращается ниже по течению в невегетационный. В нижнем течении реки, где поступление возвратных вод в русло мало, сток уменьшается как в вегетационный, так и в невегетационный периоды.

4. Абсолютная убыль стока возрастает от маловодных лет к многоводным. Это связано с регулирующей способностью бассейна. В маловодные годы увеличивается дренирующая способность русел, что приводит к работе запасов подземных вод, накопленных в предшествующие многоводные и средневодные годы. Лишь в нижнем течении наблюдается обратная картина.

5. В каждом конкретном створе и сезоне убыль стока определяется степенью его взятия. С увеличением изъятия стока во времени и по длине реки возрастает его убыль ( $\Delta y$ ) и изменчивость ее ( $\sigma_{\Delta y}$ ) из года в год.

6. Вследствие меньшего участия в стоке Амударья возвратных вод с орошаемых территорий истощение ее стока происходит более интенсивно, чем в бассейне Сырдарья.

## Глава 5. ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АМУДАРЬИ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Гидрохимический режим речного стока, особенно в районах его интенсивного использования, — одна из важнейших характеристик, определяющих возможности развития хозяйства.

На горных реках, даже в естественных условиях, он характеризуется большим разнообразием в зависимости от режима жидкого стока и большого числа других факторов [14–16].

Чем больше водосборная площадь бассейна и чем шире диапазон высот в нем, тем разнообразнее гидрохимический режим реки, так как его формирование обуславливают части бассейна, разнородные по химическому составу слагающих пород.

В связи с этим гидрохимический режим Амударьи, сток которой формируется на огромной, очень разнородной в природном отношении территории, характеризуется большой изменчивостью во времени и по территории.

Гидрохимический режим Амударьи исследовался в работах [2–4, 46, 50, 64, 86]. Наиболее полная его характеристика дана О.А.Алекиным [2, 4], который установил связь общей минерализации и ионного состава с соотношением источников питания и влиянием разновременности поступления воды из разных частей бассейна; в этих работах приведены первые сведения об ионном стоке реки и воздействия на него хозяйственной деятельности.

В работе К.Г.Лазарева [50] также подробно исследован гидрохимический режим Амударьи на основе обобщения стационарных и экспедиционных наблюдений.

Работы Алекина и Лазарева были опубликованы в 50-е годы, когда хозяйственная деятельность практически не сказывалась на стоке Амударьи.

В 60-е и 70-е годы использование водных ресурсов в бассейне реки резко увеличилось. В связи с этим полезно вновь вернуться к вопросу изменения минерализации воды Амударьи под влиянием антропогенных факторов.

## Б.1. Гидрохимическая изученность бассейна и методика оценки средней за расчетный период минерализации

Изучение гидрохимического режима Амударья начато в 1910 г. В 1910–1917 гг. наблюдения велись в трех пунктах (Керки, Чарджоу и Нукус). Ежедневно пробы воды, взятые в равных объемах, сливались в одну посуду и полученная таким способом средняя месячная проба анализировалась. Затем наблюдения не проводились вплоть до конца 30-х годов и в последующие годы велись весьма нерегулярно (табл. 5.1).

Так, очень слабо освещен измерениями период 1941–1945 гг.; во второй половине 40-х годов они не проводились и были возобновлены лишь в начале 50-х. В последние годы (1965–1975 гг.) число створов, ведущих наблюдения за химическим составом воды, резко увеличилось. Однако количество проб в каждом створе не превышает в лучшем случае 8–9 в год.

Такая скудная информация при большой сложности процесса формирования гидрохимического режима реки и его трансформации под влиянием хозяйственной деятельности чрезвычайно затрудняет решение поставленной задачи.

В существующей системе наблюдений сведения о химизме речных вод дискретны во времени. При этом время отбора проб в разных створах не совпадает, что приводит к несопоставимости данных.

Между тем для решения поставленной задачи – оценке изменения общей минерализации Амударьи по длине и во времени под влиянием комплекса водохозяйственных мероприятий – необходимо располагать сравнимыми данными. В связи с этим возникает задача оценки средних за принятый интервал времени (например, месяц) величин минерализации по имеющимся единичным измерениям.

Для этой цели используются, как правило, графические связи между минерализацией и временем либо между минерализацией и расходами воды [1]. Первый способ, заключающийся в арифметическом осреднении результатов анализов проб, взятых за исследуемый период, получил наибольшее распространение [11–13, 41, 43, 46, 50]. Он может дать хорошие результаты либо при сравнительно слабой изменчивости минерализации воды, либо при частом отборе проб, допускающем линейную интерполяцию.

Согласно исследованиям гидрохимического института [89] для характеристики внутригодового распределения минерализации на реках Тяньцзиньского гидрокарбонатного типа с точностью  $\pm 20\%$  следует отобрать не менее 20 проб (по две в периоды зимней и осенней межени и 24 пробы в период весенне-летнего половодья).

В зоне использования стока, где формирование гидрохимического режима существенно осложняется воздействием антропогенных факторов, число проб должно быть, вероятно, еще больше. При принятой системе наб-

ладений это требование не выполняется. Ни в одном из створов требуемое количество проб не отбирается, а в отдельные годы наблюдения вообще отсутствуют (табл. 5.1). Малое количество проб, взятых не во все фазы водного режима реки, не может характеризовать гидрохимический режим реки, формирующийся под влиянием комплекса природных и антропогенных факторов. Тем более эти данные не могут быть использованы для подсчета средних за расчетный интервал времени значений минерализации методом линейной интерполяции.

Исследованиями О.А.Алекина [3], П.П.Воронкова [18], М.А.Буркальцевой [14-16], В.В.Фадеева, М.Н.Тарасова [90] и других показана тесная зависимость химического режима реки от ее водности и фаз режима.

К аналогичным выводам пришли мы при исследовании гидрохимического режима Сырдарьи [23, 73, 77]. В связи с этим для оценки средней за расчетный период минерализации представляется более целесообразным использовать кривые  $\Sigma u = f(Q)$ , позволяющие определить наиболее вероятные значения минерализации в зависимости от водности реки и фаз режима.

При этом для статистического обоснования полученных зависимостей возникает необходимость объединения в один ряд данных нескольких лет наблюдений [23, 46, 73, 77, 81].

В работах [23, 46] кривые  $\Sigma u = f(Q)$  получены по осредненным в интервалах водности значениям минерализации. Такой прием сглаживает отдельные, наиболее существенные отклонения величин минерализации от кривой  $\Sigma u = f(Q)$  и позволяет установить общие закономерности связи. Это удобно для оценки тренда в многолетнем разрезе, но при этом важные черты гидрохимического режима реки теряются.

В связи с этим предпочтительно использовать в расчетах кривые  $\Sigma u = f(Q)$ , полученные по фактическим измерениям без осреднения значений  $\Sigma u$  и  $Q$  в интервалах водности. Для описания гидрохимического режима в области формирования стока, где хозяйственная деятельность в современных условиях и ближайшей перспективе развита слабо, представляется возможным объединение данных всего периода наблюдений (табл. 5.1) в один статистический ряд. Аналогичный прием был использован ранее при исследовании гидрохимического режима Сырдарьи [77]. Поскольку гидрохимический режим рек существенно зависит от водности года и фаз режима реки [3, 14-16, 77], зависимости  $\Sigma u = f(Q)$  строились отдельно для многоводных, средневодных и маловодных лет, выделенных по принципу обеспеченности среднегодового расхода. В каждой из групп водности лет выделялись фазы подъема половодья (с апреля по июнь, а в многоводные годы по июль), спада (июль-сентябрь) и межени (октябрь-март).

Во всех исследуемых створах, расположенных в зоне формирования

Таблица 5.1

Количество проб на химический анализ воды,  
взятых из рек бассейна Амударьи

Год	Вахш		Кафирниган		Сурхандарья		Пяндж Нижний Пяндж
	Туткаул	Чорсада	с. Чинар	Тартки	колхоз им. Аданова	Мангузар	
1938	I					II	
1939	I			I		3	
1940						2	
1941						5	
1942	6					4	
1943	2		3			8	
1944	3		3			4	
1945	3					6	
1950	10		II	2	4	8	
1951	4		I	5	3	9	
1952	8		I	5	5	10	
1953	8		2	5	5	8	
1954	6		I	5	6	II	
1955	6		I	6	6	8	
1956	7		7	9	5	7	
1957	7		7	8	7	2	
1958	6		8	6	7		
1959	5		7	8	5		
1960	6		6	3	6		
1961	6		6	5	6		
1962	5		8	4	7		
1963	7	3	7	6	8		
1964	6	5	7	5	6		
1965		6	6	5	6		
1966	5	2	7	6	II	8	
1967	2	7	10	7	6	5	
1968			7	6	6	6	
1969		3	9	I	6	7	
1970		7	9	8	6	8	6
1971		7	9	7	5	3	7
1972		6	8	4	5	5	8
1973		2	9	5		8	8
1974		7	9	9		9	
1975		6	9	II	9	8	9

Год	Амударья						
	Верхне-амударь- нская	Керки	Ильчик	Тюямун	Чатлы	Саманбай	Кзылджар
1938		12			11		
1939							
1940					4		
1941			4		4		
1942					4		
1943							
1944					14		
1945					16		
1950					13		
1951		11			28		
1952		24			29		
1953		22		2	30		
1954		20		2	28		
1955		19	27		15		4
1956		17	22	8	8		4
1957		4	9	7	8		1
1958		8	11	5	8		5
1959		10	9	3	8		4
1960		9	10	3	8		6
1961		10	9	6	9		5
1962		5	9		10		1
1963		4	6		9		5
1964		5	6		10		2
1965		8	10		9		
1966		8	16		12		4
1967		4	13		12		4
1968		6	12		10		6
1969		7	2		8		6
1970	4	9	6		7		4
1971	5	8	8		6		6
1972	6	15	7		6		1
1973	4	7	8		9		6
1974	4	7	8	3			8
1975	7	7	10	4		5	
				10		9	

стока, в каждой группе водности лет наблюдается две ветви кривой  $\Sigma u = f(Q)$  — одна для подъема половодья, а другая для спада и межени (например, рис. 5.1).

В отдельные периоды связь минерализации с расходами воды нарушается. Так, в межень маловодных лет на Кафирнигане (Чинар) и Вахше (Туткаул) эта связь отсутствует. В этих случаях за среднемесячное значение минерализации принималось среднее арифметическое из измеренных значений за весь период маловодных лет. Среднемеженная минерализация маловодных лет в Чинаре оказалась равной 172 мг/л, а в Туткауле — 725 мг/л. На р. Сурхандарье (колхоз им. Уданова) минерализация практически не меняется в многоводные годы на подъеме половодья. В этом случае она также принята равной среднему из всех измеренных значений (237 мг/л).

На р. Пяндж, у кишл. Нижний Пяндж, ввиду малочисленности исходных данных зависимость  $\Sigma u = f(Q)$  получена без учета водности, а лишь с дифференциацией по фазам режима.

Во всех других случаях среднемесячные значения минерализации в зоне формирования стока получены с кривых  $\Sigma u = f(Q)$  с учетом водности лет и фаз режима.

В области использования стока совместное воздействие природных и антропогенных факторов на минерализацию речной воды приводят к особой сложности гидрохимического процесса.

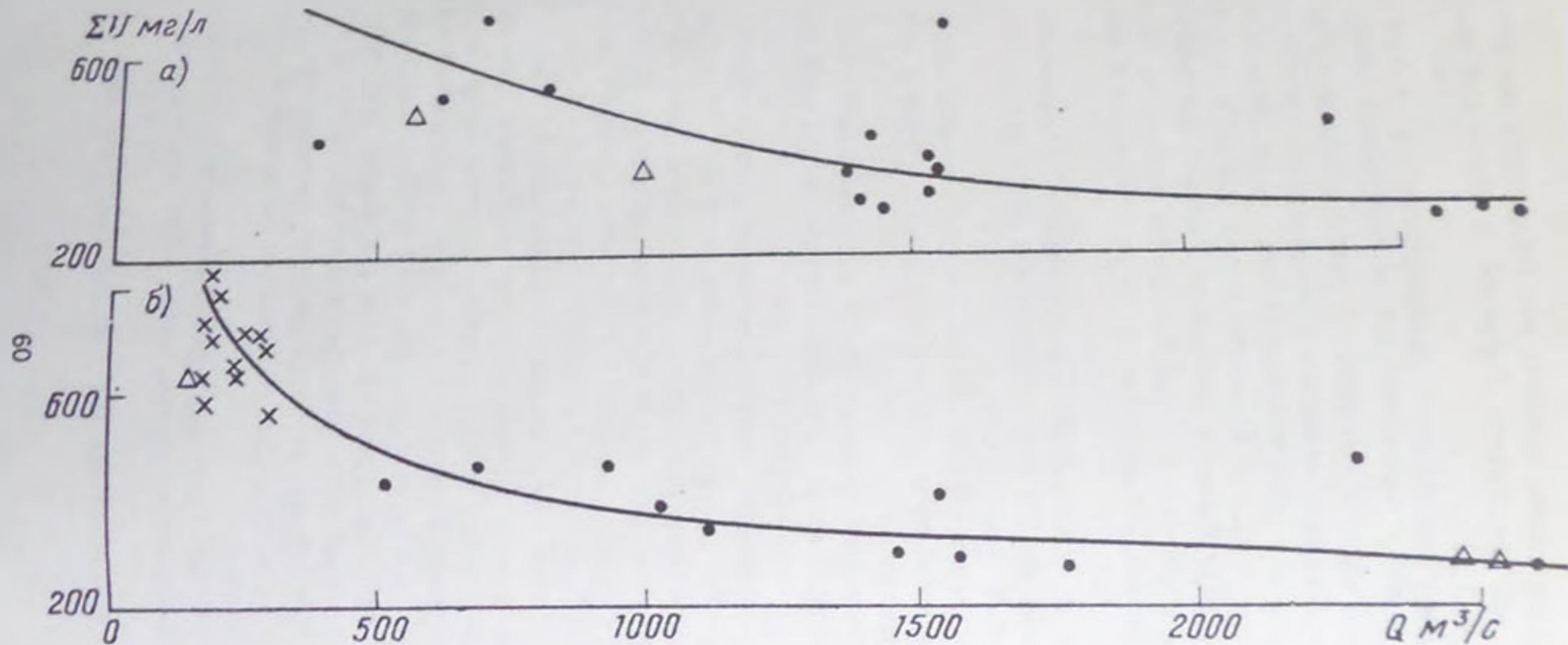
Наличие временного тренда в значениях минерализации, возрастающего по мере удаления от области формирования стока [77], исключает возможность объединения результатов наблюдений за весь имеющийся период в единый временной ряд. В связи с этим аналогично предыдущим работам по бассейну Сырдарьи [77] весь временной ряд был разбит на периоды, внутри которых уровень водохозяйственного строительства менялся несущественно. Поскольку в каждую выборку вошло сравнительно небольшое число единичных проб, трудно выявить (аналогично зоне формирования) влияние водности лет на величину минерализации. Однако фазовые различия сохраняются и в области использования стока. Минерализация воды Амударьи в пределах всей зоны использования стока на подъеме половодья выше, чем на спаде и в межень (например, рис. 5.2).

В створе у кишл. Чатлы зависимость  $\Sigma u = f(Q)$  нарушена в отдельные периоды; в этих случаях за среднемесячное значение минерализации принято среднее арифметическое из имеющихся измерений за каждую фазу расчетного периода.

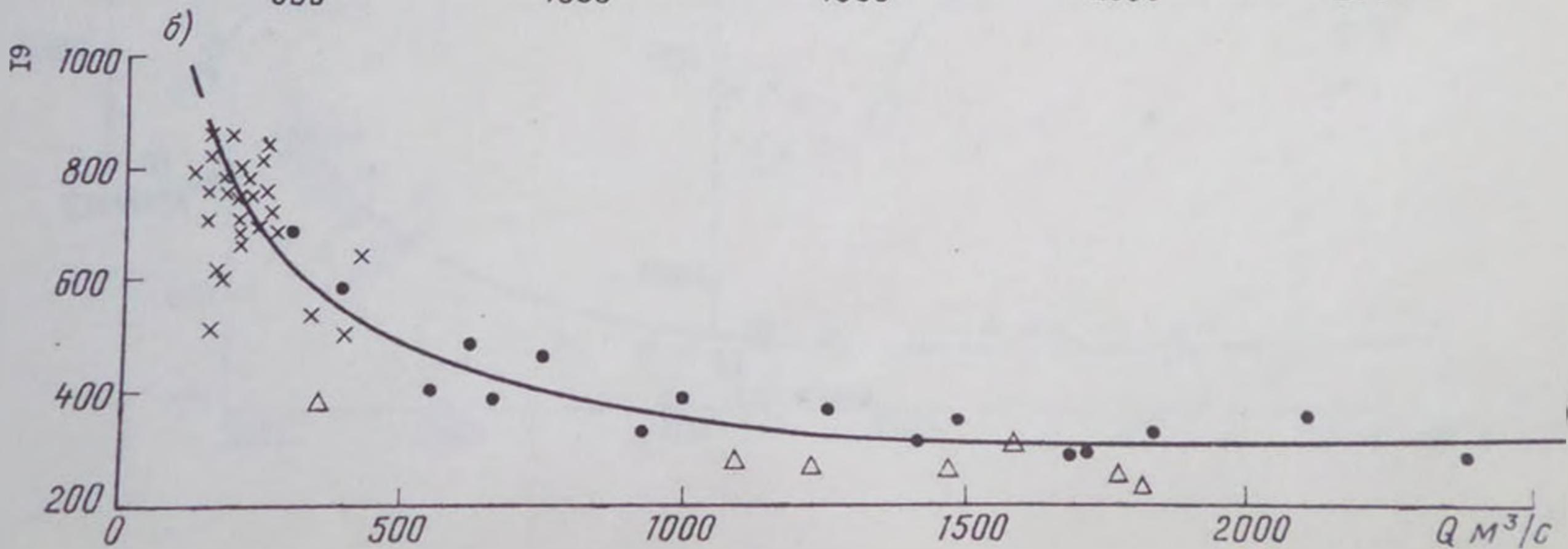
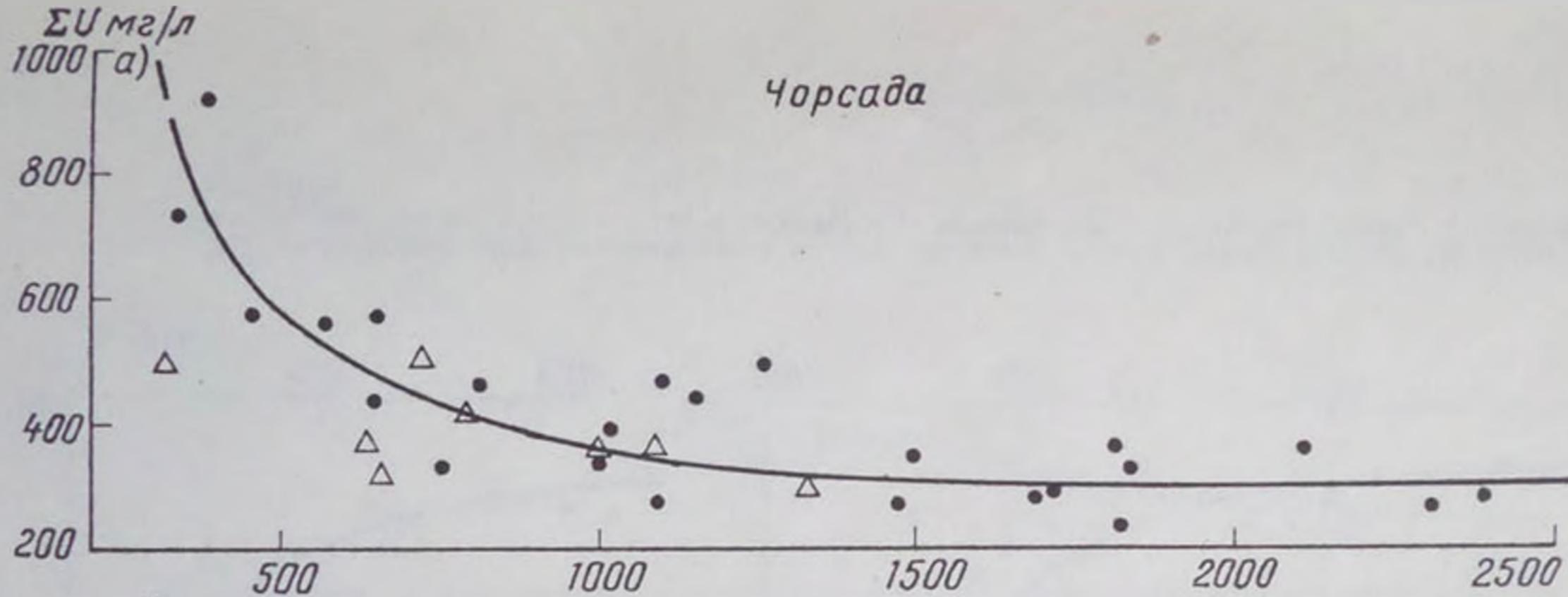
Таким же образом получено среднемесячное значение минерализации в створе у Кыльджара на третьем этапе водохозяйственного строительства.

Итак, средние месячные значения минерализации воды в бассейне

# Туткаул



Чорсада



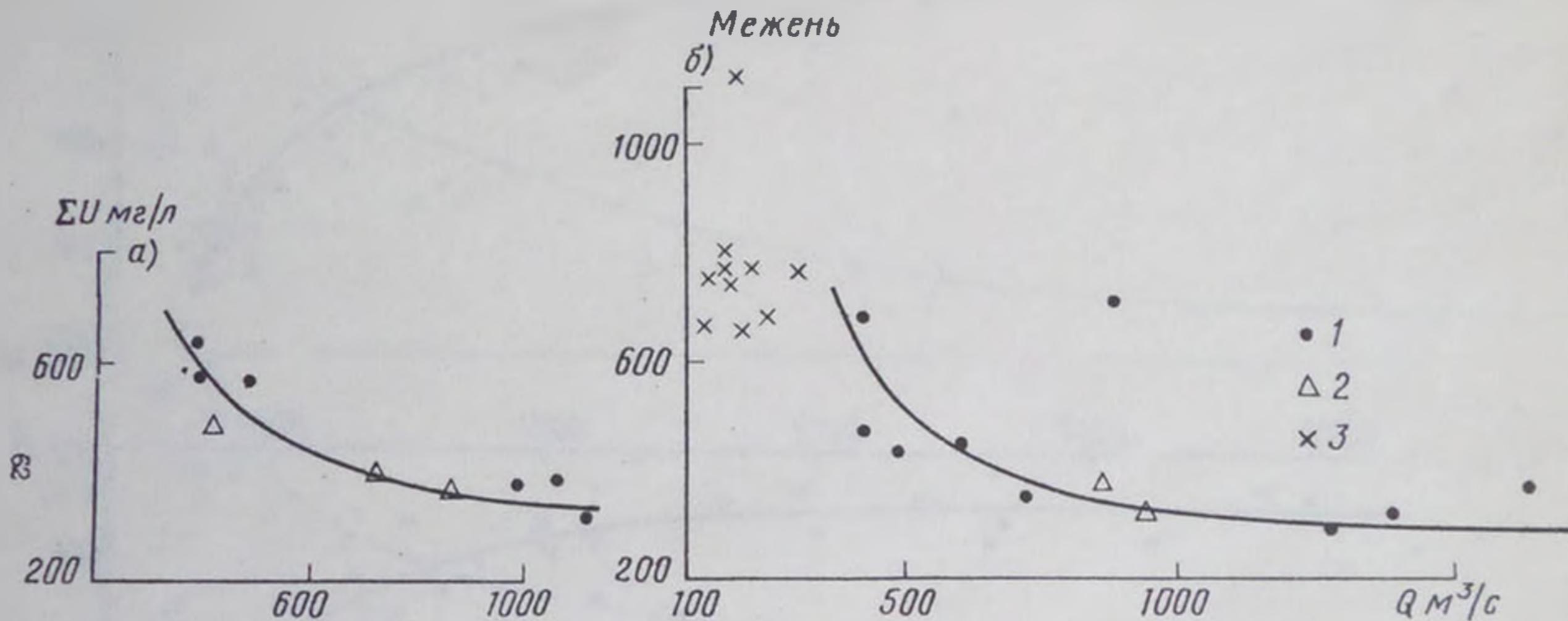
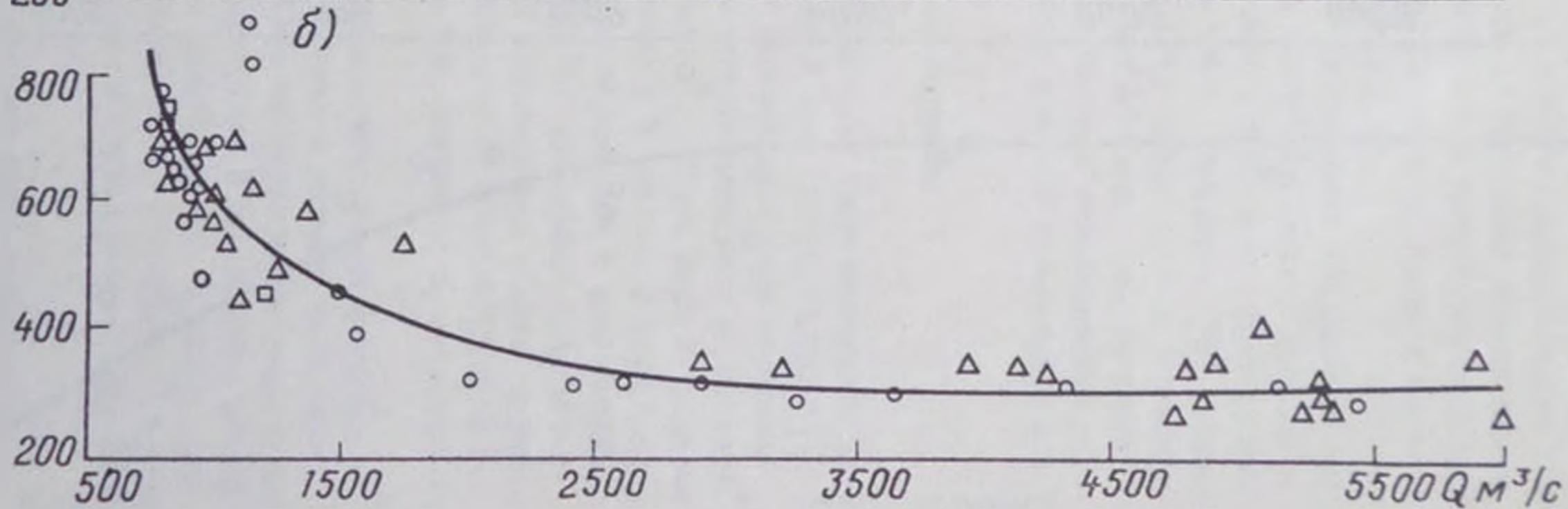
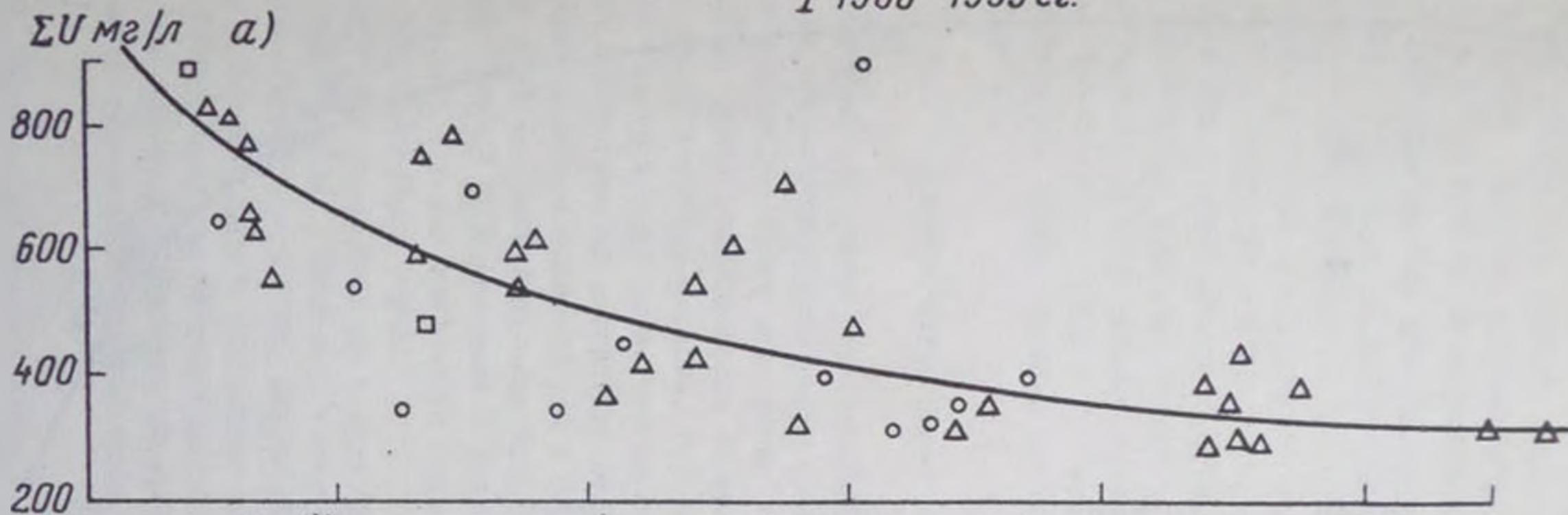
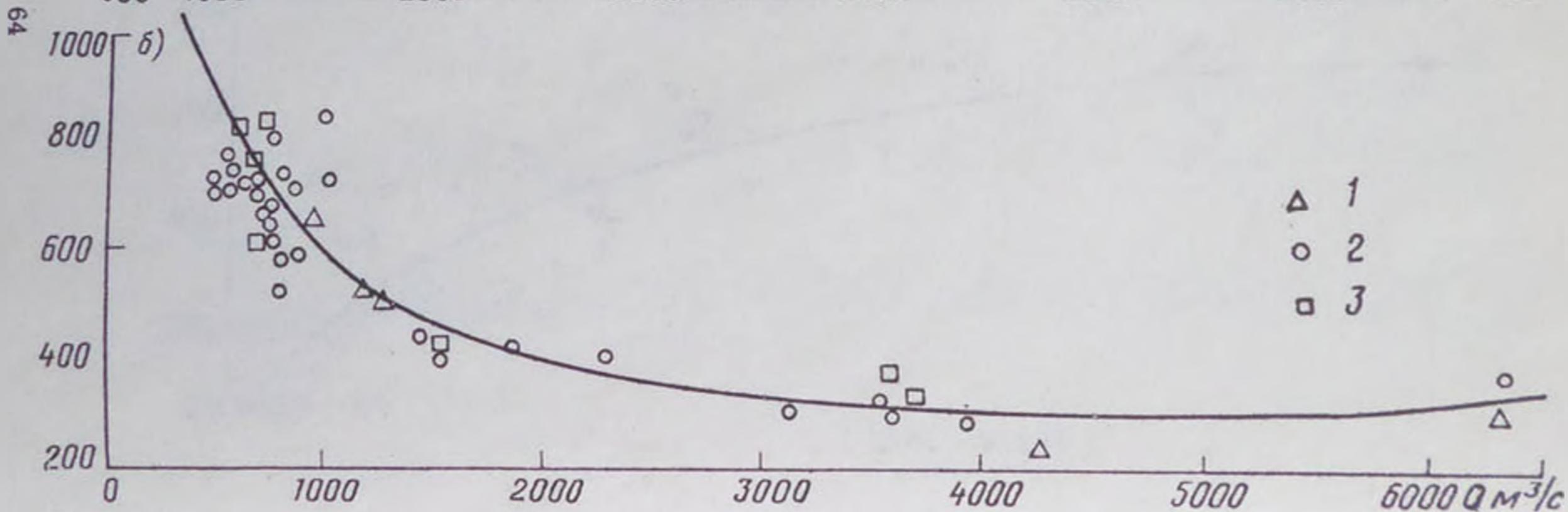
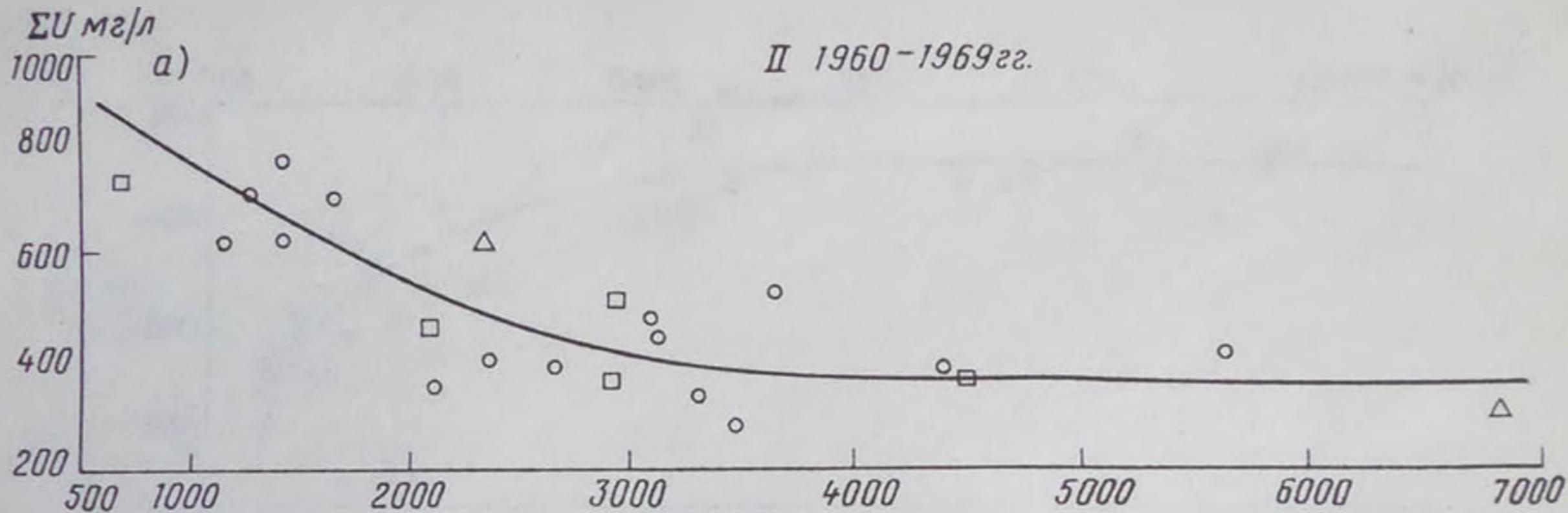


Рис. 5.1. Зависимость минерализации от расхода воды, р. Вахш, кишл. Туткаул (Чорсада); а - подъем половодья, б - спад и межень; 1 - многоводные, 2 - средневодные, 3 - маловодные годы

I 1950-1959 гг.



II 1960-1969гг.



Амударья получены по кривым  $\Sigma u = f(Q)$ , построенным с учетом (где это было возможно) водности года и фаз режима. Если связь  $\Sigma u = f(Q)$  установить не удавалось, то среднее месячное значение минерализации принималось равным среднему арифметическому из имеющихся данных непосредственных измерений за исследуемую фазу всего расчетного периода. Средние сезонные значения минерализации получены из средних месячных величин, взвешенных по стоку (табл. 5.2-5.3).

Некоторое представление об ошибках, допускаемых при расчете средней месячной величины минерализации по кривым  $\Sigma u = f(Q)$  в зависимости от частоты отбора проб в различные фазы режима реки, дает работа, выполненная ранее рядом авторов для бассейна Сырдарья [76]. Ошибки увеличиваются по мере уменьшения частоты отбора проб и корреляционного отношения. В фазу подъема половодья они выше, чем на спаде и в межень. При расчете среднего за сезон значения минерализации погрешности (разного знака) средних месячных значений в некоторой мере компенсируются.

## 5.2. Гидрохимический режим рек бассейна

Гидрохимический режим рек бассейна Амударья характеризуется всеми чертами, присущими другим рекам Средней Азии [14-16, 23, 73, 77]. В зоне формирования стока этот режим в значительной мере определяется водным. Общий ход изменения минерализации находится в обратной зависимости от величины расхода. При равных расходах воды на подъеме половодья минерализация выше, чем на спаде и в межень. В каждую фазу режима минерализация возрастает от маловодных лет к многоводным.

Большой диапазон высотных зон в бассейне Амударья приводит к смене во времени условий питания рек. В соответствии с этим химический состав речной воды меняется в зависимости от степени участия в данном паводке той или иной части бассейна, различных по литологическому составу слагающих пород.

Минимальная минерализация в зоне формирования стока наблюдается в июле-сентябре [3], поскольку в этот период в питании реки участвуют самые высокогорные зоны. Максимальное значение минерализации наблюдается в конце межени и на подъеме половодья. В это время в питании реки участвуют самые глубокие горизонты подземных вод, а затем самые низкогорные (богатые химическим материалом) зоны. В среднем за ноябрь-апрель минерализация существенно выше, чем в период май-октябрь (табл. 5.2-5.4).

Рис. 5.2. Зависимость минерализации от расхода воды, р. Амударья, г. Керки:

а - подъем половодья, б - спад и межень; 1 - многоводные, 2 - средневодные, 3 - маловодные годы

Естественный гидрохимический режим рек характеризуют створы Туткаул на р.Вахш, Чинар на р.Кафирниган и Нижний Пяндж на р.Пяндж (табл. 5.2-5.4).

Наиболее интенсивно химическая денудация развита в бассейне р.Вахш. Минерализация воды р.Пяндж ниже, особенно в невегетационный период (рис.5.3). Самой низкой минерализацией характеризуется вода р.Кафирниган (табл.5.2-5.3).

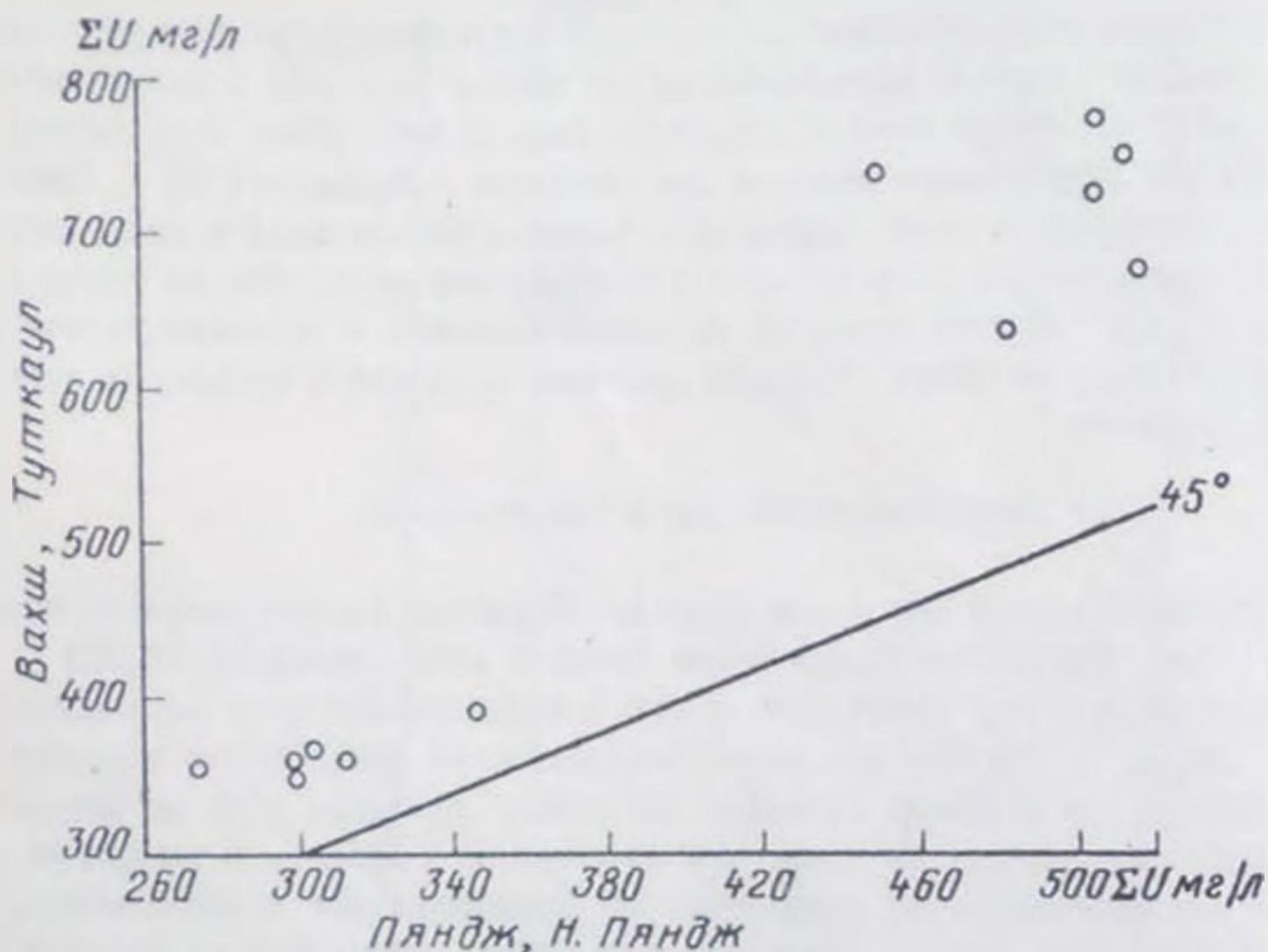


Рис.5.3. Связь среднесезонных значений минерализации воды рек Вахш, Туткаул и Пяндж, Нижний Пяндж

Изменчивость средней сезонной минерализации из года в год сравнительно невелика (табл.5.4).

Исследования, проведенные в бассейне Сырдарьи [73-75,77], показали, что под влиянием антропогенных факторов гидрохимический режим рек трансформируется. По вопросу о влиянии хозяйственной деятельности на сток Амударьи нет единодушного мнения. По мнению одних авторов минерализация ее практически не меняется [46] или меняется очень слабо [43], другие [64] утверждают обратное.

Наши расчеты показывают, что среднее значение минерализации и ее изменчивость (особенно в вегетационный период) возрастает по мере удаления от зоны формирования (табл.5.4). Аналогичная картина наблюдается и в бассейне Сырдарьи [77].

Вместе с тем гидрохимический режим Амударьи в зоне использо-

Среднее взвешенное по стоку значение минерализации воды  
в вегетационный период, мг/л

Сезон	Пяндж, Нижний Пяндж	Вахш, Туткаул	Кафирниган		Сурхандарья		Амударья			
			Чинар	Тартки	колхоз им. Кданова	Мангузар	Керки	Ильчик	Чатлы	Кзылджар
1937/38		351	138			382				393
1938/39		356	136							404
1939/40		363	136			444				431
1940/41		362	142			488				470
1941/42		366	139			465				481
1942/43		345	138			477				398
1943/44		354	151			468				403
1944/45		336	139			465				437
1945/46		362	139							497
1946/47		352	138							468
1947/48		340	139							400
1948/49		364	135							470
1949/50		363	143	201	220					371
1950/51		380	144	206	284	358	378			384
1951/52		370	134	193	308	342	345			401
1952/53		340	139	196	282	322	341			399
1953/54		375	134	188	236	326	352			402

Сезон	Пяндж, Нижний Пяндж	Вахш, Туткаул	Кафирниган		Сурхандарья		Амударья			
			Чинар	Тартки	колхоз им. Аданова	Мангузар	Керки	Ильчин	Чатлы	Кзылджар
1954/55		369	141	200	214	304	388	375	366	
1955/56		374	140	204	258	326	372	366	353	482
1956/57		381	134	213	286	396	430	396	396	491
1957/58		376	135	191	199	306	415	398	407	480
1958/59		372	140	196	213	326	357	359	408	478
1959/60		352	138	238	198	506	375	418	440	432
1960/61		362	137	286	281	609	400	445	505	439
1961/62		359	145	261	305	757	413	462	486	451
1962/63		362	142	249	373	565	420	440	491	438
1963/64		349	137	234	245	561	379	426	454	426
1964/65		366	136	271	226	887	431	495	509	474
1965/66		342	141	253	—	699	368	434	457	433
1966/67		349	134	258	280	1145	380	428	487	449
1967/68		359	141	255	188	631	385	421	453	448
1968/69		350	131	230	375	514	360	370	467	417
1969/70	299	351	142	256	—	1043	414	401	452	572
1970/71	302	365	140	308	—	—	447	442	515	637
1971/72	311	361	140	234	201	731	442	429	549	649
1972/73	273	354	140	—	254	592	402	401	583	555
1973/74	345	389	138	316	296	—	521	536	627	790
1974/75	299	359	136	290	289	—	438	433	568	660
1975/76						621	434			

Примечание. Знак "—" означает, что большую часть сезона русло реки сухое.

Среднее взвешенное по стоку значение минерализации воды  
в невегетационный период, мг/л

Сезон	Пяндж Нижний Пяндж	Вахп. Туткаул	Кефирниган		Сурхандарья		Амударья				
			Чинар	Тарткя	колхоз им. Ада- нова	Мангузар	Керки	Ильчик	Чатлы	Кзылдар	
1937/38		635	160			420				626	
1938/39		818	167			446				581	
1939/40		746	137			557				598	
1940/41		698	161			579				605	
1941/42		642	168			572				658	
1942/43		622	173			569				586	
1943/44		666	175			616				579	
1944/45		670	175			543				637	
1945/46		624	155							612	
1946/47		725	166							(601)	
1947/48		704	178							(598)	
1948/49		660	170							631	
1949/50		704	190	332	328					643	
1950/51		717	192	346	373	555	630			689	
1951/52		645	155	242	306	590	608			586	
1952/53		680	174	262	322	494	664			643	
1953/54		631	162	249	293	459	546			520	
1954/55		713	177	296	305	540	667	695		620	

Сезон	Цяндж, Нижний Цяндж	Вахш, Туткаул	Кифирниган		Сурхандарья		Амударья			
			Чинар	Тартки	колхоз им. Жданова	Мангу- зар	Керки	Ильчик	Чатлы	Кзылджар
1955/56		696	174	262	300	453	598	612	598	512
1956/57		714	172	314	362	516	769	677	665	
1957/58		651	159	246	275	426	702	593	644	551
1958/59		672	166	253	263	453	701	643	682	523
1959/60		768	187	324	293	629	721	695	647	533
1960/61		771	167	352	343	694	734	730	658	564
1961/62		692	180	334	367	782	748	720	669	665
1962/63		726	176	319	295	705	753	659	704	676
1963/64		701	170	276	302	574	689	690	651	603
1964/65		712	167	342	313	644	744	744	711	625
1965/66		741	178	308	287	869	709	782	697	603
1966/67		689	166	352	364	796	777	725	696	641
1967/68		756	175	310	272	930	757	761	708	691
1968/69		680	153	271	357	631	537	537	664	518
1969/70	482	634	165	309	294	641	610	777	571	630
1970/71	502	768	163	357		996	749	710	684	850
1971/72	511	745	195	355	263	1095	762	799	801	852
1972/73	449	737	172		304	678	727	642	871	763
1973/74	515	672	161	372	352	1038	762	770	802	852
1974/75	503	723	159	386	368	1118	820	776	817	855
1975/76						971	722			

Параметры кривых распределения средней сезонной минерализации

Река, створ	Расчетный период	Ноябрь-апрель			Май-декабрь		
		n	$\bar{\Sigma u}$	$\sigma$	n	$\bar{\Sigma u}$	$\sigma$
Вахш, Туткаул	1949/50-1958/59	10	682	32	10	370	12
	1959/60-1968/69	10	724	34	10	355	8
	1959/60-1974/75	16	720	39	16	358	11
Кафирниган, Чинар	1949/50-1958/59	10	172	12	10	138	4
	1959/60-1968/69	10	172	9	10	138	4
	1959/60-1974/75	16	171	11	16	139	3
Кафирниган, Тартки	1949/50-1958/59	10	280	39	10	199	8
	1959/60-1968/69	10	319	28	10	254	17
	1959/60-1974/75	16	331	33	15	263	27
Амударья, Керки	1950/51-1958/59	9	654	63	9	375	29
	1959/60-1968/69	10	717	64	10	391	22
	1959/60-1975/76	17	724	63	17	412	38
Амударья, Ильчик	1954/55-1958/59	5	644	43	5	379	18
	1959/60-1968/69	10	704	69	10	434	32
	1959/60-1974/75	16	720	66	16	436	38
Амударья, Чатлы	1949/50-1958/59	10	629	51	10	389	19
	1959/60-1968/69	10	683	24	10	475	24
	1959/60-1974/75	16	711	76	16	503	54
Амударья, Кзылджар	1959/60-1968/69	10	612	59	10	441	16
	1959/60-1974/75	16	682	117	16	517	113
Сурхандарья, клх. им. Жданова	1949/50-1958/59	10	313	35	10	250	38
	1959/60-1968/69	10	319	35	9	275	68
	1959/60-1974/75	15	318	36	13	270	60
Сурхандарья, Мангузар	1950/51-1958/59	9	498	55	9	334	28
	1959/60-1968/69	10	725	115	10	687	199
	1959/60-1975/76	17	811	181	14	704	195

вания стока, в отличие от Сырдарьи, еще во многом определяется природными факторами. В результате этого многие черты гидрохимического режима, присущие зоне формирования стока, сохраняются и в зоне его использования (например, фазовые различия в величине минерализации).

В качестве индекса природной изменчивости гидрохимического режима Амударьи принято значение среднесезонной минерализации воды р. Вахш, Туткаул (рис. 5.4). Анализ расположения точек в поле координат этих графиков показывает, что колебание среднесезонной минерализации

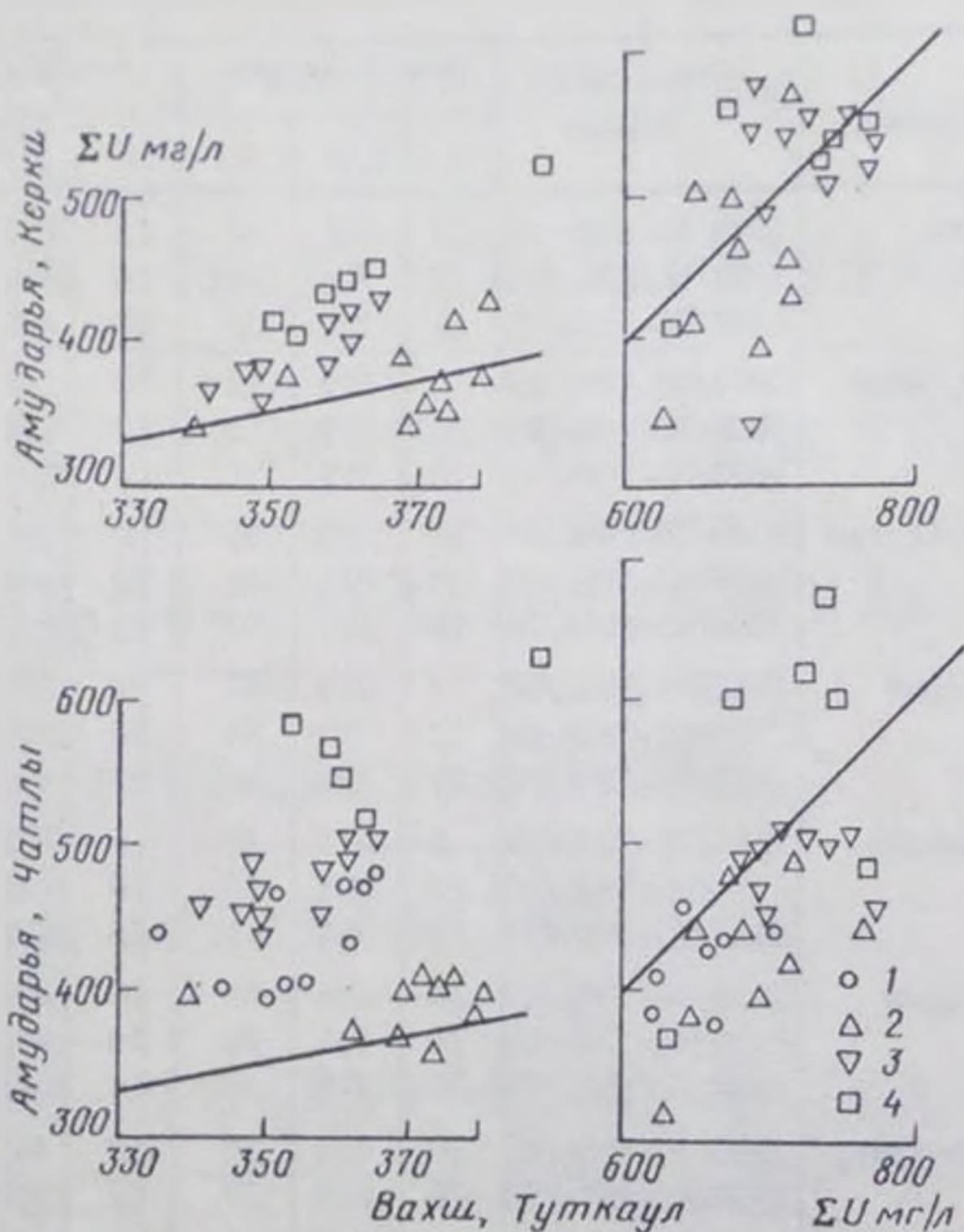


Рис. 5.4. Зависимость среднесезонной минерализации воды Амударьи от минерализации воды в зоне формирования (Вахш, Туткаул):  
1, 2, 3, 4 - 40, 50, 60, 70-е гг. соответственно

Амударьи как в верхнем, так и нижнем течении зависит от значения минерализации воды в зоне формирования. Особенно четко эта связь проявляется в вегетационный период.

Одновременно с природными факторами на гидрохимический режим Амударьи воздействуют и антропогенные. Так, при равном значении минерализации воды в зоне формирования в створах Керки и Чатлы она возрастает во времени - в 60-е годы она выше, чем в 50-е, а в 70-е выше, чем в 60-е (рис. 5.4).

Аналогичная картина наблюдается в бассейнах рек Кафирниган и Сурхандарья.

Гидрохимический режим р. Кафирниган в створе кишл. Тартки до конца 50-х годов формировался в основном в горной части бассейна. В зоне использования стока происходило лишь некоторое увеличение минерализации. Синхронность в колебаниях средней сезонной минерализации в створах Чинар (зона формирования) и Тартки (зона использования) сохранялась (рис. 5.5). В 60-е годы минерализация в нижнем створе (кишл. Тартки) стала увеличиваться и, хотя связь ее значений в верхнем и нижнем створах в общих чертах сохранилась, теснота ее резко уменьшилась.

В бассейне р. Сурхандарья связь значений средней сезонной минерализации: в верхнем (колхоз им. Жданова) и нижнем (кишл. Мангузар) створах в 60-е годы практически полностью нарушилась. Лишь в вегетационный период сохранилась тенденция к увеличению минерализации в нижнем створе с ростом ее в верхнем (рис. 5.6).

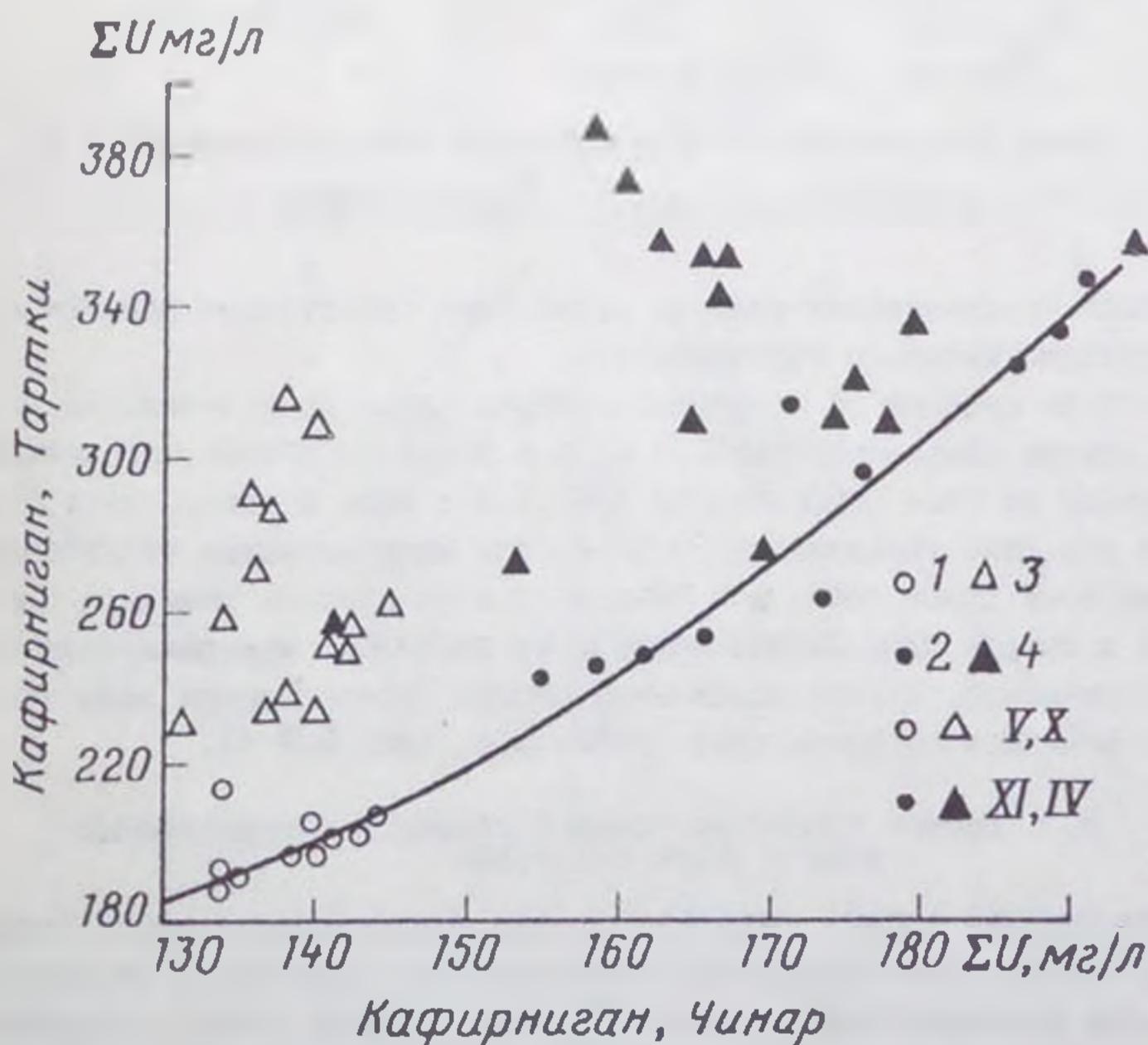


Рис. 5.5. Связь среднесезонной минерализации воды р. Кафирниган в створах:

1-2-1949/50-1959/60 гг., 3-4-1960/61-1974/75 гг.

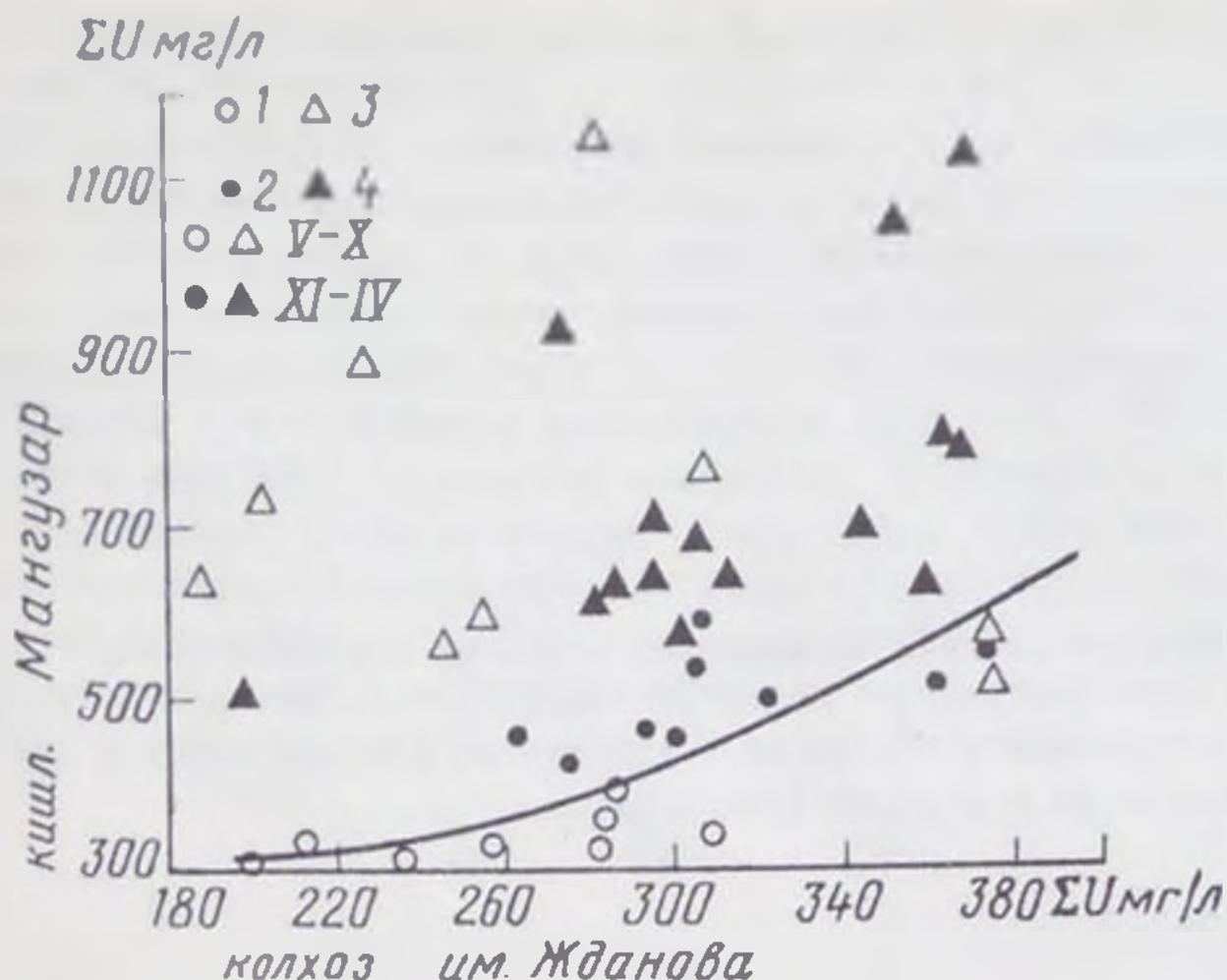


Рис. 5.6. Связь среднесезонной минерализация воды р. Сурхандарьи в створах:  
1-2 - 1949/50-1958/59 гг., 3-4 - 1959/60-1974/75 гг.

Изменение минерализации воды по длине реки существенно зависит от уровня водохозяйственного строительства.

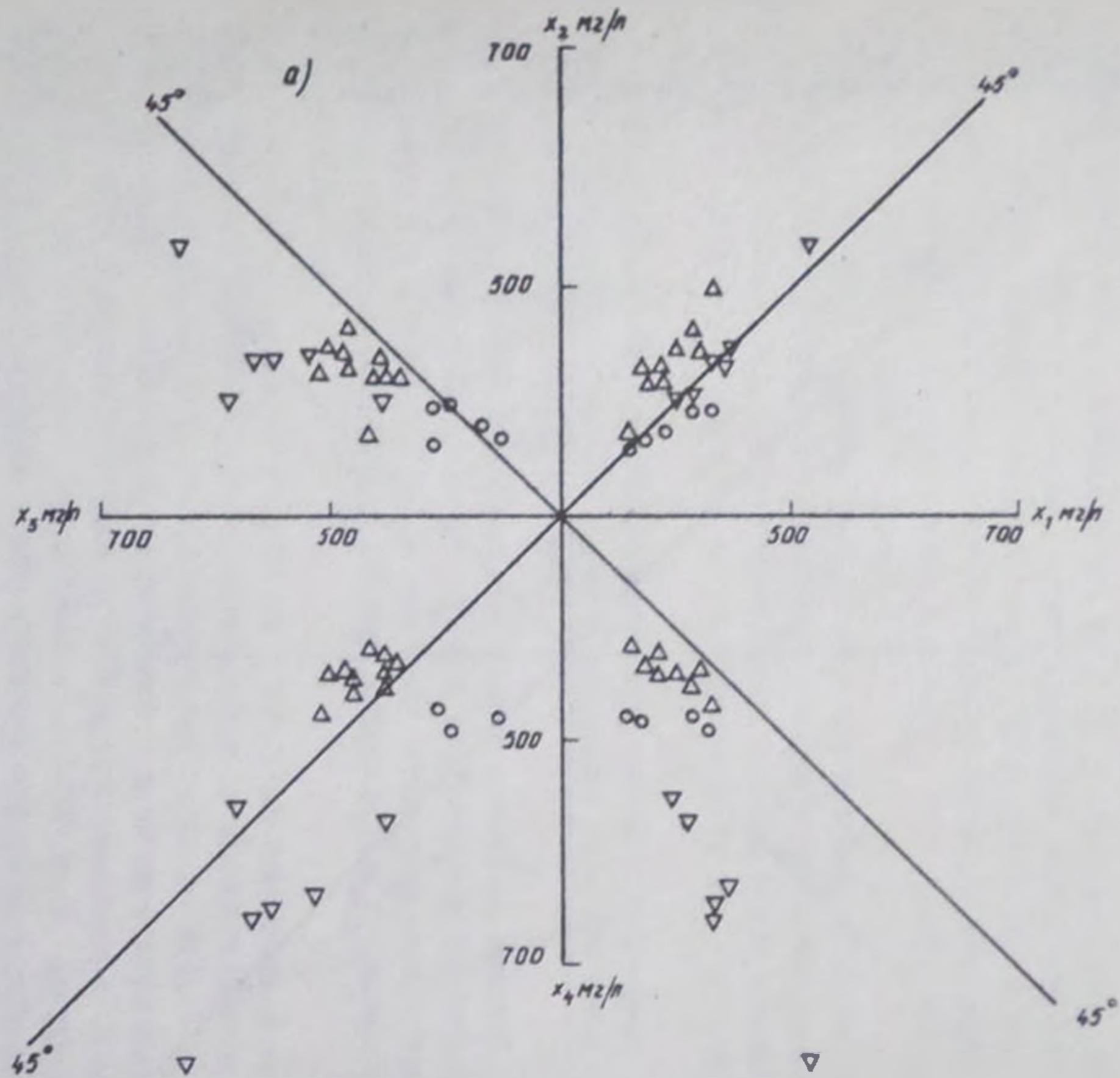
В 50-е годы средняя за вегетацию минерализация практически не менялась до створа кишл. Чатлы (рис. 5.7 а) и в большой степени определялась притоком солей из зоны формирования (рис. 5.4); лишь в створе кишл. Кзыл-дзар она в эти годы увеличилась. В 60-е годы минерализация увеличивалась уже по всей длине реки, а в 70-е годы этот процесс усилился (рис. 5.7а). Лишь в створе кишл. Ильчик средняя за вегетацию минерализация была равна керкинской. В невегетационный период минерализация воды практически не менялась по длине реки (табл. 5.4, рис. 5.7 б).

### 5.3. Расчет изменения средней сезонной минерализации воды в реках бассейна

Гидрохимический режим Амударьи в зоне использования стока формируется под воздействием природных и антропогенных факторов; по мере удаления от зоны формирования влияние последних увеличивается, а первых уменьшается. В связи с этим для оценки изменчивости среднего сезонного значения минерализации испытывалась статистическая модель вида

$$\log \Sigma u = f(d_{u1}; d'_{u2}; \Sigma u_0),$$

где  $\Sigma u$  - средняя за сезон минерализация воды в исследуемом створе;  $d_{u1}$  - коэффициент изъятия стока в исследуемом створе в текущем сезоне;  $d'_{u2}$  -



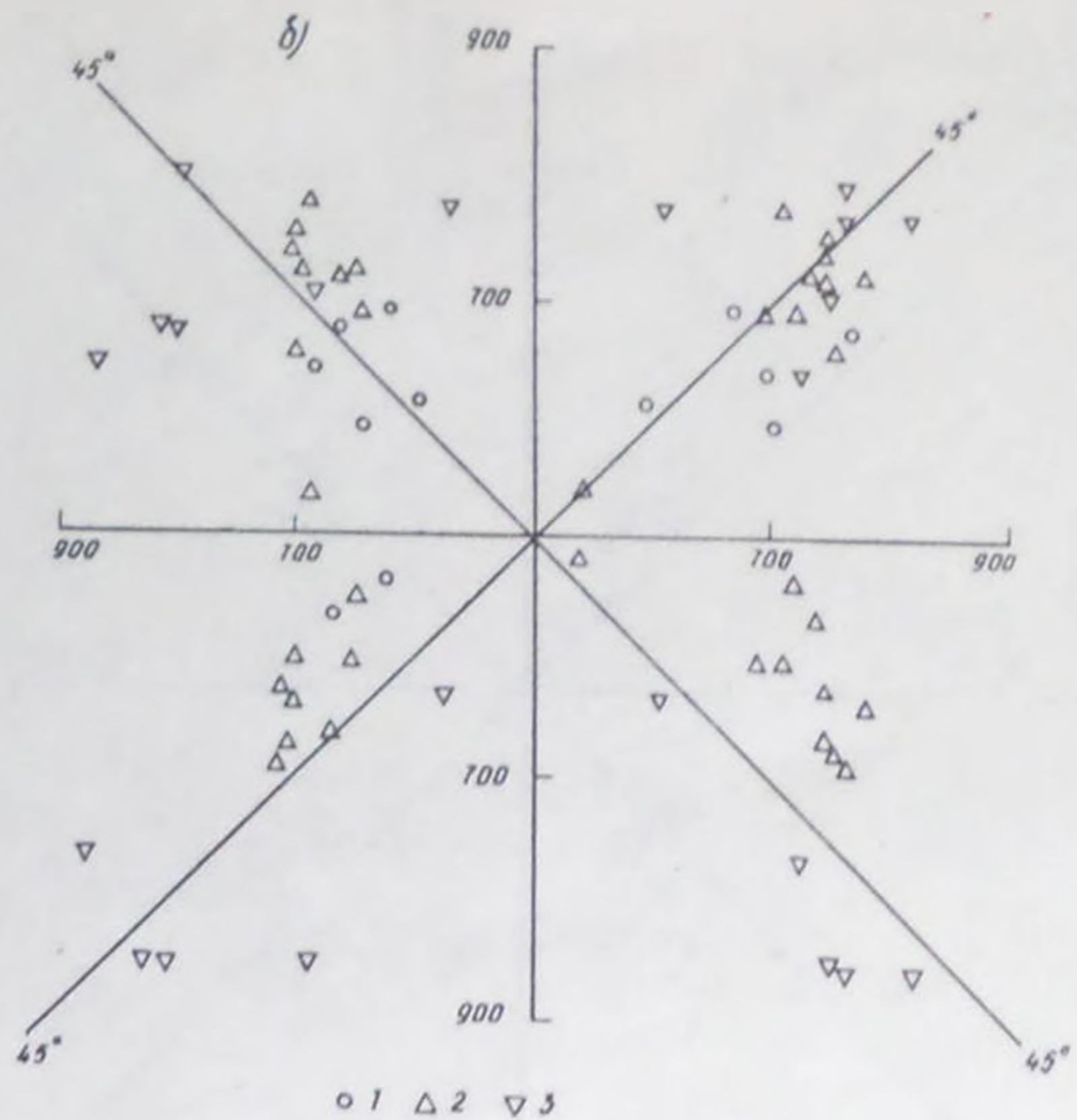


Рис. 5.7. Связь средней за вегетационный (а) и невегетационный (б) периоды минерализации воды Амударьи в створах: Керки ( $X_1$ ), Ильчик ( $X_2$ ), Чатлы ( $X_3$ ), Кзылджар ( $X_4$ ):  
1, 2, 3 - 50-, 60-, 70-е гг. соответственно

то же для предшествующего сезона;  $\Sigma U_{\text{ф}}$  — среднее сезонное значение минерализации в зоне формирования стока.

Исследовался период с 1959/60 по 1979/80 г. Методом просеивания получены уравнения регрессии, связывающие средние за сезон значения минерализации с определяющими факторами (табл. 5.5). Малочисленность исходной информации позволила включить в уравнение регрессии не более двух предикторов.

Регрессионный анализ показал, что во всех исследуемых створах в период 1959/60–1979/80 гг. среднее сезонное значение минерализации определяется главным образом изъятием стока. Вклад предиктора, характеризующего влияние природной изменчивости минерализации, существенно ниже и значим в вегетационный период лишь в створе у кишл. Чатлы, а в невегетационный в створе у г. Керки (табл. 5.5).

Согласно принятой в Службе гидрологических прогнозов оценке надежности уравнений регрессии, они являются хорошими и удовлетворительными при  $R > 0,7$ . Следовательно, для вегетационного периода можно использовать для расчета среднего за сезон значения минерализации все полученные уравнения.

Уравнения регрессии для невегетационного периода, полученные с коэффициентом корреляции меньше 0,7, можно применять лишь для предварительных, сугубо ориентировочных расчетов.

Полученные уравнения применимы для оценки изменения средней сезонной минерализации в бассейне Амударьи под влиянием увеличения водозабора из нее. Чтобы свести до минимума влияние на минерализацию природных факторов, сравнивались периоды, приведенные к одинаковой водности (табл. 5.6).

В конце 50-х – начале 60-х годов из Амударьи изымалось в вегетационный период до створа г. Керки в зависимости от водности лет от 15 до 25% водных ресурсов и до створа кишл. Чатлы от 29 до 52%.

Соответственно минерализация речной воды в верхнем створе колебалась от 365 мг/л в многоводные годы до 405 мг/л в маловодные. В створе кишл. Чатлы она составляла соответственно 470–520 мг/л. Амплитуда средней сезонной минерализации в вегетационный период не превышала 30–50 мг/л, а в невегетационный – 110 мг/л. По длине реки минерализация увеличивалась до створа у кишл. Чатлы, а к створу у кишл. Кылдзар уменьшалась, что связано, вероятнее всего, с точностью оценки средней сезонной минерализации по кривым  $\Sigma U = f(Q)$  и уравнениям  $\Sigma U = f(Q)$ .

В период 1969/70–1976/77 гг. изъятие стока из реки увеличилось к створу у г. Керки до 25–43% в вегетационный период и 30–53% в невегетационный; к створу у кишл. Кылдзар оно возросло до 54–88% в вегетационный период и до 67–104% в невегетационный. Это привело к увеличению минерализации.

Уравнения регрессии, связывающие средние сезонные значения минерализации воды с факторами, ее определяющими

Река, створ	R	Абсолютный вклад предикторов			$\delta$ мг/л	Уравнение
		$\alpha_{u_1}$	$\alpha'_{u_1}$	$\Sigma u_1$		
Ноябрь - апрель						
Амударья, Керки	0,67	0,92		0,08	130	$\lg \Sigma u = 0,246d + 0,0003 \Sigma u_1 + 2,562$
Амударья, Ильчик	0,59					
Амударья, Чатлы	0,90		1,00		140	$\lg \Sigma u = 0,341d' + 2,692$
Амударья, Кзылджар	0,92	0,78	0,22		130	$\lg \Sigma u = 0,252d + 0,086d' + 2,615$
Кафирниган, Тартки	0,69	0,48			50	$\lg \Sigma u = 170d + 270$
Сурхандарья, Мангузар	0,65	0,42			170	$\lg \Sigma u = 0,260d + 2,695$
Май - октябрь						
Амударья, Керки	0,86	0,99		0,01	130	$\lg \Sigma u = 0,545d + 0,0005 \Sigma u_1 + 2,294$
Амударья, Ильчик	0,70	1,00			140	$\lg \Sigma u = 0,250d + 2,570$
Амударья, Чатлы	0,91	1,00			140	$\lg \Sigma u = 0,286d + 2,554$
Амударья, Кзылджар	0,94	0,97	0,03		130	$\lg \Sigma u = 0,363d + 0,0014 \Sigma u_1 + 2,011$
Кафирниган, Тартки	0,74	0,55			50	$\Sigma u = 210d + 190$
Сурхандарья, Мангузар	0,82	0,67			175	$\lg \Sigma u = 0,564d + 2,264$

Примечание.  $\delta$  - допустимая погрешность уравнения, равная  $0,674 \sqrt{\sigma^2 - S^2}$ , где  $\sigma$  - среднее квадратичное отклонение величин  $\Sigma u$ ;  $S$  - ошибка 95%-ной обеспеченности расчета средней сезонной минерализации по по кривым  $\Sigma u = f(Q)$ .

Среднее месячное значение минерализации воды  
в зависимости от уровня использования ее стока и притока  
воды из зоны формирования

Створ	Расчетный период	Обеспеченность вегетационного притока, %					Обеспеченность невегетационного притока, %				
		10	25	50	75	95	10	25	50	75	95
г. Керки	1959/60-1964/65	365	370	375	385	405	600	610	650	680	720
	1969/70-1976/77	415	425	435	460	510	705	730	765	790	835
кишл. Чатлы	1959/60-1964/65	470	470	480	500	520	645	650	655	660	685
	1969/70-1976/77	510	520	535	570	625	750	765	785	850	950
кишл. Кзылджар	1959/60-1964/65	415	415	420	420	470	505	525	560	590	615
	1969/70-1976/77	520	530	550	590	680	700	735	780	845	900

Наиболее существенно она возросла в маловодные годы и в нижнем течении реки (табл. 5.6). Если в верхнем течении (г. Керки) амплитуда средней за вегетацию минерализации в зависимости от водности лет возросла всего до 95 мг/л, то в нижнем (кишл. Кзылджар) - до 160 мг/л.

Аналогичная картина наблюдается в невегетационный период, а также в бассейнах рек Кафирниган и Сурхандарья. Данные табл. 5.6 дают представление о среднем за сезон изменении минерализации. В отдельные месяцы и сутки значения минерализации могут быть более высокими. Так, в створе у г. Керки 21 апреля 1976 г. зафиксировано значение минерализации, равное 1440 мг/л.

Итак, увеличение водозабора из Амударьи сопровождалось ростом минерализации во времени и по длине реки. Однако процесс увеличения минерализации выражен в этом бассейне значительно слабее, чем в бассейне Сырдарьи [ 77 ]. Связано это с тем, что возвратные воды от орошения попадают в русло Амударьи в сравнительно небольшом количестве.

#### 5.4. Изменение ионного состава воды под влиянием хозяйственной деятельности

Ионный состав большинства вод суши закономерно связан с общей минерализацией, поэтому увеличение минерализации воды Амударьи сопровождалось изменением ее ионного состава.

Закономерности изменения ионного состава речных вод под воздействием антропогенных факторов исследовались при помощи уравнений регрессии, связывающих каждый из ионов с их суммой.

Для этого использованы данные стационарных наблюдений УГКС за химическим составом воды в бассейне Амударьи за период 1938-1975 гг.

Статистические характеристики ионного состава воды, мг/л

Река, створ	Расчетный период	Количество проб	Параметр	$\Sigma u$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+ + K^+$	$HCO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$
Вахш, Туткаул	1938-1975	168	$\Sigma$	1,00	0,82	0,66	0,88	0,64	0,91	0,91
			$\bar{x}$	516	78,4	14,2	63,0	112	160	87,4
			$\sigma_x$	193	28,4	8,20	39,2	27,6	67,5	55,3
Кафирниган, Чинар	1938-1975	214	$\Sigma$	1,00	0,74	0,29	0,34	0,91	0,53	0,20
			$\bar{x}$	155	29,6	4,10	4,50	100	11,8	3,70
			$\sigma_x$	28,2	6,40	1,80	4,40	18,0	6,80	2,80
Кафирниган, Тартки	1950-1975	174	$\Sigma$	1,00	0,42	0,32	0,21	0,14	0,47	0,31
			$\bar{x}$	320	50,1	10,7	18,8	141	57,9	20,2
			$\sigma_x$	222	12,8	6,10	17,7	39,2	33,7	17,0
Сурхандарья, колхоз им. Дданова	1938-1959	53	$\Sigma$	1,00	0,96	0,83	0,50	0,96	0,88	0,54
			$\bar{x}$	325	55,5	12,8	12,4	172	61,7	6,40
			$\sigma_x$	94,4	15,6	5,60	7,20	49,8	24,9	2,50
То же	1960-1975	114	$\Sigma$	1,00	0,94	0,88	0,34	0,91	0,90	0,68
			$\bar{x}$	334	60,3	13,2	11,3	162	76,4	8,50
			$\sigma_x$	104	17,2	7,70	8,60	45,3	35,7	6,00

Сурхандарья, Мангузар	1938-1959	104	z	1,00	0,65	0,54	0,29	0,65	0,86	0,38
			x	544	100	20,3	42,2	188	192	21,5
			$\sigma_x$	174	82,0	9,80	40,0	61,4	83,8	12,7
То же	1960-1975	67	z	1,00	0,81	0,66	0,44	0,74	0,91	0,33
			x	954	143	49,9	76,0	194	426	64,2
			$\sigma_x$	218	34,6	15,2	78,1	34,9	112	33,2
Амударья, Керки	1938-1959	146	z	1,00	0,85	0,67	0,94	0,11	0,91	0,94
			x	504	64,1	13,9	78,0	135	132	92,1
			$\sigma_x$	173	16,4	6,50	42,7	77,8	47,3	59,8
То же	1960-1975	147	z	1,00	0,51	0,28	0,76	0,37	0,69	0,80
			x	598	69,5	21,1	89,5	118	169	114
			$\sigma_x$	214	22,6	12,2	57,8	33,5	62,7	69,0
Амударья, Ильчик	1938-1959	73	z	1,00	0,77	0,74	0,89	0,55	0,94	0,94
			x	504	69,0	12,9	71,2	137	124	89,6
			$\sigma_x$	168	20,0	6,90	39,7	37,1	45,8	52,3
То же	1960-1975	181	z	1,00	0,54	0,49	0,86	0,57	0,86	0,86
			x	633	71,7	22,5	99,1	130	186	121
			$\sigma_x$	210	27,4	11,8	55,8	36,4	82,7	57,5

Река, створ	Расчетный период	Количество проб	Параметр	$\Sigma U$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na + K^+$	$HCO_3^-$	$SO_4^{2+}$	$Cl^-$
Амударья, Чатлы	1938-1959	232	$r$	1,00	0,66	0,54	0,84	0,52	0,87	0,94
			$\bar{x}$	503	71,6	13,8	67,4	141	124	84,7
			$\sigma_x$	159	25,2	6,90	36,6	35,8	44,4	50,6
То же	1960-1975	140	$r$	1,00	0,87	0,79	0,94	0,64	0,94	0,96
			$\bar{x}$	641	74,5	23,0	101	124	179	134
			$\sigma_x$	196	17,8	9,60	46,6	27,4	58,9	60,7
Амударья, Кызылжар	1938-1959	18	$r$	1,00	0,77	0,63	0,92	0,34	0,90	0,90
			$\bar{x}$	521	65,2	19,6	69,7	139	137	88,8
			$\sigma_x$	119	14,4	5,10	28,2	32,4	35,5	39,6
То же	1960-1975	71	$r$	1,00	0,95	0,96	0,78	0,70	0,95	0,87
			$\bar{x}$	716	83,3	27,0	109	130	227	138
			$\sigma_x$	468	67,9	30,3	53,0	28,3	252	75,8

Примечание.  $r$  - коэффициент парной корреляции иона с суммой ионов;  $\bar{x}$  - среднее значение содержания данного иона;  $\sigma_x$  - среднее квадратичное отклонение содержания данного иона.

## Уравнения регрессии, связывающие концентрации отдельных ионов с их суммой

Река, створ	Расчетный период	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+ + K^+$
Вахш, Туткаул	1938-1975	$Ca = 0,120\Sigma u + 16,3$	$Mg = 0,028\Sigma u - 0,25$	$Na \cdot K = 0,178\Sigma u - 28,8$
Кафирняган, Чинар	1938-1975	$Ca = 0,166\Sigma u + 3,8$		
Сурхандарья, колхоз им. Еданова	1938-1959	$Ca = 0,159\Sigma u + 3,8$	$Mg = 0,049\Sigma u - 3,2$	
То же	1960-1975	$Ca = 0,156\Sigma u + 8,1$	$Mg = 0,065\Sigma u - 8,6$	
Сурхандарья, Мангузар	1938-1959	$Ca = 0,306\Sigma u + 47,2$		
То же	1960-1975	$Ca = 0,129\Sigma u + 19,8$	$Mg = 0,046\Sigma u + 6,1$	
Амударья, Керки	1938-1959	$Ca = 0,081\Sigma u + 23,3$	$Mg = 0,025\Sigma u + 1,3$	$Na \cdot K = 0,232\Sigma u - 39,2$
То же	1960-1975			$Na \cdot K = 0,206\Sigma u - 33,8$
Амударья, Ильчик	1938-1959	$Ca = 0,092\Sigma u + 22,8$	$Mg = 0,030\Sigma u - 2,4$	$Na \cdot K = 0,210\Sigma u - 34,9$
То же	1960-1975			$Na \cdot K = 0,227\Sigma u - 44,7$
Амударья, Чатлы	1938-1959	$Ca = 0,104\Sigma u + 19,0$		$Na \cdot K = 0,194\Sigma u - 30,2$
То же	1960-1975	$Ca = 0,079\Sigma u + 23,9$	$Mg = 0,038\Sigma u - 1,6$	$Na \cdot K = 0,224\Sigma u - 42,9$
Амударья, Кзылджар	1938-1959	$Ca = 0,093\Sigma u + 16,5$	$Mg = 0,027\Sigma u + 5,6$	$Na \cdot K = 0,217\Sigma u - 43,4$
То же	1960-1975	$Ca = 0,138\Sigma u - 15,4$	$Mg = 0,062\Sigma u - 17,6$	$Na \cdot K = 0,089\Sigma u + 45,0$

Река, створ	Расчетный период	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}$
Вахи, Туткаул	1938-1975	$\text{HCO}_3 = 0,092\Sigma u + 64,9$	$\text{SO}_4 = 0,318\Sigma u - 4,2$	$\text{Cl} = 0,261\Sigma u - 47,4$
Кафирниган, Чинар	1938-1975	$\text{HCO}_3 = 0,058\Sigma u + 91,3$		
Сурхандарья, колхоз им.Аданова	1938-1959	$\text{HCO}_3 = 0,504\Sigma u + 8,7$	$\text{SO}_4 = 0,231\Sigma u - 14,1$	
То же	1960-1975	$\text{HCO}_3 = 0,397\Sigma u + 29,8$	$\text{SO}_4 = 0,310\Sigma u - 27,2$	$\text{Cl} = 0,039\Sigma u - 4,6$
Сурхандарья, Мангузар	1938-1959	$\text{HCO}_3 = 0,231\Sigma u + 62,6$	$\text{SO}_4 = 0,414\Sigma u - 33,5$	
То же	1960-1975	$\text{HCO}_3 = 0,120\Sigma u + 79,7$	$\text{SO}_4 = 0,469\Sigma u - 21,5$	
Амударья, Керки	1938-1959		$\text{SO}_4 = 0,248\Sigma u + 6,3$	$\text{Cl} = 0,323\Sigma u - 70,7$
То же	1960-1975		$\text{SO}_4 = 0,201\Sigma u + 49,0$	$\text{Cl} = 0,258\Sigma u - 40,1$
Амударья, Ильчик	1938-1959		$\text{SO}_4 = 0,255\Sigma u - 4,1$	$\text{Cl} = 0,292\Sigma u - 57,8$
То же	1960-1975		$\text{SO}_4 = 0,337\Sigma u - 27,6$	$\text{Cl} = 0,236\Sigma u - 29,0$
Амударья, Чатлы	1938-1959		$\text{SO}_4 = 0,244\Sigma u + 1,9$	$\text{Cl} = 0,300\Sigma u - 66,3$
То же	1960-1975	$\text{HCO}_3 = 0,088\Sigma u + 67,7$	$\text{SO}_4 = 0,282\Sigma u - 1,4$	$\text{Cl} = 0,295\Sigma u - 54,9$
Амударья, Кзылджар	1938-1959		$\text{SO}_4 = 0,268\Sigma u - 2,8$	$\text{Cl} = 0,300\Sigma u - 67,3$
То же	1960-1975	$\text{HCO}_3 = 0,043\Sigma u + 99,7$	$\text{SO}_4 = 0,511\Sigma u - 139,1$	$\text{Cl} = 0,141\Sigma u + 37,1$

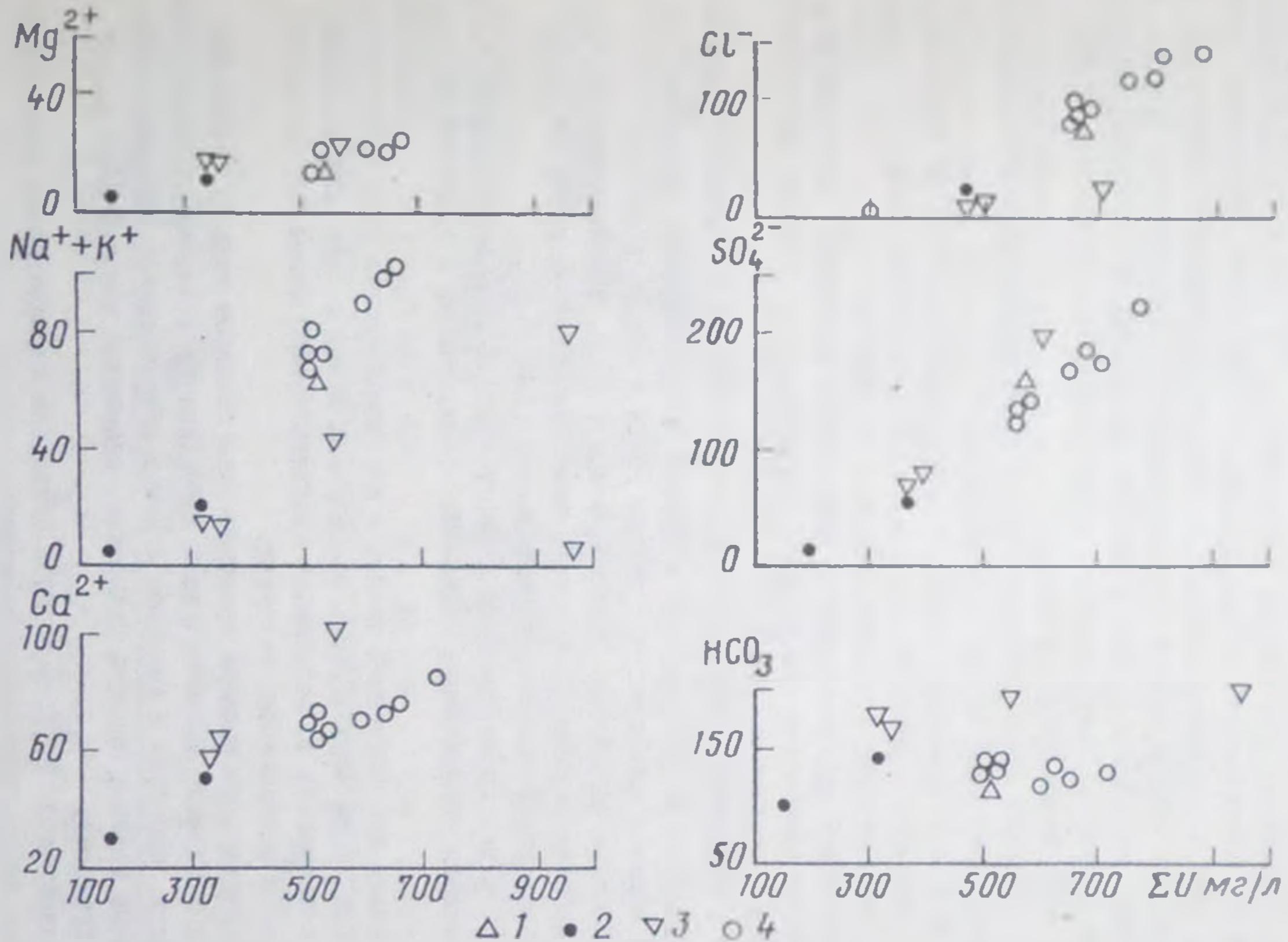


Рис. 5.8. Зависимость среднего за многолетие содержания отдельных ионов от их суммы:  
1 - Вахш, 2 - Кариғниган, 3 - Сурхандарья, 4 - Амударья

По аналогии с бассейном Сырдарьи [ 74, 75, 77 ] была принята гипотеза о статистической однородности ряда наблюдений за суммой ионов и ее отдельными компонентами в зоне формирования стока и неоднородности - в зоне его использования. В связи с этим в первом случае уравнения регрессии получены для всего ряда (1938-1975 гг.). Во втором случае ряд условно разбит на две выборки (1938-1959 гг. и 1960-1975 гг.), отличающиеся по интенсивности использования речного стока. Различная частота отбора проб в выбранные периоды не позволила достигнуть одинакового статистического обоснования полученных уравнений фактическими данными. Даже в пределах одного створа и периода для разных компонент использовалось неодинаковое число случаев ввиду отсутствия данных по некоторым ионам (чаще всего натрия и калия).

Графический анализ показал, что в наблюдаемом диапазоне зависимости отдельных компонент от их суммы линейны.

В табл. 5.7 приведены статистические характеристики ионного состава воды в бассейне Амударьи, а в табл. 5.8 - уравнения регрессии, связывающие концентрацию отдельных ионов с их суммой.

Рост общей минерализации во всех частях бассейна Амударьи сопровождается увеличением содержания отдельных ионов, однако интенсивность их прироста различна (рис. 5.8).

Так, содержание ионов кальция, гидрокарбоната и сульфата Сурхандарьи возрастает быстрее, чем в других частях бассейна Амударьи. Обратная картина наблюдается с ионами хлора и натрия с калием.

Уравнения регрессии, полученные при  $\gamma > 0,6$ , использованы для расчета наиболее вероятного весового значения основных ионов на разных этапах водохозяйственного строительства (табл. 5.9).

При  $\gamma < 0,6$  для характеристики ионного состава воды использованы средние значения концентрации отдельных ионов, снятые с графиков на рис. 5.8.

Влияние антропогенных факторов на ионный состав воды будет более наглядным, если концентрацию исследуемых ионов в зоне использования стока нормировать по содержанию соответствующих ионов (за расчетные периоды) в естественных условиях.

Отсутствие наблюдений за химическим составом воды в исследуемых створах в период, предшествующий интенсивному водохозяйственному строительству, побудило в качестве индекса естественного гидрохимического режима условно принять содержание отдельных ионов в воде р. Вали (кв. Туткаул).

Анализ табл. 5.10, в которой приведены нормированные значения содержания ионов, показывает следующее.

Увеличение концентрации отдельных ионов по длине реки и во времени в бассейне Амударьи не столь значительно, как в бассейне Сыр-

## Ионный состав воды на разных уровнях водохозяйственного строительства, мг/л

Река, створ	Расчетный период	Ионный состав						
		$\Sigma \text{и}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$
Вегетационный период								
Вахш, Туткаул	1938-1959	360	59	10	35	100	110	46
То же	1960-1975	360	59	10	35	100	110	46
Амударья, Керки	1938-1959	387	53	10	45	(135)	97	47
То же	1960-1975	409	(58)	(13)	48	(99)	129	62
Амударья, Ильчик	1938-1959	395	58	9	45	(137)	93	53
То же	1960-1975	425	(61)	(14)	54	(103)	119	74
Амударья, Чатлы	1938-1959	426	62	(13)	50	(140)	103	58
То же	1960-1975	494	63	17	69	112	140	93
Амударья, Кзылджар	1938-1959	483	61	19	61	139	126	77
То же	1960-1975	521	56	15	91	122	127	110
Невегетационный период								
Вахш, Туткаул	1938-1959	680	98	19	92	128	213	130
То же	1960-1975	720	102	20	100	132	226	140
Амударья, Керки	1938-1959	630	74	17	107	(135)	163	134
То же	1960-1975	629	(77)	(24)	99	(124)	179	126
Амударья, Ильчик	1938-1959	626	82	17	100	(137)	160	130
То же	1960-1975	716	(83)	(26)	119	(132)	215	141
Амударья, Чатлы	1938-1959	608	83	(22)	90	(140)	153	120
То же	1960-1975	705	80	25	116	130	199	155
Амударья, Кзылджар	1960-1975	678	78	24	106	129	208	133

Таблица 5.10

## Изменение ионного состава воды на разных уровнях водохозяйственного строительства относительно естественного состояния (Вахш, Туткаул)

Створ	Расчетный период	Изменение ионного состава					
		$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$
Вегетационный период							
Керки	1938-1959	0,90	1,00	1,28	1,35	0,88	1,02
	1960-1975	0,98	1,30	1,37	0,99	1,17	1,35

Створ	Расчетный период	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Ильчик	1938-1959	0,98	0,90	1,28	1,37	0,84	1,15
	1960-1975	1,03	1,40	1,54	1,03	1,08	1,61
Чатлы	1938-1959	1,05	1,30	1,43	1,40	0,94	1,26
	1960-1975	1,07	1,70	1,97	1,12	1,27	2,02
Кзылджар	1938-1959	1,03	1,90	1,74	1,39	1,14	1,67
	1960-1975	0,95	1,50	2,60	1,22	1,15	2,39
Невегетационный период							
Керки	1938-1959	0,76	0,90	1,16	1,05	0,76	1,03
	1960-1975	0,75	1,20	0,99	0,94	0,79	0,90
Ильчик	1938-1959	0,84	0,90	1,09	1,07	0,75	1,00
	1960-1975	0,81	1,30	1,09	1,00	0,95	1,00
Чатлы	1938-1959	0,85	1,16	0,98	1,09	0,72	0,92
	1960-1975	0,78	1,25	1,16	0,98	0,88	1,11
Кзылджар	1938-1959						
	1960-1975	0,76	1,20	1,06	0,98	0,92	0,95

даря [77]. Вместе с тем в оба сезона наблюдается увеличение концентрации ионов магния, натрия и калия. Наиболее интенсивно оно происходит на втором этапе водохозяйственного строительства. Содержание иона хлора возрастает во времени и по длине реки в вегетационный период. В невегетационный его содержание практически не меняется. Аналогичная картина наблюдается с ионом гидрокарбоната. В вегетационный его концентрация увеличивается по длине реки. Однако на втором этапе водохозяйственного строительства темпы прироста уменьшаются. В невегетационный период содержание иона гидрокарбоната на первом этапе несколько увеличивается по длине реки, а на втором — уменьшается в Керки и практически постоянно ниже по течению.

В среднем между двумя расчетными уровнями (1938-1959 гг. и 1960-1975 гг.) в вегетационный период содержание гидрокарбонатного иона уменьшилось в створе у г. Керки на 27%, а в створе у кишла. Чатлы — на 20%. В верхнем створе менее всего изменилось (увеличилось на 7%) содержание ионов натрия и калия.

Содержание остальных (из рассматриваемых) ионов увеличилось на 30% и более. В невегетационный период в верхнем створе несколько уменьшилось содержание ионов натрия, калия, гидрокарбоната и

хлора (на 7–8%), а в нижнем – кальция (на 4%). Концентрация остальных ионов увеличилась.

В створе у г. Керки содержание сульфатного иона, а также кальция и магния увеличилось соответственно на 4, 41 и 10%. В створе у кишл.Чатлы концентрация магния, натрия с калием, гидрокарбоната, сульфата и хлора возросла соответственно на 14, 29, 8, 30 и 28%.

Поскольку концентрация отдельных ионов меняется с различной степенью интенсивности, это приводит к изменению их соотношения (табл. 5.10).

В вегетационный период в водах р.Вахш в катионной группе преобладает кальций, а в анионной – сульфат. В зоне с нарушенным гидрохимическим режимом на первом этапе водохозяйственного строительства ион кальция продолжает преобладать. Однако суммарное содержание натрия, калия и магния сравнялось с концентрацией кальция, а в отдельных створах превысило ее. Концентрация гидрокарбонатного иона превысила содержание сульфатного, вероятно, за счет пяджской воды. Ион хлора имеет подчиненное значение.

На втором этапе в катионной группе продолжает преобладать кальций, но сумма натрия, калия и магния уже существенно превышает содержание кальция.

В анионной группе на этом этапе уже преобладают сульфаты, а сумма сульфатов и хлора существенно превышает концентрацию гидрокарбонатного иона.

В невегетационный период в водах Вахша в катионной группе наблюдается некоторое равновесие между ионами кальция и натрия с калием; магний занимает подчиненное положение (табл.5.10).

В зоне использования стока равновесие между кальцием и натрием, калием нарушается в сторону возрастания последних; содержание магния остается подчиненным.

В анионной группе в водах Вахша преобладает ион сульфата. В зоне использования стока концентрация сульфатного иона несколько уменьшается, увеличивается содержание хлора; эти ионы доминируют (табл.5.10).

В среднем между двумя расчетными уровнями доля токсичных ионов (сульфата, хлора, натрия, калия, магния) в створах Керки, Ильчик и Чатлы возросла в вегетационный период на 10, 11 и 12%, а в невегетационный – на 1,5 и 7%.

Относительное содержание токсичных ионов на каждом уровне водохозяйственного строительства увеличивается по длине реки.

Так, на втором этапе водохозяйственного строительства в вегетационный период оно возросло с 62% в створе Керки до 66% в створе Кзылджар; в невегетационный период прирост оказался существенно ниже – с 68 до 69%.

Заметим, что процесс метаморфизации ионного состава воды Аму-

дарья происходит менее интенсивно, чем в бассейне Сырдарья [ 77 ] .

В перспективе этот процесс должен усилиться.

### 5.5. Солевой сток

Солевой сток реки – это количество солей, выносимое с территории бассейна в течение определенного отрезка времени (год, сезон, месяц и т.д.).

$$R = \sum U \cdot Q \cdot T, \quad (5.1)$$

где  $R$  – солевой сток реки в исследуемом створе за месяц;  $\sum U$  – средняя месячная минерализация воды, полученная по кривым  $\sum U = f(Q)$  с учетом фаз режима и водности рек;  $Q$  – средний месячный расход воды;  $T$  – число секунд в месяце.

Солевой сток за более длительные периоды времени (сезон, год) получен суммированием его месячных величин.

Из уравнения (5.2) следует, что погрешность оценки солевого стока определяется точностью расчета его жидкой фазы и минерализации.

Исследования, проведенные в бассейне Сырдарья [ 77 ] , показали, что при расчете солевого стока за сезон и более минерализация по кривым  $\sum U = f(Q)$  оценивается с допустимой точностью.

Солевой сток реки формируется в процессе контактирования водных масс с подстилающей поверхностью водосбора. Поэтому анализ величин его в зоне формирования и использования, а также изменения его во времени позволяет судить о направленности процесса солеобмена реки с окружающей территорией.

С тем чтобы свести до минимума случайные погрешности расчетов жидкого стока и минерализации и выявить основные закономерности формирования солевого стока и его трансформации на орошаемой территории, рассматривались его осредненные по пятилетиям значения (табл. 5.11).

Приток солей из зоны формирования получен суммированием солевого стока рек Пяндж, Вахш и Кафирниган.

В бассейне р. Пяндж гидрохимические наблюдения начаты лишь в 1970 г. Однако эти короткие наблюдения показывают, что средняя сезонная минерализация р. Пяндж колеблется из года в год в небольших пределах (табл. 5.2, 5.3). Это позволяет использовать для расчета среднего за пять лет солевого стока реки значение минерализации, осредненное за весь период наблюдений в 1970–1976 гг.

Солевой сток Амударьи в створе у г. Керки существенно превышает учетный приток солей из зоны формирования (табл. 5.12).

Таблица 5.11

## Солевой сток, млн. т

Расчетный период	Приток солей из зоны формирования				Сток солей в зоне использования			
	У <sub>1</sub>	У <sub>2</sub>	У <sub>3</sub>	ΣU	У <sub>4</sub>	У <sub>5</sub>	У <sub>6</sub>	У <sub>7</sub>
Ноябрь-апрель								
1940/41-1944/45	2,89	0,15	4,41	7,45			8,04	
1945/46-1949/50	2,80	0,12	4,28	7,20			6,93	
1950/51-1954/55	2,91	0,13	4,37	7,41	11,03		7,06	
1955/56-1959/60	2,83	0,14	4,20	7,17	10,44	8,82	6,17	
1960/61-1964/65	2,59	0,12	3,85	6,56	9,79	8,03	5,14	4,68
1965/66-1969/70	2,71	0,14	4,11	6,96	10,45	8,38	5,32	4,35
1970/71-1974/75	2,55	0,20	3,62	6,37	9,51	4,97	3,86	2,43
Май-октябрь								
1940/41-1944/45	6,44	0,36	8,64	15,44			18,27	
1945/46-1949/50	5,81	0,32	7,80	13,94			12,83	
1950/51-1954/55	6,00	0,39	7,85	14,24	18,61		14,33	
1955/56-1959/60	6,19	0,36	8,00	14,55	18,09	16,76	13,87	
1960/61-1964/65	5,24	0,31	7,08	12,63	16,10	15,82	11,61	10,64
1965/66-1969/70	5,93	0,37	8,60	14,90	19,48	16,25	15,26	12,53
1970/71-1974/75	5,49	0,29	7,01	12,79	17,93	12,88	11,74	8,03

Примечание. Здесь и в табл. 5.12 У<sub>1</sub> - Вахш, Туткаул; У<sub>2</sub> - Кафирниган, Чинар; У<sub>3</sub> - Пяндж, Ниж. Пяндж; У<sub>4</sub> - Амударья, Керки; У<sub>5</sub> - Амударья, Ильчик; У<sub>6</sub> - Амударья, Чатлы; У<sub>7</sub> - Амударья, Кзылджар; ΣU - учетный приток солей из зоны формирования.

Таблица 5.12

## Изменение солевого стока по длине реки, %

Расчетный период	Ноябрь-апрель				Май-октябрь			
	У <sub>4</sub>	У <sub>5</sub>	У <sub>6</sub>	У <sub>7</sub>	У <sub>4</sub>	У <sub>5</sub>	У <sub>6</sub>	У <sub>7</sub>
1950/51-1954/55	100		64,2		100		76,9	
1955/56-1959/60	100	84,4	59,0		100	92,5	76,9	
1960/61-1964/65	100	82,0	52,5	47,8	100	98,0	72,0	66,2
1965/66-1969/70	100	80,0	51,0	41,5	100	83,4	78,4	64,3
1970/71-1974/75	100	52,4	40,6	25,6	100	72,0	65,5	44,6

Это связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, часть солей к створу у г. Керки приносится из бассейнов рек Кундуздарья, Сурхандарья и Шерабаддарья. Во-вторых, водные потоки рек, протекая по равнинной территории, обогащаются солями. Аналогичная картина наблюдается в бассейне Сырдарьи в пределах Ферганской долины [77].

От створа г. Керки вниз по течению реки солевой сток уменьшается как в вегетационный, так и в невегетационный периоды. Этим бассейн

Амударьи существенно отличается от бассейна Сырдарьи, в пределах которого солевой сток убывает лишь в устье [77].

Уменьшение солевого стока по длине реки прогрессирует во времени, по мере увеличения изъятия стока из реки. Если в начале 60-х годов в период вегетации до створа, замыкающего зону использования (Кзылджар), доходило около 66% солевого стока реки в створе у г. Керки, то в начале 70-х лишь 45% (табл. 5.12). Особенно интенсивно этот процесс идет в невегетационный период.

В 70-е годы до нижнего створа (Кзылджар) доходит лишь четверть солевого стока, проходящего через створ у г. Керки.

Резкое уменьшение солевого стока Амударьи во времени и по длине реки связано с рассеиванием ее стока по территории и сравнительно небольшим участием возвратных вод в стоке реки в среднем и нижнем ее течении.

#### Выводы

1. Примененный прием перехода от единичных измерений химического состава воды к средним месячным и средним сезонным значениям минерализации позволял исследовать сопоставимые (во времени и по длине реки) характеристики гидрохимического режима.

2. Корреляционный анализ изменчивости средних сезонных значений минерализации показал, что в зоне формирования стока гидрохимический режим рек бассейна Амударьи в значительной мере определяется водным. В зоне использования стока под воздействием антропогенных факторов он в значительной степени трансформируется.

3. В качестве интегрального показателя водохозяйственного строительства предложен коэффициент изъятия стока, характеризующий соотношение в реке транзитных и возвратных вод.

4. Полученные уравнения регрессии, связывающие среднесезонную минерализацию с определяющими ее факторами, использованы для оценки изменения гидрохимического режима реки в современных условиях и для прогноза на ближайшую перспективу.

5. Сопоставление минерализации речной воды на разных уровнях водохозяйственного строительства, но при равной водности позволило выявить основные закономерности изменения гидрохимического режима рек

под влиянием антропогенных факторов, исключая при этом влияние природных.

6. Водохозяйственное строительство в бассейне Амударьи, направленное на повышение водообеспеченности орошаемой территории и улучшение ее мелиоративного состояния, вызвало повышение минерализации речной воды во времени и по длине реки. На каждом этапе водохозяйственного строительства минерализация увеличивалась от многоводных лет к маловодным.

7. В силу меньшего участия в стоке реки возвратных вод процесс увеличения минерализации во времени и по длине реки выражен в бассейне Амударьи существенно слабее, чем в бассейне Сырдарьи.

8. Полученные зависимости концентрации отдельных ионов от их суммы позволили установить, что рост минерализации сопровождается увеличением доли токсичных ионов магния, натрия, хлора и сульфата по длине реки и во времени, а также от многоводных лет к маловодным.

9. Солевой сток реки формируется в горной зоне, а на равнине под влиянием водных мелиораций перераспределяется во времени и по территории. Он уменьшается по длине реки, по мере удаления от зоны формирования.

Глава 6. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА  
ВОЗМОЖНОГО ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА АМУДАРЬИ  
ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ В ПЕРСПЕКТИВЕ  
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ  
(ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОБСТВЕННЫХ  
ВОДНЫХ РЕСУРСОВ)

Сток Амударьи уже в современных условиях существенно трансформируется в пределах орошаемой зоны.

В перспективе в связи с увеличением темпов ирригационного строительства и по мере исчерпания влияния компенсирующих факторов этот процесс усилится. К такому выводу приходят даже сторонники современной стабильности речного стока [17, III]. Следовательно, рациональное использование водных ресурсов в перспективе невозможно без учета изменений в стоке рек и их режиме под влиянием антропогенных факторов.

Расчитывая антропогенные изменения стока Амударьи на уровень 1985–1995 гг., мы исходили из допущения, что водное хозяйство будет развиваться на базе собственных водных ресурсов. Следовательно, условия формирования стока в горах останутся без существенных перемен, и изменение стока, его режима и качества будет определяться процессами, происходящими в зоне потребления воды.

Все существующие методы расчета антропогенных изменений стока можно объединить в две группы: статистические и воднобалансовые.

Статистические методы [62, 77, 79, 87, 91, 93, 94] основаны на экстраполяции современных закономерностей антропогенного изменения стока на перспективу. В наиболее простой интерпретации этот метод применен в работах [62, 87, 93, 94, 105]. Удельное снижение стока ( $0,8 \text{ км}^3/\text{год}$  на каждые 100 тыс. га вновь осваиваемых земель) в бассейнах Амударьи и Сырдарьи [87, 93] и  $0,7 \text{ км}^3/\text{год}$  в бассейне оз. Балхаш [62], выявленное в современных условиях, экстраполируется на перспективу.

При таком подходе современный механизм трансформации стока в орошаемой зоне по тенденции переносится на перспективу.

Между тем интенсивность снижения стока меняется в зависимости от природно-хозяйственной обстановки. Так, в бассейне Сырдарьи в 60-е годы она была вдвое выше, чем в 40-е [88].

Та же гипотеза стабильности условий, определяющих тенденцию раз-

виятия водного хозяйства, используется В.М.Федоровым [91] при выводе линейных уравнений регрессии, связывающих показатели развития орошения и динамика элементов водного баланса территории с временным индексом. Временной индекс отражает общий уровень ведения водного хозяйства [24] и поэтому, естественно, хорошо коррелирует с элементами водного баланса территории. Однако этот предиктор имеет скорее диагностический, чем расчетный характер. Использование его для расчетов может привести к абсурду.

В работе [77] для оценки убыли стока в конкретные сезоны (относительно принятого исходного уровня) предлагаются линейные уравнения регрессии, связывающие убыль с водозабором выше исследуемого створа. Последний прием, в отличие от предыдущих, позволяет оценить убыль стока не в среднем за период, а в годы разной водности.

Вместе с тем этот метод обладает теми же недостатками, что и все другие статистические методы.

Любое уравнение регрессии, полученное на материале прошлых лет, предполагает, что механизмы трансформации речного стока в перспективе остаются неизменным. Между тем в перспективе могут измениться как водохозяйственные мероприятия (способ орошения, КПД ирригационных систем, оросительные нормы, состав культур и т.д.), так и влияние компенсирующих факторов.

Следовательно, статистические методы можно использовать для расчета изменения стока лишь на ближайшую перспективу, когда в водном хозяйстве не произойдет коренных перемен.

Второе направление, воднобалансовое [8-9, 22, 30-32, 45, 52, 70, 71, 77, 88, 93, 95, 105], вскрывающее генетическую сущность процессов, происходящих на территории под влиянием комплекса водохозяйственных мероприятий, позволяет более строго с научной точки зрения подойти к расчету антропогенных изменений стока на перспективу.

Водный баланс территории является количественным выражением ее водного режима, который определяет соотношение безвозвратного водопотребления и стока возвратных вод, поэтому решение уравнений водного баланса территории, составляемого на разные уровни водохозяйственного строительства, является наиболее правильным способом расчета. Недостаток надежной информации о водном режиме орошаемых территорий ограничивает надежное применение этого метода главным образом районами работ комплексных гидрологических экспедиции [87, 93, 95].

В остальных случаях [45, 70, 77, 88 и др.] метод водного баланса территории использован с некоторыми допущениями.

В работах [93, 95, 96] прогноз изменения стока под воздействием водных мелиораций дан на основе совместного анализа уравнений водного баланса русла реки и прилегающей орошаемой территории. Такой прием позволяет вскрыть сложный механизм водообмена русла с territori-

ей и выявить закономерности возможного его изменения на перспективу в зависимости от намечаемых оросительных мероприятий. Метод – безусловно наиболее прогрессивный из всех существующих. Однако его применение сдерживается недостатком информации об элементах водного баланса территории и русла.

И.А.Шикломанов [106] предлагает комплексный метод прогнозирования антропогенных изменений стока на перспективу, заключающийся в параллельном использовании воднобалансового и статистического методов.

Однако недостаток информации об элементах водного баланса территории бассейна Амударьи вынуждает ограничиться применением статистического метода. Последний основан на экстраполяции на ближайшую перспективу закономерностей антропогенного изменения стока, выявленных в современных условиях (гл. 4.4).

Проверка полученных уравнений  $\Delta y = f(\alpha_{u_3})$  на независимом материале показала хорошие результаты – в 28 из 34 случаев (82%) разность между фактическим и расчетным значением средней за сезон убыли стока не превышает 0,674 б. Это позволяет рекомендовать полученные уравнения  $\Delta y = f(\alpha_{u_3})$  для расчета водности рек на перспективу.

Развитие орошаемого земледелия на перспективу намечено "Генеральной схемой комплексного использования водных ресурсов р.Амударьи", составленной Средазгидропроектом и утвержденной Госпланом и Госстроем СССР в 1972 г. [37,38]. В настоящее время эта схема уточняется и корректируется. По этой причине приведенные ниже расчетные оценки изменения стока следует рассматривать как ориентировочные.

Развитие орошения на базе использования водных ресурсов Амударьи на ближайшую и отдаленную перспективу характеризует табл.6.1 [38].

Таблица 6.1

Развитие орошения на базе использования водных ресурсов  
Амударьи, тыс.га

Массив орошения	Орошаемая площадь в перспективе	
	ближайшей	отдаленной
Зона:		
верхнего течения Амударьи	777	952
Каракумского канала	582	870
Каршинской степи	351	745
прибрежная	160	180
Аму-Бухарского канала	230	400
Тяньцунского гидроузла	477	557
Тахияташского гидроузла	530	654
Всего	3107	4358

При осуществлении планируемых мероприятий прирост орошаемой площади в целом по бассейну составит на ближайшую перспективу 1553 тыс. га, а на более отдаленную – 2802 тыс. га. Наибольший прирост земель планируется в среднем и нижнем течении реки (табл. 6.1).

Объемы воды, потребные для орошения этих площадей, определены в Генеральной схеме с учетом повышения КПД оросительных систем, применения современной техники орошения и улучшения мелиоративного состояния территории.

Согласно этим проработкам [38] объем водопотребления в бассейне на ближайшую перспективу составит 49,5 км<sup>3</sup>/год, а на отдаленную – 62,4 км<sup>3</sup>/год.

Значения коэффициентов изъятия стока на разные уровни его использования характеризует табл. 6.2. Изъятие стока в перспективе существенно возрастет, и удовлетворение потребностей в воде может быть достигнуто лишь при полном регулировании стока и повторном использовании возвратных вод.

Поскольку в отдаленной перспективе предполагается полностью зарегулировать сток Амударьи, расчеты на этот уровень велись лишь для лет средней водности (50%-ной обеспеченности). По данным табл. 6.2 и уравнениям  $\Delta y = f(\alpha_{\text{из}})$  (табл. 4.7) оценены изменения стока на перспективу в процентах относительно условно-естественного уровня (табл. 6.3).

Таблица 6.2

Значения коэффициентов изъятия стока в перспективе при осуществлении планируемых мероприятий по увеличению водозабора (брутто)

Створ	Расчетный уровень	Обеспеченность притока, %					
		5	10	25	50	75	95
		Май-октябрь					
Керки	Современное положение (1970-1977 гг.)	0,26	0,27	0,28	0,30	0,36	0,43
Тямушун		0,29	0,32	0,34	0,37	0,44	0,54
Чатлы		0,50	0,54	0,56	0,61	0,70	0,84
Керки	Ближайшая перспектива	0,37	0,40	0,43	0,46	0,53	0,62
Тямушун		0,44	0,48	0,50	0,54	0,62	0,73
Чатлы		0,57	0,62	0,65	0,70	0,81	0,94
Керки	Отдаленная перспектива				0,64		
Тямушун					0,74		
Чатлы					0,88		

Створ	Расчетный уровень	Обеспеченность притока, %					
		5	10	25	50	75	95
Воябрь-апрель							
Керки	Современное положение (1970-1977 гг.)	0,26	0,29	0,35	0,43	0,49	0,53
Тямуш		0,42	0,45	0,49	0,54	0,60	0,64
Чатлы		0,58	0,65	0,74	0,87	0,97	1,02
Керки	Ближайшая перспектива	0,49	0,52	0,57	0,64	0,70	0,74
Тямуш		0,58	0,62	0,68	0,76	0,83	0,88
Чатлы		0,78	0,83	0,92	1,02	1,12	1,18
Керки	Отдаленная перспектива				0,89		
Тямуш					1,03		
Чатлы					1,29		

Расчеты показывают, что расширение орошаемых площадей в бассейне Амударьи будет сопровождаться дальнейшим уменьшением стока в реке (табл. 6.3 и 6.4). В невегетационный период маловодных лет в нижнем течении реки сток исчерпается уже в ближайшей перспективе; в более отдаленной — в створе Чатлы он сохранится лишь в исключительно многоводные годы.

В приведенные выше расчетные оценки стока необходимо ввести поправки на сброс в Амударью коллекторных вод из зон орошения Каршинского и Аму-Бухарского каналов.

В современных условиях лишь некоторая часть этих вод попадает в русло Амударьи по главному Бухарскому коллектору. Большая же часть их сбрасывается в естественные понижения, расположенные на окраинах орошаемых оазисов, и затем испаряется.

По мере увеличения орошаемых площадей сток коллекторно-дренажных вод с них будет увеличиваться. Существующие водоприемники перестанут справляться со своими функциями и возникнет необходимость отвода коллекторных вод с территории Бухарского и Каршинского ирригационных районов.

Существует несколько вариантов трассы магистральных коллекторов. Однако во всех них конечным водоприемником служит русло Амударьи. Для количественной оценки вероятного поступления коллекторных вод в русло Амударьи с территории зон командования Аму-Бухарского и Каршинского каналов использованы графики на рис. 6.1.

Таблица 6.3

Убыль среднего сезонного стока в перспективе относительно условно-естественного периода, %

Створ	Расчетный уровень	Обеспеченность притока, %					
		5	10	25	50	75	95
Май-октябрь							
Керки	Ближайшая перспектива	17,7	19,6	21,5	23,4	28,0	33,7
Тямуун		24,1	28,6	31,0	35,6	45,0	57,8
Чатлы		32,2	37,4	40,5	45,5	56,8	70,0
Керки	Отдаленная перспектива				35,0		
Тямуун					59,0		
Чатлы					64,0		
Ноябрь-апрель							
Керки	Ближайшая перспектива	28,8	31,0	34,6	39,6	44,1	47,0
Тямуун		28,9	32,0	36,6	43,0	48,5	52,5
Чатлы		61,2	66,5	76,0	86,2	96,5	-
Керки	Отдаленная перспектива				58,0		
Тямуун					64,5		
Чатлы					-		

Средние сезонные значения коллекторного стока за пределы оазисов получены для современных условий (1970-1980 гг.) в зависимости от суммарного притока в контур. Для Каршинского ирригационного района этот приток определяется водозабором в Каршинский магистральный канал, а для Бухарского - водозабором в Аму-Бухарский канал в сумме со стоком р.Зеравшан в створе Хазаринский2.

Полученные зависимости экстраполированы на перспективу (табл.6.5). В ближайшей перспективе сток этот составит около  $1,9 \text{ км}^3/\text{год}$  (20% от притока), а в более отдаленной -  $3,4 \text{ км}^3/\text{год}$  ( $\approx 24\%$  от притока).

Наиболее вероятным местом сброса этих вод является участок Керки-Дарганата. В связи с этим сток с территории зон орошения Каршинского и Аму-Бухарского каналов условно стнесен к створу Керки, а в створах Тямуун и Чатлы рассчитан с учетом потерь в русле на фильтрацию и водозабор в каналы.

Расчет среднесезонного стока Амударьи с учетом возможного сбро-

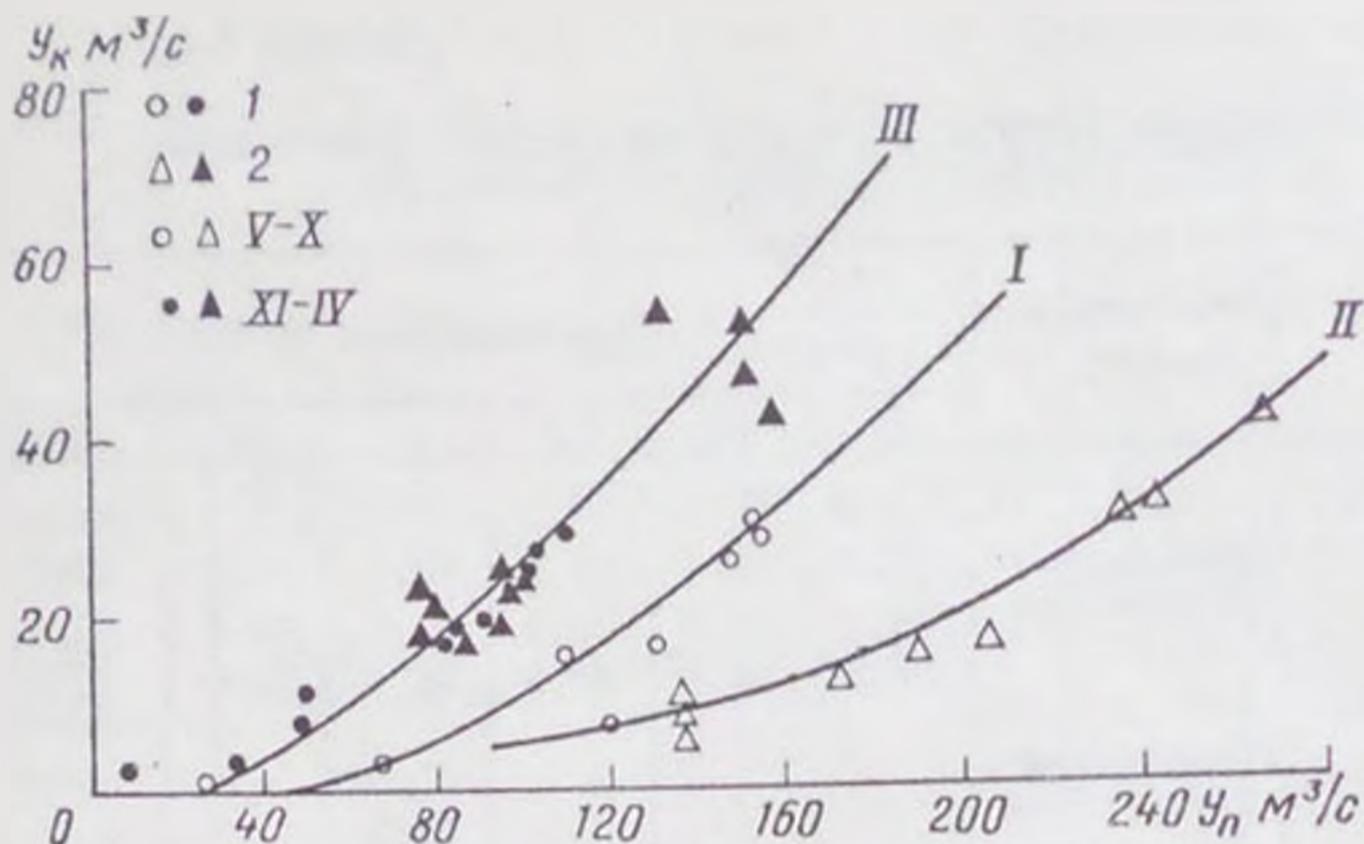


Рис. 6.1. Зависимость среднего за сезон коллекторного стока за пределы орошаемой зоны Каршинского и Бухарского водохозяйственных районов от суммарного притока в контур; вегетационный период в зоне Каршинского (I) и Аму-Бухарского (II) каналов; невегетационный (III) период:

I - зона Каршинского канала; 2 - зона Аму-Бухарского канала

са коллекторных вод Каршинского и Бухарского оазисов приведен в табл. 6.4.

Вегетационный сток Амударьи в створе Чатлы в год средней водности снизится до  $20 \text{ км}^3/\text{год}$  в ближайшей перспективе и до  $13,9 \text{ км}^3/\text{год}$  в более отдаленной; в невегетационный период сток уменьшится соответственно до  $1,9-0,5 \text{ км}^3/\text{год}$ . Относительно условно-естественного уровня (1933-1955 гг.) сток реки в створе Чатлы в год средней водности уменьшится на  $24,6 \text{ км}^3/\text{год}$  на первом этапе и на  $32,2 \text{ км}^3/\text{год}$  - на втором.

Сопоставим полученные расчетные оценки с аналогичными работами других авторов [20, 87, 93, 106]. В этих работах удельное снижение стока (равное  $0,8-0,84 \text{ км}^3$  на каждые 100 тыс. га вновь осваиваемых земель), выявленное в современных условиях, экстраполируется на перспективу.

По данным С.И.Харченко [93] сток Амударьи в замыкающем створе уменьшится к 1985 г. на  $16-17 \text{ км}^3/\text{год}$ . В работе К.П.Воскресенского и др. [20] убыль стока Амударьи оценивается на уровне 1981-1985 гг. в  $24 \text{ км}^3/\text{год}$ , а в 1991-2000 гг. -  $36 \text{ км}^3/\text{год}$ . По исследованиям И.А.Шикломанова [106], сток Амударьи уменьшится в 1985-1990 гг. на 25, а в 1991-2000 гг. - на  $31 \text{ км}^3/\text{год}$ .

Сопоставление выполненных нами расчетных оценок с результатами

Таблица 6.4

Средние за сезон значения стока ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) Амударьи в зависимости от водности года (по притоку из зоны формирования) и уровня водохозяйственного строительства

Створ	Расчетный уровень	При обеспеченности притока из области формирования (%)									
		вегетационного					невегетационного				
		10	25	50	75	95	10	25	50	75	95
Керки Тямуун Чатлы	Ближайшая перспектива	2927	2671	2367	1851	1362	839	718	582	478	427
		2305	2065	1729	1193	702	671	580	473	394	349
		1693	1483	1240	793	419	295	189	94,0	21,0	0
Керки Тямуун Чатлы	Отдаленная перспектива			2011					404		
				1104					296		
				815					0		
С учетом сброса коллекторных вод из Бухарского и Каршинского водохозяйственных районов											
Тямуун Чатлы	Ближайшая перспектива	2383	2134	1792	1249	750	731	630	515	430	380
		1751	1532	1282	822	429	337	221	118	38	13
Тямуун Чатлы	Отдаленная перспектива			1211					367		
				884					32		

Таблица 6.5

Коллекторный сток из зоны орошения Каршинского и Аму-Бухарского каналов в год средней водности

Расчетный уровень	Зона орошения каналов	Водозабор, м <sup>3</sup> /с			Коллекторный сток, м <sup>3</sup> /с		
		XI-IV	У-Х	XI-Х	XI-IV	У-Х	XI-Х
1977 г.	Аму-Бухарского	97	206	152	22	16	19
	Каршинского	50,4	130	90,2	16	12	14
	Всего	147	336	242	38	28	33
Ближайшая перспектива	Аму-Бухарского	103	200	151	26	18	22
	Каршинского	90	209	150	21	55	38
	Всего	193	409	301	47	73	60
Отдаленная перспектива	Аму-Бухарского	121	247	184	35	33	34
	Каршинского	153	357	255	53	93	73
	Всего	274	604	439	88	126	107

исследований Шикломанова [106], Воскресенского и других [19-20] говорит об их идентичности, что свидетельствует об отсутствии грубых просчетов. Вместе с тем расчет стока Амударьи должен корректироваться по мере накопления информации о водном режиме орошаемой территории бассейна, а также уточнения проектных проработок.

При составлении расчетов не учтены также единовременные затраты стока на заполнение строящихся и проектируемых водохранилищ, ежегодные потери на испарение с их поверхности и возможный прирост орошаемых площадей на территории Афганистана.

Следует ожидать, что при равном изъятии стока (в долях от водных ресурсов) сток Амударьи будет в перспективе уменьшаться более интенсивно, чем в бассейне Сырдарьи [80].

#### Выводы

1. При развитии орошения на базе собственных водных ресурсов изменение стока Амударьи под воздействием антропогенных факторов будет определяться процессами, происходящими в зоне потребления воды.

2. Интенсивное водохозяйственное строительство в бассейне Амударьи ускорит процесс трансформации речного стока, заключающийся в уменьшении стока и его перераспределении во времени и по длине реки.

3. При осуществлении планируемых мероприятий по расширению оро-

площадей и снижению удельного водопотребления - брутто годовой сток Амударьи в створе Керки в год средней водности снизится до  $46,5 \text{ км}^3/\text{год}$  в ближайшей перспективе и до  $38 \text{ км}^3/\text{год}$  - в отдаленной, в створе кишла. Чатлы на тех же уровнях сток уменьшится до 22 и 14  $\text{км}^3/\text{год}$  соответственно, что составит 80 и 51% от современного (1968-1977) его значения.

4. Если мероприятия по повышению КПД ирригационных систем и снижению оросительных норм будут осуществлены не полностью, то уменьшение стока будет существенно больше расчетного.

5. Отведение коллекторных вод с территории зон орошения Амубухарского и Каршинского каналов приведет к повышению доли возвратных вод в стоке реки в среднем и нижнем ее течении.

6. Следует ожидать, что при равном изъятии стока (в долях от водных ресурсов) сток Амударьи в перспективе будет уменьшаться более интенсивно, чем в бассейне Сырдарьи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что хозяйственная деятельность человека оказывает глубокое воздействие на процесс трансформации речного стока в зоне его использования.

При этом можно отметить много общего с аналогичными процессами в бассейне Сырдарьи [77].

Прежде всего, с ростом изъятия стока из реки происходит его уменьшение и перераспределение во времени и по длине реки.

Увеличение забора воды из реки сопровождается ростом общей минерализации и изменением ионного состава воды. Однако в процессе трансформации стока этих двух рек имеются и существенные различия, связанные главным образом с различным количеством возвратных вод, попадающих в реку.

В бассейне Амударьи очень развиты переброски стока в другие маловодные бассейны, из которых сток практически не возвращается в русло реки. Это обуславливает существенно меньшую роль возвратных вод в процессах перераспределения стока во времени и по длине реки и увеличении общей минерализации. Этим обстоятельством вызвано более значительное уменьшение стока (при равном изъятии) в бассейне Амударьи по сравнению с бассейном Сырдарьи.

Этим же вызвано менее выраженное перераспределение его во времени и по длине реки, а также сравнительно небольшое увеличение минерализации амударьинской воды с ростом изъятия стока.

В перспективе в связи с увеличением интенсивности использования речного стока процесс трансформации его в орошаемой зоне усилится.

Сброс коллекторных вод с территории зон орошения Каршинского и Аму-Бухарского каналов приведет к некоторому замедлению убыли стока и существенному повышению минерализации воды в нижнем течении реки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А л е к и н О.А. Общая гидрохимия. — Л.: Гидрометеоздат, 1948. — 207 с.
2. А л е к и н О.А. Гидрохимия рек СССР, ч.Ш.— Л.: Гидрометеоздат, 1949. — 141 с. (Труды ГТИ. Вып. 15(69)).
3. А л е к и н О.А. К изучению количественных зависимостей между минерализацией, ионным составом и водным режимом рек СССР.— Труды ГТИ, 1950, вып.25(79), с.25—36.
4. А л е к и н О.А. Гидрохимический режим р.Амударьи.— Труды ГТИ, 1951, вып.33(87), с.5—25.
5. А л п а т ь е в А.М. Влагообороты в природе и их преобразования.— Л.: Гидрометеоздат, 1969.— 324 с.
6. А т к а р с к а я Т.Н., Ш и м е л ь м и ц И.Я. Влияние развития орошения на величину и режим стока.— Изв.АН СССР. Сер.географ., 1970, № 4, с.55—64.
7. А т к а р с к а я Т.Н. Возвратные воды орошаемых земель Ферганской долины.— Метеорология и гидрология, 1970, № 10, с.63—71.
8. А т к а р с к а я Т.Н., Ш и м е л ь м и ц И.Я. Влияние орошаемого земледелия на водные ресурсы и водный баланс бассейна р. Сырдарьи.— Водные ресурсы, 1973, № 6, с.49—71.
9. А т к а р с к а я Т.Н., Ш и м е л ь м и ц И.Я. Опыт исследования водохозяйственного баланса р.Сырдарьи.— Труды ГТИ, 1973, вып. 208, с.99—110.
10. Б а х т и я р о в Р.И. К оценке стока р.Амударьи.— Водные ресурсы, 1974, № 6, с.6—11.
11. Б е р е м ж а н о в Б.А., И б р а г и м о в А.И., И б р а г и м о в а М.А. К вопросу химической характеристики р.Сырдарьи. Сообщение I. Характеристика притоков среднего течения р.Сырдарьи.— В кн.: Химия и химическая технология.Алма-Ата, 1970, вып.Х, с.58—70.
12. Б е р е м ж а н о в Б.А., И б р а г и м о в А.И., И б р а г и м о в а М.А. Физические исследования воды рек Сырдарьинского бассейна.— Вестн. АН КазССР, 1972, № 6(326), с.42—65.

13. Беремжанов Б.А., Ибрагимова М.А. О метаморфизация химического состава речных вод (на примере Казахстана): Тезисы докладов "Гидрохимические аспекты изучения и защиты окружающей среды" XXVI Всесоюзного гидрохимического совещания.- Новочеркасск, 1975. - 13 с.
14. Буркальцева М.А. Методика расчета ионного стока горных рек Ферганской долины.- Вестн. МГУ. Сер.географ., 1964, № 3, с.83-86.
15. Буркальцева М.А. Гидрохимическое районирование горного обрамления Ферганской долины.- Вестн. МГУ. Сер.географ., 1964, вып.4, с.75-77.
16. Буркальцева М.А. К методике построения зависимостей для химического стока горных рек.- Труды МГУ, 1965, вып.2, с.119-125.
17. Влияние орошаемого земледелия на водные ресурсы бассейна оз.Балхаш /А.Б.Заводчиков, В.А.Семенов, В.Н.Островский, М.П.Рыбкина. - Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда, 1976, т. 4, с. 287-295.
18. Воронков П.П. Формирование химического состава поверхностных вод степной и лесостепной зон Европейской территории СССР.- Л.: Гидрометеиздат, 1955. - 350 с.
19. Воскресенский К.П., Соколов А.А., Шикломанов И.А. Ресурсы поверхностных вод СССР и их изменение под влиянием хозяйственной деятельности.- Водные ресурсы, 1973, № 2, с.33-58.
20. Воскресенский К.П., Харченко С.И., Шикломанов И.А. Влияние человека на водные ресурсы и гидрологические процессы.- В кн.: Генеральные доклады IV Всесоюзного гидрологического съезда. Л., 1973, с.53-85.
21. Гальцов А.П. Зависимость осадков в горах Средней Азии от орошения предгорных равнин.- Изв. АН СССР. Сер.географ., 1964, № 2, с.37-44.
22. Герарди И.А., Харченко С.И., Рогов С.С. Гидрологические проблемы переброски части стока сибирских рек на южный склон СССР.- Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда, 1976, т.4, с.7-24.
23. Геткер М.И., Куропатка Л.М., Рубинова Ф.З. Об изменении минерализации воды р.Сырдарьи в связи с развитием орошения в ее бассейне.- Труды САРНИГМИ, 1975, вып.23(104), с.71-95.
24. Геткер М.И., Куропатка Л.М., Рубинова Ф.З. Сток возвратных вод в бассейне р.Сырдарьи и его влияния на

минерализации речной воды в современных условиях и в перспективе.— Труды САРИПМИ, 1975, вып.25(106), с.3-22.

25. Г л у ш к о в В.Г. Вопросы теории и методики гидрологических исследований.— М.: Изд-во АН СССР, 1961.— 416 с.
26. Г р и н А.М. Изменение динамики стока р.Сырдарья в связи с развитием орошения в Ферганской долине.— Изв. АН СССР. Сер. географ., 1959, № 3, с.89-94.
27. Г у л я й к о Ю.С. Способ учета влияния хозяйственной деятельности на сток рек.— Труды ГТИ, 1973, вып.208, с.92-98.
28. Д р о з д о в О.А., Г р и г о р ь е в а А.С. Влияние изменения испарения с больших территорий на осадки данного района и соседних территорий.— Труды ГГО, 1966, вып.198, с.17-26.
29. Д р о з д о в О.А. Влияние хозяйственной деятельности человека на влагооборот.— Труды ГГО, 1974, вып.316, с.83-103.
30. Д у н и н-Б а р к о в с к и й Л.В. О водном балансе орошаемой территории.— Изв. АН СССР. Сер.географ., 1956, № 5, с.61-73.
31. Д у н и н-Б а р к о в с к и й Л.В. Развитие ирригации и судьба Аральского моря.— В кн.: Проблемы преобразования природы Средней Азии. М., 1967, с.75-85.
32. Д у н и н-Б а р к о в с к и й Л.В. Физико-географические основы ирригации.— М.: Наука, 1976.— 297 с.
33. З а в о д ч и к о в А.Б. Предварительная оценка влияния орошаемого земледелия на речной сток в бассейне оз.Балхаш.— Труды ГТИ, 1973, вып.206, с.146-171.
34. З у б к о в Н.С. Вычисление стока р.Амударья на основании пространственного осреднения ее уровней воды.— Труды ГТИ, 1976, вып.234, с.72-87.
35. И в а н о в Ю.Н. О точности расчетов водных балансов р.Амударья за годовые периоды.— Труды САРИПМИ, 1975, вып.23(104), с.96-106.
36. И в а н о в Ю.Н., Т у л я г а н о в А.Х. Русловой водный баланс нижнего течения р.Амударья и причины его невязок.— Труды ГТИ, 1976, вып.234, с.35-51.
37. И р р и г а ц и я Узбекистана. Современное состояние и перспектива развития ирригации в бассейне р.Сырдарья.— Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1975, т. П. — 359 с.
38. И р р и г а ц и я Узбекистана. Современное состояние и перспектива развития ирригации в бассейне р.Амударья.— Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1979, т.Ш. — 357 с.
39. И с п а р е н и е с с/х поля в невегетационный период в Каракалпакской АССР /Б.Е.Милькис, Т.Туйчиев, Н.Н.Федоровская, Т.В.Донати. — Труды САРИПМИ, 1975, вып. 23(104), с.139-146.

40. К а л и н и н Г.П. Проблемы глобальной гидрологии.- Л.: Гидрометеониздат, 1968.- 377 с.
41. К а н н И.А. Изменение минерализации речных вод под влиянием орошения на примере рек Чу и Талас.- Труды ИТИ, 1978, вып.251, с.62-72.
42. К а р а о в И.Ф. Точность гидрометрических данных и усовершенствование методов определения стока рек с неустойчивым руслом (на примере Амударьи).- Труды ИТИ, 1971, вып.185, с.26-30.
43. К а р р ь е в а Л.А. Минерализация воды р.Амударьи в среднем ее течении.- Проблемы освоения пустынь, 1977, № 1, с.67-70.
44. К в а с о в Д.Д. Причины прекращения стока по Узбою и проблема Аральского моря.- Проблемы освоения пустынь, 1976, № 6, с.24-29.
45. К в о п р о о у изменения стока р.Сырдарьи в районе Чардаринского водохранилища в связи с развитием орошения /В.Л. Шульц, Л.М.Орешина, Г.А.Ахмедов, Ф.Э.Рубинова. - Изв. АН УзССР. Сер. техн. наук, 1961, № 2, с.20-32.
46. К и р с т а Б.Т. Минерализация воды, химический сток рек Туркменистана и методы их расчета.- Ашхабад: Ылым, 1975.- 171 с.
47. К р и ц к и й С.Н., М е н к е л ь М.Ф. Проблема Аральского моря.- В кн.: Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. М., Гидрометеониздат, 1973, с.4-29.
48. К у в ш и н о в а К.В. Изменение атмосферных осадков при полном использовании воды Амударьи на орошение.- Изв. АН СССР. Сер. географ., 1964, № 2, с.45-49.
49. К у а н е ц о в В.И. Об изменениях стока р.Сырдарьи в связи с развитием орошения.- Метеорология и гидрология, 1957, № 7, с.7-22.
50. Л а з а р е в К.Г. Гидрохимический очерк равнинной части течения р.Амударьи.- М.: Изд-во АН СССР, 1957.- 107 с.
51. Л а п ш и н а Г.Т., Т а р а с о в М.Н. Некоторые вопросы гидрохимических исследований на орошаемых землях. Обзор.- Обнинск: ВНИИТМЗ-МЦД, 1970.- 24 с.
52. М е з е н ц е в В.С. Водный и теплоэнергетический балансы и гидромелиоративные характеристики Среднего региона.- Труды IУ Всесоюзного гидрологического съезда, 1976, т.4, с.208-215.
53. М е л ь н и к Ю.С., Н и к о л а е в а А.С., К о р г а н о в А.С. Суммарное испарение с перелогов, примыкающих к ЮГК.- Метеорология и гидрология, 1968, № 6, с.68-74.
54. М и л ь к и с Б.Е., А х м е д о в Г.А., Т у й ч и е в Т. К вопросу зависимости суммарного испарения с орошаемого хлопко-

- вого поля от суммарной радиации и радиационного баланса.- Труды САРНИГМИ, 1969, вып. 118, с. 95-116.
55. М и л ь к и с Б.Е., Ч о л п а н к у л о в Э.Д. Испарение с водной поверхности водоемов низовьев р.Вахш.- Труды САРНИГМИ, 1971, вып.123, с.89-101.
  56. М и л ь к и с Б.Е., М у м и н о в Ф.А. Вопросы методики расчета испарения с орошаемых земель.- Труды САРНИГМИ, 1971, вып. 66(81), с.52-61.
  57. М и л ь к и с Б.Е. Количественная оценка суммарного испарения с орошаемых хлопковых полей Ферганской долины.- Труды САРНИГМИ, 1973, вып. 139, с. 101-111.
  58. М и л ь к и с Б.Е., Т у й ч и е в Т. Величина суммарного испарения с перелогов, занятых естественной (дикой) растительностью в Северной Каракалпаклии.- Труды САРНИГМИ, 1974, вып.23(104), с.147-151.
  59. М о л ч а н о в Л.А. Изменится ли климат Средней Азии?.- Социалистическая наука и техника, 1933, № 2, с.3-5.
  60. М у м и н о в Ф.А. Тепловой баланс и формирование урожая хлопчатника. - М.: Гидрометеиздат, 1970. - 245 с. (Труды САНИГМИ, Вып. 50(65)).
  61. Н и к и т и н А.М., Н и к о л а с н к о В.А. Водно-солевой баланс Чарвакского водохранилища.- Труды САРНИГМИ, 1975, вып. 2(83), с.44-57.
  62. П а к а л и Э.В., Т л е н б е к о в О.К., Щ е г о л е в а Н.Н. Оценка влияния орошения на водные ресурсы рек бассейна озера Балхаш.- Труды КазНИГМИ, 1978, вып.68, с.45-63.
  63. П р о с к у р я к о в А.К. Водный баланс р.Амударьи на участке от г.Керки до г.Нукуса.- Л.: Гидрометеиздат, 1953.- 89 с.
  64. Р е в я н а С.К., С о л о в ь е в а И.Л. Изменение минерализации, ионного стока и качественного состава рек Амударьи и Сырдарьи за периоды 1952-1966 гг. - Труды ГОИН, 1970, вып.101, с.101-110.
  65. Р е с у р с ы поверхностных вод СССР, т.14, Средняя Азия, вып. 3, бассейн р.Амударьи.- Л.: Гидрометеиздат, 1971.- 471 с.
  66. Р у б и н о в а Ф.Э., Г е т к е р М.И. Об изменениях стока р.Сырдарьи в пределах Ферганской долины в связи с развитием орошения.- Труды САНИИРИ, 1969, вып.119, с.3-23.
  67. Р у б и н о в а Ф.Э., Г е т к е р М.И. Водный баланс Голодной степи.- Труды САНИИРИ, 1970, вып.123, с.3-23.
  68. Р у б и н о в а Ф.Э., Г е т к е р М.И. Структура водного баланса и потери речного стока в Ферганской долине и Голодной степи.- Труды САНИГМИ, 1972, вып.62(107), с.84-89.

69. Р у б и н о в а Ф.Э. Изменение структуры водного баланса р. Сырдарья (выше Чардары) под влиянием водохозяйственного строительства.- Труды ГТИ, 1973, вып.208, с.III-III6.
70. Р у б и н о в а Ф.Э., Г е т к е р М.И. Водный баланс Голодной степи, изменение его структуры под влиянием водохозяйственного строительства в современных условиях и в перспективе.- Труды САРНИГМИ, 1975, вып.23(104), с.29-48.
71. Р у б и н о в а Ф.Э. Оценка возможного изменения стока р.Сырдарьи (выше Чардары) при осуществлении в перспективе (1980-1985 гг.) водохозяйственных мероприятий.- Труды САРНИГМИ, 1976, вып.39, с.42-67.
72. Р у б и н о в а Ф.Э. Изменение стока р.Сырдарьи под влиянием комплекса водохозяйственных мероприятий.- Труды САРНИГМИ, 1976, вып.39, с.26-41.
73. Р у б и н о в а Ф.Э., К у р о п а т к а Л.М. Изменение общей минерализации воды р.Сырдарьи в связи с развитием орошения в ее бассейне.- Труды САРНИГМИ, 1977, вып.52(133), с.3-17.
74. Р у б и н о в а Ф.Э., К у р о п а т к а Л.М. Изменение ионного состава воды р.Сырдарьи под влиянием хозяйственной деятельности.- Труды САРНИГМИ, 1977, вып.52(133), с.18-27.
75. Р у б и н о в а Ф.Э., К у р о п а т к а Л.М. Изменение минерализации и ионного состава воды р.Сырдарьи в ближайшей перспективе в связи с предполагаемым развитием орошения в ее бассейне.- Труды САРНИГМИ, 1977, вып.52(133), с.28-33.
76. Р у б и н о в а Ф.Э., Ш е н ц и с И.Д., К у р о п а т к а Л.М. Оценка оптимальной частоты отбора проб для характеристики гидрохимического режима р.Сырдарьи.- Труды САРНИГМИ, 1978, вып. 60(141), с.14-20.
77. Р у б и н о в а Ф.Э. Изменение стока р.Сырдарьи под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне.- Труды САРНИГМИ, 1979, вып.58(139).- 136 с.
78. Р у б и н о в а Ф.Э., К а к у р и н а Е.Г. Влияние водохозяйственного строительства на сток рек Кафирниган и Сурхандарья.- Труды САНИИ Госкомгидромета, 1980, вып. 77(158), с. 90-96.
79. Р у б и н о в а Ф.Э., К а к у р и н а Е.Г., М а т в е е в а О.С. Изменение стока р.Амударьи под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне.- Труды САНИИ Госкомгидромета, 1980, вып. 77(158), с. 80-89.
80. Р у б и н о в а Ф.Э. Особенности антропогенного воздействия на сток рек Сырдарьи и Амударьи.- Труды САНИИ Госкомгидромета, 1981, вып. 72(180).

81. Рубинова Ф.Э., Куропатка Л.М. Гидрохимический режим р.Амударья и влияние на него хозяйственной деятельности.- Труды САНБТИ Госкомгидромета, 1981, вып. 79(180).
82. Савельева А.В. Руслевой водный баланс среднего течения р.Амударья.- Труды ГТИ, 1976, вып.234, с.17-34.
83. Рубинова Ф.Э. Влияние водных мелиораций на сток и гидрохимический режим рек Средней Азии. Обзор.-Обнинск, 1981.- 48 с.
84. Савельева А.В. Расчет элементов руслового водного баланса рек.- Труды ГТИ, 1976, вып.234, с.127-148.
85. Смирнов К.И., Вольфцун И.Б., Воскресенский О.Б. Особенности оценки водных ресурсов рек и расчета русловых водных балансов в районах орошаемого земледелия (на примере Южного Казахстана).- Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда, 1976, т.4, с.88-96.
86. Степанова К.М. Вещества, сбрасываемые водой рек Амударья и Сырдарья в Аральское море.- В кн.: Доклады АН УзССР. Ташкент, 1948, № 2, с.15-19.
87. Сумарокова В.В., Цыценко К.В. О снижении стока рек в бассейне Аральского моря.- Труды ГТИ, 1978, вып.251, с. 73-83.
88. Трансформация речного стока в бассейне р.Сырдарья по мере развития водного хозяйства /Ф.Э.Рубинова, М.И.Геткер, Ю.Н.Иванов, Р.М.Кутикова. - Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда. Л., 1976, т. 4, с. 251-258.
89. Фадеев В.В., Павелко В.Д. Оптимальное число проб для характеристики внутригодового и внутрисуточного изменения минерализации воды рек.- Гидрохимические материалы, 1975, т.64, с. 55-61.
90. Фадеев В.В., Тарасов М.Н. Влияние водности года на взаимосвязь между минерализацией и расходами воды рек.- Гидрохимические материалы, 1975, т.64, с. 61-67.
91. Федоров В.М. Анализ динамики составляющих водного баланса равнинной части Ферганской долины.- Водные ресурсы, 1979, № 3, с.39-49.
92. Харченко С.И. Оценка влияния орошения и мелиорации на водные ресурсы и водный баланс речных водосборов.- М.: Изд-во МГУ, 1973, с.34-49.
93. Харченко С.И. Исследования влияния орошения на водные ресурсы и водный баланс речных бассейнов, разработка методов определения возвратных вод и безвозвратных потерь.- Труды ГТИ, 1973, вып.208, с.9-47.
94. Харченко С.И., Аткарская Т.Н., Левчен -

- к о Г.П. Изменение водооборота и преобразование водного баланса речных бассейнов под воздействием орошаемого земледелия.- В кн.: Водооборот в природе и его роль в формировании ресурсов пресных вод. М., 1974, с.149-169.
95. Х а р ч е н к о С.И. Гидрология орошаемых земель.- Л.: Гидрометеиздат, 1975.- 373 с.
96. Х а р ч е н к о С.И., Ц и ц е н к о К.В. Оценка влияния ирригационных мероприятий на речной сток (на примере р.Чу).- Труды ГТИ, 1976, вып.230, с.6-24.
97. Ш и к л о м а н о в И.А. К проблеме об оценке влияния деятельности человека на ресурсы поверхностных вод.- Метеорология и гидрология, 1973, № 10, с.27-37.
98. Ш и к л о м а н о в И.А., С м и р н о в а Л.Е. Оценка влияния хозяйственной деятельности на сток крупных рек Кавказа (Кура, Терек, Кубань).- Труды ГТИ, 1973, вып.206, с.92-121.
99. Ш и к л о м а н о в И.А. О влиянии орошения на годовой сток рек Куры, Терека, Кубани.- Труды ГТИ, 1973, вып.208, с. 60-79.
100. Ш и к л о м а н о в И.А. О методах оценки влияния комплекса факторов хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим водосборов.- Труды ГТИ, 1973, вып.206, с.3-21.
101. Ш и к л о м а н о в И.А., Х о р е ц к а я А.С. Оценка изменений стока р.Кубани под влиянием хозяйственной деятельности.- Труды ГТИ, 1975, вып.229, с.55-71.
102. Ш и к л о м а н о в И.А. Оценка изменений стока р.Волги у Волгограда под влиянием хозяйственной деятельности.- Труды ГТИ, 1975, вып.229, с.3-35.
103. Ш и к л о м а н о в И.А. Гидрологические аспекты проблемы Каспийского моря.- Л.: Гидрометеиздат, 1976.- 77 с.
104. Ш и к л о м а н о в И.А. Влияние хозяйственной деятельности на водные ресурсы и гидрологический режим. Обзор.- Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1976.- 110 с.
105. Ш и к л о м а н о в И.А. Динамика антропогенных изменений годового стока рек СССР.- Труды ГТИ, 1977, вып.239, с.3-26.
106. Ш и к л о м а н о в И.А. Антропогенные изменения водности рек.- Л.: Гидрометеиздат, 1979.- 302 с.
107. Ш у л ь ц В.Л., О р е ш и н а Л.М. Водный баланс Ферганской долины.- Изв. АН УзССР. Сер.техн.наук, 1959, № 4, с.72-81.
108. Ш у л ь ц В.Л. Реки Средней Азии.- Л.: Гидрометеиздат, 1965.- 691 с.

109. Ш у л ь ц В.Л., Ш а л а т о в а Л.И., Д у к и н а Н.К. Восста-  
новление расходов воды Амударьи у г.Керки.- Изд-во УзГУ, 1966,  
т. IX.
110. Ш у л ь ц В.Л., Ш а л а т о в а Л.И., Д у к и н а Н.К. Гидро-  
логическая характеристика верхней части бассейна Амударьи.-  
Ташкент: Фан, 1975.- 113 с.
111. Ю н у с о в Г.Р. Динамика стока рек бассейнов Аральского моря  
и озера Балхаш в связи с развитием орошения.- Труды ГТИ, 1974,  
вып. 221, с. 128-160.

## Оглавление

Введение .....	3
Глава I. Антропогенные факторы стока рек и методы оценки влияния на него хозяйственной деятельности .....	5
I.1. Антропогенные факторы стока .....	5
I.2. Методы, применяемые для количественных оценок влияния антропогенных факторов на сток рек .....	8
Глава 2. Природные условия, водные ресурсы и водохозяйственное строительство в бассейне Амударьи .....	14
Глава 3. Гидрометрическая изученность бассейна Амударьи ..	23
Глава 4. Изменение количества воды в Амударье под влиянием водных мелиораций в ее бассейне .....	34
4.1. Изменение вегетационного стока . . . . .	38
4.2. Изменение невегетационного стока . . . . .	44
4.3. Изменение годового стока . . . . .	46
4.4. Расчет среднесезонного изменения стока . . . . .	48
Глава 5. Гидрохимический режим Амударьи и его изменение под влиянием хозяйственной деятельности .....	54
5.1. Гидрохимическая изученность бассейна и методика оценки средней за расчетный период минерализации .....	55
5.2. Гидрохимический режим рек бассейна .....	65
5.3. Расчет изменения средней сезонной минерализации воды в реках бассейна .....	74
5.4. Изменение ионного состава воды под влиянием хозяйственной деятельности .....	79

5.5. Солевой сток . . . . . 90

Глава 6. Количественная оценка возможного изменения стока  
Амударьи при осуществлении в перспективе водохозяйствен-  
ных мероприятий (при использовании собственных водных ре-  
сурсов) . . . . . 94

Заключение . . . . . 104

Труды САННИ Госкомгидромета,  
вып. 106(187)

Изменение стока р. Амударьи  
под влиянием водных мелиораций  
в ее бассейне

Редактор Н.С. Никольская

Техн. редактор В.Н. Силкина

Корректор Р.А. Агафонова

Подписано к печати 2.08.1985 г. Т – 17539  
Формат 60x90<sup>1</sup>/16 Бумага картограф. Печать  
офсетная Печ.л. 7,25 Уч.изд.л. 8,1

Тираж 380 экз. Индекс М-М-130 Зак. 1261  
Цена 50 коп.

Московское отделение Гидрометесиздата  
Москва, 123436, ул. Маршала Рыбалко, д. 8  
Фабрика офсетной печати ВНИИТМИ-МЦ  
г. Обнинск